IE 2022 NETWORK

The 40th Conference of Industrial Engineering Network

May 11-12, 2022

Old Industries are New Again

บทความฉบับสมบูรณ์

(PROCEEDINGS)

ผู้สนับสนุน

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทความฉบับสมบูรณ์ (Proceedings) 40th Conference of Industrial Engineering Network, May 11-12, 2022

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2565

ลิขสิทธิ์ของ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000 โทรศัพท์ 034-254235

สงวนสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ 2537
ห้ามคัดลอกเนื้อหาก่อนได้รับอนุญาต

ข้อมูลทางบรรณานุกรมหนังสือ

มหาวิทยาลัยศิลปากร. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ

บทความฉบับสมบูรณ์ (PROCEEDINGS) 40TH Conference of Industrial Engineering Network, May 11-12, 2022 / ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม : คณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ. 2565.

1 Online Resource (811 หน้า).

Available online via : https://sites.google.com/silpakorn.edu/ienetwork2022/home

ISBN **978-974-641-807-2** (e-book)

1.วิศวกรรมอุตสาหการ -- การประชุม 2.การจัดการอุตสาหกรรม -- การประชุม (1) ชื่อเรื่อง.

T55.45 ม56

จัดพิมพ์โดย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000 โทรศัพท์ 034-254235

คำนำ

ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ Industrial Engineering Network หรือ IE Network เป็นองค์การที่ได้ก่อตั้งขึ้นเมื่อเดือนตุลาคม 2525 โดยได้รับการสนับสนุนจากวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย มีวัตถุประสงค์ในการสนับสนุนให้เกิดการแลกเปลี่ยนข่าวสารข้อมูล ด้านงานวิศวกรรมอุตสาหการ การจัดทำโครงการวิจัย การสร้างความร่วมมือ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิชาการและเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศไทย ในด้านธุรกิจอุตสาหการ การออกแบบ การผลิต การจัดระบบงาน โลจิสติกส์ งานบริหารระบบคุณภาพ และวิศวกรรมความปลอดภัย ตลอดจนงานปฏิบัติการในธุรกิจการให้บริการต่าง ๆ

สำหรับการประชุมวิชาการขายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 40 ประจำป 2565 (The 40th IE Network Conference 2022) นี้ กำหนดจัดขึ้นระหว่างวันที่ 11 – 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 ในรูปแบบออนไลน์ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้แนวคิด " Old Industries are New Again" โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความร่วมมือด้านวิชาการ การแสดงผลงานความก้าวหน้า นวัตกรรมใหม่ ๆ และแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิศวกรรมอุตสาหการ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ผู้สนใจทั่วไป และหน่วยงานองค์กรต่าง ๆ

ในนามของคณะกรรมการดำเนินการจัดงาน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร หวังเป็นอย่างยิ่งว่า การประชุมวิชาการฯ ในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เข้าร่วมประชุมและผู้นำเสนอบทความวิจัยทุกท่าน ไม่ว่าจะเป็นคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา หรือผู้สนใจทั่วไป รวมถึงหน่วยงานภาครัฐและเอกชน และขอแสดงความขอบคุณทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องตลอดจนผู้ให้การสนับสนุนทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการดำเนินการจัดประชุมวิชาการฯ ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตรงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

คณะกรรมการดำเนินการจัดงาน
การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 40 พ.ศ. 2565
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร



สารนายก

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

วิชาชีพด้านวิศวกรรม ประกอบไปด้วย 3 เสาหลัก ได้แก่
1) มหาวิทยาลัย ทำหน้าที่ผลิตบุคลากรทางด้านวิชาชีพวิศวกรรมให้มีคุณภาพ
2) สมาคมวิชาชีพ ทำหน้าที่เติมเต็มและเสริมความรู้ให้กับวิศกรในการประกอบวิชาชีพ
3) องค์กรกำกับดูแลผู้ประกอบวิชาชีพวิศกร ซึ่งเป็นองค์กรภายใต้กฎหมาย

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นสมาคมวิชาชีพทางด้านวิศวกรรม ที่ดำเนินงานเพื่อสังคมและสาธารณประโยชน์โดยมิได้แสวงหาผลกำไร มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาศักยภาพ ควบคู่กับการส่งเสริมจรรยาบรรณให้แก่นิสิต-นักศึกษา วิศวกร และผู้ปฏิบัติงานวิชาชีพวิศวกรรมมา โดยตลอดระยะเวลา 78 ปี จึงเปรียบเสมือนองค์กรกลางและเสาหลักทางด้านวิศวกรรมที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชนในระดับประเทศ

ในนามของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ มีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับเกียรติเป็นประธานจัดงานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 40 ประจำปี 2565 (IE Network Conference 2022) ภายใต้หัวข้อ "Old Industries are New Again" ด้วย มหาวิทยาลัยคือหนึ่งในเสาหลักที่ทำหน้าที่ผลิตบุคลากรทางด้านวิชาชีพวิศวกรรมให้มีคุณภาพ ในการจัดงานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ซึ่งในครั้งนี้วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ มีความยินดีที่ได้มีโอกาสร่วมกับทางสถาบันในการสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อให้เกิดการสร้างความร่วมมือด้านวิชาการ การแสดงผลงานความก้าวหน้า ตลอดจนการแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิศวกรรมอุตสาหการและสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณคณะกรรมการจัดงานการประชุมวิชาการ ฯ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน อีกทั้งผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ให้การสนับสนุนในการจัดงานประชุมวิชาการระดับชาติ IE Network 2022 ครั้งนี้เป็นอย่างดี หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ จะได้มีส่วนสนับสนุนงานทางด้านวิศวกรรมแก่ทั้งหน่วยงานภาครัฐและประชาชน รวมถึงเป็นศูนย์รวมความรู้ให้กับวิศกรในโอกาสต่อ ๆ ไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ วีระศิริ
นายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์



สารอธิการบดี

มหาวิทยาลัยศิลปากร

วิสัยทัศน์มหาวิทยาลัยศิลปากร คือ บูรณาการศิลปะวัฒนธรรม และวิทยาศาสตร์เพื่อเสริมสร้างเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์และนวัตกรรมสู่ความผาสุกและความยั่งยืนของสังคม และหนึ่งในพันธกิจที่ต้องดำเนินการ คือ วิจัย เพื่อสร้างองค์ความรู้ นวัตกรรม และงานสร้างสรรค์ เพื่อการพัฒนาสังคมอย่างยั่งยืน โดยนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาด้วยการบูรณาการศาสตร์ที่สร้างสรรค์ผ่านการจัดการองค์ความรู้และการจัดการเครือข่ายในการทำงานร่วมกัน ซึ่งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เป็นหนึ่งในคณะฯ ที่มีความสามารถในการสร้างงานวิจัย นวัตกรรม และงานสร้างสรรค์ สอดคล้องกับนโยบายของทางมหาวิทยาลัยฯ ได้เป็นอย่างดี

ในนามมหาวิทยาลัยศิลปากร ผมขอแสดงความยินดีที่ทางภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับเกียรติเป็นประธานจัดงานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 40 ประจำปี 2565 (IE Network Conference 2022) ในระหว่างวันที่ 11-12 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 ในรูปแบบออนไลน์ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์และงานวิจัยระหว่างนักวิชาการ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา วิศวกร และบุคคลทั่วไปที่สนใจในสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ อันจะนำไปสู่แนวทางการสร้างผลงานวิจัย นวัตกรรม และงานสร้างสรรค์ อย่างต่อเนื่องเพื่อนำประโยชน์ไปใช้ในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยอย่างยั่งยืนต่อไป

ผมเชื่อมั่นเป็นอย่างยิ่งว่าความรู้ต่าง ๆ ที่ได้จากการประชุมวิชาการในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เข้าร่วมประชุมทุกๆ ท่าน และขอให้การจัดงานประชุมวิชาการฯ ในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ทุกประการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยชาญ ถาวรเวช

อธิการบดีมหาวิทยาลัยศิลปากร

สารคณบดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร



ในนามของคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ดิฉันมีความยินดีเป็นอย่างยิ่ง ที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับเกียรติเป็นประธานจัดงานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 40 ประจำปี 2565 (IE Network Conference 2022) ภายใต้หัวข้อ "Old Industries are New Again" ซึ่งการจัดงานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการในครั้งนี้ ได้รับความร่วมมือจากสถาบันเครือข่ายฯ ในการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างความร่วมมือด้านวิชาการ การแสดงผลงานความก้าวหน้า ตลอดจนการแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิศวกรรมอุตสาหการและสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง โดยในงานประชุมวิชาการฯ นี้มีการนำเสนองานศึกษาในหัวข้อที่หลากหลาย อาทิเช่น Manufacturing Processes, Materials Engineering, Operations Research, Quality Engineering and Management, Logistics and Supply Chain Management, Work Study และหัวข้ออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งยังมีการรวบรวมและคัดเลือกบทความเพื่อจัดทำวารสารวิชาการ เผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิศวกรรมอุตสาหการ สำหรับผู้ที่สนใจสามารถนำผลงานที่ตีพิมพ์ไปพัฒนาต่อยอดทางด้านความรู้ วิชาการ หรือ พัฒนา ประยุกต์องค์ความรู้สู่ภาคการผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

สุดท้ายนี้ ดิฉันขอขอบคุณคณะกรรมการดำเนินการจัดงานประชุมวิชาการ ฯ คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความทุกท่าน ตลอดจนผู้ประกอบการในภาคเอกชน และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ให้การสนับสนุนในการจัดงานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 40 ประจำปี 2565 ในครั้งนี้เป็นอย่างดี หวังเป็นอย่างยิ่งทุกท่านจะได้รับความประทับใจในการจัดงานและให้การสนับสนุนสำหรับการจัดงานในครั้งต่อ ๆ ไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารหัวหน้าภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ และประธานคณะกรรมการดำเนินงาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร



ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการเป็นข่ายงานความร่วมมือระหว่างคณาจารย์ นิสิต นักศึกษา สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ และสาขาที่เกี่ยวข้องโดยได้ก่อตั้งขึ้นเมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2525 โดยการสนับสนุนของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยมีสมาชิกที่ร่วมกันก่อตั้งจำนวน 10 สถาบัน และภาคีสมาชิกอีก 1 สถาบัน โดยปัจจุบันข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการมีสมาชิกมากกว่า 40 สถาบัน ทั่วประเทศไทย โดยทุกปีจะมีการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตวสหการเพื่อเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนความรู้ในด้านวิศวกรรมอุตสาหการของอาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ รวมถึงนิสิตนักศึกษาในแต่ละระดับที่ได้ค้นคว้า วิจัย และ/หรือนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

ในปีพุทธศักราช 2565 เป็นปีที่ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการได้จัดงานการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ (IE Network Conference) ติดต่อกันมาเป็นปีที่ 40 แล้วโดยในปีนี้ภาควิชาวิศวกรรม อุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากรร่วมกับวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.) ได้ร่วมเป็นเจ้าภาพจัดงาน IE Network Conference 2022 ภายใต้หัวข้อ “Old Industry are New Again” เป็นการสะท้อนถึงการปรับตัวของวิศวกร อุตสาหการในช่วงการปฏิวัติอุตสาหกรรมไปสู่อุตสาหกรรม 4.0 รวมถึงการเตรียมการปรับรูปแบบการผลิตวิศวกรอุตสาหการในอนาคตให้มีองค์ความรู้ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเดิมในประเทศไทยให้ก้าวเข้าสู่อุตสาหกรรมในยุคใหม่ในอนาคต เพื่อความสามารถในการแข่งขันกับนานาชาติ และความมั่นคงของเศรษฐกิจไทย

สุดท้ายนี้การประชุมวิชาการนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้เลยถ้าไม่มีนักวิชาการทุกท่านที่ร่วมส่งบทความ ผู้ทรงคุณวุฒิจากทุกสถาบันในการเสียสละเวลาอันมีค่าในการพิจารณาบทความ ขอขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ ผู้ช่วยสอนของภาควิชาฯ ทุกท่านที่ช่วยกันประสานงานจนสำเร็จลุล่วง และขอขอบคุณผู้ให้การสนับสนุนจากหน่วยงานต่างๆ ที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้ที่เข้าร่วมการประชุมในปีนี้จะได้รับประโยชน์จากการประชุมวิชาการ IE Network 2022 อันส่งผลให้เกิดความร่วมมือกันต่อไปในอนาคต

อาจารย์กวินธร สัยเจริญ
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ และประธานคณะกรรมการดำเนินงาน
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

คณะกรรมการดำเนินงาน

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยชาญ ถาวรเวช	อธิการบดีมหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ประธานกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ

อาจารย์กวินธร สัยเจริญ	หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยศิลปากร

กรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คเณศ พันธุ์สวาสดิ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีรักษ์ ศรีทองชัย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ลีลากวีวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุขุม โฆษิตชัยมงคล	มหาวิทยาลัยศิลปากร
อาจารย์ ดร.วรฤทัย ชูเทียร	มหาวิทยาลัยศิลปากร
อาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม	มหาวิทยาลัยศิลปากร
อาจารย์ธนาธร เกรอต	มหาวิทยาลัยศิลปากร
อาจารย์ธรรมวิชช์ ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
อาจารย์บัญญัติ พันธ์ประสิทธิ์เวช	มหาวิทยาลัยศิลปากร
อาจารย์เพ็ญพิสุทธิ์ ทองหยวก	มหาวิทยาลัยศิลปากร
นางสาวนวลอนงค์ สาโคตร	มหาวิทยาลัยศิลปากร
นางสาวเปรมทิพย์ อิ่มเอิบปฐม	มหาวิทยาลัยศิลปากร
นางสาวณัฐธิดา นฤมลสิริ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
นายเจน พลินทร์สุคนธ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
นายธรเดชา คำแพงนนท์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
นายสรรวิทย์ เชื้อพิสุทธิ์กุล	มหาวิทยาลัยศิลปากร

กรรมการและเลขานุการ

นางสาวชยานิษฐ์ ตั้งธนาโชติพัฒน์	มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา
ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ
รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช
รองศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย
รองศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.โอพาร กิตติธีรพรชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย
รองศาสตราจารย์ ดร.นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐ์ ลีละวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย กานตานันทะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ อัครประถมพงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์หฤทัย โลหะศิริวัฒน์
อาจารย์ ดร.ปุณณมี สัจจกมล
อาจารย์ ดร.ภูวดล ดุษฎีรังสีกุล

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลิน เหล่าศิริรถาวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกต ลิ้มเจริญ แก้วโชติช่วงกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวิศ บุญมี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนิรุต ไชยจารุวนิช
อาจารย์ ดร.ทินกร ปงชิยา

มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัญญา วสุศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรนาถ ไรภู
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรพรรณ เลี่ยงโรคาพาธ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตวงยศ สุภีกิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัญ ราษฎร์ศิริ
ดร.เอกชัย วารินศิริรักษ์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล
รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กลางเดือน โพชนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนัฐฌพงษ์ คงแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจริญ เจตวิจิตร
ดร.สุริยา จิรสถิตสิน
ดร.กุลภัสร์ ทองแก้ว
ดร.ดลยา บัวคำ
อาจารย์ศิวศิษย์ วิทยศิลป์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

รองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาพิศ วงศ์ชียสุวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษ วงษ์เกษม
ดร.คธายุทธ กำมะโน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศรส ใจจิตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ ประดับวงษ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชฏฐา ชำนาญหล่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญสุดา พันฤทธิ์ดำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ ประดับวงษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี หอมเขียว
รองศาสตราจารย์ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์
รองศาสตราจารย์ เดช เหมือนขาว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรัตน์ พึ่งชมภู
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพร ใจดำรงค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ซูไฮดี สนิ
ดร.ชัยณรงค์ ศรีวะบุตร

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน เพียรทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธารชุดา พันธ์นิกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถนัดกิจ ศรีโชค

มหาวิทยาลัยพะเยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอราวิล ถาวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย แผ่นทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมกฤต เมฆสกุล

มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนวรรณ อัศวไพบูลย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ มนัสปิติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพียงจันทร์ โกญจนาท
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิลปชัย วัฒนเสย
ดร.ประพล จิวะพรทิพย์
อาจารย์ พรรคพงษ์ แก่นณรงค์
อาจารย์ สายสุนีย์ พงษ์พัฒนศึกษา

มหาวิทยาลัยนครพนม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชาติ ธีระวิริยะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต บุญขาว
ดร.มนตรี แสงสุริยันต์
ดร.คมศักดิ์ หารไชย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ปนิทัศน์ สุรียธนาภาส
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา แถลงกัณฑ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพงษ์ จำรัส
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรวดี อรัญนารถ
ดร.ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์
ดร.กฤษณรัช นิติสิริ

โรงเรียนนายเรืออากาศ

รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก ธนินท์รัฐ สิทธิเวชธนาศิริ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร
รองศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คเณศ พันธุ์สวาสดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีรักษ์ ศรีทองชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ลีลากวีวงศ์
อาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่แหล่ม
อาจารย์ ดร.วรฤทัย ชูเทียร
อาจารย์เกษรินร์ พูลทรัพย์
อาจารย์ ธรรมวิชช์ ประเสริฐ
อาจารย์ ธนาธร เกรอต
อาจารย์ เพ็ญพิสุทธิ์ ทองหยวก

กำหนดการ

การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 40 ประจำปี 2565

ระหว่างวันที่ 11-12 พฤษภาคม 2565

รูปแบบออนไลน์ ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (โปรแกรม Zoom Meeting)

ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

วัน และเวลา	รายละเอียดการจัดงาน
วันที่ 11 พ.ค.2565	
เวลา 08.00-08.45 น.	ลงทะเบียนและเข้าร่วมโครงการ “การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 40 รูปแบบ Online Conference ผ่านโปรแกรม Zoom Meeting Meeting ID: 934 2360 4504 Passcode: 679483
เวลา 08.45-09.00 น.	เข้าสู่พิธีการ **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2565** **กล่าวรายงาน โดย อาจารย์กวินธร สัยเจริญ** หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ ประธานคณะกรรมการดำเนินการจัดงานฯ **ประธานในพิธีกล่าวเปิดงาน โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร** คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม **กล่าวต้อนรับและกล่าวแสดงความยินดีต่อผู้ได้รับการคัดเลือกบทความวิจัยดีเด่น** **โดย รองศาสตราจารย์สิริวัฒน์ ไชยชนะ** อุปนายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์
เวลา 09.00-10.30 น.	การบรรยายพิเศษ ในหัวข้อ “การปรับตัวของวิศวกรอุตสาหการเพื่อการเปลี่ยนแปลงสู่ Industry 4.0” **ศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร เก่งพล** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
เวลา 10.30-10.45 น.	*พักรับประทานอาหารว่างช่วงเช้า*
เวลา 10.45-12.15 น.	การบรรยายพิเศษ ในหัวข้อ “การเปลี่ยนอุตสาหกรรมไทย สู่ Industry 4.0” **ดร.รวีภัทร์ ผุดผ่อง** ผู้อำนวยการฝ่ายความร่วมมืออุตสาหกรรมสมัยใหม่ เขตนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EECi) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
เวลา 12.15-13.00 น.	*พักรับประทานอาหารกลางวัน*



The Conference of Industrial Engineering Network (IE NETWORK 2022)
การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2565
11-12 พฤษภาคม 2565 ในรูปแบบออนไลน์ ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์

วัน และเวลา	รายละเอียดการจัดงาน
วันที่ 11 พ.ค.2565	
เวลา 13.00-14.30 น.	นำเสนอบทความวิชาการ (รูปแบบ Online Conference)
เวลา 14.30-14.45 น.	*พักรับประทานอาหารว่างช่วงบ่าย*
เวลา 14.30-16.30 น.	**ประชุมหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ**
เวลา 14.45-16.30 น.	นำเสนอบทความวิชาการ (รูปแบบ Online Conference)
วันที่ 12 พ.ค.2565	
เวลา 09.00-10.30 น.	บรรยายพิเศษ ในหัวข้อเรื่อง “Customer Returns and Reverse Logistics in the Industry 4.0 Era” **Asst. Prof. Kamil Ciftci, PhD** Information Systems and Decision Sciences Craig School of Business California State University, Fresno
เวลา 10.30-10.45 น.	*พักรับประทานอาหารว่างช่วงเช้า*
10.45-12.00 น.	นำเสนอบทความวิชาการ (รูปแบบ Online Conference)
เวลา 12.00-13.00 น.	*พักรับประทานอาหารกลางวัน*
13.00-14.30 น.	นำเสนอบทความวิชาการ (รูปแบบ Online Conference)
เวลา 14.30-14.45 น.	*พักรับประทานอาหารว่างช่วงบ่าย*
เวลา 14.45-16.30 น.	นำเสนอบทความวิชาการ (รูปแบบ Online Conference)

ตารางการนำเสนอบทความ

การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 40 ประจำปี 2565

ระหว่างวันที่ 11-12 พฤษภาคม พ.ศ. 2565

รูปแบบออนไลน์ ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (โปรแกรม Zoom Meeting)

สาขาวิชาในการประชุม

- Operations Research, Optimization and Decision Support Systems: ORD
- Automation and Smart Technology: AST
- Supply Chain and Logistics Management: SLM
- Work Study, Ergonomics, Safety and Plant Design: WES
- Manufacturing Processes and Maintenance: MPM
- Metallurgy, Materials and Surface Engineering: MMS
- Production and Operation Management: POM
- Quality Engineering and Management: QEM
- Green Technology, Innovation Management and Technology Transfer: GIT
- Other Related Topics in Industrial Engineering: OTH

วันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2565

Parallel Session					
ห้องประชุม	SU-1	SU-2	SU-3	SU-4	SU-5
หัวข้อ	WES-AST	POM	ORD	MPM-MMS	SLM-OTH
13.00-13.15 น.	WES001	POM001	ORD001	MPM001	SLM009
13.15-13.30 น.	WES002	POM002	ORD002	MPM002	OTH001
13.30-13.45 น.	WES003	POM003	ORD003	MPM003	OTH002
13.45-14.00 น.	WES004	POM004	ORD004	MPM006	OTH003
14.00-14.15 น.	WES005	POM005	ORD005	MMS001	OTH004
14.15-14.30 น.	WES006	POM006	ORD006	MMS002	OTH005
พัก					
14.45-15.00 น.	WES007	POM007	ORD008	MMS003	OTH006
15.00-15.15 น.	WES008	POM008	ORD009	MMS004	OTH007
15.15-15.30 น.	WES009	POM009	ORD010	MMS005	OTH008
15.30-15.45 น.	WES010	POM010	ORD011	MMS006	OTH009
15.45-16.00 น.	WES011	POM011	ORD012	MMS007	OTH010
16.00-16.15 น.	WES012	POM012	ORD013	MMS008	OTH011
16.15-16.30 น.	AST003	POM013	ORD014	MMS009	OTH019

ตารางการนำเสนอบทความ

การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 40 ประจำปี 2565

ระหว่างวันที่ 11-12 พฤษภาคม พ.ศ. 2565

รูปแบบออนไลน์ ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (โปรแกรม Zoom Meeting)

วันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2565

Parallel Session				
ห้องประชุม	**SU-1**	**SU-2**	**SU-3**	**SU-4**
หัวข้อ	**WES-AST-OTH**	**POM-OTH**	**ORD-QEM**	**SLM-GIT**
10.45-11.00 น.	WES013	POM015	ORD017	SLM001
11.00-11.15 น.	WES014	POM016	ORD018	SLM002
11.15-11.30 น.	WES017	POM017	ORD022	SLM003
11.30-11.45 น.	WES018	POM018	ORD023	SLM004
11.45-12.00 น.	WES019	POM019	ORD024	SLM005
พัก				
13.00-13.15 น.	WES020	POM020	QEM001	SLM006
13.15-13.30 น.	WES021	POM021	QEM002	SLM007
13.30-13.45 น.	WES022	OTH012	QEM003	SLM008
13.45-14.00 น.	WES023	OTH018	QEM004	SLM010
14.00-14.15 น.	AST001	OTH020	QEM005	SLM011
14.15-14.30 น.	AST002	OTH021	QEM006	SLM012
พัก				
14.45-15.00 น.	AST004	OTH022	QEM007	SLM013
15.00-15.15 น.	AST005	OTH023	QEM008	GIT002
15.15-15.30 น.	AST006	OTH024	QEM009	GIT003
15.30-15.45 น.	AST007	OTH025	QEM010	GIT004
15.45-16.00 น.	OTH013	OTH026	QEM011	MPM005
16.00-16.15 น.	OTH016	OTH027	QEM012	ORD019
16.15-16.30 น.	OTH017	OTH028	QEM013	

สารบัญ

หมายเลขบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
ORD001	การออกแบบการทดลองเพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยของกาแฟสำเร็จรูป	1
ORD002	การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขุ่นของน้ำที่กระบวนการตกตะกอน กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์	7
ORD003	การพัฒนาเทคนิคการจัดกลุ่มลูกค้าโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอนร่วมกับเทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธีเคมีน	15
ORD004	แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินการหลังการเก็บเกี่ยวในโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัม	21
ORD005	การวางแผนการผลิตรวมเพื่อการตัดสินใจผลิตและซื้อวัคซีนจากภายนอก: กรณีศึกษาการผลิตวัคซีนด้วยเทคโนโลยีไข่ไก่ฟัก	28
ORD006	การหารอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่	29
ORD008	วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนาน	36
ORD009	การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น สำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร	42
ORD010	การวางแผนจัดเส้นทางในการกระจายวัคซีนให้มีประสิทธิภาพและมีระยะทางรวมที่เหมาะสม	49
ORD011	การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยการจัดตารางการทำงานของพนักงานของบริษัทตัวอย่าง	50
ORD012	ขั้นตอนการค้นหาความบรรสานสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน	56
ORD013	การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	63
ORD014	A Designing of a Mathematical Model for Container Network	70

หมายเลขบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
ORD017	การพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วยcovid-19 บน ระบบออนไลน์และค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้โรงพยาบาลในเขตอำเภอเมืองอุบลราชธานี	77
ORD018	การวางแผนการจัดเส้นทางสำหรับการกระจายสินค้าของรถบรรทุกขนาดกลางด้วยโปรแกรมเชิงเส้น	82
ORD019	การปรับปรุงการจัดวางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา ผู้ผลิตและจำหน่ายบรรจุภัณฑ์กระดาษแห่งหนึ่ง	89
ORD022	แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตภายใต้การหยุดชะงักและการเสริมกำลัง	97
ORD023	ผลกระทบของกลไกและตัวแปรการพิมพ์ต่อความถูกต้องด้านน้ำหนักและขนาดของอาหารขึ้นรูป 3 มิติ	104
ORD024	การจัดเส้นทางการขนส่งแบบยานพาหนะหลายช่องบรรจุโดยใช้วิธีแม่นตรง: กรณีศึกษาการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงในจังหวัดขอนแก่น	110
AST001	การจำแนกคุณภาพข้าวโพดอ่อน โดยใช้การวิเคราะห์จากภาพถ่าย	116
AST002	การพัฒนาระบบคัดขนาดมะนาวอัตโนมัติด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่องจักรกล	122
AST003	การออกแบบระบบการป้องกันการโจรกรรมยานพาหนะโดยใช้กล้องจดจำป้ายทะเบียน	128
AST004	การศึกษาระบบการจัดการคลังสินค้า(WMS) โดยใช้ระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าแบบอัตโนมัติ (ASRS)	134
AST005	กระบวนการควบคุมด้วยแรงสำหรับหุ่นยนต์บริการ	141
AST006	ระบบตรวจจับการสวมใส่หมวกนิรภัยผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชั่นร่วมกับวิธีการลบภาพพื้นหลัง	147
AST007	การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติ :กรณีศึกษาโรงงานผลิตภัณฑ์ยา	153

หมายเลขบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
SLM001	การจัดการต้นทุนสินค้าคงคลังโดยการวิเคราะห์แบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่ กรณีศึกษา บริษัทอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในเขตพื้นที่โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก	159
SLM002	การเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการหยิบสินค้า กรณีศึกษาผู้ผลิตและจำหน่ายอุปกรณ์ประปาแห่งหนึ่งในประเทศไทย	165
SLM003	การปรับปรุงผังจัดวางและตำแหน่งจัดวางสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ คลังจัดเก็บอะไหล่ของผู้ผลิตรถยนต์แห่งหนึ่ง	171
SLM004	การพยากรณ์สินค้าคงค้างด้วยการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับข้อมูลไม่สมดุล	179
SLM005	การออกแบบหลักเกณฑ์การประเมินผู้ส่งมอบอุปกรณ์สำหรับระบบจัดเก็บรายได้อัตโนมัติของงานโครงการรถไฟฟ้าภายใต้การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์	186
SLM006	Inventory Analysis of Packaging Items in a Food Repackaging Company	191
SLM007	ต้นทุนโลจิสติกส์ในการพัฒนาเบียร์เกม	196
SLM008	การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัท เอทีเอส จำกัด	202
SLM009	การประเมินกลยุทธ์เพื่อการกระจายหน้ากากอนามัยอย่างมีประสิทธิผลเนื่องจากโควิด-19	208
SLM010	การศึกษาการลดระยะเวลาในการจัดส่งบรรจุภัณฑ์ของแผนกคลังพัสดุ กรณีศึกษา โรงงานอาหารแปรรูป	218
SLM011	การวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ในการปลูกลิ้นจี่พันธุ์ นพ.1 ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม กรณีศึกษา เกษตรกรผู้ปลูกลิ้นจี่พันธุ์ นพ.1 จังหวัดนครพนม	224
SLM012	การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งแบบโซ่ความเย็น กรณีศึกษา: บริษัท ขนส่งอาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง	228
SLM013	การจัดการรถขนส่งสินค้าโดยใช้การแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยค่าเฉลี่ยเค และการจัดเส้นทางการขนส่ง	234
WES001	การลดเวลาในสายการผลิตท่ออากาศสำหรับระบบปรับอากาศและระบายอากาศ กรณีศึกษา : บริษัท 1000 ดักษ์รัตนบุรี	240

หมายเลขบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
WES002	การลดของเสียในแผนกตอกไข่สด โดยการประยุกต์แนวคิด ซิกส์ ซิกมา กรณีศึกษาบริษัทแปรรูปไข่ไก่	246
WES003	การพัฒนาและประยุกต์ใช้เซนเซอร์ในสมาร์ทโฟน เพื่อตรวจวัดความสามารถในการทรงตัว	253
WES004	ความเป็นไปได้ในการศึกษาหาขนาดพื้นที่สัมผัสนิ้วมือส่วนปลายในกลุ่มผู้พิการทางสายตา เพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบความยาวของข้อความอักษรเบรลล์	260
WES005	ลดความสูญเปล่าในการปรับตั้งเครื่องปั๊มชิ้นงาน รุ่น A	267
WES006	การลดความสูญเปล่าของกระบวนการตีเชือก	273
WES007	การปรับปรุงสถานีงานตรวจสอบถังแก๊สคลอรีนโดยใช้การประเมินทางชีวกลศาสตร์	280
WES008	พื้นที่ขั้นต่ำแบบพลวัตในการลุก - นั่งขัดสมาธิของผู้สูงอายุไทย	286
WES009	การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการการผลิต: กรณีการประกอบชุดขับเคลื่อนล้อหลังรถยนต์	287
WES010	แนวทางการปรับปรุงกระบวนการปรับตั้ง Calender rolls	294
WES011	การยศาสตร์กับแรงงานผู้สูงอายุในไทย	300
WES012	ศึกษากระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสเพื่อลดระยะเวลาในการทำงาน	306
WES013	การเพิ่มผลิตภาพของกระบวนตัดขอบ : กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตถาดพลาสติก	312
WES014	การปรับปรุงกระบวนการผลิต กรณีศึกษา: โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	316
WES017	โปรแกรมจำลองกราฟฟิก 3 มิติเพื่อการประเมินท่าทาง	323
WES018	การปรับปรุงการปรับตั้งเครื่องจักรของกระบวนการเชื่อมต่อแผงวงจรในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์	330
WES019	การออกแบบพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบรับรองโรงงาน	336
WES020	การปรับปรุงกระบวนการผลิตพั้นช์: กรณีศึกษา	343
WES021	การเปรียบเทียบการวัดกำลังของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ระหว่างแบบสถิตและแบบพลวัตแฝง	351
WES022	การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ	357
WES023	การวางผังครัวร้านอาหารในรูปแบบบริการจัดส่งถึงบ้าน	364

หมายเลขบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
MPM001	การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการเกิดข้อบกพร่องในกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แก้ว กรณีศึกษาโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว	365
MPM002	การลดต้นทุนการผลิตของชิ้นส่วนรถยนต์โดยการเปลี่ยนชนิดลวดเชื่อมในกระบวนการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์งานเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมแบบอัตโนมัติ	371
MPM003	การออกแบบและสร้างเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติเพื่อลดเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิต	377
MPM005	การประยุกต์ใช้เทคนิค TPM ในการลดของเสียกระบวนการผลิตตีเกลียวเส้นด้าย กรณีศึกษา: บริษัท ซัคเซส ทวิตติ้ง จำกัด	382
MPM006	การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการขึ้นรูปยาง เพื่อลดความสูญเสียจากเวลาหยุดเครื่องจักรและระยะเวลาในการผลิต	388
MMS001	Evaluation on Mechanical Properties of WAAM-Aluminum Additive Layer	394
MMS002	การซึมผ่านก๊าซของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน	399
MMS003	การพัฒนากระบวนการชุบแข็งมีดโต้ กรณีศึกษามีดม่วงหวาน อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น	405
MMS004	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการขัดผิวเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางด้วยเคมีไฟฟ้าสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	412
MMS005	ผลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและดีบุก ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะประสานทองคำ 965 สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ	419
MMS006	การศึกษาความเป็นไปได้ในการหลอมพื้นผิวของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลหล่อด้วยเลเซอร์	425
MMS007	โครงสร้างจุลภาคและความแข็งของคอมโพสิตอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนียม - ไดโบไรด์	431

หมายเลขบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
MMS008	การจำแนกโครงสร้างทางจุลภาคของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเชิงลึก	432
MMS009	อะลูมิเนียมผสมหล่อทางเลือกสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง	438
POM001	การปรับปรุงกระบวนการผลิตเจดีย์ธาตุโดยการจำลองแบบ	444
POM002	แนวทางการบริหารยาคงคลังโดยประยุกต์ใช้ ABC-VED Matrix: กรณีศึกษาคลังยาในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย	450
POM003	การสำรวจปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทย	456
POM004	การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าความหนืดในกระบวนการกวนผสม กรณีศึกษาบริษัทผลิตน้ำมันหล่อลื่น	463
POM005	Production-Scheduling Problem: a Case of SD Tractors Company, Limited	469
POM006	การพัฒนาโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล สำหรับวางแผนการผลิต เพื่อลดการส่งมอบงานล่าช้า กรณีศึกษา : บริษัท ผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์	477
POM007	การลดรอบเวลาในแผนก Fleece line โดยใช้แผนภูมิคน-เครื่องจักร กรณีศึกษาโรงงานผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่	483
POM008	การจัดสมดุลสายการผลิตกระบวนการผลิตประตูปิดฝากระโปรงท้ายรถยนต์ กรณีศึกษา: โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง	489
POM009	การออกแบบและพัฒนาระบบจัดทำใบเสนอราคาของบริษัทรับเหมา	495
POM010	การวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้ออย่างเหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการจัดการอะไหล่คงคลัง	501
POM011	การบำรุงรักษาเชิงป้องกันบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือ กรณีศึกษารถขุดบุ้งกี๋หมุน	507

หมายเลขบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
POM012	การวิเคราะห์ความเสี่ยงของกระบวนการดำเนินงานโดยการใช้ IDEF0 และ FMEA กรณีศึกษาบริษัทผลิตและบรรจุเครื่องสำอาง	513
POM013	การเปรียบเทียบกฎการจัดตารางเพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการจ่ายน้ำมัน	520
POM015	การพัฒนาวิธีการจ่ายงานเพื่อจัดสมดุลของภาระงานในแผนกวิศวกรรม	521
POM016	การจัดตารางการเดินเครื่องสูบน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา กรณีศึกษา กองการประปา เทศบาลเมืองโพธาราม	529
POM017	การประยุกต์ใช้แผนภูมิสายธารคุณค่าเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต : กรณีศึกษากระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทเลนส์สายตายาว	535
POM018	การศึกษาการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ด้วยเทคนิคเชิงผสม	543
POM019	การพยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย	549
POM020	การสังเคราะห์ต้นทุนการผลิตสตรอว์เบอร์รีของกลุ่มเกษตรกรเครือข่ายโรงงานหลวงอาหารสำเร็จรูปที่ 1 (ฝาง) ด้วยแนวคิดบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ	556
POM021	การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการจัดการสินค้าคงคลังโดยประยุกต์ใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมประเภทอาหารเพื่อสุขภาพ	561
QEM001	การหาจุดเหมาะสมของสภาวะปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหล่อเครื่องประดับกำไลข้อมือทองเหลือง โดยใช้การออกแบบส่วนประสมกลาง	567
QEM002	การทดลองเพื่อหาน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุอ้างอิงสำหรับ เครื่องมือวัดความหนืดไดนามาติกอัตโนมัติ	573
QEM003	การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเพื่อลดปริมาณของอนุภาคในมอเตอร์ฮาร์ดดิสก์จากกระบวนการทำความสะอาด	579
QEM004	การปรับปรุงประสิทธิภาพปฏิบัติการใช้ระบบของเตาอบขนมอบกรอบ	586

หมายเลขบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
QEM005	การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับการผลิตไส้แบบตัน โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบการทดลอง	592
QEM006	การลดของเสียจากข้อบกพร่องซีลไม่ติดในกระบวนการบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์	598
QEM007	การพัฒนาน้ำเคลือบเซรามิกจากตะกอนผลิตน้ำใสโรงไฟฟ้าแม่เมาะด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ	604
QEM008	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต	611
QEM009	การวิเคราะห์ต้นทุนและการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรสำหรับการผลิตข้าวหอมมะลิในจังหวัดอุบลราชธานี	618
QEM010	แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับระบบบำบัดอากาศเสีย กรณีศึกษา : โรงงานผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่	624
QEM011	การลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ประเภทเส้นด้ายไนลอนฟิลาเม้นท์	630
QEM012	การศึกษาความพึงพอใจที่มีต่ออาหารธรรมดาของโรงพยาบาลตัวอย่าง	636
QEM013	การศึกษาปัจจัยของอาหารอ่อนที่มีผลต่อประสาทสัมผัสด้านอาหารในโรงพยาบาลตัวอย่าง	642
GIT002	Quality Plan's Parameters Visibility Application Development with Scrum Methodology of Agile	649
GIT003	การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกมาใช้ในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	655
GIT004	แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรม	661
OTH001	การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการจัดตารางการเดินรถของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในสนามบินสุวรรณภูมิ	662
OTH002	การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง	663
OTH003	การออกแบบและพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ	669

หมายเลขบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
OTH004	การออกแบบและพัฒนา ระบบบริหารการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดโครงการมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	676
OTH005	การบริหารโครงการวิศวกรรมเพื่อลดต้นทุนและเวลา กรณีศึกษาโรงงานยา	683
OTH006	การบริหารโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ กรณีศึกษาโรงงานผลิตโคมไฟยานยนต์	690
OTH007	การศึกษาอุตสาหกรรมศักยภาพในรายจังหวัดบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว ในพื้นที่ภาคเหนือของไทย	697
OTH008	การศึกษาอุตสาหกรรมศักยภาพในรายจังหวัดบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาวในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย	703
OTH009	การคัดเลือกคุณลักษณะในการจำแนกประเภทศักยภาพเชิงพาณิชย์ของโครงการวิจัยและพัฒนาโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์	709
OTH010	การประยุกต์ใช้ Chatbot สนับสนุนหน่วยงานการศึกษา กรณีศึกษาโรงเรียนสาธิตแห่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา	716
OTH011	การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก : กรณีศึกษากองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหการสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก	722
OTH012	การประยุกต์ใช้ FMEA วิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรและอุปกรณ์เพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากการทำงาน : กรณีศึกษาโรงงานผลิตรางสไลด์เครื่องใช้ไฟฟ้า	729
OTH013	โครงสร้างข้อมูลในระบบรางภายใต้บริบทระบบรถไฟฟ้ากรุงเทพมหานครฯ	735
OTH016	การพัฒนาระบบธุรกิจอัจฉริยะเพื่อสนับสนุนการควบคุมคุณภาพการผลิต	741
OTH017	การเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างแดชบอร์ด	747
OTH018	การคาดการณ์เวลาเดินทางบนท้องถนนระหว่างพิกัดสองจุดในกรุงเทพมหานคร ด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง	753

หมายเลขบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
OTH019	การพัฒนาห้องผ่าตัดความดันลบในสถานการณ์ฉุกเฉินจากการระบาดของโควิด-19 ด้วยแนวคิดวิศวกรรมคุณค่า	754
OTH020	เครื่องมือในการเลือกเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับชาวนา	760
OTH021	ปัจจัยที่สัมพันธ์กับการปฏิบัติตามพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 ของผู้ประกอบการในจังหวัดพัทลุง	766
OTH022	การศึกษาผลกระทบของไวรัสโควิด-19 เพื่อบริหารความเสี่ยงและหามาตรการรองรับความเสี่ยงที่เหมาะสม	767
OTH023	การวิเคราะห์อายุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยพิจารณาทั้งด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์	772
OTH024	การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างสายการผลิตติ่มซำ กรณีศึกษา บริษัทอาหารสำเร็จรูปแช่แข็งแปดริ้ว จังหวัดฉะเชิงเทรา	779
OTH025	การประยุกต์ใช้วิศวกรรมคุณค่าและการวิเคราะห์คุณค่าในการลดต้นทุน กรณีศึกษาอุตสาหกรรมประกอบยูนิตทำฟัน	785
OTH026	การคัดเลือกอุปกรณ์สำหรับการทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟสำหรับกระบวนการพ่นสีอุตสาหกรรมยานยนต์ ด้วยวิธีการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์	794
OTH027	การออกแบบและพัฒนาเครื่องสไลด์เนย กรณีศึกษาสถานประกอบการบัตเตอร์เค้กขนาดเล็ก	800
OTH028	การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของนำจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีน้ำที่กระตุ้นด้วยพลาสมาร่วมกับยูวีซี	806

การออกแบบการทดลองเพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยของกาแฟสำเร็จรูป

Design of Experiments for Optimizing Energy Usage in Soluble Coffee Spray-dryer Process

ภัทรวัฒน์ เกิดเชื้อ[1,2*] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: pattarawat.ke@ku.th*

Pattarawat Kerdchua[1,2*], Prapaisri Sudasna Na Ayudthya[2]
[1] Major in Engineeing Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: pattarawat.ke@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการใช้พลังงานของระบบทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อทำการลดพลังงานที่ใช้ในการผลิตโดยที่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตทางทฤษฎีได้แก่ ความดันของอากาศร้อนขาเข้า อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า อุณหภูมิของหอทำระเหย อุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก ความดันของหอทำระเหย อัตราการไหลของน้ำกาแฟ อุณหภูมิของน้ำกาแฟ ความเข้มข้นของน้ำกาแฟและความดันของหัวฉีด ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้นมีหลายปัจจัยจึงทำให้ยากต่อการออกแบบการทดลอง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการกำจัดตัวแปรที่มีผลกระทบอย่างไม่มีนัยสำคัญต่อพลังงานที่ใช้ในการผลิตด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นของปัจจัยทั้ง 9 ปัจจัยด้วยข้อมูลการผลิตย้อนหลังในช่วงเวลาที่ดำเนินการผลิตอย่างคงที่ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อพลังงานที่ใช้ในการผลิตนั้นได้แก่ อุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก ความดันของหอทำระเหยและความเข้มข้นของน้ำกาแฟ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่ปรับแล้วของสมการอยู่ที่ 78.13 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองในรูปแบบแฟคทอเรียลเพื่อทำการยืนยันผลของการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพบว่าปัจจัยทั้ง 3 นั้นมีผลกระทบต่อพลังงานที่ใช้ในการทำระเหยอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อจะได้ค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตจึงใช้การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 3 ซึ่งค่าปัจจัยที่เหมาะสมกับการผลิตที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite คืออุณหภูมิของอากาศร้อนขาออกที่ 105 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของน้ำกาแฟ 48 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อทำการยืนยันผลการทดลองของปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลอง Central Composite พบว่าอัตราการใช้พลังงานนั้นลดลง 2.23 เปอร์เซ็นต์ที่ 139.2 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อตันผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในปีพ.ศ. 2564 โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้เฉลี่ย 252,174 บาทต่อปี

คาสาคัญ: กาแฟผงสำเร็จรูป, กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย, การออกแบบการทดลอง, พลังงาน

Abstract

This research focuses on optimization of parameters in spray-drying process to reduce the energy usage in pure soluble coffee and maintain the quality of the finished goods at the same time. Starting from listing the parameters that relate to the energy usage, there are 9 factors that have a relationship to the energy usage, based on the spray-drying theory, i.e., hot air pressure, hot air temperature, spray tower temperature, exhaust air temperature, spray tower pressure, extracted flow rate, extracted preheated temperature, extracted total solid content, and extracted pressure at nozzle. With too many factors that will be considered in the design of experiments, this research will start from a regression of past related operating data. As the results from the regression analysis, there are 3 factors which have significant impacts on the energy usage in the spray-drying process were exhaust air temperature, spray tower pressure, and extracted total solid content with the adjusted R-square at 78.13 percent. After the first step, the factorial experiment was conducted to

ensure the existing of main effects on the energy usage by these 3 factors. The results confirm that there are significant factors on the energy usage. Thus, the third step is to perform the central composite design to optimize these factors. The results showed that the right number of settings are exhaust air temperature at 105 degrees Celsius and extracted total solid content at 48 percent, so these levels of factors are used to perform the confirmation runs and indicate that there was a reduction of energy usage for 2.23 percent to 139.2 normal cubic meters per ton of product, compared to the annual energy usage in 2021 at 142.38 normal cubic meters per ton of product. From this setting, the factory can reduce the cost of production for average 252,174 baht per year.

Keywords: Soluble coffee, Spray-drying, Design of experiments, Energy

1. บทนำ

กระบวนการผลิตกาแฟผงสำเร็จรูปนั้นเป็นกระบวนการการแปรรูปเมล็ดกาแฟดิบเพื่อให้เป็นกาแฟผงสำเร็จรูปที่มีกลิ่นและรสชาติที่เหมาะสมและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค นอกจากรสชาติที่น่าพึงพอใจ ราคาของผลิตภัณฑ์นั้นยังเป็นสิ่งที่สำคัญในการตัดสินใจในการเลือกซื้อสินค้าดังกล่าว ดังนั้นต้นทุนที่ใช้ในการผลิตนั้นจะมีส่วนสำคัญในการกำหนดราคาสินค้าขาย ซึ่งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตกาแฟผงสำเร็จรูปนั้นมีสัดส่วนในต้นทุนการผลิตสูงนอกเหนือจากต้นทุนจากเมล็ดกาแฟดิบ ดังนั้นการลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตนั้นจะมีส่วนในการลดต้นทุนได้อย่างดีโดยเฉพาะพลังงานในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีสัดส่วนในการใช้พลังงานมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ใช้กระบวนการ [1]

จากข้อมูลย้อนหลังของโรงงานในกรณีศึกษาพบว่าปริมาณของพลังงานที่ใช้ในการผลิตนั้นได้ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอด 5 ปีที่ผ่านมาจากการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรและการเปลี่ยนแปลงปัจจัยการผลิตเบื้องต้น ด้วยการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตมีความซับซ้อนมากขึ้น การใช้กระบวนการออกแบบการทดลองนั้นจะเข้ามามีส่วนช่วยในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการใช้พลังงานของกระบวสนการและหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดอัตราการใช้พลังงานของระบบการทำแห้งแบบพ่นฝอย [2]

2. การออกแบบการทดลองในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

2.1 กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นเป็นกระบวนการผลิตอาหารที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทั่วไปเนื่องจากสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรในแง่ของรสชาติและจุลินทรีย์ รวมถึงยังมีความสะดวกในแง่การบรรจุและการขนส่ง **[3]**

เพื่อให้ได้ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติที่ถูกใจผู้บริโภคและมีต้นทุนที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดตัวแปรตอบสนองเพื่อทำการศึกษาและปัจจัยที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต้องทำการควบคุมกระบวนการผลิตโดยสามารถแยกเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1.1 ตัวแปรตอบสนองของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำระเหยผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามมาตรฐานคุณภาพและใช้พลังงานที่เหมาะสม ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่สนใจในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วยพลังงานที่ใช้ในการบวนการผลิต ซึ่งสามารถวัดได้จากปริมาณก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในการสร้างอากาศร้อนขาเข้าในหน่วยลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในหน่วยตัน **(Y1)** และตัวแปรตอบสนองที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์คือ ปริมาณความชื้นในหน่วยเปอร์เซ็นต์เปียก **(Y2)**

2.1.2 ปัจจัยที่เกียวข้องกับความร้อน

กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นเป็นกระบวนการที่ใช้ลมร้อนเป็นแหล่งพลังงานหลักในการทำระเหยผลิตภัณฑ์ที่ถูกพ่นฝอยเข้ามาในระบบอบแห้ง ด้วยอุณหภูมิที่สูงมากกว่า 300 องศาเซลเซียส ของเหลวที่อยู่ในผลิตภัณฑ์จะถูกระเหยในระยะเวลาอันสั้นเพื่อลดเวลาที่ผลิตภัณฑ์จะถูกสัมผัสด้วยความร้อนและรักษาคุณภาพรวมถึงรสชาติของผลิตภัณฑ์ไว้ **[4] [5]**

โดยปัจจัยที่เกี่ยวกับความร้อนในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สนใจในงานวิจัยนี้ได้แก่ ความดันของอากาศร้อนขาเข้า **(A)** ที่บ่งบอกถึงปริมาณและความเร็วของอากาศร้อนขาเข้าซึ่งส่งผลต่ออัตราการทำระเหย อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า **(B)** ที่บ่งบอกถึงพลังงานที่ใช้ในการทำระเหย อุณหภูมิของหอทำระเหย **(C)** ที่บ่งบอกถึงสภาวะการทำระเหยภายในระบบและอุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก **(D)** ที่ใช้สำหรับการควบคุมอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ ซึ่งปัจจัยที่ได้กล่าวมาส่งผลต่อปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำระเหยของผลิตภัณฑ์ในแง่ปริมาณพลังงานที่ใช้และอัตราการทำระเหยที่เกิดขึ้น

2.1.3 ปัจจัยที่เกียวข้องกับการไหลของผลิตภัณฑ์

ในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกพ่นผ่านหัวฉีดเป็นละอองฝอยและปะทะกับอากาศร้อนขาเข้าเพื่อทำระเหยจนเปลี่ยนสภาพเป็นผงผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก จากนั้นจึงส่งผงผลิตภัณฑ์ไปสู่กระบวนการบรรจุต่อไป

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการไหลของผลิตภัณฑ์ที่สนใจในงานวิจัยนี้ได้แก่ ความดันของหอระเหย **(E)** ที่บ่งบอกความเร็วของผลิตภัณฑ์ที่ไหลในระบบ อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ **(F)** ที่ส่งผลต่อปริมาณผงในระบบการทำแห้งซึ่งส่งผลต่ออัตราการระเหยของระบบ อุณหภูมิของ

ผลิตภัณฑ์เหลว (G) ซึ่งส่งผลต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่หัวฉีดโดยที่เมื่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ลดลงจะทำให้ขนาดของละอองพ่นฝอยเล็กลงซึ่งทำให้อัตราการระเหยในระบบเพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ (H) ที่บ่งบอกถึงปริมาณผลิตภัณฑ์ในระบบและความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่หัวฉีดและความดันที่หัวฉีด (I) ที่มีผลต่อขนาดของละอองฝอยของผลิตภัณฑ์ที่พ่นเข้าไปในระบบ ซึ่งปัจจัยที่ได้กล่าวมานั้นจะส่งผลต่อปริมาณผงผลิตภัณฑ์ในระบบและอัตราการทำระเหยในระบบทำแห้งแบบพ่นฝอย

2.2 การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น

การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นนั้นเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการประมาณหรือการพยากรณ์ค่า ทำการเปรียบเทียบและการศึกษาหาค่าที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรปัจจัยอิสระต่าง ๆ ที่มีต่อค่าปัจจัยตอบสนองและแสดงผลออกมาในรูปของสมการเชิงเส้น [6]

ด้วยปริมาณปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตนั้นมีจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นเพื่อระบุปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองเบื้องต้น เพื่อให้จำนวนการทดลองในการออกแบบการทดลองมีจำนวนที่ไม่มากจนเกินไป โดยทำการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นด้วยข้อมูลการผลิตย้อนหลัง 6 เดือน ด้วยวิธีการลดตัวแปร (Backward Elimination) ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 เปอร์เซ็นต์ จึงได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยจากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (1)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	167.9	34.9	4.82	0.000	
A	0.492	0.147	3.33	0.001	5.40
B	0.5980	0.0625	9.57	0.000	40.95
C	-3.509	0.878	-4.00	0.000	14.93
D	3.902	0.812	4.81	0.000	10.92
E	-0.4760	0.0838	-5.68	0.000	4.46
F	-5.185	0.462	-11.21	0.000	28.42
H	-3.160	0.342	-9.25	0.000	2.41

จากตารางที่ 1 พบว่ามีปัจจัยบางตัวที่ไม่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองและถูกนำออกไปในกระบวนการลดตัวแปร ได้แก่ปัจจัย I และ G เนื่องจากค่า P-Value ที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นนั้นมีค่ามากกว่า 0.010 ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้จากตารางที่ 1 จะสามารถสังเกตได้ว่าค่า Variance Inflation Factor (VIF) จากผลนั้นมีค่าสูงมากกว่า 10 ในปัจจัย B, C, D และ F ซึ่งบ่งบอกถึงปัจจัยดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์นั้นไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์เพื่อจัดกลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันในด้านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอยจึงเลือกปัจจัยอุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก (D) เพื่อเป็นตัวแทนปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทำการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นด้วยวิธีลดตัวแปร ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์จึงได้ผลตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยจากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (2)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	71.3	37.0	1.93	0.000	
D	2.749	0.356	7.72	0.000	1.08
E	-0.788	0.147	-5.34	0.000	1.05
H	-5.272	0.456	-11.55	0.000	1.08

จากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นกับข้อมูลย้อนหลังหลังจากจัดรูปปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันให้แทนด้วยอุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก พบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานของระบบการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นคือ D, E และ H ความเข้มข้นของน้ำกาแฟด้วยค่า P-Value จากตารางที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.000 จึงสามารถบ่งบอกได้ถึงความมีนัยสำคัญของปัจจัยดังกล่าว ซึ่งสามารถนำมาสร้างสมการเชิงเส้นเพื่ออธิบายผลกระทบจากปัจจัยต่ออัตราการใช้พลังงานได้ดังสมการที่ 1

$$Y1 = 71.3 + 2.749 * D - 0.788 * E - 5.272 * H \qquad (1)$$

โดยสมการเชิงเส้นที่ 1 นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่ปรับแล้ว (Adjusted R-square) ที่ 78.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการอธิบายกระบวนการผลิตได้ดี

2.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบทดลองนั้นเป็นวิธีการเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือผลกระทบจากปัจจัยที่เกิดต่อตัวแปรตอบสนองตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไป [6]

2.3.1 การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปนั้นจะมีจำนวนของการทดลองที่เป็นไปได้เท่ากับ a^k เมื่อ a คือระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษาและ k คือจำนวนของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา อาทิเช่น หากทำการทดลองที่ศึกษาปัจจัยจำนวน 3 ปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยมีระดับที่ทำการศึกษาจำนวน 2 ระดับ การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปนั้นจะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 2^3 หรือ 8 การทดลอง อย่างไรก็ตามการทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปนั้นมีข้อเสียคือ จำนวนการทดลองที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ นั้นมีจำนวนมาก ซึ่งส่งผลต่อทรัพยากรและค่าใช้จ่ายที่ในการศึกษาวิจัย ดังนั้นวิธีการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบบางส่วนจึงได้เข้ามีส่วนช่วยในการทำวิจัยนี้ เนื่องจากจำนวนการทดลองที่น้อย ทำให้ทรัพยากรที่ใช้ในการทำการทดลองลดลง [6] [7]

โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วนนั้นจำเป็นต้องกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยกระบวนการผลิตปัจจุบันนั้น ปัจจัย D ถูกควบคุมอยู่ที่ 108 องศาเซลเซียส ปัจจัย E ที่ -0.5 มิลลิบาร์ และปัจจัย H ที่ 44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระดับที่ใช้ในการทำการออกแบบการทดลองนั้นมาจากค่ามาตรฐานสูงสุดและต่ำสุดเพื่อไม่ให้เกิดผลเสียต่อกระบวนการผลิตหรือเครื่องจักรดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ 1	ระดับ 2
D	105	110
E	-0.65	-0.55
H	42	48

จากนั้นทำการวิเคราะห์จำนวนตัวอย่างและการทำซ้ำสำหรับการออกแบบการทดลอง พบว่าจำนวนการทำซ้ำนั้นมีค่าเท่ากับ 2 (อำนาจการทดสอบเท่ากับ 93.67 เปอร์เซ็นต์) จึงทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลด้วย 3 ปัจจัย 2 ระดับและทำซ้ำ 2 รอบ เพื่อยืนยันผลของการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยจากการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		128.093	0.871	146.98	0.000	
D	2.803	1.402	0.577	2.43	0.038	1.00
E	-15.86	-7.93	1.15	-6.87	0.000	1.00
H	-3.271	-1.635	0.231	-7.09	0.000	1.00

ผลจากการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลนั้นพบว่าปัจจัย D E และ H นั้นมีผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานในระบบอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถอธิบายได้ตามสมการที่ 2 ดังนี้

$$Y1 = 128.09 + 1.402 * D – 7.93 * E – 1.635 * H \quad (2)$$

โดยสมการที่ 2 นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่ปรับแล้วที่ 89.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งบ่งบอกความสามารถในการอธิบายกระบวนการผลิตได้ดี

2.3.2 การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite

การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite (CCD) นั้นเหมาะสมกับการศึกษาหรือการสร้างสมการที่มีปัจจัยสัมพันธ์กันในรูปแบบของโพลิโนเมียลดีกรี 2 (Second-order Model) จากงานวิจัยพบว่าการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite นั้นมีความยืดหยุ่นสูงและมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยในรูปแบบโพลิโนเมียลดีกรี 2 โดยการออกแบบการทดลองของ CCD นั้นจะแบ่งส่วนของการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของการทดลองแฟคทอเรียล ส่วนของจุดศูนย์กลางและส่วนของแกน [6]

โดยการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite นั้นได้ใช้โปรแกรมมินิแทปในการกำหนดแผนการทดลองโดยใช้ระดับปัจจัยจากตารางที่ 3 รวมทั้งหมด 20 การทดลอง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยจากการออกแบบการทดลอง CCD

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	134.622	0.232	579.06	0.000	
H	-4.212	0.281	-14.97	0.000	1.00
D	1.453	0.281	5.16	0.000	1.00

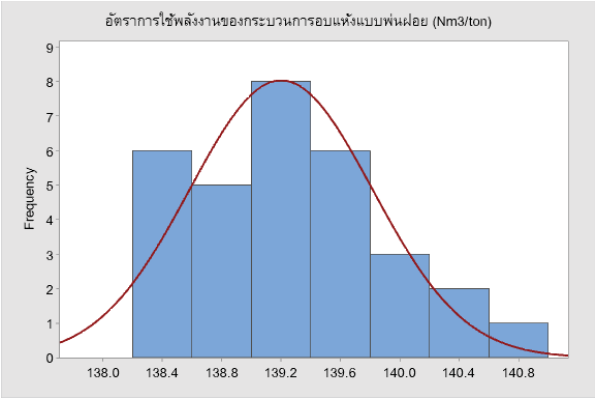
จากการออกแบบการทดลอง CCD พบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานของระบบทำแห้งแบบพ่นฝอยได้แก่ H และ D จากตารางที่ 5 มีค่า P-value ที่ 0.000 และ 0.000 ตามลำดับซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถบ่งบอกได้ว่าปัจจัยที่สองตัวดังกล่าวมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานของระบบทำให้แบบพ่นฝอย จากตารางที่ 5 นั้นจะสามารถสร้างสมการเพื่ออธิบายตัวแปรตอบสนองได้ดังสมการที่ 3

$$Y1 = 142.0 – 1.685 * H + 0.727 * D \quad (3)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่ปรับแล้วของสมการที่ 3 นั้นมีค่าเท่ากับ 92.90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถบ่งบอกความสามารถในการอธิบายความเป็นไปของระบบได้อย่างดี ซึ่งจากผลการออกแบบการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิอากาศร้อนขาออก (ปัจจัย H) กำหนดที่ 105 องศาเซลเซียสและความเข้มข้นของน้ำกาแฟ (ปัจจัย D) กำหนดที่ 45 เปอร์เซ็นต์เหมาะสมกับการผลิต เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำกาแฟที่มากขึ้นจะส่งผลให้พลังงานที่ใช้ระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ลดลง และอุณหภูมิของระบบการทำแห้งที่ลดลงนั้นเกิดจากอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าที่ลดลงทำให้พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศลดลง เพื่อยืนยันผลการออกแบบการทดลองในแง่ของอัตราการใช้พลังงานของระบบทำแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผ่านความชื้นของผลิตภัณฑ์

2.4 การยืนยันผลการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองจะได้ปัจจัยที่เหมาะสมกับการผลิตคือความเข้มข้นของน้ำกาแฟ 48 เปอร์เซ็นต์ และ อุณหภูมิอากาศร้อนขาออกที่ 105 องศาเซลเซียส จึงใช้ปัจจัยดังกล่าวเพื่อนำควบคุมเครื่องจักรและบันทึกผลของตัวแปรตอบสนองได้ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 อัตราการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยในช่วงเวลายืนยันผล

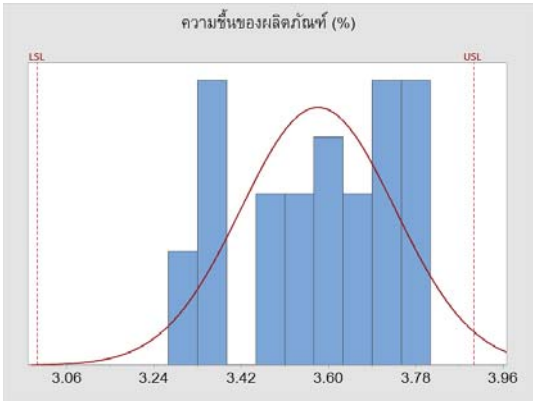
เพื่อทำการยืนยันความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราการใช้พลังงานหลังและก่อนการปรับระดับปัจจัย จึงทำการวิเคราะห์ t-test ซึ่งมีสมมุติฐานดังต่อไปนี้

$$H_0 : \mu_{after} - \mu_{before} \geq 0$$

$$H_1 : \mu_{after} - \mu_{before} < 0$$

จากการวิเคราะห์ T-test พบว่าได้ค่าวิเคราะห์ P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งแสดงว่าการวิเคราะห์นั้นปฏิเสธ H_0 ซึ่งทำให้ทราบได้ว่าอัตราการใช้พลังงานก่อนและหลังจากการปรับระดับปัจจัยนั้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานอยู่ที่ 139.2 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อตันผลิตภัณฑ์คิดเป็น 2.23 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในปีพ.ศ. 2564

นอกจากอัตราการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต การยืนยันผลการทดลองในมุมมองคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นสามารถแสดงได้ด้วยปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความชื้นของผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลายืนยันผล

จากมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 3.0 ถึง 3.9 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังจากการปรับระดับปัจจัยนั้นสามารถคงอยู่ในช่วงมาตรฐานได้ ซึ่งบ่งบอกถึงปัจจัยที่ใช้ในการลดพลังงานนั้นไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3. สรุป

ผลจากการศึกษาและการออกแบบการทดลองพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการใช้พลังงานในระบบอบแห้งแบบพ่นฝอยคือ อุณหภูมิของอากาศร้อนขาออกและความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมคือ 105 องศาเซลเซียส และ 48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยระดับของปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในผลิตนั้นลดลงที่ 139.2 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อตันผลิตภัณฑ์คิดเป็น 2.23 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้พลังงานในปีพ.ศ. 2564 โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้เฉลี่ย 252,174 บาทต่อปี

4. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ผลของงานวิจัยนี้ถูกทำขึ้นในช่วงระยะเวลาที่อากาศภายนอกมีความชื้นต่ำ ดังนั้นหากต้องการระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตในทุกช่วงเวลานั้น การเก็บข้อมูลและการเปรียบเทียบค่าในแต่ละช่วงเวลานั้นจะสามารถช่วยให้การวิเคราะห์การใช้พลังงานในระบบนั้นมีความแม่นยำและสามารถตอบสนองในทุกสภาพอากาศได้ดี

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณครอบครัวเกิดเชื้อ และ น.ส. ญาณิศา ทองศิวะรักษ์ สำหรับคำแนะนำและคำปรึกษาตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยนี้ รวมถึงให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการจัดทำงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] Okada, M., M.A. Rao., J.E. Lima and M. Torloni. 1980. Energy consumption and the potential for conservation in a spray-dried coffee plant; Journal of food science (45): 685-688.

[2] Kumar, S., X. Xu., R. Gokhale and D.J. Burgess. 2014. Formulation parameters of crystalline nanosuspensions on spray drying process: a DoE approach; International Journal of Pharmaceutics (464): 34-45.

[3] Mujumdar, A.S. 2015. Handbook of Industrial Drying. CRC press, London

[4] Atuonwu, J.C. and A.G.F. Stapley. 2017. Reducing energy consumption in spray drying by monodisperse droplet generation: modelling and simulation; Energy Procedia (123): 235-242.

[5] Patil, V. , A. K. Chauhan and R. P. Singh. 2013. Optimization of the spray- drying process for developing guava powder using response surface methodology; Powder Technology (253): 230 - 236.

[6] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ท้อป., กรุงเทพฯ.

[7] Pohlen, M. , Z. Lavric. , C. Prestidge and R. Dreu. 2020. Preparation, physicochemical characterisation and DoE optimisation of a spray-dried dry emulsion platform for delivery of a poorly soluble drug, simvastatin; AAPS PharmSciTech (21): 119-145.

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขุ่นของน้ำที่กระบวนการตกตะกอน กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

An Analysis of Operational Factors Affecting the Clarified Water Turbidity in Mahasawat Water Treatment Plant

สิริภาคย์ ลัทธิธรรม และพาพิศ วงศ์ชัยสุวัฒน์
สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: siripak.la@ku.th

Siripak Latthitham
Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: siripak.la@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการควบคุมถังตกตะกอนและค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอน นำเสนอความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปแบบของแผนภูมิ และกำหนดแนวทางการควบคุมถังตกตะกอนเพื่อให้ค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนเป็นไปตามเกณฑ์คุณภาพที่กำหนด โดยทำการศึกษาถังตกตะกอน 3A ของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ซึ่งเป็นถังตกตะกอนชนิด Solid Contact โดยใช้ข้อมูลในอดีตตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ทั้งข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างน้ำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ และข้อมูลที่จดบันทึกโดยผู้ปฏิบัติงานควบคุมถังตกตะกอน ผลจากการดำเนินการพบว่าการสร้างแบบจำลองด้วยการใช้อัลกอริทึม K-Means Clustering ในการแบ่งกลุ่มของน้ำดิบร่วมกับการสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model) สำหรับแต่ละกลุ่มข้อมูลจะช่วยให้ผลการทำนายค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนดีกว่าการใช้แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรงเพียงอย่างเดียว รวมถึงแบบจำลองที่ใช้อัลกอริทึม AutoFeatRegressor ในการทำ Feature Engineering จะให้ผลลัพธ์ในการทำนายที่ดีกว่าแบบจำลองที่ใช้วิธีการเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปรเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการใช้อัลกอริทึม AutoFeatRegressor ในการทำ Feature Engineering จะทำให้การตีความแบบจำลองมีความยากและซับซ้อนเนื่องจากตัวแปรที่สร้างขึ้นใหม่มีการแปลงข้อมูล (Data Transformation) และอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร (Feature Interaction) ในขณะที่การใช้วิธีการเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปรจะทำให้ทราบความสำคัญของตัวแปรแต่ละตัว และสามารถนำตัวแปรที่มีความสำคัญสูงไปใช้ในการกำหนดเป็นแนวทางในการควบคุมถังตกตะกอนได้

คาสาคัญ: โรงงานผลิตน้ำ, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, ค่าความขุ่น

Abstract

The objectives of this research are to develop mathematical models that illustrate the relationship between clarifier operational factors and clarified water turbidity, to visualize that relationship, and to establish guidelines for controlling the clarifier to maintain the required quality standard. The sludge clarifier 3A, a solid-contact clarifier, was investigated by collecting experimental laboratory data and operator-recorded data since 2013. The results indicate that models developed using a combination of K-means clustering and linear regression algorithms are more accurate at predicting clarified water turbidity than a single model developed using only a linear regression algorithm. Models that use an AutoFeatRegressor algorithm for feature engineering achieve a higher level of accuracy than models that use multiple-lag features. However, using an AutoFeatRegressor algorithm for feature engineering results in a poorer interpretation of the relationship due to the transformation and interaction of the original features, whereas using multiple-lag features provides information about the relative importance of each feature, which can be used to establish guidelines for controlling the clarifier.

Keywords: Water treatment plant, Mathematical model, Turbidity

1. บทนำ

การประปานครหลวงผลิตน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำ 4 แห่ง รองรับพื้นที่ 3 จังหวัดได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ โดยโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์เป็นโรงงานผลิตน้ำแห่งที่ 4 ของการประปานครหลวง มีกำลังการผลิตน้ำประปาเฉลี่ย 1.6 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ความขุ่นของน้ำเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่สำคัญ โรงงานผลิตน้ำจะต้องทำการกำจัดความขุ่นในของน้ำดิบผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การตกตะกอน และการกรอง โดยโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์กำหนดค่าควบคุมของค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนที่ไม่เกิน 5 NTU โดยการควบคุมถังตกตะกอนให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานดังกล่าวจะต้องพิจารณาปัจจัยในการควบคุมคุณภาพการผลิตหลายประการ เช่น คุณภาพของน้ำดิบ ปริมาณของสารเคมีที่นำมาใช้ในการผลิต และการควบคุมปริมาณตะกอนในถังตกตะกอน อย่างไรก็ตามจากสถิติของตัวอย่างน้ำจากถังตกตะกอนตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2556 ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2564 พบว่ามีค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนจากถังตกตะกอนเฟส 3 สูงกว่า 5 NTU ร้อยละ 29.17 ของตัวอย่างทั้งหมด

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขุ่นของน้ำที่กระบวนการตกตะกอนของถังตกตะกอน 3A ซึ่งเป็นตัวแทนของถังตกตะกอนชนิด Solid Contact โดยใช้วิธีการรวบรวมข้อมูลการผลิตที่เกิดขึ้นในอดีตเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการควบคุมถังตกตะกอนและค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอน ทำความเข้าใจกับความสัมพันธ์ และกำหนดเป็นแนวทางในการควบคุมถังตกตะกอน นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปต่อยอดสำหรับระบบอัตโนมัติ (Automation) ที่สามารถแนะนำผู้ปฏิบัติงานของการประปานครหลวงในการควบคุมถังตกตะกอนให้มีความเหมาะสมและประหยัดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

C.W. Baxter *et al.* (2002) ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับกระบวนการผลิตน้ำควรเป็นข้อมูลที่ครอบคลุมทั้งสภาวะการผลิตที่ปกติและไม่ปกติ และควรครอบคลุมอย่างน้อย 1 ปี โดยได้ศึกษาการใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network, ANN) ในการทำนายค่าความขุ่นของน้ำได้ได้จากกระบวนการผลิตพบว่าให้ค่าการทำนายที่ดีเมื่อนำไปทดสอบกับชุดข้อมูลใช้งานจริง (Production Set) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.88 และ MAE เท่ากับ 0.003 NTU โดยมีข้อเสนอแนะว่าการจัดกลุ่ม (Clustering) ข้อมูลก่อนนำมาสร้างแบบจำลองอาจให้ผลการทำนายที่ดีขึ้น

C.M. Kim *et al.* (2016) ได้ศึกษาการทำนายค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต โดยใช้แบบจำลอง K-Means Clustering ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มของข้อมูล ร่วมกับแบบจำลอง ANFIS ซึ่งเป็นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยพบว่าให้ผลการทำนายที่ดี ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.87 และ MAPE เท่ากับ 18.75 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใช้แบบจำลอง ANFIS เพียงอย่างเดียวจะให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.84 และ MAPE เท่ากับ 20.87 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเนื่องจากแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมทำให้ไม่สามารถตีความความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ และกำหนดเป็นแนวทางการควบคุมได้

J.O Odigure *et al.* (2005) ได้ศึกษาการทำนายค่าความขุ่นของน้ำจากกระบวนการตกตะกอนโดยใช้แบบจำลองที่มีลักษณะเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ผ่านตัวแปรคุณภาพน้ำ 3 ตัวได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นด่าง และค่า pH ของน้ำดิบโดยมีสมมติฐานเกี่ยวกับตัวแปรดังนี้

1. สิ่งเจือปนในน้ำมีการเคลื่อนที่แบบ Thermal Brownian ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะยิ่งทำให้อนุภาคมีโอกาสจับตัวกันและมีการตกตะกอนมากขึ้น
2. เนื่องจากสูตรเคมีของการจับตะกอนของสารส้มเป็นดังนี้

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2$$

หากค่าความเป็นด่าง (HCO_3) ในน้ำมากขึ้นจะทำตกตะกอนได้ดีขึ้น

3. เนื่องจากสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำดิบจะมีประจุไฟฟ้ารวมที่ผิวเป็นลบ ซึ่งอนุภาคที่มีประจุเป็นลบเหมือนกันจะเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคทำให้ไม่ตกตะกอน หากปรับค่า pH ของน้ำให้ลดลงเท่ากับจุดที่ทำให้ประจุไฟฟ้ารวมที่ผิวของอนุภาคเท่ากับศูนย์ หรือจุดไอโซอิเล็กทริก (pH_{is}) จะทำให้แรงผลักระหว่างประจุลดลง ดังนั้นผลต่างระหว่างค่า pH ของน้ำดิบ และ pH_{is} ที่มากขึ้นจะทำให้กระบวนการตกตะกอนยากมากขึ้น โดยดินเหนียวและฮิวมัสซึ่งมีค่า pH_{is} เท่ากับ 7.1 และ 7.0 ตามลำดับ

โดยสมการทำนายค่าความขุ่นที่ได้เป็นดังสมการที่ (1)

$$T = 2.20673 \times 10^{-11} \times T_0 \times 10^{0.045606\Delta pH} \times t^{5.35007} \times Alk^{1.55099} \quad (1)$$

โดยที่ T คือ ค่าความขุ่นของน้ำที่ต้องการทำนาย T_0 คือ ค่าความขุ่นของน้ำดิบ t คือ อุณหภูมิของน้ำดิบ Alk คือ ค่าความเป็นด่างของน้ำดิบ และ ΔpH คือผลต่างระหว่าง pH ของน้ำดิบและ pH_{is}

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสามารถสร้างแบบจำลองทำนายค่าความขุ่นของน้ำจากถังตกตะกอนในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้ อย่างไรก็ตามผลลัพธ์จากการทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงให้ผลที่ได้ไม่ค่อยดีนักโดยผู้ศึกษาคาดว่าเกิดจากการใช้ตัวแปรที่ไม่มากเพียงพอ

Z. Pandilov and M. Stojkov (2019) ได้ศึกษาการ Optimization กระบวนการผลิตน้ำประปา เพื่อให้สามารถผลิตน้ำประปาที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน และควบคุมไม่ให้ต้นทุนค่าสารเคมีที่ใช้ในการผลิตสูงเกินไป โดยใช้แบบจำลอง ANFIS และแบบจำลอง Linear Regression โดยพบว่าแบบจำลอง Linear Regression ให้ผลการทำนายที่มีความแม่นยำต่ำกว่าแบบจำลอง ANFIS อย่างชัดเจน โดยผู้ศึกษาคาดว่าเกิดจากการทำ Feature Engineering ที่ไม่เพียงพอ

S. Matthew and B. Cristián (2019) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองในการทำนายค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตใน 7 วันข้างหน้าว่ามีค่าน้อยกว่าค่าควบคุมที่ 1 NTU หรือไม่ โดยใช้แบบจำลอง Generalized Linear Model (GLM) และ Random Forest (RF) ในการทำนาย ร่วมกับการใช้เทคนิค Static Correlation Analysis, Dynamic

Correlation Analysis และ Assessment of Variable Importance เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขุ่นดังกล่าว จากการศึกษาโรงงานผลิตน้ำ 6 สถานที่ โดยใช้ค่า AUROC (Area Under the Receiver Operating Characteristic) เป็นตัวชี้วัด พบว่าแบบจำลอง RF ให้ผลลัพธ์โดยส่วนใหญ่ที่ดีกว่า และพบว่าตัวแปรปริมาณน้ำฝนเป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญในทุกสถานที่ รองลงมาเป็นอัตราการไหลของน้ำ

N. Danial and M. Seyyed (2020) ได้ออกแบบการทดลองโดยใช้วิธี Central Composite Design (CCD) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการผลิต และความสามารถในการลดค่าความขุ่นผ่านการทดลอง Jar Test เพื่อหาจุด Optimum ในการจ่ายสารเคมีเพื่อให้ได้ค่าความขุ่นของน้ำตามที่ต้องการ โดยตัวแปรที่นำไปออกแบบได้แก่ ค่าความขุ่นของน้ำดิบ อัตราการจ่ายสารเคมี รอบการหมุนของใบพัดกวนเร็ว รอบการหมุนของใบพัดกวนช้า ค่า pH และระยะเวลาการตกตะกอน โดยทำการทดลองทั้งหมด 86 ครั้ง ได้สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายความสามารถในการกำจัดค่าความขุ่นที่มี R^2 และ R^2 Adjusted เท่ากับ 0.85 และ 0.79 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าตัวแปรที่นำมาใช้งานสามารถทำนายความสามารถในการกำจัดค่าความขุ่นในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ได้

3. กระบวนการวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ข้อมูลคุณภาพน้ำ เป็นข้อมูลอนุกรมเวลา มีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2556 เวลา 1.00 น. ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2564 เวลา 23.00 น. ความถี่ในการเก็บข้อมูลทุก 2 - 4 ชั่วโมง ได้แก่ ค่าความขุ่นของน้ำดิบ หน่วย NTU ชื่อตัวแปร RW_TURBID ค่า pH ของน้ำดิบ ชื่อตัวแปร RW_PH ค่าความเป็นด่างของน้ำดิบ หน่วย มิลลิกรัมต่อลิตรของ $CaCO_3$ ชื่อตัวแปร RW_ALK และค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนของถังตกตะกอน 3A หน่วย NTU ชื่อตัวแปร CW3A_TURBID

3.1.2 ข้อมูลการสูบน้ำและการจ่ายสารเคมี เป็นข้อมูลอนุกรมเวลา มีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 เวลา 1.00 น. ถึงวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2564 เวลา 0.00 น. ความถี่ในการเก็บข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง ได้แก่ ข้อมูลอัตราการสูบน้ำดิบเฟส 3 หน่วย ลบ.ม./วินาที ชื่อตัวแปร FLOWPH3 ข้อมูลอัตราการจ่ายสารส้มเฟส 3 หน่วย PPM ชื่อตัวแปร ALUMDOSEPH3 และข้อมูลการจ่ายคลอรีนก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำ หน่วย มก./ลิตร ชื่อตัวแปร PRECL3

3.1.3 ข้อมูลการควบคุมถังตกตะกอน เป็นข้อมูลอนุกรมเวลา มีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 เวลา 2.00 น. ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2564 เวลา 22.00 น. ความถี่ในการเก็บข้อมูลทุก 4 ชั่วโมง ได้แก่ ข้อมูลการตั้งค่าระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนของถังตกตะกอน 3A ท่อระบายตะกอน 1 และ 2 หน่วย วินาที ชื่อตัวแปร PH3_OPENTIME_1A และ PH3_OPENTIME_2A ข้อมูลการตั้งค่าคาบการระบายตะกอนของถังตกตะกอน 3A ท่อระบายตะกอน 1 และ 2 หน่วย นาที ตัวแปร PH3_INTERVAL_1A และ PH3_INTERVAL_2A ข้อมูลรอบการหมุนของมอเตอร์ใบกวนของถังตกตะกอน 3A หน่วย รอบ/นาที ชื่อตัวแปร PH3A_TURBINE ข้อมูลปริมาณตะกอนของถังตกตะกอน 3A ที่จุดเก็บตัวอย่าง R T M B และ L หน่วย เปอร์เซ็นต์ ชื่อตัวแปร PH3A_R PH3A_T PH3A_M PH3A_B และ PH3A_L

3.2 สำรวจและเตรียมความพร้อมของข้อมูล

ดำเนินการสำรวจและเตรียมความพร้อมของข้อมูลก่อนนำไปใช้งานโดยมีหลักการดังนี้

3.2.1 เนื่องจากข้อมูลเป็นอนุกรมเวลา จึงทำการแทนที่ข้อมูล (แถว) ที่หายไป หรือข้อมูลในช่วงที่ไม่ได้มีการบันทึกค่าของตัวแปรแต่ละตัวด้วยวิธี Linear Interpolation

3.2.2 สร้างแผนภูมิเส้นเพื่อพิจารณาข้อมูล (แถว) ที่มีค่าสูง-ต่ำผิดปกติ (Outlier) และแทนที่ข้อมูลเหล่านั้นด้วยวิธี Linear Interpolation

3.2.3 ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลน้อยออกจากการพิจารณา ได้แก่ตัวแปร PH3A_T และ PH3A_M

3.2.4 เนื่องจากตัวแปรข้อมูลการตั้งค่าระยะเวลาการเปิดระบายตะกอน (PH3_OPENTIME_1A และ PH3_OPENTIME_2A) และข้อมูลการตั้งค่าคาบการระบายตะกอน (PH3_INTERVAL_1A และ PH3_INTERVAL_2A) เป็นข้อมูลที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นตัวแปรต้นสำหรับการทำนายค่าความขุ่นของน้ำ จึงทำการสร้างตัวแปรผลรวมของอัตราส่วนของระยะเวลาการเปิดระบายน้ำตะกอนต่อคาบการระบายน้ำตะกอนทั้ง 2 ท่อ ชื่อตัวแปร PH3_OPEN_INT_SUM จากตัวแปรเหล่านั้น และตัดตัวแปรเดิมเหล่านั้นออกจากการพิจารณา

3.2.5 สร้างชุดข้อมูล (Data Frame) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 เวลา 1.00 น. ถึงวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2564 เวลา 0.00 น. ความถี่ของข้อมูลทุก 2 ชั่วโมง และรวมข้อมูลที่ทำความสะอาดแล้วตามข้อ 3.2.1 ถึง 3.2.4 เข้าด้วยกันด้วยวิธีแบบ Left Join

3.2.6 สร้างตัวแปรตาม (Y) จากการเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปร CW3A_TURBID ไปข้างหน้า 1 ข้อมูล (เพื่อทำนายค่าความขุ่นของน้ำจากถังตกตะกอน 3A ที่ 2 ชั่วโมงข้างหน้า)

3.2.7 แปลงข้อมูลในช่วงที่มีการหยุดการผลิตจริง เช่น ข้อมูล FLOWPH3 และ CW3A_TURBID ที่มีค่าเท่ากับ 0 ให้เป็น Null Value

ได้ชุดข้อมูล (Data Frame) ที่เกี่ยวข้องกับถังตกตะกอน 3A ก่อนทำ Feature Engineering มีค่าทางสถิติของข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1

3.3 สร้างตัวแปรใหม่และคัดเลือกตัวแปร

3.3.1 สร้างตัวแปรใหม่จากองค์ความรู้

เนื่องจากตัวแปรต้นบางตัวอาจมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากขึ้นเมื่อมีค่าเข้าใกล้หรือออกห่างจากค่ากลางมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการทำนายของแบบจำลอง Linear Regression ดังนั้นจึงทำการสร้างตัวแปรใหม่โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 2

3.3.2 สร้างตัวแปรใหม่จากการเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปรเดิม

เนื่องจากตัวแปรต้นที่ได้ทำการเตรียมไว้ในข้อ 3.2 เป็นตัวแปรที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกันทั้งหมดเพื่อใช้ในการทำนายตัวแปรตาม (Y) ที่เวลา

2 ชั่วโมงข้างหน้า อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้วตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อตัวแปรตามอาจไม่ใช้ตัวแปรต้นที่เวลาปัจจุบัน (2 ชั่วโมงก่อนหน้าของตัวแปรตาม) ดังนั้นจึงทำการสร้างตัวแปรใหม่จากการเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปรเดิมโดยมีหลักการดังนี้

ก. ตัวแปรจากการเหลื่อมช่วงเวลาไป n ข้อมูลก่อนหน้า (2n ชั่วโมง) โดยเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปรเดิมไปสูงสุด 2 ข้อมูลก่อนหน้า เช่น ตัวแปร RW_TURBID_shift2 หมายถึง ตัวแปร RW_TURBID เหลื่อมเวลา 2 ข้อมูล (4 ชั่วโมงก่อนหน้า)

ข. ตัวแปรจากการหาผลต่างของข้อมูล ณ เวลาปัจจุบันลบด้วยข้อมูล 2 ชั่วโมงก่อนหน้า เช่น ตัวแปร RW_ALK_shift0_1 หมายถึง ตัวแปร RW_ALK ลบด้วยตัวแปร RW_ALK เหลื่อมเวลา 1 ข้อมูล (2 ชั่วโมงก่อนหน้า)

3.3.3 สร้างตัวแปรใหม่ด้วยอัลกอริทึม AutoFeatRegressor

สร้างตัวแปรใหม่อัตโนมัติด้วยอัลกอริทึม AutoFeatRegressor จากไลบรารี่ AutoFeat ซึ่งเป็นไลบรารี่ในไพธอน ที่นำตัวแปรมาทำการแปลงข้อมูล (Data Transformation) และอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร (Feature Interaction) เพื่อให้เกิดเป็นตัวแปรใหม่ที่มีลักษณะ Non-linear เพื่อให้ข้อมูลที่มีสามารถใช้งานกับแบบจำลอง Linear Regression ได้เกิดเป็นจำนวนตัวแปรต้นรวมทั้งหมด (ของเดิมและตัวแปรที่สร้างขึ้นใหม่) 137 ตัวแปร

3.3.4 คัดเลือกตัวแปรด้วยอัลกอริทึม FeatureSelector

คัดเลือกตัวแปรอัตโนมัติด้วยอัลกอริทึม FeatureSelector จากไลบรารี่ AutoFeat ลดจำนวนตัวแปรต้นจาก 137 ตัว เหลือ 84 ตัว

ตารางที่ 1 ค่าทางสถิติของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับถังตกตะกอน 3A ระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 เวลา 1.00 น. ถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2564 เวลา 23.00 น. ก่อนสร้างตัวแปรใหม่

	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	จำนวนข้อมูล
RW_TURBID (NTU)	33.54	18.02	12.60	243.00	25,200
RW_PH	8.00	0.14	7.30	8.45	25,200
RW_ALK (มก./ลิตร)	99.66	9.47	68.00	149.00	25,200
FLOWPH3 (ลบ.ม./ลิตร)	4.49	0.69	2.00	5.20	25,109
ALUMDOSEPH3 (PPM)	21.08	6.61	13.00	55.00	25,200
PRECL3 (มก./ลิตร)	0.60	0.57	0.00	2.10	25,200
PH3_OPEN_INT_SUM (วินาที/นาที)	1.99	2.42	0.08	48.00	22,579

ตารางที่ 1 ค่าทางสถิติของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับถังตกตะกอน 3A ระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 เวลา 1.00 น. ถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2564 เวลา 23.00 น. ก่อนสร้างตัวแปรใหม่ (ต่อ)

ชื่อตัวแปร	ค่าสถิติ				
PH3A_TURBINE (รอบต่อนาที)	661.32	92.46	250.00	850.00	24,825
PH3A_R (เปอร์เซ็นต์)	6.74	4.54	0.00	34.00	24,845
PH3A_B (เปอร์เซ็นต์)	0.84	2.67	0.00	24.50	24,845
PH3A_L (เปอร์เซ็นต์)	2.78	4.69	0.00	32.50	24,845
Month	6.33	3.39	1.00	12.00	25,200
Time	12.00	6.90	1.00	23.00	25,200
Y (NTU)	3.96	1.53	0.23	20.40	24,776

ตารางที่ 2 รายชื่อตัวแปรใหม่จากองค์ความรู้

ชื่อตัวแปร	การคำนวณ
RW_PH_diff	Abs(7 - RW_PH)
PH3A_R_diff	Abs(Mean(PH3A_R) - PH3A_R)
PH3A_B_diff	Abs(Mean(PH3A_B) - PH3A_B)
PH3A_L_diff	Abs(Mean(PH3A_L) - PH3A_L)
Month_diff	Abs(6.5 - Month)
Time_diff	Abs(12 - Time)

3.4 เตรียมชุดข้อมูลและสร้างแบบจาลอง

เนื่องจากตัวแปรตาม (Y) ที่ต้องการทำนายอาจไม่ได้มีจุดตัดแกน Y ที่ 0 จึงต้องทำการเพิ่มคอลัมน์ const ซึ่งเป็นค่าคงตัวที่มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับใช้ในการหาสัมประสิทธิ์ค่าคงตัว และแบ่งชุดข้อมูลเรียนรู้และทดสอบเป็นช่วงหน้า-หลัง ในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 จากนั้นนำข้อมูลชุดเรียนรู้ไปสร้างแบบจำลอง Linear Regression ด้วยอัลกอลิทึม Ordinary Least Squared (OLS) และตัดตัวแปรที่ให้ค่า P-Value สูงเมื่อทำการทดสอบแบบ T-Test (ตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญกับตัวแปรตาม) ทำซ้ำจนตัวแปรทุกตัวมีค่า P-Value ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด (0.05) พบว่าแบบจำลองมีค่าชี้วัดตามตารางที่ 3

3.5 แบ่งประเภทของน้ำดิบด้วยอัลกอริทึม K-Means Clustering

เนื่องจากผลการทำนายค่าความขุ่นที่ได้ในข้อ 3.4 มีความแม่นยำต่ำ จึงทำการแบ่งคุณภาพของน้ำดิบเป็นกลุ่มต่าง ๆ และแยกการสร้างแบบจำลองในการทำนายค่าความขุ่นตามประเภทของน้ำดิบ ซึ่งอาจเพิ่มความแม่นยำในการทำนายได้ โดยหาจำนวนกลุ่ม (K) ที่เหมาะสมด้วยวิธี Elbow Method ซึ่งเป็นการหาผลรวมของระยะห่างจากจุด Centroid ของแต่ละกลุ่ม พบว่าจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 4 จึงทำการแบ่งกลุ่มน้ำดิบเป็น 4 กลุ่มซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้

3.4.1 กลุ่มที่ 1 คือกลุ่มที่มีค่าความขุ่นของน้ำดิบปานกลาง (44 – 115 NTU) ค่า pH มีช่วงกว้าง (7.30 – 8.42) ค่า Alkaline มีช่วงกว้าง (68 – 128 มก./ลิตร)

3.4.2 กลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่มีปริมาณมากที่สุด เป็นกลุ่มที่มีค่าความขุ่นของน้ำดิบต่ำ (12.6 – 47.5 NTU) ค่า pH มีช่วงกว้าง (7.40 – 8.44) ค่า Alkaline ปานกลาง (75 - 104 มก./ลิตร)

3.4.3 กลุ่มที่ 3 คือกลุ่มที่มีปริมาณน้อยที่สุด เป็นกลุ่มที่มีค่าความขุ่นของน้ำดิบสูง (116 – 169 NTU) ค่า pH ค่อนข้างต่ำ (7.37 – 7.96) ค่า Alkaline มีช่วงกว้าง (69 – 110 มก./ลิตร)

3.4.4 กลุ่มที่ 4 คือกลุ่มที่มีค่าความขุ่นของน้ำดิบค่อนข้างต่ำ (13 – 51 NTU) ค่า pH ค่อนข้างสูง (7.54 – 8.45) ค่า Alkaline สูง (102 – 149 มก./ลิตร)

3.5 สร้างแบบจาลองโดยแบ่งตามกลุ่มของน้าดิบ

ดำเนินการสร้างแบบจำลองอีกครั้งโดยสร้างตัวแปรใหม่ (Feature Engineering) ตามแนวทางข้อ 3.3.1 และ 3.3.2 ก่อนนำเฉพาะข้อมูลของกลุ่มน้ำดิบที่ต้องการมาสร้างตัวแปรใหม่ด้วยอัลกอริทึม AutoFeatRegressor คัดเลือกตัวแปรด้วยอัลกอริทึม FeatureSelector จากนั้นดำเนินการสร้างแบบจำลองตามแนวทางข้อ 3.4 ได้แบบจำลองใหม่จำนวน 4 แบบจำลอง มีค่าชี้วัดตามตารางที่ 3

3.6 แบบจาลองด้วยการเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปร

ถึงแม้แบบจำลองที่ได้ในข้อ 3.6 จะให้ผลการทำนายดีขึ้นกว่าการสร้างแบบจำลองโดยไม่มีการแบ่งตามกลุ่มน้ำดิบในข้อที่ 3.4 แต่เนื่องจากตัวแปรที่สร้างขึ้นใหม่มีการแปลงข้อมูลและอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรทำให้สามารถตีความหมายของแบบจำลองได้ยาก และยากต่อการนำไปปฏิบัติจริง จึงทำการสร้างแบบจำลองใหม่โดยทำ Feature Engineering ด้วยการเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปรต้นเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจทำให้ผลการทำนายของแบบจำลองดีขึ้นโดยไม่ต้องมีการแปลงข้อมูลและอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร ดังนี้

3.6.1 ดำเนินการสร้างแบบจำลองอีกครั้งโดยดำเนินการสร้างตัวแปรใหม่ (Feature Engineering) ตามแนวทางข้อ 3.3.1 และทำการสร้างตัวแปรใหม่จากการเหลื่อมช่วงเวลาเพิ่มมากขึ้น ดังนี้

ก. ตัวแปรจากการเหลื่อมช่วงเวลาไป n ข้อมูลก่อนหน้า (2n ชั่วโมง) โดยเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปรเดิมไปสูงสุด 12 ข้อมูลก่อนหน้า เช่นตัวแปร RW_TURBID_shift12 หมายถึงตัวแปร RW_TURBID เหลื่อมเวลา 12 ข้อมูล (24 ชั่วโมงก่อนหน้า)

ข. ตัวแปรจากการหาผลต่างของข้อมูล ณ เวลาปัจจุบันลบด้วยข้อมูล n ข้อมูลก่อนหน้า (2n ชั่วโมง) โดยหาผลต่างของข้อมูล ณ เวลาปัจจุบันลบด้วยข้อมูลก่อนหน้าสูงสุด 12 ข้อมูลก่อนหน้า เช่น ตัวแปร RW_ALK_shift0_6 หมายถึง ตัวแปร RW_ALK ลบด้วยตัวแปร RW_ALK เหลื่อมเวลา 6 ข้อมูล (12 ชั่วโมงก่อนหน้า)

3.6.2 นำชุดข้อมูลที่ได้มาคัดเลือกตัวแปรด้วยอัลกอริทึม FeatureSelector จากไลบรารี่ AutoFeat จากนั้นดำเนินการสร้างแบบจำลองตามแนวทางข้อ 3.4 ได้แบบจำลองใหม่จำนวน 4 แบบจำลอง มีค่าชี้วัดตามตารางที่ 3

3.6.3 ปรับขนาดของข้อมูลที่ผ่านการคัดเลือกแล้วในข้อ 3.7.2 ด้วยวิธี Min-Max Scaling แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นไปสร้างแบบจำลอง Linear Regression ด้วยอัลกอลิทึม Ordinary Least Squared อีกครั้งเพื่อดูความสำคัญของตัวแปรจากขนาดของค่าสัมประสิทธิ์

3.7 สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ และกาหนดเป็นแนวทางการควบคุมถังตกตะกอน

คัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญสูงตามข้อ 3.7.3 ที่สามารถอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนของถังตะกอน 3A ที่กลุ่มน้ำดิบต่าง ๆ ได้มาสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์และกำหนดเป็นแนวทางการควบคุมถังตกตะกอน 3A ดังนี้

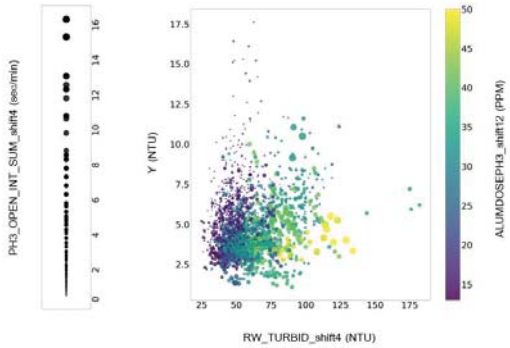
3.7.1 น้ำดิบกลุ่มที่ 1 เลือกตัวแปรดังนี้ แกน X ให้เป็นค่าความขุ่นของน้ำดิบเหลื่อมเวลา 8 ชั่วโมงก่อนหน้า แกนสีให้เป็นโดสของสารส้มเหลื่อมเวลา 24 ชั่วโมงก่อนหน้า แกนขนาดให้เป็นผลรวมของอัตราส่วนระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนต่อคาบการระบายตะกอนเหลื่อมเวลา 8 ชั่วโมงก่อนหน้า โดยมีกราฟดังแสดงในรูปที่ 1 โดยจากภาพพบว่าในช่วงที่มีค่า Y อยู่ในเกณฑ์ควบคุม (5 NTU) จะมีขนาดของ Scatter ปานกลาง-ใหญ่ และจะมีการไล่สีลักษณะทแยงมุมจึงกำหนดแนวทางการควบคุมถังตกตะกอน 3A สำหรับน้ำดิบกลุ่มที่ 1 ดังนี้

ก. น้ำดิบที่ความขุ่นน้อยกว่า 40 NTU จ่ายสารส้ม 15 – 20 PPM
ข. น้ำดิบที่ความขุ่น 40 - 55 NTU จ่ายสารส้มที่ 20 – 30 PPM
ค. น้ำดิบที่ความขุ่น 55 - 70 NTU จ่ายสารส้มที่ 30 – 40 PPM
ง. น้ำดิบที่ความขุ่น 70 - 85 NTU จ่ายสารส้มที่ 40 – 50 PPM
จ. น้ำดิบที่ความขุ่นมากกว่า 85 NTU จ่ายสารส้ม > 50 PPM
ฉ. ควบคุมผลรวมของอัตราส่วนระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนต่อคาบการระบายตะกอนให้ไม่น้อยกว่า 4 วินาที/นาที ตลอดเวลา

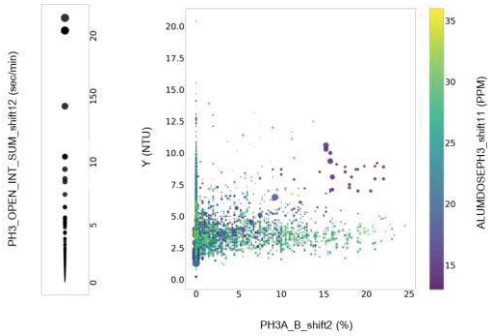
ตารางที่ 3 ค่าชี้วัดของผลการทำนายของแบบจำลองต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง

แบบจำลอง		ชุดเรียนรู้			ชุดทดสอบ		
		MSE	MAE	MAPE	MSE	MAE	MAPE
ก่อนการแบ่งกลุ่ม		1.3960	0.8476	0.2280	1.2382	0.7876	0.2352
	กลุ่ม 1	1.6206	0.9646	0.2128	2.1625	1.1125	0.2850

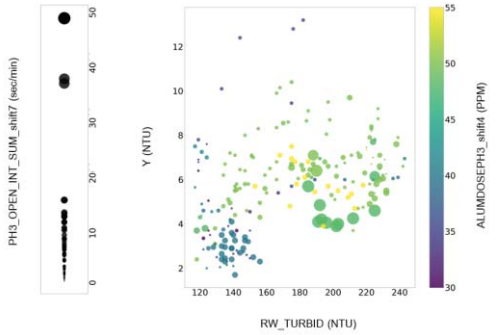
หลังการแบ่งกลุ่มและใช้อัลกอริทึม AutoFeatRegressor	กลุ่ม 2	1.0602	0.7411	0.2006	2.4774	1.1531	0.2303
	กลุ่ม 3	0.5443	0.5582	0.0916	0.4983	0.5569	0.1815
	กลุ่ม 4	0.6477	0.5799	0.2000	0.9255	0.7492	0.2213
หลังการแบ่งกลุ่ม และเพิ่มการเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปรแทนการใช้อัลกอริทึม AutoFeatRegressor	กลุ่ม 1	2.6965	1.1788	0.2694	2.2175	1.1438	0.3088
	กลุ่ม 2	1.3425	0.8271	0.2234	2.5548	1.1502	0.2244
	กลุ่ม 3	0.9028	0.7392	0.1223	0.7187	0.7008	0.2373
	กลุ่ม 4	0.6613	0.5989	0.2091	0.8553	0.7145	0.2086



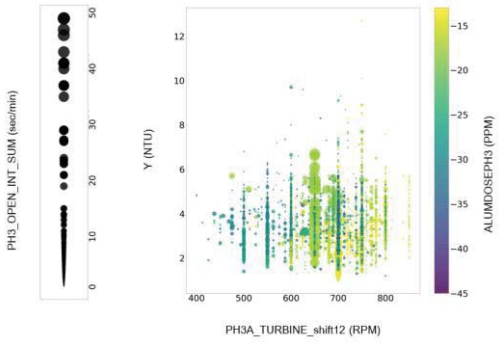
รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตาม (Y) ของน้ำดิบกลุ่มที่ 1



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตาม (Y) ของน้ำดิบกลุ่มที่ 2



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตาม (Y) ของน้ำดิบกลุ่มที่ 3



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตาม (Y) ของน้ำดิบกลุ่มที่ 4

3.8.1 น้ำดิบกลุ่มที่ 2 เลือกตัวแปรดังนี้ แกน X ให้เป็นปริมาณตะกอนที่ชั้น B แกนสีให้เป็นโดสของสารส้ม 22 ชั่วโมงก่อนหน้า แกนขนาดให้เป็นผลรวมของอัตราส่วนระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนต่อคาบการระบายตะกอน 24 ชั่วโมงก่อนหน้า โดยมีกราฟดังแสดงในรูปที่ 2 โดยจากภาพพบว่าในช่วงที่มีปริมาณตะกอนในชั้น B เท่ากับ 0 จะทำให้ไม่สามารถคาดเดาค่าความขุ่นของน้ำได้และมีตัวอย่างที่มีค่าความขุ่นสูงกว่า 5 NTU จำนวนมาก และช่วงที่มีค่าความขุ่นต่ำกว่า 5 NTU มีขนาดของ Scatter ปานกลาง มีสีเขียวอมม่วง กำหนดแนวทางการควบคุมถังตกตะกอน 3A สำหรับน้ำดิบกลุ่มที่ 2 ดังนี้

ก. ควบคุมปริมาณตะกอนที่ชั้นตัวอย่าง B ให้มีค่าไม่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ตลอดเวลา

ข. จ่ายสารส้มไม่น้อยกว่า 18 PPM

ควบคุมผลรวมของอัตราส่วนระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนต่อคาบการระบายตะกอนให้มีค่าอยู่ระหว่าง 3 - 8 วินาที/นาที

3.7.2 น้ำดิบกลุ่มที่ 3 เลือกตัวแปรดังนี้ แกน X ให้เป็นค่าความขุ่นของน้ำดิบ แกนสีให้เป็นโดสของสารส้มเหลื่อมเวลา 8 ชั่วโมงก่อนหน้า แกนขนาดให้เป็นผลรวมของอัตราส่วนระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนต่อคาบการระบายตะกอนเหลื่อมเวลา 14 ชั่วโมงก่อนหน้า โดยมีกราฟดังแสดงในรูปที่ 3 โดยจากภาพพบว่าข้อมูลแบ่งเป็น 2 ส่วนชัดเจน ส่วนแรกคือค่าความขุ่นของน้ำดิบ (แกน X) ที่ต่ำกว่า 160 พบว่าขนาดของ Scatter ในช่วงที่ผ่านค่าควบคุม 5 NTU มีขนาดปานกลาง มีสีเขียวอมม่วง ส่วนที่ 2 คือค่าความขุ่นของน้ำดิบสูงกว่า 160 NTU ซึ่งจากข้อมูลในอดีตพบว่ามีข้อมูลที่ผ่านค่าควบคุม 5 NTU ไม่มากนัก โดยส่วนที่ผ่านค่าควบคุมจะมีขนาดของ Scatter ที่ใหญ่ และมีสีเขียวเข้ม จึง

กำหนดแนวทางการควบคุมถังตกตะกอน 3A สำหรับน้ำดิบกลุ่มที่ 3 ดังนี้

ก. น้ำดิบที่มีค่าความขุ่นต่ำกว่า 160 NTU ให้จ่ายสารส้มที่ประมาณ 40 PPM และควบคุมผลรวมของอัตราส่วนระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนต่อคาบการระบายตะกอนให้อยู่ระหว่าง 10 - 15 วินาที/นาที

ข. น้ำดิบที่มีค่าความขุ่นสูงกว่า 160 NTU ให้จ่ายสารส้มไม่น้อยกว่า 48 PPM และควบคุมผลรวมของอัตราส่วนระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนต่อคาบการระบายตะกอนให้อยู่ระหว่าง 40 - 50 วินาที/นาที

3.7.3 น้ำดิบกลุ่มที่ 4 เลือกตัวแปรดังนี้ แกน X ให้เป็นรอบการหมุนของมอเตอร์ใบกวน แกนสีให้เป็นโดสของสารส้ม แกนขนาดให้เป็นผลรวมของอัตราส่วนระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนต่อคาบการระบายตะกอน โดยมีกราฟดังแสดงในรูปที่ 4 โดยจากภาพพบว่าข้อมูลแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือรอบการหมุนของมอเตอร์ใบกวน (แกน X) ที่ไม่เกิน 550 RMP พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่ผ่านค่าควบคุม 5 NTU โดยขนาดของ Scatter มีขนาดปานกลาง มีสีเขียวอมม่วง ส่วนที่ 2 คือรอบการหมุนของมอเตอร์ใบกวน (แกน X) ที่สูงกว่า 550 RMP พบว่าในส่วนนี้มีข้อมูลทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านค่าควบคุม 5 NTU โดยส่วนที่ผ่านค่าควบคุมจะมีขนาดของ Scatter ที่ค่อนข้างเล็ก และมีสีเหลือง จึงกำหนดแนวทางการควบคุมถังตกตะกอน 3A สำหรับน้ำดิบกลุ่มที่ 4 ดังนี้

ก. ควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ใบกวนให้ไม่เกิน 550 RMP จ่ายสารส้มที่ประมาณ 30 PPM และควบคุมผลรวมของอัตราส่วนระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนต่อคาบการระบายตะกอนให้อยู่ระหว่าง 5 - 10 วินาที/นาที

ข. ในกรณีที่ต้องการควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ใบกวนให้มากกว่า 550 RPM ให้จ่ายสารส้มที่ไม่เกิน 15 PPM และควบคุมผลรวมของอัตราส่วนระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนต่อคาบการระบายตะกอนให้ไม่เกิน 5 วินาที/นาที

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

การสร้างแบบจำลองโดยการใช้อัลกอริทึม K-Means Clustering ในการแบ่งกลุ่มของน้ำดิบร่วมกับการสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model) สำหรับแต่ละกลุ่มข้อมูลจะช่วยให้ผลการทำนายค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนดีกว่าการใช้แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรงเพียงอย่างเดียว โดยทำการแบ่งประเภทของน้ำดิบได้เป็น 4 กลุ่ม

แบบจำลองที่ทำการ Feature Engineering ด้วยอัลกอริทึม AutoFeatRegressor จะให้ผลลัพธ์ในการทำนายที่ดีกว่าการใช้วิธีการเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปรเพียงอย่างเดียว เนื่องจากตัวแปรใหม่ที่ได้จากอัลกอริทึม AutoFeatRegressor ถูกสร้างขึ้นจากการแปลงข้อมูลและอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร ทำให้มีลักษณะเป็น Non-linear และสามารถใช้งานกับแบบจำลอง Linear Regression ได้ดีมากกว่าอย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะทำให้การตีความแบบจำลองมีความซับซ้อนและยากที่จะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรไหนส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างไร

ถึงแม้แบบจำลองที่ทำการ Feature Engineering ด้วยวิธีการเหลื่อมช่วงเวลาของตัวแปรจะให้ความแม่นยำในการทำนายที่ต่ำกว่าแต่ทำให้สามารถทราบระดับความสำคัญของตัวแปรแต่ละตัว และสามารถนำตัวแปรที่มีระดับความสำคัญสูงไปใช้ในการกำหนดเป็นแนวทางในการควบคุมถังตกตะกอน 3A เพื่อให้ค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ โดยตัวแปรที่มีระดับความสำคัญสูง ได้แก่ ค่าความขุ่นของน้ำดิบ โดสของสารส้ม ผลรวมของอัตราส่วนระยะเวลาการเปิดระบายตะกอนต่อคาบการระบายตะกอน ปริมาณตะกอนที่ชั้นตัวอย่าง B และรอบการหมุนของมอเตอร์ใบกวน โดยมีแนวทางในการควบคุมที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำดิบ

อย่างไรก็ตาม แนวทางในการควบคุมถังตกตะกอนอาจทำได้ยากในทางปฏิบัติ เนื่องจากในปัจจุบันโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ใช้วิธีการบันทึกข้อมูลโดยนักวิทยาศาสตร์และผู้ปฏิบัติงานซึ่งมีความถี่ในการบันทึกข้อมูลต่ำ ในขณะที่คุณภาพของน้ำดิบที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในแต่ละวัน ซึ่งอาจทำให้เกิดความล่าช้าในการหาประเภทของน้ำดิบและแนวทางการควบคุมสำหรับน้ำดิบประเภทนั้น ๆ หากในอนาคตทางโรงงานมีการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตโนมัติเพิ่มเติมก็จะทำให้สามารถหาประเภทของน้ำดิบได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว และอาจทำให้แบบจำลองที่สร้างมีความแม่นยำมากขึ้นจากข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถนำไปต่อยอดในการทำ Optimization กระบวนการผลิตน้ำทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. C.W. Baxter, S.J. Stanley, Q Zhang, and D W Smith. 2002. Developing Artificial Neural Network Models of Water Treatment Processes: A Guide for Utilities. Journal of Environmental Engineering & Science 1
2. C.M. Kim, M. Parnichkun. Prediction of settled water turbidity and optimal coagulant dosage in drinking water treatment plant using a hybrid model of k- means clustering and adaptive neuro-fuzzy inference system. Applied Water Sci
3. J.O Odigure, A.B. Abubakar and A.S. Kovo. 2005. Modeling of Water Turbidity Parameters in a Water Treatment Plant. Assumption University Journal of Technology
4. Z. Pandilov and M. Stojkov. 2019. Application of Intelligent Optimization Tools in Determination and Control of Dosage of Flocculent in Water Treatment. Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering. Aug2019, Vol. 17 Issue 3, p109-116. 8p

5. S. Matthew and B. Cristián. 2019. Advanced turbidity prediction for operational water supply planning. Decision Support Systems 119 (2019): 72-84.
6. N. Danial and M. Seyyed. 2020. Treatment of highly turbid water in disaster conditions using coagulation- flocculation process: modeling and optimization. Water Quality Research Journal 1 November 2020; 55 (4): 358–369. doi

การพัฒนาเทคนิคการจัดกลุ่มลูกค้าโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอนร่วมกับเทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธีเคมีน

The Development of Techniques for Customers Clustering Applied Unsupervised learning and K-means Techniques

อมรเทพ พินโย[1] วลัยพรรณ คิ้วศรีประเสริฐ[1] วรกมล คุณวิทยา[1] อธิวัฒน์ บุญมี[1*] วัชรพล ชยประเสริฐ[2]
[1]ภาควิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: fengawbo@ku.ac.th*

Amonthep Pinyo[1], Walaiphan Kiwsriprasert[1], Worakamol Kunnawittaya[1], Atiwat Boonmee[1*], Watcharapol Chayaprasert[2]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University
[2] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University
E-mail: fengawbo@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอเทคนิคในการจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อให้เกิดระยะทางรวมระหว่างศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้ามีค่าต่ำที่สุด เทคนิคที่นำเสนอเป็นการประยุกต์ใช้การจัดกลุ่มด้วยวิธีการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอนร่วมกับวิธีเคมีนซึ่งกำหนดการจัดกลุ่มออกเป็น 2 ระยะ เพื่อให้มีจำนวนกลุ่มลูกค้าที่เหมาะสม การทดสอบได้ออกแบบการทดลองภายใต้ 4 ปัจจัยซึ่งมีโจทย์ทดสอบทั้งหมด 16 ตัวอย่าง ผลการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ Min_1 = 10, Max_1 = 100, Min_2 = 60 และ Max_2 = 150 จะให้ค่าเฉลี่ยระยะทางรวมที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 110.436 หน่วย มีจำนวนกลุ่มลูกค้าเฉลี่ย 58 กลุ่ม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัย Min_2 ส่งผลต่อระยะทางรวมของวิธีการที่นำเสนอมากที่สุด นั่นคือเมื่อใช้ Min_2 ที่น้อยลงจะได้ค่าเฉลี่ยระยะทางรวมที่ต่ำลง อย่างไรก็ตามหากกำหนดค่า Min_2 ที่ต่ำเกินไปจะส่งผลให้เกิดจำนวนกลุ่มที่มากเกินควรทำให้บางกลุ่มอาจมีจำนวนลูกค้าน้อยเกินไป เมื่อมีจำนวนลูกค้าน้อยอาจทำให้มีปริมาณการสั่งซื้อสินค้ารวมกันไม่เต็มความจุของรถจึงเกิดความไม่คุ้มทุนในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าในกลุ่มนั้น ๆ ซึ่งผลที่ได้จากการจัดกลุ่มด้วยเทคนิคที่นำเสนอนี้จะนำไปสู่การจัดเส้นทางการเดินรถที่มีประสิทธิภาพได้ในอนาคต
คาสาคัญ: การจัดกลุ่มลูกค้า, การเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอน, เคมีน

Abstract

This research presents techniques for customers clustering to achieve the lowest total distance between the distribution center and the customer. The proposed technique applied unsupervised learning with the K-Means clustering technique which defines clustering into two phases in order to have an optimal number of clients. The experiment was designed with a four-factor experiment with a total of 16 test problems, each with 10 iterations. The results showed that the parameters Min_1 = 10, Max_1 = 100, Min_2 = 60 and Max_2 = 150 gave the lowest mean total distance at 110.436 units, with an average number of 58 customer groups. The experimental result with a change in the degree of factor Min_2, most affected the total distance of the proposed method. That is, with less Min_2, a lower total distance average is obtained. However, if the Min_2, value is set too low, it will result in an excessive number of clusters, causing some groups to have too few customers. A small number of customers may result in the total number of orders not reaching the full capacity of the vehicle, resulting in unprofitable delivery of products to customers in that group. Therefore, the results of customers clustering with the techniques presented will lead to efficient routing in the future.
Keywords: Customers Clustering, Unsupervised learning, K-Means

1. บทนา

กิจกรรมการขนส่งสินค้าเพื่อกระจายสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละรายถือเป็นกิจกรรมที่ส่งผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์เป็นอย่างมาก เห็นได้จาก [1] ต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทยในปี 2563 มีมูลค่ารวม 2,215.7 พันล้านบาท คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 14.1 ต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ โดยต้นทุนการขนส่งสินค้ามีสัดส่วนมูลค่าร้อยละ 46.1 ในโครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าประเภทนมที่มีลูกค้ากระจายอยู่ทั่วภูมิภาคของประเทศไทย โดยศูนย์กระจายสินค้าที่คณะผู้วิจัยให้ความสนใจในการศึกษาในครั้งนี้ตั้งอยู่ที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งในแต่ละวันจะต้องขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่มีคำสั่งซื้ออยู่ในช่วง 300 ถึง 700 รายต่อวัน จากจำนวนลูกค้าทั้งหมดกว่า 5,000 ราย ที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง ครอบคลุมมากถึง 8 จังหวัด โดยปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือ การจัดเส้นทางขนส่งยังไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง อันมีสาเหตุหลักมาจากการจัดกลุ่มลูกค้า (Customers Clustering) เพื่อวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งในแต่ละพื้นที่ยังไม่มีประสิทธิภาพ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและพัฒนาเทคนิคในการจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อแก้ปัญหาในครั้งนี้ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธีการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) ร่วมกับเทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธีเคมีน (K-Means) ซึ่งผลจากการจัดกลุ่มลูกค้าที่มีประสิทธิภาพ จะช่วยให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าที่มีประสิทธิภาพได้ในอนาคต

2.ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกียวข้อง

2.1 วิธีการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning)

วิธีการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) จะเป็นวิธีที่กำหนดค่าเฉพาะข้อมูลที่ใช้ในการนำเข้า แต่จะไม่มีการกำหนดวิธีการหรือรูปแบบของข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ที่ได้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีเพื่อที่จะสามารถเรียนรู้ถึงแนวโน้มของข้อมูลชุดนั้นได้ โดยสิ่งหนึ่งที่สามารถทำได้คือ การลดขนาดมิติของข้อมูลลง (Dimensionality reduction) นั่นคือ การค้นหาคำตอบภายใต้มิติที่ต่ำลงจากเซตของข้อมูลทั้งหมด โดยอาศัยหลักความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างกลุ่มข้อมูลย่อยที่ต้องการหาคำตอบ เช่น วิธี Konohen feature maps [2] และวิธี Growing cell structures [3] นั้นจะอนุญาตให้เลือกค่าคำตอบจากกลุ่มข้อมูลย่อยโดยหลักการของระดับความสำคัญ (A priori) ซึ่งขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่อยู่ภายในกับมิติของพื้นที่ของกลุ่มข้อมูลที่เป็นเป้าหมาย ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลในการจัดเรียงบางส่วนนั้นหายไปได้

การที่จะเปรียบเทียบข้อมูลย้อนกลับโดยยึดหลักการของการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอนได้นั้น สามารถอธิบายได้จากวิธี Topology learning โดยมีขั้นตอนเริ่มต้นจากกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดมิติขนาดใหญ่ที่มีการแจกแจงแบบ P (ξ) จากนั้นทำการหากลุ่มของโครงสร้างข้อมูลที่มีความใกล้เคียงหรือสะท้อนให้เห็นถึงโครงสร้างของการแจกแจงของข้อมูล โดยวิธีการที่ใช้จัดการสำหรับโครงสร้างของข้อมูลนี้เรียกว่าวิธี Competitive Hebbian learning (CHL) [4] โดย CHL จะใช้ในการแบ่งแยกกลุ่มของเวคเตอร์ และวิธีที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาในลักษณะนี้อีกวิธีหนึ่งก็คือวิธี Neural gas (NG) [5] โดยจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Growing Neural Gas (GNG) นั้นถูกนำไปใช้ในการจัดกลุ่มลูกค้าในบริษัทที่ต้องกระจายสินค้าให้กับลูกค้า [6] โดยมีข้อจำกัดด้านจำนวนสมาชิกในกลุ่ม จากผลการศึกษาที่ได้โดยทั่วไปถือว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบกระจายสินค้าแบบยั่งยืนในด้านจำนวนรถบรรทุกและเส้นทางขนส่ง และงานวิจัยของ Boonmee [7] ที่ได้นำเทคนิค GNG ไปใช้ในการจัดกลุ่มโรงเรือนไก่ของบริษัทกรณีศึกษาเพื่อการจัดสรรและกำหนดเส้นทางในการจัดสรรแม่ไก่ โดยมีผลลัพธ์คือต้นทุนรวมที่ดีกว่าวิธีปฏิบัติของบริษัท

2.2 การวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Nonhierarchical Cluster Analysis)

การวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Nonhierarchical Cluster Analysis) หรือการจำแนกกลุ่มแบบ K-Means Cluster Analysis วิธีนี้จะต้องกำหนดจำนวนกลุ่มด้วยตัวเองว่าจะต้องแบ่งเป็นกี่กลุ่ม เช่น k กลุ่ม โดยสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ของวิธี K-Means [8] ได้ดังนี้

1) จัดกลุ่มข้อมูลเป็น k กลุ่ม ด้วยการแบ่งอย่างสุ่ม หรือการแบ่งด้วยผู้ศึกษาเอง

2) คำนวณหาจุดกึ่งกลางกลุ่มของแต่ละกลุ่ม เช่น จุดกลางกลุ่มของกลุ่มที่ C คือ $\bar{x}_C$

3) มีวิธีการพิจารณา 2 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 คำนวณหาระยะห่างจากแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่มของทุกกลุ่มและจะพิจารณาย้ายหน่วยไปยังกลุ่มที่มีระยะห่างต่ำสุด แบบที่ 2 คำนวณระยะห่างกำลังสองของแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่มที่หน่วยนั้นอยู่ โดยกำหนดให้ ESS (Error Sum Square) เท่ากับระยะห่างกำลังสองของในแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่ม

$$\mathrm{ESS} = \sum_{i=1}^{n} (\mathrm{X_i} - \overline{\mathrm{X}}_{\mathrm{C}_{(i)}})'(\mathrm{X_i} - \overline{\mathrm{X}}_{\mathrm{C}_{(i)}}) \qquad (1)$$

โดยที่ $C_{(i)}$ คือกลุ่มของหน่วยที่ *i* และ *ESS* คือผลบวกของระยะห่างของแต่ละหน่วยในกลุ่มไปจนถึงจุดกลางกลุ่มรวมทุกกลุ่ม หากกลุ่มใดมีค่า *ESS* อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำแสดงว่าหน่วยในกลุ่มนั้นมีความคล้ายคลึงกัน

4) การพิจารณาย้ายกลุ่ม จะต้องใช้เกณฑ์ในการย้ายตามค่าที่ได้คำนวณออกมาในขั้นที่ 3 แบบที่ 1 ย้ายหน่วยที่ *i* ไปในกลุ่มที่ทำให้ระยะห่างจากหน่วยที่ *i* ไปยังจุดกลางกลุ่มมีค่าต่ำสุด แบบที่ 2 ย้ายหน่วยที่ *i* ไปยังกลุ่มที่ทำให้ค่า *ESS* มีค่าต่ำสุด

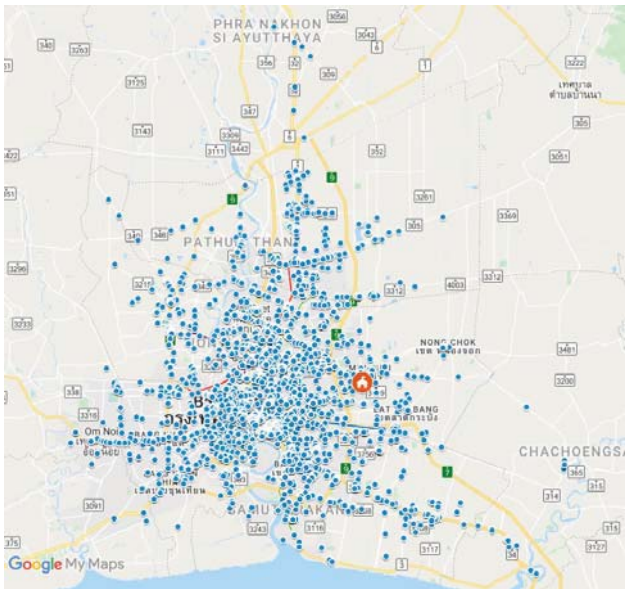
ถ้าในขั้นที่ 4 ไม่มีการย้ายกลุ่มอีกแล้ว แสดงว่ากลุ่มที่แบ่งได้นั้นเหมาะสมแล้ว แต่ถ้าในขั้นที่ 4 มีการย้ายกลุ่ม กลุ่มที่มีหน่วยย้ายเข้าหรือย้ายออกจะต้องทำการคำนวณหาจุดกลางกลุ่มใหม่

การจัดกลุ่มด้วยเทคนิค K-Means เป็นเทคนิคที่ไม่ซับซ้อนและประสิทธิภาพของการจัดกลุ่มอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงเป็นเทคนิคที่นิยม จากการทบทวนวิจัยงานวิจัยของ เมธาพร [9] ที่นำไปใช้จัดกลุ่มลูกค้าค้างชำระของสินเชื่อที่อยู่อาศัยเพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนในการกำหนดแนวทางและนโนบายอนุมัติสินเชื่อที่อยู่อาศัย และลดการเกิดหนี้สูญ และงานวิจัยของ อมรรัตน์ [10] ซึ่งได้มีการนำไปใช้ในการจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อวางแผนและปรับปรุงเส้นทางการเดินทางของพนักงานขาย ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดเวลาว่างงาน ระยะทางและค่าใช้จ่ายในการเดินทางเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม

3. การออกแบบและการพัฒนาเครื่องมือ

3.1 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

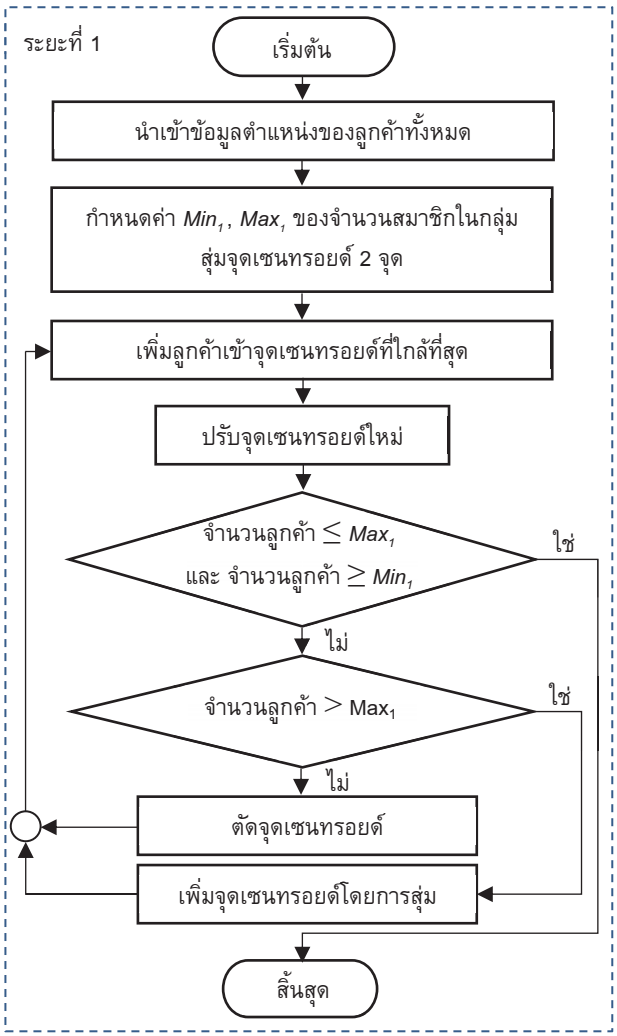
ปัจจุบันศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทกรณีศึกษามีจำนวนลูกค้าทั้งหมดกว่า 5,000 ราย แสดงตำแหน่งลองจิจูด และละติจูดดังรูปที่ 1 มีการจัดกลุ่มลูกค้าออกเป็น 137 กลุ่มตามเส้นทางถนน ซึ่งผู้วิจัยได้พิจารณาประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้น คือ การจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา บางกลุ่มมีจำนวนลูกค้าที่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบจำนวนไม่มาก เมื่อลูกค้าสั่งสินค้ารวมกันแล้วไม่เต็มความจุของรถเกิดความไม่คุ้มทุนในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าในเขตพื้นที่นั้น ๆ ส่งผลให้มีการใช้อรรถประโยชน์โดยรวมของรถขนส่งสินค้าเพียงร้อยละ 40



รูปที่ 1 ตำแหน่งลูกค้าและศูนย์กระจายสินค้า

3.2 การออกแบบเครื่องมือในการแก้ปัญหา

การจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 1 นำเข้าข้อมูลละติจูด ลองจิจูดของลูกค้าที่อยู่ในความผิดชอบของศูนย์กระจายสินค้ากรุงเทพมหานคร แล้วกำหนดจำนวนลูกค้าต่อหนึ่งกลุ่มสูงสุด (Max_1) และน้อยสุด (Min_1) เริ่มต้นจากการสร้างจุดเซนทรอยด์ 2 จุดโดยการสุ่ม แล้วประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธีการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอนร่วมกับเทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธีเคมีนในการจัดกลุ่มลูกค้า โดยแนวคิดหลักของวิธีที่นำเสนอก็คือ การเพิ่มจุดใหม่เข้าไปยังโครงสร้างตามหลักการของวิธีการเจริญเติมโตของโครงสร้าง และการกำจัดจุดที่ไม่เหมาะสมเพื่อป้องกันการได้คำตอบที่ผิดพลาดไปจากข้อมูลที่มี (แสดงดังรูปที่ 2) และหลังการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 1 จำนวนกลุ่มลูกค้าที่ได้จะมีจำนวนมาก คณะผู้วิจัยจึงเพิ่มขั้นตอนการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 2



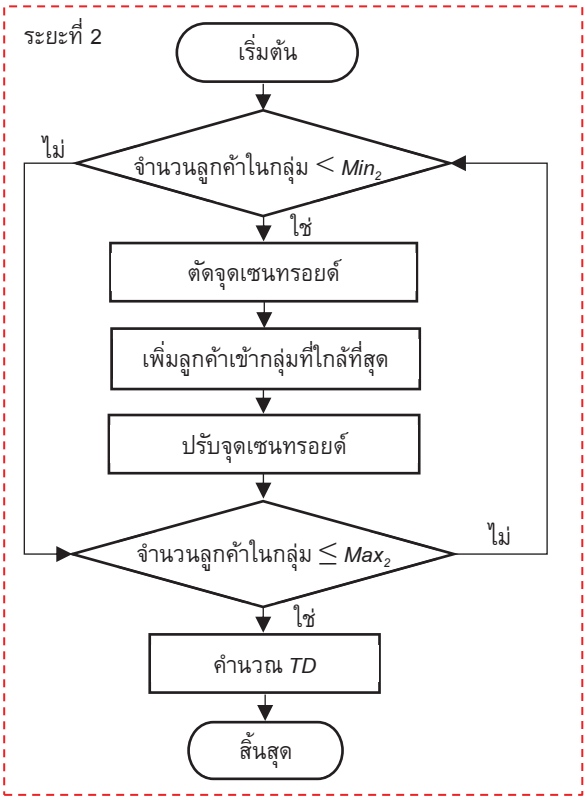
รูปที่ 2 ขั้นตอนการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 1

การจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 2 กำหนดจำนวนลูกค้าต่อหนึ่งกลุ่มสูงสุด (Max_2) และน้อยสุด (Min_2) โดยมีเงื่อนไขในการกำหนด Min_2 คือ $Min_2 > Min_1$ เพื่อให้ผลการจัดกลุ่มมีจำนวนกลุ่มลูกค้าลดลงหลังจากการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 1 และมีจำนวนลูกค้าต่ำสุดต่อกลุ่มเพิ่มขึ้น โดยการลดจำนวนกลุ่มลูกค้าจะพิจารณากลุ่มที่มีจำนวนลูกค้าน้อยกว่า Min_2 แล้วกระจายลูกค้าแต่ละรายเข้ากลุ่มที่ใกล้ที่สุด และกลุ่มที่ถูกเพิ่มต้องมีจำนวนลูกค้ารวมในกลุ่มไม่เกิน Max_2 โดยขั้นตอนการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3

สมการวัตถุประสงค์ในการจัดกลุ่มลูกค้าที่ใช้ในการพิจารณาในงานวิจัยนี้ คือระยะทางรวมต่ำที่สุด (Minimize TD) โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$\text{MimimizeTD} = \sum_{i=1}^{n} D_i + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} S_{ij} \qquad (2)$$

โดยที่ D_i คือ ระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปจุดเซนทรอยด์ที่ i S_{ij} คือ ระยะทางจากจุดเซนทรอยด์ที่ i ไปยังลูกค้าที่ j เมื่อ i = 1, 2, 3, …, n และ j = 1, 2, 3, …, m



รูปที่ 3 ขั้นตอนการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 2

4. ผลการทดลอง

4.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับการจัดกลุ่มลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษาเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเทคนิคที่นำเสนอ โดยใช้วิธีการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) นำข้อมูลที่ได้ไปทำการทดสอบ 2^k factorial ซึ่งทำการทดสอบภายใต้ปัจจัย 4 ปัจจัย ได้แก่ Min_1, Max_1, Min_2 และ Max_2 และแบ่งการพิจารณาปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (Low Level) และระดับสูง (High Level)

การกำหนดระดับปัจจัยพิจารณาจากผลการจัดกลุ่มให้มีคำตอบหลากหลายจึงกำหนดระดับปัจจัยการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 1 ที่มีค่าไม่มาก ในการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 2 พิจารณากำหนดระดับปัจจัยจากความจุรถของบริษัทกรณีศึกษาสูงสุด 60 ตระกร้า และการกำหนดระดับปัจจัยที่มีค่าไม่ใกล้เคียงกันเกินไป เพื่อให้ได้ผลคำตอบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การกำหนดระดับปัจจัยแสดงดังตารางที่ 1

เมื่อพิจารณาระดับปัจจัยแล้ว พบว่ามีการทดสอบทั้งสิ้น 2^4 = 16 โจทย์ แต่ละโจทย์จะทำการประมวลผลจำนวน 10 ซ้ำ (Replications) ซึ่งผลการทดลองการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยเทคนิคที่นำเสนอได้ผลลัพธ์ คือ จำนวนเฉลี่ยกลุ่มของการจัดลูกค้าในระยะที่ 1 ($\overline{N}_1$) จำนวนกลุ่มเฉลี่ยของการจัดลูกค้าในระยะที่ 2 ($\overline{N}_2$) และค่าเฉลี่ยระยะทางรวมการประมวลผล ($\overline{TD}$) จำนวน 10 ซ้ำ ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

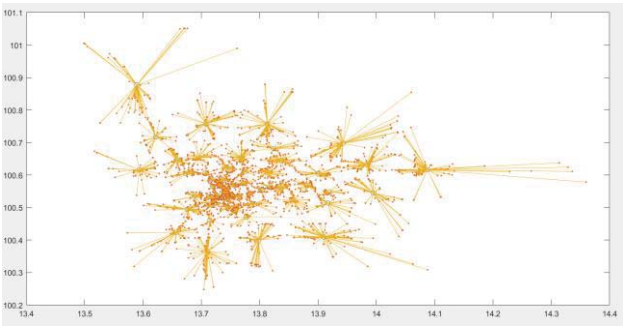
ตารางที่ 1 ระดับการพิจารณาปัจจัย

ปัจจัย	Low Level (ราย)	High Level (ราย)
Min_1	10	20
Max_1	100	150
Min_2	60	90
Max_2	150	200

ตารางที่ 2 ผลการทดลองจำนวนกลุ่มลูกค้าและระยะทางรวม

Problem	Min_1	Max_1	Min_2	Max_2	$\overline{N}_1$	$\overline{N}_2$	$\overline{TD}$
1	10	100	60	150	93	58	110.436
2	10	100	60	200	92	58	110.767
3	10	100	90	150	92	42	139.285
4	10	100	90	200	91	40	138.268
5	10	150	60	150	62	51	119.628
6	10	150	60	200	62	52	117.344
7	10	150	90	150	61	40	144.872
8	10	150	90	200	65	40	135.182
9	20	100	60	150	90	57	111.611
10	20	100	60	200	92	58	111.244
11	20	100	90	150	90	43	139.441
12	20	100	90	200	89	40	136.063
13	20	150	60	150	62	51	116.376
14	20	150	60	200	64	53	113.539
15	20	150	90	150	64	40	140.255
16	20	150	90	200	62	39	134.362

จากผลการทดลอง พบว่าค่าพารามิเตอร์ Min_1 = 10 ราย, Max_1 = 100 ราย, Min_2 = 60 ราย และ Max_2 = 150 ราย การกำหนดค่าปัจจัยด้วยค่าพารามิเตอร์ข้างต้น ให้ค่าเฉลี่ยระยะทางรวมที่ต่ำที่สุด $\overline{TD}$ = 110.436 หน่วย จำนวนกลุ่มเฉลี่ย 58 กลุ่มแสดงผลการจัดกลุ่มตามละติจูดและลองจิจูด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการจัดกลุ่มลูกค้า

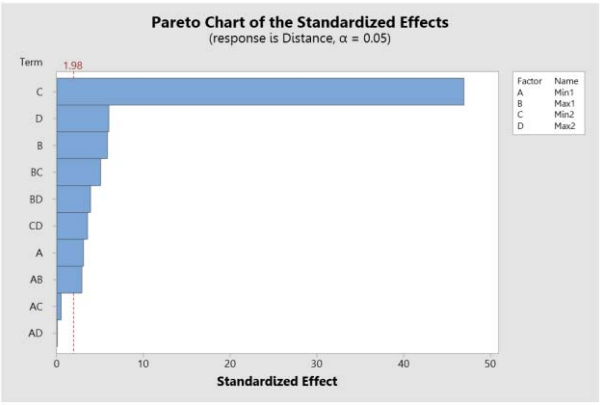
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ศึกษาถึงผลของปัจจัยที่เปลี่ยนไปจะส่งผลต่อค่าระยะทางรวมของเทคนิคที่นำเสนอ โดยผลการทดลองที่ได้ แสดงดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6

Coded Coefficients

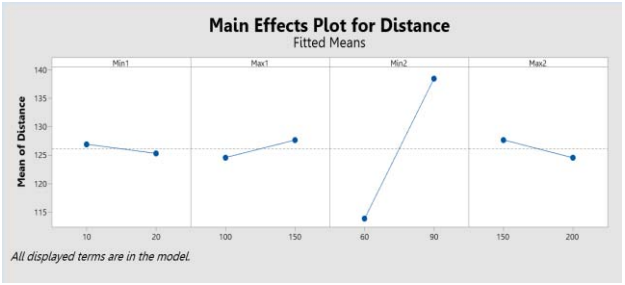
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		126.167	0.262	481.63	0.000	
MinBefore	-1.611	-0.806	0.262	-3.08	0.003	1.00
MaxBefore	3.055	1.528	0.262	5.83	0.000	1.00
MinAfter	24.598	12.299	0.262	46.95	0.000	1.00
MaxAfter	-3.142	-1.571	0.262	-6.00	0.000	1.00
MinBefore*MaxBefore	-1.512	-0.756	0.262	-2.89	0.004	1.00
MinBefore*MinAfter	-0.260	-0.130	0.262	-0.50	0.620	1.00
MinBefore*MaxAfter	0.023	0.012	0.262	0.04	0.965	1.00
MaxBefore*MinAfter	-2.652	-1.326	0.262	-5.06	0.000	1.00
MaxBefore*MaxAfter	-2.034	-1.017	0.262	-3.88	0.000	1.00
MinAfter*MaxAfter	-1.853	-0.926	0.262	-3.54	0.001	1.00

รูปที่ 5 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าระยะทางรวมของเครื่องมือที่นำเสนอ



รูปที่ 6 ปัจจัยที่ส่งกระทบต่อค่าระยะทางรวมของเทคนิคที่นำเสนอ

จากผลการวิเคราะห์ปัจจัยเดี่ยวและปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าระยะทางรวมของเครื่องมือที่นำเสนอ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อพิจารณาปัจจัยเดี่ยวพบว่าทุกปัจจัยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ส่งผลให้ปัจจัยเดี่ยวมีผลต่อค่าระยะทางรวม และเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมพบว่า ปัจจัยร่วม Min_1*Max_1, Max_1*Min_2, Max_1 *Max_2 และ Min_2 *Max_2 มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ส่งกระทบต่อค่าระยะทางรวมของเทคนิคที่นำเสนอ



รูปที่ 7 ผลกระทบต่อค่าระยะทางรวมของเทคนิคที่นำเสนอ เมื่อปัจจัยเดี่ยวเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 7 จะสังเกตได้ว่าปัจจัยด้านจำนวนลูกค้าต่อหนึ่งกลุ่มน้อยสุดในการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 2 (Min_2) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัย จะส่งผลกระทบต่อค่าระยะทางรวมของเทคนิคที่นำเสนอมากที่สุด และปัจจัยด้านจำนวนลูกค้าต่อหนึ่งกลุ่มมากสุดในการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 1 (Max_1) กับจำนวนลูกค้าต่อหนึ่งกลุ่มมากสุดในการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 2 (Max_2) มีผลรองลงมาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัย และในส่วนของปัจจัยด้านจำนวนลูกค้าต่อหนึ่งกลุ่มน้อยสุดในการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 1 (Min_1) ส่งผลกระทบต่อค่าระยะทางรวมของเทคนิคที่นำเสนอน้อยที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัย

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การจัดเส้นทางขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน คือ การจัดเส้นทางขนส่งยังไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง อันมีสาเหตุหลักมาจากการจัดกลุ่มลูกค้าที่ยังไม่มีประสิทธิภาพ จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นคณะผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิคการจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อให้เกิดระยะทางรวมระหว่างศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้ามีค่าต่ำที่สุด โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2021b การพัฒนาเทคนิคที่นำเสนอเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธีการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) ร่วมกับเทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธีเคมีน (K-Means) เพื่อช่วยในการหาคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งมีการออกแบบการทดลองทั้งหมด 16 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการทดลองทั้งหมด 10 ซ้ำ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และศึกษาถึงผลของปัจจัยที่จะส่งผลต่อค่าระยะทางรวมของเครื่องมือที่นำเสนอ ผลการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ให้ระยะทางรวมต่ำที่สุด คือ จำนวนลูกค้าต่อหนึ่งกลุ่มน้อยสุดในการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 1 (Min_1) เท่ากับ 10 ราย จำนวนลูกค้าต่อหนึ่งกลุ่มมากสุดในการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 1 (Max_1) เท่ากับ 100 ราย จำนวนลูกค้าต่อหนึ่งกลุ่มน้อยสุดในการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 2 (Min_2) เท่ากับ 60 ราย และจำนวนลูกค้าต่อหนึ่งกลุ่มมากสุดในการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 2 (Max_2) เท่ากับ 150 ราย มีค่าระยะทางรวมเฉลี่ยต่ำที่สุด 110.436 หน่วย และจำนวนกลุ่มลูกค้าเฉลี่ย 58 กลุ่ม

โดยปัจจัยเดี่ยวด้านจำนวนลูกค้าต่อหนึ่งกลุ่มน้อยสุดในการจัดกลุ่มลูกค้าระยะที่ 2 (Min_2) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัย จะส่งผลต่อระยะทางรวมของเครื่องมือที่นำเสนอมากที่สุด กล่าวคือ เมื่อใช้ Min_2 ที่น้อยลงจะได้ค่าเฉลี่ยระยะทางรวมที่ต่ำลง แต่หากกำหนดค่า Min_2 ที่ต่ำเกินจะส่งผลให้มีจำนวนกลุ่มที่มากเกินไป ส่งผลให้บางกลุ่มอาจมีจำนวนลูกค้าน้อยเกินไป ดังนั้นในการกำหนดค่า Min_2 ให้เกิดความเหมาะสมอาจจะต้องมีการพิจารณาข้อจำกัดเพิ่มเติม เช่น ขนาดความจุของรถบรรทุก เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้จากการจัดกลุ่มด้วยเทคนิคที่นำเสนอนี้ จะนำไปสู่การวางแผนจัดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพได้ในอนาคต

การจัดกลุ่มลูกค้าโดยพิจารณาระยะทางรวมต่ำที่สุดอาจจะไม่แสดงให้เห็นถึงการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งโดยตรง ในขั้นถัดไปควรนำเทคนิคการจัดกลุ่มลูกค้าที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ในการจัดเส้นทางการขนส่งเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการจัดกลุ่มลูกค้าเดิมของบริษัทกรณีศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2564. รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทย ประจำปี 2563. 28 หน้า.

[2] Kohonen, T., 1982. “Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps.” Biological Cybernetics, Vol. 43: 59-69.

[3] Fritzke, B., 1994. “Growing cell structures: A self-organizing network for unsupervised and supervised learning.” Neural Networks, Vol. 7(9): 1441–1460.

[4] Martinez, T.M., 1993. “Competitive Hebbian learning rule forms perfectly topology preserving maps.” International Conference Artificial Neural Networks: 427-434.

[5] Martinetz, T.M., Schulten, K.J., 1991. “A "neural-gas" network learns topologies.” Artificial Neural Networks, North-Holland, Amsterdam: 397-402.

[6] Yousefi, S., Shabanpour, H. and Saen, R. F., 2021. “Sustainable Clustering of Customers using Capacitive Artificial Neural Networks: A Case Study in Pegah Distribution Company”, AIRO-Oper. Res, Vol. 55 (1): 51 – 60

[7] Boonmee, A., Sethanan, K., Arnonkijpanich, B., Theerakulpisut, S., 2015. “Minimizing the total cost of hen allocation to poultry farms using hybrid Growing Neural Gas approach”, Computers and Electronics in Agriculture, Vol.110: 27-35

[8] กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. พิมพ์ครั้งที่ 4, บริษัทธรรมบรรสาร จำกัด, 2552

[9] เมธาพร คงทอง. 2556. การจัดกลุ่มลูกค้าที่ค้างชำระของสินเชื่อที่อยู่อาศัยของธนาคารพาณิชย์แห่งหนึ่ง วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[10] อมรรัตน์ อุดมเจริญศิลป์ และ สราวุธ จันทร์สุวรรณ, การวางแผนและปรับปรุงการเดินทางของพนักงานขายแบบหลายเส้นทางภายใต้เวลาทำงานที่จำกัด กรณีศึกษาบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2021, 5–7 May 2021, Songkhla, Thailand.

แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินการหลังการเก็บเกี่ยวในโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัม

Optimization Model of Post-harvest Operating in Date Palm Supply Chain Production

ไวษณวี แก้วดี[1] นัฐพล หอมฉุน[1] ศรุต คงรักษ์[1] ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ[1,2*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]หน่วยวิจัยวิศวกรรมระบบโซ่อุปทานขนาดใหญ่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: fengckl@ku.ac.th*

Waisanawee Kaewdee[1], Nathapon Homchun[1], Sarut Khongrak[1], Chaimongkol Limpianchob[1,2*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University
[2] Large-Scale Supply Chain Systems Engineering Research Unit, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University
E-mail: fengckl@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

การดำเนินการหลังการเก็บเกี่ยวของอินทผลัมยังคงเป็นแบบดั้งเดิมและต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดเทคนิคขั้นสูงที่ช่วยในการตัดสินใจในเรื่องการวางแผนการผลิต การควบคุมสินค้าคงคลัง และกลยุทธ์ในการขนส่งตลอดทั้งโซ่อุปทานการผลิต ซึ่งเป็นหนึ่งในกิจกรรมที่สำคัญที่สุดในการผลิต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัมเพื่อให้เกษตรกรมีผลกำไรจากการดำเนินการเหมาะสมที่สุด โดยผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรม CPELX Solver แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มกำไรสุทธิจากการดำเนินการได้ถึง 23.54% เมื่อเปรียบเทียบกับกำไรสุทธิก่อนการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

คาสาคัญ: การวางแผนหลังการเก็บเกี่ยว, การวางแผนโซ่อุปทานการผลิต, แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม

Abstract

The post-harvest operations of Dates palm are still traditional and need to be improved inefficiency. Many farmers operate without advanced techniques for production planning, inventory control, and transportation strategic decision throughout the supply chain production which are among the most important managerial activities in commercial farming. Therefore, this paper develops a mixed-integer linear programming model for Dates palm supply chain production planning in order to maximize the farmer's profit. The computational results are obtained from CPLEX Solver, which demonstrated that the total maximum profit is increased to 23.54% when compared to the profit before using the model.

Keywords: Post- harvest planning, Supply chain production planning, Mixed-integer linear programming model

1. บทนำ

อินทผลัม (Date Palm) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Phoenix dactylifera L. เป็นพืชชนิดหนึ่งที่อยู่ในตระกูลปาล์ม มีการกระจายพันธุ์ในพื้นที่แถบตะวันออกกลางและอเมริกาใต้ อินทผลัมมีหลายสายพันธุ์ ทั้งชนิดปลูกเพื่อเป็นไม้ประดับ และชนิดปลูกเพื่อรับประทานผล อินทผลัมจัดเป็นผลไม้ที่ดีต่อสุขภาพ [1] ซึ่งจากการศึกษาและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวอินทผลัมของสวนกรณีศึกษาในจังหวัดกาญจนบุรี พบว่าปัญหาในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวอินทผลัมจะพบอยู่ใน 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ การวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวผลอินทผลัม (Post-harvest planning) และการเลือกรูปแบบการขนส่งผลอินทผลัม (Transportation Modes) ที่ยังขาดประสิทธิภาพในการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัม

สำหรับปัญหาการวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวผลอินทผลัม เกษตรขาดการวางแผนและกระจายผลผลิตออกไปยังช่องทางต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ขายเป็นผลสดหน้าสวน หรือส่งขายที่ศูนย์รับซื้อ หรือส่งขายที่ตลาดไท หรือส่งบริษัทเพื่อคั้นเป็นน้ำอินทผลัม เป็นต้น ซึ่งในบางครั้งเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่ทัน ทำให้ผลอินทผลัมเน่าเสีย ในทางกลับกันบางครั้งเกษตรกรก็เก็บเกี่ยวผลผลิตมากเกินความจำเป็นที่จะขายได้ ทำให้เกษตรกรต้องเก็บผลผลิตไว้ในคลังสินค้า (ตู้แช่) เป็นผลทำให้เกิดต้นทุนด้านพัสดุคลัง และที่สำคัญคือผลอินทผลัมที่เข้าตู้แช่จะไม่สามารถขายเป็นผลสดหน้าสวนของเกษตรกรได้อีก ทำได้เพียงขนส่งไปขายที่ตลาดไทหรือนำไปคั้นเป็นน้ำเท่านั้น ทำให้ราคาขายของผลอินทผลัมลดลง ส่วนปัญหาด้านการเลือกใช้พาหนะในการขนส่งอินทผลัม เกษตรกรจะต้องทำการจัดพาหนะไปขนอินทผลัมจากสวนเองทั้งหมด โดยพาหนะมีให้เลือกหลายรูปแบบ เช่น รถบรรทุกหกล้อ รถกระบะ และรถขนส่งขนาดเล็ก ซึ่งปัจจุบันเกษตรกรจะเลือกใช้พาหนะที่ว่างอยู่ โดยไม่มีการวางแผนจัดการการเลือกใช้พาหนะแต่ละประเภทให้มีความเหมาะสมกับปริมาณอินทผลัมที่ขนส่ง ทำให้เกิดปัญหาต้นทุนด้านการขนส่งที่สูงมากและผลอินทผลัมเกิดความเสียหายเนื่องจากขนส่งไม่ทัน

ดังนั้น การวางแผนการจัดการโซ่อุปทานการผลิตหลังการเก็บเกี่ยว (Post- harvest supply chain production planning) อย่างมีประสิทธิภาพ และมีประสิทธิผลจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เนื่องจากทุกกระบวนการภายในองค์กร รวมถึงภายนอกองค์กรมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยง และมีผลกระทบซึ่งกันและกัน [2] โดยในงานวิจัยนี้ได้นำการจัดการการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตมาประยุกต์ใช้ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวอินทผลัม โดยนำเสนอในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้เกษตรกรมีกำไรสุทธิจากกระบวนการผลิตอินทผลัมที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาถึงในด้านการวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวให้สอดคล้องกับเวลา และตรงตามปริมาณอุปสงค์ของลูกค้า รวมถึงการเลือกใช้พาหนะให้เหมาะสมกับปริมาณการขนส่ง โดยการสร้างเป็นแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed- Integer Linear Programming Model, MILP) เพื่อแก้ไขปัญหา และเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจการจัดการวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวในโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัมให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกียวข้อง

ทุกวันนี้การวางแผนโซ่อุปทานการผลิต (Supply chain production planning) มีความท้าทายอย่างมากในตลาดที่มีการแข่งขันที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสินค้าเกษตร (Agricultural products) [3] เนื่องจากการผลิตแบบดั่งเดิมไม่สามารถตอบสนองกับอุปสงค์ที่มีความผันผวนและการดำเนินการที่มีความหลากหลายได้ [4] แต่อย่างไรก็ตามการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตของสินค้าเกษตรก็ยังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการกำหนดกลยุทธ์และวางแผนการผลิตตลอดทั้งโซ่อุปทาน [5] ดังนั้นการทบทวนงานวิจัยที่มีอยู่อย่างครอบคลุมในส่วนนี้จึงถูกนำมาเสนอ เพื่อสร้างความเข้าใจถึงวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตของสินค้าเกษตร ซึ่งปรากฏในงานวิจัยของ Mula et al. [6]. โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทบทวนวรรณกรรมจำนวนทั้งสิ้น 127 ชิ้นที่เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อช่วยการวางแผนโซ่อุปทานการผลิต สำหรับนักวิจัยใหม่ที่เริ่มต้นศึกษาในด้านนี้

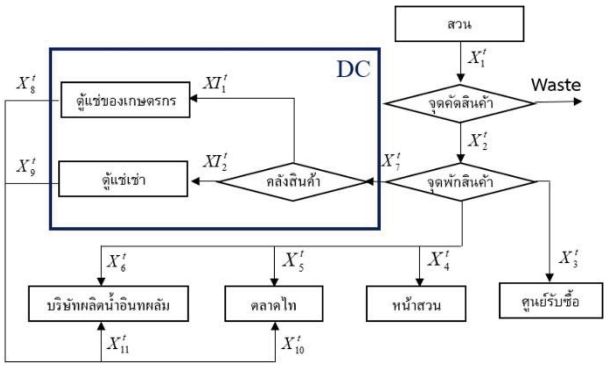
สำหรับงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้การวางแผนโซ่อุปทานการผลิตสินค้าเกษตรประเภทต่างๆ มีดังนี้ Kazancoglu et al. [7] ได้สร้างแบบจำลองโซ่อุปทานการผลิตนมจากฟาร์มปศุสัตว์ไปโรงงานแปรรูปน้ำนมดิบเพื่อลดความสูญเสีย Soto-Silva et al. [8] สร้างแบบจำลองในการวางแผนการส่งผลแอปเปิลสดจากสวนไปยังโรงงานผลิต ส่วน Sanjay and Marcus [9] ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มในการวางแผนตัดอ้อยเข้าโรงงานผลิตน้ำตาล และ Hu et al. [10] สร้างแบบจำลองที่ใช้ในการวางแผนการปลูกและเก็บเกี่ยวข้าวสาลีจากไร่ไปที่โรงสีข้าว

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้การวางแผนโซ่อุปทานการผลิตเพื่อให้การผลิตอินทผลัมมีการวางแผนอย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (MILP) เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจสำหรับเกษตรกรในการวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวอินทผลัม นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือช่วยในการจัดตารางการทำงานในแต่ละกระบวนการ เพื่อให้มีกำไรจากการดำเนินการรวมเหมาะสมที่สุด (Maximize total profit)

3. โครงสร้างโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัม

เริ่มแรกเมื่ออินทผลัมออกผลพร้อมสำหรับการเก็บเกี่ยว โดยเมื่ออินทผลัมพร้อมเก็บเกี่ยวเกษตรกรจะสามารถทำการเก็บเกี่ยวได้เพียง 2 สัปดาห์ก่อนที่ผลอินทผลัมจะเสีย จากนั้นเกษตรกรจะทำการเก็บเกี่ยวผลอินทผลัม (X_1') และนำมาไว้ที่จุดคัดผลผลิตเพื่อทำการคัดเลือกเฉพาะผลอินทผลัมที่ได้มาตรฐาน (X_2') เท่านั้น ซึ่งอินทผลัมที่ไม่ผ่านมาตรฐานก็จะถูกนำออกจากกระบวนการ (Waste) หลังจากผ่านกระบวนการคัดเลือกแล้ว ผลอินทผลัมที่ได้มาตรฐานพร้อมสำหรับการขายจะมีการแบ่งออกเป็น 4 เส้นทาง คือ ขนส่งไปขายที่ศูนย์รับซื้อ (X_3')

หรือนำผลอินทผลัมมาบรรจุใส่กล่องแล้ววางขายที่หน้าสวน (X_4^t) หรือส่งขายให้กับลูกค้าในตลาดไท (X_5^t) หรือแปรรูปผลอินทผลัมเป็นน้ำอินทผลัม (X_6^t) ส่วนผลอินทผลัมที่จำหน่ายไม่หมดจะถูกเก็บรักษาไว้ที่คลังสินค้า (X_7^t) ซึ่งเป็นตู้แช่เย็น เพื่อรักษาคุณภาพของอินทผลัม หลังจากผลอินทผลัมถูกขนส่งถึงคลังสินค้า เกษตรกรสามารถเลือกตู้แช่ในการแช่ผลอินทผลัมได้ทั้งตู้แช่ของเกษตรกรเอง (XI_1^t) หรือตู้แช่เช่า (XI_2^t) ซึ่งมีต้นทุนการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ผลอินทผลัมที่แช่ไว้ในตู้แช่ของเกษตรกร (X_8^t) และตู้แช่เช่า (X_9^t) จะถูกขนส่งไปขายตลาดไทย (X_{10}^t) หรือส่งไปคั้นเป็นน้ำอินทผลัม (X_{11}^t) เท่านั้น โดยโครงสร้างโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัมแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัม

4. แบบจาลองทางคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากสวนอินทผลัมในจังหวัดกาญจนบุรีเป็นกรณีศึกษา โดยมีข้อสมมติ (Assumptions) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

1) อินทผลัมทุกไร่มีความพร้อมในการเก็บเกี่ยวทุกช่วงเวลาตลอดช่วงฤดูการเก็บเกี่ยว

2) พาหนะแต่ละประเภทพร้อมใช้งานทุกเวลา หากเกษตรกรต้องการใช้พาหนะประเภทนั้นในการขนส่ง

3) กำหนดให้เริ่มต้นการคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ในแต่ละกระบวนการไม่มีผลอินทผลัมคงค้าง (WIP) อยู่ในกระบวนการผลิต

ในส่วนถัดไปจะกล่าวถึงกลุ่มของตัวแปร (Sets of Variables) ต่อจากนั้นจะเป็นข้อจำกัด (Constraints) และสมการเป้าหมาย (Objective Function) ตามลำดับ

ดัชนี(Indices and Sets)

HT กลุ่มเวลาการผลิตของอินทผลัม

$Tran$ กลุ่มพาหนะที่ใช้ในการขนส่งอินทผลัม

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

คณะผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปร แสดงถึงปริมาณการไหลของผลอินทผลัมที่ต้องใช้ในแต่ในละกระบวนการตั้งแต่การเก็บเกี่ยวจากสวนจนถึงส่งผลอินทผลัมให้กับลูกค้า ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

BoT^t ปริมาณน้ำอินทผลัมที่ต้องการขายหน้าสวน เมื่อเวลา t

$Cool_1^t$ ปริมาณอินทผลัมที่คงค้างไว้ที่ตู้แช่ของเกษตรกรเอง เมื่อสิ้นสุดเวลา t

$Cool_2^t$ ปริมาณอินทผลัมที่คงค้างไว้ที่ตู้แช่เช่า เมื่อสิ้นสุดเวลา t

Lab_1^t จำนวนแรงงานที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวอินทผลัม เมื่อเวลา t

Lab_2^t จำนวนแรงงานที่ใช้ในการคัดเลือกผลผลิต เมื่อเวลา t

Lab_3^t จำนวนแรงงานที่ใช้ในการบรรจุผลอินทผลัมใส่กล่องเพื่อทำการขายหน้าสวน เมื่อเวลา t

Lab_4^t จำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิตน้ำอินทผลัม เมื่อเวลา t

Tra_{1i}^t จำนวนเที่ยวที่ใช้สำหรับการขนส่งอินทผลัมจากสวนไปยังศูนย์รับซื้อด้วยพาหนะ i เมื่อเวลา t

Tra_{2i}^t จำนวนเที่ยวที่ใช้สำหรับการขนส่งอินทผลัมจากสวนไปยังคลังสินค้าด้วยพาหนะ i เมื่อเวลา t

Tra_{3i}^t จำนวนเที่ยวที่ใช้สำหรับการขนส่งอินทผลัมจากไปตลาดไทด้วยพาหนะ i เมื่อเวลา t

Tra_{4i}^t จำนวนเที่ยวที่ใช้สำหรับการขนส่งอินทผลัมไปบริษัทผลิตน้ำอินทผลัมด้วยพาหนะ i เมื่อเวลา t

X_s^t ปริมาณอินทผลัมที่คงค้างจากการเก็บเกี่ยว เมื่อสิ้นสุดเวลา t

X_1^t ปริมาณอินทผลัมที่ถูกเก็บเกี่ยว เมื่อเวลา t

X_2^t ปริมาณอินทผลัมที่ได้มาตรฐานและสามารถนำไปขายได้เมื่อสิ้นสุดเวลา t

X_3^t ปริมาณอินทผลัมที่ถูกคัดและส่งจากสวนไปยังศูนย์รับซื้อเมื่อสิ้นสุดเวลา t

X_4^t ปริมาณอินทผลัมที่ถูกคัดใส่บรรจุภัณฑ์ เพื่อขายที่หน้าสวนเมื่อสิ้นสุดเวลา t

X_5^t ปริมาณอินทผลัมที่ถูกคัดและส่งจากสวนไปยังตลาดไท เมื่อสิ้นสุดเวลา t

X_6^t ปริมาณอินทผลัมที่ถูกคัดและส่งจากสวนไปยังบริษัทเพื่อคั้นน้ำเป็นน้ำอินทผลัม เมื่อสิ้นสุดเวลา t

X_7^t ปริมาณอินทผลัมที่ขายไม่หมดจะถูกขนส่งจากสวนไปยังคลังสินค้า เมื่อสิ้นสุดเวลา t

X_8^t ปริมาณอินทผลัมที่ถูกขนส่งออกจากตู้แช่ของเกษตรกรเองเมื่อเวลา t

X_9^t ปริมาณอินทผลัมที่ถูกขนส่งออกจากตู้แช่เช่า เมื่อเวลา t

X_{10}^t ปริมาณอินทผลัมที่ถูกขนส่งออกจากตู้แช่ไปยังตลาดไท เมื่อเวลา t

X_{11}^t ปริมาณอินทผลัมที่ถูกขนส่งออกจากตู้แช่ไปยังบริษัทเพื่อคั้นน้ำเป็นน้ำอินทผลัม เมื่อเวลา t

XI_1^t ปริมาณอินทผลัมที่ส่งไปเก็บในตู้แช่ของเกษตรกรเอง เมื่อสิ้นสุดเวลา t

XI_2^t ปริมาณอินทผลัมที่ส่งไปเก็บในตู้แช่เช่า เมื่อสิ้นสุดเวลา t

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ตัดสินใจ (Binary Variable) เพื่อนับจำนวนสัปดาห์ที่มีการใช้ตู้แช่ของเกษตรกรเองในการเก็บรักษาผลอินทผลัมดังต่อไปนี้

Inv^t = { 1, เมื่อเกษตรกรเลือกใช้ตู้แช่ของเกษตรกรเอง ; 0, อื่นๆ

ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

$CapBT$	ปริมาณน้ำอินทผลัมที่สามารถรองรับในการขายได้
$CapCO$	ความจุของตู้แช่ของเกษตรกรเอง
$CapT_i$	ความสามารถในการขนส่งของพาหนะ i ที่ใช้ในการขนส่งอินทผลัม
$CosBT$	ต้นทุนขวดที่ใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์
$CosCO$	ต้นทุนค่าไฟฟ้าสำหรับตู้แช่ของเกษตรกรเอง
$CosCOA$	ต้นทุนค่าตู้แช่เช่า
$CosLB$	ต้นทุนค่าแรงงาน
$CosPA$	ต้นทุนกล่องที่ใช้สำหรับบรรจุผลอินทผลัม
$CosT_{1i}$	ต้นทุนค่าขนส่งผลอินทผลัมจากสวนไปศูนย์รับซื้อ เมื่อเลือกใช้พาหนะ i
$CosT_{2i}$	ต้นทุนค่าขนส่งผลอินทผลัมจากจุดพักสินค้าไปคลังสินค้า เมื่อเลือกใช้พาหนะ i
$CosT_{3i}$	ต้นทุนค่าขนส่งอินทผลัมไปตลาดไท เมื่อเลือกใช้พาหนะ i
$CosT_{4i}$	ต้นทุนค่าขนส่งผลอินทผลัมไปบริษัทผลิตน้ำอินทผลัม เมื่อเลือกใช้พาหนะ i
Dem^t	ปริมาณอุปสงค์จากลูกค้าในตลาดไท เมื่อเวลา t
$Onsell^t$	ปริมาณอินทผลัมที่หน้าสวนสามารถรองรับในการขายได้
$PHar^t$	ปริมาณอินทผลัมที่ออกผลผลิต เมื่อเวลา t
RoB_1	กำลังการผลิตของแรงงานในการเก็บเกี่ยวผลอินทผลัม
RoB_2	กำลังการผลิตในการคัดผลอินทผลัมที่ผ่านมาตรฐาน
RoB_3	กำลังการผลิตในการบรรจุภัณฑ์ผลอินทผลัมส่งขายหน้าสวน
RoB_4	กำลังในการแปรรูปน้ำอินทผลัมส่งขายหน้าสวน
$RoBT$	อัตราปริมาณผลอินทผลัมที่สามารถคั้นเป็นน้ำได้
RoL	อัตราปริมาณผลอินทผลัมที่ได้มาตรฐาน
$SellDC^t$	ราคาขายอินทผลัมที่ศูนย์รับซื้อ เมื่อเวลา t
$SellON^t$	ราคาขายอินทผลัมที่หน้าสวน เมื่อเวลา t
$SellTH^t$	ราคาขายอินทผลัมที่ตลาดไท เมื่อเวลา t
$SellBT$	ราคาขายน้ำอินทผลัม

ข้อจากัด (Constraints)

ข้อจำกัดสำหรับการวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวและขนส่งอินทผลัมไปขายในช่องทางต่างๆ ตามอุปสงค์ของลูกค้า เป็นดังนี้

ผู้วิจัยได้กำหนดให้การออกผลของอินทผลัมที่พร้อมต่อการเก็บเกี่ยว ($PHar^t$) เป็นไปตามค่าเฉลี่ยขั้นต่ำจากข้อมูลแบบสอบถามที่ถูกเก็บจากเกษตรกรผู้ปลูกอินทผลัมกรณีศึกษาในจังหวัดกาญจนบุรี โดยปริมาณอินทผลัมที่ถูกเก็บเกี่ยวจากสวนในแต่ละช่วงเวลา (X_1^t) แสดงในข้อจำกัด (1)

$$X_S^t = X_S^{t-1} + PHar^t - X_1^t, \forall t \in HT \quad (1)$$

สำหรับผลอินทผลัมที่พร้อมเก็บเกี่ยว เกษตรกรจะสามารถทำการเก็บเกี่ยวได้เพียง 2 สัปดาห์ก่อนที่ผลอินทผลัมจะเสียหายแล้วล่วงลงจากต้น ดังนั้นเพื่อให้เกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวปริมาณผลอินทผลัมในแต่ละช่วงเวลาให้ได้ปริมาณมากที่สุด โดยให้เหลือผลค้างต้นให้น้อยที่สุด คณะผู้วิจัยได้กำหนดข้อจำกัดนี้ โดยแสดงในข้อจำกัด (2)

$$X_1^t \geq X_S^{t-1}, \forall t \in HT \quad (2)$$

ส่วนข้อจำกัด (3) แสดงจำนวนแรงงานที่เกษตรกรต้องใช้ในการเก็บเกี่ยวผลอินทผลัมในแต่ละช่วงเวลา

$$Lab_1^t \bullet RoB_1 \geq X_1^t, \forall t \in HT \quad (3)$$

หลังจากที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวผลอินทผลัมเรียนร้อยแล้ว อินทผลัมจะถูกคัดเลือกผลที่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานสำหรับขายให้กับลูกค้า ดังแสดงในข้อจำกัด (4) และส่วนข้อจำกัด (5) แสดงจำนวนแรงงานที่ใช้ในการคัดผลอินทผลัม

$$X_2^t = X_1^t \bullet RoL, \forall t \in HT \quad (4)$$

และ

$$Lab_2^t \bullet RoB_2 \geq X_2^t, \forall t \in HT \quad (5)$$

ผลอินทผลัมที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและสามารถขายให้กับลูกค้าได้จะถูกแบ่งออกไปตามเส้นทางต่างๆ ตั้งแต่ส่งไปขายที่ศูนย์รับซื้อ (X_3^t) วางขายที่หน้าสวน (X_4^t) ส่งไปขายที่ตลาดไท (X_5^t) และถูกนำไปแปรรูปเป็นน้ำอินทผลัมคั้นสด (X_6^t) โดยข้อจำกัด (6) แสดงการจัดสมดุล (Balancing constraint) ปริมาณผลผลิตอินทผลัมที่จุดพักสินค้า ดังแสดงในข้อจำกัด (6)

$$X_7^t = X_2^t - (X_3^t + X_4^t + X_5^t + X_6^t), \forall t \in HT \quad (6)$$

ข้อจำกัด (7) แสดงประเภทรถและจำนวนเที่ยวรถที่เกษตรกรต้องใช้ในการขนปริมาณอินทผลัมจากสวนไปที่ศูนย์รับซื้อ

$$\sum_{i \in Tran} Tra_{1i}^t \bullet CapT_i \geq X_3^t, \forall t \in HT \quad (7)$$

สำหรับปริมาณผลอินทผลัมที่ถูกนำมาขายหน้าสวนของเกษตรกรนั้น เกษตรกรจะนำผลอินทผลัมบรรจุใส่กล่องตามปริมาณที่กำหนดโดยขายให้กับลูกค้าโดยตรงที่หน้าสวน ซึ่งเกษตรกรจะกำหนดปริมาณการขายหน้าสวนในแต่ละช่วงเวลาขึ้นอยู่กับราคาขายหน้าสวน ดังแสดงในข้อจำกัด (8) ส่วนข้อจำกัด (9) แสดงจำนวนแรงงานที่ใช้ในการบรรจุผลอินทผลัมใส่กล่องเพื่อทำการขายหน้าสวน

$$X_4^t \leq OnSell^t, \forall t \in HT \quad (8)$$

และ

$$Lab_3^t \bullet RoB_3 \geq X_4^t, \forall t \in HT \quad (9)$$

ถ้าหากในแต่ละช่วงเวลาเกษตรกรไม่สามารถส่งขายผลอินทผลัมได้หมด ปริมาณอินทผลัมที่เหลืออยู่ (X_7^t) จะถูกเก็บไว้ในตู้แช่เพื่อรักษา

คุณภาพของผลอินทผลัม ซึ่งตู้แช่ผลผลิตที่ให้เกษตรเลือกใช้มีสองประเภท คือ ตู้แช่ที่เป็นของเกษตรกรเอง (XI_1^t) และตู้แช่สำหรับเช่าไว้เก็บผลผลิต (XI_2^t) ซึ่งแสดงในข้อจำกัด (10)

$$X_7^t = XI_1^t + XI_2^t, \forall t \in HT \quad (10)$$

ส่วนข้อจำกัด (11) แสดงประเภทรถและจำนวนเที่ยวรถที่เกษตรกรต้องใช้ในการขนปริมาณอินทผลัมเหลือจากจุดพักสินค้าไปที่ตู้แช่ผลอินทผลัม

$$\sum_{i \in Tran} Tra_{2i}^t \bullet CapT_i \geq X_7^t, \forall t \in HT \quad (11)$$

การเก็บรักษาคุณภาพผลอินทผลัม เกษตรกรจะเลือกใช้ตู้แช่ของตนเองก่อนเป็นลำดับแรก เนื่องจากมีต้นทุนการเก็บรักษาที่ต่ำกว่าการใช้ตู้แช่เช่า แต่มีข้อจำกัดด้านประมาณความจุของตู้แช่ที่เกษตรกรสามารถใช้แช่ผลอินทผลัมได้ ซึ่งในข้อจำกัด (12) - (14) แสดงการจัดสมดุล (Balancing constraint) ของปริมาณผลอินทผลัมที่เข้าและออกตู้แช่เมื่อสิ้นสุดในแต่ละช่วงเวลา t

$$CooL_1^t = CooL_1^{t-1} + XI_1^t - X_8^t, \forall t \in HT \quad (12)$$

$$CooL_1^t \leq CapCO \bullet Inv^t, \forall t \in HT \quad (13)$$

และ

$$CooL_2^t = CooL_2^{t-1} + XI_2^t - X_9^t, \forall t \in HT \quad (14)$$

เมื่อปริมาณผลอินทผลัมที่ออกมาจากตู้แช่แต่ละประเภทจะถูกส่งไปขายที่ตลาดไท (X_{10}^t) และส่งยังบริษัทคั้นน้ำอินทผลัม (X_{11}^t) เท่านั้นแสดงในข้อจำกัด (15)

$$X_8^t + X_9^t = X_{10}^t + X_{11}^t, \forall t \in HT \quad (15)$$

ปริมาณผลอินทผลัมที่ส่งขายตลาดไทจะเป็นผลอินทผลัมที่เก็บสดจากสวน (X_5^t) รวมกับปริมาณผลอินทผลัมที่ส่งมาจากตู้แช่ (X_{10}^t) ซึ่งต้องมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าในตลาดไท ซึ่งแสดงในข้อจำกัด (16)

$$(X_5^t + X_{10}^t) \geq Dem^t, \forall t \in HT \quad (16)$$

ข้อจำกัด (17) แสดงประเภทรถและจำนวนเที่ยวรถที่เกษตรกรต้องใช้ในการขนปริมาณอินทผลัมไปที่ตลาดไท

$$\sum_{i \in Tran} Tra_{3i}^t \bullet CapT_i \geq (X_5^t + X_{10}^t), \forall t \in HT \quad (17)$$

ในทำนองเดียวกัน ปริมาณผลอินทผลัมส่วนหนึ่งจะถูกส่งเข้าบริษัทคั้นน้ำ เพื่อคั้นและบรรจุใส่ขวดขายเป็นน้ำอินทผลัม โดยผลอินทผลัมที่สามารถคั้นเป็นน้ำได้สามารถมาจากทั้งสวนโดยตรง (X_6^t) รวมกับปริมาณผลอินทผลัมที่ส่งมาจากตู้แช่ (X_{11}^t) ซึ่งต้องไม่เกินกำลังการผลิตน้ำอินทผลัมของบริษัทฯ แสดงในข้อจำกัด (18) และ (19)

$$(X_6^t + X_{11}^t) \bullet RoBT \geq BoT^t, \forall t \in HT \quad (18)$$

และ

$$BoT^t \leq CapBT, \forall t \in HT \quad (19)$$

ส่วนข้อข้ากัด (20) และ (21) แสดงจำนวนแรงงานที่ต้องใช้ในการผลิตน้ำอินทผลัม และจำนวนเที่ยวรถที่ต้องใช้ในการขนส่งปริมาณผลอินทผลัมไปยังบริษัทผลิตน้ำอินทผลัม ตามลำดับ

$$Lab_4^t \bullet RoB_4 \geq BoT^t, \forall t \in HT \quad (20)$$

และ

$$\sum_{i \in Tran} Tra_{4i}^t \bullet CapT_i \geq (X_6^t + X_{11}^t), \forall t \in HT \quad (21)$$

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

สมการเป้าหมายสำหรับในงานวิจัยนี้ คือ เพื่อให้เกษตรกรมีกำไรสุทธิจากการดำเนินการรวมสูงที่สุด (Profit Maximization) โดยต้องสามารถวางแผนหลังการเก็บเกี่ยว การกระจายสินค้า รวมถึงการขนส่งอินทผลัมให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด และยังต้องสามารถตอบสนองอุปสงค์ของลูกค้าให้เป็นที่พึงพอใจได้ โดยกำไรสุทธิในการดำเนินการในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คณะผู้วิจัยสร้างขึ้นนั้นสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

$$Max \text{ Profit z} = \text{Net revenue - Annual total cost} \quad (22)$$

โดยเทอมแรกคือ รายได้จากการขายอินทผลัมทั้งหมด (Net revenue) ซึ่งรายได้จะเชื่อมโยงกับราคาขายอินทผลัมในแต่ละช่วงเวลา โดยคณะผู้วิจัยได้กำหนดให้ $SellDC^t$ คือราคาขายจากศูนย์รับซื้อ $SellON^t$ คือราคาขายจากการวางขายหน้าสวน $SellTH^t$ คือราคาจากการส่งขายให้กับลูกค้าในตลาดไท และ $SellBT$ คือราคาขายจากการวางน้ำอินทผลัม ดังนั้นรายได้ที่เกิดขึ้นทั้งหมดในกระบวนการสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\text{Net revenue} = \sum_{t \in HT} X_3^t \bullet SellDC^t + \sum_{t \in HT} X_4^t \bullet SellON^t + \sum_{t \in HT} (X_5^t + X_{10}^t) \bullet SellTH^t + \sum_{t \in HT} BoT^t \bullet SellBT$$

ส่วนในเทอมที่สองคือต้นทุนรวมทั้งหมด (Annual total cost) ซึ่งคำนวณจากต้นทุนการขนส่ง (C^{Trans}) ต้นทุนค่าแรงงาน (C^{Labor}) ต้นทุนค่าพัสดุคงคลัง (C^{Inven}) และต้นทุนค่าบรรจุภัณฑ์ (C^{Pack})

$$\text{Annual total cost} = C^{Trans} + C^{Labor} + C^{Inven} + C^{Pack}$$

ต้นทุนค่าขนส่ง (Transportation Cost, C^{Trans}) เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการขนส่งอินทผลัมไปตามสถานที่ต่างๆ ในโครงข่ายโซ่อุปทาน ดังนั้นต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการขนส่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{Trans} = \sum_{i \in Tran} \sum_{t \in HT} Tra_{1i}^t \bullet CosT_{1i} + \sum_{i \in Tran} \sum_{t \in HT} Tra_{2i}^t \bullet CosT_{2i} + \sum_{i \in Tran} \sum_{t \in HT} Tra_{3i}^t \bullet CosT_{3i} + \sum_{i \in Tran} \sum_{t \in HT} Tra_{2i}^t \bullet CosT_{4i}$$

ต้นทุนค่าแรงงาน (Labor Cost, C^{Labor}) เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการใช้แรงงาน เพื่อดำเนินการในกระบวนการต่างๆ ซึ่งต้นทุนค่าแรงงานรวมสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{Labor} = \sum_{t \in HT} (Lab_1^t + Lab_2^t + Lab_3^t + Lab_4^t) \bullet CosLB$$

ต้นทุนค่าพัสดุคงคลัง (Inventory Cost, C^{Inven}) โดยกำหนดให้ $CosCO$ เป็นต้นทุนค่าไฟฟ้าสำหรับการใช้ตู้แช่ของเกษตรกรเองในการเก็บรักษาผลอินทผลัม ส่วน $CosCOA$ เป็นต้นทุนการเก็บรักษาผลอินทผลัมที่ถูกเก็บรักษาในตู้แช่สำหรับเช่าเพื่อใช้บริการ ดังนั้นต้นทุนค่าพัสดุคงคลังสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{Inven} = \sum_{t \in HT} Inv^t \bullet CosCO + \sum_{t \in HT} XI_2^t \bullet CosCOA$$

สุดท้ายคือต้นทุนค่าบรรจุภัณฑ์ (Packaging Cost, C^{Pack}) โดยค่าบรรจุภัณฑ์จะเกิดขึ้นเมื่อมีการวางขายที่หน้าสวน ผลอินทผลัมจะต้องทำการบรรจุใส่บรรจุภัณฑ์ในรูปแบบกล่อง และน้ำอินทผลัมคั้นจะต้องทำการบรรจุใส่บรรจุภัณฑ์ในรูปแบบขวด โดยกำหนดให้ $CosPA$ คือค่าใช้จ่ายสำหรับบรรจุภัณฑ์รูปแบบกล่อง และ $CosBT$ คือค่าใช้จ่ายสำหรับบรรจุภัณฑ์รูปแบบขวด ดังนั้นต้นทุนค่าบรรจุภัณฑ์ทั้งหมดสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{Pack} = \sum_{t \in HT} X_4^t \bullet CosPA + \sum_{t \in HT} BoT^t \bullet CosBT$$

5. ผลลัพธ์การคำนวณ (Numerical Results)

จากหัวข้อที่ผ่านมาในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยใช้โปรแกรม CPEX Solver โดยใช้ภาษา GAMs Studio (Version 27.3.0) ในการเขียนแบบจำลองการวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวและการขนส่งในโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัม เพื่อใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

ผลลัพธ์ของแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มเพื่อใช้ในการวางแผนหลังการเก็บเกี่ยว รวมถึงการขนส่งในโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัมตั้งแต่การเก็บเกี่ยว การคัดเลือกผลอินทผลัมที่ผ่านมาตรฐานการกระจายสินค้า โดยสามารถตอบสนองต่ออุปสงค์ของลูกค้าให้เป็นที่พึงพอใจได้ ซึ่งผลกำไรสุทธิของการดำเนินการที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 15,303,145 บาท/ปี มีค่าความเผื่อ (Gap Tolerance) อยู่ที่ 0.05% และใช้เวลาในการคำนวณเพียง 96.02 วินาที แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของผลลัพธ์จำนวนเต็มที่ได้จากการคำนวณสูงมาก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์กำไรสุทธิการดำเนินการทั้งหมดจากการคำนวณของแบบจำลองที่คณะผู้วิจัยสร้างขึ้นกับกำไรจากการดำเนินการก่อนการใช้แบบจำลอง (Manual Planning) ซึ่งมีกำไรสุทธิอยู่ที่ 12,387,025 บาท/ปี จากผลลัพธ์ของแบบจำลองสามารถเพิ่มผลกำไรสุทธิจากการดำเนินการรวมได้ถึง 2,916,120 บาท/ปี หรือสามารถเพิ่มผลกำไรสุทธิได้ถึงร้อยละ 23.54 โดยผลลัพธ์ของคำตอบสามารถวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเลือกใช้พาหนะในการขนส่งอินทผลัมตามน้ำหนักที่ต้องขนส่งได้อย่างเหมาะสม โดยสามารถตอบสนองอุปสงค์ของลูกค้าให้เป็นที่พึงพอใจได้ ซึ่งจากผลลัพธ์ของแบบจำลองดังกล่าว สามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้เหลือเพียง 198,135 บาท/ปี จากเดิมอยู่ที่ 253,435 บาท/ปี หรือสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งได้ 21.82%

6. สรุป

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัมของสวนกรณีศึกษาที่จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งจากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าเกษตรกรประสบปัญหาอยู่ 2 ด้านใหญ่ๆ คือ 1) การวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวผลอินทผลัมที่ขาดประสิทธิภาพ ทำให้ผลอินทผลัมเน่าเสียเกิดความเสียหาย และไม่สามารถตอบสนองตามอุปสงค์ของลูกค้าได้ และ 2) การเลือกใช้พาหนะในการขนส่งอินทผลัม โดยเกษตรกรจะใช้เลือกพาหนะที่ว่างอยู่ในการไปขนอินทผลัม ซึ่งไม่มีการวางแผนจัดการการเลือกใช้พาหนะแต่ละประเภทให้มีความเหมาะสมกับปริมาณอินทผลัมที่ขนส่ง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มมาใช้ในการวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวในโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัม ซึ่งโปรแกรม CPLEX Solver โดยใช้ภาษา GAMs Studio (Version 27.3.0) ถูกนำมาใช้ในการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด โดยมีค่าความเผื่อจากค่าที่เหมาะสมที่สุดเพียง 0.05% เท่านั้น และสามารถวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวของโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีกำไรสุทธิรวมมากกว่าก่อนการใช้แบบจำลองถึงร้อยละ 23.54 และสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งลงได้ถึงร้อยละ 21.82

นอกจากนี้เพื่อให้การวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวของโซ่อุปทานการผลิตอินทผลัมสามารถครอบคลุมการตัดสินใจและตรงกับสถานการณ์ปัจจุบันมากยิ่งขึ้น สำหรับงานวิจัยในอนาคตที่คณะผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาต่อ คือ การวางแผนการผลิตก่อนการเก็บเกี่ยว (Pre-harvest) โดยศึกษาตั้งแต่การหาจัดหาต้นพันธุ์ การปลูกอินทผลัม การบำรุงรักษาต้นอินทผลัมให้สามารถมีผลผลิตในช่วงที่ราคาขายผลอินทผลัมมีราคาสูง เนื่องจากการขายผลอินทผลัมสดมีราคาที่สูงกว่าการนำไปคั้นเป็นน้ำขาย

เอกสารอ้างอิง

[1] จารุฉัตร เขนยทิพย์. 2558. “วิจัยและพัฒนาพันธุ์อินทผลัม”. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

[2] B.M. Beamon. 1998. “Supply chain design and analysis: models and methods”. International Journal of Production Economics, vol. 55 : 281-294.

[3] S. Selcuk Erenguc, N.C. Simpson and A.J. Vakharia. 1999. “Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review”. European Journal of Operational Research, vol. 115 : 219–236.

[4] N.K. Tsolakis, C.A. Keramydas, A.K. Toka, D.A. Aidonis and E.T. Lakovou. 2014. "Agi-food supply chain management: a comprehensive hierarchical decision-making framework and critical taxonomy". Biosystems Engineering, vol. 120 (1): 46–64.

[5] O. Ahumada and J.R. Villalobos. 2009. "Application of planning models in the agri-food supply chain: a review". European Journal of Operational Research, vol. 195 (1): 1–20.

[6] J. Mula, D. Peodro, M. Diaz-Madronero and E. Vicens. 2010. " Mathematical programming models for supply chain production and transport planning," European Journal of Operational Research, vol. 204 : 377–390.

[7] Y. Kazancoglu, D. O. Yesim and M. Ozbiltekin. 2018. "Minimizing losses in milk supply chain with sustainability: an example from emerging economy". Resources, Conservation and Recycling, vol. 139 (3): 270–279.

[8] W.E. Soto-Silva, M. Gonzalez-Araya, M.A. Oliva-Fernandez and L.M. Pla-Aragones. 2017. "Optimizing fresh food logistics for processing: application for large Chilean apple supply chain". Computers and Electronics in Agriculture, vol. 136 (1): 42–57.

[9] D.J. Sanjay and P. Marcus. 2013. "Harvest planning in the Brazilian sugar cane industry via mixed integer programming". European Journal of Operational Research, vol. 230 (2): 374–384.

[10] Y. Hu, Y. Liu, Z. Wang, J. Wen, J. Li and J.Lu. 2020. "A two-stage dynamics capacity planning approach for agricultural machinery maintenance service with demand uncertainty," Biosystems Engineering, vol. 190 : 201–217.

การวางแผนการผลิตรวมเพื่อการตัดสินใจผลิตและซื้อวัคซีนจากภายนอก: กรณีศึกษาการผลิตวัคซีนด้วยเทคโนโลยีไข่ไก่ฟัก

Aggregate Production Planning for Making and Purchasing Vaccine Decisions: A Case Study of Vaccines Produced by Egg-based Technology

นันทวรรณ ไชยมงคล[1] ศันสนีย์ สุภาภา[1] พัชราภรณ์ ญาณภิรัต[1*]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: fengppy@ku.ac.th*

Nantawan Chaimongkol[1], Sansanee Supapa[1], Patcharaporn Yanpirat[1*]
[1]Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: fengppy@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

การระบาดของโรคติดเชื้อจากไวรัสยังคงมีการรายงานอย่างต่อเนื่องทั่วโลก ทั้งโรคที่มีการระบาดเป็นประจำทุกปี เช่น ไข้หวัดใหญ่ ไข้หวัด และโรคอุบัติใหม่ (โควิด-19) วัคซีนเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมการระบาดในกลุ่มประชากร โดยการป้องกันการติดเชื้อ ลดความรุนแรงจากอาการป่วย และลดการเสียชีวิตอันเกิดจากอาการแทรกซ้อน องค์การเภสัชกรรม (อภ.) เป็นหน่วยงานภายใต้กระทรวงสาธารณสุข มีพันธกิจหลักในการจัดหายาและเวชภัณฑ์ รวมถึงวัคซีนที่จำเป็น และมีนโยบายในการผลิตวัคซีนเพื่อทดแทนการนำเข้าวัคซีนจากต่างประเทศเพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านวัคซีนให้กับประเทศไทย ซึ่ง อภ. มีกระบวนการผลิตวัคซีนโดยใช้เทคโนโลยีไข่ไก่ฟัก ในปัจจุบันสามารถผลิตวัคซีนได้ทั้งหมด 3 ชนิด คือ วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 3 สายพันธุ์ วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ และวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 แต่ยังไม่สามารถผลิตวัคซีนได้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการส่งผลให้ต้องมีการซื้อวัคซีนจากต่างประเทศ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การโปรแกรมเลขจำนวนเต็มในการวางแผนการผลิตรวมสำหรับวัคซีนทั้ง 3 ชนิด ภายใต้ข้อจำกัดของทรัพยากรของโรงงานผู้ผลิตวัคซีน และการนำเข้าวัคซีนจากต่างประเทศเพื่อรองรับความต้องการในแต่ละไตรมาส โดยมีต้นทุนรวมในการจัดหาวัคซีนต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาสามารถช่วยในการวางแผนการผลิตรวมได้อย่างมีประสิทธิผลภายใต้ข้อจำกัดของกำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตวัคซีนเป็นปัจจัยที่มีความไวต่อแผนการผลิตและการนำเข้าวัคซีนแต่ละประเภท

คาสาคัญ: การวางแผนการผลิตรวม, การโปรแกรมเลขจำนวนเต็ม, กระบวนการผลิตวัคซีน, โควิด-19

Abstract

The epidemic of Infectious diseases caused by viruses has been reported across the globe. These include seasonal diseases like influenza and emerging diseases such as COVID-19. The vaccine is one of the effective tools to control the virus pandemic among the population by preventing virus infection, reducing the severity of illness, and reducing the mortality rate from complications. The Government Pharmaceutical Organization (GPO) is a state enterprise operated under the Ministry of Public Health, having a mission to supply medicines, medical devices, and vaccines. GPO has a policy of vaccine production to reduce the import of vaccines and to establish vaccine security in Thailand. As part of GPO, the biological product (Vaccine) production plant has employed an egg-based platform for the manufacture of vaccines, which presently includes trivalent seasonal influenza vaccine, quadrivalent seasonal influenza vaccine, and COVID-19 vaccine. However, the production capacity is limited. In order to fulfill the domestic demand for vaccines, imported vaccines have been undertaken. Therefore, this paper is aimed at to propose a mathematical model in terms of integer programming to generate an aggregate production plan of three vaccines quarterly. The objective of the proposed model is to minimize total production cost and imported cost under capacity and inventory constraints. The results show the effectiveness of the proposed model and manufacturing costs of those vaccines are sensitive to the number of vaccine production and imported vaccines during the planning period.

Keywords: Aggregate production planning, Integer programming, Vaccine manufacturing process, Covid-19

การหารอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Determination of Appropriate Traffic Light Cycle Using Simulation Technique in Chiang Mai University

ธนภัทร ธรรมสิทธิ์
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: tanaphut_th@cmu.ac.th

Tanaphut Thamasit
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
E-mail: tanaphut_th@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มระดับการให้บริการในการแบ่งช่วงเวลาการควบคุมสัญญาณไฟจราจร และหารอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาสำหรับการจราจรบริเวณสี่แยกไฟแดง ลดระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของรถที่อยู่ในระบบและปรับปรุงระบบแถวคอย โดยทำการออกแบบและสร้างแบบจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Arena สำหรับบริเวณสี่แยกไฟแดงภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (สี่แยกไฟแดงคณะบริหารธุรกิจ) จากนั้นทำการหาความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม เวลาสูญเสียทั้งหมด ความล่าช้า และอัตราการไหลอิ่มตัว ในการปรับปรุงและพัฒนาสัญญาณไฟจราจรเพื่อยกระดับการให้บริการที่ดีขึ้น โดยอ้างอิงตามคู่มือ HCM (Highway Capacity Manual 2010) ผลการวิจัยพบว่าการประยุกต์ใช้โปรแกรม Arena ในการออกแบบและจำลองสถานการณ์สามารถนำมาใช้ได้กับสถานการณ์จริง จากนั้นทำการพัฒนาตัวโมเดลที่สร้างขึ้นให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นแผนในการพัฒนาการจัดการสัญญาณไฟจราจรภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในอนาคต รวมถึงเป็นการยกระดับประสิทธิภาพการจราจรของผู้ที่ใช้เส้นทางร่วม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจราจรบริเวณทางแยกอื่นๆ ได้ อีกทั้งสามารถปรับปรุงความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาเร่งด่วนได้อย่างเหมาะสม จากผลการวิจัยสามารถเพิ่มระดับการให้บริการในช่วงเวลา 07.30 - 08.30 น. ก่อนปรับปรุงมีค่าระดับการให้บริการ D หลังจากปรับปรุงมีค่าระดับการให้บริการ B, ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. ก่อนปรับปรุงมีค่าระดับการให้บริการ D หลังจากปรับปรุงมีค่าระดับการให้บริการ B และในช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น. ก่อนปรับปรุงมีค่าระดับการให้บริการ D หลังจากปรับปรุงมีค่าระดับการให้บริการ C และสามารถลดระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของรถที่อยู่ในระบบในช่วงเวลา 07.30 - 08.30 น.ได้ 51.36 %, ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. ได้ 52.60 % และในช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น. ได้ 70.21 % อีกทั้งสามารถลดจำนวนรถที่อยู่ในแถวคอยเฉลี่ยในช่วงเวลา 07.30 - 08.30 น.ได้ 51.07 %, ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. ได้ 52.79 % และในช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น. ได้ 69.02 %

คาสาคัญ: โปรแกรม Arena, ความยาวรอบสัญญาณไฟ, ระยะเวลารอคอยเฉลี่ย, ระบบแถวคอย

Abstract

The objective of this research is increase the service level in the traffic light control interval and find the optimum cycle time of traffic light intersection to reduce the average waiting time of the cars in the system and improve the waiting system. By, designing and simulating the situation using The Arena Program for the intersection within Chiang Mai University. (Intersection, Faculty of Business Administration). Then find the appropriate traffic light, total loss time, delay and saturation flow rate to improve and develop traffic lights with reference to the HCM (Highway Capacity Manual 2010). The results application of The Arena Program in simulation design and simulation can be applied to real - life situations. Then develop the built model to be more efficient as a plan to develop traffic signal management within Chiang Mai University in the future. As well as to enhance the traffic efficiency of those who use shared routes and can be applied to traffic at other intersections. The research results, the service level can be increased during 07.30 - 08:30 before improvement to the service level D, after the adjustment, to the service level B, during 12.00 - 13.00 before the improvement. Service D

after improvement has service level B, and during 4pm - 5pm before improvement has service level D, after improvement has C service level and can reduce the average waiting time of cars that are in the system during the period 07.30 - 08:30 by 51.36%, from 12.00 - 13.00 by 52.60% and during the period 16.00 - 17.00 by 70.21% and reduce the number of cars in the queue averaged during the period 07.30 - 08:30 by 51.07%, during the period 12.00 - 13.00 by 52.79% and during the period 16.00 - 17.00 by 69.02%.

Keywords: The Arena Program, Cycle Time, Waiting Time, Queue

1. บทนำ

เส้นทางการจราจรภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่นั้นมีอัตราการติดขัดเป็นอย่างมากโดยเฉพาะ ณ บริเวณสี่แยกไฟแดง ซึ่งสาเหตุของการเกิดปัญหาจราจรติดขัดดังกล่าวนั้นเกิดจากช่วงเวลาเร่งด่วนของผู้เข้าใช้งานเส้นทางหลายกลุ่ม เช่น นักศึกษา อาจารย์ และบุคลากรภายนอก ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์เพื่อสืบค้นที่มาของปัญหาจราจรติดขัดนี้พบว่า ณ บริเวณสี่แยกไฟแดงภายในมหาวิทยาลัย อันเป็นปัญหาหลักของการจราจรติดขัดนั้นมีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในการปล่อยรถโดยที่ไม่มีการวิเคราะห์ปริมาณรถในช่วงเวลาต่างๆ ส่งผลให้การจราจรในบริเวณนี้ในบางช่วงเวลาเกิดปัญหาติดขัดเป็นอย่างมาก หรือมีการรอคอยสัญญาณไฟจราจรนานเกินไป

จากปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาที่มีความสำคัญต่อการใช้งานเส้นทางอย่างมาก และกระทบถึงผู้ใช้งานเส้นทางในทุกๆ กลุ่มเป้าหมาย ทำให้เกิดการล่าช้าของการเดินทางติดขัด หรืออาจลุกลามไปถึงการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาเร่งด่วนได้ เนื่องจากช่วงเวลาเร่งด่วนนั้นมีความรีบเร่งในการใช้เส้นทางที่สูง ยกตัวอย่างเช่น นักศึกษา หรือบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย ที่ประสบปัญหาในการสัญจรเส้นทางนี้เสียเวลาบนเส้นทางมากเกินไป ซึ่งทางผู้วิจัยพบว่าการแก้ปัญหาจราจรติดขัดนั้นมิได้มาจากการปรับตัวของผู้เข้าใช้เส้นทางแต่เพียงอย่างเดียวที่จะต้องรับมือกับช่วงเวลาเร่งด่วน แต่เป็นประเด็นของการจัดการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการกับสัญญาณไฟจราจรเหล่านี้ให้มีความเหมาะสมกับในช่วงเวลาเพื่อให้รองรับกับสภาพจราจรที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลาของเส้นทาง ณ บริเวณสี่แยกไฟแดงภายในมหาวิทยาลัย

จากการสืบค้นข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการแก้ปัญหาจราจรติดขัดนี้ และพบถึงรูปแบบของวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาที่มีผลลัพธ์ที่ดี ซึ่งจุดหลักของปัญหานั้นคือ การควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ไม่สัมพันธ์กับสภาพจราจร ณ เวลานั้นๆ ทำให้เกิดการจราจรติดขัด ดังนั้นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องมีระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม และเปลี่ยนแปลงชุดควบคุมได้ในแต่ละช่วงเวลา โดยนำทฤษฎีแถวคอย และโปรแกรมการจำลองสถานการณ์มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาการรอสัญญาณไฟจราจรจร ณ ช่วงเวลาเร่งด่วน และนำมาประมวลผลออกเป็นชุดควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสม ทางผู้วิจัยได้พบว่าโปรแกรม Arena ซึ่งเป็นโปรแกรมในการจำลองสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ มีความยืดหยุ่น เหมาะสมกับการนำมาวิเคราะห์ในการหารอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม และจำลองถึงสภาพการจราจรที่ทางแยกในลักษณะของการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น [1] ซึ่งจะนำไปสู่การแก้ไขปัญหา ณ จุดนี้ได้ด้วยการควบคุมการปล่อยสัญญาณไฟจราจรช้า/เร็ว ด้วยเวลาที่เหมาะสมกับสภาพจราจรในเส้นทางสัญจร โดยนำปัจจัยที่สำคัญที่มีผลกระทบนำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลนำเข้าเช่น ปริมาณรถในแต่ละช่วงเวลา ปริมาณรถแต่ละเลนในช่วงเวลาเร่งด่วน ระยะห่างของรถคันถัดไปที่เข้ามาใช้บริการ อีกทั้งยังรวมไปถึงทฤษฎีการออกแบบสัญญาณไฟจราจรเพื่อนำมาคำนวณเป็นความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม

จากการเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 06.00 - 19.00 น. ของวันที่ 12 สิงหาคม พ.ศ. 2562 ถึงวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2562 รวมทั้งสิ้น 3 สัปดาห์ พบว่าช่วงเวลา 07.30 - 08.30 น., 12.00 - 13.00 น. และ16.00 - 17.00 น. มีปริมาณจราจรหนาแน่นมากที่สุด ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาดังกล่าวนั้นเป็นช่วงเวลาเร่งด่วนในแต่ละวัน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกียวข้อง

2.1 แบบจำลอง (Model)

ตัวแทนของระบบ หรือสภาพแวดล้อมแบบใดแบบหนึ่งที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เลียนแบบสถานการณ์จริง [2] เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา โดยสามารถทำความเข้าใจการทำงานของระบบจำลองได้ง่ายกว่าการศึกษาจากระบบจริง ซึ่งโมเดลอาจมีลักษณะ ขนาด และแบบแตกต่างกัน แต่จะมีลักษณะในการพัฒนาโมเดลที่เหมือนกันคือ ข้อสมมติในการพัฒนาโมเดลจะต้องไม่ยุ่งยากจะต้องกำหนดขอบเขตของโมเดลหรือสถานภาพเริ่มต้นให้ชัดเจน ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสถานการณ์โดยทั่วไปมีการดำเนินงานดังนี้

1. กำหนดปัญหาและวางแผนการศึกษาเพื่อจะได้กำหนดปัญหาให้ชัดเจน และจะสามารถวางแผนกิจกรรมได้เป็นลำดับ

2. เก็บข้อมูลและกำหนดแบบจำลอง เป็นการระบุจุดที่ต้องการรวบรวมข้อมูลประสานงานใช้เครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลที่เหมาะสมและวิเคราะห์หาข้อมูลมีการกระจายตัวแบบใดเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองต่อไป

3. สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์และตรวจสอบ เป็นการเลือกใช้เครื่องมือในการจำลองสถานการณ์แล้วกำหนดขั้นตอนต่างๆ ให้ตรงกับระบบงานจริง

4. ดำเนินการจำลองสถานการณ์เบื้องต้น ที่ได้จากการเก็บข้อมูลเพื่อหาข้อผิดพลาดและทำการเปรียบเทียบกับระบบจริง

5. ออกแบบการทดลอง เป็นการสร้างทางเลือกโดนการเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ ที่เราสนใจแล้วดูค่าผลลัพธ์ที่ต้องการศึกษาเป็นเท่าไหร่ในแต่ละทางเลือก รวมถึงจำนวน และระยะเวลาในการดำเนินการจำลองสถานการณ์

6. ดำเนินการจริงตามแบบทดลองที่กำหนดไว้

7. วิเคราะห์ข้อมูลหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด รวมถึงความถูกต้องของข้อมูล

2.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์การออกแบบสัญญาณไฟจราจร

การวิเคราะห์ออกแบบสัญญาณไฟจราจร [3-6] มีหลากหลายวิธีด้วยกันเช่น ความยาวรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม (1), ไฟเขียวประสิทธิผลทั้งหมดในหนึ่งรอบสัญญาณ (2), การจัดสรรไฟเขียวในแต่ละจังหวะ (3) และเวลาไฟเขียวจริงของแต่ละจังหวะ (4) สามารถสรุปได้ดังนี้

2.2.1 ความยาวรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม

การหาความยาวรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสมนั้นเป็นการทดลองวิเคราะห์หาชุดรอบสัญญาณไฟที่ก่อให้เกิดความล่าช้าของยานพาหนะในระบบรวมกันน้อยที่สุด ซึ่งพัฒนาโดยเว็บสเตอร์ (Webster) วิธีนี้ต้องใช้กับทางแยกที่ไม่ได้สัมพันธ์กับทางแยกใกล้เคียงและเป็นระบบสัญญาณไฟแบบคงที่ [3-4]

$$C_0 = \frac{1.5L+5}{1.0-\sum_{i=1}^{\emptyset} X_i} \quad (1)$$

เมื่อ C_0 = ความยาวสัญญาณไฟที่เหมาะสม (Sec)

L = เวลาสูญเสียทั้งหมดในรอบสัญญาณไฟ (Sec)

$\sum X_i$ = ความจุความอิ่มตัวของเฟส I

$\emptyset$ = จำนวนจังหวะหรือจำนวนเฟสของสัญญาณไฟจราจรทั้งหมด

2.2.2 ไฟเขียวประสิทธิผลทั้งหมดในหนึ่งรอบสัญญาณ [3-4]

$$G_{te} = c_0 - L \quad (2)$$

เมื่อ G_{te} = เวลาไฟเขียวประสิทธิผลทั้งหมดในหนึ่งรอบสัญญาณ (Sec)

2.2.3 การจัดสรรไฟเขียวในแต่ละจังหวะ [3-4]

$$G_{ei} = \left[\frac{X_i}{X_{1+X_2+\cdots+X_\emptyset}}\right] \times G_{te} \quad (3)$$

เมื่อ G_{ei} = เวลาไฟเขียวประสิทธิผลตามสัดส่วนของค่า X ของแต่ละจังหวะ (Sec)

2.2.4 เวลาไฟเขียวจริงของแต่ละจังหวะ [3-4]

$$G_{ai} = G_{ei} + l_i - \tau_i \quad (4)$$

เมื่อ G_{ai} = เวลาไฟเขียวจริงในแต่ละจังหวะ (Sec)

l_i = เวลาที่สูญเสียในแต่ละจังหวะ (Sec)

τ_i = เวลาที่ไฟเหลืองในแต่ละจังหวะ (Sec)

3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ มีวัตถุประสงค์ในการลดระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของรถที่อยู่ในระบบ และปรับปรุงระบบแถวคอยบริเวณสี่แยกไฟแดงภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่(สี่แยกไฟแดงคณะบริหารธุรกิจ) ในช่วงเวลาเร่งด่วน เพื่อหาคาบเวลาที่เหมาะสมในการเปิด/ปิดสัญญาณไฟในแต่ละช่วงเวลา โดยนำปัจจัยที่มีผลต่อการจราจรมาใช้เป็นฐานข้อมูลในการออกแบบรูปแบบจราจรในแต่ละเส้นทางให้มีความเหมาะสม ซึ่งข้อมูลนั้นจะถูกนำมาปรับใช้กับระบบชุดควบคุมสัญญาณไฟจราจร เพื่อสร้างรูปแบบการจราจรที่เอื้อประโยชน์ให้ได้มากที่สุดสำหรับผู้เข้าใช้งานเส้นทางสัญจรนี้ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดทางงานวิจัยเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

3.1 กำหนดบทบาทของตัวแปรเพื่อเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ใช้ในการออกแบบการจำลองสถานการณ์

งานวิจัยนี้ทางผู้ทำการวิจัยมีความประสงค์ที่จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ 3 ค่าดังต่อไปนี้ ในการกำหนดเป็นข้อมูลนำเข้าในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งประกอบไปด้วย

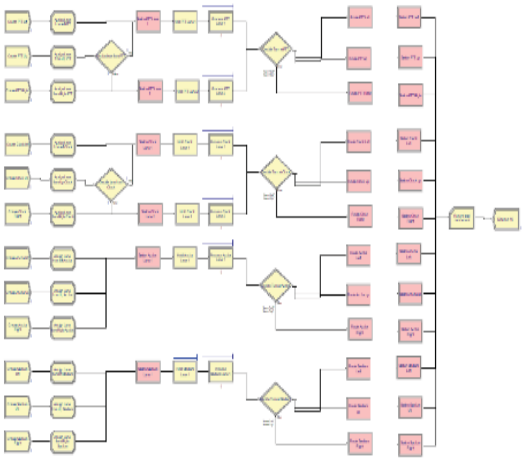
1. ปริมาณรถ ณ บริเวณสี่แยกไฟแดงในแต่ละเลน
2. ระยะห่างการเข้ามาของรถคันถัดไปต่อจากคันก่อนหน้า
3. ระบุการตั้งค่าของถนนในเส้นทางตรง เส้นทางเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา รวมไปถึงลักษณะทางกายภาพ

3.2 การเก็บข้อมูลสภาพการจราจร ณ บริเวณสี่แยกไฟแดง และบริบทโดยรอบ ในแต่ละช่วงเวลา

ทำการเก็บข้อมูล ในภาคสนามด้านระบบการเดินทางและการขนส่งเบื้องต้นถึงเส้นทางภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยผู้วิจัยได้เลือกทำการศึกษา ณ บริเวณสี่แยกไฟแดงภายในมหาวิทยาลัย(สี่แยกไฟแดงคณะบริหารธุรกิจ) ซึ่งเป็นเส้นทางที่เชื่อมต่อระหว่างหอพัก กับเส้นทางไปอาคารเรียน สนามกีฬากลาง สถานีบริการปั๊มน้ำมัน ซึ่งถือได้ว่าเป็นชุมทางทั้งจากผู้สัญจรภายในมหาวิทยาลัยและผู้เข้ามายังมหาวิทยาลัย โดยระบุขอบเขตของการศึกษาไว้เป็นบริเวณสี่แยกและบริบทโดยรอบของสี่แยกเป็นพื้นที่เปลี่ยนผ่านของการใช้งานพื้นที่ในช่วงเวลาเร่งด่วน

3.3 สร้างแบบจำลองสถานการณ์การจราจร โดยใช้โปรแกรม Arena ในการทำนายผลลัพธ์

ทำการออกแบบและสร้างแบบจำลองสถานการณ์ โดยใช้โปรแกรม Arena ในโมเดลของการรอและการปล่อย รวมถึงการทำอนิเมชั่น



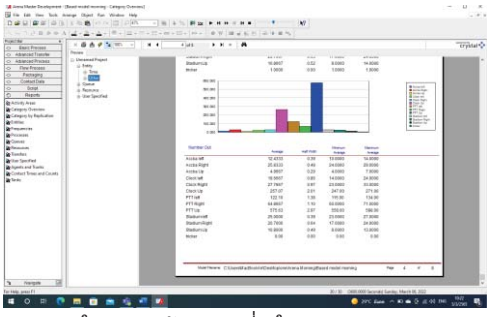
รูปที่ 1 โมเดลการรอ จากโปรแกรม Arena



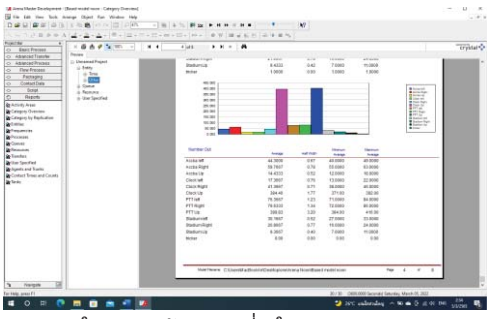
รูปที่ 2 โมเดลการปล่อยรถ จากโปรแกรม Arena

3.4 วิเคราะห์ผลที่ได้จากโมเดลเพื่อนำมาพัฒนาสภาพการจราจร ณ บริเวณสี่แยกไฟแดงในอนาคตของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

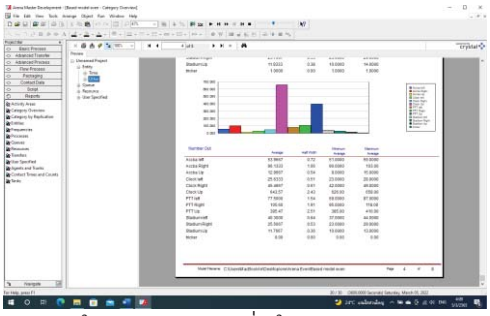
ทำการตรวจสอบความถูกต้อง ของการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมในแง่ของการทำงาน และฟังก์ชั่นต่างๆ รวมไปถึงผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์นั้นเป็นไปตามข้อกำหนดที่ได้ออกแบบไว้ตอนต้นหรือไม่ เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าตัวแบบนี้สามารถนำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง หากทำการตรวจสอบว่าโปรแกรมถูกต้องแล้วจึงจะนำไปตรวจสอบการทำงานถึงความสอดคล้องกับการดำเนินงานของระบบจริงและทำการหารอบจำนวนการทำซ้ำของระบบที่เหมาะสมของแบบจำลองเพื่อยืนยันผล จากนั้นทำการทดลองการรันอีกครั้งเพื่อนำไปทดสอบค่าสมมติฐานความเป็นไปได้เปรียบเทียบกับสถานการณ์จริง หากมีข้อกำหนดข้อใดที่ยังเป็นปัญหาอยู่ต้องกลับมาแก้ไขแบบจำลองจนกว่าผลลัพธ์จะเป็นไปตามที่ระบุในข้อกำหนดที่เราวางไว้ แสดงดังรูปที่ 3 - 8



รูปที่ 3 รถออกในแต่ละเส้นทางเฉลี่ย ในช่วงเวลา 07.30 - 08.30 น. (ก่อนปรับปรุง)

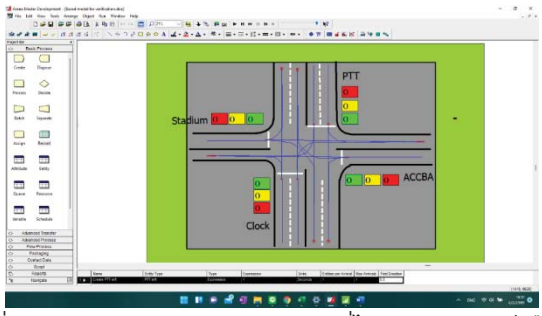


รูปที่ 4 รถออกในแต่ละเส้นทางเฉลี่ย ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. (ก่อนปรับปรุง)



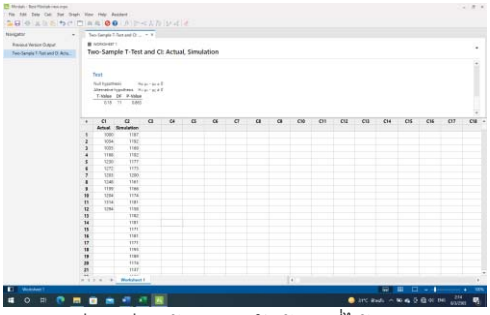
รูปที่ 5 รถออกในแต่ละเส้นทางเฉลี่ย ในช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น. (ก่อนปรับปรุง)

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองสถานการณ์ โดยการจำลอง Animation ที่ได้ทำการออกแบบไว้ควบคู่กับการทำโมเดลว่ามีผลตรงตามผลลัพธ์ที่ได้ออกแบบมาหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตรวจสอบผลจาก Animation ว่าผลที่ได้ตรงตามผลลัพธ์หรือไม่

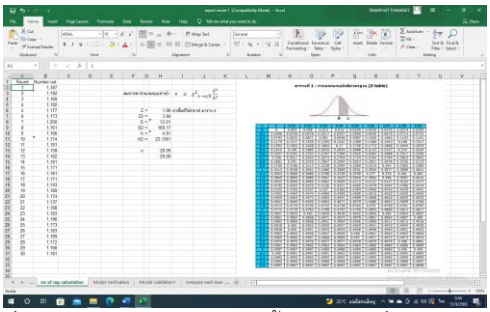
หากทำการตรวจสอบว่าโปรแกรมถูกต้องแล้วจึงจะนำไปตรวจสอบการทำงานถึงความสอดคล้องกับการดำเนินงานของระบบจริง (Validation) โดยใช้ค่าจริงที่เก็บมาทั้งหมด 3 สัปดาห์ จำนวน 12 ค่า แล้วนำค่ามาเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena โดยการ Run ทั้งหมด 30 ครั้ง โดยผู้ดำเนินงานวิจัยได้เลือกช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. มาใช้ในการทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลว่าตัวข้อมูลจริงที่ได้ทำการเก็บมากับข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์นั้นมีความแตกต่างกันที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์หรือไม่ โดยใช้โปรแกรม Minitab แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ในโปรแกรม Minitab

จากการตรวจสอบข้อมูลจริง 12 ค่ากับข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ 30 ค่าที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ปรากฏว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า P-Value = 0.863 ดังนั้นหมายว่าข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์สามารถนำมาใช้ร่วมกับข้อมูลจริงได้

หารอบจำนวนการทำซ้ำของระบบที่เหมาะสมของแบบจำลองเพื่อยืนยันผล จากนั้นทำการทดลองการรันอีกครั้ง (Make Pilot Runs) เพื่อนำไปทดสอบค่าสมมติฐานความเป็นไปได้เปรียบเทียบกับสถานการณ์จริง หากมีข้อกำหนดข้อใดที่ยังเป็นปัญหาอยู่ต้องกลับมาแก้ไขแบบจำลองจนกว่าผลลัพธ์จะเป็นไปตามที่ระบุในข้อกำหนดที่เราวางไว้ โดยผู้ดำเนินงานวิจัยได้เลือกใช้ค่าที่ได้มากจากการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Arena มาทั้งหมด 30 ครั้ง ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. แสดงดังรูปที่ 8



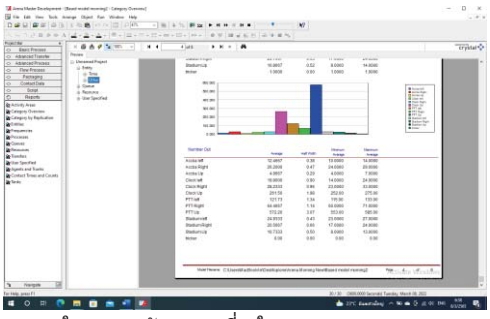
รูปที่ 8 การหารอบจำนวนการทำซ้ำของระบบที่เหมาะสม

การทำซ้ำจำนวน 30 รอบก็เพียงพอต่อการทดลองในครั้งนี้ เนื่องจากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าจำนวนรอบทำซ้ำเพียง 29 รอบก็เพียงพอสำหรับการทดลอง ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

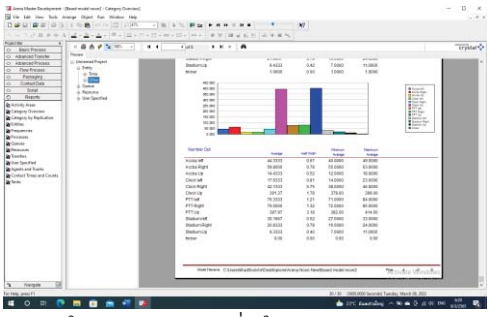
3.5 ทำการหาความยาวรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสม

คำนวณหาความยาวรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสม ไฟเขียวประสิทธิผลทั้งหมดในหนึ่งรอบสัญญาณ เวลาไฟเขียวจริงของแต่ละจังหวะ ดังสมการ 2.2.1 – 2.2.4

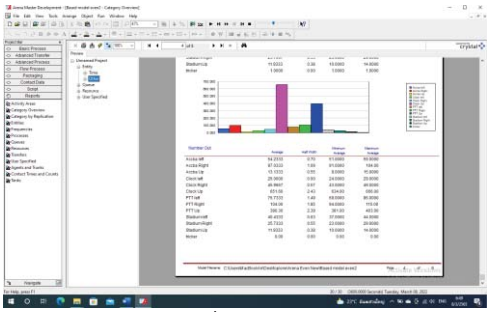
3.6 นำค่าที่ได้ไปปรับปรุงและพัฒนาเพื่อใช้เป็นแผนในการออกแบบสัญญาณไฟจราจรในอนาคต



รูปที่ 9 รถออกในแต่ละเส้นทางเฉลี่ย ในช่วงเวลา 07.30 - 08.30 น. (หลังปรับปรุง)



รูปที่ 10 รถออกในแต่ละเส้นทางเฉลี่ย ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. (หลังปรับปรุง)



รูปที่รถออกในแต่ละเส้นทางเฉลี่ย ในช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น. (หลังปรับปรุง)

4. ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลข้อมูลและผลการศึกษาจากแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena ข้อมูลผลลัพธ์การวิเคราะห์ก่อนและหลังปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรด้วยทฤษฎีการวิเคราะห์ออกแบบสัญญาณไฟจราจร และรายละเอียดการวิเคราะห์ระดับการให้บริการและความล่าช้าจากการหยุดบริเวณทางแยกโดยอ้างอิงจากคู่มือ HCM (Highway Capacity Manual 2010) ใน 3 ช่วงเวลาประกอบไปด้วยช่วงเวลาเร่งด่วน 07.30 - 08.30 น., 12.00 - 13.00 น. และ16.00 - 17.00 น.

ตารางที่ 1 ระดับการให้บริการและความล่าช้าจากการหยุดบริเวณทางแยก ในช่วงเวลา 07.30 - 08.30 น. (ก่อนปรับปรุง)

ระดับ	ลักษณะ	Delay (วินาที/คัน)	เส้นทาง
C	การไหลชนิดสม่ำเสมอ	20.1 – 30.0	PTT Lane 1, PTT Lane 2, Clock Lane 1, Clock Lane 2 และ Stadium Lane 1
D	เริ่มเข้าสู่ความไม่สม่ำเสมอ	30.1 – 40.0	Accba Lane 1

ตารางที่ 2 ระดับการให้บริการและความล่าช้าจากการหยุดบริเวณทางแยก ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. (ก่อนปรับปรุง)

ระดับ	ลักษณะ	Delay (วินาที/คัน)	เส้นทาง
C	การไหลชนิดสม่ำเสมอ	20.1 – 30.0	PTT Lane 1, PTT Lane 2 Clock Lane 2 และ Stadium Lane 1
D	เริ่มเข้าสู่ความไม่สม่ำเสมอ	30.1 – 40.0	Clock Lane 1 และ Accba Lane 1

ตารางที่ 3 ระดับการให้บริการและความล่าช้าจากการหยุดบริเวณทางแยก ในช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น. (ก่อนปรับปรุง)

ระดับ	ลักษณะ	Delay (วินาที/คัน)	เส้นทาง
C	การไหลชนิดสม่ำเสมอ	20.1 – 30.0	PTT Lane 1, PTT Lane 2 Clock Lane 2 และ Stadium Lane 1
D	เริ่มเข้าสู่ความไม่สม่ำเสมอ	30.1 – 40.0	Clock Lane 1 และ Accba Lane 1

ตารางที่ 4 ระดับการให้บริการและความล่าช้าจากการหยุดบริเวณทางแยก ในช่วงเวลา 07.30 - 08.30 น. (หลังปรับปรุง)

ระดับ	ลักษณะ	Delay (วินาที/คัน)	เส้นทาง
A	การไหลแบบสม่ำเสมอ	≤ 10	PTT Lane 1, PTT Lane 2
B	การไหลชนิดสม่ำเสมอ	10.1 – 20.0	Clock Lane 1, Clock Lane 2, Accba Lane 1 และ Stadium Lane 1

ตารางที่ 5 ระดับการให้บริการและความล่าช้าจากการหยุดบริเวณทางแยก ในช่วงเวลา 12.00 - 13.0 น. (หลังปรับปรุง)

ระดับ	ลักษณะ	Delay (วินาที/คัน)	เส้นทาง
B	การไหลชนิดสม่ำเสมอ	10.1 – 20.0	PTT Lane 1, PTT Lane 2, Clock Lane 1, Clock Lane 2, Accba Lane 1 และ Stadium Lane 1

ตารางที่ 6 ระดับการให้บริการและความล่าช้าจากการหยุดบริเวณทางแยก ในช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น. (หลังปรับปรุง)

ระดับ	ลักษณะ	Delay (วินาที/คัน)	เส้นทาง
B	การไหลแบบสม่ำเสมอ	10.1 – 20.0	PTT Lane 2, Clock Lane 2 และ Stadium Lane 1
C	การไหลชนิดสม่ำเสมอ	20.1 – 30.0	PTT Lane 1, Clock Lane 1 และ Accba Lane 1

ตารางที่ 7 ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของรถที่อยู่ในระบบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์หลังการปรับปรุง

เส้นทาง	ระยะเวลารอคอยเฉลี่ย คิดเป็นเปอร์เซ็นต์หลังการปรับปรุง (%)		
	07.30 - 08.30	12.00 - 13.00	16.00 - 17.00
ปั๊มน้ำมัน PTT ในเลนซ้าย	30.63 %	43.50 %	69.78 %
ปั๊มน้ำมัน PTT ในเลนขวา	28.68 %	52.26 %	76.22 %
หอนาฬิกา ในเลนซ้าย	55.84 %	50.84 %	66.20 %
หอนาฬิกา ในเลนขวา	77.25 %	62.83 %	65.48 %
คณะบริหารธุรกิจ	57.27 %	50.38 %	73.29 %
สนามกีฬากลาง	60.11 %	55.77 %	70.29 %

ตารางที่ 8 จำนวนรถที่อยู่ในแถวคอยเฉลี่ยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ หลังการปรับปรุง

เส้นทาง	ระยะเวลารอคอยเฉลี่ย คิดเป็นเปอร์เซ็นต์หลังการปรับปรุง (%)		
	07.30 - 08.30	12.00 - 13.00	16.00 - 17.00
ปั๊มน้ำมัน PTT ในเลนซ้าย	25.88 %	43.54 %	70.55 %
ปั๊มน้ำมัน PTT ในเลนขวา	32.08 %	53.32 %	76.28 %
หอนาฬิกา ในเลนซ้าย	56.98 %	50.69 %	62.46 %

หอนาฬิกา ในเลนขวา	74.05 %	62.30 %	67.04 %
คณะบริหารธุรกิจ	57.43 %	50.76 %	67.39 %
สนามกีฬากลาง	60.04 %	56.13 %	70.38 %

5. สรุป

ให้บริการ B, ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. ก่อนปรับปรุงมีค่าระดับการให้บริการ D หลังจากปรับปรุงมีค่าระดับการให้บริการ B และในช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น. ก่อนปรับปรุงมีค่าระดับการให้บริการ D หลังจากปรับปรุงมีค่าระดับการให้บริการ C และสามารถลดระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของรถที่อยู่ในระบบในช่วงเวลา 07.30 - 08.30 น.ได้ 51.36 %, ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. ได้ 52.60 % และในช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น. ได้ 70.21 % อีกทั้งสามารถลดจำนวนรถที่อยู่ในแถวคอยเฉลี่ยในช่วงเวลา 07.30 - 08.30 น.ได้ 51.07 %, ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. ได้ 52.79 % และในช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น. ได้ 69.02 %

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ เสรีรัฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างสูง ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ อีกทั้งให้ความเอาใจใส่และการติดตามผลการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณงานบริการจราจรมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้โอกาสในการศึกษาและวิจัย ตลอดจนผู้บริหารหัวหน้างาน และพนักงานทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ การสนับสนุน และให้ความรู้มาโดยตลอดจนทำให้วิทยานิพนธ์ออกมาสมบูรณ์แบบ

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆพี่ๆ ภาควิชาอุตสาหการทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

[1] รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ, และกิรพัฒน์ เล็กสุขสมบูรณ์, การจำลองสถานการณ์เพื่อช่วยในการตัดสินใจการควบคุมจังหวะสัญญาณไฟจราจร,วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553.

[2] ภูมินทร์ สุคันธรัต, การสร้างแบบจำลองสถานการณ์สี่แยกไฟแดงสันติธรรม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่, วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 2560.

จากการหารอบการปล่อยสัญญาณไฟที่เหมาะสมในช่วงเวลาเร่งด่วน 07.30 - 08.30 น., 12.00 - 13.00 น. และ16.00 - 17.00 น. และนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปปรับปรุงโมเดลในโปรแกรม Arena สามารถเพิ่มระดับการให้บริการในช่วงเวลา 07.30 - 08.30 น. ก่อนปรับปรุงมีค่าระดับการให้บริการ D หลังจากปรับปรุงมีค่าระดับการ

[3] ศิวกิจ เสรีรัตนสกุล, การพัฒนาระบบควบคุมการจราจรที่เหมาะสม กรณีศึกษาจังหวัดนครราชสีมา, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2550.

[4] อรอนงค์ แสงผ่อง, การศึกษาความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2553.

[5] ภูมินทร์ สุคันธรัต, การสร้างแบบจำลองสถานการณ์สี่แยกไฟแดงสันติธรรม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 2560.

[6] ชุติมณฑน์ รักนะ, จินตทัศน์ศึกษาสำหรับระบบจัดการจราจร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2560.

[7] จิรายุส สุดเสมอใจ และเวทิศ ใจเถิง, การพัฒนาแบบจำลองบริเวณทางแยกสันกลาง เพื่อประเมินการออกแบบทางแยกที่เหมาะสม. โครงงานทางวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาสถิติ คณะวิทยาศาสต์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2564.

[8] ฉัตรพร คำพิชัย, การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก กรณีศึกษาทางแยกกองพันสัตว์ต่าง, 2553.

[9] ทวี วิชัยเมธาวี, การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอิ่มตัว.ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[10] เทิดศักดิ์ รองวิริยะพานิช, ผลกระทบจากรถจักรยานยนต์ต่อการจราจรบนถนนในเขตเมือง การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9 จังหวัดเพชรบุรี, 2547.

[11 Bartin, K. Ozbay, O. Yanmaz, &N. Rathi, Modeling and Simulation of an Unconventional Traffic Circle. Austria: Vienna, 2005

[12] Boxill, An evaluation of 3- d traffic simulation modeling. capabilities. Research Report SWUTC/ 07/ 167621- 1. USA. : Center for Transportation Training and Research Texas Southern University, 2007.

วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนาน

Genetic Algorithm for Parallel Workstation Assembly Line Balancing

สิรภพ แสงนาค[1*] สิริวิมล ตัชชนานุสรณ์[1] นพคุณ แสงเขียว[1] ธนาธร เกรอต[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: sangnark_s@silpakorn.edu*

Sirapob Sangnark [1*], Siriwimon Tadchananusorn [1], Noppakun Sangkhiew [1], Thanatorn Karot [1]
[1] Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: sangnark_s@silpakorn.edu*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์ สำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนานแบบผลิตภัณฑ์เดียว โดยจำกัดจำนวนการเปิดสถานีงานขนานต่อ 1 สถานีงานปกติ ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาใน Python Package สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ ที่มีชื่อว่า Spalb Package ซึ่งวิธีเชิงพันธุกรรมที่จะนำเสนอต่อไปนี้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นหาได้ โดยพิจารณาจากวัตถุประสงค์ 2 ชนิด ได้แก่ ประสิทธิภาพของสายการประกอบสูงที่สุด และค่าความเรียบระหว่างสถานีงานน้อยที่สุด ทดสอบโดยใช้ชุดปัญหาของ Armin Scholl จากนั้นเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมและวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง จากการทดสอบพบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์นั้น ให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง

คาสาคัญ: การจัดสมดุลสายการประกอบ, สายการประกอบสถานีงานขนาน, วิธีเชิงพันธุกรรม

Abstract

This research presents a multi-objective genetic algorithm to solve single model parallel workstation assembly-line balancing. It will be limited to the number of openings in parallel workstations per normal workstation. It was developed in a python package for assembly line balancing problems, which was named the Spalb package. The proposed algorithm can find the best-known solutions. The two objectives are considered: maximum line efficiency and minimum smoothness index. The Spalb package will be tested with benchmark problems, which are obtained from Armin Scholl. Then, the genetic algorithm answer and the rank position weight method (RPW) answer are compared. The computational results show that the genetic algorithm finds a better answer than the rank position weight method.

Keywords: Assembly line balancing, Parallel workstation assembly line, Genetic algorithm

1. บทนา

สายการประกอบเป็นหัวใจหลักของการผลิตสินค้า และเป็นกระบวนการที่ใช้แรงงานคนเป็นส่วนมาก ส่งผลให้ต้องทำการออกแบบสายการการประกอบให้เกิดความสมดุล เพราะการไม่สมดุลของสายการประกอบนั้น ก่อให้เกิดความล่าช้า เวลาไม่ได้มาตรฐานตามที่ตั้งไว้ในกระบวนการ การปฏิบัติงานไม่เสร็จตามเวลาที่กำหนด เกิดความสูญเปล่า ซึ่งเรียกว่าปัญหาเหล่านี้ว่า ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing Problem: ALBP) เป็นสิ่งที่ส่งผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพ (Performance) และผลิตผล (Productivity) ขององค์กร

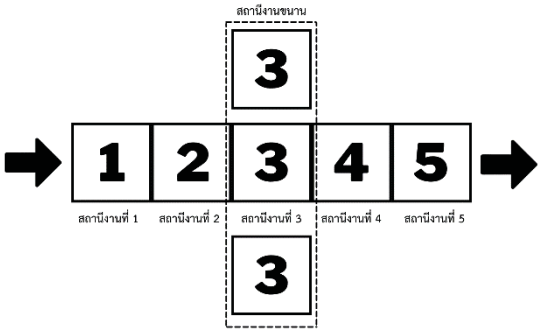
การออกแบบสายการประกอบจึงต้องมีความระมัดระวัง โดยต้องมีความรู้เกี่ยวกับการจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly line balancing) เพื่อลดความสูญเปล่าจากการรอคอยงานที่สถานีคอขวด (Bottle Neck) โดยการจัดสมดุลสายการประกอบเป็นการจัดสรรงานในแต่ละสถานีงาน (Workstation) ให้มีเวลาปฏิบัติงานไม่เกินรอบเวลา (Cycle Time) ที่กำหนด [1] ทำให้สามารถทำการผลิตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ การจัดสมดุลสายการประกอบจึงเป็นสิ่งที่ควรมีการทำตามระยะเวลาที่กำหนดหรือเมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง เพื่อที่จะรักษาประสิทธิภาพของสายการประกอบไว้ โดยการจัดสมดุลสายการประกอบต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ต่าง ๆ [2] เช่น การทำให้จำนวนของสถานีงานน้อยที่สุดเมื่อกำหนดรอบเวลาให้ (Type I) การทำให้รอบเวลาน้อยที่สุดเมื่อกำหนดจำนวนสถานีงานให้ (Type II) และการทำให้ต้นทุนรวมมีค่าน้อยที่สุด เป็นต้น ซึ่งควรจะมีการพิจารณาจากวัตถุประสงค์หลาย ๆ ด้าน เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ในปัจจุบันมีสายการประกอบหลายประเภท ผลิตภัณฑ์มีความหลากหลาย และยังมีขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อนมากขึ้น ทำให้การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบนั้นทำได้ยากและใช้เวลานาน

วิศวกรจึงต้องมีการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการจัดสมดุลสายการประกอบ และต้องการเครื่องมือที่มีความถูกต้องและหลากหลาย ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าภาษาไพธอน (Python) เป็นซอฟต์แวร์ประเภทโอเพนซอร์ส (Opensource) หมายความว่าสามารถนำซอร์ส โค้ด (Source Code) มาแก้ไขได้ทั้งหมดโดยไม่จำเป็นต้องขออนุญาต และไพธอนยังสามารถใช้งานได้หลายแพลตฟอร์ม (Platform) ไม่ว่าจะเป็น Windows Mac และ Linux และได้มีการพัฒนาไพธอนเพื่อใช้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ข้อมูล เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกทำการสร้าง Python Package สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ ที่มีชื่อว่า Spalb Package เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับวิศวกรใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ โดยในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่สายการประกอบสถานีงานขนานแบบผลิตภัณฑ์เดียว ซึ่งเป็นสายการประกอบที่จะมีการเปิดสถานีงานที่เหมือนกันหรือสถานีงานขนานขึ้นมา เพื่อเป็นการลดรอบเวลาลง ทำให้สายการประกอบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่การเปิดสถานีงานขนานนั้นก็มีข้อเสียเช่นเดียวกัน คือ เครื่องมือและอุปกรณ์อาจไม่เพียงพอต่อการใช้งานในสถานีงานขนานที่เพิ่มขึ้นมา ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะต้องถูกติดตั้งในสถานีงานขนาน จึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมกระบวนการเปิดและจำนวนสถานีงานขนาน ให้มีจำนวนเท่าที่จำเป็นเท่านั้น [1] ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการใช้ Spalb Package ทดสอบการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนานแบบผลิตภัณฑ์เดียว ด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์ [3] และวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง [4-5] เพื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธี

2. ทฤษฎีที่เกียวข้อง

2.1 สายการประกอบสถานีงานขนาน

สายการประกอบสถานีงานขนาน คือ สายการประกอบที่มีสถานีงานที่เหมือนกัน ตั้งแต่ 1 สถานีงานขึ้นไปจัดวางในแนวขนานกับสายการประกอบ นิยมใช้เมื่อในสายการประกอบเส้นตรงมีสถานีงานคอขวดเกิดขึ้น การเพิ่มสถานีงานขนานจะทำให้กำลังการผลิตที่สถานีนั้นสูงขึ้น โดยสถานีงานขนานนั้นจะทำงานเหมือนกันทุกประการ [1] ลักษณะของสายการประกอบสถานีงานขนานแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สายการประกอบสถานีงานขนาน

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าสถานีงานที่ 3 นั้นมีการเปิดสถานีงานขนานขึ้น ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 สถานีงานที่ทำงานเหมือนกันทุกประการ โดยการขนานสถานีงานนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ [1] ได้แก่ 1. การขนานภารกิจ (Task Paralleling) หมายถึง การยอมให้งานหนึ่งสามารถดำเนินการได้ในหลายสถานีงานของสายการประกอบ จึงต้องมีการเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับงานนั้นไว้ในสถานีงานเหล่านั้น 2. การขนานสถานีงาน (Workstation Paralleling) หมายถึง การยอมให้มีหลายสถานีงานที่เหมือนกัน ทำงานที่เหมือนกันไปพร้อม ๆ กัน จึงต้องมีการเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ไว้ตามจำนวนของสถานีงานขนานเหล่านั้น

2.2 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA)

วิธีเชิงพันธุกรรม เป็นวิธีหาผลคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) ในงานด้านต่างๆ รวมถึงการจัดสมดุลสายการประกอบด้วย [6-7] ได้มีงานวิจัยที่นำวิธีเชิงพันธุกรรมมาใช้หาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนาน [3] ซึ่งวิธีเชิงพันธุกรรมจะหา

คำตอบโดยอาศัยกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Natural Genetics) โดยจะคัดเลือกโครโมโซม (Chromosome) ออกจากโครโมโซมทั้งหมดด้วยการสุ่ม ซึ่งแต่ละโครโมโซมจะมีคุณลักษณะ (Character) และยีน (Gene) ที่แตกต่างกันไปในแต่ละโครโมโซม จากนั้นนำโครโมโซมที่ได้ไปผ่านกระบวนการคัดเลือก เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด [8] ขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมแสดงดังรูปที่ 2 โดยวิธีเชิงพันธุกรรมมีขั้นตอนการหาคำตอบ ดังนี้

2.2.1 สร้างประชากรเริ่มต้น

การสร้างประชากรเริ่มต้น คือ การสุ่มค่าคำตอบขึ้นมาตามจำนวนประชากรที่กำหนดไว้ แล้วทำการเข้ารหัส (Encoding) ค่าคำตอบให้เป็นโครโมโซม โดยในงานวิจัยนี้จะเข้ารหัสแบบให้ค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2 ซึ่งค่าสิทธิในการเลือกงาน นี้จะแสดงให้เห็นว่างานใดมีสิทธิในการถูกเลือกมากกว่ากัน งานที่มีสิทธิมากกว่าจะได้รับโอกาสสำหรับการถูกเลือกลงในสถานีงานก่อน

งานที่:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
priority:	5	10	3	1	7	9	4	8	2	6

รูปที่ 2 การเข้ารหัสด้วยวิธีการให้ค่าสิทธิในการเลือกงาน

2.2.2 การสลับสายพันธุ์ (Crossover)

การสลับสายพันธุ์ คือ การสุ่มจับคู่โครโมโซมมาทำการสลับสายพันธุ์ด้วยความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (Probabilities of crossover) เท่ากับ P_c โดยจะทำการสร้างตัวเลขสุ่มที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ให้กับโครโมโซมแต่ละตัว โครโมโซมที่มีค่าสุ่มน้อยกว่า P_c จะถูกนำไปจับคู่กับโครโมโซมตัวอื่นที่ได้รับคัดเลือกเช่นเดียวกัน เพื่อทำการสลับสายพันธุ์ คือ การสลับยีนของโครโมโซม 2 ตัวที่จับคู่กันมาซึ่งอาจทำให้ได้โครโมโซมใหม่ที่ดีกว่าประชากรเดิม โดยในงานวิจัยนี้จะใช้สลับสายพันธุ์แบบ Weight Mapping Crossover ซึ่งจะเป็นการสุ่มยีนจากทั้ง 2 โครโมโซม จากนั้นสุ่มเลขจำนวนเต็มให้กับยีนที่ถูกสุ่มมา และทำการสลับยีนตามเลขที่ถูกสุ่มมา

2.2.3 การกลายพันธุ์ (Mutation)

การกลายพันธุ์ คือ การสุ่มโครโมโซมมาทำการกลายพันธุ์ด้วยความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Probabilities of mutation) เท่ากับ P_m โดยจะทำการสร้างตัวเลขสุ่มที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ให้กับโครโมโซมแต่ละตัว โครโมโซมที่มีค่าสุ่มน้อยกว่า P_m จะถูกนำไปทำการกลายพันธุ์ คือ การสลับตำแหน่งของยีน 2 ตัว ที่อยู่ในโครโมโซมเดียวกัน โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การกลายพันธุ์ แบบ Swap Mutation ซึ่งจะเป็นการสุ่มตำแหน่งขึ้นมา 2 ตำแหน่ง จากนั้นทำการสลับยีนระหว่าง 2 ตำแหน่งนั้น

2.2.4 สร้างคาตอบการจัดสมดุลสายกระกอบสถานีงานขนาน

โครโมโซมทั้งหมดจะถูกมาทำการถอดรหัสเพื่อสร้างคำตอบการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนาน โดยกำหนดเงื่อนไข [9] ดังนี้ 1. ถ้างานที่สามารถจัดสรรได้ทุกงานมีเวลาการทำงานมากกว่าเวลาที่เหลืออยู่ของสถานีงาน ให้เปิดสถานีงานใหม่ 2. ถ้างานที่ถูกเลือกมีเวลาทำงานมากกว่ารอบเวลา ให้เปิดสถานีงานขนาน (α= 100%, MPT=C) 3. สามารถเปิดสถานีงานขนานได้ 1 สถานีต่อสถานีงานปกติ (MAXP = 2) 4. งานที่มีเวลาการทำงานมากที่สุด ต้องมีค่าไม่เกิน 2 เท่าของรอบเวลา ($t_{max} \leq$2C) เนื่องจากเมื่อเปิดสถานีงานขนานขึ้นมา 1 สถานี เวลาการทำงานของสถานีงานนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (2C) ดังนั้นงานที่มีเวลาการทำงานมากที่สุด มีค่าเกินกว่า 2 เท่าของรอบเวลา จะไม่สามารถจัดสรรงานนั้นลงในสถานีงานงานได้ โดยขั้นตอนในการสร้างคำตอบการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนานมีรายละเอียด ดังนี้

1. เปิดสถานีงาน: เปิดสถานีงานขึ้นมา เพื่อให้สามารถจัดสรรงานลงไปได้ โดยแต่ละสถานีงานต้องมีเวลาในการทำงานไม่เกินรอบเวลาที่กำหนด

2. พิจารณางานที่สามารถจัดสรรได้: เลือกงานที่สามารถจัดสรรได้โดยต้องเป็นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้า ตามลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน

3. จัดสรรงานลงสถานีงาน: ทำการเลือกงานจากงานที่มีค่าลำดับความสำคัญสูงที่สุดจากงานที่สามารถจัดสรรได้ และนำงานที่เลือกนั้นจัดสรรลงไปในสถานีงาน

4. เปิดสถานีงานขนาน: ถ้างานที่ถูกเลือกนั้นมีเวลาทำงานมากกว่ารอบเวลา และในสถานีงานนั้นยังไม่มีการเปิดสถานีงานขนาน จะทำการเปิดสถานีงานขนานขึ้นมา โดยในสถานีที่มีการเปิดสถานีงานขนานนั้นรอบเวลาจะทวีคูณขึ้นตามจำนวนสถานีงานที่ถูกเปิดขึ้น (MAXP x C) ทำให้สามารถจัดสรรงานเพิ่มเข้าไปได้

5. จบการทำงาน: เมื่องานทุกงานได้รับการจัดสรรแล้ว จะถือว่าเสร็จสิ้นการจัดสมดุลสายการประกอบ

2.2.5 คานวณค่าความเหมาะสม

โครโมโซมทั้งหมดที่ผ่านกระบวนการทางพันธุกรรมแล้ว จะถูกนำมาคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness value) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงโอกาสในการถูกคัดเลือกไปเป็นประชากรรุ่นถัดไป โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการควบคุมจำนวนสถานีงานขนาน จึงมีวัตถุประสงค์จะหาคำตอบที่มีจำนวนสถานีงานและรอบเวลาน้อยที่สุด รวมถึงเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานมีความใกล้เคียงกันมากที่สุดด้วย จึงจะหาคำตอบโดยพิจารณาจากวัตถุประสงค์ 2 ชนิด ได้แก่

1. ประสิทธิภาพของสายการประกอบสูงที่สุด (Maximum Line Efficiency) ในงานวิจัยนี้ต้องการที่จะควบคุมจำนวนการเปิดสถานีงานขนาน จึงเลือกใช้วัตถุประสงค์นี้ในการพิจารณาหาคำตอบ เพราะเมื่อสายการประกอบมีประสิทธิภาพสูงนั้น จะทำให้จำนวนสถานีงานและ

รอบเวลามีค่าน้อยลงด้วย ค่าประสิทธิภาพของสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียวนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$LE = \frac{T_{wc}}{wT_s} \quad (1)$$

โดยที่ T_{wc} คือผลรวมเวลาของงานย่อยทั้งหมด w คือ จำนวนของสถานีงานทั้งหมดในสายการประกอบ และ T_s คือเวลาการทำงานของสถานีงานที่มากที่สุดในสายการประกอบ

2. ค่าความเรียบระหว่างสถานีงานน้อยที่สุด (Minimum Smoothness Index) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของเวลาในการทำงานของแต่ละสถานีงาน โดยหากพิจารณาเพียงแค่ประสิทธิภาพของสายการประกอบนั้น อาจจะยังไม่ได้คำตอบการจัดสมดุลสายการประกอบที่ดีพอ งานวิจัยนี้จึงได้พิจารณาค่าความเรียบระหว่างสถานีงานด้วย เพื่อให้คำตอบที่ได้มีประสิทธิภาพของสายการประกอบสูง และมีเวลาการทำงานของแต่ละสถานีงานที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดด้วย ค่าความเรียบระหว่างสถานีงานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(T_s - T_i)^2} \quad (2)$$

โดยที่ n คือจำนวนของสถานีงานทั้งหมดในสายการประกอบ i คือลำดับของสถานีงานในสายการประกอบ และ T_i คือเวลาการทำงานของแต่ละสถานีงาน

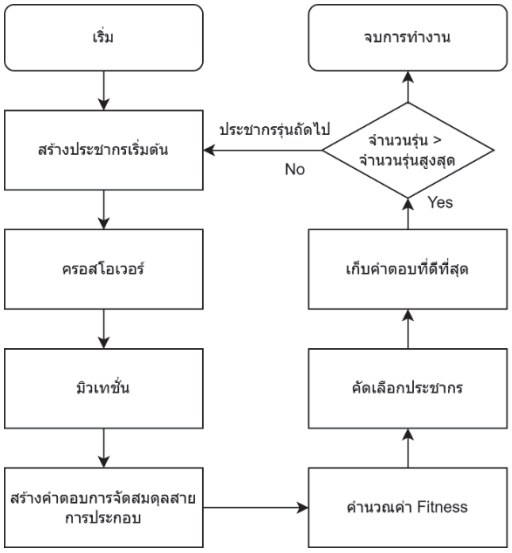
โดยจากวัตถุประสงค์ทั้ง 2 ชนิด คือ ประสิทธิภาพของสายการประกอบสูงที่สุดและค่าความเรียบระหว่างสถานีงานน้อยที่สุดนั้น Özcan และ Toklu [10] ได้นำมาเขียนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ได้ดังสมการที่ (3)

$$Min\ E = \frac{LE_0}{LE} + \frac{SI}{SI_0} \quad (3)$$

โดยที่ LE_0 คือค่าประสิทธิภาพสายการประกอบที่มากที่สุดในประชากรเริ่มต้น และ SI_0 คือค่าตัวชี้วัดความเรียบระหว่างสถานีงานที่น้อยที่สุดในประชากรเริ่มต้น

2.2.6 คัดเลือกและเก็บคาตอบทีดีทีสุด

เมื่อคำนวณค่าความเหมาะสมให้กับโครโมโซมทุกตัวแล้ว ต่อมาจะทำการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อไปเป็นประชากรรุ่นถัดไป โดยคัดเลือกด้วยวิธีการเก็บเฉพาะอันดับต้น เป็นการนำโครโมโซมมาเรียงลำดับตามค่าความเหมาะสม และเก็บเฉพาะโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยที่สุด จำนวนเท่ากับประชากรเริ่มต้นไปเป็นประชากรรุ่นถัดไป เพราะว่างานวิจัยนี้กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นการหาค่าน้อยที่สุด จึงจะเลือกเก็บโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยก่อน ส่วนโครโมโซมที่ไม่ผ่านการคัดเลือกก็จะถูกกำจัดทิ้งไป จากนั้นจะมีการเก็บคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไป จนกระทั่งประชากรทีจำนวนรุ่นเท่ากับจำนวนรุ่นสูงสุดที่กำหนดไว้ จึงจะหยุดการทำงาน และแสดงคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม

3. วิธีดาเนินงาน

3.1 พัฒนาวิธีเชิงพันธุกรรมแบบ 2 วัตถุประสงค์

ทำการพัฒนาวิธีเชิงพันธุกรรมแบบ 2 วัตถุประสงค์ โดยใช้ภาษา Python เพื่อนำมาใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนาน โดยวิธีเชิงพันธุกรรมแบบ 2 วัตถุประสงค์นี้ จะเป็นหนึ่งในฟังก์ชันของ Spalb Package ด้วย

3.2 กาหนดค่าพารามิเตอร์

การหาคำตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมนั้น มีพารามิเตอร์ 4 ชนิด ได้แก่ จำนวนประชากร (Popsize) ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) และจำนวนรุ่นสูงสุด (Maxgen) โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์นั้นจะส่งผลต่อการหาคำตอบของวิธีเชิงพันธุกรรมด้วย ค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของวิธีเชิงพันธุกรรมแบบ 2 วัตถุประสงค์

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
จำนวนประชากร (Popsize)	30
ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c)	0.7
ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m)	0.3
จำนวนรุ่นสูงสุด (Maxgen)	100

3.3 ทดสอบผลการจัดสมดุลสายการประกอบ

เมื่อทำการพัฒนาวิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์และกำหนดค่าพารามิเตอร์แล้ว จะทำการทดสอบการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนาน โดยจะใช้ชุดปัญหาของ Armin Scholl (1993) จาก http://www.assembly-line-balancing.de [11] จะแบ่งชุดปัญหาเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก 1-20 งาน ขนาดกลาง 21-50 งาน ขนาดใหญ่ 51-70 งาน โดยจะทำการทดสอบขนาดละ 3 ชุดปัญหา รวมเป็นทดสอบทั้งหมด 9 ชุดปัญหา ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเงื่อนไขในการเปิดสถานีงานขนาน คือ ถ้างานที่ถูกเลือกมีเวลาทำงานมากกว่ารอบเวลา จะทำการเปิดสถานีงานขนาน ผู้วิจัยจึงได้กำหนดรอบเวลาที่ใช้ทดสอบให้มีค่าน้อยกว่าเวลางานมากที่สุด เพื่อให้มีการเปิดสถานีงานขนานขึ้นมา

โดยผู้วิจัยได้พัฒนา Spalb Package (Single Product Assembly Line Balancing) ซึ่งสามารถจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนานแบบผลิตภัณฑ์เดียวได้ สามารถดาวน์โหลดได้ที่ https://pypi.org/project/spalb/ และงานวิจัยนี้จะใช้ Spalb Package ในการทดสอบผลการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนาน

3.4 เปรียบเทียบผลและสรุปการวิจัย

คำตอบจากการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนานโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง ซึ่งเป็นวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีประสิทธิภาพ สามารถใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพของสายการประกอบได้ [4-5] โดยจะเปรียบเทียบเกี่ยวกับผลต่างของประสิทธิภาพของสายการประกอบ (DLE) ของคำตอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธี ว่ามีความแตกต่างกันเท่าใด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$DLE = LE_{GA} - LE_{RPW} \quad (4)$$

โดยที่ LE_{GA} คือประสิทธิภาพของสายการประของคำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรม (%) และ LE_{RPW} คือประสิทธิภาพของสายการประของคำตอบที่ได้จากวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (%)

จากนั้นเปรียบเทียบผลต่างของค่าความเรียบระหว่างสถานีงาน (DSI) ของคำตอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธี ว่ามีความแตกต่างกันเท่าใด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$DLE = \frac{SI_{RPW} - SI_{GA}}{SI_{RPW}} \quad (5)$$

โดยที่ SI_{RPW} คือค่าความเรียบระหว่างสถานีงานของคำตอบที่ได้จากวิธีวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง และ SI_{GA} คือค่าความเรียบระหว่างสถานีงานของคำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรม

4. ผลการดำเนินงาน

ทำการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนานแบบผลิตภัณฑ์เดียว ด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมแบบ 2 วัตถุประสงค์ และวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง โดยใช้ Spalb Package ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมาในการหาคำตอบ สำหรับวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจะทำการหาคำตอบทั้งหมด 5 ครั้ง จากนั้นเลือกคำตอบที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบ ทำการทดสอบโดยใช้ชุดปัญหาของ Armin Scholl จำนวน 9 ชุดปัญหา และนำคำตอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธี มาเปรียบเทียบกัน โดยชื่อชุดปัญหา จำนวนงาน เวลางานมากที่สุด รอบเวลา ค่าประสิทธิภาพ (LE) ค่าความเรียบระหว่างสถานีงาน (SI) ผลต่างของประสิทธิภาพของสายการประกอบ (DLE) และผลต่างของค่าความเรียบระหว่างสถานีงาน (DSI) แสดงดังตารางที่ 2

จากการทดสอบพบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพของสายการประกอบมากกว่าวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่งเป็นจำนวน 5 ชุดปัญหา ได้แก่ ชุดปัญหาของ Sawyer, Kilbrid, Hahn, Warnecke และ Tonge มีประสิทธิภาพไม่เปลี่ยนแปลง 4 ชุดปัญหา ได้แก่ ชุดปัญหาของ Bowman, Mansoor, Jackson และ Mitchell ทั้งนี้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 1.85% และให้คำตอบที่มีค่าความเรียบระหว่างสถานีงานน้อยกว่าวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่งจำนวน 8 ชุดปัญหา ได้แก่ ชุดปัญหาของ Mansoor, Jackson, Mitchell, Sawyer, Kilbrid, Hahn, Warnecke และ Tonge มีค่าความเรียบระหว่างสถานีงานไม่เปลี่ยนแปลง 1 ชุดปัญหา ได้แก่ชุดปัญหาของ Bowman ทั้งนี้ค่าความเรียบระหว่างสถานีงานลดลงโดยเฉลี่ย 22.45% และยังพบว่าชุดปัญหาขนาดเล็ก ได้คำตอบจากทั้ง 2 วิธีที่มีประสิทธิภาพของสายการประกอบไม่แตกต่างกัน แต่คำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมมีค่าความเรียบระหว่างสถานีงานที่น้อยลง ส่วนชุดปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่นั้น ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพและค่าความเรียบระหว่างสถานีงานดีขึ้น เนื่องจากการมีจำนวนงานย่อยที่เยอะ จะเพิ่มความเป็นไปได้ในการจัดสรรงานลงในสถานีงาน และการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในสมการที่ (3) ในการหาคำตอบจะช่วยให้คำตอบที่ได้มีค่าประสิทธิภาพที่สูงและค่าความเรียบระหว่างสถานีงานที่น้อยได้ แสดงให้เห็นว่าวิธีเชิงพันธุกรรมที่นำเสนอนี้ สามารถให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพของสายการประกอบและค่าความเรียบระหว่างสถานีงานดีขึ้น เมื่อใช้กับปัญหาที่มีจำนวนงานย่อยตั้งแต่ 30 งานขึ้นไป

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบคำตอบของชุดปัญหาที่นำมาทดสอบ

ชุดปัญหา	จำนวนงาน	เวลางานมากที่สุด	รอบเวลา	RPW		GA		D (%)	
				LE (%)	SI	LE (%)	SI	DLE (%)	DSI (%)
Bowman	8	17	13	96.15	2.24	96.15	2.24	0.00	0.00
Mansoor	11	45	35	90.69	14.59	90.69	13.75	0.00	5.76
Jackson	11	7	5	92.00	2.45	92.00	2.00	0.00	18.37

ตารางที่ 2 (ต่อ) ผลการเปรียบเทียบคำตอบของชุดปัญหาที่นำมาทดสอบ

ชุดปัญหา	จำนวนงาน	เวลางานมากที่สุด	รอบเวลา	RPW		GA		D (%)	
				LE (%)	SI	LE (%)	SI	DLE (%)	DSI (%)
Mitchell	21	13	9	83.33	9.00	83.33	6.86	0.00	23.78
Sawyer	30	25	23	82.86	19.92	88.04	13.64	5.18	31.53
Kilbrid	45	55	40	93.16	24.19	94.36	17.92	1.20	25.92
Hahn	53	1775	1000	88.24	1036.64	90.28	898.85	2.04	13.29
Warnecke	58	48	50	87.16	53.98	91.49	38.47	4.33	28.73
Tonge	70	156	130	90.70	105.73	94.56	47.92	3.86	54.68

5. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาวิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งประกอบไปด้วยวัตถุประสงค์ 2 ชนิด ได้แก่ ประสิทธิภาพของสายการประกอบสูงที่สุด และค่าความเรียบระหว่างสถานีงานน้อยที่สุด สำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนานแบบผลิตภัณฑ์เดียว โดยจำกัดจำนวนการเปิดสถานีงานขนานต่อ 1 สถานีงานปกติ จากนั้นนำมาทำการทดสอบโดยใช้ชุดปัญหาของ Armin Scholl จำนวน 9 ชุดปัญหา และนำคำตอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง จากผลการทดสอบพบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพของสายการประกอบ และค่าความเรียบระหว่างสถานีงานดีกว่าวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง

โดยงานวิจัยในอนาคตที่จะศึกษาเกี่ยวกับการจัดสมดุลสายการประกอบสถานีงานขนานนั้น ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้ 1. วิธีฮิวริสติกและวิธีเมตาฮิวริสติกอื่นๆ สามารถพัฒนาเพื่อนำมาทำการทดสอบได้ เช่น วิธีจำลองการอบอ่อน และวิธีอาณาจักรมด เป็นต้น 2. พิจารณาข้อจำกัดต่าง ๆ ที่สามารถเจอได้ในสายการประกอบปัจจุบัน เช่น ข้อจำกัดด้านการจำกัดเขต จำนวนสถานีงานขนานต่อสถานีงานปกติ และเงื่อนไขในการเปิดสถานีงานขนาน เป็นต้น 3. กำหนดวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกับงานวิจัยนี้ เช่น ทำให้จำนวนของสถานีงานน้อยที่สุดเมื่อกำหนดรอบเวลาให้ และการทำให้รอบเวลาน้อยที่สุดเมื่อกำหนดจำนวนสถานีงานให้ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ปารเมศ ชุติมา และรณชัย ศิโรเวฐนุกูล. เทคนิคการจัดสมดุลสายการประกอบ, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560.

[2] C. Becker and A. Scholl. 2006. “A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing”. European Journal of Operation Research, Vol. 168: 694-715.

[3] L. Tiacci. 2015a. “Coupling a Genetic Algorithm Approach and a Discrete Event Simulator to Design Mixed-model Un-paced Assembly Lines with Parallel Workstations and Stochastic Task Times”. International Journal of Production Economics, Vol. 159: 319-333.

[4] M. S. Khan and S. Jha. 2017. “Evaluation of standard time with the application of rank positional weighted method in the production line”. Int J Mech Product Eng Res Develop, Vol. 7: 73-80.

[5] R. Ginting and A. Lumongga, Optimizing Production Line Using the Rank Positional Weight (RPW) Method at PT. X, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 9-13 Oct 2022, US

[6] R. K. Hwang, H. Katayama and M. Gen. 2008. “U-shaped assembly line balancing problem with genetic algorithm”. International Journal of Production Research, Vol. 46: 4637-4649.

[7] M. Fathi, A. Nourmohammadi, A. H. C. Ng, A. Syberfeldt and H. Eskandari. 2019. “An improved genetic algorithm with variable neighborhood search to solve the assembly line balancing problem”. Engineering Computations, Vol. 37 (2): 501-521.

[8] ปาลิดา ฉิมคล้าย, การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์, ข้อมูลจาก http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/32149 (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 มกราคม 2565)

[9] A. S. Simaria and P. M. Vilarinho. 2001. “The simple assembly line balancing problem with parallel workstations – a simulated annealing approach”. International Journal of Industrial Engineering, Vol. 8 (3): 230-240.

[10] U. Ozcan and B. Toklu. 2009. “Balancing of mixed-model two-sided assembly lines”. Computers & Industrial Engineering, Vol. 57: 217-227.

[11] A. Scholl. “Data of assembly line balancing problems”. Online document http://www.assembly-line-balancing.de accessed on Feb 18, 2022.

การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น สำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร

An Application of Two-Phase Heuristic for Production Scheduling in SMT Process

พัฒนโชค อินทะโส[1*] พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: pattanachok.int@gmail.com*

Pattanachok Intaso[1*], Pisit Jarumaneeroj[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: pattanachok.int@gmail.com*

บทคัดย่อ

การจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร (Surface Mount Technology, SMT) เป็นกระบวนการจัดสรรทรัพยากรต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต เช่น เครื่องจักร วัตถุดิบ ผู้ปฏิบัติงาน รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ให้บรรลุวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ในการผลิต อย่างไรก็ดี การจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าวกลับมีความซับซ้อน อันเนื่องมาจากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ทั้งในมุมของจำนวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ประเภทของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงประเภทของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตซึ่งมีประสิทธิภาพในการผลิตที่แตกต่างกันออกไป หากตารางการผลิตไม่มีประสิทธิภาพ ก็จะส่งผลทำให้ไม่สามารถส่งงานไปยังกระบวนการถัดไปได้ทันเวลา สูญเสียเวลาในการผลิตมากเกินความจำเป็น อีกทั้งยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าว โดยในขั้นตอนการหาผลเฉลยเบื้องต้น ได้ประยุกต์ใช้กฎการส่งมอบงานที่เร็วที่สุด (Earliest Due Date, EDD) ร่วมกับกฎการผลิตที่สั้นที่สุด (Shortest Processing Time, SPT) แล้วจึงทำการปรับปรุงผลเฉลยที่ได้ด้วยการบูรณาการระหว่างการปรับปรุงผลเฉลยเฉพาะถิ่น และอัลกอริทึมในการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) เพื่อค้นหาผลเฉลยที่ดีขึ้น จากนั้นทำการทดสอบฮิวริสติกส์ที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยได้ทำการเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบที่ได้ กับตารางการผลิตในอดีตของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถลดระยะเวลาในการปิดงาน (Makespan) ลดระยะเวลาเตรียมงาน (Setup Time) และลดต้นทุนค่าล่วงเวลาลงเฉลี่ยร้อยละ 15, 30, 28 ตามลำดับ

คาสาคัญ: การจัดตารางการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์, กฎการจ่ายงานอย่างง่าย, ฮิวริสติกส์, ฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น

Abstract

Production scheduling in surface mount technology process (SMT) is a process concerning the allocation of limited resources, such as machines, raw materials, and operators, to accomplish objectives of production. However, production scheduling in SMT process is a complicated one due to a wide variety of products – each of which differs in terms of number and type of electronic parts – as well as that of the machines used in different production lines. Without efficient production schedules, might be unable to deliver the products according to their due dates; and, might also waste part of our precious production time due to unproductive time – this might, in turn, affect the quality of produced products. A two-phase heuristic is herein devised in order to address such an issue, where the initial solution is first constructed based on simple dispatching rules – namely, Earliest Due Date (EDD) and Shortest Processing Time (SPT). Once done, such a solution is then improved by an integration between several local searches and escape mechanisms so that the quality of resulting resolutions is gradually improved. Following this procedure, found that the proposed heuristic could provide a better production schedule, in which makespan, setup time, and the cost of overtime could be reduced by 15%, 30% and 28%, respectively.

Keywords: Production scheduling, Dispatching rules, Heuristics, Two-phase heuristics

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีเป็นไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้แนวโน้มความต้องการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีการนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ เครื่องจักรกล รวมไปถึงชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทก็มีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันออกไป ทั้งในด้านประเภท และจำนวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่งผลทำให้การผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

สำหรับกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปนั้น มักมีรูปแบบการผลิตเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow Production) โดยในแต่ละสายการผลิตจะประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ การสกรีนตะกั่วลงบนแผ่นวงจร (Soldering) การวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร (Mounting) และการอบแผ่นวงจรเพื่อบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับแผ่นวงจร (Reflow) ทั้งนี้โรงงานผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ มักผลิตแผ่นวงจรเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หลายหลาย การวางแผนการผลิตในกระบวนการดังกล่าวจึงมีความซับซ้อน ทั้งในมุมของความหลายหลากของผลิตภัณฑ์ที่มีกำหนดส่ง (Due Date) ที่แตกต่างกัน ตลอดจนความหลากหลายของเครื่องจักรที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีประสิทธิภาพ และความเข้ากันได้กับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป ส่งผลทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิต (Processing Time) ผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ บนเครื่องจักรที่แตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันออกไปด้วย หากการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าวขาดประสิทธิภาพ ก็จะส่งผลทำให้ไม่สามารถส่งงานไปยังกระบวนการถัดไปได้ทันเวลา สูญเสียเวลาในการผลิตเกินความจำเป็น อีกทั้งยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

ด้วยเหตุดังกล่าว จึงได้เลือกทำการศึกษาปัญหาข้างต้น โดยอ้างอิงจากกระบวนการผลิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง ซึ่งมีสายการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กว่า 20 สายการผลิต และมีผลิตภัณฑ์รวมกว่า 400 รายการ สำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกัน ทั้งในด้านของประเภทอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ ซึ่งมีตั้งแต่ 3 – 100 รายการต่อแผ่นวงจร ตลอดจนจำนวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีตั้งแต่ 20 – 3000 ชิ้นต่อแผ่นวงจร จากการศึกษาข้างต้น พบว่า การวางแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษายังขาดประสิทธิภาพอยู่มาก เนื่องจากการดำเนินการส่วนใหญ่ยังอ้างอิงอยู่บนประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่วางแผน ส่งผลทำให้มีต้นทุนค่าล่วงเวลาเฉลี่ย และจำนวนครั้งที่ส่งงานล่าช้าเฉลี่ยสูงกว่า 951,200 บาทต่อเดือน และ 28 ครั้งต่อเดือน ตามลำดับ

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงได้ดำเนินการพัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้นขึ้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดตารางการผลิตสำหรับกระบวนการดังกล่าว โดยมุ่งเน้นไปที่การลดเวลาปิดงาน จำนวนการส่งงานล่าช้า และต้นทุนในการปฏิบัติงานล่วงเวลาลงอย่างเป็นระบบ

2. การทบทวนวรรณกรรม

การจัดตารางการผลิต เป็นการบริหารจัดการทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ทั้งในมุมมองของเครื่องจักร วัตถุดิบ ผู้ปฏิบัติงาน รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการผลิต เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ในการผลิต ทั้งนี้ การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีที่สามารถสร้างผลเฉลยที่ทำให้บรรลุวัตถุประสงค์สูงที่สุด หรือต่ำที่สุด ภายใต้คุณลักษณะ และข้อจำกัดต่าง ๆ ของการผลิตได้ [1-2] อย่างไรก็ดี ปัญหาการจัดตารางการผลิตส่วนใหญ่ มักอยู่ในกลุ่มของปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard) [3-4] ซึ่งมีความซับซ้อนสูง ทั้งในเชิงของจำนวนและประเภทของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนรุ่นของเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละสายการผลิต ส่งผลทำให้มีแนวโน้มการใช้เวลาในการหาคำตอบ (Computational Time) ที่ยาวนาน และไม่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่

วิธีการฮิวริสติกส์ (Heuristic technique) เป็นอีกหนึ่งในวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต ถึงแม้ว่าผลเฉลยที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกส์นั้น อาจไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุด [5] วิธีการฮิวริสติกส์กลับมีความยืดหยุ่น สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาที่มีข้อกำหนดที่ซับซ้อนได้ดี อีกทั้งยังใช้เวลาในการคำนวณที่สั้นกว่าการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และซับซ้อน

สำหรับฮิวริสติกส์ที่ถูกพัฒนาขึ้น ส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปแบบฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น โดยในขั้นตอนแรก คือการสร้างผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) ซึ่งจะเป็นการค้นหาผลเฉลยเบื้องต้นอย่างเป็นระบบผ่านอัลกอริทึมต่าง ๆ เช่น กฎการจ่ายงานอย่างง่าย แล้วจึงนำผลเฉลยดังกล่าวไปพัฒนาปรับปรุงต่อในขั้นตอนที่สอง คือ ขั้นตอนการปรับปรุงผลเฉลย (Improved Solution) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้มาซึ่งผลเฉลยที่มีคุณภาพ หรือ ให้ผลลัพธ์วัตถุประสงค์ (Objective Function) ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ดีที่สุดมากยิ่งขึ้น โดยการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะถิ่น (Local Search) ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การค้นหาในย่านใกล้เคียง (Variable Neighborhood Search) ซึ่งเป็นการวนรอบการทำซ้ำในการค้นหาผลเฉลยในย่านใกล้เคียง เพื่อปรับปรุงผลเฉลยให้ดียิ่งขึ้นตามจำนวนรอบการทำซ้ำ หรือเงื่อนไขที่กำหนด อย่างไรก็ดีผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์อาจเป็นผลเฉลยเฉพาะถิ่น (Local Solutions) เนื่องจากการสร้าง และการปรับปรุงผลเฉลยส่วนใหญ่ มักอ้างอิงจากกระบวนการค้นหาเฉพาะถิ่น (Local Search) ดังนั้นจึงอาจจำเป็นต้องอาศัยการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) เข้าร่วมในการพัฒนาผลเฉลยข้างต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ดีที่สุดมากยิ่งขึ้น

จากการศึกษาวรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง พบว่าวิธีการทางฮิวริสติกส์ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น การจัดตารางการผลิตในกระบวนการผลิตแบบขนาน ซึ่งมีระยะเวลาเตรียมงานก่อนการผลิตเปลี่ยนแปลงไปตามผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่อเนื่องกัน (Sequence Dependent Setup Time)

[6] และการนำเอาวิธีการทางฮิวริสติกส์ ไปประยุกต์ใช้ในการจัดตารางการผลิตที่มีความซับซ้อนในเชิงการจัดเตรียมงาน [7] ตลอดจนการผลิตที่มีข้อจำกัดกำหนดส่ง [7-8] ทั้งนี้จากผลงานวิจัยข้างต้นพบว่าวิธีการทางฮิวริสติกส์สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังใช้เวลาในการประมวลผลในระยะเวลาอันสั้น [9]

สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัทกรณีศึกษานี้ ได้เลือกพัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้นขึ้น โดยในขั้นตอนแรก ได้ทำการสร้างผลเฉลยเบื้องต้นด้วยกฎการจ่ายงานอย่างง่าย แล้วจึงทำการปรับปรุงผลเฉลยดังกล่าวด้วยการค้นหาเฉพาะถิ่นแบบต่าง ๆ เช่น การสุ่มอย่างทั่วถึง ร่วมกับการย้ายขอบเขตการค้นหาไปยังขอบเขตเฉพาะถิ่นอื่น ๆ โดยการสับเปลี่ยนคำสั่งการผลิตระหว่างสายการผลิต เพื่อให้ได้มาซึ่งตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ลักษณะของปัญหา

ตารางการผลิตที่ถูกสร้างขึ้นโดยผู้วางแผนการผลิตมักมีความไม่สม่ำเสมอของเวลาปิดงานในสายการผลิตต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ และเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีประสิทธิภาพ และความเข้ากันได้กับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือ เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางรุ่นมีความเร็วในการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สูง แต่กลับไม่สามารถติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางประเภทได้ ส่งผลทำให้สายการผลิตดังกล่าวปิดงานได้เร็ว ในขณะที่สายการผลิตที่มีความยืดหยุ่นมากกว่า (เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความเร็วในการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่ำ แต่สามารถติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ทุกประเภท) ประสบปัญหาเวลาปิดงานสูง

เมื่อเวลาปิดงานของแต่ละสายการผลิตแตกต่างกัน ผู้จัดตารางการผลิตจึงจำเป็นต้องย้ายงานระหว่างสายการผลิต เพื่อให้สามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์ได้ตรงตามกำหนดส่ง อย่างไรก็ดีในการย้ายสายการผลิตจะต้องมีการดำเนินงานเพิ่มเติมตามนโยบายของบริษัท พร้อมทั้งอาจจำเป็นต้องทำการปรับตั้งเครื่องจักร (Setup Time) ใหม่ โดยลักษณะของการย้ายสายการผลิตที่พบสามารถแบ่งออกได้ ดังต่อไปนี้

- ย้ายสายการผลิตไปยังสายการผลิตที่ไม่ได้ถูกกำหนดให้ผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าว (สายการผลิตนอกรายการ) โดยสายการผลิตดังกล่าวยังอยู่ในบริเวณโรงงานเดียวกันกับสายการผลิตในรายการเดิม
- ย้ายสายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ โดยสายการผลิตดังกล่าวอยู่ต่างโรงงานกับสายการผลิตในรายการเดิม

สังเกตว่า ก่อนเริ่มการผลิต พนักงานจะต้องจัดเตรียมงาน โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะติดตั้งลงบนรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นจึงนำรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปติดตั้งกับเครื่องจักร เนื่องจากผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันอาจใช้รถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกันได้ ประสิทธิภาพของการจัดลำดับคำสั่งการผลิตจึงขึ้นอยู่กับรูปแบบของรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วย อย่างไรก็ดี ในงานวิจัยฉบับนี้ เราจะมุ่งเน้นไปที่การจัดลำดับการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยอ้างอิงจากรูปแบบรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดั้งเดิมของบริษัทเป็นหลัก เพื่อลดความซับซ้อนของปัญหาลง

3.2 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาเป็นการผลิตแบบตามคำสั่งซื้อ (Made-to-order) การจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาจึงอ้างอิงอยู่กับข้อมูลคำสั่งซื้อ (จำนวนสินค้า และวันส่งมอบสินค้า) ของลูกค้าเป็นหลักสำคัญ

นอกจากข้อมูลคำสั่งซื้อแล้ว เรายังจำเป็นต้องพิจารณาความพร้อมของเครื่องจักร ซึ่งขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลต่างๆ ดังนี้

1. แผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรในแต่ละสายการผลิต โดยในแต่ละสายการผลิตจะมีการซ่อมบำรุง 1 ครั้ง/เดือน และใช้เวลาในการซ่อมบำรุงตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 15.00 น.
2. ข้อมูลรายการประเภทผลิตภัณฑ์ที่สามารถเลือกผลิตใน สายการผลิตในรายการ ตลอดจนข้อมูลเวลามาตรฐาน (Standard Processing Time) ของแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละสายการผลิต
3. ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมเครื่องจักร (Setup Time) ในกรณีที่เปลี่ยนลำดับการผลิต หรือย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตอื่นๆ ทั้งสายการผลิตในรายการ และนอกรายการ (สายการผลิตที่ยังไม่เคยผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ)
4. ข้อมูลรายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะต้องนำไปติดตั้งบนเครื่องจักรสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์

3.3 ขั้นตอนการหาผลเฉลยของฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น

ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้พัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้นขึ้น เพื่อหาตารางการผลิตที่ให้เวลาปิดงาน และจำนวนการส่งงานล่าช้าต่ำลง โดยมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1

สำหรับขั้นตอนแรก ทำการหาผลเฉลยเบื้องต้นจากกฎการจ่ายงานอย่างง่าย จากนั้นจึงนำเอาผลเฉลยเบื้องต้นที่ได้ ไปปรับปรุงด้วยการหาผลเฉลยเฉพาะถิ่น ร่วมกับการย้ายขอบเขตการค้นหา จนกว่าผลลัพธ์วัตถุประสงค์ หรือ เวลาปิดงาน (Makespan) จะไม่ปรับปรุง หรือจนกว่าจะครบรอบเงื่อนไขในการหยุดค้นหา ซึ่งการคำนวณเวลาปิดงาน (Makespan) สามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังต่อไปนี้

กำหนดให้

N คือ รายการคำสั่งผลิต โดยที่ $N \in \{1,2,3,\dots,|N|\}$

M คือ สายการผลิต โดยที่ $M \in \{1,2,3,\dots,|M|\}$

PT_{im} : เวลาที่ใช้สำหรับการผลิตคำสั่งผลิต i บนสายการผลิต m

TT_{im} : เวลาที่ใช้สำหรับการย้ายสายการผลิตของคำสั่งผลิต i ไปยังสายการผลิต m

ST_{ij} : จำนวนรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะต้องติดตั้งลงบนเครื่องจักรเพิ่มเติมสำหรับคำสั่งผลิต i เมื่อเสร็จสิ้นการผลิตคำสั่งผลิต j

$\bar{K}$: เวลาเฉลี่ยสำหรับติดตั้งรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 1 คัน

C_m : เวลาปิดงานของสายการผลิต m

$$x_{ij}^{m} = \begin{cases} 1, & \text{เมื่อผลิตคำสั่งผลิต } i \text{ ถัดจากคำสั่งผลิต } j \text{ บนสายการผลิต } m \\ 0, & \text{อื่น ๆ} \end{cases}$$

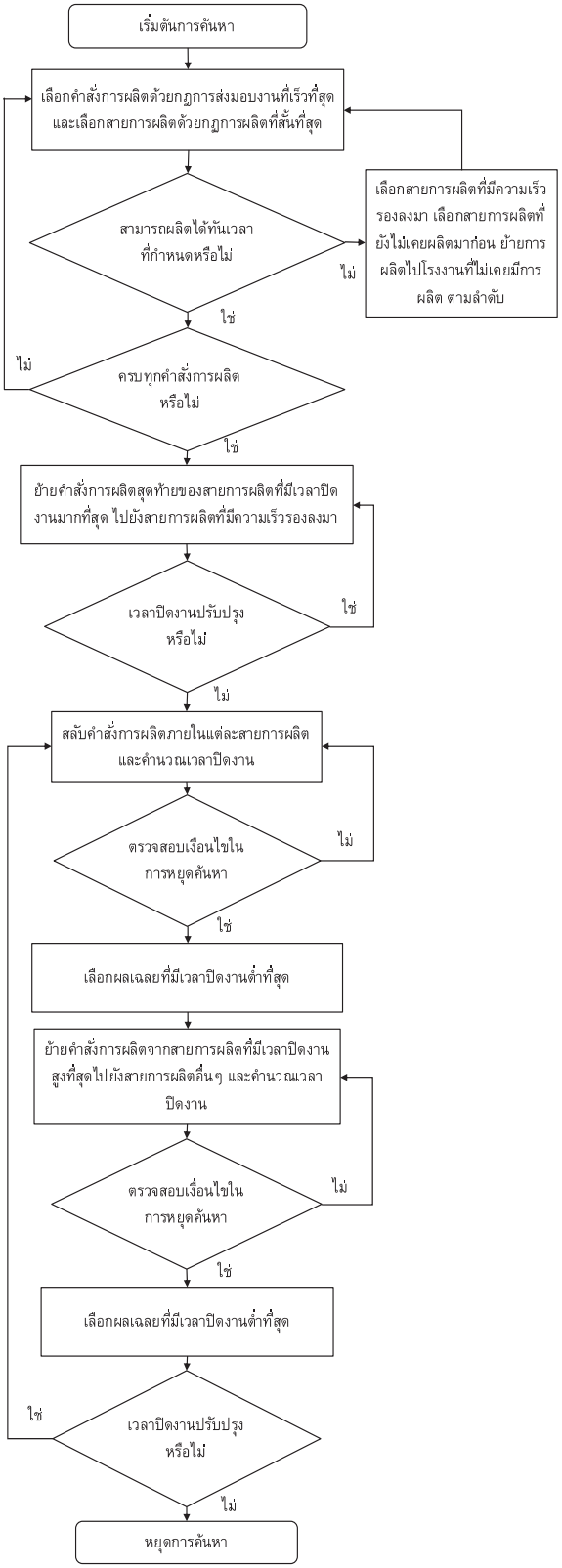
ดังนั้น จะได้เวลาปิดงานของสายการผลิตใด ๆ ดังสมการที่ 1

$$C_m = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ij}^{m} \times (PT_{im} + TT_{im} + \bar{K} \times ST_{ij}) \quad \forall_{m \in M} \quad (1)$$

สำหรับกระบวนการปรับปรุงผลเฉลยของฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้น จะมุ่งเน้นในการลดเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) หรือ เวลาปิดงานของสายการผลิตที่มีเวลาปิดงานสูงที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 โดยมีฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ดังสมการที่ 3

$$Makespan = Max(C_1, \dots, C_m) \quad , m \in M \quad (2)$$

$$Min\ Z = Makespan \quad (3)$$



รูปที่ 1 แผนภูมิขั้นตอนการหาผลเฉลยของฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น

3.3.1 ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยเบื้องต้น

สำหรับการหาผลเฉลยเบื้องต้น จะมุ่งเน้นไปที่การสร้างตารางการผลิตที่มีเวลาปิดงานน้อยที่สุด หากแต่ยังอยู่ภายใต้เงื่อนไขกำหนดวันส่งมอบของผลิตภัณฑ์แต่ละรายการ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเรียงรายการผลิตภัณฑ์ตามลำดับกำหนดส่งมอบ โดยเรียงจากวันส่งมอบที่เร็วที่สุดไปวันส่งมอบที่ช้าที่สุดตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 จัดลำดับคำสั่งการผลิตที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 ลงบนสายการผลิตที่ใช้เวลามาตรฐานน้อยที่สุดทีละรายการ ทั้งนี้ หากพบว่าเวลาปิดงานของผลิตภัณฑ์ใดมีค่าเกินกว่ากำหนดส่งมอบ ให้ทำการย้ายคำสั่งการผลิตดังกล่าวไปยังสายการผลิตอื่น ๆ ตามลำดับดังนี้

- สายการผลิตในรายการที่เคยมีการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ และใช้เวลามาตรฐานน้อยเป็นลำดับถัดไป
- สายการผลิตในรายการที่สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นได้ หากแต่ยังไม่เคยมีการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นมาก่อน
- สายการผลิตนอกรายการที่สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นได้ และอยู่ในโรงงานเดียวกัน
- สายการผลิตนอกรายการที่สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นได้ หากแต่อยู่ต่างโรงงานออกไป

ขั้นตอนที่ 3 ทำการคำนวณเวลาปิดงานของแต่ละสายการผลิต แล้วทำการย้ายคำสั่งการผลิตรายการสุดท้ายของสายการผลิตที่มีเวลาปิดงานสูงสุด ไปยังสายการผลิตที่ใช้เวลามาตรฐานน้อยสุดในลำดับถัดมา จากนั้นทำการวนซ้ำจนเวลาปิดงานไม่มีการปรับปรุง

3.3.2 ขั้นตอนการปรับปรุงผลเฉลย

เมื่อพิจารณาจากตารางการผลิตโดยละเอียดจะเห็นได้ว่า เวลาที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เกิดจาก 2 ส่วนหลัก ๆ คือ เวลามาตรฐานในการผลิต ซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องจักรในแต่ละสายการผลิต และเวลาที่ใช้ในการเตรียมงานสำหรับการผลิตคำสั่งผลิตถัดไป (Setup Time) ซึ่งขึ้นอยู่กับลำดับของคำสั่งผลิตที่เรามอบหมายลงไปบนสายการผลิตต่างๆ อย่างไรก็ดี ผลเฉลยเบื้องต้นที่ถูกพัฒนาขึ้น ยังไม่ได้พิจารณาครอบคลุมถึงเวลาที่ใช้ในการเตรียมงานสำหรับการผลิตคำสั่งผลิตถัดไป จึงอาจส่งผลทำให้เวลาปิดงานโดยรวมของแผนการผลิตดังกล่าวมีค่าสูงเกินความจำเป็น

สำหรับแนวทางการปรับปรุงผลเฉลย ได้เลือกเอาวิธีการค้นหาเฉพาะถิ่นแบบต่าง ๆ มาบูรณาการร่วมกับการย้ายขอบเขตการค้นหาเพื่อให้ได้มาซึ่งผลเฉลยที่มีคุณภาพสูงขึ้น ในขณะที่สามารถหลบหลีกผลเฉลยเฉพาะถิ่นได้ โดยสามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสลับลำดับของทุกคำสั่งการผลิตภายในแต่ละสายการผลิตด้วยวิธีการสุ่มอย่างทั่วถึง จากนั้นจึงทำการคำนวณหาเวลาปิดงาน และดำเนินการวนซ้ำจนกว่าเวลาปิดงานไม่มีการปรับปรุงเพิ่มเติมเป็นจำนวน 500 รอบ แล้วจึงเลือกผลเฉลยที่ให้ผลลัพธ์เวลาปิดงานต่ำที่สุดไปปรับปรุงในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสลับคำสั่งการผลิตจากสายการผลิตที่มีเวลาปิดงานสูงที่สุดไปยังสายการผลิตอื่น ๆ จากนั้นทำการคำนวณเวลาปิดงานแล้วดำเนินการวนซ้ำจนเวลาปิดงานไม่มีการปรับปรุง หรือไม่มีคำสั่งการผลิตใดสามารถย้ายไปยังสายการผลิตอื่นได้

ขั้นตอนที่ 3 ทำการปรับปรุงผลเฉลยที่ได้ ด้วยการวนซ้ำในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งเวลาปิดงานไม่มีการปรับปรุง หรือไม่มีคำสั่งการผลิตใดสามารถย้ายไปยังสายการผลิตอื่นได้

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้นำเอาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้นที่ถูกพัฒนาขึ้น ไปประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลการจัดตารางการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา ที่มีจำนวนคำสั่งการผลิตทั้งหมด 168 รายการ และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์กับผลเฉลยจากการดำเนินการในปัจจุบัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$\%Difference = \frac{Z_{Current} - Z_{Heuristic}}{Z_{Current}} \times 100 \qquad (4)$$

โดยที่

$Z_{Current}$ คือ ค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จากการดำเนินการในปัจจุบัน

$Z_{Heuristic}$ คือ ค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จากผลเฉลยของฮิวริสติกส์

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเวลาปิดงานและจำนวนครั้งในการเตรียมพร้อมเครื่องจักรของแต่ละสายการผลิตระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงผลเฉลย

	Makespan (Hours)		Setup (Times)	
Production Line	Actual Solution	Improved Solution	Actual Solution	Improved Solution
LINE01 (Plant 1)	106.70	90.46	27	20
LINE02 (Plant 1)	100.50	87.18	18	12
LINE03 (Plant 1)	87.3	88.77	12	7
LINE04 (Plant 1)	80.40	88.18	9	6
LINE05 (Plant 2)	121.80	102.81	17	11
LINE06 (Plant 2)	109.60	106.93	10	8
LINE07 (Plant 2)	110.60	104.49	12	7
LINE08 (Plant 2)	98.24	103.65	11	9

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า เวลาปิดงานของการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน (Actual Solution) ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าเวลาปิดงานที่ได้จากฮิวริสติกส์ (Improved Solution) ส่วนหนึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการจัดลำดับการผลิตที่มุ่งเน้นใช้งานเครื่องจักรที่มีความยืดหยุ่นสูงเป็นหลัก ดังจะเห็นได้จากจำนวนครั้งในการเตรียมงานสำหรับการผลิตคำสั่งผลิตถัดไป (Setup) ที่มีค่าค่อนข้างสูง

เมื่อพิจารณาคุณภาพของผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์ในมุมของจำนวนครั้งในการเตรียมเครื่องจักร จะเห็นได้ว่าตารางการผลิตที่ได้

ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าตารางการผลิตเดิมในทุกสายการผลิต ส่งผลทำให้เวลาและค่าใช้จ่ายในการเตรียมเครื่องจักรลดลงจากเดิมอย่างเห็นได้ชัด

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีนโยบายการบริหารจัดการสายการผลิตแยกตามโรงงาน จึงได้นำเอาผลเฉลยที่ได้มาวิเคราะห์แยกตามนโยบายบริษัท เพื่อประเมินถึงผลลัพธ์การปรับปรุงในแง่ต่าง ๆ โดยละเอียด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบเวลาปิดงานและจำนวนครั้งในการเตรียมพร้อมเครื่องจักรของแต่ละโรงงานระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงผลเฉลย

	Plant	Actual Solution	Improved Solution	%Difference
Makespan (Hours)	Plant 1	106.70	90.46	15%
	Plant 2	121.80	106.93	12%
Setup (Times)	Plant 1	66	45	32%
	Plant 2	50	35	30%
Over time (Hours)	Plant 1	54.90	34.59	37%
	Plant 2	120.24	97.88	19%

เมื่อนำผลลัพธ์จากการดำเนินงานมาวิเคราะห์ในมุมมองของแต่ละโรงงาน พบว่าตารางการผลิตที่ได้จากฮิวริสติกส์ สามารถลดเวลาปิดงานของโรงงาน 1 ลง จาก 106.7 ชั่วโมง เหลือ 90 ชั่วโมง คิดเป็นการปรับปรุงกว่าร้อยละ 15 ของการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน สำหรับเวลาปิดงานของโรงงาน 2 ก็มีแนวโน้มลดลงจาก 121.8 ชั่วโมง เหลือเพียง 107 ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละของการปรับปรุงที่ 12 เมื่อเทียบกับตารางการผลิตเดิม สำหรับจำนวนครั้งการเตรียมเครื่องจักรก็มีแนวโน้มลดลงทั้ง 2 โรงงาน โดยคิดเป็นร้อยละ 32 และ 30 ในโรงงานที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สังเกตว่าจำนวนครั้งการเตรียมเครื่องจักรที่ลดลงนี้นอกจากจะช่วยให้พนักงานปฏิบัติงานได้สะดวกขึ้นด้วยแล้ว ยังช่วยลดโอกาสในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ผิดพลาด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตอีกด้วย

เมื่อพิจารณาผลการปรับปรุงในเชิงจำนวนชั่วโมงล่วงเวลา พบว่าตารางการผลิตที่ได้จากฮิวริสติกส์ สามารถลดจำนวนชั่วโมงล่วงเวลาของโรงงานที่ 1 ได้ถึงร้อยละ 37 ถึงแม้ว่าเวลาการปิดงานจะลดลงเพียง 15% ในขณะที่สามารถลดจำนวนชั่วโมงล่วงเวลาของโรงงานที่ 2 ได้ร้อยละ 19 (เวลาการปิดงานของโรงงานที่ 2 ลดลง 12%) เนื่องจากเราสามารถเพิ่มเพิ่มอรรถประโยชน์ของสายการผลิตทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงไม่จำเป็นต้องมีการปฏิบัติงานในชั่วโมงล่วงเวลาในหลายสายการผลิต

จากผลการดำเนินงานข้างต้น จะเห็นได้ฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้นที่ถูกพัฒนาขึ้น สำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานกรณีศึกษานั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าการวางแผนการผลิตในปัจจุบัน ทั้งในมุมของเวลาปิดงาน และต้นทุนการปฏิบัติงาน ตลอดจนยังสามารถเพิ่มอรรถประโยชน์ของสายการผลิตต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. สรุปผลและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการพัฒนาแนวทางการปรับปรุงการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัทกรณีศึกษา โดยกำหนดขอบเขตของการศึกษาเบื้องต้นใน 8 สายการผลิต ของ 2 โรงงานย่อย ซึ่งแต่ละสายการผลิตก็มีคุณลักลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันไป ทั้งในแง่ของอัตราความเร็วในการติดตั้งอุปกรณ์ ความเข้ากันได้ของผลิตภัณฑ์และสายการผลิต ตลอดจนอุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถใช้ร่วมกันได้ในบางผลิตภัณฑ์

เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหา จึงได้ทำการพัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้นขึ้น เพื่อช่วยจัดตารางการผลิต โดยในขั้นตอนแรก ได้สร้างผลเฉลยเบื้องต้นจากกฎการจ่ายงานอย่าง เพื่อให้สามารถสร้างตารางการผลิตที่มีเวลาปิดงานต่ำ ในขณะที่ยังตอบสนองต่อข้อจำกัดด้านกำหนดส่งได้ จากนั้นจึงได้นำเอาผลเฉลยข้างต้นไปปรับปรุงต่อผ่านการค้นหาเฉพาะถิ่นแบบต่าง ๆ ร่วมกับการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

เมื่อเทียบกับการจัดตารางการผลิตแบบดั้งเดิม ที่อาศัยประสบการณ์ของผู้จัดตารางการผลิตเป็นหลัก พบว่าตารางการผลิตที่ได้จากฮิวริสติกส์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าตารางการผลิตแบบดั้งเดิมในทุก ๆ ตัวชี้วัดที่สำคัญ กล่าวคือ สามารถลดเวลาปิดงานของโรงงานที่ 1 และโรงงานที่ 2 ได้ร้อยละ 15 และ 12 ตามลำดับ ในขณะที่จำนวนชั่วโมงล่วงเวลาที่โรงงาน 1 และโรงงาน 2 ลดลงกว่าร้อยละ 37 และ 19 นอกจากนี้ จำนวนครั้งในการเตรียมเครื่องจักรก็มีแนวโน้มลดลงในทำนองเดียวกันที่ร้อยละ 32 และ 30 ในโรงงานที่ 1 และ 2 ส่งผลทำให้สามารถลดเวลาปฏิบัติงานของพนักงานในการเตรียมงานลงในโรงงานที่ 1 และ 2 กว่าร้อยละ 32 และ 30 ตามลำดับ

นอกเหนือไปจากผลประโยชน์ข้างต้น การจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์ ยังสามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาอันสั้น (ประมาณ 2 นาที) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเวลากว่า 1.5 ชั่วโมง ในการจัดตารางการผลิตแบบดั้งเดิมที่อาศัยความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญแล้ว การจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์ถือว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อทั้งอรรถประโยชน์ของเครื่องจักร และผู้เชี่ยวชาญซึ่งสามารถนำเวลาที่ประหยัดไปได้ไปใช้ในงานส่วนอื่น

เอกสารอ้างอิง

[1] ปารเมศ ชุติมา เทคนิคการจัดตารางการดำาเนินงาน, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2555.

[2] P. Pongcharoen, C. Hicks, P.M. Braiden and D.J. Stewardson. 2002. “ Determining Optimum Genetic Algorithm Parameters for Scheduling the Manufacturing and Assembly of Complex Products”. Int. J. Production Economics, Vol. 78: 311-322.

[3] Karabulut K and Tasgetiren F 2014 A variable iterated greedy algorithm for the traveling salesman problem with time windows Information Sciences pp 279,383-395

[4] Zhang D, Cai S, Ye F, Si Y W, Nguyen T T 2017 A hybrid algorithm for a vehicle routing problem with realistic constraints Science Direct Information Sciences pp 167–182

[5] วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ. หลักการหาความเหมาะสมที่ดีที่สุด, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2556.

[6] Franca, P. M., M. Gendreaub, G., Laporteb, Miiller, F.M. A tabu search heuristic for the multiprocessor scheduling problem with sequence dependent setup times. Int. J. Production Economic. 1996. pp. 79-89.

[7] S. Promjun and P. Jarumaneeroj. 2019. “Heuristic Based SchedulingforToothpasteFillingProblem”.IOPConf.Ser.: Mater. Sci. Eng., Vol. 530.

[8] จุฑามาศ ผลตระกูล และพิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์. 2561. “ฮิวริสติกส์สำหรับการจัดลำดับการผลิตยาเม็ดเคลือบฟิล์ม” วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,ปีที่ 25, ฉบับที่ 1: 1-14.

[9] Oguz, C., Ercan, M.F., Edwin Cheng, T.C., Fung Y.F. Heuristic algorithms for multiprocessor task scheduling in a two-stage hybrid flow-shop. European Journal of Operational Research. 2003. pp. 390–403.

การวางแผนจัดเส้นทางในการกระจายวัคซีนให้มีประสิทธิภาพและมีระยะทางรวมที่เหมาะสม

Planning an Efficient Route for Vaccine Distribution and an Appropriate Total Distance

ถิรวัฒน์ เกนโรจน์[1*] เขษมศักดิ์ บุญเรือง[1] คเณศ พันธุ์สวาสดิ์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: genroj_t@silprakorn.edu*

Thirawat Genroj[1*] Khasemsak Boonrueng[1] Kanate Puntusavase[1]
[1]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: genroj_t @silprakorn.edu*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาศูนย์กระจายและการจัดเส้นทางการขนส่งวัคซีนป้องกันเชื้อไวรัส Covid-19 ของแต่ละศูนย์กระจาย โดยเริ่มจากการศึกษาการหาศูนย์กระจายวัคซีนด้วย วิธี Center of gravity และ วิธี K-means clustering หลังจากนั้นการจัดเส้นทางการขนส่ง ด้วยวิธี Genetic algorithm มีวัตถุประสงค์เพื่อกระจายวัคซีนให้มีต้นทุนต่ำ โดยมีสมมติฐานเบื้องต้นว่าเมื่อระยะทางที่น้อยจะสามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งได้ โดยจะนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบการหาศูนย์กระจายของทั้ง 2 วิธี เพื่อให้สามารถหาระยะทางที่สั้นในการขนส่ง ซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้ คือ มีจำนวนศูนย์กระจายวัคซีน 6 ศูนย์ วิธีวิเคราะห์จุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วง Center of gravity มีจำนวนเส้นทางในการเดินรถสำหรับขนส่งวัคซีน 25 เส้นทาง มีระยะทางรวม 8,250 กิโลเมตร วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering มีจำนวนเส้นทางในการเดินรถสำหรับขนส่งวัคซีน 26 เส้นทาง มีระยะทางรวม 7,501.5 กิโลเมตร จะเห็นได้ว่ามีระยะทางรวมที่น้อยกว่า วิธี Center of gravity ถึง 740 กิโลเมตร ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกผลของ K-means Clustering เป็นแนวทางในการขนส่งวัคซีน เนื่องจากมีระยะทางรวมในการขนส่งวัคซีนที่สั้นกว่าวิธี Center of gravity จึงคาดว่าจะมีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำกว่าเช่นกัน

คาสาคัญ: การหาศูนย์กระจาย, การจัดเส้นทางการขนส่ง, K-means clustering, Center of gravity, Genetic algorithm

Abstract

This research is the study of finding distribution centers and arranging transportation routes for the Covid-19 vaccine. For each distribution center, starting from the study of finding vaccine distribution centers into 2 models. Methods of data analysis using the Center of Gravity and data analysis using K-means Clustering. After that, the transportation route will use a genetic algorithm. The genetic algorithm aims to distribute vaccines cost-effectively with the idea that when transport distances are short, transportation costs are reduced. It will be analyzed and compared to finding a distribution center in order to be able to find shorter distances in transport, which results from the analysis. Compare both methods. The method of data analysis uses the center of gravity. There are 6 vaccine distribution centers and 25 routes for transporting vaccines with a total distance of 8,250 kilometers. The data was analyzed using the K-means clustering method. There were 6 vaccine distribution centers with 26 routes for transporting vaccines with a total distance of 7,501.5 kilometers. The researcher, therefore, chose the effect of K-means Clustering as a guideline for vaccine transport because it can provide a transport route with a shorter total distance for vaccine delivery than the Center of gravity method.

Keywords: Location for distribution, Routing, K-means clustering, Center of gravity, Genetic algorithm

การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยการจัดตารางการทำงานของพนักงาน ของบริษัทตัวอย่าง

WORKFORCE SCHEDULING EFFICIENCY INCREASING : THE CASE STUDY COMPANY

ญาณกวี อินสว่าง[1*] ,ประจวบ กล่อมจิตร[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: inswang_y@su.ac.th*

Yanakawee Inswang[1*], Prachuab Klomjit[1]
[1] Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: inswang_y@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบตารางการทำงาน และตารางเวลางานสำหรับงานบริการหลังการขายของงานบริการด้านการสื่อสารโทรคมนาคม ทางด้านอินเทอร์เน็ต เนื่องมาจากความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน เพื่อตอบสนองในการให้บริการหลังการขายในการแก้ไขปัญหาให้กับลูกค้า โดยทรัพยากรที่ใช้ในการวางแผน ได้แก่ ทรัพยากรบุคคลในส่วนของพนักงานช่างดูแลโครงข่ายทางด้านอินเทอร์เน็ต โดยใช้หลักการการวางแผนกำลังการผลิต (Capacity planning) และ Microsoft excel ส่วนของฟังก์ชัน Solver เพื่อออกแบบตารางการทำงานของพนักงาน ให้มีความเหมาะสม ผลลัพธ์ที่ได้ในงานวิจัยนี้คือ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานได้ จากการจัดกลุ่มทักษะพนักงานมีการเปลี่ยนแปลงจาก 39% เพิ่มขึ้นเป็น 58% และสามารถวางแผนการทำงาน จากข้อมูลจำนวนงานสูงสุดต่ำสุด ทำให้สามารถวางแผนการทำงาน และจัดกลุ่มทีมทำงานเพื่อเพิ่มทักษะงานในแต่ละด้านแต่ละกลุ่มทักษะได้ โดยพนักงานมีทักษะเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบทักษะก่อนและหลัง จากการที่ได้มีการจัดตารางการทำงานของพนักงาน รวมไปถึงพนักงานสามารถทำงานแทนกันได้ เนื่องจากมีทักษะการทำงานเพิ่มขึ้นเพียงพอต่อการแก้ไขปัญหาให้กับลูกค้าซึ่งเป็นงานบริการหลังการขายของงานบริการ

คาสาคัญ: การจัดตารางการทำงาน, การวางแผนกำลังการผลิต, กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

Abstract

This research examines the design of work schedules for after-sales services of Internet telecommunication services. Due to the need to increase employee productivity in response to after-sales service in solving problems for customers. The resource used for planning is the human resource of network maintenance technicians on the Internet. By using capacity planning principles and the Microsoft Excel part of the Solver function, designing employee schedules accordingly. The results of this research can increase employee productivity by grouping employee skills, changing from 39% to 58%, and improve process planning from the highest amount of job. This makes it possible to plan tasks and organize teams to increase skills in each field of each skill group. Employees are more skilled when comparing their skills before and after the employee's schedule. Including employees able to work for each other. Because of the increased work skills enough to solve problems for customers, that is the after-sales service of the service.

Keywords: Work scheduling, Capacity planning, Integer linear programming

1. บทนำ

ปัจจัยหลักในงานบริการหลังการขายด้านการสื่อสารโทรคมนาคมทางด้านอินเทอร์เน็ต เพื่อการให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็วนั้น ต้องมีที่มาจากการวางแผนกระบวนการทำงานที่ดี และจัดสรรทรัพยากรที่มีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับการทำงาน ดังนั้นทรัพยากรบุคคลจึงเป็นส่วนสำคัญในงานบริการดังกล่าว ซึ่งได้แก่ พนักงานช่าง ถือเป็นทรัพยากรบุคคลที่สำคัญในงานบริการดังกล่าว จึงควรมีการวางแผนการทำงาน กระบวนการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และปรับปรุงทักษะพนักงาน ให้มีทักษะ และกระบวนการทำงานตอบสนองการให้บริการหลังการขายในการแก้ไขปัญหาให้กับลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องมาจากพนักงานต้องมีความเชี่ยวชาญพิเศษในลักษณะงานเฉพาะ เพื่อให้พนักงานสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็วเพื่อให้บริการที่พึงพอใจที่ดีให้กับลูกค้า

ดังนั้นเมื่อทรัพยากรบุคคลเป็นสิ่งสำคัญในงานบริการด้านการสื่อสารโทรคมนาคม จึงทำให้เกิดการศึกษาเพื่อพัฒนาทรัพยากรบุคคลให้ พนักงานมีศักยภาพในการแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็ว เพื่อคุณภาพในการให้บริการ ซึ่งจากการศึกษางานบริการหลังการขายทั่วไปพบว่าผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการวางแผนการทำงานนั้น มีวิธีการทำงานด้วยวิธีดั้งเดิม ทำให้การจัดสรรทรัพยากรบุคคลดังกล่าวเกิดปัญหา เช่น ภาระงานที่พนักงานแต่ละคนได้รับไม่เท่าเทียมกัน ส่งผลให้เกิดการแตกต่างของงาน ทำให้พนักงานบางคนที่มีภาระงานมาก ไม่สามารถพัฒนาศักยภาพการทำงานในเรียนรู้สิ่งใหม่ได้ รวมไปถึงปัญหาที่มาของปัญหาและงานวิจัยครั้งนี้ เนื่องมาจากพนักงานไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความล่าช้า รวมไปถึงในบางครั้งไม่สามารถคาดการณ์ช่วงเวลาจะแล้วเสร็จให้กับลูกค้าได้ เนื่องมาจากขาดการวางแผน และเตรียมพร้อมในการแก้ไขปัญหาผู้ใช้งานดังกล่าว บางครั้งเมื่อเกิดเหตุเสียพร้อมกันหลายงาน ผู้รับผิดชอบวางแผนการทำงานของพนักงานไม่สามารถจัดสรรพนักงานที่มีความเหมาะสมออกไปแก้ไขปัญหาได้ เนื่องมาจากพนักงานดังกล่าวมีภาระโหลดงานอยู่ในเวลาขณะนั้น และเมื่อพนักงานที่มีภาระโหลดงานมากทำงานเป็นเวลานาน พนักงานดังกล่าวจะเกิดความอ่อนล้านำไปสู่ภาวะร่างกายที่ไม่พร้อมในการทำงาน ส่งผลเสียทั้งต่อพนักงานและงาน อีกทั้งพนักงานคนดังกล่าวจะขาดการพัฒนางานในด้านอื่นทันที โดยเฉพาะงานบริการด้านการสื่อสารโทรคมนาคมนั้น มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลาเพื่อตอบสนองและให้บริการกับลูกค้า ถ้าพนักงานขาดการพัฒนาในการบริการอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลให้ความสามารถในการแก้ไขปัญหา เพื่อทำให้คุณภาพของการให้บริการเป็นที่พึงพอใจที่ดีให้กับลูกค้าลดลง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกียวข้อง

2.1 การวางแผนกำลังการผลิต (Capacity planning)

การวางแผนกำลังการผลิตเป็นกระบวนการในการจัดหาทรัพยากรการผลิตที่จำเป็นต่อการทำให้บรรลุตามแผนการผลิต (Priority plan) ที่ได้วางไว้สำหรับช่วงระยะเวลาหนึ่งในอนาคตอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงวิธีการที่สามารถทำให้กำลังการผลิตมีอยู่พร้อม ซึ่งขึ้นอยู่กับเครื่องจักรและ/หรือกำลังคน โดยอาจพิจารณาถึงกำลังการผลิตในช่วงเวลาปกติ ล่วงเวลา จำนวนกะการทำงานรวมทั้งจากหน่วยผลิตอื่น ๆ ในโรงงาน และจากแหล่งภายนอก (Outsources) แผนการผลิตจะไม่สามารถนำไปดำเนินการได้ หากปราศจากกำลังการผลิตที่เพียงพอของหน่วยงานในการตอบสนองความต้องการ ดังนั้นการวางแผนกำลังการผลิตจึงเสมือนเป็นการเชื่อมแผนการผลิตกับทรัพยากรการผลิตให้มีความสอดคล้องกัน [1]

2.2 หลักการจัดตารางงาน (Staffing scheduling)

การจัดตารางการทำงานเป็นกระบวนการจัดอัตรากำลังคนในระดับต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติเหมาะสม และมีจำนวนเพียงพอที่สามารถจะปฏิบัติงานได้อย่างมีคุณภาพสูง การจัดตารางเวลาการทำงานของบุคลากรนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับนโยบายและลักษณะงาน ซึ่งโดยทั่วไปมีการจัดตารางการทำงานไว้ 2 วิธี คือ การจัดเวลาการทำงานเวรละ 8 ชั่วโมงในหนึ่งวัน สัปดาห์ละ 5 วัน และการจัดเวลาการทำงานเวรละ 10 ชั่วโมงในหนึ่งวัน สัปดาห์ละ 4 วัน นอกจากนี้ยังมีการจัดเวลาทำงานเวรละ 12 ชั่งโมงในหนึ่งวัน สัปดาห์ละ 7 วัน

2.2.1 การจัดตารางการทำงานแบบหมุนเวียน (Rotating shift scheduling)

การจัดตารางการทำงานแบบหมุนเวียนมีหลักการคือ บุคลากรจะมีการหมุนเวียนกันเข้าทำงานในแต่ละเวรเป็นระยะ ๆตามเวรเช้า เวรบ่าย เวรดึก โดยสลับเวรทำงานในแต่ละเวรตามความเหมาะสม และตามความจำเป็นซึ่งช่วงเวลาการทำงานอาจแบ่งเป็น 8 ชั่งโมง 10 ชั่วโมง หรือ 12 ชั่งโมง ลักษณะของการหมุนเวียน และการจัดช่วงระยะการหมุนเวียนอาจจะจัดได้หลายแบบ เช่น การจัดให้มีการหมุนเวียนทุกสัปดาห์ หรือการจัดหมุนเวียนทุก 3-5 วัน หรือการจัดให้หมุนเวียนทุก 2-3 เดือน โดยทั่วไปแล้วการจัดให้หมุนเวียนจะอยู่ในช่วง 8-12 สัปดาห์ และในเวลา 24 ชั่วโมงจะจัดให้มีการหมุนเวียนเวรการทำงาน 3 เวร ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ตามการจัดตารางการทำ งานไม่ควรให้เกิดเวรต่อเนื่องการนาน 4 วันในเวรบ่ายและเวรดึก จึงควรจัดให้มีวันหยุดเป็นระยะอย่างสม่ำเสมอ

2.2.2 การจัดตารางการทำงานแบบคงที่ (Fix shift scheduling)

การจัดตารางการทำงานแบบคงที่เป็นการจัดตารางเวรการทำงานโดยไม่มีการหมุนเวียนระหว่างเวรเช้า เวรบ่าย และเวรดึก แต่จะเป็นการทำงาน โดยแต่ละคนจะได้รับเวรใดเวรหนึ่งนั้นตลอดไป นั่นคือถ้าทำเวรเช้าก็ต้องทำเวรเช้าตลอด ถ้าทำเวรบ่ายก็ต้องทำเวรบ่ายตลอด หรือถ้าทำเวรดึกก็ต้องทำเวรดึกตลอด

2.2.3 การจัดตารางการทำงานแบบรอบ (Cyclic scheduling)

การจัดตารางการทำงานแบบรอบจะกำหนดการทำงานเป็นรอบระยะเวลาหนึ่งๆ ในระหว่าง 6-10 สัปดาห์ โดยจะให้มีวันหยุดคงที่ในแต่

ละสัปดาห์หนึ่งๆ ซึ่งวันหยุดที่กำหนดไว้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น การจัดตารางการทำงานลักษณะนี้จึงควรจัดไว้หลายแบบจะมีวันหยุดของแต่ละ สัปดาห์ที่แตกต่างกัน เพื่อให้บุคลากรมีโอกาสเลือกได้ตามความต้องการ [2]

2.3 กำหนดการเชิงเส้น (Linear programming)

กำหนดการเชิงเส้น คือ เครื่องมือสำหรับแก้ปัญหาค่าที่เหมาะที่สุด (Optimization problems) ซึ่งอาจเป็นค่าต่ำสุดหรือสูงสุดตามเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical programming) ในการอธิบายปัญหา โดยในปีค.ศ. 1947 นักคณิตศาสตร์ชาวอเมริกันชื่อ George B. Dantzig ได้พัฒนาวิธีการสำหรับหาผลเฉลยของกำหนดการเชิงเส้น ที่เรียกว่า Simplex algorithm ซึ่งนับตั้งแต่นั้นมากำหนดการเชิงเส้น ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในธุรกิจ หรืออุตสาหกรรมประเภทต่างๆมากมาย อาทิเช่น ธุรกิจธนาคาร ธุรกิจสายการบิน ธุรกิจบริการโลจิสติกส์ อุตสาหกรรมเกษตรอุตสาหกรรมป่าไม้อุตสาหกรรมการผลิต เป็นต้น แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น ประกอบด้วย ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear function) และเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ต่างๆ ซึ่งเป็นสมการเชิงเส้น (Linear equation) หรืออสมการเชิงเส้น (Linear in equation) [3]

2.4 กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer linear programming)

กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม คือ เครื่องมือสำหรับแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เช่นเดียวกับกำหนดการเชิงเส้น โดยแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และเงื่อนไขบังคับต่างๆเหมือนกับแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น แต่มีอีก 1 เงื่อนไขเพิ่มเติมที่แตกต่างจากกำหนดการเชิงเส้น คือ กำหนดให้ตัวแปร ตัดสินใจบางตัวแปรหรือทุกตัวแปรมีค่าเป็นจำนวนเต็ม ประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น และเงื่อนไขบังคับต่างๆ ที่อาจเป็นสมการเชิงเส้นหรืออสมการเชิงเส้น โดยกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม สามารถแบบออกเป็น 3 ประเภทตามค่าของตัวแปรตัดสินใจ ดังนี้

1. กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer linear programming , ILP)
2. กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มทวิภาค (Binary integer linear programming, BILP หรือ 0-1 ILP)
3. กำหนดการเชิงเส้นผสม (Mixed integer programming, MILP)

2.5 การแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นด้วยเอ็กเซลโซลเวอร์ (Excel solver)

การแก้ปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นด้วยเอ็กเซลโซลเวอร์ คือ เครื่องมือที่ช่วยในการคำนวณประเภทโปรแกรมเชิงเส้น โดยจะช่วยในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดและดีที่สุด (Optimization) จากข้อจำกัดหรือเงื่อนไขที่มีอยู่โซลเวอร์ (Solver) เป็นโปรแกรมย่อย (Add-ins) หนึ่งโปรแกรมของ Microsoft excel มีไว้เพื่อใช้ช่วยวิเคราะห์ปัญหาประเภทต้อการคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดย solver สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่แท้จริงได้ แต่ไม่เสมอไป เพราะบางครั้งให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในขอบเขตหนึ่ง บางครั้งอาจให้เพียงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเท่าที่หาได้ภายในเวลาที่กำหนด [3]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการทำงาน ในส่วนของการวางแผนการทำงาน ทางด้านการจัดตารางการทำงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทักษะพนักงาน และพัฒนากระบวนการทำงาน โดยศึกษาการวางแผนการออกแบบการทำงาน เพื่อนำมาช่วยในการพัฒนากระบวนการทำงาน เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดความสูญเปล่าของการทำงาน เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.1 ศึกษาสภาพทั่วไปของบริษัทตัวอย่าง

บริษัทตัวอย่างเป็นบริษัทประเภทงานบริการด้านการสื่อสารโทรคมนาคมให้บริการด้านบรอดแบนด์ ซึ่งในส่วนงานที่นำมาศึกษาเป็นส่วนงานพนักงานช่างที่ดูแลด้านโครงข่าย พื้นที่รับผิดชอบภายเขตรับผิดชอบ 3 จังหวัด ได้แก่ เพชรบุรี ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ มีสภาพโดยทั่วไปดังต่อไปนี้

3.2 เก็บรวมรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหา

ขั้นแรกผู้วิจัยนำข้อมูลการปฏิบัติงานย้อนหลังของปีก่อนหน้า มาวางแผนในการวิเคราะห์จำนวนงานเพื่อวางแผนกำลังคนในแต่ละช่วงเวลาให้มีความเหมาะสมกับงาน โดยดูจากจำนวนงานในแต่ละช่วงเวลาที่มีการบันทึกการเก็บข้อมูลการปฏิบัติงานโดยใช้หลักการวางแผนกำลังการผลิต แก้ปัญหาด้วยกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มโดยใช้โปรแกรม Excel solver วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยกำหนดแนวทางการสังเกตตามแบบบันทึกการทำงาน และปริมาณเวลาที่บุคลากรปฏิบัติกิจกรรม

ขั้นที่สองผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์กำลังคนในแต่ละช่วงเวลาที่ได้จากขั้นตอน มาวางแผนในการจัดตารางการทำงานที่เหมาะสมให้กับแต่ละส่วนงานโดยใช้หลักการจัดตารางงาน (Staffing scheduling)

3.3 ออกแบบการแก้ไขปัญหา และทดสอบการแก้ไขปัญหา

แนวคิดในการแก้ปัญหา และออกแบบด้านการดำเนินงานโดยขั้นตอนการแก้ไขปัญหาและออกแบบที่นำเสนอ เริ่มต้นจากการจัดกลุ่มทักษะพนักงาน เพื่อวิเคราะห์ทักษะและศักยภาพการทำงานของพนักงานเดิมก่อนวางแผนตารางการทำงาน ต่อมาเป็นการวิเคราะห์หาจำนวนงานสูงสุด และจำนวนงานแต่ละช่วงเวลา เพื่อจัดเตรียมพนักงานให้เพียงพอต่องานที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว และสุดท้ายนำความ

ต้องการพนักงานที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา มาออกแบบตารางการทำงานเพื่อพัฒนากระบวนการทำงาน

ตารางที่ 1 แนวคิดในการแก้ปัญหาและออกแบบด้านการดำเนินงาน

การออกแบบแก้ปัญหา	แนวคิดเดิม	แนวคิดใหม่	ผลลัพธ์ที่ได้
การจัดกลุ่มทักษะพนักงาน	ไม่มีการทดสอบทักษะพนักงาน	จัดกลุ่มทักษะงานที่ต้องมีและมีการทดสอบทักษะงาน	การจัดกลุ่มพนักงานที่มีศักยภาพในแต่ละทักษะ
วิเคราะห์จำนวนงานแต่ละช่วงเวลา	ไม่มีการวิเคราะห์จำนวนงานในแต่ละช่วงเวลา	หาจำนวนงานสูงสุด-ต่ำสุดในแต่ละช่วงเวลา	จำนวนพนักงานที่ควรมีในแต่ละช่วงเวลา
การจัดตารางการทำงาน	ไม่มีการจัดตารางการทำงานที่ชัดเจน	มีการจัดตารางการทำงานชัดเจน	ตารางการทำงาน

ทำการการจัดกลุ่มทักษะพนักงานก่อนการจัดตารางการทำงาน โดยผลการจัดกลุ่มทักษะพนักงานดังกล่าวทำได้โดยการทดสอบความรู้และทักษะการทำงานในแต่ละทักษะ ผลการทดสอบแต่ละทักษะดังกล่าวเป็นดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการจัดกลุ่มทักษะพนักงาน

ทักษะพนักงาน	ประจวบคีรีขันธ์	เพชรบุรี	ราชบุรี	รวม	%ทักษะพนักงาน
Core network node	6	4	3	13	21%
Access network node	14	7	11	32	52%
Outside plant	22	18	21	61	100%
Power system	6	4	3	13	21%
Router/Switch	0	0	0	0	0%

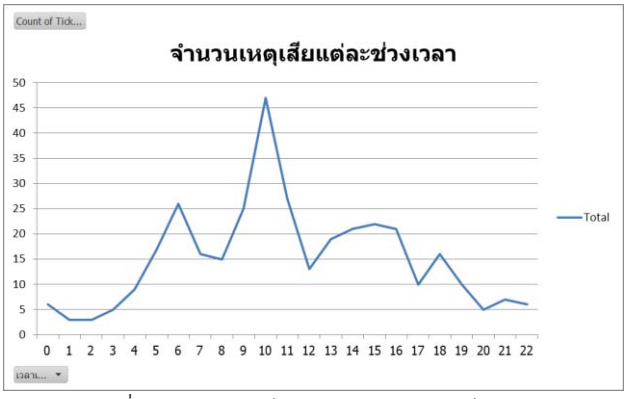
แปลงจำนวนงานที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนพนักงานที่ต้องการ เพื่อให้เพียงพอกับงานที่เกิดขึ้น โดยไม่กระทบกับระยะเวลาการปฏิบัติงานในแต่ละงาน มีขั้นตอนการแปลงดังนี้

หาจำนวนงานสูงสุด โดยใช้ข้อมูลการทำงานของปี 2020 มาหาค่าเฉลี่ยจำนวนงานที่เกิดขึ้นใน 1 วันที่มีจำนวนงานสูงที่สุดในวันของแต่ละจังหวัด เพื่อให้ครอบคลุมจำนวนงานที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ผลลัพธ์คือข้อมูลการทำงานในเดือนพฤษภาคมของแต่ละจังหวัดเป็นเดือนที่มีจำนวนงานต่อวันสูงที่สุด ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลของเดือนดังกล่าวนำมาวิเคราห์ วางแผนจำนวนพนักงาน

จังหวัด	จำนวนงานเฉลี่ยต่อวันในแต่ละเดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
จ.ประจวบคีรีขันธ์	6	6	7	7	8	8	4	4	3	4	4	3
จ.เพชรบุรี	5	4	5	5	6	6	3	4	3	3	3	2
จ.ราชบุรี	8	8	8	9	11	10	8	7	6	4	5	5

รูปที่ 1 จำนวนงานเฉลี่ยต่อวันปี 2020

หารูปแบบความต้องการสูงสุด เพื่อตรวจสอบจำนวนงานสูงสุดในวัน ครอบคลุมจำนวนงานที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาแต่ละวันของทุกวัน ได้มาจากข้อมูลงานแต่ละช่วงเวลา 24 ชั่วโมงทุกจังหวัดที่เกิดเหตุเสียโครงข่าย ซึ่งเมื่อนำมาทำข้อมูลแสดงเป็นกราฟจำนวนเหตุเสียทั้งปีของทุกจังหวัดทุกช่วงเวลาพบว่า ช่วงเวลาการเกิดเหตุเสียเป็นดังนี้



รูปที่ 2 จำนวนเหตุเสียสะสมแต่ละช่วงเวลาปี 2020

ดังนั้นสามารถแบ่งช่วงเวลาการเกิดเหตุเสียออกได้เป็น 3 ช่วงเวลาดังนี้

ช่วงเวลาที่ 1 00:00 - 08:00 นาฬิกา

ช่วงเวลาที่ 2 08:00 – 17:00 นาฬิกา

ช่วงเวลาที่ 3 17:00 - 00:00 นาฬิกา

เมื่อนำจำนวนเหตุเสียที่เกิดขึ้นแต่ละวันมาทำตารางแจกแจงความถี่รายวันแต่ละจังหวัด จะได้ค่าจำนวนงานที่เกิดขึ้นสูงสุดแต่ละช่วงเวลาของแต่ละจังหวัดสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 3 จำนวนงานสูงสุดแต่ละช่วงเวลา

จังหวัด	จำนวนงานสูงสุดที่เกิดขึ้นแต่ละช่วงเวลา			รวมจำนวนงานต่อวัน
	00:00-08:00	08:00-17:00	17:00-00:00	
ประจวบคีรีขันธ์	2	12	1	15
เพชรบุรี	2	7	2	11
ราชบุรี	5	8	4	17

แปลงจำนวนงานเป็นจำนวนพนักงานที่ต้องการ ตามช่วงเวลาการทำงานปกติ และช่วงเวลาตารางการทำงานนอกเวลาปกติ เพื่อให้

เพียงพอต่องานที่เกิดขึ้นในแต่ละวันตลอดปี ตามการระยะเวลามาตรฐานการทำงานที่บริษัทกำหนด จากสูตรการคำนวณระยะเวลามาตรฐาน

$$Std. = NT\ (1+A) \quad (1)$$

$$Std. = (Selected\ Time \times RF)\ (1+A) \quad (2)$$

โดยที่ NT หมายถึง เวลาปกติ A หมายถึง เวลาเผื่อสำหรับบุคคล = 5% สำหรับอุตสาหกรรมทั่วไป RF หมายถึง ค่าปรับอัตราความเร็ว Selected Time หมายถึง เวลาตัวแทน

จากมาตรฐานการทำงานที่บริษัทกำหนดจะได้ว่า 1 ชั่วโมงพนักงาน 1 คนทำงานได้ 0.5 งาน

ตารางที่ 4 จำนวนงานสูงสุดแต่ละช่วงเวลา

เวลา	จ.ประจวบคีรีขันธ์		จ.เพชรบุรี		จ.ราชบุรี	
	min	max	min	max	min	max
00:00-08:00	4	4	2	4	4	10
08:00-17:00	20	24	4	14	6	16
17:00-00:00	2	2	4	4	6	8
รวม	26	30	10	22	16	34

จัดตารางการทำงานในการทำงานรูปแบบการทำงานของบริษัทกำหนดให้พนักงานช่างทำงานติดต่อกัน 5 วันหยุด 2 วัน ดังนั้นสามารถจัดรูปแบบตารางการทำงานโดยใช้ Excel Solver ตามจำนวนพนักงานที่ต้องการต่ำสุดที่สามารถรองรับจำนวนงานที่ต้องการต่อวันของแต่ละจังหวัด และคำนวณจำนวนความต้องการพนักงานที่ต่ำที่สุดเพื่อรองรับการจัดตารางการทำงานของแต่ละจังหวัดได้เป็นดังนี้

กำหนดสมการเป้าหมายที่ต้องการคือจำนวนพนักงานต่ำสุดที่ต้องการเพื่อใช้ในการจัดตารางการทำงานตามรูปแบบการทำงาน

จำนวนคนที่ต้องการต่ำสุด = X1+X2+X3+x4+X5+X6+X7

ตัวแปรตัดสินใจ 7 ตัว Xi แทนจำนวนที่เริ่มทำงานในวันที่ i

เงื่อนไขบังคับคือ จำนวนคนในแต่ละวันต้องเพียงพอต่อความต้องการมากกว่าหรือเท่ากับจำนวนพนักงานที่ต้องการต่ำสุดของแต่ละจังหวัดที่ได้จากการแปลงความต้องการจำนวนงาน

สมการที่ใช้กำหนดใน Excel solver คือ

X1+X4+X5+X6+X7 >= 26

X1+X2+X5+X6+X7 >= 26

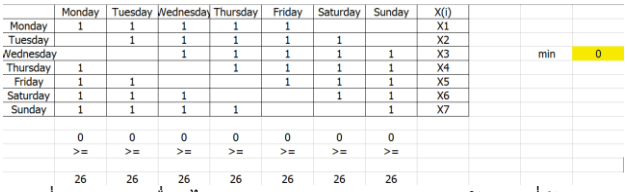
X1+X2+X3+X6+X7 >= 26

X1+X2+X3+X4+X7 >= 26

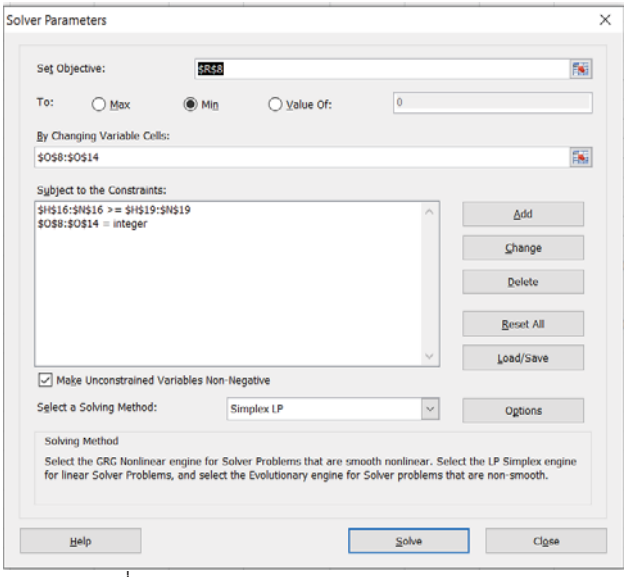
X1+X2+X3+X4+X5 >= 26

X2+X3+X4+X5+X6 >= 26

X3+X4+X5+X6+X7 >= 26



รูปที่ 3 กำหนดเงื่อนไข Excel Solver ตามจำนวนพนักงานที่ต้องการต่ำสุด



รูปที่ 4 Solver Parameters จากการกำหนดสมการ

ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะได้ว่าจำนวนพนักงานที่ต้องการเพื่อจัดตารางการทำงานรองรับวันหยุดที่กำหนดตามมาตรฐานการทำงานได้ของแต่ละจังหวัดเป็นดังนี้

จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ต้องการพนักงาน 37 คน จังหวัดเพชรบุรีต้องการพนักงาน 14 คน จังหวัดราชบุรีต้องการพนักงาน 23 คน

3.4 ปรับปรุงการออกแบบการวางแผน

ผู้วิจัยสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้องในระดับผู้บังคับบัญชาในงานบริการหลังการขาย เพื่อทำการปรับปรุงการวางแผนการทำงานให้เหมาะสมเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง ทำให้เกิดการจัดตารางการทำงานของพนักงานเพื่อใช้ในการปฏิบัติงานเดือน ตุลาคม 2564 – ธันวาคม 2564

3.5 สรุปผลจัดทำรายงาน

ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิจัย หลังจากการออกแบบตารางการทำงานของพนักงานของบริษัท พร้อมข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นประโยชน์ความรู้พื้นฐาน สำหรับผู้สนใจในการวางแผนการจัดตารางการทำงาน และการจัดตารางเวลาการทำงาน เพื่อจัดการทรัพยากรบุคคล

4. ผลลัพธ์ของงานวิจัย

ผลการดำเนินการที่สามารถปรับปรุงได้เมื่อเทียบกระบวนการก่อนดำเนินงานเป็นจากผลการปฏิบัติงานที่นำไปปรับปรุงช่วงเดือน ตุลาคม 2564 – ธันวาคม 2564 เป็นดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการดำเนินการที่เปรียบเทียบกระบวนการก่อนดำเนินงาน

แนวคิดเดิม	แนวคิดใหม่	ผลลัพธ์ที่ได้จากแนวคิดใหม่
ไม่มีการจัดกลุ่มทักษะพนักงาน	มีการจัดกลุ่มทักษะพนักงานโดยการทดสอบด้านทฤษฎีและปฏิบัติ	ทราบถึงศักยภาพพนักงานที่มีปัจจุบัน และสามารถมุ่งเน้นการจัดอบรมเพื่อเพิ่มทักษะงานได้
ไม่ทราบถึงจำนวนงานในแต่ละช่วงเวลา	สามารถประเมินจำนวนงานสูงสุด-ต่ำสุดในแต่ละช่วงเวลา	จำนวนงานสูงสุดต่ำสุดในแต่ละช่วงเวลา เพื่อสามารถกำหนดแผนงานอื่นได้
ไม่มีการจัดตารางการทำงาน	มีการจัดตารางการทำงานชัดเจน	สามารถจัดสรรตารางการทำงานรายบุคคลต่อเดือนได้ รวมไปถึงสามารถวางแผนการลาของพนักงานและจำนวนพนักงานที่ต้องมีแต่ละวันเพื่อรองรับงานได้

ทักษะพนักงาน	ประจวบคีรีขันธ์		เพชรบุรี		ราชบุรี		รวม		จำนวนเปลี่ยนแปลง		%ทักษะพนักงาน		% เปลี่ยนแปลง
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	เพิ่มขึ้น	ลดลง	ก่อน	หลัง	
Core Network Node	6	12	4	7	3	11	13	30	17	-	21%	49%	28%
Access Network Node	14	17	7	11	11	21	32	49	17	-	52%	80%	28%
Outside plant	22	22	18	18	21	21	61	61	-	-	100%	100%	0%
Power System	6	6	4	6	3	11	13	23	10	-	21%	38%	17%
Router/Switch	0	6	0	5	0	3	0	14	14	-	0%	23%	23%

รูปที่ 5 เปรียบเทียบจำนวนทักษะพนักงานก่อนและหลังดำเนินการ

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาหลักการวางแผนการออกแบบตารางการทำงาน เพื่อนำมาช่วยในการพัฒนากระบวนการทำงาน เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ของบริษัทตัวอย่าง ผลที่จากการวิจัย สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานได้ จากการวางแผนการทำงาน จากข้อมูลจำนวนงานสูงสุดต่ำสุด ทำให้สามารถวางแผนการทำงาน และจัดกลุ่มทีมทำงานเพื่อเพิ่มทักษะงานในแต่ละด้านแต่ละกลุ่มทักษะได้ ทำให้ผลการทดสอบพนักงานมีทักษะเพิ่มขึ้น และสามารถเพิ่มทักษะพิเศษขึ้นได้ จากผลการปฏิบัติงานที่นำไปปรับปรุงช่วงเดือน ตุลาคม 2564 – ธันวาคม 2564 รวมไปถึงสามารถทำให้พนักงานเกิดการหมุนเวียนการทำงานในแต่ละช่วงเวลา ทำให้พนักงานมีการหมุนเวียนงานเพื่อเพิ่มทักษะการทำงาน ให้สามารถทำงานแทนที่การทำงานแทนกันได้ และพนักงานมีทักษะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 39% เป็น 58%

งานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดการปรับปรุงในการทำงานเพิ่มเติมได้ เช่น การปรับปรุงระยะเวลามาตรฐานการทำงาน รวมไปถึง การพัฒนาระบบการจัดการงานและการติดตามงาน การจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้านอื่นมากขึ้น การจัดทำการจัดทำ Skills matrix

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ดร.ประจวบ กล่อมจิตร รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ผู้เขียนกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

[1] กฤชพล เมฆวาพจรัส. (2549). การออกแบบกระบวนงานและระบบสารสนเทศสำหรับการบริหารงานบริการหลังการขาย. วิทยานิพนธ์ระดับวิศกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต , สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] ฑิตยรัตน์ มงคลรังสฤษฏ์. (2549). การพัฒนาวิธีการจัดตารางการทำงานของพยาบาลในสภาวะความต้องการกำลังคนผันแปร. วิทยานิพนธ์ระดับวิศกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต , สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] นายพิศาล สีนวล. (2559). การใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาจัดสรรทรัพยากรเพื่อลดเวลาในการวางแผนการผลิต. วิทยานิพนธ์ระดับวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต , สาขาการพัฒนางานอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ ธรรมศาสตร์. อรชพร จันทวลี. (2561). การจัดตารางการผลิตและวางแผนกาลังคนสาหรับอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม. วิทยานิพนธ์ระดับวิศกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต , สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้นตอนการค้นหาความบรรสานสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน

Harmony Search Algorithm for Flow Shop Scheduling Problems

ธนวัฒน์ สุวรรณพงษ์ [1*] อัจฉริยา สายสิงห์[1] อาริสา สะโนนอก[1] พีรภพ จอมทอง[2] ธนาธร เกรอต[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
[2]สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยคริสเตียน
E-mail: suwanapong_t@su.ac.th*

Tanawat Suwanapong[1*], Atchariya Saising[1] , Arisa Sanonok[1] , Peerapop Jomtong[2] Thanathorn Karot[1]
[1] Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
[2] Department of Biomedical Engineering, Faculty of Health Sciences, Christian University
E-mail: suwanapong_t@su.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอขั้นตอนการค้นหาความบรรสาน ที่เป็นหนึ่งในขั้นตอนเมตาฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน โดยพิจารณาจากวัตถุประสงค์ 1 ชนิด คือเวลาปิดงานของระบบที่มีค่าน้อยที่สุด โดยจะทำการทดสอบจากชุดปัญหาของเว็บไซต์ OR Library ซึ่งได้ทำการแบ่งขนาดของชุดปัญหาออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ชุดปัญหาข้อมูลขนาดเล็ก (20 งาน 10 เครื่องจักร) ชุดปัญหาข้อมูลขนาดกลาง (50 งาน 10 เครื่องจักร) และชุดปัญหาข้อมูลขนาดใหญ่ (100 งาน 10 เครื่องจักร) จากนั้นเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากการวิธีค้นหาความบรรสานของแต่ละขนาดของชุดปัญหากับคำตอบจากเว็บไซต์ OR Library จากการทดสอบพบว่าปัญหาของข้อมูลขนาดเล็กให้ผลลัพธ์ในเชิงคำตอบที่ได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ได้จากเว็บไซต์ OR Library มากที่สุด แต่เมื่อข้อมูลของชุดปัญหาที่มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นพบว่ามีสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมีค่าน้อยที่สุด อยู่ที่ 0.8% ดังนั้นข้อมูลขนาดใหญ่จึงเหมาะสมในการใช้ขั้นตอนการค้นหาความบรรสานสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อนมากที่สุด และใช้เวลาในการหาคำตอบประมาณ 87 วินาที

คาสาคัญ: เมตาฮิวริสติก, การค้นหาความบรรสาน, การจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน, เวลาปิดงานของระบบ

Abstract

The harmony search algorithm is presented in this article as one of the metaheuristic steps for solving the flow shop scheduling problem. One of its objectives is to have the shortest system shutdown time possible. It was put to the test using the OR Library's problem set. The problem set has been divided into three sizes: small data problem set (20 jobs, 10 machines), medium data problem set (50 jobs, 10 machines), and large data problem set (100 jobs, 10 machines). Then, for each size of the problem set, compare the answers from the harmony search method with the answers from the OR Library website. The test discovered that the small data problems produced the most similar result to the OR Library's result. However, when the problem set's data was larger, the coefficient of variation was found to be the lowest, at 0.8 percent. As a result, the harmony search procedure is the best choice for resolving the flow shop scheduling problem. It took 87 seconds to find out the answer.

Keywords: Meta-Heuristics, Harmony search, Flow shop scheduling, Make span

1. บทนำ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทมีการเจริญเติบโตเป็นอย่างมากและมีการแข่งขันสูง ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งมีการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตสินค้า เพื่อทำให้สามารถผลิตสินค้าให้ทันกับความต้องการของตลาดและจัดส่งแบบทันเวลาพอดี อีกทั้งเพื่อลดทรัพยากรในการผลิตต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น เวลาต้นทุน แรงงาน เครื่องจักร และกระบวนการผลิต

วิธีการออกแบบและการปรับปรุงกระบวนการผลิตสินค้าที่กล่าวมาข้างต้น โรงงานอุตสาหกรรมพยายามนำวิธีการเหล่านี้ไปปรับใช้ในการลดทรัพยากรในกระบวนการผลิต หนึ่งในนั้นคือการจัดตารางการผลิตเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้จะทำการออกแบบกระบวนการผลิตโดยแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow shop scheduling: FSS) โดยการประยุกต์แนวคิดเม-ตาฮิวริสติก (Meta-heuristics algorithm) ชนิดใหม่ที่มีชื่อว่า ขั้นตอนการค้นหาความบรรสาน (Harmony search: HS) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่ใหม่ และยังไม่เป็นที่แพร่หลายเมื่อเทียบกับวิธีเมตาฮิวริส-
ติกชนิดอื่น ๆ และจากการศึกษางานวิจัยยังไม่พบการนำขั้นตอนการค้นหาความบรรสานไปใช้ในการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน ดังนั้นจึงมาทำการทดสอบเพื่อหาว่าได้ค่าที่เหมาะสมหรือไม่

ขั้นตอนการค้นหาความบรรสาน ได้ถูกคิดค้นขึ้นโดย Zong woo geem ในปีคริสตศักราช 2001 โดยใช้หลักการของการแก้ปัญหาของนักดนตรี เพื่อค้นหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดของการประสานเสียงเครื่องดนตรี (Perfect state of harmony) โดยตัดสินจากมาตรฐานหรือระดับของความสวยงามของคุณภาพเสียงที่เกิดขึ้น (Aesthesis standard) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สมการวัตถุประสงค์ (Objective function) ในการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาความบรรสานในการแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมที่สุดเชิงวิศวกรรม (Engineering variable) ก็คือการหาค่าของสมการวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมที่สุดนั้นเอง

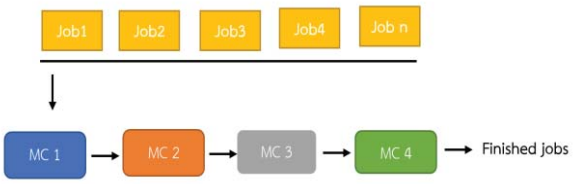
ดังนั้นในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ เป็นการนำภาษา Python มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบ เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นภาษาเขียนโปรแกรมแบบไดนามิก มีระบบการจัดการหน่วยความจำอัตโนมัติ และสนับสนุนการเขียนโปรแกรมหลายรูปแบบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำแนวคิดเมตาฮิวริสติก คือขั้นตอนการค้นหาความบรรสานมาประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน เพื่อหาเวลาในการทำงานในกระบวนการผลิตที่เหมาะสมที่สุด หรือทำให้เวลาปิดงานของระบบ (Makespan) มีค่าน้อยสุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน

คือระบบที่ประกอบด้วยเครื่องจักร m เครื่อง ที่นำมาต่อกันอย่างอนุกรม งานทั้งหมดมีเส้นทางการต่อเนื่องของงานเป็นรูปแบบเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 1 งานทั้งหมดต้องผ่านการดำเนินงานเป็นเส้นทางเดียวกัน ดังรูปที่ 1 และงานใด ๆ สามารถดำเนินการบนเครื่องจักรที่สองได้ก็ต่อเมื่อ ได้ดำเนินการเสร็จบนเครื่องจักรที่หนึ่งเรียบร้อยแล้ว เช่น การดำเนินงานของสายการประกอบ ซึ่งเรียกโครงสร้างเช่นนี้ว่า

“ โครงสร้างลำดับก่อนหลังของการดำเนินงานแบบเชิงเส้น (Linear precedence structure) ”



รูปที่ 1 การจัดลำดับงานของการผลิตแบบไหลเลื่อนทั้งนี้การจัดตารางการผลิตของระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง มีเงื่อนไขดังนี้

1) เซตของงานประกอบด้วย 1 งานและการดำเนินงานมีความพร้อมทำที่เวลา t=0 (แต่ละงานประกอบด้วย n การดำเนินงานที่ต้องทำบน m เครื่องจักรที่แตกต่างกัน)

2) เวลาปรับตั้งเครื่องจักรในขั้นตอนการดำเนินงานต่าง ๆ มีความเป็นอิสระต่องานที่ทำอยู่ในลำดับก่อนหน้า และกำหนดให้เวลาปรับตั้งเครื่องถูกรวมไว้ในเวลาปฏิบัติงาน (เวลาดำเนินงาน = เวลาปรับตั้งเครื่อง + เวลาปฏิบัติงาน)

3) เครื่องจักร m เครื่อง มีความพร้อมในการทำงานอยู่ตลอดเวลาที่ทำการจัดตารางการผลิต

4) ไม่มีการแทรกงานเกิดขึ้นในแต่ละการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิต คือการทำให้เวลาปิดงานของระบบมีค่าน้อยที่สุด ผลรวมของเวลารอคอยลดลง และผลรวมของเวลาเดินเปล่าลดลง [1]

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน [2]

1) พารามิเตอร์

n คือ จำนวนงาน

m คือ จำนวนงานบนเครื่องจักร

i คือ ดัชนีแสดงถึงชื่องาน ; i = 1, 2, ..., n

j คือ ดัชนีแสดงถึงเครื่องจักร ; j = 1, 2, ..., m

k คือ ดัชนีแสดงถึงลำดับงานเครื่องจักร ; k = 1, 2, ..., m

P_i คือ เวลาในกระบวนการผลิตของงาน i

C_i คือ เวลาเสร็จสิ้นของงาน i

w_i คือ เวลารอคอยของงาน i

$$X_{i,j,k} \begin{cases} 1 & \text{ถ้างาน } i \text{ ผลิตบนเครื่องจักร } j \text{ ลำดับที่ } k \\ 0 & \text{ถ้างาน } i \text{ ไม่ผลิตบนเครื่องจักร } j \text{ ลำดับที่ } k \end{cases}$$

2) สมการวัตถุประสงค์

$$Min.MSP = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} P_{ij} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} W_{ij} \qquad (1)$$

3) สมการข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^{j}\sum_{k=1}^{m} X_{i,j,k} = 1 \quad ; \forall i$$

$$C_i = \sum_{i=1}^{n} P_i X_{i,j,k} + \sum_{i=1}^{n} w_i \; ; \forall i \; where \; X_{i,j,k} = 1 \quad (2)$$

(3)

$$X_{i,j,k} \in \{0,1\} \quad (4)$$

สมการวัตถุประสงค์ที่ (1) แสดงถึงการหาเวลาปิดงานของระบบที่มีค่าน้อยที่สุด ที่ได้มาจากเวลาในกระบวนการผลิตทั้งหมดรวมกับเวลารอคอยงานทั้งระบบ ข้อจำกัดที่ (2) สำหรับแต่ละการดำเนินงาน งาน แต่ละงานต้องถูกดำเนินการผลิตบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว ข้อจำกัดที่ (3) สำหรับการดำเนินงานใด ๆ เวลาแล้วเสร็จของงานแต่ละงาน เกิดจากผลรวมของเวลาในกระบวนการผลิตรวมกับเวลารอคอยของงานในงาน i นั้นๆ ข้อจำกัดที่ (4) แสดงถึงงานใด ๆ บนเครื่องจักรใดๆ ที่ถูกดำเนินการมีค่าเท่ากับ 1 และงานไม่ถูกดำเนินการบนเครื่องจักรใด ๆ มีค่าเท่ากับ 0

2.2 ขั้นตอนการค้นหาความบรรสาน

ขั้นตอนการค้นหาความบรรสานเป็นการเลียนแบบพฤติกรรมของนักดนตรี คือการใช้แนวทางของนักดนตรีในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้การประสานเสียงของเครื่องดนตรีที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งนักดนตรีจะทำการปรับปรุงและแก้ไขตัวโน้ต โดยการหาตัวโน้ตที่ทำให้เกิดการประสานเสียงของเครื่องดนตรี เพื่อให้เกิดความไพเราะมากที่สุด ซึ่งจะสามารถแสดงพฤติกรรมออกมาได้ 3 รูปแบบ คือ

1) นักดนตรีจะเลือกตัวโน้ตซึ่งเป็นเสียงการบรรเลงไพเราะที่สุดจากความทรงจำได้อย่างแม่นยำ

2) นักดนตรีจะสามารถเลือกบรรเลงตัวโน้ตที่เคยเล่นมาก่อนหน้านี้จากความทรงจำได้ แต่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับเสียงเล็กน้อย

3) บรรเลงทำนองเพลงรูปแบบใหม่จากการสุ่มตัวโน้ตขึ้นมาโดยขั้นตอนการค้นหาความบรรสาน

จากการกำหนดปัญหาที่ทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และค่าตัวแปร (Parameter) แล้วจะมาทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยขั้นตอนการค้นหาความบรรสาน ซึ่งแสดงขั้นตอนดังนี้ [3]

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นสร้างหน่วยความจำความบรรสาน (Harmony memory: HM)

การเริ่มต้นของหน่วยความจำความบรรสานประกอบด้วยตัวเลขจำนวนหนึ่งของวิธีแก้ปัญหาที่ทำการสุ่มขึ้นมา สำหรับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ภายใต้การพิจารณาหน่วยความจำบรรสานกับขนาดหน่วยความจำบรรสาน (Harmony memory size: HMS) แสดงดังสมการที่ 5

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \dots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f(\vec{x}^1) \\ f(\vec{x}^2) \\ \vdots \\ f(\vec{x}^{HMS-1}) \\ f(\vec{x}^{HMS}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

โดยที่ ($x_1{}^i$, $x_2{}^i$, ... , $x_n{}^i$) และ (i = 1,2, ... , HMS) คือ การแก้ไขคำตอบแบบใหม่ (Candidate solution) ซึ่งขนาดหน่วยความจำบรรสาน จะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 100

ขั้นตอนที่ 2 การปรับปรุงวิธีแก้ปัญหาใหม่ การปรับปรุง (x_1' , x_2', ... , x_n') จากหน่วยความจำบรรสานนั้น คือการสร้างเวกเตอร์ในการแก้คำตอบใหม่ขึ้นมา โดยการปรับปรุงค่าความบรรสานใหม่ขึ้นมานั้น จะขึ้นอยู่กับ 3 การดำเนินการ

1) การใช้งานหน่วยความจำบรรสาน

การใช้หน่วยความจำ ค่าตัวแปรแรก x_1' สำหรับเวกเตอร์ใหม่สามารถเลือกได้จากค่าใดๆ ในช่วงหน่วยความจำบรรสานที่ระบุ ($x_1' - x^{HMS}$) ค่าของตัวแปรอื่น (x_n') สามารถเลือกได้โดยวิธีเดียวกัน โดยในการเลือกเป็นไปได้ที่จะเลือกค่าใหม่ โดยใช้พารามิเตอร์ความน่าจะเป็นในการใช้หน่วยความจำ (Harmony memory considering rate: HMCR) ที่แตกต่างกันช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ดังจากสมการที่ (6)

$$0 \leq HMCR \leq 1 \quad (6)$$

2) การปรับระดับเสียง (Pitch adjustment)

ทุกองค์ประกอบของเวกเตอร์ใหม่ x' = (x_1' , x_2', ... , x_n') จะถูกตรวจสอบ เพื่อพิจารณาว่าควรจะปรับระดับเสียง โดยในขั้นตอนการปรับระดับเสียง จะใช้พารามิเตอร์ความน่าจะเป็นในการปรับระดับเสียง (Pitch adjustment rate, PAR) ดังจากสมการที่ (7)

$$0 \leq PAR \leq 1 \quad (7)$$

3) การสุ่มค่า (Randomization)

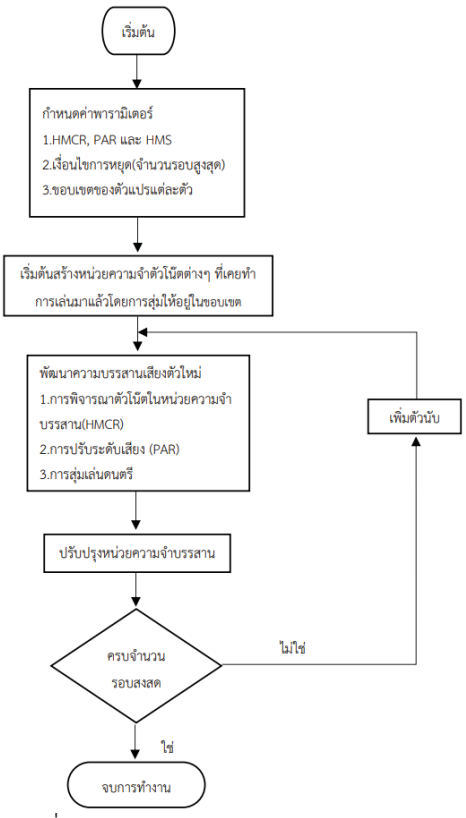
การสุ่มค่าเป็นการเพิ่มความหลากหลายของวิธีแก้ไขปัญหา โดยค่าความน่าจะเป็นของการสุ่ม (Probability of randomization) มีค่า P_{random} = 1 − $HMCR$ และค่าความน่าจะเป็นของการปรับเสียง (Probability of the pitch adjustment) มีค่า P_{pitch}= $HMCR \times PAR$

ขั้นตอนที่ 3 ใส่ค่า Harmony ค่าใหม่ในหน่วยความจำบรรสาน ถ้าได้ผลลัพธ์ที่หามาจากขั้นตอนที่ 2 มีค่าที่ดีกว่าค่าที่ถูกเก็บในหน่วยความจำบรรสาน ณ ปัจจุบัน จะถูกแทนที่เข้าไปแทนค่าในหน่วยความจำบรรสานแทน และค่าที่แย่กว่าจะถูกกำจัดออกจากหน่วยความจำบรรสาน

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด

กลับไปสู่ขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งพบเจอเงื่อนไขที่เป็นไปได้ เช่น ค่ามากที่สุดของการทำซ้ำๆ

โดยมีแผนผังการทำงานของความบรรสานที่แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการทำงานของความบรรสาน [4]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 นิยามปัญหาและการวิเคราะห์

โจทย์ปัญหาทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ มาจากเรื่องการจัดตารางการผลิต โดยจะลงรายละเอียดไปที่การจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน เพื่อหาว่าวิธีการค้นหาความบรรสานในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตเหมาะกับปัญหาขนาดเท่าไร โดยจะทำการแบ่งขนาดของข้อมูลของโจทย์ปัญหาทดสอบมาตรฐานออกเป็น 3 ขนาด ซึ่งแต่ละขนาดจะใช้ 3 โจทย์ปัญหาที่แตกต่างกันจากเว็บไซต์ OR Library และแต่ละโจทย์ ทำการทดลองซ้ำ 20 รอบต่อการเปลี่ยนโจทย์ ซึ่งได้แก่

1. ชุดปัญหาข้อมูลขนาดเล็ก กำหนดให้มีเครื่องจักรจำนวน 10 เครื่องที่ใช้ในการผลิต และงานจำนวน 20 งาน
2. ชุดปัญหาข้อมูลขนาดกลาง กำหนดให้มีเครื่องจักรจำนวน 10 เครื่องที่ใช้ในการผลิต และงานจำนวน 50 งาน
3. ชุดปัญหาข้อมูลขนาดใหญ่ กำหนดให้มีเครื่องจักรจำนวน 10 เครื่องที่ใช้ในการผลิต และงานจำนวน 100 งาน

ในการทดสอบจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้การทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) [5] และ การเปรียบเทียบเชิงซ้อน ด้วยวิธี LSD เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และทำการวัดประสิทธิภาพจากการหาคำตอบที่ได้จากขั้นตอนการค้นหาความบรรสานกับคำตอบที่ได้จากเว็บไซต์ OR Library ทั้ง 3 ขนาด ว่ามีเปอร์เซ็นความแตกต่างของคำตอบอยู่ที่เท่าไร (Percentage difference) ดังจากสมการที่ (8)

$$\%\ \text{แตกต่าง}\ (\%\ dev) = \frac{|X_t - X_{mea}|}{X_t} \times 100 \quad (8)$$

โดยที่ X_t คือ คำตอบค่าจริง (True value)

X_{mea} คือ คำตอบที่ได้จากการวัด (Measure value)

และทดสอบความแม่นยำของคำตอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมีค่าน้อยแสดงว่ามีความเที่ยงตรงสูง หรือการวัดมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้อยกว่า 5% แสดงว่ายอมรับได้ (Coefficient of variation: C.V.) ดังจากสมการที่ (9)

$$C.V. = \frac{SD.}{\overline{X}} \times 100 \quad (9)$$

โดยที่ $SD.$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

$\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย (Average)

3.2 ขั้นตอนออกแบบและพัฒนาการค้นหาความบรรสาน

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นส่วนของการออกแบบและพัฒนาตัวโปรแกรม โดยโปรแกรม Python บนเครื่อง Intel Core i5-8265U CPU 1.80 GHz processor, with 8.00 GB of RAM ในการออกแบบและพัฒนา ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1. สร้างวิธีการเข้ารหัส (Encoding) และถอดรหัส (Decoding) 2. สร้างวิธีการค้นหาความบรรสาน 3. ตรวจสอบความถูกต้อง 4. หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม 5. ทดสอบกับข้อมูลแต่ละขนาด

3.3 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอนการค้นหาความบรรสาน มีผลต่อประสิทธิภาพในการหาคำตอบในแต่ละปัญหาที่แตกต่างกัน เป็นผลมาจากความซับซ้อนของปัญหาที่แตกต่างกัน

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะทำการทดลองบนพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีการค้นหาความบรรสาน ซึ่ง Xin-she yang (2009) [5] ได้ทำการศึกษาและแนะนำค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมดังนี้

1. ค่า HMCR ควรอยู่ในช่วงระหว่างค่า 0.7 – 0.95 ซึ่งหากมีค่า HMCR มีค่าที่ต่ำอาจจะทำให้ช่วงการเลือกคำตอบที่ดีที่สุดในความจำบรรสานถูกจำกัดลง และทำให้การลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) ทำได้ช้าลงด้วย ซึ่งหากค่าตัวแปร HMCR มีค่าที่สูงมาก (ใกล้เคียง 1.0) อาจจะทำให้ช่วงการหาคำตอบที่ดีที่สุดในความจำบรรสานกว้างมากจนเกินไป มีผลให้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าและอาจนำไปสู่การหาคำตอบที่ผิดพลาด

2. ค่าตัวแปร PAR ควรอยู่ในช่วงระหว่างค่า 0.1-0.5 เนื่องจากค่าตัวแปร PAR เป็นตัวควบคุมปริมาณการปรับค่าการหาคำตอบ ซึ่งหากค่าตัวแปร PAR มีค่าที่ต่ำทำให้ช่วงการหาคำตอบที่แคบและทำ

ให้การลู่เข้าหาคำตอบช้าลง และในทางกลับกันหากค่าตัวแปร PAR มีค่าที่สูงมากจะทำให้เกิดช่วงในการหาคำตอบที่กว้างซึ่งอาจจะได้คำตอบที่กระจายตัวอยู่รอบ ๆ คำตอบที่ดีที่สุด

ผู้วิจัยจะทำการกำหนด Bandwidth ให้มีค่าเท่ากับ 2 ตลอดการทดสอบ และกำหนดพารามิเตอร์ ได้แก่ PAR, HMCR และ HMS จากนั้นจะทำการทดสอบโดยเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ไปทีละค่า และจะทำการทดลองซ้ำ 20 รอบต่อการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ 1 ค่า ดังนั้นจะต้องทดสอบจำนวน 27 ชุดการทดสอบ และทดลองซ้ำชุดละ 20 ครั้ง จะต้องทดสอบทั้งหมด 27 x 20 = 540 ครั้ง

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ PAR, HMCR และ HMS ที่เหมาะสมแล้ว จะนำค่าพารามิเตอร์มาหารอบในการทำซ้ำ (Iteration number) ที่เหมาะสมอีกครั้ง โดยทำการทดลองซ้ำ 20 รอบต่อการเปลี่ยนรอบการทำซ้ำ 1 ค่า ดังนั้นจะต้องทดลอบ 5 x 20 = 100 ครั้ง

หมายเหตุ ค่า PAR, HMCR และ HMS กับ Iteration อยู่คนละขั้นตอนการทำงาน ของขั้นตอนการค้นหาความบรรสาน ถ้านำมาทดสอบพร้อมกันจะส่งผลต่อคำตอบที่ได้ในการทดสอบครั้งนี้ และจำนวนครั้งที่ใช้ทดสอบต้องทำเพิ่มขึ้นอีกจำนวนมาก

ดังนั้นการทดสอบหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จะต้องทดสอบรวมทั้งสิ้น 540 + 100 = 640 ครั้ง โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดหนดค่าพารามิเตอร์

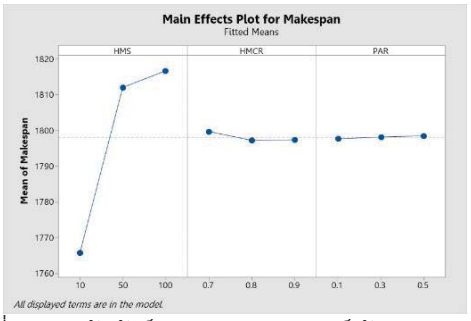
Parameter	Setting
HMS	10 50 100
PAR	0.1 0.3 0.5
HMCR	0.7 0.8 0.9
Iteration number	1,000 3,000 5,000 7,500 10,000

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบวิเคราะห์ความแปรปรวน ด้วยวิธี ANOVA ของพารามิเตอร์ HMS, HMCR และ PAR เพื่อทดสอบว่าค่าพารามิเตอร์แต่ละชุดมีผลต่อเวลาปิดระบบหรือไม่ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

โดยจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA พบว่าพารามิเตอร์ HMS มีค่านัยสำคัญ Sig.=0.000 น้อยกว่า 0.05 สรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 หรือกล่าวได้ว่าค่าของพารามิเตอร์ HMS ที่แตกต่างกัน มีผลต่อเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุด ต่อมาผู้วิจัยจะนำพารามิเตอร์ HMS มาทำการเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD และสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ที่ค่าของพารามิเตอร์ HMS เท่ากับ 10 มีค่านัยสำคัญ Sig.=0.000 น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าของพารามิเตอร์ HMS เท่ากับ 10 ส่งผลให้เวลาปิดงานของระบบมีค่าน้อยที่สุด ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ HMCR และ PAR พบว่าพารามิเตอร์ทั้งสองชุด มีค่ามีค่านัยสำคัญ (Sig. HMCR=0.778, Sig. PAR=0.983) มากกว่า 0.05 หมายความว่าค่าของพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันของ HMCR และ PAR ไม่ส่งผลให้เวลาปิดงานของระบบ มีค่าลดลง ดังนั้นสามารถใช้ค่าของพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันของ HMCR และ PAR เท่าไรก็ได้ตามที่ได้กำหนดไว้ ผู้วิจัยจึงใช้ค่าของพารามิเตอร์ HMCR = 0.8 และ PAR = 0.1 เนื่องจากค่าพารมิเตอร์ทั้งสองชุดมีแนวโน้มของเวลาปิดงานของระบบที่มีค่าน้อยที่สุด โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ HMS, HMCR และ PAR กับเวลาปิดระบบของงาน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ กับเวลาปิดระบบ

ผลการทดสอบพบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน ด้วยวิธีการค้นหาความบรรสาน คือ HMCR = 0.8, PAR = 0.1 และ HMS = 10 ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แสดงให้เห็นแนวโน้มของเวลาปิดงานของระบบที่มีค่าน้อยที่สุด และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเหล่านี้จะนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อนต่อไป

ต่อมาจะทดสอบจำนวนรอบการทำซ้ำ ตามสมมติฐานที่ว่าจำนวนรอบในการทำซ้ำมากขึ้น ทำให้ค่าของเวลาปิดงานของระบบมีค่าที่ดีขึ้นหรือไม่ โดยผู้วิจัยจะทำการทดสอบสมมุติฐานนี้ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทดสอบได้จากค่าข้างต้น ในการทดสอบได้กำหนดรอบการทำซ้ำอยู่ที่ 1,000 3,000 5,000 7,500 และ 10,000 รอบ ทำการทดลองซ้ำ 20 รอบต่อการเปลี่ยนรอบการทำซ้ำ 1 ค่า และกำหนดระดับทดสอบที่ 5 % ($\alpha = 0.05$) โดยแสดงผลการวิเคราะห์พบว่า Sig. = 0.000 น้อยกว่า 0.05 สรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 หรือกล่าวได้ว่าจำนวนรอบการทำซ้ำมีผลต่อเวลาปิดงานของระบบ ต่อมาเพื่อแสดงให้เห็นถึงจำนวนรอบการทำซ้ำที่แตกต่างกัน จึงทำการเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD พบว่าที่รอบ 7,500 ถึง 10,000 พบว่าค่านัยสำคัญ Sig.=0.883 มากกว่า 0.05 กล่าวได้ว่าที่จำนวนรอบการทำซ้ำ 7,500 และ 10,000 ไม่ส่งผลให้คำตอบลดลงได้อีก ดังนั้นเพื่อประหยัดเวลาในการหาคำตอบ จึงใช้จำนวนรอบการทำซ้ำที่ 7,500 รอบ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ (ANOVA) สำหรับจำนวนรอบการทำซ้ำ

	SS	df	Mean Square	Sig.
Between Groups	29436.74	4	7359.19	0.000
Within Groups	47730.25	95	502.42	
Total	77166.99	99		

4.2 การวัดประสิทธิภาพของคำตอบ

จากการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน ด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสม โดยวิธีเมตาฮิวริสติกด้วยขั้นตอนการค้นหาความบรรสาน จะต้องมีการวัดประสิทธิภาพจากการหาคำตอบที่ได้มาจากวิธีการค้นหาความบรรสาน กับคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาจากเว็บไซต์ OR Library ว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยใช้การหาเปอร์เซ็นความ และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (C.V.) เพื่อทดสอบความแม่นยำหรือการกระจายตัวของคำตอบ

เมื่อผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้ว ผู้วิจัยจะนำของค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ได้แก่ HMCR = 0.8, PAR = 0.1, HMS = 10 จำนวนรอบการทำซ้ำ = 7,500 รอบ มาทดสอบกับโจทย์ปัญหาทดสอบมาตรฐานจากเว็บไซต์ OR Library ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขนาด ซึ่งแต่ละขนาดจะใช้ 3 โจทย์ปัญหาที่แตกต่างกัน และแต่ละโจทย์ ทำการทดลองซ้ำ 20 รอบต่อการเปลี่ยนโจทย์ สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบคำตอบของแต่ละชุดปัญหา

problem	Answers from Harmony Search Algorithm			Result from OR Library	%dev (%)	C.V. (%)
	$\overline{X}$	S.D.	Average Test time (second)			
Small	1616.50	18.17	54.71	1557.00	3.82	1.12
Medium	3201.98	31.27	55.00	2984.00	7.32	0.98
Large	5845.78	46.87	86.69	5598.33	4.42	0.80

จากผลการทดสอบ พบว่าที่ข้อมูลขนาดเล็ก (10 งาน 20 เครื่องจักร) มีความแตกต่างกันของคำตอบ 3.82 % รองลงมาเป็นข้อมูลขนาดใหญ่ (100งาน 10 เครื่องจักร) มีความแตกต่างกันของคำตอบ 4.42 % และสุดท้ายข้อมูลขนาดกลาง (50 งาน 10 เครื่องจักร) มีความแตกต่างกันของคำตอบ 7.32 % ทั้งนี้คำตอบที่ได้จากขั้นตอนการค้นหาความบรรสารกับข้อมูลทั้ง 3 ขนาด มีค่าของคำตอบที่ได้มากกว่าคำตอบที่ได้จากเว็บไซต์ OR Library

และจากสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (C.V.) พบว่าข้อมูลทั้ง 3 ขนาดมีความแม่นยำสูงหรือมีการกระจายตัวของคำตอบน้อย (C.V. < 5 %) โดยที่ข้อมูลขนาดใหญ่มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นจึงมีความแม่นยำในการหาคำตอบสูงที่สุดหรือการกระจายตัวของคำตอบที่ทดสอบได้กระจายน้อยที่สุด

5. สรุปผลงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน ด้วยขั้นตอนการค้นหาความบรรสานโดยใช้ชุดปัญหาจากเว็บไซต์ OR Library โดยจะทำการแบ่งขนาดของข้อมูลออกเป็น 3 ขนาด โดยใช้ค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ได้แก่ HMCR = 0.8, PAR = 0.1, HMS = 10 จำนวนรอบการทำซ้ำ = 7,500 รอบ

สรุปได้ว่าปัญหาของข้อมูลขนาดเล็กให้ผลลัพธ์ในเชิงคำตอบที่ได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ได้จากเว็บไซต์ OR Library มากที่สุด แต่เมื่อข้อมูลของชุดปัญหามีขนาดที่ใหญ่ขึ้นพบว่าความแม่นยำของคำตอบนั้นดียิ่งขึ้น ดังนั้นขั้นตอนการค้นหาความบรรสารในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อนจึงสามารถนำไปใช้กับชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มากกว่าข้อมูลที่มีขนาดเล็กและขนาดกลาง และใช้เวลาในการหาคำตอบประมาณ 87 วินาที

ข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนการค้นหาความบรรสาน มีความเหมาะสมกับปัญหาการจัดตารางการการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีจำนวนเครื่องจักรและงานจำนวนมาก ส่วนข้อมูลขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ สามารถทำไปค้นหาด้วนวิธีเมตาฮิวริสติกชนิดอื่นเพื่อทำให้หาคำตอบได้ดีกว่า สำหรับการนำไปพัฒนา ควรเพิ่มขนาดของข้อมูลในการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ และขนาดข้อมูลที่ทำการวัดประสิทธิภาพของคำตอบเพื่อทำให้คำตอบที่ได้มีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] อัจฉฎาภรณ์ เศวตสุจริตกุล. (2559). การจัดลำดับงานสำหรับกระบวนการบรรจุชิ้นส่วน (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

[2] ธนวัฒน์ วงศ์เครือ, วรวุฒ หวังวัชรกุล. (2564). การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานในกระบวนการทดสอบวงจรรวม, วารสานไทยการวิจัยดำเนินงาน, ฉบับที่ 9 ปีที่ 1, มกราคม-มิถุนายน 2564.

[3] ธนพัทธ์ ทองชั้น. (2560). ขั้นตอนวิธีการค้นหาความบรรสานสำหรับปัญหาค่าเหมาะที่สุดหลายวัตถุประสงค์, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[4] น้ำเพชร สินสุพรรณ์ และ ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์. (2554). การแก้ปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะที่สุดโดยใช้วิธีการค้นหาความบรรสาน. วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2564, หน้า 20-29.

[5] Xin-She Yang. (2009). “Harmony Search as a Metaheuristic Algorithm” in: Music- Inspired Harmony Search Algorithm: Theory and Applications (Editor Z. W. Geem), Studies in Computational Intelligence, Springer Berlin, vol. 191, pp. 1-14.

[6] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. สถิติวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, 2559.

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

Optimization of Plastic Injection Process in Automotive Part Manufacturing

วริษา เจริญศรีสุข[1*] นัฏฐวิกา จันทร์ศรี[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: Warisa.ch@ku.th*

Warisa Charoensrisuk[1*], Natthavika Chansri[2]
[1] Department of Engineering and Technology Management, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University
E-mail: Warisa.ch@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์จากผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยพบว่าในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก เกิดของเสีย 1.54% ซึ่งปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือชิ้นงานเกิดรอยแหว่งในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลมมีปริมาณของเสีย 0.79% ส่งผลให้สัดส่วนของเสียเกินมาตรฐานที่บริษัทกำหนดไว้ที่ 1% การวิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยแผนภูมิก้างปลา แล้วจึงทำการคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลและกำหนดระดับของปัจจัยในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาส ติกและวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA โดยพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 4 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิของพลาสติกเหลว อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ความเร็วของเครื่องฉีดและแรงดันในการฉีด แล้วจึงทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองพื้นผิวตอบสนองด้วยการออกแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของทั้ง 4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียที่มีรอยแหว่งน้อยที่สุด พบว่าอุณหภูมิของพลาสติกเหลว 290 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของแม่พิมพ์ 65 องศาเซลเซียส ความเร็วของเครื่องฉีด 44 มิลลิเมตรต่อวินาทีและแรงดันในการฉีด 120 บาร์ ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ซึ่งสามารถลดของเสียประเภทรอยแหว่งของผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกลดลงจาก 0.79% เหลือ 0.22% ทำให้ของเสียในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกลดลงเหลือ 0.97% บรรลุเป้าหมายค่ามาตรฐานที่บริษัทกำหนด

คาสาคัญ: กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก, การออกแบบการทดลอง, แบบจำลองพื้นผิวตอบสนอง, การออกแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน

Abstract

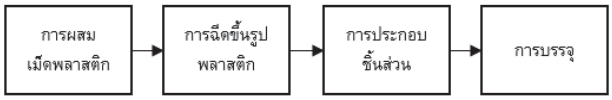
This research study in plastic injection of automotive part company. Referred from the data, the defect rate in injection process was 1.54% and the most defect was short shot in Deflector product, the defect rate was 0.79% effected to over the standard defect rate set by company. Therefore, to decrease the defect rate of short shot problem in injection process, the research used Fish-bone diagram to analyze the causes of the problem. After analysis, we found four factor concerns the defect rate in short shot problem. Then identify the factors and level of the factors by using design of experiment and ANOVA. The affected factors were Plastic melting temperature, Mold Temperature, Speed rate and injection pressure. The response surface model with Box-Behnken Design was carried out to determine the optimization factors level to minimize the defects were 290°C, 65°C, 44 mm/sec and 120 Bar. The result of the short shot problem defect rate was reduced from 0.79% to 0.22% and the total defect rate was 0.97%, achieved the company target.

Keywords: Plastic Injection Process, Design of Experiment, Response Surface Model, Box-Behnken design

1. บทนำ

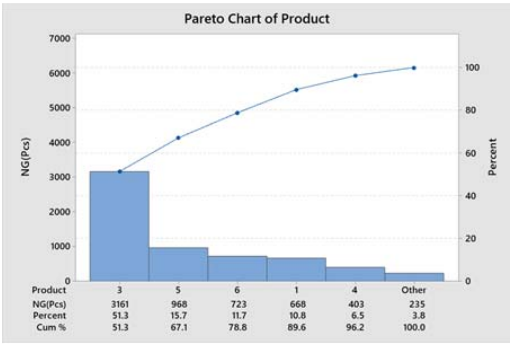
พลาสติกถูกนำมาใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม อาทิเช่น อุตสาหกรรมภาคก่อสร้าง อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมการเกษตรและอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น สำหรับแนวโน้มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ของตลาดในประเทศมีโอกาสขยายตัว 3-4% ต่อปี และตลาดส่งออกมีแนวโน้มเติบโต 5.4% และ 1.8% ในปี 2565 และ 2566 [1] ทำให้เกิดการแข่งขันกันอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์ จะต้องทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และต้องทำการลดต้นทุนให้ได้มากที่สุด เพื่อที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันได้มากขึ้น เช่น การลดของเสียในกระบวนการผลิต ก็เป็นอีกวิธีที่ส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการผลิต

กระบวนการผลิตของชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์ของบริษัทที่ทำการศึกษาจะมีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 6 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ท่อดักอากาศ ฝากั้นเครื่องยนต์ ชุดควบคุมกระแสลม ถังระบายแก๊ส ถังทำความสะอาดไอเสีย และฝาครอบใต้ท้องรถ ซึ่งกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 รุ่นจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักได้แก่ การผสมเม็ดพลาสติก การฉีดขึ้นรูปพลาสติก การประกอบชิ้นส่วนและการบรรจุ ดังรูปที่ 1 โดยจะเริ่มจากการผสมเม็ดพลาสติก สารเติมสี และสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ จากนั้นจึงนำเม็ดพลาสติกที่ผสมแล้วมาอบไล่ความชื้นในอุณหภูมิที่กำหนด เม็ดพลาสติกที่อบแล้วจะถูกนำมาหลอมละลายด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสมและน้ำพลาสติกที่ถูกหลอมเหลวจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก หลังจากผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้วชิ้นงานพลาสติกที่ได้จะแข็งตัวคงรูปในขั้นตอนการหล่อเย็น แล้วจึงทำการตกแต่งชิ้นงานให้สมบูรณ์เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆให้ได้ตามลักษณะที่ต้องการ จากนั้นจึงทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานพลาสติก บรรจุและส่งมอบให้ลูกค้าต่อไป



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติก

จากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกดังกล่าว ทางบริษัทพบว่าในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกมีปริมาณของเสียเฉลี่ยเกิดขึ้น 1.54% ซึ่งเกินจากการค่ามาตรฐานที่ทางบริษัทกำหนดไว้ที่ 1% ผู้วิจัยจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลทางสถิติของของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก (ธ.ค.2562-ก.ค.2563) โดยใช้หลักการของแผนภูมิพาเรโตในการจำแนกปัญหาและลำดับความสำคัญของปัญหาในผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น พบว่าผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลมเกิดปริมาณของเสียมากที่สุด คิดเป็น 51% ของจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิลำดับผลิตภัณฑ์ที่เกิดปัญหาในกระบวนการ

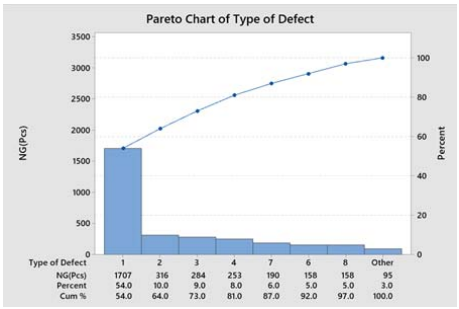
หมายเหตุ 1.ท่อดักอากาศ 2.ฝากั้นเครื่องยนต์ 3.ชุดควบคุมกระแสลม 4.ถังระบายแก๊ส 5.ถังทำความสะอาดไอเสีย และ6.ฝาครอบใต้ท้องรถ

เมื่อทำการพิจารณาประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลมพบของเสียทั้งหมด 9 ชนิดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดของเสียที่เกิดในชุดควบคุมกระแสลม

ลำดับ	ประเภทของเสีย
1	รอยแหว่ง
2	สิ่งแปลกปลอม
3	รอยแตก
4	รอยพ่น
5	ครีบ
6	ฟองอากาศ
7	รอยขีดข่วน
8	รูปร่างผิดปกติ
9	รอยเข็ม

จากของเสียทั้ง 9 ประเภท พบว่าปัญหาที่มีความถี่ของเสียมากที่สุด คือ ปัญหาชิ้นงานเกิดรอยแหว่ง คิดเป็น 54% จากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลม



รูปที่ 3 แผนภูมิลำดับของปัญหาในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลม

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา จะทำการวิเคราะห์ไปที่กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลมที่เกิดรอยแหว่ง โดยใช้แผนภูมิก้างปลาในการวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดปัญหาที่เกี่ยวข้อง พิจารณา 4 ส่วน

หลัก 4M ประกอบไปด้วยคน (Man) วัตถุดิบ (Material) เครื่องจักร (Machine) และ วิธีการ (Method) ดังรูปที่ 4 ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่ในส่วนของวิธีการ ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสมต่อชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต



รูปที่ 4 แผนภูมิก้างปลาของปัญหาชิ้นงานเกิดรอยแหว่ง

จากแผนภูมิก้างปลาของปัญหาชิ้นงานเกิดรอยแหว่งในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

คน (Man) : พนักงานไม่มีความชำนาญในการใช้เครื่องจักรและพนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานมาตรฐานหรือไม่เข้าใจวิธีการทำงาน จึงได้มีการฝึกอบรมพนักงาน ทดสอบและจัดทำเอกสารขั้นตอนการทำงานและการตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องจักรก่อนที่จะเกิดปัญหา

เครื่องจักร (Machine) : สภาพของเครื่องจักรและแม่พิมพ์ไม่ได้รับการตรวจสอบและซ่อมบำรุงจึงทำให้เกิดการสึกหรอ ส่งผลให้การไหลของพลาสติกเหลวไม่ราบรื่น เมื่อฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปจะมีส่วนทำให้เกิดการปนเปื้อนในชิ้นงานหรือชิ้นงานเกิดรอยแหว่งได้ จึงได้มีการจัดทำมาตรฐานในการตรวจสอบเครื่องจักรและแม่พิมพ์ และการกำหนดอายุการใช้งานของส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้อง

วัตถุดิบ (Material) : กำหนดให้มีการจัดทำมาตรฐานการจัดเก็บวัตถุดิบและเพิ่มป้ายจำแนกประเภทของวัตถุดิบเพื่อแก้ไขปัญหาในส่วนของการใช้วัตถุดิบผิดประเภท รวมทั้งทำการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบทุกครั้งเพื่อป้องกันการใช้วัตถุดิบที่ไม่ได้มาตรฐาน

วิธีการ (Method) : วิธีการการตรวจสอบชิ้นงานที่ไม่เหมาะสมทำให้การตรวจสอบชนิดของเสียที่ไม่ตรงกับความจริง จึงได้จัดทำวิธีการตรวจสอบของเสียให้เป็นมาตรฐาน นอกจากนี้การทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้แม่พิมพ์เกิดการอุดตันและชิ้นงานเกิดรอยแหว่งได้ จึงได้มีการกำหนดวิธีการมาตรฐานในการทำความสะอาดแม่พิมพ์และความถี่ในการทำความสะอาดอย่างเหมาะสม สำหรับพารามิเตอร์ที่ยังไม่สามารถปรับตั้งค่าที่เหมาะสมได้ ได้แก่

อุณหภูมิของพลาสติกเหลว มีผลต่อความหนืดของน้ำพลาสติก ซึ่งอุณภูมิของพลาสติกเหลวที่น้อยเกินไปส่งผลต่อให้น้ำพลาสติกเหลวไหลไปได้ไม่ทั่วแม่พิมพ์จึงเกิดเป็นรอยแหว่งที่ชิ้นงาน และอุณหภูมิของพลาสติกเหลวที่มากเกินไป อาจส่งผลต่อการเกิดรอยไหม้ที่ชิ้นงานได้

อุณหภูมิของแม่พิมพ์ มีผลต่อการไหลและการแข็งตัวของพลาสติกเหลวที่ถูกฉีดเข้ามาในแม่พิมพ์ ซึ่งอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่น้อยเกินไปอาจจะทำให้พลาสติกเหลวแข็งตัวก่อนที่จะไหลไปทั่วแม่พิมพ์ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยแหว่งได้ แต่อุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่มากเกินไปอาจจะทำให้ชิ้นเกิดเกิดรอยไหม้ได้

ความเร็วของเครื่องฉีด มีผลต่อการการไหลของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ ความเร็วฉีดที่น้อยเกินไปส่งผลให้น้ำพลาสติกเหลวไหลไปได้ไม่ทั่วแม่พิมพ์ และความเร็วในการฉีดที่มากเกินไปอาจจะทำให้พลาสติกเหลวไหลออกไปนอกแม่พิมพ์ก่อนที่แม่พิมพ์จะปิดลง ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดของเสียในลักษณะเป็นครีบได้

แรงดันในการฉีด มีผลต่อการไหลของพลาสติกเหลวเช่นเดียวกับความเร็วในการฉีด

ในปัจจุบันการศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ได้มีการนำการออกแบบการทดลองมาใช้เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยการกำหนดปัญหา การออกแบบและวิเคราะห์การการทดลอง เพื่อศึกษาและกำหนดปัจจัยและกำหนดขอบเขตของปัญหาเพื่อทำการคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนอง [2-4] เช่น ตัวอย่างงานวิจัยการลดของเสียในอุตสาหกรรมฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยมีของเสียประเภทชิ้นงานขนาดไม่ได้มาตรฐานเกิดขึ้นมากที่สุด จึงได้มีการศึกษาวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดของชิ้นงานที่ไม่ได้ตามข้อกำหนด ได้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ แรงดันย้ำ อุณหภูมิแม่พิมพ์และรอบการทำงาน โดยนำปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบการทดลองโดยการใช้การออกแบบ 2^k Factorial Design เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยและศึกษาผลกระทบที่มีต่อของเสียที่เกิดขึ้น จากนั้นวิเคราะห์การทดลอง และดำเนินการแก้ไขด้วยค่าระดับปัจจัยที่ได้ ทำการปรับปรุงและปรับค่าปัจจัยในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถลดของเสียได้จากเดิม 39.05% เหลือเพียง 2.78% [5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อลดของเสีย โดยขอบเขตที่ทำการศึกษาคือ ปัญหารอยแหว่งในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลม

2. การออกแบบการทดลอง

เมื่อทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภทรอยแหว่งในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลม ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ อุณหภูมิของพลาสติกเหลว อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ความเร็วของเครื่องฉีด และแรงดันในการฉีด จากนั้นจึงทำการเลือกระดับปัจจัย ซึ่งค่าระดับของปัจจัยอ้างอิงมาจากช่วงค่ามาตรฐานที่มาจากคำแนะนำของวัสดุประเภท API-CG328 (PPGF-30) ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลม โดยค่าระดับของปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิของพลาสติกเหลวมีค่าต่ำสุด 230 องศาเซลเซียส ค่าสูงสุด 290 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของแม่พิมพ์มีค่าต่ำสุด 35 องศาเซลเซียส ค่าสูงสุด 65 องศาเซลเซียส ความเร็วฉีดมีค่าต่ำสุด 44 มิลลิเมตรต่อวินาที ค่าสูงสุด 66 มิลลิเมตรต่อวินาที และ แรงดันในการฉีดมีค่าต่ำสุด 100 บาร์และค่าสูงสุด 120 บาร์ ดังตารางที่ 2

การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบแบบสองระดับ 4 ปัจจัย 2^4 โดยทำการทดลองโดยกำหนดระดับต่ำ (-1) และ ระดับสูง (+1) ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 32 การทดลอง ซึ่งทำการกำหนดจำนวนชิ้นงานที่ทำการฉีดขึ้นรูปพลาสติกต่อครั้ง คือ 2,500 ชิ้น (1 กะการทำงาน) เพื่อทำการเก็บจำนวนของเสียที่เกิดรอยแหว่งในแต่ละการทดลอง ได้จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง ซึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ค่าระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

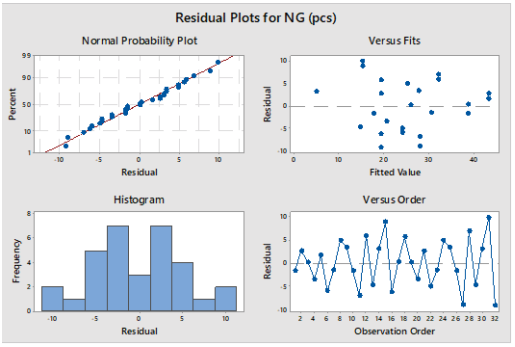
ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		หน่วย	สัญลักษณ์
	สูง (+1)	ต่ำ (-1)		
อุณหภูมิของพลาสติกเหลว	230	290	องศาเซลเซียส	A
อุณหภูมิแม่พิมพ์	35	65	องศาเซลเซียส	B
ความเร็วฉีด	44	66	มิลลิเมตรต่อวินาที	C
แรงดันฉีด	100	120	บาร์	D

3. ผลการทดลอง

ตารางที่ 3 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลอง

อุณหภูมิของพลาสติกเหลว A	อุณหภูมิแม่พิมพ์ B	ความเร็วฉีด C			
		44		66	
		แรงดันฉีด D			
		100	120	100	120
230	35	37	22	26	17
		39	25	26	17
	65	45	18	29	30
		46	19	29	30
290	35	31	16	21	38
		31	16	19	39
	65	10	8	24	13
		10	8	25	10

การพิจารณาตรวจสอบความถูกต้องเพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องและค่าผิดพลาดของข้อมูล ค่าคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง สามารถประมาณได้ว่ามีการแจกแจงแบบปกติ การตรวจสอบความเป็นอิสระพบว่ามีความกระจายตัวโดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน คือมีความเป็นอิสระต่อกัน การตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนของฮิสโตแกรม มีลักษณะเป็นระฆังคว่ำสมมาตร ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ และสุดท้ายข้อมูลมีการกระจายตัวแบบอิสระต่อกัน ดังรูปที่ 4 จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความถูกต้องเหมาะสม สามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไปได้



รูปที่ 4 การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาอิทธิพลและความสัมพันธ์ของค่าปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อของเสียที่เกิดขึ้น โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (α = 0.05) พบว่าปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัย A อุณหภูมิของพลาสติกเหลว ปัจจัย B อุณหภูมิแม่พิมพ์ ปัจจัย C ความเร็วฉีด และปัจจัย D แรงดันฉีด ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลมมีผลกระทบต่อของเสียที่เกิดขึ้น เนื่องจากค่า P-Value ของทั้ง 4 ปัจจัยมีค่า 0.000 น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ(α = 0.05) ดังรูปที่ 6

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	1	578.00	578.000	616.53	0.000
B	1	136.13	136.125	145.20	0.000
C	1	4.50	4.500	4.80	0.044
D	1	465.12	465.125	496.13	0.000
A*B	1	612.50	612.500	653.33	0.000
A*C	1	351.13	351.125	374.53	0.000
A*D	1	180.50	180.500	192.53	0.000
B*C	1	50.00	50.000	53.33	0.000
B*D	1	55.12	55.125	58.80	0.000
C*D	1	392.00	392.000	418.13	0.000
A*B*C	1	6.12	6.125	6.53	0.021
A*B*D	1	32.00	32.000	34.13	0.000
A*C*D	1	15.13	15.125	16.13	0.001
B*C*D	1	60.50	60.500	64.53	0.000
A*B*C*D	1	561.13	561.125	598.53	0.000
Error	16	15.00	0.937		
Total	31	3514.87			

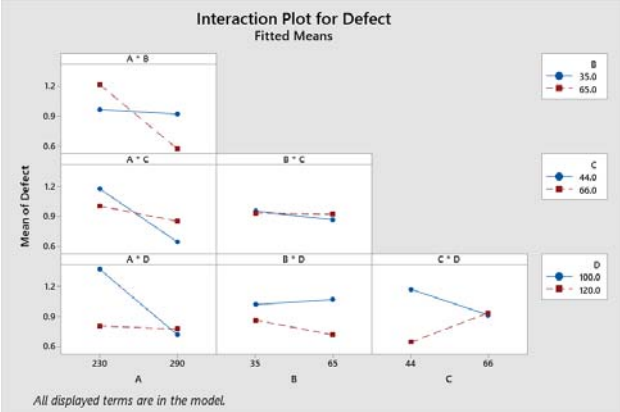
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.968246	99.57%	99.17%	98.29%

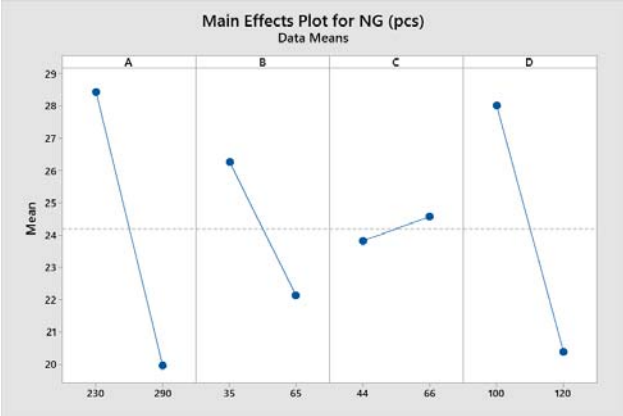
รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

จากผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R-sq = 99.57% หมายถึงการทดลองและค่าสมการที่ได้สามารถคำนวนได้ใกล้เคียงกันมาก ปัจจัยที่นำมาศึกษาสามารถอธิบายค่าตอบสนองได้ 99.57% ซึ่งหมายถึงการทดลองได้รับการออกแบบที่ดี

การวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของปัจจัย จากค่า P-Value ของผลกระทบร่วม 4 ปัจจัย เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ (α = 0.05) ดังนั้นปัจจัยร่วมทั้ง 4 ปัจจัยมีผลต่อจำนวนของเสีย



รูปที่ 7 ผลกระทบร่วมของปัจจัย



รูปที่ 8 ผลกระทบหลักของปัจจัย

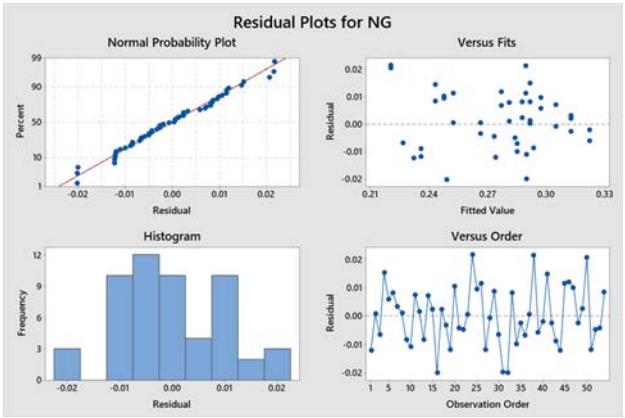
จากรูปที่ 8 การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลักพบว่าปัจจัย A อุณหภูมิของพลาสติกเหลว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 230 องศาเซลเซียสมาที่ 290 องศาเซลเซียส จำนวนของเสียลดลง ปัจจัย B อุณหภูมิแม่พิมพ์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 35 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นเป็น 65 องศาเซลเซียส จำนวนของเสียลดลง ส่วนปัจจัย C ความเร็วฉีด เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 44 มิลลิเมตรต่อวินาทีเป็น 66 มิลลิเมตรต่อวินาที จำนวนของเสียเพิ่มขึ้น และปัจจัย D ความดันฉีด เมื่อความดันฉีดเพิ่มขึ้นจาก 100 บาร์ เพิ่มขึ้นเป็น 120 บาร์ พบว่าจำนวนของเสียลดลง

ผลการคัดกรองปัจจัยจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 2^4 สำหรับคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับของเสีย คือ อุณหภูมิของพลาสติกเหลว อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ความเร็วฉีด และแรงดันฉีด จึงได้นำไปทำการศึกษาเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน โดยทำการเพิ่มระดับค่ากลางของปัจจัยต่างๆ ดังตารางที่ 4 ซึ่งการทดลองนี้ได้ทำการศึกษา 4 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ และทำการทดลอง 2 ซ้ำ รวมการทดลองทั้งหมด 54 การทดลอง

ตารางที่ 4 ระดับการทดลองของการออกแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย			หน่วย	สัญลักษณ์
	สูง (+1)	กลาง (0)	ต่ำ (-1)		
อุณหภูมิของพลาสติกเหลว	230	260	290	องศาเซลเซียส	A
อุณหภูมิแม่พิมพ์	35	50	65	องศาเซลเซียส	B
ความเร็วฉีด	44	55	66	มิลลิเมตรต่อวินาที	C
แรงดันฉีด	100	110	120	บาร์	D

การตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ดังรูปที่ 9 เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องและค่าผิดพลาดของข้อมูล พบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมีการกระจายตัวแบบปกติ การตรวจสอบความเป็นอิสระพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่มไม่มีรูปแบบ การตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนของฮิสโตแกรม มีลักษณะเป็นระฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ และสุดท้ายข้อมูลมีการกระจายตัวแบบอิสระต่อกันทั้งด้านบนและด้านล่าง



รูปที่ 9 การตรวจสอบข้อมูลของการออกแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	14	148.042	10.5744	36.52	0.000
Linear	4	44.583	11.1458	38.50	0.000
A	1	3.375	3.3750	11.66	0.002
B	1	1.042	1.0417	3.60	0.065
C	1	2.667	2.6667	9.21	0.004
D	1	37.500	37.5000	129.52	0.000
Square	4	17.833	4.4583	15.40	0.000
A*A	1	10.667	10.6667	36.84	0.000
B*B	1	1.500	1.5000	5.18	0.028
C*C	1	1.042	1.0417	3.60	0.065
D*D	1	3.375	3.3750	11.66	0.002
2-Way Interaction	6	85.625	14.2708	49.29	0.000
A*B	1	0.125	0.1250	0.43	0.515
A*C	1	36.125	36.1250	124.77	0.000
A*D	1	28.125	28.1250	97.14	0.000
B*C	1	3.125	3.1250	10.79	0.002
B*D	1	10.125	10.1250	34.97	0.000
C*D	1	8.000	8.0000	27.63	0.000
Error	39	11.292	0.2895		
Lack-of-Fit	10	1.958	0.1958	0.61	0.794
Pure Error	29	9.333	0.3218		
Total	53	159.333			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.538080	92.91%	90.37%	86.86%

รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์การออกแบบบ๊อกซ์-เบห์นเคน

การวิเคราะห์ความถดถอยการทดลองของการออกแบบบ๊อกซ์-เบห์น เคน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square) เท่ากับ 92.91% ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 100% แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าตอบสนองของการทดลองมีความเหมาะสม และค่าการทดสอบจำลองถดถอย Lack of Fit มีค่า 0.794 มากกว่าระดับนัยสำคัญ(α = 0.05) แสดงว่าแบบจำลองถดถอยที่ได้เหมาะสมกับข้อมูล

การเลือกค่าที่เหมาะสมที่มีผลต่อจำนวนของเสียประเภทชิ้นงานเกิดรอยแหว่งน้อยที่สุด พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของทั้ง 4 ปัจจัยมีดังนี้ อุณหภูมิของพลาสติกเหลวมีค่าอยู่ที่ 290 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของแม่พิมพ์มีค่าอยู่ที่ 65 องศาเซลเซียส ความเร็วฉีดมีค่าอยู่ที่ 44 มิลลิเมตรต่อวินาที และแรงดันฉีด มีค่าอยู่ที่ 120 บาร์ แสดงดังรูปที่ 11 และรูปที่ 12

Response Optimization: NG

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
NG	Minimum	6	42		1	1

Solution

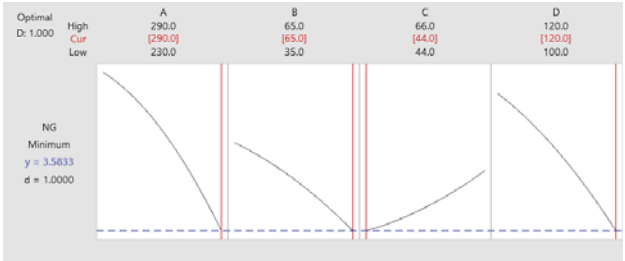
Solution	A	B	C	D	NG Fit	Composite Desirability
1	290	65	44	120	3.58333	1

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
A	290
B	65
C	44
D	120

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
NG	3.583	0.581	(2.408, 4.759)	(1.981, 5.185)

รูปที่ 11 ค่าเหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ที่มีผลของเสีย



รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์ค่าตอบสนองที่เหมาะสม

จากนั้นทำการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการยืนยันผลการทดลองว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จะส่งผลให้ของเสียประเภทรอยแหว่งในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลมลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล ทำการทดลองทั้งหมด 15 ครั้ง ใช้ชิ้นงานในการทดสอบจำนวน 5,250 ชิ้น ทำการเก็บข้อมูลจำนวนชิ้นงานที่เกิดรอยแหว่ง จากการเก็บบันทึกข้อมูลพบว่าจำนวนชิ้นงานที่เกิดรอยแหว่งมีจำนวน 11 ชิ้น ดังนั้นจึงทำการตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบว่าสัดส่วนของเสียประเภทรอยแหว่งที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่า 0.79% ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนของเสียก่อนทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ โดยมีสมมติฐาน ดังนี้

H_0: สัดส่วนของเสียประเภทรอยแหว่งในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลมมากกว่าหรือเท่ากับ 0.79%

H_1: สัดส่วนของเสียประเภทรอยแหว่งในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลมน้อยกว่า 0.79%

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบความแตกต่างหนึ่งกลุ่มพบว่าค่า P-Value มีค่า 0.000 น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงต้องปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 สามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนของเสียประเภทรอยแหว่งในชุดควบคุมกระแสลมมีค่าน้อยกว่า 0.79% หมายความว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ สามารถลดจำนวนของ

เสียประเภทรอยแหว่งในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลมได้อย่างมีนัยสำคัญ

Descriptive Statistics

N	Event	Sample p	95% Upper Bound for p
5250	11	0.002095	0.003466

Test

Null hypothesis	H_0: p = 0.0079
Alternative hypothesis	H_1: p < 0.0079

P-Value
0.000

รูปที่ 13 ผลการวิเคราะห์การยืนยันผล

3. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะลดของเสียที่เกิดรอยแหว่งในผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลม โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา และใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อของเสียที่เกิดขึ้น และประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด โดยผลจากการทดลองได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมส่งผลให้ของเสียประเภทรอยแหว่งมีจำนวนน้อยลงในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญคือ อุณหภูมิของพลาสติกเหลว 290 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์ 65 องศาเซลเซียส ความเร็วฉีด 44 มิลลิเมตรต่อวินาที และแรงดันฉีด 120 บาร์ เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้วจึงได้นำผลการทดลองมาทดสอบใช้จริงเป็นระยะเวลา 1 เดือน และนำข้อมูลจำนวนของเสียที่ได้ก่อนทำการปรับปรุงมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้หลังการปรับปรุง พบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดรอยแหว่งก่อนทำการปรับปรุงอยู่ที่ 0.79% จากของเสียทั้งหมด 1.54% ซึ่งเกินจากค่ามาตรฐานของเสียทั้งหมดที่บริษัทกำหนดไว้ที่ 1% หลังจากทำการปรับปรุงแล้ว ผลที่ได้พบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดรอยแหว่งลดลงจาก 0.79% เหลือ 0.22% โดยที่ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดของเสียประเภทรอยแหว่งนี้ไม่ได้ทำให้เกิดของเสียชนิดอื่นๆเพิ่มมากขึ้น และค่าสัดส่วนของเสียทั้งหมดลดลงจาก 1.54% เหลือ 0.97% บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 1%

ตารางที่ 5 ค่าเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นก่อน-หลังปรับปรุง

ผลิตภัณฑ์ชุดควบคุมกระแสลม	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
จำนวนผลิต (ชิ้น)	400,988	42,500
จำนวนของเสียที่เกิดรอยแหว่ง	3,161	95
สัดส่วนของเสียที่เกิดรอยแหว่ง	0.79%	0.22%
%การปรับปรุง	0.56%	

เอกสารอ้างอิง

[1] อภิญญา ขนุนทอง, แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566: อุตสาหกรรมพลาสติ, ข้อมูลจาก https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Petrochemicals/Plastics/IO (วันที่สืบค้น 24 มกราคม 2565)

[2] ศุภชัย นาทะพันธ์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองขั้นพื้นฐาน, โรงพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น บมจ, 2559.

[3] D. Mathivanan, M. Nouby2 and R. Vidhya. 2010. “Minimization of sink mark defects in injection molding process – Taguchi approach” International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol. 2 (2): 13-22

[4] จรีภรณ์ แก้วโสนด และ รณินทร์ กิจกล้า. 2559. “การลดของเสียในกระบวนการฉีดชิ้นส่วนพลาสติก.” วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2: 84-92.

[5] ปฐมพงษ์ หอมศรี และ จักรพรรณ คงธนะ. 2556. “การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง.” วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2: 73-93

A Designing of a Mathematical Model for Container Network

Krittitee Yanpisitkul
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: krittitee.y@gmail.com

Abstract

This paper proposes a mathematical model to capture the container network's flow using international trade volume. The proposed model could be regarded as a network flow problem with the liner ship fleet deployment (LSFD). A problem was formulated as a mixed-integer linear programming model (MILP) minimizing the costs of the network while satisfying trade volume constraints, based on both transshipment and multi-commodity flow. Nevertheless, this study focuses only Asian Economies in the Indo-Pacific area to reduce the complexity of the resulting network. We tested the model with a sample instance derived from the 2012 network; the result shows that the model could be used to represent the container network and also gives some prospects of the actual container network, however, the model seems to neglect the distribution of container flow in each country that needs further refinement. Finally, the model requires accurate input data to represent the container network accurately.

Keywords: Container network, Liner ship fleet deployment, Mixed-Integer linear programming model, Multi-commodity flow, Transshipment network flow

1. Introduction

Maritime transportation is crucial to the world's economy. It is the backbone of the global trade and supply chain, with greater than 80% of worldwide trade volume, accounting for more than 70% of the total value using this mode of transport in 2018 [1]. Furthermore, the growth of world maritime trade has been growing with an average of 5 % annually since 2000, corresponding with the world GDP growth and 3 % annual growth of the world merchandise trade volume (see Fig. 1) [2].

Maritime transportation can be classified into five categories: dry bulk, liquid bulk, breakbulk, neo bulk, and containers [3]. Although bulk cargoes, including dry bulk and liquid bulk, dominates maritime trade volume by 70 % of total tonnage, containerized cargo, accounting for 17 % of total seaborne trade volume [4], has the largest value share, with 60 % of total seaborne trade value in 2018 [5].

Containerization was introduced in the 1950s. It took only a few decades to revolutionize maritime transportation with ease of operations, standard sizes, time, and cost efficiencies. It has been widely adopted in major ports and ship operators, known as liners, across the globe. As a result, containers have become a common way to transport manufactured cargo [6]. Since then, the world's container traffic rapidly expanded at an annual rate of 8.0 % between 1980-2018 [1]. Moreover, containers could also be used in intermodal transportation; that is, cargo could be used in different modes of transportation in its journey. This advantage also accelerates the growth of container trade. As the container traffic expands, the complexity is also increasing, but by the nature of container movement, it can be analyzed by applying the concept of network models [7].

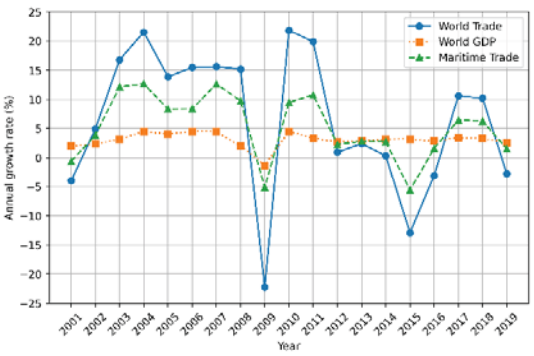


Fig. 1 Annually growth of World Trade, World GDP, and Maritime Trade

Since international trade has a significant effect on the growth of the economy and container network also plays a critical role in global trade. It is reasonable to assume that developments to promote containers will positively affect economies. However, in order to enact any development, the feasibility study, including practicality and cost-benefit analysis, must be assessed. This paper thus aims to develop a model to capture the container network's flow in a certain condition that could be applied as an analytical framework to assess the feasibility of any development.

2. Literature Review

Several studies presented the outlook of container network model formulation, known as liner shipping network problems or liner ship fleet deployment problems (LSFD). Tran and Haasis [8] reviewed over 120 pieces of literature regarding network optimization in container liner shipping. They classified those papers into three key categories: container routing, fleet management, and network design. Among these, container routing, which is considered a tactical level network optimal decision, has the exact definition of LSFD: find the optimal plan for container movement in given routes and fleet to satisfy demand under capacity constraints. They also reported that most network optimizations tried to obtain minimum total cost or maximum profit with the objective of the minimum total cost being more favorable.

Generally, The LSFD problems were formulated as a mixed-integer programming model. Wang and Meng [9] proposed mixed-integer linear programming to investigate the LSFD problem with container transshipment operation. They initially formulated their model as a mixed-integer non-linear programming model and transformed the model into a mixed-integer linear programming model. The proposed model was applied to the Asia-Europe-Oceania shipping network, and they showed that the model could be solved efficiently using CPLEX. Plum et al. [10] presented the formulation of a model for the LSFD. They emphasized the route's ports call by introducing numbered arcs between a port and a service node. The mixed-integer programming model was formulated to maximize the profit of the generated network. They applied the model on Baltic and West Africa instances, the results show that their model could design liner shipping networks for a liner shipping service provider to operate efficiently and investigate possible scenarios of changed market conditions.

Although many papers presented the model for LSFD problems, they only treat container flow at the port-to-port level. Most of them did not consider the trade volume between countries in their model. Hence, this paper tries to combine trade volume with the LSFD problem to create a model representing container network flow.

3. Problem statement

This section shows how the model is formulated in order to model capture the realistic container network. A mixed-integer linear programming (MILP) model is introduced and described in this section.

3.1 Model Formulation

This paper formulated the liner shipping network model as an optimization model based on the assumption that carriers tend to operate to satisfy demands with the minimum cost possible. We develop a model improving from [9] and [10] by taking trade volume between countries into account. Then, the model is developed based on two network flow variants, that is the transshipment flow model for containers handled in ports and the multi-commodity flow for handling containers originating from each country.

However, given that there are many liners shipping operating and competing with others, it is required significant effort to model competition between liners. Thence, we simplify our model with the assumption of carriers' full cooperation that all routes are centrally planned, and all vessels will be distributed according to the cost-benefit of the network. Moreover, the model is designed to focus on a specified area of interest, in this study, we will focus only on the Asian Economies in the Indo-Pacific area, comprising South Asia, Southeast Asia, and East Asia, as shown in Figure 2. Since this area is considered the busiest area in the global container network and has a lot of room for development [1].



Fig. 2 Asian Economies in the Indo-Pacific area

The model will denote each country as an economic node obtaining the container traffic between countries like real-world trade volume, with containers flowing out to the destination node as an export flow, likewise receiving flow from other nodes as import flow. Furthermore, since this study focuses on capturing the container network in the Indo-Pacific area, the economies outside the Indo-Pacific area will be merged as one node per maritime waterway with relaxed constraints applied and related costs precluded from consideration.

Ports play a critical role in the container network as they are where the flow of containers is distributed; therefore, most of the development to the container network takes place there. The ports in the model will consist of important ports of each country in the interested area and nodes as for ports outside the interested area, one per maritime waterway with the same measure on constraints and costs.

Typically, liners operate by providing weekly services over routes of ports. This model considers routes as a cyclic rotation of vessels between selected ports. Each route has a different set of port calls and rotation times. Links between port calls are referred to as a leg. For example, Fig. 3 illustrates three routes. Route R1 has four legs/port calls in round-trip, including port A, port D, port E, and port C. Meanwhile, route R2 also has 4 legs (A, B, C, and B), and route R3 has two legs (B and E) respectively. The weekly frequency is attained by deploying vessels to berth at the same port week apart. Thus, the number of vessels deployed in each route equals the rotation time of that route in weeks.

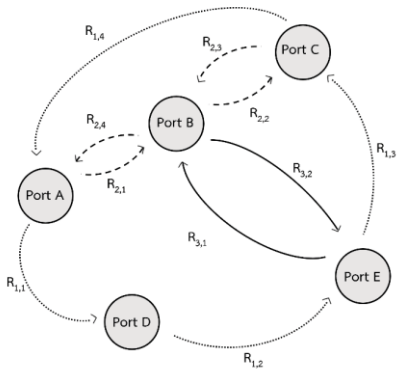


Fig. 3 An Illustration of container routes

As for routes to be operated, vessels must be deployed from the container ship fleet. Due to the various sizes of vessels, to reduce the complexity of the model, vessels are classified by their size, which shares similar characteristics. Each class will be using the median property of vessels in class, such as capacity, length, depth, and costs.

To reflect the port's capacity, this model focuses on berth allocation to a vessel called at each port, assuming all vessels have one day berthing time at every port. Since container ships

vary in size, some ports may have limitations to accommodate large vessels. To capture this limitation, berths are also classified based on the classes of ships' size. Consequently, each port will have a different distribution of berth classes based on its infrastructure. Besides, the model will allow smaller vessels to be boarded at a larger berth to depict berth utilization in the real world better.

The demand is considered as an origin-destination pair. The flow of containers in this model will be transferred between economic nodes through ports and carried by routes. Typically, the container volume is often measured in TEU or FEU, which stands for "twenty-foot equivalent unit" and "forty-foot equivalent unit," respectively. For this study, the measure of TEU will be used throughout the model.

The movement of containers in this model is illustrated in Fig. 4. Each economic node serves as both source and sink to export and import flow of containers. Ports serve as distribution points to load/unload containers to route that called on them. Routes carried containers between legs until they are unloaded. Moreover, containers could be transshipped at the port to switch to another route.

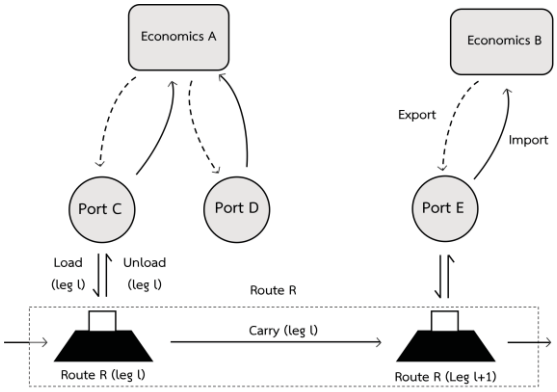


Fig. 4 An example of container network flow in the model

The total cost of the network comprises of four costs. First, the vessel deployment, considered as a fixed rate for each vessel class over the timeframe. Secondly, the berth occupancy cost which depends on the size of the vessel deployed in route and port calls in each route. Thirdly, the container handling cost, which depends on the flow of container load/unload at each port. Finally, the transshipment cost, determined by the amount of container transshipped at each port.

Since routes are operated on a weekly frequency, the model's planning horizon will also be weekly.

Additional assumptions are made as follows: the empty container is not considered; neglecting the domestic trade inside economic node; ports have no limits to accommodate transshipment; no transshipment at the port which container is originated.

3.2 Mathematical Model

3.2.1 Indices

The following sets are used in the formulation.

R : Set of Route operated in the model

L_r: Set of number of Leg in route r

P : Set of all ports in the model

E : Set of all economic nodes in the model

C : Set of the economic nodes in the interested area

V : Set of vessel types

3.2.2 Parameters

$Vcost_v$: Cost for operating the vessel over timeframe ($)

$Vquan_v$: Total number of vessels type v available (vessel)

$Vcap_v$: Container capacity of a vessel type v (TEU)

$Vlen_v$: Berth length of a vessel type v (m)

$Pberth_{p,v}$: Berth length of port p that can accommodate vessel type v and its smaller type (m)

$Pcap_p$: Capacity of container that port p can handle (TEU)

$Pthc_p$: Handling cost per load or unload per TEU at port p ($)

$Ptran_p$: Transshipment cost per TEU at port p ($)

$Pdue_{p,v}$: Berthing cost for vessel type v at port p ($)

$Plink_{p,c}$: Set of Connection between port p and country c

$Rleg_r$: Number of legs in route r

$Rcall_{r,l}$: Binary value if port p is called in leg l of route r

$Recon_{r,l}$: Binary value if port p is called in leg l of route r

Rwk_r : Number of weeks for route r to circle around

$Dem_{f,t}$: Container demand from economy f to economy t

3.2.3 Decision Variables

$w_{r,v}$ Number of vessels type v deploy at route r

$e_{p,f}$ Number of Containers export from economy f at port p

$m_{f,p,t}$ Number of Container originated from economy o import to economy f at port p

$x_{r,l,f}$ Number of Container originated from economy f load to vessel at the l leg on route r

$y_{r,l,f}$ Number of Container originated from economy f unload from vessel at the l leg on route r

$z_{r,l,f}$ Number of Container originated from economy f carried on the vessel before berth at the l leg on route r

3.2.4 Objective Function

$$\text{Minimize} \sum_{v}^{V}\sum_{r}^{R}(\text{Vcost}_{v}\text{w}_{r,v}) \quad (1a)$$

$$+\sum_{p}^{P}\sum_{v}^{V}\sum_{r}^{R}\sum_{l}^{L_r}\left(Rcall_{r,l,p}Pdue_{p,v}w_{r,v}\right) \quad (1b)$$

$$+\sum_{p}^{P}Pthc_{p}\sum_{r}^{R}\sum_{l}^{L_r}\sum_{f}^{E}(x_{r,l,f}+y_{r,l,f}) \quad (1c)$$

$$+\sum_{p}^{P}Ptran_{p}\left(\sum_{r}^{R}\sum_{l}^{L_r}\sum_{f}^{E}(x_{r,l,f}+y_{r,l,f})-\sum_{f}^{E}e_{p,f}-\sum_{f}^{E}m_{p,f}\right) \quad (1d)$$

The objective function (1) seeks to construct a container network with a minimum total cost, satisfying demands for all interested economies pairs. The cost consists of 4 terms. The first term (1a) represents the vessel deployment cost (including fixed and operating costs over time). The second (1b) term captures berth occupancy costs of ports in selected routes. The term (1c) depicts every port's total container handling cost. Lastly, the term (1d) computes the total transshipment cost.

3.2.5 Constraints

$$\sum_{r}^{R}Rwk_{v}w_{r,v} \le Vquan_{v} \quad \forall v \in V, \quad (2)$$

$$z_{r,l,f}+x_{r,l,f}-y_{r,l,f}-z_{r,l+1,f}=0 \quad \forall r \in R, \forall l \in L_r, \forall f \in E \quad (3)$$

$$z_{r,1,f}-z_{r,Rleg_r+1,f}=0 \quad \forall r \in R, \forall r \in R, l = Rleg_r, \forall f \in E \quad (4)$$

$$\sum_{v}^{V}Vcap_{v}w_{r,v} \le \sum_{f}^{E}z_{r,l,f} \quad \forall r \in R, \forall l \in L_r \quad (5)$$

$$\sum_{r}^{R}\sum_{l}^{L_r}(x_{r,l,f}-y_{r,l,f})-e_{p,f}+m_{p,f}=0 \quad \forall p \in P, \forall f \in E \quad (6)$$

$$y_{r,l,f}=0 \quad \forall r \in R, \forall l \in L_r, f = Recon_{r,l} \quad (7)$$

$$\sum_{r}^{R}\sum_{l}^{L}w_{r,v'}Rcall_{r,l,p}Vlen_{v'} \le \sum_{v=v'}^{V}7Pberth_{p,v} \quad \forall v' \in V, \forall p \in P \quad (8)$$

$$\sum_{p}^{P}Plink_{p,t}e_{p,f}=Demand_{f,t} \quad \forall f \in C, \forall t \in E, f \ne t \quad (9)$$

$$\sum_{p}^{P}Plink_{p,t}e_{p,f} \le Demand_{f,t} \quad \forall f \in E-C, \forall t \in E, f \ne t \quad (10)$$

$$\sum_{p}^{P}Plink_{p,t}m_{p,f}=Demand_{t,f} \quad \forall f \in E, \forall t \in C, f \ne t \quad (11)$$

$$\sum_{p}^{P}Plink_{p,t}m_{p,f} \le Demand_{t,f} \quad \forall f \in E, \forall t \in E-C, f \ne t \quad (12)$$

$$w_{r,v} \ge 0 \quad (13)$$

$$e_{p,f}, m_{p,f} \ge 0 \quad (14)$$

$$x_{r,l,f}, y_{r,l,f}, z_{r,l,f} \ge 0 \quad (15)$$

Constraint (2) ensures that the number of vessels deployed in the model is not exceed available vessels for all types. Constraint (3) balances the flow of containers at each leg on each route for every container originated from each economy. Constraint (4) imposes the circulation loop of each route. Constraint (5) is the capacity constraints on each leg of each ship route. Constraint (6) balances the flow of containers at each port. Constraint *(7)* enforces that containers originating at any economic is unloaded at any port in the same economy. Constraint (8) ensures that berth occupancy of each port over a week is less than berthing capacity while the smaller vessel can broad on a berth for a larger size vessel. Constraint (9) dictates the flow of export containers from economic nodes inside the interested area to all ports in that economy. Conversely, constraint (10) relaxes the flow of export containers from economic node outside the interested area. The same applies to constraint (11) that dictates the flow of import containers originated from other economies from all ports to economic node inside the interested area, and constraints (12) relaxes for nodes outside. Finally, constraints (13) – (15) impose nonnegativity and integrality restrictions on the corresponding decision variables.

4. Experimental verification

4.1 Data

The input data for the model was obtained from real-world data. Firstly, the demand for each origin-destination pair (between countries) is derived annually from trade value between countries by category of product [11], average value per container box, containerization of each group of products [3], and the number of container handling of each country [5]. As for port data, this study collected port information from the Sailing Directions publication [12], which provided information of ports, including berth length, depth, maximum vessel size, and purpose of berths. However, port data is not updated on an annual basis since the publication updated the edition every three years. The vessel and routes data are retrieved from open access data of liners, port schedules, and maritime data providers.

The challenging part of this study is to cope with the complications of costs that genuinely reflect the relative cost structure within the network. The author used a dataset from the Benchmark Suite LINER-LIB 2012 [13]. This dataset does not contain all relevant data for the model; some data had to be approximated. Despite this dataset based on data from 2010, the costs instance remains unchanged to avoid the distortion of cost structure from inaccurate estimation.

This study used a sample instance derived from the 2012 network to verify the formulated model, basic information of this instance is shown in Table 1.

Table 1 Details of 2012 network instance

Indices	No. of indices
Types of vessels	4
Economic node	24
Economic node in interested area	17
External node	7
Ports	62
Routes	430

4.2 Computational results

The model has been solved for the instance derived from 2012 network using CPLEX-20.1 with Python interface DOcplex. The environment of the solver is an AMD Ryzen 5 3600 6-Core 12-Thread Processor 3.59 GHz with 64 GB of RAM. Though it is worth mentioning as MILP is difficult to solve, the best-bound solution is acceptable since the solution could give insight into states of the optimal network. Therefore, the solving time is set to 10 hours. The results yield a 0.022 % MIP gap.

As there are many aspects in the result, we only present the results in the views of flow of containers in a sample route, flow of containers of ports in a sample economic node and the throughput of top 10 busiest ports. The results are shown in Table 2, Table 3, Table 4 as follows.

Table 2 Flow of containers in a sample route (in Thousand TEU, weekly)

Leg	Port Call	Economy	Load	Unload	Carry (before berthing)
0	Laem Chabang	Thailand	3.780	4.90	4.90
1	Jakarta	Indonesia	14	3.78	3.78
2	Port Klang	Malaysia	-	9.10	14.0
3	Laem Chabang	Thailand	3.78	4.90	4.90
Total capacity of vessels deployed in this route					14.0

Table 3 Flow of containers in Thailand's ports (in Thousand TEU, annually).

Port	Import	Export	Load	Unload	Throughput
Laem Chabang	3,421.6	4,324.3	4,334.2	3,431.0	7,765.2
Bangkok	6.24	9.36	9.36	6.24	15.6
Total	**3,427.8**	**4,333.7**	**4,343.6**	**3,437.2**	**7,780.8**
Trade Volume	**3,427.8**	**4,333.7**	-	-	-

Note. Transshipment volume includes in load, unload, and Throughput

Table 4 The throughput of top 10 busiest ports (in Million TEU, annually).

Port	Annual Throughput		Actual Rank	Annual Transshipment
	Model	Actual		
Shanghai	112.90	32.53	1	0
Ningbo	40.12	16.83	4	0
Singapore	32.19	31.65	2	0.006
Kaoshiung	28.83	9.78	11	9.283
Hong Kong	23.05	23.12	3	0.076
Port Klang	20.08	10	10	3.161
Busan	18.61	17.04	6	0
Yokohama-Tokyo	17.90	7.85	15	0
Jakarta	10.66	5.53	19	0
Laem Chabang	7.77	5.93	18	0.01

Note. The rank of the busiest port based on ports in the Indo-Pacific area

Table 2 shows the number of containers loaded, unloaded, and carried on a route called Laem Chabang – Jakarta – Port Klang – Laem Chabang. This route is transferring containers from Laem Chabang to Jakarta in the 1st leg and from Jakarta to both Port Klang and Laem Chabang in the 2nd and the 3rd leg. The total capacity of vessels deployed in this route is 14,000 TEU which corresponds with the number of containers carried in each route's leg.

From Table 3, we can see the distribution of import/ export and the number of containers loaded/ unloaded in each port in Thailand from the model. Most of the trade volume is channeled through the port of Laem Chabang. Noting that the number of load/unload containers at Laem Chabang is unequal to the number of trade flow due to the transshipment occurring at the port.

Table 4 provides a comparison of the top 10 busiest ports' throughput with actual throughput and the actual rank of the busiest port [14]. The table also shows the transshipment volume from the model at those ports.

The results from Table 3 and Table 4 verify that the formulated model can represent the container network's flow in a given instance. Despite some errors from input data.

From Table 4. The result of the model shows that some ports having throughput diverge extremely from the actual throughput. The container flow from each economy tends to concentrate on a few ports, which causes the deviation of port throughput. However, neglecting the effect of flow concentration on major ports, the order of busiest container ports from the model is close to the actual one.

It is logical to presume that the model neglects the effect of port congestion, graphical location, and shipper choice. As a result, the container flow is not distributed correctly from the economic node to the port.

It is worth noting that Kaoshiung and Port Klang have significant throughput more than the actual one because the cost structure encourages the transshipment to take place in these ports. This result may cause by the input data, which has the limitation to representing the network's original structure.

5. Conclusion

This paper proposed a mixed- integer linear programming model to capture the flow container network. The result from the 2012 instance gives some prospects for the actual container network. We verified that the formulated model is valid and could be used as a framework for analyzing the container network's flow from a given trade volume, although accurate input data is required to represent the container network accurately. Nonetheless, the model neglected the aspect distribution of container flow in each country that needs further refinement.

References

[1] UNCTAD (2019). Review of Maritime Transport 2019, Available at: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf (Accessed: 20 July 2021).

[2] WTO (2019). World Trade Statistical Review 2019, Available at: https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2019_e/wts2019_e.pdf (Accessed: 24 July 2021).

[3] Rodrigue, J.-P. (2020). The Geography of Transport Systems (5th ed.), Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429346323.

[4] Clarksons Research (2020). Seaborne Trade Monitor: Volume 7, No. 7, Clarkson Research Services Limited, London: Routledge.

[5] Placek, M. (2021). Container Shipping - Statistics & Facts, Statista GmbH, Hamburg, Available at: https://www.statista.com/topics/1367/container -shipping/. (Accessed: 24 July 2021)

[6] Notteboom, T. and Rodrigue, J. P. (2008). Containerisation, box logistics and global supply chains: The integration of ports and liner shipping networks, Maritime Economics and Logistics, 10(1–2), pp. 152–174. doi: 10.1057/palgrave.mel.9100196.

[7] Bartholdi, J., Jarumaneeroj, P. & Ramudhin, A. (2016). A new connectivity index for container ports, Maritime Economics & Logistics, 18, pp. 231–249 https://doi.org/10.1057/mel.2016.5.

[8] Tran, N. K. and Haasis, H. D. (2015). Literature survey of network optimization in container liner shipping, Flexible Services and Manufacturing Journal. Springer US, 27(2–3), pp. 139–179. doi: 10.1007/s10696-013-9179-2.

[9] Wang, S. and Meng, Q. (2012). Liner ship fleet deployment with container transshipment operations, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Elsevier Ltd, 48(2), pp. 470–484. doi: 10.1016/j.tre.2011.10.011.

[10] Plum, C. E. M., Pisinger, D. and Sigurd, M. M. (2014). A service flow model for the liner shipping network design problem, European Journal of Operational Research, 235(2), pp. 378–386. doi: 10.1016/j.ejor.2013.10.057.

[11] The World Bank (2021). Trade statistics by Country / Region, Available at: https://wits.worldbank.org/countrystats.aspx (Accessed: 4 October 2021).

[12] NATIONAL GEOSPATIAL- INTELLIGENCE AGENCY (2021). SAILING DIRECTIONS ENROUTE, Available at: https://msi.nga.mil/Publications/ SDEnroute (Accessed: 12 September 2021).

[13] Brouer, B. D., Alvarez, J. F., Plum, C. E., Pisinger, D. and Sigurd, M. M. (2013). A Base Integer Programming Model and Benchmark Suite for Liner- Shipping Network Design, Transportation Science. 48, pp. 1–32. doi: 10.1287/trsc.2013.0471.

[14] LLOYD'S LIST INTELLIGENCE (2017). The Lloyd's List of the World's Busiest Container Ports 2012, Available at: https://web.archive.org/web/20150328071452/http://europe.nxtbook.com/ nxteu/ informa/ ci_top100ports2012/ (Accessed: 12 February 2022).

การพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วยcovid-19 บนระบบออนไลน์ และค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้โรงพยาบาลในอำเภอเมืองอุบลราชธานี

Developing a system to search for covid-19 patients on an online system and search for beds assigned to hospitals in Muang Ubon Ratchathani

สุรเจษฐ์ ก้อนจันทร์[1], ถนัดกิจ ศรีโชค[1], ปัจจรี ศรีโชค [2*],กัญญาณัฐ หารชนะ[1], อดินันทร์ มาหามะ[3]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
[2]สาขาวิชาภาษาไทย คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย
[3]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ จังหวัดนราธิวาส
E-mail: Patcharee.sri@lru.ac.th *

Surajet khonjun[1] Thanatkij Srichok[1] Patcharee Srichok[2*], kanyanat Harnchana[1] Adinan Mahamat [3]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University Ubon Ratchathani
lecturer of Program in Thai Faculty of Education Loei Rajabhat University
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
E-mail: Patcharee.sri@lru.ac.th *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบฐานข้อมูลและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเข้าถึงผู้ป่วย COVID-19 สำหรับศูนย์รับแจ้งเหตุและสั่งการโดยระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมและค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้กับโรงพยาบาลสามารถแสดงตำแหน่งของบ้านผู้ป่วยโควิดบนแผนที่ออนไลน์ ซึ่งจะช่วยในการค้นหาตำแหน่งของบ้านผู้ป่วยเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดและการค้นหาเตียงที่ว่าง ระบบถูกพัฒนาขึ้นในลักษณะของเว็บแอปพลิเคชันโดย โปรแกรม thunkable X ในแอปพลิเคชันค้นหาเส้นทาง คือ การเลือกที่อยู่ของผู้ป่วย โดยทำการเลือกจังหวัด เลือกอำเภอ เลือกตำบล เลือกหมู่บ้านและเลือกบ้านเลขที่ตามลำดับเพื่อค้นหาตำแหน่งบ้านผู้ป่วย จากการทดสอบและตรวจสอบ ผลทดสอบพบว่าตำแหน่งของบ้านผู้ป่วยปรากฏบนแผนที่จริงและสามารถหาเตียงที่ว่างให้กับผู้ป่วยได้จริง และผลการประเมินคุณภาพโดยรวมของการพัฒนาแอปพลิเคชันอยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.24

คาสาคัญ: ระบบฐานข้อมูล, ระบบติดตามพิกัดผู้ป่วย, แอปพลิเคชัน

Abstract

This research has designed a database and developed a decision support system for accessing COVID-19 patients. For emergency call centers and commanded by the system to find the appropriate route and find the patient's bed assigned to the hospital, the location of the covid patient's home can be displayed on an online map. This will help locate the patient's home, find the best route and find available beds. The system was developed as a web application by the software Thinkable X in the route search application to select the patient's address. By selecting a province, choosing a district, choosing a sub-district, selecting a village, and selecting a house number in order to find the patient's home location. The results showed that the location of the patient's house was shown on the actual map and the bed was actually available for the patient the overall quality assessment of application development was at a moderate level, with an average value of 3.24.

Keywords: Database, Patient tracking system, Application

1. บทนำ

เทคโนโลยีสารสนเทศในโลกปัจจุบันมีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น ในปัจจุบันมีช่องทางประโยชน์โดยเฉพาะแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ด้วยเทคนิคทางด้านการพัฒนาซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาแอปพลิเคชันในรูปแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน[2-3] โดยเป็นอีกช่องทางอีกทั้งยังสะดวกทำให้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสูงขึ้นตามไปด้วย บางครั้งก็ได้นำเทคโนโลยีและความทันสมัยของระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มาใช้ในการส่งเสริมจนทำให้เทคโนโลยีมีบทบาทกับวิถีชีวิตและสังคมมนุษย์ รวมไปถึงการใช้เป็นข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ ยกตัวอย่างเช่น แผนที่ออนไลน์ (Google Map ,Google Earth ,Google Street View ฯลฯ)ระบบอินเทอร์เน็ตหรือจะเป็นโปรแกรม thinkable x ซึ่งในปัจจุบันได้นำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้นจะเห็นได้จากการทำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้กับทางการแพทย์ หรือการทำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้กับการค้นหาเส้นทาง มอบหมายเตียงให้กับผู้ป่วย เป็นต้น

ในปัจจุบันได้เกิดเหตุการณ์การแพร่ระบาด covid-19 ซึ่งมีการแพร่กระจายทั่วโลกและรวดเร็วอยู่ในหลายประเทศซึ่งประเทศไทยในปัจจุบัน การเกิดเหตุการณ์หรือการเจ็บป่วย covid-19 มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นจนกลายเป็นปัญหาอย่างหนึ่งของสังคม โดยสาเหตุเกิดการแจ้งตำแหน่งของผู้ป่วย covid-19 ไม่มีความรวดเร็วและชัดเจนและอีกสาเหตุหนึ่งคือเกิดจากการไม่มีเตียงที่เพียงพอในการรองรับผู้ป่วยที่เจ็บป่วยจาก covid 19 ส่งผลทำให้ผู้ป่วย covid-19 ได้รับการรักษาที่ล่าช้าเป็นเหตุให้อาการที่เป็นหนักขึ้น การศึกษาครั้งนี้จึงได้พัฒนาระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วย covid-19 บนระบบออนไลน์ขึ้น ซึ่งสามารถค้นหาตำแหน่งบ้านผู้ป่วยที่ลงทะเบียนไว้กับโรงพยาบาลในอำเภอเมืองอุบลราชธานี ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมนำผู้ป่วยไปส่งยังโรงพยาบาลและค้นหาเตียงผู้ป่วยเพื่อมอบหมายให้กับโรงพยาบาล ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมในการนำรถฉุกเฉินไปรับผู้ป่วยและนำผู้ป่วยไปส่งยังโรงพยาบาล[1] โดยการพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางและมอบหมายเตียงนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม thunkable X ในการพัฒนาระบบ

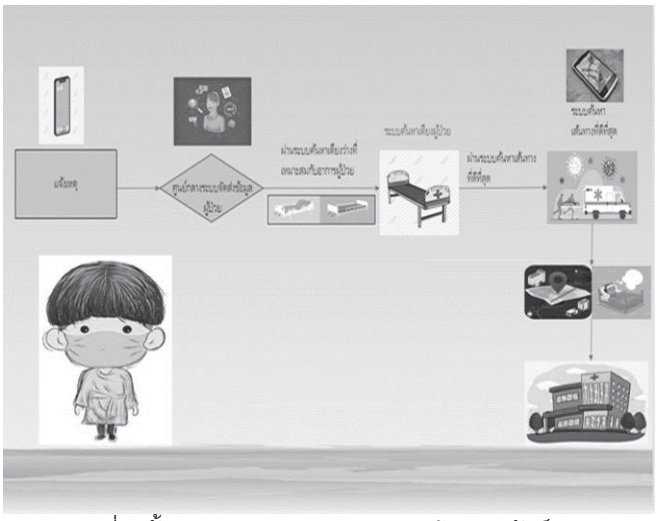
2. วิธีการ

2.1 วิธีการดำเนินงาน

ในการศึกษางานวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วย covid-19 บนระบบออนไลน์และมอบหมายเตียงผู้ป่วยให้กับโรงพยาบาลในการเข้าถึงผู้ป่วย covid-19 ในเขตอำเภอเมืองอุบลราชธานี โดยมีวิธีการดำเนินการ คือ ได้ศึกษาข้อมูลผู้ป่วยที่ลงทะเบียนกับโรงพยาบาล ในจังหวัดอุบลราชธานี โดยเริ่มจากสมมติตัวอย่างผู้ป่วย ได้แก่ ชื่อ-สกุล ที่อยู่ เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ลงในโปรแกรมที่พัฒนาจะได้ฐานข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลตำแหน่งบ้านผู้ป่วย ข้อมูลการมอบหมายเตียงบนระบบออนไลน์ จากนั้นเขียนชุดคำสั่งลงในโปรแกรม thunkable x และนำส่วนที่ระบบแสดงตำแหน่งไปเชื่อมต่อ กับ Google Maps API [2] เพื่อที่จะแสดงตำแหน่งของบ้านผู้ป่วย และตำแหน่งอื่นๆ ที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล ซึ่งจะทำการคำนวณผลลัพธ์ในทุกๆ ตำแหน่ง เมื่อผู้ใช้ระบบค้นหาตำแหน่งตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ระบบจะทำการประมวลผลและแสดงข้อมูลผลลัพธ์ โดยใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System: DSS) [3-4] กำหนดประเด็นสำคัญอย่างน้อย 3 ด้าน คือ ด้านที่ 1 การตัดสินใจในระบบสนับสนุนการตัดสินใจเป็นปัญหาแบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-structure) ด้านที่ 2 ระดับการตัดสินใจปัญหาแบบกึ่งโครงสร้างการตัดสินใจระดับโครงสร้าง (Structured Decision) ด้านที่ 3 กระบวนการตัดสินใจการตัดสินใจในระดับไม่มีโครงสร้าง(Unstructured Decision) โดยขั้นตอนที่มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยรายละเอียด ดังนี้

ขั้นตอนที่1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลผู้ป่วยที่ได้จากการสมมติขึ้นมาเป็นกลุ่มของประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ขั้นตอนที่ 2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย ตำแหน่งของบ้านผู้ป่วย คือ การเลือกตัวอย่างตำแหน่งที่ผู้ป่วยที่สมมติขึ้นมา ตำแหน่งของโรงพยาบาล คือ ตำแหน่งของโรงพยาบาลต่างๆ ในอำเภอเมืองอุบลราชธานี เช่น โรงพยาบาลของรัฐบาล และ โรงพยาบาลของเอกชน เป็นต้น และ ตำแหน่งของเตียงผู้ป่วย คือ ค้นหาเตียงผู้ป่วยที่ว่างเพื่อมอบหมายให้กับโรงพยาบาลในการรับผู้ป่วย covid-19 เข้ารับการรักษา แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการประมวลผลและแสดงข้อมูลผลลัพธ์

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการทำการศึกษาครั้งนี้จะได้มาจาก 3 ประเภท ด้วยกัน คือ

2.21.การศึกษาข้อมูลเป็นการสมมติข้อมูลของผู้ป่วย เพื่อนำไปใช้ในการค้นหาพิกัดตำแหน่งบ้านของผู้ป่วย ซึ่งทำการสมมติตัวอย่างผู้ป่วยในเขตอำเภอ เมืองอุบลราชธานีมาจำนวน 24 คน ตำบลละ 2 คน

2.2.2.การศึกษาข้อมูลเป็นการสมมติข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลของโรงพยาบาล เพื่อค้นหาเตียงที่ว่างให้กับผู้ป่วย

2.2.3 การใช้เครื่องมือ GPS ในการค้นหาตำแหน่งโรงพยาบาล จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทำให้ทราบว่าในอำเภอเมืองอุบลราชธานีจะมีโรงพยาบาลที่สามารถให้การรักษาผู้ป่วย covid-19 จำนวน 5 แห่ง

จึงได้ทำการจำแนกประเภทของโรงพยาบาลไว้ 2 ประเภท คือ โรงพยาบาลรัฐบาล จำนวน 2 แห่ง โรงพยาบาลเอกชน จำนวน 3 แห่ง

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.3.1 แอปพลิเคชันการพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วยcovid-19 บน ระบบออนไลน์และค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้โรงพยาบาลในเขตอำเภอเมือง อุบลราชธานี

2.3.2 แบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันการพัฒนาระบบค้นหาเส้นทาง [5] ที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วยcovid-19 บน ระบบออนไลน์และค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้โรงพยาบาลในเขตอำเภอเมือง อุบลราชธานี

2.3.3 แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อแอปพลิเคชันการพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วยcovid-19 บน ระบบออนไลน์และค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้โรงพยาบาลในเขตอำเภอเมือง อุบลราชธานี ประกอบด้วย 2 ตอน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ตอนที่ 1 แบบสำรวจข้อมูลทั่วไป ตอนที่ 2 แบบสอบถามด้านความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันการพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วย covid-19 บน ระบบออนไลน์และค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้โรงพยาบาลในเขตอำเภอเมือง อุบลราชธานี

3. ผลการวิจัย

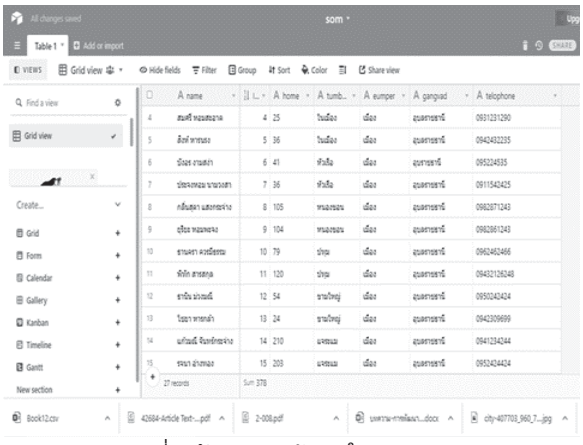
การศึกษาเรื่องการพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วย covid-19 บน ระบบออนไลน์และค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้โรงพยาบาลในเขตอำเภอเมือง อุบลราชธานี ซึ่งเป็นการพัฒนาระบบที่ช่วยในการค้นหาและเข้าถึงตำแหน่งของผู้ป่วยฉุกเฉินบนระบบออนไลน์ และหาเตียงให้ผู้ป่วยส่งให้โรงพยาบาล โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการสมมติข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างการศึกษาในงานวิจัยในครั้งนี้ สามารถแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

3.1 การเตรียมข้อมูล

เริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าพิกัดตำแหน่งของโรงพยาบาลจะแบ่งประเภทของโรงพยาบาลรัฐ กับโรงพยาบาลเอกชนส่วนข้อมูลบ้านผู้ป่วยนั้นได้จากการสมมติตัวอย่างบ้านเลขที่ผู้ป่วย เบอร์โทร ชื่อ-นามสกุล อำเภอ จังหวัด

3.2 การจัดการข้อมูล

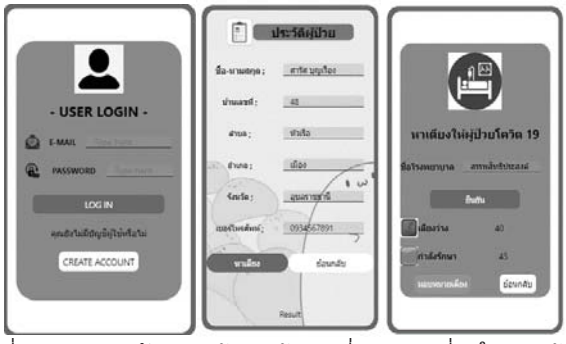
การจัดการข้อมูลเป็นการนำข้อมูลทั้งหมด ได้แก่ ข้อมูลบ้านผู้ป่วยเข้าระบบจัดการฐานข้อมูล [7] ใน air table ซึ่งสามารถจัดการข้อมูลแก้ไขหรือปรับแก้ข้อมูล และหาเตียงผู้ป่วยเพื่อมอบหมายให้กับโรงพยาบาลในจังหวัดอุบลราชธานีแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 จัดการฐานข้อมูล ใน air table

3.3 การพัฒนาระบบ

ชุดคำสั่งที่ใช้เขียนเพื่อทดสอบระบบ จะใช้โปรแกรม Thunkable x สำหรับการสร้างและพัฒนาโปรแกรมบนแอปพลิเคชัน เพื่อให้สามารถตอบสนองผู้ใช้งานได้ โดยการเขียนโปรแกรมบนแอปพลิเคชัน เป็นการแสดงผลของโปรแกรมซึ่งจะปรากฏบนโทรศัพท์มือถือในระบบปฏิบัติการ ios, android [6] ผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและยังเป็นส่วนที่ใช้ในการคำนวณประมวลผลเก็บค่า และทำตามเงื่อนไข หาเตียงที่ว่างให้กับผู้ป่วยต่างๆ ดังรูปที่ 3 การพัฒนาระบบและการออกแบบหน้าแอปพลิเคชัน



รูปที่ 3 แอปพลิเคชันระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วยcovid-19 บน ระบบออนไลน์และค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้โรงพยาบาล

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองโดยนำแอปพลิเคชันรันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน คือ นักศึกษาสาขาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จำนวน 30 คน และทำการแบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันการพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วยcovid-19 บน ระบบออนไลน์และค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้โรงพยาบาลในเขตอำเภอเมืองอุบลราชธานี ที่ได้มาวิเคราะห์ระดับความเหมาะสมโดยใช้วิธีการ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เทียบกับเกณฑ์ประเมิน โดยผู้วิจัยได้กำหนดกรอบที่จะประเมินโดยประกอบด้วย 4 ด้าน ดังนี้

- ด้านผลิตภัณฑ์
- ด้านกระบวนการการบริการ
- ด้านทัศนคติและการรับรู้
- ด้านพฤติกรรมและการติดตาม

โดยแบบสอบถามดังกล่าวมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า [8] (Rating Scale) ซึ่ง ประกอบด้วยข้อความที่เกี่ยวข้องความคิดเห็นเกี่ยวกับระบบประเมินประสิทธิภาพ แอปพลิเคชันการพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วย covid-19 บน ระบบออนไลน์และค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้โรงพยาบาลในเขตอำเภอเมือง อุบลราชธานีในการตรวจให้คะแนนจาก การวัดได้กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนตามเกณฑ์ต่อไปนี้

5 หมายถึง ระดับมากที่สุด
4 หมายถึง ระดับมาก
3 หมายถึง ระดับปานกลาง
2 หมายถึง ระดับน้อย
1 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

ผลการประเมินแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน

แบบสอบถาม	$\bar{x}$	S.D.
1.ด้านผลิตภัณฑ์		
การใช้งานง่ายไม่ซับซ้อนและแม่นยำ	3.03	1.36
การวางตำแหน่งข้อมูลต่างๆบนหน้าจอได้อย่างเหมาะสม	3.5	1.57
มีระบบแสดงข้อมูลอย่างระเอียด	3.36	1.50
แอพพลิเคชันมีความทันสมัย	3.3	1.48
มีความเสถียรในการเข้าใช้งานไม่เกิดความล่าช้า	3.4	1.52
รวม	3.32	1.49
2.ด้านกระบวนการบริการ		
ท่านสามารถดาวโหลดแอพพลิเคชันผ่านระบบ Android,ระบบ IOS	2.83	1.27
ท่านสามารถดูรายชื่อผู้ป่วยที่อัพเดตแบบเรียลไทม์	3.4	1.52
ท่านสามารถค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วย Covid-19	3.46	1.55
ท่านสามารถค้นหาจำนวนเตียงที่ว่างสำหรับการรักษาผู้ป่วย Covid-19ในโรงพยาบาลที่ใกล้บ้าน	3.13	1.40
รวม	3.21	1.44
3.ด้านทัศนคติและการรับรู้		
สามารถใช้งานได้จริงและมีประโยชน์ต่อสังคม	3.23	1.44
สามารถอำนวยความสะดวกในการเดินทาง	3.33	1.49
ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือและเข้าถึงได้	3.1	1.39
มีความรวดเร็วและทันต่อเวลา	3.16	1.41
รวม	3.21	1.43
4.ด้านพฤติกรรมและการติดตาม		
ช่วยให้รู้ทันข้อมูลข่าวสารและสถานการณ์ Covid-19 ที่เกิดขึ้น	3.2	1.43
รวม	3.2	1.43
ค่าเฉลี่ยรวม	3.24	1.45

จากตาราง สรุปได้ว่าผลการประเมินคุณภาพโดยรวมของการพัฒนาแอปพลิเคชันการพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเข้าถึงผู้ป่วยcovid-19 บน ระบบออนไลน์และค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้โรงพยาบาลในเขตอำเภอเมือง อุบลราชธานี ผลการประเมินโดยแบบสอบถามที่เป็นมาตราส่วนประมาณค่า(Rating scale) จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน พบว่า มีความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 3.24 จากคะแนนเต็ม 5) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 1.45 โดยพิจารณาเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อยคือด้านผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.32 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.49 ด้านกระบวนการบริการอยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.21 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.44ด้านทัศนคติและการรับรู้อยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย เท่ากับ3.21 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 1.43 ด้านพฤติกรรมและการติดตามอยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.2 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.43

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบฐานข้อมูลและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเข้าถึงผู้ป่วยCOVID-19สำหรับศูนย์รับแจ้งเหตุและสั่งการโดยระบบค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมและค้นหาเตียงผู้ป่วยมอบหมายให้กับโรงพยาบาลสามารถแสดงตำแหน่งของบ้านผู้ป่วยโควิดบนแผนที่ออนไลน์ ซึ่งจะช่วยในการค้นหาตำแหน่งของบ้านผู้ป่วยเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดและการค้นหาเตียงที่ว่าง

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเข้าถึงผู้ป่วยนี้มีการพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Thunkable x ให้ทำงานร่วมกับฐานข้อมูล air table และ firebase ที่ทำงานร่วมกับ Google Maps API ซึ่งการทำงานของระบบนี้ผู้ดูแลระบบสามารถเข้าใช้งานได้ และเมื่อเริ่มเข้าใช้งานของระบบแล้วผู้ใช้งานจะพบเงื่อนไขที่ใช้ในการจะมีสำหรับบุคคลทั่วไปและเจ้าหน้าที่ซึ่งสำหรับบุคคลทั่วไปจะให้บันทึกข้อมูลของผู้ป่วยลงในแอปพลิเคชันค้นหาเส้นทาง คือ การเลือกที่อยู่ของผู้ป่วย โดยทำการเลือกจังหวัด เลือกอำเภอ เลือกตำบล เลือกหมู่บ้านและเลือกบ้านเลขที่ตามลำดับเพื่อค้นหาตำแหน่งบ้านผู้ป่วย เมื่อใส่ข้อมูลครบตรงตามเงื่อนไขของระบบแล้ว ผู้ใช้ทำการเลือกคำว่า “ตกลง” ระบบจะทำการประมวลผลข้อมูลจากการค้นหาและแสดงผลลัพธ์บนหน้าแอปพลิเคชันส่วนสำหรับเจ้าหน้าที่เท่านั้นจะคือแสดงข้อมูลของผู้ป่วย และแสดงข้อมูลหาเตียงแบบเรียลไทม์ที่ว่างมอบหมายให้กับโรงพยาบาล โรงพยาบาลพยาบาลไปยังตำแหน่งของบ้านผู้ป่วยโดยผู้ใช้สามารถดูรายละเอียดข้อมูลต่างๆของบ้านผู้ป่วย จากการทดสอบและตรวจสอบ ผลลัพธ์ที่แสดงผล

ออกมา ปรากฏการค้นหาตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้ระบบได้กำหนด คือ เมื่อผู้ใช้เลือกที่อยู่ของผู้ป่วยตามที่ต้องการ ผลลัพธ์ที่ได้ คือตำแหน่งของบ้านผู้ป่วยเราสามารถเปลี่ยนหรือแก้ไขสถานที่ได้ในแอปพลิเคชันหน้านั้นเลยเมื่อทำการทดสอบพบว่าตำแหน่งปรากฏบนแผนที่จริงและสามารถหาเตียงที่ว่างให้กับผู้ป่วยได้จริง

เอกสารอ้างอิง

[1] ปรานอม สงวนพันธ์. 2019. “กระบวนการรับ-ส่งต่อผู้ป่วยระหว่างโรงพยาบาล.” วารสารหัวหินสุขใจไกลกังวล, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1: e0051-e0051.

[2] mitngam, atiwit. 2020. Web Application Development Services for Locating Garage On Maps Online Case Study: The Municipality Of Khao Roop Chang Songkhla. Journal Of Humanities and Social Sciences Songkhla Rajabhat University, 2(2), 86–104.

[3] อนันต์ ปินะเต. 2559. การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสมัครในสาขาวิชาโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 35(4), 411-421.

[4] Chan, S. H., Song, Q., Sarker, S., & Plumlee, R. D. 2017. Decision support system (DSS) use and decision performance: DSS motivation and its antecedents. Information & Management, 54(7), 934-947.

[5] สกลวรรณ เชื้อภักดี, พงษ์พิพัฒน์ สายทอง.2018. “การพัฒนาระบบค้นหาเส้นทางภายในอาคารด้วยเทคโนโลยีสื่อสารแบบใกล้เขตข้อมูลสำหรับสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์”. Journal of Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University, 5(1), 40-49.

[6] ธันยธรณ์ สุวรรณหงษ์, อมฤตาฤทธิ ภักดี, พัชรพงษ์ ตรีวิริยานุภาพ. 2019. โปรแกรมประยุกต์บนมือถือสำหรับวางแผนดูแลสุขภาพของผู้สูงอายุ. NKRAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, 15, 79-87.

[7] Raowong, S., Soodtibut, C., Sriwiang, P., Aiemsum-ang, P., Krisanapun, C., Meerith, S., & Rukthong, P. 2021. “Development of Mobile Application for Medicinal Information and Home-visiting Program in Sub-district Health-promoting Hospitals, Ongkharak Hospital Network.” Nakhonnayok. Thai Pharmaceutical and Health Science Journal-วารสาร ไทย เภสัชศาสตร์ และ วิทยาการ สุขภาพ, 15(4), 276-281.

[8] บุญชม ศรีสะอาด และมานิต สิทธิพร. 2540. “การวิจัยเกี่ยวกับมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale).”วารสารการวัดผลการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.ปีที่3 :1-8.

การวางแผนการจัดเส้นทางสำหรับการกระจายสินค้าของรถบรรทุกขนาดกลางด้วยโปรแกรมเชิงเส้น

Travel Route Planning for Medium-sized Truck Distributions through Linear Programming

ณัฐวิภา เดชไชยปราการ[1*] จุฑามาศ ชุมลักษณ์[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: Ch.tnatthawiphapd@gmail.com*

Natthawipha Detchaiprakarn[1*] Juthamas Choomlucksana[1]
[1]Department of Materials Handling and Logistics Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut' University of Technology North Bangkok (KMUTNB)
E-mail: Ch.tnatthawiphapd@gmail.com*

บทคัดย่อ

ประเทศไทยถือเป็นศูนย์กลางด้านโลจิสติกส์ในเอเชียตะวันเฉียงใต้ ปัจจุบันประเทศไทยมีการขนส่งสินค้าทางถนนคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 81% ของปริมาณการขนส่งทั้งหมด โดยสินค้าอุปโภคบริโภคและสินค้าเบ็ดเตล็ด คิดเป็นสัดส่วน 6.5%ของการขนส่งสินค้าทางถนน วิสาหกิจชุมชนถือเป็นเศรษฐกิจฐานรากที่สำคัญของประเทศ มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องและต้องอาศัยการขนส่งเพื่อการกระจายสินค้าของตนเองสู่ผู้บริโภคภายใต้ต้นทุนและทรัพยากรที่มีอย่างจำกัด งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อวางแผนการจัดเส้นทางสำหรับการกระจายสินค้าของรถบรรทุกขนาดกลาง 2 ประเภท (รถกะบะขนาดบรรทุก 4 ล้อ และ 4 ล้อ แบบตู้ทึบ) ของวิสาหกิจขนาดกลาง กรณีศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัด สระบุรี โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อจัดเส้นทางการขนส่งที่มีต้นทุนต่ำที่สุดและสามารถนำโปรแกรมที่ได้ไปใช้ในการบริหารจัดการเส้นทางการขนส่งให้กับวิสาหกิจกรณีศึกษา โดยคำนึงถึงปริมาณสินค้าและขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ที่ต้องขนส่งใน 1 สัปดาห์ ต่อรถขนส่ง 1 คัน ก่อนการวิจัยกรณีศึกษาใช้ประสบการณ์ของพนักงานในการดำเนินการจัดส่งสินค้า ผลจากการศึกษาพบว่า การประยุกต์จากระยะทางทั้งหมดใช้โปรแกรมเชิงเส้นสามารถช่วยลดต้นทุน จากระยะทางทั้งหมด 115 เที่ยว ต่อ 5 เดือน เท่ากับ 132,250 กิโลเมตร เป็น 64,170 กิโลเมตร

คาสาคัญ: การขนส่ง,รถบรรทุก,การจัดเส้นทาง,ระยะทาง

Abstract

Thailand is considered as a logistics hub in Southeast Asia. At present, the road transport is mainly preferred accounts for 81% of total transportation in Thailand. Consumer and miscellaneous goods account for 6.5% of road freight. Community enterprises are considered to be the country's cornerstone economy. It is constantly expanding and requires transportation for the distribution of its own products to consumers under limited costs and resources. This research was conducted for arranging the distribution route of 2 types of medium-sized trucks (4-wheel pickup truck and 4-wheel solid-box truck) in case study Saraburi community Enterprise. Purpose to provide the lowest cost transportation route and the program can be used to manage transportation routes for case study enterprises. Take into account the quantity of products and package sizes that must be transported in 1 week per 1 transport vehicle. Before research, case studies use the experience of employees to carry out shipping. The results showed that the cost saving reduced as the number of total transportation distance decreased from 132,250 kilometers to 64,170 kilometers.

Keywords: Transportation, Truck, Routing, Distance

1. บทนำ

ปัจจุบันรัฐบาลไทยให้ความสำคัญกับระบบขนส่งมากขึ้น เนื่องจากต้องการยกระดับและพัฒนาระบบขนส่งในประเทศไทยให้กลายเป็นศูนย์กลางด้านระบบขนส่งในประชาคมอาเซียนหรือที่เรียกว่า Logistics Hub และเร่งพัฒนาโครงสร้างการขนส่งให้สามารถเชื่อมต่อกันได้หลากหลายรูปแบบ เพื่ออำนวยความสะดวกในการขนส่ง และสามารถเพิ่มอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจมากขึ้น ข้อมูล ณ วันที่ 31 มีนาคม 2562 (แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมปี 2562-2564: ธุรกิจบริการขนส่งสินค้าทางถนน ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด มหาชน) ประเทศไทยมีธุรกิจให้บริการโลจิสติกส์ จำนวนทั้งสิ้น 24,852 ราย แบ่งเป็น การขนส่งทางบกและระบบท่อลำเลียง 17,788 ราย ตัวแทนออกของ 3,571 ราย การบริหารจัดการเกี่ยวกับสินค้า 1,116 คลังสินค้า 776 ราย การขนส่งทางน้ำ 655 ราย การขนถ่ายสินค้า 640 ราย การขนส่งทางอากาศ 186 ราย ตัวแทนผู้รับจัดการขนส่งสินค้าและอื่นๆ 120 ราย

ในปัจจุบันผู้ประกอบการ ให้ความสำคัญต่อการบริการลูกค้ามากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการตอบสนองในเรื่องของเวลา ผู้ประกอบการทั้งรายเล็กและรายใหญ่จึงมีความสนใจที่จะทำการวางแผนการขนส่งอย่างเป็นระบบเพื่อช่วยในการกระจายสินค้า โดยพยายามและลดจำนวนรอบในการวิ่งสินค้าเพื่อมุ่งลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการประยุกต์โปรแกรมเชิงเส้นและใช้ Microsoft Excel Solve ในการจัดเส้นทางการเดินรถและกระจายสินค้าวิสาหกิจกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์สินค้าโอทอปของจังหวัดสระบุรีและใกล้จังหวัดอื่น ๆ 6 จังหวัดใกล้เคียง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โปรแกรมเชิงเส้นถือเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการหาทางเลือกที่ดีที่สุด นิยมนำมาใช้แก้ปัญหาทางธุรกิจและอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้ฟังก์ชั่นเส้นตรง เป็นตัวแทนในการแสดงวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของปัญหาเหล่านั้น โดยมีจุดหมายเพื่อแก้ปัญหาและช่วยในการตัดสินใจให้เกิดผลการดำเนินงานที่ดีที่สุด เช่นกำไรสูงสุด ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด หรือแนวทางการดำเนินงานอื่นๆ ที่ให้ผลประโยชน์มากที่สุดโดยทำการพิจารณาเงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่เกิดขึ้น เช่น สภาวะตลาด การขาดแคลนวัตถุดิบ กำลังคน เงินทุนและสถานที่เป็นต้น เช่น การประยุกต์ใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับการแก้ปัญหาทางด้านการขนส่งสินค้า โดยทำการพิจารณาจากตัวแปรต่างๆ เช่น น้ำหนักและขนาดของสินค้า ราคาสำหรับการขนส่งสินค้า โดยมีข้อจำกัดต่างๆ เช่น ปริมาณและขนาดของรถที่มีอยู่ น้ำหนักของสินค้าที่สามารถบรรทุกต่อเที่ยว ปริมาณความต้องการของตลาดและเวลาที่ในการขนส่งสินค้า มีลักษณะสำคัญดังนี้

- มีสมการกำหนดเป้าหมาย (สูงสุด,ต่ำสุด) เช่น หากำไรสูงสุดหรือต้นทุนต่ำที่สุด
- มีสมการหรืออสมการแสดงข้อจำกัดของทรัพยากร เช่น ข้อจำกัดของวัตถุดิบที่ใช้ผลิต
- มีความสัมพันธ์ของตัวแปร ลักษณะเชิงเส้นตรง
- ตัวแปรทุกตัวต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

โปรแกรมเชิงเส้นประกอบไปด้วย 2 ส่วน ดังนี้

2.1 สมการกำหนดเป้าหมาย (Objective function) คือสมการแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนและกำไร เพื่อกำหนดเป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุด

2.2 สมการแสดงขอบข่าย (Constraints) คือสมการแสดงข้อจำกัดต่างๆของปัจจัยหรือทรัพยากรในรูปสมการหรืออสมการ โดยที่สมการต่างๆ ทั้งหมดเป็นสมการเชิงเส้น เมื่อเทียบกับตัวแปร

Microsoft Excel เป็นโปรแกรมที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ คำนวณ และการจัดการข้อมูลในรูปแบบตาราง โดยปกติใน Microsoft Excel จะมี Add-in ที่ชื่อว่า “Solver” เพื่อช่วยในการหาคำตอบของตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นแต่มีข้อจำกัดคือ สามารถหาคำตอบของปัญหาที่มีตัวแปรตัดสินใจไม่เกิน 200 ตัวแปรเท่านั้น

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1] ทำการปรับปรุงเส้นทางการเดินรถขนส่งครีมบำรุง กรณีศึกษาบริษัท ABC (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อลดระยะทางการขนส่งสินค้าให้สั้นที่สุดและลดต้นทุนค่าขนส่งสินค้า จากการศึกษาพบว่าการขนส่งสินค้าในรูปแบบเดิมจะมีระยะทางรวม 542 กิโลเมตรส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมเท่ากับ 3,978 บาท ผลจากการจัดเส้นทางด้วยโปรแกรม Microsoft Excel Solver สามารถลดระยะทางการขนส่งลงได้ 61.4 กิโลเมตรหรือคิดเป็นร้อยละ 11.33 และช่วยบริษัทลดต้นทุนรวมได้ 280.5 บาทหรือคิดเป็นร้อยละ 7.05

[2] ทำการศึกษาการจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มกรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด รัศมี 2015 โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel Solver โดยมีเส้นทางการเดินรถ 3 เส้นทาง จากการศึกษาพบว่าการจัดเส้นทางโดยแบ่งเส้นทางการขนส่งออกเป็น 2 เส้นทางมีความเหมาะสมที่สุด ผลการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นช่วยลดระยะทางรวมลงเท่ากับ 72.6 กิโลเมตร และรถขนส่งยังสามารถบรรทุกและขนส่งน้ำดื่มได้เพียงพอในแต่ละเที่ยวที่ทำการขนส่ง

[3] ทำการวิเคราะห์ต้นทุนการขนส่งหมอนยางพาราของกลุ่มผู้ผลิตวิสาหกิจชุมชนภาคใต้ที่มีการกระจายสินค้าไปยังร้านจำหน่ายหมอนยางพาราในจังหวัดภูเก็ต เพื่อหาเส้นทางในการขนส่งที่เหมาะสมและวางแผนเส้นทางการขนส่งให้ได้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำที่สุด การใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ จากการศึกษา ผลการวิจัยพบว่าต้นทุนการขนส่งหมอนยางพาราด้วยรถกระบะบรรทุก 4 ล้อเท่ากับ 150,659.76 บาท ซึ่งต่ำกว่าต้นทุนการขนส่งด้วยไปรษณีย์ด่วนพิเศษที่มีต้นทุน 817,400 บาท (81.57%) และต้นทุนจากการขนส่งด้วยไปรษณีย์ลงทะเบียนเท่ากับ 335,000 บาท (22.55%)

[4] ทำการศึกษาการประยุกต์หาค่าที่เหมาะสมสำหรับการจัดการงานดินในโครงการก่อสร้าง เพื่อคำนณหาจำนวนเครื่องจักรและวัสดุในการก่อสร้างงานดินด้วยวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยการใช้โปรแกรม

สมการเชิงเส้นตรง ผลการศึกษาพบว่า โครงการฯสามารถเพิ่มจำนวนเครื่องจักรและคนงานจากเดิมที่ใช้รถแบ็คโฮ 2 คัน และคนงาน 9 คน เป็น 12 คน ภายใต้ค่าใช้จ่ายที่ไม่เพิ่มขึ้น ผลจากการการเพิ่มคนงานช่วยให้โครงการฯเสร็จก่อนระยะเวลาที่กำหนดได้

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่ได้นำเสนอมาข้างต้น พบว่า โปรแกรมเชิงเส้นเป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการวางแผนการดำเนินการและการจัดเส้นทางการขนส่งเพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นร่วมกับ Add-in Microsoft Excel Solver สำหรับการวางแผนการจัดเส้นทางเพื่อการกระจายสินค้าของรถบรรทุกขนาดกลาง 2 ขนาด สำหรับการกระจายสินค้าจากวิสาหกิจไปยัง 6 จังหวัดใกล้เคียง โดยมีวัตถุประสงค์ในการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งให้มีต้นทุนต่ำที่สุด โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1. ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งของวิสาหกิจก่อนปรับปรุง

2. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3. วางแผนการจัดเส้นทางการเดินรถบรรทุกขนาดกลาง 2 ขนาด ภายใต้เงื่อนไขประเภทสินค้าและจำนวนเส้นทางที่ต้องทำการจัดส่งในแต่ละสัปดาห์

3.1 ข้อมูลพื้นฐานของวิสาหกิจกรณีศึกษา

คณะผู้วิจัยทำการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลของวิสาหกิจกรณีศึกษาจังหวัดสระบุรี วิสาหกิจกรณีศึกษาดำเนินโดยกลุ่มแม่บ้าน ทำการผลิตสินค้าที่ศูนย์รวมผลิตภัณฑ์โอทอปของสมาชิกเครือข่ายโอทอป เพื่อกระจายสินค้าไปยังแหล่งจำหน่ายต่างๆโดยเฉพาะห้างสรรพสินค้า และศูนย์กลางการจำหน่ายสินค้าโอทอป ของจังหวัดสระบุรีและจังหวัดอื่นๆ ในภาคต่างๆอีก 6 ภาค จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าวิสาหกิจมีรถขนส่งสินค้าจำนวน 1 คัน มีเงื่อนไขในการขนส่งคือทำการขนส่งสินค้าภายในวันและเวลาที่ลูกค้ากำหนด โดยลูกค้าเป็นผู้กำหนดวันจัดส่งสินค้าเอง เที่ยวการขนส่งสินค้า เที่ยวหนึ่งจะสามารถขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าเพียงรายเดียว และแต่ละเที่ยวจะทำการขนส่งแบบไม่เต็มคันรถ ก่อนปรับปรุงพบว่ารถขนส่ง 1 คัน ต้องทำการขนส่งสินค้าหลายรอบ ด้วยเหตุผลดังกล่าววิสาหกิจจึงมีแผนที่จะนำรถขนส่งมาใช้เพิ่มอีก 1 คัน

ตารางที่ 1 ใบระยะทางการขนส่ง เดือนธันวาคม 2561-เมษายน 2562

ต้นทาง - ปลายทาง หน่วยเป็นกิโลเมตร	OTOP	สวนวิมลเขาสระบุรี	ปั๊มน้ำมันปตท. สามชาย	สถานีรถไฟลพบุรี	ปั๊มน้ำมันบางจาก	ร้านแคร็ปอม	DC วังสิง Tha mall	DC โลตัส	พีดีพุ้ล	โรงแรมสยามแอดสยาม	DC มหาชัย TOPS	ร้านอมตะ พัทยา
OTOP	0	20	25	37	40	57	85	88	105	124	180	201
สวนวิมลเขา สระบุรี	21	0	12	55	28	43	72	76	93	111	168	189
ปั๊มน้ำมันปตท. สามชาย	28	16	0	28	16	51	60	64	81	99	156	177
สถานีรถไฟลพบุรี	38	55	59	0	72	91	100	123	153	144	200	222
ปั๊มน้ำมันบางจาก	44	32	20	77	0	66	46	50	65	85	142	163
ร้านแคร็ปอม	53	32	44	86	59	0	104	108	125	143	199	221
DC วังสิง The mall	93	81	69	196	52	115	0	28	56	48	104	127
DC โลตัส	92	80	68	126	49	115	27	0	29	44	101	111
พีดีพุ้ล	106	94	82	157	62	129	58	30	0	47	103	91
โรงแรมสยามแอดสยาม	132	120	108	139	91	154	48	44	46	0	58	99
DC มหาชัย TOPS	178	166	154	185	137	201	95	92	93	50	0	132
ร้านอมตะ พัทยา	205	193	181	225	164	228	125	112	92	99	140	0

รายละเอียดเงื่อนไขต่าง ๆที่ใช้ประกอบในการขนส่งมี ดังต่อไปนี้

- จำนวนกล่องบรรจุภัณฑ์ต่อการขนส่ง 1 ครั้ง ประกอบไปด้วยกล่อง 2 ขนาด
  - ขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 : 24.5x35x13 เซนติเมตร
  - ขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 : 34x36x18 เซนติเมตร
- เดินทาง 1 เที่ยว ส่งจนครบและวนกลับมาที่วิสาหกิจ
- วิ่งจากเส้นทางที่สั้นที่สุด
- ทำงาน ตั้งแต่ 9.00 น – 17.00 น. รวมเวลากลับมาที่จุดเริ่มต้น

3.2 รถที่ใช้บรรทุกสินค้า

- รถ 4 ล้อ หรือ (รถปิคอัพ) ขนาด ยาว 2.1 เมตร กว้าง 1.5 เมตร สูง 0.48 เมตร
- รถบรรทุก 4 ล้อตู้ทึบ (รถปิคอัพตู้ทึบ) ขนาด ยาว 2.2 เมตร กว้าง 1.5 เมตร สูง 2.1 เมตร

ทำการคำนวณปริมาตรที่สามารถบรรทุกกล่องต่อรถ 1 คัน

$$= \frac{\text{ปริมาตรภายในรถบรรทุก หน่วย เป็น คิวบิกเมตร}}{\text{ปริมาตรภายในกล่องบรรจุ หน่วย เป็น คิวบิกเมตร}} \quad (1)$$

หมายเหตุ

1.หน่วยเป็นเมตร (M.)

$$\text{กว้าง(L) x ยาว(L) x สูง(H)} \quad (2)$$

= XXคิวบิกเมตร (CBM.)

2.หน่วยเป็นเซ็นติเมตร (CM.)

$$\frac{\text{กว้าง(L) x ยาว(L) x สูง(H)}}{1{,}000{,}000} \quad (3)$$

= XXคิวบิกเมตร (CBM.)

จากการคำนวณสามารถแสดงได้ดังนี้

3.2.1 รถบรรทุก ขนาด 4 ล้อ และ 4 ล้อตู้ทึบ

-รถ 4 ล้อ หรือ (รถปิคอัพ) ขนาด ยาว 2.1 เมตร กว้าง 1.5 เมตร สูง 0.48 เมตร **= 1.51 คิวบิกเมตร**

-รถบรรทุก 4 ล้อตู้ทึบ (รถปิคอัพตู้ทึบ) ขนาด ยาว 2.2 เมตร กว้าง 1.5 เมตร สูง 2.1 เมตร **= 6.93 คิวบิกเมตร**

3.2.2 กล่องบรรจุ

-กล่องบรรจุบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 ขนาด = 24.5 x 35 x 13 เซนติเมตร **= 0.011 คิวบิกเมตร**

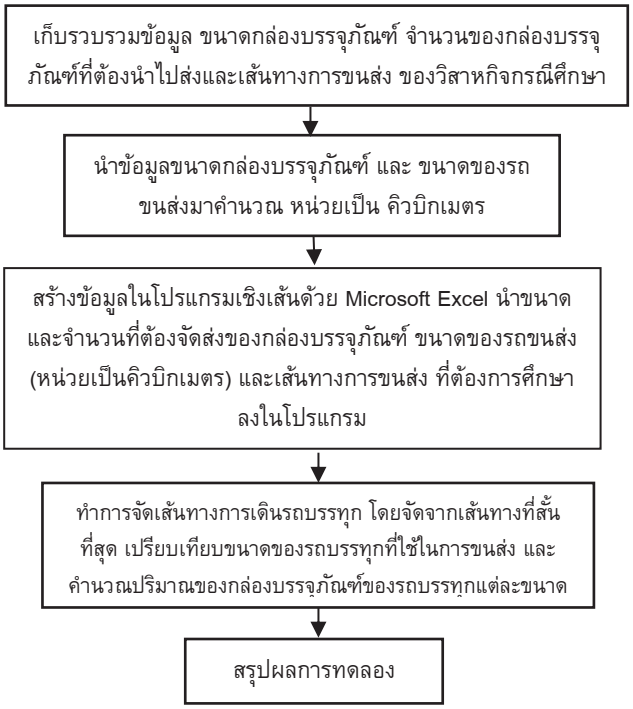
-กล่องบรรจุบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 ขนาด = 34 x 36 x 18 เซนติเมตร **= 0.022 คิวบิกเมตร**

ตารางที่ 2 ความสามารถในการบรรจุกล่องผลิตภัณฑ์ขนาดของรถบรรทุก

ขนาดรถ 4 ล้อ	ขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์	
	แบบที่ 1 ขนาด = 24.5 x 35 x 13 ซม. เท่ากับ 0.0111475 คิวบิกเมตร	แบบที่ 2 ขนาด = 34 x 36 x 18 ซม. เท่ากับ 0.022032 คิวบิกเมตร
1. รถบรรทุก 4 ล้อ	จำนวน 135 กล่อง	จำนวน 68 กล่อง
ย. 2.1 ม. x ก. 1.5 ม. x ลึก 0.48 ม. เท่ากับ 1.51 คิวบิกเมตร		
2. รถบรรทุก 4 ล้อ ตู้ทึบ	จำนวน 621 กล่อง	จำนวน 314 กล่อง
ส. 2.1 ม. x ก. 2.2 ม. เท่ากับ 6.93 คิวบิกเมตร		

3.3 การจัดเส้นทางการเดินรถ

รายละเอียดขั้นตอนการจัดเส้นทางการเดินรถ มีรายละเอียดดังรูปภาพที่ 1



รูปที่ 1 Flow chart แสดงขั้นตอนการจัดเส้นทางการขนส่ง ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบกระบวนการหาผลลัพธ์ โดยอิงจากเทคนิคโปรแกรมเชิงเส้น ให้เป็นกระบวนการหาคำตอบที่มีลำดับขั้นตอนที่เหมาะสม และผลการศึกษาสามารถนำผลที่ได้มาปรับที่อื่นๆ ที่มีการกระจายสินค้าในแต่ละสัปดาห์ตามคำสั่งที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3 รูปแบบของโปรแกรมเชิงเส้น แสดงรายละเอียดระยะทางระหว่างจุดหมาย โดยผู้ใช้งานสามารถใส่ขนาดของรถที่ใช้สำหรับการขนสินค้าได้ และ ตารางที่ 4 แสดงการคำนวณขนาดของรถขนส่งที่มีหน่วยเป็นคิวบิกเมตร โดยผู้ใช้งานสามารถใส่ขนาดของรถที่ใช้สำหรับการขนสินค้าได้

ตารางที่ 3 รูปแบบของโปรแกรมเชิงเส้น

จุดหมาย	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	9999	20	25	37	40	57	85	88	105	124	180	9999	9999
1	21	9999	12	55	28	43	72	76	93	111	168	20	20
2	28	16	9999	28	16	51	60	64	81	99	156	25	25
3	36	55	59	9999	72	91	100	123	153	144	200	37	37
4	44	32	20	77	9999	66	46	50	65	85	142	40	40
5	53	32	44	86	59	9999	104	108	125	143	199	57	57
6	93	81	69	196	52	115	9999	28	58	48	104	85	85
7	92	80	68	126	49	115	27	9999	29	44	101	88	88
8	106	94	82	157	62	129	58	30	9999	47	103	105	105
9	132	120	108	139	91	154	48	44	46	9999	58	124	124
10	178	166	154	185	137	201	95	92	93	50	9999	180	180
11	9999	20	25	37	40	57	85	88	105	124	180	9999	9999
12	9999	20	25	37	40	57	85	88	105	124	180	9999	9999

ตารางที่ 4 รูปแบบของโปรแกรม

Truck capacity	Capacity (CBM)
truck A	1.51
truck B	6.93

ตารางที่ 5 แสดงขนาดของกล่องบรรจุภัณฑ์ที่มีหน่วยเป็นคิวบิกเมตร โดยผู้ใช้งานสามารถใส่ขนาดของกล่องบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการได้ และ ตารางที่ 6 แสดงปริมาณความต้องการของลูกค้า เช่น จำนวนกล่อง โดยการขนส่งแต่ละที่ วิสาหกิจต้องทำการขนส่งสินค้าทั้ง 2 ประเภท

ตารางที่ 5 แสดงขนาดของกล่องบรรจุภัณฑ์ที่มีหน่วยเป็นคิวบิกเมตร

Box size	Capacity (CBM)
Box A	0.0111475
Box B	0.022032

ตารางที่ 6 รูปแบบของโปรแกรม

จุดหมาย	จำนวนกล่องเล็ก	จำนวนกล่องใหญ่
0	0	0
1	40	14
2	14	14
3	18	16
4	11	13
5	18	20
6	15	17
7	20	11
8	30	12
9	30	11
10	15	17
11	0	0
12	0	0

จากการศึกษากระบวนการขนส่งของวิสาหกิจกรณีศึกษาและทบทวนวรรณกรรม สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ดัชนี

$i =$ ลูกค้ารายที่ $i; i = 1,2,3, \dots, N; 1$

$j =$ ลูกค้ารายที่ $j; j = 1,2,3, \dots, N; 1$

$N =$ จำนวนลูกค้าทั้งหมด

$k =$ รถบรรทุกขนส่งคันที่ $k; k = 1,2,3, \dots, k$

$M =$ จำนวนรถบรรทุกที่ใช้งานทั้งหมด

พารามิเตอร์

d_{ij} = ระยะทางระหว่างเมือง i และเมือง j โดยใช้ระยะทางจริงที่ได้จาก google maps มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

x_{kij} = ตัวแปรตัดสินใจ binary (“0” หรือ “1”)
CAP_k = ความสามารถในการบรรทุกของรถบรรทุกคันที่ k
F_{kij} = ปริมาณสินค้าที่รถบรรทุกโดยรถบรรทุกคันที่ k จากจุด i ไปจุด j
dm_i = ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า i

ตัวแปรตัดสินใจ

$$x_{kij} = \begin{cases} 1 \text{ ; ถ้ารถคันที่ k เดินทางจากเมือง i ไปยังเมือง j} \\ 0 \text{ ; กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

CAP_k = ความสามารถในการบรรทุกของรถบรรทุกคันที่ k
F_{kij} = ปริมาณสินค้าที่รถบรรทุกโดยรถบรรทุกคันที่ k จากจุด i ไปจุด j
Y_{ki} = ปริมาณสินค้าที่ส่งให้ลูกค้า i โดยรถบรรทุกคันที่ k

สมการเป้าหมาย

$$Min\ Z = \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=o}^{N}\sum_{k=1}^{M} d_{ij}\, x_{kij} + \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{M} (CAP_k - F_{kij})d_{ij} \quad (4)$$

เงื่อนไขบังคับ

$$\sum_{j=1}^{N} X_{kj} - \sum_{J=1}^{N} X_{ki} = 0 \qquad \forall k \qquad (5)$$

$$\sum_{k=1}^{M} Y_{ki} = dm_i \qquad \forall i \qquad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{N} Y_{ki} \le CAP_k \qquad \forall k \qquad (7)$$

$$F_{kij} \le X_{kij}\, CAP_k \qquad \forall k, \forall i, \forall j\,; i \ne j \qquad (8)$$

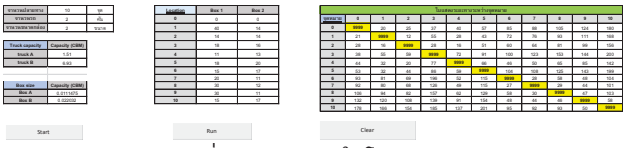
$$\sum_{j=1}^{N} X_{kij} \le 1 \qquad \forall k, \forall i, ; i > 1 \qquad (9)$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{kji} \le 1 \qquad \forall k, \forall i, ; i > 1 \qquad (10)$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{kji} \le Y_{kj} \qquad \forall k, \forall j, ; j > 1 \qquad (11)$$

$$X_{kij} \in \{0,1\} \qquad \forall k, \forall i, \forall j \qquad (12)$$

สมการที่ (4) เป็นสมการเป้าหมาย เพื่อหาระยะทางรวมที่น้อยที่สุด
สมการที่ (5) กำหนดให้ทุกจุดของ N เชื่อมต่อกัน คือ หากมีรถบรรทุกเข้าจุด i แล้ว ต้องออกจากจุด i ด้วย
สมการที่ (6) กำหนดให้รถบรรทุกส่งสินค้าให้ลูกค้า i เท่ากับปริมาณความต้องการลูกค้า i
สมการที่ (7) กำหนดให้ปริมาณสินค้าที่ส่งให้ลูกค้า i โดยรถบรรทุกคันที่ k จะไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถบรรทุกคันที่ k
สมการที่ (8) เป็นสมการที่กำหนดให้ปริมาณสินค้าจากจุด i ไปจุด j ไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถบรรทุก
สมการที่ (9) กำหนดให้รถบรรทุกคันที่ k สามารถเดินทางจากจุด i ไปจุด j ได้เพียงครั้งเดียว
สมการที่ (10) กำหนดให้รถบรรทุกคันที่ k สามารถเดินทางจากจุด j ไปจุด i ได้เพียงครั้งเดียว
สมการที่ (11) กำหนดให้รถบรรทุกเดินทางไปยังลูกค้าที่ต้องการจะส่งสินค้าเท่านั้น
สมการที่ (12) กำหนดให้ตัวแปรการตัดสินใจ x_{kij} เป็นแบบ Binary
จากนั้นนำข้อมูลที่คำนวณและระยะทางการขนส่งใส่ในโปรแกรมได้ดังนี้

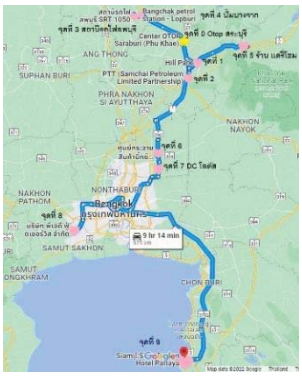


รูปที่ 2 แสดงข้อมูลในโปรแกรม

จากรูปที่ 2 แสดงรายละเอียดของขนาดรถบรรทุก 4 ล้อ และรถบรรทุก 4 ล้อตู้ทึบ หน่วยเป็น CBM ขนาดของกล่องบรรจุภัณฑ์ หน่วยเป็น CBM จำนวนกล่องของจุดหมายแต่ละจุดหมาย และระยะทางระหว่างจุดหมายจำนวน 10 จุด

4. ผลการดำเนินงาน

ข้อมูลการขนส่งสินค้าเดือนธันวาคม 2561-เมษายน 2562 มีจำนวนรวมทั้งหมด 115 เที่ยว มีระยะทางรวม 23,109 กิโลเมตร (ไม่รวมเดินทางกลับไปจุดเริ่มต้น) ต่อ 5 เดือน และมีการขนส่งสินค้าประมาน 23 เที่ยวต่อเดือน ซึ่งจุด ★ เป็นตำแหน่งที่ตั้งของโอทอป และ ♥ เป็นตำแหน่งของร้านค้าที่ต้องส่งสินค้าทั้งหมด



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของโอทอปและร้านค้าทั้งหมด
(ที่มา : Google map , 2022)

จากรูปที่ 3 แสดงระยะทางรวม 1,150 กิโลเมตร (รวมระยะทางไป-กลับ) ใช่เวลาทั้งหมด 9 ชั่วโมง 14 นาที ต่อการขนส่งสินค้า 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และไม่มีการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่ง จากนั้นจึงนำข้อมูลเส้นทางการขนส่งและขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ของแต่ละขนาดที่ได้ มา

วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม โดยรถบรรทุกทั้ง 2 ประเภท ออกจากจุดเริ่มต้นพร้อมกันและวนกลับมาที่จุดเริ่มต้น ได้ผลดังรูปที่ 4

Total Capacity	4.15	1.40
Capacity for box 2	111.00	34.00
Capacity for box 1	153.00	58.00
Distance per truck	455.00	110.00
Total Distance	565.00	

From	To	Distance	Route ID	Route_id 1	Route_id 2	Route 1	Route 2	Box 1	Box 2
0	7	88	1	1	0	1	0	20	11
7	8	29	1	1	0	1	0	30	12
8	10	103	1	1	0	1	0	15	17
10	9	50	1	1	0	1	0	30	11
9	6	48	1	1	0	1	0	15	17
6	4	52	1	1	0	1	0	11	13
4	2	20	1	1	0	1	0	14	14
2	3	28	1	1	0	1	0	18	16
3	11	37	1	1	0	1	0	0	0
11	5	57	2	1	1	0	1	18	20
5	1	32	2	1	1	0	1	40	14
1	0	21	2	1	1	0	1	0	0

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ของแบบจำลอง

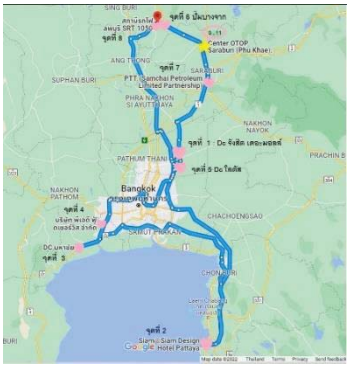
จากรูปที่ 4 พบว่า โปรแกรมสามารถจัดเส้นทางการขนส่งและสามารถคำนวนปริมาณกล่องบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุในรถขนส่งแต่ละขนาดได้ ตารางที่ 7 และ ตารางที่ 8 แสดงผลลัพธ์การจัดเส้นทาง

หมายเหตุ : จุดที 11 ในโปรแกรมเป็นจุดทีรถบรรทุกวนกลับมาทีวิสาหกิจ

ตารางที่ 7 ระยะทางวิ่งของรถบรรทุก 4 ล้อตู้ทึบ

ระยะทางวิ่งของบรรทุก 4 ล้อตู้ทึบ																					รวม	หน่วย
เส้นทาง	0	>	6	>	9	>	10	>	8	>	7	>	4	>	2	>	3	>	11		10	จุด
ระยะทาง	85		48		58		93		30		49		20		28		37		0		448	กิโลเมตร
กล่องบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1	0		15		30		15		30		20		11		14		18		0		153	กล่อง
กล่องบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2	0		17		11		17		12		11		13		14		16		0		111	กล่อง

จากตารางที่ 7 ผลจากการจัดเส้นทางของรถปิคอัพตู้ทึบ พบว่ารถปิคอัพตู้ทึบวิ่งไปส่งสินค้าทั้งหมด 8 สถานที่ ได้แก่ OTOP - DC รังสิต The mall - โรงแรม siam@siam – พีดีฟู้ด – DCโลตัส – ปั๊มน้ำมันบางจาก - ปั๊มน้ำมันปตท.สามชาย – สถานีรถไปลพบุรี – OTOP โดยมีระยะทางรวมทั้งหมด 448 กิโลเมตร มีกล่องบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 จำนวน 153 กล่อง และมีกล่องบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 จำนวน 111 กล่อง



รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของรถปิคอัพตู้ทึบ
(ที่มา : Google map , 2022)

ตารางที่ 8 ระยะทางวิ่งของรถบรรทุก 4 ล้อ

ระยะทางวิ่งของบรรทุก 4 ล้อ									รวม	หน่วย
เส้นทาง	11	>	5	>	1	>	0		2	จุด
ระยะทาง	57		32		21		0		110	กิโลเมตร
กล่องบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1	0		18		40		15		73	กล่อง
กล่องบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2	0		20		14		17		51	กล่อง

จากตารางที่ 8 ผลจากการจัดเส้นทางของรถปิคอัพ พบว่ารถปิคอัพวิ่งไปส่งสินค้าทั้งหมด 2 สถานที่ ได้แก่ OTOP – ร้านแดรี่โฮม - สวนริมเขาสระบุรี – OTOP โดยมีระทางรวมทั้งหมด 110 กิโลเมตร กล่องบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 จำนวน 73 กล่อง และมีกล่องบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 จำนวน 51 กล่อง



รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของรถปิคอัพ
(ที่มา : Google map , 2022)

ตารางที่ 9 สรุปความสามารถในการบรรจุของรถแต่ละประเภท

ขนาดกล่อง / ขนาดรถบรรทุก	รถบรรทุก 4 ล้อตู้ทึบ	รถบรรทุก 4 ล้อตู้ทึบ
Total Capacity	4.15 CBM	1.39 CBM
Capacity for box 2	111	34
Capacity for box 1	153	58
Distance per truck	448	110
Total Distance	558	

จากผลการวิจัย พบว่าเมื่อมีการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยโปรแกรม ระยะทางขนส่งรวมไป-กลับทั้งหมด เท่ากับ 558 กิโลเมตร ต่อการขนส่ง 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ถ้าทำการขนส่ง 115 เที่ยว จะมีระยะทางรวมทั้งหมดเท่ากับ 64,170 กิโลเมตร ซึ่งมีระยะทางน้อยกว่าการขนส่งแบบเดิมเท่ากับ 1,150 กิโลเมตร ถ้าทำการขนส่ง 115 เที่ยว จะมีระยะทางทั้งหมดเท่ากับ 132,250 กิโลเมตร

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากปัญหารถขนส่งสินค้าของวิสาหกิจใช้รถขนส่งเพียง 1 คันและลูกค้าเป็นผู้กำหนดวันจัดส่งสินค้าเอง เที่ยวการขนส่งสินค้า เที่ยวหนึ่งจะส่งลูกค้าเพียงรายเดียวและแต่ละเที่ยวขนส่งแบบไม่เต็มคันรถ โดยรถขนส่ง 1 คัน ขนส่งสินค้าหลายรอบเวลา คณะผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลการขนส่งและวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น ช่วยในการหาคำตอบโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสมสำหรับการกระจายสินค้าของรถบรรทุกขนาดกลาง 2 ประเภท(รถบรรทุก 4 ล้อ และ 4 ล้อ แบบตู้ทึบ) ผลการศึกษาสามารถลดต้นทุนในการขนส่งได้ และช่วยลดการเดินเที่ยวเปล่า

เอกสารอ้างอิง

[1] วรินทร สุมโนจิตราภรณ์และสมิตา กองศิลป์ (2562) การวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการโลจิสติกส์ ด้วยการวิเคราะห์ต้นทุนและการผลิตแบบลีน: กรณีศึกษา วิสาหกิจคุกกี้ธัญพืช. ปริญญานิพนธ์, คณะวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[2] สุเมธ ศรีสัมพันธ์และการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าสำหรับบริษัทจำหน่ายชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ กรณีศึกษา บริษัท เอโอเอฟ อิเล็กทริคแอนด์ดีไซน์ จำกัด (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2560)

[3] เพชรรายุทธ แซ่หลี, วชิระ วิจิตรพงษา และหทัยธนก พวงแย้ม (2560). การจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มโดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้น กรีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด รัศมี 2015. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 10 (1).

[4] ธนโชติ นาชัยพูล, สุภาวดี สายสนิท.(2562). การปรับปรุงเส้นทางการเดินรถขนส่งครีมบำรุงผิว กรณีศึกษา บริษัท ABC (ประเทศไทย) จำกัด. การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ครั้งที่ 4 และการประชุมนานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ครั้งที่ 1 : การยกระดับงานวิจัยเพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมอย่างยั่งยืน . ณ โรงแรมรอยัลริเวอร์ กรุงเทพมหานคร

[5] นฤมล โชติช่วง, เสกสรร สุธรรมมานนท์, พัลภัช เพ็ญจำรัส และกันยา อัครอารีนย์(2562). การวิเคราะห์ต้นทุนการขนส่งหมอนยางพาราของกลุ่มผู้ผลิตวิสาหกิจชุมชนภาคใต้ ไปยังร้านจำหน่ายหมอนยางพาราในจังหวัดภูเก็ต. วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย 5.

[6] ธนากร ชีวพิทักษ์, และสิรเดช ชาตินิยม(2563). การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าด้วยวิธีการผสมผสาน สำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็ก. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 15.

การปรับปรุงการจัดวางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาผู้ผลิตและจำหน่ายบรรจุภัณฑ์กระดาษอาหารแห่งหนึ่ง

ไอลดา วงษ์เขียด[1] กาญจ์นภา อมรัชกุล[1] สราวุธ จันทร์สุวรรณ[1] ศิวิกา ดุษฎีโหนด[1] อัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์[1*]
[1]สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันพัฒนบริหารศาสตร์ กรุงเทพ 10240
E-mail: akkaranan@as.nida.ac.th*

Ilada Wongkead[1], Kannapha Amaruchkul[1] , Sarawut Jansuwan [1], Siwiga Dusadenoad[1], Akkaranan Pongsathornwiwat[1*]
[1, 2] Department of Logistics Management Faculty of Applied Statistics National Institute of Development Administration Bangkok 10240
E-mail: akkaranan@as.nida.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าแห่งหนึ่งให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จากการลงสำรวจพบว่า บริษัทกรณีศึกษาขาดนโยบายในการจัดเรียงและจัดเก็บสินค้าโดยมีการวางสินค้ากระจายทั่วภายในคลังสินค้า ทำให้ใช้ระยะเวลาที่นานในการหยิบสินค้าและใช้ระยะทางที่ไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายด้านแรงงานที่เพิ่มขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองทั้งสองรูปแบบด้วยการจัดวางสินค้าเป็นกลุ่มตามปริมาณการหยิบสินค้า (Class-based layout) และการจัดวางสินค้าและกำหนดตำแหน่งสินค้าด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ Storage Location Assignment Model ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกับการจัดวางสินค้าแบบเก่า พบว่า การจัดสินค้าตามแบบทฤษฎี ABC นั้นให้ผลลัพธ์ระยะทางรวมลดลงไปจากกทั้งหมดแบบเดิมนั้นมีระยะทางทั้งหมด 518,197.5 เมตรต่อปีและมีระยะทางเฉลี่ยในการหยิบ 2.32 เมตรต่อออเดอร์ เหลือเพียง 379,210.5 เมตรต่อปีและมีระยะทางเฉลี่ยในการหยิบ 1.05 เมตรต่อออเดอร์ (คิดเป็น 27%) และในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าผลลัพธ์จากการนำทฤษฎี ABC Analysis เข้ามาช่วยแก้ไขนั้นได้ผลรวมระยะทางที่ลดลงแล้ว แต่ในตำแหน่งการจัดวางสินค้าบางรายการที่มีความถี่ในการหยิบสูงนั้น ยังมีการกระจายตัวไปอยู่ตามตำแหน่งจัดเก็บอื่นภายในคลังสินค้า จึงได้มีการศึกษาเพิ่มเติมโดยนำ Microsoft Excel Open Solver เข้ามาเป็นวิธีในการหาคำตอบ โดยในการหาคำตอบด้วย Open solver นั้นผู้จัดทำได้ทำการสร้างตัวแบบเชิงสมการโดยใช้ Storage assignment location model เข้ามาปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางให้เหมาะสมและเพื่อให้ได้ระยะทางรวมที่ลดลง จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากใช้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาปรับใช้เพื่อสร้างแบบจำลองและทำการวัดผลในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่ส่งผลกระทบต่อกรณีศึกษา ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ค่าใช้จ่ายในด้านค่าจ้างแรงงานที่ส่งผลกระทบต่อกรณีศึกษานั้นลดลงโดยการค่าใช้จ่ายในการจ้างการทำงานล่วงเวลานั้นลดลง 27% และค่าใช้จ่ายทั้งหมดลดลงจากเดิม 221,286 บาทต่อปี เหลือเพียง 203,422.98 บาทต่อปี โดยคิดเป็นสัดส่วน 8%

คาสาคัญ: การปรับปรุงตำแหน่งการจัดวาง, ABC Analysis, ตัวแบบการจัดตำแหน่งจัดวางสินค้า, กรณีศึกษา

Abstract

The purpose of this study is to relocate the storage location of products for better warehouse efficiency and productivity. Based on interview and survey, the current layout of a case study warehouse is ineffective because of a lack of a unified policy for storage location assignment, resulting in unnecessary picking times and travel distances, and higher labor costs. This research applied ABC class-based layout design and storage assignment location model to overcome the problems. By detailed analyzing and comparing performance with the exiting layouts, the result shows that the ABC class-based layout can help reducing the unnecessary travel distance from 518,197.5 to 379,210.5 meters a year (it accounts for 27% reduction). The total distance has been reduced by applying the ABC based analysis; however, there is a limitation on how to assign SKUs to the appropriate storage location, which is the main objective. Therefore, a further study is conducted by formulating a mathematical model as a storage location assignment problem for finding the optimal storage locations. The result from Open Solver shows that the proposed model can help reducing the total distances comparing to the previous layout. With this benefit, the case can obtain the decrease of labor cost by 27% of reduction, and total expenses decreases from 221,286 to only 203,422.98 baht per year, which is accounting for 8% of cost reduction.

Keywords: Storage relocation assignment problem, Warehouse improvement, ABC Analysis, Case study

1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษามีรายการสินค้าทั้งหมด 1,011 รายการจากหมวดสินค้าทั้งหมด 6 หมวด ได้แก่ หมวดเบเกอรี่ หมวดอาหาร หมวดเครื่องดื่ม หมวดซองและถุงกระดาษ หมวดของตกแต่งและหมวดกล่องของขวัญ สภาพปัญหาปัจจุบันพบว่า คลังสินค้าไม่มีนโยบายที่ชัดเจนในการจัดเรียงสินค้าและตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า โดยเลือกการจัดเก็บสินค้าตามช่วงเวลาที่สะดวกอีกทั้งการจัดเก็บสินค้าที่มูลค่าการขายสูงวางกระจายทั่วทุกที่ภายในคลังสินค้า และยังพบว่าสินค้าบางรายการมีการวางทับซ้อนกัน ดังแสดงในรูปที่ 1 ส่งผลให้เกิดการใช้ระยะเวลานานในการหยิบสินค้ามากถึง 3,565 ชั่วโมงต่อปีและมีเวลาเฉลี่ยในการหยิบออเดอร์ 1.2 นาทีต่อออเดอร์ รวมถึงการใช้ระยะทางที่ไกลขึ้นมากถึง 518,197.50 เมตรต่อปีมีระยะทางเฉลี่ยในการหยิบออเดอร์ 2.32 เมตรต่อออเดอร์ เมื่อมีระยะทางและระยะเวลาที่ใช้มากขึ้นจึงทำให้คลังสินค้ามีค่าใช้จ่ายมากเกินความจำเป็นถึง 221,286 บาทต่อปี



รูปที่ 1 การจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา

จากสภาพปัญหาดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงสนใจที่จะปรับปรุงผังรูปแบบการจัดวางและตำแหน่งจัดวางสินค้า โดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาการจัดวางสินค้าและตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าเพื่อระบุถึงที่มาของปัญหาที่แท้จริง

2. เพื่อปรับปรุงการจัดวางสินค้าสินค้าและปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าเพื่อลดระยะทางที่ใช้หยิบ ลดระยะเวลาที่ใช้ในการหยิบ

3. เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างก่อนทำการปรับปรุงและหลังทำการปรับปรุง เพื่อวัดผลลัพธ์ที่เกิดจากระยะทางที่ลดลงรวมถึงระยะเวลาที่ลดลง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของคลังสินค้า

คลังสินค้า (Warehouse) หมายถึง สถานที่ใช้ในการเก็บรักษาสินค้าให้อยู่ในสภาพดี และมีคุณสมบัติที่พร้อมจะส่งมอบให้กับลูกค้า บุคคล องค์กร หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน หรือภายนอกโซ่อุปทาน โดยคลังสินค้าทำหน้าที่เป็นสถานที่พักและเก็บสินค้าหรือวัตถุดิบหรือวัสดุสิ่งของต่างๆ จนกว่าจะมีการเคลื่อนย้าย ส่งมอบไปสู่ผู้ที่มีความต้องการ ดังนั้น กิจกรรมของคลังสินค้าจึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน [1-2]

2.2 รูปแบบการจัดเก็บ [3-4]

1. ระบบการจัดเก็บโดยไร้รูปแบบ (Informal Location System) เป็นรูปแบบการจัดเก็บสินค้าที่ไม่มีการบันทึกตำแหน่งการจัดเก็บเข้าไว้ในระบบ และสินค้าทุกชนิดสามารถจัดเก็บไว้ตำแหน่งใดก็ได้ในคลังสินค้าซึ่งพนักงานที่จะเป็นผู้ที่รู้ตำแหน่งในการจัดเก็บและจำนวนที่จัดเก็บ

2. ระบบจัดเก็บโดยกำหนดตำแหน่งตายตัว (Fixed Location System) สินค้าทุกชนิดหรือทุกSKU นั้นจะมีตำแหน่งจัดเก็บที่กำหนดไว้ตายตัวอยู่แล้ว

3. ระบบการจัดเก็บโดยจัดเรียงตามรหัสสินค้า (Part Number System) รูปแบบการจัดเก็บโดยใช้รหัสสินค้า (Part Number)

4. ระบบการจัดเก็บสินค้าตามประเภทของสินค้า (Commodity System) เป็นรูปแบบการจัดเก็บสินค้าตามประเภทของสินค้าหรือประเภทสินค้า (Product type)

5. ระบบการจัดเก็บที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random Location System) เป็นการจัดเก็บที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัวทำให้สินค้าแต่ละชนิดสามารถถูกจัดเก็บไว้ในตำแหน่งใดก็ได้ในคลังสินค้า

2.3 การแบ่งกลุ่มสินค้าแบบ ABC Analysis

สินค้าคงคลังออกเป็น 3 ชนิด คือ A B และ C โดยวิธีนี้อาศัยหลักการของพาเรโต (Pareto) ประกอบด้วย สินค้าคงคลังกลุ่ม A เป็นสินค้าคงคลังที่มีมูลค่าในการสั่งซื้อสูงหรือหมุนเวียนสูงที่สุด เป็นสินค้าที่เคลื่อนไหวเร็วและเป็นที่ต้องการของลูกค้า โดยปกติจะมีจำนวน 20% ของรายการสินค้าคงคลังทั้งหมด สินค้าคงคลังกลุ่ม B เป็นสินค้าคงคลังที่มีมูลค่าในการในการสั่งซื้อหรือหมุนเวียนสูงปานกลาง เป็นสินค้าที่มีความนิยมระดับปานกลาง และสินค้าคงคลังกลุ่ม C เป็นสินค้าคงคลังที่มีมูลค่าในการสั่งซื้อหรือหมุนเวียนต่ำที่สุดแต่มีจำนวนมาก เป็นสินค้าที่มักจะมีทั้งรายการ (Item) และจำนวน (Quantity) มากในคลังสินค้าเพราะเกิดจากการขายสินค้าไม่ออก หรือหมดความนิยมในตลาด [4]

2.4 ตัวแบบ Storage Assignment Location Model

ตัวแบบเชิงสมการซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ผู้จัดทำได้นำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อหาระยะทางรวมและหาตำแหน่งการวางสินค้าอย่างเหมาะสม โดยทำการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆโดยคำนึงถึงสินค้าแต่ละประเภทรวมถึงจำนวนพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดเป็นหลัก [3] และสร้างสมการเพื่อหาตำแหน่งการวางสินค้าอย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น ในการสร้างสมการได้มุ่งเน้นไปยังความถี่ในการหยิบสินค้าจากทุก ๆโลเคชั่นและระยะทางที่ใช้ในการหยิบจากทุก ๆ โลเคชั่นเช่นกัน [5-6] โดยมีสร้างตัวแบบสมการดังนี้

สมการวัตถุประสงค์ (Objective function)

Minimize total distance

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} f_i D_{ij} X_{ij}$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} = 1 \quad \forall j$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \quad \forall i$$

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้าสินค้า } i \text{ เลือกไปจัดเก็บที่ตำแหน่งจัดเก็บ } j \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

กำหนดให้ f_i คือ ความถี่ของสินค้า i

D_{ij} คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของสินค้า i จากจุดเริ่มต้นไปยัง $Location\ j$

โดยมี เซ็ต คือ I คือ เซตของสินค้าแต่ละ SKUs

J คือ เซตของตำแหน่งจัดเก็บสินค้า

และ ดัชนี คือ i คือ สินค้าแต่ละ SKUs ; $i = 1, \ldots, m$

j คือ ตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า; $j = 1, \ldots, n$

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อระบุถึงสาเหตุที่แท้จริง

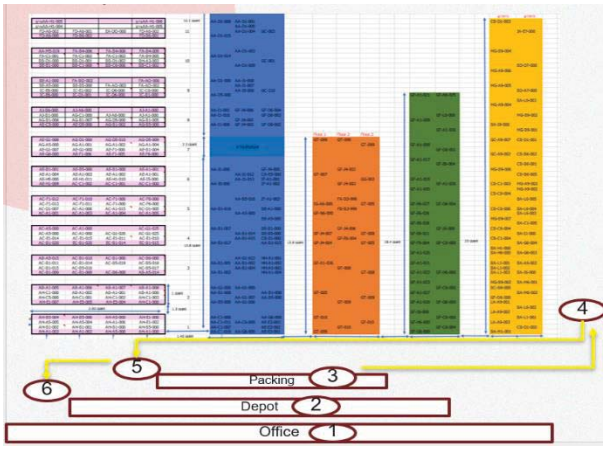
ในการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่จริงเพื่อปรึกษากับผู้ประกอบการ เกี่ยวกับปัญหาที่พบเจอบ่อย ๆ และได้พบว่าภายในคลังสินค้ามีปัญหาในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่สูง เนื่องมาจากการวางสินค้าภายในคลังสินค้าไม่มีการระบุตำแหน่งอย่างชัดเจน รวมถึงการวางสินค้าที่ทับซ้อนกันจึงทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการหยิบสินค้านานขึ้น จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านค่าแรงในการจ้างงานทั้งหมดที่สูงขึ้น ดังนั้นการที่ใช้ระยะเวลาที่นานในการหยิบสินค้าจึงส่งผลกระทบในเรื่องการจัดส่งสินค้าไปยังลูกค้าที่ล่าช้ามากขึ้นอีกด้วย

3.2 ศึกษาข้อมูลและกิจกรรมภายในคลังสินค้า

3.2.1 พื้นที่ภายในคลังสินค้า

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้จัดทำได้มีการนำข้อมูลที่ได้จากผู้ประกอบการย้อนหลัง 13 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่ เดือนกรฎาคม 2562 - เดือนกรฎาคม 2563 และได้มีการจำลองแผนผังภายในคลังสินค้า สีชมพูขาว คือ โซนเบเกอรี่ , สีน้ำเงิน คือ โซนของตกแต่ง , สีส้ม คือ โซนซองและถุงกระดาษ , สีเขียว คือ โซนเครื่องดื่ม และสีเหลือง คือ โซนอาหาร โดยในแต่ละโซนจะมีขนาดแตกต่างกันออกไป ภาพรวมของคลังสินค้ามีขนาดพื้นที่ กว้าง 20 เมตร x ยาว 60 เมตร = 1,200 ตารางเมตร ในการศึกษาครั้งนี้ผู้จัดทำได้ศึกษาเฉพาะในโซนอาหารเท่านั้น เนื่องจากการจัดวางเรียงสินค้าในโซนนี้ยังไม่มีการระบุตำแหน่งที่ชัดเจน ซึ่งผู้จัดทำได้ทำจำลองภายในคลังดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 แบบจำลองแผนผังภายในคลังสินค้า ของบริษัทกรณีศึกษา



3.2.2 ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ ในส่วนนี้ผู้จัดทำได้มีการนำข้อมูลที่ได้มากจากทางผู้ประกอบการนำมาแยกตามหมวดต่าง ๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในลำดับถัดไป

A รหัสสินค้า คือ รหัสประจำตัวสินค้า เช่น BA-A1-00

B ชื่อสินค้า คือ ชื่อของสินค้า เช่น กล่องอาหาร ไซส์เล็ก สีขาว

E หมวด คือ หมวดสินค้า เช่น หมวดอาหาร

H เลขที่เอกสาร คือ เลขที่ออเดอร์สินค้าที่เกิดขึ้น เช่น IV6207037

J จำนวนที่ขายได้ คือ จำนวนสินค้าที่ขายได้ เช่น 1 แพค

K หน่วยนับ คือ หน่วยนับของสินค้า เช่น แพค

M ยอดขาย คือ ยอดขายที่เกิดขึ้นจริง เช่น 449 บาท

3.2.3 แผนผังการจัดวางสินค้าในโซนอาหาร

ในส่วนนี้ผู้จัดทำได้ทำแบบจำลองการจัดวางสินค้าโซนอาหารเพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการทำงานภายในคลังสินค้า

หมายเลขที่ 1 , 3 เป็น Location code และเป็นการระบุถึงชั้นในการจัดเก็บสินค้า สีเหลือง คือ ชั้นที่ 1 , สีฟ้า คือ ชั้นที่ 2 และสีฟ้า คือ ชั้นที่ 3

หมายเลขที่ 2 คือ ระยะทางที่เริ่มนับตั้งแต่จุด depot ไปจนถึง Location แรก และไล่ระดับความไกลออกไปไกลสุด คือ 83.5 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3 สำหรับการออกแบบกำหนดตำแหน่งเสมือนผังจัดวางจริง



รูปที่ 3 แผนผังการจัดวางสินค้าในโซนอาหารของบริษัทกรณีศึกษา

3.2.4 กระบวนการทำงานภายในคลังสินค้า

โดยกระบวนการทำงานจะยังมีการใช้ระบบ manual และอาจจะทำให้เกิดความล่าช้าได้ ผู้จัดทำได้ทำการสรุปเป็นแต่ละกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

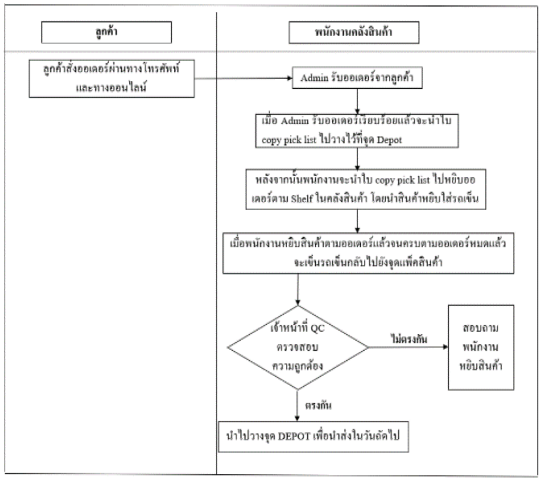
1.Admin รับออเดอร์จากลูกค้า ผ่านทางโทรศัพท์มือ โดยลูกค้าจะสั่งผ่านช่องทางออนไลน์ เช่น สั่งผ่านทาง Line หรือ โทรศัพท์เข้ามาสั่ง

2.เมื่อ Admin รับออเดอร์เรียบร้อยแล้วจะนำใบ copy pick list ไปวางไว้ที่จุด Depot

3.หลังจากนั้นพนักงานจะนำใบ copy pick list ไปหยิบออเดอร์ตาม Shelf ในคลังสินค้า โดยนำสินค้าหยิบใส่รถเข็น

4.เมื่อพนักงานหยิบสินค้าตามออเดอร์แล้วจนครบตามออเดอร์หมดแล้ว จะเข็นรถเข็นกลับไปยังจุดแพ็คสินค้า

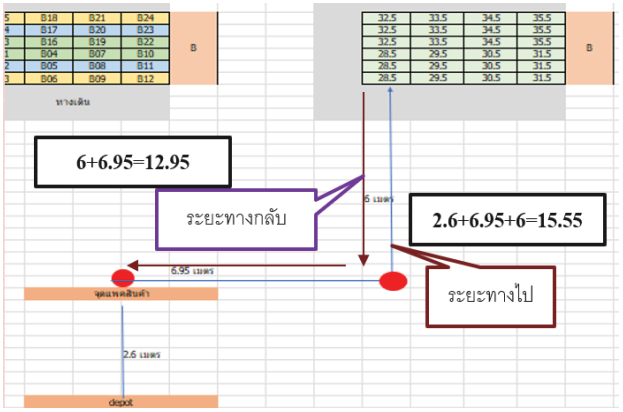
5.เมื่อนำสินค้าไปวางจุดแพ็คเพื่อให้เจ้าหน้าที่ QC ตรวจสอบความถูกต้อง เมื่อเจ้าหน้า QC ตรวจความถูกต้องจะนำกลับมาวางที่จุด Depot เพื่อรอนำลงข้างล่างเพื่อเตรียมจัดส่งในวันถัดไป



รูปที่ 4 กระบวนการไหล (Flow Operations) การทำงานของพนักงาน

3.2.5 วิธีการคำนวนระยะทางเป็นการคำนวนระยะทางแบบเส้นตรงแบบเสมือนการทำงานจริง

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาระยะทางที่ใช้ในการเดินไปหยิบโดยให้ depot เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดจะอยู่ที่จุดแพ็คสินค้า เพื่อให้มีความเข้าใจที่ง่ายขึ้นผู้จัดทำได้รูปภาพประกอบตัวอย่างในการนับระยะทาง ในการคำนวณคิดจากระยะทางไปและระยะทางกลับซึ่งในตัวอย่าง ระยะทาง 28.5 เมตร มาจากจุดเริ่มต้นไปยัง Location แรก เท่ากับ 15.55 เมตร และระยะทางกลับจะเริ่มตั้งแต่ Location แรก กลับมายังจุดทำการรวบรวมและแพ็คสินค้า มีระยะทางเท่ากับ 12.95 เมตร เมื่อนำผลรวมของทั้งระยะทางไปและกลับมารวมกันจะได้เท่ากับ 15.55 + 12.95 = 28.5 เมตร โดยในการคำนวณระยะทางในครั้งนี้ผู้จัดทำจะคำนวณแค่ตามจุด Location เท่านั้นไม่มีการนับการเอื้อมหยิบของแต่ละชั้น



รูปที่ 5 ตัวอย่างการคำนวนระยะทางเป็นการคำนวนระยะทางแบบเส้นตรงสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

3.3 ศึกษาข้อมูลที่ได้เพื่อนำไปวิเคราะห์ใช้กับเครื่องมือ

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลย้อนหลัง 13 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือน กรกฎาคม 2562- เดือนกรกฎาคม 2563 เพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลในส่วนต่างๆ

3.3.1 การจัดกลุ่มสินค้าตามแบบ ABC

จากปัญหาที่พบทำให้ทราบว่าการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษายังไม่มีการจัดเรียงสินค้าตามกลุ่ม ABC ซึ่งในการจัดเรียงตามแบบ ABC จะช่วยให้รู้ว่าสินค้าชนิดไหนมีมูลค่าขายที่สูงและสินค้าชนิดไหนที่มูลค่าการขายที่ต่ำ ซึ่งบริษัทกรณีศึกษานั้นไม่มีการจัดเรียงแบบ ABC ทำให้เกิดปัญหาในการใช้ระยะเวลาในการหยิบของนานและใช้ระยะทางในการเดินหยิบที่ไกลขึ้น ดังนั้นเมื่อผู้จัดทำได้ข้อมูลมาจึงได้ทำการวิเคราะห์การจัดเรียงแบบ ABC เพื่อให้สามารถระบุได้ว่าสินค้าแต่กลุ่มนั้นมีกี่ชนิด โดยวิเคราะห์จากความถี่และมูลค่ายอดขาย ทำให้ทราบว่าสินค้าทั้งหมดในโซนอาหารมีทั้ง 304 รายการ ผู้จัดทำได้ทำตารางแสดงสินค้าในแต่ละกลุ่มสินค้ารวมถึงยอดขายสินค้าของแต่ละกลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางการวิเคราะห์ ABC Analysis ตามมูลค่ายอดขาย

กลุ่ม	จำนวน SKU	%	ความถี่	%	ยอดขาย	%
A	63	20.72	5648	66.36	8,517,147	74.93
B	108	35.53	2096	24.63	1,693,168	14.90
C	133	43.75	767	9.01	1,156,274	10.17
total	304		8511		11,366,589	

3.3.2 การวิเคราะห์หาค่าความถี่โดยใช้ Entry-Item-Quantity Analysis Methodology (EIQ)

ในการวิเคราะห์การหาค่าความถี่นั้นเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่จะทำให้ทราบได้ว่าในออเดอร์ที่เกิดขึ้นภายใน 13 เดือนที่ได้ข้อมูลมาจากผู้ประกอบการนั้นมีความถี่ในการหยิบออเดอร์เป็นจำนวนเท่าไหร่ การวิเคราะห์หาความถี่โดยใช้ EIQ Analysis Methodology โดยมีรหัสข้อมูลสินค้าซึ่งมีทั้งหมด 304 รายการ และเลขที่เอกสารที่เกิดจากการสั่งซื้อภายใน 13 เดือน และมี Order Quantity คือจำนวนผลรวมที่เกิดขึ้นจากการสั่งซื้อใน 1 ออเดอร์ของลูกค้าว่าเป็นจำนวนเท่าไร และมี Order Item Number คือผลรวมจากการสั่งซื้อของลูกค้าเกิดจากการนับจำนวนครั้งในการสั่งซื้อโดยที่ไม่สนใจว่าลูกค้าจะซื้อเป็นจำนวนเท่าไหร่ ในขณะที่ Item Entry Quantity เป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากการสั่งออเดอร์จากทุกๆ 1 รายการที่เกิดขึ้น และใน Item Entry Frequency เป็นผลลัพธ์ที่เหมือนกับ Item Entry Quantity แต่จะนับแค่ทุกๆออเดอร์เป็น 1 ครั้งเท่านั้น ซึ่งจะเห็นว่า ผลรวมของ Order Quantity เท่ากับ Item Entry Quantity นั้นคือเท่ากับ 223,405 ชิ้นต่อปี และผลรวม Order Item Number เท่ากับ Item Entry Frequency นั้นคือเท่ากับ 8,511 ครั้งต่อปี ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าความถี่เท่ากับ 8,511 ครั้งต่อปี ซึ่งการใช้ EIQ Analysis Methodology เข้ามาช่วยวิเคราะห์เพื่อให้ได้ความแม่นยำ เพื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ในการจัดกลุ่มสินค้าตามแบบ ABC Analysis ในลำดับต่อไปได้

3.3.3 การวิเคราะห์ค่าแรงในการทำงานของพนักงาน

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้จัดทำได้มีการวิเคราะห์ในด้านต้นทุนเข้ามาด้วยเพื่อเปรียบเทียบค่าใช้ที่เกิดขึ้นก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับ โดยมีรายละเอียดข้อมูลมาจากผู้ประกอบการ จากภาพสามารถอธิบายได้ว่าระยะทางก่อนทำการปรับปรุงมีระยะทางรวม 518,197.5 เมตรต่อปี โดยมีชั่วโมงการทำงานทั้งหมดเมื่อรวมกับชั่วโมงการจ้าง OT แล้วจะอยู่ที่ 2,512+1,053 = 3,565 ชั่วโมงต่อปี และเมื่อรวมเป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ผู้ประกอบการต้องจ่ายในการจ้างพนักงานเมื่อรวมเงินเดือนปกติกับค่าใช้จ่ายล่วงเวลา OT จะอยู่ที่ 156,000 + 65,286 = 221,286 บาทต่อปี โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 1 บาทต่อออเดอร์ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนและเวลาการทำงาน

3.3.4 การใช้ Storage assignment location model เข้ามาปรับปรุงการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้า

ในการแก้ปัญหาครั้งนี้ผู้จัดทำได้มีการนำ Storage assignment location model เข้ามาช่วยปรับปรุงการการจัดวางสินค้าเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม ผลลัทธ์ที่มีการปรับปรุงโดยใช้ตัวแบบเชิงสมการ โดยใช้เครื่องมือ Solver ใน Microsoft Excel มีการกำหนดเงื่อนไขและเป้าหมายในการแก้ไขปัญหาตำแหน่งการจัดวางอย่างเหมาะสมและนำผลลัพธ์ไปทำการวิเคราะห์ในส่วนถัดไป

3.4 ทดลองสร้างแบบจำลองภายในคลังสินค้าเพื่อวัดผลการปรับปรุงใหม่

ในการทดลองหาคำตอบนั้นได้มีขั้นตอนกระบวนการทำดังนี้

1.วิเคราะห์หาความถี่ที่เกิดขึ้นในทุกๆออเดอร์ภายใน 13 เดือน จำนวน 8,511 ครั้งต่อปี โดยใช้ EIQ เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์จัดกลุ่มแบบ ABC Analysis ต่อไป

2.นำค่าความถี่ที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์จัดกลุ่มแบบ ABC Analysis โดยเรียงตามความถี่และมูลค่ายอดขายของสินค้า เพื่อแยกกลุ่มของชนิดสินค้า

3.จำลองการจัดวางตำแหน่งในแผนผังเพื่อเปรียบเทียบผลก่อนกับหลังจัดกลุ่ม ABC Analysis

4.ใช้ตัวแบบเชิงสมการมาช่วยวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือ Solver ใน Microsoft Excel และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ในส่วนถัดไป

4.ผลการวิเคราะห์จากการทดลอง

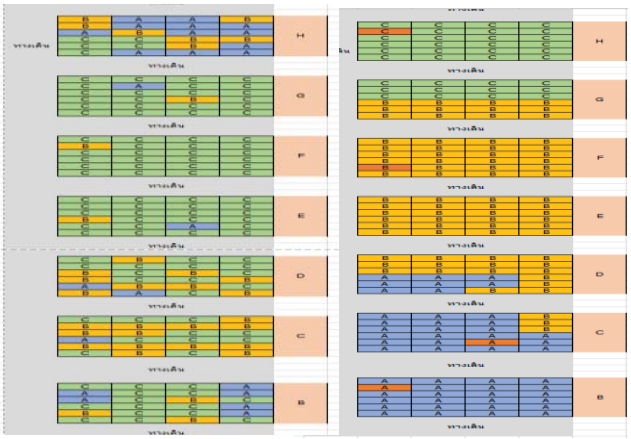
ในการทดลองในครั้งนี้ผู้จัดทำได้แบ่งการทำงานออกเป็น 4 กระบวนการ เพื่อสรุปผลการทดลอง ดังนี้

4.1 การจัดเรียงสินค้าตามแบบเดิม

สินค้าภายในโซนอาหารมีจำนวนทั้งหมด 304 รายการโดยมีส่วนที่ 1 คือการเรียง Location เริ่มตั้งแต่ B01 ไปจนถึง N16 ส่วนที่ 2 คือ ค่าความถี่ที่วิเคราะห์ออกมาจาก EIQ และในส่วนสุดท้ายคือการเรียงสินค้าตามกลุ่ม ABC ตามมูลค่ายอดขาย ซึ่งทำให้เห็นได้ว่าสินค้ากลุ่ม A นั้นมีการกระจายการจัดเก็บอยู่ทั่วคลังสินค้าแต่ในทางกลับกันสินค้ากลุ่ม C กระจายอยู่ตามด้านหน้าคลังสินค้า เพื่อให้มีความเข้าใจที่ง่ายขึ้นผู้จัดทำได้มีการทำตารางในการวิเคราะห์เพื่อหาระยะทางรวมทั้งหมดจากการจัดวางสินค้าในรูปแบบเดิม ดังแสดงในรูปที่ 7

4.2 การจัดเรียงสินค้าตาม ABC Analysis

หลังจากการทดลองปรับปรุงโดยการสร้างแบบจำลองขึ้นมาใหม่ พบว่าสินค้าที่มีมูลค่ามากสินค้าชนิด A ได้ย้ายมาอยู่ทางด้านหน้าคลังสินค้าแล้ว โดยให้สีน้ำเงินแทนสินค้าชนิด A สีเหลืองแทนสินค้าชนิด B และสีเขียวแทนสินค้าชนิด C แต่ในส่วนของความถี่ในการหยิบสินค้าต่อปีนั้น



รูปที่ 7 แบบจำลองก่อนการปรับปรุง (ซ้าย) และหลังการปรับปรุงด้วยหลักการวิเคราะห์ ABC Analysis

พบว่าสินค้าที่มีความถี่ในหยิบมาก ยังมีการกระจายตัวออกไปอยู่ในกลุ่มสินค้าชนิดอื่น แต่จะเห็นได้ว่าการจัดเรียงสินค้าตามแบบ ABC ทำให้ระยะทางรวมทั้งหมดลดลงจากแบบเดิม ซึ่งทำให้ระยะทางที่ใช้ในการหยิบลดลงไปได้ถึง 138,987 เมตร/ปี คิดเป็น 27 % จากเดิมที่มีระยะทาง 518,197.5 เหลือเพียง 379,210.5 เมตรต่อปี รูปที่ 8 และ 9 แสดงผลระยะทางก่อนและตำแหน่งจัดเก็บก่อนการปรับปรุง และระยะทางและตำแหน่งจัดวางหลังการปรับปรุง

LOCATION	DISTANCE	SKU	Freq	CLASS	TOTAL
B01	28.5	BA-A1-000	5	C	142.5
B02	28.5	BA-A5-000	42	B	1197
B03	28.5	BA-B1-000	19	C	541.5
B04	29.5	BA-B5-000	15	C	442.5
B05	29.5	BA-E1-000	4	C	118
B06	29.5	BA-F1-000	5	C	147.5
B07	30.5	BA-G6-002	18	C	549
B08	30.5	BA-G6-003	9	C	274.5
B09	30.5	BA-G6-004	23	B	701.5
B10	31.5	BA-H1-000	43	A	1354.5
B11	31.5	BA-H6-000	47	A	1480.5
B12	31.5	BA-H8-000	5	C	157.5
B13	32.5	BA-I1-000	53	A	1722.5
B14	32.5	BA-I6-000	57	A	1852.5
B15	32.5	BA-I8-000	7	C	227.5
C01	32.5	BA-L6-003	102	A	3315
C02	32.5	BA-L6-004	26	B	845
C03	32.5	BA-L6-005	10	C	325
B16	33.5	BA-J6-001	1	C	33.5
B17	33.5	BA-K6-001	3	C	100.5
B18	33.5	BA-K6-002	6	C	201
C04	33.5	BA-L6-006	11	C	368.5
C05	33.5	BA-M1-001	18	B	603
N16	83.5	OC-A9-002	5	C	417.5
Total distance					518,197.50

รูปที่ 8 ระยะทางทั้งหมดและตำแหน่งจัดเก็บก่อนการปรับปรุงโดยการประยุกต์ใช้เทคนิค ABC Analysis

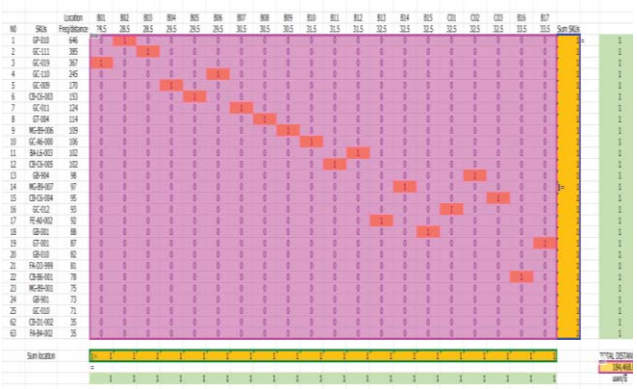
4.3 การปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางโดยใช้ตัวแบบ Storage assignment location model

LOCATION CODE	DISTANCE	Sku	Freq	CLASS	SALE
B01	28.5	GC-A6-999	69	A	949,738.23
B02	28.5	GC-111	385	A	867,216.98
B03	28.5	FA-D3-999	81	A	767,551.52
B04	29.5	GC-110	245	A	591,301.37
B05	29.5	GP-010	646	A	496,503.12
B06	29.5	GC-A6-000	106	A	360,598.24
B07	30.5	GC-B6-999	67	A	338,467.36
B08	30.5	GC-010	71	A	238,412.34
B19	34.5	MG-B9-007	97	A	107,122.73
B20	34.5	GB-904	98	A	105,640.63
B21	34.5	BA-L6-003	102	A	105,350.02
C07	34.5	CB-D1-001	68	A	98,770.43
C08	34.5	CA-K1-999	4	A	91,457.94
D03	36.5	BA-H6-000	47	A	65,603.83
C16	37.5	BA-I6-000	57	A	64,876.70
C17	37.5	GC-C1-999	16	A	58,962.61
C18	37.5	GC-C1-007	21	A	58,427.28
D04	37.5	CB-B6-003	48	A	58,409.60
D05	37.5	CB-B6-002	62	A	57,874.96
D06	37.5	FA-A3-999	12	A	57,800.97
C19	38.5	BD-C7-000	36	A	57,148.15
C20	38.5	MG-B9-001	75	A	53,751.43
C21	38.5	BE-A5-000	29	A	52,931.53
D07	38.5	BA-L6-002	45	A	51,329.93
D08	38.5	GB-A4-999	11	A	49,485.97
D09	38.5	CB-001	3	B	46,878.60
G13	52.5	BA-L6-005	10	C	12,253.27
N16	83.5	MG-B9-009	13	C	0
Total distance					379,210.50

รูปที่ 9 ระยะทางทั้งหมดและตำแหน่งจัดเก็บหลังการปรับปรุงโดยการประยุกต์ใช้เทคนิค ABC Analysis

ทำการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์และหาคำตอบที่ดีที่สุดจาก Open Solver เริ่มจากผลรวมของระยะทางและความถี่ โดยนำระยะทางมาคูณกับความถี่ให้ทำแบบนี้ไปจนครบทุกตัวจากนั้นจะมีการทำตารางไว้อีก 1 ตารางในด้านล่าง ร่างไว้เพื่อใช้ในการ Solver หาผลลัพธ์ในการจัดวางตำแหน่งสินค้าโดย Excel Solver จะมีการ Generate ข้อมูลออกมาในรูปแบบ 0,1 เท่านั้นหรือ Binary ซึ่งถ้ามีผลลัพธ์เท่ากับ 1 แสดงว่า SKU (Stock Keeping Unit) นั้นจะถูกกำหนดให้อยู่ในชั้นนั้น แต่ถ้าผลลัพธ์เท่ากับ 0 แสดงว่า SKU นั้นไม่ถูกจัดเก็บในชั้นนั้น ดังแสดงในรูปที่ 10

จากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าสินค้าแต่ละ SKU ถูกวางไว้ในชั้นเรียบร้อย ผู้จัดทำได้ทำการสร้างตารางไว้อีก 3 ตาราง เพื่อแยกสินค้าแต่ละกลุ่ม โดยมีการแบ่งสินค้าตามกลุ่ม ABC เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของแต่ละกลุ่มนั้นๆ โดยใช้เครื่องมือ Excel open solver เมื่อทำการ Solver เพื่อหาผลลัพธ์ออกมาแล้วทำให้ทราบถึงระยะทางที่ลดลงของแต่ละกลุ่มซึ่งมี A B C ซึ่งได้ผลลัพธ์เท่ากับ 184,468 100,347 และ 50,482.50 เมตรต่อปีตามลำดับ ซึ่งทำให้ผลรวมของระยะทางทั้งหมดลดลงเหลือเพียง 335,297.5 เมตรต่อปี



รูปที่ 10 การใช้ Excel solver เพื่อหาผลลัพธ์ในการวางสินค้ากลุ่ม A

5.สรุปผลการวิจัย

จากผลการเปรียบเทียบการปรับปรุงทั้ง 3 แบบ พบว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์นั้นให้ผลรวมของระยะทางที่สั้นที่สุดโดยมีระยะทางเหลือเพียง 335,297.5 เมตรต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 2 และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ระยะทางรวมทั้ง 3 รูปแบบ

แบบเดิม	แบบ ABC	แบบ SLAP
518,197.5 เมตร/ปี	379,210.5 เมตร/ปี	**335,297.5 เมตร/ปี**

1. ด้านระยะทาง สามารถสรุปได้ว่าระยะทางหลังการปรับปรุงลดลงเหลือเพียง 335,297.50 เมตรต่อปี จากเดิมระยะทาง 518,197.5 เมตรต่อปี โดยลดลงคิดเป็น 35%

2. ด้านชั่วโมงในการทำงานทั้งหมด พบว่าชั่วโมงการทำงานลดลงจาก 3,565 เหลือเพียง 2,306.72 ชั่วโมงต่อปี

3. ชั่วโมงการทำ OT ชั่วในการจ้างงานพนักงานในการทำงานล่วงเวลาลดลงจากเดิม 1,053 เหลือเพียง 764.89 ชั่วโมงต่อปี

4. ด้านค่าใช้จ่าย OT ก่อนทำการปรับปรุงค่าใช้จ่ายด้าน OT อยู่ที่ 65,286 บาทต่อปี เมื่อมีการปรับปรุงแล้วค่าใช้จ่ายด้าน OT ลดลงเหลือเพียง 47,422.98 บาทต่อปี

5. ด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด พบว่าค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ส่งผลกระทบกับผู้ประกอบการนั้นหลังทำการปรับปรุงมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงเหลือเพียง 203,422.98 บาทต่อปี จากเดิมนั้นค่าใช้จ่ายทั้งหมดจะอยู่ที่ 221,286 บาทต่อปี โดยคิดเป็นสัดส่วนที่ลดลง 8%

ข้อเสนอแนะและการประยุกต์ใช้

1. พัฒนาตัวแบบ Simulation เพื่อจำลองสถานการณ์จริงในการเดินหยิบสินค้าจากรายการออเดอร์ใหม่ และออกแบบกระบวนการต่างๆในระบบจริง เพื่อพิสูจน์ว่าผลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ได้จริง และมีประสิทธิภาพจริงตามที่ได้วิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างด้วยหลักการทางสถิติ ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจและทางผู้วิจัยจะทำการพัฒนาในลำดับต่อไป

2. ในปัจจุบัน ทางกรณีศึกษายังใช้ระบบการหยิบสินค้าแบบ manual ดังนั้นเพิ่มเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการหยิบสินค้าของพนักงาน ในด้านของความรวดเร็วและความถูกต้อง เป็นต้น ทางบริษัทกรณีศึกษาควงวางแผนจัดอบรม และฝึกฝนทักษะพนักงาน เช่น การออกแบบรายการหยิบสินค้าด้วยวิธีรวมรายการสินค้า (Batch-Order Picking) เป็นต้น นอกจากนั้นการพิจารณานำเทคโนโลยี เช่น Pick to light และ Barcode scanner เป็นต้น เข้ามาช่วยพนักงานจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้มากขึ้น ซึ่งต้องทำการพิจารณาถึงความเหมาะสมและความคุ้มค่าในลำดับต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, ประโยชน์ของคลังสินค้า, ข้อมูลจาก https://e-journal.dip.go.th/th (วันที่สืบค้นข้อมูล 5 มกราคม 2565)

[2] ภัสฐนันท์ ชาติมนตรี. 2559. การเพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่จัดเก็บสินค้าในระหว่างกระบวนการผลิต, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์มหาวิทยาลัยบูรพา

[3] A. Pongsathornwiwat and K. Lawhawichitsak, “Applying a two-stage clustering- assignment model for an item- associated product family warehouse storage location problem ”, TJOR, vol. 9, no. 1, pp. 92-105, Jun. 2021.

[4] Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2008). Warehouse & Distribution Science: Release 0.89. Atlanta: Supply Chain and Logistics Institute.

[5] A. Pongsathornwiwat and A. Ubonsai, “Use of Association Rules Bases Storage Assignment Location for Improving Class-Based Warehouse Design: Case Study A Packaging Company”, TJOR, vol. 9, no. 2, pp. 21-35, Aug. 2021.

[6] เมธินี ศรีกาญจน์ และชุมพล มณฑาทิพย์กุล. 2555. การปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า: กรณีศึกษาบริษัทศรีไทยซุปเปอร์แวร์จำกัด (มหาชน) สาขาสุขสวัสดิ์. WMS

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตภายใต้การหยุดชะงักและการเสริมกำลัง

An integer linear programming model for a capacitated facility location problem under disruption and fortification

ดวงสมร หาญณรงค์[1*] เอื้ออารี บุญเพิ่ม[1]
[1]สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: duangsamorn.harn@dome.tu.ac.th*

Duangsamorn Harnnarong[1*], Aua-aree Boonperm[1]
[1] Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University
E-mail: duangsamorn.harn@dome.tu.ac.th *

บทคัดย่อ

ปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตเป็นปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งภายใต้ข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต โดยจะพิจารณาการส่งสินค้าจากโรงงานถึงมือลูกค้า ในบางสถานการณ์ อาจมีเหตุการณ์ที่ทำให้ไม่สามารถส่งสินค้าถึงลูกค้าได้ สถานการณ์นี้เรียกว่าสถานการณ์การหยุดชะงัก การป้องกันไม่ให้เกิดการหยุดชะงักดังกล่าวสามารถทำได้โดยการเสริมกำลังให้กับสถานที่ตั้ง ดังนั้น การแก้ปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตเมื่อเกิดการหยุดชะงักและการเสริมกำลังจึงเป็นปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงนำเสนอแบ บจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อแก้ปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตเมื่อเกิดการหยุดชะงักและการเสริมกำลัง โดยแบบจำล องที่นำเสนอนี้ได้รับการพัฒนาโดยการแปลงแบบจำลองไม่เชิงเส้นให้เป็นแบบจำลองเชิงเส้นเพื่อหาผลเฉลยที่เหมาะที่สุด และเมื่อทดสอบแบบจำลองกับปัญหาขนาดเล็กที่จำลองขึ้นด้วยโปรแกรม CPLEX พบว่าผลลัพธ์จากแบบจำลองที่ได้นำเสนอนั้นมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการแก้ปัญหาด้วยขั้นตอนวิธีฮิวริสติกและสามารถแก้ได้ในเวลาที่เหมาะสม

คาสาคัญ: ปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต, กำหนดการไม่เชิงเส้นเชิงจำนวนเต็ม, กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม, การทำให้เป็นเชิงเส้น

Abstract

A capacitated facility location problem is a variant of the facility location problem under capacity constraints. It will consider the delivery of goods from the facility to the customer. In some situations, there may be an incident that prevents the delivery of the product to the customer. This situation is known as a disruption scenario. Preventing such a disruption from occurring can be done by fortifying the facility. Therefore, solving the facility location of disruption and fortification is a more complex problem. As a result, in this paper, an integer linear programming model to address the capacitated facility location problem of disruption and fortification is proposed. The proposed model is developed by converting the nonlinear model into a linear model to find the optimal solution. In the experimental results, the small simulated problems were solved using the CPLEX program. The results presented that the optimal value obtained from the proposed model were less costly than the heuristic method and could be solved in a reasonable time.

Keywords: Capacitated facility location problem, Integer nonlinear programming, Integer linear programming, Linearization

1. บทนำ

ปัญหาสถานที่ตั้ง (facility location problems : FLPs) เป็นปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งของสิ่งก่อสร้างหรือสถานที่ให้บริการ เช่น ที่ตั้งโรงงาน ศูนย์กระจายสินค้า หรือ คลังสินค้า เป็นต้น โดยปัญหาสถานที่ตั้งเป็นปัญหาที่ต้องการหาค่าที่เหมาะที่สุดของวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น ระยะทางในการขนส่งที่สั้นที่สุด หรือ ต้นทุนในการจัดส่งที่ต่ำที่สุด โดยปัญหาสถานที่ตั้งจะถูกแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ ปัญหาสถานที่ตั้งที่ไม่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต (uncapacitated facility location problems : UFLPs) และ ปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต (capacitated facility location problems : CFLPs) ซึ่งในปี 1983 Cornuéjols และคณะ [1] ได้นำเสนอปัญหาสถานที่ตั้งที่ไม่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต ซึ่งในงานวิจัยนี้มีนักวิจัยนำไปศึกษาต่อมากมาย

สำหรับปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต จะเป็นปัญหาที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตสินค้า ซึ่งปัญหานี้ต้องพิจารณาถึงความต้องการซื้อของลูกค้าและปริมาณสินค้าที่สามารถผลิตได้ร่วมกัน โดยงานวิจัยที่เกี่ยวกับปัญหา CFLPs ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง เช่น Melkote และ Daskin [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตภายใต้เงื่อนไขการผลิตสินค้าตามความต้องการของลูกค้า หรืองานวิจัยของ Ozen และคณะ [3] ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความเสี่ยงของการจัดตั้งสถานที่ให้บริการในปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตโดยนำเสนอวิธีการผ่อนปรนปัญหาแบบลากรานจ์ (Lagrangian relaxation) ในการแก้ปัญหา

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำเสนอขั้นตอนวิธีฮิวริสติกในการแก้ปัญหา เช่น Thanh และคณะ [4] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต (Branch and Bound algorithm) ในการแก้ปัญหาการออกแบบและวางแผนการผลิตของปัญหาสถานที่ตั้ง และ Rahmaniani [5] ได้นำเสนอวิธีการค้นหาคำตอบในย่านใกล้เคียงแบบแปรผัน (Variable neighborhood search: VNS) เพื่อแก้ปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต อีกทั้งยังมีงานวิจัยของ Bruno และคณะ [6] ซึ่งนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาสถานที่ตั้งเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการพิจารณาตำแหน่งที่ตั้ง

อีกหนึ่งปัญหาที่สำคัญที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัญหาสถานที่ตั้ง คือการหยุดชะงัก (disruption) สำหรับการเกิดการหยุดชะงัก คือ การเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้ไม่สามารถจัดส่งสินค้าไปยังลูกค้าได้ ซึ่งอาจเกิดจากภัยธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม แผ่นดินไหว หรืออาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การก่อการร้าย หรือ การเปลี่ยนเจ้าของกิจการ ซึ่งการหยุดชะงักของสถานที่ให้บริการเป็นหัวข้อที่ได้รับการศึกษาเป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปแล้วการแก้ปัญหาของการหยุดชะงักจะเป็นการหาเส้นทางการจัดส่งสำรอง ในกรณีที่เส้นทางการจัดส่งหลักไม่สามารถใช้งานได้นั่นคือเส้นทางการจัดส่งหลักเกิดการหยุดชะงัก หรือ การกำหนดสถานที่ให้บริการสำรอง ในกรณีที่สถานที่ให้บริการหลักไม่สามารถใช้งานได้ หรือ การเสริมกำลังให้กับสถานที่ให้บริการเพื่อป้องกันการหยุดชะงักของสถานที่ให้บริการ

สำหรับงานวิจัยแรกที่เกี่ยวกับการหยุดชะงักได้เริ่มในปี 1987 โดย Drenzer [7] ได้ทำการศึกษาการสร้างแบบจำลองเกี่ยวกับการหยุดชะงักในห่วงโซ่อุปทาน โดยได้นำความน่าจะเป็นของการหยุดชะงักของโรงงานที่ไม่สามารถใช้งานได้เข้ามาร่วมพิจารณาในแบบจำลอง สำหรับงานวิจัยของปัญหาสถานที่ตั้งที่มีการหยุดชะงักได้รับความสนใจและถูกศึกษาอย่างมากมาย เช่น Li และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาปัญหาสถานที่ตั้งที่ไม่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตที่มีการหยุดชะงักและมีการเสริมกำลังของสถานที่ตั้งโดยนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก คือ วิธีผ่อนปรนปัญหาแบบลากรานจ์ (Lagrangian relaxation based : LR) ต่อมา Ramshani และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาสถานที่ตั้งที่ไม่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตแบบสองระดับที่มีการหยุดชะงักโดยทำการสร้างแบบจำลองไม่เชิงเส้นเพื่อแก้ปัญหาการหยุดชะงักด้วยการพิจารณาการจัดส่งสินค้าด้วยเส้นทางสำรองและนำเสนอขั้นตอนวิธีฮิวริสติกในการแก้ปัญหา ถัดมา Afify และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาเรื่องการพัฒนาแบบจำลองของปัญหาสถานที่ตั้งที่มีการหยุดชะงักโดยจะทำการพิจารณาทั้งปัญหาที่มีข้อจำกัดและไม่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต ถัดมาในปี 2021 Afify และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตที่มีการหยุดชะงักและมีการเสริมกำลังให้กับสถานที่ให้บริการ โดยมุ่งเน้นไปที่การเสริมกำลังให้กับสถานที่ให้บริการที่เกิดการหยุดชะงักเพื่อลดการใช้บริการสถานที่ให้บริการสำรอง โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงจำนวนเต็มไม่เชิงเส้นและนำเสนอการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกโดยใช้วิธีการแยกเชิงเส้นซึ่งจะแก้ปัญหาสองแบบจำลอง ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้จะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับปัญหาสถานที่ตั้งในสถานการณ์ปกติ

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าปัญหาสถานที่ตั้งที่มีการพิจารณาการเกิดการหยุดชะงักเป็นปัญหาที่น่าสนใจ และนักวิจัยพยายามนำเสนอวิธีการในการแก้ปัญหา ซึ่งวิธีการส่วนใหญ่ที่นำเสนอจะเป็นการนำเสนอแบบจำลองไม่เชิงเส้นและการแก้ปัญหาด้วยขั้นตอนวิธีฮิวริสติก ซึ่งยังไม่มีงานวิจัยที่มุ่งเน้นในการหาผลเฉลยที่เหมาะที่สุดของปัญหา ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงต้องการนำเสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงจำนวนเต็มเพื่อแก้ปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตเมื่อพิจารณาการเกิดการหยุดชะงักและต้องมีการเสริมกำลังให้กับสถานที่ตั้งที่เกิดการหยุดชะงัก โดยแบบจำลองที่นำเสนอนี้ได้นำแบบจำลองไม่เชิงเส้นของ Afify และคณะ [11] มาทำให้เป็นแบบจำลองเชิงเส้นเพื่อหาผลเฉลยที่เหมาะที่สุดและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีฮิวริสติก โดยในบทความนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองไม่เชิงเส้นของ Afify และคณะ [11] และตามด้วยแบบจำลองที่ถูกทำให้เป็นเชิงเส้นหลังจากนั้น ผู้วิจัยจะทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรม CPLEX และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับเทคนิควิธีการแยกเชิงเส้นของ Afify และคณะ [11] และในส่วนสุดท้ายจะเป็นการสรุปผลการศึกษา

2. ความรู้เบื้องต้น

เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นการพิจารณาปัญหาสถานที่ตั้งที่จะเกิดการหยุดชะงัก ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันที่จะทำให้ไม่เกิดการหยุดชะงัก โดยจะเรียกการป้องกันนี้ว่าการเสริมกำลัง เช่น การเพิ่มงบประมาณเพื่อเพิ่มระบบรักษาความปลอดภัย การจ้างคนงานเพิ่ม หรือ การมีงบประมาณเสริมเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตสินค้า ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะนำเสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงจำนวนเต็มไม่เชิงเส้นของปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตแบบที่มีการหยุดชะงัก โดยจะพิจารณาถึงการเสริมกำลังให้กับสถานที่ให้บริการหลัก โดยแบบจำลองนี้ได้อ้างอิงมาจากแบบจำลองของ Afify และคณะ [11] และแบบจำลองนี้มีสมมติฐานดังนี้

- สถานที่ให้บริการต้องมีข้อจำกัดด้านปริมาณการผลิต
- ถ้าสถานที่ให้บริการเกิดความล้มเหลวหรือหยุดชะงัก กำลังการผลิตจะสูญเสียไปตามสัดส่วนของค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลว
- ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลวของสถานที่ให้บริการแต่ละแห่งจะเป็นอิสระต่อกัน
- ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเสริมกำลังจะต้องถูกกำหนดเป็นค่าคงที่
- ลูกค้าแต่ละรายจะต้องได้รับสินค้าจากทั้งสถานที่ให้บริการหลักและสถานที่ให้บริการสำรอง ยกเว้นในกรณีที่สถานที่ให้บริการหลักได้รับการเสริมกำลังซึ่งจะทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลวเท่ากับ 0 ทำให้ลูกค้าจะได้รับสินค้าจากสถานที่ให้บริการหลักเท่านั้น

สำหรับแบบจำลองกำหนดการเชิงจำนวนเต็มไม่เชิงเส้นประกอบด้วย เซต พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจ ดังนี้

กำหนดให้ I และ J แทนเซตของลูกค้าและเซตของสถานที่ที่ให้บริการตามลำดับ

พารามิเตอร์		
F_j	แทน	ค่าใช้จ่ายในการจัดตั้งสถานที่ให้บริการแห่งที่ j
c_{ij}	แทน	ค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสินค้าจากสถานที่ให้บริการแห่งที่ j ไปยังลูกค้ารายที่ i
d_i	แทน	ความต้องการซื้อของลูกค้ารายที่ i
q_j	แทน	ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการหยุดชะงักของสถานที่ให้บริการแห่งที่ j โดยที่ $0 \le q_j \le 1$
cap_j	แทน	กำลังการผลิตของสถานที่ให้บริการแห่งที่ j
fc_j	แทน	ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเสริมกำลังของสถานที่ให้บริการแห่งที่ j

ตัวแปรตัดสินใจ

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{เมื่อสถานที่ให้บริการแห่งที่ } j \text{ ถูกจัดตั้ง} \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

ตัวแปรตัดสินใจ

$$y_{ij0} = \begin{cases} 1, & \text{เมื่อลูกค้ารายที่ } i \text{ ได้รับสินค้าจากสถานที่ให้บริการหลักแห่งที่ } j \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$y_{ij1} = \begin{cases} 1, & \text{เมื่อลูกค้ารายที่ } i \text{ ได้รับสินค้าจากสถานที่ให้บริการสำรองแห่งที่ } j \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$z_j = \begin{cases} 1, & \text{เมื่อสถานที่ให้บริการแห่งที่ } j \text{ ได้รับการเสริมกำลัง} \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

โดยแบบจำลองกำหนดการเชิงจำนวนเต็มไม่เชิงเส้นสำหรับปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตที่มีการหยุดชะงักและได้รับการเสริมกำลังสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\min \quad \sum_{j\in J} F_j x_j + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\Big[c_{ij} y_{ij0}\left(1-q_j\left(1-z_j\right)\right) + c_{ij} y_{ij1} \sum_{\substack{r\in J \\ r\neq j}} y_{ir0} q_r \left(1-z_r\right)\Big] \tag{1}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j\in J} y_{ij0} = 1 \quad \forall i \in I \tag{2}$$

$$\sum_{j\in J} y_{ij1} = 1 \quad \forall i \in I \tag{3}$$

$$y_{ij0} + y_{ij1} \le x_j \quad \forall i \in I, j \in J \tag{4}$$

$$z_j \le x_j \quad \forall j \in J \tag{5}$$

$$\sum_{i\in I}\left[d_i\left(1-q_j\right) y_{ij0} + d_i q_j y_{ij1}\right] \le \left(1-q_j\right) cap_j \quad \forall j \in J \tag{6}$$

$$\sum_{j\in J} fc_j z_j \le B \tag{7}$$

$$x_j, z_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \tag{8}$$

$$y_{ij0}, y_{ij1} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \tag{9}$$

จากแบบจำลองข้างต้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) แสดงให้เห็นถึงฟังก์ชันที่ต้องการหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่จะพิจารณาถึงการจัดตั้งสถานที่ให้บริการ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการจัดส่งสินค้าไปยังลูกค้าจากสถานที่ให้บริการหลักและสถานที่ให้บริการสำรองโดยพิจารณาถึงความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลวของสถานที่ให้บริการ เงื่อนไขที่ (2) และ (3) แสดงให้เห็นว่าลูกค้าจะต้องได้รับสินค้าจากสถานที่ให้บริการหลักและสถานที่ให้บริการสำรองเพียงแห่งเดียวเท่านั้น เงื่อนไขที่ (4) ทำให้มั่นใจได้ว่าจะมีการจัดส่งสินค้าจากทั้งสถานที่ให้บริการหลักและสถานที่ให้บริการสำรองไปยังลูกค้าถ้าสถานที่ให้บริการถูกจัดตั้ง เงื่อนไขที่ (5) แสดงให้เห็นว่าจะเสริมกำลังให้กับสถานที่ให้บริการที่ถูกจัดตั้งเท่านั้น เงื่อนไขที่ (6) แสดงให้เห็นว่าความต้องการซื้อของลูกค้าต้องไม่เกินกำลังการผลิตของสถานที่ให้บริการ เงื่อนไขที่ (7) แสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเสริมกำลังจะต้องไม่เกินงบประมาณที่มีอยู่ เงื่อนไขที่ (8) และ (9) แสดงให้เห็นถึงตัวแปรทวิภาคที่ใช้ในแบบจำลองนี้

สำหรับการแก้ปัญหานี้ Afify และคณะ [11] ได้นำเสนอขั้นตอนการแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิควิธีการแยกเชิงเส้น (Separation Linearization Technique : SLT) ซึ่งจะแก้ปัญหาสองแบบจำลอง นั่นคือ แบบจำลองแรกจะพิจารณาการจัดตั้งสถานที่ให้บริการโดยไม่คำนึงถึงการเสริมกำลัง และแบบจำลองที่สองจะทำการพิจารณาการเสริมกำลังให้กับสถานที่ให้บริการ โดยสร้างเป็นปัญหาถุงเป้ (Knapsack problem) เพื่อคัดเลือกสถานที่ให้บริการที่ต้องการเสริมกำลัง ซึ่งการพิจารณาผลลัพธ์ของวิธีนี้จะพิจารณาจากการเพิ่มงบประมาณในการเสริมกำลังจนกระทั่งผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเท่ากับสถานการณ์ปกติ ดังนั้นเพื่อลดการทำงานของขั้นตอนวิธีและการหาผลเฉลยที่เหมาะที่สุดของปัญหา ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอแบบจำลองที่ถูกทำให้เป็นเชิงเส้นเพื่อหาผลเฉลยที่เหมาะที่สุดของปัญหา

3. การทำให้เป็นเชิงเส้นของแบบจำลอง

จากแบบจำลองไม่เชิงเส้นจะเห็นว่าในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) จะมีพจน์ของการคูณกันของตัวแปรตัดสินใจ นั่นคือ $y_{ij0}z_j$, $y_{ij0}y_{ij1}$ และ $y_{ir0}y_{ij1}z_r$ ซึ่งถ้าต้องการหาผลเฉลยที่เหมาะที่สุดของแบบจำลองนี้จะต้องใช้ขั้นตอนในการหาคำตอบที่มีความซับซ้อนและยุ่งยาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำเสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยการทำให้ฟังก์ชันไม่เชิงเส้นกลายเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นด้วยการกำหนดตัวแปรตัดสินใจใหม่ดังนี้ กำหนดให้

$$t_{ij} = y_{ij0}z_j \text{ เมื่อ } i \in I, j \in J \qquad (10)$$

โดยที่

$$t_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{เมื่อลูกค้ารายที่ } i \text{ ได้รับสินค้าจากสถานที่ให้บริการแห่งที่ } j \text{ และสถานที่ให้บริการแห่งที่ } j \text{ ได้รับการเสริมกำลัง} \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

จากสมการที่ (10) จะเห็นว่าค่าของตัวแปร t_{ij} จะขึ้นอยู่กับ y_{ij0} และ z_j นั่นคือ $t_{ij}=1$ ก็ต่อเมื่อ y_{ij0} และ z_j มีค่าเท่ากับ 1 เท่านั้น สำหรับกรณีอื่นๆ t_{ij} จะเท่ากับ 0 ดังนั้น $t_{ij} \in \{0,1\}$ และเพื่อให้ค่าของ t_{ij} สอดคล้องกับค่าของ y_{ij0} และ z_j จะต้องเพิ่มเงื่อนไขที่ (11) – (13) ดังนี้

$$t_{ij} \le y_{ij0} \quad \forall i \in I, j \in J \qquad (11)$$
$$t_{ij} \le z_j \quad \forall i \in I, j \in J \qquad (12)$$
$$y_{ij0} + z_j \le t_{ij} + 1 \quad \forall i \in I, j \in J \qquad (13)$$

จากเงื่อนไขที่ (11) – (13)

- ถ้า $z_j = 0$ หรือ $y_{ij0} = 0$ จะได้ว่า $t_{ij} \le 0$ หรือ $t_{ij} \le 0$ และเนื่องจาก $t_{ij} \in \{0,1\}$ ดังนั้น $t_{ij} = 0$
- ถ้า $z_j = 1$ และ $y_{ij0} = 1$ จะได้ว่า $t_{ij} \le 1$, และ $2 \le t_{ij} + 1$ เนื่องจาก $t_{ij} \in \{0,1\}$ ดังนั้น $t_{ij} = 1$ ซึ่งสอดคล้องกับค่าของ $y_{ij0}z_j$

นอกจากนี้ยังมีการกำหนดตัวแปรตัดสินใจเพิ่มอีกสองตัวแปร คือ $u_{ijr} = y_{ir0}y_{ij1}$ เมื่อ $i \in I, j, r \in J, r \ne j$ และ $v_{ijr} = y_{ir0}y_{ij1}z_r$ เมื่อ $i \in I, j, r \in J, r \ne j$

โดยที่

$$u_{ijr} = \begin{cases} 1, & \text{เมื่อลูกค้ารายที่ } i \text{ ได้รับสินค้าจากสถานที่ให้บริการหลักแห่งที่ } r \text{ และได้รับสินค้าจากสถานที่ให้บริการสำรองแห่งที่ } j \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

และ

$$v_{ijr} = \begin{cases} 1, & \text{เมื่อลูกค้ารายที่ } i \text{ ได้รับสินค้าจากสถานที่ให้บริการหลักแห่งที่ } r \text{ และได้รับสินค้าจากสถานที่ให้บริการสำรองแห่งที่ } j \text{ และสถานที่ให้บริการหลักแห่งที่ } r \text{ ได้รับการเสริมกำลัง} \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

ในทำนองเดียวกันเราสามารถเพิ่มเงื่อนไขที่ (24) – (30) เพื่อให้ค่าของตัวแปรที่กำหนดสมมูลกับปัญหาเดิม

ดังนั้นแบบจำลองที่ถูกทำให้เป็นเชิงเส้น (a linearization model : LM) สามารถสรุปได้ดังนี้

$$\min \quad \sum_{j\in J} F_j x_j + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\Big[c_{ij}y_{ij0} - c_{ij}y_{ij0}q_j + c_{ij}t_{ij}q_j + \sum_{\substack{r\in J \\ r\ne j}} c_{ij}u_{ijr}q_r - c_{ij}v_{ijr}q_r\Big] \qquad (14)$$

s.t.
$$\sum_{j\in J} y_{ij0} = 1 \quad \forall i \in I \qquad (15)$$
$$\sum_{j\in J} y_{ij1} = 1 \quad \forall i \in I \qquad (16)$$
$$y_{ij0} + y_{ij1} \le x_j \quad \forall i \in I, j \in J \qquad (17)$$
$$z_j \le x_j \quad \forall j \in J \qquad (18)$$
$$\sum_{i\in I}\Big[d_i(1-q_j)y_{ij0} + d_i q_j y_{ij1}\Big] \le (1-q_j)cap_j \quad \forall j \in J \qquad (19)$$
$$\sum_{j\in J} fc_j z_j \le B \qquad (20)$$
$$t_{ij} \le y_{ij0} \quad \forall i \in I, j \in J \qquad (21)$$
$$t_{ij} \le z_j \quad \forall i \in I, j \in J \qquad (22)$$
$$y_{ij0} + z_j \le t_{ij} + 1 \quad \forall i \in I, j \in J \qquad (23)$$
$$u_{ijr} \le y_{ij1} \quad \forall i \in I, j, r \in J, r \ne j \qquad (24)$$
$$u_{ijr} \le y_{ir0} \quad \forall i \in I, j, r \in J, r \ne j \qquad (25)$$
$$y_{ij1} + y_{ir0} \le u_{ijr} + 1 \quad \forall i \in I, j, r \in J, r \ne j \qquad (26)$$
$$v_{ijr} \le y_{ij1} \quad \forall i \in I, j, r \in J, r \ne j \qquad (27)$$
$$v_{ijr} \le y_{ir0} \quad \forall i \in I, j, r \in J, r \ne j \qquad (28)$$
$$v_{ijr} \le z_r \quad \forall i \in I, j, r \in J, r \ne j \qquad (29)$$
$$y_{ij0} + y_{ij1} + z_r \le v_{ijr} + 2 \quad \forall i \in I, j, r \in J, r \ne j \qquad (30)$$
$$x_j, z_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \qquad (31)$$
$$y_{ij0}, y_{ij1}, t_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \qquad (32)$$
$$u_{ijr}, v_{ijr} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j, r \in J, r \ne j \qquad (33)$$

4. ผลลัพธ์เชิงคำนวณ

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอตัวอย่างการคำนวณเมื่อแก้ปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตที่มีการหยุดชะงักและมีการเสริมกำลัง โดยจำลองข้อมูลตัวอย่างที่มีลูกค้าจำนวน 10 รายและสถานที่ให้บริการจำนวน 5 แห่งซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ให้บริการแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลของสถานที่ให้บริการจำนวน 5 แห่ง

สถานที่ให้บริการ	ปริมาณการผลิต	ค่าใช้จ่ายในการจัดตั้ง	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลว	ค่าใช้จ่ายในการเสริมกำลัง
1	49	370	0.015	15,311
2	43	564	0.017	15,683
3	66	473	0.045	17,407
4	61	328	0.026	14,599
5	43	540	0.035	17,543

หมายเหตุ ค่าใช้จ่ายหน่วยเป็น $

สำหรับตารางที่ 2 เป็นข้อมูลที่แสดงถึงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการจัดส่งสินค้าจากสถานที่ให้บริการ 5 แห่งไปยังลูกค้าทั้ง 10 ราย (หน่วยเป็น $)

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสินค้าและความต้องการของลูกค้า

ลูกค้า	สถานที่ให้บริการ					ความต้องการซื้อของลูกค้า
	1	2	3	4	5	
1	45	44	30	24	24	25
2	28	45	18	38	10	25
3	31	47	16	27	39	20
4	28	25	14	13	44	23
5	18	15	27	34	43	26
6	19	26	49	48	37	10
7	43	48	38	20	36	26
8	38	41	46	22	43	13
9	13	35	22	19	30	13
10	24	42	36	44	46	23

โดยข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยได้อ้างอิงมาจากช่วงของข้อมูลตัวอย่างในงานวิจัยของ Afify และคณะ [11] โดยจะใช้แบบจำลองที่ถูกทำให้เป็นเชิงเส้นแล้วมาหาผลเฉลยด้วยโปรแกรม CPLEX คอมพิวเตอร์ 64 bit core i5-1137G7, with 8 GB RAM และนำผลลัพธ์ คือ ค่าใช้จ่าย และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา มาเปรียบเทียบกับการแก้ไขปัญหาด้วยวิธี SLT โดยใช้โปรแกรม CPLEX เช่นเดียวกัน โดยดำเนินการดังนี้

1. คำนวณค่าใช้จ่ายจากกรณีสถานการณ์ปกติ (คือสถานการณ์ที่ไม่มีการหยุดชะงัก หรือ $q = 0$)
2. คำนวณค่าใช้จ่ายจากกรณีสถานการณ์เกิดการหยุดชะงัก
3. กำหนดงบประมาณเสริมและทำการคำนวณค่าใช้จ่าย

สำหรับผลลัพธ์ของแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 3,4 และ 5 โดยค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้และสถานที่ให้บริการที่จะถูกจัดตั้งในสถานการณ์ปกติจะแสดงข้อมูลในตารางที่ 3 โดยจะเห็นว่าสถานที่ให้บริการแห่งที่ 1,3,4 และ 5 จะถูกจัดตั้ง

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ของแบบจำลองกรณีสถานการณ์ปกติ

สถานที่ให้บริการที่ถูกจัดตั้ง	1	3	4	5
ลูกค้าที่ถูกจัดสรร	5,6,9	3,4,10	1,7	2,8
ค่าใช้จ่ายโดยรวม	420	525	372	593

และมีใช้จ่ายทั้งหมดอยู่ที่ $1924 ซึ่งค่าใช้จ่ายที่ใช้ในสถานการณ์ปกติจะนำมาอ้างอิงในการพิจารณางบประมาณเสริมเพื่อที่จะเสริมกำลังในสถานการณ์ที่มีการหยุดชะงัก

โดยในตัวอย่างนี้จะมีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในสถานการณ์ที่มีการหยุดชะงักอยู่ที่ $1926.1 ซึ่งจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายจะเพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติ และเพื่อที่จะป้องกันการเกิดค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นในสถานการณ์ที่มีการหยุดชะงักจึงต้องมีการกำหนดงบประมาณเสริมเพื่อทำการเสริมกำลังเพิ่มขึ้นมา โดยจะมีค่าใช้จ่ายจากงบประมาณเสริมที่ใช้ในการเสริมกำลังดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 งบประมาณเสริมที่ใช้ในการเสริมกำลัง

วิธี	งบประมาณ	$fort.f$ *	ค่าใช้จ่าย	เวลา**
SLT	0	-	1926.1	1.30
	30000	1,4	1925.1	2.55
	50000	1,3,4	1924.2	2.57
	70000	1,3,4,5	1924	3.57
LM	0	-	1926.1	1.30
	30000	1,4	1925.1	1.66
	50000	1,3,4	1924.2	1.96
	70000	1,3,4,5	1924	2.23

หมายเหตุ * $fort.f$ คือ สถานที่ให้บริการที่ได้รับการเสริมกำลัง
**เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหามีหน่วยเป็นวินาที

จากตัวอย่างนี้จะเห็นว่าเวลาที่ใช้จากการแก้ปัญหาโดยวิธี LM จากแบบจำลองที่ทำให้เป็นเชิงเส้นในงานวิจัยนี้ จะเร็วกว่าการแก้ปัญหาโดยวิธี SLT สำหรับการเสริมกำลัง Afify และคณะ [11] ได้กล่าวไว้ว่าถ้าหากมองโดยการพิจารณาค่าใช้จ่ายต่อรอบ ต่อวัน ต่อสัปดาห์หรือเพียงการใช้จ่ายครั้งเดียวอาจดูไม่คุ้มค่า แต่หากในระยะยาวการเสริมกำลังให้กับสถานที่ให้บริการจะคุ้มค่ากว่าแน่นอน

เพื่อเปรียบเทียบการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองที่นำเสนอและวิธี SLT ผู้วิจัยได้ทดสอบการแก้ปัญหาในตัวอย่างที่มีขนาดเพิ่มขึ้นจำนวน 2 ตัวอย่าง คือปัญหาขนาด 20 และ 40 โหนด นั่นคือ กำหนดให้มีลูกค้าจำนวน 15 ราย สถานที่ให้บริการ 5 แห่ง และลูกค้าจำนวน 30 ราย สถานที่ให้บริการ 10 แห่ง โดยในโจทย์ที่ใช้ทดสอบทั้งหมดผลเฉลยของวิธี LM จะเป็นผลเฉลยที่เหมาะที่สุด (%gap=0)

ตารางที่ 5 สถานที่ให้บริการที่ถูกจัดตั้งและเวลาที่ใช้ในการคำนวณสำหรับสถานการณ์ที่มีการหยุดชะงัก

โหนด	ลูกค้า	สถานที่ให้บริการ	สถานที่ที่ถูกจัดตั้ง	งบ	สถานที่ที่ได้เสริมกำลัง		ค่าใช้จ่าย		เวลา* SLT	เวลา* LM
					SLT	LM	SLT	LM		
20	15	5	1,2,3,4	0	-	-	2163.2	2163.2	0.96	1.35
				30K	1	2	2162.5	2159	2.57	5.93
				70K	1,2,3	2,3,4	2157.2	2155.6	2.7	5.96
				90K	1,2,3,4	1,2,3,4	2155	2155	2.81	10.15
40	30	10	1,2,3,4,6,7, 8,9	0	-	-	4394.3	4394.3	29.94	25.51
				90K	2,4,6,7	3,4,6,8	4387.7	4385.9	59.47	3891.83
				120K	1,2,4,6,7	2,3,4,6,8	4387	4384	42.94	4022.78

หมายเหตุ *เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหามีหน่วยเป็นวินาที

ในตารางที่ 5 จะแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองที่นำเสนอโดยเทียบกับวิธี SLT ซึ่งจะแสดงถึงสถานที่ให้บริการที่จะถูกเสริมกำลังภายใต้งบประมาณที่แตกต่างกันและเวลาที่ใช้แก้ปัญหา ซึ่งจะเห็นว่าในกรณีที่ไม่มีการกำหนดงบประมาณเสริม เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจากตัวแบบจำลองที่ทำให้เป็นเชิงเส้นจะน้อยกว่าการแก้ปัญหาโดยใช้วิธี SLT แต่เมื่อมีการกำหนดงบประมาณเสริมเข้าไปจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจากแบบจำลองที่ทำให้เป็นเชิงเส้นจะมากกว่าวิธีการ SLT อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการแก้ปัญหาภายใต้งบประมาณที่แตกต่างกันค่าใช้จ่ายที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยใช้วิธี LM ของงานวิจัยนี้จะน้อยกว่าค่าใช้จ่ายจากการใช้วิธี SLT และเนื่องจากวิธี LM เป็นปัญหาที่ถูกทำให้เป็นเชิงเส้นซึ่งมีจำนวนตัวแปรเพิ่มขึ้นและมีเงื่อนไขบังคับเพิ่มขึ้นทำให้เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้การแก้ปัญหาทำได้ค่อนข้างช้า โดยจะเห็นว่าในปัญหาที่มี 40 โหนด เมื่อพิจารณางบประมาณ 90K ที่ใช้เวลาในการแก้ปัญหา 59.47 วินาทีและมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ $4387.7 นั้นจะมีค่า gap เท่ากับ 0.0684% แต่ใช้เวลาในการแก้ปัญหาน้อยกว่าวิธี LM ดังนั้นผู้ประกอบการหรือผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจสามารถพิจารณาว่าจะเลือกใช้วิธี LM ที่ใช้เวลานานในการแก้ปัญหาแต่ได้ค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า หรือ วิธี SLT ที่ใช้เวลาในการแก้ปัญหาสั้นกว่าและยอมรับค่า gap ที่ต่ำกว่า 1% ได้

5. สรุปผลการศึกษา

ในบทความวิจัยนี้ได้ศึกษาการแก้ปัญหาสถานที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตที่มีการหยุดชะงักโดยจะพิจารณาถึงการเสริมกำลังให้กับสถานที่ให้บริการ โดยนำเสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มซึ่งมีที่มาจากแบบจำลองไม่เชิงเส้น เพื่อหาผลเฉลยที่เหมาะที่สุดของปัญหา โดยจะเห็นว่าสำหรับปัญหาขนาดเล็กจะใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหาน้อยกว่าวิธี SLT แต่เมื่อปัญหามีขนาดเพิ่มขึ้นจะเห็นว่าแบบจำลองที่นำเสนอจะใช้เวลาในการแก้ปัญหามากกว่าวิธี SLT แต่อย่างไรก็ตามภายใต้การเสริมงบประมาณที่เท่ากับแบบจำลองที่นำเสนอจะให้ผลลัพธ์ที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีฮิวริสติก ดังนั้นในอนาคตผู้วิจัยจึงสนใจที่จะลดระยะเวลาในการแก้ปัญหาโดยจะพิจารณาการสร้างขั้นตอนวิธีฮิวริสติกและศึกษาในปัญหาที่มีขนาดใหญ่ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Cornuéjols, G., Nemhauser, G. L., Wolsey, L. A. (1983). The Uncapacitated Facility Location Problem. Technical report. Carnegie- mellon univ Pittsburgh PA management sciences research group.

[2] Melkote, S., & Daskin, M. S. (2001). Capacitated facility location/network design problems. European Journal of Operational Research, 129, 481–495.

[3] Ozsen, L., Coullard, C. R., & Daskin, M. S. (2008). Capacitated warehouse location model with risk pooling. Naval Research Logistics (NRL), 55, 295–312.

[4] Thanh, P. N., Bostel, N., & P´eton, O. (2008). A dynamic model for facility location in the design of complex supply chains. International Journal of Production Economics, 113, 678–693.

[5] Rahmaniani, R., & Ghaderi, A. (2015). An algorithm with different exploration mechanisms: Experimental results to capacitated facility location/ network design problem. Expert Systems with Applications, 42, 3790–3800.

[6] Bruno, G., Genovese, A., & Piccolo, C. (2016). Capacity management in public service facility networks: A model, computational tests and a case study. Optimization Letters, 10, 975–995.

[7] Drezner, Z. (1987). Heuristic solution methods for two location problems with unreliable facilities. Journal of the Operational Research Society, 38(6), 509–514

[8] Li, Q., Zeng, B., & Savachkin, A. (2013). Reliable facility location design under disruptions. Computers & Operations Research, 40, 901–909.

[9] Afify, B., Ray, S., Soeanu, A., Awasthi, A., Debbabi, M., & Allouche, M. (2019). Evolutionary learning algorithm for reliable facility location under disruption. Expert Systems with Applications, 115, 223–244.

[10] Ramshani, M., Ostrowski, J., Zhang, K., Li, X. (2019). Two level uncapacitated facility location problem with disruptions. Comput. Ind. Eng. 137, 106089.

[11] Afify, B., Soeanu, A., Awasthi, A (2021). Separation linearization approach for the capacitated facility location problem under disruption. Expert Systems with Applications, 169, 114187.

ผลกระทบของกลไกและตัวแปรการพิมพ์ต่อความถูกต้องด้านน้ำหนักและขนาดของอาหารขึ้นรูป 3 มิติ

Impact of Mechanism and Printing Parameter on Weight and Dimension Accuracy of 3D Printed Food

ศุภกร ประภาเลิศ[1*] ชนามาศ หรรษา[1] อริสรา เตชะเสนา[1] วัสสนัย วรรธนัจฉริยา[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: supakorn_prapa@cmu.ac.th*

Supakorn Prapalert[1*], Chanamad Hansa[1], Arisara Techasena[1], Wassanai Wattanutchariya[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
E-mail: supakorn_prapa@cmu.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการประเมินผลกระทบของกลไกและตัวแปรการพิมพ์ต่อความถูกต้องของอาหารที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการพิมพ์ 2 ประเด็นคือ กลไกการพิมพ์ และ ตัวแปรในการพิมพ์ ซึ่งกลไกการพิมพ์ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่าง การขึ้นรูปอาหารด้วย กระบอกฉีดแรงดัน (Syringe Injection) และ กระบอกฉีดอัดรีดเกลียว (Screw Extrusion) สำหรับตัวแปรในการพิมพ์ที่ทำการวิเคราะห์คือ อุณหภูมิของหัวฉีด และ ความเร็วการพิมพ์ขึ้นรูป โดยมีการประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k และค่ากลาง มาช่วยประเมินผลกระทบ โดยมีการกำหนดค่าคงที่ได้แก่เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด และวัตถุดิบที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ มันฝรั่งบดสำเร็จรูป (Mash Potato) โดยผลจากการทดลองพบว่า การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยกระบอกฉีดแรงดันนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำของการขึ้นรูป คืออุณหภูมิของหัวฉีดและความเร็วการพิมพ์ขึ้นรูป โดยค่าที่ดีที่สุดสำหรับการขึ้นรูป คือ อุณหภูมิของหัวฉีด เท่ากับ 25.0 องศาเซลเซียส และความเร็วการพิมพ์ขึ้นรูป เท่ากับ 35.63 มิลลิเมตรต่อวินาที ส่งผลต่อการขึ้นรูปอาหารที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนักเท่ากับ 0.16% ความคลาดเคลื่อนของขนาดเท่ากับ 22.03% ในทางกลับกัน การทดลองขึ้นรูปอาหารโดยกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูป คือความเร็วการพิมพ์ขึ้นรูป โดยมีค่าที่ดีที่สุดสำหรับการขึ้นรูป คือ อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูปเท่ากับ 25.0 องศาเซลเซียส และความเร็วการพิมพ์ขึ้นรูปเท่ากับ 27.58 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนัก 3.48% ความคลาดเคลื่อนของความยาวด้าน เท่ากับ 23.58%

คาสาคัญ: การพิมพ์อาหารสามมิติ, กระบอกฉีดแรงดัน, กระบอกฉีดอัดรีดเกลียว, การออกแบบการทดลอง, การหาค่าที่ดีที่สุด

Abstract

This study assessed the impact of printing mechanisms and variables on the accuracy of 3D printed food. Two factors affecting printing were studied, namely printing mechanism and printing variables. The printing mechanism has made a comparison between forming food with Syringe Injection and Screw Extrusion, while the printing parameters analyzed were: printing temperature and speed The 2^k factorial with center point experimental design methods were applied to help assess the impact. The fixed parameters were the diameter of the nozzle and the raw material used for molding was mashed potatoes. The results show that factors effecting the accuracy of the test specimen from Syringe Injection printing are the printing temperature and the printing speed. The optimal forming conditions were found at 25.0°C printing temperature and 35.63 mm/s printing speed. This resulted in a weight error of 0.16% and dimension error of 22.03%. On the other hands, the factors affecting the food forming with Screw Extrusion is only the printing speed. The optimal conditions from this mechanism are 25.0°C of printing temperature and 27.58 mm/s of printing speed. This results in a weight discrepancy of 3.48% and a dimension error of 23.58%.

Keywords: 3D Food printing, Injection extrusion, Screw extrusion, Design of experiment, Optimization

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาและมีอุตสาหกรรมอาหารเป็นพื้นฐานในการสร้างรายได้ที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ ประกอบกับปัจจุบันมีเทคโนโลยีของเครื่องพิมพ์สามมิติ ที่จะช่วยพัฒนาความสามารถในการทำงานให้มีความยืดหยุ่นและลดภาระค่าใช้จ่ายลงได้มากกว่าแบบดั้งเดิม หลายอุตสาหกรรมจึงนำเครื่องพิมพ์สามมิติเข้ามาใช้ประโยชน์มากขึ้น

เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติในอุตสาหกรรมเป็นเรื่องของความเร็วในการพิมพ์ ซึ่งการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติยังได้เปรียบในด้านความเร็วที่สามารถสั่งพิมพ์งานออบแบบที่มีความซับซ้อนทำให้การออกแบบมีคุณภาพมากขึ้นในด้านของความแม่นยำ รวดเร็ว แต่ในอุตสาหกรรมอาหารและยาต้องใช้ความแม่นยำในด้านน้ำหนักและปริมาตรของวัตถุดิบสูงมากกว่าอุตสาหกรรมแบบอื่น เครื่องพิมพ์สามมิติเป็นเครื่องจักรที่ช่วยลดความซับซ้อนในการผลิตในแบบเดิมลง โดยเครื่องพิมพ์สามมิติจะใช้กระบวนการเติมเนื้อวัสดุเป็นชั้นบาง ๆ ทีละชั้นนำชั้นบาง ๆ เหล่านั้นมาซ้อนทับกันต่อเนื่องจนไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเป็นรูปทรงที่ต้องการเรียกว่า Additive Manufacturing เครื่องพิมพ์สามมิติมีหลากหลายประเภทแต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การฉีดวัสดุผ่านหัวฉีด (Material Extrusion) เทคนิคการพิมพ์แบบหัวฉีด (Fuse Deposition Material; FDM) เป็นการพิมพ์ที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อนและมีราคาถูกกว่าการพิมพ์ด้วยการพิมพ์แบบอื่น

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด (Print Speed) และ อุณหภูมิขณะขึ้นรูป (Printing temperature) เป็น 1 ในปัจจัยที่ส่งผลต่ออาหารหลังการขึ้นรูป [1,2] โดยเฉพาะการขึ้นรูป ด้วยกระบอกฉีดแรงดัน Syringe injection นำไปสู่การศึกษาและเปรียบเทียบกลไกการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน มากกว่านั้น การเปรียบเทียบกลไกการขึ้นรูประหว่างกระบอกฉีดแรงดันและกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว [2] ที่จำลองผ่านคอมพิวเตอร์ (Computational Simulation) ทำให้ทราบถึงรูปแบบและทิศทางการไหลของอาหารก่อนที่จะออกจากหัวฉีด และจากงานวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยเห็นว่ายังไม่มีการทดลองเกิดขึ้นจริง

ดังนั้น ผู้ดำเนินโครงงานวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะประเมินผลกระทบของกลไกการพิมพ์และตัวแปรการผลิตที่มีผลต่อความถูกต้องของอาหารที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยใช้เทคนิค (Design of Experiment: DOE) เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการขึ้นรูปอาหารในการทดสอบ โดยเริ่มจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของอาหารจากเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยเปรียบเทียบระหว่างกลไกการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดแรงดัน (Injection) กับกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว (Screw Extrusion) นอกจากนั้นยังรวมไปถึงปัจจัยที่มีผลต่อการพิมพ์ขึ้นรูปอาหารอีกสองปัจจัยคือ อุณหภูมิของหัวฉีด และความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด โดยมีการกำหนดปัจจัยคงที่ในส่วนประเภทอาหารที่ใช้ขึ้นรูปละขนาดของหัวฉีด เพื่อทำการประเมินคุณลักษณะของอาหารในด้านความแม่นยำของน้ำหนักและขนาด ซึ่งจะมีผลกระทบในด้านความถูกต้องของปริมาณสารอาหารและความสวยงามเมื่อนำอาหารที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์อาหารสามมิติไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

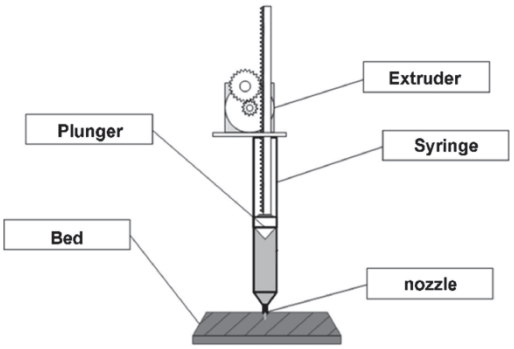
2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

จากการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาสัดส่วนส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสำหรับการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ทำให้ได้เลือกสัดส่วนส่วนผสมวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตมันฝรั่งบด (Mash Potato) คือ ผงมันฝรั่งบด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 84 ปริมาณ 10 กรัม และ น้ำ ปริมาณ 50 กรัม

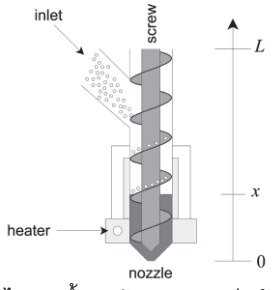
2.2 เครื่องพิมพ์สามมิติ

เครื่องพิมพ์สามมิติที่ผู้วิจัยได้ศึกษานั้นเป็นเครื่องที่พัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการด้านการออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยระบบของเครื่องนั้นสามารถเลือกกลไกการทำงานได้ 2 กลไก คือ กระบอกฉีดแรงดัน และ กระบอกฉีดอัดรีดเกลียว โดยกระบอกฉีดแรงดัน มีหลักการพิมพ์วัตถุสามมิติแบบ Material Extrusion เช่นเดียวกับ ระบบฉีดเส้นพลาสติก (Fused Deposition Modeling; FDM) แสดงดังรูปที่ 1 ที่มีหลักการทำงานคือ การบีบอัดอาหารเหลวที่สามารถฉีดขึ้นรูปได้ อาหารจึงถูกฉีดออกมาเป็นเส้น ผ่านหัวฉีด (Nozzle) จากนั้นเครื่องพิมพ์จะวาดเส้นอาหารที่ถูกฉีดออกมาเป็นรูปร่างในแนวแกนระนาบก่อนเมื่อเสร็จชั้นที่หนึ่งแล้วก็จะพิมพ์ในชั้นต่อไปเป็นชั้น ๆ จนได้อาหารที่มีขนาดตามที่ได้ออกแบบไว้

ในขณะเดียวกันการขึ้นรูปด้วยหัวฉีดอัดรีดเกลียว ใช้หลักการเก็บวัตถุดิบไว้ภายนอกและป้อนเข้าไปในเครื่องอัดรีดผ่านหัวฉีด โดยวัตถุดิบจะไหลเข้าสู่ช่องเกลียวโดยตรงและลำเลียงเข้าหาช่องเปิดหัวฉีด เครื่องทำความร้อนใกล้หัวฉีด ดังรูปที่ 2 โดยที่เครื่องพิมพ์สามมิติ มีการเคลื่อนที่ของฐานพิมพ์ในแกน X Y การเคลื่อนที่ของหัวฉีดในแนวแกน Z และการทำงานของแกนฉีด E อย่างสัมพันธ์กัน กำหนดให้ขนาดของหัวฉีด และ ระยะห่างระหว่างฐานรองกับหัวฉีด เท่ากับ 1.5 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 1 กลไกการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดแรงดัน (Syringe Injection) [4]



รูปที่ 2 กลไกการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว (Screw Extrusion) [5]

2.3 การออกแบบการทดลอง

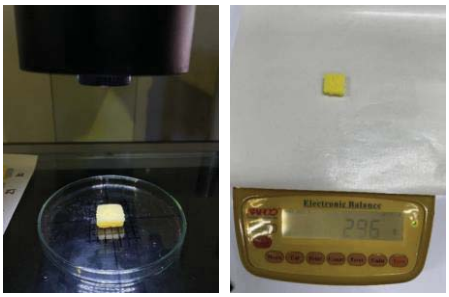
จากการศึกษาการทำงานของเครื่องพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูป ได้แก่ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด และอุณหภูมิของหัวฉีด ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความแม่นยำของชิ้นงานกลุ่มอาหารของผลการวิจัยในอดีต [1,2] การดำเนินการทดลอง โดยการกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เท่ากัน ทั้งการขึ้นรูปด้วยกลไกกระบอกฉีดแรงดัน และ กลไกการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k และค่ากลาง สำหรับทดสอบสมมติฐานความเป็นเส้นโค้ง ที่กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูป และ ค่าแต่ละระดับปัจจัย ดังตาราง 1

ตาราง 1 การออกแบบการทดลอง

ปัจจัยในการทดลอง	หน่วย	ช่วงของปัจจัย		
		ระดับต่ำ (-1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (+1)
ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด (A)	mm/s	27.03	32.88	41.96
อุณหภูมิของหัวฉีด (B)	□C	25.00	27.50	30.00

2.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำ

งานวิจัยได้เลือกวิธีการประเมินความแม่นยำด้านขนาดโดยใช้เครื่องวัดชิ้นงานละเอียด (VMM – 3020 Video Measuring Machine) ดังรูปที่ 1 ในขณะเดียวกัน การประเมินความแม่นยำด้านน้ำหนักเลือกใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การวิเคราะห์ความแม่นยำด้านขนาด (ซ้าย) และน้ำหนัก (ขวา)

2.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

โปรแกรม Minitab 18 ถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ ด้วยช่วงความเชื่อมั่น 95% ตามแนวทางการประเมินผลของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [6] โดยรูปแบบการออกแบบการทดลองที่เลือกใช้คือการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k และค่ากลาง ในช่วงความเชื่อมั่น 95% เพื่อหาค่านัยสำคัญของแต่ละปัจจัยและวิเคราะห์ปัจจัยที่ดีที่สุดในการขึ้นรูปอาหาร

3. ผลการวิจัย

จากการทดลองขึ้นรูปอาหารด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ 2 กลไก ทั้งหมด 60 การทดลอง ประกอบด้วย กลไกการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดแรงดัน 30 การทดลอง และ กลไกการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว 30 การทดลอง เพื่อวิเคราะห์ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนัก และ ขนาดของอาหาร โดยความคลาดเคลื่อนขนาดของอาหารเป็นการประเมินร้อยละความคลาดเคลื่อนของอาหารหลังการขึ้นรูปในค่าเฉลี่ยแนวระนาบ (X,Y-Axis) และจากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยการขึ้นรูปที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนัก นั่นคือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีดทั้ง 2 กลไก มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ดังตาราง 2 ในขณะที่ปัจจัยด้านอุณหภูมิของหัวฉีด มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความคลาดเคลื่อนน้ำหนักอาหารด้วยกลไกการขึ้นรูปจากกระบอกฉีดแรงดัน แต่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักอาหารด้วยกลไกการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของอาหาร ทำให้อาหารมีความหนืดที่ลดลง ซึ่งจะส่งผลกับกระบอกฉีดแรงดันมากกว่าแบบกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว เพราะระบบกระบอกฉีดแรงดันนั้นอาศัยการบีบอัดสะสมความดันเพื่อดันอาหารออกมาโดยตรง ผ่านหัวฉีด ช่วงของอุณหภูมิจึงมีผลต่อการขึ้นรูป [1] แต่สำหรับกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว การบีบอัดอาหารนั้นบีบอัดสะสมความดันผ่านสกรูที่มีใบเกลียวติดอยู่กับเพลาภายในกระบอกกลวง ทำให้สามารถบีบอัดและสะสมความดันได้ดีกว่า ปริมาณอาหารที่ไหลออกมาจากหัวฉีดจึงขึ้นอยู่กับอัตราการส่งกำลังของเพลาภายในกระบอกเท่านั้น ส่งผลให้ช่วงของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อร้อยละความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักอาหารหลังการขึ้นรูป

ตาราง 2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของน้ำหนักและปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูป ทั้ง 2 กลไกการขึ้นรูป

Term	Syringe Injection		Screw Extrusion	
	F-Value	P-Value	F-Value	P-Value
Model	44.740	0.000	26.210	0.000
Linear	30.400	0.000	39.290	0.000
A	22.280	0.000	74.700	0.000
B	38.530	0.000	3.880	0.059

ตาราง 2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของน้ำหนักและปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูป ทั้ง 2 กลไกการขึ้นรูป (ต่อ)

Term	Syringe Injection		Screw Extrusion	
	F-Value	P-Value	F-Value	P-Value
A*B	73.410	0.000	0.040	0.841
R-sq	83.77%		75.15%	
R-sq (adj)	81.90%		72.28%	

จากตาราง 2 สามารถนำมาสร้างสมการถดถอย เพื่อทำนายค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักอาหารหลังการขึ้นรูปด้วยกลไกการขึ้นรูปกระบอกฉีดแรงดัน และ กระบอกฉีดอัดรีดเกลียว ได้ดังสมการ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$\%Error\ of\ Weight_{Syringe} = -465.5 + 11.80A + 16.31B - 0.4087A*B \quad (1)$$

$$\%Error\ of\ Weight_{Screw} = -4.397 - 5.797A - 0.136\ A*B \quad (2)$$

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอาหารหลังการขึ้นรูปด้วยกลไกทั้ง 2 กลไกแสดงดังตาราง 3 จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละความคลาดเคลื่อนของความยาวด้านอย่างมีนัยสำคัญ คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด และ อุณหภูมิของหัวฉีด สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต [7,8] เนื่องจากเมื่อกำหนดความเร็วการฉีดอาหารให้คงที่ จะมีค่าของความเร็วของหัวฉีดเพียงค่าเดียวที่เหมาะสมกับการขึ้นรูป หากความเร็วการฉีดมีค่ามากกว่าความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด จะทำให้อาหารที่ขึ้นรูปมีขนาดใหญ่เกินขนาดที่ออกแบบไว้ และ ถ้าหากความเร็วการฉีดมีค่าต่ำกว่าความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด จะทำให้ชิ้นงานเกิดความไม่สมบูรณ์ [9] ในทางเดียวกันอุณหภูมิของหัวฉีดส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของอาหาร เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนืดของอาหารลดลง การฉีดอาหารเป็นเส้นลงบนฐานพิมพ์จึงเกิดการไหลของอาหารที่ไม่สามารถตั้งตัวได้ ซึ่งส่งผลกับความแม่นยำด้านขนาดของอาหารหลังการขึ้นรูป

ตาราง 3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของความยาวด้านและปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูป ทั้ง 2 กลไกการขึ้นรูป

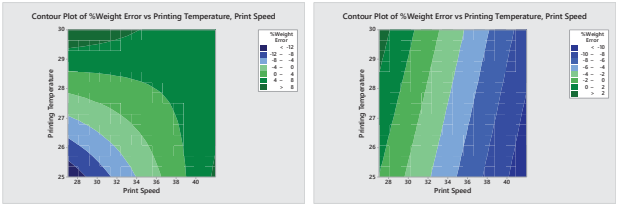
Term	Syringe Injection		Screw Extrusion	
	F-Value	P-Value	F-Value	P-Value
Model	18.180	0.000	29.070	0.000
Linear	13.470	0.000	43.410	0.000
A	9.900	0.004	80.370	0.000
B	17.050	0.000	6.450	0.017
A*B	27.580	0.000	0.390	0.535
R-sq	67.71%		77.03%	
R-sq (adj)	63.99%		74.38%	

จากตาราง 3 สามารถนำมาสร้างสมการถดถอย เพื่อทำนายค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของความยาวด้านของอาหารหลังการขึ้นรูปด้วยกลไกการขึ้นรูปกระบอกฉีดแรงดัน และ กระบอกฉีดอัดรีดเกลียว ได้ดังสมการ 3 และ 4

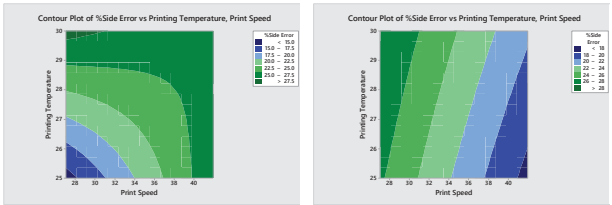
$$\%Error\ of\ Dimension_{Syringe} = -227.4 + 6.27A + 8.72B - 0.2161A*B \quad (3)$$

$$\%Error\ of\ Dimension_{Screw} = 44.1 - 0.986A - 0.068B + 0.0156\ A*B \quad (4)$$

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ระหว่างร้อยละความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนัก และ ความคลาดเคลื่อนด้านขนาด ระหว่างกลไกการขึ้นรูปทั้ง 2 กลไก แสดงดังรูปที่ 4 และ 5 โดยพบว่าลักษณะกราฟโครงร่างคล้ายกัน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิขณะขึ้นรูปทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักและความคลาดเคลื่อนของขนาดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่มีเพียงการเพิ่มขึ้นของอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีดประเภทกระบอกฉีดแรงดันที่ส่งผลกับการเพิ่มขึ้นของความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนักและขนาด ซึ่งตรงกันข้ามกับการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว ที่เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยการเคลื่อนที่ของหัวฉีดที่ต่ำ ดังนั้นการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดแรงดันเพื่อให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักและขนาดที่ต่ำ จึงมีช่วงของปัจจัยที่กว้าง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิขณะขึ้นรูปและความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด ซึ่งแตกต่างกับการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดแรงดันที่ทำให้เกิดช่วงของปัจจัยที่น้อยกว่า โดยเฉพาะความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด เพื่อให้เกิดแม่นยำด้านน้ำหนักและขนาด



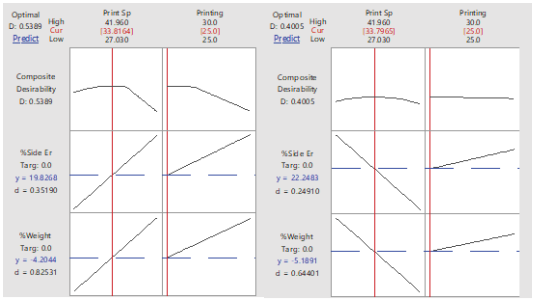
รูปที่ 4 กราฟโครงร่างร้อยละความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนักระหว่าง 2 กลไกการขึ้นรูป (ซ้าย) กระบอกฉีดแรงดัน (ขวา) กระบอกฉีดอัดรีดเกลียว



รูปที่ 5 กราฟโครงร่างร้อยละความคลาดเคลื่อนด้านของความยาวด้านระหว่าง 2 กลไกการขึ้นรูป (ซ้าย) กระบอกฉีดแรงดัน (ขวา) กระบอกฉีดอัดรีดเกลียว

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอาหารประเภทมันฝรั่งบดดำเนินการโดยใช้คำสั่ง Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab 18 แสดงดังรูปที่ 6 โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอาหารด้วย

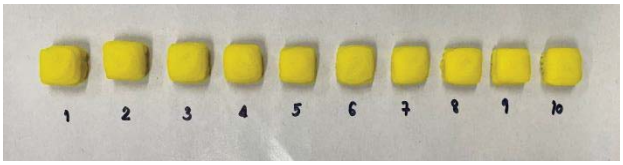
กระบอกฉีดแรงดัน คือ ความเร็วการเคลื่อนที่หัวฉีด (Print Speed) และอุณหภูมิขณะขึ้นรูป (Printing Temperature) เท่ากับ 33.81 มิลลิเมตรต่อวินาที และ 25.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ ค่าที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดอัดรีดเกลียวมีค่าเท่ากับ 33.79 มิลลิเมตรต่อวินาที และ 25.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิขณะขึ้นรูป ทำให้เกิดแนวโน้มของความคลาดเคลื่อนที่มีลักษณะคล้ายกันของทั้ง 2 กลไก แต่ในทางกลับกันการเพิ่มขึ้นของความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนักและขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ที่อธิบายถึงแนวโน้มของค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนักและขนาดที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของความเร็วการเคลื่อนที่ของกลไกการฉีดขึ้นรูปทั้ง 2 ลักษณะ



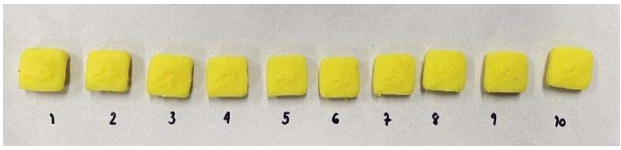
รูปที่ 6 Optimization Plot การขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดแรงดัน (ซ้าย) การขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว (ขวา)

การทดลองยืนยันผล ดำเนินการโดยการนำค่าตัวแปรที่ดีที่สุดไปทำการขึ้นรูปชิ้นงาน 10 การทดลองของแต่ละกลไกการขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 จากนั้นทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างด้านร้อยละความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนัก พบว่าการขึ้นรูปด้วยกลไกการขึ้นรูปที่เหมาะสมทั้ง 2 กลไกการขึ้นรูป ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% (P-Value < 0.05) แสดงดังตาราง 6

ในทางกลับกันการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างด้านร้อยละความคลาดเคลื่อนของขนาดด้วยสภาวะการขึ้นรูปที่ดีที่สุดระหว่าง 2 กลไก มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนด้านขนาดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% (P-Value < 0.05) แสดงดังตาราง 7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่านอกจากปัจจัยที่กำหนดข้างต้นที่มีผลต่อความแม่นยำด้านขนาดของอาหารหลังการขึ้นรูปแล้ว ยังมีปัจจัยด้านกลไกการขึ้นรูป ที่ยังส่งผลต่อความแม่นยำด้านขนาดของอาหารหลังการขึ้นรูปได้ ซึ่งเป็นประเด็นที่ทีมวิจัยต้องทำการศึกษาต่อไป



รูปที่ 7 การขึ้นรูปด้วยสภาวะที่เหมาะสมของกระบอกฉีดแรงดัน



รูปที่ 8 การขึ้นรูปด้วยสภาวะที่เหมาะสมของกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว

ตาราง 6 การวิเคราะห์ Two - sample T ด้านร้อยละความคลาดเคลื่อนของน้ำหนัก ของอาหารหลังการขึ้นรูปทั้ง 2 กลไก

Descriptive Statistics				
Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
% Error Weight Syringe Injection	10	-1.63	3.38	1.1
%Error Weight Screw Extrusion	10	-3.53	2.56	0.81
Estimation for Difference				
Difference	95% CI for Difference			
1.9	(-0.94, 4.74)			
Test				
Null hypothesis	H_0: $\mu_1 - \mu_2 = 0$			
Alternative hypothesis	H_1: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$			
T-Value	DF	P-Value		
1.42	16	0.176		

ตาราง 7 การวิเคราะห์ Two - sample T ด้านร้อยละความคลาดเคลื่อนของความยาวด้าน ของอาหารหลังการขึ้นรูปทั้ง 2 กลไก

Descriptive Statistics				
Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
%Error Side Syringe Injection	10	20.93	2.42	0.77
%Error Side Screw Extrusion	10	24.23	1.02	0.32
Estimation for Difference				
Difference	95% CI for Difference			
1.9	(-5.107, -1.490)			
Test				
Null hypothesis	H_0: $\mu_1 - \mu_2 = 0$			
Alternative hypothesis	H_1: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$			
T-Value	DF	P-Value		
-3.97	12	0.002		

4. สรุปผล

จากการประเมินผลกระทบของกลไกการพิมพ์ขึ้นรูปอาหารสามมิติและตัวแปรการผลิตต่อความถูกต้องของอาหารที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำด้านน้ำหนักและขนาด โดยกลไกการพิมพ์อาหารที่ศึกษาคือ กลไกการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดแรงดัน กับ กลไกรขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว โดยอาหารที่นำมาใช้เป็นกรณีศึกษาคือมันฝรั่งบด ซึ่งผลการวิจัยพบว่าปัจจัยการขึ้นรูปที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนัก คือ อุณหภูมิขณะขึ้นรูป และ ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด โดยค่าที่ดีที่สุดและเหมาะสมในการขึ้นรูป คือ 25.0 องศาเซลเซียส และ 33.81 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ สำหรับการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดแรงดัน และเท่ากับ 25.0 องศาเซลเซียส และ 33.79 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับสำหรับการขึ้นรูปด้วยกระบอกฉีดอัดรีดเกลียว นอกจากนั้นได้สร้างสมการถดถอยสำหรับการพยากรณ์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักและขนาดของทั้งสองกลไกการขึ้นรูป จากการทดลองยืนยันผลพบว่าผลการนำค่าที่เหมาะสมจากการประเมินทางสถิติไปขึ้นรูปนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในประเด็นด้านความแม่นยำของน้ำหนักชิ้นงาน แต่พบว่าเกิดความแตกต่างในด้านมิติ ซึ่งอาจจะเกิดจากปัจจัยที่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นทีมวิจัยจะนำแนวทางการวิจัยไปเพื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยว และเพิ่มเติมแนวทางการประเมินประสิทธิภาพของการพิมพ์อาหารด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อให้สอดคล้องต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Wang, L., et al., Investigation on fish surimi gel as promising food material for 3D printing. Journal of Food Engineering, 2018. 220: p. 101-108.

[2] Prapalert, S., Wattanutchariya, W. (2022). Appropriate Parameters of 3D Food Printing from Gelatin-based Mixtures. In Proceedings of the 4th African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. 2022.

[3] Guo, C.-F., M. Zhang, and B. Bhandari, A comparative study between syringe-based and screw-based 3D food printers by computational simulation. Computers and Electronics in Agriculture, 2019. 162: p. 397-404.

[4] Masuda, H., Ohta, Y., & Kitayama, M. (2019). Additive Manufacturing of SiC Ceramics with Complicated Shapes Using the FDM Type 3D-Printer. Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 07(02), 1-12.

[5] Dylan T.J. Drotman. (2015). Design of a screw extruder for additive manufacturing. Diss. UC San Diego, 2015.

[6] Shi, Y., M. Zhang, and B. Bhandari, Effect of addition of beeswax based oleogel on 3D printing of potato starch-protein system. Food Structure, 2021. 27.

[7] Ansari, A.A. and M. Kamil, Effect of print speed and extrusion temperature on properties of 3D printed PLA using fused deposition modeling process. Materials Today: Proceedings, 2021. 45: p. 5462-5468.

[8] Warner, E.L., I.T. Norton, and T.B. Mills, Comparing the viscoelastic properties of gelatin and different concentrations of kappa-carrageenan mixtures for additive manufacturing applications. Journal of Food Engineering, 2019. 246: p. 58-66.

[9] Derossi, A., et al., Extending the 3D food printing tests at high speed. Material deposition and effect of non-printing movements on the final quality of printed structures. Journal of Food Engineering, 2020. 275.

การจัดเส้นทางการขนส่งแบบยานพาหนะหลายช่องบรรจุ โดยใช้วิธีแม่นตรง: กรณีศึกษาการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง ในจังหวัดขอนแก่น

Multi-Compartment Vehicle Routing Problem Using Exact Method: a Case Study of Fuel Delivery in Khon Kaen Province

อนุชา ศรีบุรัมย์[1*] นรงค์ วิชาผา[1] และวรรณรพ ขันธิรัตน์[1]
[1]สาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
E-mail: anucha.sr@ksu.ac.th*

Anucha Sriburum[1*], Narong Wichapa[1], and Wanrop Khantirat[1]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University,
E-mail: anucha.sr@ksu.ac.th*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีแม่นตรงสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบหลายช่องบรรจุ โดยอาศัยกรณีศึกษาหนึ่งของการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงในจังหวัดขอนแก่น ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยมีวัตถุประสงค์ระยะทางรวมต่ำสุด โดยตัวแบบที่นำเสนอถูกแก้ปัญหาโดยใช้ซอฟต์แวร์ลิงโก โดยการเปรียบเทียบกับการใช้ประสบการณ์ของคนขับรถบรรทุก ผลการทดลองแสดงว่าระยะทางโดยรวมลดลงจาก 1,672.60 กิโลเมตร เป็น 1,412.40 กิโลเมตร คิดเป็น 15.56%.

คาสาคัญ: : การจัดเส้นทางการขนส่ง, การจัดเส้นทางการขนส่งแบบหลายช่องบรรจุ, วิธีแม่นตรง, การขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง

Abstract

The objective of this research is to present an exact method for solving multi-compartment vehicle routing problem (MCVRP). Based on a case study of fuel delivery in Khon Kaen province, we have formulated the mathematical model with the objective of the minimum total distance. The proposed MCVRP model was solved using Lingo software. By comparing it to using the driver's experience, the results showed that the total distance was reduced from 1,672.60 kilometers to 1,412.40 kilometers, representing 15.56%.

Keywords: Vehicle routing problem, Multi-compartment vehicle routing problem, Exact method, Fuel delivery

1. บทนำ

ปัจจุบันองค์กรธุรกิจในภาคอุตสาหกรรมและบริการต่าง ๆ มีการแข่งขันสูง การที่องค์กรจะอยู่รอดในการดำเนินธุรกิจ องค์กรจะต้องปรับตัวให้สามารถแข่งขันในตลาดการค้า โดยการลดต้นทุนสินค้าและบริการ รวมถึงการสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้แก่ลูกค้าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งต่อความอยู่รอดขององค์กรธุรกิจ โดยต้นทุนการขนส่งเป็นหนึ่งในต้นทุนที่สำคัญของต้นทุนโลจิสติกส์ จากข้อมูลรายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี 2562 ของสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ [1] พบว่า ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าเป็นต้นทุนโลจิสติกส์ที่มีสัดส่วนมากที่สุดร้อยละ 49.7 รองลงมาคือ ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ร้อยละ 42.8 และต้นทุนการบริหารจัดการร้อยละ 7.5 โดยปัจจัยด้านราคาขายน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งสูง เนื่องจากราคาเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ทำให้ธุรกิจและหน่วยงานต่าง ๆ ให้ความสำคัญเกี่ยวกับต้นทุนการขนส่งเพิ่มขึ้น หากองค์กรธุรกิจใดสามารถบริหารจัดการต้นทุนการขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้ต้นทุนของการผลิตสินค้าต่ำ ซึ่งหมายถึงองค์กรธุรกิจจะได้ผลกำไรเพิ่มขึ้น และธุรกิจจะมีความสามารถในการแข่งขันในตลาดการค้าได้ดียิ่งขึ้น

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่ทำธุรกิจที่เกี่ยวกับการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงโดยมีที่ตั้งอยู่ในจังหวัดขอนแก่น โดยมีลูกค้า 16 รายครอบคลุมพื้นที่อำเภอชุมแพ อำเภอหนองเรือ อำเภอสีชมพู และอำเภอเกษตรสมบูรณ์ จังหวัดชัยภูมิ ซึ่งในปัจจุบันทางบริษัทได้ทำการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงให้กับปั๊มขนาดเล็กตามหมู่บ้าน และร้านค้าที่ขายน้ำมันเชื้อเพลิงให้แก่เกษตรกรในพื้นที่ ตามตำบล และตามอำเภอ ปัจจุบันจำนวนลูกค้าและปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามการจัดเส้นทางในการขนส่งของบริษัทในปัจจุบันยังไม่เป็นระบบ ซึ่งยังคงใช้ประสบการณ์ของพนักงานขนส่งสินค้าในการวางแผนเส้นทางการขนส่งในแต่ละวัน ทำให้ปัจจุบันทางบริษัทรายดังกล่าวมีต้นทุนการขนส่งที่สูง และไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างทันเวลา ทำให้บริษัทได้กำไรไม่เต็มประสิทธิภาพ

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem, VRP) โดยปัญหา Classical VRP เป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization problem) ที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนในการคำนวณ เนื่องจากปัญหา VRP เป็นปัญหาแบบ NP-hard [2, 3] ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของปัญหา Classical VRP เป็นการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะ ให้เกิดต้นทุนการขนส่งโดยรวมต่ำสุด หรือระยะทางโดยรวมต่ำสุด โดยมีข้อจำกัดดังนี้: (1) ยานพาหนะแต่ละคันจะเริ่มออกเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้า (Depot) ไปยังกลุ่มลูกค้า (Customers) เพื่อให้บริการรับหรือส่งสินค้าให้กับลูกค้าทุกราย เมื่อรับหรือส่งสินค้าครบทุกรายแล้วยานพาหนะทุกคันจะต้องเดินทางกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าเดิม; (2) ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับบริการจากยานพาหนะเพียงคันเดียวเท่านั้น; (3) ลูกค้าแต่ละรายจะเป็นจุดของความต้องการ (Demand) สินค้าเหล่านี้จะถูกเก็บขนโดยใช้ยานพาหนะที่มีอยู่ ซึ่งปริมาณสินค้ารวมที่เก็บขนจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะนั้น เช่นเดียวกันกับปัญหา VRPs ทั่วไป ปัญหา MCVRP เป็นหนึ่งในปัญหา VRPs แต่เพิ่มข้อจำกัดเกี่ยวกับยานพาหนะที่ใช้จะมีหลายช่องบรรจุ โดยแต่ละช่องบรรจุสามารถบรรจุสินค้าได้เพียงชนิดเดียวเท่านั้นจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีหลายวิธีในการแก้ปัญหา VRPs ซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 วิธี [4] ได้แก่ วิธีแบบแม่นตรง (Exact method) ซึ่งข้อดีของวิธีแบบแม่นตรงคือได้ผลเฉลยดีสุด (Optimal solution) แต่มีข้อเสียคือใช้เวลาในการประมวลผลช้า และถ้าหากปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นอาจไม่สามารถหาผลเฉลยได้ อย่างไรก็ตามการหาผลเฉลยโดยใช้วิธีแบบแม่นตรง จะให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งที่มีขนาดเล็กได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีแม่นตรง โดยใช้ซอฟแวร์ Lingo สำหรับการหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะหลายช่องบรรจุ กรณีศึกษาการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงในจังหวัดขอนแก่น โดยมีวัตถุประสงค์ระยะทางโดยรวมต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงของลูกค้าแต่ละรายแน่นอน ความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัด และยานพาหนะแต่ละคันมีหลายช่องบรรจุ ซึ่งแต่ละช่องบรรจุไม่สามารถใส่น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันได้ สำหรับหัวข้อที่เหลือจะประกอบด้วย หัวข้อที่ 2 เป็นทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หัวข้อที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย หัวข้อที่ 4 ผลการวิจัย และหัวข้อที่ 5 สรุปผลการวิจัย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบยานพาหนะหลายช่องบรรจุดังต่อไปนี้

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบยานพาหนะหลายช่องบรรจุ (Multi-Compartment Vehicle Routing Problem, MCVRP)

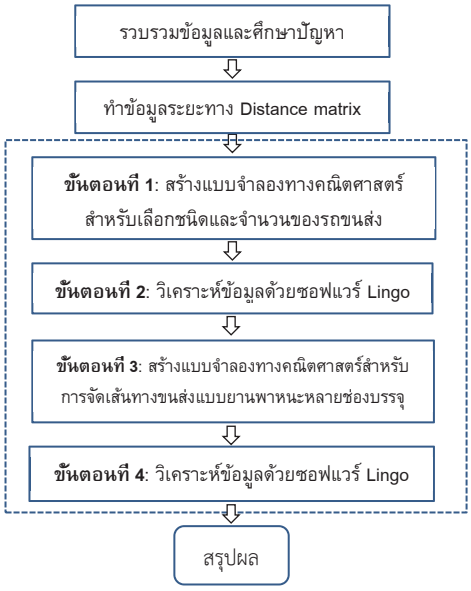
ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบยานพาหนะหลายช่องบรรจุ (Multi-Compartment Vehicle Routing Problem, MCVRP) โดยทั่วไปหมายถึงปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem, VRP) การจัดเส้นทางการขนส่งเป็นการกำหนดยานพาหนะให้เดินทางไปรับหรือส่งสินค้าไปยังลูกค้าตามปริมาณความต้องการของลูกค้าที่สั่งซื้อ โดยปริมาณความจุของยานพาหนะที่ใช้สำหรับการขนส่งสินค้ามีความจุจำกัด ยานพาหนะจะเริ่มออกเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้า (Depot) ไปยังลูกค้าแต่ละรายตามคำสั่งซื้อ และเมื่อรับหรือส่งสินค้าครบทุกรายแล้ว ยานพาหนะจะเดินทางกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าที่เดิม ปัญหา VRP เป็นปัญหาที่สำคัญในระบบโลจิสติกส์ของทุกประเทศ หากต้นทุนการขนส่งต่ำจะทำให้ความสามารถในการแข่งขันด้านการตลาดจะมีศักยภาพเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามปัญหา VRP เป็นปัญหาที่ยากต่อการคำนวณ หรือ ปัญหาแบบเอ็นพีแบบยาก (NP-hard) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีนักวิจัยจำนวนมากได้นำเสนอ

วิธีการแก้ปัญหาหลากหลายวิธี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การแก้ปัญหา VRPs เช่น Hokama et al. [5] ใช้วิธี Branch and Cut Oppen et al. [6] ใช้วิธี Column Generation Yu et al. [7] ใช้วิธี Branch-and-price วิธีการเหล่านี้สามารถแก้ปัญหา VRPs ได้อย่างจำกัด ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นอาจไม่สามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า วิธีการแก้ปัญหา VRPs สามารถจำแนกได้ 2 วิธีได้แก่ วิธีแบบแม่นตรง (Exact method) และวิธีเชิงฮิวริสติก (Heuristic/Meta- heuristic) โดยวิธีแบบแม่นตรงสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้สำหรับปัญหาขนาดเล็กหรือปัญหาที่มีลูกค้าน้อยราย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีแบบแม่นตรงโดยใช้ซอฟต์แวร์ลิงโกในการแก้ปัญหาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบยานพาหนะหลายช่องบรรจุ ซึ่งเป็นกรณีศึกษาผู้ประกอบการขนส่งน้ำมันเชื่อเพลิงรายหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยในบทความนี้จะเป็นการนำเสนอขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบยานพาหนะหลายช่องบรรจุโดยใช้วิธีแม่นตรง โดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึมฟิชเชอร์แอนด์ไจคุมาร์ ในการหาผลเฉลย โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การดำเนินงานวิจัยเพื่อแก้ปัญหา

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา

รวบรวมข้อมูลจากห้างหุ้นส่วนจำกัดแห่งหนึ่งในอำเภอซุมแพ จังหวัดขอนแก่น โดยศึกษาการจัดส่งการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงและรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึก โดยข้อมูลสำคัญที่ได้รับประกอบด้วย จำนวนรถขนส่งสินค้า จุดที่ทำการส่งสินค้า ระยะทางการส่งสินค้า ความจุของรถส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าในปัจจุบัน

3.2 สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ MILP สาหรับเลือกประเภทและจำนวนของยานพาหนะขนส่ง

สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา MILP การเลือกประเภทและจำนวนของยานพาหนะ เพื่อลดต้นทุนการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง รายละเอียดแสดงในหัวข้อถัดไปเริ่มจากการกำหนดดัชนี พารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ สร้างสมการเป้าหมาย และข้อจำกัดตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดแสดงได้ดังนี้ [8, 9]

ดัชนี:

กำหนดให้

j แทนด้วยลูกค้า, $j=1, 2, 3, ..., j$ $(j=16)$

k แทนด้วยจำนวนของยานพาหนะ, $k=1, 2, 3, ..., K$ $(K=3)$

m แทนด้วยช่องบรรจุของยานพาหนะ, $m=1, 2, 3, ..., M$ $(M=3)$

p แทนด้วยชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง, $p=1, 2, 3, ..., P$ $(P=2)$

พารามิเตอร์:

vc_k แทนต้นทุนการขนส่งของยานพาหนะคันที่ k

d_{jp} แทนความต้องการชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง p ของลูกค้า j

ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี่:

X_{kmp} เท่ากับ1 ถ้ามีการขนส่งโดยยานพาหนะ k ช่องบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิง m ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง p

W_{kmp} ปริมาตรการขนส่งโดยยานพาหนะ k ช่องบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิง m ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง p

Y_{jk} เท่ากับ 1 ถ้ามีการส่งน้ำมันเชื้อเพลิง ไปยังจุด j โดยใช้ยานพาหนะ k

Z_k เท่ากับ 1 ถ้ายานพาหนะ k มีการเดินทาง

Z_k เท่ากับ 0 ถ้ายานพาหนะคันที่ k ไม่มีการเดินทาง

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์:

$$\min Z = \sum_{k=1}^{K} vc_k \cdot Z_k \quad (1)$$

ข้อจำกัด:

$$\sum_{p=1}^{P} X_{kmp} \le 1, \qquad \forall k, \forall m \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{K} Y_{jk} = 1, \qquad \forall j \quad (3)$$

$$Y_{jk} \le Z_k, \qquad \forall j, \forall k \quad (4)$$

$$X_{kmp} \le \sum_{j=1}^{J} Y_{jk}, \qquad \forall k, \forall m, \forall p \quad (5)$$

$$W_{kmp} \le cv_{km} \cdot X_{kmp}, \qquad \forall k, \forall m, \forall p \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{m-1}^{M} W_{kmp} = \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} d_{jp} \cdot Y_{jk}, \quad \forall p \quad (7)$$

$$\sum_{m=1}^{M} W_{kmp} = \sum_{j=1}^{J} d_{jp} \cdot Y_{jk}, \qquad \forall k, \forall p \quad (8)$$

$$Q_{kp} = \sum_{m=1}^{M} W_{kmp}, \qquad \forall k, \forall p \tag{9}$$

$$X_{kmp}, Y_{jk}, Z_k \in \{0,1\} \tag{10}$$

สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมาย การขนส่งของยานพาหนะที่ถูกเลือกมีต้นทุนรวมต่ำสุด สมการที่ (2) แต่ละช่อง m ของรถ *k* ไม่สามารถบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากกว่าหนึ่งชนิด สมการที่ (3) ลูกค้าแต่ละราย *j* ได้รับบริการโดยยานพาหนะเพียงคันเดียว สมการที่ (4) ยานพาหนะ *k* จะให้บริการลูกค้า *j* ได้ก็ต่อเมื่อยานพาหนะ *k* ได้ถูกนำมาใช้แล้วเท่านั้น สมการที่ (5) แต่ละช่อง m ของรถ *k* สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ p ได้ก็ต่อเมื่อลูกค้า *j* ได้รับการบริการโดยรถยนต์ *k* เท่านั้น สมการที่ (6) ปริมาตรของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดต้องไม่เกินความจุของช่องบรรจุ สมการที่ (7) ปริมาณรวมของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทที่บรรจุในยานพาหนะทุกคันเท่ากับความต้องการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดทั้งหมด สมการที่ (8) ปริมาณเชื้อเพลิงแต่ละชนิด p สำหรับยานพาหนะแต่ละคัน k เท่ากับความต้องการใช้ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง p สำหรับลูกค้าแต่ละราย *j* สมการที่ (9) จำกัดความจุของยานพาหนะแต่ละคัน *k* สำหรับแต่ละชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง p สมการที่ (10) แสดงตัวแปรตัดสินใจ X,Y และ Z เป็นไบนารี

3.3 สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ MCVRP สำหรับยานพาหนะขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง

MCVRP สำหรับยานพาหนะขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ [8, 9]

ดัชนี:

โมเดล MCVRP สำหรับรถขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีช่องบรรจุและชนิดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต่างกัน

โดย *N* แทนเซตของจุด (nodes) ประกอบด้วยจุดของลูกค้า *N* = {0, 1, 2,…, *n*) และจุดของแหล่งส่งน้ำมันเชื้อเพลิง (โหนด 0) และ *N'* ของ n ลูกค้า กำหนดให้กราฟ *G* = (*V, A*) โดย *V* แทนเซตของจุดทั้งหมด (nodes) ซึ่งประกอบด้วยจุดส่งน้ำมันเชื้อเพลิงและจุดของลูกค้า ซึ่ง *V* = {*1, 2, 3, ..., N*} กำหนดให้จุดที่ 1 เป็นที่ตั้งส่งน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนจุด {*2, 3, 4, …, N*} แทนจุดของลูกค้า และ A แทนเซตของเส้นเชื่อมระหว่างจุดทั้งหมด ซึ่ง (*i, j*) ∈ *A*

K คือ ยานพาหนะหลายช่องบรรจุ

P คือ ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง

พารามิเตอร์:

dt_{ij} แทนระยะทางการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากจุด *i* ไปยังจุดลูกค้า *j*

d_{jp} แทนความต้องการของลูกค้า *j* สำหรับชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิด *p*

Q_{kp} แทนความจุของยานพาหนะ *k* สำหรับชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง p โดยถูกกำหนดโดยการคำนวณแบบจำลอง GAP จากส่วน

ML คือระยะทางมากสุดที่ยอมให้

ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี่:

x_{ijk} เท่ากับ 1 ถ้ามีการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากจุด *i* ไปยังจุดลูกค้า *j* โดยยานพาหนะคันที่ *k*

Y_{jkp} เท่ากับ 1 ถ้ามีการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง ไปยังลูกค้า *j* ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง p โดยยานพาหนะคันที่ *k*

x_{ijk} เท่ากับ 1 ถ้ายานพาหนะคันที่ *k* มีการเดินทาง

Y_{jkp} เท่ากับ 0 ถ้ายานพาหนะคันที่ *k* ไม่มีการเดินทาง

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์:

$$min\, Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N'} \sum_{k \in K} dt_{ij} x_{ijk} \tag{11}$$

ข้อจำกัด:

$$\sum_{i \in N}^{N} X_{ijk} \le 1, \qquad \forall j \in N', \forall k \in K \tag{12}$$

$$\sum_{i \in N}^{N} X_{ijk} = \sum_{i \in N'} X_{ijk}, \qquad \forall j \in N', \forall k \in K \tag{13}$$

$$\sum_{i,j \in S} X_{ijk} \le |S| - 1, \qquad \forall k \in K, \forall S \subseteq N', |S| \ge 2 \tag{14}$$

$$Y_{jkp} \le \sum_{i \in N} X_{ijk}, \qquad \forall j \in N', \forall k \in K, \forall p \in P \tag{15}$$

$$\sum_{k \in K} Y_{jkp} = 1, \qquad \forall j \in N', \forall p \in P \tag{16}$$

$$\sum_{i \in N'} d_{jp} \cdot Y_{jkp} \le Q_{kp}, \qquad \forall k \in K, \forall p \in P \tag{17}$$

$$\sum_{i,j \in N} dt_{ij} \cdot X_{ijk} \le ML \tag{18}$$

$$X_{ijk}, Y_{jkp} \in \{0,1\} \tag{19}$$

สมการที่ (11) เป็นสมการวัตถุประสงค์เพื่อต้นทุนระยะทางโดยรวมต่ำสุด สมการที่ (12) การขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากจุด *i* ไปยังจุดลูกค้า *j* โดยยานพาหนะ *k* ได้เพียงหนึ่งครั้งในแต่ละเส้นทาง สมการที่ (13) ถ้ายานพาหนะเดินทางเข้าไปยังลูกค้า *j* ก็ต้องเดินทางออกเสมอ สมการที่ (14) เป็นข้อจำกัดในการกำจัดเส้นทางย่อย สมการที่ (15) ลูกค้า *j* จะได้รับบริการจากยานพาหนะคันที่ *k* เมื่อยานพาหนะคันที *k* ถูกใช้งาน สมการที่ (16) ลูกค้าแต่ละราย *j* และชนิดเชื้อเพลิง *p* จะใช้บริการโดยยานพาหนะเพียงคันเดียว สมการที่ (17) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่บรรจุต้องไม่เกินความจุของช่องบรรจุ สมการที่ (18) ยืนยันว่าระยะทางของแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินระยะทางมากสุดที่กำหนด สมการที่ (19) แสดงตัวแปรตัดสินใจ X และ Y เป็นไบนารี

4. ผลการวิจัย

หัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอผลการวิจัยที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลโดยการสัมภาษณ์เจ้าของสถานประกอบการ 1 คน และพนักงานจัดส่งสินค้าจำนวน 3 คน ข้อมูลที่เกี่ยวกับข้อง เช่น (1) รายชื่อและจำนวนลูกค้าที่ขนส่งในแต่ละวัน (2) ปริมาณสินค้าที่สั่งซื้อในแต่ละวัน (3) จำนวนและความจุของรถ (4) เส้นทางในการเดินรถในแต่ละวันการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้เป็นการเก็บข้อมูลในช่วง เดือนธันวาคม 2564 จำนวน 3 วันต่อเนื่อง จากนั้นนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาสร้างเมตริกซ์ระยะทางใน Excel ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่เส้นทางการขนส่งและปริมาณสินค้าที่สั่งซื้อน้ำมัน

Diesel	G91	ID	D1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
0	0	D1	0	11.7	29.7	26.9	32.5	43.7	40	87.6	49.4	44.2	51.5	34.2	32.2	33.8	34.6	41.7	38.5
100	0	C1	11.7	0	33.8	36.6	36.1	38.9	38.6	83.1	48.4	45	52.3	35	34.5	35.4	45	42.6	39.3
450	400	C2	29.7	33.8	0	53.4	59	68.7	66.5	73.2	79.1	65.6	72.9	55.7	55.2	56	61.8	63.1	59.9
400	300	C3	26.9	36.6	53.4	0	7.7	10.4	13.6	78.8	24.6	68.9	76.2	58.9	58.5	59.3	72.1	69.7	63.2
400	300	C4	32.5	36.1	59	7.7	0	11.2	7.5	84.4	16.9	74.5	85.6	64.5	64	64.9	65.7	63.4	68.8
300	200	C5	43.7	38.9	68.7	10.4	11.2	0	5.2	87.1	14.7	77.3	84.6	67.3	66.8	67.8	68.5	66.1	71.6
300	400	C6	40	38.6	66.5	13.6	7.5	5.2	0	76.8	9.5	82	93.1	72	71.5	72.4	82.4	70.8	76.3
200	300	C7	87.6	83.1	73.2	78.8	84.4	87.1	76.8	0	91.4	108	133	95.7	97.2	98	122	105	102
200	300	C8	49.4	48.4	79.1	24.6	16.9	14.7	9.5	91.4	0	91.9	97.9	82	81.5	82.3	87.3	75.5	86.3
250	100	C9	44.2	45	65.6	68.9	74.5	77.3	82	108	91.9	0	7.7	10.7	22.5	23.3	14.2	12.6	7.2
100	900	C10	51.5	52.3	72.9	76.2	85.6	84.6	93.1	133	97.9	7.7	0	19.6	25.6	26.4	14.3	12.7	14.5
600	500	C11	34.2	35	55.7	58.9	64.5	67.3	72	95.7	82	10.7	19.6	0	18	18.9	11.1	12.4	5.8
300	200	C12	32.2	34.5	55.2	58.5	64	66.8	71.5	97.2	81.5	22.5	25.6	18	0	0.8	11.6	13	16.8
300	200	C13	33.8	35.4	56	59.3	64.9	67.8	72.4	98	82.3	23.3	26.4	18.9	0.8	0	10.2	13.8	17.6
400	600	C14	34.6	45	61.8	72.1	65.7	68.5	82.4	122	87.3	14.2	14.3	11.1	11.6	10.2	0	2.5	9.4
400	600	C15	41.7	42.6	63.1	69.7	63.4	66.1	70.8	105	75.5	12.6	12.7	12.4	13	13.8	2.5	0	10.8
250	300	C16	38.5	39.3	59.9	63.2	68.8	71.6	76.3	102	86.3	7.2	14.5	5.8	16.8	17.6	9.4	10.8	0

4.2 ผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ MILP สำหรับเลือกประเภทและจำนวนของยานพาหนะขนส่งในหัวข้อที่ 3.2 ถูกนำมาเขียนโค๊ดด้วยซอฟต์แวร์ลิงโก โดยแคนดิเดตยานพาหนะจำนวน 5 คัน ดังนี้ ขนาดของยานพาหนะ คันที่ 1 ถึงคันที่ 5 ดังนี้ 9000, 8000, 7000, 6000 และ 6000 ตามลำดับ ต้นทุนของยานพาหนะคันที่ 1 ถึง คันที่ 5 ดังนี้ 1101, 1051, 1032, 1056 และ 1023 ตามลำดับ จากนั้นประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ลิงโก ผลการคำนวณ ดังนี้

วันที่ 1 เลือกรถจำนวน 2 คัน ได้แก่ รถคันที่ 1และ 2

วันที่ 2 เลือกรถจำนวน 2 คัน ได้แก่ รถคันที่ 1และ 2

และวันที่ 3 เลือกรถจำนวน 2 คัน ได้แก่ รถคันที่ 1และ 2

จากนั้นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ MCVRP สำหรับยานพาหนะขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงในหัวข้อที่ 3.3 จะถูกประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ลิงโก ซึ่งข้อข้อมูลที่ใช้ดังในตารางที่ 1 ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้ซอฟต์แวร์ลิงโก

วันที่	เส้นทางการขนส่ง	ระยะทางของรถแต่ละคัน	ระยะทางรวมในแต่ละวัน
1	R1: D-1-13-14-15-10-9-16-11-7-2-D 11.7+35.4+10.2+2.5+12.7+7.7+7.2+5.8+95.7+73.2+29.7	291.8	456.90
	R2: D-3-5-6-8-4-12-D 26.9+10.4+5.2+9.5+16.9+64+32.2	165.1	
2	R1: D-1-12-13-14-16-2-7-4-D 11.7+34.5+0.8+10.2+9.4+59.9+73.2+84.4+32.5	316.6	509.40
	R2: D-11-9-10-15-8-6-5-3-D 34.2+10.7+7.7+12.7+75.5+9.5+5.2+10.4+26.9	192.8	
3	R1: D-14-13-2-7-6-8-5-4-3-D 34.6+10.2+56+73.2+76.8+9.5+14.7+11.2+7.7+26.9	320.8	446.10
	R2: D-1-11-16-9-10-15-12-D 11.7+35+5.8+7.2+7.7+12.7+13+32.2	125.3	
รวม			1,412.40

4.3 ผลการจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้ประสบการณ์ของคนขับรถบรรทุก

การจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้ประสบการณ์ของคนขับรถ เป็นการบันทึกข้อมูลในวันที่สำรวจ จำนวน 3 วันต่อเนื่อง ซึ่งในแต่ละวันรถแต่ละคันเดินทางไปยังลูกค้า ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้ประสบการณ์ของคนขับ

วันที่	เส้นทางการขนส่ง	ระยะทางของรถแต่ละคัน	ระยะทางรวมในแต่ละวัน
1	R1: D-1-2-11-13-14-15-10-9-16-7-D 11.7+33.8+55.7+18.9+10.2+2.5+12.7+7.7+7.2+102+87.6	350	525.7
	R2: D-3-4-6-5-8-12-D 26.9+7.7+7.5+5.2+14.7+81.5+32.2	175.7	
2	R1: D-1-2-4-12-13-14-16-7-D 11.7+33.8+59+64+0.8+10.2+9.4+102+87.6	378.5	649
	R2: D-3-5-6-11-9-10-15-8-D 26.9+10.4+5.2+72+10.7+7.7+12.7+75.5+49.4	270.5	
3	R1: D-13-14-2-7-6-8-3-4-5-D 33.8+10.2+61.8+73.2+76.8+9.5+24.6+7.7+11.2+43.7	352.5	497.9
	R2: D-1-12-11-16-15-10-9-D 111.7+34.5+18+5.8+10.8+12.7+7.7+44.2	145.4	
รวม			**1,672.6**

5. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองปัญหา MCVRP พบว่าการใช้ซอฟต์แวร์ Lingo ได้เฉลยดีกว่าการใช้ประสบการณ์คนขับ แต่ใช้เวลาในการประมวลผลนานถึง 72 ชั่วโมง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถลดระยะทางขนส่งโดยรวมจากเดิมที่ใช้ประสบการณ์คนขับรถ 1,672.6 กิโลเมตร ลดลงเหลือ 1,412 กิโลเมตร คิดเป็น 15.56 % ซึ่งผลการจัดเส้นทางการขนส่ง ดังนี้

วันที่ 1: *R1*: D-1-13-14-15-10-9-16-11-7-2-D ระยะทางการขนส่งของรถคันที่ 1 เท่ากับ 291.8 กิโลเมตร; R_2: D-3-5-6-8-4-12-D ระยะทางการขนส่งของรถคันที่ 2 เท่ากับ 165.1 กิโลเมตร; รวมระยะทางเท่ากับ 456.90 กิโลเมตร วันที่ 2: *R1*: D-1-12-13-14-16-2-7-4-D ระยะทาง การขนส่งของรถคันที่ 1 เท่ากับ 316.6 กิโลเมตร; *R2*: D-11-9-10-15-8-6-5-3-D ระยะทางการขนส่งของรถ คันที่ 2 เท่ากับ 192.8 กิโลเมตร; รวมระยะทาง เท่ากับ 509.40 กิโลเมตร วันที่ 3: *R1*: D-14-13-2-7-6-8-5-4-3-D ระยะทางการขนส่งของรถคันที่ 1 เท่ากับ 320.8 กิโลเมตร; *R2*: D-1-11-16-9-10-15-12-D ระยะทางการขนส่งของรถคันที่ 2 เท่ากับ 125.3 กิโลเมตร; รวมระยะทาง เท่ากับ 446.10 กิโลเมตร

เนื่องจากการประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ลิงโกในกรณีนี้ใช้เวลาในการประมวลค่อนข้างนาน งานวิจัยในอนาคตควรใช้วิธีการเชิงฮิวริสติกหรือเมตาฮิวริสติกในการแก้ปัญหาแทนหากปัญหามีขนาดใหญ่หรือมีจำนวนลูกค้าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีและเวลาในการประมวลผลรวดเร็วกว่า

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

เอกสารอ้างอิง

[1] รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี 2562, “สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ,” [ออนไลน์]. ที่มา: https://www.nesdc.go.th/more_news.php?cid=717&filename=. [วันที่ 16 กรกฎาคม 2564].

[2] นรงค์ วิชาผา, ไทยทัศน์ สุดสวนสี และ พรเทพ ขอขจายเกียรติ, “การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมแบบผสมผสานด้วยฮิวริสติกแบบแทรกไปข้างหน้าและวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะ,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 1, น. 4-13, 2562.

[3] N. Wichapa and P. Khokhajaikiat, “Solving a multi-objective location routing problem for infectious waste disposal using hybrid goal programming and hybrid genetic algorithm,” *International Journal of Industrial Engineering Computations.*, vol. 9, no. 1, pp. 75–98, 2018.

[4] ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดี. ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, “การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะด้วยวิธีการอาณานิคมมดกรณีศึกษาบริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม,”วารสารวิจัย มข., ปีที่ 17, ฉบับที่ 15, น.706-714, 2012.

[5] P. Hokama, F. K. Miyazawa and E. C. Xavier, “A branch – and – cut approach for the vehicle routing problem with loading constraints,” Expert Systems with Applications., vol. 47, pp. 1-13, 2016.

[6] J. Oppen, A. Løkketangen and J. Desrosiers, “Solving a rich vehicle routing and inventory problem using column generation,” Computer & Operations Research., vol. 37, no. 7, pp. 1308 -1317, 2010.

[7] Y. Yu and et al, “A branch - and- price algorithm for the heterogeneous fleet green vehicle routing problem with time windows,” Transportation Research Part B., vol. 122, pp. 511-527, 2019.

[8] W. Chowmali and S. Sukto, “A novel two-phase approach for solving the multi-compartment vehicle routing problem with a heterogeneous fleet of vehicles: a case study on fuel delivery,” Decision Science Letters., vol.9, no. 1, pp. 77-90, 2020.

[9] W. Chowmali and S. Sukto, “A hybrid FJA-ALNS algorithm for solving the multi-compartment vehicle routing problem with a heterogeneous fleet of vehicles for the fuel delivery problem,” Decision Science Letters., vol.10, no. 4, pp. 497-510, 2021.

การจำแนกคุณภาพข้าวโพดอ่อน โดยใช้การวิเคราะห์จากภาพถ่าย

Quality Classification of Baby Corn by Using Image Processing

พงษ์สรรค์ ชาครานนท์[1*] กฤษ วงษ์เกษม[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: pongsan.c@ku.th*

Pongsan Chakranon[1*], Kris Wonggasem[1]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: pongsan.c@ku.th*

บทคัดย่อ

การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ส่งผลให้อุตสาหกรรมอาหารได้รับผลกระทบ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมข้าวโพดอ่อนที่จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ของคนงานในการคัดแยก แต่การคัดแยกด้วยคนนั้นไม่สามารถควบคุมให้เป็นมาตรฐานแบบเดียวกันได้ จึงทำให้เกิดข้าวโพดอ่อนที่ไม่ผ่านคุณภาพหลุดรอดไปสู่กระบวนการถัดไปค่อนข้างมาก ซึ่งสาเหตุที่ไม่ผ่านคุณภาพส่วนมากเกิดปัญหาจากการพบรอยตำหนิหรือรอยดำบนข้าวโพดอ่อนและเป็นสาเหตุที่ทำให้การคัดแยกด้วยคนนั้นไม่เป็นมาตรฐานเนื่องจากการคัดแยกด้วยคนนั้นจะขึ้นอยู่กับทักษะในการคัดแยกของพนักงานแต่ละคน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาเกี่ยวกับการจำแนกคุณภาพข้าวโพดอ่อนโดยใช้การวิเคราะห์จากภาพถ่ายเข้ามาในการพัฒนาโมเดล ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความแม่นยำในการคัดแยกคุณภาพข้าวโพดอ่อน โดยทำการเก็บข้อมูลรูปภาพทั้งหมด 2,124 ภาพ ซึ่งเป็นกลุ่มไม่ผ่านคุณภาพ 1,072 ภาพ และกลุ่มผ่านคุณภาพทั้งหมด 1,052 ภาพ โดยได้ทำการพัฒนาโมเดลในการวิเคราะห์ออกมาสองโมเดลคือ โมเดล A จะเป็นการทำ Thresholding มาเป็นส่วนหลักในการพัฒนา ซึ่งมี Accuracy อยู่ที่ 91.76 % โดยที่มีค่า Sensitivity อยู่ที่ 94.50% และค่า Specificity อยู่ที่ 88.97% โดยใช้เวลาเฉลี่ย 1 ภาพต่อ 3.67 วินาที ส่วนโมเดล B จะเป็นการทำ Thresholding วิเคราะห์ควบคู่กับการประเมินระดับสี HSV มาเป็นส่วนหลักในการพัฒนา ซึ่งมี Accuracy อยู่ที่ 95.34 % โดยที่มีค่า Sensitivity อยู่ที่ 95.24% และค่า Specificity อยู่ที่ 95.44% โดยใช้เวลาเฉลี่ย 1 ภาพต่อ 0.21 วินาที จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดล B ใช้เวลาประมวลผลที่ต่ำกว่าและมีความแม่นยำที่มากกว่าโมเดล A

คาสาคัญ: การประมวลผลภาพ, การคัดแยกคุณภาพ, อุตสาหกรรมอาหาร, ข้าวโพดอ่อน

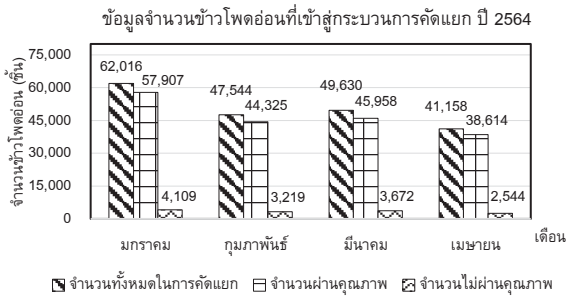
Abstract

The outbreak of the Coronavirus disease 2019 has affected the food industry, especially, the baby corn industry which rely heavily on operator proficiency and skill. This manual classification process is known to be inconsistent and difficult to standardize. Thus, a large number of unqualified baby corns slipped through quality screening process. The most common quality problems are found to be blemishes or black marks on the baby corn. Therefore, this research aims to develop the quality of classification model of baby corn by using photographic analysis, as well as to study accuracy of baby corn quality sorting. Total 2,124 images were collected of which 1,072 images were classified as unqualified, whereas 1,052 images were classified as qualified. Two models were developed: Model A, which was developed based on Thresholding, can achieve an accuracy of 91.76%, a sensitivity of 94.50%, specificity of 88.97% and an average processing time of 3.67 seconds per image. The second model, model B, utilizes Thresholding along with Hue Saturation Value (HSV) analysis, can achieve an accuracy of 95.34%, a sensitivity of 95.24%, a specificity of 95.44% and an average processing time of 0.21 seconds per image. The result shows that Model B has a lower processing time and higher accuracy than Model A.

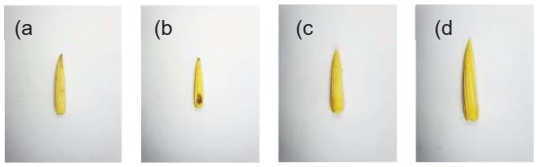
Keywords: Image processing, Quality classification, Food industry, Baby corn

1. บทนำ

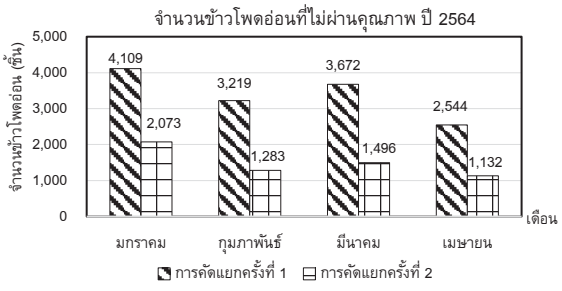
ปัจจุบันเศรษฐกิจของโลกมีแนวโน้มที่จะเกิดการแข่งขันที่สูงขึ้น และทั้งยังเกิดการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ทำให้อุตสาหกรรมอาหารได้รับผลกระทบอย่างมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการคัดแยกข้าวโพดอ่อนที่ต้องใช้แรงงานคนในการคัดแยก เนื่องจากมีขนาดที่เล็ก จากข้อมูลดังรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงจำนวนข้าวโพดอ่อนที่อยู่ในกระบวนการคัดแยกตลอด 4 เดือน มีอยู่ 200,348 ชิ้น และเฉลี่ยเดือนละ 50,087 ชิ้นต่อเดือน แต่พบว่าจำนวนข้าวโพดอ่อนที่ไม่ผ่านมาตรฐานคิดเป็นเฉลี่ยเดือนละ 6.81 % ของจำนวนข้าวโพดอ่อนในแต่ละเดือน การที่ข้าวโพดอ่อนไม่ผ่านคุณภาพส่วนมากเกิดจากรอยตำบนข้าวโพด ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่สำคัญมากในการคัดแยก โดยจะแบ่งข้าวโพดอ่อนเป็น 2 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มผ่านคุณภาพและไม่ผ่านคุณภาพ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 จำนวนข้าวโพดอ่อนที่เข้าสู่กระบวนการคัดแยกข้าวโพด



รูปที่ 2 (a-b) กลุ่มที่ไม่ผ่านคุณภาพ และ (c-d) กลุ่มที่ผ่านคุณภาพ



รูปที่ 3 จำนวนข้าวโพดอ่อนที่ไม่ผ่านคุณภาพ

จากเงื่อนไขดังกล่าวนั้นเป็นส่วนที่ดูด้วยสายตาได้ยาก ซึ่งจะยากต่อการควบคุมให้การคัดแยกมีมาตรฐานเดียวกันได้ทั้งหมด จากการตรวจสอบอีกรอบโดยการนำข้าวโพดที่ผ่านคุณภาพรอบแรกมาทำการคัดแยกคุณภาพรอบที่ 2 พบว่ายังมีข้าวโพดอ่อนที่ไม่ผ่านคุณภาพหลุดรอดไปสู่กระบวนการถัดไปจำนวนมาก ดังรูปที่ 3 และจะเห็นได้ว่าตลอดระยะเวลา 4 เดือน มีจำนวนของเสียรวมกันทั้งสองครั้งมากถึง 19,528 ชิ้น และคิดเป็น 9.74% ของจำนวนข้าวโพดอ่อนในแต่ละเดือน สาเหตุมาจากการต้องอาศัยทักษะประสบการณ์ของคนงานที่ทำให้การควบคุมให้เป็นมาตรฐานเดียวกันได้นั้นเป็นสิ่งที่ยาก จากปัญหาดังกล่าวจึงนำการทำ Image processing เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหานี้ เนื่องจากเป็นวิธีการที่เหมาะสม รวมไปถึงสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในอนาคต วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแม่นยำในการคัดแยกคุณภาพของข้าวโพดอ่อน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกียวข้อง

2.1 การประมวลผลภาพ (Image processing)

การประมวลผลภาพ [1] คือกระบวนการวิเคราะห์ภาพให้เป็นข้อมูลในแบบดิจิทัลที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลวิเคราะห์ โดยจะมีหลายขั้นตอน ทั้งทำให้ภาพมีความคมชัดขึ้น กำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ และอีกทั้งการแบ่งส่วนของวัตถุที่สนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพของวัตถุไปใช้ในการวิเคราะห์หาข้อมูลที่ต้องการ

2.2 HSV Color Model (Hue, Saturation, Value)

ระบบสี HSV color model [2] คือการวิเคราะห์สีที่ใช้ Hue, Saturation, Value ซึ่งเป็นตัวแทนระบบสี RGB เพื่อทำให้ง่ายในการจะคัดแยกสี โดยที่ Hue คือค่าสีหลัก ในทางปฏิบัติมีค่าระหว่าง 0 กับ 255 ส่วน Saturation คือความบริสุทธิ์ของสีแต่ถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 สีที่ได้จะไม่มี Hue และ Value คือ ความสว่างของสี

2.3 การวัดประสิทธิภาพโมเดล

การวัดประสิทธิภาพโมเดลโดยการ Classification เป็นแบบ Categorical โดยจะทำเป็นตาราง Confusion matrix [3] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Confusion matrix

		การตรวจคุณภาพ		
		ไม่มีคุณภาพ	มีคุณภาพ	
ผลการทดสอบ	ผลไม่ผ่าน	TP	FN	PPV
	ผลผ่าน	FP	TN	NPV
		Sensitivity	Specificity	

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$Specificity = \frac{TN}{FN + TN} \quad (2)$$

$$F1 - Score = \frac{2TP}{(2TP + FP + FN)} \quad (3)$$

$$Accuracy = \frac{(TP + TN)}{(TP + FN + FP + TN)} \quad (4)$$

โดยที่ TP คือผลไม่ผ่านจริง FN คือผลไม่ผ่านปลอม FP คือ ผลผ่านปลอม TN คือผลผ่านจริง PPV คือ ค่าทำนายผลไม่ผ่าน NPV คือค่าทำนายผลผ่าน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Güray and Yakut A.K. [4] ศึกษาวิธีการคัดเกรดแอปเปิลตามขนาดและสีโดยใช้กล้องดิจิทัลและเทคนิค Image processing ซึ่งจะกำหนดขนาดและสีด้วยข้อมูลชนิดตัวเลข มีขั้นตอนวิจัยคือ การวิเคราะห์ขนาดและสี การประเมินเวลาประมวลผลและการประเมินความแม่นยำของโมเดล ผลการศึกษาพบว่าโมเดลมีความแม่นยำอยู่ที่ 80.00% โดยใช้เวลาในการประมวลผล 1.3 วินาทีต่อ 1 ภาพ

อนล และธีรสิทธิ์ [5] ศึกษาการคัดแยกเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว โดยเทคนิค Image processing จุดประสงค์เพื่อคัดแยกพันธุ์ถั่วเขียว ขั้นตอนวิจัยคือ การรวบรวมข้อมูลและนำภาพมาปรับปรุงคุณภาพ โดยจะเปลี่ยนภาพที่เป็น RGB มาเปลี่ยนเป็นภาพ HIS และจึงทำการคัดเลือกลักษณะที่โดดเด่นระหว่างข้อมูลที่ต่างกันในลำดับ Hu Moments จากนั้นเข้าสู่การจำแนกเมล็ดทั้งสองพันธุ์ โดยใช้ SVM ในการจำแนก ซึ่งพบว่าโมเดลมีความแม่นยำมากกว่า 90.00%

Pushpavalli [6] ศึกษาเทคนิค Image processing สำหรับการคัดเกรดผลไม้ ซึ่งการคัดเกรดผลไม้โดยมนุษย์อาจทำให้ไม่มีประสิทธิภาพและได้คุณภาพไม่ตรงตามที่ต้องการ โดยในงานวิจัยนี้เป็นการคัดเกรดมะม่วงตามประเภทคุณภาพของมะม่วงซึ่งแบ่งระดับการตัดสินใจออกเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มเสีย กลุ่มไม่เสีย กลุ่มไม่สุก และกลุ่มสุก ซึ่งจะมุ่งเน้นไปที่การสังเกตของสี การวัดขนาด และใช้หลักการให้คะแนนของมะม่วงเป็นตัวแบ่งกลุ่ม เมื่อทำการทดสอบพบว่ามีประสิทธิภาพของความแม่นยำอยู่ที่ 96.00%

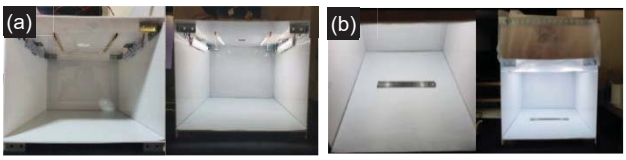
3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การเตรียมชุดข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลข้าวโพดอ่อนซึ่งใน 1 ชิ้นจะทำการถ่ายภาพ 2 ภาพประกอบไปด้วยด้านหน้าและด้านหลัง ดังนั้นจะมีข้อมูลรูปภาพทั้งหมด 2,124 ภาพ โดยเป็นกลุ่มภาพไม่ผ่านคุณภาพ 1,072 ภาพ และกลุ่มภาพผ่านคุณภาพทั้งหมด 1,052 ภาพ

3.2 อุปกรณ์การเก็บข้อมูล

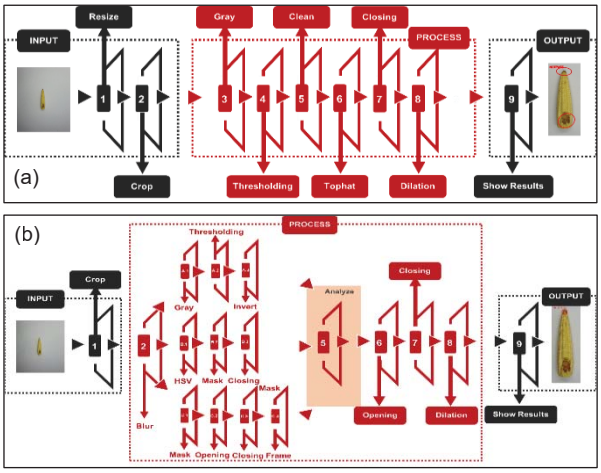
กล่องเก็บข้อมูลมีขนาดกว้าง 30 ซม. ยาว 30 ซม. สูง 30 ซม. และระยะความสูงระหว่างกล้องกับวัตถุ 18.5 ซม. ติดตั้งไฟชนิดสาย 2 เส้นติดไว้ด้านบนของกล่องทำหน้าที่ลดเงาวัตถุและเพิ่มความสว่างให้กับวัตถุ ส่วนไฟชนิดแท่ง 2 แท่งจะติดตั้งด้านข้าง ทำหน้าที่ในการกระจายแสงให้ทั่วภายในกล่องนั้นมีความสว่างที่เท่ากัน จากนั้นทำการติดตั้งแผ่นกระดาษไขสีขาว เพื่อไม่ให้แสงกระทบโดยตรงกับวัตถุ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 (a) การติดตั้งไฟและ (b) การติดตั้งแผ่นกระดาษไข

3.3 การออกแบบโมเดล

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบโมเดลทั้งหมด 2 โมเดล ซึ่งเป็นการออกแบบลักษณะพัฒนาต่อยอดจากโมเดล A ไปสู่โมเดล B ดังรูปที่ 6 ซึ่งมีโครงสร้างแต่ละโมเดลดังหัวข้อย่อยถัดไปดังนี้

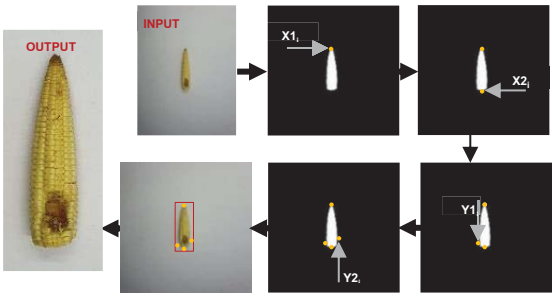


รูปที่ 6 (a) โครงสร้างของ Model A และ (b) โครงสร้างของ Model B

3.3.1 Model A

โดยโมเดล A จะมีลักษณะการออกแบบโมเดลไปที่การกำหนดค่าขีดของ Thresholding ของภาพ จะแบ่งการออกแบบเป็น 3 ส่วนคือ Input, Process และ Output

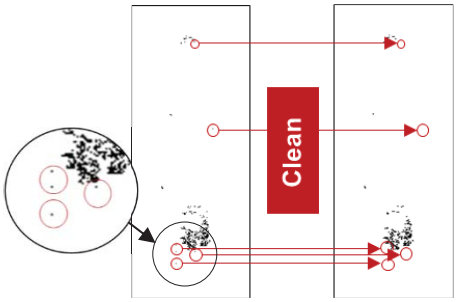
ในส่วน Input จะทำการลดขนาดและตัดส่วนภาพโดยเริ่มจากการทำ Resize ให้ภาพมีขนาดเล็กลง หลังจากนั้นทำภาพเป็นขาวดำผ่านการทำ Grayscale และเข้าสู่การทำ Thresholding จึงจะแปลงในภาพเป็น Binary ซึ่งจะทำให้ภาพแบ่งชั้นระหว่างวัตถุกับภาพพื้นหลังได้ หลังจากนั้นมาทำการระบุจุดทั้ง 4 โดยจะวิ่งหาค่าของสีขาวในทิศทางของแถวจากบนลงมาล่าง เมื่อเจอค่าสีขาวแรกให้ทำการเก็บค่าพิกัดเป็นจุดที่ 1 และเปลี่ยนทิศทางการวิ่งหาจากล่างขึ้นบนของแถว ทำอย่างนี้ทั้งในส่วนของคอลัมน์ทั้งซ้ายและขวา เมื่อได้พิกัดทั้ง 4 จุดแล้ว จึงทำการตัดส่วนของภาพดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ลักษณะการทำงานของการตัดส่วนของภาพในโมเดล A

ในส่วนกระบวนการ Process จะทำการนำภาพที่ได้จากการตัดส่วนของภาพมาทำการ Grayscale ให้มีภาพสีเทา และหลังจากนั้นจึงนำเข้าสู่กระบวนการทำ Thresholding ซึ่งจะเป็นการแยกแยะวัตถุจาก

ฉากหลัง แต่ได้ทำการประยุกต์เนื่องจากสีพื้นหลังกับสีของตัวข้าวโพดมีลักษณะอยู่ในกลุ่มสีสว่างแต่บริเวณรอยตำหรือรอยตำหนินั้นเป็นกลุ่มสีเข้ม จึงจะกำหนดค่าขีดแบ่ง จากการวิเคราะห์ Histogram เนื่องจากภาพอาจจะมีความสว่างที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นค่า Threshold จะปรับเปลี่ยนได้ตามความสว่างของภาพ จากนั้นมาทำการ Clean หรือลบจุดที่ไม่ต้องการออก โดยทดลองนำภาพ 80 ภาพ เข้าสู่การทำ Threshold พบว่าขนาดของจุดที่ไม่ต้องการส่วนมากมีขนาด 1x1 Pixel จึงกำหนดเงื่อนไขลบจุดเฉพาะมีขนาด 1x1 Pixel ออกไปจากภาพดังรูปที่ 8



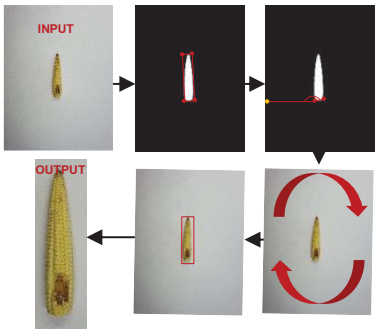
รูปที่ 8 ลักษณะการทำงานของการทำ Clean ภาพจริง

ซึ่งการเลือกจุดที่จะทำ Clean นั้นจะเลือกจุดที่ไม่อยู่ติดกับจุดอื่นทั้งทิศทางบน ล่าง ซ้าย และ ขวา หลังจากนั้นนำภาพที่ไปทำ Tophat ต่อด้วยการทำ Closing และทำ Dilation เป็นกระบวนการสุดท้าย เพื่อทำการรวมจุดใกล้กัน และขยายให้จุดมีความใหญ่ ในส่วนกระบวนการ Output จะเป็นขั้นตอนการแสดงผลการทดลองและบันทึกผลในไฟล์ Excel

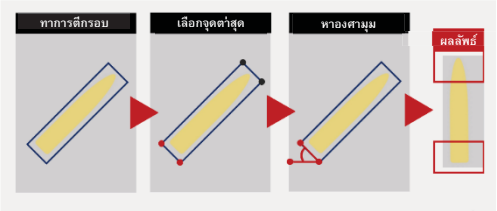
3.3.2 Model B

โดยในโมเดล B จะเป็นการนำโมเดล A มาพัฒนาต่อทั้งในเรื่องของกระบวนการตัดภาพที่ไม่ครอบคลุมในกรณีที่ตัววัตถุไม่ได้อยู่ในแนวตั้งฉาก อีกทั้งเรื่องของกระบวนการวิเคราะห์แยกจุดรอยตำที่พบบนภาพ ซึ่งในโมเดลนี้จะเป็นการนำวิธีระบบสี HSV color model มาทำการลบสีของข้าวโพดอ่อนที่ไม่ต้องการออกและวิเคราะห์ควบคู่กับการทำ Threshold โดยจะแบ่งการออกแบบเป็น 3 ส่วนคือ Input, Process และ Output

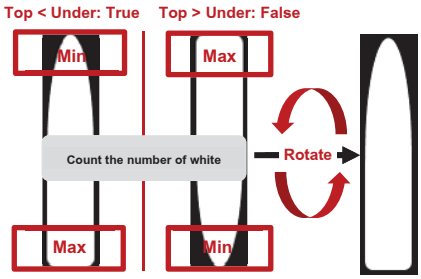
ในส่วน Input จะไม่ทำการลดขนาดแต่จะนำภาพต้นฉบับเข้าไปทำการตัดส่วนของภาพเลย ซึ่งเริ่มจากการนำภาพไปทำ Grayscale และให้เป็นภาพขาวดำและจึงทำการวาดกรอบรอบข้าวโพดอ่อนโดยการนำคำสั่ง OpenCV มาประยุกต์ใช้ เพื่อจะทำให้ทราบตำแหน่งทั้ง 4 มุมของวัตถุ และทำการสร้าง 1 จุดใหม่ที่อยู่ในระนาบเดียวกับจุดที่ต่ำที่สุด หลังจากนั้นทำการหาองศาของมุมจากการอ้างอิง 2 จุดที่ต่ำสุดกับ 1 จุดที่ได้จากการสร้างใหม่ เมื่อทราบค่าองศาของมุมจึงทำการหมุนภาพด้วยการ Rotated ดังรูปที่ 9 และถึงทำการตัดส่วนของภาพ โดยเริ่มจากวาดกรอบให้รอบวัตถุอีกรอบ ซึ่งจะได้ตำแหน่งมุมทั้ง 4 มุมของวัตถุใหม่ จึงนำค่าตำแหน่งทั้ง 4 มุมไปทำการการตัดส่วนของภาพให้เหลือเพียงวัตถุจากภาพชนิดสี ดังรูปที่ 10 หลังจากนั้นทำการตรวจสอบว่าภาพนั้นอยู่ในลักษณะกลับหัวหรือไม่ การตรวจสอบเพื่อป้องกันความผิดพลาดและจะทำให้ทุกภาพที่เข้าสู่กระบวนการ Process มีลักษณะตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งจะไม่มีผลในการวิเคราะห์แต่จะมีผลในการเก็บข้อมูลลงใน Excel เนื่องจากการบันทึกจะสามารถระบุได้ว่าตำแหน่งรอยที่พบนั้นอยู่บริเวณส่วนไหนของข้าวโพดอ่อน โดยจะทำการนับจำนวนพื้นที่สีขาวบริเวณส่วนบนและล่าง หากพื้นที่สีขาวส่วนบนน้อยกว่าพื้นที่สีขาวส่วนล่างจะถือว่าตำแหน่งถูกต้อง แต่หากพื้นที่สีขาวส่วนบนมากกว่าพื้นที่สีขาวส่วนล่าง จะทำการหมุนภาพใหม่ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 9 ลักษณะการทำงานของการตัดส่วนของภาพในโมเดล B



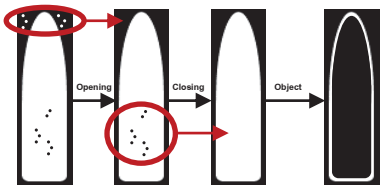
รูปที่ 10 การหมุนภาพในโมเดล B หากวัตถุมีการเอียง



รูปที่ 11 รูปแบบการทำงานของการตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุ

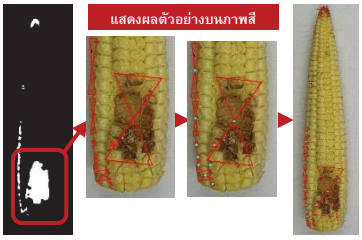
ในกระบวนการ Process จะแบ่งเป็น 3 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการที่หนึ่งเป็นการทำ Thresholding ส่วนกระบวนการที่สองการลบสีด้วยวิธีระบบสี HSV และกระบวนการที่สามแสดงขอบวัตถุ ซึ่งในกระบวนการที่หนึ่ง จะนำภาพไปทำการ Blur เพื่อช่วยทำให้รอยหรือร่องระหว่างเมล็ดมีความละเอียดลดลง หลังจากนั้นนำภาพเข้าไปทำ Threshold แบบเดียวกับของโมเดล A ส่วนกระบวนการที่สองเป็นการนำระบบสี HSV มาใช้ โดยเริ่มทำการ Blur และทำการลบสี ซึ่งจะต้องทำการกำหนดค่า Lower และค่า Upper และจึงมาทำการแปลงเป็นสี HSV เพื่อทำการย้อมและลบสีให้ออกมาเหลือแค่ค่าสี 0 กับ 255 และ

กระบวนการที่สาม จะนำภาพไปทำการ Blur จากนั้นนำภาพไปทำ Grayscale เพื่อให้ภาพสีเทาและทำ Thresholding โดยใช้ค่าคงที่ขีดแบ่งที่ 20 เนื่องจากต้องการแค่แยกวัตถุออกจากพื้นหลังเพียงเท่านั้น และจึงทำให้เป็นภาพ Binary หลังจากนั้นนำภาพเข้าไปทำ Opening ต่อด้วยการทำ Closing เพื่อลบจุดที่ไม่ต้องการนำออกไปจากภาพ ดังรูปที่ 12 และทำการ Find contours เพื่อทำการวาดเส้นรอบขอบของวัตถุ



รูปที่ 12 การทำ Opening และ Closing ในกระบวนการแสดงขอบวัตถุ

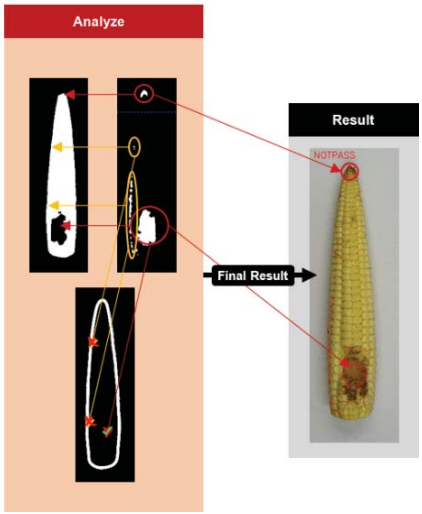
นำภาพที่ได้จากการทำในกระบวนการที่หนึ่งมาทำการหาตำแหน่งของรอยที่เหลือโดยการวาดกรอบรอบรอยและหาตำแหน่งของรอยนั้น โดยจะเลือกใช้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรอยมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งเมื่อได้ตำแหน่งศูนย์กลางของแต่ละรอยแล้วจึงทำการเก็บค่าตำแหน่งและค่าสี (0 กับ 255) ในบริเวณนั้น เพื่อไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปดังรูปที่ 13 หลังจากนำตำแหน่งของรอยมาทำการเปรียบเทียบกับภาพที่ผ่านการทำจากกระบวนการสองที่เป็นการลบสีตัวข้าวโพดอ่อนและร่องระหว่างเมล็ดจนจะทำให้เหลือแค่รอยตำหนิ



รูปที่ 13 รูปแบบการทำงานของการระบุจุดรอยบนภาพ

โดยการเปรียบเทียบจะเอาตำแหน่งรอยที่ผ่านจากกระบวนการหนึ่ง ไปเปรียบเทียบกับภาพที่มาจากกระบวนการที่สองในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งหากตำแหน่งนั้นมีค่าสีที่ตรงกันจะไม่เป็นรอยตำหนิ แต่ถ้าค่าสีไม่ตรงกันจึงจะเป็นรอยตำหนิ แล้วจึงมาทำการเปรียบเทียบกับภาพจากกระบวนการที่สามเพื่อเปรียบเทียบว่าเป็นตำแหน่งของขอบวัตถุหรือไม่ ซึ่งจะใช้เงื่อนไขแบบเดียวกันกับการตรวจสอบว่าเป็นรอยตำหนิหรือไม่ที่มาจากการเปรียบเทียบระหว่างภาพจากกระบวนการหนึ่งกับภาพจากกระบวนการสอง เมื่อทำการตรวจสอบเรียบร้อยจึงนำตำแหน่งที่เป็นรอยตำหนิจริงมาทำการระบุตำแหน่งใหม่ในภาพที่ทำการสร้างขึ้นโดยมีขนาดแบบเดียวกับภาพต้นฉบับดังรูปที่ 14 หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการ Opening ต่อด้วย Closing และทำ Dilation เป็นกระบวนสุดท้าย

ในกลุ่มของกระบวนการ Output ขั้นตอนนี้เป็นการแสดงผลการทดลองและบันทึกข้อมูลลงในไฟล์ Excel



รูปที่ 14 รูปแบบของการวิเคราะห์เปรียบเทียบรอยทั้ง 3 กระบวนการ

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองนำข้อมูลทั้งหมด 2,124 ภาพ โดยเป็นกลุ่มไม่ผ่านคุณภาพ 1,072 ภาพ และกลุ่มผ่านคุณภาพทั้งหมด 1,052 ภาพ พบว่า

โมเดล A ทำนายผลถูกต้องเป็นจำนวน 1,949 ภาพ และไม่ถูกต้องเป็นจำนวน 175 ภาพ โดยใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยภาพละ 3.67 วินาที เมื่อทำการวัดประสิทธิภาพโมเดลพบว่ามีค่า Accuracy อยู่ที่ 91.76%

โมเดล B เนื่องจากต้องกำหนดช่วงของค่าสี HSV [7] จึงทดสอบเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมกับตัวโมเดลที่ทำให้ค่า Accuracy เหมาะสมที่สุดด้วยการทำ Grid Search กับพารามิเตอร์ 4 พารามิเตอร์คือ Hue lower, Saturation lower, Hue upper และ Saturation upper ในแต่ละพารามิเตอร์มีการปรับทั้งหมด 3 ค่าคือ (20,21,22), (90,93,95), (24,25,30) และ(195,198,205) ตามลำดับ ทดลองทั้งหมด 81 การทดลอง และกำหนดให้ Value เป็นค่าคงที่คือ Value lower เท่ากับ 20 และ Value upper เท่ากับ 255 ทำให้ได้ช่วงเหมาะสมที่สุดคือ Lower (21,93,20) ถึง Upper (25,198,255) ดังตารางที่ 2 พบว่าทำนายผลถูกต้อง 2,025 ภาพ และไม่ถูกต้อง 99 ภาพ ใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยภาพละ 0.21 วินาที โดยมีค่า Accuracy อยู่ที่ 95.34%

ตารางที่ 2 5 ลำดับ Parameter ที่ทำให้ความแม่นยำ Model B สูงสุด

Rank	H,S,V Lower	H,S,V Upper	F1-score	Accuracy
1	**21,93,20**	**25,198,255**	**95.377**	**95.340**
2	21,93,20	30,198,255	95.376	95.339
3	21,90,20	25,198,255	95.372	95.330
4	21,93,20	24,198,255	95.340	95.300
5	21,90,20	24,198,255	95.336	95.292

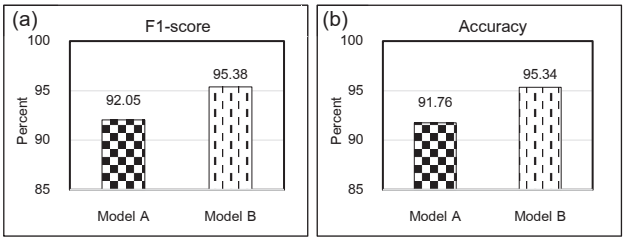
จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลจำนวน 2,124 ภาพเข้าทดสอบจะพบว่าผลการทำนายและประสิทธิภาพของโมเดล B ดีกว่า โมเดล A ดังตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 ซึ่งโมเดล B มีค่า F1-score และ Accuracy มากกว่าโมเดล A เป็นการบ่งบอกได้ว่าโมเดล B มีความสามารถในการทำนายผลและความแม่นยำได้ดีกว่าโมเดล A ดังรูปที่ 15 (a) และรูปที่ 15 (b) ตามลำดับ และหากเจาะลึกไปถึงค่า Specificity จะเห็นได้ว่าโมเดล B ให้ค่าที่ดีกว่าโมเดล A อยู่มาก ทั้งค่า Sensitivity และ Specificity ของโมเดล B นั้นมีมากกว่า A เป็นการบ่งบอกโอกาสที่จะทำนายผลผิดพลาดของแต่ละกลุ่มนั้นต่ำกว่าโมเดล A รวมไปถึงเวลาในการประมวลผลที่น้อยกว่าโมเดล A

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบของโมเดล A และ โมเดล B

	A		B	
	กลุ่มการตรวจ		กลุ่มการตรวจ	
	ไม่มีคุณภาพ	มีคุณภาพ	ไม่มีคุณภาพ	มีคุณภาพ
ไม่ผ่าน	1,013	116	1,021	48
ผ่าน	59	936	51	1,004

ตารางที่ 4 วัดผลประสิทธิภาพของโมเดล A และ โมเดล B

	Sensitivity	Specificity	F1-score	Accuracy
A	94.50	88.97	92.05	91.76
B	95.24	95.44	95.38	95.34



รูปที่ 15 (a) เปรียบเทียบ F1-score และ (b) เปรียบเทียบ Accuracy

5. สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยได้ทำการศึกษาการจำแนกคุณภาพข้าวโพดอ่อน ด้วยวิธีการทำ Image processing เข้ามาในการพัฒนาโมเดล ซึ่งเก็บข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 2,124 ภาพ แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มไม่ผ่านคุณภาพ 1,072 ภาพ และกลุ่มผ่านคุณภาพ 1,052 ภาพ ได้ทำการพัฒนา 2 โมเดลคือ โมเดล A ที่จะเป็นการทำ Threshold ของภาพและโมเดล B จะเป็นการนำวิธีระบบสี HSV color model มาทำควบคู่กับ Threshold ผลทดลองพบว่าโมเดล B มี Accuracy อยู่ที่ 95.34% ซึ่งมากกว่าโมเดล A ที่มี Accuracy อยู่ที่ 91.76% เนื่องจากโมเดล B มีการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก หลังจากนั้นจึงนำทั้ง 3 กระบวนการมาตรวจสอบเปรียบเทียบกัน ซึ่งต่างจากโมเดล A ที่มีกระบวนการหลักเพียงกระบวนการเดียว อีกทั้งโมเดล B ไม่มีขั้นตอนการ Crop และขั้นตอน Clean แบบเดียวกับโมเดล A ที่ต้องทำการตรวจสอบทุก Pixel ของภาพ จึงทำให้เวลาการประมวลผลโมเดล B น้อยกว่าโมเดล A ดังนั้นโมเดล B มีความเหมาะสมในพัฒนาต่อยอดเนื่องจากมีความแม่นยำและประสิทธิภาพที่ดีกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. โมเดล A และ โมเดล B หากมีการไปทดลองกับ Dataset อื่นจำเป็นต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์บ้างตัว โดยเฉพาะโมเดล B ที่เป็นการทดลองจากการใช้ช่วงของค่าสี HSV มาเปรียบเทียบ ดังนั้นจำเป็นต้องหาช่วงของค่า HSV ใหม่เพื่อให้มีความเหมาะสมกับ Dataset ที่นำมาทดลอง

2. เวลาในการประมวลผลจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นเวลาในการประมวลผลใหม่อาจจะไม่เท่ากับเวลาประมวลผลจากงานวิจัยนี้

5.3 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากโครงการส่งเสริมการศึกษาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และขอขอบคุณบริษัทในกรณีศึกษาที่อนุญาตให้เข้าเก็บข้อมูลในการทำงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] G.B. García, O.D. Suarez, J.L. Aranda, J.S. Tercero, I.S. Gracia and N.V. Enano, Learning Image Processing with OpenCV, 1st ed., Packt Publishing, 2015.

[2] C. Junhua and L. Jing, Research on Color Image Classification Based on HSV Color Space, 2012 Second International Conference on Instrumentation Measuring Computer Communication and Control, 8-10 Dec 2012, China

[3] Data Science Blogathon., "Data Science Blogathon: In-depth understanding of Confusion Matrix". Online document https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/05/in-depth-understanding-of-confusion-matrix accessed on Dec 28, 2021

[4] G. Tonguç and A.K. Yakut. 2009. "Fruit Grading Using Digital Image Processing Techniques". TARMEK, Vol. 5 (1): 93 – 101.

[5] อนล ไพศาล และธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม. 2554. "การคัดแยกเมล็ดพันธุ์ปนในถั่วเขียวโดยการวิเคราะห์ภาพถ่าย". วารสารแก่นเกษตร , ปีที่ 39, ฉบับพิเศษ 3: 240-247.

[6] M. Pushpavalli. 2019. "Image Processing Technique for Fruit Grading". IJEAT, Vol.8 (6): 3894-3896.

[7] K. Kansal, T. Gupta, A. Singh and R. Majumdar. 2019. "Image Processing of Vegetables and Predicting Disease". IJEAT, Vol.8 (11): 3791-3797.

การพัฒนาระบบคัดขนาดมะนาวอัตโนมัติด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่องจักรกล

Development of an automated size grading system for limes using image processing and machine learning

ณัฐชนน วัฒนาวิวัฒน์[1] ณัฐวุฒิ ผลทอง[1] สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์[1] และกุลภัสร์ ทองแก้ว[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: tkunlapat@eng.psu.ac.th*

Natchanon Wattanawiwat[1], Nuttawut Phonthong[1], Supapan Chaiprapat[1] and Kunlapat Thongkaew[1*]
[1]Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
E-mail: tkunlapat@eng.psu.ac.th*

บทคัดย่อ

มะนาวนับว่าเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย มะนาวที่ผลิตส่วนใหญ่ถูกนำไปขายสำหรับบริโภคในครัวเรือนซึ่งมีการคัดแยกขนาดตามเกณฑ์และกำหนดราคาขายตามขนาดของลูกมะนาว ดังนั้นการคัดแยกขนาดเพื่อแบ่งมะนาวออกเป็นระดับชั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญ ลดการสูญเสียผลกำไรและเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค ปัจจุบันการคัดแยกขนาดมะนาวสามารถทำได้โดยการใช้แรงงานคนหรือการใช้เครื่องจักร อย่างไรก็ตามการใช้แรงงานคนเพื่อให้การคัดขนาดมีประสิทธิภาพต้องอาศัยทักษะ และการใช้เครื่องจักรยังพบความคลาดเคลื่อนในการคัดแยกขนาด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำเทคนิคการประมวลภาพมาช่วยในการคัดแยกขนาดมะนาวให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยระบบที่พัฒนาขึ้นจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของการรับข้อมูลภาพของมะนาวจากกล้อง ส่วนที่สองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ข้อมูลภาพและการเรียนรู้ของเครื่องจักรกลสำหรับการคัดขนาดของมะนาว และส่วนที่สามคือ การแสดงผลสถานะขนาดมะนาวผ่านหลอดไฟที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จากการทดสอบโปรแกรม พบว่าในการคัดแยกมะนาว 100 ลูก ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 4 ขนาด ได้แก่ A B C และ D สามารถคัดแยกขนาดได้ถูกต้องทั้งหมด 100 ลูก โดยไม่มีความผิดพลาดจากการคัดแยกขนาดมะนาวซึ่งมีความถูกต้องในการคัดแยกขนาด 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผลลัพธ์ในการคัดแยกมะนาวจึงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดขนาดลูกมะนาวให้มีความถูกต้องมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบคัดแยกอัตโนมัติและผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นได้ต่อไป

คาสาคัญ: มะนาว, ระบบคัดขนาดอัตโนมัติ, การประมวลผลภาพ, การเรียนรู้ของเครื่องจักรกล

Abstract

Lime is one of the agricultural products that play an essential role in Thailand's economy. Limes mostly produced in the country are marketed for household use. They are sorted according to size and their appearances. Currently, a sorting process can be found operated both manually and mechanically. Although effective manual sorting requires highly skilled labor, with this approach, the limes can also be inspected for defects. Using a machine, on the other hand, eliminates labor-related problems, but inaccuracy was reported. Based on the problems mentioned above, an automated system driven by a machine learning algorithm was presented to improve the sorting accuracy. It consists of three modules: the first is an image acquisition module, the second is subdivided into two parts: visual data analysis and a sorting algorithm. Sorting results are displayed in the third module through microcontroller-controlled lamps. The system was tested using 100 lime images to be sorted into four different grades: A, B, C, and D. The accuracy rate of sorting was 100%. In conclusion, the accuracy of the proposed system was satisfactorily achieved. This approach can be extensively applied to other quality classification and other agricultural products.

Keywords: Limes, Size grading system, Image processing, Machine learning

1. บทนำ

มะนาวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความต้องการสูงเพราะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบได้หลากหลายทั้งในด้านอาหาร เครื่องดื่ม ยาสมุนไพร และเครื่องสำอางอีกทั้งมะนาวยังสามารถออกผลนอกฤดูได้ทำให้เกษตรกรสามารถผลิตมะนาวได้ทั้งปี โดยทั่วไปมะนาวที่ผลิตในประเทศถูกส่งเข้าโรงงานเพื่อแปรรูปตามอุตสาหกรรม 19 เปอร์เซ็นต์ และถูกนำไปบริโภคในครัวเรือนโดยใช้เกณฑ์ขนาดของลูกมะนาวเป็นตัวคัดแยก 81 เปอร์เซ็นต์ [1] การซื้อขายมะนาวจะมีการคัดแยกขนาดเป็นเกรดต่างๆ และกำหนดราคาตามขนาด มะนาวผลใหญ่ซึ่งมีราคาสูงกว่าจะนิยมนำมาขายปลีกส่วนมะนาวผลเล็กจะนำมาแปรรูปเป็นน้ำมะนาว การคัดแยกมะนาวที่ตรงตามเกณฑ์และมีขนาดสม่ำเสมอจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ซื้อและผู้ขายในเรื่องความคุ้มค่าและยังสะดวกต่อการแปรรูปด้วยเครื่องจักร ปัจจุบันการคัดขนาดมะนาวสามารถทำได้โดยใช้แรงงานคนและเครื่องจักร การคัดขนาดด้วยแรงงานคนจะต้องใช้คนที่มีทักษะ ซึ่งหากต้องการผลผลิตสูง จำเป็นต้องใช้แรงงานคนเป็นจำนวนมาก ส่วนการคัดขนาดด้วยเครื่องจักรสามารถคัดแยกได้อย่างรวดเร็ว แต่จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับค่าเครื่องจักร และยังพบความผิดพลาดในการการคัดขนาด [1] หากมีการพัฒนาระบบคัดขนาดมะนาวอัตโนมัติจะช่วยลดเวลา ลดแรงงานคน และยังเพิ่มความแม่นยำในการคัดขนาดมะนาวอีกด้วย

จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพสำหรับการคัดแยกขนาดผลิตผลทางการเกษตรหลากหลายชนิด [2-5] นุชรี ธรรมโชติ [2] ได้พัฒนาระบบการประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูป ระบบสามารถคัดแยกขนาดและสายพันธุ์โดยมีความแม่นยำสูงกว่าการคัดแยกด้วยพนักงาน วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์ และคณะ [3] ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วยการหาพื้นที่เส้นรอบรูปและพื้นที่หน้าตัดของอกไก่และผลมะนาว พบว่ามีความเที่ยงตรงเมื่อเทียบกับการวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์มากกว่า 90 เปอร์เซนต์ Nassiri และคณะ [4] ประเมินระดับความสุกของมะเขือเทศใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและตรรกศาสตร์คลุม (fuzzy logic) โดยศึกษาตัวแปรสีและขนาดของวัตถุ Do และคณะ [5] ประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับหุ่นยนต์แบบขนาน (parallel robot) เพื่อความเร็วและความแม่นยำสำหรับการแบ่งประเภทวัตถุ

จากข้อมูลข้างต้นเห็นได้ว่าเทคนิคการประมวลผลภาพมีประสิทธิภาพสำหรับประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบหรือคัดแยกวัตถุโดยเฉพาะผลิตผลทางการเกษตรที่มีความหลากหลายของรูปร่างและขนาด และเทคนิคนี้สามารถนำไปใช้ร่วมกับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์คัดแยกที่ต่อยอดไปสู่ระบบการคัดแยกอัตโนมัติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเทคนิคการประมวลผลภาพซึ่งเป็นระบบการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกขนาด การนำการประมวลผลภาพมาใช้นั้นจะเป็นการลดการใช้แรงงานคนลง โดยการนำกล้องมาใช้สำหรับบันทึกภาพวัตถุและนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่างและทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นจึงนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์และสร้างเป็นระบบเพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เช่น ระบบคัดแยกเกรด ขนาดหรือคุณภาพของพืชผลทางการเกษตร สำหรับในงานวิจัยนี้ การคัดแยกด้วยระบบอัตโนมัติจะช่วยลดแรงงานคนและเวลาที่ตรวจสอบขนาดมะนาว อีกทั้งยังเป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูง ในอนาคตยังสามารถพัฒนาเพิ่มเติมให้ตรวจสอบคุณภาพด้านอื่น ๆ เช่นการคัดแยกผลผลิตที่มีตำหนิ บ่งชี้รูปร่าง หรือความสมบูรณ์ของผลผลิต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 การคัดขนาดมะนาว

มะนาวเป็นไม้ผลอยู่ในสกุลส้ม มีรสเปรี้ยวจัดและมีผลสีเขียว ผลมะนาวโดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.0-5.0 cm. ลักษณะของผลมะนาวมีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ เช่น รูปร่างยาวรี รูปไข่ และรูปร่างกลม [1] ปริมาณการปลูกมะนาวส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดทางภาคกลางและภาคเหนือ เช่น เพชรบุรี ราชบุรี และสมุทรสาคร โดยมีผลผลิตในปี 2563 ประมาณ 148,359 ตัน [6]

ในปัจจุบันกระบวนการในการคัดแยกมะนาวส่วนใหญ่จะเป็นการคัดขนาดด้วยแรงงานคนหรือเครื่องจักร การคัดขนาดด้วยแรงงานคนจะใช้สายตาพิจารณา หรืออาจมีการใช้อุปกรณ์ช่วยเพื่อการคัด เช่น ห่วงคัดขนาด [7] การคัดขนาดด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือ แรงงานคนมีความยืดหยุ่นสูงในการคัดขนาดที่หลากหลาย ไม่ทำให้มะนาวเสียหายระหว่างการคัดแยกและยังสามารถคัดเลือกหยิบวัตถุดิบที่มีตำหนิอื่นๆ เช่น สี การเน่าเสียที่มองเห็นด้วยตาเปล่า สำหรับการคัดแยกขนาดมะนาวด้วยเครื่องคัดแยกมีข้อดีคือสามารถคัดขนาดได้อย่างรวดเร็วเหมาะกับการคัดแยกปริมาณมาก อย่างไรก็ตามหากความเร็วในการคัดแยกไม่เหมาะสมอาจทำให้มะนาวเสียหายได้ และไม่สามารถคัดแยกคุณภาพมะนาว เช่น มะนาวเน่าออกจากผลมะนาวดีได้

เกณฑ์การคัดขนาดมะนาวตามสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ใช้การพิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมะนาว ซึ่งแต่ละพื้นที่มีการแบ่งเกณฑ์คัดขนาดที่แตกต่างกันเช่น บริเวณจังหวัดเพชรบุรี แบ่งขนาดมะนาวออกเป็น 3 เกรด ได้แก่ เกรด 1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 4.5 cm. เกรด 2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4.3-4.5 cm. และ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 3.5-4.3 cm. [1]

2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล (digital format) หรือข้อมูลเชิงตัวเลข เทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัลสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายวัตถุประสงค์ เช่น เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ดีขึ้น เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถแปลความหมายภาพได้ (computer interpretation) ใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต เป็นต้น การประมวลผลภาพมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ 6 ขั้นตอน คือ1) การจัดสภาพแวดล้อม 2) การดึงข้อมูลภาพ 3) การประมวลผลภาพ

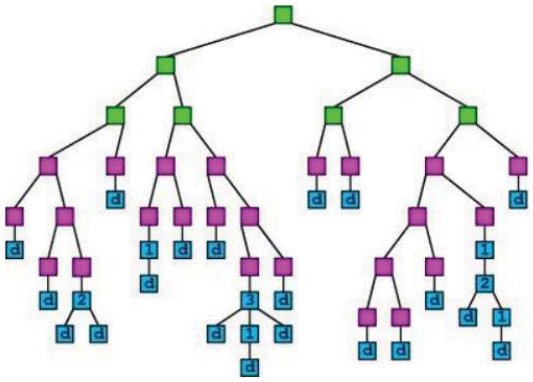
เบื้องต้น 4) การแยกบริเวณ 5) การคำนวณหาคุณลักษณะของวัตถุ และ 6) การจำแนกวัตถุและการแปลความหมาย ผลจากกระบวนการประมวลผลภาพสามารถแบ่งส่วนหรือบริเวณที่สนใจ (region of interest) ออกมาจากภาพ เพื่อนำบริเวณที่สนใจนั้นไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่างและทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เช่น ระบบคัดแยกเกรดหรือคุณภาพของวัตถุ [8]

2.3 ระบบอัตโนมัติ (Automatic System)

ระบบอัตโนมัติคือ ระบบที่ทำงานผ่านการควบคุมจากคอมพิวเตอร์ อาจเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเริ่มทำงานได้ด้วยตัวเองตามโปรแกรมที่มนุษย์เป็นผู้ควบคุมไว้ เช่น ระบบรดน้ำอัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดจากมนุษย์และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตมากยิ่งขึ้น [9] การสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบอัตโนมัติประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ 1. การรวบรวมข้อมูลรายละเอียดและข้อกำหนดต่างๆ ของงานที่ต้องการจะควบคุม 2. การนำข้อมูลและเงื่อนไขมาจัดการให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม เช่น การเขียนแผนภาพแสดงการทำงาน 3. การแปลงแผนภาพให้เป็นภาษาต่างๆ ที่เหมาะสมเช่น ภาษาแลดเดอร์ ภาษาบูลีน ทำการทดสอบโปรแกรมควบคุมการทำงานต่างๆ ตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง 4. การทดสอบกับระบบการทำงานจริง และ 5. การจัดทำเอกสารที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดสำหรับการซ่อมบำรุง หรือการปรับปรุงระบบควบคุมต่อไปในอนาคต

2.4 การเรียนรู้ของเครื่องจักรกล (Machine Learning)

การเรียนรู้ของเครื่องจักรกลคือ ส่วนการเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์ถูกใช้งานเสมือนเป็นสมองของปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) มักจะใช้เรียกโมเดลที่เกิดจากการเรียนรู้ของปัญญาประดิษฐ์ มีการเขียนโปรแกรมให้ปัญญาประดิษฐ์เรียนรู้จากข้อมูลหรือสิ่งที่ส่งเข้าไปกระตุ้นแล้วจดจำเอาไว้เป็นมันสมอง และส่งผลลัพธ์ออกมาเป็นตัวเลขหรือโค้ดที่ส่งต่อไปแสดงผลหรือการกระทำ การเขียนโปรแกรมหรืออัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้ของเครื่องจักรกลมีหลากหลายแบบ เช่น การเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ที่สามารถประยุกต์ใช้ได้หลายลักษณะงานเนื่องจากใช้งานได้ง่าย [10]



รูปที่ 1 ตัวอย่างแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจ [11]

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree learning) สำหรับการเรียนรู้ของเครื่องจักรกลในการคัดแยกขนาดมะนาวเนื่องจากอัลกอริทึมต้นไม้จะสร้างแบบจำลองเพื่อหาทางที่ดีที่สุดจากบนลงล่างตามโครงสร้างของต้นไม้ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) โหนดซึ่งเป็นจุดคุณสมบัติหรือเงื่อนไขเพื่อเลือกทิศทางแยก 2) กิ่งซึ่งเป็นคุณสมบัติในโหนดที่แตกออกมา และ 3) ใบซึ่งเป็นกลุ่มของผลลัพธ์ในการแยกแยะข้อมูล ดังรูปที่ 1 เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์เพื่อแบ่งหมวดหมู่ข้อมูล [11]

2.5 ตารางข้อผิดพลาด (confusion matrix)

ตารางข้อผิดพลาดเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินผลลัพธ์ของการทำนายจากโมเดลที่สร้างขึ้นโดยการเรียนรู้ของเครื่องจักรกล ซึ่งเป็นจากการวัดค่าสิ่งที่โมเดลทำนายกับสิ่งที่วัดได้จากค่าจริงเปรียบเทียบกันโดยใช้ตารางข้อผิดพลาดดังรูปที่ 2 ซึ่งข้อมูล a และ d แสดงจำนวนข้อมูลที่มีในการทำนายถูกต้อง ส่วนข้อมูล b และ c แสดงจำนวนข้อมูลที่มีในการทำนายผิด นอกจากนี้จะมีการประเมินในส่วนของ 1) อัตราส่วนระหว่างการทำนายว่าถูกต้องกับข้อมูลทั้งหมดที่ถูกต้อง (sensitivity) 2) อัตราส่วนระหว่างการทำนายว่าผิดกับข้อมูลทั้งหมดที่ผิด (specificity) และ 3) อัตราส่วนระหว่างการทำนายว่าถูกต้องกับข้อมูลที่ทำนายทั้งหมด (precision)

		PREDICTED CLASS	
		Class=Yes	*Class=No*
ACTUAL CLASS	*Class=Yes*	*a*	*b*
	Class=No	*c*	*d*

รูปที่ 2 ตัวอย่างตารางข้อผิดพลาด [11]

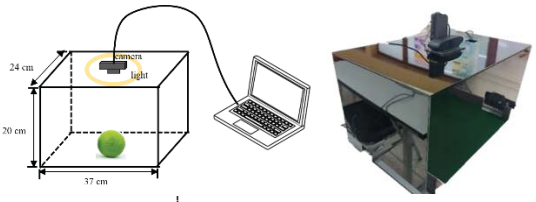
3. การดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้การทำงานของระบบคัดแยกขนาดมะนาวอัตโนมัติประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1. การสร้างระบบถ่ายภาพมะนาว 2. การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพและคัดแยกขนาดมะนาว และ3. การแสดงผลการคัดขนาดมะนาว มีโปรแกรม MATLAB R2021a [12] ทำหน้าที่เชื่อมต่อและควบคุมการทำงานทั้ง 3 ส่วนเข้าด้วยกันคือ ระบบจะเริ่มจากการถ่ายภาพมะนาวและบันทึกข้อมูล หลังจากนั้นข้อมูลภาพจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อคัดขนาด และผลการคัดขนาดจะถูกนำส่งเป็นยังอุปกรณ์ที่แสดงสถานะขนาดสำหรับการคัดแยกต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

3.1 การสร้างระบบถ่ายภาพมะนาว

ระบบถ่ายภาพมะนาวหรืออุปกรณ์เก็บข้อมูลเพื่อลดปัญหาสัญญาณรบกวนที่จะปรากฏบนภาพถ่ายเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลภาพประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพ กล่องควบคุมแสง แหล่งกำเนิดแสง และคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3 โดยกล้องถ่ายภาพใช้กล้อง Logitech C922 มีความละเอียดเท่ากับ 1080p full HD และความเร็วในการแสดงผล

ภาพต่อวินาที (frame rate) 30-60 fps ในส่วนของกล่องควบคุมแสงได้ถูกออกแบบให้มีขนาดความกว้าง 24 cm. ความยาว 37 cm. และความสูง 20 cm. มีการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงซึ่งเป็นหลอดไฟวงแหวน LED ขนาด 7 วัตต์ ประเภทสีเดย์ไลท์ (daylight) ภายในด้านบนของกล่อง นอกจากนี้มีการใช้แผ่นรองชิ้นงานสีขาวเพื่อลดการเกิดเงาที่อาจส่งผลต่อความผิดพลาดในการประเมินขนาด คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมการถ่ายภาพและการประมวลผลเพื่อคัดขนาดมะนาวคือ Intel core I7-11800H ขนาดหน่วยความจำ (RAM) 8.00 GB ใช้ระบบปฏิบัติการ Window 10



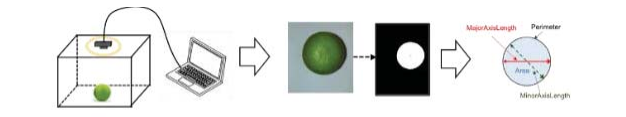
รูปที่ 3 ระบบถ่ายภาพมะนาว

3.2 การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพและคัดแยกขนาดมะนาว

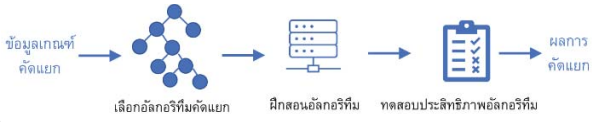
การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพและคัดแยกขนาดมะนาวในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลซึ่งเป็นผลจากการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกมะนาว และคัดขนาดอ้างอิงเกณฑ์ดังตารางที่ 1 [1] ตัวอย่างผลที่ได้จากการประมวลผลภาพแสดงดังรูปที่ 4(ก) หลังจากนั้นนำผลข้อมูลการคัดแยกขนาดมาทำฝึกสอนอัลกอริทึมตามหลักการเรียนรู้ของเครื่องจักรกลเพื่อการคัดแยกขนาดอัตโนมัติ (รูปที่ 4(ข)) รายละเอียดของการพัฒนาโปรแกรมมีดังนี้

ตารางที่ 1 ขนาดของมะนาวระดับต่างๆ [1]

ขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)
A	< 43
B	43 - 46
C	> 46- 49
D	> 49



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 (ก)การประมวลผลภาพ และ(ข)การเรียนรู้ของเครื่องจักรกลเพื่อการคัดแยกขนาดอัตโนมัติ

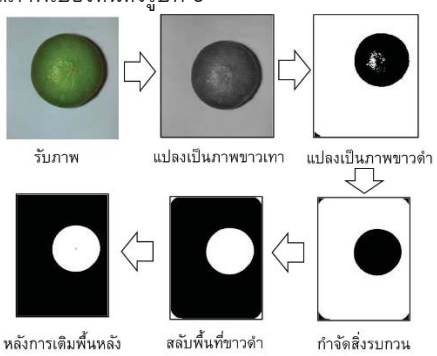
1) การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1.1) เชื่อมต่อระบบถ่ายภาพและรับภาพเข้าสู่โปรแกรม MATLAB ทำการเชื่อมต่อกล้องเพื่อควบคุมการถ่ายภาพและรับข้อมูลภาพถ่ายด้วยคำสั่ง *imaqhwinfo* และคำสั่ง *getsnapshot* ของ MATLAB ทำให้ได้ภาพถ่าย .img [12]

1.2) การประมวลผลภาพเบื้องต้น (pre-processing)

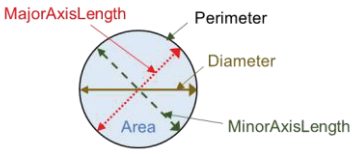
ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการนำภาพที่รับมาแปลงเป็นภาพขาวเทาด้วยคำสั่ง *rgb2gray* เพื่อลดสิ่งรบกวน หลังจากนั้นแปลงเป็นภาพขาวดำด้วยคำสั่ง *Im2bw* เพื่อให้ภาพมีค่าภายในภาพมีเพียงสองค่าคือ ค่าสีขาว (1) กับ ค่าสีดำ (0) ทำการกำจัดสิ่งรบกวนภายในภาพด้วยคำสั่ง *Imfillter* และทำการสลับสีขาว-ดำภายในภาพด้วยคำสั่ง *Imcomplement* เนื่องจากการดึงข้อมูลคุณลักษณะภาพจะคำนวณได้จากพิกเซลสีขาวเท่านั้น ขั้นตอนสุดท้ายทำการเติมพื้นหลังภายในภาพด้วยคำสั่ง *Imclearborder* เพื่อกำจัดส่วนพิกเซลสีขาวที่ไม่จำเป็นภายในภาพทำให้การดึงข้อมูลคุณลักษณะของมะนาวมีความแม่นยำมากขึ้น ผลของการประมวลผลภาพเบื้องต้นดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การประมวลผลภาพมะนาวเบื้องต้น

1.3) การคำนวณหาคุณลักษณะของมะนาว (feature extraction)

การหาคุณลักษณะของมะนาวสำหรับการคัดขนาดได้ทำหลังจากการประมวลผลภาพเพื่อกำจัดสิ่งรบกวนเรียบร้อยแล้ว โดยคุณลักษณะที่มีผลในการคัดขนาดสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 5 คุณลักษณะ คือ พื้นที่ (*area*) เส้นรอบรูป (*perimeter*) ขนาดความยาวของแกนหลักวงรี (*majoraxislength*) ขนาดความยาวของแกนรองวงรี (*minoraxislength*) และเส้นผ่านศูนย์กลาง (*diameter*) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 คุณลักษณะของขนาดมะนาว

1.4) การคำนวณหาขนาดจริง

จากขั้นตอนข้างต้นผลของคุณลักษณะของผลมะนาวยังอยู่ในหน่วยพิกเซล ดังนั้นเพื่อสามารถคัดขนาดมะนาวได้จะต้องมีการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดภาพกับขนาดจริง งานวิจัยนี้ได้ใช้ภาพวงกลมอ้างอิงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจริง 10 mm. นำไป

คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดภาพในหน่วยพิกเซลและความยาวจริงในหน่วย มม.

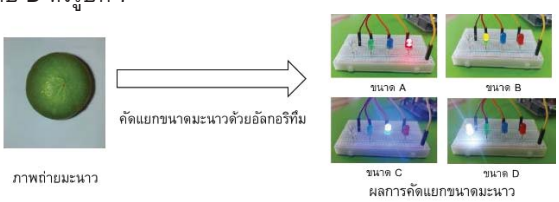
2) การคัดแยกขนาดอัตโนมัติด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักรกล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลภาพมะนาวออกเป็น 2 ส่วนคือสำหรับการฝึกสอนอัลกอริทึมจำนวน 400 ภาพ นำคุณลักษณะต่าง ๆ ของภาพที่ได้จากขั้นตอนการประมาลผลภาพมาเป็นตัวแปรในการคัดขนาดมะนาว และอีก 100 ภาพสำหรับการทดสอบความถูกต้องของการคัดขนาดอัตโนมัติ ที่ทำงานโดยอาศัยการเรียนรู้ของเครื่องจักรกลผ่านโปรแกรม classification learner และอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจใน MATLAB

3.3 การแสดงผลการคัดขนาดมะนาว

จากขั้นตอนที่ 3.2 ซึ่งมีการวิเคราะห์เพื่อคัดขนาดมะนาว ผลของการคัดขนาดจะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์เพื่อแสดงสถานะขนาดและการคัดแยกต่อไป งานวิจัยนี้ได้ใช้ Arduino ซึ่งคือไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) ชนิดหนึ่ง มีการเชื่อมต่อร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มีการรับข้อมูล (input) ประมวลข้อมูล และส่งสัญญาณ (output) ไปยังอุปกรณ์เพื่อควบคุมการทำงานมาใช้สำหรับการแสดงสถานะการคัดแยกขนาดมะนาวแทนที่การใช้ระบบการคัดแยกด้วยระบบสายพานเนื่องจากมีข้อจำกัดด้านการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับ MATLAB

การแสดงผลการคัดขนาดเริ่มจากเชื่อมต่อ Arduino กับโปรแกรม MATLAB หลังจากนั้นกำหนดตัวแปรเพื่อรับค่าผลการคัดแยกขนาดมะนาวจากโปรแกรม MATLAB ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวแปร *Code* และกำหนดค่าใน *Code* แทนขนาดของมะนาวแต่ละระดับตามเกณฑ์ในตารางที่ 1 ดังนี้ *Code* = 1001 แทนมะนาวเกรด A *Code* = 2002 แทนมะนาวเกรด B *Code* = 3003 แทนมะนาวเกรด C และ *Code* = 4004 แทนมะนาวเกรด D เพื่อให้ Arduino ส่งสัญญาณแสดงผลสถานะขนาดมะนาวโดยเปิดหลอดไฟสีต่าง ๆ ตามระดับขนาด โดยหากหลอดไฟสีแดงสว่างแสดงว่าขนาดมะนาวคือระดับ A หลอดไฟสีเหลืองสว่างคือระดับ B หลอดไฟสีน้ำเงินสว่างคือระดับ C และหลอดไฟสีขาวสว่างคือระดับ D ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การแสดงผลกรคัดขนดมะนาว

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการประมวลผลภาพและคัดแยกขนาดมะนาว

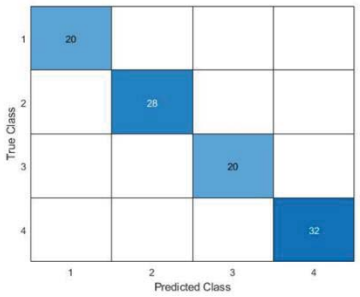
ภาพถ่ายมะนาวจำนวน 400 ภาพได้ถูกประมวลผลเบื้องต้น ดึงข้อมูลคุณลักษณะภาพและคัดแยกขนาดมะนาวเพื่อเป็นข้อมูลในการฝึกสอนอัลกอริทึมการเรียนรู้ด้วยเครื่องจักร รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างผลข้อมูลการคัดแยกขนาดระดับต่าง ๆ

	A	B	C	D	E	F
1	Size	Diameter	Area	MajorAxisLength	MinorAxisLength	Perimeter
2	A	41.034334	90234	341.3726028	336.5884424	1065.733
3	B	42.015348	91688	349.5338525	334.0393984	1074.351
4	D	50.755715	135905	422.2466638	409.851275	1307.687
5	A	40.652787	84174	338.1984409	317.0249349	1029.204
6	A	40.651836	84176	338.1905273	317.0407219	1028.626
7	A	40.786876	87991	339.3139586	330.3467794	1054.329
8	A	40.784885	87985	339.29739	330.3432187	1052.807
9	A	40.781217	87972	339.2668763	330.322772	1052.236
10	A	41.186384	88276	342.6375424	328.0724708	1053.212
11	A	40.355702	85563	335.7269375	324.5436691	1036.919
12	A	41.201604	88298	342.7641538	328.032012	1053.469
13	A	41.202003	88314	342.7674755	328.0887649	1053.006
14	A	41.035955	90223	341.3860931	336.5340091	1064.774
15	A	41.205415	88309	342.7958591	328.043379	1052.733

รูปที่ 8 ตัวอย่างผลข้อมูลการคัดแยกขนาดระดับต่าง ๆ

4.2 ผลการคัดแยกขนาดโดยการเรียนรู้ของเครื่องจักรกลและการแสดงสถานะขนาดมะนาวด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้วิจัยได้นำภาพถ่ายมะนาวจำนวน 100 ภาพ ซึ่งเป็นคนละส่วนกับภาพที่ใช้สำหรับการฝึกสอนอัลกอริทึมเพื่อทำการทดสอบความแม่นยำในการคัดขนาดมะนาวโดยการเรียนรู้ของเครื่องจักรกล ใช้ตารางข้อผิดพลาดในการประเมินความแม่นยำ จากการทดสอบอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้วพบว่าการคัดขนาดมีความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 9) เนื่องจากภาพที่ใช้มีการควบคุมตัวแปรหลายอย่าง เช่น แสงที่กระทบกับลูกมะนาว การวางลูกมะนาว ตำแหน่งการวางลูกมะนาว สีของลูกมะนาว และในการฝึกสอนโมเดลได้ใช้รูปจำนวน 400 รูป เพื่อฝึกสอนโมเดลโดยมีความหลากหลายของข้อมูลมากทำให้สามารถคัดแยกขนาดมะนาวได้มีความละเอียดสูง และไม่เกิดความผิดพลาดในการคัดขนาดลูกมะนาว นอกจากนี้ระบบ Arduino สามารถรับข้อมูลผลการคัดแยกขนาดจากโปรแกรม MATLAB และสถานะขนาดได้ถูกต้องตามผลการคัดแยกดังรูปที่ 8



รูปที่ 9 ผลการทดสอบความแม่นยำโดยใช้ตารางข้อผิดพลาด

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาระบบการคัดขนาดมะนาวอัตโนมัติโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแม่นยำในตรวจสอบได้อย่างถูกต้องอย่างน้อย 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมะนาวเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจึงมีความไม่แน่นอนในการคัดแยกสูง มีการนำเทคนิคการประมวลผลภาพ การเรียนรู้ของเครื่องจักรกล และไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการคัดขนาดมะนาวออกเป็น 4 เกณฑ์ คือ A B C และ D

การพัฒนาระบบคัดแยกขนาดมะนาวโดยโปรแกรม MATLAB ทำหน้าที่เชื่อมต่อและควบคุมการทำงานสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การสร้างระบบถ่ายภาพมะนาว เป็นการสร้างอุปกรณ์ประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพ กล่องควบคุมแสง และแหล่งกำเนิดแสง เพื่อลดปัญหาสัญญาณรบกวนที่จะปรากฏบนภาพถ่าย 2) การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพและคัดแยกขนาดมะนาว เป็นส่วนของการนำภาพถ่ายของลูกมะนาวไปแปลงเป็นภาพขาวดำ และกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแสงหรือเงาเพื่อให้รูปเกิดความผิดพลาดของขนาดน้อยที่สุด หลังจากนั้นทำการดึงข้อมูลคุณลักษณะ ได้แก่ พื้นที่ เส้นรอบรูป ขนาดความยาวของแกนหลักวงรี ขนาดความยาวของแกนรองวงรีและเส้นผ่านศูนย์กลาง เพื่อเป็นตัวแปรสำหรับการคัดขนาดและฝึกสอนอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจภายใต้หลักการเรียนรู้เครื่องจักรกลสำหรับการคัดแยกขนาดอัตโนมัติโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจำนวน 400 ภาพ สุดท้ายทำการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพการคัดขนาดโดยใช้ข้อมูลคนละส่วนกับการฝึกสอนซ้ำกับข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน และ 3) การแสดงผลการคัดขนาดมะนาวเป็นการแสดงผลสถานะขนาดลูกมะนาวที่ถูกคัดแยกขนาดเป็นระดับต่างๆจากส่วนที่ 2 ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งสัญญาณควบคุมการปิด-เปิดหลอดไฟสีต่างๆ เพื่อแสดงระดับขนาดผลมะนาวนั้นๆ

ผลจากการทดสอบระบบการคัดขนาดมะนาวพบว่า สามารถคัดขนาดมะนาวจำนวน 100 ผล ได้ถูกต้องทั้งหมดและสามารถแสดงสถานะขนาดผ่านการเปิดหลอดไฟตามข้อกำหนดได้คือ ระดับ A เปิดหลอดไฟสีแดง ระดับ B เปิดหลอดไฟสีเหลือง ระดับ C เปิดหลอดไฟสีน้ำเงิน และระดับ D เปิดหลอดไฟสีขาว การคัดแยกขนาดมะนาวถูกต้องตามกำหนดโดยไม่มีข้อผิดพลาดอาจเป็นผลจากกระบวนการถ่ายภาพที่มีการควบคุมตัวแปรต่างๆ อย่างละเอียด ตัวแปรที่ใช้ในการคัดขนาดมีหลายตัวแปร หรือรูปภาพลูกมะนาวมีจำนวนที่มากเพียงพอที่จะรองรับเงื่อนไขต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในการคัดแยก ทำให้บรรลุวัตถุประสงค์งานวิจัยที่ต้องการพัฒนาประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดผลมะนาวไปสู่การสร้างระบบคัดแยกอัตโนมัติที่มีความถูกต้องอย่างน้อย 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถทดแทนการใช้แรงงานคน และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรมในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. การฟื้นฟู เยียวยาผู้ประสบภัย ด้วยงานวิจัย วช. เรื่อง การปลูกมะนาว, สถานที่พิมพ์: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2553.

[2] นุชรี ธรรมโชติ. พัฒนาระบบการประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูป, วิทยานิพนธ์,วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2557.

[3] วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์, ถนอมศักดิ์ โสภณ, ประเสริฐ นามเวช และศศิพันธ์ วงศ์สุทธาวาส, การคัดแยกผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้การประมวลผลภาพ, การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7, 8-10 กรกฎาคม 2558, จังหวัดตรัง, ประเทศไทย.

[4] S.M. Nassiri, A. Tahavoor and A. Jafari. 2021 “Fuzzy logic classification of mature tomatoes based on physical properties fusion” Information Processing in Agriculture, p. 1-9.

[5] T.V. Do, N.Q. Nam, D.D. Vinh, N.Q. Viet, P.N. Dat and T.V. Hung, Design of Delta Robot Using Image Processing for Product Sorting Process, Proceeding of 2021 International Conference on System Science and Engineering, 26- 28 August, 2021, Nha Trang, Vietnam, p.210-241.

[6] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, มะนาว : เนื้อที่ยืนต้น เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2563, ข้อมูลจากhttps://www.oae.go.th (วันที่สืบค้น 10 กันยายน 2564)

[7] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์, การคัดขนาด/Sizing”, ข้อมูลจาก www.foodnetworksolution.com/wiki /word/3240/การคัดขนาด-sizing (วันที่สืบค้น 1 กันยายน 2564).

[8] M. Alasdair, 2004. “An Introduction to Digital Image Processing with Matlab” School of Computer Science and Mathematics, Victoria University of Technology.

[9] สุเธียร เกียรติ์สุนทร. ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม พีแอลซีกับระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม, สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น บมจ., 2558.

[10] สมาคมโปรแกรมเมอร์ไทย, การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning), ข้อมูลจาก https://www.thaiprogrammer.org/2018/12/การเรียนรู้ของเครื่องmachine-le/ (วันที่สืบค้น 3 กันยายน 2564).

[11] รุจิรา ธรรมสมบัติ, ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกใช้แพคเกจอินเทอร์เน็ตมือถือโดยใช้ต้นไม้ตัดสินใจ, รายงานการวิจัยจากวิทยาลัยราชพฤกษ์ 2555.

[12] MATLAB (2021a) [Computer software] MathWorks, Inc., 2021.

การออกแบบระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะโดยใช้กล้องจดจำป้ายทะเบียน

Designing a Vehicle Theft Notification System using LPR Cameras

วรพจน์ เสรีรัฐ[1,2*] จิรวัฒน์ ตียาคม[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[2]ศูนย์บริหารจัดการเมืองอัจฉริยะมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: worapod.s@cmu.ac.th*

Worapod Sereerat[1,2*], Jirawat Teyakome[2]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
[2]Smart Campus Management Center, Chiang Mai University
E-mail: worapod.s@cmu.ac.th*

บทคัดย่อ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีพื้นที่มากกว่า 2,500 ไร่ และในปี พ.ศ. 2564 มีจำนวนยานพาหนะที่ผ่านเข้าออกมหาวิทยาลัย (ฝั่งสวนสัก) โดยเฉลี่ยต่อวัน 30,000 คัน โดยมหาวิทยาลัยได้มีจุดติดตั้งกล้องจดจำป้ายทะเบียนจำนวน 15 จุด ทำให้สามารถบันทึกยานพาหนะที่ผ่านบริเวณทางร่วมทางแยกต่างๆได้ และสามารถติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้ตลอดเวลาที่ใช้เส้นทางภายในมหาวิทยาลัย ในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะ ซึ่งเป็นระบบที่จะทำงานหลังจากที่ผู้ใช้ทำการล็อคยานพาหนะไว้ โดยที่ยานพาหนะคันดังกล่าวมีการเคลื่อนที่ผ่านกล้องจดจำป้ายทะเบียนตัวใดตัวหนึ่งก็จะมีข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้บริการทำให้ทราบตำแหน่งของยานพาหนะทันที ระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะประกอบไปด้วย การลงทะเบียนในระบบประตูอัจฉริยะ การจับภาพป้ายทะเบียน การออกแบบแอพพลิเคชั่นและการใช้งาน โดยผลจากการประเมินผลการใช้งานจากบุคลากรจำนวน 25 คน พบว่าระดับความพึงพอใจ 1) ด้านการออกแบบอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.85 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.12 2) ความสะดวกต่อการใช้ อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.90 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.10 และ 3) ความแม่นยำของระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.80 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.15 สรุปได้ว่าระบบระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะมีการออกแบบที่ใช้งานง่าย มีความสะดวกรวดเร็วในการแจ้งเตือน และมีความแม่นยำอยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด

คาสาคัญ: กล้องจดจำป้ายทะเบียน, ระบบประตูอัจฉริยะ, แอพพลิเคชั่น CMU mobile

Abstract

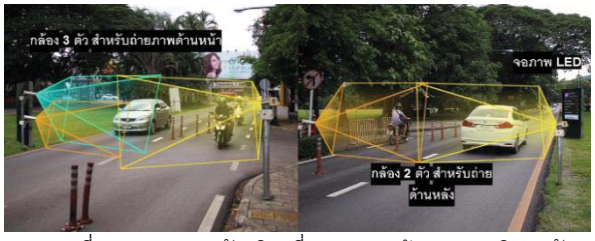
Chiang Mai University has an area of more than 2,500 rai. In 2021, there were 30,000 vehicles passing through the university (Suan Sak side) on average per day. The university has installed 15 license plate recognition (LPR) cameras, enabling recording of vehicles passing at intersections. Vehicle movement paths can be tracked at any time on campus routes. In this article, the design of the vehicle theft notification system is presented. This is a system that works after the user locks the vehicle. If the vehicle moves through one of the license plate recognition cameras, a message will be sent to warn the user. This will immediately know the location of the vehicle. The personal vehicle theft notification system consists of registration in the smart door system, capturing license plate images, application design and usability. From the evaluation of the use of 25 personnel, it was found that the satisfaction level of 1) The design aspect was at the highest level with a mean of 4.85 and a standard deviation of 0.12 2) ease of use was at the highest level with a mean of 4.90 and a standard deviation of 0.10 and 3) the accuracy of the system was at the highest level with a mean of 4.80 and a standard deviation of 0.15. In conclusion, this vehicle theft notification system It has a user-friendly design that is easy to use. It is convenient and quick to notify, and the accuracy was at the highest satisfaction level.

Keywords: License plate recognition, Smart gate system, CMU mobile application

1. บทนำ

การจดจำป้ายทะเบียน (License Plate Recognition : LPR) เป็นเทคนิคเรียลไทม์แบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ ซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการระบุตัวตน การควบคุมการโจรกรรม และการตรวจสอบความปลอดภัยของยานพาหนะ สำหรับการจดจำและการแยกส่วนที่ต้องการของป้ายทะเบียนรถจะใช้อัลกอริธึมที่แตกต่างกัน เทคโนโลยีการประมวลผลภาพจะเป็นการจดจำป้ายทะเบียนที่ใช้ในการระบุยานพาหนะ และยังมีประโยชน์สำหรับการเข้าออกของยานพาหนะบนถนนที่เก็บค่าผ่านทาง ระบบเหล่านี้สามารถใช้เพื่อให้รถผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางได้โดยไม่ต้องหยุด โดยที่กล้องจดจำป้ายทะเบียนจะทำการบันทึกป้ายทะเบียนรถและเชื่อมโยงหมายเลขกับเจ้าของที่จดทะเบียน ใบเสร็จค่าผ่านทางสามารถส่งทางไปรษณีย์ได้ นอกจากนี้เทคโนโลยีนี้ยังสามารถใช้ในสถานที่ที่ปลอดภัยและมีรั้วรอบขอบชิด เมื่อรถที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูลเข้าใกล้ประตูรักษาความปลอดภัย ระบบจะรู้จักป้ายทะเบียนและประตูจะเปิดโดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยให้ผู้ขับขี่ขับผ่านไปได้โดยไม่หยุดชะงัก โดยที่การประยุกต์ใช้กล้องวงจรปิด และกล้องจดจำป้ายทะเบียน มีงานวิจัยที่หลากหลาย เช่น [1] การใช้กล้องวงจรปิดในองค์กรธุรกิจก่อสร้าง [2] การใช้กล้อง LPR ในการบริหารจัดการพื้นที่จอดรถ และ [3] การประยุกต์ใช้กล้อง LPR ร่วมกับกล้อง CCTV เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีพื้นที่มากกว่า 2,500 ไร่ และในปี พ.ศ. 2564 มีจำนวนยานพาหนะที่ผ่านเข้าออกมหาวิทยาลัย (ฝั่งสวนสัก) โดยเฉลี่ยต่อวัน 30,000 คัน โดยคิดเป็นจำนวนรถยนต์ 37.77% และจำนวนรถจักรยานยนต์ 62.23% ภายในมหาวิทยาลัย (ฝั่งสวนสัก) มีพื้นที่จอดรถทั้งส่วนกลาง คณะและส่วนงานต่างๆประมาณ 130,000 ตารางเมตร ที่สามารถจอดรถยนต์ได้ 3,700 คัน และรถจักรยานยนต์ได้ 7,000 คัน จากการที่มหาวิทยาลัยได้มีการติดตั้งกล้องจดจำป้ายทะเบียน (License Plate Recognition camera : LPR camera) ในบริเวณประตูเข้าออกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 เป็นต้นมา ซึ่งเรียกว่า ระบบประตูอัจฉริยะ (Smart gate system) โดยเป็นระบบที่ใช้ในการบันทึกการเข้าออกของยานพาหนะโดยอ่านข้อมูลจากป้ายทะเบียนรถที่ประตูต่างๆตลอด 24 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบประตูอัจฉริยะที่ประตูทางเข้าออกมหาวิทยาลัย

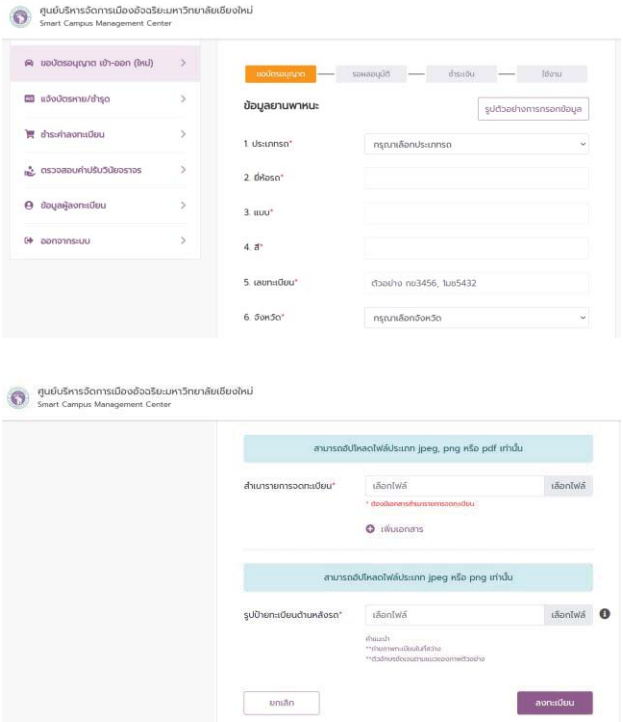
จากข้อมูลที่มีการบันทึกจากงานรักษาความปลอดภัยมีการแจ้งเหตุยานพาหนะสูญหายภายในมหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. 2560 – 2564 พบว่าจะเป็นรถจักรยานยนต์ทั้งหมด จำนวนรวม 17 ราย ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะทำการออกแบบระบบการแจ้งเตือน เพื่อเป็นการป้องกันการสูญหายของยานพาหนะขึ้น ซึ่งระบบการแจ้งเตือนนี้จะเป็นการเพิ่มความสามารถของระบบประตูอัจฉริยะที่มีอยู่เดิมเพื่อให้มีความสามารถในการแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่น CMU mobile แบบทันทีทันใด โดยที่ไม่จำเป็นที่จะต้องเพิ่มเติมอุปกรณ์ใดๆในส่วนของยานพาหนะ และเป็นการลดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้บริการ

2. การดำเนินงาน

ในบทความนี้จะกล่าวถึงองค์ประกอบของระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะ ประกอบไปด้วย การลงทะเบียนในระบบประตูอัจฉริยะ การจับภาพป้ายทะเบียน การติดตั้งกล้องจดจำป้ายทะเบียนเพิ่มเติม การออกแบบแอพพลิเคชั่นในการใช้งานการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะ สุดท้ายจะอธิบายการใช้งานและการประเมินผลการใช้งาน

2.1 การลงทะเบียนในระบบประตูอัจฉริยะ

ในการลงทะเบียนในระบบประตูอัจฉริยะ ผู้ใช้บริการสามารถลงทะเบียนผ่านอินเตอร์เน็ตโดยใช้โทรศัพท์มือถือหรือคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสะดวก รวดเร็ว ลดการใช้กระดาษ โดยสามารถลงทะเบียนได้ตลอดเวลา ข้อมูลที่ผู้ใช้บริการต้องกรอกข้อมูล ได้แก่ ประเภทยานพาหนะ ยี่ห้อรถ แบบ สี เลขทะเบียน จังหวัด และมีการอัพโหลดเอกสารเกี่ยวกับยานพาหนะที่ทำการลงทะเบียน แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 หน้าจอระบบการลงทะเบียนยานพาหนะ

หลังจากที่ทำการลงทะเบียนแล้วถ้ามีค่าบริการในการลงทะเบียน ผู้ใช้บริการสามารถชำระค่าบริการในรูปแบบออนไลน์ เช่น ระบบพร้อมเพย์ ได้ทันที จากนั้นระบบจะออกใบเสร็จรับเงินอิเล็คทรอนิกส์กลับไปยังผู้ใช้บริการผ่านทางอีเมล์ที่ลงทะเบียนไว้

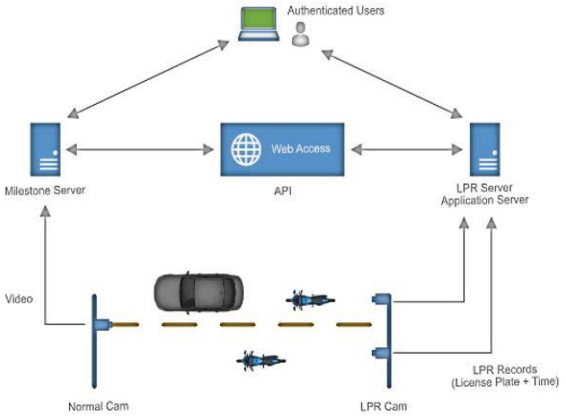
2.2 การจับภาพแผ่นป้ายทะเบียน

กล้องจดจำป้ายทะเบียนจะทำการจับภาพป้ายทะเบียนรถที่เป็นสีขาวดำ หรือหลากสี ซึ่งกล้องจดจำป้ายทะเบียนได้ทำการติดตั้งบริเวณประตูเข้าออกมหาวิทยาลัย จากนั้นภาพป้ายทะเบียนที่ถ่ายนี้จะถูกส่งไปยัง LPR server เพื่อทำการแปลงเป็นตัวอักษรตามตัวอักษรที่ป้ายทะเบียนโดยใช้เทคโนโลยี Optical Character Recognition (OCR) ซึ่งเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนข้อความที่อยู่ในรูปให้อยู่ในรูปแบบของข้อความ และนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการลงทะเบียน เพื่อที่จะสามารถทราบถึงผู้ครอบครองรถ โดยตัวอย่างการแปลงภาพป้ายทะเบียนจากรถยนต์ และรถจักรยานยนต์ แสดงดังรูปที่ 3



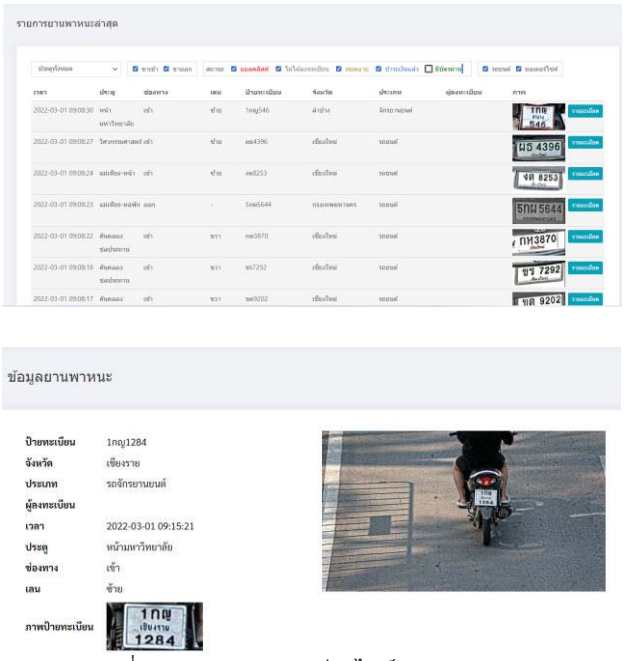
รูปที่ 3 การแปลงภาพป้ายทะเบียนจากรถยนต์ และรถจักรยานยนต์

จากระบบประตูอัจฉริยะที่ได้ออกแบบไว้จะเป็นการประยุกต์ใช้กล้องจดจำป้ายทะเบียนร่วมกับกล้อง CCTV เพื่อที่จะสามารถนำภาพยานพาหนะที่ผ่านเข้ามาภายในมหาวิทยาลัย ณ ขณะนั้นมาแสดงในเวลาเดียวกันได้ผ่านทาง web access โดยที่ระบบประตูอัจฉริยะสามารถจับภาพป้ายทะเบียนยานพาหนะได้ทั้งรถยนต์ และรถจักรยานยนต์ โดยระบบการอ่านภาพแผ่นป้ายทะเบียนยานพาหนะของระบบประตูอัจฉริยะ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบการอ่านภาพป้ายทะเบียนยานพาหนะ

การทำงานของระบบประตูอัจฉริยะจะเป็นการทำงานของทั้งกล้องวงจรปิดชนิด normal camera และ LPR camera ซึ่งจะเป็นการบันทึกข้อมูลทั้งภาพป้ายทะเบียน และเวลาตลอดเวลาโดยที่ normal camera จะทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหวและส่งข้อมูลเข้า milestone server ขณะเดียวกัน LPR camera จะทำการส่งข้อมูลป้ายทะเบียนพร้อมเวลาที่ตรวจจับได้เข้า LPR server เพื่อใช้สำหรับการเรียกดูข้อมูลจากผู้ใช้งานสามารถเรียกดูจากป้ายทะเบียนที่บันทึกได้ ซึ่งผู้ปฏิบัติงานสามารถดูภาพเหตุการณ์จากการอ้างอิงเวลาที่บันทึกได้ โดยการเรียกข้อมูลผ่าน API ไปยัง milestone server แสดงดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการแสดงผลแบบเรียลไทม์บน dashboard ของยานพาหนะที่ผ่านเข้าออกมหาวิทยาลัย



รูปที่ 5 การแสดงผลแบบเรียลไทม์บน dashboard

2.3 การติดตั้งกล้องจดจำป้ายทะเบียนเพิ่มเติม

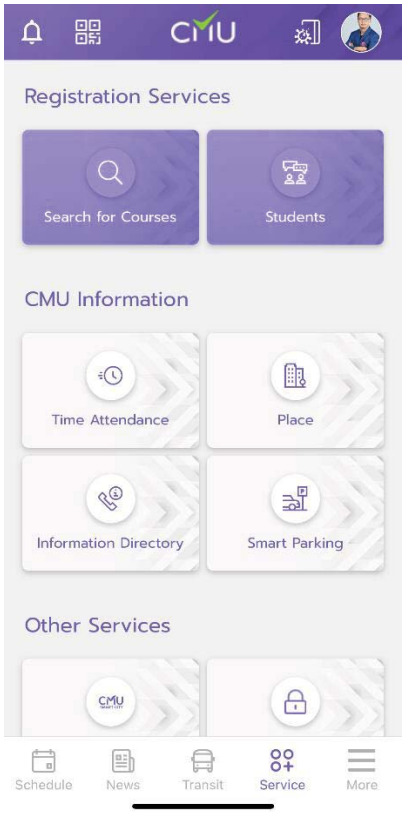
จากที่มีแนวคิดในการออกแบบระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะขึ้นนั้น ทางมหาวิทยาลัย (ฝั่งสวนสัก) จึงได้มีการติดตั้งกล้องจดจำป้ายทะเบียนเพิ่มเติมในบริเวณทางร่วมทางแยกที่สำคัญเพิ่มเติมในปี พ.ศ. 2564 โดยมีจุดติดตั้งกล้องจดจำป้ายทะเบียนเพิ่มขึ้นรวมเป็น 15 จุด ซึ่งจะทำให้ระบบสามารถติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้ตลอดเวลาที่ใช้เส้นทางภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งจะเป็นการป้องกันที่ดีกว่าที่จะให้ยานพาหนะนั้นออกไปจากพื้นที่มหาวิทยาลัย โดยตัวอย่างตำแหน่งการติดตั้งกล้องจดจำป้ายทะเบียนบริเวณด้านหน้ามหาวิทยาลัย แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตำแหน่งจุดติดตั้งกล้องจดจำป้ายทะเบียนภายในมหาวิทยาลัย (บริเวณด้านหน้ามหาวิทยาลัย)

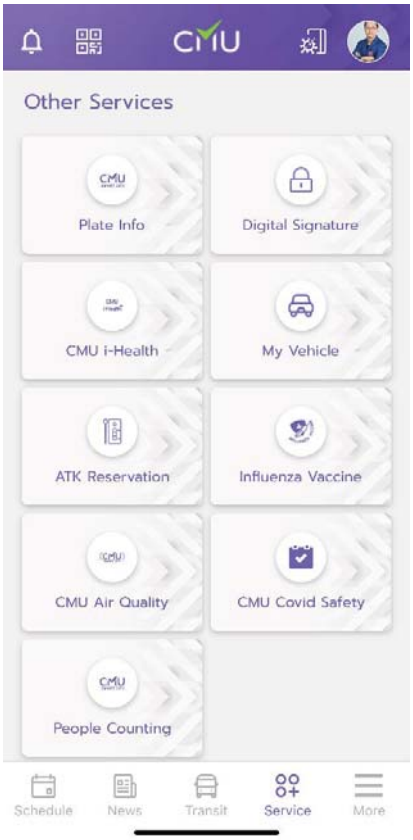
2.4 แอพพลิเคชั่น CMU Mobile

ในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีแอพพลิเคชั่นที่ให้นักศึกษา บุคลากร และบุคคลทั่วไปสามารถดาวน์โหลดได้ชื่อว่า CMU mobile ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 ผ่านทาง Play store และ App store โดยเป็นการรวบรวมเอาแอพพลิเคชั่นที่จำเป็นของนักศึกษา บุคลากร เข้ามารวมในที่เดียวกัน เช่น การลงทะเบียนเรียน เส้นทางการให้บริการของรถขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัย การเช็คชื่อเข้าเรียนหรือเข้าร่วมกิจกรรม การดูข้อมูลจุดจอดรถ เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 CMU mobile application

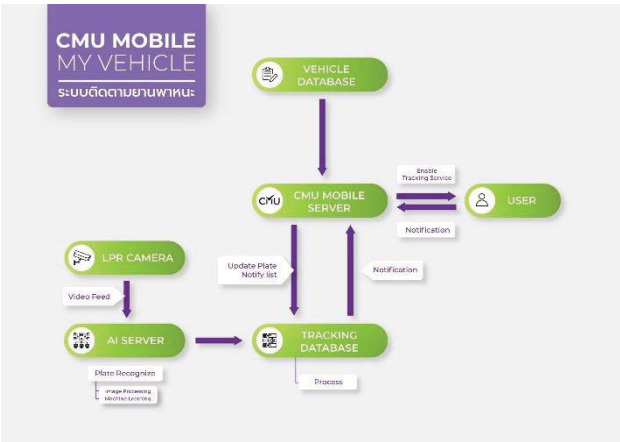
จากที่มีการออกแบบระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะ ซึ่งต้องสามารถแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่น CMU mobile แบบทันทีทันใด โดยที่ไม่ต้องเพิ่มเติมอุปกรณ์ป้องกันใด ๆในส่วนของยานพาหนะ ก็มีการเพิ่มบริการในส่วนนี้เข้าไปบริการของ CMU mobile ซึ่งมีชื่อว่า My Vehicle แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การให้บริการ My Vehicle ใน CMU mobile application

2.5 การออกแบบระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะ

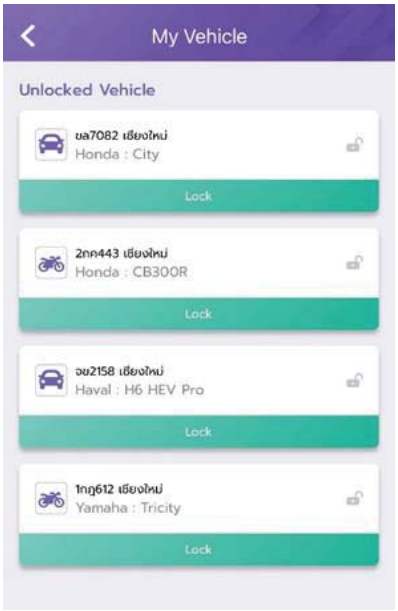
ในการใช้แอพพลิเคชั่นงานการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะ ผู้ใช้ (user) จำเป็นที่จะต้องทำการลงทะเบียนเพื่อใช้แอพพลิเคชั่น CMU mobile ก่อน และจะต้องมีการลงทะเบียนยานพาหนะในระบบประตูอัจฉริยะด้วย จึงจะสามารถใช้แอพพลิเคชั่นงานการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะได้ เนื่องจากจะเป็นการใช้ฐานข้อมูลยานพาหนะ (vehicle database) เดียวกัน แสดงดังรูปที่ 9 เริ่มต้นจากฝั่งผู้ใช้ทำการเปิดแอพพลิเคชัน CMU mobile แล้วทำการเลือกยานพาหนะที่ต้องการล็อค จากนั้นระบบก็จะทำการบันทึกทะเบียนยานพาหนะไว้ในฐานข้อมูลการติดตาม (tracking database) จากนั้นระบบก็จะทำการประมวลผลตลอดเวลา เมื่อใดก็ตามที่กล้องจดจำป้ายทะเบียนทำการถ่ายภาพป้ายทะเบียน แล้วส่งข้อมูลมายัง AI server แล้วไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลในฐานข้อมูลการติดตาม ถ้าตรงกันกับยานพาหนะที่ล็อคไว้ ระบบก็จะทำการส่งข้อความไปเตือนกับผู้ใช้โดยทันที



รูปที่ 9 การออกแบบระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะส่วนบุคคล

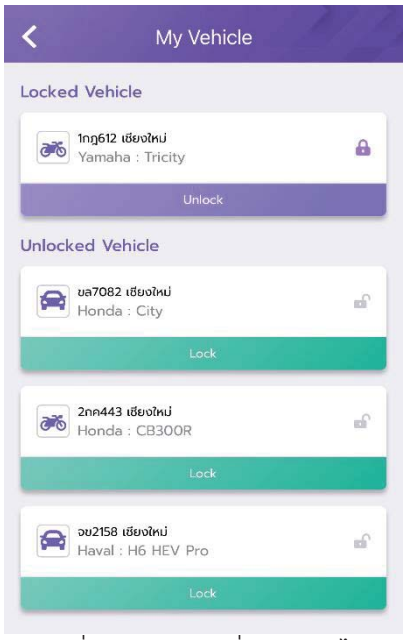
2.6 การใช้งานระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะ

หลังจากกดเข้าไปใน My Vehicle ก็จะปรากฏรายละเอียดของยานพาหนะที่ผู้ใช้บริการได้ทำการลงทะเบียนไว้แล้ว แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 รายละเอียดยานพาหนะที่ลงทะเบียนไว้

จากนั้นผู้ใช้ก็จะทำการกดปุ่มล็อค (Lock) ยานพาหนะที่เลือกไว้หลังจากที่มีการจอดยานพาหนะในจุดจอดเรียบร้อยแล้ว ถ้ามีการล็อคก็จะขึ้นแถบแสดงเป็นรูปกุญแจล็อคขึ้นมา โดยหลังจากทำการล็อคยานพาหนะไว้แล้ว ในกรณีที่ยานพาหนะคันดังกล่าว มีการเคลื่อนที่ผ่านกล้องจดจำป้ายทะเบียนตัวใดตัวหนึ่งที่ติดตั้งภายในมหาวิทยาลัยก็จะมีข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้บริการ ภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 วินาที ซึ่งจะทำให้ทราบตำแหน่งของยานพาหนะทันที และสามารถติดตามได้ทันท่วงที ตัวอย่างการล๊อคยานพาหนะ แสดงดังรูปที่ 11 และข้อความแจ้งเตือนยานพาหนะ แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 ยานพาหนะที่ทำการล็อคไว้



รูปที่ 12 ข้อความแจ้งเตือนยานพาหนะผ่าน CMU mobile

2.7 การประเมินผลการใช้งาน

จากการเปิดให้ใช้บริการช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 จะยังมีผู้ใช้บริการยังไม่มาก เนื่องจากอยู่ในช่วงสถานการณ์โควิด-19 และนักศึกษาก็ยังมีการเรียนการสอนออนไลน์เป็นหลัก ในส่วนบุคลากรมีการทำงานแบบ work from home ดังนั้นในการประเมินผลการใช้งานจะเป็นการเลือกจากผู้ใช้งานที่เป็นบุคลากร สังกัดสำนักงานมหาวิทยาลัยที่มีการใช้งานแอพพลิเคชั่นบ่อยครั้งที่สุดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยจำนวน 25 ราย ซึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling หรือ judgmental sampling) [4] ซึ่งเป็นการเลือกตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็น (non- probability sampling) และเป็นการเลือกกลุ่มที่ใช้เหตุผลในการเลือกเพื่อความเหมาะสมในการวิจัย ซึ่งจะประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายและแรงงาน มีความสมบรูณ์และถูกต้องมากกว่าเพราะใช้จำนวนน้อย และสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนได้ง่าย จากข้อมูลในปี พ.ศ.2564 จนถึงปัจจุบันมียานพาหนะที่มีบุคลากรสังกัดสำนักงานมหาวิทยาลัยเป็นเจ้าของที่ได้มีการกดใช้แอพพลิเคชัน My Vehicle จำนวน 220 คัน โดยมีจำนวนของรถจักรยานยนต์จำนวน 92 คัน และรถยนต์จำนวน 128 คัน ซึ่งจากการประเมินผลความพึงพอใจของจากบุคลากร ในช่วงเวลา 3 เดือน (เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 - มกราคม พ.ศ.2565) โดยเป็นการเลือกจากบุคลากรที่ใช้รถจักรยานยนต์ 10 ราย และรถยนต์ 15 ราย ซึ่งมีผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะซึ่งประกอบไป

ด้วยหัวข้อการประเมิน ได้แก่ 1. การออกแบบ 2. ความสะดวกต่อการใช้ และ 3. ความแม่นยำของระบบ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะ

หัวข้อประเมิน	$\bar{x}$	$S.D.$	ผลการประเมิน
1. การออกแบบ	4.85	0.12	มากที่สุด
2. ความสะดวกต่อการใช้	4.90	0.10	มากที่สุด
3. ความแม่นยำของระบบ			
3.1 รถยนต์	4.85	0.15	มากที่สุด
3.2 รถจักรยานยนต์	4.75		มากที่สุด

ซึ่งผลการประเมินความพึงพอใจทั้ง 3 หัวข้ออยู่ในระดับที่มีความพึงพอใจมากที่สุด สำหรับในหัวข้อประเมินเกี่ยวกับความแม่นยำของระบบที่มีคะแนนค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เนื่องจากปัญหาของการอ่านป้ายทะเบียน เช่น ป้ายทะเบียนมีตัวอักษรไม่ชัดเจน มีการเพิ่มตัวเลขเข้าไปหรือกรอบป้ายทะเบียนไปบังตัวอักษรที่อยู่ในป้ายทะเบียน หรือป้ายทะเบียนเป็นรุ่นเก่า เป็นต้น ตัวอย่างป้ายทะเบียนไม่ชัดเจน แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ป้ายทะเบียนที่ไม่ชัดเจน

จากการทดสอบกรณีป้ายทะเบียนที่ถูกต้อง ชัดเจน เป็นไปตามประกาศกรมการขนส่งทางบก พบว่าความแม่นยำของระบบในการอ่านป้ายทะเบียนนั้นสำหรับรถยนต์มีความแม่นยำ 96% และสำหรับรถจักรยานยนต์มีความแม่นยำ 92% ที่ความแม่นยำของรถจักรยานยนต์ต่ำกว่ารถยนต์เนื่องจากป้าย และตัวอักษรมีขนาดที่เล็กกว่า และมีจำนวนแถวของตัวอักษร 3 แถว ทำให้การจับภาพป้ายทะเบียนยากขึ้น

จากผลการประเมินในส่วนด้านการออกแบบ และความสะดวกต่อการใช้ ข้อเสนอแนะของผู้ตอบแบบประเมินต้องการให้มีภาษาไทยเพิ่มเติมในแต่ละเมนูแต่ละรายการ ซึ่งจะมีการปรับปรุงในอนาคตต่อไป

3. สรุป

ระบบการแจ้งเตือนการโจรกรรมยานพาหนะที่ทำการออกแบบเป็นระบบที่ใช้ความสามารถของระบบประตูอัจฉริยะเดิม โดยที่มีการใช้กล้องจดจำป้ายทะเบียน และฐานข้อมูลที่มีการลงทะเบียน และมีการติดตั้งกล้องจดจำป้ายทะเบียนเพิ่มเติมในจุดทางร่วมทางแยกที่สำคัญต่างๆ สามารถแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่น CMU mobile แบบทันทีทันใด โดยที่ไม่ต้องเพิ่มเติมอุปกรณ์ป้องกันใดๆในส่วนของยานพาหนะ และเป็นการลดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้บริการ จากการประเมินผลการใช้งานจากผู้ใช้งานในช่วงเวลา 3 เดือน ผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับที่ดีมาก

ในอนาคตมหาวิทยาลัยมีการวางแผนติดตั้งไม้กั้นอัตโนมัติ ณ ประตูทางเข้าออกมหาวิทยาลัย ซึ่งจะมีการเชื่อมโยงข้อมูลการแจ้งเตือนไปยังเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยส่วนกลาง จะทำให้สามารถป้องกันการโจรกรรมยานพาหนะได้ดียิ่งขึ้นกว่าระบบการแจ้งเตือนไปยังเฉพาะผู้ใช้บริการเท่านั้น กล่าวคือถ้ายานพาหนะคันใดที่ผู้ใช้บริการมีการล็อคไว้ ยานพาหนะคันนั้นก็จะไม่สามารถผ่านจากไม้กระดกออกไปยังภายนอกมหาวิทยาลัยได้ และเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยที่อยู่บริเวณประตูทางเข้าออกก็จะสามารถตรวจสอบยานพาหนะได้ทันที อย่างไรก็ตามระบบที่พัฒนาขึ้นยังไม่สามารถตรวจสอบแบบ real time ของประเภทยานพาหนะ ยี่ห้อรถ แบบ สี ว่าตรงกับป้ายทะเบียนที่ได้ติดหรือไม่ ดังนั้นในกรณีเปลี่ยนป้ายทะเบียน หรือสวมป้ายทะเบียนก็จะไม่สามารถตรวจพบความผิดปกติได้

เอกสารอ้างอิง

[1] เชิดชัย ศรีโสภา. 2556. “การพิจารณาใช้ระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิดสำหรับงานรักษาความปลอดภัยองค์กรธุรกิจก่อสร้าง” งานค้นคว้าอิสระ สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

[2] Park, Jun & Rahim, Nasir & Lee, Seung & Ullah, Amin & Lee, Mi & Baik, Sung, License Plate Recognition for Parking Management System using UAV Vision, Advanced Science and Technology Letters, Vol.150 (AST 2018), pp.66-70.

[3] Bissessar, David & Gorodnichy, Dmitry, Integrating LPR with CCTV systems: problems and solutions. Proceedings of SPIE, The International Society for Optical Engineering, May 2011.

[4] นางหทัยชนก พรรคเจริญ และคณะ, เทคนิคการสุ่มตัวอย่างและการประมาณค่า, กลุ่มระเบียบวิธีสถิติ สำนักนโยบายและวิชาการสถิติ, ข้อมูลจาก http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/Toneminute/files /55/A3-16.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 7 เมษายน 2565).

การศึกษาระบบการจัดการคลังสินค้า (WMS) โดยใช้ระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าแบบอัตโนมัติ (ASRS)

Study of Warehouse Management System (WMS) by using Automated Storage/Retrieval System (ASRS)

ณัชชา เทพมาลัย[1*] ปิยบุตร พะบุญรักษ์[1] รัชวุธ ศรีวรรณ[1] เชษฐพงษ์ จรรยาอนุรักษ์[1]
1ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mail: chettapong.jan@mail.kmutt.ac.th

Nutcha Thepmalai[1] Piyabud Paboonrak[1] Ratchawut Sriwan[1] Chettapong Janya-anurak[1*]
[1]Department of production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
E-mail: chettapong.jan@mail.kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันความซับซ้อนและความหลากหลายของสินค้าในอุตสาหกรรมค้าปลีกของธุรกิจ SMEs ทำให้เกิดปัญหาในการจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าภายในคลังสินค้า เกิดความล่าช้าและความผิดพลาดในการจัดเตรียมสินค้าที่เกิดขึ้นจากคนทำงาน ซึ่งระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าแบบอัตโนมัติ (ASRS) โดยทั่วไปมักถูกออกแบบมาเพื่อระบบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งมีข้อจำกัดและการใช้งานที่แตกต่างกับธุรกิจ SMEs ทั้งในเรื่องของซอฟต์แวร์ ขนาด ปริมาตร และลักษณะภาชนะบรรจุสินค้าในการจัดเก็บ และอุตสาหกรรมค้าปลีกจำเป็นต้องมีการนับสินค้าเป็นรายชิ้นตามคำสั่งซื้อ โครงงานนี้ได้ศึกษาระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าแบบอัตโนมัติ (ASRS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าภายในคลังสินค้าของกิจการค้าปลีก ซึ่งระบบประกอบด้วย หุ่นยนต์เคลื่อนที่ 2 แกนพร้อมด้วยส่วนแขนหยิบจับกล่องสินค้าที่สามารถปรับขนาดตามกล่องสินค้าได้ ส่วนลำเลียงโดยกลไกคาราคุริสำหรับคนทำงาน และซอฟต์แวร์ที่ควบคุมหุ่นยนต์ให้เรียกคืนและจัดเก็บสินค้าตามรายการสั่งซื้อสินค้า พร้อมทั้งระบบช่วยคนทำงานนับและบันทึกจำนวนสินค้าที่เรียกออกมาใช้ จากการทดสอบตัวระบบที่ได้สร้างขึ้น ระบบทำงานสามารถเรียกใช้สินค้าตามคำสั่งซื้อได้อย่างต่อเนื่อง 25 รายการสินค้าโดยไม่มีปัญหาหรือข้อผิดพลาดเกิดขึ้น สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 47 วินาทีต่อรายการ จากการทดสอบระบบทำงานร่วมกับคนทำงานซึ่งประจำอยู่ที่จุดหยิบสินค้าออกจากกล่อง พบว่าใช้เวลา 12 นาที 41 วินาที ในการดำเนินการจัดรายการสินค้า 10 รายการให้เสร็จสมบูรณ์โดยไม่มีข้อผิดพลาด ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าการทำงานโดยคนทำงานเพียงอย่างเดียว จากการทดสอบตัวต้นแบบระบบจัดการคลังสินค้าด้วย ASRS ดังกล่าวพบว่าระบบสามารถจัดการกล่องที่บรรจุสินค้าได้หลายขนาด มีซอฟต์แวร์ที่ช่วยลดความผิดพลาดในการจัดรายการสินค้า ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสินค้าในคลังสินค้าทั้งในแง่ความเร็ว และความแม่นยำ ที่สอดคล้องกับอุตสาหกรรมค้าปลีก

คาสาคัญ: ระบบการจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติ (ASRS), ระบบบริหารจัดการคลังสินค้า (WMS), คาราคุริ

Abstract

The complexity and diversity of goods in today's retail industry including within the retail warehouses of SMEs make warehouses storage and retrieval problematic. Warehouse labor works without a warehouse management system, manually preparing orders which is slow and has an unacceptable result. Automated Storage/Retrieval System (ASRS) are generally available but often designed for large industrial systems. There are different limitations and uses. In terms of software, characteristics of product containers for storage and some retail industry still need to work with labors to count the products. In this project the warehouse management system using ASRS is studied for retail warehouse of SMEs to increase the efficiency of storage and retrieval of goods in warehouses. The system consists of a 2-axis robot with an adjusted gripper, a workspace for workers with a Karakuri conveyor, software that controls the robot to pick up the items according to the purchase order and helps worker count and input the amount of retrieved goods from warehouses. The prototype of the system is designed, built, and tested. It shows that with a test of 25 orders, the system can constantly organize the orders without

mistakes. The robot moves with an average speed about 47s per order. Testing the process collaborating with humans, it shows that it takes 12 min and 41 sec to complete 10 orders without mistakes. According to the test results, the prototype of the warehouse management system using ASRS can pick up containers of various sizes, and software that will help reducing mistakes which may improve the storage and retrieval in warehouse in terms of speed and accuracy.

Keywords: Automated Storage & Retrieval System (ASRS), Warehouse Management System (WMS), Karakuri

1. บทนำ

คลังสินค้าของธุรกิจค้าปลีกขนาดกลางและขนาดย่อม หรือธุรกิจ SMEs ปัจจุบันส่วนใหญ่ยังคงใช้คนทำงานในการจัดการคลังสินค้า ซึ่งภายในคลังสินค้าของกิจการค้าปลีกส่วนมากสินค้าจะมีความหลากหลาย ทั้งชนิด ขนาด และน้ำหนักของสินค้า โดยจัดสินค้าตามรายการสั่งของลูกค้าเป็นรายชิ้น ซึ่งหลายครั้งมักเกิดข้อผิดพลาดในการจัดสินค้าที่เกิดจากคนทำงาน (Human Error) ข้อผิดพลาดในการตรวจนับสินค้าคงคลัง อีกทั้งการใช้แรงงานยังมีปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น การขาดแคลนแรงงาน พนักงานขาดความเชี่ยวชาญ และปัญหาเรื่องสุขภาพในการทำงาน ซึ่งทำให้การจัดการสินค้าคงคลังของธุรกิจค้าปลีกไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น ตามการศึกษาใน [1]

ในปัจจุบันได้มีการนำระบบอัตโนมัติและระบบบริหารจัดการคลังสินค้า (WMS) มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการสินค้าคงคลัง ระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติ [2],[3] เป็นหนึ่งในรูปแบบระบบอัตโนมัติที่นิยมนำมาใช้ในการบริหารจัดการคลังสินค้า แต่เนื่องจากธุรกิจ SMEs มีข้อจำกัดในงบประมาณและระบบบริหารจัดการคลังสินค้าและระบบอัตโนมัติมักจะออกแบบเพื่อตอบโจทย์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ [4] ฟังก์ชันการทำงานไม่เหมาะสมกับการจัดสินค้าตามรายการเป็นจำนวนชิ้นที่ต้องเรียกและบันทึกมาใช้บางส่วน อีกทั้งยังต้องทำงานร่วมกับคน การจัดเก็บสินค้าอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มักจะเป็นในรูปแบบพาเลทที่มีขนาดเป็นมาตราฐานซึ่งต่างกับอุตสาหกรรมค้าปลีกที่ส่วนมากสินค้าจะถูกบรรจุมาในกล่องกระดาษที่หลากหลายขนาด

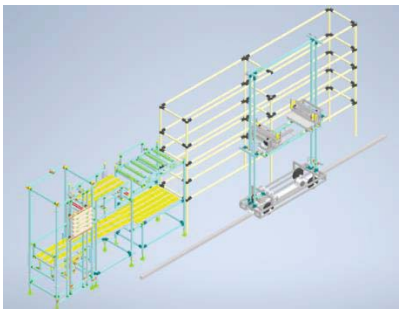
เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสินค้าสำหรับธุรกิจค้าปลีก SMEs คณะผู้จัดทำจึงต้องการที่จะศึกษาและออกแบบระบบจัดการคลังสินค้า (WMS) โดยใช้ระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าแบบอัตโนมัติ (ASRS) สำหรับธุรกิจค้าปลีก SMEs เพื่อเป็นการสร้างทางเลือกและแนวทางในการแก้ปัญหาที่ตอบโจทย์สำหรับธุรกิจ SMEs และอาจจะนำไปสู่การพัฒนาระบบจัดการคลังสินค้าปลีกให้ดียิ่งขึ้น

2. การออกแบบระบบกลไกและการทำงาน

จากการสำรวจความต้องการของจากผู้ประกอบการธุรกิจค้าปลีก SMEs ทางผู้ประกอบการมีความต้องการจะเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้าให้มากขึ้นกว่าเดิมและลดข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในงานที่ใช้มนุษย์ดำเนินงานเป็นหลัก อันได้แก่ การเคลื่อนย้ายหรือการยกของ การจดจำตำแหน่งหรือเส้นทางการเก็บของ การลดความผิดพลาดของการจัดเตรียมสินค้าทั้งรายการสินค้าผิดพลาด จำนวนสินค้าผิดพลาด และความต้องการนำใช้สินค้าออกมาใช้งานตามอายุของการผลิต

ทางคณะผู้จัดทำจึงออกแบบระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าแบบอัตโนมัติ (ASRS) โดยมีแนวคิดในการออกแบบให้ระบบมีความแตกต่างจากระบบ ASRS ที่มีอยู่ทั่วไป ระบบนี้ต้องอาศัยการทำงานร่วมกับคนทำงาน โดยอินทิเกรตเข้ากับชั้นวางสินค้าขนาดเล็ก ให้เหมาะสมสำหรับธุรกิจที่มีพื้นที่จำกัด ออกแบบหุ่นยนต์ให้หยิบจับสินค้าให้เหมาะกับการจัดเก็บสินค้าของธุรกิจค้าปลีกที่อยู่ในลักษณะกล่องกระดาษและมีความแตกต่างกันของขนาดกล่อง และควบคุมการทำงานผ่านซอฟต์แวร์ที่ทำการจัดการบริหารคลังสินค้า ประกอบไปด้วยฟังก์ชันสำหรับการจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าเป็นรายชิ้นตามรายการสั่งซื้อ ระบบช่วยจัดการและนับสินค้าคงคลัง ซึ่งจะสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว และเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสินค้าภายในคลังสินค้าขนาดกลางและขนาดย่อมได้ โดยตัวต้นแบบ (Prototype) ที่คณะผู้จัดทำได้ออกแบบและสร้างขึ้น จะถูกนำเสนอในหัวข้อนี้

การออกแบบระบบแบบจำลองการจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน นั่นคือ ชั้นวางสินค้า หุ่นยนต์ ASRS หรือหุ่นยนต์จัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติ ระบบลำเลียงสินค้า และซอฟต์แวร์ของระบบที่สามารถทำงานรวมกับคน โดยแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 3D Model ต้นแบบระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติ

2.1 ชั้นวางสินค้า

ชั้นวางสินค้ามีขนาดรวม 2.6m x 1.43m x 0.45m เป็นขนาดชั้นวางสินค้าที่ใช้งานกันทั่วไปในธุรกิจขนาด SMEs โดยทางคณะผู้จัดทำได้ใช้กล่องสินค้าที่มีขนาด น้ำหนัก ที่ต่างกัน 3 แบบเพื่อเป็นการจำลองความยืดหยุ่น (Flexible) ของการวางสินค้าดังนี้

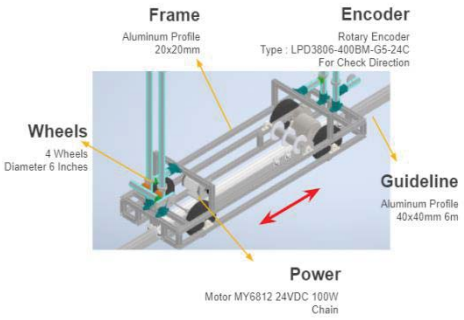
1) item Code: 14SP-RP011CL-HB
   น้ำหนักกล่อง 2.0 kg ขนาดกล่อง 355x365x305 mm
2) item Code: 13JP-AG001GY-KJ
   น้ำหนักกล่อง 2.8 kg ขนาดกล่อง 355x220x145 mm
3) item Code: 13JA-AG057GY-KJ
   น้ำหนักกล่อง 7.6 kg ขนาดกล่อง 305x200x305 mm

2.2 ระบบการจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติ

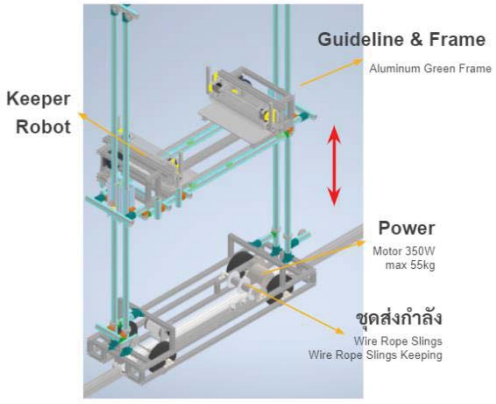
ระบบการจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติจะทำหน้าที่เรียกคืนสินค้าออกจากชั้นวางตามรายการสั่งซื้อสินค้า และจัดเก็บสินค้าเข้าชั้นวางโดยอัตโนมัติ ซึ่งสามารถแบ่งออก เป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.2.1 ระบบเคลื่อนที่ 2 แกน

เนื่องจากลักษณะของชั้นวางสินค้าเป็นแบบชั้นวางแนวยาว และมีจำนวน 5 ชั้น จึงได้ออกแบบระบบเคลื่อนที่ 2 แกนเพื่อ ทำหน้าที่เคลื่อนที่พาหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งและชั้นที่ต้องการไปหยิบหรือวางสินค้าโดยรับคำสั่งการทำงานจากคอนโทรลเลอร์หลัก ซึ่งจะผ่านกระบวนการวิเคราะห์ตำแหน่งแล้ว ส่วนประกอบการเคลื่อนที่แกน X (ซ้าย-ขวา) แสดงดังรูปที่ 2 และการเคลื่อนที่ของแกน Z (ขึ้น-ลง) แสดงดังรูปที่ 3



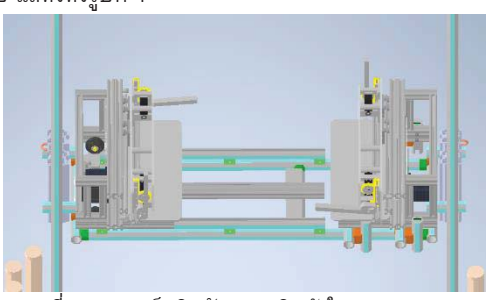
รูปที่ 2 ส่วนประกอบกลไกการเคลื่อนที่แกน X



รูปที่ 3 ส่วนประกอบกลไกการเคลื่อนที่แกน Z

2.2.2 หุ่นยนต์หยิบจับกล่องสินค้า

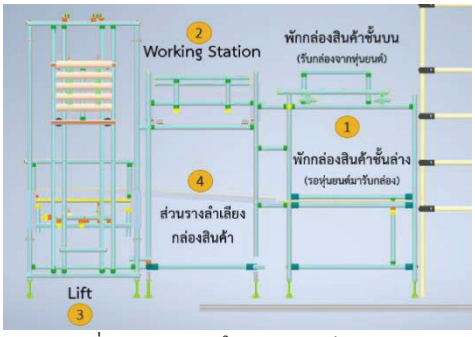
หุ่นยนต์หยิบจับกล่องสินค้าภายในระบบ ASRS นี้ได้ออกแบบให้รองรับการใช้งานสำหรับธุรกิจค้าปลีกที่มีความหลากหลายของสินค้าและเก็บสินค้าอยู่ในรูปแบบกล่องกระดาษ แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกการเคลื่อนที่ยืดแขนเข้า - ออก (การเคลื่อนที่แกน Y) ส่วนที่สองแขนเกี่ยวกล่องสินค้า และ ส่วนสุดท้ายส่วนปรับความกว้างของหุ่นยนต์ เพื่อรองรับขนาดกล่องที่แตกต่างกัน โดยทั้งสามส่วนนี้จะทำงานร่วมกันเพื่อดึงและผลัก กล่องสินค้าให้เข้า และออกจากตัวหุ่นยนต์ก่อนที่หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ย้ายตำแหน่งไปยังตำแหน่งต่อไป โดยขณะที่เคลื่อนย้ายกล่องจะต้องไม่มีการบีบ คีบ หรือกดทับ จึงได้ทำการออกแบบการหยิบกล่องให้เป็นรูปแบบของการใช้แขนเกี่ยวกล่องสินค้า เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายของสินค้าและกล่องสินค้าที่เป็นลังกระดาษ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 หุ่นยนต์หยิบจับกล่องสินค้าในระบบ ASRS

2.3 ระบบลำเลียงสินค้า

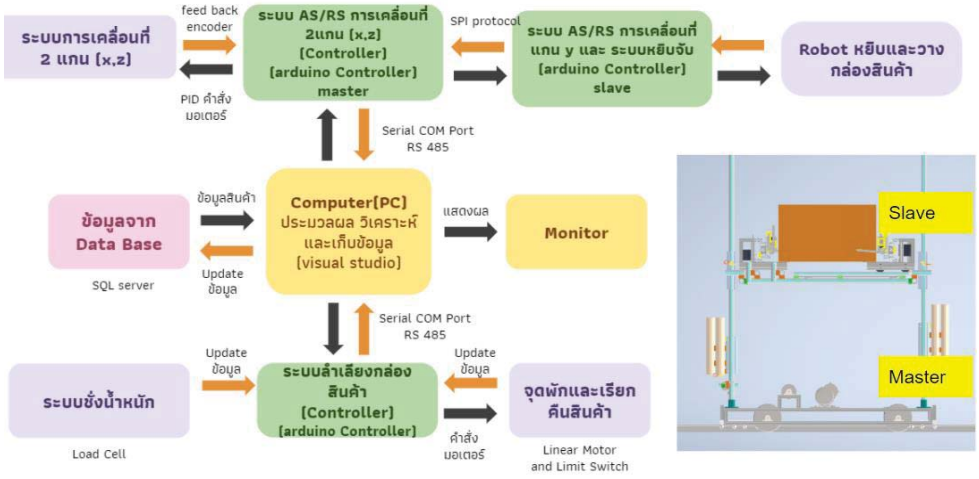
ระบบลำเลียงสินค้าจะทำงานต่อจากระบบ ASRS หลังจากหุ่นยนต์ได้รับสินค้าจากชั้นวางสินค้า ระบบนี้ถูกออกแบบให้แตกต่างจากระบบที่มีอยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยออกแบบให้เหมาะสมกับการค้าปลีก คือหยิบสินค้าออกเป็นรายชิ้นและนำสินค้าที่เหลือกลับคืนสู่ชั้นวางสินค้า และระบบลำเลียงสินค้านี้จำเป็นต้องมีคนทำงานร่วมเพื่อหยิบสินค้าออกจากกล่องสินค้า ซึ่งในระบบนี้จะประกอบด้วยการทำงานของ 4 ส่วนย่อยด้วยกันคือ ส่วนที่ 1 ส่วนพักกล่องสินค้า เป็นส่วนที่รับสินค้าจากระบบ ASRS เพื่อรอส่งต่อไปยังส่วนที่ 2 ส่วนคนทำงานซึ่งส่วนนี้จะมีระบบช่วยนับจำนวนเพื่อช่วยตรวจสอบให้การหยิบสินค้าออกจากกล่องของคนทำงานมีความถูกต้องและแม่นยำโดยเมื่อหยิบสินค้าออกไปครบจำนวนแล้วจะมีการแจ้งเตือนและจากนั้นคนทำงานจะส่งกล่องสินค้าที่เหลือกลับไปยังระบบ ASRS เพื่อนำกลับไปยังชั้นวางสินค้าโดยอาศัยการทำงานของส่วนที่ 3 คือส่วนลิฟท์ลดระดับกลไกคาราคุริ (Karakuri) [5] ซึ่งกลไกคาราคุริจะอาศัยหลักการถ่วงน้ำหนักและคานกระดกในการลดระดับ เพื่อที่จะลำเลียงกล่องสินค้าไปยังจุดรอนำสินค้ากลับไปยังชั้นวาง ซึ่งจุดนี้ถูกออกแบบให้อยู่ชั้นต่ำกว่าส่วนคนทำงาน เพื่อประหยัดพื้นที่การลำเลียงสินค้า ผ่านส่วนที่ 4 คือส่วนลำเลียงสินค้า ซึ่งเป็นรางลื่นที่มีความเอียงเล็กน้อยให้กล่องสามารถเคลื่อนที่ลงมาได้โดยใช้แรงโน้มถ่วง



รูปที่ 5 ส่วนต่างๆ ในระบบลำเลียงสินค้า

3. การออกแบบวงจรไฟฟ้าและการควบคุมโปรแกรม

การทำงานของ Prototype นี้เป็นการทำงานเชื่อมโยงกันของระบบหุ่นยนต์ ASRS และระบบลำเลียงสินค้า โดยในการทำงานร่วมกันนั้นจะใช้การประมวลผลหลัก คือ PC ซึ่งเป็นตัวกลางระหว่างระบบหุ่นยนต์ ASRS และระบบลำเลียงสินค้าที่มี Arduino เป็นคอนโทรลเลอร์ ซึ่ง PC จะรับข้อมูลจากฐานข้อมูล SQL ในรูปแบบตาราง Excel แล้วทำการประมวลผล ข้อมูลเพื่อสั่งการให้ระบบ ASRS ทำการหยิบ วางหรือเคลื่อนย้ายสินค้า และสั่งระบบลำเลียงกล่องสินค้าให้ลำเลียงสินค้าไปให้มนุษย์ทำการเบิกสินค้า แล้วนำสินค้ากลับมายังจุดรอจัดเก็บสินค้าโดยการทำงาน ดังกล่าว จะทำการเขียนโปรแกรม โดยใช้ภาษา C และจะส่งข้อมูลเชื่อมต่อระหว่างสองระบบ โดย Port I/O และมีจอมอนิเตอร์สำหรับแสดงสถานะของการทำงานผ่าน PC อีกด้วย ซึ่งแสดงการรับส่งข้อมูลดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการรับส่งข้อมูลการควบคุมและโปรแกรม

3.1 วงจรไฟฟ้าสาหรับหุ่นยนต์จัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติ

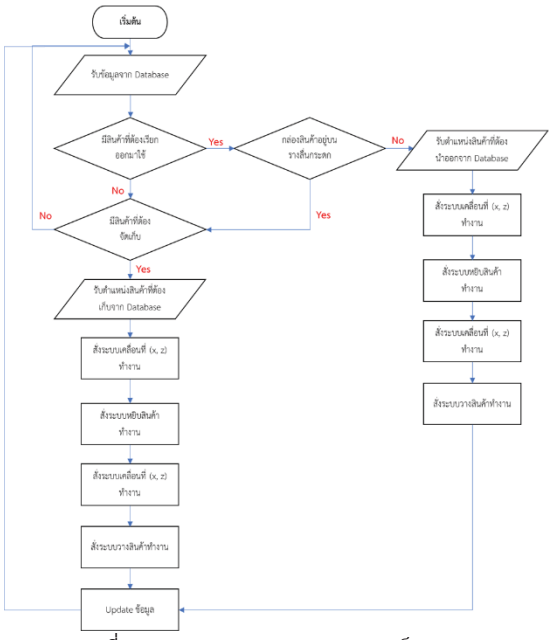
วงจรไฟฟ้าสำหรับหุ่นยนต์จัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติ แบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ส่วนแรก วงจรสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่แกน X ส่วนที่สอง วงจรสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่แกน Z ซึ่งถูกควบคุมการทำงานโดยสั่งการจากคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO และส่วนที่สาม วงจรควบคุมส่วนกลไกจับสินค้า ซึ่งวงจรดังกล่าวทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ตามตำแหน่งที่ต้องการโดยควบคุมผ่าน PID ผ่านการอ่านค่าจาก Encoder โดยถูกควบคุมผ่านคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega โดยทั้งสามส่วนมีแหล่งจ่ายเป็น DC Power Supply

3.2 วงจรไฟฟ้าและการควบคุมโปรแกรมส่วนลำเลียงสินค้า

ส่วนลำเลียงสินค้าได้ใช้คอนโทรลเลอร์ (Arduino MEGA) ควบคุมการทำงาน โดยทำงานร่วมกันกับส่วนหุ่นยนต์ ASRS ซึ่งในส่วนพักสินค้า คอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลจาก Proximity Sensor ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบการมีอยู่ของกล่องสินค้า ทั้งชั้นบนที่รับกล่องสินค้าจากหุ่นยนต์ ASRS และชั้นล่างที่รอให้หุ่นยนต์ ASRS รับกล่องสินค้ากลับไปยังชั้นวางของ ซึ่งการทำงานของต้นแบบจะทำงานดัง Flowchart แสดงรูปที่ 7

4. การทำงานของตัวต้นแบบ (Prototype)

ตัวต้นแบบเป็นการทดลองการทำงานร่วมกันของระบบหุ่นยนต์จัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติ กับระบบลำเลียงสินค้า โดยสามารถจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าจากชั้นวางสินค้าที่มีสินค้าชนิด น้ำหนักและขนาดแตกต่างกัน ซึ่งออกแบบมาให้สามารถรับกล่องที่มีน้ำหนักได้ถึง 8 กิโลกรัม โดยสามารถแบ่งการทำงานได้ 2 โหมดการทำงาน ได้แก่ การทำงานแบบ Manual และการทำงานแบบ Automation โดยในทั้ง 2 โหมดการทำงานนั้น หากสินค้ารายการที่ต้องการมีมากกว่า 1 กล่อง ระบบจะเลือกหยิบกล่องที่ถูกนำเข้ามาเก็บก่อนทุกครั้ง ตามหลักการ FIFO [4] และในการนำสินค้าเข้าไปเก็บนั้นจะนำสินค้าเข้าไปเก็บยังชั้นวางที่ว่างอยู่ที่ใกล้ที่สุดก่อนอย่างอัตโนมัติ และทำการบันทึกตำแหน่งสินค้านั้นไว้ เพื่อความรวดเร็วในการทำงาน ก่อนที่จะไปทำงานในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 7 Flowchart การทำงานหุ่นยนต์ ASRS ร่วมกับส่วนลำเลียงสินค้า

4.1 การทำงานแบบ Manual

การทำงานในโหมดนี้ พนักงานสามารถกำหนดรายการสินค้าที่ต้องการนำออกและนำเข้าชั้นวางได้ โดยการพิมพ์รายการสินค้าลงไปในส่วนของ User Interface ดังแสดงในรูปที่ 8 สามารถสั่งการได้ทีละรายการสินค้า ซึ่งสามารถทำงานได้ 2 รูปแบบ คือการจัดเก็บและเรียกคืนสินค้า

4.1.1 การเรียกคืนสินค้าในการทำงานแบบ Manual

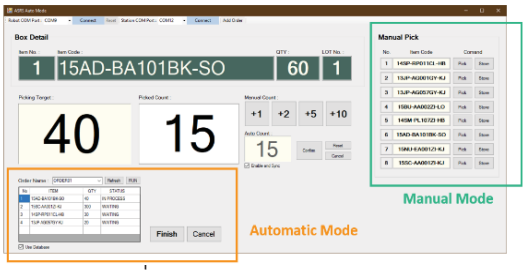
เมื่อพนักงานได้ป้อนรายการสินค้าลงในช่อง Item Code แล้ว ระบบจะทำการตรวจสอบว่ามีรหัสสินค้าดังกล่าวอยู่ในชั้นวางหรือไม่ ถ้ามีระบบจะอนุญาตให้กดปุ่ม Pick เพื่อให้พนักสามารถกดเพื่อเรียกคืนสินค้าดังกล่าวได้ เมื่อหลังจากที่กดปุ่ม Pick ระบบจะทำการค้นหาว่ารหัสสินค้าดังกล่าวกล่องไหนที่เป็นล็อตที่เก่าที่สุด เพื่อเลือกสินค้าที่เก่าที่สุดก่อนเพื่อป้องกันปัญหาของเก่าค้างในคลังสินค้า

4.1.2 การจัดเก็บสินค้า ในการทำงานแบบ Manual

การจัดเก็บกล่องสินค้าเข้าสู่ชั้นวาง แบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

1) จัดเก็บสินค้าที่ถูกเรียกคืนออกจากชั้นวางเพื่อหยิบสินค้าออกตามรายการสั่งซื้อ หลังจากหยิบสินค้าออกจากกล่องแล้ว พนักงานทำหน้าที่เลื่อนกล่องสินค้าไปจุดพักกล่องสินค้าชั้นล่าง ดังจุดที่ 1 ที่แสดงในรูปที่ 5 ระบบจะอนุญาตให้พนักงานสามารถกดปุ่ม Store เพื่อให้ระบบทำการจัดเก็บสินค้าเข้าชั้นวาง โดยพนักงานจะต้องเป็นคนเลือกว่ารหัสสินค้าที่จะทำการจัดเก็บคือสินค้าตัวไหนด้วยตัวเอง จากนั้นระบบจะทำการค้นหาจุดวางสินค้าที่ใกล้ที่สุดก่อนที่จะไปวางสินค้าที่ตำแหน่งนั้น เพื่อให้เกิดเส้นทางการเคลื่อนที่ที่น้อยที่สุด

2) จัดเก็บกล่องสินค้าใหม่ หากเป็นสินค้าเดิมที่มีในระบบแล้ว สามารถกดปุ่ม store เพื่อนำจัดเก็บได้เช่นเดียวกันกับกรณีแรก แต่หากเป็นสินค้าชนิดใหม่ ต้องทำการเพิ่มข้อมูลให้กับ database ของระบบก่อน แล้วจึงสามารถกดปุ่ม store เพื่อนำสินค้าชนิดใหม่จัดเก็บเข้าชั้นวางสินค้า



รูปที่ 8 ส่วนประกอบของ User Interface

4.2 การทำงานแบบ Automatic

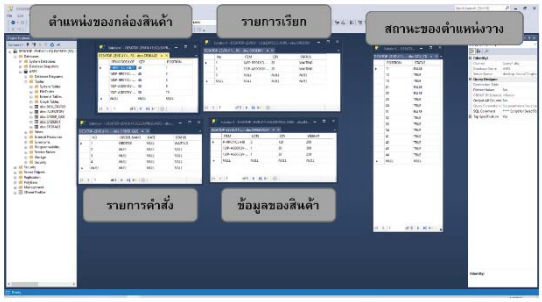
การทำงานแบบอัตโนมัติจะทำงานร่วมกับรายการสินค้าที่ถูกบันทึกไว้ในรูปแบบ SQL Database ดังแสดงดังรูปที่ 9 โดยจะทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ตำแหน่งกล่อง รายการเรียก รายการคำสั่ง ข้อมูลจำนวนสินค้า และสถานะของจุดวางสินค้าบนชั้นวาง จากนั้นระบบจะทำการดึงข้อมูลรหัสสินค้าและจำนวนที่ต้องการหยิบมาทำการประมวลผลว่า จะต้องไปหยิบสินค้าชุดไหน และสินค้าชุดนั้นอยู่ที่กล่องไหนบนชั้นวางสินค้า เพื่อที่จะได้สั่งให้หุ่นยนต์ไปทำการหยิบกล่องนั้นมาวางที่จุดรับสินค้า พร้อมกับอัพเดทไปที่ฐานข้อมูลว่ากล่องสินค้าที่อยู่ตำแหน่งดังกล่าวถูกหยิบมาที่จุดรับสินค้าแล้ว

4.2.1 การเรียกคืนสินค้า ในการทำงานแบบ Automatic

พนักงานจะต้องทำการเลือกชุดรายการสินค้าในช่อง Order name ดังรูปที่ 8 จากนั้นทำการกดปุ่ม RUN เพื่อให้ระบบเริ่มทำงานแบบอัตโนมัติ จากนั้นระบบจะทำการดึงข้อมูลรหัสสินค้าและจำนวนที่ต้องการหยิบมาทำการประมวลผลว่า จะต้องไปหยิบสินค้าชุดไหน และสินค้าชุดนั้นอยู่ที่กล่องไหนบนชั้นวางสินค้า เพื่อที่จะได้สั่งให้หุ่นยนต์ไปทำการหยิบกล่องนั้นมาวางที่จุดรับสินค้า พร้อมกับอัพเดทไปที่ฐานข้อมูลว่ากล่องสินค้าที่อยู่ตำแหน่งดังกล่าวถูกหยิบมาที่จุดรับสินค้าแล้ว

4.2.2 การจัดเก็บสินค้า ในการทำงานแบบ Automatic

เมื่อหุ่นยนต์ได้หยิบกล่องสินค้ามาให้พนักงานทำงานที่ Working Station (จุดที่ 2) ระบบจะบันทึกลำดับการหยิบกล่อง ว่าเป็นสินค้าชนิดไหน ขนาดเท่าไหร่ หลังจากทำงานเสร็จพนักงานจะต้องเลื่อนกล่องสินค้าไปจุดพักกล่องสินค้าชั้นล่างทีละ 1 กล่อง ดังจุดที่ 1 ที่แสดงในรูปที่ 5 เมื่อระบบตรวจสอบว่ามีกล่องอยู่ที่จุดพักกล่องสินค้าชั้นล่าง ระบบจะทำการสั่งหุ่นยนต์ให้ไปนำกล่องมาจัดเก็บที่ชั้นวาง โดยจะค้นหาจุดวางสินค้าที่ตรงตามขนาดกล่องและใกล้ที่สุดก่อนที่จะไปวางสินค้าที่ตำแหน่งนั้นเช่นเดียวกับ แบบ Manual จากนั้นจะบันทึกตำแหน่งใหม่ของกล่องเข้าไปในฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการเรียกคืนสินค้าครั้งต่อๆ ไป



รูปที่ 9 การเก็บข้อมูลบน SQL Database

5. ประสิทธิภาพการทำงานของตัวต้นแบบ

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของตัวต้นแบบโดยได้จัดวางสินค้าตัวอย่างไว้ในตำแหน่งต่างๆ และทำการทดสอบการเรียกและจัดเก็บสินค้า และจับเวลาเพื่อประเมินประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ASRS และประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ ซึ่งได้ทำการทดสอบการทำงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.1 ความเร็วในการเรียกและจัดเก็บสินค้าของตัวต้นแบบ

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการทดสอบโดยเรียกสิ้นค้าออกจากชั้นวางต่อเนื่อง 10 ครั้ง และทำการจับเวลาในการทำงานของตัวต้นแบบผลการทดสอบเป็นไปตามแสดงในตารางที่ 1 และสำหรับรายการสั่งสินค้าที่ 5 ซึ่งเป็นการเรียกกล่องสินค้าออกจากชั้นวางจากระยะที่ไกลที่สุด ใช้เวลา 7 นาที 16 วินาที เฉลี่ย 47 วินาทีต่อครั้ง

ตารางที่ 1 เวลาที่รายการสินค้านำออกชั้นวางได้ 10 รายการ

การทดลอง	เวลา (นาที)
คำสั่งซื้อสินค้าที่ 1	6:07
คำสั่งซื้อสินค้าที่ 2	6:29
คำสั่งซื้อสินค้าที่ 3	6:34
คำสั่งซื้อสินค้าที่ 4	5:58
คำสั่งซื้อสินค้าที่ 5	7:16*

*เรียกคืนสินค้าทั้งหมดจากจุดที่ไกลที่สุดของชั้นวางสินค้ามายังจุดที่พนักงานทำงาน

5.2 ประสิทธิภาพการทำงานต่อเนื่อง

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการวัดประสิทธิภาพการเรียกและจัดเก็บสินค้าของตัวต้นแบบอย่างต่อเนื่อง พบว่าตัวต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้สามารถทำงานต่อเนื่องมากกว่า 25 รายการได้โดยไม่มีข้อผิดพลาดในการหยิบสินค้าที่ต่างชนิดและมีความหลากหลาย และใช้เวลาน้อยกว่าการใช้คนเพียงอย่างเดียวตลอดทั้งกระบวนการ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาการทำงาน Prototype ร่วมกับคนในการจัดเตรียมสินค้า

รายการสินค้า	จำนวนรายการสินค้า	เวลาการทำงานคนร่วมกับ Prototype (นาที)	เวลาคนทำงาน (นาที)
1	5	6:32	7:25
2	10	12:41	15:02
3	15	19:20	22:58
4	20	24:55	29:43
5	25	30:57	35:35

6. สรุป

จากการออกแบบและสร้างตัวต้นแบบ (Prototype) ระบบจัดการคลังสินค้า (WMS) โดยใช้ระบบบริหารจัดการคลังสินค้าแบบอัตโนมัติ (ASRS) เพื่อแก้ปัญหาให้กับคลังสินค้าของอุตสาหกรรมค้าปลีก โดยปัญหาหลักที่ต้องการแก้ไขคือเรื่องของความผิดพลาดในการจัดรายการสินค้าที่มีความหลากหลาย นอกจากนี้ยังต้องการเพิ่มความรวดเร็วในการจัดเตรียมสินค้า รวมถึงลดข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจากการใช้มนุษย์ในการดำเนินงาน ซึ่งในโครงงานนี้ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบขึ้นโดยแบ่งการออกแบบเป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ หุ่นยนต์ ASRS หรือหุ่นยนต์จัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติ และระบบลำเลียงสินค้า ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของทั้งสองส่วนโดยการทำงานร่วมกันเป็นดังนี้

หุ่นยนต์ ASRS จะไปหยิบรายการสินค้าตามลำดับของรายการสั่งซื้อมายังจุดพักสินค้า ให้คนทำงานหยิบของออกจากกล่อง เมื่อหยิบเสร็จแล้วกล่องจะถูกส่งมายังจุดพักสินค้าชั้นล่างเพื่อรอของไปเก็บยังชั้นวางสินค้า ซึ่งโดยที่ส่วนลำเลียงสินค้าสามารถรับกล่องสินค้าต่อเนื่องโดยที่ไม่เก็บเข้าชั้นวาง 3 กล่อง โดยหุ่นยนต์จะนำกล่องสินค้าเข้าไปเก็บก่อนที่จะไปหยิบกล่องสินค้าใหม่ออกมาจากชั้นวางสินค้า

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของตัวต้นแบบ พบว่าตัวต้นแบบทำให้การบริหารจัดการคลังสินค้าสำหรับธุรกิจค้าปลีกขนาด SMEs มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีการจัดเก็บที่ถูกบันทึกในคอมพิวเตอร์และใช้เวลาน้อยลงเมื่อเทียบกับการใช้พนักงานที่ไม่มีประสบการณ์ทำงาน สามารถแก้ไขปัญหาส่วนความผิดพลาดในการจัดสินค้าผิดชนิดเนื่องจากความซับซ้อนของสินค้าได้ ไม่เกิดข้อผิดพลาดในการหยิบสินค้าตามรายการสั่งซื้อ และช่วยผ่อนแรงในการยกของที่มีน้ำหนักมากและยกของลงจากที่สูงของพนักงาน ซึ่งสร้างความลำบากให้กับพนักงานเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ดี ตัวต้นแบบดังกล่าว ยังคงมีข้อผิดพลาดและยังมีหลายๆ ประเด็นที่จำเป็นต้องพัฒนาให้ดีขึ้นได้ดังต่อไปนี้

1) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ของแกน X และแกน Z ซึ่งเกิดขึ้นจากการนับค่า Pulse ที่ผิดพลาดของ Encoder ซึ่งสามารถแก้ไขให้ดีขึ้นได้โดยการเปลี่ยนไปใช้ Stepper Motor แทนซึ่งมีความแม่นยำมากกว่า เนื่องจากจะทำงานหมุนไปเป็นจำนวนตาม Pulse ที่ได้รับจากคำสั่ง ทำให้มีความแม่นยำในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ หรือออกแบบกลไกในการติดตั้ง Encoder ให้มีความเสถียรสูง ไม่ทำให้ Encoder เกิดการลื่นไถล และมอเตอร์ส่งกำลังควรมีระบบป้องกันการหมุนย้อนกลับเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมความแม่นยำอีกด้วย

2) ในส่วนของชุดแขนเกี่ยวกล่องสินค้า ซึ่งถูกทำขึ้นจาก 3D Printer สามารถเพิ่มความแข็งแรงและทนทานให้กับแขนเกี่ยวโดยเปลี่ยนใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงมากขึ้น

3) หากต้นแบบนี้จะถูกนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อนำไปใช้จริงควรเพิ่มความปลอดภัย โดยใช้มอเตอร์ที่มีระบบป้องกันการหมุนย้อนกลับอีกทั้งเพิ่มความปลอดภัยในการทำงานหากเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ

4) กระทันหัน เพิ่ม Sensor ตรวจจับระดับชั้นของชั้นวางสินค้าให้หุ่นยนต์รู้

5) ว่าตอนนี้อยู่ระดับชั้นไหนแล้ว และสามารถยื่นแขนออกมาได้โดยไม่ชนชั้นวางสินค้า เพิ่มความปลอดภัยและป้องกันความเสียหายของชั้นวางสินค้าและตัวหุ่นยนต์เอง

6) เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ขึ้นในระดับชั้นที่สูงจะเห็นว่ามีการโยกเกิดขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเกิดโมเมนต์ขึ้นแต่ยังสามารถทำงานได้ปกติ เนื่องจากฐานมีน้ำหนักค่อนข้างสูง หากต้องการพัฒนาให้ใช้งานในคลังสินค้าที่มีชั้นวางสินค้าสูง จำนวนชั้นมาก ควรมีการขยายฐานของหุ่นยนต์ให้มีความกว้างเพิ่มขึ้น หรือติดล้อเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และลดการโยกของหุ่นยนต์

เอกสารอ้างอิง

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะฉัตร จารุธีรศานต์. ประสิทธิภาพการจัดการสินค้าคงคลังของธุรกิจค้าปลีก: กรณีศึกษาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม(SMEs) ในประเทศไทย. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2554

[2] Farah Hanani M.K. Development of Automated Storage and Retrieval System (ASRS) for Flexible Manufacturing System (FES). Electronics Technology Section University Kuala Lumpur British Malaysian Institute, 2016.

[3] M.M. Rashid, Banna Kasemi. New Automated Storage and Retrieval System (ASRS) using wireless communications. Department of Mechatronics Engineering, International Islamic University Malaysia, Malaysia, 2011.

[4] พงษ์ชัย อธิคมรัตนกุล, พรพิมล โตเสม. การศึกษาลักษณะเฉพาะฟังก์ชันและปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้ซอฟต์แวร์ระบบบริหารจัดการคลังสินค้า. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2018

[5] H. Katayama, K. Sawa, R. Hwang, N. Ishiwatari and N. Hayashi, "Analysis and classification of Karakuri technologies for reinforcement of their visibility, improvement and transferability: An attempt for enhancing lean management," Proceedings of PICMET '14 Conference: Portland International Center for Management of Engineering and Technology; Infrastructure and Service Integration, 2014, pp. 1895-1906.

กระบวนการควบคุมด้วยแรงสำหรับหุ่นยนต์บริการ

Force Control Scheme for Service Robot Arm

ภัทรวัต ชัยคุณสมบัติ[1]*, พลชัย โชติปรายนกุล[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail: 61601157@kmitl.ac.th*

Phatarawat Chaikhunsombat[1*], Pholchai Chotiprayanakul[1]
[1]Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
E-mail: 61601157@kmitl.ac.th*

บทคัดย่อ

หุ่นยนต์บริการที่มีแขนกลติดตั้งบนฐานเคลื่อนที่ในงานการส่งสิ่งของแบบถือส่งถึงมือแบบส่งบนถาดวางหรือถือด้วยมือ กระบวนการควบคุมแขนกลเป็นส่วนสำคัญในการที่จะทำให้เกิดการรักษาสมดุลของส่งของที่วางถาดหรือสิ่งของที่หุ่นถือไว้เมื่อเกิดสภาวะที่ทำให้ฐานเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เสียสมดุล โดยงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอกระบวนการควบคุมแขนกลและข้อมือของหุ่นยนต์โดยใช้ระบบการควบคุมด้วยแรงและระบบควบคุมอิมพิเดนซ์ ภายในการนำเสนองานวิจัยนี้จะได้แสดงกระบวนการการควบคุมหุ่นยนต์บริการ ด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่ประกอบด้วย ชุดล้อเลื่อนและแขนกลแบบ 6 แกนองศาอิสระ 2 แขน ทำงานร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งซึ่งรวมทั้งแรงโน้มถ่วง สามารถอ่านค่าการเอียงของหุ่นยนต์และความเร่งในการเคลื่อนที่ ค่าความเร่งจะถูกนำไปใช้ในการควบคุมแขนกลทั้งสองเพื่อรักษาสมดุลของที่ถือ การทดสอบด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ทำงานร่วมกับเซนเซอร์แสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบการควบคุมที่สร้างขึ้นว่ามีความสามารถในการตอบสนองการรักษาระดับของสิ่งของที่ถือไว้ได้เป็นอย่างดี

คาสาคัญ : การควบคุมแบบอิมพิเดนซ์, แขนกลคู่, หุ่นยนต์บริการ

Abstract

A service robot which is a mobile robot with manipulators is used for serving objects (food and beverages) hand to hand or object on tray holding. To achieve this service task, the controlling technique is the most important part for robot arms to hold and balance objects on its hands when the robot is running into rough or slope surface area. This paper proposes a technique to control the position and orientation of robot arm's end-effector with force-impedance algorithm. This research focuses on a service robot with two arms and hands. The experiments are conducted in computer simulation to confirm the control technique. The gravity signal comes from a 3DOF acceleration sensor attaching on a model mobile platform running on scale model of uneven testing field to simulate real-life working environment. Result of experiments show the performance and capability of force-impedance control technique can hold and leveling the both robot arm's end-effectors and the distance between end-effector of two arms can be maintained in curtain range. The testing result also shows the robot's hands can make efficient orientation of both hands up-rising through all the testing period.

Keywords: Impedance control, Cooperative manipulator, Service Robot

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมบริการในประเทศไทยยังพึ่งพาการใช้งานแรงงานคนงาน ที่เริ่มมีค่าใช้จ่ายสูงมากขึ้นจากค่าครองชีพ และ ด้วยสถานการณ์โควิด 19 ที่เกิดขึ้น ทำให้ผู้ใช้บริการมีความกังวลเรื่องการแพร่ระบาดผ่านช่องทางของบริกรภายในร้านอาหาร หรือการแพร่ผ่านการส่งอาหารและยาให้กับผู้ป่วยภายในสถานพยาบาลเป็นต้น จึงได้มีการนำหุ่นยนต์บริการมาช่วยเหลือในการทำงาน เพื่อทำให้เกิดความสะดวกสบายและลดความเสี่ยง หรือจะประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์กู้ระเบิดในการหยิบยกวัตถุให้มั่นคงมากขึ้น

แขนกลแบบ 6 แกนองศาอิสระ จะมีการเคลื่อนไหวคล้ายแขนคน จึงเป็นที่นิยมนำมาติดตั้งเคลื่อนที่บนระบบล้อให้กับหุ่นยนต์บริการ โดยหุ่นจะทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ถูกปรับด้วยวิศวกรรมมาก่อนเช่น ช่องทางบังคับ ระดับทางเดินราบเรียบ ไม่มีการขึ้นลงเนิน เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้จะเน้นที่จะนำเอาหุ่นยนต์บริการเข้าไปสู่สิ่งแวดล้อมที่ยังไม่ได้ถูกปรับโดยที่ยังทำให้สิ่งของที่หุ่นยนต์ถืออยู่ไม่หก ล้ม ตก หรือหลุด ออกจากการถือเมื่อเดินบนพื้นผิวที่ต่างระดับ พื้นเอียง หรือพื้นผิวที่มีความไม่แน่นอน

การผสมผสานความสามารถการควบคุมด้านต่าง ๆ โดยการออกแบบท่าทางหุ่นยนต์ อาศัยวิธีการระบุตำแหน่งเชิงเส้นที่ปลายแขนกลหรือการควบคุมแบบอิมพิเดนซ์ที่มีการควบคุมแรงเฉพาะตัวตามลักษณะการใช้งาน [1] สามารถใช้งานบนหุ่นยนต์แบบ 2 แขน และตอบสนองที่ดี การใช้การควบคุมแบบอิมพิเดนซ์ [2] [3] และ [4] สามารถรองรับแรงต้านทานซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อพื้นเอียง โดยการจัดระบบค่าตัวแปรควบคุมแรงแรงต้าน และ ความหน่วง ที่เหมาะสม

แขนกลในงานวิจัยที่ [5] ถึง [8] เป็นการควบคุมแบบอิมพิเดนซ์ที่ใช้กับแขนกลสองแขน หรือ ทำงานโต้ตอบกับผู้ใช้งาน โดยอาศัยการตอบสนองสมบัติจลศาสตร์ทั้งแนวเชิงมุมกับเชิงเส้นตามเวลาจริง โดยหุ่นสามารถตอบสนองหรือรักษาสมดุลการถือของไม่ให้ของตกหล่นได้เมื่อแขนหุ่นชนสิ่งแวดล้อมหรือถูกชนจากคน แต่การทำงานยังเป็นการยึดฐานของหุ่นให้มั่นคงเพื่อลดความผิดพลาดในการควบคุมตำแหน่งของแขนกลหรือรักษาสมดุลที่ตอบสนองจากจุดที่ออกแบบไว้ การนำมาประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์บนฐานล้อเคลื่อนที่ที่มีการเอียงตัว ให้หุ่นสามารถรักษาสมดุลการถือของในงานบริการ จำเป็นต้องขยายความสามารถให้ระบบควบคุมหุ่นให้ตอบสนองสภาพแวดล้อมที่ไม่แน่นอน และวิธีการยกของบนถาดอาหารได้ด้วยตัวเอง

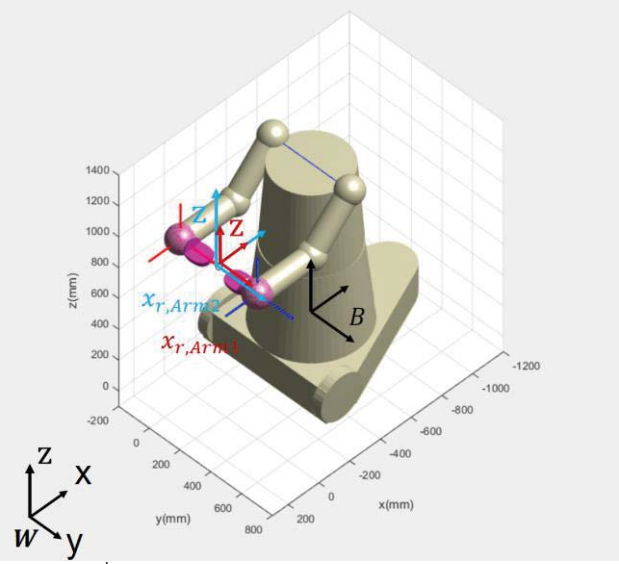
ในงานวิจัยการควบคุมด้วยแรงและอิมพิเดนซ์ เพื่อใช้กับหุ่นยนต์บริการติดแขนกลให้มีการรักษาระนาบที่ปลายแขนกลตั้งฉากกับแนวระนาบโลกและมีระยะห่างระหว่างแขนกลทั้งสองคงที่ทำให้หุ่นยนต์รักษาสมดุลการถือของไม่ให้ของตกหล่นได้ โดยงานวิจัยนี้จะได้แสดงผลการทำงานของระบบควบคุมบนแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่สร้างขึ้น

2. แผนการควบคุมระบบหุ่นยนต์บริการติดแขนกล

ระบบควบคุมหุ่นยนต์ที่ได้มีการออกแบบบน Operational Space จากอิทธิพลแรงโน้มถ่วง ทำให้สามารถรู้ได้ถึงแนวแกนระบบพิกัดของสิ่งแวดล้อมที่ไม่เปลี่ยนแปลง โดยสิ่งที่เกิดขึ้นนั้นสามารถรับรู้การเอียงนั้นได้จากการใช้เซนเซอร์ความเร่งติดภายในตัวชุดล้อเลื่อนและให้หุ่นยนต์บริการที่ติดแขนกลมีระบบควบคุมได้นั้นโดยใช้วิธีอย่างง่าย และที่นำมาใช้ในการออกแบบระบบ จะต้องมีการได้มีการแยกระบบพิกัดฉากของแขนกลออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ 1.จลศาสตร์ของหุ่นยนต์บริการติดแขนกล 2.พลศาสตร์ของการออกแบบควบคุม

2.1 จลศาสตร์ของหุ่นยนต์บริการติดแขนกล

ในส่วนนี้เป็นการแสดงรายละเอียดระบบพิกัดที่ได้ดังรูปที่ 1 โดยวิธีที่ง่ายและสะดวกในการควบคุมจะทำการแบ่ง ระบบพิกัดแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ $\{W\}$ ระบบพิกัดของสิ่งแวดล้อม, $\{B\}$ ระบบพิกัดของตัวชุดล้อเลื่อน, $\{E\}$ ระบบพิกัดของปลายแขนกล



รูปที่ 1 รายละเอียดระบบพิกัดหุ่นยนต์บริการติดแขนกล

2.2 ระบบพิกัดของหุ่นยนต์ (Forward Kinematics)

ในหุ่นยนต์บริการจะมีการติดตั้งแขนกลทั้งหมด 2 แขน โดยระบบพิกัดของแขนกลแต่ละแขนจะมี 6 แกนอิสระ (6 Degree of Freedom) สามารถแสดงได้ในรูปแบบของระบบเมทริกซ์เปลี่ยนแปลง (Transformation Matrix) จากระบบพิกัดหนึ่งผ่านก้านข้อต่อไปอีกข้อต่อถัดไปได้ดังนี้

$$T_{n-1}^{n} = \mathrm{Tran}(\mathrm{x},\mathrm{y},\mathrm{z}) * \mathrm{Rot}(\theta_{\mathrm{x}},\theta_{\mathrm{y}},\theta_{\mathrm{z}})$$

เมื่อ T_{n-1}^{n} คือเมทริกซ์เปลี่ยนแปลง (Transformation Matrix) ระบบพิกัดข้อต่อที่ n-1 ไปยังข้อต่อ n ส่วน $\mathrm{Tran}(\mathrm{x},\mathrm{y},\mathrm{z})$ คือเมทริกซ์การเลื่อนพิกัดตามแนวแกน และ $\mathrm{Rot}(\theta_{\mathrm{x}},\theta_{\mathrm{y}},\theta_{\mathrm{z}})$ คือ เมทริกซ์การ

หมุนพิกัดรอบแนวแกน จากสมการข้างต้นจะได้จะแสดงระบบพิกัดของแขนกล 6 องศาอิสระของแขนกล ได้ดังนี้

$$T_B^{E,Arm} = T_B^1 T_1^2 \dots T_6^{E,Arm} \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

จากระบบพิกัดของแขนกล 6 องศาอิสระและ T_B^E คือ เมทริกซ์การเปลี่ยนพิกัดของหุ่นยนต์ (Transformation Matrix) ที่อ้างอิงจากฐานล้อเลื่อนที่อธิบายถึงจลน์ศาสตร์เดินหน้าแสดงในรูปฟังก์ชัน (Forward Function) และกำหนดให้พิกัดปัจจุบันของปลายแขนเขียนได้เป็น $\mathbf{x}_{r,Arm}$ โดยที่

$$\mathbf{x}_{r,Arm} = \mathrm{F}\theta_\mathrm{d} = T_B^{E,Arm}$$

3. การกำหนดเป้าหมายสำหรับแขนกล

การกำหนดงานการถือของด้วยสองมือของหุ่นยนต์ที่เป็นแบบการควบคุมอิมพิเดนซ์ด้วยแรงจะเป็นการกำหนดตำแหน่งเป้าหมาย $\mathbf{x}_{d,Arm1}$ และ $\mathbf{x}_{d,Arm1}$ ให้กับปลายแขนของหุ่นยนต์โดยมีเงื่อนไขของระยะห่างของปลายแขนที่ต้องคงที่ ปลายแขนต้องอยู่ในแนวระดับ และแนวตั้งของปลายแขน (แนวตั้งกับระนาบถาด) จะต้องอยู่ในแนวตั้งหรือเอียงเล็กน้อยเพื่อชดเชยการเคลื่อนที่ของของตัวหุ่นยนต์ โดยผลต่างของระบบพิกัด $\mathbf{x}_{d,Arm1}$ และ $\mathbf{x}_{d,Arm2}$ จะเป็นค่าคงที่ ที่ทิศของเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit Vector) ของแต่ละแนวแกน XYZ ให้ชี้ไปในทิศทางเดียวกัน แกน Z ชี้ขึ้นตลอดเวลา และระยะห่างของมือคงที่ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\mathbf{x}_{d,Arm1} - \mathbf{x}_{d,Arm2} = \boldsymbol{C}$$

โดยที่

$$\mathbf{x}_{d,Arm} = \begin{bmatrix} n_{xd} & o_{xd} & 0 & p_{xd} \\ n_{yd} & o_{yd} & 0 & p_{yd} \\ n_{zd} & o_{zd} & 1 & p_{zd} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

และ

$$\boldsymbol{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & L \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4. กระบวนการควบคุมแบบอิมพิเดนซ์

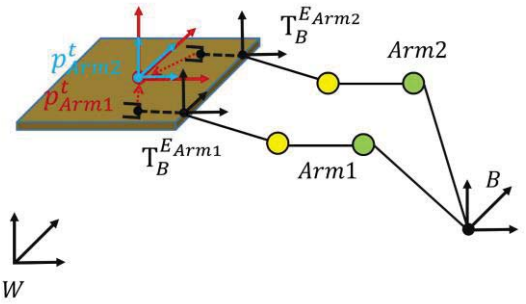
ในกระบวนการควบคุมแบบอิมพิเดนซ์คือวิธีการควบคุมพฤติกรรมทางไดนามิคของระบบทั่วไปในรูปแบบหนึ่งประเภทแบบแรงภายในสำหรับการควบคุมแบบอิมพิเดนซ์ของแขนกลดังรูปที่ 3 เป็นการกำหนดเป้าหมายของปลายแขนกลในรูปของระยะกระจัดบน Operational Space และแปลงไปเป็นตำแหน่งภายใต้ Joint Space และกำหนดให้เป็นแรงบิดให้กับข้อต่อแต่ละตัว โดยแรงบิดจะก่อให้เกิดการหมุนของข้อต่อไปยังตำแหน่งส่งผลทำให้ปลายแขนขยับเข้าหาจุดเป้าหมายที่กำหนด

$$\mathrm{M}\ddot{\theta}_\mathrm{d} + \mathrm{D}\dot{\theta}_\mathrm{d} = \mathrm{J}^{-1}\mathrm{K}(\mathbf{x}_\mathrm{d} - \mathrm{F}\theta_\mathrm{d})$$

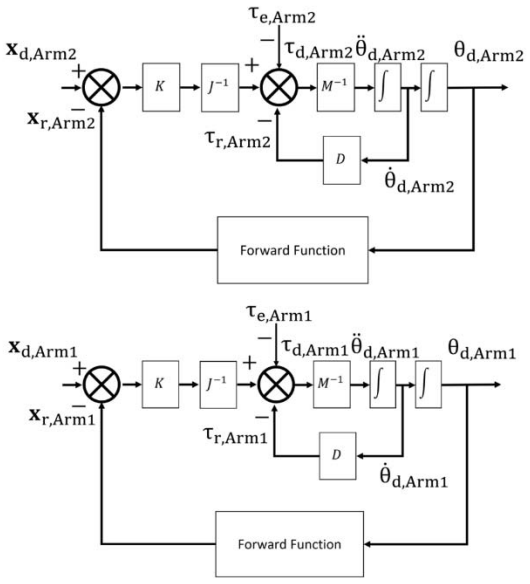
กระบวนการควบคุมเมื่อแขนกลมีการทำงานประสานกันและมีแรงกระทำจากภายนอก τ_e จะสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$\mathrm{M}\ddot{\theta}_\mathrm{d} + \mathrm{D}\dot{\theta}_\mathrm{d} = \mathrm{J}^{-1}\mathrm{K}(\mathbf{x}_\mathrm{d} - \mathrm{F}\theta_\mathrm{d}) - \tau_\mathrm{e}$$

โดยที่ $\mathbf{x}_{r,Arm} = \mathrm{F}\theta_\mathrm{d}$ เป็นตำแหน่งพิกัดปัจจุบันของปลายแขนกล (End-Effector's Current Position) เมื่อ F คือ ฟังก์ชันเดินหน้าของ (Forward Function) ของแขนกล M คือเมตริกของมวล D คือเมตริกของตัวหน่วง K คือเมตริกของสปริงจำลอง และ J คือเมตริกจาโคเบียน



รูปที่ 2 แผนภาพระบบพิกัดในแนวเชิงเส้นวิ่งเข้าเป้าหมายที่กำหนด



รูปที่ 3 แผนภาพการควบคุมอิมพิเดนซ์ของแขนกล แขนทั้ง2

5. การควบคุมปลายแขนกลด้วยสมมุติสปริงค์ (Virtual Spring)

เนื่องจากการระบบพิกัดของปลายแขนกลดังแสดงในแผนภาพการควบคุมอิมพิเดนซ์ของแขนกลทั้งสองผลต่างของตำแหน่งปลายแขนซึ่งเป็นระยะขจัดระหว่างปลายแขนปัจจุบันกับเป้าหมายที่ต้องการไปถึงคูณเข้ากับค่าคงที่ K ซึ่งกำหนดให้เป็นค่าความแข็งของตัวสปริงค์สมมุติจะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าแรงใน Operation Space ก่อนที่จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแรงบิดของข้อต่อใน Joint Space ด้วยการคูณกับส่วนกลับของเมทริกซ์จาโคเบียน ดังนั้นการใช้ $\mathrm{K}(\mathbf{x}_{\mathrm{d}} - \mathbf{x}_{\mathrm{r}})$ จึงทำให้เกิดเป็นหลักการของสมมุติสปริงค์ (Virtual Spring)

แต่เนื่องจากเป็นการควบคุมทั้งตำแหน่งของปลายแขนและมุมบิดของข้อมือไปพร้อมกันการใช้ผลต่างของตำแหน่งเป็นระยะขจัดเชิงเส้นสามารถใช้ได้ แต่ไม่สามารถใช้ได้กับผลต่างเชิงมุมที่ได้จากความต่างของทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของแนวแกนของข้อต่อทำให้ต้องสร้างนิยามใหม่ให้กับการหาระยะขจัดของมุมบิดเป็นการคลอสเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของแนวแกนบิดของข้อต่อ โดยทำการเปลี่ยนระบบพิกัดผลต่างของ

$$\mathbf{x}_{d,Arm} - \mathbf{x}_{r,Arm} = \begin{bmatrix} \Delta \boldsymbol{p}_x \\ \Delta \boldsymbol{p}_y \\ \Delta \boldsymbol{p}_z \\ \Delta \boldsymbol{\alpha} \\ \Delta \boldsymbol{\rho} \\ \Delta \boldsymbol{\varphi} \end{bmatrix}$$

โดยให้

$$\begin{bmatrix} \Delta \boldsymbol{p}_x \\ \Delta \boldsymbol{p}_y \\ \Delta \boldsymbol{p}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{p}_{x,d} - \boldsymbol{p}_{x,r} \\ \boldsymbol{p}_{y,d} - \boldsymbol{p}_{y,r} \\ \boldsymbol{p}_{z,d} - \boldsymbol{p}_{z,r} \end{bmatrix}$$

และ

$$\begin{bmatrix} \Delta \boldsymbol{\alpha} \\ \Delta \boldsymbol{\rho} \\ \Delta \boldsymbol{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{a}_{x,d} \times \boldsymbol{a}_{x,r} \\ \boldsymbol{a}_{y,d} \times \boldsymbol{a}_{y,r} \\ \boldsymbol{a}_{z,d} \times \boldsymbol{a}_{z,r} \end{bmatrix}$$

โดยที่ เวกเตอร์ [a] คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแนวแกน Z ของระบบพิกัดปลายแขนที่ต้องการให้ชี้ขึ้นตลอดเวลา จากนั้นสมการที่ได้มาเขียนให้อยู่ในรูปของจลศาสตร์ของการควบคุมที่ปลายแขน ทั้งในแนวเชิงเส้นและเชิงมุมแสดงในรูปของสปริงจำลองได้ดังนี้

$$\mathbf{K}(\mathbf{x}_{\mathrm{d},Arm} - \mathbf{x}_{\mathrm{r},Arm}) = \begin{bmatrix} \mathrm{K_p} \\ \mathrm{K_o} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} (p_{d,Arm} - p_{r,Arm}) \\ (a_{d,Arm} \times a_{r,Arm}) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}(\mathbf{x}_{\mathrm{d},Arm} - \mathbf{x}_{\mathrm{r},Arm}) = \begin{bmatrix} \mathrm{K_P}(p_{d,Arm} - p_{r,Arm}) \\ \mathrm{K_o}(a_{d,Arm} \times a_{r,Arm}) \end{bmatrix}$$

เมื่อกำหนดให้ $\mathrm{K_p}$ คือค่าความแข็งของสปริงค์สมมุติแรงดึง และ $\mathrm{K_o}$ คือค่าความแข็งของสปริงค์สมมุติแรงบิด

6. การอ้างอิงระบบพิกัดสภาพพื้นผิวของทางเดิน

สำหรับสภาพเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ใช้การระบบพิกัดของสภาพแวดล้อม $\{W\}$ ที่อ้างอิงไปยังระบบพิกัดของชุดฐานล้อ $\{B\}$ โดยเพื่อให้ตัวหุ่นยนต์รับรู้การเอียงด้วยตัวเองจะใช้เซนเซอร์วัดความเร่งวัดแรงโนมถ่วงพร้อมวัดมุมบิด (6DOF Acceleration and Gyro-meter Sensor) เป็นตัววัดสภาพการเอียงของฐานล้อหุ่นยนต์ที่เป็นตัวแทนสภาพของเส้นทางเดิน โดยให้ $\mathrm{Rot_{sensor}}$ คือเมตริกการหมุนจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง

$$T_w^B = \mathrm{Rot_{sensor}}(\theta_\mathrm{x}, \theta_\mathrm{y}, \theta_\mathrm{z})$$

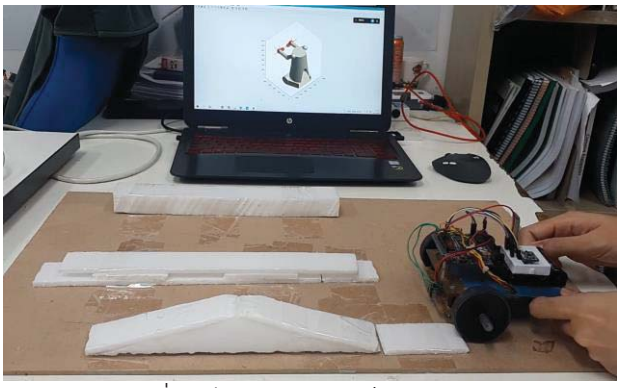
และสามารถอ้างอิงได้เป็น

$$\mathbf{x}_{r,Arm} = T_w^E = T_w^B T_B^E$$

7. ผลการทดลองการควบคุมการรักษาระดับการถือของ

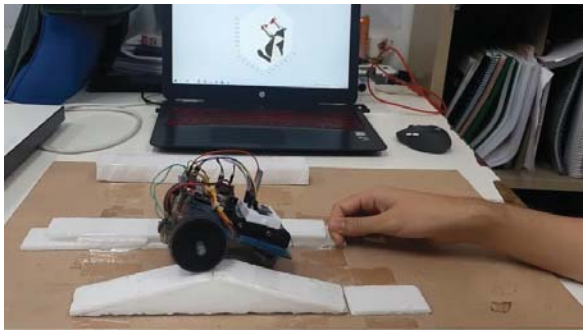
การทดลองการรักษาสภาพระนาบของปลายแขนกล ได้ออกแบบการทดลองด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของหุ่นยนต์ โดยจะได้ทำการรับข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งที่ติดตั้งบนหุ่นฐานล้อจำลองขนาดอัตราส่วน 1:8 จากขนาดจริง โดยแบบจำลองจะเดินได้ความเร็ว 2.7 เมตร/นาที เมื่อเทียบเป็นหุ่นขนาดจริงจะเดินที่ความเร็ว 20.6 เมตร/นาที ซึ่งเป็นความเร็วปลอดภัยที่หุ่นยนต์หรือคนสามารถหลบหลีกการชนได้ การทดลองเพื่อให้ได้ค่าการเอียงไปมาของหุ่นยนต์จะได้ให้หุ่นจำลองขนาดวิ่งไปบนพื้นเอียง 20 องศาขึ้นลง และ ต่างระดับระหว่างล้อซ้ายขวา ในรูปแบบต่าง ๆ และนำเอาสัญญาณของเซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง ทำการป้อนให้กับแบบจำลองหุ่นยนต์บริการที่สร้างขึ้นบน Matlab ตามเวลาจริง (Real-Time Control) ผ่านสัญญาณบลูทูธไปยังคอมพิวเตอร์ให้ปรับระดับของมือหุ่นยนต์ทั้งสองข้างทำให้ ระยะห่างระหว่างมือคงที่และรักษาทิศทางการถือให้ถาดหงายได้ระดับกับพื้นตลอดเวลา

การทดลองการตอบสนองรักษาสมดุลหุ่นยนต์บริการติดแขนกลจะทำในหลาย ๆ รูปแบบการเดินของหุ่นยนต์

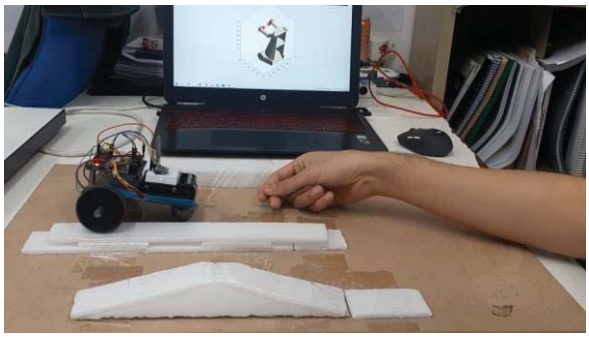


รูปที่ 4 วิธีการทดลงหุ่นยนต์บริการจำลอง

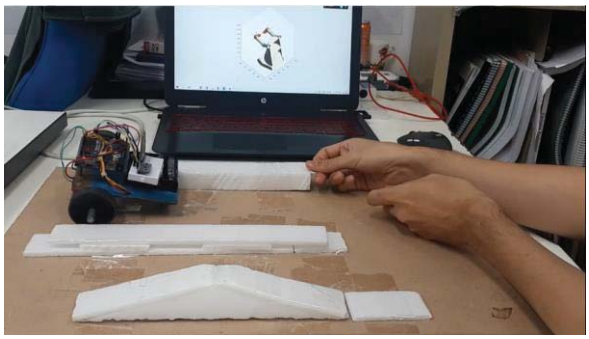
แขนกลที่จำลองใน Matlab เมื่อรับค่าจากเซนเซอร์จากฐานล้อจะปรับค่ามุมเอียงฐาน และทำการคำนวนจุดเป้าหมายของแขนใหม่ในระบบควบคุมอิมพิเดนซ์เพื่อการรักษาระดับของแขนทั้งคู่โดยดูจากเวกเตอร์ของปลายแขนแนวแกน Z ที่ต้องชี้ในทิศ [0 0 1] และระยะห่างที่ตั้งไว้ที่ 350 มิลลิเมตร



(a)



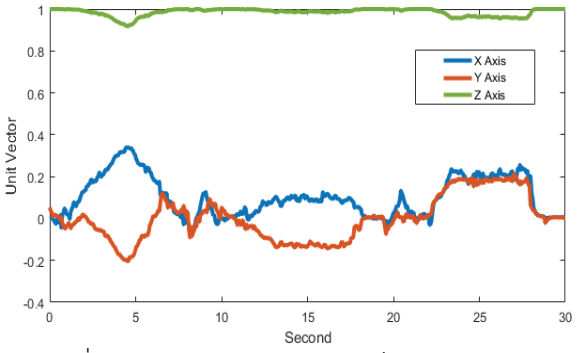
(b)



(c)

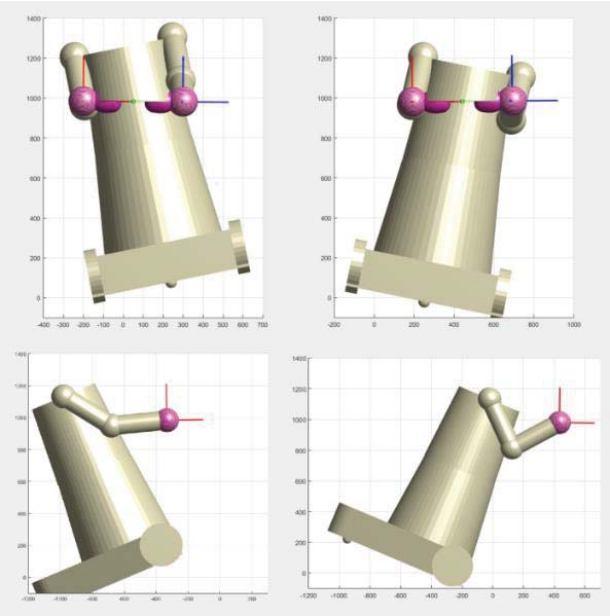
รูปที่ 5 การทดลองวิ่งหุ่นยนต์บริการในแบบพื้นผิวเอียงต่างระดับในแบบต่าง ๆ กันแต่ละการทดสอบ

จากการทดลองสัญญาณของเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งจะอ่านค่าออกมาได้เป็นเวกเตอร์ 3 แนวแกน XYZ ดังรูปที่ แสดงค่าทั้ง 3 แนวแกนตามระยะเวลาของการทดลอง โดยหุ่นยนต์วิ่งผ่านทางลาดเอียงทำให้ทิศแนวของลำตัวหุ่นยนต์ที่เอียงทำมุมกับแนวระนาบโลก



รูปที่ 6 ตัวอย่างสัญญาณของเซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง

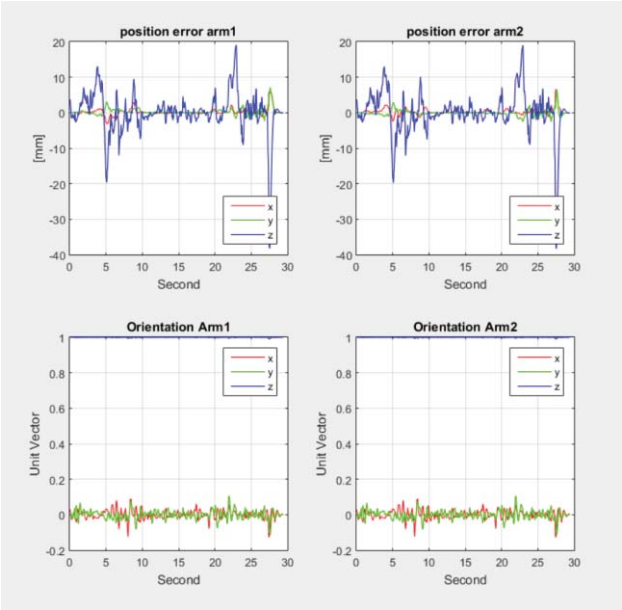
โดยการตอบสนองต่อการเอียงของหุ่นยนต์ด้วยกระบวนการควบคุมแบบอิมพิเดนซ์แบบแรง และสปริงค์สมมุติสามารถปรับตำแหน่งและมุมบิดข้อมือของทั้งสองมือให้ คงระดับของการยกสิ่งของ และระนาบของมือถือถาดให้อยู่ในแนวตั้งได้



รูปที่ 7 ตัวอย่างการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อเอียงและการรักษาตำแหน่งและแนวระดับของแขนกลทั้ง 2 ข้าง

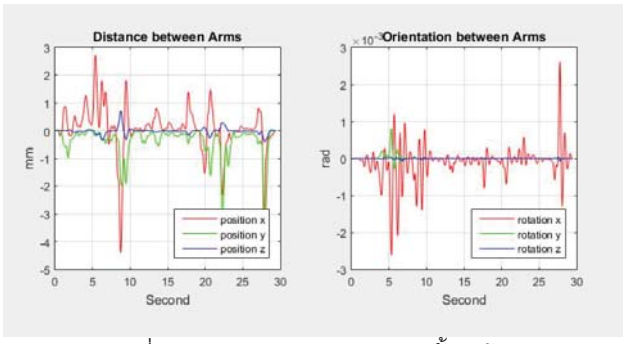
ในรูปที่ 8 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเป้าหมาย จากการทดสอบ จากรูปกราฟแกน z ตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนสูงมากขึ้นเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวเอียงต่างระดับอย่างรวดเร็วเกินความเร็วการประมวลผลรักษาระดับของแขนกล เมื่อเทียบกับรูปที่ 6

แสดงค่าการบิดมุมของข้อมือ จากค่ามุมบิดที่เกิดขึ้นมีสามารถควบคุมข้อมือได้ดี ในทุกสภาพพื้นผิว แกน z มีสภาพตั้งขนานใกล้เคียงกับแกนของสิ่งแวดล้อมในแนวดิ่งหรือมุมอ้างอิงที่กำหนดไว้ในรูปของเวกเตอร์ 1 หน่วย [0 0 1]



รูปที่ 8 ตัวอย่างตำแหน่งและมุมบิดแขนกลทั้ง 2 ข้าง

ในรูปที่ 9 แสดงระยะห่างระหว่างของแขนกลคงที่ มีระยะห่างคลาดเคลื่อนประมาณ 4.5 mm และการมุมระหว่างของแขนกลประมาณ 0.003 rad หรือ 0.17 องศา ซึ่งจากการทดสอบสามารถควบคุมให้มีการประสานการควบคุมของแขนทั้งสองได้ดี



รูปที่ 9 ระยะห่างระหว่างของแขนกลทั้ง 2 ข้าง
และมุมระหว่างของแขนกลทั้ง 2 ข้าง

8. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบควบคุมแขนกลสำหรับหุ่นยนต์บริการ โดยใช้ระบบควบคุมอิมพิเดนซ์ด้วยแรงขับเคลื่อน โดยใช้ระบบพิกัดฉากที่อ้างอิงจากสิ่งแวดล้อมไปยังตัวหุ่นยนต์ถึงปลายแขนทั้งสองข้าง ทำให้ปลายแขนกลทั้งสองรักษาระยะห่างให้คงที่และพิกัดปลายแขนต้องทำให้มือถือสิ่งของอยู่ในแนวดิ่งที่ชี้ขึ้นตลอดเวลาและรักษาแนวระดับคงที่

การควบคุมอิมพิเดนซ์ด้วยแรงขับเคลื่อนจะสร้างสปริงเสมือนเป็นเป้าหมายนำให้ปลายแขนของหุ่นยนต์ให้รักษาสมดุลของงานการถือของหุ่นยนต์จะรับรู้สภาพการเอียงของฐานล้อหุ่นยนต์สะท้อนสภาพของเส้นทางเดินด้วยเซนเซอร์วัดความเร่งเพื่อนำไปปรับตำแหน่งเป้าหมายของปลายแขนชดเชยการเสียตำแหน่งจากการเอียงของฐาน จากการทดสอบพบว่าระบบการควบคุมอิมพิเดนซ์ด้วยแรงขับเคลื่อน ทำให้แกน Z ของปลายแขนทั้งสองชี้ขึ้นเก็บตลอดเวลาและรักษาระนาบได้ดี ผลแสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยังอยู่ในระยะที่ยังไม่ทำให้ของที่ถือเสียสมดุลไป

เอกสารอ้างอิง

[1] B. M. Braun, G. P. Starr, J. E. Wood, and R. Lumia, “A framework for implementing cooperative motion on industrial controllers,” IEEE Trans. Robot. Autom., vol. 20, no. 3, pp. 583–589, 2004, doi: 10.1109/TRA.2004.824941.

[2] F. Caccavale, P. Chiacchio, A. Marino, and L. Villani, “Six-DOF impedance control of dual- arm cooperative manipulators,” IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 13, no. 5, pp. 576–586, 2008, doi: 10.1109/TMECH.2008.2002816.

[3] X. Li, Y. H. Liu, and H. Yu, “Iterative learning impedance control for rehabilitation robots driven by series elastic actuators,” Automatica, vol. 90, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1016/j.automatica.2017.12.031.

[4] Lorenzo Sciavicco and Bruno Siciliano, Modelling and Control of Robot Manipulators, Second. McGraw Hill, 1996.

[5] F. Ficuciello, L. Villani, and B. Siciliano, “Variable Impedance Control of Redundant Manipulators for Intuitive Human- Robot Physical Interaction,” IEEE Trans. Robot., vol. 31, no. 4, pp. 850–863, 2015, doi: 10.1109/TRO.2015.2430053.

[6] J. Duan, Y. Gan, M. Chen, and X. Dai, “Adaptive variable impedance control for dynamic contact force tracking in uncertain environment,” Rob. Auton. Syst., vol. 102, pp. 54–65, 2018, doi: 10.1016/j.robot.2018.01.009.

[7] Y. Dong and B. Ren, “UDE-Based Variable Impedance Control of Uncertain Robot Systems,” IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Syst., vol. 49, no. 12, pp. 2487–2498, 2019, doi: 10.1109/TSMC.2017.2767566.

[8] H. Hu and J. Cao, “Adaptive variable impedance control of dual- arm robots for slabstone installation,” ISA Trans., Available online, 2021, doi: 10.1016/j.isatra.2021.10.020.

ระบบตรวจจับการสวมใส่หมวกนิรภัยผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชันร่วมกับวิธีการลบภาพพื้นหลัง

Motorcycle Safety Helmet Detection using Convolution Neural Network and Background Subtraction Method

ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์ [1] เชิดพงษ์ ดีเลิศไพบูลย์ [1*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: chirdpong.d@eng.kmutnb.ac.th*

Parinyawat Yoothongin[1], Chirdpong Deelertpaiboon[1*]
[1] Department of Instrumentation and Electronics Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: chirdpong.d@eng.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การสวมหมวกนิรภัยสำหรับผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์นั้นนอกจากจะเป็นข้อบังคับตามกฎหมายจราจรแล้ว ยังเป็นการลดความเสียหาย รวมถึงลดโอกาสเกิดการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นอีกด้วย จากข้อมูลพบว่าอุบัติเหตุบนท้องถนนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มักจะเป็น อุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับรถจักรยานยนต์ ในขณะที่อัตราการสวมหมวกนิรภัยของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์นั้นมีเพียง 48% เท่านั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาระบบตรวจจับผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ไม่สวมหมวกนิรภัยในขณะขับขี่ เพื่อเป็นการส่งเสริมความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนน ด้วยการ นำแผนภูมิควบคุมมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการระบุตำแหน่งของวัตถุ ร่วมกับการนำโครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชันมาใช้ในการคัดแยกการสวมหมวกนิรภัยของผู้ขับขี่ จากผลการทดสอบกับภาพวีดีโอ 1,000 ภาพพบว่าระบบตรวจจับมีความแม่นยำในการตรวจจับผู้ขับขี่ที่สวมหมวกนิรภัยและไม่สวมหมวกนิรภัยอยู่ที่ 59.12% และ 96.51% ตามลำดับ และมีความถูกต้องในการตรวจจับอยู่ที่ 71.60% ความผิดพลาดในการตรวจจับส่วนหนึ่งเกิดจากการที่วัตถุ 2 ชิ้นอยู่ไกล้กันเกินไป ทำให้ผลที่ได้ในขั้นตอนการลบภาพพื้นหลังมองว่าเป็นวัตถุชิ้นเดียวกันจึงส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการจำแนกหมวดหมู่ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว การเก็บข้อมูลควรติดตั้งกล้องให้บันทึกภาพจากมุมสูงเพื่อไม่ให้วัตถุเกิดการทับซ้อนกัน
คาสาคัญ: การตรวจจับหมวกนิรภัย, แผนภูมิควบคุม, การลบภาพพื้นหลัง, การตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว, โครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชัน

Abstract

Motorcycle safety helmet wearing is not only a regulation for the traffic laws, but also it helps reducing lost from accident that may happen. Statistically, road accidents mostly involve motorcycles. However, only 48% of riders wear safety helmet. This research aims to develop a system that can detect non-helmet wearing riders in order to encourage road safety for all users. This work utilizes control chart for identifying object in an image. Then, it uses convolution neural network to classify helmet wearing riders. The result from testing with 1,000 images sequence, the result shows that our proposed algorithm has precision of 59.12% and 96.51% for correctly detecting helmet wearing riders and non-helmet wearing riders respectively. Meanwhile, the accuracy of our proposed algorithm is 64.74%. Most of the errors happen because two objects in the image are too closed and the result from background subtraction shows that there is only one object. To solve this problem, it is suggested that the camera should be installed in a high pole such that the viewing angle does not cause the occlusion from one object to the other.
Keywords: Safety helmet detection, Control chart, Background subtraction, Moving object detection, Convolution neural network

1. บทนำ

การสวมหมวกนิรภัยสำหรับผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์นั้นนอกจากจะเป็นข้อบังคับตามกฎหมายจราจรแล้ว ยังเป็นการลดความเสียหายรวมถึงลดโอกาสเกิดการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นอีกด้วย จากข้อมูลสถิติ จำนวนของอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับรถจักรยานยนต์ในปี พ.ศ. 2561 มีจำนวนสูงถึง 40,420 ครั้ง คิดเป็น 39% ของจำนวนอุบัติเหตุทั้งหมดที่ได้รับแจ้ง [1] ในขณะที่อัตราการสวมหมวกนิรภัยของผู้ใช้รถจักรยานยนต์ในประเทศไทย พบว่าคนไทยมีอัตราการสวมหมวกนิรภัยเฉลี่ยเพียง 48% เท่านั้น [1]

การขับขี่รถจักรยานยนต์โดยที่ไม่สวมหมวกนิรภัยนั้นมักจะเกิดขึ้นในพื้นที่ที่ไม่มีการกวดขันในเรื่องกฎจราจรหรือพื้นที่ที่เจ้าหน้าที่ตำรวจเข้าไปดูแลได้ไม่ทั่วถึง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบตรวจจับผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ไม่สวมหมวกนิรภัยในขณะขับขี่ สำหรับนำไปใช้ในการแจ้งเตือน หรือเก็บข้อมูลทางสถิติ เพื่อเป็นการส่งเสริมความปลอดภัยในการขับขี่จักรยานยนต์ รวมไปถึงลดภาระการทำงานของเจ้าหน้าที่ตำรวจอีกด้วย

งานวิจัยนี้นำวิธีการลบภาพพื้นหลังมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบจำแนกหมวดหมู่ของภาพ โดยเทคนิคการลบภาพพื้นหลังของภาพจะเป็นการคัดแยกตำแหน่งที่ตรวจพบวัตถุที่มีการเคลื่อนไหว ซึ่งในงานวิจัยนี้คือผู้คนที่ขับขี่ยานพาหนะทั้งรถจักรยานยนต์และรถยนต์ รวมทั้งคนเดินบนริมทาง ออกจากพื้นหลังของภาพ ทำให้ทราบตำแหน่งของวัตถุนั้น ๆ แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้เข้าสู่ระบบจำแนกหมวดหมู่ของภาพ เพื่อระบุว่าหากวัตถุที่ตรวจพบเป็นผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ ระบบจะจำแนกออกมาว่าผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์คันนั้นสวมหมวกนิรภัยหรือไม่

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับการสวมหมวกนิรภัยสำหรับรถจักรยานยนต์จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกทำหน้าที่ในการตรวจจับตำแหน่งของรถจักรยานยนต์ที่อยู่ในภาพ ซึ่งเป็นการนำภาพในเฟรมปัจจุบันมาประมวลผลเปรียบเทียบกับชุดภาพในช่วงเวลาก่อนหน้าเพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ภายในภาพได้ ซึ่งมีหลากหลายวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการประมวลผล เช่น วิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักร [2] วิธีเปรียบเทียบกับภาพพื้นหลังอ้างอิง [3,4] หรือการใช้โครงข่ายประสาทเทียม [5,6] เป็นต้น

จากนั้นก็จะเป็นการตัดเฉพาะภาพของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ตามตำแหน่งที่ตรวจจับมาได้จากขั้นตอนแรกไปทำการประมวลผลต่อด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชันเพื่อทำการจำแนกหมวดหมู่อีกครั้งว่ามีการสวมหมวกนิรภัยหรือไม่

2.1 การลบภาพพื้นหลัง (Background Subtraction)

การลบภาพพื้นหลัง หรือการสกัดภาพเบื้องหน้า (Foreground Extraction) เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ร่วมกับงานประมวลผลภาพอยู่แล้วโดยเฉพาะการนำมาใช้ระบุตำแหน่งของวัตถุภายในภาพ [7-12] การลบภาพพื้นหลังนั้นเป็นใช้ข้อมูลภาพจากวีดีโอ ด้วยการนำข้อมูลภาพในเฟรมปัจจุบันมาเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพในเฟรมก่อนหน้า [7,8] เปรียบเทียบกับภาพพื้นหลังอ้างอิง [9-11] หรือการนำโครงข่ายประสาทเทียม [12] มาใช้ในการตัดสินใจว่าบริเวณใดของภาพที่เกิดการเคลื่อนไหว ผลลัพธ์ของการตรวจจับการเคลื่อนไหวจะอยู่ในลักษณะของภาพขาวดำ (Binary Image) ขนาดเท่ากันกับภาพที่นำมาประมวลผล โดยมีจุดที่เป็นสีขาวแสดงถึงภาพเบื้องหน้าหรือตำแหน่งที่เกิดการเคลื่อนไหว
และจุดที่เป็นสีดำแสดงถึงภาพเบื้องหลังหรือตำแหน่งของจุดที่ไม่เกิดการเคลื่อนไหว

2.2 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชัน (Convolution Neural Network, CNN)

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชันเป็นโครงข่ายประสาทเทียมประเภทหนึ่งที่มีการทำงานในลักษณะของการจำลองการมองเห็นของมนุษย์ที่เป็นการมองในลักษณะของพื้นที่ย่อย ๆ มาผสานรวมกันเพื่อดูว่าสิ่งที่เห็นนั้นเป็นวัตถุใด โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้จึงถูกนำมาใช้งานกับข้อมูลที่เป็นภาพโดยเฉพาะ [14] โครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชันถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายกับงานที่เป็นการจำแนกหมวดหมู่ของภาพ [4-7] รวมถึงการนำไปใช้งานร่วมกับระบบตรวจจับวัตถุ [14,15] สำหรับการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุในภาพตามหมวดหมู่ที่ต้องการ

ก่อนที่โมเดลของโครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถนำไปใช้งานได้นั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการฝึกสอนระบบ (Training Process) เสียก่อน โดยขั้นตอนในการฝึกสอนระบบจะเป็นการนำข้อมูลภาพที่ทำการระบุหมวดหมู่ไว้แล้วมาให้ระบบเรียนรู้ความแตกต่างระหว่างแต่ละหมวดหมู่ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการฝึกสอนเรียบร้อยแล้วก็จะสามารถนำโมเดลไปทำการจำแนกหมวดหมู่ของภาพต่อไปได้

2.3 การวัดประสิทธิภาพของระบบจำแนกหมวดหมู่

ก่อนที่จะทำการนำโมเดลระบบจำแนกหมวดหมู่หรือระบบตรวจจับวัตถุไปใช้งานนั้นจะมีการวัดประสิทธิภาพของโมเดลก่อนว่าโมเดลนั้นมีประสิทธิภาพที่มากพอหรือยัง เนื่องจากการวัดประสิทธิภาพของโมเดลด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) เพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถอธิบายการทำงานของโมเดลได้ครบถ้วน ซึ่งตัววัดประสิทธิภาพที่นิยมนำมาใช้ในการอธิบายได้แก่ Precision, Recall และ F1-score แสดงได้ดังสมการด้านล่างนี้

$$accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

$$F1 = 2 * \left(\frac{precision * recall}{precision + recall} \right) \quad (4)$$

โดยที่ TP คือ ข้อมูลที่ทำนายตรงกับข้อมูลจริงในคลาสที่สนใจ
TN คือ ข้อมูลที่ทำนายตรงกับข้อมูลจริงในคลาสที่ไม่สนใจ
FP คือ ข้อมูลที่ทำนายผิดในคลาสที่สนใจ
FN คือ ข้อมูลที่ทำนายผิดในคลาสที่ไม่สนใจ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การทำงานของระบบตรวจจับผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ไม่สวมหมวกนิรภัยเป็นการประมวลผลภาพจากวีดีโอหรือภาพถ่ายที่มีความต่อเนื่องกัน เฟรมภาพที่นำมาประมวลผลจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับชุดเฟรมภาพที่อยู่ในช่วงเวลาก่อนหน้านั้นเพื่อหาตำแหน่งของภาพที่เกิดการเคลื่อนไหว โดยวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสง (intensity) ภายในจุดนั้น ๆ และเมื่อทำการลบกลุ่มของจุดที่ไม่เกิดการเคลื่อนไหวในภาพของช่วงเวลาปัจจุบันไปออกไป สิ่งที่เหลือภายในภาพก็จะหมายถึงวัตถุที่กำลังเคลื่อนไหวอยู่ในขณะนั้น

เนื่องจากข้อมูลภาพแต่ละภาพนั้นมีความต่อเนื่องกันในแกนเวลาอยู่แล้ว ทำให้เกิดแนวคิดที่จะมองข้อมูลความเข้มแสงในจุดนั้น ๆ ของแต่ละภาพในลักษณะของข้อมูลแบบสัญญาณอนุกรมเวลา (Time-Series Signal) และทำการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละจุดว่ามีข้อมูลในตำแหน่งใดของภาพที่เกิดการเปลี่ยนแปลง และนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งของวัตถุที่เกิดการเคลื่อนไหวในภาพ

ในงานวิจัยนี้ได้นำแผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลผันแปร (Variable Control Chart) มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลของจุดในภาพ โดยการเก็บข้อมูลภาพย้อนหลังจำนวน 20 ภาพ ($I_{n-20} : I_{n-1}$) เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ภาพในเฟรมปัจจุบัน (I_n) เมื่อการประมวลผลเสร็จสิ้นก็จะทำการลบภาพที่เก่าที่สุดออกจากข้อมูลภาพ และนำภาพปัจจุบันไปเก็บในข้อมูลภาพแทนเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ภาพในเฟรมถัดไป

ข้อมูลภาพในแต่ละเฟรมนั้นจะถูกนำมาแยกออกเป็นภาพย่อย (Block, b) เพื่อทำการแยกวิเคราะห์กัน ในแต่ละภาพย่อยจะมีขนาดกว้างเท่ากับ b_w และมีความสูงเท่ากับ b_h และทำการคำนวณค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ดังสมการที่ (5) และคำนวนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ของข้อมูลในแต่ละภาพย่อยดังสมการที่ (6)

$$\bar{x}_n(i,j) = \frac{\sum_{h=h_f(i)}^{h_t(i)} \sum_{w=w_f(j)}^{w_t(j)} I_n(h,w)}{b_h * b_w} \tag{5}$$

$$\sigma_n(i,j) = \sqrt{\frac{\sum_{h=h_f(i)}^{h_t(i)} \sum_{w=w_f(j)}^{w_t(j)} \left(I_n(h,w) - \bar{x}_n(i,j)\right)^2}{b_h * b_w}} \tag{6}$$

โดยที่ b_h คือ ขนาดความสูงของภาพย่อย
b_w คือ ขนาดความกว้างของภาพย่อย
$h_f(i)$, $h_t(i)$, $w_f(j)$, $w_t(j)$ คือ พิกัดของมุมทั้ง 4 ด้านของภาพย่อยที่ตำแหน่ง (i,j) โดย h แสดงถึงตำแหน่งในแนวแกนความสูง w แสดงถึงตำแหน่งในแนวแกนความกว้าง ตัวห้อย f บอกถึงตำแหน่งเริ่มต้นของภาพย่อยในแนวแกนนั้น ๆ และตัวห้อย t บอกถึงตำแหน่งสุดท้ายของภาพย่อยในแนวแกนนั้น ๆ
n คือ เลขที่เฟรมของภาพ
$\bar{x}_n(i,j)$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในภาพย่อยที่ตำแหน่ง (i,j) ของภาพที่ n
$\sigma_n(i,j)$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลในภาพย่อยที่ตำแหน่ง (i,j) ของภาพที่ n
$i_n(h,w)$ คือ ค่าความเข้มแสงของจุดที่ตำแหน่ง (h,w) ของภาพที่ n

เมื่อทำการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพทั้ง 20 ภาพเรียบร้อยแล้วก็จะทำการสร้างขีดจำกัดการควบคุม (Control Limit) สำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของภาพย่อยแต่ละภาพ

$$\bar{\bar{x}}(i,j) = \frac{\sum_{m=n-20}^{n-1} \bar{x}_m(i,j)}{k} \tag{7}$$

$$\bar{\sigma}_n(i,j) = \frac{\sum_{m=n-20}^{n-1} \sigma_m(i,j)}{k} \tag{8}$$

$$UCL(i,j) = \bar{\bar{x}}(i,j) + \left(3 * \sigma_m(i,j)\right) \tag{9}$$

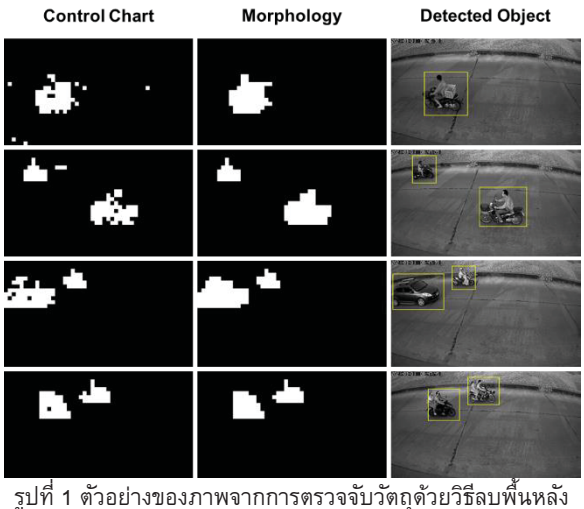
$$LCL(i,j) = \bar{\bar{x}}(i,j) - \left(3 * \sigma_m(i,j)\right) \tag{10}$$

$$M(i,j) = \begin{cases} 0, LCL(i,j) < \bar{x}(i,j) < UCL(i,j) \\ 1, Otherwise \end{cases} \tag{11}$$

โดยที่ $UCL(i,j)$ คือ ขีดจำกัดควบคุมบนสำหรับภาพที่ n
$LCL(i,j)$ คือ ขีดจำกัดควบคุมล่างสำหรับภาพที่ n
$\bar{\bar{x}}_n(i,j)$ คือ ค่าเฉลี่ยของ $\bar{x}_n(i,j)$ ในตำแหน่ง (i,j) ของภาพจำนวน k ภาพก่อนหน้า
$\bar{\sigma}_n(i,j)$ คือ ค่าเฉลี่ยของ $\sigma_n(i,j)$ ในตำแหน่ง (i,j) ของภาพจำนวน k ภาพก่อนหน้า
k คือ จำนวนของภาพย้อนหลังที่ทำการเก็บข้อมูลสำหรับประมวลผลภาพต่อไป
$M(i,j)$ คือ ค่าที่แสดงว่าภาพย่อยตำแหน่ง (i,j) นั้นมีการเปลี่ยนแปลงของภาพหรือไม่ มีค่าเป็น 1 เมื่อภาพย่อยมีการเปลี่ยนแปลง และมีค่าเป็น 0 เมื่อภาพย่อยไม่มีการเปลี่ยนแปลง

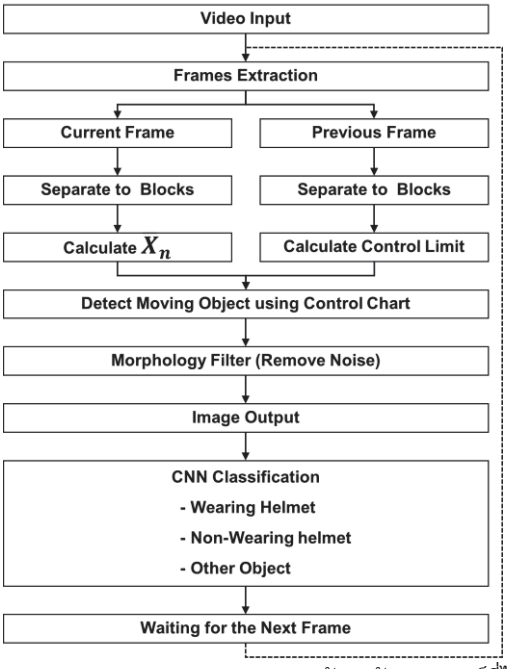
หลังจากคำนวณเปรียบเทียบภาพย่อยครบทุกภาพด้วยสมการที่ (11) บริเวณที่เป็นภาพพื้นหลังที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงก็จะถูกลบออกไป เหลือเพียงบริเวณภาพที่มีการเคลื่อนไหวเท่านั้น

ภาพที่ถูกลบภาพพื้นหลังออกไปแล้วจะถูกนำไปประมวลผลต่อด้วยวิธีสัณฐานวิทยา (Morphology Operation) เพื่อลบข้อมูลที่เป็นสัญญาณรบกวน (Noise) และทำการจับกลุ่มของจุดที่อยู่ติดกันให้เป็นวัตถุชิ้นเดียวกัน หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลตำแหน่งและขอบเขตของวัตถุไปใช้ระบุตำแหน่งของวัตถุในภาพฟรมปัจจุบันเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการสอนระบบหรือนำไปเข้าสู่กระบวนการจำแนกหมวดหมู่ต่อไป ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างของภาพจากการตรวจจับวัตถุด้วยวิธีลบพื้นหลัง

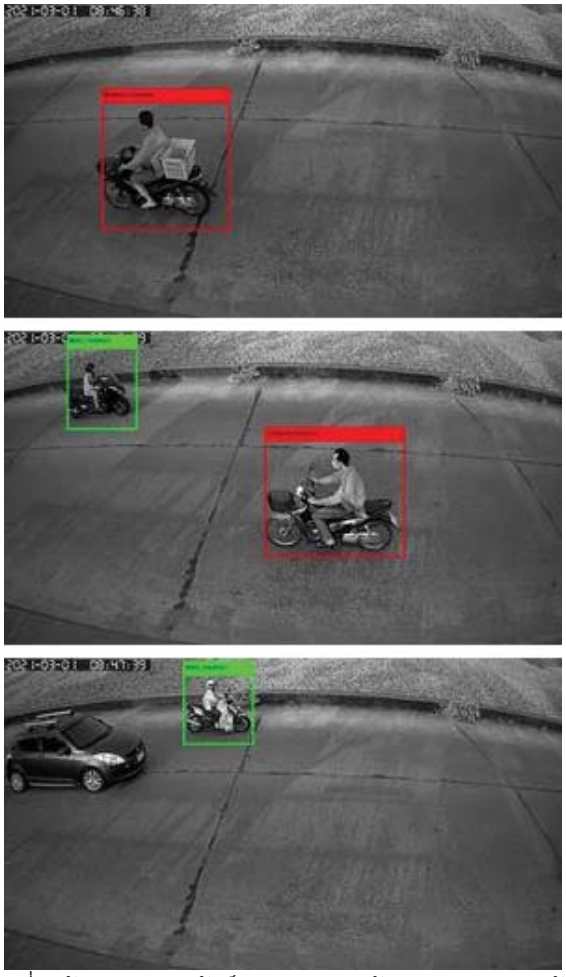
ระบบจำแนกหมวดหมู่ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชันที่อ้างอิงโครงสร้างจาก ResNet [16] ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนระบบจะมาจากการนำภาพวัตถุแต่ละชิ้นหลังจากผ่านขั้นตอนการทำสัณฐานวิทยามาทำการแยกออกเป็น 3 หมวดหมู่ ประกอบไปด้วยผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่สวมหมวกนิรภัย ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ไม่สวมหมวกนิรภัย และวัตถุอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้อง เช่น รถยนต์ คนเดินเท้า ฯลฯ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการฝึกสอน จึงนำผลลัพธ์ที่มีความสามารถในการคัดแยกหมวดหมู่นี้ไปใช้ร่วมกับระบบการตรวจจับวัตถุตามที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ โดยรูปที่ 2 แสดงให้เห็นขั้นตอนการทำงานตามที่ได้อธิบายมา



รูปที่ 2 แผนภาพการทำงานของระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์ที่ไม่สวมหมวกนิรภัย

4. ผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบเป็นการทดสอบด้วยภาพจากกล้องวีดีโอที่ทำการบันทึกไว้ ข้อมูลภาพที่ได้จากวีดีโอเป็นภาพชนิดสีเทา (Grayscale Image) ขนาด 540*960 พิกเซล ด้วยอัตราการบันทึกภาพที่ 10 ภาพต่อวินาที จำนวนทั้งหมด 11,000 ภาพ แบ่งเป็น 10,000 ภาพสำหรับนำมาเข้าสู่กระบวนการลบพื้นหลังเพื่อนำวัตถุภายในภาพไปใช้เป็นข้อมูลในขั้นตอนการสอนระบบจำแนกหมวดหมู่วัตถุ และ 1,000 ภาพสำหรับนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่สร้างขึ้นมา ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างของผลลัพธ์ของระบบตรวจจับการสวมหมวกนิรภัยสำหรับรถจักรยานยนต์

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจจับการสวมหมวกนิรภัยของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์นั้นจะเป็นการนำผลการทำนายของระบบจำแนกหมวดหมู่ (Predicted Class) มาเปรียบเทียบกับหมวดหมู่จริงของวัตถุ (Actual Class) และบันทึกความถูกต้องในการจำแนกของทั้ง 3 หมวดหมู่ แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่สวมหมวกนิรภัย ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ไม่สวมหมวกนิรภัย และหมวดหมู่อื่น ๆ หรือวัตถุที่ไม่ใช่รถจักรยานยนต์

ตารางที่ 1 ผลการทำนายของระบบจำแนกหมวดหมู่

		Predicted Class		
		HW	NHW	Other
Actual Class	HW	81	5	30
	NHW	55	166	44
	Other	1	1	96

โดยที่ HW คือหมวดหมู่ของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่สวมหมวกนิรภัย

NHW คือหมวดหมู่ของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ไม่สวมหมวกนิรภัย

Other คือหมวดหมู่หมวดหมู่อื่น ๆ ที่ไม่ใช่รถจักรยานยนต์

เนื่องจากค่าความแม่นยำเพียงค่าเดียวนั้นไม่สามารถอธิบายความสามารถในการทำงานของระบบได้ครบถ้วน เพราะค่าความแม่นยำจะถูกคำนวณจากความถูกต้องในการทำนายจากทุกหมวดหมู่ จึงนำตัววัดผลอื่น ๆ มาใช้ในการประเมินผลร่วมด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อให้สามารถแสดงประสิทธิภาพในการทำงานของแต่ละหมวดหมู่ได้ดียิ่งขึ้น

$$PRECISION_{Helmet-Wearing} = \frac{81}{81+55+1} = 0.5912$$

$$PRECISION_{Non-Helmet-Wearing} = \frac{166}{5+166+1} = 0.9651$$

$$RECALL_{Helmet-Wearing} = \frac{81}{81+5+30} = 0.6983$$

$$RECALL_{Non-Helmet-Wearing} = \frac{166}{5+166+1} = 0.6264$$

$$F1Score_{Helmet-Wearing} = 2 * \frac{0.5912 * 0.6983}{0.5912+0.6983} = 0.6403$$

$$F1Score_{Non-Helmet-Wearing} = 2 * \frac{0.9651 * 0.6264}{0.9651+0.6264} = 0.7597$$

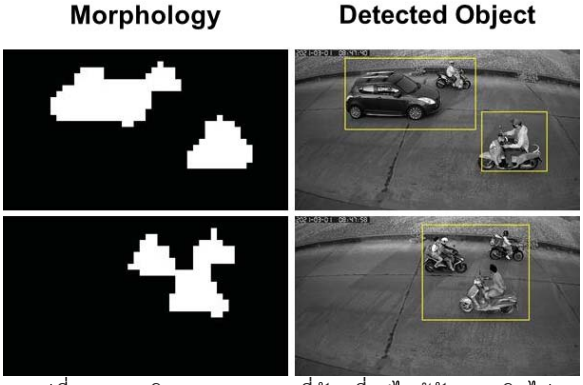
$$Accuracy = \frac{81+166+96}{81+5+30+55+166+44+1+1+96} = 0.7160$$

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจจับ

	สวมหมวกนิรภัย	ไม่สวมหมวกนิรภัย
Precision	0.5912	0.9651
Recall	0.6983	0.6264
F1 Score	0.6403	0.7597
Accuracy	0.7160	
Time	413 ms	

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับ พบว่าความผิดพลาดส่วนหนึ่งเกิดขึ้นมาจากการที่วัตถุเคลื่อนไหวในภาพนั้น ๆ อยู่ในตำแหน่งใกล้กันเกินไป จึงทำให้การจับกลุ่มของภาพย่อยที่เคลื่อนไหวนั้นถูกมองว่าเป็นวัตถุชิ้นเดียวกัน และส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในขั้นตอนการจำแนกหมวดหมู่ แสดงตัวอย่างในรูปที่ 4 เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ข้อมูลภาพที่ใช้ควารมีความละเอียดที่สูงขึ้น การติดตั้งกล้องให้บันทึกภาพจากมุมที่สูงเพื่อไม่ให้วัตถุเกิดการบดบังกันจนกลายเป็นวัตถุชิ้นเดียว นอกจากนี้ภาพที่นำมาใช้ในกระบวนการฝึกสอนระบบสามารถเปลี่ยนไปใช้ภาพสี (RGB Image) หรือในขั้นตอนการจำแนกหมวดหมู่สามารถปรับเปลี่ยนโมเดลของระบบที่ใช้ในการคัดแยกให้เหมาะสมกับการงานนั้น ๆ เพื่อ ให้สามารถระบุตำแหน่งของวัตถุได้แม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 4 ความผิดพลาดจากการที่วัตถุที่อยู่ใกล้กันมากเกินไป

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กระทรวงคมนาคม. รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนน ของกระทรวงคมนาคม พ.ศ. 2561, 2562.

[2] P. Doungmala and K. Klubsuwan, "Helmet Wearing Detection in Thailand Using Haar Like Feature and Circle Hough Transform on Image Processing", 2016 IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT), 2016,611-614.

[3] Jearanaitanakij Kietikul, Iamthammarak Karnnumart and Wangcharoen Nattakitt, " Fast Classifying Non- helmeted Motorcyclists by Using Convolutional Neural Networks", SNRU Journal of Science and Technology 13(1), Jan-Apr (2021), 1-10.

[4] C. Vishnu, D. Singh, C. K. Mohan and S. Babu, "Detection of motorcyclists without helmet in videos using convolutional neural network", 2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2017, 3036-3041.

[5] H. Lin, J. D. Deng, D. Albers and F. W. Siebert, "Helmet Use Detection of Tracked Motorcycles Using CNN-Based Multi-Task Learning", in IEEE Access, vol. 8, 162073-162084, 2020

[6] M. Dasgupta, O. Bandyopadhyay and S. Chatterji, "Automated Helmet Detection for Multiple Motorcycle Riders using CNN", 2019 IEEE Conference on Information and Communication Technology, 2019, 1-4.

[7] Lee Sang-ha, Gyu-cheol Lee, Jisang Yoo, and Soonchul Kwon, "WisenetMD: Motion Detection Using Dynamic Background Region Analysis" Symmetry 11, no. 5: 621, 2019

[8] S. S. Mohamed, N. M. Tahir and R. Adnan, "Background modelling and background subtraction performance for object detection", 2010 6th International Colloquium on Signal Processing & its Applications, 2010, 1-6.

[9] Yongquan Xia, Shaohui Ning and Han Shen, "Moving targets detection algorithm based on background subtraction and frames subtraction", 2010 The 2nd International Conference on Industrial Mechatronics and Automation, 2010, 122-125

[10] Midhula Vijayan, Preeth Raguraman and R Mohan, "A Fully Residual Convolutional Neural Network for Background Subtraction", Pattern Recognition Letters, Volume 146, 2021, 63-69.

[11] Yiping Xu, Hongbing Ji and Wenbo Zhang, "Coarse-to-fine sample-based background subtraction for moving object detection", Optik, Volume 207, 2020, 164195.

[12] Rongrong Liu, Yassine Ruichek and Mohammed El Bagdouri, "Multispectral background subtraction with deep learning", Journal of Visual Communication and Image Representation, Volume 80, 2021, 103267.

[13] O'Shea K and Ryan N, "An introduction to convolutional neural networks", arXiv preprint arXiv:1511.08458, 2015.

[14] R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell and J. Malik, "Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation", 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014, 580-587.

[15] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection", 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, 779-788.

[16] K. He, X. Zhang, S. Ren and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition", 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, 770-778.

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตภัณฑ์ยา

Technical and Economic Feasibility Analysis on the Investment of Automatic Case Packing Machine : A case study of Pharmaceutical Plant

วรพนิต กันตา[1,2*] ศันสนีย์ สุภาภา[2] คธายุทธ ก่ำมะโน[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: worapanit.k@ku.th*

Worapanit Kantar[1,2*], Sansanee Supapa[2], Katayut Kamano[2]
[1]Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: worapanit.k@ku.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเบื้องต้นในการกำหนดลักษณะเฉพาะของเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติสำหรับยาเม็ดบรรจุขวดพลาสติก และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการลงทุน รวมทั้งวิเคราะห์ความความไม่แน่นอนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจลงทุน โดยศึกษาข้อมูลกระบวนการบรรจุในปัจจุบันเพื่อใช้ในการคัดเลือกเครื่องบรรจุที่เหมาะสมกับการผลิต และออกแบบเบื้องต้นของเครื่องบรรจุให้สอดคล้องกับกระบวนการในปัจจุบัน เช่น การหาความเร็วของเครื่องจักรที่ต้องการ กำลังมอเตอร์ของสายพานลำเลียง เป็นต้น และใช้วิธีการจำลองสถานการณ์เพื่อการสอบทวนความเร็วของเครื่องจักรมีความเหมาะสมกับกระบวนการบรรจุขวดก่อนหน้า ผลการศึกษาพบว่าเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติที่มีความเหมาะสมกับกระบวนการบรรจุ คือ เครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติระบบการบรรจุแบบด้านบน ความเร็วของการบรรจุไม่น้อยกว่า 1 กล่องต่อนาที จากการวิเคราะห์การลงทุนในส่วนเพิ่มพบว่าโครงการนี้ต้องใช้เงินลงทุนเพิ่ม 13.49 ล้านบาท และที่อัตราดอกเบี้ยของรัฐวิสาหกิจที่ร้อยละ 1.62 กำหนดระยะเวลาในการวิเคราะห์โครงการ 10 ปี กระแสเงินสดสุทธิในส่วนเพิ่มมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 922,863 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 8 ปี 5 เดือน อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ มีค่าร้อยละ 3.01 และจากการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่อาจมีผลกระทบต่อการตัดสินใจลงทุนได้แก่ ค่าแรงงาน ค่าล่วงเวลา และค่าใช้จ่ายในการลงทุน พบว่าการเปลี่ยนแปลงในช่วงร้อยละ -12 ถึง +6 ยังไม่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจลงทุน ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษาพิจารณาเห็นว่าคุ้มค่าแก่การลงทุนเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติในโรงงานผลิตยา และจะทำให้กระบวนการบรรจุได้มาตรฐานและเป็นการลดปัญหาการขาดแรงงานในการบรรจุ

คาสาคัญ: เครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติ, การศึกษาความเป็นไปได้, การวิเคราะห์ทางการเงิน

Abstract

The objective of study was to design a preliminary specification for automatic case packing machine of plastic bottles contained pharmaceutical tablets. The economic feasibility and risks factors affecting investment decisions were also analyzed. The previous bottling and packing data was used for selecting the packing system and proceeded to the conceptual design of the packing machine. The top-loading packing system was selected as packing machine and was designed applicable and conformed to the speed of existing bottling process such as machine speed and conveyor motor power. By using simulation methods to verify speed of automatic case packing machine, it was found that the suitable packing speed was not less than 1 box per minute. As for the economic analysis of incremental investment, investment cost was at 13.49 million baht. At 1.62% of public enterprise interest rate, the incremental cash flow revealed the net present value at 922,863 THB and the payback period was at 8 years 5 months. The internal rate of return of the incremental cash flow was at 3.01 percent. For variation of man power cost, over time cost and investment cost in the range of -12 to +6 percent, there were no change of decision for investment. Therefore, the automatic case packing machine was considered acceptable to invest in Pharmaceutical Plant. Also, the automatic case packing machine could improve the packing quality and reduce the need of man power.

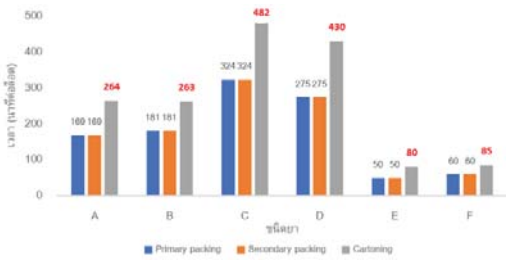
Keywords: Automatic case packing machine, Feasibility study, Financial analysis

1. บทนำ

โรงงานผลิตยากรณีศึกษา ดำเนินธุรกิจที่เกี่ยวกับยาและเวชภัณฑ์ ได้แก่ การผลิตยาและเวชภัณฑ์ การศึกษาและวิจัยการผลิตยาและเวชภัณฑ์ การวิเคราะห์ยา เวชภัณฑ์และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยาและเวชภัณฑ์ ดำเนินงานด้านซื้อ ขาย แลกเปลี่ยน และให้ซึ่งยาและเวชภัณฑ์ แผนกที่ศึกษาทำหน้าที่รับผิดชอบในกระบวนการบรรจุยา (Packing process) ผลิตภัณฑ์ยารูปแบบของแข็ง (Solid dosage form) เช่น ยาเม็ด (Tablets) เป็นต้น

กระบวนการบรรจุของแผนกเป็นรูปแบบการบรรจุยาเม็ดลงในบรรจุภัณฑ์รูปแบบขวดพลาสติก (Plastic bottle) ชนิดยาที่บรรจุ มี 6 ชนิด คือ ยา A ยา B ยา C ยา D ยา E และ ยา F กระบวนการบรรจุยาทั้ง 6 ชนิด มีขั้นตอนในกระบวนการบรรจุเหมือนกัน แตกต่างกันที่จำนวนเม็ดยาที่บรรจุต่อขวดและขนาดของอุปกรณ์การบรรจุ กระบวนการบรรจุประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก 1.กระบวนการบรรจุขั้นที่ 1 (Primary packing) ประกอบด้วยกระบวนการนำขวดเข้าสู่กระบวนการ กระบวนการนำซิลิกาเจลใส่ลงไปในขวดยากระบวนการนับเม็ดยาและใส่เม็ดยาลงในขวด และกระบวนการปิดฝาขวดยาให้สนิท 2. กระบวนการบรรจุขั้นที่ 2 (Secondary packing) ประกอบด้วยกระบวนการปิดฝาขวดด้วยความร้อน และกระบวนการพิมพ์ข้อความลงบนฉลากและติดฉลากลงบนขวด 3.กระบวนการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูก (Cartoning) ประกอบด้วยกระบวนการขึ้นรูปกล่องลูกฟูก กระบวนการนำขวดยาใส่ลงในกล่องลูกฟูก กระบวนการปิดกล่องลูกฟูก ปิดฉลากบนกล่องลูกฟูก และกระบวนการชั่งน้ำหนักกล่องลูกฟูก นำกล่องลูกฟูกขึ้นเรียงบนพาเลท

จากข้อมูลการผลิตยาปัจจุบันของโรงงาน พบว่ากำลังการผลิตปัจจุบันของกระบวนการบรรจุยาผลิตยาได้น้อยกว่าแผนผลิตที่กำหนดไว้ เมื่อพิจารณากระบวนการในการบรรจุยาทั้ง 3 กระบวนการ พบว่ากระบวนการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูกใช้เวลาในการผลิตมากที่สุด จึงเป็นกระบวนการที่กำหนดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตและกำหนดเวลาการทำงานทั้งหมดของกระบวนการบรรจุ แสดงข้อมูลเวลาของการบรรจุยาในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแท่งเวลาที่ใช้ในการบรรจุยาแต่ละขั้นตอน

สาเหตุที่กระบวนการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูกใช้เวลาในการผลิตมากที่สุด เนื่องจากกระบวนนี้มีการใช้แรงงานคนเป็นหลักในการบรรจุ และมีขั้นการบรรจุ 4 ขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนต้องรอให้ขั้นตอนก่อนหน้าเสร็จจึงจะดำเนินการต่อไปได้ และมีแรงงานทำงาน 3 คน ในกระบวนการ ส่งผลให้การผลิตไม่ตรงตามแผนและอาจส่งยาขึ้นคลังสำเร็จรูปล่าช้ากว่าที่กำหนด ถ้าโรงงานส่งยาให้ลูกค้าช้ากว่ากำหนดในสัญญาการจัดซื้อ ผู้ขายต้องยอมให้ผู้ซื้อทำการปรับเป็นรายวันตามระยะเวลาในสัญญา การแก้ปัญหาที่ผ่านมาแผนกจะเปิดทำงานล่วงเวลาและรับสมัครพนักงานทั้งจากในและนอกแผนกมาทำงาน จำนวนเฉลี่ย 8 คน จึงจะสามารถทำงานได้ทันตามแผน จากปัญหาที่กล่าวมาแผนกกรณีศึกษาจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงกระบวนการบรรจุยาลงกล่องลูกฟูกโดยนำเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติ (Automatic case packing machine) มาใช้งานซึ่งจะสามารถช่วยแก้ปัญหากระบวนการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูกที่ใช้เวลาในการทำงานมากและจำนวนการบรรจุที่ไม่ได้ตามเป้าหมาย การใช้เครื่องจักรจะทำให้ลดต้นทุนแรงงานคน ประหยัดค่าทำงานล่วงเวลา สามารถควบคุมคุณภาพในการบรรจุ ผลิตได้ตามเป้าหมาย และยังสามารถรองรับการเพิ่มผลผลิตในอนาคตได้ แต่การจะตัดสินใจในการซื้อเครื่องจักร มีการลงทุนค่อนข้างสูงต้องทำการศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุน ทั้งทางด้านเทคนิค และทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อช่วยในการตัดสินใจ

2. วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตุประสงค์เพื่อออกแบบเบื้องต้น (Conceptual Design) ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ (Specification) ของเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติ และศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติและวิเคราะห์ความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจลงทุน

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การจำลองสถานการณ์ (Simulation)

การจำลองสถานการณ์ คือ การนำเสนอวิธีการและการประยุกต์โดยเลียนแบบพฤติกรรมจริงของระบบด้วยโปรแกรมที่เหมาะสมบนคอมพิวเตอร์ ข้อดีของการจำลองเป็นวิธีการที่สะดวกและง่ายต่อการดำเนินการและวิเคราะห์ตีความ ใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ทำให้เกิดความเชื่อมั่นและตัดสินใจได้มีประสิทธิภาพ [1]

ขั้นตอนของการจำลองสถานการณ์ ได้แก่ 1) กำหนดวัตถุประสงค์ 2) วิเคราะห์ข้อมูลนำเข้า 3) จำลองสถานการณ์ 4) ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 5) วิเคราะห์ผลที่ช่วงความเชื่อมั่นที่กำหนด 6) นำเสนอผลลัพธ์ [2,4,5]

3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility Study)

การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) เป็นการศึกษาถึงผลตอบแทนทางการเงินและต้นทุนที่เกิดจากการลงทุนโครงการ โดยใช้เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ทางการเงิน [4,5,6,7,9] ได้แก่ 1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) คือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับมูลค่า

ปัจจุบันของเงินลงทุน ตามสมการที่ (1) โดยมีหลักเกณฑ์การตัดสินใจ คือ NPV ≥ 0 ควรยอมรับโครงการ หรือ NPV < 0 ควรปฏิเสธโครงการ 2) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) คืออัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิพอดี หรืออัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ (NPV=0) ตามสมการที่ (1) โดยมีหลักเกณฑ์การตัดสินใจ คือ IRR > r ควรยอมรับโครงการ หรือ IRR < r ควรปฏิเสธโครงการ 3) ระยะเวลาคืนทุน (PB) คือระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี โดยมีหลักเกณฑ์การตัดสินใจ คือระยะเวลาคืนทุนควรเร็วกว่าระยะเวลาที่กำหนดไว้ในโครงการ 4) การวิเคราะห์ความไวของตัวแปร (Sensitivity analysis) คือกระบวนการหนึ่งที่ช่วยในการตัดสินใจทำนายความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ และลดความเสี่ยงจากการพิจารณาความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร

$$NPV = \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}\right) - I \quad (1)$$

โดยที่ NPV คือค่าปัจจุบันสุทธิ C_t คือกระแสเงินสดที่ได้รับในแต่ละงวด
I คือเงินลงทุนจ่ายครั้งแรก r คืออัตราดอกเบี้ยหรืออัตราผลตอบแทน
n คือจำนวนงวดดอกเบี้ยหรือจำนวนปี

การศึกษาการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค (Technical Feasibility) เป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมของทางเลือกด้านเทคนิคและวิศวกรรม จะครอบคลุมข้อมูลทางด้านเทคนิคที่สำคัญ เช่น เทคโนโลยีการผลิต เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต ขนาดการผลิต สถานที่ตั้ง การวางผังโครงการ เป็นต้น [3,8]

4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

4.1 ศึกษาข้อมูลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

ศึกษากระบวนการผลิตของยาแต่ละชนิด และศึกษาเวลาการทำงานของแต่ละกระบวนการบรรจุ บันทึกในแบบฟอร์มการบันทึกเวลา

ออกแบบเบื้องต้น (Conceptual Design) ของเครื่องบรรจุให้สอดคล้องกับกระบวนการในปัจจุบัน ศึกษาส่วนประกอบเครื่องจักรเพื่อการออกแบบเบื้องต้น เช่น ระบบการบรรจุที่เหมาะสม กำลังมอเตอร์ของระบบสายพานลำเลียง เป็นต้น ศึกษาแผนผังของโรงงานความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำเครื่องจักรวางและใช้งานได้

การจำลองสถานการณ์เพื่อแสดงถึงความเป็นไปได้ในการดำเนินการ เช่น การสอบทวนความเร็วของเครื่องจักรที่ออกแบบเหมาะสมต่อการผลิต และหาความเร็วของเครื่องจักรที่เหมาะสมได้

4.2 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และความไวในการเปลี่ยนแปลงตัวแปร

วิเคราะห์ข้อมูลทางการเงิน โดยวิธี Incremental Investment Analysis มีตัวชี้วัดคือ NPV, IRR , Payback period เป็นต้น

วิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปร โดยการเปลี่ยนแปลงร้อยละของตัวแปรที่มีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุน เช่น รายได้ ค่าใช้จ่าย ต้นทุนเครื่องจักร เป็นต้น

4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนนี้จะสรุปข้อมูลทางด้านเทคนิคของเครื่องจักรที่เหมาะสมต่อการใช้งาน และวิเคราะห์ผลลัพธ์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อสรุปผลความเป็นไปได้ในการลงทุนเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติ

5. ผลการวิจัย

5.1 กระบวนการบรรจุยาปัจจุบันและความเป็นไปได้ทางเทคนิค

กระบวนการบรรจุในปัจจุบันดำเนินการผลิตรวม 590 นาทีต่อวัน โดยแบ่งเป็นการทำงานเวลาปกติ 380 นาที และล่วงเวลา 210 นาที มีกระบวนการหลัก 3 กระบวน ดังนี้ กระบวนการบรรจุขั้นที่ 1 ใช้เครื่องจักร Automatic Counting Machine 1 เครื่อง และแรงงาน 2 คน กระบวนกระบวนการบรรจุขั้นที่ 2 ใช้เครื่องจักร Automatic Labeling Machine 1 เครื่อง และแรงงานคน 2 คน กระบวนการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูก แรงงานคนเฉลี่ยจำนวน 3 คน และไม่ใช้เครื่องจักร ในรูปที่ 2 โดยเวลาที่ใช้ในการบรรจุยา 1 ล็อต ของยาแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากจำนวนการบรรจุต่อล็อต แตกต่างกันจึงทำให้เวลาในการบรรจุไม่เท่ากัน แสดงในตารางที่ 1 จากข้อมูลในตารางจะพบว่ากระบวนการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูก ใช้เวลาเฉลี่ยในการบรรจุมากที่สุดในยาทุกชนิด



รูปที่ 2 กระบวนการบรรจุยาในปัจจุบัน

ตารางที่ 1 เวลาเฉลี่ยในการทำงานของยาแต่ละชนิด

กระบวนการบรรจุ		เวลา(นาที)ในการบรรจุยา 1 ล็อต		
		บรรจุขั้นที่ 1	บรรจุขั้นที่ 2	บรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูก
ชนิดยา	A	169	169	264
	B	181	181	263
	C	324	324	482
	D	275	275	430
	E	50	50	80
	F	60	60	85

เมื่อนำข้อมูลแผนการผลิตในแต่ละวัน มาเปรียบเทียบกับกำลังการผลิตในแต่ละกระบวนการของยา พบว่ากำลังการผลิตของกระบวนการ

บรรจุขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 สามารถผลิตได้ตรงตามแผนทุกชนิดยา แต่กำลังการผลิตกระบวนการบรรจุยาลงกล่องลูกฟูกไม่สามารถผลิตได้ตามแผนผลิตที่ต้องการ ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กำลังการผลิตปัจจุบัน และกำลังผลิตเป้าหมายที่ต้องการ

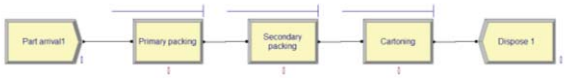
กระบวนการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูก					
กำลังการผลิตเป้าหมายที่ต้องการ 1 วัน		กำลังการผลิตปัจจุบัน 1 วัน		กำลังผลิตที่ต้องเพิ่มขึ้น	
หน่วย		หน่วย		หน่วย	
ล็อต	กล่อง	ล็อต	กล่อง	ล็อต	กล่อง
2.2	367	1.4	235	0.8	132
2.1	351	1.4	241	0.7	109
1.2	468	0.8	315	0.4	153
1.4	493	0.9	315	0.5	178
7.6	456	4.8	285	2.9	171
6.3	266	4.5	188	1.9	78

เพื่อให้สามารถผลิตยาได้ตามแผนผลิตที่ต้องการ จึงควรปรับปรุงกระบวนการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูกให้กำลังการผลิตอย่างน้อยเท่ากับกระบวนการบรรจุยาขั้นที่ 1 และกระบวนการบรรจุยาขั้นที่ 2 ซึ่งกำลังการผลิตทั้ง 2 กระบวนการนี้สามารถผลิตยาได้ตามแผน ดังนั้นจึงพัฒนาวิธีการทำงานโดยใช้เครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติเข้ามาช่วยกระบวนการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูก เพื่อให้เกิดการทำงานที่ง่ายขึ้น (Simplify) และเพิ่มประสิทธิภาพการงาน เครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติสามารถทำหน้าที่ในกระบวนการขึ้นรูปกล่องลูกฟูก (Case erecting) กระบวนการนำขวดยาลงกล่อง (Case packing) กระบวนการปิดกล่องลูกฟูกและติดฉลาก (Case sealing) และกระบวนการชั่งน้ำหนัก (Weighting) ในเครื่องเดียว และใช้จำนวนพนักงานในการทำงานลดลงเหลือจำนวนผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน จากจำนวนพนักงานทั้งหมด 3 คน และลดการเปิดการทำงานล่วงเวลา และการจ้างคนเพิ่มในช่วงการทำงานล่วงเวลา

การออกแบบข้อกำหนดเฉพาะเบื้องต้นของเครื่องจักร กระบวนการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูกในปัจจุบันมีรูปแบบการบรรจุจากทิศทางด้านบน โดยการหยิบขวดจากด้านบนขวด คือบริเวณคอขวดถึงฝาขวด วางเรียงลงไปในกล่องจากทิศทางด้านบนกล่องลูกฟูกจนครบจำนวน 40 ขวด รูปแบบการหยิบขวดจากด้านบนสามารถใช้กับบรรจุภัณฑ์รูปแบบขวดกลม สามารถวางขวดได้มั่นคงในแนวตั้งและหยิบจับจากด้านฝาขวดเพื่อบรรจุลงในกล่องลูกฟูกได้ง่าย ซึ่งระบบการบรรจุของเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติที่มีความเหมาะสมและเหมือนรูปแบบการบรรจุในปัจจุบัน คือ ระบบการบรรจุจากด้านบน (Top load) ที่ใช้กับอุปกรณ์การบรรจุกล่องชนิดปกติ (Regular Slotted Container: RSC) และวัสดุเทปกาว OPP (Oriented Polypropylene) ในกระบวนการปิดฝากล่อง

ข้อมูลผังโรงงานปัจจุบัน ก่อนการปรับปรุง พื้นที่การทำงานของกระบวนการบรรจุขั้นที่ 2 ทำงานในห้อง Secondary packing และกระบวนการบรรจุยาลงกล่องลูกฟูกทำงานในห้อง Cartoning ซึ่งการทำงานอยู่ในห้องที่แยกจากกัน เมื่อกระบวนการบรรจุขั้นที่ 2 บรรจุเสร็จจะต้องนำขวดใส่กล่องลากพลาสติกเพื่อขนถ่ายไปยังกระบวนการบรรจุยาลงกล่องลูกฟูกที่อยู่ในห้องถัดไป ดังนั้นหลังการปรับปรุงเมื่อติดตั้งเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติจะสามารถต่อสายพานลำเลียงขวดยาจากเครื่อง Automatic Labeling Machine ในห้อง Secondary Packing มายังเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติในห้อง Cartoning ทำให้เกิดการผลิตอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ระบบสายพานในการลำเลียง ที่มีความยาว 2 เมตร ชนิดสายพานโมดูล่า (Modular Belt) ทำจากวัสดุ Polypropylene มีน้ำหนักเบา ทนแรงเสียดสี มีกำลังมอเตอร์ของสายพาน 40 วัตต์ เพื่อใช้ในการลำเลียงขวดยา

การหาความเร็วของเครื่องจักรใช้การจำลองสถานการณ์ในการหาความเร็วที่เหมาะสมกับการใช้งานปัจจุบัน และสามารถรองรับการผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ในอนาคต นำข้อมูลเวลาในการบรรจุยาไปหาการแจกแจงความน่าจะเป็นของกระบวนการบรรจุยาทั้ง 3 กระบวนการ ด้วยโปรแกรม Arena โดยใช้คำสั่ง Input Analyzer เพื่อหา Goodness of Fit Test ด้วยวิธี Chi Square, Kolmogorov Smirnov จะได้การแจกแจงของแต่ละกระบวนการ โดยการแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูลจะต้องมีค่า P-value มากกว่า 0.05 จากนั้นสร้างแบบจำลองสถานการณ์เลียนแบบกระบวนการบรรจุจริง โดยใช้โปรแกรม Arena ในการจำลองกระบวนการบรรจุ ในรูปที่ 3 เพื่อเปรียบเทียบการบรรจุปัจจุบัน (ก่อนการปรับปรุง) และการบรรจุที่ใช้เครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติ (หลังการปรับปรุง)



รูปที่ 3 การจำลองสถานการณ์ของกระบวนการบรรจุยา

หาจำนวนรอบของการประมวลผลซ้ำ (Number of Replication) จำนวนรอบที่ใช้ในการการประมวลผลซ้ำ 10 รอบ โดยใช้สมการดังนี้

$$R=R_0(H_0)^2/H^2 \quad (2)$$

โดยที่ R คือจำนวนรอบของการประมวลผลซ้ำ R_0 คือจำนวนรอบของการประมวลผลซ้ำครั้งแรก H คือค่า Half-width ที่ต้องการ H_0 คือค่า Half-width ที่ได้จากการประมวลผลซ้ำครั้งแรก

ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการทดสอบความแตกต่างระหว่างข้อมูล 2 ชุดที่อิสระต่อกัน คือจำนวนกล่องลูกฟูกที่ได้จากผลลัพธ์จริงและค่าเฉลี่ยจำนวนกล่องลูกฟูกที่ได้จากการจำลอง

สถานการณ์ ที่เวลาต่างๆ ทดสอบสมมติฐานทางสถิติแบบ 2-Sample T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กำหนดสมมติฐาน

H0 : จำนวนกล่องลูกฟูกที่ได้จากผลลัพธ์จริงและค่าเฉลี่ยจำนวนกล่องลูกฟูกที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ มีค่าไม่แตกต่างกัน

H1 : จำนวนกล่องลูกฟูกที่ได้จากผลลัพธ์จริงและค่าเฉลี่ยจำนวนกล่องลูกฟูกที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ มีค่าแตกต่างกัน

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสถานการณ์ของยาทุกชนิด มีค่า P-value มากกว่า 0.05 ดังนั้นจำนวนกล่องลูกฟูกที่ได้จากผลลัพธ์จริงและค่าเฉลี่ยจำนวนกล่องลูกฟูกที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ มีค่าไม่แตกต่างกัน สามารถใช้แบบจำลองสถานการณ์ในการทดสอบข้อมูลได้

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์กระบวนการบรรจุยา พบว่ากระบวนการบรรจุยาลงในกล่องลูกฟูกเป็นกระบวนการที่เกิดเวลารอคอยขึ้นในระบบ ตามตารางที่ 3 ความเร็วของเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติที่มีในปัจจุบัน กำหนดค่าความเร็วตั้งแต่ 1 ถึง 12 กล่องต่อนาที โดยการบรรจุ 1 กล่อง จะบรรจุขวดยาจำนวน 40 ขวด นำความเร็วการบรรจุของเครื่องจักรไปทดสอบหาค่าที่เหมาะสม และเปรียบเทียบเวลารอคอยในระบบ แสดงค่าในตารางที่ 3 จากผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นควรเลือกใช้เครื่องจักรที่มีความเร็วตั้งแต่ 1 กล่องต่อนาที หรือ 40 ขวดต่อนาที จะสามารถลดเวลาการรอคอยให้เป็นศูนย์ และสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเครื่องจักรที่มีความเร็วในการบรรจุ 1 ถึง 12 กล่องต่อนาที มีความเหมาะสมสามารถนำมาใช้งานในการบรรจุได้

ตารางที่ 3 ข้อมูลเวลารอคอยในกระบวนการบรรจุยาลงกล่องลูกฟูก 1 ล็อต ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

ชนิดยา	เวลารอคอยในกระบวนการ (Queue)(นาที)		ความเร็วเครื่องจักร
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
A	45.96	0	1 กล่องต่อนาที
B	40.81	0	1 กล่องต่อนาที
C	61.2	0	2 กล่องต่อนาที
D	54.35	0	2 กล่องต่อนาที
E	12.64	0	2 กล่องต่อนาที
F	0.41	0	1 กล่องต่อนาที

รายการ	ปีที่ /หน่วย บาท											มูลค่าซาก
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
งบกำไรสุทธิ												
1.เงินสดรับ												
1.1 ประหยัดค่าแรงงานในการดำเนินงานผลิต		722,202	722,202	722,202	722,202	722,202	722,202	722,202	722,202	722,202	722,202	
1.2 ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลา		969,985	969,985	969,985	969,985	969,985	969,985	969,985	969,985	969,985	969,985	
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้รวม		1,692,187	1,692,187	1,692,187	1,692,187	1,692,187	1,692,187	1,692,187	1,692,187	1,692,187	1,692,187	
2.เงินสดจ่าย												
ค่าซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรและค่าไฟฟ้า		77,311	77,311	77,311	77,311	77,311	77,311	77,311	77,311	77,311	77,311	
ค่าเสื่อมราคา		2,697,400	2,697,400	2,697,400	2,697,400	2,697,400	0	0	0	0	0	1
กำไร(ขาดทุน)สุทธิก่อนหักภาษี		(1,082,524)	(1,082,524)	(1,082,524)	(1,082,524)	(1,082,524)	1,614,876	1,614,876	1,614,876	1,614,876	1,614,876	
ประหยัดภาษีเงินได้ร้อยละ 20		216,505	216,505	216,505	216,505	216,505						
หักภาษีเงินได้ร้อยละ 20							322,975	322,975	322,975	322,975	322,975	
กำไร(ขาดทุน)สุทธิหลังหักภาษีเงินได้		(866,019)	(866,019)	(866,019)	(866,019)	(866,019)	1,291,901	1,291,901	1,291,901	1,291,901	1,291,901	
งบกระแสเงินสด												
กำไร(ขาดทุน)สุทธิหลังหักภาษีเงินได้		(866,019)	(866,019)	(866,019)	(866,019)	(866,019)	1,291,901	1,291,901	1,291,901	1,291,901	1,291,901	
ค่าเสื่อมราคา		2,697,400	2,697,400	2,697,400	2,697,400	2,697,400	0	0	0	0	0	1
ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเครื่องจักร	(13,487,001)											
กระแสเงินสดสุทธิ	(13,487,001)	1,831,381	1,831,381	1,831,381	1,831,381	1,831,381	1,291,901	1,291,901	1,291,901	1,291,901	1,291,901	1

รูปที่ 4 ข้อมูลงบกระแสเงินสดของโครงการ

5.2 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และความไวในการเปลี่ยนแปลงตัวแปร

การวิเคราะห์ทางด้านการเงินของโครงการลงทุนเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติ (Automatic Case Packing Machine) มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเครื่องจักรและระบบสายพานลำเลียงรวม 13,487,001 บาท โดยกำหนดระยะเวลาในการวิเคราะห์โครงการ 10 ปี ตามอายุของเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติ การคำนวณค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวรของหน่วยงานภาครัฐ ให้คงเหลือค่าตามบัญชีไว้ 1 บาท ในปีสุดท้ายที่คำนวณค่าเสื่อมราคา จากงบกระแสเงินสดในส่วนเพิ่มของโครงการตามรูปที่ 4 และค่าเสียโอกาสของทุนใช้อัตราคิดลดอัตราผลตอบแทนที่ปราศจากความเสี่ยง ใช้อัตราผลตอบแทนพันธบัตรรัฐวิสาหกิจอายุ 10 ปี โดยพิจารณาจากพันธบัตรที่ออกจำหน่ายตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 ได้อัตราดอกเบี้ยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.62 พิจารณาโครงการภายใต้เงื่อนไขการได้รับเงินสนับสนุนจากงบลงทุนของหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ โครงการนี้ได้รับกระแสเงินสดในส่วนเพิ่มมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 922,863 บาท และมีระยะเวลาการคืนทุน 8 ปี 5 เดือน อัตราผลตอบแทนของโครงการร้อยละ 3.01

การวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลง [9] โดยศึกษาตัวแปรสำคัญ 3 ตัวแปร คือ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดจากค่าแรงงานในการดำเนินงานผลิต ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดจากค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลา และค่าใช้จ่ายในการลงทุนเครื่องจักร เมื่อตัวแปรนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงจะผลต่อค่า NPV และ IRR ซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุน โครงการลงทุนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงด้านผลตอบแทนจากตัวแปรค่าใช้จ่ายที่ประหยัดจากค่าแรงงานในการดำเนินงานผลิตลดลงสูงสุด 17.00% ตัวแปรค่าใช้จ่ายที่ประหยัดจากค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาลดลงสูงสุด 12.00% โครงการลงทุนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้นทุนค่าใช้จ่ายในการลงทุนเครื่องจักรเพิ่มขึ้นสูงสุด 6.00% ค่าการเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่ามากกว่าศูนย์ อัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าอัตราคิดลด 1.62% ส่งผลให้โครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน สรุปข้อมูลตามตารางที่ 4 และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสำคัญไม่เกินช่วง -12.00% ถึง 6.00% ไม่มีผลต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในของตัวแปร จึงไม่มีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุนโครงการ

ตารางที่ 4 สรุปการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้โครงการยังมีความคุ้มค่าในการลงทุน

ตัวแปร	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง
1.ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดจากค่าแรงงานในการดำเนินงานผลิต	ลดลง 17.00 เปอร์เซ็นต์
2.ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดจากค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลา	ลดลง 12.00 เปอร์เซ็นต์
3.ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเครื่องจักร	เพิ่มขึ้น 6.00 เปอร์เซ็นต์

6. สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเทคนิค เครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติทำหน้าที่ในกระบวนการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูก สามารถลดจำนวนพนักงานในกระบวนการนี้จาก 3 คน เหลือเพียงผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน การนำเครื่องจักรมาใช้งานจะทำให้การผลิตเกิดความต่อเนื่อง สามารถใช้ระบบสายพานลำเลียงขนย้ายขวดยาจากกระบวนการบรรจุขั้นที่ 2 มายังกระบวนการนี้ ส่งผลให้สามารถลดจำนวนพนักงานในกระบวนการบรรจุขั้นที่ 2 จากจำนวน 2 คน เหลือ 1 คน ดังนั้นจะสามารถลดจำนวนพนักงานรวมได้ 3 คน ส่งผลให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต และสามารถส่งพนักงานที่เหลือไปทำงานในส่วนอื่น เครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติมีความเร็วที่เหมาะสมในการบรรจุขวดยาลงกล่องลูกฟูกไม่น้อยกว่า 1 กล่องต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วที่สามารถลดเวลารอคอยในกระบวนการให้มีค่าเป็นศูนย์ โดยสามารถแก้ปัญหาการผลิตยาที่เคยผลิตล้าช้า ไม่ตรงตามแผนในแต่ละเดือน เครื่องจักรช่วยเพิ่มความเร็วในการบรรจุ ส่งผลให้สามารถบรรจุยาเสร็จในเวลาทำงานปกติ 380 นาทีต่อวัน ลดการเปิดทำงานล่วงเวลาจำนวน 210 นาทีต่อวัน เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาจากการลดการจ้างพนักงานทำงานล่วงเวลาจำนวน 8 คน

จากการวิเคราะห์ทางด้านการเงินของโครงการลงทุน โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 922,863 บาท อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการร้อยละ 3.01 เมื่อค่าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าค่าอัตราคิดลดอัตราผลตอบแทนพันธบัตรรัฐวิสาหกิจอายุ 10 ปี อัตราดอกเบี้ยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.62 และระยะเวลาคืนทุนที่ 8 ปี 5 เดือน ซึ่งอยู่ภายในระยะเวลาของโครงการ 10 ปี การวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปร พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสำคัญไม่เกินช่วง -12.00% ถึง 6.00% จะไม่มีผลต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายใน จึงไม่มีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุนโครงการ ดังนั้นการลงทุนเครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติจึงมีความคุ้มค่าในการลงทุนทั้งในด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ. คู่มือสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2551.

[2] บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรโมเดล, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2563.

[3] เฉลิมขวัญ ครุธบุญยงค์. การวิเคราะห์โครงการลงทุน,สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2564.

[4] จามร กิจเดช, ณัฐพล ศรีพรประเสริฐ และ อณจ ชัยมณี. 2560. การจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงสายการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร (in Thai), การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 14, นครปฐม, ประเทศไทย.

[5] วศิวัฒน์ วศินสมบัติ. 2559. การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการลงทุนในธุรกิจผลิตภัณฑ์คอนกรีตอัดแรง อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[6] F. František and S. Pavel. 2015. “Evaluation of Investment in Modern Manufacturing Equipment Using Discrete Event Simulation”. Procedia Economics and Finance, Vol. 34 : 217 – 224.

[7] K. Rakharn, S. Supsomboon and A. Kengpol, A feasibility study of using machines in sauce manufacturing: a case study, 2019 Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C), 2019, Bangkok, Thailand.

[8] J. Mai, D. Yu and X. Cheng, “Design and Implementation of Integrated Case Packer based on High Speed Pick-and-Place Robot”. Advanced Materials Research, Vol. 443-444 (2012): 121-126.

[9] C. S. Park. Contemporary engineering economics, Sixth Edition, Pearson, 2016.

การจัดการต้นทุนสินค้าคงคลังโดยการวิเคราะห์แบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่ กรณีศึกษาบริษัทอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในเขตพื้นที่โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก

Inventory Cost Management by Applying Multi-Criteria Classification Analysis (Bi-Metrix) : A Case Study of Manufacturing Company in Eastern Economic Corridor

วสันต์ สังข์ยัง[1*] ฐิติมา ไชยะกุล[2]
[1] สาขาการบริหารและพัฒนาอุตสาหกรรม คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] สถาบันวิชาการวิทยาการจัดการ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: wasan.sun@ku.th*

Wasan Sungyoung[1*], Thitima Chaiyakul[2]
[1] Department of Industrial Administration and Development, Faculty of Management Sciences, Kasetsart University
[2] Institute of Management Science, Faculty of Management Sciences, Kasetsart University
E-mail: wasan.sun@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังด้วยการวิเคราะห์แบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่เพื่อวัตถุประสงค์ในการจัดการต้นทุนสินค้าคงคลังสำหรับบริษัทกรณีศึกษาซึ่งตั้งอยู่ในเขตพื้นที่โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก ตามปัจจัยที่มีความสำคัญสำหรับบริษัทกรณีศึกษา ประกอบไปด้วย มูลค่าการใช้ต่อปี และราคาต่อหน่วย ดังนั้นการแบ่งกลุ่มสินค้าแบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดกลุ่มเพื่อหาแนวทางในการจัดการต้นทุนสินค้าคงคลัง โดยใช้รายการสินค้าคงคลังประเภทวัตถุดิบทั้งหมด 771 รายการ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงพรรณนา คือ ค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนสินค้าคงคลังโดยรวม จากการศึกษาค้นคว้านี้สามารถสรุปผลได้ว่า การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์แบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่ เมื่อนำมาเปรียบเทียบต้นทุนรวมในการจัดการสินค้าคงคลัง สามารถลดต้นทุนรวมในการจัดการสินค้าคงคลังลงได้ร้อยละ 45.07% หรือ 25,851,160.78 บาทต่อปี จึงสามารถสรุปผลได้ว่า การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังแบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคูโดยใช้มูลค่าการใช้ต่อปีกับราคาต่อหน่วยเป็นเกณฑ์มีผลช่วยให้ต้นทุนรวมในด้านการจัดการสินค้าคงคลังของบริษัทกรณีศึกษาลดลง ซึ่งต้นทุนนี้สามารถนำไปเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางด้านธุรกิจ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มสภาพคล่องทางการเงินให้กับบริษัทกรณีศึกษาได้อีกด้วย

คำสำคัญ: การจัดการสินค้าคงคลัง, ต้นทุนของสินค้าคงคลัง, วิธีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังแบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่

Abstract

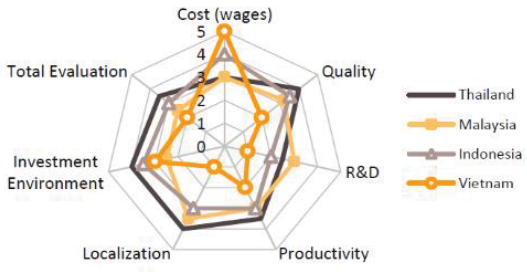
This research presents a multi-criteria classification analysis (Bi-Metrix) for inventory cost management: a case study of manufacturing company in eastern economic corridor. According to the factors that are important for the case study company include the value of use per year and unit price. Therefore, the Bi-Metrix multi-criteria classification is applied in grouping inventory to find a way to manage inventory costs. A total of 771 raw material inventory items were used. The statistics used in the descriptive analysis were percentage and mean to compare overall inventory costs. From this research study, it can be concluded that application of Bi-Metrix multi-criteria classification analysis when compared to the total cost of managing inventory can reduce the total cost of inventory management by 45.07% or 25,851,160.78 baht per year. The application of the Bi-Metrix multi-criteria classification analysis theory using annual consumption and unit price as a basis has resulted in a reduction in the total cost of inventory management of the case study company. This cost can be used to increase business competitiveness and also increase financial liquidity for the case study company.

Keywords: Inventory management, Inventory cost management, Multi-criteria classification analysis (bi-metrix)

1. บทนำ

Eastern Economic Corridor (EEC) หรือชื่อภาษาไทยเรียกว่า โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก เป็นแผนการพัฒนาพื้นที่เชิงยุทธศาสตร์ภายใต้ นโยบายไทยแลนด์ 4.0 ด้วยการพัฒนาเชิงพื้นที่ ซึ่งต่อยอดความสำเร็จมาจากแผนพัฒนาเศรษฐกิจภาคตะวันออก หรือ Eastern Seaboard โดยมีเป้าหมายหลักในการยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันของภาคการผลิตและภาคบริการบนพื้นฐานของเทคโนโลยีสมัยใหม่และนวัตกรรม เพื่อให้สอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ซึ่งเป็นยุทธศาสตร์ในการพัฒนาประเทศในระยะยาว โดยจะเป็นการยกระดับในเขตพื้นที่ต้นแบบ 3 จังหวัดคือ ชลบุรี ระยอง และ ฉะเชิงเทรา เนื่องจากเป็นเขตอุตสาหกรรมที่สำคัญระดับต้นของประเทศ มีสภาพแวดล้อมที่ประกอบไปด้วยสนามบิน ท่าเรือ โรงงานในนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยได้มีการกำหนดอุตสาหกรรมเป้าหมายที่ได้รับการส่งเสริมเพื่อให้เกิดการลงทุนอย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตยานพาหนะและอุปกรณ์รวมทั้งการซ่อมยานพาหนะและอุปกรณ์หรือกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีจำนวนโรงงานตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ทั้ง 3 จังหวัดข้างต้นถึง 1,224 โรงงานจาก 8,270 โรงงานทั่วประเทศ หรือคิดเป็นร้อยละ 14.80 ของกลุ่มอุตสาหกรรม ดังนั้น EEC จึงมีผลกระทบของต่อระบบเศรษฐกิจและการลงทุนของอุตสาหกรรมที่ดำเนินการผลิตอยู่ในปัจจุบัน ทำให้มีความจำเป็นต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินการผลิตในทุกด้านของการประกอบธุรกิจเพื่อเพิ่มความได้เปรียบในการแข่งขันในอนาคต

จากผลการศึกษาของหน่วยงานวิจัยกรุงศรีโดย รชฏ เลียงจันทร ในปี 2561พบว่าตัวชี้วัดความน่าดึงดูดของการเป็นศูนย์กลางการผลิตรถยนต์อนาคตซึ่งประกอบไปด้วย 6 ตัวแปรสำคัญ จากดัชนีชี้วัดดังกล่าวประเทศไทยถูกจัดไว้ในลำดับที่ 3 รองจาก ประเทศจีนและประเทศญี่ปุ่น และเมื่อปี 2562 ไทยส่งออกชิ้นส่วนยานยนต์ทุกประเภทเป็นอันดับ 1 ของอาเซียน และอันดับ 14 ของโลก แต่ยังพบว่าประสิทธิภาพทางด้านต้นทุนการผลิตของประเทศไทยยังด้อยกว่าประเทศเวียดนามและประเทศอินโดนีเซีย ดังรูปที่ 1 [1]



รูปที่ 1 ระดับประสิทธิภาพการแข่งขันในตลาดชิ้นส่วนรถยนต์

จากปัจจัยในหัวข้อการใช้ชิ้นส่วนในประเทศของอุตสาหกรรมรถยนต์และประสิทธิภาพการแข่งขันในตลาดชิ้นส่วนยานยนต์ ทำให้บริษัทในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์มีความจำเป็นต้องทำการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันโดยเฉพาะการเพิ่มประสิทธิภาพในด้านต้นทุนการผลิต ซึ่งรวมถึงการบริหารจัดการและควบคุมสินค้าคงคลังเนื่องจากสินค้าคงคลังเป็นส่วนประกอบหลักทางด้านต้นทุนการผลิตของสินค้าที่สูงที่สุด และต้องใช้เงินลงทุนที่มีมูลค่าสูงในกลุ่มทรัพย์สินหมุนเวียนของการผลิต ดังนั้นการบริหารจัดการและควบคุมสินค้าคงคลังจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากบริษัทที่สามารถผลิตสินค้าที่มีต้นทุนการผลิตสินค้าต่อหน่วยต่ำย่อมได้เปรียบในด้านการแข่งขัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้บริหารในองค์กรให้ความสำคัญในเรื่องการลดต้นทุนมากขึ้นโดยเฉพาะต้นทุนสินค้าคงคลัง เนื่องจากสินค้าคงคลังเป็นองค์ประกอบที่ใหญ่ที่สุดของต้นทุนการผลิตและต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมากและจะมีความแตกต่างกันไปตามประเภทของอุตสาหกรรม โดยวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์ในการบริหารควบคุมสินค้าคงคลังที่เป็นที่นิยมคือการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าออกเป็นกลุ่มโดยนำหลักเกณฑ์การพิจารณาที่ต่างกันเป็นเกณฑ์ (Inventory Classification) [2] จากนั้นจึงทำการกำหนดนโยบายหรือกลยุทธ์เพื่อการบริหารจัดการและควบคุมสินค้าคงคลังในแต่ละกลุ่ม ดังเช่นบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เพื่อการประกอบรถยนต์แห่งหนึ่งในเขตพื้นที่โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกได้ประสบกับปัญหาในเรื่องต้นทุนของสินค้าคงคลัง จากการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นพบว่าบริษัทมีต้นทุนสินค้าคงคลังมากเกินความจำเป็นจากเป้าหมาย ถึงแม้ว่าจะได้รับข้อมูลการพยากรณ์ยอดขายสินค้าเพื่อนำมาประกอบการวางแผนความต้องการวัตถุดิบ แต่จากการเปลี่ยนแปลงความต้องการสินค้าของลูกค้าอย่างเร่งด่วน ทำให้มีการสั่งซื้อมาเก็บเป็นสินค้าคงคลังสูงกว่าระดับที่บริษัทกำหนด รวมถึงการคำนวณต้นทุนสินค้าคงคลังที่คำนวณโดยรวมมูลค่าต้นทุนของสินค้าคงคลังทุกประเภทรวมกันก่อให้เกิดปัญหาระดับสินค้าคงคลังที่ใช้ในการผลิตสินค้ามีปริมาณสูงกว่าระดับที่บริษัทกำหนด

ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงนำวิธีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังแบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่มาประยุกต์ใช้ในการพิจารณาเพื่อควบคุม ลดระดับสินค้าคงคลัง และช่วยในการกำหนดวิธีการควบคุมจำนวนสินค้าที่มีความหลากหลายของชนิดและมีจำนวนมากภายใต้เวลาที่จำกัด เพื่อให้การจัดการสินค้าคงคลังเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงลดภาระทางด้านต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะสามารถช่วยลดปัญหาสินค้าคงคลังที่มีมากเกินความจำเป็นให้เหลืออยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยไม่กระทบต่อกระบวนการผลิตและการส่งมอบให้แก่ลูกค้าเพื่อเพิ่มความสามารถในการตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สินค้าคงคลัง

สินค้าคงคลัง สินค้าคงเหลือและวัสดุคงคลังในการศึกษาในครั้งนี้หมายถึง สินค้าหรือวัตถุดิบที่มีไว้เพื่อสนับสนุนกระบวนการการผลิต

จนถึงการขาย โดยสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ตามวัตถุประสงค์การใช้ในกิจกรรมของระบบการผลิต ดังต่อไปนี้

สินค้าคงคลังแบบที่เป็นวัตถุดิบ (Raw material inventory: RMI) เป็นสินค้าคงคลังที่เป็นส่วนสำคัญในการผลิตสินค้าสำเร็จรูป

สินค้าคงคลังระหว่างกระบวนการผลิต (Work in process: WIP) เป็นสินค้าคงคลังที่เกิดขึ้นหลังจากที่กระบวนการผลิตเริ่มต้น โดยการนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิตแล้ว แต่ยังไม่เสร็จสิ้นครบถ้วนตามกระบวนการผลิต หรืออยู่ในระหว่างกระบวนการผลิตเพื่อรอคอยการผลิตขั้นต่อไป เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

สินค้าคงคลังประเภทเครื่องมือและชิ้นส่วนเพื่อการซ่อมบำรุงและการซ่อมแซม (Spare parts inventory: SPI) เป็นสินค้าคงคลังประเภทชิ้นส่วนประกอบ เครื่องมือ อะไหล่ และอุปกรณ์สำหรับการซ่อมบำรุงและซ่อมแซม

สินค้าคลังประเภทสินค้าสำเร็จรูป (Finished goods inventory: FGI) เป็นสินค้าคงคลังที่สมบูรณ์พร้อมจะจำหน่ายให้กับลูกค้า อาจถูกเก็บอยู่ในคลังสินค้าก่อนที่จะส่งมอบให้กับลูกค้า

หน้าที่ของสินค้าคงคลังมีไว้เพื่อใช้รักษาความสมดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทาน ทำให้เกิดการประหยัดต่อขนาด เพราะการสั่งซื้อต่อครั้งด้วยจำนวนมาก เป็นการลดต้นทุนด้านการสั่งซื้อ

ดังนั้นสินค้าคงคลังจึงมีความสำคัญในการที่ช่วยให้องค์กรสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า ป้องกันผลกระทบในด้านความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นทั้งจากลูกค้า ผู้ส่งมอบ และกระบวนการการผลิต รวมถึงการได้ประโยชน์จากการประหยัดต่อขนาด อีกทั้งยังสามารถทำให้ได้ประโยชน์จากการคาดการแนวโน้มของราคาสินค้าหรือการสั่งซื้อในฤดูกาลที่สินค้ามีราคาต่ำอีกด้วย

2.1 การจัดการคลังสินค้า

คลังสินค้า หมายถึง สถานที่ใช้ในการเก็บรักษาสินค้าให้อยู่ในสภาพดีพร้อมที่จะส่งมอบให้กับลูกค้าหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยคลังสินค้าทำหน้าที่เป็นสถานที่พักและเก็บสินค้าหรือวัตถุดิบหรือวัสดุสิ่งของต่างๆ จนกว่าจะมีการส่งมอบไปสู่ผู้ที่มีความต้องการไม่ว่าจะเพื่อการผลิตหรือเพื่อจำหน่ายหรือขาย

กิจกรรมของคลังสินค้าเป็นองค์ประกอบสำคัญเพราะการจัดการสินค้าคงคลังที่ดีจะสามารถช่วยในให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายและลดต้นทุน ก่อให้เกิดสภาพคล่องและผลตอบแทนจากการลงทุน โดยหลักการคือการจัดการให้มีสินค้าในคลังสินค้าในจำนวนน้อยเพื่อเพิ่มการเปลี่ยนเป็นสินทรัพย์หมุนเวียนและเป็นการเพิ่มผลตอบแทน แต่มักจะมีความขัดแย้งกับหลักการบริหารทางการตลาดที่ต้องตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว จึงต้องการสินค้าคงคลังสำรองในปริมาณมากเพื่อสนับสนุนกระบวนการผลิตและเพื่อความประหยัดต่อขนาดซึ่งส่งผลต่อต้นทุนต่อหน่วย ซึ่งการขาดสินค้าคงคลังสำรองอาจทำให้ต้องปิดสายการผลิตและส่งมอบล่าช้า

การจัดการสินค้าคงคลังที่มีประสิทธิภาพในปัจจุบันมีการนำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ร่วมกับการจัดการข้อมูลเพื่อทำให้เกิดความแม่นยำและถูกต้องมากขึ้น เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพด้านการจัดซื้อสินค้าเพิ่มขึ้นโดยทำให้ได้รับสินค้าที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการในเวลาที่เหมาะสม เพียงพอต่อการใช้งาน รวมถึงการจัดส่งที่ทันตามเวลาและสถานที่ตามที่ต้องการด้วยราคาสินค้าที่เหมาะต่อการแข่งขัน ดังนั้นกิจกรรมนี้ จึงเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อกำไรโดยตรง ซึ่งวัตถุประสงค์ที่สำคัญในการจัดการสินค้าคงคลัง คือ ทำให้มีสินค้าคงคลังบริการลูกค้าในปริมาณที่เพียงพอ และทันต่อความต้องการเสมอ เพื่อสร้างยอดขายและรักษาระดับของส่วนแบ่งตลาดไว้ รวมถึงช่วยลดระดับการลงทุนให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง

2.3 ต้นทุนสินค้าคงคลัง

สินค้าคงคลังถือเป็นต้นทุนที่สำคัญทั้งในด้านต้นทุนเงินทุน ต้นทุนค่าเสียโอกาส ต้นทุนในการดูแลสินค้า ต้นทุนพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้า และต้นทุนจากความเสี่ยงด้านคุณภาพและราคาซึ่งเกิดจากการจัดเก็บสินค้า โดยการคำนวณต้นทุนสินค้าคงคลังโดยรวมจะประกอบไปด้วยสองส่วน [3] [4] ดังนี้

2.3.1 มูลค่าสินค้าคงคลังโดยรวม (Item Cost)

ต้นทุนด้านเงินลงทุนสินค้าคงคลัง ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการนำปริมาณสินค้าคงคลังแต่ละรายการในช่วงเวลาใด คูณด้วยราคาสินค้าในช่วงเวลานั้น ซึ่งต้นทุนส่วนนี้จะเป็นต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณสินค้าคงคลังไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลานั้น

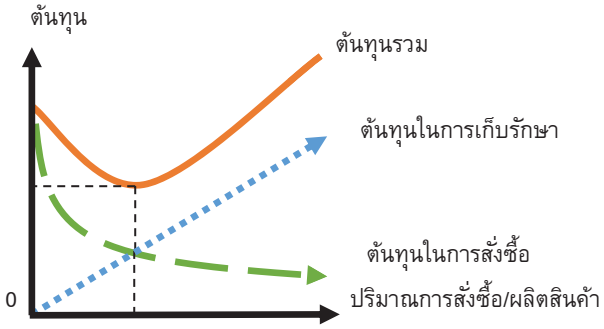
2.3.2 ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสินค้าคงคลัง

ต้นทุนที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสินค้าคงคลังและระยะเวลาในการจัดเก็บ ซึ่งถือว่าต้นทุนส่วนนี้เป็นต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณสินค้าคลังและระยะเวลาในการจัดเก็บ ซึ่งประกอบไปด้วย

ต้นทุนในการสั่งซื้อ (Ordering Cost: OC) หรือต้นทุนในการตั้งเครื่องจักรใหม่เพื่อสั่งผลิต (Setup Cost) ค่าใช้จ่ายประเภทนี้จะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่สั่งและปริมาณการสั่งต่อครั้ง กล่าวคือ การสั่งในปริมาณน้อยและมีจำนวนหลายครั้งจะทำให้ต้นทุนในการสั่งซื้อหรือสั่งผลิตสูง แต่ในทางตรงกันข้าม หากสั่งในปริมาณมากและมีจำนวนน้อยครั้ง ต้นทุนในการสั่งซื้อหรือสั่งผลิตจะลดลง

ต้นทุนในเก็บรักษา (Holding / Carrying Cost: CC) ค่าใช้จ่ายเหล่านี้แปรผันโดยตรงกับปริมาณสินค้าที่เก็บรักษา และระยะเวลาที่เก็บรักษาสินค้า ต้นทุนประเภทนี้จะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของสินค้าคงเหลือ ถ้าปริมาณของสินค้าคงเหลือมีจำนวนมาก ต้นทุนในการจัดเก็บรักษาก็จะสูงขึ้น แต่ในทางตรงกันข้าม หากปริมาณของสินค้าคงเหลือมีจำนวนน้อย ต้นทุนในการจัดเก็บรักษาก็จะลดลง

ต้นทุนทั้งสองมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผัน เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์และผลรวมของต้นทุนทั้งสอง สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2 [4]



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนสั่งซื้อกับต้นทุนเก็บรักษา

จากกราฟจึงสามารถสรุปได้ว่า ต้นทุนรวม (Total cost: TC) คือ ผลรวมระหว่างต้นทุนในการสั่งซื้อกับต้นทุนในการเก็บรักษา และต้นทุนทั้งสองจะมีจำนวนเท่ากันพอดี และสามารถเขียนเป็นสมการคำนวณได้ดังนี้

$$TC = \frac{D}{Q} \times S + \frac{Q}{2} \times H \quad (1)$$

โดยที่ TC คือต้นทุนรวม D คือปริมาณสินค้าที่ต้องการสั่งซื้อในช่วงเวลานั้น Q คือปริมาณการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้ง S คือต้นทุนในการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้ง และ H คือต้นทุนในการเก็บรักษาต่อหน่วย

ต้นทุนรวม (Total Cost) จึงเป็นตัววัดผลการดำเนินงานเพื่อแสดงผลว่าการจัดการสินค้าคงคลังของบริษัทในช่วงเวลานั้นสามารถทำให้เกิดต้นทุนที่ต่ำที่สุดได้หรือไม่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำต้นทุนรวมมาใช้ในการวัดผลเพื่อตรวจสอบว่า การจัดการสินค้าคงคลังโดยการวิเคราะห์แบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่สามารถทำให้ต้นทุนรวมลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่

2.4 การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังแบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่

การศึกษาการจำแนกกลุ่มสินค้าให้เหมาะสมกับสินค้าแต่ละประเภทได้ดียิ่งขึ้น โดยการเพิ่มเกณฑ์เข้ามาใช้ในวิธีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังแบบดั้งเดิม ซึ่งหลักการนี้ได้ถูกนำเสนอโดย เบนิโต อี. ฟลอเรส และดี. เคลย์ วายบาร์ค เมื่อปี 1985 [5] โดยในวิธีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังแบบหลายเกณฑ์จะทำการเลือกเกณฑ์อื่นๆ ที่มีความสำคัญต่อการผลิต นอกเหนือจากมูลค่าเพียงอย่างเดียวเข้ามาร่วมพิจารณาด้วย จะทำให้สามารถพิจารณาสินค้าคงคลังได้ครอบคลุมกว่าการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังโดยใช้เพียงเกณฑ์เดียวในการตัดสินใจ โดยมีวิธีการดังนี้

1.จำแนกกลุ่มสินค้าด้วยวิธีการวิเคราะห์เอบีซีโดยใช้มูลค่าการใช้ต่อปี ดังตารางที่ 1 (เกณฑ์ที่ 1)

ตารางที่ 1 การจำแนกกลุ่มสินค้าคงคลังตามการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแบบเอบีซี

กลุ่ม	ร้อยละของมูลค่าการใช้สินค้าคงคลังทั้งหมด	ร้อยละของรายการสินค้าคงคลังทั้งหมด
A	80	15
B	15	30
C	5	55
รวม	100	100

2.จำแนกสินค้าคงคลังกลุ่มเดียวกันนี้ด้วยวิธีการวิเคราะห์เอบีซีอีกครั้ง โดยจำแนกตามหลักเกณฑ์ที่เลือกเพิ่มเติม (เกณฑ์ที่ 2)

3.จำแนกตามลำดับความสำคัญและพิจารณาแต่ละลำดับ โดยรวมสองเกณฑ์มาอยู่ในรูปเมตริก [6] ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปแบบการจำแนกกลุ่ม A B และ C รวมกลุ่มทั้งสองเกณฑ์ในรูปเมตริก

		2nd Criteria		
	Class	a	b	c
1st Criteria	A	Aa	Ab	Ac
	B	Ba	Bb	Bc
	C	Ca	Cb	Cc

4.ขั้นต่อไปจะเป็นการรวมกลุ่มย่อยนี้เพื่อแบ่งออกเป็นสามกลุ่มที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยการรวมกลุ่มย่อยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

กลุ่ม AA = Aa+Ab+Ba

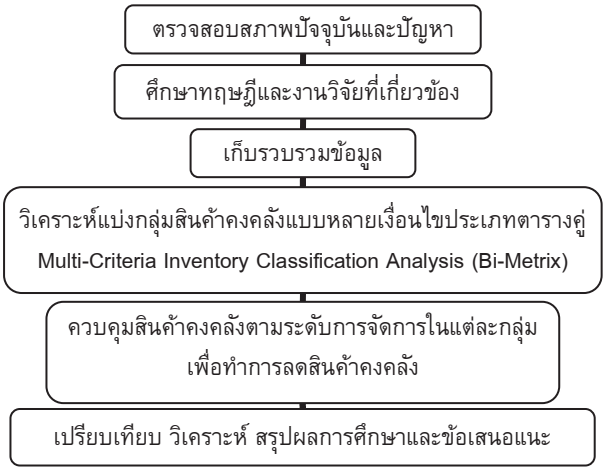
กลุ่ม BB = Ac+Bb+Ca

กลุ่ม CC = Bc+Cb+Cc

จากนั้นจึงนำเข้าสู่การควบคุมสินค้าคงคลังเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการลดต้นทุนโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลัง

3. วิธีการดำเนินวิจัย

เพื่อการพัฒนาและปรับปรุงผลการปฏิบัติงานขององค์กรให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล วิธีการดำเนินวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาโดยเน้นการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่โดยใช้ข้อมูลสินค้าคงคลังประเภทวัตถุดิบที่เกิดขึ้นจริงเป็นหลักและพิจารณาแบ่งกลุ่มจากการใช้เกณฑ์ของมูลค่าการใช้ต่อปีและราคาต้นทุนต่อหน่วย เนื่องจากเป็นเกณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานในการพิจารณาแบ่งกลุ่มร่วมกัน โดยเกณฑ์ทั้งสองจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนการผลิตเมื่อมีการนำไปใช้งานและเมื่อทำการจัดเก็บไว้ในคลังสินค้า อีกทั้งยังส่งผลกระทบทางอ้อมต่อต้นทุนรวมเมื่อจัดเก็บไว้เป็นเวลานานหรือเสื่อมสภาพ โดยวิธีการดำเนินวิจัยสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนการดำเนินวิจัยดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้แก่ ระดับสินค้าคงคลังทั้งหมด 771 รายการ มูลค่าสินค้าคงคลังที่เหลือจากการผลิตในแต่ละเดือน ปริมาณการใช้สินค้าคงคลัง ราคาต่อหน่วยตั้งแต่เดือน เมษายน พ.ศ. 2562 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2564 ทำให้ทราบถึงมูลค่าโดยรวมของสินค้าคงคลังที่เหลือจากการผลิตเฉลี่ยในแต่ละเดือนที่มีมูลค่าสูงถึง 271,800,000 บาท ทำให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาได้ว่า โรงงานกรณีศึกษายังไม่มีระบบการจัดการสินค้าคงคลังที่ชัดเจนและเป็นแบบแผนทำให้ปริมาณของมูลค่าสินค้าคงคลังที่เหลือในแต่ละเดือนมีมูลค่าสูง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลัง

4.2 ผลการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังแบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่

การแบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังจะมุ่งเน้นให้ความสำคัญกับสินค้าคงคลังที่มีจำนวนรายการน้อยแต่มีมูลค่าการใช้สูงหรือมีราคาต่อหน่วยสูง โดยจะแบ่งรายการสินค้าคงคลังทั้งหมดโดยใช้เกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มครั้งละเกณฑ์และแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่ม A เป็นกลุ่มที่เป็นสินค้าที่มีความสำคัญมาก มีมูลค่าในการใช้งานหรือราคาต่อหน่วยสูง โดยทั่วไปจะมีรายการสินค้าอยู่ประมาณ 15% ของรายการสินค้าทั้งหมด และจะมีมูลค่าการใช้อยู่ประมาณ 80% ของมูลค่าการใช้สินค้าทั้งหมด หรือราคาต่อหน่วยสะสมอยู่ประมาณ 80% ของราคาต่อหน่วยสะสมของสินค้าทั้งหมด

กลุ่ม B เป็นกลุ่มที่เป็นสินค้าที่มีความสำคัญปานกลาง โดยทั่วไปสินค้าคงคลังประเภทนี้ จะมีอยู่ประมาณ 30% ของรายการสินค้าทั้งหมด และมีมูลค่าการใช้อยู่ประมาณ 15% ของมูลค่าการใช้สินค้าทั้งหมด หรือราคาต่อหน่วยสะสมอยู่ประมาณ 15% ของราคาต่อหน่วยสะสมของสินค้าทั้งหมด

กลุ่ม C เป็นกลุ่มสินค้าที่มีความสำคัญน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นสินค้าที่มีมูลค่าการใช้ต่ำคือมีประมาณ 55% ของรายการสินค้าทั้งหมด แต่มีมูลค่าการใช้อยู่เพียงแค่ 5% ของมูลค่าการใช้สินค้าทั้งหมด หรือราคาต่อหน่วยสะสมอยู่ประมาณ 5% ของราคาต่อหน่วยสะสมของสินค้าทั้งหมด

เมื่อรวบรวมและจัดทำข้อมูลข้างต้นครบถ้วนแล้ว จึงนำมาทำการจัดกลุ่มใหม่ในรูปแบบของตารางคู่ ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 สรุปผลจำนวนรายการรวมกลุ่มระหว่างมูลค่าการใช้ต่อปีกับราคาต้นทุนต่อหน่วย

		ราคาต้นทุนต่อหน่วย		
	Class	a	b	c
มูลค่าการใช้ต่อปี	A	50	44	11
	B	17	69	60
	C	21	27	472

ตารางที่ 4 สรุปการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่โดยใช้มูลค่าการใช้ต่อปีกับราคาต้นทุนต่อหน่วย

กลุ่ม	จำนวนรายการ	ร้อยละ
AA	111	14.40%
BB	101	13.10%
CC	559	72.50%
รวม	771	100.00%

4.3 การเปรียบเทียบต้นทุนรวมของสินค้าคงคลังก่อนและหลังการปรับปรุง

จากข้อมูลที่เก็บรวบรวม โดยที่ D และ Q จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรายการสินค้า S = 10.48 บาทต่อหน่วยต่อครั้งของการสั่งซื้อ และ H = 690.00 บาทต่อลูกบาศก์เมตร จากการคำนวณพบว่าบริษัทกรณีศึกษามีระดับ ต้นทุนรวม (Total Cost; TC) ในการจัดการสินค้าคงคลังคิดเป็นมูลค่าอยู่ที่ 57,351,197.71บาท ซึ่งเป็นระดับที่สูงมาก จึงนำผลจากการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่ในข้างต้น มาใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของรายการสินค้าคงคลังและแนวทางในการจัดการให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมโดยใช้ทรัพยากรบุคคลที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนี้

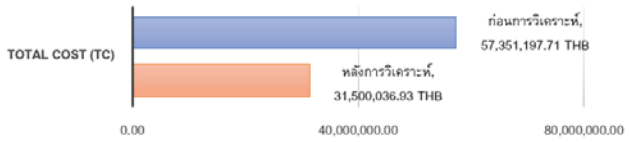
กลุ่ม AA เป็นกลุ่มที่เป็นสินค้าที่มีความสำคัญมากให้ทำการควบคุมอย่างเข้มงวดมาก โดยการลดระดับของสินค้าคงคลังกลุ่มนี้ลงให้เหลือเพียงแค่ให้เพียงพอต่อการผลิต ตรวจนับรายสัปดาห์ รวมถึงการเปลี่ยนการสั่งซื้อจากต่างประเทศเป็นการสั่งซื้อภายในประเทศเพื่อลดระยะเวลาการขนส่งและลดปริมาณการจัดเก็บส่งผลให้ต้นทุนสินค้าที่ถือครองและต้นทุนการขนส่งลดลง ส่งผลให้ราคาต่อหน่วยลดลง

กลุ่ม BB เป็นกลุ่มที่เป็นสินค้าที่มีความสำคัญในระดับปานกลางให้ทำการควบคุมอย่างเข้มงวดปานกลาง คือให้ใช้ความถี่ในการตรวจนับที่น้อยกว่ากลุ่ม AA (รายเดือน) และลดระดับของสินค้าคงคลังสำรองที่

ถือครองให้มีความยืดหยุ่นมากกว่ากลุ่ม AA จะช่วยให้สามารถสั่งซื้อได้ในปริมาณที่เหมาะสมและช่วยลดระดับต้นทุนสินค้าคงคลังได้อีกด้วย

สินค้ากลุ่ม CC เป็นกลุ่มสินค้าที่มีความสำคัญน้อยที่สุด จะใช้ระบบการควบคุมอย่างง่ายและเชื่อถือได้ เช่นระบบการสั่งซื้อและเบิกจ่ายแบบเติมเต็มซึ่งสามารถกำหนดระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสมได้ง่าย อีกทั้งยังจะช่วยให้สามารถลดเวลาในการควบคุมได้เป็นอย่างมาก

หลังจากการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มและประยุกต์ใช้หลักการในการจัดการสินค้าคงคลังเพื่อควบคุมในข้างต้น จึงทำการตรวจสอบระดับต้นทุนรวมอีกครั้ง ณ ช่วงสิ้นเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564 โดยใช้หลักเกณฑ์และสมการการคำนวณระดับต้นทุนรวม (Total Cost; TC) เช่นเดียวกับก่อนการแบ่งกลุ่ม พบว่าระดับต้นทุนรวม ณ ช่วงสิ้นเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564 มีระดับลดลงเป็นอย่างมาก โดยคิดเป็นมูลค่าของระดับต้นทุนรวมที่ลดลงอยู่ที่ 25,851,160.78 บาท คิดเป็นร้อยละ 45.08 จากระดับต้นทุนรวมก่อนหน้า ดังภาพที่ 4



รูปที่ 4 ระดับต้นทุนรวม (Total Cost; TC) ก่อนและหลังการวิเคราะห์

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของต้นทุนรวมก่อนและหลังการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังข้างต้นสามารถสรุปผลได้ว่า การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังแบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่โดยใช้มูลค่าการใช้ต่อปีกับราคาต่อหน่วยเป็นเกณฑ์มีผลช่วยให้ต้นทุนรวมของสินค้าคงคลังของบริษัทกรณีศึกษาลดลงร้อยละ 45.08 จากระดับต้นทุนรวม (Total Cost; TC) ก่อนการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มและประยุกต์ใช้การจัดการของสินค้าคงคลัง

5. สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการแบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังและควบคุมตามลำดับความสำคัญของกลุ่มที่แบ่งได้ในบริษัทกรณีศึกษาเป็นระยะเวลาสองเดือน (เมษายน 2564 ถึง พฤษภาคม 2564) สามารถทำให้ต้นทุนรวมลดลงคิดเป็น ร้อยละ 45.07 หรือคิดเป็นมูลค่าต้นทุนรวมที่ลดลงทั้งหมด 25,851,160.78 บาท ซึ่งต้นทุนนี้สามารถนำไปเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางด้านธุรกิจ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มสภาพคล่องทางการเงินให้กับบริษัทกรณีศึกษาได้อีกด้วย

เมื่อการนำผลการดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ พบว่าการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังแบบหลายเกณฑ์ประเภทตารางคู่สามารถลดมูลค่าต้นทุนรวมในการจัดการสินค้าคงคลังลงได้เช่นเดียวกัน แต่เกณฑ์ที่นำมาใช้ในการพิจารณาแบ่งกลุ่มนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูลที่สามารถเข้าถึงและนำมาใช้ได้ ซึ่งในแต่ละบริษัทหรือธุรกิจจะมีความแตกต่างกัน

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มควรพิจารณาปัจจัยอื่นเพื่อหารูปแบบการจัดกลุ่มที่เหมาะสมกับโรงงานให้มากที่สุด เช่น ปัจจัยด้านมูลค่าการใช้ระยะเวลานำ ราคาต่อหน่วย หรือ ปริมาณการใช้ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ส่งผลโดยตรงต่อมูลค่าต้นทุนรวมของสินค้าคงคลังที่เพิ่มมากขึ้นหรือลดลงอีกด้วย ซึ่งการพิจารณาใช้ปัจจัยใดเป็นเกณฑ์ นอกจากคำนึงความสำคัญของปัจจัยนั้นเป็นเกณฑ์แล้ว ควรทำการเปรียบเทียบการแบ่งกลุ่มแต่ละประเภทเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมต่อไปและควรติดตามอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสถานะของสินค้าคงคลังมักจะมีการเปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์อยู่เสมอ เพื่อป้องกันปัญหาสินค้าคงคลังไม่เพียงพอต่อการผลิต อีกทั้งยังควรพิจารณาวิธีการหรือเทคนิคอื่นเข้ามาช่วยในการแบ่งกลุ่ม เช่น เทคนิคเอเอชพี (Analytic Hierarchy Process) เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาที่สนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] รชฏ เลียงจันทร์. 2561. อุตสาหกรรมยานยนต์แห่งอนาคต ข้อมูลจาก https://www.krungsri .com/bank/getmedia/ea01c4db-2f94-4299- 83ec- 89bb74161eab/ RI_Automobile_180926_TH. aspx (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2563)

[2] B. Pandya, and H. Thakkar. 2016. “A review on inventory management control techniques: ABC- XYZ analysis”. REST Journal on Emerging trends in Modelling and Manufacturing, Vol. 2 (3): 15.

[3] ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์, ศิวัช ปริญญาเมธี และ ธีรโชติ สกุลศึกษาดี. 2557. “การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการจัดการสินค้าคงคลังสำหรับโรงงานผลิตภัณฑ์เบเกอรี่” วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ฉบับที่ 4 (1): 12-26.

[4] J. Heizer, B. Render and C. Munson. Operation Management: Sustainability and Supply Chain Management, 13th Edition., Pearson Education Limited, 2019.

[5] B. E. Flores and D. C. Whybark. 1986. “Multiple criteria ABC analysis”. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 6 (3): 38-46.

[6] ธัญญ์กรรนิษฐา สุวรรณศร. 2554. การลดสินค้าคงคลังด้วยวิธีการวิเคราะห์เอบีซีสำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนไมโครอิเล็คทรอนิคส์, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการอุตสาหกรรม , มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการหยิบสินค้า กรณีศึกษา ผู้ผลิตและจำหน่ายอุปกรณ์ประปาแห่งหนึ่งในประเทศไทย

Enhancement in Productivity of Order Picking Operations: A Case Study of Plumbing Equipment Manufacturer in Thailand

วัชราพร ปูชิตากร[1*] กมล เขมะรังษี[2] กานดา บุญโสธรสถิตย์[1]
[1] สาขาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
[2] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค)
E-mail: wacharaporn.kmutt@mail.kmutt.ac.th*

Wacharaporn Puchitakorn[1*], Kamol Kaemarungsl[2], Ganda Boonsothonsatit[1]
[1] Department of Management and Innovation, King Mongkut's University of Technology Thonburi
[2] National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC)
E-mail: wacharaporn.kmutt@mail.kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งเน้นเพื่อเพิ่มผลผลิตของกระบวนการหยิบสินค้าของผู้ผลิตและจำหน่ายอุปกรณ์ประปาแห่งหนึ่งในประเทศไทย ซึ่งเป็นกรณีศึกษาและพบว่า ปัญหาหลักคือการใช้เวลานานกว่ากระบวนการอื่นๆ ในการค้นหาสินค้า ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดเก็บสินค้าในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม กล่าวคือ กลุ่มสินค้าที่มีการหมุนเวียนเร็วไม่ได้ถูกแบ่งกลุ่ม และไม่ได้ถูกกำหนดให้อยู่ในตำแหน่งใกล้ทางเข้าและออกของคลังสินค้า ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงทำการจัดเก็บ รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูล 3 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) ประเภท (SKUs) และปริมาณของสินค้าทั้งหมดในคลังสินค้า เพื่อคัดเลือกก๊อกน้ำเป็นกลุ่มสินค้าที่มีการหมุนเวียนเร็ว 2) แผนผังชั้นวางสินค้าและตำแหน่งจัดเก็บ เพื่อแบ่งโซนแบบคงที่และตำแหน่งจัดเก็บสินค้าแบบคงที่สำหรับกลุ่มก๊อกน้ำ 77 SKUs ร่วมกับทฤษฎีเอบีซี (ABC theory) 3) ขั้นตอนการปฏิบัติงานของพนักงาน เพื่อสร้างแผนภาพการไหลของข้อมูลเชิงตรรกะ (Logical Data Flow Diagram) สำหรับการประเมินเวลาที่ใช้ในกระบวนการหยิบสินค้าและผลิตภาพของพนักงาน ด้วยโปรแกรมไพธอน (Python program) ซึ่งพบว่า การจัดเก็บสินค้าในตำแหน่งที่เหมาะสม สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหยิบสินค้าลง 32.50% และสามารถเพิ่มผลิตภาพของพนักงานขึ้น 48.17%

คำสำคัญ: กระบวนการหยิบสินค้า, โซนแบบคงที่, ตำแหน่งแบบสุ่ม, ทฤษฎีเอบีซี, ผลิตภาพของพนักงาน

Abstract

Our research aimed to enhance productivity of order picking operations for a plumbing equipment manufacturer in Thailand as a case study. Its main problem was spending much more time than other operations to find finished products. This was because finished goods were put away on inappropriate locations in a warehouse. Namely, finished goods whose turnover was fast was not classified and not located close to entrances and exits of the warehouse. We accordingly collected, gathered, and analyzed three data groups. The first data group included stock keeping units (SKUs) and their quantities in the warehouse. They were used for selecting ball taps as the fastest turnover. The second data group consisted of racking layout and locations, along with ABC theory to assign fixed zones and fixed locations for 77 SKUs of the ball taps. The third data group was order picking procedures to diagram logical data flows for evaluating order picking time and productivity of operators. As a result, the appropriate locations for putting away all the ball tap SKUs could shorten order picking time by 32.50% and enhance productivity of operators by 48.17%.

Keywords: Order picking operations, Fixed zone, Random location, ABC theory, Productivity of operators

1. บทนำ

คลังสินค้าเป็นกิจกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกิจกรรมโลจิสติกส์ของบริษัท [1-3] เนื่องจากเป็นสถานที่ที่ใช้ในการจัดเก็บวัตถุดิบ (Raw Material) สินค้าระหว่างผลิต (Work in Process) และ/หรือสินค้าสำเร็จรูป (Finished Goods) ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานของแต่ละบริษัท [4-5] โดยการทำงานของคลังสินค้าจะทำหน้าที่เป็นฝ่ายสนับสนุนในการส่งป้อนวัตถุดิบและสินค้าระหว่างผลิตให้กับฝ่ายการผลิตเพื่อผลิตเป็นสินค้าสำเร็จรูป รวมทั้งเมื่อมีความต้องการซื้อสินค้าของลูกค้าเข้ามาจากฝ่ายขาย ทางคลังสินค้าสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างทันท่วงที [6] ดังนั้น การจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management) จึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่ทางบริษัทต้องคำนึงถึง โดยต้องมีการวางแผน การดูแล การบริหาร และกำหนดพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าที่เหมาะสม เพื่อให้การดำเนินงานภายในคลังสินค้าสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ [7-9] ซึ่งกิจกรรมภายในคลังสินค้าประกอบไปด้วย 1) การรับสินค้า (Receiving) พนักงานทำการตรวจสอบสภาพสินค้า จำนวน และประเภทกลุ่มสินค้าก่อนรับสินค้าเข้าคลังสินค้า 2) การจัดเก็บสินค้า (Put away) พนักงานเคลื่อนย้ายสินค้าไปจัดเก็บยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ 3) การหยิบสินค้า (Order picking) พนักงานหยิบสินค้าออกมาจากตำแหน่งพื้นที่จัดเก็บสินค้าตามคำสั่งซื้อที่ได้รับจากฝ่ายขาย 4) การจัดส่งสินค้า (Shipping) พนักงานนำสินค้ามาทำการบรรจุลงกล่อง พาเลท แพ็ค และ/หรือรัดสินค้าใหม่ ตรวจสอบจำนวนสินค้า และสภาพสินค้า ก่อนทำการขนส่งให้กับลูกค้า [4, 10] โดยกิจกรรมหลักที่มีความสำคัญต่อคลังสินค้า คือ การหยิบสินค้า เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่ใช้กำลังคนเป็นจำนวนมากในการหยิบสินค้า [11-12] เพื่อให้ทันต่อคำสั่งซื้อของลูกค้าที่เข้ามาในแต่ละวัน [13]

ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้นำด้านการผลิตและจัดจำหน่ายอุปกรณ์ประปาแห่งหนึ่งในประเทศไทย และมีอัตราการเติบโตทางธุรกิจที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงาน และจากการเก็บข้อมูลภายในคลังสินค้า พบว่า มีปัญหาในเรื่องการหยิบสินค้า ที่ต้องใช้พนักงานหยิบสินค้า (Picker) เป็นจำนวนมาก เนื่องจากต้องใช้เวลาในการค้นหาสินค้า ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดเก็บสินค้า โดยทางคลังสินค้ามีการกำหนดโซนแต่ละประเภทกลุ่มสินค้า และมีการวางรหัสสินค้าแบบสุ่มภายในโซน แต่ก็ยังมีประเภทกลุ่มสินค้าบางกลุ่มวางปะปนอยู่ในโซนประเภทกลุ่มสินค้าอื่น ๆ อยู่ รวมทั้งยังไม่ได้มีการกำหนดประเภทกลุ่มสินค้าที่มีการหมุนเวียนเร็วอยู่ใกล้ประตูทางเข้า-ออกของคลังสินค้าตามลำดับ ดังนั้นการหยิบสินค้าจะมีประสิทธิภาพได้นั้นจะต้องมีระบบการจัดเก็บสินค้าที่เหมาะสม เพื่อให้การหยิบสินค้าสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว สะดวก และไม่ต้องใช้เวลามากในการค้นหาสินค้า

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดการคลังสินค้า

การที่จะมีคลังสินค้าที่มีประสิทธิภาพได้นั้น จะต้องมีกระบวนการควบคุม ดูแล และจัดระเบียบทุกอย่างภายในคลังสินค้าอย่างเหมาะสม อาทิเช่น การใช้พื้นที่และปริมาตรในการจัดเก็บให้เกิดประโยชน์สูงสุด การลดระยะเวลา และระยะทางในการเคลื่อนย้ายในคลังสินค้าให้น้อยที่สุด โดยจะเริ่มตั้งแต่การรับสินค้าไปจนถึงการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า [10, 12] ซึ่งกิจกรรมที่มีความสำคัญต่อการกำหนดตำแหน่งพื้นที่จัดเก็บสินค้า คือ กิจกรรมการจัดเก็บสินค้า เนื่องจากถ้ามีการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าที่เป็นระบบและมีความเหมาะสม จะส่งผลให้กิจกรรมการหยิบสินค้าใช้ระยะเวลาในการค้นหาสินค้าลดลง รวมทั้งกิจกรรมอื่น ๆ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

ซึ่งกิจกรรมการจัดเก็บสินค้าเป็นการเคลื่อนย้ายสินค้าไปจัดเก็บยังตำแหน่งพื้นที่จัดเก็บสินค้าที่กำหนดไว้ล่วงหน้า [4] โดยของทางคลังสินค้าเป็นการจัดเก็บสินค้าแบบกำหนดโซน (Zone slot) ของแต่ละประเภทกลุ่มสินค้า (Item group) และภายในโซนจะเป็นการกำหนดการจัดเก็บสินค้าแบบสุ่ม (Random location) ของแต่ละรหัสสินค้า อาทิเช่น งานวิจัยของคุณยศเจริญสินทำการจัดเก็บสินค้าอยู่ 2 รูปแบบ คือ 1) การจัดเก็บสินค้าแบบคงที่ (Fixed location) 2) การจัดเก็บสินค้าแบบสุ่ม เพื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของพื้นที่แต่ละแบบ [2] และงานวิจัยของของคุณเมธินีเป็นการกำหนดโซนประเภทกลุ่มสินค้า [1] เป็นต้น ซึ่งลักษณะการจัดเก็บสินค้าของแต่ละแบบมีทั้งข้อดี และข้อเสียแตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงกำหนดโซนของแต่ละประเภทกลุ่มสินค้าและภายในโซนเป็นการกำหนดการจัดเก็บสินค้าแบบคงที่ รวมทั้งใช้ทฤษฎีเอบีซีในการวิเคราะห์การหาตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าที่เหมาะสม โดยจะอธิบายในหัวข้อที่ 2.2

ตารางที่ 1 รูปแบบการจัดเก็บสินค้า [15]

การจัดเก็บสินค้า	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบตำแหน่งคงที่	- ง่ายต่อการค้นหา - ดูแลรักษาได้ง่าย	- ยากต่อการขยายพื้นที่
แบบสุ่ม	- ใช้พื้นที่จัดเก็บได้อย่างคุ้มค่า - มีความยืดหยุ่นสูง	- จำเป็นต้องมีระบบสารสนเทศเข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูล
แบบกำหนดโซน	- แบ่งพื้นที่จัดเก็บสินค้าอย่างชัดเจน	- ยากต่อการขยายพื้นที่

2.2 ทฤษฎีเอบีซี

เป็นแนวคิดที่ให้ความสำคัญกับการจัดกลุ่มสินค้า โดยการจัดแบ่งลำดับสินค้าตามมูลค่าการขาย หรือความถี่ในการเคลื่อนไหวของสินค้า ซึ่งสินค้าที่จัดอยู่ในกลุ่ม A จะประกอบด้วยสินค้าที่มีเพียงไม่กี่รายการหรือมีจำนวน SKU (Stock Keeping Unit) น้อย แต่มียอดขายสูงที่สุดจะได้รับการควบคุมอย่างเข้มงวด ส่วนสินค้าที่มียอดขายรองลงมาจะจัดอยู่ในกลุ่ม B และกลุ่ม C ตามลำดับ [15, 16] ดังตารางที่ 2

การปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นนั้นในงานวิจัยส่วนใหญ่จะเลือกใช้ทฤษฎีเอบีซีมาใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจัดการสินค้าคงคลังให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม รวมทั้งช่วยลดภาระในการควบคุมดูแลสินค้าคงคลังที่ไม่มี

ความจำเป็น [10, 12] อาทิเช่น งานวิจัยของคุณวิทยาเป็นการปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางสินค้าให้เป็นหมวดหมู่เดียวกัน เนื่องจากสภาพการจัดวางสินค้าของชิ้นงานไม่เป็นระบบ ทำให้ไม่สามารถชี้วัดได้ [17]

เนื่องด้วยลักษณะตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าในปัจจุบันของคลังสินค้ายังไม่มีการแบ่งกลุ่มสินค้าตามความถี่ในการหมุนเวียนของสินค้าที่ชัดเจน ซึ่งส่งผลให้ใช้พื้นที่ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้ทฤษฎีเอบีซีในการแยกกลุ่มสินค้าและตำแหน่งในการจัดเก็บสินค้าให้เหมาะสม และนำค่าไปหาผลลัพธ์ของการหยิบสินค้าในโปรแกรมไพธอน ซึ่งจะลงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.3

ตารางที่ 2 การจัดกลุ่มสินค้าตามการเคลื่อนไหว

กลุ่มสินค้า	ปริมาณสินค้าคงคลังทั้งหมด	มูลค่าในการใช้/สั่งซื้อ
A	15 – 20%	80%
B	30 – 40%	15%
C	50 – 60%	5%

2.3 โปรแกรมไพธอน

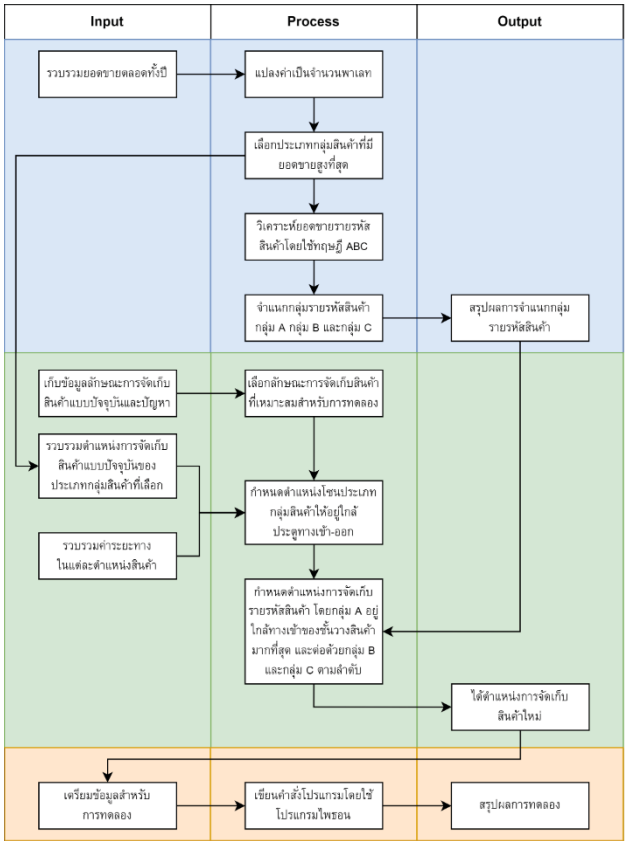
ในแต่ละงานวิจัยจะเลือกใช้เครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจของคำตอบนั้นแตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาของงานวิจัยนั้น ๆ อาทิเช่น การเลือกใช้การวิจัยดำเนินงาน (Operation research) จะเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical modeling) ขึ้นมา และเลือกใช้โปรแกรมในการหาคำตอบของผลลัพธ์ 1) โปรแกรมเอ็กเซล โซลเวอร์ (Excel solver) จะเป็นการกำหนดค่าเซลล์ต่าง ๆ ลงในสเปรตชีท (Spreadsheet) อาทิเช่น งานวิจัยของเมธินี [1] 2) โปรแกรมลินโก้ (Lingo) โดยเป็นการเขียนอยู่ในรูปแบบของคำสั่งโปรแกรมที่ละบรรทัด อาทิเช่น งานวิจัยของคุณยศเจริญสิน [2] ซึ่งทั้ง 2 งานวิจัยจะเป็นการหาตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าที่เหมาะสม โดยตัวโปรแกรมจะเป็นการหาจุดสูงสุด ต่ำสุด หรือเหมาะสมที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ ของปัญหานั้น ๆ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนตัวแปร (Decision variables) เป้าหมายที่ต้องการ (Objective function) และจำนวนสมการข้อจำกัด (Constraints) ในการหาคำตอบ เป็นต้น

ซึ่งทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้โปรแกรมไพธอน เนื่องจาก 1) เป็นโปรแกรมที่มีโครงสร้างการเขียนคำสั่งโปรแกรมที่ง่าย ไม่ซับซ้อน 2) มีไลบรารีพร้อมให้เรียกใช้งานจำนวนมากทั้งทางด้านคณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ รวมไปถึงทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ 3) ไม่มีข้อจำกัดด้านจำนวนตัวแปร และจำนวนข้อจำกัดต่าง ๆ 4) สามารถป้อนคำสั่งโปรแกรมได้หลายร้อยบรรทัดไม่จำกัด 5) ใช้เวลาในการประมวลผลเพื่อหาผลลัพธ์ของคำตอบได้รวดเร็ว [18] ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เหมาะสำหรับการหาผลลัพธ์ของการหยิบสินค้าของงานวิจัยนี้ ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล และการหาผลลัพธ์ของการหยิบสินค้า ซึ่งจะลงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 กรอบการวิจัย

การปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 1 แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้ ขั้นตอนที่ 1 การรวบรวมข้อมูลยอดขายตลอดทั้งปี เพื่อนำมาวิเคราะห์การเลือกประเภทกลุ่มสินค้า และใช้ทฤษฎีเอบีซีในการพิจารณาการแบ่งกลุ่มสินค้า ขั้นตอนที่ 2 การรวบรวมข้อมูลสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของคลังสินค้า และปรับปรุงตำแหน่งจัดเก็บสินค้าใหม่ ขั้นตอนที่ 3 การหาผลลัพธ์ของการหยิบสินค้าในโปรแกรมไพธอน ซึ่งจะลงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2



รูปที่ 1 กรอบการวิจัย

ประสิทธิภาพ (Performance) ที่ทางผู้วิจัยสนใจ คือ ผลิตภาพของผู้ปฏิบัติงาน (Productivity of operator) ซึ่งเป็นดัชนีวัดสมรรถนะการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานในคลังสินค้า คำนวณได้ดังสมการที่ 1

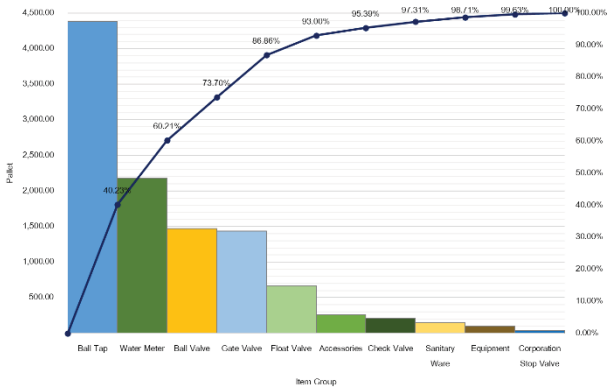
ผลิตภาพของผู้ปฏิบัติงาน = พาเลทสินค้าขาออกทั้งหมด / (จำนวนพนักงาน x ชั่วโมงทำงานจริงในการหยิบสินค้าจากชั้นวางสินค้า) (1)

ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงาน ได้แก่ 1) ตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า 2) ระยะทางในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ 3) ระยะเวลาในการทำงาน

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการขายสินค้า

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลคำสั่งซื้อของลูกค้าในแต่ละเดือนในตลอดทั้งปีมาทำการวิเคราะห์โดยนำจำนวนชิ้นที่ลูกค้าสั่งซื้อมาทำการแปลงเป็นจำนวนพาเลทขาออก เพื่อดูว่าประเภทกลุ่มสินค้าไหนมีปริมาณพาเลทขาออกมากที่สุด

จากรูปที่ 2 พบว่า ประเภทกลุ่มสินค้าที่มีจำนวนพาเลทขาออกที่มีแนวโน้มสูงที่สุด คือ ประเภทสินค้ากลุ่มก๊อกบอล (Ball tap) รวมทั้งหมด 4,382 พาเลท คิดเป็น 40.23% ของพาเลทขาออกทั้งหมดของแต่ละประเภทกลุ่มสินค้าตลอดทั้งปี ซึ่งพฤติกรรมของประเภทสินค้ากลุ่มหนึ่งๆ มีจำนวนพาเลทขาออกสูง แสดงว่าลูกค้ามีความต้องการประเภทสินค้ากลุ่มนั้นสูงต้องให้ความสำคัญ เพราะมีความถี่ในการรับสินค้าเข้าการจัดเก็บ การย้ายตำแหน่ง และการหยิบสินค้าบ่อยครั้ง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกประเภทสินค้ากลุ่มก๊อกบอล ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ประเภทกลุ่มย่อย (77 รหัสสินค้า) มาเป็นข้อมูลในการทำการวิจัยในครั้งนี้ โดยนำมาวิเคราะห์แยกตามกลุ่ม A กลุ่ม B และกลุ่ม C ตามการหมุนเวียนของสินค้านั้น ๆ และเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์กิจกรรมการจัดเก็บสินค้าใหม่ ซึ่งจะลงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3

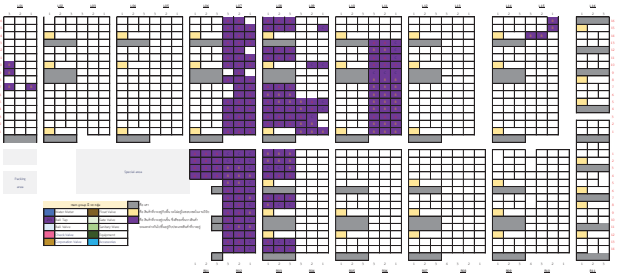


รูปที่ 2 พฤติกรรมการสั่งซื้อของลูกค้าของแต่ละประเภทกลุ่มสินค้าตลอดทั้งปี

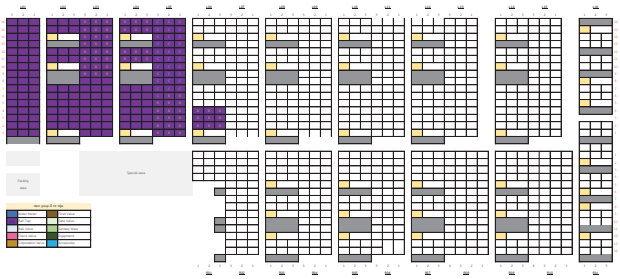
3.3 การวิเคราะห์กิจกรรมการจัดเก็บสินค้า

จากสภาพปัญหาของคลังสินค้าที่ได้กล่าวในบทนำข้างต้นที่ส่งผลต่อการดำเนินงานในกิจกรรมการหยิบสินค้า ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงตำแหน่งจัดเก็บสินค้าใหม่ให้มีความเหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้รวดเร็วขึ้นกว่าแบบเดิม ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลการขายสินค้าได้ประเภทสินค้ากลุ่มก๊อกบอลมาทำการปรับปรุง โดยลักษณะการจัดเก็บสินค้าจะกำหนดให้ประเภทกลุ่มสินค้าจัดเก็บแบบกำหนดโซน เนื่องจากการแบ่งโซนในลักษณะนี้จะทำให้พนักงานทราบตำแหน่งของแต่ละประเภทกลุ่มสินค้าได้อย่างชัดเจน และมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดเก็บของแต่ละรหัสสินค้าเป็นแบบตำแหน่งคงที่ โดยให้รหัสสินค้าที่อยู่ในกลุ่ม A (80% ของการสั่งซื้อ) ที่มีความถี่ในการหมุนเวียนเร็วอยู่ในตำแหน่งจัดเก็บสินค้าที่ใกล้ทางเข้าและทางออกของชั้นวางสินค้ามากที่สุด ตามลำดับ ดังรูปที่ 4 เนื่องด้วยการจัดเก็บแบบสุ่มของแต่ละรหัสสินค้าแบบเดิม ดังรูปที่ 3 ยังมีการวางปะปนอยู่ในโซนประเภทกลุ่มสินค้าอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ประเภทกลุ่มสินค้าเดียวกันอยู่ และไม่ได้คำนึงถึงตำแหน่งสินค้าที่เหมาะสมสำหรับความถี่ในการหมุนเวียนนั้น ๆ

ดังนั้น เมื่อได้ตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าที่ได้จากการวิเคราะห์ตำแหน่งจัดเก็บสินค้าใหม่แล้วนั้น จะทำการหาผลลัพธ์ของการหยิบสินค้าโดยใช้โปรแกรมไพธอน ซึ่งจะลงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4



รูปที่ 3 ตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าแบบเดิม

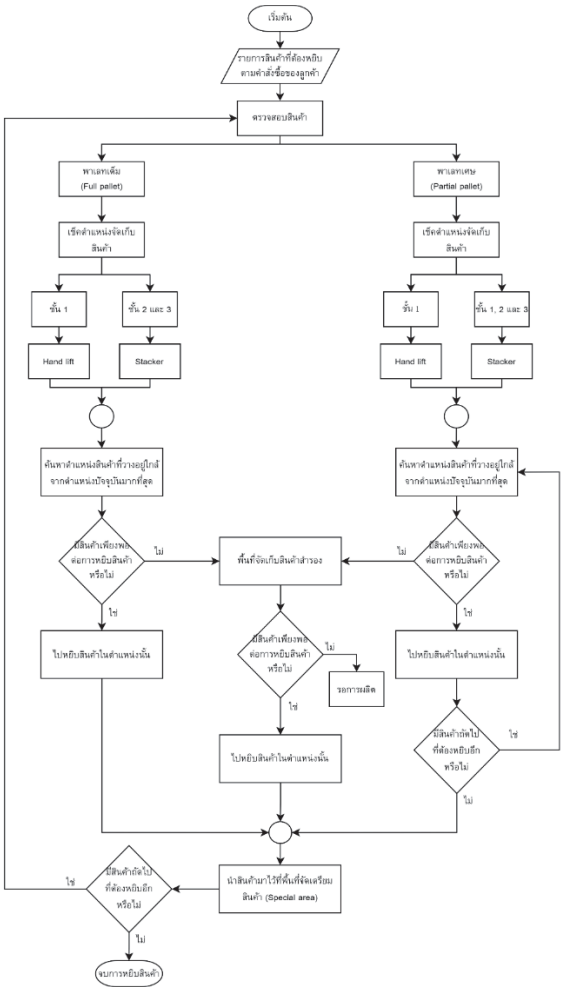


รูปที่ 4 ตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าแบบใหม่

3.4 การวิเคราะห์กิจกรรมการหยิบสินค้า

ผู้วิจัยเขียนคำสั่งโปรแกรมป้อนเข้าไปในโปรแกรมไพธอน เพื่อใช้ในการหาผลลัพธ์ของการหยิบสินค้าในตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าใหม่ โดยคำสั่งโปรแกรมของโปรแกรมไพธอนจะทำการดึงข้อมูลคำสั่งซื้อของลูกค้าเข้ามาในระบบ เพื่อทำการตรวจสอบรหัสคำสั่ง รหัสสินค้า และจำนวนสินค้า โดยแปลงจำนวนสินค้าเป็นจำนวนพาเลทเต็มหรือพาเลทเศษในแต่ละคำสั่งซื้อนั้น ๆ จากนั้นระบบจะทำการตรวจสอบตำแหน่งสินค้า เพื่อจะมอบหมายให้พนักงานนำอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุไปหยิบสินค้าในตำแหน่งนั้น ๆ จนครบตามคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย และนำมาวางที่พื้นที่จัดเตรียมสินค้า ซึ่งผู้วิจัยลงรายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ในการเขียนคำสั่งโปรแกรมดังรูปที่ 5

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าใหม่โดยร่วมกับการใช้ทฤษฎีเอบีซี และเขียนคำสั่งโปรแกรมป้อนเข้าไปในโปรแกรมไพธอน เพื่อหาผลลัพธ์ของการหยิบสินค้าในตำแหน่งจัดเก็บสินค้าใหม่ สามารถสรุปผลการดำเนินงานวิจัยได้ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 4

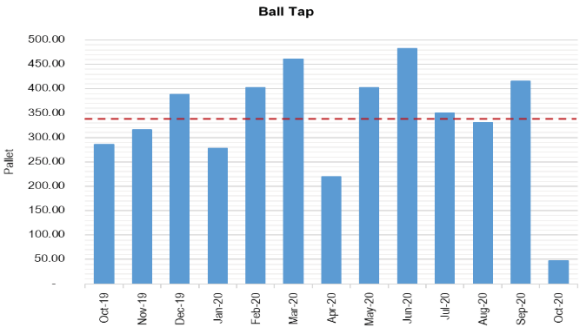


รูปที่ 5 แผนภาพการไหลของข้อมูลเชิงตรรกะ

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรมการหยิบสินค้ามีพนักงานปฏิบัติงานทั้งหมด 3 คน โดยแต่ละคนรับผิดชอบอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุคนละ 1 คัน ได้แก่ รถลากพาเลท (Hand lift) จำนวน 2 คัน และรถยกไฟฟ้า (Stacker) จำนวน 1 คัน โดยใช้เวลาทำงานคนละ 2 ชั่วโมง ตั้งแต่ 9.00-11.00 น. ซึ่งได้มาจากเก็บข้อมูลการปฏิบัติงานของพนักงานภายในคลังสินค้า โดยทางผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงตำแหน่งจัดเก็บสินค้าใหม่ ดังหัวข้อที่ 3.3 และใช้โปรแกรมไพธอนในการหาผลลัพธ์ของการหยิบสินค้าในตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าใหม่ ซึ่งในการวิเคราะห์ได้เลือกเดือนที่มีจำนวนคำสั่งซื้อมากที่สุดมาเป็นตัวแทน คือ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 มาใช้ในการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 6 โดยตัวคำสั่งสามารถเปลี่ยนวันที่ และเดือนในการทดลองได้ ซึ่งในโปรแกรมไพธอนได้กำหนดตัวแปรในคำสั่งไว้ ได้แก่ อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ คือ รถลากพาเลท จำนวน 2 คัน มีความเฉลี่ยอยู่ที่ 1.00 เมตร/วินาที รถยกไฟฟ้า (Stacker) จำนวน 1 คัน มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 1.50 เมตร/วินาที เวลาในการยกงาขึ้นอยู่ที่ 10 วินาที/ชั้น เวลาในการหยิบพาเลทเต็ม 15 วินาที/พาเลท เวลาในการหยิบพาเลทเศษ 30 วินาที/รหัสสินค้า ระยะทางที่ใช้ในคลังสินค้าจะเป็นตารางระยะทางแบบเมทริกซ์ที่ได้จากการไปวัดหน้างานจริง และเลือกเฉพาะประเภทสินค้ากลุ่มก๊อกบอลมาใช้ในการหยิบสินค้าในครั้งนี้ โดยวันที่ทำการเลือกมา คือ วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2563 มีจำนวนคำสั่งซื้ออยู่ที่ 107 คำสั่งซื้อ แปลงเป็น 113 พาเลทขาออก ทั้งหมด 67 รหัสสินค้า

จากการหยิบสินค้าในตำแหน่งจัดเก็บสินค้าใหม่จากเดิมใช้ผลิตภาพอยู่ที่ 18.83 พาเลท/คน-ชั่วโมง เพิ่มขึ้นเป็น 27.90 พาเลท/คน-ชั่วโมง คิดเป็นผลิตภาพที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 48.17% ดังตารางที่ 3



รูปที่ 6 จำนวนพาเลทขาออกของประเภทกลุ่มสินค้าก๊อกบอล

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการหยิบสินค้าในตำแหน่งจัดเก็บสินค้าแบบเดิม และแบบใหม่เฉพาะประเภทสินค้ากลุ่มก๊อกบอล

รายละเอียด	แบบเดิม	แบบใหม่	% การเปลี่ยนแปลง
พาเลทขาออก (พาเลท)	113	113	0%
พนักงาน (คน)	3	3	0%
เวลาทำงานทั้งหมด(ชั่วโมง)	2	1.35	32.50%
ผลิตภาพ (พาเลท/คน-ชั่วโมง)	18.83	27.90	48.17%

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอการเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการหยิบสินค้าให้กับคลังสินค้า โดยการปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าให้มีความเหมาะสมที่ดีขึ้น ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้อาจเป็นประโยชน์สำหรับผู้มีอำนาจในการตัดสินใจที่อยากจะปรับปรุงกระบวนการทำงานภายในคลังสินค้าให้ดีขึ้น ข้อจำกัดของงานวิจัย คือ ในการวิเคราะห์ตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า ผู้วิจัยกำหนดตำแหน่งของรหัสสินค้าที่อยู่ในประเภทกลุ่มสินค้าเดียวกันแบบคงที่ ซึ่งถ้าในอนาคตมียอดขายของรหัสสินค้าใดสินค้าหนึ่งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากการวางสินค้าในลักษณะแบบนี้จะทำให้การใช้พื้นที่จัดเก็บสินค้าใช้งานได้อย่างไม่คุ้มค่า ควรมีการวิเคราะห์ลักษณะการจัดเก็บสินค้าหลาย ๆ แบบเปรียบเทียบกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมจากทีมนักวิจัยของศูนย์วิจัยนวัตกรรมโลจิสติกส์ (Research Center of Logistics Innovation), ศูนย์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีเฉพาะด้านคลังสินค้าอัจฉริยะ (Smart Warehouse Center of Technology Transfer), การอนุเคราะห์ข้อมูล สถานที่ และบุคลากรสำหรับการดำเนินงานวิจัยของบริษัทกรณีศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] เมธินี ศรีกาญจน์, 2555, การปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า กรณีศึกษาบริษัท ศรีไทยซุปเปอร์แวร์จำกัด (มหาชน) สาขาสุขสวัสดิ์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[2] ยศเจริญสิน หมู่พุทธรักษ์, 2556, การวางผังคลังสินค้าที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขขนาดบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่าง กรณีศึกษาคลังสินค้าของผู้ให้บริการโลจิสติกส์แห่งหนึ่ง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[3] ชนิกานต์ กมลสุข, 2554, การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยกำหนดตำแหน่งการจัดวางสินค้าที่เหมาะสม: กรณีศึกษาบริษัทผลิตเครื่องแก้วสำเร็จรูป, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[4] โอพาร กิตติธีรพรชัย, 2561, คลังสินค้าและการจัดการคลังสินค้า, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 7-41.

[5] อรุณ บริรักษ์, 2547, Warehouse, พิมพ์ครั้งที่ 2, บริรักษ์ พับลิสชิ่ง, กรุงเทพฯ, หน้า 11.

[6] Le Pham, 2021, “WHAT IS WAREHOUSEING IN LOGISTICS? BENEFITS AND ROLE OF WAREHOUSING?” [Online], Available: https://magenest.com/en/warehousing-in-logistics/ [January 2022, 18].

[7] กฤษณ์ชาคริตส ณ วัฒนประเสริฐ, 2558, การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนเชิงวิศวกรรม, สำนักพิมพ์ปัญญาชน, กรุงเทพฯ, หน้า 105-108.

[8] ไทย วินเนอร์, 2563, การบริหารสินค้าคงคลัง [ออนไลน์], แหล่งที่มา: https://thaiwinner.com/inventorymanagement/ [4 กุมภาพันธ์ 2564].

[9] เกียรติพงษ์ อุดมธนะธีระ, 2552, คลังสินค้าและการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง [ออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.iok2u.com/index.php/article/logistics-supply-chain/791-wim-warehouse-inventorymanagement [4 กุมภาพันธ์ 2564].

[10] คำนาย อภิปรัชญาสกุล, 2550, โลจิสติกส์และการจัดการซัพพลายเชน กลยุทธ์สำหรับลดต้นทุนและเพิ่มกำไร, พิมพ์ครั้งที่ 2, ห.จ.ก. ซี.วาย.ซิซเทิม พริ้นติ้ง, กรุงเทพฯ, หน้า 123.

[11] SCMDOJO, 2021, 5 Basics Warehouse Activities You Should Focus to Improve [Online], Available: https://www.scmdojo.com/warehouse-activities/ [January 2022, 18].

[12] John J. Bartholdi III and Steven T.Hackman, 2011, Warehouse & Distribution Science Release 0.94, The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and System Engineering, Georgia Institute of Technology Atlanta, USA, pp. 24-34.

[13] Indeed Editorial Team, 2021, What Is Order Picking? Importance and Types of Systems [Online], Available: https://www.indeed.com/career-advice/career-development/what-is-order-picking#:~:text=Order%20picking%20is%20important%20because,which%20can%20affect%20customer%20satisfaction. [January 2022, 25].

[14] นวรัตน์ สระบัว, 2547, การออกแบบและการจัดการคลังสินค้า, กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[15] James, A.T., and Jerry, D.S., 1998, The Warehouse Management Handbook, 2nd ed., Tompkins Press, USA, pp. 823-848.

[16] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, “ABC analysis,” [ออนไลน์], แหล่งที่มา: https://bsc.dip.go.th/th/category/sale-maketing/sm-abcanalysis. [วันที่เข้าถึง 5 ธันวาคม 2563].

[17] วิทยา คาระคำ, 2559, แนวทางการออกแบบผังการจัดเก็บสินค้าสำหรับคลังสินค้า บริษัท ABC จำกัด, วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาบริหารธุรกิจ วิทยาลัยพาณิชยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[18] ณัฐวัตร คำภักดี, “คู่มือเขียนโปรแกรม Python ฉบับปรับปรุง” กรุงเทพมหานคร, บริษัท โปรวิชั่น จำกัด, 2562, หน้า 13-16.

การปรับปรุงผังจัดวางและตำแหน่งจัดวางสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพคลังจัดเก็บอะไหล่ของผู้ผลิตรถยนต์แห่งหนึ่ง

Re-Designs of Optimal Layout and Storage Location Assignment for Efficiency Improvements in a Spare-Part Warehouse

มนสิชา ฐิตธรรมพันธุ์[1] อัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์[1*]
[1]สาขาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
E-mail: akkaranan@as.nida.ac.th*

Monsicha Titthummaphan[1], Akkaranan Pongsathornwiwat[1*]
[1] Department of Logistic management, Faculty of Applied statistics, National Institute of Development Administration
E-mail: akkaranan@as.nida.ac.th*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเดินหยิบสินค้าโดยการปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังอะไหล่รถยนต์ที่มีการจัดเก็บอะไหล่รถยนต์หลากหลายชนิด แต่จัดเก็บอย่างไม่เป็นระเบียบจึงทำให้พนักงานใช้เวลาในการเดินหยิบอะไหล่มากเกินความจำเป็น ลักษณะการหยิบของอะไหล่รถยนต์นั้นพนักงานจะหยิบสินค้าตามใบสั่ง (Pick lists) โดยอะไหล่รถยนต์บางชิ้นผลิตมาเพื่อใช้บำรุงรักษารถยนต์ร่วมกัน การจัดวางสินค้าที่จะต้องใช้ร่วมกันมาไว้ใกล้กัน และจัดแบ่งโซนการจัดเก็บสินค้าให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมจะช่วยแก้ปัญหาได้ งานวิจัยได้ทำการจัดเรียงสินค้าจากความถี่ในการหยิบ และประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Association rule) เข้ามาใช้ในการค้นหาและระบุว่ามีสินค้าชิ้นไหนบ้างที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน เพื่อที่จะนำสินค้าที่มีความสัมพันธ์นั้นมาวางใกล้กันเพื่อประหยัดระยะทางในการเดินหยิบสินค้า สำหรับการแบ่งโซนการจัดเก็บสินค้าได้นำตัวแบบ ABC analysis มาพิจารณาโซนการจัดเก็บที่เหมาะสม และทำการหาคำตอบเปรียบเทียบกับตัวแบบทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นเพื่อดูตำแหน่งจัดเก็บสินค้าที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ Open Solver ค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ผลการทดลองและศึกษาเปรียบเทียบการหยิบสินค้าภายใน 25 วัน พบว่า การจัดวางสินค้าแบบ Class-based Association layout ช่วยประหยัดระยะทางการเดินหยิบสินค้าได้มากที่สุด โดยสามารถลดระยะทางในการหยิบจากการจัดเก็บแบบเดิมทั้งหมด 67,297.95 เมตร ลดลงเหลือ 18,129.95 เมตร ซึ่งคิดเป็น 73.06% และใช้เวลาในการหยิบลดลง 404.90 นาทีจากเดิมใช้เวลาทั้งหมด 1,502.99 นาที

คำสำคัญ: การปรับปรุงตำแหน่งจัดวางสินค้า, การปรับปรุงผังคลังสินค้า, การวิเคราะห์ความสัมพันธ์, คลังสินค้าอะไหล่ กรณีศึกษา

Abstract

The propose of this research is to improve the efficiency of the order-picking process by relocating the products placement in the auto-parts warehouse. Because of the existing storage layout is mess so pickers waste more time of picking up requested spare parts than necessary. Typically, the picking process operates the retrieval activity based on the picklists. It might find the correlated items that often pick together. Therefore, it is beneficial to place the correlated products close to each other and allocate the storage zones to the proper positions to reduce the wastes of time and unnecessary distance. To do so, this research has applied three techniques, namely ABC class-based, Association-based and optimal layouts for storage relocation improvement. The ABC class-based employed the picking frequency for location consideration and divide it into the proper zones. The Association-based layout design used the association analysis for finding the co-occurrence items and place the correlated products close to each other. For the optimal layout, the linear programming was formulated as storage location assignment problem and then solving for the optimal answer by utilizing the Open Solver. The performance comparisons between three approaches were examined. The analysis of picklists for 25 days shows that the new warehouse layout of ABC-based association product placements can reduce the total travel distance from 71,997.55 meters of the existing one to 18,129.95 meters. It contributes the percentage reduction to 74.81%. In addition. The picking time also reduce the time-consuming from 1,607.50 to 404.90 minutes.

Keywords: Storage location improvement, Layout design, Association analysis, Spare-part warehouse, Case study

1. บทนำ

ปัจจุบันคลังสินค้านั้นมีบทบาทสำคัญในการช่วยระบบการบริหารห่วงโซ่อุปทานให้มีประสิทธิภาพ ช่วยให้องค์กรมีข้อได้เปรียบทางการแข่งขันสูง (Competitive Advantages) [1] ดังนั้นการบริหารจัดการคลังสินค้าจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ต้องปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น คลังสินค้าของกรณีศึกษาเป็นคลังสินค้าจัดเก็บอะไหล่รถยนต์เพื่อการซ่อมบำรุงรถยนต์ พื้นที่ในการจัดเก็บทั้งหมด 52,000 ตารางเมตร โดยจัดเก็บอะไหล่รถยนต์ทั้งหมด 6 ประเภท ได้แก่

1) อะไหล่พิเศษเฉพาะเครื่อง (Unique parts)
2) อะไหล่ประกันเตรียมพร้อม (Insurance and standby parts)
3) อะไหล่ที่ใช้ได้กับหลายเครื่อง (Interchangeable parts)
4) อะไหล่ที่สามารถจัดซื้อเมื่อต้องการได้ (Order as required)
5) อะไหล่ที่มีลักษณะเป็นสินทรัพย์ถาวร (Capitalize parts)
6) อะไหล่สำรองเดินเครื่องแรก

จากการสำรวจปัญหาในปัจจุบัน พบว่าคลังอะไหล่รถยนต์แห่งนี้ไม่มีการวางแผนการจัดเก็บอะไหล่ตามความต้องการของลูกค้า ส่งผลให้พนักงานใช้ระยะทางในการเดินมากเกินความจำเป็นทำให้เกิดการทำงานที่ขาดประสิทธิภาพ และบางครั้งเกิดความล่าช้าส่งผลให้ลูกค้าเกิดความไม่พอใจ เกิดการเสียโอกาสทางการขายได้ มีสาเหตุมาจากรูปแบบผังและตำแหน่งการจัดวางและจัดเก็บสินค้ายังไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงรูปแบบการจัดเก็บของสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคลังสินค้า โดยมุ่งเน้นไปที่บริเวณจัดเก็บอะไหล่ชิ้นเล็กๆ ตัวอย่างเช่น แกนพวงมาลัย กรอบมือเปิดประตูซ้าย-ขวา ไดชาร์จ หัวเทียน น็อตชนิดต่างๆ ชุดไฟส่องป้ายทะเบียน มอเตอร์ต่างๆ ท่อยางต่างๆ และชุดหัวฉีดต่างๆ เป็นต้น ถูกจัดเก็บอยู่ในพื้นที่ทั้งหมด 822 ตารางเมตร เก็บในรูปแบบ Bin บนชั้นวางโดย 1 ตำแหน่งจัดวางสินค้า (location) สามารถเก็บสินค้าได้ 20 SKUs หรือ 20 Bins และในแต่ละ Bin สามารถเก็บสินค้าได้ 50 ชิ้น ฉะนั้น 1 location สามารถเก็บอะไหล่ได้ทั้งหมด 1,000 ชิ้น เนื่องจากสินค้าเหล่านี้เป็นสินค้าที่จะมีความถี่ในการหยิบสูง พนักงานจะเริ่มหยิบตามรอบเวลาตั้งแต่ 8.00 น. ไปจนถึงเวลา 16.30 น. โดยจะหยิบทุกๆ 30 นาที ฉะนั้นจะเฉลี่ยอยู่ที่ 15 รอบต่อวัน ประการใดก็ตามกลุ่มสินค้าดังกล่าวได้ถูกจัดเก็บในตำแหน่งที่ไกลจากประตูเข้าออก ส่งผลให้เกิดระยะทางการหยิบสินค้าที่ไม่จำเป็นสูง ผู้วิจัยจึงสนใจจะศึกษารูปแบบการจัดเก็บสินค้าเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพนั้น ผู้วิจัยทำการสุ่มใบรายการหยิบสินค้า (Pick list) ทั้งหมดของเดือนกันยายน พ.ศ. 2563 โดยมีระยะการทำงาน 25 วัน มี Pick list ทั้งหมด 385 ใบ ซึ่งมีสินค้าทั้งหมด 2,892 SKUs

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ทางผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์แนวคิดที่สำคัญ ประกอบไปด้วย การแบ่งพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าโดยใช้ ABC analysis [2] เป็นวิธีการจัดกลุ่มสินค้าคงคลังที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยแบ่งสินค้าคงคลังออกเป็น 3 ชนิด คือ A, B และ C โดยวิธีนี้อาศัยหลักการของพาเรโต (Pareto) ที่มุ่งเน้นให้ความสำคัญในสินค้าจำนวนน้อยแต่มีมูลค่ามาก วิธีนี้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่าย และประหยัดเวลาที่เกินความจำเป็น [3,5] แนวคิดประยุกต์การนำกฎความสัมพันธ์เข้ามาใช้ในการกำหนดตำแหน่งจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้า [4] มีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะทางในการเดินหยิบสินค้าด้วยการนำสินค้าที่มักถูกหยิบคู่กันมาจัดวางไว้ใกล้กัน ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ [1,6] ที่ทำการประยุกต์ใช้กฎความสัมพันธ์กับการออกแบบรูปแบบผังและตำแหน่งการวางสินค้าของคลังจัดเก็บบรรจุภัณฑ์กระดาษและคลังจัดเก็บสินค้าสำหรับร้านค้าในเครือ ผลที่ได้สามารถช่วยลดระยะทางหยิบสินค้าลงได้อย่างมีนัยสำคัญ และการประยุกต์โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programing) กับปัญหาการกำหนดตำแหน่งจัดวางสินค้าเป็นการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ [3] ที่ช่วยในการวางแผนการจัดสรรพื้นที่ภายในคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพ [1] ได้ทำการศึกษาแบบจำลองการกำหนดแบบกลุ่มสองขั้นตอนที่เรียกว่า Clustering-Assignment Problem Model โดยมีการวิเคราะห์หาความถี่ของสินค้าจากเทคนิค EIQ Analysis Method ที่ช่วยให้ทราบความถี่ของสินค้าในแต่ละธุรกรรมของสินค้านอกจากนี้ยังช่วยลดระยะทางการหยิบสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการจัดเก็บตามความถี่และการกำหนดแบบสุ่มที่เป็นที่นิยม ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถช่วยลดระยะทางหยิบได้มากถึง 45% [6] ได้เสนอตัวตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบสองระดับ (Two-Stages Clustering-Assignment Model) เพื่อจัดกลุ่มสินค้าและทำการระบุตำแหน่งการวางสินค้า ผลที่ได้จากการศึกษา พบว่า การจัดตำแหน่งการวางสินค้าใหม่ตัวแบบสองขั้นตอนช่วยลดระยะทางในการเดินหยิบสินค้าลดลงได้ประมาณ 56% และช่วยลดจำนวนพนักงานหยิบสินค้าลงได้จากเดิมที่ใช้พนักงานหยิบสินค้าจำนวน 11 คน ลดลงเหลือเพียง 8 คน ประโยชน์ดังกล่าวทำให้สามารถลดต้นทุนแรงงานของกรณีศึกษาได้เดือนละ 39,000 บาทต่อเดือนหรือ 468,000 บาทต่อปี สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการประยุกต์การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เข้ามาเพื่อสร้างกฎความสัมพันธ์ในการหยิบสินค้า โดยงานวิจัยนี้จะทำการประยุกต์ร่วมกับตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นในการกำหนดตำแหน่งสินค้า

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 ลักษณะของข้อมูล

ทางผู้วิจัยจะเริ่มโดยการนำข้อมูลในการหยิบของเดือนกันยายน ปี พ.ศ.2563 มาวิเคราะห์และศึกษารายละเอียดของข้อมูล โดยภายใน 1 เดือนจะมีการทำงานทั้งหมด 25 วัน มีจำนวน Pick list ทั้งหมด 385 ใบ ซึ่งภายใน 1 วัน พนักงานจะทำการหยิบทั้งหมดเฉลี่ยวันละ 15 รอบ โดยจะเริ่มตั้งแต่ 8.00 น. ไปจนถึง 16.30 น. โดยจะหยิบทุกๆ 30 นาที และภายในเดือนกันยายนมีรายการสินค้าที่ถูกหยิบทั้งหมด 2,892 รายการ

โดยผู้วิจัยได้ทำการอ้างอิงระยะทางจากตาราง Matrix ที่สร้างขึ้นมาจากโปรแกรม Microsoft Excel โดยจะแสดงระยะทางจากจุดนึง ไปอีกจุดนึง โดยระยะทางจะแสดงอยู่ที่จุดตัดของตำแหน่งนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น ระยะทางจาก A01A ไปยัง A02A จะใช้ระยะทางทั้งหมด 3,800 มิลลิเมตร หรือ 38 เมตร (อ้างอิงจากรูปที่ 1)

Location	S	D	A01A	A01B	A01C	A01D	A01E
S	0	3800	7450	7150	6850	6550	6250
D	3800	0	3650	3350	3050	2750	2450
A01A	7450	3650	0	300	600	900	1200
A01B	7150	3350	300	0	300	600	900
A01C	6850	3050	600	300	0	300	600
A01D	6550	2750	900	600	300	0	300
A01E	6250	2450	1200	900	600	300	0
A01F	5950	2150	1500	1200	900	600	300

รูปที่ 1ตัวอย่างตาราง Matrix แสดงระยะทางการเดินในหน่วยมิลลิเมตร

การอ้างอิงในส่วนของเวลาในการเดิน ทางผู้วิจัยได้อ้างอิงจากเพศและอายุของพนักงานหยิบสินค้าในคลังสินค้า [9] โดยส่วนมากพนักงานหยิบจะเป็นเพศหญิง อายุประมาณ 20-29 ปี ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบจากพนักงานเพศหญิงคนเดียวกัน จากสถิติความเร็วในการเดินของเพศหญิงช่วงอายุ 20-39 ปี นั้นอยู่ที่ 1.34 เมตรต่อวินาที จากอ้างอิง [12] เนื่องจากผู้เขียนบทความมีการอ้างอิงถึงข้อมูลที่มีการวิจัยทางการกายภาพและการเก็บสถิติการเดินที่หลากหลายในทั้งเพศ และอายุ เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่1 ระยะทางการเดินและระยะทางที่ใช้ในการหยิบต่อรอบหยิบในแต่ละวัน (รูปแบบเดิม)

Date	Distance (m.)	Time (min.)	Average
1	2621.20	58.54	3.9%
2	2799.10	62.51	4.2%
3	2671.80	59.67	4.0%
4	2230.10	49.81	3.3%
5	2944.30	65.76	4.4%
6	3038.80	67.87	4.5%
7	2453.10	54.79	3.6%
8	2979.90	66.55	4.4%
9	2856.50	63.80	4.2%
10	2587.80	57.79	3.8%
11	2436.50	54.42	3.6%
12	2855.20	63.77	4.2%
13	2552.40	57.00	3.8%
14	2794.45	62.41	4.2%
15	2684.20	59.95	4.0%
16	2336.85	52.19	3.5%
17	2713.90	60.61	4.0%
18	2723.30	60.82	4.0%
19	2503.00	55.90	3.7%
20	2838.20	63.39	4.2%

ตารางที่1 ระยะทางการเดินและระยะทางที่ใช้ในการหยิบต่อรอบหยิบในแต่ละวัน (รูปแบบเดิม) (ต่อ)

Date	Distance (m.)	Time (min.)	Average
21	2683.00	59.92	4.0%
22	2495.90	55.74	3.7%
23	2827.85	63.16	4.2%
24	3049.50	68.11	4.5%
25	2621.10	58.54	3.9%
Total	67297.95	1502.99	100%

จากตารางที่ 1 พบว่า ภายใน 1 เดือนพนักงานใช้เวลาในการเดินทั้งหมด 1,502.99 นาที และใช้ระยะทางในการเดินหยิบอะไหล่รถยนต์ทั้งหมด 67,297.95 เมตร โดยจะคำนวณจากระยะทางจริงเริ่มจากจุดเริ่มต้น เดินไปยังจุดหมายที่ 1 และจุดหมายที่ 2 ไปยังจุดหมายที่ 3 เป็นต้น

2.2 การวิเคราะห์ด้วย ABC (ABC analysis)

หลังจากที่วิเคราะห์และทำความเข้าใจกับข้อมูลแล้ว ก็นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความถี่ในการหยิบของแต่ละ SKU โดยใช้เครื่องมือที่ชื่อว่า ‘ABC analysis’ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ผ่าน Pivot table ของโปรแกรม Excel เพื่อหาความถี่สะสมของสินค้าแต่ละ SKUs และทำการแบ่งพื้นที่การจัดเก็บสินค้า โดยจะทำแบ่งเป็น 3 โซน A, B และ C โดยจะแบ่งตามเกณฑ์ 80%, 15% และ 5% ตามลำดับ

- โซน A ที่มีจำนวนเปอเซ็นต์สะสม 80% มีทั้งหมด 1,550 SKUs ใช้ Location ทั้งหมด 78 locations
- โซน B ที่มีจำนวนเปอเซ็นต์สะสม 15% มีทั้งหมด 1,006 SKUs ใช้ Location ทั้งหมด 51 locations
- โซน C ที่มีจำนวนเปอเซ็นต์สะสม 5% มีทั้งหมด 336 SKUs ใช้ Location ทั้งหมด 17 locations

2.3 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ (Association rules)

หลังจากที่เราจัดเรียงลำดับสินค้าตามความถี่แล้วก็จะมาเริ่มหาความสัมพันธ์ของสินค้าแต่ละ SKUs เพื่อที่เราจะได้นำสินค้านั้นๆ มาวางคู่กันเพื่ออำนวยความสะดวกและรวดเร็วให้กับพนักงานหยิบ [7-8]

ขั้นตอนที่ 1 นำข้อมูลของการหยิบทั้งหมดมาแจกแจงตารางโดยใช้ Pivot table ผ่านโปรแกรม Microsoft Excel โดยสินค้าที่จะถูกหยิบในช่วงเวลานั้นๆคือ 1 และทำเป็นไฟล์ให้เป็นไฟล์สกุล CSV (Comma-Separated Value) เพื่อที่จะนำไปใช้ในการหา Association rules ต่อในโปรแกรม Python3

DAY	1								
Row Labels	8:00 AM	9:00 AM	10:00 AM	11:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	2:00 PM	3:00 PM	4:00 PM
206068H30A	1			1					
G2G1689900		1						1	
112106091									
622253BG0A						1			
210515EK0A									
14035ED800									
155310501									
C9GDA6N20H									
990984JA0C									
4870306F0A									
13270EE50A									
277323VA0A									
140351HC0A				1					
206955WJ0A									
206955TA0B									
16600EN200				1					
622243BG0A						1			
166001KT0A									
206951HJ5D									
668944CL0A									
474781HJ1A									
317263JX0A									1
2101000Q3K									
113503TS0B			1						
487001HH2B				1					

รูปที่ 2 ตัวอย่างตารางการนำข้อมูลมาแจกแจงโดยการทำ Pivot table

ขั้นตอนที่ 2 เราจะนำไฟล์ CSV ที่ทำมาไปใช้ต่อกับโปรแกรม Python3 โดยคำนวณผ่าน Platform ของ Google Colab ซึ่งจะใช้คำสั่ง Apriori และกำหนดค่า Min_support=0.02 สาเหตุที่ตั้งค่า Min support ไว้ที่ 0.02 นั้นก็เพราะว่าได้ทำการสุ่มรันตัวเลขไปเรื่อยๆ จนเจอค่าที่เหมาะสมที่สุดที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของสินค้าที่มีความสัมพันธ์ต่อกันมากที่สุด

```
freq_items = apriori(ohe_df, min_support=0.02, use_colnames=True)
#freq_items.head(100)
print(freq_items)
```

```
     support                          itemsets
0   0.054545                      (622253BG0A)
1   0.051948                      (14035ED800)
2   0.020779                      (622234JA0A)
3   0.036364                      (474781HJ1A)
4   0.025974                      (543258271R)
..       ...                               ...
127 0.038961          (206955TA0B, 206068H30A)
128 0.038961          (206068H30A, 206955WJ0A)
129 0.054545           (210515EK0A, 112106091)
130 0.020779          (D86401AA1A, D85201AA1A)
131 0.038961  (206955TA0B, 206068H30A, 206955WJ0A)

[132 rows x 2 columns]
```

รูปที่ 3 คำสั่ง Source code ที่ใช้สำหรับหาความสัมพันธ์ในโปรแกรม Python3

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากที่ได้ Itemset ภายใต้การกำหนดค่า Min support ที่ 0.02 แล้ว ก็จะนำมาคัดกรองข้อมูลอีกครั้ง โดยกำหนดค่า Min_threshold=0.5 หรือเรียกว่าค่า Confidence เพื่อที่จะหาสินค้าที่มีความสัมพันธ์ต่อกันจริงๆ เนื่องจากสินค้าอะไหล่รถยนต์นี้มีความหลากหลายมากๆ และมีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย ดังนั้นผู้จัดจึงตัดสินใจที่จะตั้งค่า Confidence ไว้ที่ 0.5 เพื่อที่จะได้ทราบถึงสินค้าที่มีความสัมพันธ์ต่อกันแบบชัดเจน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะได้กลุ่มความสัมพันธ์ของสินค้ามาทั้งหมด 8 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1: 622243BG0A (แป้นยึดกันชนหน้าขวา), 622253BG0A (แป้นยึดกันชนหน้าซ้าย)

กลุ่มที่ 2: 487001HH2B (ชุดล็อคคอพวงมาลัยกดปุ่มสตาร์ท), 4870306F0A (สกรูล็อคคอพวงมาลัย)

กลุ่มที่ 3: 546181AA0A (ก้านต่อเหล็กกันโคลงหน้า), 546681AA0A (ก้านเหล็กกันโคลง)

กลุ่มที่ 4: 668944CL0A (แผงปิดบังโคลนในข้างขวา), 668954CL0A (แผงปิดบังโคลนในข้างซ้าย)

กลุ่มที่ 5: 206955WJ0A (แผ่นรองข้อต่อปากท่อไอเสีย1), 206955TA0B (แผ่นรองข้อต่อปากท่อไอเสีย2), 206068H30A (โบทล์ยึดท่อไอเสีย)

กลุ่มที่ 6: 112106091 (โบลท์), 210515EK0A (มู่เล่ย์ปั๊มน้ำ)

กลุ่มที่ 7: D85201AA1A (ลูกหมากคันส่งนอกขวา), D86401AA1A (ลูกหมากคันส่งนอกซ้าย)

กลุ่มที่ 8: 210104BC0A (ปั๊มน้ำ), 210144BC0A (ปะเก็นปั๊มน้ำ)

ซึ่งกลุ่มของความสัมพันธ์ของสินค้าทั้ง 8 กลุ่มนี้ เป็นสินค้าอยู่ในโซน A ทั้งหมด

antecedents	consequents	antecedent support	consequent support	support	confidence	lift
(622243BG0A)	(622253BG0A)	0.041558	0.054545	0.028571	0.687500	12.604167
(622253BG0A)	(622243BG0A)	0.054545	0.041558	0.028571	0.523810	12.604167
(487001HH2B)	(4870306F0A)	0.033766	0.049351	0.020779	0.615385	12.469636
(546181AA0A)	(546681AA0A)	0.028571	0.031169	0.028571	1.000000	32.083333
(546681AA0A)	(546181AA0A)	0.031169	0.028571	0.028571	0.916667	32.083333
(668944CL0A)	(668954CL0A)	0.031169	0.031169	0.025974	0.833333	26.736111
(668954CL0A)	(668944CL0A)	0.031169	0.031169	0.025974	0.833333	26.736111
(206955WJ0A)	(206955TA0B)	0.044156	0.044156	0.044156	1.000000	22.647059
(206955TA0B)	(206955WJ0A)	0.044156	0.044156	0.044156	1.000000	22.647059
(206068H30A)	(206955TA0B)	0.077922	0.044156	0.038961	0.500000	11.323529
(206955TA0B)	(206068H30A)	0.044156	0.077922	0.038961	0.882353	11.323529

รูปที่ 4 ตารางผลลัพท์จากการทำงานบนโปรแกรม Python3

2.4 ตัวแบบการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า (Storage location assignment model)

การออกแบบจากการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการดำเนินการผ่าน Open solver โดยทางผู้จัดจะเลือกทำแค่สินค้าที่อยู่ใน โซน A เนื่องจากการทำ Optimal model เป็นการออกแบบการจัดวางโดยที่ไม่สนใจความสัมพันธ์ของสินค้าเลย และสินค้าที่มีความสัมพันธ์กันนั้นอยู่ในโซน A ทั้งหมด มีสินค้าทั้งหมด 1,550 SKUs

ขั้นตอนที่ 1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กำหนดสมการเชิงเส้น (Linear programing)

ดัชนี (Index):

i คือ สินค้าแต่ละ SKUs ภายในคลังสินค้า

j คือ ตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า (Storage Location)

I คือ เซตของสินค้าแต่ละ SKUs = $\{1,2,3,\dots,1550\}$

J คือ เซตของตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า (Storage Location Number) = $\{1,2,\dots,78\}$

พารามิเตอร์ (Parameter):

D_{ij} คือ ระยะทางของการจัดวางสินค้าของแต่ละ SKUs i ไปจัดเก็บที่ location j ถึงทางออก

F_i คือ ความถี่ของการหยิบสินค้าของแต่ละ SKUs i

Q_j คือ ปริมาณความจุของตำแหน่งจัดเก็บสินค้า Storage Location j ที่สามารถจัดเก็บได้ หน่วยเป็น Storage Bin โดยที่ $Q_j \leq 20$

q_i คือ ปริมาณสินค้า SKUs i ในแต่ละตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า Storage bin ที่สามารถจัดเก็บได้หน่วยเป็นชิ้น โดยที่ $q_i \leq 50$

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable):

X_{ij} = 1 คือ SKU i ที่ถูกจัดเก็บในตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า j ; 0 คือ otherwise

สมการเป้าหมาย (Objective function):

Minimize travel distance =

$$\sum_{i=1}^{1550}\sum_{j=1}^{78}(2 \times F_i \times D_{ij} \times X_{ij}) \quad \text{- (1)}$$

สมการเงื่อนไข (Constraints):

$$\sum_{i \in I} X_{ij} = 1 \qquad \forall j \in J \quad \text{- (2)}$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1 \qquad \forall i \in I \quad \text{- (3)}$$

$$\sum_{j \in J} q_i X_{ij} \leq Q_j \qquad \forall i \in I \quad \text{- (4)}$$

$$X_{ij} \geq 0$$

ขั้นตอนที่ 2 สร้างตารางเพื่อระบุระยะทางของแต่ละ location และทำตาราง matrix โดยนำความถี่ของการหยิบแต่ละ SKU มาคูณกับระยะทางของ location นั้นๆ เพื่อที่จะนำมาใช้ในการทำ Open solver

	pick face	A02D	A02W	A02C	A02X	A02B	A02Y	A02A
	distance	2750	2750	3050	3050	3350	3350	3650
SKU	Frequency	A02D	A02W	A02C	A02X	A02B	A02Y	A02A
206068H30A	31	85250	85250	94550	94550	103850	103850	113150
G2G1689900	30	82500	82500	91500	91500	100500	100500	109500
112106091	26	71500	71500	79300	79300	87100	87100	94900
622253BG0A	23	63250	63250	70150	70150	77050	77050	83950
210515EK0A	23	63250	63250	70150	70150	77050	77050	83950
200743LT0A	23	63250	63250	70150	70150	77050	77050	83950
14035ED800	21	57750	57750	64050	64050	70350	70350	76650
155310501	20	55000	55000	61000	61000	67000	67000	73000
C9GDA6N20H	19	52250	52250	57950	57950	63650	63650	69350
990984JA0C	19	52250	52250	57950	57950	63650	63650	69350
4870306F0A	19	52250	52250	57950	57950	63650	63650	69350
13270EE50A	19	52250	52250	57950	57950	63650	63650	69350
277323VA0A	18	49500	49500	54900	54900	60300	60300	65700
16600EN200	18	49500	49500	54900	54900	60300	60300	65700
140351HC0A	17	46750	46750	51850	51850	56950	56950	62050
206955WJ0A	17	46750	46750	51850	51850	56950	56950	62050
206955TA0B	17	46750	46750	51850	51850	56950	56950	62050
622243BG0A	16	44000	44000	48800	48800	53600	53600	58400

รูปที่ 5 ตัวอย่างตาราง Matrix ที่นำไปใช้ในการทำ Open solver

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดสมการเชิงเส้นสำหรับการกด Solve

- Objective: Minimize travel distance หรือ D_{ij} ระยะทางของการจัดวางสินค้าของแต่ละ SKUs i ไปจัดเก็บที่ location j ถึงทางออก
- Variable: ช่อง cell ที่จะกำหนดว่า SKU ไหน จะวางที่ location ไหน
- Constrain: กำหนดให้ X_{ij} เป็น Binary 1,0

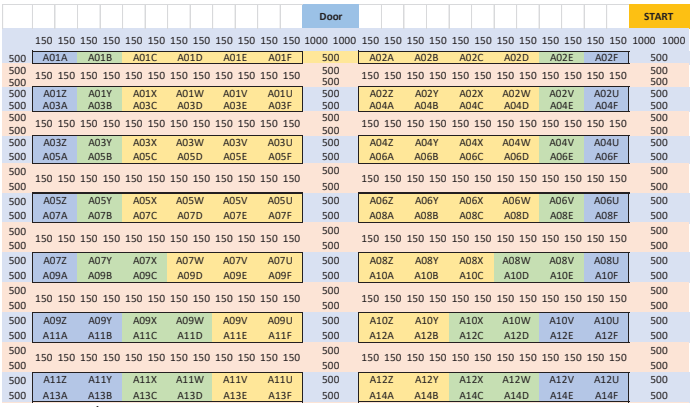
ผลรวมของ $q_i X_{ij}$ ต้องมีค่า $\leq$ 20 โดยที่ X_{ij} ต้องมีค่า $\geq$ 0

หลังจากที่ได้ผลลัพธ์จากการทำ Open solver ก็จะระบุตำแหน่งของ SKUs นั้นๆ และจะนำไปเปรียบเทียบกับการออกแบบการจัดวางสินค้าต่อไป

2.5 การออกแบบจัดวาง (Design layout)

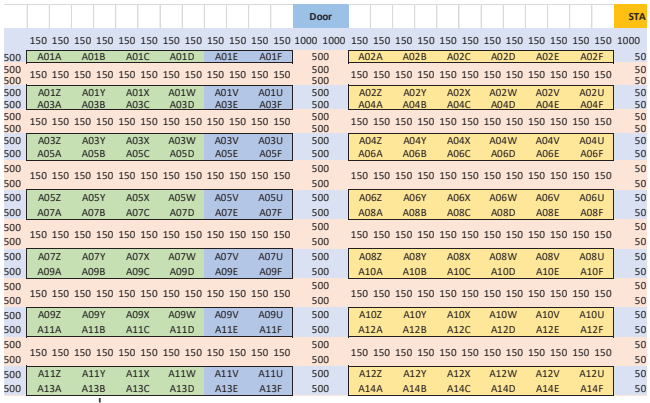
ทางผู้จัดได้ทำการออกแบบรูปแบบการจัดเก็บใหม่เพื่อให้เอื้ออำนวยกับการเดินหยิบมากที่สุด โดยได้ทำการออกแบบรูปแบบการจัดเก็บทั้งหมด 2 แบบ

1) Angled layout จะจัดวางตามโซนของสินค้า โดยจะจัดวางเป็นรูปตัว V และจะแบ่งโซนการจัดวางสีเหลืองเป็นสินค้าที่อยู่ในโซน A มีทั้งหมด 92 locations, สีเขียวจะเป็นสินค้าที่อยู่ในโซน B มีทั้งหมด 102 locations, และสีฟ้าจะเป็นสินค้าที่อยู่ในโซน C มีทั้งหมด 146 locations



รูปที่ 6 การออกแบบการจัดเก็บสินค้าแบบ Angled layout

2) Corner layout จัดวางจากมุมของคลังสินค้า และจะแบ่งโซนการจัดวางสีเหลืองเป็นสินค้าที่อยู่ในโซน A มีทั้งหมด 78 locations, สีเขียวจะเป็นสินค้าที่อยู่ในโซน B มีทั้งหมด 58 locations, และสีฟ้าจะเป็นสินค้าที่อยู่ในโซน C มีทั้งหมด 92 locations ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การออกแบบการจัดเก็บสินค้าแบบ Corner layout

หลังจากที่ออกแบบรูปแบบผังการจัดวางเรียบร้อยแล้วก็จะนำผลลัพธ์จากการทำ ABC analysis, Association rules, และ Optimal model นำมาจัดวางในผังทั้งสองแบบ และทำการเปรียบเทียบในขั้นตอนต่อไป

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการหยิบสินค้าภายใน 1 เดือนมีใบ Pick list ทั้งหมด 385 ใบ โดยใช้พนักงานในการหยิบคนเดียว ซึ่งเป็นเพศหญิง ช่วงอายุประมาณ 20-29 ปี โดยผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละรูปแบบมีตามด้านล่างดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์การปรับตำแหน่งการจัดวางสินค้าโดยใช้ ABC analysis

Zone A จะมีสินค้าทั้งหมด 1,550 SKUs โดยจะใช้ 78 locations ในการจัดเก็บ

Zone B จะมีสินค้าทั้งหมด 1,006 SKUs โดยจะใช้ 51 locations ในการจัดเก็บ

Zone C จะมีสินค้าทั้งหมด 336 SKUs โดยจะใช้ 17 locations ในการจัดเก็บ

โดยเราจะนำข้อมูลข้างต้นนี้ ไปปรับกับข้อมูลการหยิบที่เราได้รับมาซึ่งจะมีใบสั่งในการหยิบทั้งหมด 385 ใบภายในระยะเวลาทั้งหมด 25 วัน และนำมาเปรียบเทียบเพื่อที่จะเลือกรูปแบบที่ช่วยประหยัดเวลาและระยะทาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้แก่พนักงานหยิบสินค้า

หลังจากที่นำผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ไปปรับเปลี่ยนการจัดวางสินค้าก็พบว่าการวางแบบ Angled layout นั้นสามารถช่วยลดระยะทางและเวลาในการเดินหยิบสินค้ามากที่สุด โดยลดระยะทางจากเดิมไปทั้งหมด 49,094.9 เมตร และลดระยะเวลาจากเดิมไปทั้งหมด 1,096.46 นาที โดยคิดเป็น 72.95%

3.2 ผลการวิเคราะห์การปรับตำแหน่งการจัดวางสินค้าโดยใช้ Association rules

หลังจากที่ได้ผลลัพธ์หลังจากการวิเคราะห์ผ่าน Python3 ก็จะนำผลลัพธ์ไปจัดเรียงใหม่โดยนำสินค้าที่มีความสัมพันธ์กันมาวางไว้ข้างกันเพื่อที่จะได้สะดวกและหยิบได้อย่างรวดเร็ว โดยผลลัพธ์จะได้ตามรูปที่ 8 หลังจากที่นำผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ไปปรับเปลี่ยนการจัดวางสินค้าก็พบว่าการวางแบบ Angled layout นั้นสามารถช่วยลดระยะทางและเวลาในการเดินหยิบสินค้ามากที่สุด โดยลดระยะทางจากเดิมไปทั้งหมด 49,168 เมตร และลดระยะเวลาจากเดิมไปทั้งหมด 1,098.09 นาที โดยคิดเป็น 73.06%

Day	Original		Class-based Association layout					
			Angled layout			Corner layout		
	Time (min.)	Distance (m.)	Time (min.)	Distance (m.)	% Reduction	Time (min.)	Distance (m.)	% Reduction
1	58.54	2621.20	16.23	726.50	**-72.28%**	16.77	751.00	-71.35%
2	62.51	2799.10	19.12	856.00	**-69.42%**	20.62	923.30	-67.01%
3	59.67	2671.80	16.53	740.10	**-72.30%**	18.17	813.80	-69.54%
4	49.81	2230.10	14.84	664.40	**-70.21%**	15.28	684.20	-69.32%
5	65.76	2944.30	15.63	699.90	**-76.23%**	16.35	731.95	-75.14%
6	67.87	3038.80	19.54	875.00	**-71.21%**	20.37	912.30	-69.98%
7	54.79	2453.10	15.48	693.30	**-71.74%**	15.81	707.70	-71.15%
8	66.55	2979.90	17.92	802.55	**-73.07%**	18.60	833.05	-72.04%
9	63.80	2856.50	17.23	771.60	**-72.99%**	18.32	820.10	-71.29%
10	57.79	2587.80	13.82	618.80	**-76.09%**	15.01	672.10	-74.03%
11	54.42	2436.50	15.70	702.80	**-71.16%**	16.42	735.20	-69.83%
12	63.77	2855.20	16.94	758.45	**-73.44%**	18.56	831.10	-70.89%
13	57.00	2552.40	15.49	693.80	**-72.82%**	15.82	708.40	-72.25%
14	62.41	2794.45	16.14	722.50	**-74.15%**	17.50	783.40	-71.97%
15	59.95	2684.20	16.91	757.30	-71.79%	16.52	739.60	**-72.45%**
16	52.19	2336.85	14.06	629.50	**-73.06%**	15.10	676.00	-71.07%
17	60.61	2713.90	16.83	753.70	**-72.23%**	17.10	765.80	-71.78%
18	60.82	2723.30	16.22	726.15	**-73.34%**	17.11	766.20	-71.87%
19	55.90	2503.00	15.46	692.20	**-72.35%**	15.95	714.20	-71.47%
20	63.39	2838.20	16.78	751.30	**-73.53%**	17.45	781.15	-72.48%
21	59.92	2683.00	15.34	687.00	**-74.39%**	16.43	735.50	-72.59%
22	55.74	2495.90	15.39	688.90	**-72.40%**	16.02	717.35	-71.26%
23	63.16	2827.85	16.61	743.80	**-73.70%**	17.64	789.80	-72.07%
24	68.11	3049.50	19.08	854.50	**-71.98%**	20.06	898.10	-70.55%
25	58.54	2621.10	11.61	519.90	**-80.16%**	12.50	559.80	-78.64%
Total	1502.99	67297.95	**404.90**	**18129.95**	**-73.06%**	425.47	19051.10	**-71.69%**

รูปที่ 8 ผลลัพธ์หลังจากที่ปรับผังการจัดวางโดยใช้ Association rule

3.3 ผลการวิเคราะห์การปรับตำแหน่งการจัดวางสินค้าโดยใช้ Optimization model

เนื่องจากผลของการวิเคราะห์ของสองรูปแบบแรกนั้น รูปแบบ Angled layout นั้นประหยัดระยะทางและเวลามากที่สุด จึงตัดสินใจที่จะเทียบผลการวิเคราะห์ของการจัดวางสินค้าแค่แบบ Angled layout สำหรับ Optimal model เท่านั้น ซึ่งจะนำผลหลังจากการกด Open solver นำมาจัดเรียงใหม่โดยจะเปรียบเทียบทั้งหมด 25 วัน

Day	Original		Class-based Optimal model Angled layout		
	Time (min.)	Distance (m.)	Time (min.)	Distance (m.)	% Reduction
1	58.54	2621.20	16.16	723.50	-72.40%
2	62.51	2799.10	18.82	842.60	-69.90%
3	59.67	2671.80	16.63	744.60	-72.13%
4	49.81	2230.10	14.38	644.00	-71.12%
5	65.76	2944.30	15.69	702.60	-76.14%
6	67.87	3038.80	19.29	863.60	-71.58%
7	54.79	2453.10	15.29	684.50	-72.10%
8	66.55	2979.90	17.98	805.05	-72.98%
9	63.80	2856.50	17.81	797.40	-72.08%
10	57.79	2587.80	14.40	644.90	-75.08%
11	54.42	2436.50	15.62	699.60	-71.29%
12	63.77	2855.20	17.85	799.20	-72.01%
13	57.00	2552.40	15.22	681.40	-73.30%
14	62.41	2794.45	16.60	743.20	-73.40%
15	59.95	2684.20	16.41	734.60	-72.63%
16	52.19	2336.85	14.15	633.60	-72.89%
17	60.61	2713.90	16.87	755.30	-72.17%
18	60.82	2723.30	16.32	730.80	-73.16%
19	55.90	2503.00	15.41	690.00	-72.43%
20	63.39	2838.20	16.69	747.20	-73.67%
21	59.92	2683.00	15.97	714.90	-73.35%
22	55.74	2495.90	15.16	678.60	-72.81%
23	63.16	2827.85	17.27	773.30	-72.65%
24	68.11	3049.50	18.84	843.70	-72.33%
25	58.54	2621.10	12.37	553.80	-78.87%
Total	1502.99	67297.95	407.18	18231.95	**-72.91%**

รูปที่ 9 ผลลัพธ์หลังจากที่ปรับผังการจัดวางโดยใช้ Optimal model

หลังจากที่นำผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ไปปรับเปลี่ยนการจัดวางสินค้าก็พบว่าการวางแบบ Angled layout นั้นช่วยลดระยะทางและเวลาในการเดินหยิบสินค้าจากเดิมไปทั้งหมด 49,066 เมตร และลดระยะเวลาจากเดิมไปทั้งหมด 1,095.81 นาที โดยคิดเป็น 72.91%

3.4 สรุปผลระยะทางการเดินเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง

หลังจากที่ทำการปรับปรุงพื้นที่ครบทั้งหมดแล้วจากการเปรียบเทียบระยะทางในการเดินหยิบสินค้าทั้งหมด 25 วัน โดยมี Pick list ทั้งหมด 385 ใบ

ตารางที่ 2 ตารางสรุปผล

		Time	Distance
Original		1,502.99	67,297.95
Class-based ABC layout	Angled layout	406.53	18,203.05
	Corner layout	425.84	19,067.40
Class-based Association layout	Angled layout	404.90	18,129.95
	Corner layout	425.47	19,051.10
Class-based Optimal model	Angled layout	407.18	18,231.95

จากตารางด้านบน จะเห็นได้ว่าการจัดวางสินค้าตามแผนผังภายใต้การทำ Class-based Association layout นั้นสามารถลดระยะทางและระยะเวลาได้มากที่สุด จากเดิม 67,297.95 เมตร ใช้เวลาทั้งหมด 1,502.99 นาที เหลือเพียง 18,129.95 เมตร โดยใช้เวลาไปทั้งหมดเพียง 404.90 นาที

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการปรับตำแหน่งการจัดวางสินค้า และออกแบบแผนผังการจัดเก็บสินค้า และเปรียบเทียบการจัดวางทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) Class-based ABC layout, 2) Class-based Association layout และ 3) Class-based Optimal model แต่ละรูปแบบการจัดเก็บนั้นช่วยลดระยะทางและระยะเวลา ในการเดินหยิบสินค้าซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่คลังสินค้าเป็นอย่างมาก สามารถเห็นได้จากผลการวิเคราะห์จากหัวข้อที่ 3 ซึ่งสามารถลดระยะทางและเวลาเฉลี่ยมากกว่า 70% ในทุกๆรูปแบบ ทำให้ Flow ของการทำงานนั้นดีขึ้น เนื่องจากพนักงานใช้เวลาหยิบน้อยลง ทำให้เดินไปส่งสินค้าได้เร็วขึ้นโดยที่ไม่ขัดจังหวะในการผลิต และยังช่วยให้ลูกค้านั้นได้รับสินค้าอย่างรวดเร็วอีกด้วยซึ่งอาจจะทำให้ความพึงพอใจของลูกค้านั้นเพิ่มขึ้นไปอีก ผลจากการวิเคราะห์พบว่า การจัดเก็บแบบ Class-based Association layout นั้นสามารถลดระยะทางและระยะเวลาได้มากที่สุด โดยลดระยะทางจากเดิม 49,168 เมตร ลดระยะเวลาไป 1,098.09 นาที คิดเป็น 73.06% ซึ่งถือว่าเป็นรูปแบบที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหยิบมากที่สุด

ข้อเสนอแนะและการประยุกต์ใช้

-สร้าง Simulation เพื่อจำลองสถานการณ์จริง และออกแบบกระบวนการต่างๆในระบบจริง เพื่อพิสูจน์ว่าผลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ได้จริง และมีประสิทธิภาพจริงตามที่ได้วิเคราะห์

- เพิ่มประสิทธิภาพในการหยิบสินค้าของพนักงาน ด้วยการจัดอบรม และฝึกฝนทักษะพนักงาน นอกจากนั้นการพิจารณานำเทคโนโลยีเช่น Pick to light และ Barcode scanner เป็นต้น เข้ามาช่วยพนักงานจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] อรรคเดช อุบลไทร และอัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์, “การประยุกต์ใช้กฎความสัมพันธ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดวางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัทจัดจำหน่ายสินค้าบรรจุภัณฑ์ขนมและอาหารแห่งหนึ่ง”, Thai Journal of Operations Research: TJOR Vol 9 No 2 (July - December 2021).

[2] ณัฐปรียา ฉลาดแย้ม, ประกายกาณ์ ชูศร, ยุภาพร ตงประสิทธ, “การวิเคราะห์แบบเอบีซี ABC analysis จาก DPU Research (kku.ac.th), 2560

[3] ขวัญวรา หอมทรัพย์, “การประยุกต์ใช้ Linear Programming สำหรับการวางแผนจัดการวัตถุดิบสำหรับเปอร์นิเจอร์ขนาดย่อม”, การค้นคว้าอิสระบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต,คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2560.

[4] นันทวุฒิ คะอังกุ, “วิธีแบ่งช่วงข้อมูลสำหรับการหากฎความสัมพันธ์”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2555.

[5] ภัสฐนันท์ ชาติมนตรี, “การเพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่จัดเก็บสินค้าในระหว่างกระบวนการผลิต”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2559.

[6] ขนิษฐา เลาหวิชิตศักดิ์ และอัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์, “การประยุกต์ใช้ตัวแบบสองระดับสำหรับการจัดกลุ่มและ ระบุตำแหน่งการวางสินค้าในการปรับปรุงผังคลังสินค้าแบบสินค้าที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มผลิตภัณฑ์”, Thai Journal of Operations Research: TJOR Vol 9 No 2 (July - December 2021).

[7] ณัฐพัชร์ เศรษฐเสถียร และนัทธมน มยุระสาคร, Association rules: เครื่องมือเพื่อการวิเคราะห์ตะกร้าตลาด, ค้นคว้าวันที่ 7 มิถุนายน 2564 จาก www.bigdata.go.th

[8] Harsh, Association Analysis in Python: Frequent item set mining using Apriori algorithm in Python, 2019 จาก https://medium.com/analytics-vidhya/association-analysis-in-python-2b955d0180c

[9 Emily Cronkleton, Average walking speed, 2019 https://www.healthline.com/health/exercise-fitness/average-walking-speed#average-speed-by-age

การพยากรณ์สินค้าคงค้างด้วยการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับข้อมูลไม่สมดุล

Backorder Prediction Using Machine Learning for Imbalanced Data Classification

ธิรดา ธาดาจิรสกุล[1*] ปุณณมี สัจจกมล[1] ปวีณา เชาวลิตวงศ์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: Thirada.Thada@gmail.com*

Thirada Thadajirasakul[1*], Punnamee Sachakamol[1], Paveena Chaovalitwongse[1]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: Thirada.Thada@gmail.com*

บทคัดย่อ

การใช้การเรียนรู้ของเครื่องในการพยากรณ์สินค้าคงค้างกับข้อมูลที่มีรายการสินค้าเป็นจำนวนมากจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น ซึ่งในความเป็นจริงข้อมูลที่เจอมักมีความไม่สมดุลทำให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยการเรียนรู้ของเครื่องลดลง การพยากรณ์สินค้าคงค้างที่ไม่ถูกต้องนั้นส่งผลต่อความไว้วางใจของผู้ซื้อและทำให้เสียค่าใช้จ่ายถึงร้อยละ 10 ของรายได้ งานวิจัยฉบับนี้จึงได้ศึกษาการปรับสมดุลข้อมูลด้วยวิธีสุ่มเพื่อสร้างตัวแบบที่มีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มน้อยสูง โดยวิธีการปรับข้อมูลมี 4 วิธีได้แก่ การปรับลดข้อมูลด้วยวิธี NearMiss-3, การปรับลดข้อมูลด้วยวิธี OSS, การปรับเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี SMOTE และการปรับลดผสมกับเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี OSS ผสมกับ SMOTE โดยอัลกอริทึมที่ใช้ได้แก่ LOGIST, FOREST และ XGBoost นอกจากนี้มีการใช้การตรวจสอบแบบไขว้แบบ 5 กลุ่มกับตัวแบบเพื่อป้องกันการเกิด Overfitting ในวิจัยฉบับนี้มีการวัดประสิทธิภาพของตัวแบบด้วย AUC และวัดความสามารถในการพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มน้อยด้วย Recall ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้คือการปรับข้อมูลให้สมดุลทำให้ตัวแบบมีความสามารถในการพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มน้อยมากกว่าข้อมูลที่ไม่สมดุล ยกเว้นการปรับลดข้อมูลด้วยวิธี OSS และการปรับลดและเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี OSS ผสมกับ SMOTE ให้ค่า AUC มากกว่า 0.9 และมีโอกาสในการพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มน้อยมากกว่า 0.7 นอกจากนี้ตัวแบบยังไม่เกิด Overfitting

คำสำคัญ: ความไม่สมดุลของข้อมูล, สินค้าคงค้าง, Sampling methods, Ensemble learning

Abstract

It is essential to use machine learning for predicting products' backorder to deal with massive data of SKU. Naturally, real world data is usually imbalanced data which is affect to the efficiency of machine learning. Mistaken predicting products' backorder negatively affects customer's service level and decrease 10 percent of their revenue. This research has studied adjusting data by sampling methods for creating efficient model and high forecast proficiency in minority class model. There are 4 methods for adjusting data including NearMiss-3 for undersampling dataset, One-Sided Selection (OSS) for undersampling dataset, SMOTE for oversampling dataset, and combining OSS and SMOTE dataset. LOGIST, FOREST and XGBoost are used as algorithms and Stratified 5-Fold Cross-Validation is used to prevent overfitting. In this research, AUC is used as the efficiency measurements and Recall is used as the measurement of forecast proficiency in minority class. As a result, adjusting data to be balanced positively affect to recall score to be better than the result of imbalanced data excluding OSS for undersampling. Finally, combining OSS and SMOTE method is achieved AUC greater than 0.9 and recall score of minority class more than 0.7 and overfitting does not occur in this model.

Keywords: Imbalanced data, Backorder, Sampling methods, Ensemble learning

1. บทนำ

การจัดการห่วงโซ่อุปทานคือการวางแผนสินค้าคงคลัง ที่ต้องตัดสินใจว่า เมื่อไรที่ควรสั่งซื้อ และควรสั่งซื้อเป็นจำนวนเท่าใด การพยากรณ์ความต้องการของผู้ซื้อเป็นเรื่องที่ท้าทาย เนื่องจากความต้องการของผู้ซื้อมาแบบไม่แน่นอน[1] หากผู้ซื้อปลายทางต้องการสินค้า แต่ไม่มีในคลังสินค้าทำให้เกิดการรอสินค้า ลักษณะนี้คือสินค้าคงค้าง [2,3] การพยากรณ์สินค้าคงค้างที่ไม่ถูกต้องส่งผลให้การจัดการสินค้าคงคลังแย่ลง ทำให้ผู้ขายต้องเสียค่าจ่ายมากถึงร้อยละ 10 ของรายได้ รวมถึงความไว้วางใจที่ลดลงของผู้ซื้อด้วย [2] ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาข้อมูลของบริษัทแห่งหนึ่ง ซึ่งมีรายการสินค้าจำนวนมาก การใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เข้ามาพยากรณ์สินค้าคงค้างจึงจำเป็นกับข้อมูลที่มีจำนวนมากและต้องการความแม่นยำในการทำนาย แต่เนื่องจากข้อมูลที่ศึกษาไม่สมดุลกันระหว่างรายการสินค้าที่ต้องการคงค้าง (ข้อมูลกลุ่มน้อย) กับรายการสินค้าไม่ต้องการคงค้าง (ข้อมูลกลุ่มมาก) ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการเรียนรู้ด้วยเครื่องลดลง ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงนำเทคนิคการปรับเพิ่ม / ลดข้อมูลด้วยวิธีสุ่มเพื่อปรับสมดุลข้อมูลและเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของตัวแบบ โดยในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาวิธีการปรับเพิ่ม / ลดข้อมูลจำนวน 4 วิธี ได้แก่ การปรับเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี SMOTE, การปรับลดข้อมูลด้วยวิธี NearMiss-3, การปรับลดข้อมูลด้วยวิธี OSS และการปรับลดผสมกับปรับเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี OSS ผสมกับ SMOTE ส่วนของอัลกอริทึมที่ศึกษาได้แก่ Random forest ,eXtreme Gradient Boosting และ Linear logistic regression โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบที่ปรับสมดุลข้อมูล กับข้อมูลเดิมที่ไม่ได้ปรับสมดุลด้วย AUC และ Recall

2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาข้อมูลไม่สมดุล เป็นปัญหาที่พบได้กับข้อมูลในโลกของความเป็นจริงเช่น การตรวจจับมลภาวะ การจัดการความเสี่ยง การตรวจจับการฉ้อโกงและการวินิจฉัยทางการแพทย์ ข้อมูลที่ไม่สมดุลคือจำนวนข้อมูลที่อยู่ในแต่ละกลุ่มที่สนใจมีอัตราส่วนที่ต่างกัน เช่นอัตราส่วนที่วินิจฉัยว่าเป็นมะเร็งหรือข้อมูลกลุ่มน้อย (Minority class) กับไม่เป็นมะเร็งหรือข้อมูลกลุ่มมาก (Majority class) อัตราส่วนที่พบในการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) อาจเป็น 1:100, 1:1,000 และ 1:10,000 ซึ่งการเรียนรู้ของเครื่องทั่วไปให้ผลความแม่นยำที่ดีแต่เป็นผลการพยากรณ์เฉพาะข้อมูลกลุ่มมาก เนื่องจากมองข้อมูลกลุ่มน้อยเป็นข้อมูลที่ผิดปกติจึงถูกมองข้ามในการเรียนรู้และพยากรณ์ไม่ได้ส่งผลต่อนโยบายสินค้าคงค้าง และส่งผลเสียต่อสินค้าคงคลัง [1-2]

งานวิจัยของ Santis และคณะ [1] ได้จัดการกับปัญหาดังกล่าวด้วยการปรับข้อมูลด้วยวิธีสุ่ม (Sampling) เพื่อสร้างความสมดุลของแต่ละกลุ่ม เนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการเรียนรู้ดีขึ้น โดยวิธีที่ใช้ปรับข้อมูลได้แก่ Random Under-Sampling (RUS) และ The Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) ซึ่งใช้ร่วมกับอัลกอริทึม Classification Tree นอกจากนี้ยังใช้วิธี Ensemble Learning ได้แก่ Random Forest (FOREST) ,Gradient Tree Boosting (GBOOST) และ Blagging (BLAG) เพื่อจัดกลุ่มด้วยข้อมูลที่ไม่ได้ปรับสมดุล ส่วนอัลกอริทึมพื้นฐานที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบคือ Logistic Regression (LOGIST) เนื่องจากเป็นอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมและง่ายกับการจัดกลุ่มที่มี 2 กลุ่ม โดยตัวแบบทั้งหมดมีการใช้วิธีการตรวจสอบแบบไขว้แบบ 5 กลุ่ม (Stratified 5-Fold Cross-Validation) เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด Overfitting ส่วนของการวัดประสิทธิภาพตัวแบบนั้นใช้ Area Under the ROC Curve (AUC) เนื่องจากวิธีนี้ระบุได้ว่าตัวใดที่เป็นตัวรบกวน และยังวัดความสามารถของการจำแนกข้อมูลได้ จากงานวิจัยได้ผลว่าตัวแบบที่ใช้อัลกอริทึม CART ที่มีการปรับข้อมูลให้สมดุลมีผลลัพธ์ดีกว่าข้อมูลที่ไม่มีการปรับสมดุล โดยการปรับเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี SMOTE ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการปรับลดข้อมูลด้วยวิธี RUS ส่วนตัวแบบที่ไม่ได้มีการปรับสมดุลพบว่าวิธี GBOOST ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดซึ่งวิธี BLAG ให้ผลลัพธ์ดีประมาณกัน [1]

นอกจากการสร้างตัวแบบในการพยากรณ์สินค้าคงค้าง และวัดประสิทธิภาพของตัวแบบด้วยความแม่นยำแล้ว งานวิจัยของ Hajek และคณะ [2] มีแนวคิดในการนำความแม่นยำของการพยากรณ์มาแปลงเป็นผลกำไรดังสมการที่ (1) โดยประยุกต์สมการเข้ากับตัวแบบเพื่อให้ตัวแบบเรียนรู้และหาตัวแบบที่ได้ผลกำไรจากการพยากรณ์มากที่สุด

$$\pi = b\left(\frac{TN}{TN+FP}\right) - c\left(\frac{FN}{FN+TP}\right) \qquad (1)$$

โดยที่ π คือผลกำไร TP (True Positive) คือจำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกต้องในกลุ่มมาก TN (True Negative) คือจำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกต้องในกลุ่มน้อย FP (False Positive) คือจำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่าอยู่ในกลุ่มมาก FN (False Negative) คือจำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่าอยู่ในกลุ่มน้อย b คืออัตรากำไรจากการขายและ c คือค่าใช้จ่ายคงคลัง

เทคนิคที่ใช้สำหรับการปรับสมดุลจะเป็นการดัดแปลง Clustering-Based Under-Sampling (CBUS) และใช้กับอัลกอริทึมพื้นฐานของการจัดกลุ่มอย่าง LOGIST และ k-Nearest Neighbor (kNN) นอกจากนี้ยังใช้กับอัลกอริทึมที่มีการศึกษาไม่นานมานี้อย่าง C4.5 Decision Tree, FOREST, Support Vector Machine (SVM) และ Multi-Layer Neural Network (NN) นอกจากวิธีสุ่ม CBUS แล้วยังใช้วิธีสุ่มอื่นเพื่อปรับสมดุลของข้อมูลได้แก่ RUS และ SMOTE สำหรับอัลกอริทึมทั้งหมด และใช้เทคนิค EasyEnsemble สำหรับ C4.5 Decision Tree นอกจากการวัดประสิทธิภาพด้วยผลกำไรกับอัลกอริทึมที่กล่าวมาข้างต้นเทียบกันแล้วยังวัดกับอัลกอริทึม eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) ด้วย นอกจากนี้ยังสนใจเรื่องเวลาในการเรียนรู้ของชุดข้อมูลสอนของแต่ละตัวแบบการพยากรณ์อีกด้วย ซึ่งจากงานวิจัยได้ผลว่า มีเพียง EasyEnsemble และ XGBoost เท่านั้นที่ทำงานได้ดีในแง่ของการวัดผลกำไร โดยตัวแบบที่ใช้วิธีสุ่ม CBUS สำหรับอัลกอริทึม FOREST ได้ผลกำไรประมาณร้อยละ 4 ซึ่งเป็นผลที่ดีที่สุด และยังได้ค่า AUC ดีที่สุดอีกด้วย แต่สำหรับตัวแบบอื่นที่ให้ค่า AUC ดีนั้นไม่ได้หมายความว่าจะ

สามารถวัดผลกำไรได้ ส่วนในด้านของเวลาพบว่า CBUS ที่วัดประสิทธิภาพด้วยผลกำไรใช้เวลาเรียนรู้เร็วที่สุด [2]

นอกจากการพยากรณ์สินค้าคงค้างด้วยอัลกอริทึมและวิธีวัดประสิทธิภาพของตัวแบบของงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว งานวิจัยของ Malviya และคณะ [3] ยังใช้ C5.0 Decision Tree, Bayesian network และ Discriminant analysis พยากรณ์และวัดประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมของงานวิจัยก่อนหน้าอย่าง FOREST , SVM, NN และ LOGIST ด้วยวิธีการวัดประสิทธิภาพของตัวแบบที่หลากหลาย ได้แก่ Precision, Recall, F Measure, AUC, Gini Coefficient และ Accuracy โดยในงานวิจัยนี้ไม่ได้กล่าวถึงการทำให้ข้อมูลสมดุลด้วยวิธีสุ่ม หรือการหลีกเลี่ยงการเกิด Overfitting ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบไขว้ จากงานวิจัยได้ผลว่าทุกอัลกอริทึมให้ผลของ Accuracy ดีมาก แต่ผลของ AUC จะได้ผลดีในกลุ่ม Ensemble Learning แต่กลับกันหากวัดด้วย F Measure ตัวแบบที่ให้ผลลัพธ์ดีคือ C5.0 , SVM และ LOGIST [3]

งานวิจัยของ Islam และคณะ [4] เป็นงานวิจัยล่าสุดที่พบเกี่ยวกับการพยากรณ์สินค้าคงค้างด้วยการใช้การเรียนรู้ของเครื่อง โดยมีวัตถุประสงค์ต่างจากวิจัยที่กล่าวมาก่อนหน้าด้วยการสร้างแนวทางการตัดสินใจว่าสินค้านี้ควรเป็นสินค้าคงค้างหรือไม่ เพื่อที่จะสามารถช่วยตัดสินใจกับข้อมูลขณะที่ไม่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ โดยงานวิจัยนี้จะไม่ใช้คุณลักษณะของข้อมูล (Attributes) ที่มีทั้งหมดแต่จะเลือกเฉพาะตัวที่มีผลกับการพยากรณ์มาก โดยในแต่ละคุณลักษณะจะมีการแบ่งช่วงเพื่อเรียนรู้ โดยอัลกอริทึมที่ใช้เรียนรู้นั้นเป็นเทคนิค Ensemble Learning ได้แก่ Distributed Random Forest (DRF) และ Gradient Boosting Machine (GBM) ทั้งสองอัลกอริทึมมีการใช้วิธีสุ่ม ทั้ง RUS และ SMOTE และวัดประสิทธิภาพด้วย LogLoss , AUC และ Mean per class error จากงานวิจัยได้ผลว่าการแบ่งช่วงของคุณลักษณะให้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นร้อยละ 20 และ DRF ให้ผลดีกว่า GBM [4]

จากการทบทวนวรรณกรรมได้ข้อสรุปว่า นิยมใช้วิธีการสุ่มในการจัดการปัญหาข้อมูลที่ไม่สมดุลเนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพของตัวแบบดีขึ้น และมักใช้การตรวจสอบแบบไขว้เพื่อเลี่ยงการเกิด Overfitting กลุ่มอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพที่ดีมักจะอยู่ในกลุ่ม Ensemble Learning ส่วนการวัดประสิทธิภาพที่นิยมใช้ได้แก่ AUC ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงใช้วิธีสุ่ม ด้วยวิธี Near Miss Undersampling-3 (NearMiss-3) ซึ่งเป็นการปรับลดจำนวนข้อมูลด้วยการเลือกเก็บข้อมูลจนจำนวนข้อมูลของทั้งสองกลุ่มเท่ากัน วิธีสุ่ม One-Sided Selection for Undersampling (OSS) เป็นการเลือกเก็บข้อมูล ผสมกับเลือกทิ้งข้อมูล โดยวิธีนี้จำนวนข้อมูลที่ปรับลดของข้อมูลกลุ่มมากอาจจะไม่เท่ากับข้อมูลกลุ่มน้อย แต่ก็ทำให้ข้อมูลมีความสมดุลมากขึ้น และวิธีสุดท้ายที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้วอย่าง SMOTE นอกจากนี้ยังใช้วิธีการปรับเพิ่มด้วยวิธี SMOTE ผสมกับปรับลดข้อมูลด้วยวิธี OSS ซึ่งในวิจัยที่กล่าวมาก่อนหน้ายังไม่ได้มีการศึกษาสำหรับการพยากรณ์สินค้าคงค้าง ส่วนอัลกอริทึมที่ใช้ในการพยากรณ์ได้แก่ LOGIST , FOREST และ XGBoost ซึ่งแต่ละอัลกอริทึมมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ภายในเพื่อให้ได้ตัวแบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด นอกจากนี้ยังหลีกเลี่ยงการเกิด Overfitting ด้วยการตรวจสอบแบบไขว้แบบ 5 กลุ่ม (Stratified 5-fold cross-validation) จากนั้นวัดประสิทธิภาพของตัวแบบที่ปรับข้อมูลเทียบกับการไม่ได้ปรับข้อมูลด้วย AUC และเปรียบเทียบโอกาสในการพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มน้อยของแต่ละตัวแบบด้วย Recall

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ชุดข้อมูล

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้ข้อมูลของบริษัทแห่งหนึ่งซึ่งสามารถเข้าถึงได้จาก ชุดข้อมูลของ Kaggle ในหัวข้อ Backorder Dataset Predict Backorder Product [5] ข้อมูลชุดนี้เป็นข้อมูลย้อนหลัง 8 สัปดาห์ ประกอบด้วยคุณลักษณะที่ใช้พยากรณ์ทั้งหมด 22 คุณลักษณะ และผลลัพธ์ 1 คุณลักษณะประกอบด้วย 2 กลุ่มซึ่งมีความไม่สมดุลเป็นอัตราส่วน 1: 137 คุณลักษณะดังกล่าวเป็นดังนี้

X1 : รหัสสินค้า (รหัสสินค้าไม่ซ้ำกัน)
X2 : จำนวนสินค้าคงคลัง
X3 : เวลาขนส่งจากต้นทางไปยังปลายทาง (วัน)
X4 : จำนวนสินค้าที่อยู่ระหว่างขนส่ง
X5-7 : คาดการณ์ยอดขายในอีก 3,6,9 เดือน
X8-11 : ปริมาณการขายในช่วงเวลา 1,3,6,9 เดือนที่ผ่านมา
X12 : จำนวนขั้นต่ำที่จัดเก็บ
X13 : จำนวนสินค้าที่ค้างจากแหล่งที่มา
X14-15 : ประสิทธิภาพของแหล่งที่มาในช่วง 6,12 เดือนที่ผ่านมา
X16 : จำนวนสินค้าที่ค้างส่ง
X17-22 : ลักษณะสินค้าทั่วไป
X23 : ความต้องการสินค้าคงค้าง

3.2 เทคนิคการปรับเพิ่มหรือลดข้อมูล

Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) เป็นเทคนิคการสังเคราะห์ข้อมูลกลุ่มน้อยด้วยอัลกอริทึมของ k-Nearest Neighbor (kNN) ซึ่งตำแหน่งข้อมูลที่สังเคราะห์จะคำนวณจากระยะทางของข้อมูลกลุ่มน้อยที่สุ่มขึ้นมา กับข้อมูลกลุ่มน้อยที่ใกล้เคียง k ตัว งานวิจัยฉบับนี้กำหนดให้ค่า k คือ 5 [6]

Near Miss Undersampling-3 (NearMiss-3) เป็นหนึ่งในเทคนิคในการปรับข้อมูลกลุ่มใหญ่ด้วยอัลกอริทึม kNN ซึ่งเป็นการเลือกเก็บข้อมูลกลุ่มใหญ่จากระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างข้อมูลกลุ่มน้อย โดยวิธีนี้จะเลือกเก็บเฉพาะข้อมูลกลุ่มใหญ่ที่อยู่ในขอบเขตการตัดสินใจ งานวิจัยฉบับนี้กำหนดให้ค่า k คือ 3 [7]

One-Sided Selection for Undersampling (OSS) เป็นหนึ่งในเทคนิคในการปรับลดข้อมูลกลุ่มใหญ่ด้วยการเลือกเก็บผสมกับการเลือกทิ้งข้อมูล วิธีนี้เป็นการรวมกฎของ วิธี Tomek Links ซึ่งจะลบข้อมูลกลุ่มใหญ่ที่คลุมเคลือภายใต้ขอบเขตการตัดสินใจ จากนั้นวิธี the Condensed Nearest Neighbor (CNN) จะลบข้อมูลกลุ่มใหญ่ที่อยู่ไกล

จากขอบเขตการตัดสินใจ งานวิจัยฉบับนี้กำหนดให้ค่า k คือ 1 และ seed คือ 500 [7, 8]

3.3 อัลกอริทึม

Logistic Regression (LOGIST) เป็นอัลกอริทึมที่ง่ายและนิยมใช้กับจำแนกตัวแปลที่มีสองค่า ซึ่งหลักการของอัลกอริทึมคือการหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ถ่วงน้ำหนักตัวแปรต้นแต่ละตัว จากนั้นแปลงผลลัพธ์ออกมาเป็นสองค่า นอกจากนี้ยังไวกับความไม่สมดุลของข้อมูลอีกด้วย อัลกอริทึมนี้จึงเหมาะกับงานศึกษาฉบับนี้ที่จำแนกว่าสินค้าใดที่จะเป็นสินค้าคงค้างหรือไม่เป็นสินค้าคงค้าง และยังใช้เป็นอัลกอริทึมพื้นฐานเพื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบอื่นอีกด้วย [1]

Random forest (FOREST) เป็นอัลกอรึทึมที่ใช้เทคนิค Ensemble Learning ด้วยวิธี Bootstrap Aggregation คือการรวมตัวแบบ Decision Tree ซึ่งแต่ละตัวแบบจะสุ่มข้อมูลออกมาแล้วพยากรณ์กลุ่ม ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ดีกว่า Decision Tree และลดการเกิด Overfitting [9, 10]

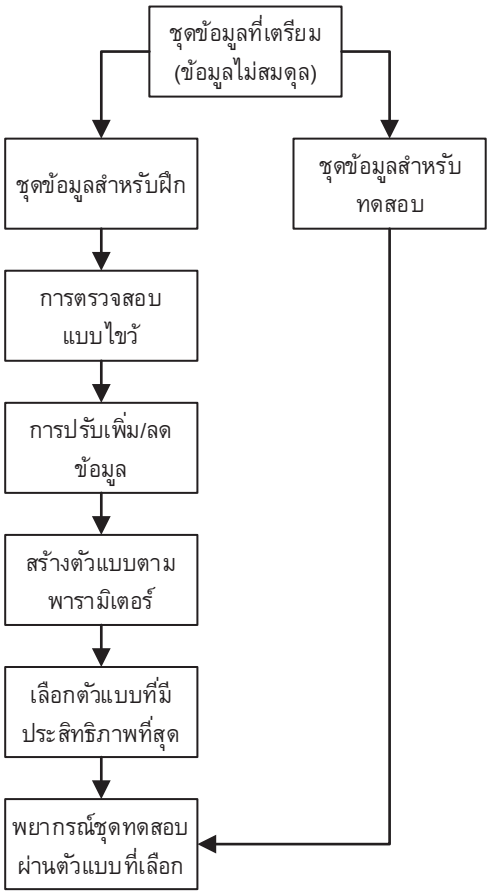
eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) เป็นอัลกอรึทึมที่ใช้เทคนิค Ensemble Learning ด้วยวิธี Boosting หรือก็คือการนำข้อผิดพลาดของตัวแบบก่อนมาฝึกให้กับตัวแบบใหม่จนได้ตัวแบบที่ดีที่สุด วิธีนี้จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องความแม่นยำต่ำ [9, 10]

3.4 การพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์

ในขั้นแรกผู้วิจัยได้เตรียมชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ของเครื่องด้วยการตัดข้อมูลที่ผิดปกติออกจากชุดข้อมูล จากนั้นเติมข้อมูลในแต่ละคุณลักษณะที่หายไป แปลงข้อมูลของคุณลักษณะที่เป็นข้อความให้อยู่ในรูปตัวเลข และ ปรับข้อมูลให้มีช่วงที่เท่ากัน ขั้นต่อมาเมื่อได้ชุดข้อมูลแล้วทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือข้อมูลสำหรับฝึกร้อยละ 70 และข้อมูลสำหรับทดสอบร้อยละ 30 และใช้การตรวจสอบแบบไขว้แบบ 5 กลุ่มกับข้อมูลสำหรับฝึกเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด Overfitting และใช้วิธีสุ่มที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.2 เพื่อปรับข้อมูลก่อนเรียนรู้ด้วยเครื่อง โดยวิจัยฉบับนี้มีการศึกษาอยู่ 5 วิธีเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน ประกอบด้วย ชุดข้อมูลเดิมที่ไม่ใช้วิธีสุ่ม, การปรับลดข้อมูลด้วยวิธี NearMiss-3, การปรับลดข้อมูลด้วยวิธี OSS, การปรับเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี SMOTE และการปรับลดและเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี OSS ผสมกับ SMOTE โดยในแต่ละวิธีได้ใช้อัลกอริทึมที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.3 ในการฝึกข้อมูล โดยแต่ละอัลกอริทึมมีการปรับค่าพารามิเตอร์ ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งพารามิเตอร์แต่ละค่าจะถูกผสมและคำนวณด้วยวิธี Grid Search จากนั้นใช้ AUC ในการวัดประสิทธิภาพตัวแบบ จากนั้นนำตัวแบบที่ให้ค่า AUC ดีที่สุดมาพยากรณ์กับข้อมูลสำหรับทดสอบ ดังรูปที่ 1 โดยการวัดประสิทธิภาพของตัวแบบด้วยข้อมูลสำหรับทดสอบจะใช้ AUC และ Recall ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 3.5 โดยข้อมูลสำหรับทุกตัวแบบเป็นการของเครื่องผ่าน Google Colaboratory และใช้ Sklearn เวอร์ชั่น 1.0.2

ตารางที่ 1 การปรับค่าพารามิเตอร์

	Parameters	Range
LOGIST	Regularization - C	0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100, 1000
	max_iter	1,000
FOREST	max_depth	7,9,12
	min_samples_leaf	3, 4, 5
	n_estimators	10
XGBoost	max_depth	1, 5, 10
	min_child_weight	7,9,12
	n_estimators	10



รูปที่ 1 ขั้นตอนดำเนินการ

3.5 การวัดประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพของตัวแบบนั้นจะใช้ผล Confusion Matrix เป็นพื้นฐานการวัดประสิทธิภาพของวิจัยฉบับนี้ซึ่งมีลักษณะตามตารางที่ 2 ตัวแปรดังกล่าวใช้คำนวณค่า Recall ซึ่งใช้วัดว่าตัวแบบที่สร้างมีโอกาสจำแนกข้อมูลกลุ่มที่ต้องการสินค้าคงค้างมากเพียงใดโดยคำนวณจากสมการที่ (2) และการคำนวณค่า Precision ซึ่งวัดร้อยละในการค้นหา

เทียบกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นรอบข้างโดยคำนวณจากสมการที่ 3 [11] และใช้คำนวณ Receiver Operating Characteristics (ROC) ซึ่งเป็นการหาจุดตัดในการจำแนกข้อมูลเพื่อให้ได้ค่า Recall และความจำเพาะ (Specificity) ที่ดีที่สุด โดยในวิจัยฉบับนี้จะใช้ Area Under the ROC Curve (AUC) ซึ่งจะบอกภาพรวมของความถูกต้องในการจำแนกข้อมูลโดยคำนวณจากสมการที่ (4) [1,12]

$$\text{Recall} = TP / TP+FN \quad (2)$$

$$\text{Precision} = TP / TP+FP \quad (3)$$

$$AUC = \frac{1+\frac{TP}{TP+FP}-\frac{FP}{FP+TN}}{2} \quad (4)$$

โดยที่ TP (True Positive) คือจำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกต้องในกลุ่มมาก
TN (True Negative) คือจำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกต้องในกลุ่มน้อย
FP (False Positive) คือจำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่าอยู่ในกลุ่มมาก
FN (False Negative) คือจำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่าอยู่ในกลุ่มน้อย

ตารางที่ 2 Confusion Matrix

	Positive prediction	Negative prediction
Positive class	True Positive (TP)	False Negative (FN)
Negative class	False Positive (FP)	True Negative (TN)

4. ผลการวิจัย

ผลของการดำเนินการตามรูปที่ 1 ได้ค่า AUC ที่ดีที่สุดของชุดข้อมูลสำหรับฝึกสำหรับแต่ละตัวแบบตามตารางที่ 3 และ จากการนำพารามิเตอร์ที่ให้ค่า AUC ที่ดีที่สุดมาพยากรณ์ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบได้ค่า AUC ตามตารางที่ 4 นอกจากนี้ตารางที่ 5 และ 6 ยังแสดงค่า Recall และ Precision ของข้อมูลกลุ่มที่ต้องการสินค้าคงค้างตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่า AUC ของชุดข้อมูลสำหรับฝึก

วิธีดำเนินการวิจัย	LOGIST	FOREST	XGBoost
ข้อมูลเดิม	0.9176	0.9450	0.9337
NearMiss-3	0.6357	0.7091	0.7114
OSS	0.8686	0.9455	0.8910
SMOTE	0.9196	0.9737	0.9796
OSS ผสม SMOTE	0.9154	0.9405	0.9373

ตารางที่ 4 ค่า AUC ของชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ

วิธีดำเนินการวิจัย	LOGIST	FOREST	XGBoost
ข้อมูลเดิม	0.9171	0.9461	0.9342
NearMiss-3	0.8333	0.7279	0.7036
OSS	0.9195	0.9436	0.9342
SMOTE	0.9101	0.9427	0.9410
OSS ผสม SMOTE	0.9109	0.9415	0.9383

ตารางที่ 5 ค่า Recall ของชุดข้อมูลสำหรับทดสอบของกลุ่มน้อย

วิธีดำเนินการวิจัย	LOGIST	FOREST	XGBoost
ข้อมูลเดิม	0.00	0.01	0.01
NearMiss-3	0.66	0.68	0.65
OSS	0.00	0.00	0.03
SMOTE	0.88	0.82	0.80
OSS ผสม SMOTE	0.85	0.77	0.77

ตารางที่ 6 ค่า Precision ของชุดข้อมูลสำหรับทดสอบของกลุ่มน้อย

วิธีดำเนินการวิจัย	LOGIST	FOREST	XGBoost
ข้อมูลเดิม	0.14	0.61	0.57
NearMiss-3	0.03	0.01	0.01
OSS	0.11	0.56	0.67
SMOTE	0.03	0.07	0.07
OSS ผสม SMOTE	0.04	0.09	0.08

5. วิจารณ์และสรุปผล

จากการปรับข้อมูลด้วยวิธีสุ่มพบว่าชุดข้อมูลสำหรับฝึกในตารางที่ 3 การปรับเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี SMOTE ให้ค่า AUC ที่ดีที่สุดและดีกว่ากว่าการปรับลดข้อมูลด้วยวิธี NearMiss-3 และ OSS ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Santis และคณะ [1] ส่วนค่า AUC ของข้อมูลที่ปรับลดและเพิ่มด้วยวิธี OSS ผสมกับ SMOTE ผลลัพธ์ดีรองมาจาก SMOTE และได้ผลลัพธ์พอๆกับการไม่ปรับข้อมูล ซึ่ง 3 วิธีแรกค่า AUC อยู่ในระดับที่ดีมากเนื่องจากมีค่ามากกว่า 0.9 ส่วนการปรับลดข้อมูลด้วยวิธี OSS ให้ค่า AUC ดีเป็นลำดับที่ 4 และลำดับสุดท้ายเป็นปรับลดข้อมูลด้วยวิธี NearMiss-3 นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่ม Ensemble Learning ให้ค่า AUC ดีกว่า LOGIST ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Malviya และคณะ [3]

ส่วนชุดข้อมูลสำหรับทดสอบในตารางที่ 4 พบว่าการใช้มูลเดิม หรือข้อมูลที่มีการปรับลดหรือเพิ่มให้ค่า AUC ที่เกิน 0.9 และให้ค่าที่พอๆกัน ยกเว้นการปรับลดข้อมูลด้วยวิธี NearMiss-3 โดยตัวแบบที่ให้ค่า AUC มากที่สุดด้วยค่า 0.9461 คือ การพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม FOREST ที่ไม่มีการปรับลดหรือเพิ่มข้อมูล นอกจากนี้ FOREST ยังให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและ XGBoost กับ LOGIST ให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาตามลำดับ

เมื่อดูค่า AUC ของชุดข้อมูลทั้งสองเปรียบเทียบกันพบว่าวิธีการปรับลดและเพิ่มด้วยวิธี OSS ผสมกับ SMOTE และการไม่ปรับข้อมูลได้ค่า AUC ของชุดข้อมูลสำหรับทดสอบใกล้เคียงกับชุดข้อมูลสำหรับฝึก และแม้ว่ากลุ่ม Ensemble Learning ที่ปรับเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี

SMOTE จะให้ค่า AUC ที่สูงมากกับชุดข้อมูลสำหรับฝึกแต่กลับให้ค่า AUC ลดลงในชุดข้อมูลสำหรับทดสอบซึ่งอาจเกิดจาก Overfitting

แม้ว่าจะมีหลายตัวแบบที่ให้ค่า AUC ในระดับที่ดีมาก แต่เมื่อมองในมุมของค่า Recall กลับพบว่าบางตัวแบบไม่มีโอกาสในการพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มน้อยหรือข้อมูลที่ต้องการสินค้าคงค้าง ได้แก่ชุดข้อมูลเดิมและข้อมูลที่ปรับลดด้วยวิธี OSS ส่วนการปรับเพิ่มข้อมูลด้วยวิธี SMOTE มีโอกาสในการพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มน้อยมากที่สุด ซึ่งวิธีการปรับลดและเพิ่มด้วยวิธี OSS ผสมกับ SMOTE ก็มีโอกาสในการพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มน้อยพอๆกับวิธี SMOTE และแม้ว่าการปรับลดข้อมูลด้วยวิธี NearMiss-3 จะให้ค่า AUC ที่น้อยที่สุดแต่กลับค่ามีโอกาสในการพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มน้อยเป็นอันดับที่ 3 แต่ในทางกลับกัน ตัวแบบที่มีค่า Recall สูงจะมีค่า Precision ที่ต่ำซึ่งหมายความว่าตัวแบบที่ได้นั้นค้นหาข้อมูลกลุ่มน้อยได้ยาก ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายคงคลัง

จากผลสรุปทั้งหมดจึงพบว่าการใช้การเรียนรู้ของเครื่องในการพยากรณ์สินค้าคงค้างในชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลนั้น ตัวแบบที่มีการปรับข้อมูลให้สมดุลมีโอกาสในการพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มน้อยมากกว่าข้อมูลที่ไม่สมดุลซึ่งการปรับข้อมูลด้วยวิธี OSS ผสมกับ SMOTE ให้ค่า AUC และ Recall สูงและตัวแบบ Overfitting น้อยกว่า SMOTE ที่ให้ผลดีพอกัน แต่ทั้งนี้ตัวแบบที่ได้ยังคงมีค่า Precision ที่ต่ำ

6. งานในอนาคต

ตัวแบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้แม้จะให้ค่า AUC และ Recall สูง แต่การพยากรณ์ที่ผิดพลาดในกลุ่มอื่นอย่างค่า Precision ก็เป็นเรื่องที่ควรพิจารณาเพราะการพยากรณ์ว่าเป็นสินค้าคงค้างทั้งที่ไม่ได้เป็น (FN) ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายคงคลัง แม้ว่างานวิจัยจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง Neural Network จะมีประสิทธิภาพไม่ดีนักแต่ Deep Neural Network อาจจะทำให้การพยากรณ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] R. B. Santis, E. P. Aguiar and L. Goliatt, Predicting Material Backorders in Inventory Management using Machine Learning, 4th IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence, Nov 2017, Peru.

[2] P. Hajek and M. Z. Abedin. 2020. “Profit Function-Maximizing Inventory Backorder Prediction System Using Big Data Analytics”. IEEE Access, Vol. 8: 58982-58994.

[3] L. Malviya, P. Chittora, P. Chakrabarti et al. 2020. “Backorder prediction in the supply chain using machine learning”. Materials Today: Proceedings.

[4] S. Islam and S. H. Amin. 2020. “Prediction of probable backorder scenarios in the supply chain using Distributed Random Forest and Gradient Boosting Machine learning techniques”. J Big Data (2020) 7: 65.

[5] Saurabh Zinjad. “Backorder Dataset Predict Backorder Product”. Online document https://www.kaggle.com/ztrimus/backorder-dataset / accessed on Mar 15,2022.

[6] พุทธิพร ธนธรรมเมธี และเยาวเรศ ศิริสถิตกุล. 2562. “เทคนิคการจำแนกข้อมูลที่พัฒนาสำหรับชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลของภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ.” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 27, ฉบับที่ 6: 1164-1178.

[7] Jason Brownlee. “Undersampling Algorithms for Imbalanced Classification”. Online document https://machinelearningmastery.com/ undersampling- algorithms- for- imbalanced-classification/ accessed on Feb 2,2022.

[8] Rahul Agarwal. “The 5 Sampling Algorithms every Data Scientist need to know”. Online document https://towardsdatascience.com/the-5-sampling-algorithms-every-data-scientist-need-to-know-43c7bc11d17c accessed on Feb 2,2022.

[9] ชิตพงษ์ กิตตินราดร, Machine Learning บทที่ 11: Boosting, ข้อมูลจาก https://guopai.github.io/ml-blog11.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 2 กุมภาพันธ์ 2565).

[10] TITIPATA, [ML] Bagging หรือ Boosting คืออะไร ทำงานอย่างไร?, ข้อมูลจาก https://tupleblog.netlify.app/bagging-boosting/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 2 กุมภาพันธ์ 2565).

[11] Boyd BigData RPG, Confusion Matrix | Recall | Precision | Accuracy เห้ยยมันคืออะไรว้าาา !?, ข้อมูลจาก https: / / medium. com/ bigdataeng/ confusion- matrix- recall-precision-accuracy-เห้ยยมันคืออะไรว้าาา-fc3e1fcfc579 (วันที่สืบค้นข้อมูล 2 กุมภาพันธ์ 2565).

[12] พงษ์เดช สารการ และภัทรนันท์ หมั่นพลศรี. 2564. “จุดตัดที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์เส้นโค้ง Receiver Operating Characteristic (ROC) ในการพัฒนาเครื่องมือนวัตกรรมทางสุขภาพ: กรณีตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม STATA.” Thai Bull Pharm Sci, 2021, 16(1):93-108.

การออกแบบหลักเกณฑ์การประเมินผู้ส่งมอบอุปกรณ์สำหรับระบบจัดเก็บรายได้อัตโนมัติของงานโครงการรถไฟฟ้าภายใต้การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์

Designing Performance Criteria of Equipment suppliers for Automatic Fare Collection System of Electric Railway Project Under Multi-Criteria Decision Making

แสงระวี ถาติ๊บ[1] ศันสนีย์ สุภาภา[1] พัชราภรณ์ ญาณภิรัต[1*]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)
E-mail: fengppy@ku.ac.th *

Saengrawee Thatib[1], Sansanee Supapa[1], Patcharaporn Yanpirat[1*]
[1]Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University (Bangkhen)
E-mail: fengppy@ku.ac.th *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบหลักเกณฑ์การประเมินผู้ส่งมอบอุปกรณ์สั่งทำเฉพาะสำหรับระบบจัดเก็บรายได้อัตโนมัติของงานโครงการรถไฟฟ้าของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง ทั้งนี้หลักเกณฑ์การประเมินที่ออกแบบจำเป็นต้องสอดคล้องกับขอบเขตความต้องการของโครงการที่ระบุไว้ในเอกสารกำหนดขอบเขตและรายละเอียดของโครงการ ลักษณะการดำเนินงานโครงการ และนโยบายของบริษัท โดยการประยุกต์วิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นแบบการโหวตเพื่อการจัดอันดับหลักเกณฑ์การประเมิน ภายใต้วิจารณญาณของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของโครงการ ผลการวิจัยพบว่า หลักเกณฑ์ที่ควรนำมาพิจารณาในการประเมินเพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์ มีทั้งหมด 25 หลักเกณฑ์ ซึ่งสามารถจัดกลุ่มเป็นหลักเกณฑ์หลัก คือ ความสามารถทางด้านเทคนิค คุณภาพ ราคา ข้อมูลเฉพาะของบริษัท ความยืดหยุ่น การรับประกัน การจัดส่ง เงื่อนไขการชำระเงิน สถานะทางการเงิน ปัจจัยเสี่ยง และความสัมพันธ์ระหว่างผู้ส่งมอบกับผู้สั่งทำอุปกรณ์

คำสำคัญ: การคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์, อุปกรณ์สั่งทำเฉพาะ, โครงการรถไฟฟ้า, วิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นแบบการโหวตเพื่อจัดอันดับ

Abstract

The objective of this research aims at designing the performance criteria for supplier selection of custom-made equipment used in the automatic fare collection system (AFC) in the electric railway project of a selected case study. The designed criteria must be aligned with the project requirements, project work process, and the case study company's policy. The technique of the Voting Analytic Hierarchy Process (Voting AHP) together with the judgment of the stakeholder expert group is used to determine the importance weight of the criteria. The result indicates 25 performance criteria should be considered in selecting the suppliers. They can be classified as the main criteria such as technical capability, quality, cost, company profile, flexibility, warranty and claim, delivery, terms of payments, financial status, risk factor, and customer relationship.

Keywords: Supplier Selection, Custom-made Equipment, Electric Railway Project, Voting Analytic Hierarchy Process Method.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการบริหารงานในรูปแบบโครงการได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ และการบริหารงานในรูปแบบโครงการนี้ก่อให้เกิดการพึ่งพาผู้ส่งมอบอุปกรณ์ของระบบต่างๆ ของโครงการ เนื่องจากงานโครงการมีความต้องการอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะเฉพาะสำหรับโครงการนั้น ๆ ทำให้เกิดอุปกรณ์สั่งทำเฉพาะ (Custom-made Equipment) สูง ซึ่งอุปกรณ์สั่งทำเฉพาะนี้จะมีความเฉพาะตัวตามความต้องการทางด้านเทคนิค การผลิต และนโยบายทางด้านการเงิน ของแต่ละโครงการ จากการที่งานโครงการมีลักษณะเฉพาะตัว จึงทำให้มีความต้องการผู้ส่งมอบอุปกรณ์ที่มีความยืดหยุ่นเพื่อประโยชน์ในแง่การบริหารจัดการความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นระหว่างการดำเนินโครงการ ซึ่งผู้ส่งมอบอุปกรณ์จะต้องมีความสามารถในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ในราคาสมเหตุสมผล มีความยืดหยุ่นเพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเทคนิคและแปรผันของต้นทุนของวัสดุและปัจจัยอื่น ๆ ในกรอบระยะเวลาที่กำหนด โดยไม่ส่งผลกระทบต่อหลักปฏิบัติด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม [1]

กรณีศึกษา: บริษัทจัดเก็บรายได้อัตโนมัติ ถูกจัดตั้งขึ้นด้วยความมุ่งมั่นที่จะก้าวขึ้นไปเป็นผู้นำในการจัดทำระบบจัดเก็บรายได้อัตโนมัติของระบบขนส่งมวลชน และบริษัทได้ชนะการประมูลงานเพื่อเป็นผู้จัดทำระบบจัดเก็บรายได้ของงานโครงการรถไฟฟ้าโครงการหนึ่ง ซึ่งเป็นงานโครงการใหญ่ จากรูปแบบงานโครงการก่อให้เกิดความต้องการของอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบและสั่งทำเฉพาะ (Custom-made Equipment) ซึ่งการจะได้มาซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ต้องผ่านหลายขั้นตอนและต้องมีการร่วมงานกับผู้ส่งมอบอุปกรณ์ ดังนั้นประสิทธิภาพของผู้ส่งมอบอุปกรณ์จึงมีความสำคัญอย่างมากในการจัดหาหรือจัดทำอุปกรณ์เหล่านี้ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ นับแต่กรณีศึกษาก่อตั้งจนถึงชนะการประมูลโครงการจัดทำระบบจัดเก็บรายได้อัตโนมัติของโครงการรถไฟฟ้า กรณีศึกษายังไม่เคยมีประสบการณ์ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์เพื่อจัดหาอุปกรณ์ตามคุณลักษณะที่กำหนดตามความต้องการของโครงการมาก่อน มีเพียงแบบประเมินผู้ส่งมอบอุปกรณ์ที่ถูกจัดทำขึ้นมาอย่างง่าย ซึ่งไม่ครอบคลุมหลักเกณฑ์ที่สำคัญและจำเป็นสำหรับนำมาพิจารณาคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์

การตัดสินใจเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์เป็นการตัดสินใจโดยใช้หลักเกณฑ์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ การตัดสินใจที่ถูกต้องจะเป็นปัจจัยที่ช่วยเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขัน [2] ในระบบการจัดซื้อแบบสมัยใหม่นั้น บริษัทหรือองค์กรจะเน้นการรักษาความสัมพันธ์ระยะยาวกับผู้ส่งมอบอุปกรณ์ และลดจำนวนผู้ส่งมอบอุปกรณ์ที่ติดต่อประสานงานด้วยให้ลดน้อยลง มีการคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์โดยพิจารณาถึงหลักเกณฑ์ทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณควบคู่กัน นอกเหนือจากการพิจารณาเพียงต้นทุนเพียงอย่างเดียว [3] อย่างไรก็ตามด้วยสภาพแวดล้อมที่มีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องทำให้ระดับความสำคัญของหลักเกณฑ์ต่าง ๆ เหล่านั้นอาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยน ตามรูปแบบธุรกิจที่เปลี่ยนไป [4] จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่ามีหลักเกณฑ์ที่มักจะถูกหยิบยกมาพิจารณาคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์ มีดังนี้

1. คุณภาพ สิ่งที่ต้องนำมาพิจารณา ได้แก่ ใบรับรองระบบคุณภาพ เอกสารควบคุมคุณภาพ ความสามารถในการควบคุมกระบวนการ ระบบการแก้ไขและป้องกัน กลไกการตรวจสอบ และอื่นๆ [5]

2. ความสามารถทางด้านเทคนิค พิจารณาถึงความสามารถของผู้ส่งมอบอุปกรณ์ที่จะสามารถปฏิบัติตามความต้องการทางด้านเทคนิคในการจัดหาสินค้าและบริการตามความต้องการอย่างเฉพาะเจาะจง มีความสามารถในการวิจัยและพัฒนา รวมถึงข้อมูลประสบการณ์ด้านเทคนิคของผู้ส่งมอบอุปกรณ์ [6]

3. การจัดส่ง ต้องคำนึงถึงความสอดคล้องกับกำหนดการส่งและระยะเวลาในการจัดส่ง การควบคุมคุณภาพการจัดส่ง และมาตรฐานด้านบรรจุภัณฑ์ [7]

4. ราคา ต้องคำนึงถึงต้องทุนโดยรวมในการจัดซื้อ เช่น การให้ส่วนลด ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ภาษี เป็นต้น [7]

5. เงื่อนไขการชำระเงิน โดยพิจารณาถึงระยะเวลาและจำนวนงวดในการชำระเงิน รวมถึงเงินมัดจำ [7]

6. ปัจจัยเสี่ยง เนื่องจากปัจจัยภายนอกหลายประการมีอิทธิพลต่อการจัดซื้อ โดยอาจระบุได้ว่าเป็นที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ เสถียรภาพทางการเมือง และความผันผวนของสกุลเงิน [1]

7. ความยืดหยุ่นของผู้ส่งมอบอุปกรณ์ ในการปรับเปลี่ยนเพื่อรับมือกับความเปลี่ยนแปลงทางด้านสภาวะแวดล้อม การขนส่ง กระบวนการผลิต ปริมาณการผลิต ตำแหน่งที่ตั้งของที่จัดเก็บสินค้า การจัดการด้านบุคลากร รวมถึงแหล่งวัตถุดิบ [1]

8. โครงสร้างบริษัท และจำนวนพนักงาน [7]

9. เงื่อนไขการรับประกัน พิจารณาถึงเงื่อนไขการรับประกันสินค้าหรืออุปกรณ์ [4]

10. ความสัมพันธ์ พิจารณาถึงการมีความสัมพันธ์ระยะยาวกับบริษัท ภาษา คุณธรรม ผู้ส่งมอบอุปกรณ์ที่ดีควรมีการสื่อสารที่ดี และมีระยะเวลาการตอบสนองที่เหมาะสม [4]

11. สถานะทางการเงิน พิจารณาความมั่นคงทางการเงินของบริษัทผู้ส่งมอบอุปกรณ์ กระแสเงินสด การเติบโตของรายได้ และอื่นๆ [4]

12. บริการซ่อมบำรุง [4]

13. บรรจุภัณฑ์ของสินค้า [4]

14. ประวัติด้านการทำงานของผู้ส่งมอบอุปกรณ์ [4]

15. จุดยืนในอุตสาหกรรมของผู้ส่งมอบอุปกรณ์ [4]

16. อุปกรณ์ส่งเสริมการเรียนรู้การใช้งานสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ [4]

17. การซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้าระหว่างกัน [4]

18. ความปรารถนาของผู้ส่งมอบอุปกรณ์ที่จะร่วมงานกับบริษัท [4]

19. บันทึกด้านแรงงานสัมพันธ์ [4]

2.2 การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์

Analytic Hierarchy Process (AHP) เป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจโดยการจัดลำดับความสำคัญของทางเลือก รวมถึงการคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่น การศึกษา [5], [7] และ [8] มีการใช้หลักเกณฑ์ที่หลากหลายและมีการจัดทำหลักเกณฑ์ย่อย ๆ เข้ามาช่วยในการตัดสินใจ เป็นวิธีการที่สามารถจัดลำดับของตัวเลือกให้อยู่บนพื้นฐานของความสำคัญของหลักเกณฑ์นั้น ๆ เทียบกับหลักเกณฑ์อื่น ๆ จุดเด่นของกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น คือ สามารถตรวจสอบได้ว่า การพิจารณาของผู้ทำการตัดสินใจนั้นมีความเชื่อมโยงกันหรือไม่ ส่วนข้อเสีย ได้แก่ การต้องแตกปัญหาออกเป็นปัญหาย่อย ๆ และต้องทำการเปรียบเทียบคู่ ถ้ามีการเพิ่มหลักเกณฑ์การประเมิน ก็ต้องเริ่มกระบวนการใหม่ทั้งหมด รวมถึงมีความซับซ้อนในการเก็บข้อมูล

Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) หลักการพื้นฐานของวิธีการนี้จะพิจารณาว่าทางเลือกที่ดีที่สุดความมีระยะทางที่สั้นที่สุดเมื่อเทียบไปยังจุดอุดมคติเชิงบวก และมีระยะทางที่ไกลที่สุดจากจุดอุดมคติเชิงลบ ตัวอย่างเช่น ในการศึกษา [9] ข้อดีของ TOPSIS คือทางเลือกที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดจะถูกพิจารณาไปพร้อมกัน โดยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ด้วยขั้นตอนง่าย ๆ แต่มีข้อเสียคือ TOPSIS จะพิจารณาระยะทางสั้นที่สุดไปยังจุดอุดมคติเชิงบวกและระยะทางไกลที่สุดจากจุดอุดมคติเชิงลบ โดยไม่พิจารณาความสำคัญสัมพัทธ์ของระยะทาง และมีข้อจำกัดเนื่องจากต้องใช้ค่าที่ชัดเจน (Crisp Value) ในการตัดสินใจ

Voting Analytic Hierarchy Process (Voting AHP) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดข้อจำกัดของ AHP ด้านความซับซ้อนในการเก็บข้อมูล และการจัดลำดับความสำคัญแบบเทียบคู่ โดย Voting AHP ประยุกต์ Data Envelopment Analysis (DEA) ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้ในการลงคะแนนจัดอันดับเพื่อเป้าหมายทั้งวัตถุประสงค์เดียวและหลายวัตถุประสงค์ [10] และใช้วิธีการเปรียบเทียบผลรวมถ่วงน้ำหนักของจำนวนการเลือกของคะแนนโหวต หลังจากที่กำหนดน้ำหนักในอันดับที่เลือกแล้ว [11] การศึกษา [10],[11] ประยุกต์ Voting AHP ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์ ขั้นตอนตามวิธีการ Voting AHP มีดังนี้

1. คัดเลือกหลักเกณฑ์ที่จะใช้ในการพิจารณา
2. สร้างโครงสร้างลำดับชั้น ของหลักเกณฑ์
3. จัดอันดับความสำคัญของหลักเกณฑ์ จากการลงคะแนนจัดอันดับของผู้เชี่ยวชาญ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญนั้นทำการโหวตจาก 1 ถึง S $(S \leq R)$ โดย S คือ อันดับของความสำคัญ และ R คือ จำนวนหลักเกณฑ์
4. คำนวณน้ำหนักของหลักเกณฑ์หลัก และหลักเกณฑ์รอง
5. พิจารณาจากค่าน้ำหนักความสำคัญที่ได้ในขั้นตอนที่ 4 หลักเกณฑ์ที่มีน้ำหนักความสำคัญมากกว่า จะถูกพิจารณาว่าเป็นหลักเกณฑ์ที่มีความสำคัญมากกว่า

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเพื่อสร้างหลักเกณฑ์และหาน้ำหนักความสำคัญของหลักเกณฑ์เพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

รายละเอียดการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1.กระบวนการศึกษาเริ่มต้นจากการศึกษาหลักเกณฑ์รวมถึงแนวโน้มหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องในการคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์จากบทความทางวิชาการเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างหลักเกณฑ์สำหรับคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์

2. คัดเลือกผู้เชี่ยวชาญผู้มีประสบการณ์จากกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

3. สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจากกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อสรุปหลักเกณฑ์หลัก/รอง และตัดหลักเกณฑ์ที่ไม่จำเป็นเพื่อทำแบบสอบถาม

4. สร้างโครงสร้างลำดับชั้นเพื่อหาค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์

5. ส่งแบบสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญเพื่อจัดอันดับความสำคัญของหลักเกณฑ์

6. วิเคราะห์ค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์หลักและหลักเกณฑ์รองตามข้อ 4 โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามวิธี Voting AHP ดังสมการที่ (1) ถึงสมการที่ (4) แล้วทำการปรับมาตรฐานน้ำหนักที่ได้จากการแก้สมการเพื่อให้ผลรวมน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 1

$$\theta rr = max \sum_{(s=1\sim S)} u_{rs} x_{rs} \quad (1)$$

$$s.t. \quad \theta rp = \sum_{(s=1\sim S)} u_{rs} x_{ps} \leq 1 \ (p = 1, 2, \dots, R) \quad (2)$$

$$u_{r1} \geq 2\, u_{r2} \geq 3 u_{r3} \geq \cdots \geq S u_{rs}, \quad (3)$$

$$u_{rs} \geq \varepsilon = 1/((1 + 2 + \dots + S) \times n) \quad (4)$$

$$= 2 / (n \times S\,(S + 1))$$

กำหนดให้

θrr คือ ผลรวมค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของหลักเกณฑ์ที่พิจารณา

θrp คือ ผลรวมค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของแต่ละหลักเกณฑ์หลักหรือหลักเกณฑ์รอง

u_{rs} คือ น้ำหนักของหลักเกณฑ์ในอันดับที่ s สำหรับหลักเกณฑ์ที่ r

x_{rs} คือ จำนวนการคะแนนรวมของการโหวตสำหรับหลักเกณฑ์ที่ r ที่ถูกจัดอันดับที่ s โดยผู้เชี่ยวชาญ n คน

n คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

s คือ อันดับการโหวต เมื่อ $s = 1, 2, \dots, S$

r คือ หลักเกณฑ์ เมื่อ $r = 1, 2, \dots, R$

7. วิเคราะห์ค่าน้ำหนักสำหรับหลักเกณฑ์การประเมินผู้ส่งมอบโดยคูณค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์หลักเข้าไปยังหลักเกณฑ์รอง จึงจะได้ค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์เพื่อการประเมินตามลำดับชั้นในข้อ 4 ทั้งหมด

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ

การวิจัยนี้ได้มีการคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นตัวแทนของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับการคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์ของกรณีศึกษาทั้งหมดจำนวน 11 ท่าน เนื่องจากโครงการรถไฟฟ้าเป็นโครงการเฉพาะทางทำให้ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์มีอายุการทำงานที่ใกล้เคียงกัน โดยได้คัดเลือกจากหลาย ๆ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งจากภายในบริษัท จากบริษัทลูกค้าซึ่งเป็นเจ้าของโครงการ รวมถึงที่ปรึกษาของโครงการ เพื่อที่จะได้ความคิดเห็นที่หลากหลายและป้องกันความอคติหรือความลำเอียง เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ค่าความไว (Sensitivity Analysis) พบว่าค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์ไม่ได้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของผู้เชี่ยวชาญ เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นไปในทิศทางเดียวกัน (Homogeneous Experts) จึงกำหนดให้ผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านมีน้ำหนักความสำคัญเท่ากัน

4.2 การกำหนดหลักเกณฑ์หลักและหลักเกณฑ์รอง

การออกแบบหลักเกณฑ์สำหรับการคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุดในการจัดหาอุปกรณ์สำหรับระบบจัดเก็บรายได้อัตโนมัติของกรณีศึกษา โดยนำหลักเกณฑ์จากบทความต่าง ๆ มานำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ และทำการสัมภาษณ์เพื่อขอความความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อปรับปรุงหลักเกณฑ์ให้มีความเหมาะสม หลังจากปรับปรุงหลักเกณฑ์จนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดมีความเห็นสอดคล้องกัน พบว่ามีหลักเกณฑ์หลักและหลักเกณฑ์รองที่ควรนำมาเพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์ ดังนี้

1. คุณภาพ ประกอบด้วยหลักเกณฑ์รอง ดังนี้

1.1 คุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน ที่ได้รับการยอมรับ เช่น ISO BS OHSAS เป็นต้น

1.2 ระบบการจัดการคุณภาพโดยรวม เป็นไปตามเอกสารระบุความต้องการของโครงการ

1.3 ความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ มีหลักฐานแสดงถึงความน่าเชื่อถือ และความทนทานของอุปกรณ์ ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.ความสามารถทางด้านเทคนิค ประกอบด้วยหลักเกณฑ์รอง ดังนี้

2.1 ความสามารถในการปฏิบัติตามข้อกำหนดเฉพาะของอุปกรณ์ ตามเอกสารระบุความต้องการของโครงการ

2.2 ความสามารถในการปฏิบัติตามข้อกำหนดโดยรวมของโครงการ ตามเอกสารระบุความต้องการโดยรวมของโครงการ

2.3 ความสามารถในการออกแบบ/พัฒนา มีการออกแบบและพัฒนาอย่างเป็นระบบสอดคล้องกับการร่วมงานระหว่างกัน

2.4 การให้การสนับสนุนทางเทคนิค การประสานงานที่ดี การให้บริการที่ช่วยเพิ่มคุณค่าในการทำงานทางด้านเทคนิค

3. การจัดส่ง ประกอบด้วยหลักเกณฑ์รอง ดังนี้

3.1 ระยะเวลาในการจัดส่ง แผนการจัดส่งอุปกรณ์สอดคล้องกับระยะเวลาการติดตั้งและการดำเนินงานของโครงการ

3.2 การรับประกันการขนส่ง เงื่อนไขการรับประกันเหมาะสมกับปริมาณและวิธีการขนส่ง

4. ราคา ประกอบด้วยหลักเกณฑ์รอง ดังนี้

4.1 ราคา รวมทั้งส่วนลด ค่าขนส่ง ภาษี และอื่นๆ

4.2 การคงราคา ระยะเวลาการคงราคาที่เสนอมา

4.3 เงื่อนไขการยอมรับการแก้ไข เปลี่ยนแปลง เงื่อนไขในการแก้ไขด้านข้อมูลการออกแบบ ขอบเขต และอุปกรณ์ตัวอย่าง

5. เงื่อนไขการชำระเงิน ประกอบด้วยหลักเกณฑ์รอง ดังนี้

5.1 เงื่อนไขการชำระเงิน งวดการชำระเงิน และระยะเวลา

5.2 การมัดจำ การมีค่ามัดจำหรือจ่ายล่วงหน้า

6. ความยืดหยุ่น ประกอบด้วยหลักเกณฑ์รอง ดังนี้

6.1 ความยืดหยุ่นในด้านการผลิต ระดับความสามารถในการเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตภายในเวลาอันสั้น

6.2 ความยืดหยุ่นในการกระจายสินค้า ความสามารถในการกระจายอุปกรณ์ไปยังสถานที่ต่างๆ ตามความต้องการของบริษัท

6.3 ความยืดหยุ่นด้านฐานผลิตและบริการตามลักษะภูมิศาสตร์ ระยะห่างจากฐานการผลิต ฐานบริการและซ่อมบำรุง

7. ปัจจัยเสี่ยง จัดซื้อภายในประเทศหรือต่างประเทศ ความเสี่ยงจากภัยภิบัติ ความผันผวนของค่าเงิน เสถียรภาพทางการเมืองและอื่นๆ

8. ข้อมูลเฉพาะของบริษัท ประกอบด้วยหลักเกณฑ์รอง ดังนี้

8.1 ชื่อเสียงและความน่าเชื่อถือของบริษัท มีความน่าเชื่อถือหรือทราบประวัติการทำงาน ไม่ถูกขึ้นบัญชีดำในวงการทำงานรถไฟฟ้า

8.2 เทคโนโลยีและนวัตกรรม มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องตามเทคโนโลยีและการตลาดที่เปลี่ยนไป

8.3 การจัดการองค์กร มีการจัดการองค์กรอย่างเป็นระบบตามมาตรฐาน มีการจัดการและพัฒนาองค์กรเพื่อความยั่งยืน

9. สถานะทางการเงิน ทุนการจดทะเบียน รายการเดินบัญชี

10. เงื่อนไขการรับประกัน

11. ความสัมพันธ์ ประกอบด้วยหลักเกณฑ์รอง ดังนี้

11.1 ความสัมพันธ์ระยะยาว หรือโอกาสร่วมงานระยะยาว

11.2 ความสามารถของตัวแทนการขาย และความใส่ใจ

4.3 การคำนวณค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์

1. สร้างโครงสร้างการตัดสินใจลำดับชั้นของหลักเกณฑ์หลักและหลักเกณฑ์รองที่ได้จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

2. คำนวณค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์หลักโดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามวิธี voting AHP ตัวอย่างการคำนวณน้ำหนักของหลักเกณฑ์หลักจากข้อมูลตารางที่ 1 สำหรับหลักเกณฑ์คุณภาพ โดยการแก้สมการที่ (5) ถึงสมการที่ (14)

$$Obj:\ \theta_{11}=max(3u_{1,1}+6u_{1,2}+\cdots+1u_{1,11}) \quad (5)$$

$s.t.$

$$\theta_{1,1}=3u_{1,1}+6u_{1,2}+\cdots+1u_{1,11}\le 1\ ;p=1 \quad (6)$$

$$\theta_{1,2}=6u_{1,1}+1u_{1,2}+\cdots+0u_{1,11}\le 1\ ;p=2 \quad (7)$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$\theta_{1,11}=0u_{1,1}+0u_{1,2}+\cdots+5u_{1,11}\le 1\ ;p=11 \quad (12)$$

$$u_{1,1}\ge 2\,u_{1,2}\ge\ 3u_{1,3}\ge\ldots\ge\ 11u_{1,11}, \quad (13)$$

$$u_{1,11}\ge\varepsilon\ =\frac{2}{[11*11(11+1)]} \quad (14)$$

ใช้วิธีการคำนวณน้ำหนักความสำคัญเช่นเดียวกันสำหรับหลักเกณฑ์หลัก 2 ถึง 11 และหลักเกณฑ์รองดังในหัวข้อ 4.2 และทำการปรับมาตรฐานน้ำหนักที่ได้จากการแก้สมการเพื่อให้ผลรวมน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 1 รายละเอียดผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์แสดงดังตารางที่ 2

3. วิเคราะห์ค่าน้ำหนักสำหรับหลักเกณฑ์การประเมินผู้ส่งมอบโดยการคูณค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์หลักที่ได้เข้าไปยังหลักเกณฑ์รอง จึงจะได้ค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์ทั้งหมด ดังสดมภ์ที่ 3 ของตารางที่ 2

5. สรุป

จากการวิจัยเพื่อออกแบบหลักเกณฑ์สำหรับการคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์สั่งทำเฉพาะสำหรับระบบจัดเก็บรายได้อัตโนมัติของงานโครงการรถไฟฟ้า ได้มีการพิจารณาถึงความต้องการของโครงการ ลักษณะการทำงาน และนโยบายของกรณีศึกษา พบว่าหลักเกณฑ์ที่ควรนำมาพิจารณาเพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์ มีทั้งหมด จำนวน 25 หลักเกณฑ์ ได้แก่ ความสามารถในการปฏิบัติตามข้อกำหนดเฉพาะของอุปกรณ์ คุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน ความสามารถในการปฏิบัติตามข้อกำหนดโดยรวมของโครงการ เงื่อนไขการรับประกัน ความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ ราคารวม ระบบการจัดการคุณภาพโดยรวม สถานะทางการเงิน ปัจจัยเสี่ยง ความสามารถในการออกแบบ/พัฒนา ระยะเวลาในการจัดส่ง การคงราคา การให้การสนับสนุนทางเทคนิค เงื่อนไขการยอมรับการแก้ไขเปลี่ยนแปลง ชื่อเสียงและความน่าเชื่อถือของบริษัท เงื่อนไขการชำระเงิน ความยืดหยุ่นด้านฐานผลิตและบริการ เทคโนโลยีและนวัตกรรม การมัดจำ การจัดการองค์กร ความสัมพันธ์ระยะยาว การรับประกันการขนส่ง ความยืดหยุ่นในด้านการผลิต ความยืดหยุ่นในการกระจายสินค้า และความสามารถของตัวแทนการขาย เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์วิธีการ Voting AHP ได้ค่าน้ำหนักความสำคัญของหลักเกณฑ์เป็น 0.09, 0.08, 0.07, 0.06, 0.06, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05, 0.04, 0.04, 0.03, 0.03, 0.03, 0.03, 0.03, 0.03, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลักเกณฑ์ความสามารถในการปฏิบัติตามข้อกำหนดเฉพาะของอุปกรณ์ และคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน มีค่าน้ำหนักความสำคัญสูงกว่าหลักเกณฑ์อื่น เนื่องจากทั้ง 2 หลักเกณฑ์นี้มีผลต่อการส่งมอบอุปกรณ์ของโครงการ โดยค่าน้ำหนักความสำคัญของหลักเกณฑ์ที่ได้ควรนำไปใช้ถ่วงน้ำหนักในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการประเมินเพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบอุปกรณ์ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความเหมาะสมตามความต้องการของบริษัทและของโครงการ

ตารางที่ 4 ผลการลงคะแนนจัดอันดับสำหรับหลักเกณฑ์หลัก

หลักเกณฑ์หลัก	อันดับ											รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1.คุณภาพ	3	6	0	0	1	0	0	0	0	0	1	11
2.ความสามารถทางด้านเทคนิค	6	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	11
3.การจัดส่ง	0	0	1	0	4	2	1	2	0	0	0	11
4.ราคา	1	2	3	2	1	0	1	0	0	1	0	11
5.เงื่อนไขการชำระเงิน	0	0	1	2	0	1	0	3	2	0	2	11
6.ความยืดหยุ่น	0	1	1	1	2	2	2	0	0	1	1	11
7.ปัจจัยเสี่ยง	0	0	2	0	0	1	1	1	3	2	1	11
8.ข้อมูลเฉพาะของบริษัท	1	0	0	1	1	3	3	1	0	1	0	11
9.สถานะทางการเงิน	0	1	0	1	0	1	0	1	3	3	1	11
10.เงื่อนไขการรับประกัน	0	0	1	2	2	1	2	0	2	1	0	11
11.ความสัมพันธ์	0	0	0	1	0	0	1	1	1	2	5	11
รวม	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	

ตารางที่ 5 หลักเกณฑ์และสรุปน้ำหนักของหลักเกณฑ์ทั้งหมด

หลักเกณฑ์หลัก (1)	หลักเกณฑ์รอง (2)	น้ำหนักรวม (3) = (1)x(2)
คุณภาพ (0.19)	คุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน (0.40)	0.08
	ระบบการจัดการคุณภาพโดยรวม (0.28)	0.05
	ความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ (0.31)	0.06
ความสามารถทางด้านเทคนิค (0.23)	ความสามารถในการปฏิบัติตามข้อกำหนดเฉพาะของอุปกรณ์ (0.39)	0.09
	ความสามารถในการปฏิบัติตามข้อกำหนดโดยรวมของโครงการ (0.29)	0.07
	ความสามารถในการออกแบบ/พัฒนา (0.19)	0.04
	การให้การสนับสนุนทางเทคนิค (0.14)	0.03
การจัดส่ง (0.06)	ระยะเวลาในการจัดส่ง(0.64)	0.04
	การรับประกันการขนส่ง (0.36)	0.02
ราคา (0.12)	ราคารวม (0.46)	0.05
	การคงราคา (0.27)	0.03
	เงื่อนไขการยอมรับการแก้ไขเปลี่ยนแปลง (0.26)	0.03
เงื่อนไขการชำระเงิน (0.05)	เงื่อนไขการชำระเงิน (0.42)	0.03
	การมัดจำ (0.58)	0.02
ความยืดหยุ่น (0.07)	ความยืดหยุ่นในด้านการผลิต (0.31)	0.02
	ความยืดหยุ่นในการกระจายสินค้า (0.26)	0.02
	ความยืดหยุ่นด้านฐานผลิตและบริการ (0.43)	0.03
ปัจจัยเสี่ยง (0.05)		
ข้อมูลเฉพาะของบริษัท (0.08)	ชื่อเสียงและความน่าเชื่อถือของบริษัท (0.40)	0.03
	เทคโนโลยีและนวัตกรรม (0.31)	0.02
	การจัดการองค์กร (0.29)	0.02
สถานะทางการเงิน (0.05)		
เงื่อนไขการรับประกัน (0.06)		
ความสัมพันธ์ (0.04)	ความสัมพันธ์ระยะยาว (0.58)	0.02
	ความสามารถของตัวแทนการขาย (0.42)	0.02

เอกสารอ้างอิง

[1] Shishodia, A., P. Verma and V. Dixit. 2019. Supplier evaluation for resilient project driven supply chain. Computer & Industrial Engineering 129: 465-478.

[2] Aouadni1, S., I. Aouadni and A. Rebai. 2019. A systematic review on supplier selection and order allocation Problems. Journal of Industrial Engineering International 15: 267–289.

[3] Chai, J.and W. T. Ngai. 2020. Decision-making techniques in supplier selection: Recent accomplishments and what lies ahead. Expert Systems with Applications 140: 1-12.

[4] Benyoucef, L., H. Ding and X. Xie. 2003. Supplier Selection Problem: Selection Criteria and Methods. Institut National Recherceh En Informatique Et En Automatique N4726: 4-10.

[5] Marafuzzaman, M., K. Xing and K. B. Ahsan. 2009. Supplier selection and evaluation method using Analytical Hierarchy Process (AHP): A case study on an apparel manufacturing organization. International Journal of Value Chain Management 32: 224-238.

[6] Santis, R. B., L. Golliat and E. P. Aguiar. 2017. Multi-criteria supplier selection using fuzzy analytic hierarchy process: case study from a Brazilian railway operator. Brazilian Journal of Operations & Production Management 14: 428-437.

[7] Felice, F., D. M. F. Deldoost, M. Faizollahi and A. Perillo. 2015. Performance Measurement Model for the Supplier Selection Based on AHP. International Journal of Engineering Business Management 717: 1-17.

[8] Pachemska, T. A., M. Lapevski and R. Timovski. 2014. Analytical Hierarchical Process (AHP) method application in the process of selection and evaluation. 373-380. In UNITECH International Scientific Conference 14th. 21 – 22 November 2014, UNITECH. Gabrovo, Bulgaria.

[9] Jain, V., A.K. Sangaiah, S. Sakhuja, N. Thoduka and R. Aggarwal. 2018. Supplier selection using fuzzy AHP and TOPSIS: a case study in the Indian automotive industry. The Natural Computing Applications Forum 29: 555–564.

[10] Soltanifar, M. and F. H. Lotfi. 2011. The voting analytic hierarchy process method for discriminating among efficient decision-making units in data envelopment analysis. Computer & Industrial Engineering 60: 585-592.

[11] Liu, F.H.F., H.L. Hai. 2005. The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier. International Journal of Production Economics 97(3): 308-317.

Inventory Analysis of Packaging Items in a Food Repackaging Company

Ninatacha Thiantravan[1]*, Oran Kittithreerapronchai[1]

[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: ninatacha.thiantravan@sasin.edu*

Abstract:

This research aims to understand the nature of business and apply a suitable inventory policy to a case study food-repackaging company. Faced with seasonal export demands and perishable items, the company adopted two different inventory policies for related components. Because of its perishable and seasonal demand, a lot-of-lot inventory policy is applied to raw materials. However, bulk-purchasing was applied to packaging inventory to realize the economy of scales. These different inventory policies led to the deadstock and obsolete of packaging inventories as the company lacks of purchasing standards and constant monitoring. Further ABC analysis of the company shows that Bag and Packaging inventories have a long lead time due to the fact that they are sourced internationally. Therefore, this research proposed local sourcing and vendor volume negotiating to reduce ordering lead time and reorder point (ROP). The results suggested this could lead to reduce of holding cost and prevent stock out and, thus, improve the inventory management system.

Keywords: Inventory Management, Food Repackaging, Reorder Point

Introduction

As one of challenging issues in logistics, demand fulfilment has been the focus of supply chain management and goal in operation excellence. Therefore, companies have engaged in both internal and external initiatives to better fulfil and anticipate demands, such as synchronization of production cycle, streamlining of purchasing processes, reduction of lead time, and etc [1]. In addition to the understanding of business nature, these initiatives often require the adaptation of a suitable inventory policy, similar to a case study food-repackaging company.

Found in 1989, the case study company has served as an integrator who provides comprehensive services for foods and beverages products that are manufactured in Thailand. Currently, the company offers two distinctive product categories: repackaged products and trading products.

The trading products are exported overseas after appropriate labels are attached to the products, while on the other hand, the repackaged products are Original Equipment Manufacturing (OEM) products, as shown in Figure 1.

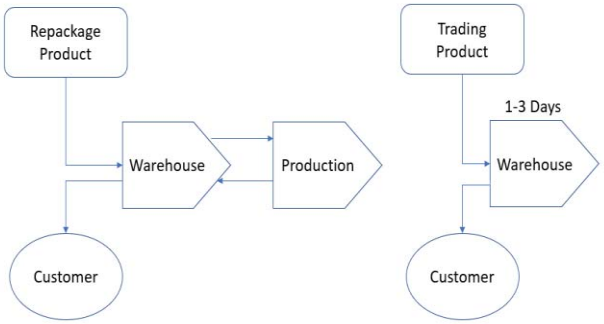


Figure 1: Trading vs. Repackaged Product Flow

Faced with seasonal export demands and perishable items, the company adopted two different inventory policies for related components. Because of their perishable and seasonal demands, a lot-of-lot inventory policy is applied to raw materials, whereas bulk-purchasing was applied to packaging inventories, such as labels and plastic bags, to realize the economy of scales. The differences in inventory policy led to the deadstock and obsolete of packaging inventories as the company lacks of purchasing standards and the warehouse fails to monitor packaging inventories constantly. As a result, this research aims to propose and apply a suitable inventory policy for packaging inventories to

reduce the inventory cost. Before revising inventory policies in Section 5, the remaining materials are organized as follows. Section 2 covers the relevant literature on inventory analysis and inventory management as well as a Monte Carlo Simulation to validate the results. Section 3 explains the nature of company and current business processes as well as the data collection. Then, the analysis of current repackaging products, the classification of packaging inventories, and the proposed inventory policy are discussed in Section 4.

Literature Review

Inventory is critical for companies and essential for every business for frictionless operations. As a result of net demands and supplies, inventory serves a buffer for possible fluctuation of demands, an insurance against shortage of supplies, and a controller between production and storage [2]. Because of difference roles of inventory, it is important to understand its nature by inventory analysis.

Inventory analysis refers to the systematic assessment of optimal inventory levels to ensure a consistent operation. The analysis typically begins with the classification of active stock keep units (SKU) based on their natures, such as dimensions, prices, ordering lead times, suppliers, into groups. Having understood the nature of each group, an analysis selects a suitable inventory policy based on order quantity, lead time, purchasing conditions, and safety stock. Perhaps, the most conventional model in the inventory analysis is economic order quantity (EOQ) [3]. The model assumes a uniform and deterministic demands as well as a constant ordering lead time without any purchasing constraints, which leads to a fixed order quantity and no buffer against fluctuation. The model has been proved impractical for adaptation. As a result, inventory reviewing policy and buffer inventory have been introduced to constantly or periodically monitor and synchronize inventory with an ordering cycle and to protect against demand fluctuation [4].

Because of the purchasing constraints, the practical order quantity is usually predetermined based on minimal order quantity and term of purchasing. Therefore, the inventory policy is simplified into “when-to-order” based on inventory threshold, called reordering point (ROP), that accounts for the average demand during a lead time and safety stock or allowance inventory in case of fluctuation by viability of demand and constant lead time, as shown in Equations 1 and 2.

$$ROP = \bar{d}LT + z\sigma\sqrt{LT} \quad (1)$$

$$SS = z\sigma\sqrt{LT} \quad (2)$$

where,

ROP = reorder point (*unit*)
SS = safety stock quantity (*unit*)
σ = standard deviation of daily demand
$\bar{d}$ = average daily consumption (*unit*)
LT = lead time(*day*)
Z = number of standard deviations

Many researchers allow a possibility of stock out using service levels and assuming that distributions of demand and lead time are normally distributed and independent.

Case Study Company

As a comprehensive agency and wholesale service provider of food and beverages, the case study company engages in the exports and distribution of the food products to different countries, mostly in South East Asia. In addition to sourcing various food products, the company also provides value added services such as labelling and repackaging. Despite many SKUS, the case study company, in general, groups products into two categories:

- **Trading product category** is fast moving consumer good that the company purchases, places appropriate labels, and deliveries to overseas customers.
- **Repackaged product category** is referred to products that the company purchases in large bulk quantities and re-packages them into specific and custom packaging requested by customers.

Currently the trading product category accounts for 65% of total sales. Despite a smaller share of sales, the repackaged product category contributes to a higher margin as operators must assemble components according to Bill of Materials (BOM). In addition to raw materials, the BOM of repackaged product consists four com-ponents referred to as packaging inventory, as shown in Figure 2.

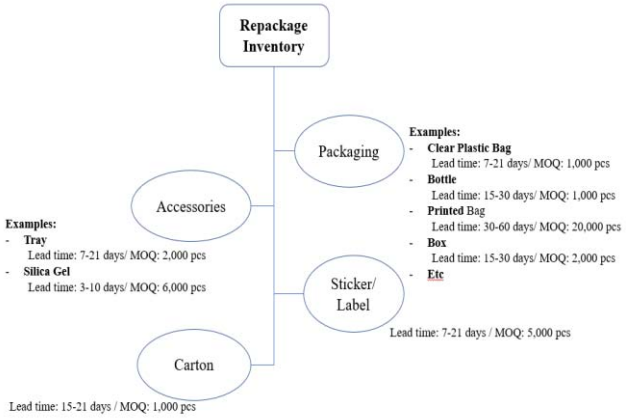


Figure 2: BOM of Repackaging Product

The data in this article was retrieved from the point-of-sales system (POS) and MS Excel sheets used by purchasing and storage departments. Because raw materials are food ingredients that is perishable and seasonal demand, the company manages their inventory using lot-for-lot policy. However, the packaging inventories are managed by bulk purchasing and minimal order quantity to realize economy of scales with min-max inventory, as shown in Figure 3.

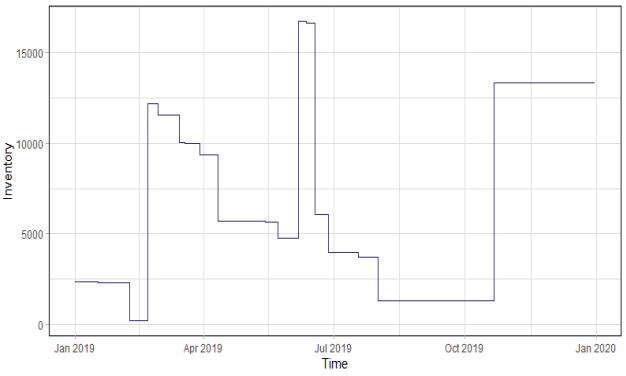


Figure 3: Example of Inventory A-003

This leads to conflict of inventory policies resulting in low inventory-turnover of packaging inventory at 0.185. It is important to note that a single SKU of packaging inventory may be required for many finish goods.

Analysis of Packaging Inventories

Having retrieved the 2019 production, purchasing and shipping data from the company record, each packaging inventory are denoted based on their categories into sticker (STI), carton (CAR), packaging (PAC), bag (BAG) and others (OTH); the values of which account for 46.99%, 20.48%, 15.66%, 14.46%, and 2.41%, respectively. These packaging inventories are ranked based on their sales and grouped using ABC analysis.

Value and Lead Time Analysis

Based on the 70-20-10 rule, 83 packaging-inventory items are grouped into three classes based on values, as shown in Figure 4.

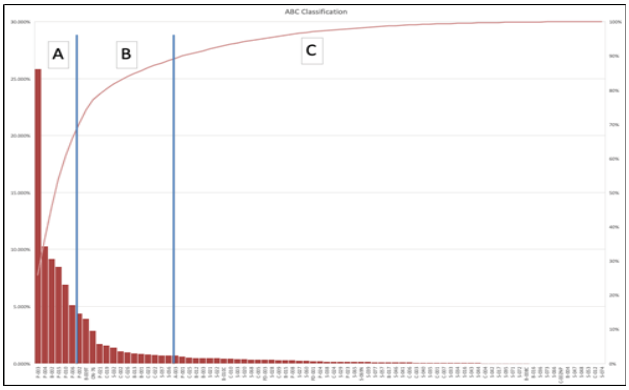


Figure 4: ABC Analysis of Packaging Inventory

In Figure 5, Class A, B, and C comprise of 7, 16, and 60 SKUs, respectively. In addition to values, each group of packaging inventory is also classified by the lead time, as shown in Table 1.

Table 1: Class and Categories of Packaging Inventory

Lead Time (days)	Class (SKU)			Category (SKU)				
	A	B	C	STI	CAR	PAC	BAG	OTH
1-7		2	2					4
8-14	2	2	40	39		3	3	
15-21		5	11		16			
22-29	5	3	1		1	8		
30+		3	6				9	

The classification of packaging inventory by its class and category reveals that some packaging and bag inventories experienced long ordering lead times. The company should focus on STI, PAC and BAG category as some SKUs can be sourced locally.

Safety Stock Analysis

The effects current inventory policy can be visualized through the safety stock, as shown in Figure 6.

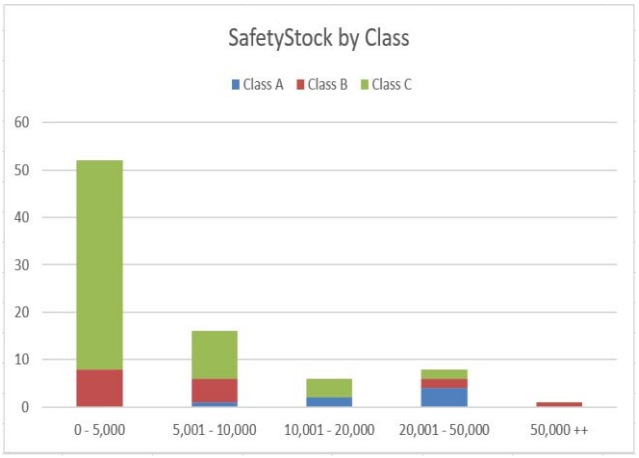


Figure 5: Distribution of Safety Stock grouped by Class

Figure 5 simplifies the possible quantities that the case study company may need to prepare because of the fluctuations of daily consumption and lead times. In Figure 5, some of Bag and Sticker inventories in Class-B and Class-C have high ROPs.

Inventory Management

Because of the Make-to-Order of repackaged products, the revised inventory policy relies on the synchronization of between raw materials and packaging inventory as well as the communication to suppliers. As a result, this article proposed two interdependent approaches:

- **Local sourcing**: This approach urges the company to source local suppliers for Category-PAC and invest in Stricker/Labelling machines. On average, this approach should reduce 50.0% reduction of lead time.
- **Volume Renegotiating**: The approach assumes that the company capable to renegotiate ordering quantities of Class-B inventory. On average, such approach results in 30.0% reduction of lead times. It is important to reduced lead time for class B inventory, especially Bag category as 30+ days ordering lead time could lead to stock out.

The application of both approaches could help the case study company to better synchronize the replenishment cycle and the production cycle. The analysis of safety stock and leads to 16 packaging inventories, as shown in Table 2.

Table 2: Classes and Categories of Packaging Inventory After Revision

Lead Time (day)	Class (SKU)			Category (SKU)				
	A	B	C	STI	CAR	PAC	BAG	OTH
1-7	2	2	2	39		1	1	4
8-14	5	8	40		5	7	2	
15-21		3	11		12	3		
22-29			1					
30+		3	6				9	

Table 2 shows that the lead times of packaging inventory in Class-A are significantly reduced by local sourcing and labelling machine. The approaches also reduce the lead time of Category -PAC, such as plastic tray and plastic cylinder. After the revision of lead time, the ROPs can be recalculated and compared with the original ROPs, as shown in Figure 7.



Figure 7: Revised ROP for 16 Potential Packaging Inventory

The comparison of ROPs with pair t-test reveals that the revised ROPs are significantly difference from the original ROPs with 0.95 confidence (p-value=0.006789).

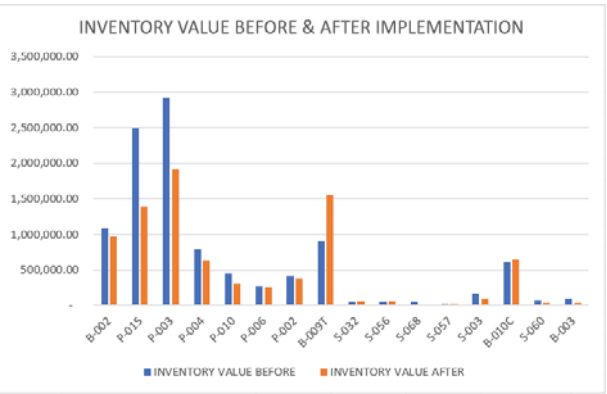


Figure 8: Inventory value before and after improvement

The company's inventory value before and after inventory management was shown in Figure 8. An average of 20.27% cost were save with these implementations and no stockout occurred as well. This will definitely increase customer satisfaction and service level.

Conclusion and Limitation

This research investigated the nature of packaging inventory in a case study food repackaging company. Repacked products consist of a) raw materials or main ingredients that are managed by lot-for-lot inventory policy and b) packaging inventory such as stickers, bags, and cartons that are managed by min-max policy. The different policies and the lack of inventory management results in non-moving inventory and insufficient storage area. The analysis revealed that some packaging inventory have low inventory turnover and long ordering lead times. Therefore, we grouped 83 currently active packaging inventories based on their values and their lead times. This leaded to the classification and proposed inventory policy. Some classification may require highest level of control. Others may need to be sourced locally and/or renegotiated the better purchasing terms. Having applied these approaches, the case study company could significantly reduce safety stock and their ROPs.

The case study company could benefit from basic inventory analysis and monitoring of packaging inventory. In addition, the company should integrate of proposed inventory policy into information system, and the routine monitoring packaging inventory such as cycle count as well as the syntonization between raw materials and packaging inventory.

REFERENCES

[1] Zavanella, L. and Zanoni, S., (2006). A one-vendor multi-buyer integrated production- inventory model: The 'Consignment Stock' case. International Journal of Pro- duction Economics, 118 (1), pp. 225 – 232.

[2] Pontius, N., (2020). 4 Types of Inventory Control Systems [Online]. Camcode Division. Available at: https://www.camcode.com/asset-tags/inventory-control-systems-types/ [Accessed 15th January 2021].

[3] Kocer, U.U. and Tamer, S., (2011). Determining the inventory policy for slow-moving items: a case study. In Proceedings of the World Congress on Engineering, 1(1), pp. 6-8.

[4] Axsater, S., (1993). Continuous review policies for multi-level inventory system with stochastic demand. Handbooks in Operations Research and Management Science, 4(1993), pp. 175-197.

[5] Balle, L., (2019). What does inventory turnover mean for a business? [online] Available at https://smallbusiness.chron.com [Accessed on 27th May 2020]

[6] Lee, C.J. and Rim, S.C., (2019). A mathematical safety stock model for DDMRP inventory replenishment. Mathematical Problems in Engineering, 2019.

ต้นทุนโลจิสติกส์ในการพัฒนาเบียร์เกม

Logistics cost in the Beer Game Development

สมเกียรติ เกิดบุญเรือง[1*] จุฑามาศ ชุมลักษณ์[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: somkiat725@gmail.com*

Somkiat Koetbunruang[1*] Juthamas Choomucksana[1]
[1] Department of Materials Handling and Logistics Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB)
E-mail: somkiat725@gmail.com*

บทคัดย่อ

เบียร์เกมถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือการฝึกอบรมบุคลากร ทั้งในระดับมัธยม มหาวิทยาลัย ตลอดจนบริษัทต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจสถานการณ์ในด้านการผลิต และการกระจายสินค้าภายในโซ่อุปทานมาเป็นเวลานาน แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้มีความเข้าใจถึงกระบวนการโซ่อุปทาน ผู้เล่นควรมีความรู้ในด้านต้นทุนโลจิสติกส์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาโปรแกรมเบียร์เกมด้านต้นทุนโลจิสติกส์ประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่งและ ต้นทุนสินค้าคงคลัง ผู้เล่นทำการส่งข้อมูลการสั่งซื้อสินค้าผ่าน Google Sheets งานวิจัยนี้ทำการคัดเลือกจากกลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ ด้วยเทคนิคการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จำนวน 68 คน ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความแตกต่างความเข้าใจด้านต้นทุนโลจิสติกส์ด้วย Paired t-test ผลงานวิจัยพบว่าผู้เล่นเกมมีความรู้ความเข้าใจในด้านต้นทุนสินค้าคงคลัง และต้นทุนการขนส่งเพิ่มมากขึ้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างคะแนนก่อนและหลังการทดสอบ จากเล่นเบียร์เกมที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: เบียร์เกม, ต้นทุนโลจิสติกส์, การบริหารจัดการโซ่อุปทาน

Abstract

Beer game has been used as a training tool in either a high school or university level, as well as companies in areas of production and distribution in supply chain for decades. However, players should have knowledge of logistics cost to deeply understand the supply chain process. Thus, this research aims to develop the beer game program regarding logistics cost including transportation and inventory costs. All players will submit an order information through google sheets. A sample group were 68 undergraduate students in a major of Logistics Engineering using purposive sampling techniques. Paired t-test was used to determine the mean difference. The research results showed that the players gain more knowledge about the inventory and transportation costs with the significant difference between pretest and posttest scores of the beer game at the level of 0.05

Keywords: Beer game, Logistics cost, Supply chain management

1. บทนำ

เบียร์เกมนิยมนำมาใช้สำหรับการฝึกอบรมบุคลากรในทุกระดับชั้น เช่น ระดับมัธยม มหาวิทยาลัย ตลอดจนบุคลากรของบริษัทต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการถือครองสินค้าคงคลัง เวลานำ และการส่งมอบสินค้าภายในโซ่อุปทาน เบียร์เกมที่นิยมใช้ให้ผู้เรียนเข้าใจถึงปรากฏการณ์แส้ม้าในห่วงโซ่อุปทานที่เกิดจากการขาดการสื่อสารส่งต่อข้อมูลอุปสงค์ของลูกค้าที่แท้จริง ทำให้เกิดสินค้าขาดหรือสินค้าล้นตลาด เกิดจากผู้เล่นเกมต่างคนต่างเล่น ต่างคนต่างตัดสินใจ ดังนั้นการมีความรู้และทักษะในด้านการวางแผน การจัดเก็บวัสดุสินค้าและการควบคุมปริมาณการไหลเวียนของสินค้า การบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับทุกคนที่ทำงานเกี่ยวข้องภายในโซ่อุปทานโดยเฉพาะผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่าง ๆ ของโลจิสติกส์ จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์การทำงานภายในโซ่อุปทานขึ้น เพื่อช่วยให้ผู้เล่นได้มีประสบการณ์ในการเรียนรู้และการแก้ไขปัญหาสถานการณ์ ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นภายในระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน เช่น ปัญหาด้านการจัดการสินค้าคงคลัง หรือการจัดเก็บสินค้าคงคลังมากเกินความจำเป็น เบียร์เกม [1] ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงปี ค.ศ.1960 โดยภาควิชาการบริหารสโลน แห่งสถาบันเอ็มไอที จากงานวิจัยของศาสตราจารย์ เจ ฟอเรสเตอร์ ในเรื่องพลวัตรของอุตสาหกรรม และเบียร์เกมถูกนำมาใช้สำหรับการฝึกอบรมในทุกระดับชั้นจนกระทั่งปัจจุบัน จากงานวิจัย [2] ทำการพัฒนาโปรแกรมแบบจำลองสถานการณ์เบียร์เกมบนคอมพิวเตอร์เพื่อให้ผู้เล่นสามารถศึกษาปรากฏการณ์แส้ม้าในห่วงโซ่อุปทานผ่านเกมบนอินเตอร์เน็ต งานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์รายวิชาการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จำนวน 40 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่เล่นแบบจำลองสถานการณ์เบียร์เกมที่เล่นบนกระดาน และเล่นบนอินเตอร์เน็ต ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าความแปรปรวน และใช้สถิติเชิงอนุมานในการทดสอบ สมมติฐานเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ t-test จากผลการศึกษาพบว่าผู้ที่เล่นผ่านอินเตอร์เน็ต มีระดับความพึงพอใจมากกว่าผู้เล่นบนกระดาน ผลการทดสอบทางด้านความรู้ และความเข้าใจปรากฏการณ์แส้ม้าของทั้งสองกลุ่มพบว่า การเล่นเบียร์เกมที่ถูกพัฒนาขึ้นมีส่วนช่วยให้นักศึกษาเข้าใจการเกิดปรากฏการณ์แส้ม้าเพิ่มมากขึ้น และมีผลคะแนนการทดสอบความรู้ทางด้านปรากฏการณ์แส้ม้าผ่านอินเตอร์เน็ตเป็นที่น่าพอใจมากกว่าผู้ที่เล่นบนกระดาน

เบียร์เกมประกอบไปด้วยกระดานแบบจำลอง เบี้ยที่ใช้แทนจำนวนสินค้า (เบียร์) และตารางบันทึกผลการเล่น เป็นต้น ผู้เล่นจะถูกจำลองบทบาทสมมติหรือเรียกว่า (role-play) ออกเป็น 4 กลุ่มงาน คือ กลุ่มค้าปลีก (Retailer,R) กลุ่มค้าส่ง (Wholesaler,W) กลุ่มกระจายสินค้า (Distributor,D) และกลุ่มโรงงาน (Factory,F) ทุกกลุ่มจะถูกจัดเรียงในลักษณะเส้นตรงเรียงตามการเชื่อมโยงการสั่งสินค้าตามลำดับ โดยมีวัตถุประสงค์หลักให้แต่ละทีมลดต้นทุนของตนเองให้ต่ำที่สุด

อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อโซ่อุปทาน และผู้เล่นมีความจำเป็นที่ต้องทราบ เช่น ต้นทุนโลจิสติกส์ จำนวนในการสั่งซื้อแต่ละครั้ง และจุดสั่งซื้อหรือระยะเวลาในการส่งมอบสินค้า เป็นต้น การสร้างแบบจำลองสถานการณ์หรือ เบียร์เกมจำเป็นต้องมีข้อมูลด้านต้นทุนต่าง ๆ และมีเงื่อนไขเพื่อให้ผู้เล่นมีความเข้าใจถึงการจำลองสถานการณ์ภายในโซ่อุปทานได้ดียิ่งขึ้น ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเบียร์เกมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันโดยการเพิ่มปัจจัยในด้านต้นทุนโลจิสติกส์ที่จำเป็น ทำการเล่นเกมผ่านระบบอินเตอร์เน็ตกำหนดให้มีการส่งและบันทึกข้อมูลผ่าน Google Sheet

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดการโลจิสติกส์

คำว่า โลจิสติกส์ (Logistics) [3] มาจากภาษาฝรั่งเศสคือคำว่า Logistique ซึ่งมีรากศัพท์ มาจากคำว่า โลเชร์ (Loger) หมายถึง การเก็บ โดยมีจุดเริ่มต้นมาจากการขนส่งทางการทหาร เสบียง อาวุธ กำลังพล เพื่อสนับสนุนการรบ

จากคำจำกัดความข้างต้นสรุปโลจิสติกส์ หมายถึงระบบการจัดส่งสินค้า ข้อมูล และทรัพยากรจากต้นทางไปยังผู้บริโภค ตามความต้องการของลูกค้าโลจิสติกส์เกี่ยวข้องกับการผสมผสานของข้อมูล การขนส่ง การบริหารวัสดุคงคลัง การจัดการวัตถุดิบ การบรรจุหีบห่อ และโลจิสติกส์ยังเพิ่มมูลค่าของการใช้ประโยชน์ของเวลาและสถานที่ภายในโซ่อุปทาน

2.2 การจัดการโซ่อุปทาน

การจัดการโซ่อุปทาน [3] หมายถึง กระบวนการบูรณาการการประสานงานและการควบคุมการเคลื่อนย้ายสินค้าคงคลังประกอบด้วยวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูป จากผู้ขายวัตถุดิบผ่านกลุ่มงานต่าง ๆ ไปยังผู้บริโภค เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค การจัดการโซ่อุปทานเป็นการประสานงานและร่วมมือกันของทุก ๆ กลุ่มงานตั้งแต่ผู้ส่งมอบวัตถุดิบไปยังผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า ผู้แทนจำหน่ายจนกระทั่งถึงผู้บริโภค โซ่อุปทานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ โซ่อุปทานที่เข้าสู่ผู้ผลิต และโซ่อุปทานที่เข้าสู่ลูกค้า

2.3 แบบจำลองสถานการณ์เบียร์เกมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

การเล่นเบียร์เกม ผู้เล่นอาจเล่นเกมบนกระดานแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มงานภายในโซ่อุปทาน ประกอบด้วย คือ

1. กลุ่มค้าปลีก
2. กลุ่มค้าส่ง
3. กลุ่มกระจายสินค้า และ
4. กลุ่มโรงงาน

ในการเล่นเกมใน1 กลุ่มงาน ควรมีผู้เล่น 1 หรือ 2 คนช่วยกันบริหารแต่ละส่วนงาน เหรียญต่าง ๆ ใช้แทนลังเบียร์ บัตรกระดาษจะแทนความต้องการของลูกค้าในแต่ละสัปดาห์ของการซื้อขายเบียร์ เริ่มจาก ลูกค้าทำการสั่งซื้อเบียร์จากผู้ค้าปลีก ผู้ค้าปลีกทำการสั่งเบียร์จากผู้ค้าส่ง ขณะที่ผู้ค้าส่งทำการสั่งซื้อเบียร์จากผู้กระจายสินค้าที่ทำการสั่งและรับเบียร์จากโรงงานที่ผลิตเบียร์ โดยในแต่ละกลุ่มงานพยายามบริหารจัดการต้นทุนในการสั่งซื้อและถือครองสินค้าให้ต่ำที่สุด

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[4] ทำการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ "เบียร์เกม" โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทดแทนแบบจำลอง "เบียร์เกม" แบบมาตรฐานที่ต้องอาศัยอุปกรณ์และผู้ควบคุมแบบจำลองจำนวนมาก และทำการหาผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ในระบบห่วงโซ่อุปทานที่มีต่อปรากฏการณ์ "บูลวิพ" อันประกอบด้วยการนำเสนอข้อมูลอุปสงค์ที่แท้จริงของผู้บริโภค และข้อมูลจำนวนสินค้าค้างส่งจากผู้จัดส่งสินค้าให้ผู้ทดสอบในทุกหน่วยงานในแบบจำลองทราบ และการเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการส่งเสริมสินค้าระหว่างหน่วยงานผลการทดสอบการใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ "เบียร์เกม" พบว่าต้นทุนรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าดัชนีการเกิดปรากฏการณ์ "บูลวิพ" นอกจากนี้การศึกษายังพบว่า การแลกเปลี่ยนข้อมูลความต้องการของลูกค้าและปริมาณสินค้าค้างส่งเป็นประโยชน์ต่อสมาชิกในโซ่อุปทาน สำหรับการตัดสินใจสั่งเติมสินค้าและมีแนวโน้มช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์ "บูลวิพ" ส่งผลให้ต้นทุนรวมมีแนวโน้มลดลง

[5] เบียร์เกมเป็นสื่อในการเรียนรู้เรื่องปรากฏการณ์แส่ม้าของห่วงโซ่อุปทาน สำหรับการเรียนการสอนในรายวิชาการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ หลังจากการนำเกมมาช่วยในการสอนผู้วิจัยพบว่าผู้เรียนสามารถสรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านประสบการณ์การลงมือปฏิบัติและสามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้ที่สังเคราะห์ได้เข้ากับหลักการทางทฤษฎีได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไร จากการศึกษาพบว่า ยังมีข้อจำกัดสำคัญหลายประการในการนำเกมมาใช้เป็นสื่อการสอน เช่น ข้อจำกัดในด้านจำนวนผู้เล่น ความแม่นยำของผู้ควบคุมเกม และข้อจำกัดในด้านเวลาที่ใช้ในการเล่นเกมแต่ละครั้งเป็นต้น

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) จำนวนทั้งสิ้น 68 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองสถานการณ์เบียร์เกมที่พัฒนาขึ้นมาใหม่และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการเล่นเกม จำนวน 15 ข้อ แต่ละข้อประกอบด้วย 4 ตัวเลือก แบบสลับข้อและสลับตัวเลือกด้วย Google Form จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ Paired t-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนสอบของผู้เล่นก่อนและหลังเล่นเกม

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีสถิติเชิงพรรณา (Descriptive Statistic) เพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน ของคะแนนแบบทดสอบความรู้ในด้านต้นทุนขนส่งและต้นทุนสินค้าคงคลังก่อนและหลังเล่นเกม และใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistic) เพื่อทดสอบสมมติฐานทางวิจัยโดยการประยุกต์ Paired t-test วิเคราะห์ความแตกต่างของการรับรู้และเข้าใจด้านต้นทุนขนส่งและต้นทุนสินค้าคงคลังของกลุ่มตัวอย่าง และวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) สำหรับการทดสอบความรู้ด้านปรากฏการณ์แส้ม้า ด้านต้นทุนการขนส่งและต้นทุนสินค้าคงคลังก่อนและหลังการเล่นเกม ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์และประมวลผลทางด้านสถิติ (Minitab)

3.4 ขั้นตอนการพัฒนาเบียร์เกม

จากการศึกษากติกาเงื่อนไขวิธีการเล่นแบบจำลองสถานการณ์เบียร์เกมแบบเดิม ที่ให้ผู้เล่นเข้าใจเรื่องปรากฏการณ์แส้ม้าภายในโซ่อุปทานเป็นหลัก โดยทำการกำหนดต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มงาน เช่น ต้นทุนของการจัดเก็บสินค้า และต้นทุนค่าใช้จ่ายสินค้าค้างส่งของแต่ละกลุ่มงานเท่ากัน และกำหนดระยะเวลารอสินค้า (Purchase order lead time) เท่ากันทุกรอบ (ทุกสัปดาห์) ในการเล่น รวมถึงวิธีการสั่งซื้อโดยกำหนดให้ผู้เล่นสามารถทำการสั่งซื้อเบียร์ได้ตามที่ต้องการในแต่ละสัปดาห์ คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาเบียร์เกมโดยการเพิ่มเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับการเรียนรู้ต้นทุนโลจิสติกส์ ในด้านต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนสินค้าคงคลังของทุกกลุ่มงาน เช่น มีการกำหนดปริมาณสั่งซื้อ ปริมาณในการขนส่ง ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าที่แตกต่างกันของกลุ่มงาน ต้นทุนสินค้าค้างส่งที่แตกต่างของแต่ละกลุ่มงาน และกำหนดวันหยุดตามปฏิทิน เป็นต้น และให้ผู้เล่นทำการรับส่งข้อมูลการสั่งซื้อผ่าน Google Sheets ในรูปแบบออนไลน์ Google Sheets ถูกออกแบบเพื่อแสดงกราฟสรุปเหตุการณ์ต้นทุนแต่ละกลุ่มงาน

การสร้างแบบทดสอบความรู้ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบทดสอบก่อนและหลังการเล่นอย่างละ 15 ข้อ โดยมีเนื้อหาประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนสินค้าคงคลัง แบบทดสอบก่อนและหลังเล่นเกมได้ทำการวิเคราะห์เนื้อหาจากให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านโลจิสติกส์ที่มีประสบการณ์ในการสอนและการทำงานด้านโลจิสติกส์ไม่น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสม และพิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาของแบบทดสอบในแต่ละด้าน

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการพัฒนาเบียร์เกม

4.1.1 เงื่อนไขและกติกาการเล่นเบียร์เกม

1. ผู้เล่น 1 กลุ่ม มีสมาชิก จำนวน 4 คน (แบ่งตามกลุ่มงาน ได้แก่ ผู้ค้าปลีก ผู้ค้าส่ง ผู้กระจายสินค้า และผู้ผลิตสินค้า) และผู้เล่นทำการเล่นเกมทั้งหมด 40 สัปดาห์ (40 รอบ) ผู้เล่นไม่สามารถสื่อสารกันได้ใน 20 สัปดาห์แรก และสามารถสื่อสารกันได้สัปดาห์ที่ 21-40 เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลความต้องการของลูกค้า

2. เริ่มเล่น จะมีสินค้าอยู่ในคลังสินค้า ทั้ง 4 กลุ่มงาน จำนวน 50 ลัง ระหว่างจัดส่งในรถขนส่งคันละ 10 ลัง และมีคำสั่งซื้ออยู่ จำนวน 10 ลัง

3. เมื่อมีสินค้าค้างส่งต้องไม่มีสินค้าคงคลัง สินค้าค้างส่งจะสะสม ค้างส่งจะต้องทำการส่งจากลูกค้าที่ค้างส่งเรียงลำดับจากวันที่ค้างตามจำนวนค้างส่ง และมีกำหนดช่วงเทศกาลเพื่อให้เรียนรู้ความต้องการที่มีความแปรปรวนและให้มีความใกล้เคียงกับสถานการร์จริงให้มากที่สุด เช่น เทศกาลเบียร์ เทศกาลเข้าพรรษา และเทศกาลอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อการสั่งซื้อสินค้า

4. การควบคุมสินค้าคงคลัง

การพัฒนาเบียร์เกมนี้ มีการกำหนดนโนบายการควบคุมสินค้าคงคลังทั้งหมด 4 แบบ คือ แบบกำหนดรูปแบบการสั่งซื้อ และแบบกำหนดจุดสั่งซื้อ โดยทำการกำหนดนโยบายการควบคุมสินค้าคงคลังให้ผู้เล่นสามรถเลือกสั่งซื้อสินค้าตามนโยบายที่กำหนดในแต่ละสัปดาห์ เพื่อให้ผู้เล่นมีความรู้ และความเข้าใจในด้านต้นทุนสินค้าคงคลังและการควบคุมสินค้าคงคลังตามหลักการโลจิสติกส์

4.1 ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (Economic Order Quantity) พิจารณาจากต้นทุนบริหารสินค้าคงคลัง ประกอบด้วยต้นทุนการจัดเก็บสินค้าและต้นทุนการสั่งซื้อกำหนดให้การสั่งซื้อในสัปดาห์ที่ 1 มีการกำหนดสูตรใน Google Sheets

4.2 จุดสั่งซื้อใหม่ เพื่อกำหนดอัตราความต้องการสินค้าคงคลังคงที่และรอบเวลาคงที่ กำหนดให้ทำการสั่งในสัปดาห์ที่ 2 มีการกำหนดสูตรใน Google Sheets

4.3 การสั่งซื้อแบบสั่งได้ตามต้องการ (Lot-for-Lot; L4L) ผู้เล่นสามารถกำหนดปริมาณการสั่งซื้อได้ตามความต้องการ กำหนดให้ทำการสั่งซื้อในสัปดาห์ที่ 3-25

4.4 ปริมาณสั่งการซื้อเป็นชุด (Multiple Order Quantity) กำหนดให้ผู้เล่นทำการสั่งซื้อ ชุดละ 60 ลัง หรือ จำนวน 1 พาเลท กำหนดให้ทำการสั่งซื้อในสัปดาห์ที่ 26-40

5. ปริมาณการขนส่ง รถขนส่ง 1 คัน สามารถบรรทุกสินค้าได้จำนวน 6 พาเลท ๆ ละ 60 ลัง รวม 360 ลังต่อคัน ถ้ามีการขนส่งสินค้ามากกว่าจำนวนดังกล่าว ให้เพิ่มจำนวนรถขนส่งสินค้าตามความเป็นจริงการกำหนดความสามารถในการบรรจุของการขนส่งในแต่ละเที่ยว เพื่อให้ผู้เล่นวางแผนการบริหารต้นทุนการขนส่งจากการเล่นเบียร์เกม

6. ระยะเวลาส่งมอบ (Lead Time) กำหนดให้ระยะเวลาในการส่งมอบสินค้าเท่ากับ 4 สัปดาห์ สัปดาห์ที่ 1-29 และ 3 สัปดาห์ในสัปดาห์ที่ 30-40 เพื่อให้ผู้เล่นเกมวางแผนทำการสั่งซื้อและสามารถส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าได้ทันตามความต้องการของลูกค้า

4.1.2 การกำหนดต้นทุน

1. ต้นทุนสินค้าคงคลัง

ต้นทุนสินค้าคงคลัง ถูกออกแบบให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษาสินค้าและต้นทุนสินค้าค้างส่งในแต่ละกลุ่มงานที่แตกต่างกัน เนื่องจากผู้เล่นเกมสามรถสื่อสารกันได้ในสัปดาห์ที่ 21-40 ผู้เล่นในแต่ละกลุ่มงานจะได้ได้วางแผนการบริหารต้นทุนเพิ่มมากขึ้นในการดำเนินด้านสินค้าคงคลัง

1.1 ต้นทุนการจัดเก็บรักษาสินค้า

1.1.1 กลุ่มผู้ค้าปลีก ลังละ 5 บาท/สัปดาห์

1.1.2 กลุ่มผู้ค้าส่ง ลังละ 4 บาท/สัปดาห์

1.1.3 กลุ่มผู้กระจาย ลังละ 3 บาท/สัปดาห์

1.1.4 กลุ่มผู้ผลิต ลังละ 2 บาท/สัปดาห์

1.2 ต้นทุนสินค้าค้างส่ง

1.2.1 กลุ่มผู้ค้าปลีก ลังละ 20 บาท/สัปดาห์

1.2.2 กลุ่มผู้ค้าส่ง ลังละ 15 บาท/สัปดาห์

1.2.3 กลุ่มผู้กระจาย ลังละ 10 บาท/สัปดาห์

1.2.4 กลุ่มผู้ผลิต ลังละ 5 บาท/สัปดาห์

2. ต้นทุนขนส่ง

ทำการเพิ่มต้นทุนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนขนส่งจริง ได้แก่ ต้นทุนในการเคลื่อนย้ายสินค้า ต้นทุนระยะทางที่ใช้ในการขนส่ง และต้นทุนสำหรับการขนส่งต่อเที่ยวที่แต่ละกลุ่มงานไม่เท่ากันโดยกำหนดต้นทุนประกอบกับระยะทางในการขนส่งเพื่อให้ผู้เล่นเกมสามารถวางแผนการขนส่งสินค้า

2.1 ต้นทุนการเคลื่อนย้าย

2.1.1 กลุ่มผู้ค้าปลีก ลังละ 2 บาท/สัปดาห์

2.1.2 กลุ่มผู้ค้าส่ง ลังละ 2 บาท/สัปดาห์

2.1.3 กลุ่มผู้กระจาย ลังละ 2 บาท/สัปดาห์

2.1.4 กลุ่มผู้ผลิต ลังละ 2 บาท/สัปดาห์

2.2 ต้นทุนระยะทางการขนส่ง

เวลาในการจัดส่ง 2 สัปดาห์

2.2.1 กลุ่มผู้ค้าปลีก ระยะทาง 20 กิโลเมตร ๆ 4 บาท ลังละ 3 บาท/เที่ยว

2.2.2 กลุ่มผู้ค้าส่งระยะทาง 50 กิโลเมตร ๆ 4 บาท ลังละ 3 บาท/เที่ยว

2.2.3 กลุ่มผู้กระจาย ระยะทาง 100 กิโลเมตร ๆ 4 บาท ลังละ 3 บาท/เที่ยว

2.2.4 กลุ่มผู้ผลิต ระยะทาง 200 กิโลเมตร ๆ 4 บาท ลังละ 3 บาท/เที่ยว

เวลาในการจัดส่ง 1 สัปดาห์ (สัปดาห์ที่ 30-40)

2.2.5 กลุ่มผู้ค้าปลีก ระยะทาง 20 กิโลเมตร ๆ 4 บาท ลังละ 5 บาท/เที่ยว

2.2.6 กลุ่มผู้ค้าส่ง ระยะทาง 50 กิโลเมตร ๆ 4 บาท ลังละ 5 บาท/เที่ยว

2.2.7 กลุ่มผู้กระจาย ระยะทาง 100 กิโลเมตร ๆ 4 บาท ลังละ 5 บาท/เที่ยว

2.2.8 กลุ่มผู้ผลิต ระยะทาง 200 กิโลเมตร ๆ 4 บาท ลังละ 5 บาท/เที่ยว

2.3 ต้นทุนคงที่สำหรับการขนส่งต่อเที่ยว

2.3.1 กลุ่มผู้ค้าปลีก ระยะทาง 20 กิโลเมตร 300 บาท

2.3.2 กลุ่มผู้ค้าส่ง ระยะทาง 50 กิโลเมตร 700 บาท

2.3.3 กลุ่มผู้กระจาย ระยะทาง 100 กิโลเมตร 1,000 บาท

2.3.4 กลุ่มผู้ผลิต ระยะทาง 200 กิโลเมตร 2,000 บาท

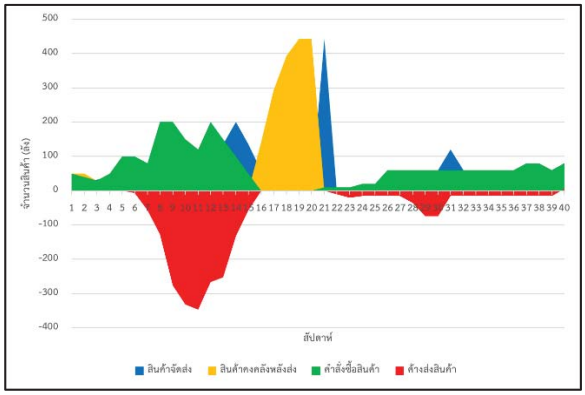
4.1.2 การเล่นเบียร์เกม

ในการเล่นเกม ผู้เล่นแต่ละกลุ่มงานจะทำการรับส่งข้อมูลและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ด้วย Google Sheets ผู้เล่นแต่ละกลุ่มงานจะมีแบบฟอร์มเป็นของตนเองซึ่งแต่ละกลุ่มงานจะมีแบบฟอร์มใน Google Sheets ในสัปดาห์ที่ 1 ที่เหมือนกัน

รูปที่ 1 แสดงข้อมูลการเล่นจำนวน 16 สัปดาห์ เริ่มจากคอลัมน์ที่ 1 สัปดาห์ที่เล่น 1-40 คอลัมน์ที่ 2 รับสินค้า ผู้เล่นจะได้รับข้อมูลสินค้าจากผู้ขายที่ผู้เล่นสั่งซื้อก่อนหน้า ตามจำนวนที่ผู้ขายมีสินค้าและจัดส่งให้ คอลัมน์ที่ 3 คำสั่งซื้อจากลูกค้าที่ผู้เล่นได้รับ เมื่อได้รับคำสั่งซื้อแล้วผู้เล่นต้องจัดส่งสินค้าตามที่ลูกค้าสั่งซื้อ หรือจัดส่งสินค้าตามจำนวนที่มีเท่าที่สามารถจัดส่งให้กับลูกค้าได้ ในคอลัมน์ที่ 4 สินค้าจัดส่ง โดยพิจารณาสินค้าก่อนจัดส่ง คอลัมน์ที่ 7 เมื่อดำเนินการจัดส่งเสร็จแล้วสินค้าคงเหลือจะปรากฏใน คอลัมน์ที่ 6 สินค้าหลังจัดส่ง แต่ถ้าสินค้าไม่พอส่งให้กับลูกค้าได้ครบตามจำนวน ในคอลัมน์ที่ 8 จะปรากฏจำนวนสินค้าค้างส่ง เมื่อเล่นในสัปดาห์ถัดไป ต้องจัดส่งสินค้าที่ค้างส่งให้กับลูกค้าด้วย โดยสินค้าค้างส่งจะสะสมทุกสัปดาห์ที่มีการค้างส่ง คอลัมน์ที่ 6 คำสั่งซื้อสินค้าของผู้เล่นที่สามารถสั่งซื้อสินค้าได้หลังจากจัดส่งสินค้าเสร็จแล้วนั้นแต่ต้องดำเนินการตามคอลัมน์ที่ 9 ที่กำหนดเงื่อนไขการเล่นให้ผู้เล่นสามารถดำเนินการเล่นเกมได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดทุกสัปดาห์ และผู้เล่นสามรถตรวจสอบต้นทุนรวมในระหว่างการเล่นจากท้ายของตารางใน Google Sheets ดังรูปที่ 2 เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจวางแผนการดำเนินงานในการเล่นเกม ในสัปดาห์ต่อไป

คอลัมน์								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
สัปดาห์ที่	รับสินค้า (ลัง)	คำสั่งซื้อลูกค้า (ลัง)	สินค้าจัดส่ง (ลัง)	หลังส่ง (ลัง)	คาสั่งซื้อสินค้า (ลัง)	จัดส่ง (ลัง)	ค้างส่งสินค้า (ลัง)	หมายเหตุ
1	10	10	10	50	50	60	0	37
2	10	10	10	50	40	60	0	40
3	10	32	32	28	30	60	0	Lead Time 4 สัปดาห์
4	10	40	38	0	50	38	-2	Lead Time 4 สัปดาห์
5	50	35	37	13	100	50	0	Lead Time 4 สัปดาห์
6	40	60	53	0	100	53	-7	Lead Time 4 สัปดาห์
7	30	80	30	0	80	30	-57	Lead Time 4 สัปดาห์
8	50	120	50	0	200	50	-127	Lead Time 4 สัปดาห์
9	100	250	100	0	200	100	-277	Lead Time 4 สัปดาห์
10	95	150	95	0	150	95	-332	Lead Time 4 สัปดาห์
11	85	100	85	0	120	85	-347	Lead Time 4 สัปดาห์
12	200	120	200	0	200	200	-267	Lead Time 4 สัปดาห์
13	135	120	135	0	150	135	-252	Lead Time 4 สัปดาห์
14	200	80	200	0	100	200	-132	Lead Time 4 สัปดาห์
15	135	60	135	0	50	135	-57	Lead Time 4 สัปดาห์
16	200	0	57	143	0	200	0	Lead Time 4 สัปดาห์

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างการจัดเก็บข้อมูลการเล่นเบียร์เกม ผ่าน Google Sheets กลุ่มงาน ผู้กระจายสินค้า



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างกราฟข้อมูลที่ได้จากการเล่นเบียร์เกม

4.2 ผลการทดสอบในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เล่น

จากการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการเรียนรู้การเล่นเบียร์เกม อย่างละ 15 ข้อ ตารางที่ 1 และตารางที่ 2 แสดงผลวิเคราะห์คะแนนก่อนและหลังการเล่นเบียร์เกมที่ถูกพัฒนาขึ้น

ตารางที่ 1 Paired Sample Statistics

ทดสอบ	Mean	N	Std. Deviation
คะแนนก่อนเล่น	7.323529	68	3.684811
คะแนนหลังเล่น	8.161765	68	4.824188

ตารางที่ 2 Paired Sample Correlation

ทดสอบ	N	Correlation	Sig.
คะแนนก่อนเล่น - หลังเล่น	68	0.472384	0.001811

จากตารางที่ 1 การทดสอบ Paired t-test พบว่าค่าเฉลี่ยคะแนนของผู้เล่นก่อนเล่นเบียร์เกม คะแนนเต็ม 15 คะแนน ผลการทำ

แบบทดสอบมีค่าเฉลี่ย 7.32 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.68 หลังการเล่นเบียร์เกม ผลการทำแบบทดสอบมีค่าเฉลี่ย 8.16 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.824188

ผลการศึกษาพบว่าค่าคะแนนความสัมพันธ์ของคะแนนก่อนและหลังการเล่นเกมมีค่าเท่ากับ 0.47 มีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวในระดับปานกลาง แสดงว่าผู้เล่นเกมมีความรู้ด้านปรากฏการณ์แส้ม้า ต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนสินค้าคงคลังมากในทิศทางเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5. สรุป

ผลการพัฒนาเบียร์เกม เล่นเกมผ่าน Google Sheets แบบออนไลน์ โดยกำหนด เงื่อนไขและกติกาการเล่นเบียร์เกม การควบคุมสินค้าคงคลัง การพัฒนาเบียร์เกมนี้ มีการกำหนดนโนบายการควบคุมสินค้าคงคลังทั้งหมด 4 แบบ คือ ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด จุดสั่งซื้อใหม่ การสั่งซื้อแบบสั่งได้ตามต้องการ และปริมาณสั่งการซื้อเป็นชุด การควบคุมปริมาณการขนส่ง และระยะเวลาส่งมอบ การกำหนดต้นทุน 2 ด้าน ได้แก่ ต้นทุนสินค้าคงคลัง ประกอบด้วยต้นทุนการจัดเก็บรักษาสินค้า และต้นทุนสินค้าค้างส่ง ถูกออกแบบให้มีค่าใช้จ่ายในแต่ละกลุ่มงานที่ไม่เท่ากันที่แตกต่างจากเบียร์เกมแบบเดิมให้ผู้เล่นเบียร์เกมได้บริหารวางแผนต้นทุนในการดำเนินด้านสินค้าคงคลัง และต้นทุนขนส่ง ประกอบด้วย ต้นทุนการเคลื่อนย้าย ต้นทุนระยะทางการขนส่ง และต้นทุนคงที่สำหรับการขนส่งต่อเที่ยว ผู้เล่นสามรถเรียนรู้องค์ประกอบของต้นทุนขนส่งและวางแผนการเล่นเพื่อให้การบริหารต้นทุนโลจิสติกส์ที่เกิดตามความเป็นจริงในปัจจุบัน

ผลการศึกษาพบว่าผู้เล่นเกมมีองค์ความรู้ต้นทุนโลจิสติกส์ทั้ง 2ด้าน ได้แก่ 1. ด้านต้นทุนการขนส่ง ที่ถูกกำหนดด้วยระยะทาง ราคาขนส่งต่อลัง จำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง ซึ่งทั้ง 4 ส่วนงานมีต้นทุนที่ไม่เท่ากัน และ 2.ด้านต้นทุนสินค้าคงคลัง กำหนดราคาในการจัดเก็บสินค้า ราคาในการเคลื่อนย้ายสินค้า และราคาที่ต้องชดใช้หรือเสียโอกาสในการขาย ในกรณีที่มีสินค้าค้างส่งหรือไม่สามารถส่งสินค้าตามที่ลูกค้าต้องการได้นั้น ทั้ง 4 กลุ่มงาน ราคาต้นทุนต่อหน่วยต่างกัน การพัฒนาเบียร์เกมครั้งนี้ ทำให้ผู้เล่นต้องใช้ความสามารถในการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด โดยมีองค์ความรู้เกี่ยวข้องของต้นทุนโลจิสติกส์ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์และการกำหนดเงื่อนไขในการเล่นเกม จากการทดสอบความรู้ก่อนและหลังเล่นเบียร์เกมพบว่า การเล่นเบียร์เกมทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจความรู้ปรากฏการณ์แส้ม้าจากการเล่นเกมเพิ่มองค์ความรู้ด้านต้นทุนขนส่ง และต้นทุนสินค้าคงคลังเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำจากคณาจารย์และนักศึกษาชั้นปีที่ 3 ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Sterman, J. D. 1992. “Teaching Takes Off: Flight Simulators for Management Education.” OR/MS Today: 40-44.

[2] นพคุณ ทิวาพัฒน์ กวินธร สัยเจริญ และชูศักดิ์ พรสิงห์. 2560. “การจัดสร้างเบียร์เกมที่เล่นผ่านเว็บเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ปรากฏการณ์แส้ม้าในห่วงโซ่อุปทาน.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปีที่ 24, ฉบับที่ 3: 89-97.

[3] ประจวบ กล่อมจิต. โลจิสติกส์-โซ่อุปทาน:การออกแบบและจัดการเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 6, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด มหาชน, 2565.

[4] ศิริชัย จงจินตรักษา. (2549). การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ “เบียร์เกม” เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปรากฏการณ์ “บูลวิพ”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ (สหสาขาวิชา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] ณัฏฐรินดา เนตรสว่าง. 2559. “การนำเกมจำลองสถานการณ์ (Beer Game) มาใช้ในการเรียนการสอนเรื่องปรากฏการณ์แส่ม้า (Bullwhip Effect) ในรายวิชาการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์.” วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น, ปีที่ 10, ฉบับที่ 2: 7-16.

การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัท เอทีเอส จำกัด

Increasing Efficiency of Warehouse Management: A Case Study of ATS Company

ชลิตา จิรศักดิ์สกุล[1,2*] จิรพรรณ เลี่ยงโรคาพาธ[2]
[1] สาขาโลจิสติกส์และซัพพลายเชน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
[2] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
E-mail: Chalita.jir@mahidol.ac.th*

Chalita Jirasaksakul[1,2*], Jirapan Liangrokapart[2]
[1] Department of Logistic and Supply chain, Faculty of Engineering, Mahidol University
[2] Department of industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University
E-mail: Chalita.jir@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

คลังสินค้าในปัจจุบันมีขนาดใหญ่ เพื่อตอบสนองความต้องการในการเก็บสินค้าที่หลากหลาย การจัดการคลังสินค้าที่มีประสิทธิภาพช่วยให้องค์กรทราบปริมาณสินค้าคงคลังที่เก็บ หาตำแหน่งการจัดเก็บได้ง่าย เคลื่อนย้ายสินค้าได้สะดวกรวดเร็ว และช่วยให้กระบวนการการจัดการคลังสินค้ามีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า โดยใช้บริษัทเอทีเอสเป็นกรณีศึกษา โดยได้ทำการศึกษาเบื้องต้นและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) ต่อมาแสดงตำแหน่งของปัญหาเกิดขึ้นในกระบวนการจัดการคลังสินค้า โดยใช้แผนภูมิการไหล (Flowchart diagram) และการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า โดยใช้ทฤษฎี ABC Analysis เพื่อจัดกลุ่มสินค้า และกำหนดตำแหน่งในการวางสินค้า ใช้การควบคุมการมองเห็น (Visual control) ร่วมกับการจัดสินค้าคงคลังแบบ First-In-First-Out (FIFO) เพื่อลดระยะเวลาในการค้นหาสินค้าและจำนวนลดสินค้าคงคลังที่ล้าสมัย หลังการปรับปรุงการทำงานในคลังสินค้า สามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 16 ขั้นตอน เหลือ 14 ขั้นตอน ระยะทางการปฏิบัติงานจาก 173.5 เมตร เหลือ 88.5 เมตร เวลาการปฏิบัติงานจาก 69.38 นาที เหลือ 52 นาที และใช้ระยะเวลาในการค้นหาสินค้าจาก 14.58 นาทีนาทีต่อหนึ่งคำสั่งซื้อ เหลือ 5.46 นาทีต่อหนึ่งคำสั่งซื้อ

คำสำคัญ: การจัดการคลังสินค้า, การเพิ่มประสิทธิภาพ ABC Analysis, การจัดการสินค้าคงคลัง

Abstract

The size of warehouse presently is large in order to respond to the variety of goods to be stored in the warehouse. Effective warehouse management helps organizations to know the quantity of inventory, to locate the goods easily, to shift the goods quickly and conveniently, and to improve the warehouse management process efficiently. This research is aimed at increasing efficiency of warehouse management using ATS Company as a case study. The preliminary research has been conducted to collect relevant data and identify the cause of problems using Fishbone Diagram. Then the research pinpoints where the problems occurred in the warehouse management process using Flowchart diagram and the efficiency enhancement for warehouse management using ABC Analysis to classify the goods and identify location spots for goods placement using Visual Control together with the First-In-First-Out Inventory policy to reduce the time for locating the goods and minimize the outdated inventory. After improving the work in the warehouse. The workflow can be reduced from 16 to 14 steps, the operational distance is reduced from 173.5 to 88.5 meters, the operational time is reduced from 69.38 to 52 minutes, and the search time is reduced from 14.58 to 5.46 minutes per order.

Keywords: Warehouse Management, Efficiency Enhancement, ABC Analysis, Inventory Management

1. บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้ธุรกิจด้านสุขภาพมีการเติบโตสูงขึ้น การจัดการคลังสินค้าที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากแข่งขันกับผู้ประกอบการรายอื่นๆก็สูงขึ้นด้วย ทำให้ผู้ประกอบการหลายรายต้องคิดกลยุทธ์เพื่อสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ดังนั้นเพื่อความอยู่รอดขององค์กร ผู้ประกอบการจึงต้องหาวิธีดำเนินการจัดการห่วงโซ่อุปทานในองค์กร เพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า[1]

ห่วงโซ่อุปทาน หรือ Supply Chain หมายถึง กระบวนการที่ทำให้เกิดสินค้าขึ้นมา จะประกอบด้วยการเชื่อมโยงร่วมกันตั้งแต่ต้นน้ำหรือผู้ส่งวัตถุดิบไปจนถึงปลายน้ำที่เป็นลูกค้า ซึ่งในระหว่างนี้จะมีกิจกรรมต่าง ๆ ในกระบวนการมากมาย เช่น การวางแผน (Planning) กระบวนการจัดซื้อ (Procurement) การผลิต (Manufacturing) การจัดเก็บ (Storage) เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology) การจัดจำหน่าย (Distribution) และการขนส่ง (Transportation) ซึ่งการทำให้กลยุทธ์ห่วงโซ่อุปทานมีประสิทธิภาพต้องคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันที่อยู่ภายในห่วงโซ่อุปทานซึ่งประกอบไปด้วย ผู้จัดส่งสินค้าหรือผู้รวบรวมสินค้า (Supplier) ศูนย์การผลิต (Manufacturing Centers) คลังสินค้า (Warehouses) ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Centers) และร้านค้าปลีก (Retail Outlets) ซึ่งจะมีการไหลเวียนของวัตถุดิบสินค้าระหว่างการผลิต และสินค้าสำเร็จรูป ระหว่างกันภายในห่วงโซ่อุปทาน[2] การจัดการห่วงโซ่อุปทานเป็นการบริหารจัดการเพื่อให้เกิดผลผลิต และกระจายสินค้าได้อย่างถูกต้อง ในปริมาณที่ถูกต้อง สถานที่ถูกต้องและภายในเวลาที่ถูกต้อง โดยใช้ต้นทุนรวมทั้งระบบต่ำที่สุด ในขณะที่จะต้องมีคุณภาพเป็นที่พึงพอใจของลูกค้าสูงสุด และการบริหารจัดการคลังสินค้าก็เป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มขีดความสามารถของการจัดการห่วงโซ่อุปทานในองค์กร

การบริหารจัดการคลังสินค้าเป็นส่วนสำคัญในห่วงโซ่อุปทานที่จะช่วยให้สามารถแข่งขันทางธุรกิจได้การบริหารคลังสินค้าเป็นการดำเนินงานต่างๆภายในคลังสินค้า เริ่มตั้งแต่ การรับ จัดเก็บ หยิบสินค้า จ่ายสินค้าออกจากคลัง และสามารถใช้ประโยชน์พื้นที่คลังสินค้าได้อย่างเต็มที่ภายใต้ทุนดำเนินการที่ต่ำที่สุด และใช้เวลาสั้นที่สุด เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับองค์กร แต่ผู้ประกอบการจำนวนไม่น้อย ยังขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการคลังสินค้าที่เป็นระบบ ไม่คำนึงถึงความสูญเสียที่เกิดจากการจัดการคลังสินค้าที่ไม่มีแบบแผนทำให้เกิดต้นทุนค่าใช้จ่ายภายในคลังสินค้าสูง ดังนั้นการบริหารจัดการสินค้าคงคลังจึงมีบทบาทสำคัญในองค์กรและการจะทำให้การบริหารคลังสินค้ามีประสิทธิภาพสูงที่สุดขึ้นอยู่กับนโยบายของแผนกคลังสินค้าแต่ละองค์กร

ในงานวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษาของบริษัท เอทีเอส (ATS) ดำเนินธุรกิจแบบซื้อมาขายไปผ่านระบบออนไลน์ ก่อตั้งปี เดือนมกราคม พ.ศ.2564 มีนิยามของบริษัทว่า “Marketplace for health and wellness” ซึ่งเป็นเหมือนร้านค้าออนไลน์ ศูนย์รวมจำหน่ายสินค้าเพื่อสุขภาพ มีสินค้าที่จัดจำหน่าย 60-70 ชนิด และคาดว่าจะเพิ่มจำนวนสินค้ามากขึ้นในอนาคต โดยสินค้าหลัก จะเป็นในรูปลักษณะผง ไว้สำหรับชงดื่ม หรือนำไปทำผลิตภัณฑ์อื่นต่อยอดได้ เช่น ทำผลิตภัณฑ์แคปซูล ตอกเม็ด นอกจากนี้ ยังรับซื้อผลิตภัณฑ์จากบริษัทที่ผลิตวัตถุดิบในรูปลักษณะผง เพื่อนำมาขายผ่านเว็บไซต์ของบริษัทกรณีศึกษา (ATS)

การศึกษาสภาพทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา (ATS) ปัจจุบันมีเจ้าของกิจการ 3 คน พนักงานบัญชี 1 คน พนักงานขาย 1 คน พนักงานคลังสินค้า 1 คน พนักงานฝ่ายปฏิบัติการทั้งหมด 10 คน (พนักงานผลิต พนักงานขนส่ง ฝ่ายการตลาด ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ฝ่ายดูและระบบและพัฒนาเว็บไซต์) รวมทั้งสิ้น 16 คน ซึ่งระบบปฏิบัติการของบริษัท มีลักษณะควบคุมด้วยคน โดยเฉพาะในส่วนของคลังสินค้า โดยปัญหาที่พบ คือ

1. การรับเข้า-จ่ายออกของสินค้าคงคลัง มีหลายขั้นตอน ทำให้เกิดความล่าช้า ตั้งแต่การรับคำสั่งซื้อ การค้นหาสินค้า การเตรียมการจัดส่งสินค้า การจัดทำเอกสารสำหรับการจัดส่ง มีหลายขั้นตอน และใช้เวลาในการดำเนินการต่อหนึ่งคำสั่งซื้อนาน
2. การจัดวางสินค้า ไม่มีระบบในการจัดวางมีที่ว่างตรงไหน พนักงานคลังจะเอาสินค้าที่สำเร็จรูปวางตรงนั้น ทำให้เมื่อต้องค้นหาสินค้าทำให้ใช้เวลานาน
3. พนักงานคลังใช้เวลาในการค้นหาสินค้าเป็นเวลานาน

ปัญหาที่พบในบริษัทกรณีศึกษา เป็นเหตุจูงใจให้ผู้วิจัยศึกษาวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ เพื่อเสนอแนวทางแก้ไข เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้า ด้วยการนำระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่มาปรับและประยุกต์ใช้กับบริษัทกรณีศึกษา เพื่อให้การปฏิบัติงานของพนักงานในองค์กรมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ช่วยลดสินค้าที่ล้าสมัยออกจากคลังสินค้า และช่วยลดขั้นตอนในการปฏิบัติงาน ทำให้สามารถเพิ่มกำไรให้กับองค์กรอีกทางหนึ่ง รวมไปถึงสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบริหารจัดการคลังสินค้า

คลังสินค้า (Warehouse) หมายถึง พื้นที่ที่ได้วางแผนแล้วเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้สอยและการเคลื่อนย้ายสินค้าและวัตถุดิบ โดยทำหน้าที่ในการเก็บสินค้าระหว่างกระบวนการเคลื่อนย้ายเพื่อสนับสนุนการผลิตและการกระจายสินค้า

การจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management) เป็นการจัดการในการรับ การจัดเก็บ หมายถึง การจัดส่งสินค้าให้ผู้รับเพื่อกิจกรรมการขาย เป้าหมายหลักในการบริหาร ดำเนินธุรกิจในส่วนที่เกี่ยวข้องกับคลังสินค้าก็เพื่อให้เกิดการดำเนินการเป็นระบบให้คุ้มกับการลงทุน

2.2 ผังการไหลของงาน (Flowchart diagram)

การวิเคราะห์ขั้นตอนการไหล (Flow) ของพนักงาน อุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ในกระบวนการพร้อมๆกับกิจกรรมอื่น การบันทึกวิธีการ และขั้นตอนการทำงานอย่างกว้างๆ เพื่อให้เห็นภาพการทำงานทั้งหมด โดยแสดงรูปแบบสัญลักษณ์มาตรฐาน 5 รูปแบบ โดยระบุข้อมูลและเวลา

อย่างถูกต้อง ซึ่งข้อมูลสามารถนำมาวิเคราะห์ปัญหา และแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตและการบริการ[3]

2.3 แผนผังก้างปลาหรือแผนผังสาเหตุและผล (Fish bone diagram)

ผังแสดงเหตุและผล หรือที่เรียกว่า แผนผังก้างปลา เป็นแผนผังที่ใช้วิเคราะห์ค้นหาสาเหตุต่าง ๆทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจจะก่อให้เกิดปัญหานั้น สาเหตุของปัญหาจะเขียนไว้ที่ก้างปลาแต่ละก้าง ก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรองและก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลัก

2.4 การแบ่งประเภทสินค้าคงคลังด้วยระบบ ABC Analysis

เป็นการวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความสำคัญ เพื่อให้สามารถจัดการกับสินค้าประเภทต่าง ๆได้อย่างเหมาะสม ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตามความสำคัญของสินค้า โดยใช้มูลค่า ราคาของสินค้าคงคลัง ผลกระทบจากการขาดมือ ตลอดจนปัญหาต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ประเภท A ที่มีความสำคัญ รองลงไปไปเป็น B และ C ตามลำดับ

2.5 รูปแบบการจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้า

มีกล่าวไว้ในหนังสือ The Warehouse Management Handbook; the second edition เรื่อง Stock Location Methodology มีการจัดแบ่งรูปแบบในการจัดเก็บสินค้านั้นออกเป็น 6 แนวคิด[5] คือ

1. ระบบการจัดเก็บโดยไร้รูปแบบ (Informal system) เป็นรูปแบบ
2. ระบบการจัดเก็บโดยกำหนดตำแหน่งตายตัว (Fixed Location system)
3. ระบบการจัดเก็บโดนเรียงตามรหัสสินค้า (Part number system)
4. ระบบการจัดเก็บสินค้าตามประเภทของสินค้า (Commodity system)
5. ระบบการจัดเก็บที่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random location system)
6. ระบบการจัดเก็บแบบผสม (Combination system)

2.6 การจัดเรียงสินค้าตามหลัก FIFO

หลักการเข้าก่อนออกก่อน (First-In First-Out :FIFO) Logistic published (2561) คือ สินค้าชนิดใดก็ตามที่เข้ามาภายในคลังสินค้าก่อนต้องออกไปก่อน เพื่อเป็นการลดความเสี่ยงที่จะทำให้สินค้าเสียหายจากการหมดอายุค้างสต็อก FIFO เป็นวิธีที่นิยมใช้ เพื่อช่วยลดของเสียหรือหมดอายุค้างสต็อค ซึ่งเป็นหลักการบริหารสต็อคที่ได้รับความนิยมทั่วโลก เพราะทำให้การบริหารสต็อคเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพรวดเร็ว ลดการสูญเสีย และสามาคำนวณมูลค้าแท้จริงของสินค้าคงคลังได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

2.7 การควบคุมการมองเห็น (Visual Control)

การควบคุมด้วยการมองเห็น เป็นระบบการควบคุมการทำงานให้พนักงานทุกคนสามารถเข้าใจขั้นตอนการทำงาน เป้าหมาย ผลลัพธ์การทำงานได้ง่ายและชัดเจน รวมถึงเห็นการผิดปกติต่าง ๆและแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้บอร์ด ป้าย สัญลักษณ์สีและอื่น ๆ เพื่อสื่อสารให้ทราบถึงข้อมูลข่าวสารที่สำคัญของสถานที่ทำงาน ซึ่งจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจหลักการของ Visual Control ในทิศทางเดียวกันเพื่อให้เกิดประโยชน์[4]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การกำหนดพื้นที่ที่ศึกษา

คลังสินค้า บริษัท กรณีศึกษา เอทีเอส จำกัด เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

3.2 การเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาก่อนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ บริษัทกรณีศึกษา ATS และค้นคว้า รวบรวมข้อมูลของเอกสารวิชาการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพของคลังสินค้า และแนวทางการแก้ไขปัญหาในปัจจุบัน รวมทั้งการเก็บข้อมูลเชิงลึกจากบริษัทกรณีศึกษา ได้แก่ พนักงานปฏิบัติงานในคลังสินค้า พนักงานบัญชี พนักงานขาย และเจ้าของกิจการ

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ โดยมีขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย 1) ศึกษาขั้นตอนและกระบวนการดำเนินงานของบริษัท 2) ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดการคลังสินค้า 3) ระบุปัญหาหลักที่เกิดขึ้น 4) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคลังสินค้า เพื่อแก้ปัญหา 5) ศึกษาวิธีการจัดกลุ่มสินค้าแบบใช้ทฤษฎี ABC Analysis 6) ศึกษาการควบคุมการมองเห็น (Visual Control) และการจัดเรียงสินค้าตามหลัก FIFO 7) เก็บรวบรวมข้อมูลการดำเนินการ 8) วิเคราะห์ข้อมูล 9) สรุปผล และเสนอแนะแนวทางสำหรับการปรับปรุงการจัดการคลังสินค้า

3.4 เครื่องมือที่ใช้วิจัย

1) ผังการไหลของงาน (Flowchart diagram) 2) แผนผังก้างปลาหรือแผนผังสาเหตุและผล 3) วิธีการจัดกลุ่มสินค้าแบบใช้ทฤษฎี ABC Analysis 4) การจัดเรียงสินค้าตามหลัก FIFO 5) การควบคุมการมองเห็น (Visual Control)

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) ได้ข้อมูลจากพนักงานคลังสินค้า พนักงานขาย พนักงานบัญชี และเจ้าของกิจการ นอกจากนี้ยังเกิดจากการสังเกตการณ์ ณ จุดปฏิบัติงานจริงภายในคลังจัดเก็บสินค้า และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับคลังสินค้า เช่น ใบรับสินค้าเข้าคลัง ใบคำสั่งซื้อ เป็นต้น โดยนำข้อมูลที่สัมภาษณ์จากพนักงานบริษัท มาวิเคราะห์ปัญหา และหาสาเหตุของปัญหา และหาแนวทางแก้ไขด้วยแผนผังก้างปลา เพื่อให้ทราบถึงปัญหาในภาพรวม

ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) ได้จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับแนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง บทความทางวิชาการ วารสาร สารนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ และจากแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องทางอินเทอร์เน็ต ที่จะนำมาใช้กับงานวิจัยครั้งนี้

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจนแล้วเสร็จได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ผู้ทำวิจัยได้นำข้อมูลและรายละเอียด ที่ได้มาตรวจสอบก่อนการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ถูกต้องก่อนการวิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์พนักงานคลังสินค้า จากการสังเกตและการสุ่มตัวอย่างการปฏิบัติงานจริงของพนักงานคลังสินค้า การจดบันทึกและถ่ายภาพ

2. การวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการรับเข้า-จ่ายออกของสินค้าคงคลัง เพื่อที่จะลดขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงาน

3. วิเคราะห์การจัดการผังวางสินค้าให้เป็นหมวดหมู่ และกำหนดป้ายที่มีรหัสบ่งบอกชัดเจน เพื่อง่ายต่อการหยิบสินค้า

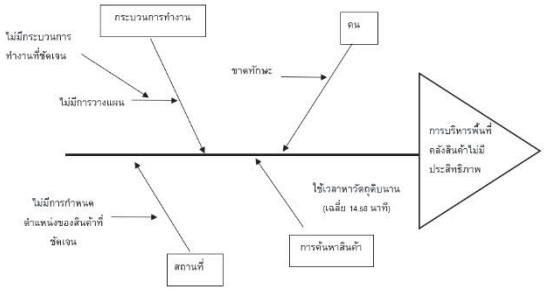
4. วิเคราะห์หาสาเหตุที่ไม่สามารถหยิบสินค้าแบบ FIFO และหาสาเหตุของการค้นหาสินค้าที่มีระยะเวลานาน

การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการทำงานของพนักงานคลังสินค้า ยังขาดการวางแผน ไม่มีกระบวนการทำงานที่ชัดเจนทำให้เสียเวลาในการทำงานและระยะทางในกระบวนการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนภูมิแสดงการไหลของงานของพนักงานคลังสินค้า (ก่อนการปรับปรุง)

คำอธิบาย	รวมเวลา (นาที)		69.38				
	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์				
การจ่ายสินค้าสำเร็จรูป							
1.Admin ส่งใบคำสั่งซื้อ		0.42	●	⇨	D	□	▽
2.พนักงานคลังสั่งปริ้นใบคำสั่งซื้อ		2.53	●	⇨	D	□	▽
3.เดินไปหยิบใบคำสั่งซื้อที่เครื่องถ่ายเอกสาร	57	1.29	○	➡	D	□	▽
4.หาสินค้าตามใบคำสั่งซื้อ	2	14.58	○	➡	D	□	▽
5.QC เช็คสินค้าปั๊มวันที่ทำการจัดส่งสินค้า		1.45	○	⇨	■	□	▽
6.พนักงานเดินไปหยิบกล่องแพ็คสินค้าและกันกระ	29	1.23	○	➡	D	□	▽
7.แพ็คสินค้า (ห่อกันกระแทก/น้ำลงกล่อง)		5.24	●	⇨	D	□	▽
8.เดินมาปริ้นชื่อที่อยู่ของลูกค้า	57	3.32	○	➡	D	□	▽
9.ติดชื่อที่อยู่ลูกค้าที่กล่อง		1.17	●	⇨	D	□	▽
10.อัพเดต Stock Card		2.58	○	⇨	D	■	▽
11.เดินนำพัสดุมาวางเพื่อเตรียมจัดส่ง	28.5	1.38	○	➡	D	□	▽
12.ตรวจสอบความถูกต้องของชื่อที่อยู่		0.37	○	⇨	D	■	▽
13.จัดส่งสินค้า	■	17.48	○	➡	D	□	▽
14.รับใบ Tracking		12.52	●	⇨	D	□	▽
15.อัพเดทข้อมูลการจัดส่ง		3.21	●	⇨	D	□	▽
16.แจ้งข้อมูลการจัดส่ง		0.21	●	⇨	D	□	▽
รวม	173.5	69.38	7	6		3	
คำอธิบายสัญลักษณ์	○ ปฏิบัติงาน	⇨ เคลื่อนย้าย	D ล่าช้า	□ ตรวจสอบ	▽ เก็บ		

จากตารางที่ 1 มีขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด 16 ขั้นตอน ผู้ทำวิจัยได้ทำวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดการคลังสินค้าโดยใช้แผนผังก้างปลาในการวิเคราะห์หาสาเหตุ ดังรูปที่ 1 และพบปัญหาในการค้นหาสินค้า เนื่องจากไม่มีการกำหนดตำแหน่งของสินค้าที่ชัดเจน ทำให้เสียเวลาในการค้นหาสินค้า โดยเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการค้นหาสินค้าต่อใบสั่งซื้อ 14.58 นาที



รูปที่ 1 แผนผังก้างปลาแสดงปัญหาที่เกิดขึ้นในคลังสินค้า

4. ผลการวิจัย

4.1 วิเคราะห์ข้อมูลของสินค้าในคลังสินค้า โดยใช้ทฤษฎี ABC Analysis แสดงรายการสินค้าทั้งหมดของบริษัท ผู้วิจัยได้นำทฤษฎี ABC Analysis มาประยุกต์ใช้ เพื่อให้คลังสินค้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น แสดงดังตารางที่ 2 ดังนี้

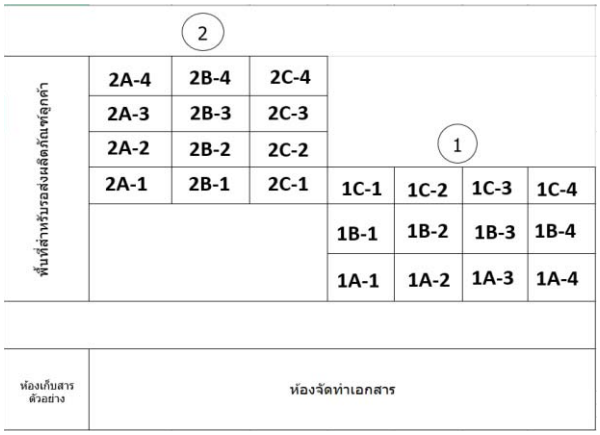
ตารางที่ 2 ผลการจัดกลุ่มสินค้าคงคลังตามทฤษฎี ABC Analysis

ลำดับ	รหัสสินค้า	จำนวน (ชิ้น)	ต้นทุน (บาทชิ้น)	รวมมูลค่า (บาท)	%	ความสำคัญ
1	HSA00001-1000G	6	2404	14424	3.69	A
2	HSA00001-500G	7	1259	8813	2.28	A
3	HSC00001-500G	20	870	17400	4.45	A
4	HSC00001-1000G	11	1633	17963	4.60	A
5	HSC00002-250G	19	978	18544	4.75	A
6	HSC00002-500G	7	1863	13041	3.34	A
7	HSI00002-500G	23	399	9177	2.35	A
8	HSI00002-1000G	35	710	24850	6.36	A
9	HSN00001-100G	68	291	19788	5.07	A
10	HSN00001-500G	11	1366	15026	3.85	A
11	HSN00001-1000G	7	2555	17885	4.58	A
12	HSO00001-1000G	18	745	11920	3.05	A
13	HSL00002-50G	16	779	12464	3.19	A
14	HST00004-100G	8	801	8408	1.84	A
15	HSI00004-500G	4	2290	9180	2.34	A
16	HSA00001-25000G	1	45080	45080	11.54	A
17	HSA00008-25000G	1	19984	19984	5.11	A
18	HSA00001-100G	19	275	5225	1.34	B
19	HSA00003-1000G	8	266	2128	0.54	B
20	HSA00005-1000G	9	266	2394	0.61	B
21	HSA00006-1000G	4	887	3548	0.91	B
22	HSA00008-500G	5	488	2440	0.62	B
23	HSC00001-100G	12	192	2304	0.59	B
24	HSC00002-100G	9	417	3753	0.96	B
25	HSC00002-1000G	1	3549	3549	0.91	B
26	HSF00001-100G	15	142	2130	0.55	B
27	HSF00001-500G	6	566	3516	0.90	B
28	HSF00002-100G	25	192	4800	1.23	B
29	HSF00002-250G	5	457	2285	0.58	B
30	HSF00002-1000G	2	1633	3266	0.84	B
31	HSI00002-100G	56	89	4984	1.28	B
32	HSI00003-500G	8	355	2130	0.55	B
33	HSI00003-1000G	4	621	2484	0.64	B
34	HSO00001-500G	14	408	5712	1.48	B
35	HSW00004-500G	8	693	5558	1.37	B

ลำดับ	รหัสสินค้า	จำนวน (ชิ้น)	ต้นทุน (บาทชิ้น)	รวมมูลค่า (บาท)	%	ความสำคัญ
36	HSI00004-100G	8	515	4120	1.06	B
37	HSF00007-30C-001	8	450	3600	0.92	B
38	HSA00018-80C-001	8	450	3600	0.92	B
39	HSF00005-20000G	1	7558	7558	1.93	B
40	HSS00003-1000G	1	2895	2895	0.74	B
41	HSA00002-100G	7	76	532	0.14	C
42	HSA00002-250G	7	188	1302	0.33	C
43	HSA00003-250G	10	111	1110	0.28	C
44	HSA00003-500G	5	177	885	0.23	C
45	HSA00004-250G	5	111	555	0.14	C
46	HSA00004-500G	9	177	1593	0.41	C
47	HSA00004-1000G	8	266	1598	0.41	C
48	HSA00005-250G	13	111	1443	0.37	C
49	HSA00005-500G	6	177	1062	0.27	C
50	HSA00006-250G	4	266	1064	0.27	C
51	HSF00001-250G	2	319	638	0.16	C
52	HSF00001-1000G	1	1100	1100	0.28	C
53	HSF00002-500G	1	870	870	0.22	C
54	HSF00005-500G	4	321	1284	0.33	C
55	HSF00005-1000G	2	550	1100	0.28	C
56	HSI00003-100G	8	80	640	0.16	C
57	HSO00001-100G	3	89	267	0.07	C
58	HSS00003-100G	2	315	630	0.16	C
59	HSS00003-500G	1	1485	1485	0.38	C
60	HSS00003-250G	1	745	745	0.19	C
61	HSL00025-100G	1	309	309	0.08	C
62	HSL00024-100G	3	309	927	0.24	C
63	HSG00015-100G	1	343	343	0.09	C
64	HSA00017-100G	2	492	984	0.25	C
65	HSP00018-100G	1	882	882	0.23	C
66	HSG00018-100G	1	424	424	0.11	C
67	HSY00002-100G	1	1191	1191	0.30	C
	รวม	599	119,029.00	390,625.00	100.00	

หมายเหตุ: กลุ่ม A คือ สินค้าที่มูลค่าสูง กลุ่ม B คือ สินค้าที่มีมูลค่าปานกลาง กลุ่ม C คือ สินค้าที่มีมูลค่าต่ำ

จากตารางที่ 2 ผลการจัดกลุ่มสินค้าคงคลังตามทฤษฎี ABC Analysis พบว่าสินค้ากลุ่ม A จะวางไว้ใกล้ประตูทางออก เพื่อลดระยะเวลาในการขนสินค้า สินค้ากลุ่ม B จะวางไว้ชั้นล่างของชั้น และสินค้ากลุ่ม C จะเก็บไว้ด้านบนชั้น เนื่องจากจะได้มีพื้นที่ให้กับสินค้ากลุ่ม A โดยกำหนดตำแหน่งของชั้นวางสินค้า ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งของชั้นวางสินค้า

รูปที่ 2 เมื่อกำหนดตำแหน่งของชั้นวางสินค้า ผู้วิจัยได้ใช้ทฤษฎี Visual control เพื่อจัดทำป้ายสัญลักษณ์มาติดในแต่ละโซนของชั้นวางสินค้า เพื่อเพิ่มการมองเห็นในการทำงาน และมีความเป็นระเบียบเรียบร้อยมากขึ้น ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เปรียบเทียบการจัดวางสินค้า ก่อน-หลังการปรับปรุง โดยใช้ทฤษฎี ABC analysis และ ทฤษฎี Visual Control

4.2 วิเคราะห์จากกระบวนการไหลก่อนการปรับปรุง จะเห็นว่ามีเวลาสูญเสียเกิดขึ้นมา ทางผู้วิจัยจึงทำการลดขั้นตอนและระยะเวลาการปฏิบัติงาน ดังแสดงตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แผนภูมิแสดงการไหลของงานของพนักงานคลังสินค้า (หลังการปรับปรุง)

คำอธิบาย	รวมเวลา (นาที)						88.5
	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์				
การจ่ายสินค้าสำเร็จรูป							
1. Admin ส่งใบคำสั่งซื้อสินค้า พร้อมชื่อที่อยู่ลูกค้า		0.45					
2. พนักงานคลังเขียนรหัสสินค้า และชื่อลูกค้าในกระดาษ		0.32					
3. จัดเตรียมสินค้าตามใบคำสั่งซื้อ	2.5	5.46					
4. QC สินค้า ปั๊มวันที่ทำการจัดส่งสินค้า		1.37					
5. พนักงานเตรียมกล่องพัสดุและกันกระแทก	29	1.25					
6. แพ็คสินค้า (ห่อกันกระแทก / นำลงกล่องพัสดุ)		3.20					
7. เคลื่อนย้ายกล่องพัสดุไปพื้นที่เตรียมปิดใบคำสั่งซื้อ พร้อมชื่อที่อยู่ลูกค้า	28.5	1.41					
8. ปริ้นใบคำสั่งซื้อ ชื่อที่อยู่ลูกค้า พร้อมทำการปิดกล่องพัสดุลูกค้า		1.58					
9. คีย์ชื่อที่อยู่		1.08					
10. อัพเดต stock card	28.5	2.46					
11. จัดส่งสินค้า		17.39					
12. รับใบ tracking		12.55					
13. อัพเดตข้อมูลการจัดส่ง		3.17					
14. แจ้งข้อมูลการจัดส่ง		0.31					
รวม	88.5	52.00	8	5		1	
คำอธิบายสัญลักษณ์	ปฏิบัติงาน		เคลื่อนย้าย		ล่าช้า	ตรวจสอบ	เก็บ

การศึกษากระบวนการปฏิบัติงานของพนักงานคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัท เอทีเอส จำกัด สามารถวิเคราะห์ได้ว่าปัญหาเกิดจากพนักงานไม่มีการวางแผนการทำงาน ไม่มีกระบวนการทำงานที่ชัดเจนให้กับพนักงาน ไม่มีการกำหนดตำแหน่งของสินค้า จึงวางแผนและปรับกระบวนการทำงาน ก่อนการปรับปรุง ดังนี้

1. ขั้นตอนที่ 2 การสั่งปริ้นใบคำสั่งซื้อ
2. ขั้นตอนที่ 3 เดินไปหยิบใบคำสั่งซื้อทันที

ปรับเป็น จดชื่อลูกค้าและรหัสสินค้าในกระดาษ และเตรียมสินค้าให้เสร็จก่อนเดินไปปริ้นที่เครื่องเพื่อลดระยะทางและระยะเวลาจากการเดินไปที่เครื่องปริ้น หลังจากการปรับปรุงกระบวนการไหลของงานและจัดกลุ่มสินค้า ทำป้ายสัญลักษณ์บ่งชี้ตำแหน่งสินค้า ทำให้ระยะทาง ระยะเวลา การปฏิบัติงานและการค้นหาสินค้าลดลง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบระยะเวลา ระยะทาง และระยะเวลาในการค้นหาสินค้าก่อน-หลังปรับปรุงแก้ไข

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	16	14	2
ระยะทาง (เมตร)	173.5	88.5	85.0
ระยะเวลา (นาที)	69.38	52.00	17.38
ระยะเวลาค้นหาสินค้า (นาที)	14.58	5.46	9.12

จากตารางที่ 4 แสดงถึงผลการเปรียบเทียบก่อน-หลังปรับปรุงแก้ไขปัญหาของกระบวนการปฏิบัติงานของพนักงานคลังสินค้า ขั้นตอนกรปฏิบัติงานก่อนและหลังปรับปรุง ลดลง 2 ขั้นตอน ระยะทางลดลง 85 เมตร ระยะเวลาลดลง 17.38 นาที และระยะเวลาในการค้นหาสินค้าลดลง 9.12 นาที

4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษา การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัท เอทีเอส จำกัด หลังการแก้ไขปรับปรุงคลังสินค้า โดยใช้กระบวนการไหลของงาน พบว่า กระบวนการทำงานใหม่ทำให้มีความรวดเร็วขึ้น โดยลดขั้นตอนการทำงาน 2 ขั้นตอน (12.50%) ระยะเวลาในการทำงานลดลง 17.38 นาที (25.05%) ระยะทางในการปฏิบัติงานลดลง 85 เมตร (48.99%) และระยะเวลาในการค้นหาสินค้า ลดง 9.12 นาที (62.55%) การใช้ทฤษฎี ABC analysis และ Visual control ทำให้สามารถลดระยะเวลาในการค้นหาสินค้า 9.12 นาที (62.55%)

5. ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำกระบวนการไหลของงานไปปรับใช้กับแผนกอื่นๆของบริษัท เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานแต่ละแผนก

2. ในอนาคตเมื่อสินค้ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้นควรนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาปรับใช้ในด้านของการบริหารจัดการคลังสินค้า เช่น ระบบ Barcode, RFID เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษา: บริษัท เอทีเอส จำกัด ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ปุญชรัสมิ์ บริรักษ์เจริญกิจ และสุวิต ศรีไหม. 2561. “กลยุทธ์การแข่งขันและการตอบสนองคุณค่าที่ลูกค้าต้องการ กรณีศึกษาของธุรกิจหลักทรัพย์ในประเทศไทย.” วารสารปาริชาต, ปีที่ 31, ฉบับที่ 1: 287-312, ข้อมูลจาก https://so05.tci-thaijo.org/index.php/parichartjournal/article/view/118924/91118 (วันที่สืบค้น 1 สิงหาคม 2561)

[2] ชุติเดช วิศาลกิตติ. “การจัดการห่วงโซ่อุปทานของสินค้าผักปลอดภัยในเขตอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม,” วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศิลปากร, 2555, ข้อมูลจาก http://202.28.75.7/xmlui/bitstream/handle/123456789/12298/fulltext.pdf?sequence=2&isAllowed=y (วันที่สืบค้น 1 สิงหาคม 2564)

[3] ธรรมศักดิ์ ค่วยเทศ, ธีรพล เถื่อนแพ และนิศาชล จันทรานภาสวัสดิ์. 2564. “การลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานของอุตสาหกรรมด้านการโรงแรมโดยการวิเคราะห์แผนภูมิการไหล.” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 31, ฉบับที่ 1: 180-192, ข้อมูลจาก https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kmutnb-journal/article/view/243917/165868 (วันที่สืบค้น 1 สิงหาคม 2564)

[4] เจนรตชา แสงจันทร์. “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าโดยประยุกต์ใช้วิธีการจัดแบ่งวัสดุตามความถี่ในการใช้ กรณีศึกษาบริษัทแห่งหนึ่งในอุตสาหกรรมการพิมพ์,” วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี, 2562, ข้อมูลจาก http://www.repository.rmutt.ac.th/dspace/bitstream/123456789/3682/1/RMUTT-167578.pdf (วันที่สืบค้น 1 สิงหาคม 2564)

[5] James A Tompkins, Jerry D Smith, The Warehouse Management Handbook, 2nd Edition, Tompkin press, The united states of America, 1998.

การประเมินกลยุทธ์เพื่อการกระจายหน้ากากอนามัยอย่างมีประสิทธิผลเนื่องจากโควิด-19

Assessing Strategies for Effective Distribution of Surgical Masks due to COVID-19

วิศรุต อุบลพูลผล[1] กานต์พิชชา ปพนพัฒน์ศิริ[1] ปิยรัตน มุรธาวานิช[1*] เจริญชัย โขมพัตราภรณ์[1,2] วรพจน์ อังกสิทธิ์[2]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
[2] วิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mails: piyarat.mur@mail.kmutt.ac.th*

Vissarut Ubonphulphol[1] Kannpitcha Paponphatsiri[1] Piyarat Muratavanich[1*] Charoenchai Khompatraporn[1,2] Vorapoch Angkasith[2]
[1] Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
[2] Graduate School of Management and Innovation, King Mongkut's University of Technology Thonburi
E-mails: piyarat.mur@mail.kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (COVID-19) ส่งผลกระทบอย่างมากต่อโซ่อุปทานของสินค้าจำนวนมาก หนึ่งในนั้นคือ โซ่อุปทานของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ในประเทศไทยที่มีปริมาณความต้องการเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน แต่ผู้ผลิตและผู้นำเข้าหน้ากากอนามัยไม่สามารถจัดหาได้เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลทำให้โซ่อุปทานของหน้ากากอนามัยหยุดชะงัก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการหยุดชะงักของโซ่อุปทานภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 และเสนอกลยุทธ์ในการปรับปรุงโซ่อุปทาน โดยการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองการไหลของวัตถุดิบ และสินค้าในโซ่อุปทานจากข้อมูลสถานการณ์ที่เกิดขึ้นการตัดสินใจคำนึงถึงจำนวนประชากรในแต่ละจังหวัด ระดับความรุนแรงของการแพร่ระบาด และระยะทางในการขนส่งสินค้า โดยตัวแบบทางคณิตศาสตร์จะถูกคำนวณหาคำตอบผ่านเครื่องมือ CBC (COIN-OR Branch-and-Cut) ใน MS Excel ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปคำนวณเป็นค่าระดับการบริการ เพื่อการประเมินผลของการหยุดชะงักของโซ่อุปทาน นอกจากนี้ยังได้ทดสอบกลยุทธ์ในการรับมือทั้งหมด 3 แนวทาง คือ การห้ามการส่งออกทั้งหมด การเพิ่มกำลังการผลิตหน้ากากอนามัย และการกำหนดให้ประเทศไทยสามารถผลิตผ้าเมลต์โบลน (Melt-blown Fabric) ซึ่งเป็นผ้าชนิดไม่ถักไม่ทอประเภทหนึ่งภายในประเทศได้ ผลการวิจัยพบว่า เมื่ออ้างอิงข้อมูลจริงระดับการบริการโดยเฉลี่ยเมื่อไม่มีการหยุดชะงักของโซ่อุปทานมีค่าร้อยละ 82.68 ในกรณีที่กำหนดการหยุดชะงักขึ้น ค่าระดับการบริการลดลงเหลือเพียงร้อยละ 62.33 และเมื่อประยุกต์ใช้กลยุทธ์ต่างๆ กลยุทธ์ที่ดีที่สุดสามารถเพิ่มระดับการบริการโดยเฉลี่ยให้อยู่ที่ร้อยละ 77.79 ด้วยการเพิ่มกำลังการผลิตหน้ากากอนามัยร้อยละ 25 ควบคู่กับการผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศร้อยละ 20 ไปพร้อมกัน

คำหลัก: โควิด-19, การหยุดชะงักของโซ่อุปทาน, โปรแกรมทางคณิตศาสตร์, ระดับค่าการบริการ, หน้ากากอนามัย, การกระจายสินค้า

Abstract

The spread of coronavirus 2019 (COVID-19) has a significant impact on many supply chains. One of them is the surgical mask supply chain in Thailand of which the demand had been suddenly increased; however, the manufacturers and importers were unable to meet the required demand, resulting in the disruption of the surgical mask supply chain. The purpose of this research is to assess the effects of supply chain disruption under the COVID-19 pandemic, and to propose strategies to improve the supply chain through application of mathematical programming that reflects actual data and flow of the materials and finished goods. The decision considers the population of each province, pandemic severity level, and transportation distance. The mathematical model is solved by CBC (COIN-OR Branch-and-Cut) in MS Excel. The results are then computed as a service level value to indicate the impact of the supply chain disruption. Furthermore, several countermeasure strategies were tested by varying 3 factors that were a ban on the export of surgical masks, the increase in the manufacturing capacity of the masks, and assuming that there was domestic production of the melt-blown fabric, which was a type of non-woven fabric, in Thailand. The research results indicated that based on the actual data the average service level of the baseline situation with no disruption was 82.68 percent. In the disrupted situation, the average service level dropped to 62.33 percent. After applying the

countermeasure strategies, the best strategy improved the average service level to 77.79 percent by which there must be simultaneous increase in the domestic manufacturing capacity of the surgical masks and melt-blown fabric for 25 percent and 20 percent, respectively.
Keywords: COVID-19, Supply Chain Disruption, Mathematical Program, Service Level, Surgical Mask, Distribution

1. บทนำ

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงปัจจุบัน เชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (COVID-19) ได้ส่งผลกระทบอย่างมากต่อการใช้ชีวิตของผู้คน และยังส่งผลกระทบไปถึงสภาพเศรษฐกิจทั่วโลก โดยในช่วงแรกของการแพร่ระบาดที่มีจำนวนผู้ติดเชื้อ และมียอดผู้เสียชีวิตที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงส่งผลให้เกิดภาวการณ์ตื่นตระหนกในการซื้อสินค้า และการกักตุนสินค้าหลายชนิด นอกจากนี้การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ยังส่งผลต่อปริมาณของอุปทานในภาคธุรกิจ เนื่องจากมาตรการล็อคดาวน์ซึ่งก่อให้เกิดการหยุดชะงักในการดำเนินการของภาคธุรกิจ รวมถึงผลกระทบต่อการไหลของวัสดุ ทั้งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปในโซ่อุปทาน [1] ตัวอย่างของสินค้าที่ได้รับผลกระทบอย่างเห็นได้ชัด คือ โซ่อุปทานของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ในประเทศไทยที่มีปริมาณหน้ากากอนามัยไม่เพียงพอสำหรับความต้องการของบุคลากรทางการแพทย์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง [2] โดยในการผลิตหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ต้องอาศัยวัตถุดิบอย่างผ้าชนิดไม่ถักไม่ทอที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเมลต์โบลน (Meltblown) ทำหน้าที่กรองอนุภาคขนาดเล็กซึ่งรวมถึงเชื้อไวรัส แต่วัตถุดิบชนิดนี้ไม่มีการผลิตในประเทศไทย [3] และมีผู้ผลิตน้อยรายทั่วโลก เมื่อเกิดการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 จึงทำให้ประเทศผู้ผลิตหลาย ๆ ประเทศได้ควบคุมปริมาณการส่งออก หรือห้ามการส่งออกผ้าเมลต์โบลน [4] ส่งผลให้ประเทศไทยนำเข้าผ้าเมลต์โบลนได้น้อยลง ประกอบกับกำลังการผลิตหน้ากากอนามัยในประเทศที่มีไม่เพียงพอกับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน ทำให้โซ่อุปทานของหน้ากากอนามัยในประเทศไทยเกิดการหยุดชะงัก (disrupted)

จากการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ได้มีกรณีศึกษาที่ถูกจัดทำขึ้นเพื่อหากลยุทธ์ในการแก้ไขปัญหาภายใต้สถานการณ์ดังกล่าว Niro และคณะ [5] ได้เสนอการใช้วิธีของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ เช่น ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นตรง ต้นไม้แบบทอดข้ามน้อยสุด (Minimum Spanning Tree) และขั้นตอนวิธีฮังกาเรียน (Hungarian Algorithm) ในการจัดการทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับการรับมือการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 นอกจากนี้ยังได้มีกรณีศึกษาอื่นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้สำหรับการแก้วิกฤติปัญหาที่ได้กล่าวมา Hohenstein และคณะ [6] ได้ทำการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการหยุ่นตัว (resilience) ของโซ่อุปทาน เพื่อนำเสนอความสามารถของโซ่อุปทานในการรับมือและฟื้นตัวจากความเสี่ยงที่ไม่สามารถคาดเดาได้ รวมถึงการระบุตัวชี้วัดที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินความสามารถในการหยุ่นตัวของโซ่อุปทาน Cardoso และคณะ [7] เสนอการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นตรงชนิดจำนวนเต็มแบบผสมในการออกแบบโซ่อุปทานที่มีความสามารถในการหยุ่นตัว โดยอาศัยตัวชี้วัด ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ระดับการลงทุน ค่าระดับการบริการ และตัวชี้วัดของการวิเคราะห์เครือข่ายทางสังคม มาใช้ในการประเมินโซ่อุปทานภายใต้สถานการณ์การหยุดชะงักที่แตกต่างกัน

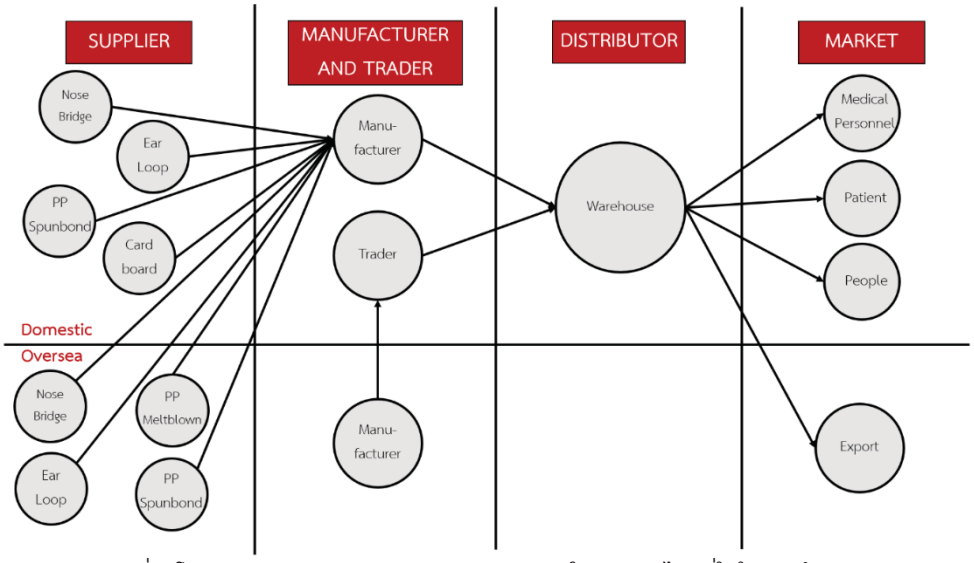
จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำการวิจัยเชิงปฏิบัติการมาประยุกต์ใช้กับการแก้ไขปัญหาที่เกิดในโซ่อุปทานของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ในประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษา และประเมินกลยุทธ์ในการปรับปรุงโซ่อุปทานและผลกระทบที่เกิดขึ้นภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ผ่านตัวชี้วัดค่าระดับการบริการ รวมถึงเสนอกลยุทธ์การปรับปรุงโซ่อุปทานเพื่อรับมือกับปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นซ้ำในอนาคต

เนื้อหาของงานวิจัยประกอบด้วย ขอบเขตของปัญหา วิธีการดำเนินงานวิจัย ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ การคำนวณค่าระดับการบริการ (service level) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดในการประเมินโซ่อุปทานของหน้ากากอนามัย การสืบค้นและได้มาซึ่งข้อมูลเพื่อการใช้ในแบบทางคณิตศาสตร์ รายละเอียดของสถานการณ์การหยุดชะงัก กลยุทธ์ในการปรับปรุงโซ่อุปทาน ผลการดำเนินงานวิจัย และสรุปผลการวิจัย

2. ขอบเขตของปัญหาและวิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาโซ่อุปทานของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ของประเทศไทยภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ครอบคลุมระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 ซึ่งเป็นช่วงเวลาตั้งแต่การพบผู้ติดเชื้อรายแรกในประเทศ จนกระทั่งถึงช่วงที่เริ่มทำงานวิจัยนี้ ซึ่งอยู่ระหว่างการแพร่ระบาดระลอกที่ 4 พิจารณาสถานการณ์เป็นรายเดือน ภายใต้ขอบเขตตั้งแต่ผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิตและผู้นำเข้าหน้ากากอนามัย คลังสินค้าที่รัฐบาลเป็นผู้ควบคุมและแจกจ่าย ไปจนถึงกลุ่มผู้รับสินค้าดังรูปที่ 1 โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในตัวแบบทางคณิตศาสตร์เป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการสืบค้นข่าว และข้อมูลเปิดภาครัฐ

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเริ่มด้วยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการหาผลลัพธ์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และนำผลลัพธ์ที่ได้มาประเมินโซ่อุปทานของหน้ากากอนามัยผ่านค่าระดับการบริการ และจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบผลภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกันออกไป เพื่อประเมินกลยุทธ์ที่เหมาะสมที่สุดในการรับมือความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้น



รูปที่ 1 โซ่อุปทานของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ในประเทศไทยที่ใช้ในการศึกษา

3. ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการประเมินโซ่อุปทานของหน้ากากอนามัย

ดัชนี

i จังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้า โดยมีค่า $i \in \boldsymbol{I}$ และ $\boldsymbol{I} = \{1, 2, \dots, I\}$

m จังหวัดที่มีผู้จัดจำหน่ายสินค้า โดยมีค่า $m \in \boldsymbol{M}$ และ $\boldsymbol{M} = \{1, 2, \dots, M\}$

t คาบเวลาของเหตุการณ์ โดยมีค่า $t \in \boldsymbol{T}$ และ $\boldsymbol{T} = \{1, 2, \dots, T\}$

พารามิเตอร์

Cap_{mt} ปริมาณหน้ากากอนามัยที่แต่ละจังหวัดที่มีผู้จัดจำหน่ายสินค้า m สามารถผลิตได้ในคาบเวลา t (ชิ้น)

$Cmax_i$ ปริมาณหน้ากากอนามัยที่กระทรวงมหาดไทยแจกจ่ายให้กับจังหวัด i (ชิ้น)

Dem_t ปริมาณความต้องการหน้ากากอนามัยโดยรวมของประเทศไทยในคาบเวลา t (ชิ้น)

$Dmin_{it}$ ปริมาณความต้องการหน้ากากอนามัยของบุคลากรทางการแพทย์ และผู้ติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ในจังหวัด i ณ คาบเวลา t (ชิ้น)

Ex_{mt} ปริมาณหน้ากากอนามัยที่แต่ละจังหวัดที่มีผู้จัดจำหน่ายสินค้า m ส่งออกในคาบเวลา t (ชิ้น)

Im_{mt} ปริมาณหน้ากากอนามัยที่แต่ละจังหวัดที่มีผู้จัดจำหน่ายสินค้า m นำเข้าในคาบเวลา t (ชิ้น)

Inb_{mt} ปริมาณสินค้าคงคลังต้นงวดที่แต่ละจังหวัดที่มีผู้จัดจำหน่ายสินค้า m มีในคาบเวลา t (ชิ้น)

Pop_i ปริมาณประชากรในจังหวัด i (คน)

W_{mit} ค่าน้ำหนักการตัดสินใจในการขนส่งสินค้าจากจังหวัดที่มีผู้จัดจำหน่ายสินค้า m ไปยังจังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้า i ในคาบเวลา t

ตัวแปรตัดสินใจ

Df_{mit} ปริมาณหน้ากากอนามัยที่จังหวัดที่มีผู้จัดจำหน่ายสินค้า m สามารถเติมเต็มความต้องการให้แก่กลุ่มผู้รับสินค้าในจังหวัด i ได้ในคาบเวลา t

สมการวัตถุประสงค์

Maximize

$$Z = \sum_{m=1}^{M} \sum_{i=1}^{I} W_{mit}\, Df_{mit} \qquad \forall t \qquad (1)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{i=1}^{I} Df_{mit} \le Cap_{mt} + Im_{mt} + Inb_{mt} - Ex_{mt} \qquad \forall m, t \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{I} Df_{mit} \le \frac{Cap_{mt} + Im_{mt} + Inb_{mt} - Ex_{mt}}{\sum_{m=1}^{M}(Cap_{mt} + Im_{mt} + Inb_{mt} - Ex_{mt})} \times Dem_t \qquad \forall m, t \qquad (3)$$

$$\sum_{m=1}^{M} Df_{mit} \ge Dmin_{it} \qquad \forall i, t \qquad (4)$$

$$\sum_{m=1}^{M} Df_{mit} \le \frac{Pop_i}{\sum_{i=1}^{I} Pop_i} \times Dem_t \qquad \forall i, t \qquad (5)$$

$$\sum_{m=1}^{M} Df_{mit} \le \frac{Cmax_i}{\sum_{i=0}^{I} Cmax_i} \times \sum_{m=0}^{M}(Cap_{mt} + Im_{mt} + Inb_{mt} - Ex_{mt}) \qquad \forall i, t \qquad (6)$$

$$Df_{mit} \ge 0 \qquad \forall i, m, t \qquad (7)$$

โดยสมการที่ (1) – (7) จะถูกอธิบายตามลำดับดังต่อไปนี้ สมการที่ (1) คือ สมการวัตถุประสงค์ซึ่งเป็นการหาค่าผลรวมสูงสุดระหว่างผลคูณค่าน้ำหนักการตัดสินใจในการขนส่งสินค้า และปริมาณสินค้าที่จังหวัดที่มีผู้จัดจำหน่ายสินค้าสามารถเติมเต็มความต้องการให้แก่จังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้าได้ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้สามารถแจกจ่ายหน้ากากอนามัยได้ในปริมาณสูงสุดและสอดคล้องกับค่าน้ำหนักการตัดสินใจ โดยค่าน้ำหนักการตัดสินใจในการขนส่งสินค้าจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ค่าน้ำหนักการตัดสินใจในการขนส่งสินค้าคิดจากค่าน้ำหนัก 3 ส่วน ได้แก่ ค่าน้ำหนักของสัดส่วนประชากรในแต่ละจังหวัดของกลุ่มผู้รับสินค้า ค่าน้ำหนักซึ่งอ้างอิงตามเกณฑ์การพิจารณาระดับความรุนแรง

ของการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และค่าน้ำหนักระยะทางระหว่างจังหวัดที่มีผู้จัดจำหน่ายสินค้า และจังหวัดของกลุ่มผู้รับสินค้า เพื่อให้ปริมาณหน้ากากอนามัยที่แต่ละจังหวัดได้รับแปรผันตามปริมาณประชากร จำนวนผู้ติดเชื้อ อัตราการครองเตียงของจังหวัด และหน้ากากอนามัยถูกแจกจ่ายด้วยระยะทางที่สั้นที่สุด

3.1 ค่าน้ำหนักของสัดส่วนประชากรในแต่ละจังหวัดของกลุ่มผู้รับสินค้า ซึ่งการคำนวณจะเป็นไปตามสมการที่ (1a) ดังนี้

$$Wpop_i = \frac{Pop_i}{Popmax} \qquad \forall i \qquad (1a)$$

โดยที่ $Wpop_i$ คือ ค่าน้ำหนักตามสัดส่วนประชากรในแต่ละจังหวัด i และ $Popmax$ คือจำนวนประชากรสูงสุดจากการเปรียบเทียบทุกจังหวัด i

3.2 ค่าน้ำหนักซึ่งอ้างอิงตามเกณฑ์การพิจารณาระดับความรุนแรงของการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในประเทศไทยตามประกาศกรมควบคุมโรค พิจารณาจากเกณฑ์ **"จำนวนผู้ติดเชื้อรายใหม่" และ "ความพร้อมในการรองรับผู้ป่วย"** [8] ค่าน้ำหนักของทั้ง 2 เกณฑ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1b) ดังนี้

$$Wlvl_{it} = \frac{0.5 \times SCp_{it}}{6} + \frac{0.5 \times SCb_{it}}{6} \qquad \forall i,t \qquad (1b)$$

โดยที่ $Wlvl_{it}$ คือ ค่าน้ำหนักระดับความรุนแรงของการแพร่ระบาดโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในจังหวัด i คาบเวลา t SCp_{it} และ SCb_{it} คือ ค่าคะแนนซึ่งพิจารณาจากเกณฑ์ "จำนวนผู้ติดเชื้อรายใหม่" และ "ความพร้อมในการรองรับผู้ป่วย" ในจังหวัด i คาบเวลา t ตามลำดับ โดยมีค่าสูงสุด 6 คะแนน ซึ่งเกณฑ์การให้คะแนนจะเป็นไปตามสมการที่ (1c) และ (1d) ดังนี้

$$SCp_{it} \begin{cases} 0 & ; Pat_{it} = 0 \\ \frac{Pat_{it}}{1,200-0} + 1 & ; 0 < Pat_{it} \le 1,200 \\ \frac{Pat_{it}-1,200}{3,600-1,200} + 3 & ; 1,200 < Pat_{it} \le 3,600 \\ \frac{Pat_{it}-3,600}{Pmax_t-3,600} + 5 & ; Pat_{it} > 3,600 \end{cases} \qquad (1c)$$

จากสมการ (1c) แสดงให้เห็นการคำนวณค่าคะแนนซึ่งพิจารณาจากเกณฑ์ "จำนวนผู้ติดเชื้อรายใหม่" โดย Pat_{it} คือ จำนวนผู้ติดเชื้อรายใหม่ที่เกิดขึ้นในจังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้า i ณ คาบเวลา t และ $Pmax_t$ คือจำนวนผู้ติดเชื้อรายใหม่สูงสุดจากการเปรียบเทียบทุกจังหวัด i ณ คาบเวลา t

$$SCb_{it} \begin{cases} 0 & ; 0 \le Bed_{it} \le 40 \\ \frac{Bed_{it}-40}{60-40} + 1 & ; 40 < Bed_{it} \le 60 \\ \frac{Bed_{it}-60}{80-60} + 3 & ; 60 < Bed_{it} \le 80 \\ \frac{Bed_{it}-80}{Bmax_t-80} + 5 & ; Bed_{it} > 80 \end{cases} \qquad (1d)$$

จากสมการ (1d) แสดงให้เห็นการคำนวณค่าคะแนนซึ่งพิจารณาจากเกณฑ์ "ความพร้อมในการรองรับผู้ป่วย" โดยที่ Bed_{it} คือ อัตราการครองเตียงในจังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้า i ณ คาบเวลา t ซึ่งคำนวณจากสัดส่วนระหว่าง Pat_{it} และจำนวนเตียงสำหรับการรองรับผู้ป่วยในจังหวัด i ส่วน $Bmax_{it}$ คืออัตราการครองเตียงสูงสุดจากการเปรียบเทียบทุกจังหวัด i ณ คาบเวลา t ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนเกณฑ์ไปสู่ระดับที่มีความรุนแรงขึ้น จะทำการบวกค่าคะแนนให้กับตัวแปรอีก 1 คะแนนเพื่อสร้างความแตกต่างที่ชัดเจนในการแจกจ่ายหน้ากากอนามัยให้แก่แต่ละจังหวัด

3.3 ค่าน้ำหนักระยะทางระหว่างจังหวัดผู้จัดจำหน่ายสินค้า และจังหวัดของกลุ่มผู้รับสินค้าซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1e) ดังนี้

$$Wdist_{mi} = 1 - \frac{D_{mi}}{Dmax} \qquad \forall i,m \qquad (1e)$$

โดยที่ $Wdist_{mi}$ คือ ค่าน้ำหนักตามระยะทางระหว่างจังหวัด D_{mi} คือ ระยะทางระหว่างจังหวัดผู้จัดจำหน่ายสินค้า m และจังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้า i และ $Dmax$ คือระยะทางระหว่างจังหวัด m และ i ที่มากที่สุด และหากค่า $Wdist_{mi}$ ที่คำนวณออกมาได้มีค่าเท่ากับ 1 ตัว $Wdist_{mi}$ จะถูกเปลี่ยนให้มีค่าเป็น 2 แทนเพื่อที่ทำให้แน่ใจได้ว่าหน้ากากอนามัยจะถูกกระจายไปยังจังหวัดของผู้ผลิตเองก่อนเป็นอันดับแรก โดยค่าน้ำหนักทั้งสามส่วนจะถูกนำมาคิดรวมกันในสมการที่ (1f) เพื่อคำนวณค่าน้ำหนักการตัดสินใจ (W_{mit}) ออกมา

$$W_{mit} = 0.5Wpop_i + 0.5Wlvl_{it} + 0.01Wdist_{mi} \qquad \forall i,m,t \qquad (1f)$$

จากสมการที่ (1f) ค่า $Wdist_{mi}$ ถูกกำหนดให้มีค่าน้อยเพื่อทำให้ระยะทางในการแจกจ่ายหน้ากากอนามัยระหว่างจังหวัดผู้จัดจำหน่ายและผู้รับสินค้าสั้นที่สุด แต่จะไม่มีผลต่อปริมาณสินค้าที่แต่ละจังหวัดของกลุ่มผู้รับสินค้าจะได้รับ กล่าวคือ หากจังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้าหน้ากากอนามัยใดมีจำนวนประชากรมาก จำนวนผู้ติดเชื้อรายใหม่ และอัตราการครองเตียงในจังหวัดที่สูง จังหวัดนั้นจะมีค่าน้ำหนักการตัดสินใจสูง และทำให้ปริมาณหน้ากากอนามัยที่จังหวัดนั้นจะได้รับมีค่ามาก

ในสมการที่ (2) - (7) จะเป็นสมการข้อจำกัด โดยสมการที่ (2) หมายถึง ปริมาณหน้ากากอนามัยสูงสุดที่จังหวัดผู้จัดจำหน่ายสามารถส่งไปได้ ซึ่งคิดจากปริมาณหน้ากากอนามัยที่ทางจังหวัดสามารถผลิตได้ภายใต้ปริมาณวัตถุดิบ และกำลังการผลิตที่มีอยู่ ปริมาณสินค้าคงคลังต้นงวดที่ทางจังหวัดมี โดยอ้างอิงจากปริมาณสินค้าคงคลังปลายงวดของคาบเวลาก่อนหน้า และปริมาณการนำเข้า - ส่งออกของหน้ากากอนามัย สมการที่ (3) หมายถึง ปริมาณหน้ากากอนามัยสูงสุดที่จังหวัดผู้

จัดจำหน่ายสินค้าสามารถส่งได้ภายใต้ปริมาณความต้องการหน้ากากอนามัย ซึ่งแปรผันตามปริมาณหน้ากากอนามัยที่แต่ละจังหวัดที่มีผู้จัดจำหน่ายมีอยู่ สมการที่ (4) หมายถึง ปริมาณหน้ากากอนามัยขั้นต่ำที่แต่ละจังหวัดผู้รับสินค้าจะได้รับ โดยอ้างอิงจากอัตราการใช้หน้ากากอนามัยต่อวันของผู้ติดเชื้อ และบุคลากรทางการแพทย์ในจังหวัด สมการที่ (5) หมายถึง ปริมาณหน้ากากอนามัยที่แต่ละจังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้าจะได้รับต้องไม่มากไปกว่าความต้องการหน้ากากอนามัยในจังหวัดนั้น สมการที่ (6) หมายถึง ปริมาณหน้ากากอนามัยที่แต่ละจังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้าได้รับต้องไม่มากไปกว่าปริมาณหน้ากากอนามัยทั้งหมดที่จังหวัดผู้จัดจำหน่ายสินค้ามี โดยคิดจากสัดส่วนการแจกจ่ายหน้ากากอนามัยของกระทรวงมหาดไทยไปยังแต่ละจังหวัด และในสมการที่ (7) จะควบคุมไม่ให้ปริมาณหน้ากากอนามัยที่แต่ละจังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้าได้รับมีค่าติดลบ

หลังจากการค้นหาผลลัพธ์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เนื่องด้วยสมการที่ (5) และ (6) นั้นทำหน้าที่เป็นขอบเขตบนสุดของปริมาณหน้ากากอนามัยที่จังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้าจะได้รับทั้งคู่ ส่งผลให้ขอบเขตบนสุดมีการผลัดเปลี่ยนไปมาระหว่างสองสมการนี้ โดยสมการที่มีค่าการจำกัดปริมาณหน้ากากอนามัยต่ำกว่าจะถูกเลือกให้เป็นสมการขอบเขตบนสุดภายใต้คาบเวลา และสถานการณ์ที่กำหนด ส่งผลให้ปริมาณหน้ากากอนามัยบางส่วนที่แต่ละจังหวัดผู้จัดจำหน่ายสินค้ามีอยู่ไม่ถูกแจกจ่ายออกไปทั้ง ๆ ที่ยังไม่สามารถเติมเต็มความต้องการได้ครบ หน้ากากอนามัยที่เหลืออยู่จึงถูกนำมาแจกจ่ายผ่านตัวแบบทางคณิตศาสตร์อีกครั้ง โดยการค้นหาผลลัพธ์นี้จะทำการคงไว้ซึ่งดัชนีพารามิเตอร์ และสมการจุดประสงค์เดิม แต่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการตัดสินใจ และสมการข้อจำกัดเป็นสมการ (2') (3') และ (5') ซึ่งถูกดัดแปลงจากสมการที่ (2) (3) และ (5) โดยแนวคิดของสมการจะคงไว้ดังเดิม แต่ปริมาณหน้ากากที่เป็นเงื่อนไขในการแจกจ่าย จะต้องหักลบปริมาณหน้ากากที่ถูกแจกจ่ายจากผลลัพธ์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ซึ่งได้จากการคำนวณในครั้งแรกออกไป ตามสมการดังต่อไปนี้

ตัวแปรตัดสินใจ

Df'_{mit} = ปริมาณหน้ากากอนามัยที่เหลืออยู่ของจังหวัดผู้จัดจำหน่ายสินค้า m ที่สามารถเติมเต็มความต้องการให้แก่กลุ่มผู้รับสินค้าในจังหวัด i ในคาบเวลา t

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{i=1}^{I}\left(Df'_{mit}+Df_{mit}\right) \le Cap_{mt}+Im_{mt}+Inb_{mt}-Ex_{mt} \qquad \forall m,t \qquad (2')$$

$$\sum_{i=1}^{I}\left(Df'_{mit}+Df_{mit}\right) \le \frac{Cap_{mt}+Im_{mt}+Inb_{mt}-Ex_{mt}}{\sum_{m=1}^{M}(Cap_{mt}+Im_{mt}+Inb_{mt}-Ex_{mt})}\times Dem_t \qquad \forall m,t \qquad (3')$$

$$\sum_{m=1}^{M}\left(Df'_{mit}+Df_{mit}\right) \le \frac{Pop_i}{\sum_{i=1}^{I}Pop_i}\times Dem_t \qquad \forall i,t \qquad (5')$$

4. ตัวชี้วัดสำหรับการประเมินโซ่อุปทานของหน้ากากอนามัย

ตัวชี้วัดที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินคือ ค่าระดับการบริการ โดยทำการนำตัวแปรตัดสินใจในหัวข้อที่ 3 ที่ได้จากการคำนวณผ่านตัวแบบทางคณิตศาสตร์ มาคำนวณตามสมการที่ (8) เพื่อประเมินถึงประสิทธิภาพในการแจกจ่ายสินค้าของโซ่อุปทานหน้ากากอนามัย

$$SVL_{it} = \frac{\sum_{m=1}^{M}(Df'_{mit}+Df_{mit})}{\frac{Pop_i}{\sum_{i=1}^{I}Pop_i}\times Dem_t} \qquad \forall i,t \qquad (8)$$

โดยสมการที่ (8) หมายถึง ค่าระดับการบริการ (service level: SVL) ซึ่งคิดจากสัดส่วนระหว่างปริมาณหน้ากากอนามัยที่จังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้า i ได้รับจากผู้ส่งมอบหน้ากาก และปริมาณความต้องการหน้ากากอนามัยของจังหวัด i ในคาบเวลา t และเพื่อที่จะให้ตัวค่าระดับการบริการในแต่ละสถานการณ์ และคาบเวลาสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ คิดเป็นค่าเฉลี่ยของระดับการบริการจากจังหวัดกลุ่มผู้รับสินค้าทั้งหมด หรือสมการที่ (9) เพื่อแสดงถึงค่าระดับการบริการในคาบเวลานั้น และคำนวณค่าระดับการบริการของแต่ละสถานการณ์ หรือสมการที่ (10) โดยการนำค่าระดับการบริการของทุกคาบเวลาในสถานการณ์ที่กำลังพิจารณาซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (9) มาทำการหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง

$$SVL_t = \frac{\sum_{i=1}^{I}SVL_{it}}{I} \qquad \forall t \qquad (9)$$

$$SVL_s = \frac{\sum_{t=1}^{T}SVL_t}{T} \qquad \forall s \qquad (10)$$

โดยดัชนี s ในสมการที่ (16) นั้นแสดงถึงสถานการณ์ (scenarios) ที่แตกต่างกัน โดยที่สถานการณ์ s มีค่า $1, 2, ..., S$

5. การรวบรวมข้อมูลและการกำหนดสถานการณ์

ในหัวข้อนี้ได้มีการระบุถึงการได้มาซึ่งข้อมูลที่จำเป็นต่อตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และการกำหนดสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ประเมินผล และเปรียบเทียบกลยุทธ์ในการปรับปรุงโซ่อุปทาน

5.1 การรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ข้อมูลที่จำเป็นต่อตัวแบบทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลทุติยภูมิที่สามารถรวบรวมได้จากเว็บไซต์ของหน่วยงานภาครัฐ และข่าว อย่างไรก็ตามมีข้อมูลบางส่วนที่ไม่สามารถหาได้จึงจำเป็นต้องสร้างเป็นสมมติฐานขึ้น ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นมีดังนี้

5.1.1 ข้อจำกัดด้านวัตถุดิบและการกระจายวัตถุดิบไปยังโรงงาน ผลิตหน้ากากอนามัย

1. ปริมาณการนำเข้าผ้าเมลต์โบลน (Melt-blown Fabric) ซึ่งเป็นผ้าชนิดไม่ถักไม่ทอประเภทหนึ่ง สามารถคำนวณได้จากปริมาณการนำเข้า

ผ้าชนิดไม่ถักไม่ทอหนักไม่เกิน 25 กรัมต่อตารางเมตร ที่มีพิกัดศุลกากร (HS-Code) คือ 56031100 และ 56039100 ซึ่งสามารถรวบรวมข้อมูลได้จากเว็บไซต์ของสำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ [9] การคำนวณจะอ้างอิงจากข้อมูลจากข่าว [10] ที่รายงานว่ามีการนำเข้าผ้าเมลต์โบลนจำนวน 1,500 ตัน ในปี 2562 และจำนวน 2,200 ตัน ในปี 2563 ร่วมกับการคำนวณสัดส่วนของปริมาณการใช้ผ้าเมลต์โบลนในแต่ละเดือนในปี 2562 ซึ่งหาได้จากปริมาณความต้องการหน้ากากอนามัยในประเทศ 30 ล้านชิ้นต่อเดือนตามรายงานข่าวของกรมการค้าภายใน [11] เทียบกับปริมาณการนำเข้าผ้าชนิดไม่ถักไม่ทอทั้งหมดในปี 2562 แล้วนำสัดส่วนของทั้ง 12 เดือนมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำมาใช้หาปริมาณการนำเข้าผ้าเมลต์โบลนรายเดือนของปี 2563 และ 2564

2. การกำหนดสัดส่วนการผลิตในประเทศ และการนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากโรงงานผลิตหน้ากากอนามัยแต่ละโรงงานใช้วัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่สามารถสืบค้นได้ ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ผ้าเมลต์โบลนทั้งหมดอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีการผลิตในประเทศไทย [10] ส่วนสัดส่วนการผลิตและการนำเข้าของผ้าสปันบอนด์ได้กำหนดให้อยู่ในสัดส่วนที่เท่ากัน คือ 0.5 เนื่องจากผ้าสปันปอนด์เป็นวัตถุดิบที่มีการผลิตในประเทศได้

3. การแปลงหน่วยของวัตถุดิบที่มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) ให้เป็นชิ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นตัวเลขที่บอกว่าหน้ากากอนามัย 1 ชิ้นใช้วัตถุดิบแต่ละชนิดกี่กรัม (g) โดยหน้ากากอนามัย 1 ชิ้น จะใช้ผ้าเมลต์โบลน 0.4156 กรัม และผ้าสปันบอนด์ 0.8312 กรัม ซึ่งคำนวณมาจากพื้นที่หน้ากากอนามัย 1 ชิ้นที่มีขนาด 9.5 * 17.5 ตารางเซนติเมตร คูณกับความหนาแน่นของผ้าสปันบอนด์ (ใช้ 2 ชิ้น) และผ้าเมลต์โบลนซึ่งมีค่าเท่ากันคือ 25 กรัมต่อตารางเมตร [12]

4. การกำหนดเกณฑ์ในประมาณค่ากำลังการผลิตหน้ากากอนามัยของแต่ละจังหวัด โดยอาศัยข้อมูลรายชื่อผู้ผลิตหน้ากากอนามัยที่ได้รับอนุญาตจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา [13] และปริมาณการผลิตของแต่ละโรงงานที่สามารถสืบค้นข้อมูลได้ [14] ดังนี้

4.1 ประเภทธุรกิจที่ส่งงบการเงินปีล่าสุด และวัตถุประสงค์ที่ส่งงบการเงินปีล่าสุดของโรงงานเกี่ยวกับเวชศาสตร์ จะกำหนดให้มีกำลังการผลิต 2 ล้าน หรือ 3 ล้านชิ้นต่อเดือน

4.2 หากมีเพียงวัตถุประสงค์ที่ส่งงบการเงินปีล่าสุดของโรงงานที่เกี่ยวกับเวชศาสตร์เท่านั้น จะกำหนดให้มีกำลังการผลิต 1 ล้าน 1.5 ล้าน หรือ 1.8 ล้านชิ้นต่อเดือน

4.3 หากประเภทธุรกิจที่ส่งงบการเงินปีล่าสุด และวัตถุประสงค์ที่ส่งงบการเงินปีล่าสุดของโรงงานไม่เกี่ยวข้องกับเวชศาสตร์ จะกำหนดให้มีกำลังการผลิต 1 แสน 2 แสน หรือ 5 แสนชิ้นต่อเดือน

นอกจากนี้หากยี่ห้อหน้ากากอนามัยเป็นที่รู้จัก โรงงานมีการผลิตหน้ากากอนามัยหลายยี่ห้อ หรือมีช่องทางการจัดจำหน่ายที่หลากหลายก็จะกำหนดให้มีกำลังการผลิตที่สูงตามไปด้วย

5.1.2 การกระจายหน้ากากอนามัยจากโรงงานผลิตไปยังประชาชนในแต่ละจังหวัด

ข้อมูลในการตัดสินใจสำหรับการแจกจ่ายหน้ากากอนามัย ได้แก่ ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าน้ำหนักการตัดสินใจในการขนส่งสินค้า และความต้องการขั้นต่ำของแต่ละจังหวัด ปริมาณหน้ากากอนามัยที่กระทรวงมหาดไทยแจกจ่ายไปยังแต่ละจังหวัด และปริมาณการนำเข้า - ส่งออกหน้ากากอนามัย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การจัดทำค่าน้ำหนักการตัดสินใจในการขนส่งสินค้า และการกำหนดความต้องการขั้นต่ำของแต่ละจังหวัด อาศัยข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้แก่ จำนวนประชากรในแต่ละจังหวัด จำนวนเตียงผู้ป่วยในแต่ละจังหวัด ซึ่งทั้งคู่สามารถเก็บข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ [15] ข้อมูลจำนวนผู้ติดเชื้อ ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้จากเว็บไซต์ของกรมควบคุมโรค [16] ข้อมูลจำนวนบุคลากรทางการแพทย์ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลมาจากเว็บไซต์ของแพทยสภา [17] อัตราการใช้หน้ากากของแพทย์ [3] และข้อมูลระยะทางระหว่างจังหวัด [18]

2. สัดส่วนการแจกจ่ายของมหาดไทย ถูกนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการกำหนดขอบเขตบนสุดของปริมาณหน้ากากที่แต่ละจังหวัดจะแจกจ่ายได้ เนื่องจากในช่วงที่ประเทศไทยขาดแคลนหน้ากากอนามัย รัฐบาลไทยได้เป็นผู้จัดการการแจกจ่ายหน้ากากอนามัยไปยังประชาชนในแต่ละจังหวัด โดยข้อมูลส่วนนี้นำมาจากปริมาณหน้ากากอนามัยจริงที่กระทรวงมหาดไทยแจกจ่ายไปยังแต่ละจังหวัดทั่วประเทศตามที่ระบุไว้ในประกาศกระทรวงมหาดไทย [19]

3. เนื่องจากหน้ากากอนามัยที่ใช้ในประเทศไทยมาจากการผลิตในประเทศ และนำเข้าจากต่างประเทศ และหน้ากากอนามัยเป็นสินค้าส่งออกของประเทศไทย ปริมาณการนำเข้าและส่งออกหน้ากากอนามัยจึงเป็นอีกข้อมูลที่จำเป็นในการกำหนดการแจกจ่ายหน้ากากอนามัยไปยังจังหวัดต่าง ๆ ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้จากเว็บไซต์ของสำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยมีพิกัดศุลกากร คือ 63079040000 [9]

5.2 การกำหนดสถานการณ์การหยุดชะงักของโซ่อุปทานหน้ากากอนามัยทางการแพทย์

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาผลกระทบของการแพร่ระบาดที่รุนแรงขึ้นต่อการตอบสนองความต้องการหน้ากากอนามัยของประชาชนในประเทศ โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เป็นข้อมูลจริงของช่วงการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และมีการกำหนดให้เกิดสถานการณ์ทั้ง 3 ข้อดังต่อไปนี้พร้อมกัน

1. การลดกำลังการผลิตของจังหวัดร้อยละ 25 เนื่องจากประเทศไทยไม่เคยมีรายงานข่าวการปิดโรงงานผลิตหน้ากากอนามัยเพราะการติดเชื้อของคนงาน จึงกำหนดให้ทุกโรงงานในจังหวัดที่เป็นพื้นที่สีส้มหรือสีแดงตามเกณฑ์การพิจารณาที่ประกาศโดยกรมควบคุมโรค [8] และตามมาตรการควบคุมโรคของประเทศไทยสามารถผลิตหน้ากากอนามัยได้น้อยลงเพราะต้องแบ่งคนงานเป็น 2 ทีมสลับกันทำงาน และบางส่วนติดเชื้อ ทำให้เข้าทำงานได้ไม่เต็มกำลังการผลิต ผู้ติดเชื้อจะทำการกักตัว และรักษาตัวเป็นเวลา 14 วัน หรือครึ่งหนึ่งของ 1 คาบเวลา [20]

2. การลดปริมาณการนำเข้าของผ้าเมลต์โบลนในช่วงที่มีการขาดแคลนหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ตั้งแต่คาบเวลาที่ 2 ถึงคาบเวลาที่ 7 (เดือนกุมภาพันธ์ - เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2563) ซึ่งเป็นช่วงที่หลายประเทศประกาศใช้มาตรการห้ามการส่งออกหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ และวัตถุดิบสำหรับผลิต โดยกำหนดให้ร้อยละที่ลดลงของปริมาณการนำเข้าจากแต่ละประเทศคำนวณมาจากปริมาณการนำเข้ารายเดือนที่น้อยที่สุดในช่วงคาบเวลาที่ 2 ถึงคาบเวลาที่ 7 หารด้วยปริมาณการนำเข้ารายเดือนที่มากที่สุดในช่วง 22 คาบเวลา

3. การลดปริมาณการนำเข้าของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ในช่วงที่มีการขาดแคลนหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ตั้งแต่คาบเวลาที่ 2 ถึงคาบเวลาที่ 7 โดยกำหนดให้ร้อยละที่ลดลงของปริมาณการนำเข้าจากแต่ละประเทศคำนวณมาจากปริมาณการนำเข้ารายเดือนที่น้อยที่สุดในช่วงคาบเวลาที่ 2 ถึงคาบเวลาที่ 7 หารด้วยปริมาณการนำเข้ารายเดือนที่มากที่สุดในช่วง 22 คาบเวลา

5.3 การกำหนดกลยุทธ์เพื่อการปรับปรุงโซ่อุปทานหน้ากากอนามัยทางการแพทย์

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดกลยุทธ์การปรับปรุงโซ่อุปทานหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ของประเทศไทยทั้งหมด 3 แนวทาง คือ การห้ามการส่งออกทั้งหมด การเพิ่มกำลังการผลิต และการผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศ โดยจำลองการใช้กลยุทธ์การปรับปรุงกับสถานการณ์ที่ได้กำหนดการหยุดชะงักไว้ในข้อที่ 5.2 ผ่านตัวแบบทางคณิตศาสตร์

1. การห้ามการส่งออกทั้งหมด โดยจากการรวบรวมข้อมูล [9] พบว่าในช่วงที่มีการขาดแคลนของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ยังมีการส่งออกเกิดขึ้น แม้ว่าทางรัฐบาลจะประกาศใช้มาตรการห้ามการส่งออกหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ [21] ในการศึกษาจึงได้ทำการกำหนดให้ไม่มีการส่งออกหน้ากากอนามัยออกนอกประเทศ

2. การเพิ่มกำลังการผลิต จากการรวบรวมข้อมูลจริงพบว่าหนึ่งในสาเหตุที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการหน้ากากอนามัยที่เพิ่มสูงขึ้นได้มาจากกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอ จึงได้มีการศึกษาผลของการเพิ่มกำลังการผลิตในทุกจังหวัดร้อยละ 25 และร้อยละ 50 ของกำลังการผลิตสูงสุดของจังหวัด ทั้งหมด 22 คาบเวลา

3. การผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศ เนื่องจากผ้าเมลต์โบลนเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตหน้ากากอนามัย แต่ยังไม่มีการผลิตในประเทศ ทำให้ต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น ดังนั้นเมื่อหลาย ๆ ประเทศผู้ผลิตผ้าเมลต์โบลนทำการควบคุมการส่งออก ผ้าเมลต์โบลน ซึ่งส่งผลให้การผลิตหน้ากากอนามัยได้รับผลกระทบอย่างหนัก จึงกำหนดให้มีการผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศร้อยละ 20 และร้อยละ 40 ของปริมาณความต้องการทั้งหมด

4. การเพิ่มกำลังการผลิต ควบคู่กับการผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศ ในการศึกษาได้เปรียบเทียบการใช้ทั้ง 2 มาตรการควบคู่กันกับกรณีที่มีการใช้มาตรการใดมาตรการหนึ่งเท่านั้น โดยกำหนดให้มีการเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 25 ของกำลังการผลิตสูงสุดของจังหวัดและการผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศร้อยละ 20 ของปริมาณความต้องการทั้งหมด เป็นระยะเวลา 22 คาบเวลา

6. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากผลลัพธ์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการประเมินโซ่อุปทานของหน้ากากอนามัยภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ในประเทศไทย ที่มีวัตถุประสงค์ให้ผลรวมระหว่างผลคูณของหน้ากากอนามัยที่แจกจ่ายออกไป และน้ำหนักในการตัดสินใจมีค่าสูงสุด ทำให้ได้ค่าระดับการบริการในแต่ละสถานการณ์ซึ่งถูกใช้เป็นตัวชี้วัดสำหรับการประเมินกลยุทธ์ตามสถานการณ์ต่าง ๆ ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าระดับการบริการเฉลี่ยของแต่ละสถานการณ์

สถานการณ์	คำอธิบายสถานการณ์	SVL_s
1	สถานการณ์ที่อ้างอิงจากข้อมูลจริง	82.68
2	สถานการณ์การหยุดชะงัก	62.33
3	การห้ามการส่งออกทั้งหมด	63.88
4	การเพิ่มกำลังการผลิต 25%	73.71
5	การเพิ่มกำลังการผลิต 50%	73.74
6	การผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศ 20%	65.55
7	การผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศ 40%	68.97
8	การเพิ่มกำลังการผลิต 25% ควบคู่กับการผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศ 20%	77.79

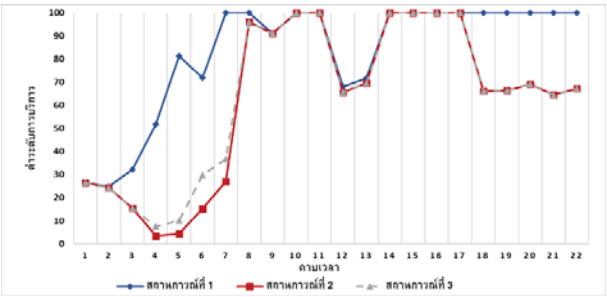
จากข้อ 5.3 และตารางที่ 1 กลยุทธ์ที่ 1 คือสถานการณ์ที่ 3 กลยุทธ์ที่ 2 คือสถานการณ์ที่ 4 และ 5 กลยุทธ์ที่ 3 คือสถานการณ์ที่ 6 และ 7 และกลยุทธ์ที่ 4 คือสถานการณ์ที่ 8 โดยค่าระดับการบริการเฉลี่ยของแต่ละสถานการณ์ คิดจากค่าระดับการบริการของทุกคาบเวลา (22 คาบเวลา) ในสถานการณ์ ซึ่งมีระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564

ในตารางที่ 1 ค่าระดับการบริการของสถานการณ์ที่อ้างอิงจากข้อมูลจริงมีค่าร้อยละ 82.68 และเมื่อเทียบกับสถานการณ์การหยุด ชะงัก ค่าระดับการบริการลดลงร้อยละ 20.35 เหลือเพียงร้อยละ 62.33

เมื่อเปรียบเทียบค่าระดับการบริการระหว่างสถานการณ์ที่มีการใช้กลยุทธ์การปรับปรุงในสถานการณ์ที่โซ่อุปทานเกิดการหยุดชะงัก และสถานการณ์การหยุดชะงัก พบว่าเมื่อมีการห้ามการส่งออกหน้ากากอนามัยทั้งหมด ผลปรากฏว่าค่าระดับการบริการเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 1.55 เท่านั้น ส่วนในกลยุทธ์ในการเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 25 และร้อยละ 50 ให้ผลค่าระดับการบริการที่ใกล้เคียงกันมากคือ เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 11.40 ขณะที่การผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศร้อยละ 20 และร้อยละ 40 ช่วยให้ค่าระดับการบริการเพิ่มขึ้นได้ร้อยละ 3.22 และ 6.64 ตามลำดับ และกลยุทธ์สุดท้ายคือ การเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 25 ควบคู่กับการผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศร้อยละ 20 พบว่าค่าระดับการบริการเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ ร้อยละ 15.46

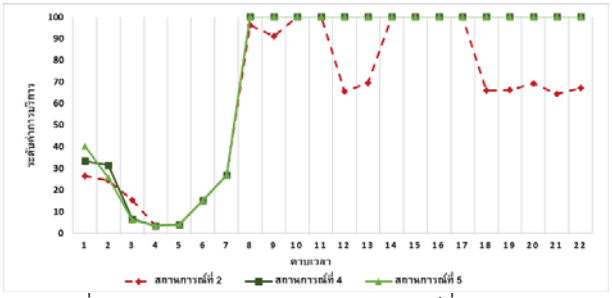
จากรูปที่ 2 สถานการณ์ที่อ้างอิงจากข้อมูลจริง (สถานการณ์ที่ 1) แสดงให้เห็นว่าช่วงแรกของการแพร่ระบาด ประเทศไทยมีปริมาณหน้ากากอนามัยไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานของประชาชนในประเทศ (เมื่อความเพียงพอคือระดับการให้บริการร้อยละ 100) ในแต่ละ

เดือนจะมีการเพิ่มกำลังการผลิตตลอด จนในคาบเวลาที่ 7 ประเทศไทยสามารถตอบสนองความต้องการของประชาชนได้ทั้งหมด แต่กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการหน้ากากอนามัยเมื่อมีการแพร่ระบาดระลอกใหม่ในบางช่วง เช่น ในคาบเวลาที่ 12 - 13 และเมื่อกำหนดให้เกิดการหยุดชะงัก (สถานการณ์ที่ 2) ค่าระดับการบริการจะต่ำกว่าสถานการณ์ที่ 1 โดยเฉพาะคาบเวลาที่ 3 - 8 เนื่องจากการขาดแคลนวัตถุดิบ และคาบที่ 18 - 22 เนื่องด้วยกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยเมื่อนำกลยุทธ์การปรับปรุงด้วยการห้ามการส่งออกหน้ากากอนามัยทั้งหมด (สถานการณ์ที่ 3) มาใช้พบว่า ค่าระดับการบริการแทบไม่แตกต่างไปจากสถานการณ์ที่เกิดการหยุดชะงัก



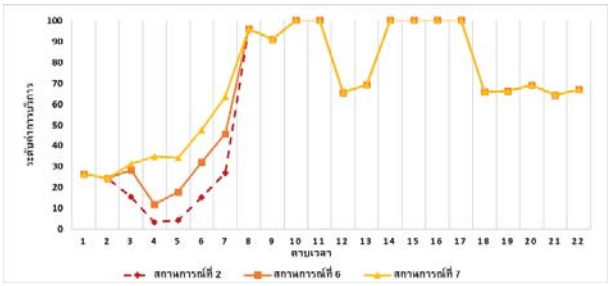
รูปที่ 2 กราฟค่าระดับการบริการสถานการณ์ที่ 1, 2 และ 3

จากรูปที่ 3 การเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 25 (สถานการณ์ที่ 4) ทำให้ค่าระดับการบริการตั้งแต่คาบเวลาที่ 8 เป็นต้นไปมีค่าเพิ่มขึ้นจนสามารถเติมเต็มความต้องการของประชาชนได้ทั้งหมด ขณะที่การเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 50 (สถานการณ์ที่ 5) ส่งผลให้ค่าระดับการบริการสูงกว่าการเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 25 เพียงเล็กน้อยคือ ร้อยละ 0.03 เนื่องจากในช่วงคาบเวลาที่ 1 - 7 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตหน้ากากอนามัยไม่เพียงพอต่อกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น และตั้งแต่คาบเวลาที่ 8 เป็นต้นไป การเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 25 สามารถเติมเต็มความต้องการของประชาชนได้ทั้งหมด



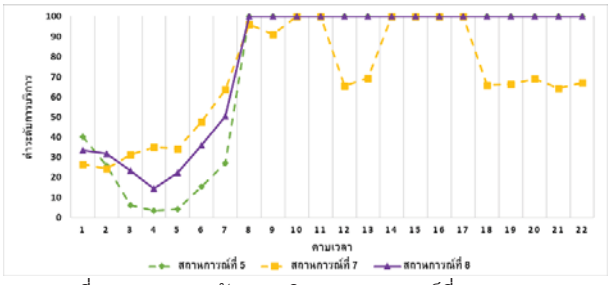
รูปที่ 3 กราฟค่าระดับการบริการสถานการณ์ที่ 2, 4 และ 5

เนื่องจากในช่วงคาบเวลาที่ 3 – 7 เป็นช่วงที่หลาย ๆ ประเทศมีการควบคุมปริมาณการส่งออกผ้าเมลต์โบลน การผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศร้อยละ 20 และร้อยละ 40 (สถานการณ์ที่ 6 และ 7 ตามลำดับ) จึงช่วยให้ประเทศไทยมีปริมาณวัตถุดิบสำหรับการผลิตหน้ากากอนามัยที่สูงขึ้น และส่งผลให้ค่าระดับการบริการในช่วงคาบเวลาที่ 3 – 7 เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟค่าระดับการบริการสถานการณ์ที่ 2, 6 และ 7

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าการใช้กลยุทธ์ในการเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 25 ควบคู่กับการผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศร้อยละ 20 (สถานการณ์ที่ 8) ให้ผลโดยรวมดีกว่าการเพิ่มกำลังการผลิตจากร้อยละ 25 มาเป็นร้อยละ 50 เนื่องจากในช่วงคาบเวลาที่ 3 - 7 มีปริมาณวัตถุดิบที่น้อยกว่ากำลังการผลิต ดังนั้นการเพิ่มกำลังการผลิตเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถเพิ่มค่าระดับการบริการได้ จำเป็นจะต้องมีปริมาณวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนช่วงหลังจากคาบเวลาที่ 7 การเพิ่มกำลังการผลิตเพียงร้อยละ 25 สามารถเติมเต็มความต้องการทั้งหมดได้ จึงส่งผลให้ทั้ง 2 กลยุทธ์มีค่าระดับการบริการร้อยละ 100 เท่ากัน และเมื่อเปรียบเทียบต่อการเพิ่มปริมาณการผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 40 การเพิ่มปริมาณการผลิตผ้าเมลต์โบลนจะให้ค่าระดับการบริการที่สูงกว่าในคาบเวลาที่ 3 - 7 ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่ประเทศไทยขาดแคลนผ้าเมลต์โบลน ดังนั้นหากสามารถผลิตผ้าเมลต์โบลนใช้เองในประเทศได้ในปริมาณที่มากขึ้น ค่าระดับการบริการก็จะมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 5 กราฟค่าระดับการบริการสถานการณ์ที่ 5, 7 และ 8

7. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประเมินกลยุทธ์ในการตอบสนองการหยุดชะงักของโซ่อุปทานหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ผ่านตัวแบบทางคณิตศาสตร์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการแจกจ่ายของหน้ากากอนามัยภายใต้น้ำหนักการตัดสินใจที่กำหนดให้ได้มากที่สุดในสถานการณ์การแพร่ระบาดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ของประเทศไทย โดยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ถูกคำนวณผ่านเครื่องมือ CBC (COIN-OR Branch-and-Cut) ใน MS Excel โดยใช้ค่าระดับการ

บริการเป็นตัวชี้วัดในการประเมินผล พร้อมกับประเมินกลยุทธ์ในการรับมือสถานการณ์ที่เกิดขึ้น

จากค่าตัวชี้วัดที่คำนวณออกมาได้ในแต่ละสถานการณ์นั้น บ่งชี้ให้เห็นว่าในสถานการณ์ที่อ้างอิงจากข้อมูลจริงซึ่งมีค่าระดับการบริการโดยเฉลี่ยร้อยละ 82.68 นั้นค่อนข้างมีการรับมือกับการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ได้ดีพอสมควรจากการเพิ่มกำลังการผลิตหน้ากากอนามัยในแต่ละคาบเวลา แต่ในช่วงต้นของการแพร่ระบาดนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณหน้ากากอนามัยที่ถูกแจกจ่ายออกไปยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ อีกทั้งโซ่อุปทานนี้ยังมีความสามารถในการรับมือการหยุดชะงักที่อาจเกิดขึ้นได้ไม่มากเพียงพอ เห็นได้จากค่าระดับการบริการที่ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 62.33 ภายใต้สถานการณ์การหยุดชะงักที่หากไม่มีมาตรการโต้ตอบใด ๆ ดังนั้นกลยุทธ์การปรับปรุงโซ่อุปทานจึงได้ถูกกำหนดขึ้น โดยจากผลการประเมินพบว่ากลยุทธ์การเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 25 นั้นสามารถทำให้ค่าระดับการบริการโดยเฉลี่ยมีค่าสูงที่สุดคือ ร้อยละ 73.71 ในขณะที่กลยุทธ์การผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศร้อยละ 20 จะให้ค่าระดับการบริการในช่วงคาบเวลาต้น ๆ ที่สูงกว่า และในกรณีที่มีการปรับกลยุทธ์การรับมือเพิ่มเติม จะพบว่าการเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 25 ควบคู่กับการผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศร้อยละ 20 นั้น ให้ค่าระดับการบริการที่สูงกว่าการเพิ่มกำลังการผลิตร้อยละ 50 และการผลิตผ้าเมลต์โบลนในประเทศร้อยละ 40 ในการศึกษาครั้งนี้จึงสรุปได้ว่า ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และค่าระดับการบริการที่ถูกใช้เป็นตัวชี้วัดนั้นสามารถตอบวัตถุประสงค์ในการประเมินผลกระทบต่อโซ่อุปทานของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ รวมถึงการวิเคราะห์ และเสนอกลยุทธ์การปรับปรุงโซ่อุปทานของหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ในประเทศไทย

เนื่องจากข้อมูลบางส่วนที่นำมาใช้ในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้มาจากการประมาณค่า ดังนั้นหากสามารถเก็บข้อมูลจริง หรือมีวิธีการประมาณค่าที่แม่นยำกว่าก็จะช่วยให้การประเมินโซ่อุปทานใกล้เคียงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น และโปรแกรม MS Excel ที่ใช้ในการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ค่อนข้างมีข้อจำกัด เช่น ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักการตัดสินใจในได้หลายค่าในการ Optimize ครั้งเดียว เป็นต้น ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการเขียนโปรแกรม ดังนั้นการใช้เครื่องมืออื่นอาจทำให้แบบทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างสามารถประเมินโซ่อุปทานได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Sean Harapko. “How COVID-19 impacted supply chains and what comes next”. Online document https://www.ey.com/engy/supply-chain/how-covid-19-impacted-supply-chains-and-what-comes-next accessed on Oct 16, 2021

[2] BBC NEWS, ไวรัสโคโรนา : 3 เดือนหลังขาดแคลนหน้ากากอนามัย รัฐบาลเริ่มกระจาย 2.3 ล้านชิ้น วันนี้, ข้อมูลจาก https://www.bbc. com/thai/thailand-52088181 (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 ตุลาคม 2564)

[3] โครงการพัฒนาศูนย์วิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกสำหรับอุตสาหกรรมวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์, ผลิตภัณฑ์หน้ากากอนามัยทางการ แพทย์ (HS CODE 6307904000 และ 6307909001), ข้อมูลจาก http://medicaldevices.oie.go.th/box/Article/ 9785/หน้ากากอนามัย.updated.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 17 ตุลาคม 2564)

[4] ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, วิกฤต ‘หน้ากากอนามัย’ ลาม วัตถุดิบใกล้หมดแนวโน้มราคาขยับ, ข้อมูลจาก https://www.prachachat.net/economy/news-430982 (วันที่สืบค้นข้อมูล 17 ตุลาคม 2564)

[5] R. H. A. Niro et al., Application of Operations Research in Solving COVID-19 Related Problems in Select Communities in the Philippines, 2020 7th International Conference on Frontiers of Industrial Engineering (ICFIE), 27-29 Sept 2020, Singapore

[6] Nils- Ole Hohenstein, Edda Feisel, Evi Hartmann, Larry Giunipero. 2015. "Research on the phenomenon of supply chain resilience: A systematic review and paths for further investigation". International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 45 (1/2): 90-117.

[7] Sónia R. Cardoso, Ana Paula Barbosa-Póvoa, Susana Relvas, Augusto Q. Novais. 2015. “Resilience metrics in the assessment of complex supply-chains performance operating under demand uncertainty” Omega, Vol. 56: 53-73.

[8] กรมควบคุมโรค, เกณฑ์การพิจารณาตามระดับความรุนแรงของการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ระดับประเทศ, ข้อมูลจาก https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/file/im_commands/im_commands12_1.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 ธันวาคม 2564)

[9] สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, สรุป การส่งออก/นำเข้า/ดุลการค้า, ข้อมูลจาก https://tradereport.moc.go.th/TradeThai.aspx (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 ธันวาคม 2564)

[10] ชวลิต ทิพพาวนิช, เมื่อโควิด-19 ทำดีมานด์เม็ดพลาสติก PP Meltblown พุ่งแรง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเพิ่ม แล้วทางแก้คืออะไร?, ข้อมูลจาก https:// thestandard.co/pp-meltblown-plastic-pellets-demand-increasing-what-is-the-solution/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 ธันวาคม 2564)

[11] กรมการค้าภายใน, ข่าวกรมการค้าภายใน, ข้อมูลจาก https://www.dit.go.th/ Content.aspx?m=1120&c=27767 (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 ตุลาคม 2564)

[12] MSME - Development Institute. MSME “Surgical Face Mask”. Online document https://www.msmedithrissur.gov.in/assets/uploads/downloadfile/Surgical%20Face%20Mask.pdf accessed on Oct 3, 2021

[13] ศูนย์ข้อมูลข่าวสารด้านเวชภัณฑ์ กระทรวงสาธารณสุข, รายชื่อผู้ผลิตหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ ที่ได้รับอนุญาตจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, ข้อมูลจาก http://dmsic.moph.go.th/index/detail/8814 (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 ธันวาคม 2564)

[14] isranews, เร่งผลิตไม่มีหยุดพัก 38 ล.ชิ้น! 'จุรินทร์' ถก 11 บ. แก้ขาดแคลนหน้า กากอนามัย-ขายแพงคุก 7 ปี, ข้อมูลจาก https://www.isranews.org/ content-page/item/86117-jurinn00-86117.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 ธันวาคม 2564)

[15] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, สถิติประชากรศาสตร์ ประชากรและเคหะและสถิติสุขภาพ, ข้อมูลจาก http://statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/01. aspx (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 ธันวาคม 2564)

[16] กรมควบคุมโรค, สถานการณ์ผู้ติดเชื้อ COVID-19 อัพเดทรายวัน, ข้อมูลจาก https://covid19.ddc.moph.go.th/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 ธันวาคม 2564)

[17] แพทยสภา, ข้อมูลที่จัดเก็บในฐานข้อมูลแพทยสภา, ข้อมูลจาก https://www. tmc.or.th/pdf/stat-med-2021-001.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 17 ตุลาคม 2564)

[18] Asset Performance Solutions, ระยะทางระหว่างจังหวัด, ข้อมูลจาก http://www.apsthailand.com/ตารางคำนวณระยะทางระหว่างจังหวัดทั่วประเทศไทย.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2564)

[19] กระทรวงมหาดไทย, แผนการจัดสรรหน้ากากอนามัย (Surgical Mask), ข้อมูลจาก https: / / www. moicovid. com/ wp-content/uploads/2020/04/COVID-Surgical-Mask.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 ธันวาคม 2564)

[20] ชนาธิป ไชยเหล็ก, เมื่อไรถึงเรียกว่าหายป่วยจากโควิด หายป่วยแล้วต้องทำอะไรบ้าง, ข้อมูลจากhttps://thestandard.co/recovered-from-covid-what-should-i-do/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 17 ธันวาคม 2564)

[21] กรมการค้าภายใน, ประกาศกรมการค้าภายใน, ข้อมูลจาก https://www.dit.go.th /Content.aspx?m=12&c=27843 (วันที่สืบค้นข้อมูล 17 ตุลาคม 2564)

การศึกษาการลดระยะเวลาในการจัดส่งบรรจุภัณฑ์ของแผนกคลังพัสดุ กรณีศึกษา โรงงานอาหารแปรรูป

A study on reducing the delivery time of packages in the warehouse department Case Study: Food Processing Plant

ศิริวรรณ ดาลบิดา[1*] กิตติมา เลิศศักดิ์วิมาน[1]
[1] ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
E-mail: 6106011610020@fitm.kmutnb.ac.th*

Siriwan Danbida[1*], Kittima Lertsakwimarn[1]
[1]Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus
E-mail: 6106011610020@fitm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุและแก้ไขปัญหาการส่งมอบบรรจุภัณฑ์ไม่ตรงเวลาในกระบวนการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์จากฝ่ายคลังพัสดุในโรงงานอาหารแปรรูป ซึ่งถ้ากระบวนการนี้มีความล่าช้าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้ จากการศึกษาโดยใช้ทฤษฎีแผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) พบว่า สาเหตุสำคัญมาจากตำแหน่งการวางบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดในบริเวณพื้นที่จัดเก็บนั้น มีรูปแบบการจัดเก็บไม่ตายตัว ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพื้นที่ว่าง ส่งผลให้ยากต่อการค้นหาและทำให้การเบิกจ่ายในแต่ละครั้งใช้เวลานาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการจัดหมวดหมู่แบบ ABC Analysis มาวิเคราะห์โดยแบ่งหมวดหมู่และจัดลำดับความสำคัญของบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดตามความถี่ในการใช้งาน จากนั้นทำการออกแบบตำแหน่งการวางบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดใหม่ โดยใช้ทฤษฎีสินค้าเคลื่อนไหวเร็ววางไว้ใกล้ประตู (Fast Mover Closest to the Door) จากการปรับปรุงดังกล่าวส่งผลให้พนักงานค้นหาบรรจุภัณฑ์ได้เร็วยิ่งขึ้นและจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ได้ถูกต้อง จากการเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุงตำแหน่งต่อ 1-3 รายการเบิก 4-6 รายการเบิก 7-9 รายการเบิก และ 10 รายการเบิกขึ้นไป พบว่าระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเบิกจ่ายลดลงจากเดิม คิดเป็น 20% 25% 34% และ 30% ตามลำดับ และใช้เวลาในการเบิก-จ่ายบรรจุภัณฑ์ลดลง 7 นาที 3 วินาที คิดเป็น 27%

คำสำคัญ: การบริหารจัดการคลังสินค้า, การวิเคราะห์แบบเอบีซี, ลดระยะเวลา

Abstract

This research aimed to discover the cause and solve the problem of belated dispatching on package picking from a warehouse of a food processing plant. A delay in mentioned process could affect the production efficiency. As a result of analyzing the fishbone diagram, the root cause was package placement. The storage of each type of package was not specific, according to space location, hence difficult finding and taking the time of picking. Thus, the research proposed a classification method of ABC analysis. Individual package type was classified and arranged significance according to consumption. Subsequently, the new location of each package placement was designed by using the Fast Mover Closest to the Door theory. Comparing average time before and after changing location for 1-3, 4-6, 7-9, and 10 items picking showed that the average picking time was reduced by 20%,25%,34%, and 30% respectively.

Keywords: Warehouse management system, ABC analysis, Reducing lead time

1. บทนำ

ธุรกิจอาหารแปรรูปเป็นธุรกิจที่มีการขยายตัวอย่างมากในปัจจุบันด้วยความหลากหลายในเรื่องของขนาดและรูปแบบของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจึงจำเป็นต้องเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม ส่งผลให้มีความต้องการบรรจุภัณฑ์หลากหลายประเภทหลากหลายขนาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่อง โดยบรรจุภัณฑ์ทั้งหมดจะอยู่ภายใต้การดูแลของฝ่ายคลังพัสดุ ไม่ว่าจะเป็นการรับบรรจุภัณฑ์และการส่งบรรจุภัณฑ์ โดยการจัดส่งบรรจุภัณฑ์เพื่อบรรจุอาหารแปรรูป นั้นจะมีการจัดส่งบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆตามความเหมาะสมของชนิดสินค้า แต่หากการบริหารจัดการการจัดส่งบรรจุภัณฑ์ไม่มีประสิทธิภาพที่ดีมากพออาจทำให้เกิดความล่าช้า จากการศึกษาโรงงานกรณีศึกษาพบปัญหาการล่าช้าในการจัดส่งบรรจุภัณฑ์ของแผนกคลังพัสดุไปยังฝ่ายผลิต ซึ่งปัญหาหลักมาจากคลังพัสดุมีพื้นที่ไม่เพียงพอสำหรับจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ที่หลากหลาย และพนักงานใช้เวลาหาบรรจุภัณฑ์นานเนื่องมาจากบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดไม่ได้จัดเก็บไว้ตำแหน่งเดิมตลอดเวลา โดยสับเปลี่ยนตามช่องว่างของพื้นที่จัดเก็บนั้นๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะได้หาแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการปรับปรุงการจัดทำแผนผังคลังพัสดุและระบบการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพและใช้พื้นที่ที่จำกัดให้เกิดประโยชน์เพิ่มมากขึ้น

2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้จะใช้แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ซึ่งเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) โดยหน้าตาแผนภูมิมีลักษณะคล้ายปลาที่เหลือแต่ก้าง สามารถอธิบายได้ว่าส่วนของปัญหาหรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) จะแสดงอยู่ที่หัวปลา ส่วนของสาเหตุ (Causes) จะแสดงอยู่กระดูกสันหลังทั้งหมด ซึ่งสามารถแยกย่อยออกได้เป็นปัจจัย (Factors) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา (หัวปลา)

ในส่วนของการจัดการบรรจุภัณฑ์ในคลังพัสดุจะใช้แนวคิดทฤษฎีการจัดหมวดหมู่สินค้า ABC Analysis ซึ่งเป็นเทคนิคการจัดการสินค้าคงคลังโดยแบ่งตามลำดับความสำคัญ แบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ A, B และC สินค้าคงคลังกลุ่ม A จัดเป็นกลุ่มที่มีมูลค่าอยู่ประมาณ 75-80% ของมูลค่าสินค้าคงคลังทั้งหมด แต่สินค้าคงคลังอยู่ที่ 15-20% ของรายการสินค้าคงคลังทั้งหมด สินค้าคงคลังกลุ่ม B จัดเป็นกลุ่มที่มีมูลค่าอยู่ประมาณ 15% ของมูลค่าสินค้าคงคลังทั้งหมด แต่สินค้าคงคลังอยู่ที่ 30-40% ของรายการสินค้าคงคลังทั้งหมด สินค้าคงคลังกลุ่ม C จัดเป็นกลุ่มที่มีมูลค่าอยู่ประมาณ 5-10% ของมูลค่าสินค้าคงคลังทั้งหมดแต่มีสินค้าคงคลังอยู่ที่ 40-50% ของรายการสินค้าคงคลังการวางแผนการควบคุมสินค้ากลุ่ม A ก็จะมีการวางแผนดีที่สุด เพราะมีราคาของสินค้าสูง จำเป็นต้องเอาใจใส่มากที่สุด ในขณะที่สินค้า B จะมีการวางแผนควบคุมระดับกลาง และต้องเอาใจใส่พอสมควร สุดท้ายกลุ่ม C จะมีการวางแผนควบคุมในระดับต่ำหรืออาจจะไม่ต้องให้ความสนใจ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรัชภรณ์ และกฤติยา [1] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้า ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์ ABC Classification และVisual Control โดยปรับปรุงระบบการจัดเก็บสินค้าแบบใหม่ เพื่อใช้ในการคัดแยกการจัดหมวดหมู่สินค้า และเรียงลำดับความสำคัญในการหยิบสินค้า ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลารวมเป็น 6 ชั่วโมง 25 นาที 23 วินาที หรือวัดประสิทธิภาพเวลาในการหยิบสินค้าลดลง 48.17%

ปิยะ, ภาษิต, บุริม, และธิติญา [2] ได้ทำการศึกษาการจัดการคลังสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน กรณีศึกษาบริษัทกระจายสินค้าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ด้วยการประยุกต์ใช้ทฤษฎี ABC Analysis ร่วมกับ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) เพื่อใช้วิเคราะห์น้ำหนักความสำคัญ โดยใช้ปัจจัย 3 ปัจจัยคือ ระยะทาง เวลา และความสะดวก เพื่อหาน้ำหนักความสำคัญ (Weight) จากการหาค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละทางเลือกนั้น ทำให้เวลาในการจัดรายการสินค้าลดลงเหลือ 21 นาที และความผิดพลาดในการจัดรายการสินค้านั้นไม่เกิดขึ้นเลย

ถิรนันท์ และวริศรา [3] ได้ทำการศึกษาการลดระยะเวลาในขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปภายในคลังสินค้ากรณีศึกษาบริษัท ฮอลแลนด์สตาร์บรรจุภัณฑ์จำกัด ด้วยการประยุกต์ใช้แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) และหลักการ ECRS โดยทำการลดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าในการจดรายการน้ำและยอดที่ต้องการจะสั่งจ่าย และเรียงลำดับการปั๊มวันที่ที่ทำการจัดส่งสินค้าใหม่ ส่งผลให้ระยะเวลาในขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปจากเดิมอยู่ที่ 212 นาที 30 วินาทีเมื่อปรับปรุงขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปแล้วใช้ระยะเวลาเพียง 184 นาที 17 วินาที ลดลง 13.25 %

ธนิษฐ์นันท์ และนภาพร [4] ได้ทำศึกษาการลดระยะเวลาในการจัดส่งอะไหล่โดยการปรับปรุงผังการ ด้วยการประยุกต์ใช้การจัดหมวดหมู่สินค้าแบบ ABC Analysis และหลักการ ECRS โดยทำการย้ายตำแหน่งของการจัดเก็บสินค้าเพื่อลดระทางในการเดิน ส่งผลให้ระยะเวลาในการเดินหยิบสินค้าจากเดิม 11 ชั่วโมง 19 นาที 04 วินาที ต่อเมตร ลดลงเหลือ 7 ชั่วโมง 30 นาที 15 วินาที ต่อเมตร

เพียงจันทร์ [5] ได้ทำการศึกษาการออกแบบระบบคลังสินค้าสำหรับลังกระดาษลูกฟูก ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการการวางผังคลังสินค้าและการออกแบบพื้นที่คลังสินค้า โดยทำการออกแบบพื้นที่จัดเก็บไว้ 2 แบบ ซึ่งแบบที่ทำมุม 45° เก็บได้ 106 พาเลทส่งผลให้เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ในการจัดการต่อพื้นที่ได้ 22.52 % แบบที่ทำมุม 90° เก็บได้ 136 พาเลทเก็บได้ 136 พาเลท เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ในการจัดการต่อพื้นที่ทั้งหมดได้ 34.28 % สามารถรองรับสินค้าได้ 7 วัน ผู้จัดทำได้เลือกแบบที่ทำมุม90° มาใช้ในการจัดเก็บใหม่ ส่งผลให้มีพื้นที่ในการเก็บลังกระดาษลูกฟูกเพิ่มขึ้น 20 พาเลท

อุษาวดี, กนกสม และจิราวุธ [6] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคลังสินค้า กรณีศึกษาอุตสาหกรรมกล่องกระดาษ ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการจัดการคลังสินค้าและหลักการควบคุมด้วยสายตา โดยทำการแยกสินค้าออกเป็นกลุ่ม และกำหนดพื้นที่จัดเก็บตามกลุ่มของสินค้าที่ได้แบ่งไว้ ส่งผลให้ลดเวลาในการค้นหาสินค้าจาก 41.17นาที เหลือ 27.46 นาที

จิราวรรณ [7] ได้ทำการจัดผังพื้นที่จัดเก็บในคลังสินค้า กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางรถยนต์ ด้วยการประยุกต์ใช้ทฤษฎี ABC Analysis ร่วมกับ ทฤษฎี SLP (systematic layout planning) โดยการจัดผังพื้นที่จัดเก็บในคลังสินค้าใหม่ ส่งผลให้ระยะทางในการขนถ่ายสินค้าลดลงร้อยละ 48.35 และเวลาในการค้นหาสินค้าลดลงร้อยละ 14.54 มีพื้นที่ในการจัดเตรียมสินค้าเพิ่มขึ้น และสามารถวางซ้อนบนชั้นวาง (rack) เพิ่มจาก 5 ชั้น เป็น 6 ชั้น คิดเป็นสัดส่วนพื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 20.00

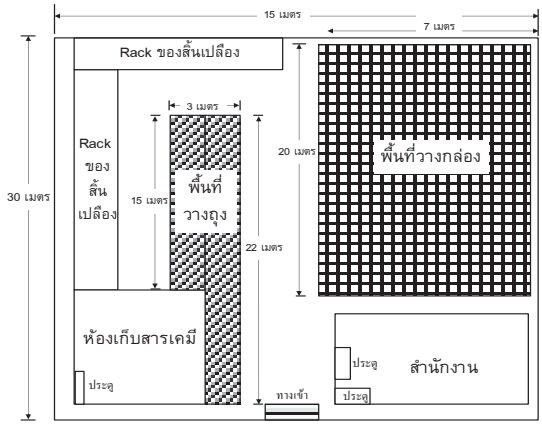
ศุภพัฒน์ [8] ได้ทำการปรับปรุงระบบการจัดเก็บคลังสินค้าสำเร็จรูป ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการจัดการคลังสินค้าและหลักการควบคุมด้วยสายตา โดยทำการจัดเก็บสินค้าตามความถี่กำหนดตามแหน่งแบบตายตัว (Fixed Location) การจัดวางแบบแบ่งตามประเภทของสินค้า (Commodity System) และใช้หลักการควบคุมโดยสายตามาใช้ในการปรับปรุงคลังสินค้า ส่งผลให้ลดเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าโดยเฉลี่ยต่อ 1 รายการลงได้ โดยก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 3.827 นาที หลังปรับปรุงใช้เวลา 3.47 นาที ซึ่งเวลาลดลงไปคิดเป็น 9.33 %

วรินทร์ [9] ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการจัดเก็บโดยลดเวลาในการค้นหาสินค้า ด้วยการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมด้วยสายตา (Visual Control) และระบบตรวจสอบตามรอบเวลา Cycle Count โดยทำการปรับปรุงระบบการจัดเก็บและใบเบิกวัตถุดิบตลอดจนการกำหนดรอบเวลาการตรวจนับเพื่อยืนยันจำนวนสินค้าให้ตรงกับจำนวนในระบบบัญชี ส่งผลให้การตรวจสอบความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นสามารถลด เวลาในการค้นหาวัตถุดิบของ Minimart 2 Door ลดลงจาก 1,018.89วินาที เหลือ 847.83 วินาทีลดลง 16.78 % และ Minimart 4 Door ลดลงจาก1,028.06 วินาที เหลือ 864.76 วินาที ลดลง 15.88 %

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ลงสำรวจพื้นที่และเก็บข้อมูลทั่วไป

จากการสำรวจพื้นที่คลังพัสดุของโรงงานแปรรูปอาหาร กรณีศึกษาพบว่า ภายในพื้นที่จะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ 1. สำนักงานสำหรับเจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูลลงโปรแกรมและพนักงานตรวจสอบคุณภาพ 2.ห้องเก็บสารเคมี สำหรับจัดเก็บสารเคมี เช่น แอลกอฮอล์ โซดาไฟ และสารเคมีอื่นๆ 3.พื้นที่วางของสิ้นเปลือง เช่น ไม้กวาด ไม้ถูพื้น กล่องโฟม เป็นต้น และ4.พื้นที่จัดเก็บบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แผนผังพื้นที่ภายในคลังพัสดุแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งมีขนาดของพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 15x30 เมตร^2 และการเข้าออกภายในคลังพัสดุสามารถเข้าออกผ่านประตูที่อยู่ทางด้านหน้า



รูปที่ 1 แผนผังพื้นที่ภายในคลังพัสดุ

3.2 วิเคราะห์พื้นที่ในการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์และระบบการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์คงคลัง

จากการศึกษาพื้นที่โดยรวมของคลังพัสดุนั้น พบว่ามีพื้นที่ในการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์อยู่ 2 ประเภทคือ กล่องกระดาษลูกฟูกและถุง โดยคิดเป็นประมาณ 60% ของพื้นที่ ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานจะมีความหลากหลายในเรื่องขนาด โดยบรรจุภัณฑ์หลักๆที่ใช้ในการบรรจุสินค้าในโรงงานแห่งนี้คือ กล่องกระดาษฟูก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องกระดาษฟูกเท่านั้น โดยจากรูปแผนผังพื้นที่จะพบว่าบริเวณที่ใช้ในการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่อง จะอยู่ด้านหลังส่วนของสำนักงาน ทำให้พนักงานที่ทำการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์สามารถเดินไปยังพื้นที่จัดเก็บได้สะดวก แต่อย่างไรก็ตามด้วยขนาดพื้นที่จัดเก็บเพียง 7x20 เมตร^2 ก็ยังไม่เพียงพอต่อปริมาณการเก็บของบรรจุภัณฑ์ ดังรูปที่ 2 แสดงตัวอย่างการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องกระดาษ พบว่า ในการจัดเก็บมีการวางบรรจุภัณฑ์คนละชนิดกันชิดกัน อีกทั้งยังเรียงซ้อนทับในแนวตั้งสูง ทำให้การเดินเข้าไปหยิบทำได้ค่อนข้างลำบาก



รูปที่ 2 ตัวอย่างการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องกระดาษ

3.3 ทำการปรับปรุงระบบการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ในคลังแบบใหม่

ในการปรับปรุงระบบการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ในคลังพัสดุแบบใหม่ ทางผู้วิจัยได้นำข้อมูลต่าง ๆที่รวบรวมไว้มาวิเคราะห์และหาทฤษฎีที่สามารถนำมาช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งได้ทำการปรับปรุงโดยเริ่มจากการวางแผนออกแบบการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์แบบใหม่ให้เหมาะสมกับพื้นที่ โดยพิจารณาจากขนาดพื้นที่ ขนาดของบรรจุภัณฑ์ และมูลค่าบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท โดยใช้หลักการของทฤษฎี ABC analysis ในการออกแบบและจัดโซนพื้นที่จัดเก็บบรรจุภัณฑ์แบบใหม่

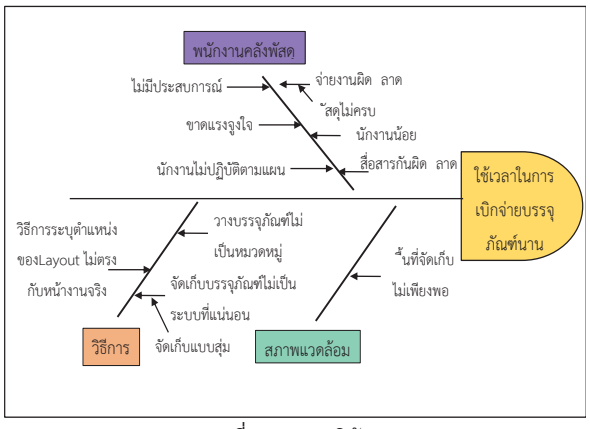
3.4 ทำการวัดประสิทธิภาพเวลาในการทำงาน

ผู้วิจัยได้ทำการจับเวลาการหยิบบรรจุภัณฑ์ตามใบเบิกของพนักงานในแต่ละครั้ง โดยใช้นาฬิกาจับเวลาการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงคลังพัสดุ เพื่อเก็บค่าเวลาไปใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่ม ที่มีความสัมพันธ์ไม่อิสระจากกันในการเก็บข้อมูลเวลามีการทดสอบ 2 ครั้ง คือ ก่อนการจัดผังการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ (ก่อนปรับปรุง) และหลังการจัดผังการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ (หลังการปรับปรุง) โดยการจับเวลาทุกครั้งผู้วิจัยได้ทำการจับเวลาตั้งแต่ที่พนักงานฝ่ายคลังพัสดุรับใบเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์จนกระทั่งบรรจุภัณฑ์ถึงฝ่ายผลิต จากนั้นนำค่าเฉลี่ยแบบแบ่งกลุ่มตามจำนวนรายการที่ได้ก่อนการปรับปรุงการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์และหลังการปรับปรุงการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์มาเปรียบเทียบเพื่อหาเวลาที่ลดลง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

จากผลการเก็บข้อมูลผู้วิจัยทำการใช้แผนภูมิก้างปลาในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา พบว่าสาเหตุที่มีผลต่อปัญหาการใช้เวลาในการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์นานคือ วิธีการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์เนื่องจากมีระบบในการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ไม่ที่แน่นอนและการวางบรรจุภัณฑ์ไม่เป็นหมวดหมู่ เช่น การจัดเก็บแบบสุ่ม แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิก้างปลา

4.2 การรวบรวมข้อมูลในการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์

การศึกษาและเก็บข้อมูลเพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้มาทำการปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานด้านการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์และการเบิก-จ่ายบรรจุภัณฑ์ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 เก็บรวบรวมรายการบรรจุภัณฑ์ภายในคลัง

ในการดำเนินการศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลรายการบรรจุภัณฑ์จากการเข้าสำรวจพื้นที่จัดเก็บในคลังพัสดุ พบว่ามีบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องทั้งหมด 59 ชนิด แต่ละชนิดของบรรจุภัณฑ์จะต่างกันที่ขนาดและสัญลักษณ์ข้างกล่อง ผู้วิจัยจึงทำการสร้างตารางข้อมูลรายการบรรจุภัณฑ์ในคลังพัสดุ เพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลจากการจำแนกประเภทชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ถูกจัดเก็บภายในคลังพัสดุ

4.2.2 ผลการเก็บข้อมูลเวลาในการหยิบบรรจุภัณฑ์

วิธีการจับเวลาการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ของพนักงาน ทำการเก็บข้อมูลก่อนที่จะปรับปรุงระบบการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ โดยใช้นาฬิกาเป็นเครื่องในการจับเวลา เพื่อหาค่าเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยเริ่มทำการจับเวลาตั้งแต่พนักงานฝ่ายคลังพัสดุรับใบเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์จนกระทั่งบรรจุภัณฑ์ถึงฝ่ายผลิตตลอดทั้งเดือนกรกฎาคมทั้งหมด 61 ครั้ง พบว่าได้ระยะเวลารวมในการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ทั้งหมดเป็น 27 ชั่วโมง 2 นาที 6 วินาที หรือคิดเป็น 1,622 นาที 6 วินาที ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลของระยะเวลาเฉลี่ยในการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ในคลังพัสดุแต่ละครั้ง ส่วนใหญ่ใช้เวลานานเกินความจำเป็น เนื่องจากการจัดเรียงบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดไม่มีรูปแบบที่แน่นอน โดยมีการวางทับซ้อนกันของบรรจุภัณฑ์คนละชนิด ทำให้มีความไม่เป็นระเบียบ บรรจุภัณฑ์บางชนิดถูกจัดเก็บไว้ในบริเวณบนสุด อีกทั้งตำแหน่งการวางยังอยู่ด้านในสุดของบริเวณที่จัดเก็บ ทำให้ต้องใช้เวลาในการเดินหรือปีนข้ามชนิดอื่นไป

จากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการหยิบบรรจุภัณฑ์ของพนักงานต่อหนึ่งรายการ พบว่าพนักงานใช้เวลาเฉลี่ยในการหยิบบรรจุภัณฑ์ก่อนการปรับปรุง คือ 26 นาที 6 วินาที และระยะเวลาเฉลี่ยแบบแบ่งกลุ่มตามจำนวนรายการที่ได้ก่อนการปรับปรุงการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ คือ 1-3 รายการใช้เวลาเท่ากับ 6 นาที 4-6 รายการเท่ากับ 16 นาที 7-9 รายการ เท่ากับ 23 นาที และ 10 รายการขึ้นไป เท่ากับ 30 นาที

4.3 ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นภายในระบบการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์

ข้อมูลการเก็บบรรจุภัณฑ์ภายในคลังพัสดุโดยเฉพาะขั้นตอนกระบวนการเบิก-จ่ายบรรจุภัณฑ์เมื่อทำการจำแนกชนิดข้อมูลแล้วพบว่าสาเหตุของปัญหาเกิดจากบรรจุภัณฑ์ภายในคลังพัสดุมีการ

จัดเก็บไม่เป็นระเบียบ จึงได้ทำการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังขั้นตอนต่อไปนี้

4.3.1 การแบ่งกลุ่มความสำคัญของบรรจุภัณฑ์

ผู้วิจัยได้ทำการจัดกลุ่มของบรรจุภัณฑ์ใหม่โดยพิจารณาจากชนิดของบรรจุภัณฑ์ และมูลค่าของบรรจุภัณฑ์ โดยนำข้อมูลมาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังเพื่อจัดเรียงลำดับความสำคัญตามทฤษฎี ABC Analysis แสดงดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 การจำแนกประเภทสินค้าคงคลังตามการวิเคราะห์แบบ ABC (ABC Analysis)

กลุ่ม	ปริมาณการใช้สินค้าคงคลัง (หน่วย)	มูลค่าสินค้าคงคลัง (บาท)	ร้อยละปริมาณสินค้าคงคลัง	ร้อยละมูลค่าสินค้าคงคลัง
A	1,569,011	26,006,072	78.11	77.81
B	300,933	5,322,207	14.98	15.92
C	2,093,593	2,093,592	6.90	8.55

4.3.2 การจัดวางบรรจุภัณฑ์ตามหลักการทฤษฎี ABC Analysis

ผลจากการจัดหมวดหมู่บรรจุภัณฑ์ภายในคลังพัสดุของโรงงานกรณีศึกษาทั้ง 59 ชนิด โดยใช้ทฤษฎี ABC Analysis ซึ่งบรรจุภัณฑ์กลุ่ม A เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีมูลค่ามากที่สุด และมีรายการบรรจุภัณฑ์น้อยที่สุดประมาณ 10-20% ของบรรจุภัณฑ์ทั้งหมดนั้น จะถูกจัดวางอยู่ในโซนใกล้ประตูทางเข้ามากที่สุดเพื่อให้ง่ายต่อการเบิกจ่าย ส่วนบรรจุภัณฑ์กลุ่ม B ที่มีปริมาณการจัดเก็บอยู่ที่ 30-40% ของพื้นที่ จะถูกจัดเก็บไว้ในโซนถัดมาอยู่ในส่วนช่วงตรงกลางของบริเวณการจัดเก็บ และบรรจุภัณฑ์กลุ่ม C ที่มีประมาณการจัดเก็บมากที่สุดอยู่ที่ 40-50% จะถูกจัดเก็บไว้ด้านในสุดของบริเวณการจัดเก็บภายในคลังพัสดุ ดังรูปที่ 4 แสดงแผนผังตำแหน่งการจัดวางบรรจุภัณฑ์โดยอ้างอิงจากการจัดกลุ่มด้วยทฤษฎี ABC Analysis โดยบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดจะแทนด้วยรหัสตัวเลข 3-4 ตัวเพื่อให้ง่ายต่อการจดจำและค้นหาของพนักงาน



รูปที่ 4 แผนผังตำแหน่งการจัดวางบรรจุภัณฑ์ตามทฤษฎี ABC Analysis

4.4 ผลการจับเวลาหลังการปรับปรุง

หลังจากการปรับปรุงตำแหน่งการวางบรรจุภัณฑ์ตามหมวดหมู่ใหม่ผลการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลา เพื่อเก็บค่าเวลาการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ของพนักงานเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าการเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ผู้วิจัยได้ทำการจับเวลาตั้งแต่พนักงานหยิบบรรจุภัณฑ์ได้ใบเบิกมาถึงคลังพัสดุ จนกระทั่งบรรจุภัณฑ์ส่งถึงฝ่ายผลิตตลอดทั้งเดือนสิงหาคม พ.ศ.2564 จำนวน 61 ครั้ง พบว่าระยะเวลารวมในการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์หลังการปรับปรุงลดลงเป็น 19 ชั่วโมง 37 นาที 3 วินาที หรือ 1,177 นาที 3 วินาที และระยะเวลาเฉลี่ยแบบแบ่งกลุ่มตามจำนวนรายการหลังปรับปรุงเท่ากับ 1-3 รายการใช้เวลาเท่ากับ 5 นาที 4-6 รายการเท่ากับ 12 นาที 7-9 รายการเท่ากับ 15 นาที และ 10 รายการขึ้นไป เท่ากับ 21 นาทีซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1) เวลารวมในการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ ตลอดทั้งเดือนมีค่าลดลงจากเดิม

2) พนักงานทำการจัดส่งบรรจุภัณฑ์ไปยังฝ่ายผลิตได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีการปรับปรุงระบบการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์แบบใหม่ ทำให้พนักงานค้นหาบรรจุภัณฑ์ได้รวดเร็วขึ้น หาค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ต่อหนึ่งรายการของพนักงาน หลังการปรับปรุงพบว่าเวลาเฉลี่ยเป็น 19 นาที 3 วินาที คิดเป็น 27% และระยะเวลาเฉลี่ยแบบแบ่งกลุ่มตามจำนวนรายการหลังปรับปรุงลดลงคิดเป็น 20% 25% 34% และ 30% ตามลำดับ โดยสรุปข้อมูลเวลาในการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ก่อน-หลังการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาในการหยิบบรรจุภัณฑ์ ก่อน-หลังการปรับปรุง

การเก็บข้อมูลการหยิบบรรจุภัณฑ์	เวลารวม(นาที)	เวลาเฉลี่ย(นาที)
ก่อนการปรับปรุง	1,622.6	26.6
หลังการปรับปรุง	1,177.3	19.3
เวลาที่ลดลง	445.3	7.3

3)การเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุงตำแหน่งต่อ 1-3 รายการเบิก 4-6 รายการเบิก 7-9 รายการเบิก และ 10 รายการเบิกขึ้นไป พบว่าระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเบิกจ่ายลดลงจากเดิม คิดเป็น 20% 25% 34% และ 30% ตามลำดับแสดงดังตารางที่ 3

3)การเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุงตำแหน่งต่อ 1-3 รายการเบิก 4-6 รายการเบิก 7-9 รายการเบิก และ 10 รายการเบิกขึ้นไป พบว่าระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเบิกจ่ายลดลงจากเดิม คิดเป็น 20% 25% 34% และ 30% ตามลำดับแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ก่อน-หลังการปรับปรุง

จำนวนรายการ	ก่อบปรับปรุง (นาที)	หลังปรับปรุง (นาที)	เวลาลดลง (นาที)	คิดเป็น
1-3	6	5	1	17%
4-6	16	12	5	31%
7-9	23	15	8	35%
10 ขึ้นไป	30	21	9	30%

5. สรุปผลและอภิปรายผล

ในการวิจัยการศึกษาการลดระยะเวลาในการจัดส่งบรรจุภัณฑ์ของแผนกคลังพัสดุ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุและแก้ไขปัญหาการส่งมอบบรรจุภัณฑ์ไม่ตรงเวลาในกระบวนการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์จากฝ่ายคลังพัสดุในโรงงานอาหารแปรรูป โดยใช้แผนผังก้างปลาในวิเคราะห์ปัญหาการเบิกจ่ายบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เวลานาน และใช้หลักการทฤษฎี ABC Analysis เป็นหลักเกณฑ์ในการแบ่งประเภทและจัดหมวดหมู่บรรจุภัณฑ์ โดยผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงแผนผังการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์แบบใหม่ โดยแยกตามความสำคัญของบรรจุภัณฑ์ทั้ง 59 ชนิด ซึ่งสามารถจัดหมวดหมู่ได้ 3 หมวดหมู่ คือ ชนิดที่มีการเบิกจ่ายมากที่สุด ชนิดที่มีการเบิกจ่ายปานกลาง และชนิดที่มีการเบิกจ่ายน้อย นอกจากนั้นยังมีการใช้ทฤษฎีสินค้าเคลื่อนไหวเร็ววางไว้ใกล้ประตู มาช่วยในการออกแบบตำแหน่งการวางบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดใหม่ ส่งผลให้พนักงานค้นหาบรรจุภัณฑ์ได้เร็วยิ่งขึ้นและจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ได้ถูกต้อง จากการปรับปรุงทำให้ใช้เวลาการการเบิก-จ่ายบรรจุภัณฑ์ลดลง 7 นาที 3 วินาที คิดเป็น 27%

เอกสารอ้างอิง

[1] ปรัชภรณ์ เศรษฐเสถียร และกฤติยา เกิดผล, การเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้า, วรสารวิจัยรำไพพรรณี 2562, พฤษภาคม-สิงหาคม 2562, จันทบุรี

[2] ปิยะ รนต์ละออง, ภาษิต ทินนาม, บุริม นิลแป้น, และธิติญา กวินวรศักดิ์, การจัดการคลังสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานกรณีศึกษาบริษัทกระจายสินค้าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2561, 23-26 กรกฎาคม 2561, อุบลราชธานี

[3] ถิรนันท์ ทิวาราตรีวิทย์, วริศรา งามบุญช่วย, 2561, ลดระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูป (น้ำดื่ม) บริษัท ฮอลแลนด์ สตาร์ บรรจุภัณฑ์ จำกัด,การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านนวัตกรรมเพื่อการเรียนรู้และสิ่งประดิษฐ์ 2561, 2-18 กรกฎาคม 2561,ปทุมธานี

4] ธนิษฐ์นันท์ จันทร์แย้ม, นภาพร อัครพิเชษฐ, 2562, การลดระยะเวลาในการจัดส่งอะไหล่โดยการปรับปรุงผังการ, การประชุมวิชาการระดับชาติ สังคมผู้สูงวัยโอกาสและความท้าทายของอุดมศึกษา 2019, ครั้งที่ 6, 30 มีนาคม 2019, นครราชสีมา

[5] เพียงจันทร์ โกญจนาท,2560, การออกแบบระบบคลังสินค้าสำหรับลังกระดาษลูกฟูก, การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา 2560, ครั้งที่12, ปทุมธานี

[6] อุษาวดี อินทร์คล้าย, กนกสม ชุติโสวรรณ, และจิราวุธ สุวัชระกุลธรม, การปรับปรุงคลังสินค้า กรณีศึกษาอุตสาหกรรมกล่องกระดาษ, วารสารการขนส่งและโลจิสติกส์ฉบับที่13 เล่ม 1, หน้า 83-95, มิถุนายน พ.ศ. 2563 - พฤษภาคม พ.ศ. 2564

[7] จิราวรรณ เนียมสกุล, การจัดผังพื้นที่จัดเก็บในคลังสินค้า กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางรถยนต์, วารสารวิชาการศรีปทุม ชลบุรี ปีที่ 15 ฉบับที่ 4, หน้า 67-77, เมษายน -มิถุนายน 2562, ชลบุรี

[8] ศุภพัฒน์ ปิงตา, การปรับปรุงระบบการจัดเก็บคลังสินค้าสำเร็จรูป, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2561, 23-26 กรกฎาคม 2561, อุบลราชธานี

[9] วรินทร์ เกียรตินุกูล, การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการจัดเก็บ โดยลดเวลาในการค้นหาสินค้า, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2561, 23-26 กรกฎาคม 2561, อุบลราชธานี

การวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ในการปลูกลิ้นจี่พันธุ์ นพ.1 ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม กรณีศึกษา: กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกลิ้นจี่พันธุ์ นพ.1 จังหวัดนครพนม

Logistics Cost Analysis of Lychee Cultivar N.P.1 Fields by Activity Based Costing System: A Case Study Group of Lychee Cultivar N.P.1 Farmers in Nakhon Phanom Province

ไพศาล เดชป้องหา [1*] สำเนียง ไข่มุกข์ [1]
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม
E-mail: dachpongha.paisan@gmail.com.com *

Paisan Dachpongha [1*], Samneang Khaimuk[1]
[1] Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, NaKhon Phanom University
E-mail: dachpongha.paisan@gmail.com.com *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาห่วงโซ่อุปทานและการวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์การปลูกลิ้นจี่ นพ.1 กลุ่มเกษตรกร ตำบลขามเฒ่า อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม เพื่อเสนอแนวทางการลดต้นทุนโลจิสติกส์ ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม โดยเลือกกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 63 ราย จากตารางเครจซี่และมอร์แกนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม พบว่า การศึกษาห่วงโซ่อุปทานมีต้นทุนดำเนินการ 3 ส่วน ได้แก่ 1) ต้นทุนการสั่งซื้อ 2) การขนส่ง และ3) ระบบข้อมูลข่าวสาร พบว่า มีต้นทุนโลจิสติกส์เฉลี่ย 142,550 บาทต่อไร่ โดยมีต้นทุนการจัดซื้อวัตถุดิบมากที่สุดเฉลี่ย 57,384 บาทต่อไร่ ดังนั้นแนวทางในการลดต้นทุนโลจิสติกส์เกษตรกรควรใส่ปุ๋ยเคมีปีละ 2–3 ครั้ง อัตรา 300-400 กรัม/ต้น/ครั้ง

คำสำคัญ : ลิ้นจี่พันธุ์ นพ.1, ต้นทุนโลจิสติกส์, ต้นทุนฐานกิจกรรม, นครพนม

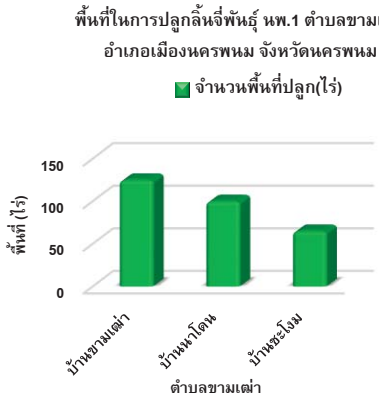
Abstract

The objectives of this research were to study the supply chain and the analysis of logistics costs of lychee planting, MD1, farmers group, Kham Tao sub-district, Mueang district. Nakhon Phanom Province to propose a way to reduce logistics costs with the activity base cost analysis technique A sample of 63 patients was selected from the Craigie and Morgan tables at 95% confidence level. Data were collected by questionnaires and interviews. The results of the study found that. The supply chain study had 3 parts of operating costs, namely 1) purchase volume cost 2) transportation 3) information system. It was found that lychee farmers group NO. 1 had an average logistics cost of 142,550 baht per rai. The cost of procurement of raw materials is the highest, averaging 57,384 baht per rai, so farmers should improve the method of applying chemical fertilizers. and organic fertilizers in the right amount

Keywords: Lychee Cultivar N.P.1, Logistics costs, Activity based costing, Nakhon Phanom

1. บทนำ

ลิ้นจี่ นพ.1 (Lychee NP.1) เป็นสายพันธุ์ที่ได้จากการกลายพันธุ์โดยวิธีการเพาะเมล็ด มีการคัดเลือกสายพันธุ์ที่สถานีทดลองพืชสวนนครพนม(ศวพ.นครพนม) มีลักษณะเด่น คือ มีการเจริญเติบโตดี ออกดอกติดผลสม่ำเสมอทุกปี โดยออกดอกเดือนธันวาคมและเก็บเกี่ยวกลางเดือนเมษายนเป็นต้นไป เป็นผลไม้ที่เหมาะในสภาพอากาศที่หนาวเย็น และมีการระบายน้ำที่ดี เพราะจะทำให้ลิ้นจี่ นพ.1 มีความอุดมสมบูรณ์ นครพนมเป็นจังหวัดที่มีสภาพภูมิศาสตร์เหมาะสมสำหรับการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 ที่มีพื้นที่ติดริมแม่น้ำโขง โดยเฉพาะบริเวณตำบลขามเฒ่า อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม ดังรูปที่ 1.1 ลิ้นจี่ นพ.1 เป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรในจังหวัดนครพนม นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยส่งเสริมให้เกิดอาชีพแก่เกษตรกรในหลายกลุ่มไม่ว่าจะเป็นการใช้แรงงานตั้งแต่ การเตรียมดิน การปลูก การเก็บเกี่ยว การบรรจุ การขนส่ง จนถึงการกระจายสู่ผู้บริโภค อันเนื่องจากมีการขยายเส้นทางการคมนาคมการขนส่งในจังหวัดนครพนมที่สะดวกและมีการเชื่อมโยงทางถนนข้ามแม่น้ำโขงจากจังหวัดนครพนมผ่านสะพานมิตรภาพ 3 (นครพนม-คำม่วน) เป็นเส้นทางการคมนาคมขนส่งด้านการค้า และการท่องเที่ยวเชื่อมโยงจากประเทศไทย ประเทศลาว ประเทศเวียดนามและภาคใต้ของประเทศจีน ส่งผลให้ปริมาณการส่งออกลิ้นจี่ นพ.1 ในตำบลขามเฒ่า อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม ระหว่างปี พ.ศ. 2560-2564 มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นในทุกๆ ปี ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 พื้นที่ปลูกลิ้นจี่พันธุ์ นพ.1 ตำบลขามเฒ่า อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม (ไร่)



รูปที่ 1.2 ปริมาณการส่งออกลิ้นจี่พันธุ์ นพ.1 ในเขตตำบลขามเฒ่า อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม ระหว่างปี พ.ศ. 2560 - 2564

ลักษณะทั่วไปของต้น และผลผลิตลิ้นจี่ นพ.1 ดังรูป 1.3-1.4 การจำหน่ายลิ้นจี่ นพ.1 ให้กับผู้บริโภคของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกลิ้นจี่ นพ.1 จะเห็นได้ว่าจะมีพ่อค้าคนกลางเข้ามาเกี่ยวข้องในหลายขั้นตอน ส่งผลให้อำนาจการกำหนดราคาสินค้าโดยกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกลิ้นจี่ นพ.1 นั้นลดลงจึงทำให้เสียเปรียบดุลการค้าและยังส่งต่อผลกำไรเป็นอย่างมาก จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาให้สนใจที่จะทำการศึกษาต้นทุนในการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 เพื่อให้ทราบต้นทุนที่แท้จริงในการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ เพื่อให้มีข้อมูลในการพิจารณาหาแนวทางลดต้นทุนในการดำเนินงาน เทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุนที่นิยมใช้เพื่อหาต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมทุกขั้นตอน สามารถนำมาช่วยวางแผนการดำเนินงานให้เหมาะสมและคุ้มค่า ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing System: ABC)



รูปที่ 1.3 ต้นลิ้นจี่ นพ.1



รูปที่ 1.4 ผลผลิตลิ้นจี่ นพ.1

การวิเคราะห์ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรมได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนทั้งในอุตสาหกรรมการผลิต การบริการและการเกษตร ดังตัวอย่างเช่นสนั่นเถาวารี และวราภรณ์ ทุมมานนท์ ได้ทำการศึกษาโครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์ของเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนในเขตจังหวัดจันทบุรี ด้วยหลักการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม (ABC) ทำให้ทราบต้นทุนโลจิสติกส์ที่แท้จริงและแนวทางการลดต้นทุน นอกจากนี้ บัณฑิตย์ เติมสมบัติบวร ยังได้ทำการศึกษาห่วงโซ่อุปทานและวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ของหอมแดงในจังหวัดศรีสะเกษ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม(ABC) ทำให้ทราบถึงโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานและต้นทุนโลจิสติกส์ในแต่ละกิจกรรม และสุทธิศักดิ์ ห่านนิมิต

กุลชัย ได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ของโซ่อุปทานสับปะรดกระป๋องในประเทศไทย โดยการสัมภาษณ์เชิงลึกและแบบสอบถาม วิเคราะห์ต้นทุนเพื่อหาแนวทางในการลดต้นทุนทำให้ทราบต้นทุนในแต่ละกิจกรรม ด้วยเหตุนี้จึงเลือกเทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม (ABC) มาประยุกต์ใช้เพื่อทำการศึกษาต้นทุน โลจิสติกส์ในการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 ในเขตตำบลขามเฒ่า อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของโครงข่ายห่วงโซ่อุปทานในการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 โดยจะพิจารณาต้นทุนโลจิสติกส์ดังนี้คือ ต้นทุนปริมาณการสั่งซื้อ การขนส่ง และกระบวนการจัดการคำสั่งซื้อและระบบข้อมูลข่าวสาร เพื่อให้ทราบต้นทุนที่แท้จริงของการดำเนินการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 และมีข้อมูลในการตัดสินใจเพื่อหาแนวทางลดต้นโลจิสติกส์ในการผลิตครามให้แก่กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกลิ้นจี่ นพ.1

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาห่วงโซ่อุปทานและกิจกรรมโลจิสติกส์ในการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ

2. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ในการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1. กำหนดโครงข่ายโซ่อุปทานและกิจกรรมโลจิสติกส์ในการปลูกลิ้นจี่ นพ.1

2. ศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรมและกำหนดนิยามต้นทุนโลจิสติกส์ในการปลูกลิ้นจี่ นพ.1

3. ทำการออกแบบสอบถามเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกลิ้นจี่ นพ.1

4. กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างประชากร จำนวน 70 ราย ตามทฤษฎีตารางสำเร็จรูปของ เครจซี่และมอร์แกน จำนวนที่สุ่มตัวอย่างได้จำนวน 63 ราย

5. ลงพื้นที่เก็บข้อมูลโดยแบบสอบถามและสัมภาษณ์โดยตรงในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม-เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564

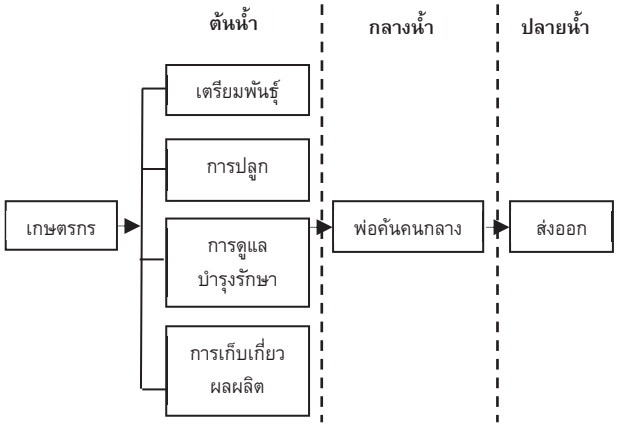
6. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการหาค่าเฉลี่ยและนำค่าเฉลี่ยของต้นทุนโลจิสติกส์แต่ละประเภทมาทำการวิเคราะห์ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (ABC) ดังนี้ 1) กำหนดกิจกรรม 2) คำนวณต้นทุนที่ใช้ในกิจกรรมโลจิสติกส์ทั้งหมด 3) นำต้นทุนที่คำนวณได้ในข้อ 2 มากระจายตามแต่ละกิจกรรม 4) นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณต้นทุนรายกิจกรรม 5) เก็บรวบรวมข้อมูล 6) คำนวณต้นทุนต่อหน่วยของกิจกรรม

7. สรุปต้นทุนโลจิสติกส์แต่ละประเภทโดยคำนวณหาต้นทุนเฉลี่ยต่อไร่และสัดส่วนร้อยละต่อต้นทุนทั้งหมดเฉลี่ยต่อไร่

4. สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกลิ้นจี่ นพ.1 จำนวน 63 ราย คิดเป็นร้อยละ 80 ของประชากรที่มีอาชีพปลูกลิ้นจี่ นพ.1 ในเขตตำบลขามเฒ่า อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม เมื่อได้ข้อมูลแล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อกำหนดโครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์ จากนั้นคำนวณหาต้นทุนโลจิสติกส์ที่ทำให้เกิดต้นทุนที่แท้จริงในการดำเนินการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 สรุปผลของข้อมูลได้จากการสัมภาษณ์กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกลิ้นจี่ นพ.1 ส่วนใหญ่จะจ้างแรงงานในการดำเนินการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 และมีรายละเอียดในการดำเนินงานดังนี้

1. โครงข่ายห่วงโซ่อุปทานและกิจกรรมโลจิสติกส์ของการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำได้ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 โครงข่ายห่วงโซ่อุปทานการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 ในเขตตำบลขามเฒ่า อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม

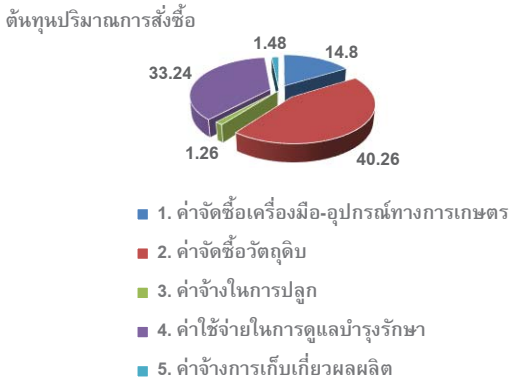
2. สรุปการวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ของการปลูกลิ้นจี่ นพ.1 ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม ในแต่ละกิจกรรมแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปต้นทุนโลจิสติกส์ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม

ต้นทุนโลจิสติกส์	กิจกรรมโลจิสติกส์	ต้นทุนเฉลี่ยต่อไร่ (บาท/ไร่)	ร้อยละ
ต้นทุนปริมาณการสั่งซื้อ	1. การเตรียมดิน	604	0.42
	2.เครื่องมือการเกษตร	21,104	14.80
	3. จัดซื้อวัตถุดิบ	57,384	40.26
	4. การขุดหลุม	1,800	1.26
	5. การปลูก	1,800	1.26
	6. การดูแลบำรุงรักษา	47,385	33.24
	7. การเก็บเกี่ยว	2,109	1.48
	รวม	132,186	92.73
ต้นทุนการขนส่ง	1. การขนส่งผลผลิต	10,065	7.06
	รวม	10,065	7.06
ต้นทุนการจัดการคำสั่งซื้อและระบบข้อมูล	1. การจัดทำข้อมูลและส่งข้อมูลการขาย	299	0.21
	รวม	299	0.21
รวมต้นทุนทั้งหมดเฉลี่ย/ไร่		142,550	100

5. อภิปรายผล

กลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตครามมีต้นทุนโลจิสติกส์เฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 132,186 บาทต่อไร่ โดยมีต้นทุนปริมาณการสั่งซื้อเป็นสัดส่วนที่มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 92.73 ของต้นทุนโลจิสติกส์รวมเฉลี่ยทั้งหมด รองลงมาเป็นต้นทุนในการขนส่ง คิดเป็นร้อยละ 7.06 ในขณะที่ต้นทุนสำหรับการจัดการคำสั่งซื้อและข่าวสารเกิดขึ้นน้อยมาก คิดเป็นร้อยละ 0.22 เนื่องจากต้นทุนปริมาณการสั่งซื้อเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดในต้นทุนโลจิสติกส์เฉลี่ย ซึ่งเป็นต้นทุนที่ประกอบด้วยต้นทุนค่าจัดซื้อวัตถุดิบมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ (40.26) รองลงมาคือค่าใช้จ่ายในการดูแลบำรุงรักษา (ร้อยละ 33.24) ค่าจัดซื้อเครื่องมือ-อุปกรณ์ทางการเกษตร (ร้อยละ 14.80) ค่าจ้างการเก็บเกี่ยวผลผลิต (ร้อยละ 1.48) และค่าจ้างในการปลูก (ร้อยละ 1.26) ดังรูปที่ 1.6 ผลการศึกษานี้ให้ผลที่สอดคล้องกับงานวิจัยของสนั่นและวราภรณ์ บ่งชี้ว่าโครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์ของเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนในเขตจังหวัดจันทบุรีก็มีสัดส่วนที่มากที่สุดมาจากต้นทุนปริมาณการสั่งซื้อ รองลงมาคือต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนดูแลสินค้าคงคลัง สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำซึ่งมีความแตกต่างกันคือต้นทุนโลจิสติกส์ในกระบวนการผลิต และระยะเวลาในการส่งมอบสินค้าให้กับผู้บริโภค แนวทางในการลดต้นทุนโลจิสติกส์เกษตรกรควรใส่ปุ๋ยเคมีปีละ 2–3 ครั้ง อัตรา 300-400 กรัม/ต้น/ครั้ง



รูปที่ 1.6 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนปริมาณการสั่งซื้อหรือสั่งผลิต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา บ่มเพาะวิชาการจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และ ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเกษตรจังหวัดนครพนม, (2548), ข้อมูลผลิตพืชเศรษฐกิจประจำปี 2559. http://www.nakhonphanom.doae.go.th/main/index.php/data-plant

[2] สมทรง ค้าขาย และวรศักดิ์ ทุมมานนท์. (2544). การบัญชีต้นทุนกิจกรรม. เอกสารสอนวิชาการบัญชีต้นทุนและการบัญชีเพื่อการจัดการ (หน่วยที่ 9) นนทบุรี. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

[3] สนั่น เถาชารี และวราภรณ์ จันทร์เวียง. (2547). โครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์ของเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนในเขตจังหวัดจันทบุรี. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยรำไพพรรณี)

[4] บัณฑิต เติมสมบัติบวร. (2558). การศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ในโซ่อุปทานหอมแดง. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)

[5] นายสุทธิศักดิ์ ห่านนิมิตกุลชัย. (2549). การวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ของโซ่อุปทานสับปะรดกระป๋องในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

[6] ภัทร์อร ฟองสินธุ์. (2556). การวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม กรณีศึกษาอำเภอเมืองจังหวัดอุตรดิตถ์. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์)

[7] ประพันธ์ มายรรยงค์. (2558). การปลูกหอมแบ่งลับแล http://hompansan.blogspot.com/2015/05/blog-post.htm

[8] การจัดการโซ่อุปทานสำหรับอุตสาหกรรมการเกษตร ปี2552. http://www.sru.agro.ku.ac.th/file/article/1/scm_for_AI.pdf

[9] สนั่น เถาชารี และระพีพันธ์ ปิตาคะโต. (2556). การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

[10] เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์ และ กฤษณา จันทร์คล้าย. (2552). โซ่อุปทานของการสร้างมูลค่าเพิ่มยางพาราไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งแบบโซ่ความเย็น กรณีศึกษา: บริษัทขนส่งอาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง

An Optimization of Cold Chain Transportation (Case study: Frozen food transportation company)

ยศพล พงษ์แก้ว[1*] ธนินท์รัฐ สิทธิเวชธนาศิริ[1] ธนธร ชื่นยินดี[1]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการการบิน กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ กองการศึกษา
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
E-mail: yossapol_pong@rtaf.mi.th*

Yossapol Pongkaew[1*] Thaninrat Sittiwatethanasiri[2] Thanatorn Chuenyindee[3]
[1] Department of Industrial Engineering and Aviation management, Division of Education
Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy
E-mail: yossapol_pong@rtaf.mi.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการขนส่งแบบโซ่ความเย็น และหาวิธีการที่เหมาะสมในการลดต้นทุนค่าขนส่งสินค้า เพิ่มผลกำไรให้กับบริษัทพร้อมทั้งเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของบริษัทได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ทฤษฎีการบริหารคุณภาพตามหลักการของซิกส์ซิกม่าคือ ดีเอ็มเอไอซี (DMAIC; Define-Measure-Analyze-Improve-Control) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขและป้องกันปัญหาการขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพในกระบวนการขนส่งแบบโซ่ความเย็นร่วมกับการนำอุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์มาใช้ในการขนส่งสินค้าต่างอุณหภูมิในเวลาเดียวกัน โดยผลจากการศึกษาพบว่าอุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์สามารถควบคุมอุณหภูมิและรักษาคุณภาพความสดใหม่ของสินค้าได้เป็นอย่างดี สามารถลดต้นทุนจากการขนส่งสินค้าแช่เย็นและสินค้าแช่แข็งจากรถกระบะได้เป็นจำนวน 1,621,603 บาทต่อเดือน โดยมีระยะเวลาการคืนทุนจากการลงทุนซื้ออุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์เพียง 10 เดือนเท่านั้น ซึ่งการนำเทอร์โมเทนเนอร์เข้ามาประยุกต์ใช้จะช่วยให้บริษัทมีข้อได้เปรียบด้านการแข่งขันเนื่องจากสามารถบรรทุกสินค้าได้หลายชนิดพร้อมกันแบบเต็มคันรถ และเป็นแนวทางให้กับบริษัทอื่นๆหรืออุตสาหกรรมที่ใกล้เคียงใช้เป็นต้นแบบในการจัดการขนส่งสินค้าได้ รวมถึงสะท้อนให้ภาครัฐบาลตระหนักถึงความสำคัญของการขนส่งสินค้าแบบโซ่ความเย็นมากยิ่งขึ้น และช่วยส่งเสริมมาตรการต่างๆให้อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งมีการเติบโตในอนาคตอีกด้วย

คำสำคัญ: การจัดการพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ, การขนส่งเที่ยวเปล่า, การขนส่งแบบเต็มคันรถ, การขนส่งแบบโซ่ความเย็น, ดีเอ็มเอไอซี

Abstract

This research aims to optimization of cold chain transportation management and finds a suitable method to reduce the cost of freight. Increase profits for the company while increasing the competitiveness of the company effectively. By using the quality management theory according to the Six Sigma principle is DMAIC; Define-Measure-Analyze-Improve-Control applied to solve and prevent the problem of inefficient transportation in cold chain transportation process together with using of thermotainer to transport goods of different temperatures at the same time. From the results of the study, it was found that the thermotainer equipment was able to control the temperature and freshness of the product very well. Which can reduce the cost of transporting chilled goods and frozen products from pickup trucks in the amount of 1,621,603 baht per month, with a payback period of only 10 months of investment in the purchase of thermotainer equipment. The adoption of the thermotainer gives the company a competitive advantage as it can carry a full truck load of multi-product of cargo simultaneously and as a guideline for other companies or similar industries to use as a model for transportation management. It also reflects the government sector's awareness of the importance of cold chain transportation and helps promote various measures for the frozen food industry to grow in the future as well.

Keywords: Space utilization, Backhauling, Full truck load, Cold chain transportation, DMAIC

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการขนส่งแบบโซ่ความเย็น (Cold chain) ในอุตสาหกรรมต่างๆ ทั่วโลกนั้นมีมูลค่ามากกว่า 159,988.1 ล้านเหรียญสหรัฐ ในปัจจุบันและในอีกประมาณ 6 ปีข้างหน้า มีการคาดการณ์ว่าอาจจะมีมูลค่ามากกว่า 500,000 ล้านเหรียญสหรัฐ เป็นไปได้จากการพยากรณ์อัตราการเติบโตที่มีอัตราส่วนประมาณร้อยละ 17.9 ซึ่งมีอัตราการขยายตัวหรือเติบโตมากยิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับการขนส่งแบบโซ่อุปทานทั่วไป ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการส่งสินค้าแบบโซ่ความเย็นนั้นจึงมีความสำคัญมากต่อระบบห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศไทย

การขนส่งแบบโซ่ความเย็น (Cold Chain) คือ การควบคุมอุณหภูมิในระบบห่วงโซ่อุปทาน ที่รวมถึงการจัดเก็บและการขนส่งของสินค้าที่ต้องมีการเก็บรักษาอย่างดี ซึ่งต้องมีการเก็บในช่วงอุณหภูมิที่สินค้านั้นมีความสมบูรณ์มากที่สุด โครงสร้างที่สำคัญของ Cold Chain นั้น จะรวมถึงการเตรียมอุณหภูมิของบรรจุภัณฑ์ ตู้จัดเก็บ และพาหนะที่ต้องทำการขนส่ง การควบคุมอุณหภูมินั้นจะสามารถยืดอายุของสินค้าที่เน่าเสียได้ [1] ซึ่งจะช่วยชะลอในตัวสินค้าได้ในระดับหนึ่ง การขนส่งในระบบโซ่ความเย็นนั้นมีความหลากหลายเช่น ทางบกนั้นใช้การขนส่งทางรถ หรือทางอากาศนั้นใช้ระบบการขนส่งของ Air Cargo ในกรณีที่ต้องการการขนส่งที่รวดเร็ว ซึ่งที่เห็นได้ชัดคือการขนส่งอาหารสดจากต่างประเทศ เช่น นม ผลไม้สด เป็นต้น รวมไปถึงการปรับปรุงระบบโลจิสติกส์ และการจัดการอุณหภูมิของการขนส่งยาทางอากาศนั้นมีประโยชน์อย่างมากกับการขนส่งสินค้าจำพวกวัคซีนต่างๆ ทั้งทางบกและทางอากาศ [2] [3] ส่วนสำคัญของโซ่ความเย็นคือ สินค้าต้องการการจัดเก็บหรือการขนส่งภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิความชื้นหรือเงื่อนไขอื่นๆ อย่างไรก็ตามการจัดเก็บหรือการบรรจุสินค้าที่ต้องการการควบคุมอุณหภูมิในที่จัดเก็บนั้นจะต้องดูถึงอุณหภูมิที่สินค้านั้นจะต้องจัดเก็บ อุปกรณ์ที่จัดเก็บที่สามารถแสดงผลและเก็บรายละเอียดอุณหภูมิได้ ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาได้มีการจัดการการขนส่ง Cold Chain จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังห้างของบริษัทกรณีศึกษาที่อยู่ตามจังหวัดต่างๆ ซึ่งการกระจายสินค้าสินค้าสดของบริษัทนั้นเน้นความสดไปสู่ผู้บริโภค เพราะฉะนั้นการขนส่งแบบโซ่ความเย็นของบริษัทจึงต้องมีการจัดการให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ปัจจุบันนั้นการขนส่งสินค้าสดของบริษัทกรณีศึกษานั้นยังใช้พื้นที่ในรถขนส่งสินค้าได้ไม่เต็มที่ (Space utilization) ซึ่งทำให้เสียพื้นที่ในการขนส่งสินค้า ในบางครั้งมีคำสั่งซื้อสินค้าด่วนที่เกิดจากการพยากรณ์ความต้องการที่ผิดพลาดจนเกิดคำสั่งซื้อกะทันหันหรือเร่งด่วน ทำให้เกิดการขนส่งสินค้าที่มีอุณหภูมิต่างกันไปในรถคันเดียวกัน แต่การขนส่งที่ต่างอุณหภูมิกันนั้นจะต้องมีการจัดการสินค้าที่ต้องจัดเก็บในอุณหภูมิที่ต้องควบคุมไว้ในอุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์ Thermotainer ซึ่งใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) ในการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิในช่วงที่มีการเคลื่อนย้ายและขนส่ง อีกทั้งการใช้สอยพื้นที่ได้อย่างคุ้มค่าที่สุดจากการส่งของต่างอุณหภูมิไปในรถคันเดียวกัน จะส่งผลให้ต้นทุนโดยรวมมีค่าลดลงด้วย [4] การขนส่งสินค้าที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมินั้นยังมีเรื่องต้นทุนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเช่นกัน ซึ่งต้นทุนของการขนส่งนั้นค่อนข้างสูง ทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งโซ่ความเย็น ส่งผลให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลง หากต้นทุนรวมของบริษัทมีค่าน้อยลง จะส่งผลให้บริษัทมีผลกำไรมากขึ้น และมีความสามารถในการแข่งขันได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] [14]

1.2 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทมีการโฆษณาเพื่อสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าหรือผู้ประกอบการว่าสินค้าของบริษัทจะสดใหม่ มีคุณภาพดี ปลอดภัย และพร้อมจำหน่ายเสมอที่ห้างสรรพสินค้าของบริษัททุกสาขา บริษัทมีศูนย์กระจายสินค้าในทำเลที่ตั้งที่มีศักยภาพ พร้อมนำระบบการจัดเก็บสินค้าแช่แข็งที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ASRS (Automated-Storage/Retrieval System) ภายใต้อุณหภูมิ 0 ถึง -20 องศาเซลเซียส มาใช้รักษาคุณภาพสินค้าประเภทอาหารแช่แข็ง ผลไม้นำเข้า และเนื้อสัตว์นำเข้าได้อย่างดีเยี่ยม ขณะที่ระบบโลจิสติกส์นั้นมีการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งและการกระจายสินค้าอย่างเป็นระบบ โดยติดตั้งระบบการติดตามบนรถขนส่งสินค้าแบบทันที (Real time) รวมทั้งตรวจสอบและควบคุมอุณหภูมิของห้องสินค้าให้คงที่สม่ำเสมอ เพื่อดูแลความปลอดภัยและรักษาคุณภาพของอาหารได้ตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทาน ก่อนส่งมอบถึงมือลูกค้า ผู้ประกอบการที่สาขาปลายทางได้อย่างตรงเวลาและตรงความต้องการ (Just In Time) ศูนย์กระจายสินค้าอาหารสด อาหารแช่เย็น และอาหารแช่แข็งมีอยู่ 2 แห่ง ได้แก่

1) อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จัดส่งสินค้าในภาคกลางและตอนบนของประเทศไทย

2) อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร จัดส่งสินค้าในภาคตะวันตกและตอนล่างของประเทศไทย

การขนส่งสินค้านี้จะมีเรื่องของอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญ สินค้าแต่ละชนิดจะใช้อุณหภูมิความเย็นที่ต่างกันออกไป เช่น

1) แช่เย็น Chilled (ความเย็น -5°C ถึง 10°C)

1.1) สินค้าเน่าเปื่อยง่าย เช่น เนื้อดิบ เนื้อแปรรูป แฮม เบคอน ไส้กรอก ไข่ไก่ น้ำมันหมู เป็นต้น

1.2) สินค้าจากผลิตภัณฑ์นม เช่น ครีมสด เนย ชีส มาการีน

1.3) อาหารทะเลสด เช่น ปลาสด หอยนางรม ปลารมควัน

1.4) ผักสด และผลไม้สด

1.5) ขนมหวาน

2) แช่แข็ง Frozen (ความแข็ง -6°C ถึง -25°C)

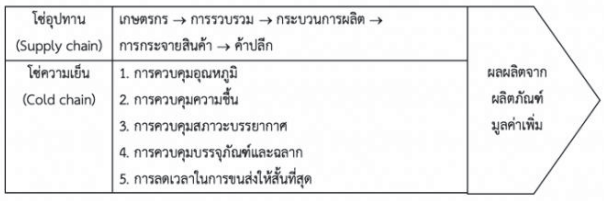
อาหารแช่แข็งจากต่างประเทศ เช่น อาหารทะเลแช่แข็ง ผักผลไม้แช่แข็ง เนื้อและแฮม ไอศกรีม เป็นต้น จึงทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของการจัดเก็บและการขนส่งสินค้า กรณีที่มีสินค้าเร่งด่วนที่มีอุณหภูมิต่างกันแต่ต้องขนส่งในเวลาพร้อมกัน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การขนส่งแบบโซ่ความเย็น

โซ่ความเย็นในอุตสาหกรรมอาหาร (Food Cold Chain) ใช้เพื่อเพิ่มระดับความปลอดภัย และความสดใหม่ของอาหาร เป็นการผสมผสานระหว่างโซ่อุปทานแบบดั้งเดิมและโซ่ความเย็นที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมความชื้น การควบคุมบรรยากาศ รวมไปถึงบรรจุภัณฑ์และฉลาก ช่วยลดเวลาการดำเนินการขนส่งให้สั้นที่สุดเพื่อรักษาคุณภาพของสินค้า



รูปที่ 1 ผลผลิตจากผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มที่เกิดจาก Supply chain และ Cold chain



รูปที่ 2 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์

โมเดลในรูปแบบจำลองการขนส่งและการกระจายสินค้าของธุรกิจอาหารแช่แข็ง (MCSE) จะเน้นระดับความพึงพอใจใน 4 ด้านคือ ระบบการจัดการ การควบคุมคุณภาพและสถานะประสิทธิภาพการขนส่ง และระดับบริการความพึงพอใจของลูกค้า จากการสำรวจพบว่าผู้ใช้บริการขนส่งอาหารทะเลแช่แข็งให้ความสนใจด้านเวลาในการขนส่งสินค้ามากกว่าด้านการจัดการอุณหภูมิภายในตู้ขนส่ง [6]



รูปที่ 3 โมเดลรูปแบบจำลองการขนส่งและการกระจายสินค้าของธุรกิจอาหารแช่แข็ง (MCSE)

2.2 หลักการ Six Sigma

แนวคิดระบบ Six Sigma จะมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มผลผลิตของโครงการโดยใช้กระบวนการในการลดต้นทุนและเพิ่มผลกำไร โดยมีบุคลากรที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในด้านนี้คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการจัดทำระบบ Six Sigma [7] DMAIC เป็นกลยุทธ์ด้านคุณภาพในการดำเนินการด้วยข้อมูลเพื่อปรับปรุงกิจกรรมหรือกระบวนการซึ่งเป็นส่วนสำคัญของซิกซิกม่าโดย DMAIC ประกอบด้วยห้าขั้นตอนที่เชื่อมโยงกัน ได้แก่ การกำหนดปัญหา การวัด การวิเคราะห์ปัญหา การปรับปรุง และการควบคุม [8] โดยถูกนำมาใช้ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.1 การกำหนดปัญหา (Define Phase)

การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นกับองค์หรือกำลังเผชิญอยู่โดยใช้เกณฑ์การคัดเลือกปัญหาที่สร้างผลกระทบมากที่สุด เช่น ปัญหาด้านต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายมากที่สุดหรือคัดเลือกจากปัญหาที่แก้ไขแล้วจะก่อให้เกิดผลตอบแทนมากที่สุดสำหรับองค์กร [9]

2.2.2 การวัด (Measure Phase)

จุดมุ่งหมายเพื่อค้นหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในการค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยใช้การศึกษาการทำงาน (Work Study) และการวิเคราะห์แผนผังเหตุและผล (Why-Why Tree Diagram) [10]

2.2.3 การวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase)

หลังจากที่ได้มีการสรุปปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปัญหาการขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพในการบวนการขนส่งแบบโซ่ความเย็น ในขั้นนี้จะนำสมมุติฐานต่างๆ นำมาพิจารณาและหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องว่ามีผลกระทบจริงหรือไม่ โดยใช้การประชุมระดมสมอง (Brain Storming) ร่วมกับแผนผังก้างปลา (Cause & Effect diagram) โดยมีผู้เชี่ยวชาญในด้านการขนส่งอาหารแช่แข็ง เช่น ผู้จัดการฝ่ายขนส่งสินค้า ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อและติดตามวัตถุดิบ ผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ ผู้จัดการฝ่ายผลิตและผู้จัดการฝ่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับบริษัท เป็นต้น

2.2.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

หลังจากทำการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาแล้วจนทราบถึงสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาการขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพในกระบวนการขนส่งแบบโซ่ความเย็น ต่อมาจะกำหนดแผนงานที่ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการ โดยมุ่งเน้นไปที่การกำจัดหรือลดสิ่งทำให้เกิดปัญหาหลักนั้นๆ [11] และแนวทางการป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดขึ้นซ้ำได้อีกในอนาคต โดยใช้แนวทางในการป้องกันความผิดพลาด จากผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง [12]

2.2.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

การควบคุมปัญหาในกระบวนการต่างๆ เพื่อไม่ให้เกิดข้อบกพร่องหรือปัญหาซ้ำโดยการตรวจและติดตามปัญหาอย่างต่อเนื่อง จากการจัดทำระบบมาตรฐานในการทำงาน (Standard of Procedure) เพื่อเป็นการควบคุมกระบวนการให้เกิดความมั่นใจในการดำเนินการต่อไปภายใต้การควบคุม [10]

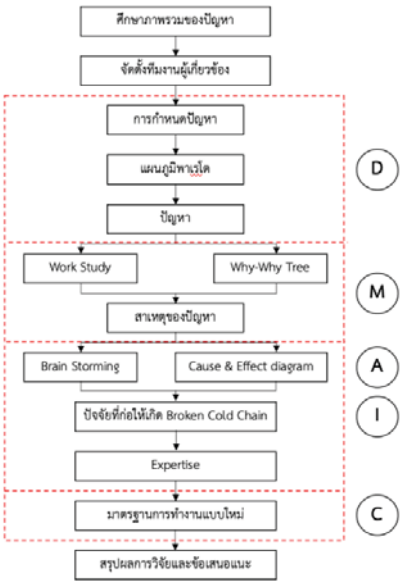
2.2.6 คุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญ (Expert)

จุติเทพ วงศ์สวัสดิ์ [13] กล่าวว่า บุคคลที่มีความเชี่ยวชาญ (Expertise) ในงานที่ตนเองทำ ความเชี่ยวชาญเป็นสิ่งที่จำเพาะเจาะจงในแต่ละงาน (Task-specific) หากผู้เชี่ยวชาญสาขาใดสาขาหนึ่ง ต้องการเปลี่ยนสายงานไปอีกสายงานที่ตนเองไม่มีความเชี่ยวชาญหรือถนัดจะต้องเกิดการเริ่มต้น

เรียนรู้ใหม่ ความเชี่ยวชาญเป็นสิ่งที่ไม่ยืดหยุ่น (Inflexible) นอกจากนี้แล้ว ความเชี่ยวชาญยังเป็นสิ่งที่เน้นย้ำถึงกระบวนการในการให้เหตุผล เพื่อใช้แก้ปัญหาของผู้เชี่ยวชาญอีกด้วย

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งแบบโซ่ความเย็น รวมถึงหาวิธีการที่เหมาะสมในการลดต้นทุนค่าขนส่งสินค้า และเพิ่มผลกำไรให้กับบริษัท โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกได้เป็น 5 ขั้นตอนตามแนวทางในการบริหารคุณภาพของซิกส์ซิกม่า คือ DMAIC ดังแสดงตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนในการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการกำหนดปัญหา

ปัญหา Broken Cold Chain จะเกิดได้จาก 6 สาเหตุหลัก

1) พนักงานขาดความรู้เกี่ยวกับการรักษาและการขนส่งผลิตภัณฑ์

2) โครงสร้างพื้นฐานของระบบโซ่ความเย็น และอุปกรณ์ในการให้ความเย็นมีไม่เพียงพอต่อความต้องการขนส่งในประเทศไทย

3) โครงสร้างพื้นฐานของระบบโซ่ความเย็น และอุปกรณ์ในการให้ความเย็นไม่มีคุณภาพเพียงพอที่จะขนส่งให้ถึงมือลูกค้าอย่างทันเวลา

4) ขาดระบบการวัดและติดตามอุณหภูมิในการเก็บรักษาและการขนส่ง

5) สินค้ามีการสัมผัสกับอากาศภายนอกรถในการระหว่างการเคลื่อนย้ายเปลี่ยนถ่ายสินค้า

6) ความไม่สม่ำเสมอของระบบไฟฟ้า/ระบบจ่ายพลังงาน

3.2 ขั้นตอนการวัด

ขั้นตอนการวัดปัญหาจากข้อมูลการขนส่งแบบโซ่ความเย็น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและพิสูจน์ปัญหาเบื้องต้น โดยการสร้างแผนภูมิการไหลของกระบวนการ (Flow process chart) เพื่อหาปัจจัยของการเกิดปัญหา Broken Cold Chain เพื่อนำไปสู่กระบวนการระดมสมองโดยการใช้แผนภูมิต้นไม้ (Why-Why Tree) จะทำให้ทราบถึงเหตุและผลของปัญหา [11]

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์การขนส่งแบบโซ่ความเย็น

3.3.1 Volume planning review เพื่อเลือกใช้ประเภทของรถที่ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งถูกที่สุด

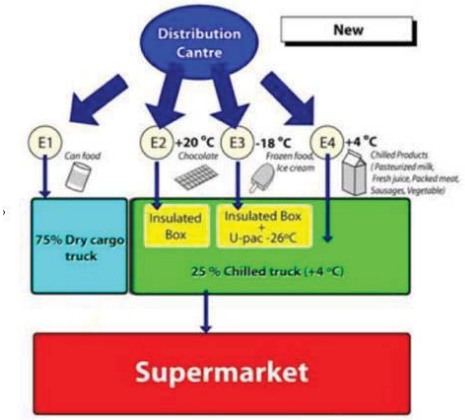
3.3.2 การใช้อุปกรณ์ช่วยในการรักษาอุณหภูมิของการขนส่งแบบโซ่ความเย็น Thermotainer (Isolated container) หรือภาชนะบรรจุฉนวนที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมิของสินค้าในระหว่างการขนส่งสินค้า โดยส่วนใหญ่มักใช้งานร่วมกับแผ่นความเย็น เพื่อให้สินค้านั้นอยู่ในช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดไว้ตลอดเวลา



รูปที่ 5 อุปกรณ์ Thermotainer (Isolated container)

3.3.3 Combine load สินค้าที่อุณหภูมิต่างกันโดยใช้ Thermotainer บรรจุสินค้าที่มีปริมาณน้อย (-18°C, +4°C)

3.3.4 ลดจำนวนเที่ยวรถ 4W (+4°C) ของสาขาระยะทางไกล โดยบรรจุสินค้า +4°C ไว้ใน Thermotainer แล้วบรรทุกไปกับรถ 18W (-18°C)



รูปที่ 6 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการปรับปรุงการขนส่ง

3.4 ขั้นตอนการปรับปรุงในการลดต้นทุนการขนส่งแบบโซ่ความเย็น

หลังจากทำการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาแล้วจนทราบถึงสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหา Broken Cold Chain ในการขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพในกระบวนการขนส่งแบบโซ่ความเย็น จึงได้นำเสนอต่อผู้ทีมเชี่ยวชาญ (Expertise) และผู้บริหาร [13] เพื่อนำเสนอแนวทางแก้ไขปรับปรุงและขอคำแนะนำเพิ่มเติมดังนี้

ตารางที่ 1 วิธีการคำนวณหาต้นทุนในการขนส่งแบบโซ่ความเย็น

Destination Store	Delivery Frequency Trip/Month	Frozen Product -18C, 18W Truck		Chilled Product +4C, 4W Truck		Consider to combine by using Thermotainer if B/2 > A/20 (Yes/No)	Saving Tra Baht/
		Baht/trip	Baht/Pallet	Baht/trip	Baht/Pallet		
Srore1							
Srore2	N	A	A/20	B	B/2	B*N - 2*N*(A/20)	xxx
Srore3	N	A	A/20	B	B/2	No	
.							
..							
...							
Srore X							

N : จำนวนเที่ยวในการส่งสินค้าไปยังสาขาในหนึ่งเดือน

A : ค่าขนส่งต่อเที่ยวของรถ 18 ล้อที่ทำอุณหภูมิ -18°C

A/20 : ค่าขนส่งต่อพาเลทของรถ 18 ล้อที่ทำอุณหภูมิ -18°C

B : ค่าขนส่งต่อเที่ยวของรถ 4 ล้อที่ทำอุณหภูมิ +4°C

B/20 : ค่าขนส่งต่อพาเลทของรถ 4 ล้อที่ทำอุณหภูมิ +4°C

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเริ่มต้นจากการเปรียบเทียบค่าขนส่งต่อพาเลท ในการขนส่งสินค้าโดยรถทำอุณหภูมิประเภท +4°C ด้วยรถ 4W ไปยังสาขาปลายทางนั้นๆ มีราคาสูงกว่าค่าขนส่งต่อพาเลทโดยรถทำอุณหภูมิประเภท -18°C ด้วยรถ 18W หรือไม่ หากพบว่าสูงกว่าให้ทำการลดจำนวนรอบการส่งของรถ +4°C/4W ลง แล้วทำการ combine ไปกับรถ -18°C/18W โดยใช้ Thermotainer เป็นอุปกรณ์ในการรักษาอุณหภูมิของตัวสินค้า

Cost saving ที่เกิดขึ้นจะได้จากการลดจำนวนเที่ยวของรถ +4°C/4W หักลบกับต้นทุนในการที่ต้องขน Thermotainer ไปแทนสินค้า -18°C ที่ต้องใช้พื้นที่ของรถ 18W ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว Capacity ของรถ 4W จะเทียบเท่ากัน Thermotainer 2 ตัว

3.5 ขั้นตอนการควบคุมปัญหาการขนส่งแบบโซ่ความเย็น

หลังจากการปรับปรุงกระบวนการโดยการนำอุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์เข้ามาประยุกต์ใช้แล้วส่งผลดีต่อบริษัทในแง่การช่วยลดต้นทุนการขนส่งแบบโซ่ความเย็น ก่อให้เกิดการใช้งานพื้นที่แบบเต็มคันรถและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด สามารถเติมสินค้าไปยังสาขาต่างๆได้ถี่ยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถ Combine สินค้าหลายชนิดไปกับรถที่มีอุณหภูมิต่างกันได้ ซึ่งจะทำให้ระบบการขนส่งแบบโซ่ความเย็นของบริษัทมีระบบการจัดการที่คล่องตัวและมีความยั่งยืนต่อไปในอนาคต

จากการกระบวนการติดตามผลหลังจากการปรับปรุง (Control phase) เป็นระยะเวลา 10 เดือน จากจำนวนคลังสินค้าทั้งหมด 300 แห่ง พบว่าบริษัทสามารถประหยัดต้นทุนในการขนส่งสินค้ารูปแบบใหม่ โดยยกตัวอย่างอันดับสูงสุด ได้แก่ คลังสินค้าที่ 9 หาดใหญ่ ระยะทาง 1,022 กิโลเมตร มีความถี่ในการขนส่งอยู่ที่ 20 เที่ยวต่อเดือน สามารถลดจำนวนเที่ยวของรถ +4°C/4W ได้ 20 เที่ยวต่อเดือน โดยใช้เทอร์โมเทนเนอร์จำนวน 40 ยูนิต ซึ่งประหยัดต้นทุนในการขนส่งได้ 90,710 บาทต่อเดือน ซึ่งโดยภาพรวมบริษัทสามารถลดต้นทุนในการขนส่งได้ถึง 1,621,603 บาทต่อเดือน

สุดท้ายนี้การนำอุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์เข้ามาประยุกต์ใช้จะช่วยให้บริษัทมีข้อได้เปรียบด้านการแข่งขันหลายด้าน เนื่องจากสามารถบรรทุกสินค้าได้หลายชนิดพร้อมกันแบบเต็มคันรถอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ต้นทุนในการขนส่งแบบโซ่ความเย็นลดลงอย่างมาก และเป็นแนวทางให้กับบริษัทอื่นๆหรืออุตสาหกรรมที่ใกล้เคียงใช้เป็นต้นแบบในการจัดการด้านขนส่งสินค้าได้ รวมถึงสะท้อนให้ภาครัฐบาลตระหนักถึงความสำคัญของการขนส่งสินค้าแบบโซ่ความเย็นมากยิ่งขึ้น และช่วยส่งเสริมมาตรการต่างๆ ให้อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งมีการเติบโตในอนาคตอีกด้วย

4. ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลและการสัมภาษณ์ผู้บริหารและพนักงานของบริษัทกรณีศึกษาในการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งแบบโซ่ความเย็น รวมถึงการหาวิธีการที่เหมาะสมในการลดต้นทุนค่าขนส่งสินค้า พบว่าการแก้ไขปัญหาการขนส่งแบบโซ่ความเย็นโดยการนำอุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์เข้ามาประยุกต์ใช้ในการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งได้จากการลดปริมาณในการใช้รถ 4W ลง 1,621,603 บาทต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการคำนวณต้นทุนในการขนส่งแบบโซ่ความเย็นและระยะเวลาการคืนทุนจากการลงทุนซื้ออุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์

Summary	Value	Unit
Saving +4C, 4W Truck (Trip/Month)	804	Trip
Monthly Thermotainer Usage	1,608	Unit/Month
Daily Thermotainer Usage	54	Unit/Day
Total Thermotainer Require	161	Unit
Thermotainer Cost	100,000	Bath/Unit
Total Thermotainer Cost	16,080,000	Bath
Saving Transportation (Bath/Month)	1,621,603	Bath/Month
Payback Period	**10**	**Months**

จากตารางที่ 2 สามารถสรุปผลการคำนวณต้นทุนในการขนส่งแบบโซ่ความเย็นและระยะเวลาการคืนทุนจากการลงทุนซื้ออุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์ได้ดังนี้

1) ลดจำนวนของรถ +4°C/4W ได้ถึง 804 เที่ยวต่อเดือน
2) มีการใช้ Thermotainer จำนวน 804 ยูนิตต่อเดือน
3) มีการใช้ Thermotainer จำนวน 54 ยูนิตต่อวัน
4) มีความต้องการใช้ Thermotainer ทั้งสิ้นจำนวน 161 ยูนิต
5) ต้นทุนค่าอุปกรณ์ Thermotainer จำนวน 100,000 บาทต่อยูนิต
6) ต้นทุนรวมค่าอุปกรณ์ Thermotainer จำนวน 16,080,000 บาท
7) สามารถลดต้นทุนในการขนส่งได้ถึง 1,621,603 บาทต่อเดือน
8) มีระยะเวลาการคืนทุนทั้งสิ้นจำนวน 10 เดือน

5. สรุปผลและอภิปรายผล

ผลจากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งโซ่ความเย็นของบริษัทกรณีศึกษาพบว่าการขนส่งสินค้าที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิของตัวสินค้านั้นจะใช้รถที่มีการคุมอุณหภูมิ ซึ่งค่าขนส่งของรถควบคุมอุณหภูมิจะมีอัตราค่าบริการที่สูงกว่ารถที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิอย่างมาก เมื่อเทียบกับรถขนาดเดียวกัน การขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันในการขนส่งแบบโซ่ความเย็น จึงส่งผลกระทบกับเรื่องต้นทุนค่าขนส่งมากกว่าการขนส่งแบบปกติ อีกทั้งการขนส่งในการส่งแบบโซ่ความเย็นยังมีข้อจำกัดในเรื่อง

ความแตกต่างในการควบคุมอุณหภูมิของสินค้าแต่ละประเภทจึงทำให้ไม่สามารถ combine load ไปในรถคันเดียวกันได้ อุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์จึงตอบโจทย์ในเรื่องของการ combine load สินค้าที่ควบคุมอุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยใช้รถขนส่งสินค้าคันเดียวกันได้เพื่อให้เกิดการใช้งานพื้นที่แบบ full truck load ซึ่งช่วยลดค่าขนส่งในการจัดส่งสินค้าแบบโซ่ความเย็นได้มากพอสมควร และทำให้รอบการเติมเต็มสินค้าสามารถทำได้ถี่ขึ้น รวมถึงสามารถตอบสนอง คำสั่งซื้อแบบด่วนของลูกค้าได้ดี โดยสามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของการใช้อุปกรณ์ Thermotainer เพื่อเป็นแนวทางช่วยในการตัดสินใจแก่ผู้บริหารบริษัทกรณีศึกษาได้พิจารณา ได้ดังนี้

ข้อดี

1) ช่วยลดต้นทุนการขนส่งแบบ Cold chain
2) ทำให้เกิดการใช้งานพื้นที่แบบ Full truck load
3) สามารถเติมสินค้าไปยังสาขาได้ถี่ขึ้น เพราะสามารถ Combine ไปกับรถสินค้าที่อุณหภูมิต่างกันได้
4) สามารถจัดการกับสินค้า Halal และ Non-Halal ได้ดีกว่า

ข้อเสีย

1) มีต้นทุนในการลงทุนในเรื่องของตัวอุปกรณ์ เช่น ตัว Thermotainer, Eutectic plate, Deep freezer, Data logger เป็นต้น
2) มีต้นทุนในเรื่องของการดูแลรักษาและซ่อมบำรุง
3) มีกระบวนการทำงานที่เพิ่มขึ้น ทำให้ต้นทุนด้านแรงงานเพิ่มขึ้น

ดังนั้น ผลจากงานวิจัยในครั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งแบบโซ่ความเย็นและลดต้นทุนการขนส่งสินค้าแก่บริษัทกรณีศึกษา โดยการเสนอแนะแนวทางในการลดต้นทุนการขนส่งสินค้าของบริษัทด้วยการใช้อุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์ในการขนส่งสินค้าที่มีความหลากหลายและต่างอุณหภูมิในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะสามารถควบคุมอุณหภูมิและรักษาคุณภาพความสดใหม่ของสินค้าได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังช่วยลดจำนวนเที่ยวต่อรอบของการขนส่งสินค้าได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลจากการวิจัยนี้สามารถลดต้นทุนจากการขนส่งสินค้าแช่เย็นและสินค้าแช่แข็งจากรถกระบะจากเดิมได้เป็นจำนวน 1,621,603 บาทต่อเดือน โดยมีระยะเวลาการคืนทุนจากการลงทุนซื้ออุปกรณ์เทอร์โมเทนเนอร์เพียง 10 เดือนเท่านั้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากผู้บริหารและพนักงานบริษัทกรณีศึกษาขนส่งอาหารสำเร็จรูปแช่แข็งที่ให้โอกาสผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิจัย จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Bogataj, Marija & Bogataj, Ludvik & Vodopivec, Robert, 2005. “Stability of perishable goods in cold logistic chains" , International Journal of Production Economics, Elsevier, vol. 93(1), pages 345-356, January.

[2] ESTRADA-FLORES, S. 2012. Transportation of frozen foods. In: Sun, D.W. (Ed.), Handbook of Frozen Food Processing and Packaging (2nd ed.). CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 217-234.

[3] Baxter, G., & Kourousis, K. 2015. Temperature controlled aircraft unit load devices: The technological response to growing global air cargo cool chain requirements. Journal of technology management & innovation, 10(1), 157-172.

[4] Thanatorn Chuenyindee and Assadej Vanichchinchai. 2019. Waste Reduction of Powder Color in Coating Process of Air Conditioner Parts. Proceedings of the 2019 5th International Conference on Industrial and Business Engineering - ICIBE 2019 (2019). DOI:http://dx.doi.org/10.1145/3364335.3364376

[5] Thanatorn Chuenyindee and Yogi Tri Prasetyo. 2020. Roller Chains Quality Enhancement using Six Sigma and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Management Science and Industrial Engineering – MSIE 2020 (2020). DOI:http://dx.doi.org/10.1145/3396743.3396780

[6] ธนะสาร พานิชยากรณ์. 2560. การพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับการบริการและความพึงพอใจของลูกค้าธุรกิจอาหารทะเลแช่แข็งในประเทศไทย

[7] วิชัย แหวนเพชร, ระบบซิกซิกม่า, ข้อมูลจาก http://www.intech.crru.ac.th/loginweb/showarticle.asp?id=10. (วันที่สืบค้นข้อมูล 13 มกราคม 2565)

[8] Thouraya Hamdi and Faten Fayala. 2015. Reducing Delays in Delivering Garments using DMAIC-Six Sigma Methodology, International Journal of Emerging Engineering Research and Technology Volume 3, Issue 9, September.

[9] MD.MIJANUR RAHMAN, QUALITY IMPROVEMENT IN GARMENT FACTORY THROUGH TQM APPROACH, DEPARTMENT OF INDUSTRIAL & PRODUCTION ENGINEERING.

[10] กัญญรัตน์ วังคะฮาด. 2557. การลดปัญหาของเสียในการผลิตเกียร์ด้วยหลักการ DMAIC: กรณีศึกษาผลิตชิ้นส่วนมอเตอร์ไฟฟ้า. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรีปีที่ 12 ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2557.

[11] ไพศาล พุ่มพงษ์. 2557. การลดของเสียจากกระบวนการผลิตยางนอกรถจักรยานยนต์โดยเทคนิคซิกส์ซิกม่า. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[12] มนตรี ลีลาวิชิตชัย, จาก P-D-C-A เป็น D-M-A-I-C, ข้อมูลจาก https://www.gotoknow.org/posts/1496. (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 มกราคม 2565)

[13] จุติเทพ วงศ์สวัสดิ์. 2544. การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการวินิจฉัยปัญหาคุณภาพในอุตสาหกรรมยางรถบรรทุก. มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์

[14] Thanatorn Chuenyindee, Yogi Tri Prasetyo, and Yossapol Pongkaew. 2021. Cutting Tool Quality Improvement: A Case Study of Electronic Parts Manufacturer. In The 2021 7th International Conference on Industrial and Business Engineering (ICIBE 2021). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 315–320. DOI:https://doi.org/10.1145/3494583.349458

การจัดการรถขนส่งสินค้าโดยใช้การแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยค่าเฉลี่ยเคมีน และการจัดเส้นทางการขนส่ง

K – Mean Clustering and Vehicle Routing for Trucks Management

ภาคภูมิ ศรีจันทรา[1*] ชยณัฐ บุญรามณรงค์[1] กวินธร สัยเจริญ[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: srijuntra_p@silpakorn.edu*

Pakpoom Srichandra[1*], Chayanat Boonramnarong[1], Kawinthorn Saicharoen[1]
[1]Department of Industrial Engineering and Management
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail : srijuntra_p@silpakorn.edu*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดการการขนส่งโดยการแบ่งกลุ่มลูกค้าโดยใช้วิธี K-means Clustering และการจัดเส้นทางการขนส่งโดยการประยุกต์ใช้วิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm) สำหรับจัดการรถขนส่งจ้างเหมา โดยการจัดการนี้จะต้องลดต้นทุนของการขนส่งที่มีอยู่เดินซึ่งการจะลดต้นทุนค่าขนส่งลงได้คือการลดจำนวนการจ้างรถขนส่ง ในการจ้างรถขนส่งจะพิจารณาจากน้ำหนักของสินค้าและการกระจายตัวของกลุ่มลูกค้าของบริษัท ซึ่งได้ทำการแบ่งกลุ่มลูกค้าเพื่อหาจำนวนการใช้รถขนส่งจ้างเหมาให้ได้น้อยที่สุดและสลับจุดขนส่งสินค้าภายในแผนที่ เพื่อหาเส้นทางในการขนส่งสินค้าของรถจ้างแต่ละคันให้ได้สั้นที่สุด ผลที่ได้จากการทดลองปรากฏว่าสามารถจัดแบ่งกลุ่มลูกค้าได้ 5 กลุ่ม และจากการเส้นจัดทางใหม่ทำให้ต้นทุนการขนส่งสินค้าลดลงจาก 6,748,800 บาทต่อปี เหลือ 5,779,200 บาทต่อปี หรือสามารถลดต้นทุนการขนส่งสินค้าได้ 969,600 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 14.36 ต่อปีโดยประมาณ

คำสำคัญ : การจัดเส้นทางการขนส่ง, วิธี K-means Clustering, วิธีการจำลองการอบเหนียว

Abstract

The purpose of this article is to manage truck transportation with K-Means clustering and Simulated annealing algorithm. Number of transportation truck was reduced for cost reduction. The truck management was concerned weight and zoned the delivery area. The number of trucks was determined by customer clustering and then minimized the truck by changing routing of the truck with Simulated annealing algorithm. The results shown that K- mean clustering divided the customer into 5 groups, the Simulated annealing algorithm reduced number of trucks one truck a day, and the transportation cost reduced from 6,748,800 Baht per year to 5,769,600 Baht per year or 979,200 Baht per year, which is 14.51 percent per year.

Keywords: Vehicle Routing, K-means Clustering, Simulated Annealing

1. บทนำ

ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์ประกอบด้วยต้นทุนต่าง ๆหลายประเภท แต่ต้นทุนที่มีผลกระทบต่อกำไรมากที่สุดคือต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนการขนเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นเมื่อบริษัทต้องการกระจายสินค้าจากบริษัทสู่มือของลูกค้าซึ่งการกระจายสินค้านั้นต้องการความรวดเร็ว ถูกต้อง ซึ่งการขนสินค้าไปส่งนั้นยังมีข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น น้ำหนักในการบรรทุก ปริมาตรในการขนส่งสินค้าของรถบรรทุก รวมถึงช่วงเวลาในการทำงานของบริษัทลูกค้าการทำให้ต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุดจึงเป็นการช่วยให้บริษัทมีกำไรเพิ่ม และความสามารถในการแข่งขันมากที่สุด

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ให้บริการในการจำหน่ายสายไฟขนาดต่างๆ ตั้งแต่ขนาดเล็กจนกระทั่งถึงขนาดใหญ่ รวมถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่บริษัทมีขายให้กับบริษัทของลูกค้าซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมและบริษัทรับเหมาก่อสร้างที่ต้องใช้สายไฟฟ้าขนาดใหญ่เป็นสายไฟฟ้าหลักในพื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งการขนส่งในปัจจุบันนั้นได้มีการแบ่งกลุ่มลูกค้าออกเป็น 6 กลุ่ม คือ กลุ่มที่อยู่ภายในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล 5 กลุ่ม และต่างจังหวัดอีก 1 กลุ่ม รถที่ใช้ขนส่งสินค้ามีหลายขนาดตั้งแต่รถบรรทุกไม่เกิน 1.5 ตัน รถบรรทุก 6 ล้อ ไปจนถึงรถบรรทุกขนาดใหญ่ ในบทความนี้จะพิจารณาเฉพาะรถบรรทุกขนาด 1.5 ตัน ซึ่งทั้งหมดเป็นรถจ้างเหมาจากภายนอก ซึ่งราคาจ้างเหมาจะอยู่ที่ราคาคันละ 1900 บาทต่อวันโดยน้ำหนักที่บรรทุกต้องไม่เกิน 1.5 ตัน แต่ถ้ามีการบรรทุกเกินน้ำหนักที่กำหนด (สินค้ามีขนาดเล็กแต่น้ำหนักมาก) แต่ไม่เกิน 1.7 ตันจะต้องเสียค่าปรับสำหรับการสึกหรอ เพิ่มขึ้น 200 บาทต่อคัน แต่ถ้าเกิน 1.7 ตันต้องเสียค่าปรับคันละ 300 บาท แต่การแบ่งเขตแบบนี้ได้ใช้กันติดต่อมาหลายปีส่งผลให้ปัจจุบันเกิดความไม่สอดคล้องทำให้ต้องมีการจ้างรถบรรทุกขนส่งสินค้าเพิ่มส่งผลให้มีต้นทุนเพิ่มขึ้น

ในการแก้ปัญหานั้นจะเริ่มจากการแบ่งกลุ่มลูกค้าใหม่ให้ทันสมัยกับข้อมูลปัจจุบัน โดย สุชาวดี (2562) ได้เสนอการแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับออกแบบขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ด้วย วิธี K-means Clustering เพื่อลดต้นทุนการสั่งซื้อกล่องบรรจุภัณฑ์ ศิวพรและธาริณี (2562) จิราพร (2562) ได้เสนอการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยการใช้เมทาฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristics) โดยวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulate annealing) เพื่อปรับปรุงการเดินหยิบสินค้าของพนักงานในคลังสินค้า ปิยรัตน์, ธราและจิติมนต์ (2560) ได้ใช้แนวคิดจากวิธีการจำลองการอบเหนียวในการศึกษาปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ใช้ระยะทางและระยะเวลาให้น้อยที่สุด พลอยพรรณและอรอุไร (2556) ได้ใช้วิธีการจำลองการอบเหนียวในการออกแบบเส้นทางเดินรถขนส่งเครื่องสำอางโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ระยะทางในการขนส่งต่ำที่สุด Li and Wu (2012) ได้เสนออัลกอริธึมจัดกลุ่ม K-means clustering ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วในการจัดกลุ่มสินค้า เปรียบเทียบกับการจัดกลุ่มแบบเดิม. Afifi *et.al.* (2013) นำเสนออัลกอริธึมการหลอมจำลองเพื่อแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะที่มีกรอบเวลาเป็นเงื่อนไข. R. Aurachman *et.al.* (2021) ได้อธิบายเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมภาษา Python ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีการจำลองการอบเหนียวเพื่อให้โปรแกรมหาคำตอบระยะทางที่สั้นที่สุด.

ดังนั้นในบทความนี้จึงได้ทำการลดต้นทุนการขนส่งสินค้าของบริษัทดังกล่าว โดยการแบ่งกลุ่มลูกค้าตามหลักการแบ่งกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค (K-means clustering) และนำการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm) มาใช้ในการจัดเส้นทางการวิ่งของรถขนส่งจ้างเหมาและเปรียบเทียบปริมาณการใช้รถในการขนส่งทั้งแบบเดิมและแบบใหม่

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแบ่งกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค (K-means Clustering) [1]

วิธี K-means Clustering เป็นวิธีจัดกลุ่มตามคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกัน โดยจะกำหนดจุดกึ่งกลางแต่ละกลุ่มข้อมูลจุดกึ่งกลางคือค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด และพิกัดเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตสำหรับแต่ละมิติจะแตกต่างกันไปตามข้อมูลทั้งหมดในกลุ่ม โดยการจัดกลุ่มแบบนี้มีเงื่อนไขว่าเราต้องกำหนดจำนวนกลุ่มไว้ก่อน จากนั้นโปรแกรมจะเลือกข้อมูลเข้าแต่ละกลุ่มโดยสุดท้ายแล้วกลุ่มที่ได้จะเป็นกลุ่มแยกจากกัน ไม่ซ้อนทับกัน โดยการจัดกลุ่มวิธีนี้เหมาะสำหรับข้อมูลมากกว่า 200 ข้อมูล โดยมุ่งเน้นที่จะให้ข้อมูลในกลุ่มเดียวกันมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด และข้อมูลต่างกลุ่มกันมีความแตกต่างกันมากที่สุด

โดยขั้นตอนการจัดกลุ่มของเทคนิค K-means Clustering มี 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. เลือกจำนวนกลุ่มข้อมูล k กลุ่ม
2. สุ่มค่ากึ่งกลางเป็นตัวแทนข้อมูลของแต่ละกลุ่ม (k กลุ่ม)
3. คำนวณระยะห่างแบบยุคลิด (Euclidean Distance) ของแต่ละข้อมูลกับค่ากึ่งกลางของกลุ่ม โดยกระบวนการจะเริ่มจากค่ากลางตั้งต้นชุดหนึ่ง จากนั้นจะจัดกลุ่มข้อมูลโดยพิจารณาจากระยะห่างจากศูนย์กลาง หลังจากนั้นจะมีการคำนวณค่ากลางอีกชุดหนึ่งขึ้นมา ซึ่งจะมีการเปลี่ยนข้อมูลในกลุ่มโดยพิจารณาจากระยะห่างจากศูนย์กลางค่าใหม่ การคำนวณระยะห่างแบบยุคลิด สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$d(p,q) = \sqrt{(p_1-q_1)^2 + (p_2-q_2)^2 + \cdots + (p_n-q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(p_i-q_i)^2} \quad (1)$$

โดยกำหนดให้ p = ละติจูด เมื่อ p = (p_1 ,p_2 ,…,p_n)

q = ลองจิจูด เมื่อ q = (q_1 ,q_2 ,…,q_n)

n = จำนวนคุณลักษณะของข้อมูลแต่ละชุด

d(p,q) = ระยะห่างระหว่างแต่ละคู่

4. จัดกลุ่มแต่ละข้อมูลให้ใกล้กับค่ากึ่งกลางมากที่สุด
5. คำนวณค่าเฉลี่ยและกำหนดค่ากึ่งกลางใหม่
6. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ถึง 6 จนได้ค่าเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลง

2.2 Simulated annealing algorithm [2], [3]

ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial Optimization Problem) ซึ่งเป็นปัญหาแบบ NP-Hard เช่น การหาค่าต่ำสุดหรือสูงสุดของปัญหา โดยขั้นตอนวิธีส่วนใหญ่นั้นเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น การหาคำตอบจะค้นหาแบบทุกค่า มีผลทำให้ระยะเวลาการคำนวณใช้เวลานานแสดงได้ดังรูปแบบของกราฟเอกโพเนนเชียล (Exponential graph) หรือ หาคำตอบแบบสุ่มค่า (Random Solution) ส่งผลให้คำตอบที่ได้มีค่าเป็น Local Optimal แทนที่จะเป็น Global Optimal ขั้นตอนวิธีนี้ถูกพัฒนามาจากขั้นตอนวิธีการปีน ต่างกันที่ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวยอมรับค่าที่แย่กว่าเพื่อเลี่ยง Local Optimal Solution

สำหรับการเลือกค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (Initial Temperature) และอัตราการลด (Rate of Cooling) ของ Temperature ของขั้นตอนวิธีนั้นมีผลต่อทั้งด้านเวลาในการคำนวณและคำตอบสุดท้าย โดยค่าทั้งสองจะแปรผกผันกัน ยกตัวอย่างหาก Initial Temperature สูง Rate of Cooling ควรต่ำ

2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ [2]

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP) คือ ปัญหาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดในการเคลื่อนย้ายวัตถุโดยการหาวิธีการวางแผนจัดลำดับและเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าหรือผู้บริโภคที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจในบริการ เป้าหมายสำคัญของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะคือการพยายามออกแบบกลุ่มของยานพาหนะทุกคัน ให้มีการเดินทางโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้า ยานพาหนะวิ่งไปตามเส้นทางที่จะส่งสินค้าโดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ ด้วย เช่น เวลา จำนวนยานพาหนะ ระยะทาง เป็นต้น ซึ่งในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ถือว่าเป็นปัญหาประเภท NP-hard การใช้วิธีการแม่นตรง (Exact method) ในการหาคำตอบจะมีประสิทธิภาพในกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก แต่ในความเป็นจริงปัญหามักมีขนาดใหญ่จึงนิยมใช้วิธีการทาง ฮิวริสติกส์ (Heuristics) และเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) มาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติมากกว่า

การจัดเส้นทางการขนส่ง (Transportation Routing) เป็นวิธีที่ใช้เพื่อลดต้นทุนในการขนส่งสินค้าและระยะเวลาในการจัดส่งสินค้า เส้นทางที่สั้นลง หมายถึง ค่าน้ำมันที่ลดลง, รอบการบรรทุกที่เพิ่มขึ้น และค่าแรงที่ลดลง ในการเลือกรูปแบบเส้นทางการเดินรถมีความยากเนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องค่อนข้างมาก เช่น ระยะทาง, การรอคอยลูกค้าและการเซ็นรับเอกสาร, การจราจรบนท้องถนน,ระยะเวลาที่ลูกค้ารับสินค้าได้, ช่วงเวลาห้ามเดินรถ, สภาพถนน, ความล่าช้าของการส่งสินค้าในจุดต่าง ๆ เป็นต้น

3. วิธีการดำเนินงาน

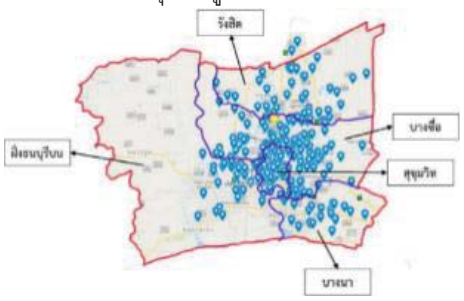
3.1 ข้อมูลเบื้องต้น

บริษัทกรณีศึกษาจัดส่งสินค้าให้กับกลุ่มลูกค้าที่อยู่ภายในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยทำการวิเคราะห์เขตพื้นที่ของลูกค้าที่อยู่ภายในกรุงเทพมหานครและเขตปริมณฑล ทางบริษัทมีรถจ้างสัญญาอยู่จำนวน 17 คัน ในการขนส่งสินค้า โดยบริษัทได้ทำข้อตกลงระหว่างรถจ้างว่า น้ำหนักในการบรรทุกสินค้าจะไม่เกิน 1.5 ตัน โดยมีค่าจ้าง 1,900 บาท แต่ถ้ามีการบรรทุกน้ำหนักเกินจะต้องจ่ายค่าปรับเพิ่ม โดยมีอยู่ 2 เงื่อนไข

1.) ถ้าบรรทุกน้ำหนักเกิน 1.5 ตัน แต่ไม่เกิน 1.7 ตัน จะต้องเสียค่าปรับ 200 บาท

2.) ถ้าบรรทุกน้ำหนักเกิน 1.7 ตันขึ้นไป จะต้องเสียค่าปรับ 300 บาท

จากการศึกษาข้อมูล ปัจจุบันทางบริษัทกรณีศึกษามีการจัดแบ่งพื้นที่ของลูกค้าภายในเขตกรุงเทพและปริมณฑลไว้ 5 กลุ่ม ได้แก่ บางซื่อ, บางนา, สุขุมวิท, รังสิต และฝั่งธนบุรี ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การแบ่งพื้นที่การขนส่งสินค้าแบบเดิม

3.2 การแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยวิธี K-means

1) เก็บรวบรวมข้อมูลพิกัดที่ตั้งของลูกค้าทั้งหมดใน 1 สัปดาห์ โดยใช้ Google Maps เพื่อหาพิกัดละติจูดและลองจิจูด

2) กำหนดจำนวนกลุ่มลูกค้า (K) จากนั้นสุ่มเลือกพิกัดที่ตั้งของลูกค้าค่าเป็นค่ากึ่งกลางของข้อมูลของแต่ละกลุ่ม โดยสุ่มเลือกเท่ากับจำนวนกลุ่ม (K)

3) คำนวณระยะห่างระหว่างพิกัดที่ตั้งลูกค้ากับพิกัดของค่ากึ่งกลางโดยใช้สมการที่ (1) และสังเกตว่าลูกค้าอยู่ใกล้กับค่ากึ่งกลางใดมากที่สุดจะให้เป็นสมาชิกของกลุ่มนั้น ๆ

4) คำนวณค่าเฉลี่ยพิกัดลูกค้าในแต่ละกลุ่ม แล้วค่าเฉลี่ยที่ได้จะถูกกำหนดให้เป็นค่ากึ่งกลางใหม่ในแต่ละกลุ่ม

5) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 แล้วสังเกตว่ากลุ่มใหม่ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงสมาชิกไปจากกลุ่มเดิมหรือใหม่ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง ให้ทำขั้นตอนที่ 4 แล้วเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงใหม่ ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้หยุด

3.3 การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการจำลองการอบเหนียว

1) เมื่อได้จำนวนกลุ่มและแบ่งลูกค้าในแต่ละกลุ่มได้แล้ว ทำการหาระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางระหว่างคลังสินค้าและลูกค้าแต่ละรายในกลุ่มลูกค้า โดยอาศัย Google Maps และสร้างตาราง from – to chart

2) ในการประยุกต์ใช้วิธีการจำลองการอบเหนียว จะกำหนดคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) เป็นเส้นทางการเดินรถแบบสุ่มขึ้นมา 1 เส้นทาง แล้วหาระยะทางและระยะเวลาเดินทางรวมในเส้นทาง

3) ทำการสุ่มจัดเส้นทางใหม่ โดยอาศัยการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Application on Microsoft Excel เพื่อให้โปรแกรมสุ่มสลับจุดส่งสินค้าอัตโนมัติ โดยคำตอบใหม่หรือคำตอบบริเวณใกล้เคียงที่ได้ (Neighbors solution) จะเป็นเส้นทางใหม่ที่สุ่มจัดได้ ถ้าเส้นทางใหม่ทำให้ระยะทางและระยะเวลาในการขนส่งรวมน้อยลง จะถือว่าเส้นทางการขนส่งใหม่ที่ได้ เป็นคำตอบเริ่มต้นปัจจุบัน (Initial solution) จากนั้นทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 และ 3 เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดเป็น Global Solution โดยขั้นตอนในการเขียนคำสั่งในโปรแกรม Visual Basic for Application on Microsoft Excel มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (Tk) อัตราการลดอุณหภูมิ (r) และกำหนดการวนรอบ (Iteration)

ขั้นตอนที่ 2 สร้างคำตอบเริ่มต้น (S_0) คือระยะเวลาขนส่งที่ได้จากการสุ่มจัดเส้นทางขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดให้คำตอบเริ่มต้นเป็นคำตอบปัจจุบันและคำตอบที่ดีที่สุด ($S^*=S=S_0$)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณเปอร์เซ็นต์การใช้ของคำตอบเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 5 นำคำตอบปัจจุบัน (S) มาทำการค้นหาคำตอบใกล้เคียงเพื่อสร้างคำตอบ ใหม่ (S')

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณระยะเวลาขนส่งใหม่ที่ได้

ขั้นตอนที่ 7 พิจารณาระยะเวลาขนส่ง ถ้าระยะเวลาขนส่งของคำตอบใหม่ดีกว่าคำตอบที่ดีที่สุด จะยอมรับคำตอบใหม่เป็นคำตอบปัจจุบันและคำตอบที่ดี ที่สุด ($S^*=S=S_0$) แต่ถ้าแย่กว่าจะพิจารณายอมรับคำตอบใหม่เป็นคำตอบปัจจุบัน (S=S') เพื่อ นำไปวนรอบต่อภายใต้ความน่าจะเป็น โดยสุ่มเลขจาก Rnd [0,1] ถ้า Rnd [0,1] < p จะยอมรับ ให้คำตอบใหม่เป็นคำตอบ ปัจจุบัน แต่ถ้า Rnd [0,1] $\geq$ P จะไม่ยอมรับ และคำตอบปัจจุบัน ยังคงเดิม เมื่อ P คือ ความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบ ดังสมการ

$$p = e^{\frac{\Delta U}{T}} \quad (2)$$

ขั้นตอนที่ 8 ทำการปรับลดอุณหภูมิ T = r × T

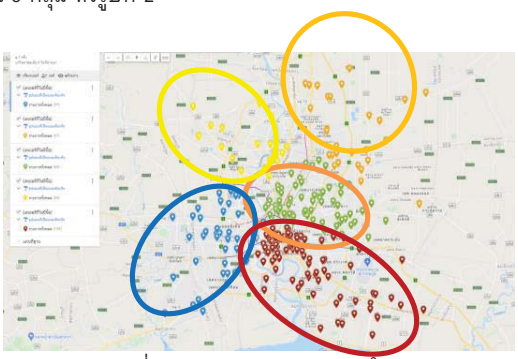
ขั้นตอนที่ 9 นำคำตอบปัจจุบันที่ผ่านขั้นที่ 7 มาแล้ววนซ้ำขั้นตอน 4-8 โดยวนซ้ำจนกว่าจะถึงจำนวนรอบที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 10 หยุดการวนรอบ และแสดงคำตอบที่ดีที่สุด โดยอัลกอริทึมวิธีจำลองการอบเหนียว

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการแบ่งกลุ่มลูกค้า

จากการแบ่งกลุ่มค้าภายในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ย K (K-means clustering) สามารถแบ่งกลุ่มลูกค้าได้เป็น 5 กลุ่ม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การแบ่งกลุ่มลูกค้าแบบใหม่

4.2 ผลการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

จากการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าภายในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ด้วยวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated annealing algorithm) สามารถลดจำนวนรถจ้างได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลหลังจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

วันที่	จำนวนรถขนส่ง		น้ำหนักที่บรรทุก (กิโลกรัม)
	ก่อนจัดเส้นทาง	หลังจัดเส้นทาง	
1	8	6	7,166
2	12	10	12,481
3	14	13	15,390
4	15	12	11,886
5	13	11	10,874
6	12	10	12,034
รวม	**74**	**62**	**69,831**

และจากการจัดเส้นทางการขนส่งใหม่ทำให้ระยะทางและระยะเวลาในการขนส่งลดลง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบระยะทางและระยะเวลาการขนส่งระหว่างก่อนและหลังจัดเส้นทางการขนส่ง

วันที่	ระยะทางในการขนส่ง (กิโลเมตร)		ระยะเวลาในการขนส่ง (นาที)	
	ก่อนจัดเส้นทาง	หลังจัดเส้นทาง	ก่อนจัดเส้นทาง	หลังจัดเส้นทาง
1	840	636	925	787
2	1,323	1,076	1,556	1,421
3	1,620	1,268	1,678	1,508
4	1,520	1,144	1,826	1,391
5	1,653	1,102	1,543	1,271
6	1,639	889	1,413	1,104
รวม	**8,577**	**6,115**	**8,941**	**7,482**

4.3 เปรียบเทียบต้นทุนการขนส่ง

จากข้อมูลใน 1 สัปดาห์ มีการใช้รถขนส่งภายในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลจำนวน 74 คัน คิดเป็นต้นทุน 140,600 บาทต่อสัปดาห์ เมื่อได้จัดการแบ่งกลุ่มลูกค้าและการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าใหม่ ทำให้มีการใช้รถขนส่งลดลงเหลือ 62 คัน คิดเป็นต้นทุน 120,400 บาทต่อสัปดาห์ ซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุนได้ 20,200 บาทต่อสัปดาห์ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งสินค้า

	จำนวนรถต่อสัปดาห์ (คัน)	ต้นทุนที่ลดได้		
		ต่อสัปดาห์ (บาท)	ต่อเดือน (บาท)	ต่อปี (บาท)
รถที่จ้าง	74	140,600	562,400	6,748,800
รถที่ลดได้	58	120,400	481,600	5,779,200
สามารถลดได้	16	20,200	80,800	969,600

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่าการแบ่งกลุ่มลูกค้าภายในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลโดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยเค (K-means clustering) และการจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้วิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing algorithm) สามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ ซึ่งจากการทดลองสามารถลดการจ้างรถขนส่งได้ 12 คัน จากเดิมมีการใช้รถขนส่งภายในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลทั้งหมด 74 คัน ลดลงเหลือ 62 คัน เฉลี่ยลดได้วันละ 2 คัน

ในการเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งจากสัปดาห์เป็นปี พบว่าในปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษามีค่าใช้จ่ายในการจ้างรถขนส่งอยู่ที่ 6,748,800 บาทต่อปี เมื่อทำการแบ่งกลุ่มลูกค้าและจัดเส้นทางการขนส่งใหม่ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการจ้างรถขนส่งลดลงเหลือ 5,779,200 บาทต่อปี ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้ 969,600 บาทต่อปี คิดเป็น 14.36% ต่อปีโดยประมาณ

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเค (K-means clustering) ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated annealing algorithm) สามารถแบ่งกลุ่มลูกค้าโดยใช้ระยะห่างของข้อมูลได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากสามารถจัดกลุ่มให้ลูกค้าที่อยู่บริเวณใกล้เคียงเป็นเป็นกลุ่มเดียวกัน โดยผู้ทำการทดลองได้แบ่งกลุ่มลูกค้าเป็น 5 กลุ่ม ซึ่งจำนวนกลุ่มลูกค้าเท่ากับก่อนการทดลองแต่ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นดังที่รายงาน และสามารถจัดเส้นทางการขนส่งได้มีประสิทธิภาพขึ้นเนื่องจากคำตอบที่ได้ เข้าใกล้ Global solutions มากขึ้น และทำให้การจ้างรถขนส่งลดลงส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งลดลงร้อยละ 14.51 ต่อปีโดยประมาณ

เอกสารอ้างอิง

[1] สุชาวดี ปลั่งศรี. 2562. การจัดกลุ่มขนาดผลิตภัณฑ์โดยการใช้ K-means Clustering เพื่อลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[2] จิราพร สกุลวารักษ์. (2562). การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการปีนเขาและขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสำหรับปัญหาพนักงานขายในคลังสินค้าบนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[3] ศิวพร สุกสี, และธาริณี มีเจริญ. (2562). การลดต้นทุนการขนส่งโดยการประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ: กรณีศึกษา บริษัทจำหน่ายอุปกรณ์ประดับยนต์ (บทความวิจัย). สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.

[4] ปิยรัตน์ งามสนิท, ธรา อั่งสกุล, และจิติมนต์ อั่งสกุล. (2560). ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสำหรับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (บทความวิจัย). สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[5] พลอยพรรณ ศรีกิจการ, และอรอุไร แสงสว่าง. (2556). การออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเส้นทางเดินรถขนส่งเครื่องสำอาง : กรณีศึกษา (บทความวิจัย). วารสารวิชาการ อุตสาหกรรมการศึกษา.

[6] Younguo Li, & Haiyan Wu. (2012). A Clustering Method Based on K- means Algorithm. Department of Computer Science Xinyang Agriculture College. China.

[7] Sohaib Afifi, Duc-Cuong Dang, & Aziz Moukrim. (2013). A Simulated Annealing Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows and Synchronization Constraints. University of Technology of Compiègne. France.

[8] R. Aurachman, D B Baskara, & J Habibie. (2021). Vehicle routing problem with simulated annealing using python programming. Telkom University. Indonesia.

[9] Wikimedia Foundation, Inc., . (2015). K-means Clustering. Retrieved 25 August 2021, from https://en.wikipedia. org/ wiki/ Kmeans_clustering

การลดเวลาในสายการผลิตท่ออากาศสำหรับระบบปรับอากาศและระบายอากาศ กรณีศึกษา : บริษัท 1000 ดักษ์รัตนบุรี

Reducing time in the air duct production line for air conditioning and ventilation system Case Study : 1000 Dak Rattanaburi Company

อาทิตยา แซ่จิว[1] ภาวิณี สุขใส[1] พุทธิพร เล็กขาว[1*]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
E-mail: Puttiporn.leg@rmutr.ac.th[*]

Athitaya Shaejew[1] Pawinee Suksai[1] Puttiporn Legkhow[1*]
[1] Department of Industrial Engineering and, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: Puttiporn.leg@rmutr.ac.th[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาเวลามาตรฐานและลดเวลาในกระบวนการผลิตท่อลมสังกะสี จากการที่ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิต โดยผู้วิจัยได้เริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตท่อตรงสังกะสี เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสายการผลิตท่อตรงสังกะสี พบว่ามีกระบวนการผลิตทั้งหมด 7 ขั้นตอน ได้แก่ การตัด การรีดตะเข็บ การรีดหน้าแปลน การพับขึ้นรูป การประกอบ การหุ้มฉนวน และการตรวจสอบ ต่อมาผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงสาเหตุที่ส่งผลต่อระยะเวลาของกระบวนการผลิต พบว่าสถานีงานประกอบและหุ้มฉนวนใช้ระยะเวลาในการผลิตนานที่สุดในกระบวนการผลิต ทางผู้วิจัยจึงได้นำปัญหาดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหา ด้วยการใช้หลักการศึกษาเวลา (Time Study) เพื่อใช้ในการหาเวลามาตรฐาน และใช้หลักการ ECRS เข้ามาช่วยในการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตท่อลมสังกะสี โดยได้ทำการบันทึกข้อมูลในแผนภูมิการไหล (Flow Chart) ซึ่งจะแสดงให้เห็นขั้นตอนการทำงานในแต่ละสถานี จากการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการด้วยเทคนิค ECRS ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงกระบวนการใน 2 ขั้นตอน ประกอบด้วยขั้นตอนการประกอบ โดยสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยจำนวน 6 ขั้นตอน ผู้วิจัยได้ทำการขจัดขั้นตอนการทำงานในการจัดมุมตามตะเข็บในขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนการหุ้มฉนวนสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยจำนวน 29 ขั้นตอน ผู้วิจัยได้ทำการรวมขั้นตอนการใส่แหวนในขั้นตอนย่อยที่ 12,16,20 และ 24 เข้าด้วยกัน จากการทำงาน 5 ครั้งให้เหลือทำแค่ครั้งเดียว ทำให้สามารถลดเวลาในกระบวนการผลิตจาก 48.37 นาที เป็น 46.06 นาที และคิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานอยู่ที่ 81.88%

คาสาคัญ: การลดเวลา, หลักการ ECRS, ท่อตรง

Abstract

The objective of this research is to find the standard time of galvanized air pipe, and find ways to reduce the production time. The researcher has collected information about the production of this process. Firstly, the researcher has studied about the process of galvanized straight duct, by collecting data on the galvanized straight duct production line, which has a total of 7 processes consisting of cutting, seam rolling, flange rolling, bending, assembly, insulating, and inspection. Next, the researcher studied the reasons, that the process took a long time. The cause of this problem occurred in assembling and insulating workstations process. The researcher has analyzed the aforementioned problem. The solution to improve the process was found by using the principles of time study to find the standard time and using the ECRS principle to improve the galvanized air pipe process. The data are recorded in flow charts, which shows the workflow at each station. ECRS techniques improved the process, in 2 points. Comprising the assembly process, that can be divided into 6 steps. The researcher has eliminated steps, which is aligning the corners along the seams and the insulating process can be divided into 29 steps. The researchers combined the ring insertion steps in 5 steps, 12,16,20 and 24, which are combined to one step. As a result, the production process time was reduced from 48.37 minutes to 46.06 minutes and the performance to the galvanized straight duct process is 81.88%.

Keywords: Time reduction, ECRS, Straight duct

1. บทนำ

จากที่ตั้งภูมิประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ระบบปรับอากาศจึงถือว่ามีความจำเป็นอย่างมาก ทั้งในอาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงงานอุตสาหกรรม และอื่นๆ ธุรกิจในด้านการรับเหมาติดตั้งระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ (Chiller) จึงมีการเจริญเติบโตไปด้วย และมีการแข่งทางธุรกิจในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้น ทั้งในด้านคุณภาพการติดตั้ง คุณภาพวัสดุอุปกรณ์ การบริการซ่อมบำรุงหลังการขาย ซึ่งการขยายตัวและเติบโตของธุรกิจประเภทนี้เกิดจากปัจจัยหลายด้าน เช่น การลงทุนสร้างอาคารห้างสรรพสินค้า อาคารโรงพยาบาล อาคารในสถานศึกษา อาคารของทางราชการ โรงแรม เป็นต้น และมีแนวโน้มจะเติบโตเป็นไปในทิศทางที่ดี ระบบปรับอากาศและระบายอากาศขนาดใหญ่จึงเป็นอุปกรณ์จำเป็นที่จะช่วยทำให้สภาพอากาศเอื้อต่อการพักอยู่อาศัยของผู้ที่อยู่ในอาคาร จากการแข่งขันทางธุรกิจที่สูงขึ้นทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับตัว โดยเฉพาะในเรื่องของการลดต้นทุนการผลิต การผลิตสินค้าที่ได้มาตรฐาน และเพิ่มขีดความสามารถในด้านการบริการที่รวดเร็ว

จากการที่ผู้วิจัยได้เข้าไปศึกษาในสายการผลิตท่อตรงสังกะสี ดังรูปที่ 1 มาจากแผ่นสังกะสีพับขึ้นรูปเป็นรูปท่อ ซึ่งมักจะเป็นทรงสี่เหลี่ยม แล้วหุ้มทับภายนอกด้วยฉนวนใยแก้วที่มีอลูมิเนียมฟอยล์เป็นเปลือกนอก ซึ่งเป็นกลุ่มท่อที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุด พบว่าในสายการผลิตท่อตรงใช้ระยะเวลานาน และเกิดงานค้างในสายการผลิตจำนวนมาก ซึ่งปัญหาที่ก่อให้เกิดความล่าช้าในสายการผลิต คือ มีการรองานเกิดความสูญเปล่าในแต่ละสถานี และทางบริษัทไม่มีเวลามาตรฐานในสายการผลิต ดังนั้นจึงเลือกการศึกษาเวลา เพื่อหาเวลามาตรฐานและลดเวลาในสายการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและบริษัทสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตต่อไป



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ท่อตรงสังกะสี

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการ ECRS

หลักการ ECRS เป็นหลักการที่ประกอบด้วยการกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่(Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการง่ายๆ ที่สามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเปล่าลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1]

2.2 การศึกษาเวลา (Time Study)

การศึกษาเวลาการทำงาน คือ เทคนิคการวัดผลงานในรูปแบบหน่วยของเวลา โดยเป้าหมายของการศึกษาเวลาในระยะการศึกษาแรกนั้นมุ่งเน้นในการกำหนดเวลามาตรฐาน เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดค่าแรงแก่พนักงาน หรือสร้างแรงจูงใจในการทำงานด้วยการจ่ายค่าแรง แต่ต่อมามีการขยายขอบเขต และใช้ประโยชน์จากเวลามาตรฐานเพราะสามารถนำไปใช้ในการบริหารการผลิต การวางแผนการผลิต แม้กระทั่งการเปรียบเทียบวิธีการทำงานก่อน และหลังปรับปรุงก็สามารถทำได้[1]

2.3 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram:CE)

แผนผังสาเหตุและผล หรือผังก้างปลา เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจจะก่อให้เกิดปัญหานั้น(Possible Cause)

2.4 แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)

แผนภูมิกระบวนการไหลเป็นแผนภูมิอีกใบหนึ่ง ที่มีการใช้มากที่สุด แผนภูมินี้ ใช้วิเคราะห์ขั้นตอนการไหล(Flow) ของวัตถุดิบ ชิ้นส่วน พนักงานและอุปกรณ์ที่เคลื่อนไป ในกระบวนการพร้อมๆกับกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยมีสัญลักษณ์และคำบรรยายประกอบลงในแผนภูมิมาตรฐาน [1]

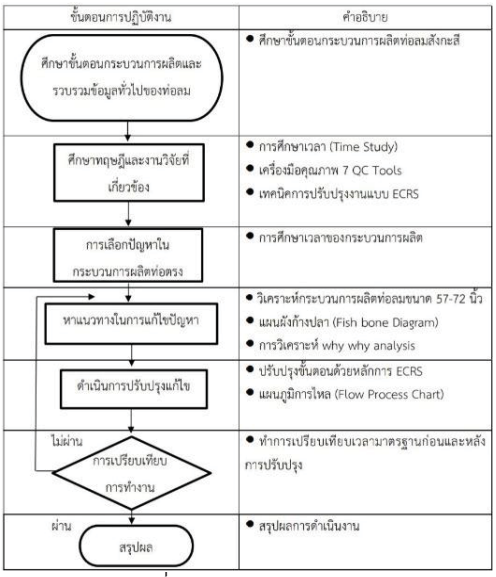
2.5 ทบทวนวรรณกรรม

[2] การลดกระบวนการรอคอยงานของเครื่องตัดกล่องกระดาษของโรงงานผลิตกล่องกระดาษ โดยการลดงานที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มของเครื่องตัดอาทิ เช่น ความสูญเปล่าเนื่องจากการรอคอยงาน ความเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและออกแบบระบบป้อนกระดาษ เพื่อลดความสูญเปล่า เพิ่มประสิทธิภาพและลดการรอคอยงานของเครื่องตัดลง ผลจากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องตัดกล่องกระดาษลูกฟูกเพิ่มขึ้น จาก 70.23 % เป็น 91.90 % ส่งผลให้ประสิทธิผลโดยรวมเฉลี่ยของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นจาก 56.48 % เป็น 82.74 % ส่งผลให้สามารถผลิตสินค้าได้เพิ่มมากขึ้น 4,725 กล่อง/วัน คิดเป็นมูลค่าเพิ่มได้ 212,625 บาท/ปี และ [5] งานวิจัยเกี่ยวกับการการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตสินค้าสีสเปรย์ มีวัตถุประสงค์ 1. เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของสภาพปัญหาการผลิตสีสเปรย์ 2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตสีสเปรย์ 3. เพื่อเปรียบเทียบผลิตภาพก่อนและหลังการปรับปรุง ประสิทธิภาพสายการผลิตสีสเปรย์ที่ 4 และ 4. เพื่อวิเคราะห์ผลด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เครื่องมือที่ใช้ในการ เก็บรวบรวมข้อมูลคือแบบบันทึกรายงานการผลิตประจำวัน หลักการเพิ่มผลผลิต การศึกษางาน การวิเคราะห์ กระบวนการแนวคิดการสูญเสีย 7 ประการ เครื่องมือควบคุมคุณภาพและหลักการ ECRS พบว่าการบรรจุสินค้าหลังจากปรับปรุงกระบวนการมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 55.05 ขั้นตอนกระบวนการบรรจุสินค้าจาก 36 ขั้นตอน ลดลง เหลือ 32 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 11.1 ระยะทางจาก 70.03 เมตร ลดลงเหลือ 51.19 เมตร

คิดเป็นร้อยละ 26.90 เวลาผลิตจาก 132.17 นาที ลดลงเหลือ 9.78 นาที คิดเป็นร้อยละ 92.60 3. การเปรียบเทียบผลิตภาพก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตสีสเปรย์ที่ 4 พบว่า หลังปรับปรุงผลิตภาพแรงงานเพิ่มขึ้น 198.39 โหลต่อชั่วโมง ผลิตภาพเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 198.39 โหลต่อชั่วโมง ผลิตภาพการใช้พื้นที่เพิ่มขึ้น 129.15 โหลต่อตารางเมตร 4. วิเคราะห์ผลด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่า เมื่อเปรียบเทียบการลงทุนอุปกรณ์ในการไล่ความชื้นมูลค่า 35,000 บาท สามารถลดต้นทุนค่าแรงในการบรรจุสินค้าได้ 10,236 บาทต่อเดือน คิดเป็น ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3 เดือน 11 วัน

3. วิธีการดำเนินงาน

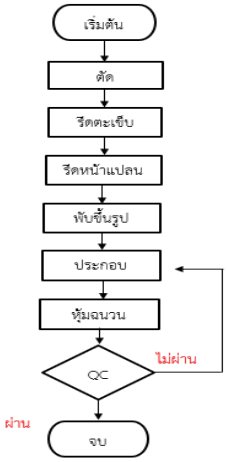
การทำวิจัยการลดเวลากระบวนการผลิตท่อลมกรณีศึกษา บริษัท 1000 ดักษ์รัตนบุรี จำกัด ได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนการดำเนินงาน

3.1 กระบวนการผลิตท่อตรงสังกะสี

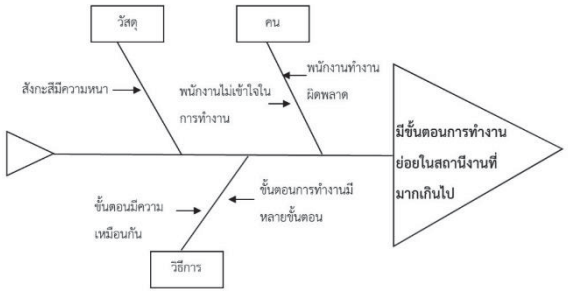
จากการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการผลิตท่อตรงสังกะสี ได้ทำการสรุปขั้นตอนการทำงานต่างๆ โดยเขียนแผนภูมิการไหลของขั้นตอนการทำงานท่อตรงปัจจุบัน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิการไหลกระบวนการผลิตท่อตรง

3.2 การวิเคราะห์และหาสาเหตุ

จากการวิเคราะห์ปัญหาระยะเวลาการผลิตมากเกินไป ที่พบในสถานีประกอบและหุ้มฉนวน โดยจะใช้แผนผังก้างปลา เพื่อหาสาเหตุหลัก สาเหตุย่อยในการเกิดปัญหา และหาแนวทางแก้ไข ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังสาเหตุและผลของปัญหา : มีขั้นตอนการทำงานในสถานีงานที่มากเกินไป

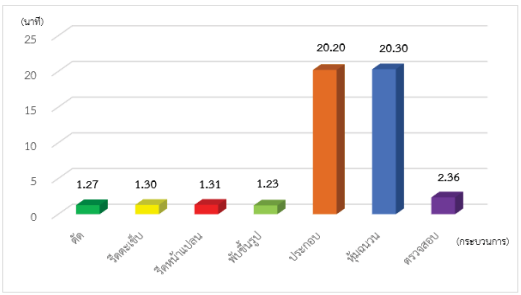
จากการวิเคราะห์สาเหตุของการมีขั้นตอนการทำงานย่อยในสถานีงานที่มากเกินไป โดยใช้แผนผังก้างปลาทั้งหมดมี 3 สาเหตุหลัก ได้แก่ คน (Man),วัสดุ (Material), และวิธีการ (Method) เพราะมีการทำงานโดยใช้คนในการปฏิบัติงาน โดยสาเหตุจากคน เกิดจากพนักงานทำงานผิดพลาดที่พนักงานเกิดความสับสนในวิธีการทำงาน จึงทำให้เพิ่มขั้นตอนในการแก้ไขชิ้นงาน ส่วนวัสดุ เกิดจากสังกะสีมีความหนา ทำให้เกิดการทุบหลายครั้งส่งผลให้เกิดงานเพิ่มในสถานีงาน และส่วนของวิธีการนั้นเกิดจากขั้นตอนการทำงานที่เยอะ จึงส่งผลให้มีขั้นตอนการทำงานย่อยในสถานีงานที่มากเกินไปดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เสนอทำการปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงานโดยใช้หลักการ ECRS

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การปรับปรุงในกระบวนการผลิตท่อตรง

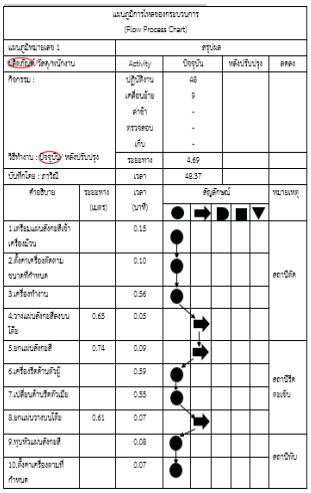
4.1.1 การศึกษาเวลา

จากการที่ได้ศึกษากระบวนการผลิตท่อตรง และได้เก็บรวบรวมข้อมูลเวลา ณ ปัจจุบัน พบว่าสถานีประกอบและหุ้มฉนวนมีระยะเวลานานในการผลิต ดังรูปที่ 5

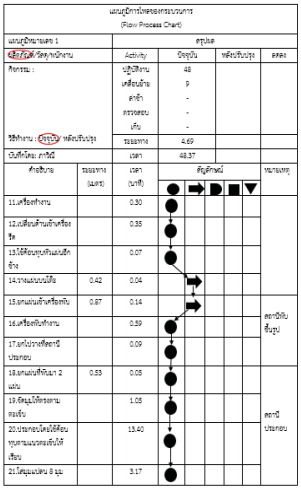


รูปที่ 5 แผนภูมิเวลาในกระบวนการผลิต

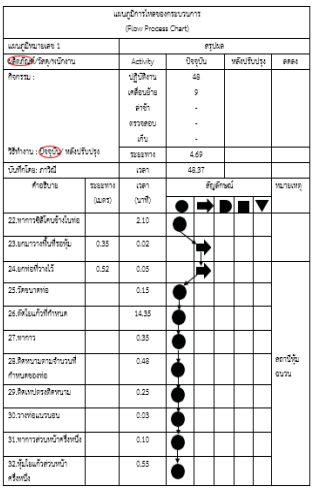
4.1.2 สภาพกระบวนการผลิตท่อตรง 57-72 นิ้ว



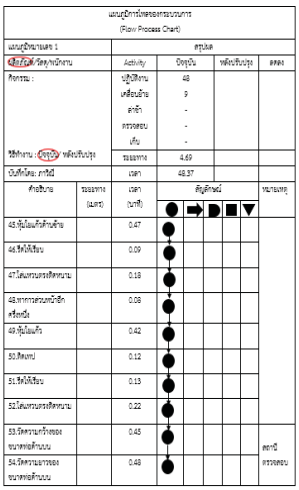
(ก)



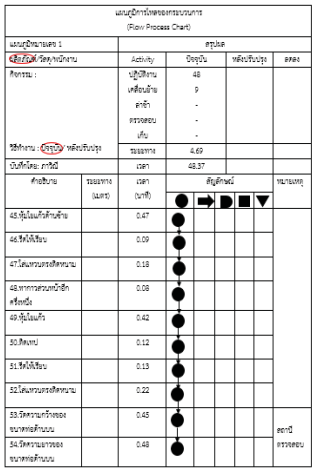
(ข)



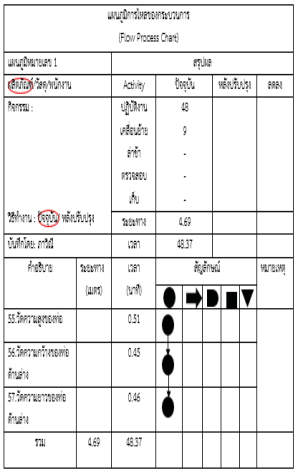
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 6 **ก.- ฉ.** แผนภูมิการไหลกระบวนการผลิตท่อตรง 57-72 นิ้ว

4.1.3 การคำนวณเวลามาตรฐาน

ผู้วิจัยได้จับเวลามา 10 ครั้ง โดยคิดได้ 3 ค่า ได้แก่ เวลาเฉลี่ย เวลาเผื่อ และเวลามาตรฐานของแต่ละกระบวนการผลิต โดยได้คิดเวลามาตรฐานจากการนำค่าเวลาเฉลี่ยพนักงานทุกคนในแต่ละสถานีมาคูณกับค่า Rating และเวลาเผื่อ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลามาตรฐานท่อตรงขนาด 57-72 นิ้ว

สถานี	เวลาเฉลี่ย (นาที)	Rating (เปอร์เซ็นต์)	เวลาเผื่อ (เปอร์เซ็นต์)	เวลามาตรฐาน (นาที)
ตัด	1.14	100%	11%	1.27
รีดตะเข็บ	1.17	100%	11%	1.30
รีดหน้าแปลน	1.18	100%	11%	1.31
ทับขึ้นรูป	1.11	100%	11%	1.23
ประกอบ	18.20	100%	11%	20.20
หุ้มฉนวน	18.29	100%	11%	20.30
ตรวจสอบ	2.12	100%	11%	2.36
รวม	43.21	100%	11%	48.37

จากตารางที่ ก-1 เป็นเวลามาตรฐานในแต่ละกระบวนการผลิตท่อตรงที่ได้จับเวลาท่อขนาดตั้งแต่ 57-72 นิ้ว ซึ่งมีสูตรการคำนวณหาเวลามาตรฐานดังนี้ Std = NT (1 +A) (1)

ผู้วิจัยได้นำหลักการ ECRS เข้ามาช่วยในการกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นในสถานีประกอบและหุ้มฉนวน ที่ส่งผลให้สถานีมีระยะเวลาการผลิตนาน โดยได้นำหลักการมาใช้และดำเนินกระบวนการ ดังต่อไปนี้

กระบวนการที่ 1 คือ ดำเนินการปรับปรุงสถานีประกอบ

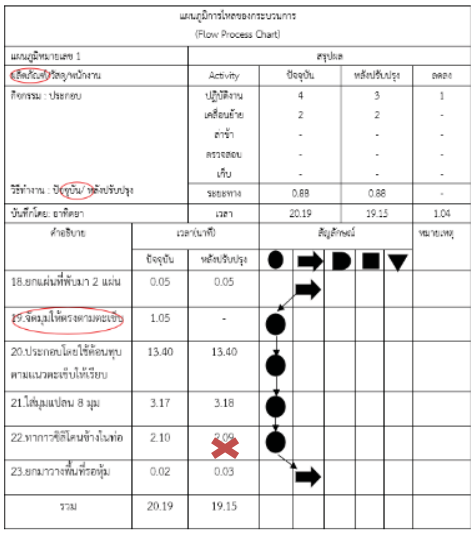
E – ขจัดขั้นตอนการทำงานในการจัดมุมตามตะเข็บ

กระบวนการที่ 2 คือ ดำเนินการปรับปรุงสถานีหุ้มฉนวน

C – การรวมขั้นตอนการใส่แหวนเข้าด้วยกัน เพราะการใส่แหวนสามารถทำขั้นตอนสุดท้ายของการหุ้มฉนวนได้

4.1.4 สภาพการทำงานก่อนและหลังการปรับปรุง (ในการปรับปรุงกระบวนการที่ 1)

ผู้วิจัยใช้วิธีการขจัดขั้นตอนการทำงานในการจัดมุมตามตะเข็บเนื่องจากการประกอบ โดยใช้ค้อนทุบตามแนวตะเข็บก็สามารถตรวจสอบการจัดมุมตามตะเข็บเหมือนกัน จึงได้ลดวิธีการทำงานลง รูปที่ 7



แผนภูมิการไหลของกระบวนการ (Flow Process Chart)

แผนภูมิหมายเลข 1		สรุปผล			
ผลิตภัณฑ์/วัสดุ/พนักงาน		Activity	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง
กิจกรรม : ประกอบ		ปฏิบัติงาน	4	3	1
		เคลื่อนย้าย	2	2	-
		ล่าช้า	-	-	-
		ตรวจสอบ	-	-	-
		เก็บ	-	-	-
วิธีทำงาน : ปัจจุบัน/ หลังปรับปรุง		ระยะทาง	0.88	0.88	-
บันทึกโดย: อาทิตยา		เวลา	20.19	19.15	1.04

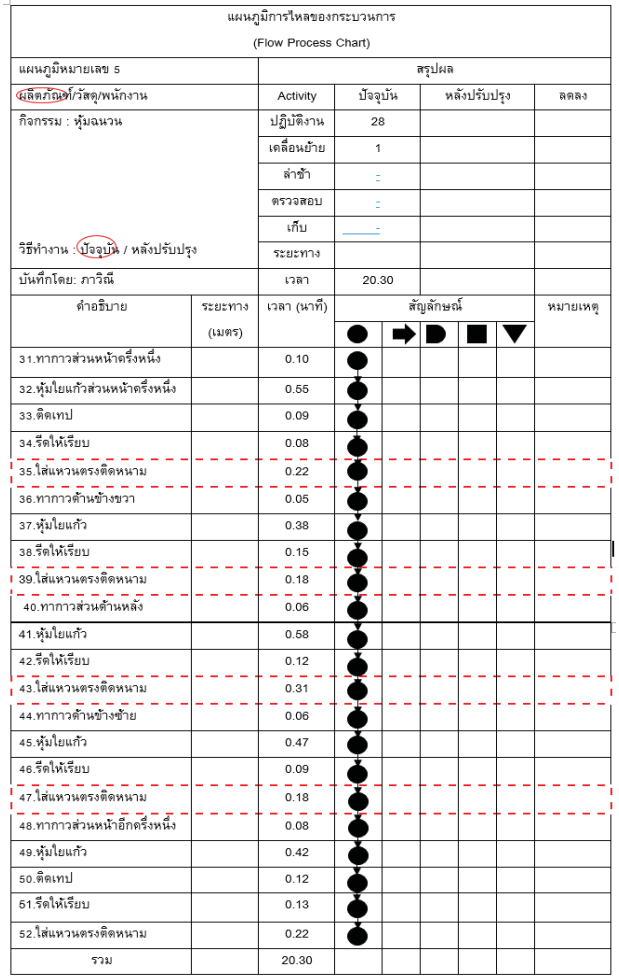
คำอธิบาย	เวลา(นาที)		สัญลักษณ์					หมายเหตุ
	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง						
18.ยกแผ่นที่พับมา 2 แผ่น	0.05	0.05						
19.จัดมุมให้ตรงตามตะเข็บ	1.05	-						
20.ประกอบโดยใช้ค้อนทุบตามแนวตะเข็บให้เรียบ	13.40	13.40						
21.ใส่มุมแปลน 8 มุม	3.17	3.18						
22.ทากาวซิลิโคนข้างในท่อ	2.10	2.09						
23.ยกวางพื้นที่รอหุ้ม	0.02	0.03						
รวม	20.19	19.15						

รูปที่ 7 แผนภูมิการไหลสถานีประกอบ

จากรูปที่ 7 สถานีประกอบหลังปรับปรุงที่ได้ขจัดวิธีการทำงานจัดมุมให้ตรงตะเข็บออก เริ่มการทำงาน จากการยกแผ่นที่พับมา 2 แผ่น ใช้เวลา 0.05 นาที ประกอบโดยใช้ค้อนทุบตามแนวตะเข็บให้เรียบ ใช้เวลา 13.40 นาที วิธีการนี้มีเวลาเพิ่มขึ้นในส่วนตรวจความเรียบร้อย เพราะผู้วิจัยได้เพิ่มให้พนักงานดูความเรียบร้อยแทนการจัดมุมที่ได้ขจัดออกไป ใส่มุมแปลน 8 มุม ใช้เวลา 3.18 นาที ทากาวซิลิโคน ใช้เวลา 2.09 นาที ยกวาง ใช้เวลา 0.03 นาที ดังนั้นเวลาที่ใช้ในหนึ่งรอบกระบวนการ เท่ากับ 19.15 นาที จากเดิม เท่ากับ 20.20 นาที เวลาลดลง เท่ากับ 1.05 นาที และขั้นตอนการทำงานลดลงจากเดิมมี 6 ขั้นตอน เหลือ 5 ขั้นตอน

4.1.5 สภาพการทำงานก่อนและหลังการปรับปรุง (ในการปรับปรุงกระบวนการที่ 2)

ผู้วิจัยได้ใช้วิธีปรับปรุงวิธีการทำงาน เนื่องจากการใส่แหวนเป็นวิธีการยึดติดหุ้มใยแก้วกับท่อ ที่สามารถรวบขั้นตอนการใส่ของแต่ละด้านของท่อจากเดิมต้องทำ 5 รอบ ให้เหลือแค่ 1 รอบ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำงาน ลดขั้นตอนการทำงานที่ 35,39,43 และ 47 ดังรูปที่ 8



แผนภูมิการไหลของกระบวนการ (Flow Process Chart)

แผนภูมิหมายเลข 5		สรุปผล			
ผลิตภัณฑ์/วัสดุ/พนักงาน		Activity	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง
กิจกรรม : หุ้มฉนวน		ปฏิบัติงาน	28		
		เคลื่อนย้าย	1		
		ล่าช้า	-		
		ตรวจสอบ	-		
		เก็บ	-		
วิธีทำงาน : ปัจจุบัน / หลังปรับปรุง		ระยะทาง			
บันทึกโดย: ภาวิณี		เวลา	20.30		

คำอธิบาย	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
31.ทากาวส่วนหน้าครึ่งหนึ่ง		0.10						
32.หุ้มใยแก้วส่วนหน้าครึ่งหนึ่ง		0.55						
33.ติดเทป		0.09						
34.รีดให้เรียบ		0.08						
35.ใส่แหวนตรงติดหนาม		0.22						
36.ทากาวด้านข้างขวา		0.05						
37.หุ้มใยแก้ว		0.38						
38.รีดให้เรียบ		0.15						
39.ใส่แหวนตรงติดหนาม		0.18						
40.ทากาวส่วนด้านหลัง		0.06						
41.หุ้มใยแก้ว		0.58						
42.รีดให้เรียบ		0.12						
43.ใส่แหวนตรงติดหนาม		0.31						
44.ทากาวด้านข้างซ้าย		0.06						
45.หุ้มใยแก้ว		0.47						
46.รีดให้เรียบ		0.09						
47.ใส่แหวนตรงติดหนาม		0.18						
48.ทากาวส่วนหน้าอีกครึ่งหนึ่ง		0.08						
49.หุ้มใยแก้ว		0.42						
50.ติดเทป		0.12						
51.รีดให้เรียบ		0.13						
52.ใส่แหวนตรงติดหนาม		0.22						
รวม		20.30						

รูปที่ 8 แผนภูมิการไหลของสถานีหุ้มฉนวน

จากรูปที่ 8 หลังการปรับปรุงสถานีหุ้มฉนวน มีระยะเวลาลดลงจากเดิม 20.30 นาที เหลือ 19.44 นาที และสามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 29 ขั้นตอน เหลือ 25 ขั้นตอน

4.2 การเปรียบเทียบเวลาในกระบวนการผลิต

การเปรียบเทียบเวลาก่อนและหลังปรับปรุง พบว่าขั้นตอนหลังการปรับปรุงมีเวลาลดลงในขั้นตอนประกอบ และหุ้มฉนวน โดยขั้นตอนตัดมีเวลามาตรฐานเท่ากับ 1.27 นาที รีดตะเข็บ มีเวลา 1.30 นาที รีดหน้าแปลน มีเวลา 1.31 นาที พับขึ้นรูป มีเวลา 1.23 นาที ประกอบ มีเวลา 19.15 นาที หุ้มฉนวน มีเวลา 19.44 นาที ตรวจสอบ มีเวลา 2.36 นาที ทำให้สามารถลดเวลาของกระบวนการผลิตท่อตรงได้ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ข้อมูลเปรียบเทียบเวลาก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการหาประสิทธิภาพของเวลาในการผลิตปัจจุบัน เวลาการทำงานทั้งหมดคือ 450 นาที มาจากการพักกลางวัน 60 นาที และการทำความสะอาดก่อนทำงาน 30 นาที เวลามาตรฐานคือ 48.37 นาที และใน 1 วัน โรงงานผลิตชิ้นงานได้ 7 ชิ้นต่อวัน จากการคำนวณแล้วได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 75.27% และการหาประสิทธิภาพของเวลาในการผลิตหลังการปรับปรุง พบว่าโรงงานผลิตชิ้นงานได้ 8 ชิ้นต่อวัน ซึ่งปกติโรงงานมีคำสั่งซื้อประมาณ 20 ชิ้นต่อครั้ง ก่อนปรับปรุงโรงงานใช้เวลา 3 วันในการผลิตชิ้นงาน หลังปรับปรุงสามารถใช้เวลา 2 วันครึ่งในการผลิต จากการปรับปรุงสามารถลดชั่วโมงในการผลิตและสามารถลดค่าแรงพนักงานได้ประมาณ 3,000 บาทต่อการสั่งซื้อ ซึ่งเวลามาตรฐานหลังการปรับปรุงคือ 46.06 นาที เวลาการทำงานทั้งหมดคือ 450 นาที จากการคำนวณแล้วได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 81.88%

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาทางผู้วิจัยพบว่าปัญหาในกระบวนการผลิตท่อลม คือ กระบวนการผลิตท่อตรงมีระยะเวลานาน และทางบริษัทไม่มีเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิต อาศัยความเคยชินและประมาณเวลาในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยจึงได้ทำการหาเวลามาตรฐาน เพื่อทางบริษัทจะได้นำเวลามาตรฐานไปช่วยในเรื่องการวางแผนการผลิต และยังช่วยในเรื่องลดเวลาในกระบวนการผลิต ซึ่งได้ทำการเก็บเวลาในกระบวนการผลิตท่อตรงสังกะสีขนาด 57-72 นิ้ว เป็นขนาดท่อที่มีการสั่งซื้อมากที่สุด โดยใช้แนวคิดการศึกษาเวลา แผนผังก้างปลา แผนภูมิการไหล ปัญหาที่พบมีขั้นตอนการทำงานที่มากเกินความจำเป็น ขั้นตอนการทำงานใช้เวลานาน ทางผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขโดยหลักการ ECRS เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไข โดย E ใช้ขจัดขั้นตอนการทำงานในการจัดมุมตามตะเข็บ ในสถานีประกอบ และ C ใช้รวมขั้นตอนการใส่แหวนตรงติดหนามเข้าด้วยกัน เพราะการใส่แหวนสามารถทำขั้นตอนสุดท้ายของการหุ้มฉนวนได้ เพื่อเป็นการลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตของท่อตรงสังกะสี ได้มีการเปรียบเทียบเวลาก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อให้เห็นความแตกต่างของเวลาในกระบวนการผลิต ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการแก้ไขก่อนและหลังการปรับปรุง

ตัวชี้วัด	ก่อนปรับปรุง (นาที)	หลังปรับปรุง (นาที)	ผลสรุป
เวลาค่าเฉลี่ย	43.21	41.50	2.11
เวลามาตรฐาน	48.37	46.06	2.31

จากตารางที่ 2 การใช้หลักการ ECRS เข้ามาช่วยแก้ไขขั้นตอนการทำงานในสถานีประกอบและหุ้มฉนวนที่ใช้เวลามาก ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีระยะเวลานาน ซึ่งหลังการปรับปรุงพบว่าเวลาเฉลี่ยลดลง 2.11 นาที และเวลามาตรฐานลดลง 2.31 นาที ถึงแม้เวลาลดลงไม่มากแต่ขั้นตอนในการทำงานน้อยลงและง่ายขึ้น โดยมีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อนและมีวิธีการทำงานในสถานีลดลง เนื่องจากมีการลดขั้นตอนการทำงานและรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกัน อธิบายได้ด้วยขั้นตอนการทำงานในสถานีประกอบและหุ้มฉนวน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บริษัท 1000 ดักษ์รัตนบุรี จำกัด ที่สนับสนุนและให้ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. (2552). การศึกษางานอุตสาหกรรม ,พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, กรุงเทพฯ.

[2] ณัฐยศ สมชำนุ.(2555). การลดกระบวนการรอคอยงานในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษ, ภาควิชาการจัดการทางวิศวกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

[3] มงคล เหล่าวราพันธุ์ และลินดา นาคโปย. (2561). การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตสินค้าสีสเปรย์, สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์.

การลดของเสียในแผนกตอกไข่สด โดยการประยุกต์แนวคิด ซิกส์ ซิกมา กรณีศึกษา บริษัทแปรรูปไข่ไก่

Reducing waste in the egg cracking department with Six-Sigma in a chicken egg processing company

กมลลักษณ์ ศรีอยู่ยงค์[1] ณบสรรค์ อรุณอาศิรกุล[1] พุทธิพร เล็กขาว[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
E-mail: Puttiporn.leg@rmutr.ac.th*

Kamonluk Sriyouyong[1] Nopson Arunarsirakul[1] Puttiporn Legkhow[1*]
[1]Department of Industrial Engineering and, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: Puttiporn.leg@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อร้องเรียนจากลูกค้า จากการรวบรวมข้อมูลสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในแผนกตอกไข่สด โดยใช้แผนภูมิ พาเรโตทำการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อเลือกปัญหา (Define) พบว่า ปัญหาที่ส่งผลให้เกิดของเสียถึง 90.1% จากของเสียทั้งหมดมีอยู่ด้วยกัน 2 ปัญหาคือ ปัญหาเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์ และปัญหาไข่แดงแตก ต่อมาทำการวัดผล (Measure) เพื่อวัดประสิทธิภาพของพนักงานวัด ในการคัดของเสีย โดยทำการวิเคราะห์ ดังนี้ 1. การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด 2. การประเมินการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของพนักงานวัดพบว่าพนักงานทั้ง 3 คน ผ่านเกณฑ์การยอมรับของโรงงานที่ 80% ในทั้งสองการประเมิน ต่อมาทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) ด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล และทำการประเมินความเสี่ยงด้วย (RPN) พบว่าสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลให้เกิดของเสียและมีค่าระดับความเสี่ยงสูงทั้งหมดมีอยู่ด้วยกัน 4 ปัญหาคือ 1. ระยะทางรางชะลอไข่ 2. ช่องว่างระหว่างรางชะลอไข่ 3. ปากทางเข้ารางชะลอไข่ 4. จุดคัดของเสียในกระบวนการผลิต ต่อมาทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve) ดังนี้ 1. เพิ่มรางชะลอไข่ 1 ราง 2. ปิดช่องว่างปรับการไหลของไข่ 3. ลบคมรางชะลอไข่ 4. เพิ่มจุดตรวจสอบของพนักงาน และขั้นตอนสุดท้ายคือ การควบคุม (Control) โดยใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) และสร้างคู่มือการปฏิบัติงาน(WI) ของแผนกตอกไข่สด โดยผลหลังจากการปรับปรุงด้วยกระบวนการ DMAIC ทำให้มีปริมาณของเสียลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง โดยปัญหาเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์ลดลง 9.73% ไข่แดงแตกลดลง 3.8% และจุดเลือดลดลง 1.29% ซึ่งส่งผลให้สามารถลดข้อร้องเรียนในแผนกตอกไข่สดได้

คาสาคัญ: ซิกส์ ซิกมา, การประเมินความเสี่ยง, แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย

Abstract

The objective of this research is to reduce complaints from customers. Collecting information about the problems in the egg pounding department using the Pareto chart. Problem analysis to select problems (Define). There were two problems that resulted in 90.1% of the total waste: the eggshell was mixed in the product and the cracked yolk problem. Next, measurement was to represent the efficiency of the measuring staff in sorting waste. The analysis, consisting of an analysis of the preciseness and accuracy of the measurement system and an assessment of the consensus analysis of the measuring staff, found that all three employees passed the factory criteria of 80% in both assessments. Then, diagnose the cause of the problem (Analyze) with a cause-and-effect diagram and a risk assessment (RPN) that finds the cause of the problem,which affects high-risk levels. That was 4 problems. First, the distance of the egg trough Second, the gap between the egg troughs Third, the entrance to the egg trough Fourth, the waste sorting point in the production process. After that, improvement in the process (Improve) as follows: 1. Adding an egg retarding chute 2. Close the gap to adjust the egg flow 3. Chamfer the edge of the egg trough 4. Include a checkpoint to confirm waste Lastly, step control, that ratio of waste was controlled by p-chart and created a work instruction (WI) for the fresh egg hatching department. As a result, after the improvement by the DMAIC process, it was found that the amount of waste was reduced compared to before the improvement. The actually problem was decreased

by 9.73%, the yolk cracked decreased by 3.8%, and blood point decreased by 1.29%, which resulted in a reduction in complaints in the fresh egg department.

Keywords: Six sigma, Risk priority number, P-chat

1. บทนำ

บริษัทแปรรูปไข่ไก่แห่งหนึ่ง มีผลิตภัณฑ์จากไข่หลากหลายชนิด อาทิเช่น ไข่ไก่สด ไข่ไก่ต้ม ไข่เป็ดสด ไข่เค็ม ไข่พะโล้ ทาร์ตไข่ ไข่เยี่ยวม้า ไส้กรอกไข่ เต้าหู้ไข่ไก่ ไข่แดงเค็ม เป็นต้น ภายในโรงงานมีแผนกการผลิตผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่หลายแผนกอาทิเช่น แผนกตอกไข่สด แผนกไข่ต้ม แผนกเต้าหู้ไข่ เป็นต้น ถึงแม้ผู้ประกอบการมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่กระบวนการผลิตยังคงมีความสูญเสียเกิดขึ้น ทางผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษาและวิเคราะห์ภายในกระบวนการผลิต ในแผนกตอกไข่สด พบว่าในแผนกดังกล่าวมีการส่งของเสียออกไปยังลูกค้า และมีการตีกลับของของเสีย ส่งผลให้ความเชื่อมั่นของลูกค้าลดลง และสูญเสียค่าใช้จ่ายตามของเสียที่ลูกค้าตีกลับมาอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณข้อร้องเรียนของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ของแผนกตอกไข่สด โดยได้ทำการศึกษากระบวนการในแผนกตอกไข่สด เบื้องต้นพบว่า ปัญหาของเสียที่เกิดจากข้อร้องเรียนคือ พบเศษเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์ ไข่แดงแตก จุดเลือดและอื่น ๆ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับคุณภาพของไข่ไก่

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กำหนดคุณภาพไข่ไก่ทุกชั้นคุณภาพต้องมีมาตรฐานไข่สดของประเทศไทย H.U. เท่ากับ 72 ขึ้นไป ไข่ที่ออกจากแม่ไก่ใหม่ๆ จะมีความสดใหม่และมีระดับคุณภาพอยู่ในเกรด AA แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่า H.U. จะลดลงตามระยะเวลาและ อุณหภูมิการเก็บรักษา ระดับคุณภาพอยู่ในเกรด A มีค่า H.U. เท่ากับ 60-71.9 ระดับคุณภาพอยู่ในเกรด B มีค่า H.U. เท่ากับ 31-59.9 และระดับคุณภาพอยู่ในเกรด C มีค่า H.U. เท่ากับ ต่ำกว่า 30 [3]

2.2 ซิกส์ ซิกมา

ซิกส์ ซิกมา เป็นการบริหารที่เกิดขึ้นโดยกลุ่มวิศวกรของบริษัทโมโตโรล่า นำมาใช้กับการออกแบบผลิตภัณฑ์จนประสบความสำเร็จ และสามารถลดค่าใช้จ่ายของบริษัทได้อย่างมาก ซึ่งความหมายของ ซิกส์ ซิกมานั้นมีสองทาง คือ ในเชิงทฤษฎีหมายถึง ความพยายามในการลดความแปรปรวนกระบวนการ ให้ตกอยู่ภายในขีดจำกัดของข้อกำหนดด้านคุณภาพ และยอมรับให้มีของเสียได้ไม่เกิน 3.4 ครั้งใน 1 ล้านครั้ง (ppm) ส่วนในเชิงปฏิบัติ คือ การใช้หลักสถิติในการปรับปรุงกระบวนการ โดยใช้ควบคู่กับการบริหารโครงการและเน้นผลสำเร็จด้านการลดต้นทุนจากการดำเนินโครงการ [7]

กระบวนการมาตรฐานของซิกส์ ซิกมา ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนสำคัญ คือ

1. การกำหนดขอบเขตของปัญหา (Define Phase) คือ การกำหนดปัญหาและเป้าหมายอย่างชัดเจน

2. การวัดและรวบรวมข้อมูล (Measure Phase) คือ การวัดความสามารถของกระบวนการที่เป็นจริงในปัจจุบัน

3. การวิเคราะห์ (Analyze Phase) คือ การวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อระบุสาเหตุหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อปัญหา และการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ (FMEA) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องโดยการประเมินค่าความเสี่ยงชี้นำ (RPN) ของแต่ละสาเหตุ ซึ่งพิจารณาจากความรุนแรง (Severity) โอกาสที่จะเกิด (Occurrence) และความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่องนั้น ๆ (Detection) หลังจากนั้น ทำการปรับปรุงแก้ไขสาเหตุที่มีค่า RPN สูงเป็นอันดับแรกเนื่องจากเป็นสาเหตุที่มีผลกระทบสูงที่สุด [11]

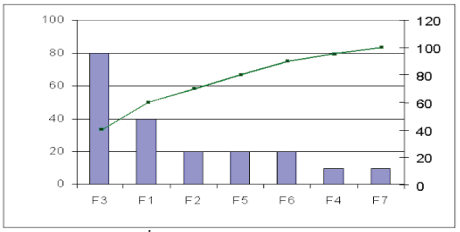
4. การปรับปรุง (Improve Phase) คือ การปรับตั้งค่าสาเหตุหลักโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง

5. การควบคุม (Control Phase) คือ การออกแบบระบบควบคุมคุณภาพของกระบวนการ ลักษณะของแผนภูมิควบคุม โดยปกติแล้วแผนภูมิควบคุมจะประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ ขีดจำกัดควบคุมบน (UCL) ขีดจำกัดควบคุมล่าง (LCL) และเส้นกลาง (CL) ระยะห่างจากเส้นกลางถึงขีดจำกัดควบคุมบนจะเท่ากับระยะห่างจากเส้นกลางถึงขีดจำกัดควบคุมล่าง คือเท่ากับ 3 ซิกมา

2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)

1. แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram)

เป็นกราฟแท่งซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุกับปริมาณ โดยหลักการของ พาเรโต ช่วยจัดลำดับความสำคัญตามกฎ 80/20 ทำให้จัดลำดับความรุนแรงของปัญหา นอกจากนั้นยังแสดงถึงการตรวจพบปัญหา และความถี่ของการเกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน ในการใช้แผนภูมิเพื่อเลือกแก้ปัญหา อาจเลือกแก้ปัญหาที่สำคัญที่สุดหรือลำดับรองลงมาก็ได้ตามความเหมาะสมเพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์มากที่สุด ดังรูปที่ 1



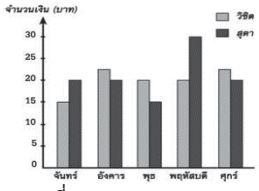
รูปที่ 1 แผนผังพาเรโต [8]

2. แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์อย่างมีระบบ ระหว่างผลที่แน่นอนประการหนึ่งกับสาเหตุที่เกี่ยวข้อง ในการจัดลำดับและความสัมพันธ์ของสาเหตุปัญหา ในภาพของสมมติฐานของสาเหตุที่ได้มาจากการระดมสมอง ซึ่งจะช่วยให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการแยกแยะตรวจสอบสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น

3. กราฟ (Graph)

แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขหรือข้อมูลทางสถิติที่ใช้ เมื่อต้องการนำเสนอข้อมูลและวิเคราะห์ผลของข้อมูลดังกล่าว เพื่อทำให้ง่ายและรวดเร็วต่อการทำความเข้าใจ ดังรูปที่ 2 กราฟแท่งแสดงถึงการเปรียบเทียบ ปริมาณของประเภทข้อมูล ตามแกน x



รูปที่ 2 กราฟแท่ง [8]

2.4 แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)

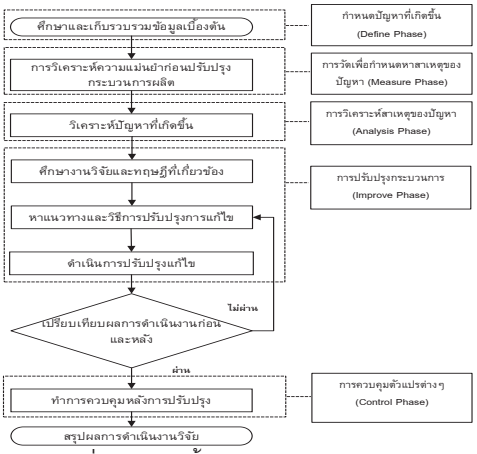
แผนภูมินี้ใช้วิเคราะห์ขั้นตอนการไหล (Flow) ของวัตถุดิบ ชิ้นส่วน พนักงาน และอุปกรณ์ที่เคลื่อนไปในกระบวนการพร้อม ๆ กับกิจกรรมต่าง ๆ โดยใช้สัญลักษณ์มาตรฐาน 5 ตัว [14]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนติ วัชระโชติพิมาย (2554) [5] ได้เสนอแนวทางในการลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้หลักการซิกส์ ซิกมา มาลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตกระเจี๊ยบเขียวหั่นแช่แข็ง ปัญหาตัดหัวท้ายกินเนื้อชิ้นงาน และปัญหาตัดชิ้นงานเฉียงและแตกหักผลหลังจากการปรับปรุงพบว่า ผลผลิตสุทธิของกระบวนการตัดหัวท้ายกินเนื้อชิ้นงานเพิ่มขึ้นจาก 65.73 เปอร์เซ็นต์ เป็น 77.08 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลผลิตสุทธิของกระบวนการตัดชิ้นงานเฉียงและแตกหักเพิ่มขึ้นจาก 87.27 เปอร์เซ็นต์ เป็น 95.34 เปอร์เซ็นต์และชมพูนุท เติมสายทอง (2554) [6] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นสำหรับโครงและหลังคาเหล็กรถกระบะ ด้วยหลักการซิกส์ซิกมา พบว่า มีสัดส่วนของเสีย เท่ากับ 71.80% และ 77.11% ตามลำดับ หลังจากการปรับปรุงสามารถลดสัดส่วนของเสีย เหลือ 20% และ 11%

3. วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังรูปที่ 3



รูปที่ **3** แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 การกำหนดขอบเขตของปัญหา (Define Phase)

ในขั้นตอนนี้ของงานวิจัย เป็นการศึกษาปัญหาแผนกตอกไข่สดของโรงงาน เพื่อกำหนดและสร้างผังกระบวนการดำเนินงาน โดยประกอบด้วยรายละเอียดในการดำเนินงานศึกษา ได้แก่ การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบันของโรงงาน ศึกษากระบวนผลิตในแผนกตอกไข่สด ศึกษาปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในแผนกตอกไข่สด และศึกษาเกณฑ์การยอมรับของเสียของลูกค้า เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละกระบวนการ

3.1.2 การกาหนดและประเมินการวัดผล (Measure)

ในขั้นตอนนี้ จะทำการวิเคราะห์วัดความสามารถในการคัดแยกของเสียของพนักงานในแผนกตอกไข่สด โดยทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) คือ การวิเคราะห์เพื่อดูว่าพนักงานตรวจสอบคัดแยกของเสียได้ถูกต้องตามเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ หรือเทียบกับพนักงานตรวจสอบคัดแยกของเสียคนอื่นได้ผลเหมือนกันหรือไม่ (ผ่านหรือไม่ผ่าน) ซึ่งเป็นข้อมูลประเภทการนับ (Attribute Data) โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลกำหนดเฉพาะ ซึ่งทำทั้งการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่

3.1.3 การวิเคราะห์ปัญหา (Analysis)

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหากระบวนการผลิต แผนกตอกไข่สด ได้แก่ ปัญหาเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์ ไข่แดงแตก จุดเลือด และอื่น ๆ โดยเริ่มจากการระดมสมองกับทีมงาน แล้วสร้างแผนผังเหตุและผล เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น ต่อมาจึงทำการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดร่วมกับหัวหน้าแผนก กระบวนการผลิต โดยการวิเคราะห์ด้วย ตัวเลขระดับความเสี่ยง (RPN) หาสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด

3.1.4 การปรับปรุงกระบวนการ (Improve)

ขั้นตอนนี้จะเป็นการใช้ผลจากการวิเคราะห์การประเมิน ตัวเลขระดับความเสี่ยง (RPN) ดำเนินการหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยใช้แผนผังกระบวนการไหล (Flow Process Chart) ติดตามความเปลี่ยนแปลงภายในกระบวนการ ระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงอย่างละเอียด แล้วจึงจะเข้าสู่ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการต่อไป

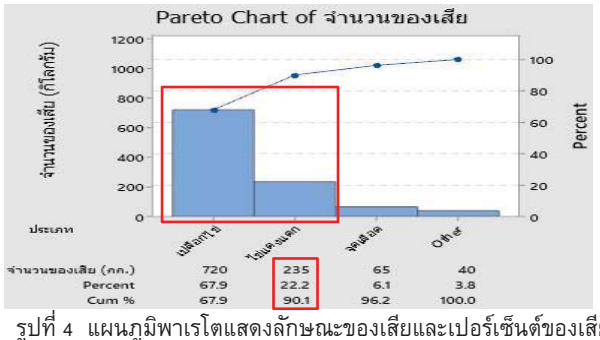
3.1.5 การควบคุม (Control)

ขั้นตอนสุดท้ายในการควบคุมปัจจัยหลัก โดยทำการควบคุมระบบการทำงาน และตรวจติดตามปัญหาอย่างต่อเนื่อง เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำอีก จากนั้นจึงเลือกแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (P-Chart) ควบคุมสัดส่วนของเสีย สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา และจัดทำแนวทางในการปฏิบัติงานของพนักงาน โดยสร้างคู่มือปฏิบัติงานเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำอีก และควบคุมผลลัพธ์จากการปรับปรุงกระบวนการทำงาน ให้สามารถรักษาผลลัพธ์ที่ได้อย่างยั่งยืน สำหรับโรงงานต่อไป

4. ผลการดำเนินการและการวิเคราะห์

4.1 ขั้นตอนการเลือกปัญหา (Define Phase)

จากการศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในแผนกตอกไข่สด โดยการรวบรวมข้อมูลของเสียจากข้อร้องเรียนของลูกค้า ด้วยการจำแนกตามลักษณะของเสีย แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียได้ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภูมิพาเรโตแสดงลักษณะของเสียและเปอร์เซ็นต์ของเสีย เดือนสิงหาคม และ กันยายน พ.ศ. 2563

จากรูปที่ 4 ตามหลักการพาเรโตที่ 80:20 พบว่า มีอยู่ 2 ปัญหา คือ ปัญหาเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์และปัญหาไข่แดงแตก โดยมีปริมาณของเสียเฉลี่ยรวมกันถึง 90.1% ของการเกิดของเสียทั้งหมด

4.2 ขั้นตอนการวัด (Measure phase)

4.2.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด

การเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ดูว่าพนักงานวัดสามารถจำแนกข้อมูลนั้นได้ตามหมวดหมู่ได้ถูกต้องตามเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ เริ่มจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis)เพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ข้อมูลประกอบด้วย

1. การวิเคราะห์ระบบการวัดของเสียในแผนกตอกไข่สด

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ระบบการวัดของเสียในแผนกตอกไข่สด

เปอร์เซ็นต์ดัชนี	พนักงานคนที่ 1	พนักงานคนที่ 2	พนักงานคนที่ 3
ความสามารถของการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน (Within Appraisers)	100	100	91.67
ความไม่ไบอัสของพนักงานแต่ละคน (Each Appraisers VS Standard)	91.67	91.67	83.33
ประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (Between Appraisers)	91.67		
ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ (All Appraisers VS Standard)	88.33		

จากตารางที่ 1 จะทำการวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบ 3 คน ทำซ้ำ 2 ครั้ง ในการคัดเลือกของเสีย คือ ปัญหาเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์และไข่แดงแตก พบว่าพนักงานทั้ง 3 คน ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบของโรงงานที่ 80%

2. การวิเคราะห์ค่าดัชนีความเห็นพ้องของระบบการวัด

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีความเห็นพ้องของระบบวัด

เปอร์เซ็นต์ดัชนี	พนักงานคนที่ 1	พนักงานคนที่ 2	พนักงานคนที่ 3
ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานตรวจสอบ	100	95.83	95.83
ความไม่แตกต่างของพนักงานตรวจสอบ	100	91.67	91.67
ด้านประสิทธิผลด้านความสามารถในการทำซ้ำ	97.22		
ค่าประสิทธิผลความไม่แตกต่างของการตรวจสอบ	94.44		

จากตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ค่าแอตทริบิวต์ ของพนักงานทั้ง 3 คนอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (มากกว่าหรือเท่ากับ 80%) ดัชนีประสิทธิผล (O_E) ของพนักงานทั้ง 3 คน อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้อัตราการปฏิเสธอย่างผิดพลาด (I_{FA}) พนักงานคนที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และ อัตราการยอมรับที่ผิดพลาด (I_{MISS}) ของพนักงานทั้ง 3 คน อยู่เกณฑ์ยอมรับได้ อัตราการปฏิเสธอย่างผิดพลาด (I_{FA}) พนักงาน 2 และ 3 คน อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ควรมีการปรับปรุง)

3. การวิเคราะห์ประสิทธิผลการวัดของพนักงานแต่ละคน

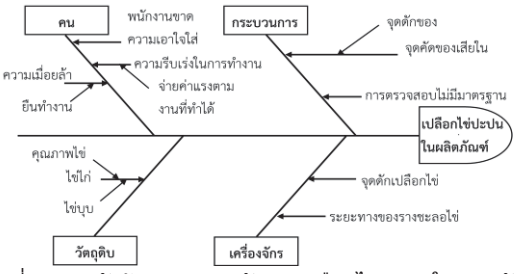
ตารางที่ 3 ดัชนีแสดงประสิทธิผลการวัดของพนักงานแต่ละคน

เปอร์เซ็นต์ดัชนี	พนักงานคนที่ 1	พนักงานคนที่ 2	พนักงานคนที่ 3
Attribute	100	91.67	91.67
O_E	100	95.83	95.83
I_{FA}	0	8.33	8.33
I_{MISS}	0	0	0

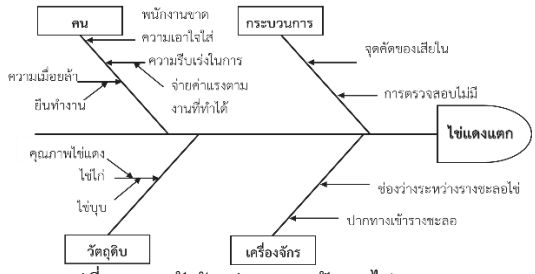
จากตารางที่ 3 เกณฑ์ของดัชนีประสิทธิผล (O_E) อัตราการปฏิเสธอย่างผิดพลาด (I_{FA}) และ อัตราการยอมรับ ที่ผิดพลาด (I_{MISS}) ถือว่ามีความเข้มงวดในการตรวจสอบ เนื่องจากใช้เกณฑ์จาก AIAG ในการประเมินโดยพนักงาน ผ่านเกณฑ์การประเมินการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของพนักงานวัดที่ 80%

4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze phase)

จากการศึกษาข้อมูลของเสีย พบปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตของแผนกตอกไข่สด มี 2 ปัญหาหลัก ได้แก่ ปัญหาเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์และปัญหาไข่แดงแตก จึงเริ่มจากการระดมสมองกับทีมงานเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 5 แผงผังก้างปลาแสดงปัญหาเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์



รูปที่ 6 แผงผังก้างปลาแสดงปัญหาไข่แดงแตก

จากรูปที่ 5 และ 6 แสดงแผนภาพสาเหตุและผล ได้ทำการคัดเลือกสาเหตุที่สำคัญ มาทำการประเมินตัวเลขความเสี่ยง (RPN) เพื่อกลั่นกรองปัจจัยที่เป็นปัจจัยหลักในการก่อให้เกิดของเสีย โดยทำการประเมินค่าคะแนนความเสี่ยงในการเกิดปัญหาปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์และไข่แดงแตก ร่วมกับหัวหน้าแผนกดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินค่าคะแนนความเสี่ยงปัญหาเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์

สาเหตุ	ความรุนแรงของความผิดพลาด	โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด	โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ	S	O	D	RPN
พนักงานขาดความเอาใจใส่	ทำให้มีของเสียในผลิตภัณฑ์	น้อยครั้งตามจำนวนการผลิต	ตรวจสอบด้วยสายตา	5	4	6	120
ความรีบเร่งในการทำงาน	ทำให้มีของเสียในผลิตภัณฑ์	เป็นครั้งคราวตามจำนวนการผลิต	ตรวจสอบด้วยสายตา	5	3	6	90
ความเมื่อยล้า	ทำให้มีของเสียในผลิตภัณฑ์	ตามจำนวนการผลิต	ตรวจสอบด้วยสายตา	5	2	6	60
คุณภาพของไข่ไก่ที่นำมาใช้ในการตอก	คุณภาพของไข่ไม่ดีแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	น้อยครั้งเกิดจากไข่บุบทำให้มีเศษเปลือกไข่หลุดขณะตอก	ไม่มีการควบคุมเนื่องจากโรงงานเลือกไข่ไข่คละคุณภาพ	4	4	10	160
การตรวจสอบไม่มีมาตรฐาน	การตรวจสอบไม่ดีแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	บ่อยครั้งเกิดจากไม่มีความเข้มงวดในการตรวจสอบ	ควบคุมตามข้อกำหนดมาตรฐานของโรงงาน	5	5	5	125
จุดคัดของเสียในกระบวนการผลิต	ทำให้มีของเสียในผลิตภัณฑ์	เกิดขึ้นบ่อยครั้งหลังจากปรับจำนวนพนักงานในการตรวจสอบเพิ่มขึ้นตามจำนวนการผลิต	ตรวจสอบด้วยสายตา	5	6	6	180
ระยะทางรางชะลอไข่	ระยะทางชะลอไข่ไม่เพียงพอต่อการตักไข่	บ่อยครั้งที่เศษเปลือกไข่ไก่หลุดรอดจากจุดตักไข่	ไม่มีการควบคุม	6	5	10	300

ตารางที่ 4 ผลการประเมินค่าคะแนนความเสี่ยงปัญหาไข่แดกแตก

สาเหตุ	ความรุนแรงของความผิดพลาด	โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด	โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ	S	O	D	RPN
พนักงานขาดความเอาใจใส่	ทำให้มีของเสียในผลิตภัณฑ์	น้อยครั้งตามจำนวนการผลิต	ตรวจสอบด้วยสายตา	5	4	6	120
ความรีบเร่งในการทำงาน	ทำให้มีของเสียในผลิตภัณฑ์	เป็นครั้งคราวตามจำนวนการผลิต	ตรวจสอบด้วยสายตา	5	3	6	90
ความเมื่อยล้า	ทำให้มีของเสียในผลิตภัณฑ์	ตามจำนวนการผลิต	ตรวจสอบด้วยสายตา	5	2	6	60
คุณภาพของไข่แดงที่นำมาใช้	คุณภาพของไข่แดงไม่ดีแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	เป็นครั้งคราวตามคุณภาพของไข่แดง	ไม่มีการควบคุมเนื่องจากโรงงานเลือกไข่ไข่คละคุณภาพ	4	3	10	120
การตรวจสอบไม่มีมาตรฐาน	การตรวจสอบไม่ดีแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	บ่อยครั้งเกิดจากไม่มีความเข้มงวดในการตรวจสอบ	ควบคุมตามข้อกำหนดมาตรฐานของโรงงาน	5	4	5	100
จุดคัดของเสียในกระบวนการผลิต	ทำให้มีของเสียในผลิตภัณฑ์	เกิดขึ้นบ่อยครั้งหลังจากปรับจำนวนพนักงานในการตรวจสอบเพิ่มขึ้นตามจำนวนการผลิต	ตรวจสอบด้วยสายตา	5	6	6	180
ช่องว่างระหว่างรางชะลอไข่	ทำให้มีของเสียหลุดอยู่ในผลิตภัณฑ์	ตามจำนวนการผลิต	ไม่มีการควบคุม	5	4	10	200
ปากทางเข้ารางชะลอไข่	ทำให้มีโอกาสเกิดไข่แดงแตก	ตามจำนวนการผลิต	ไม่มีการควบคุม	6	4	10	240

จากการประเมินตัวเลขความเสี่ยง (RPN) ในตารางที่ 3 และ 4 ปัจจัยที่มีความเสี่ยงก่อให้เกิดปัญหาถึง มากกว่า 125 คะแนน ขึ้นไป พบว่ามี 6 สาเหตุ ได้แก่ 1. ระยะทางรางชะลอไข่ 2. ปากทางเข้ารางชะลอไข่ 3.ช่องว่างรางชะลอไข่ 4. จุดคัดของเสียในกระบวนการผลิต 5. คุณภาพของไข่ไก่ที่ใช้ในการตอก 6. การตรวจสอบไม่มีมาตรฐาน โดยข้อที่ 5 ไม่สามารถแก้ไขได้เพราะทางโรงงานนำไข่ไก่ชนิดบุบ มาทำการผลิตในกระบวนการนี้ จึงไม่สามารถควบคุมคุณภาพของไข่ไก่ได้

4.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve phase)

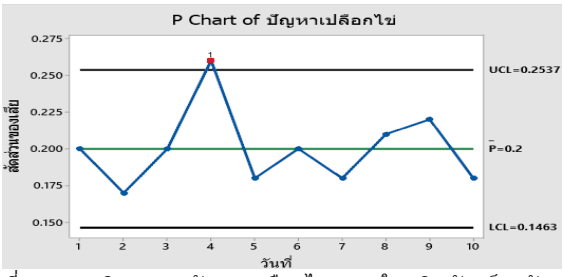
ทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาจากสาเหตุของปัญหาที่พบส่งผลกระทบกับปัญหาดังกล่าวมาก โดยวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงมีข้อมูลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 วิธีการที่ใช้ในการปรับปรุง

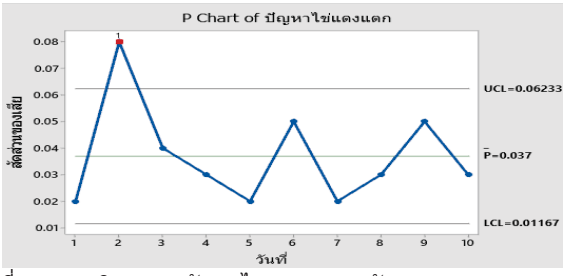
ลำดับ	สาเหตุปัญหา	ประเภทของเสีย		วิธีการที่ใช้ในการปรับปรุง
		เปลือกไข่	ไข่แดงแตก	
1	ระยะทางรางชะลอไข่	✓		การเพิ่มรางชะลอไข่เพิ่มอีก 1 ราง ทำการชะลอตัวเปลือกไข่ ส่งผลให้เปลือกไข่ลดลง
2	ช่องว่างระหว่างรางชะลอไข่		✓	ปิดช่องว่าง เพื่อให้ทิศทางการไหลของไข่ไหลได้ตามที่กำหนด ส่งผลทำให้ไข่แดงไม่สามารถรอดผ่านได้
3	ปากทางเข้ารางชะลอไข่		✓	โดยทำการส่งไปลบคมด้วยวิธีการเจียร เพื่อให้ไข่ที่ไหลผ่าน ไม่แตก
4	จุดคัดของเสียในกระบวนการผลิต	✓	✓	เพิ่มจุดตรวจสอบของพนักงาน ในขั้นตอนการคัดของเสียปัญหาเปลือกไข่ และปัญหาไข่แดงแตก
5	ไม่มีมาตรฐานในการตรวจสอบ	✓	✓	สร้างคู่มือปฏิบัติงานมาตรฐานในการคัดของเสีย ปัญหาเปลือกไข่ และปัญหาไข่แดงแตก

4.4.1 ติดตามผลหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ต่อมาได้ทำการติดตามผลหลังการปรับปรุง ได้ทำการเก็บข้อมูลการสุ่มปริมาณของเสียจากผลิตภัณฑ์ ที่ทำเสร็จในแต่ละวัน วันละ500 กิโลกรัม การควบคุมกระบวนการเป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนของเสียเทียบกับปริมาณการสุ่ม ดังรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ **7** แผนภูมิควบคุม ปัญหาเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์ (ปรับปรุงกระบวนการ)

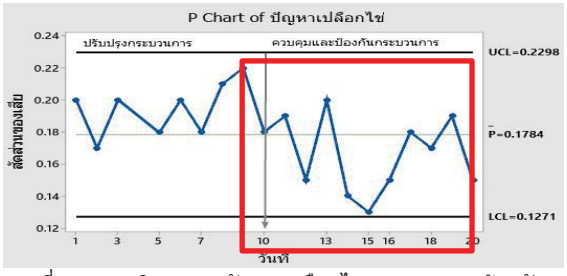


รูปที่ **8** แผนภูมิควบคุม ปัญหาไข่แดงแตก (ปรับปรุงกระบวนการ)

4.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control)

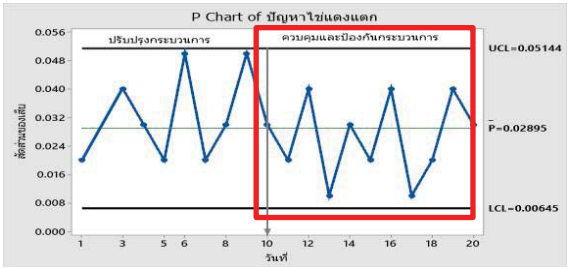
4.5.1 การควบคุมและป้องกันไม่ให้ปัญหาเกิดซ้ำโดยสร้างแผนภูมิควบคุม

หลังจากการติดตามผล หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตในแผนกตอกไข่สด จากนั้นได้ทำการควบคุมและป้องกันภายในกระบวนการ ซึ่งทำการเก็บข้อมูลปริมาณของเสียอีก 10 วัน



รูปที่ 9 แผนภูมิควบคุม ปัญหาเปลือกไข่ (ควบคุมและป้องกัน)

จากรูปที่ 9 สัดส่วนของเสียทั้งหมดอยู่ในขอบเขต โดย (P–Chart) ขีดจำกัดควบคุมบน (UCL) เท่ากับ 0.2298 ขีดจำกัดควบคุมล่าง (LCL) เท่ากับ 0.1271 และค่ากลาง (CL) เท่ากับ 0.1784 ดังนั้นจึงจะใช้ค่า UCL LCL นี้ในการติดตามผลกระบวนการต่อไป

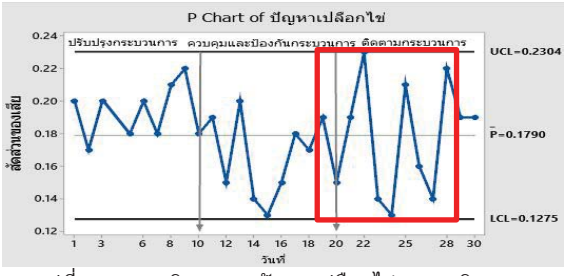


รูปที่ 10 แผนภูมิควบคุม ปัญหาไข่แดงแตก (ควบคุมและป้องกัน)

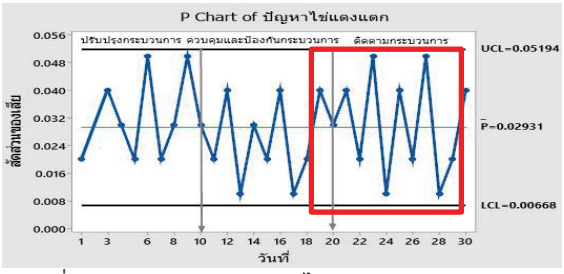
จากรูปที่ 10 สัดส่วนของเสียทั้งหมดอยู่ในขอบเขตโดย P–Chart ขีดจำกัดควบคุมบน (UCL) เท่ากับ 0.05144 ขีดจำกัดควบคุมล่าง (LCL) เท่ากับ 0.00645 และค่ากลาง (CL) เท่ากับ 0.02895 ดังนั้นจึงจะใช้ค่า UCL LCL นี้ในการติดตามผลกระบวนการต่อไป

4.5.2 การตรวจการติดตามกระบวนการหลังปรับปรุง

จากนั้นทำการติดตามผล ปัญหาเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์ และปัญหาไข่แดงแตก โดยการเก็บข้อมูลของเสีย หลังจากการปรับปรุงอีกครั้งในแผนกตอกไข่สด เป็นเวลา 10 วัน ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แผนภูมิควบคุม ปัญหาเปลือกไข่ (ตรวจติดตาม)



รูปที่ 12 แผนภูมิควบคุม ปัญหาไข่แดงแตก (ตรวจติดตาม)

จากรูปที่ 11 และ 12 กระบวนการผลิตยังอยู่ภายใต้การควบคุมที่ระดับค่าเฉลี่ยเดิม แสดงว่ากระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุม สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไปได้

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการปรับปรุงปัญหาในแผนกตอกไข่สด โดยนำวิธีการ (Six sigma : DMAIC) มาใช้แก้ไขปัญหาโดยวิธีการแก้ไขปัญหาดังนี้ 1. เพิ่มระยะทางรางชะลอไข่ 2. ช่องว่างระหว่างภายในรางชะลอไข่ 3. ลบคมปากทางเข้ารางชะลอไข่ 4. เพิ่มจุดคัดของเสียในกระบวนการผลิตและมาตรฐานแนวทางในการปฏิบัติงานของพนักงาน โดยพบว่าสามารถของเสียในแผนกตอกไข่สดได้ โดยปัญหาเปลือกไข่ปะปนในผลิตภัณฑ์ลดลง 9.73% ปัญหาไข่แดงแตกลดลง 3.80% และ ปัญหาจุดเลือดลดลง 1.29% ซึ่งแนวทางดังกล่าวสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการตีกลับของลูกค้าได้

5.1 ข้อเสนอแนะ

โรงงานกรณีศึกษาสามารถนำหลักการ DMAIC ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับปัญหาอื่น ๆ ที่เหลือ ของโรงงานได้ ซึ่งทั้งนี้องค์กรจะต้องมีความมุ่งมั่นที่จะปรับปรุงต่อเนื่อง เพื่อให้ทีมผู้ปฏิบัติงานมีความพร้อม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บริษัทแปรรูปไข่ไก่ ที่ได้ให้ความร่วมมือในด้านข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ เกี่ยวกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอบคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้ ขอบคุณคณะท่านอาจารย์ที่ได้นำวิชาความรู้และคำแนะนำ และอบรมสั่งสอนเป็นอย่างดีเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมการค้าภายใน. (2563). จุลสารทิศทางการดูแลสินค้า, 14(18), 2-5.

[2] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร (2563). สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม. วารสารตัวชี้วัดเศรษฐกิจการเกษตรประเทศไทยอักษรสยามการพิมพ์ 25-32.

[3] United States Department of Agriculture. (2000). Egg-grading manual. Agricultural handbook, Number 75. Review. July 2000., 1-50.

[4] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2553). ไข่ไก่ มาตรฐานสินค้าเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. มกษ.6702-2553 127,15.

[5] เนติ วัชระโชติพิมาย. (2554). การลดของเสียในการผลิตผักแช่แข็งโดยใช้เทคนิคซิกส์ ซิกมา (ปริญญามหาบัณฑิต). เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[6] ชมพูนุท เติมสายทอง. (2554). การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นสำหรับโครง หลังคาเหล็กรถกระบะ (ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[7] กิติศักดิ์ พลอยพาณิชเจริญ. (2553). การวิเคราะห์ระบบการวัด MSA (พิมพ์ครั้งที่ 7).กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).

[8] จรัล ทรัพย์เสรี. (2549). รู้จักกับ DOE. วารสาร For Quality, 13(104), 54-56

[9] สุนิสา คำสุข, อรทัย แก้วหมื่นมอังศุธร อรรธรังสี. (2549). ระบบการป้องกันการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตเพื่อการลดของเสียในโรงงานผลิตสิ่งทอแผนกชุดผลิตแผ่นเส้น (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา

[10] ธนกฤษ ชุ่นแช่ง. (2557). การลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษา ของเสียประเภทจุดดำ (ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

[11] นายวันชาติ แก้วยินดี. (2562). การลดปริมาณตำหนิจากกระบวนการย้อมและตกแต่งสำเร็จในโรงงานตัวอย่างโดยหลักการ DMAIC (ปริญญามหาบัณฑิต). นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[12] สุวิทย์ ทิพอุเทน, วิศุทธิ์ เอื้อกิ่งเพชร, สมยศ โคตรธรรม, ปิ่นทอง ไผ่ทำ, สมเกียรติ เลวารี และ ทาริกา ทิพอุเทน. (2562). ผลการผลิตและคุณภาพไข่ของไก่กระดูกดำภูพาน. วารสารแก่นเกษตร, 47(2), 627-634

การพัฒนาและประยุกต์ใช้เซนเซอร์ในสมาร์ทโฟน เพื่อตรวจวัดความสามารถในการทรงตัว

Development and Application of Sensors in Smartphones to Measure the Ability to Body Balance

ศรัณย์ชัย เดชคำรนรัตน์[1]*, ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: saranchai.d@gmail.com*

Saranchai Dechkomronrat[1]*, Phairoat Ladavichitkul[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: saranchai.d@gmail.com*

บทคัดย่อ

การประเมินความสามารถในการทรงตัวมีอยู่หลายวิธี หนึ่งในนั้นคือการประเมินจากข้อมูลการเคลื่อนที่ของตำแหน่งของแรงปฏิกิริยาสุทธิของน้ำหนักตัวระหว่างเท้าทั้งสองข้างหรือ ที่เรียกกันว่า จุดศูนย์กลางความดัน (Center of Pressure: COP) อุปกรณ์ที่ใช้คือแผ่นวัดแรงหรือ Force Plates แต่เนื่องจากเป็นเครื่องมือราคาสูงและเป็นอุปกรณ์เฉพาะทาง จึงไม่เหมาะกับการใช้งานสำหรับบุคคลทั่วไป ปัจจุบันสมาร์ทโฟนได้มีเซนเซอร์ที่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ การพัฒนาและประยุกต์ใช้เซนเซอร์ในสมาร์ทโฟน เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทรงตัวจึงอาจช่วยให้บุคคลทั่วไปสามารถวัดการทรงตัวได้สะดวกขึ้น โดยการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 10 คน เป็นเพศหญิง 2 คน และชาย 8 คน ติดตั้งสมาร์ทโฟนไว้ที่บริเวณเอวและยืนโยกร่างกายในทิศทางซ้าย – ขวา บนเครื่องวีอ์บาลานซ์บอร์ด จำนวน 5 รอบ ข้อมูลจากสมาร์ทโฟนกับเครื่องวีอ์บาลานซ์บอร์ดที่เกิดขึ้นได้ถูกบันทึกในเวลาเดียวกัน ข้อมูลองศาการเอียงที่ได้จากเซนเซอร์ Orientation ของสมาร์ทโฟน กับข้อมูลองศาการเอนตัวที่คำนวณได้จากจุดศูนย์กลางความดันของเครื่องวีอ์บาลานซ์บอร์ดถูกนำมาเปรียบเทียบ พบว่าค่าองศาการเอนตัวที่เก็บจากสมาร์ทโฟนกับเครื่องวีอ์บาลานซ์บอร์ดของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมดมีค่าความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน เฉลี่ยเท่ากับ 83.5% ซึ่งหมายความว่าค่าของข้อมูลทั้งสองอุปกรณ์มีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันสูง ดังนั้นการประยุกต์ใช้สมาร์ทโฟนเก็บทิศทางการเอียงของลำตัวเพื่อประเมินความสามารถในการทรงตัวน่าจะสามารถทำได้เพื่อการประเมินอย่างรวดเร็วและประหยัด

คาสาคัญ: การทรงตัว, สมาร์ทโฟน , จุดศูนย์กลางความดัน

Abstract

There are several ways to analyze the assessment of balance ability. One of them is an estimation by the positional displacement data of the reaction force between left-right feet or called The center of pressure (Center of Pressure: COP) by using a Force plates device for measuring but this method is costly and very specialized so it's inadvisable with general use. Nowadays, Smartphones have a sensor that detects movement. This research has proposed to study the factor and correlation of smartphones with Wii Balance Boards to analyze an ability to help people measure balance more conveniently than in the traditional way. A sampling of this research has 10 participants, 2 females and 8 males, by used their smartphones equipped with their waists and stood by swaying their bodies in the left and right directions on the Wii Balance Boards. Results will collect data into smartphones and Wii Balance boards at the same time for 5 cycles. Conduct data of angle from orientation sensor in smartphones that import from android studio and data from the Wii Balance board for comparison. The results were founded that the correlation of degrees collected from the smartphones and values of the degrees from the v-balance boards of all participants was 83.5%, in the same direction. which's means the values from the two devices. data were highly correlated positively, and it can be summarized that data can be used to measure the balance of sampling with smartphones, and it should be used for quick and cost-effective assessments.

Keywords: Body Balance, Smartphone , Center of Pressure

1. บทนำ

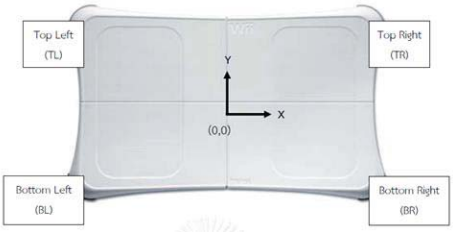
1.1 ที่มาและความสำคัญ

การทรงตัวของร่างกายเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการเคลื่อนไหว ร่างกายที่ต้องรักษาสมดุลเพื่อให้สามารถทรงตัวและเคลื่อนไหวไปในทิศทางที่ต้องการได้ถูกต้องและแม่นยำ การประเมินระบบการทรงตัวก่อนทำงานสามารถชี้วัดความสามารถและความผิดปกติของร่างกายได้โดยเฉพาะการทำงานที่ต้องอาศัยการทรงตัวเป็นสำคัญต่อความปลอดภัย นอกจากนี้ความสามารถในการทรงตัวยังมีความสัมพันธ์กับการพักผ่อน หากอดนอนหรือไม่ได้พักผ่อนติดต่อกันเป็นระยะเวลานานทำให้การทรงตัวแย่ลง[1] ซึ่งการพักผ่อนไม่เพียงพอเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดอุบัติเหตุต่าง ๆ เพื่อลดความเสี่ยงและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ควรมีการประเมินความสามารถของร่างกายของพนักงานก่อนจะทำงานที่มีความเสี่ยงสูง

การประเมินระบบการทรงตัวเพื่อวัดสามารถในการทรงตัว มีอยู่หลายวิธี แต่หนึ่งในวิธีที่มักใช้ประเมินคือ การใช้เครื่องตรวจประเมินความสามารถในการรักษาท่ายืนหรือการกลับคืนสู่ท่ายืนตรงขณะมีการรบกวนระบบการทรงตัวผ่านตัวกระตุ้นการมองเห็น (การขยับของฉาก) หรือพื้น (พื้นกระดกหรือพื้นเลื่อน) บันทึกข้อมูลเชิงปริมาณในแง่ของการใช้ข้อมูลจากระบบปรับความรู้สึกต่าง ๆการปรับตัวเมื่อมีการรบกวนขอบเขตการทรงตัว ปฏิกิริยาการทรงตัวแบบอัตโนมัติ รวมทั้งการถ่ายน้ำหนัก ภายใต้อำนาจจิตใจในสภาวการณ์ต่าง ๆโดยมี Force Plates หรือแผ่นตรวจวัดแรง แสดงแรงสุทธิที่เกิดขึ้นจากการลงน้ำหนัก ที่เรียกกันว่า จุดศูนย์กลางความดัน (Center of Pressure: COP)

เครื่องมือที่ใช้การเก็บข้อมูลเพื่อตรวจวัดและประเมินความสามารถในการทรงตัวนั้นยังมีราคาที่สูง มีขนาดใหญ่ ทำให้การทดสอบความสามารถในการทรงตัวยังเข้าถึงได้ยาก อีกทั้งสมาร์ทโฟน ในปัจจุบันนั้นมีการพัฒนาให้เปรียบเสมือนเป็นคอมพิวเตอร์ที่พกพาและใช้งานในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลายและเพื่อที่จะตอบสนองการใช้งานในชีวิตประจำวันสมาร์ทโฟน จึงมีเซนเซอร์อิเล็คทรอนิกส์เพื่อใช้นำทาง หรือแม้กระทั่งเป็นเครื่องมือแสดงผลในด้านสุขภาพของผู้ใช้งาน เช่น จำนวนก้าวเดินในแต่ละวัน จนไปถึงการตรวจจับการล้มและส่งแจ้งเตือนให้ผู้อื่นได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นประยุกต์ใช้เซนเซอร์ในสมาร์ทโฟนเพื่อตรวจวัดความสามารถในการทรงตัว โดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์ Geomagnetic และ Accelerometer ซึ่งก่อนหน้านี้ได้มีผู้วิจัยนำเอาวีอีบาลานซ์บอร์ดมาวิจัยเป็นเครื่องตรวจวัดแรงเพื่อทดสอบการทรงตัว ใช้งานทดแทนเครื่องตรวจวัดแรงแบบเดิมที่มีความละเอียดที่สูงแต่มีราคาที่แพง จากการวิจัยพบว่า ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางความดันจากวีอีบาลานซ์บอร์ดมีความแม่นยำสูงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นตรวจวัดแรงโดยมีความคลาดเคลื่อนกับแผ่นตรวจวัดแรงอยู่ที่ ±4.1 มิลลิเมตร[2] ซึ่งในประเทศไทยได้มีการประยุกต์ใช้เครื่องวีอีบาลานซ์บอร์ดโดยการนำมาทดสอบการทรงตัวของมนุษย์ในภาวะปกติและในภาวะอดนอน พบว่า ความสามารถในการทรงตัวของมนุษย์เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออยู่ในภาวะตื่นนอนอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน[3]

วีอีบาลานซ์บอร์ดทำงานโดยรับข้อมูลเข้าเป็นน้ำหนักของผู้ใช้งานผ่านเซนเซอร์ตรวจวัดแรง 4 ตำแหน่ง ที่บริเวณมุมทั้ง 4 มุมของตัวผลิตภัณฑ์ ส่งข้อมูลที่อ่านได้จากเซนเซอร์ตรวจวัดแรง ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ผ่านสัญญาณไร้สายบลูทูธ และประมวลผลเป็นตำแหน่งจุดศูนย์กลางความดันเป็นพิกัด(X,Y) และพิกัดเปลี่ยนแปลงไปตามน้ำหนักที่กระทำต่อเซนเซอร์ทั้ง 4 ตำแหน่งด้วยโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์และแสดงออกมาทางหน้าจอ



รูปที่ 1 เครื่องวีอีบาลานซ์บอร์ด

สำหรับข้อมูลมุมเอนตัว ที่ถูกเก็บโดยใช้สมาร์ทโฟนได้มาจากค่า Orientation ที่มีพื้นฐานมาจากเซนเซอร์ทางกายภาพคือ Accelerometer magnetometer และ gyroscope ข้อมูลที่ได้เป็นลักษณะการวางตัวของสมาร์ทโฟนตามแกน X Y และ Z มีหน่วยเป็นองศา สามารถประกาศคำสั่ง Sensor.TYPE_ORIENTATION เพื่อใช้งานไลบรารี่สำเร็จรูปในโปรแกรม android studio [4]ในการดึงค่าข้อมูลมาใช้งานและส่งข้อมูลเพื่อจัดเก็บลงเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูลแบบโอเพนซอสต์ที่มีชื่อว่า MariaDB ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย(Wi-Fi) โดยความเร็วในการบันทึกข้อมูลอยู่ที่อัตรา 60 ครั้งต่อวินาที ข้อมูลถูกจัดเก็บเป็นรูปแบบของตาราง ประกอบด้วย เวลาที่บันทึกและชุดข้อมูลของเซนเซอร์สมาร์ทโฟน

การประเมินความสามารถการทรงตัวด้วยเครื่องมือวัดค่า COP มักใช้การทดสอบ 2 แบบ ได้แก่

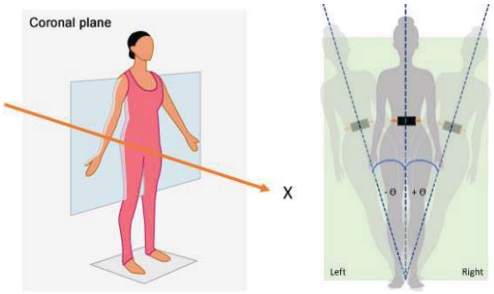
1.การทดสอบเชิงคลินิกดัดแปลงเพื่อทดสอบปฏิสัมพันธ์ของการรับรู้ความรู้สึกในการทรงตัว (Modified Clinical Test of Sensory Interaction on Balance : mCTSIB) เป็นการเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของ COP ในขณะยืนนิ่งอยู่กับที่โดย ดูพื้นที่ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ และค่าความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ ของ COP เป็นตัวชี้วัด หากมีค่ามากสามารถบ่งชี้ความผิดปกติของระบบการทรงตัวได้

2.การทดสอบขีดจำกัดของการทรงตัว (Limits of Stability : LOS) เป็นเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของ COP ขณะที่ยืนโยกร่างกายไปในทิศทางที่กำหนด ตัวชี้วัดคือ เส้นทางการเคลื่อนที่ ระยะเวลาในการเข้าถึงเป้าหมายและค่าความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของ COP

ตำแหน่งติดตั้งสมาร์ทโฟนกำหนดให้ติดตั้งตรงบริเวณเอว เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดศูนย์ถ่วง (Center of gravity : COG) ของร่างกายโดยจุดศูนย์ถ่วงของเพศชายจะอยู่ประมาณร้อยละ 56.18 และจุดศูนย์ถ่วงของเพศหญิงจะอยู่ประมาณร้อยละ 55.44 จากความสูงของร่างกาย[5] ในท่ายืนตรงจุดศูนย์ถ่วงของเพศชายจะสูง

ประมาณร้อยละ 57 และจุดศูนย์ถ่วงของเพศหญิงจะสูงประมาณร้อยละ 55 จากความสูงของร่างกายในขณะที่ระดับจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในกรุงเทพมหานคร พบว่าค่าเฉลี่ยระดับจุดศูนย์ถ่วงร่างกายของนักเรียนชายเท่ากับร้อยละ 55.90 และนักเรียนหญิงเท่ากับร้อยละ 54.59 ของความสูงของร่างกาย[6] และมีการศึกษาการทรงตัวในผู้สูงอายุขณะยืนนิ่งด้วยเซนเซอร์ Accelerometer ในแท็บแล็ตรุ่น Ipad เปรียบเทียบกับระบบ Motion capture โดยกำหนดตำแหน่งการติดตั้งแท็บแล็ตไว้ที่บริเวณเอวร่วมกับตำแหน่งจุดสะท้อนแสง 24 จุด (Helen Hayes marker-set) พบว่าเซนเซอร์ภายในของแท็บแล็ตรุ่น Ipad กับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของระบบ Motion capture ตอบสนองในทำนองเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ[7]

การเปรียบเทียบมุมการเอนตัวที่แปลงค่าจากสมาร์ทโฟนและวีอ็บาลานซ์บอร์ด โดยในแนวคิดการวัดความสามารถในการทรงตัวแบบการทดสอบขีดจำกัดของการทรงตัว (LOS) กำหนดให้ผู้เข้าร่วมวิจัยติดตั้งสมาร์ทโฟนตรงบริเวณเอว ยืนโยกร่างกายไปทางขวาและซ้าย ในระนาบ Coronal เพื่อเก็บข้อมูลจำนวน 5 รอบ และกำหนดให้องศาของมุมการเอนตัวมีค่าเป็นบวก เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยยืนโยกร่างกายไปทางขวาและมีค่าเป็นลบ เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยยืนโยกร่างกายไปทางซ้ายอ้างอิงจากแนวดิ่ง (vertical axis) ข้อมูลจากสมาร์ทโฟนและวีอ็บาลานซ์บอร์ดที่เกิดขึ้นตลอดช่วงเวลาการเก็บข้อมูลถูกเก็บพร้อมกัน เปรียบเทียบผลที่ได้และหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของสมาร์ทโฟน กับวีอ็บาลานซ์บอร์ด



รูปที่ 2 ระนาบร่างกายและนิยามองศาการเอนตัว

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

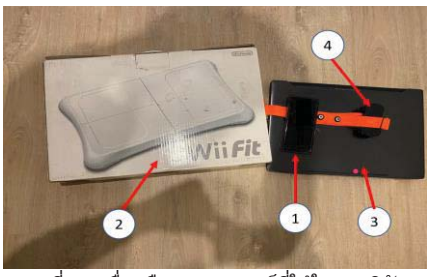
เปรียบเทียบองศาการเอนของลำตัวที่ได้จากสมาร์ทโฟนกับวีอ็บาลานซ์บอร์ด

2. ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

2.1 ผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นอาสาสมัครทั่วไปที่มีสุขภาพร่างกายแข็งแรงอายุระหว่าง 15-40 ปี น้ำหนัก 60-100 กิโลกรัม และส่วนสูง 160-180 เซนติเมตร จำนวน 10 คน เป็นเพศชาย 8 คน และเพศหญิง 2 คน

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย



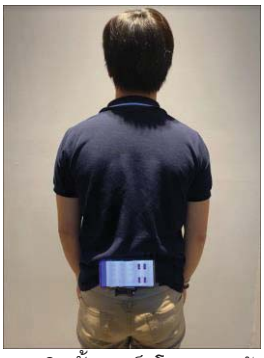
รูปที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย

1. สมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์
2. เครื่องตรวจวัดแรง วีอ็บาลานซ์บอร์ด ยี่ห้อ นินเท็นโด
3. คอมพิวเตอร์แบบโน๊ตบุ๊ค
4. อุปกรณ์ยึดสมาร์ทโฟน
5. โปรแกรมรับข้อมูลจากวีอ็บาลานซ์บอร์ด มีความถี่ของข้อมูล 60 Hz
6. แอปพลิเคชันที่ใช้เก็บข้อมูลค่าเซนเซอร์ภายในสมาร์ทโฟน มีความถี่ของข้อมูล 60 Hz

2.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยติดตั้งสมาร์ทโฟนกับสายยึดที่บริเวณเอว ด้านหลังและสมาร์ทโฟนวางตัวเป็นลักษณะแนวนอนหน้าจอหันออกจากร่างกาย



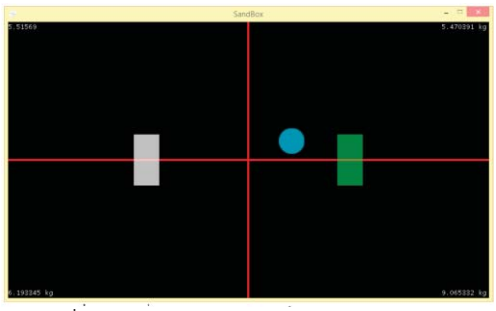
รูปที่ 4 ตำแหน่งติดตั้งสมาร์ทโฟน ของผู้เข้าร่วมวิจัย

2) ผู้เข้าร่วมวิจัยวางเท้าในตำแหน่งที่กำหนดไว้บนวีอ็บาลานซ์บอร์ดและจัดระเบียบร่างกายให้พร้อมก่อนเก็บข้อมูล



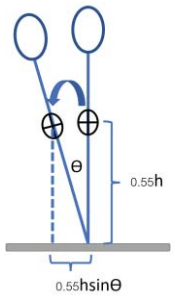
รูปที่ 5 ท่าทางการยืน

3) ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนทรงตัวและพยายามเคลื่อนตำแหน่งจุด COP จุดสีฟ้าบนหน้าจอแสดงผล เข้าสู่เป้าหมายสีเขียวทางด้านซ้ายและขวา พยายามให้ใช้ข้อเท้าเป็นจุดหมุน และเกร็งส่วนอื่นของร่างกายให้เรียงตัวเป็นเส้นตรง เริ่มต้นจากจุดศูนย์กลางพิกัด(0,0) ไปเป้าหมายสีเขียวทางด้านขวาก่อนจากนั้นเป้าหมายสีเขียวจะเปลี่ยนเป็นทางด้านซ้ายแทน สลับไปมาจนกว่าจะครบตามที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 6 การเก็บข้อมูลกำหนดให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนโยกร่างกายไปทางซ้าย -ขวา จำนวน 5 รอบ โดยไม่กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ (เป็นไปตามความสมัครใจ)



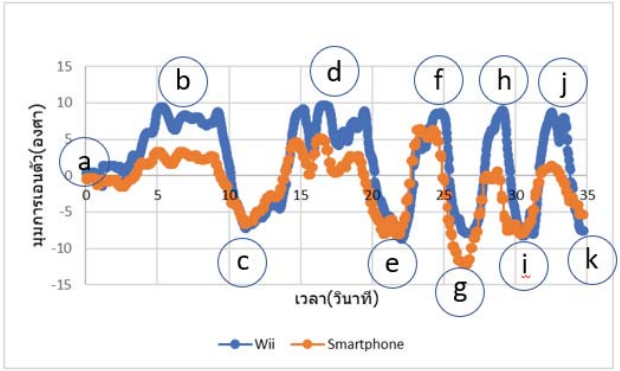
รูปที่ 6 ตำแหน่งจุด COP และตำแหน่งเป้าหมาย

4) นำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกพิกัด(x,y) ของตำแหน่งจุดCOP และข้อมูลส่วนสูงของผู้เข้าร่วมวิจัย มาคำนวณหามุมในการเอนของร่างกายผู้เข้าร่วมวิจัย



รูปที่ 7 การเอนของร่างกายผู้เข้าร่วมวิจัย

5) นำข้อมูลองศาการเอนตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยและข้อมูลองศาของการหมุนรอบแกนสมาร์ทโฟนมาทำให้อยู่ในช่วงเวลาเดียวกันและจำนวนของข้อมูลเท่ากัน



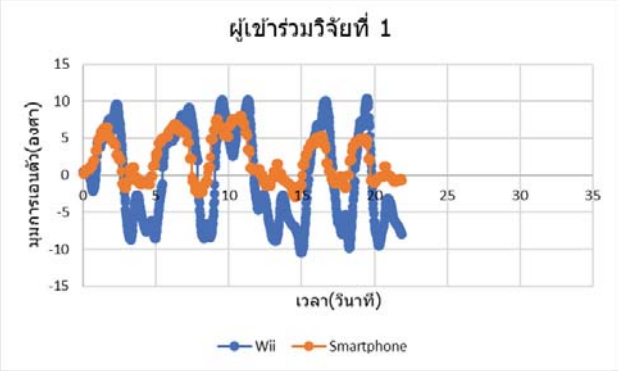
รูปที่ 8 ข้อมูลองศาการเอนตัวของ 2 อุปกรณ์ที่จัดให้ช่วงเวลาเดียวกัน

จากตัวอย่างข้อมูลจากรูปที่ 8 บ่งบอกข้อมูลได้ดังนี้

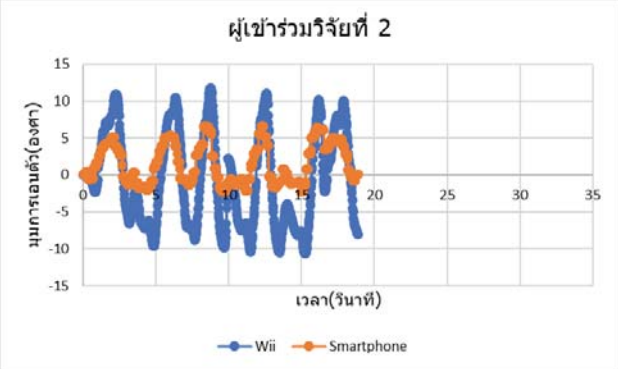
- จุด a เป็นจุดเริ่มต้นการทดสอบ ณ วินาทีที่ 0 เมื่อผู้ร่วมวิจัยยืนโยกร่างกายไปทางขวาค่าของมุมองศาการเอนตัว มีค่าเป็นบวกและมีค่าแอมพลิจูดสูงสุดในทิศทางบวก
- จุด b คือ จุดที่มีแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวสูงสุดในทิศทางบวก เกิดจากผู้ร่วมวิจัยโยกและเคลื่อนร่างกายไปทางด้านขวาจากจุด a จนถึงตำแหน่งเป้าหมายทางด้านขวาครั้งที่ 1 ณ วินาทีที่ 5 และยังคงรักษาตำแหน่งการเอนของร่างกายจนถึงวินาทีที่ 9
- จุด c คือ จุดที่มีแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวสูงสุดในทิศทางลบ เกิดจากผู้ร่วมวิจัยโยกและเคลื่อนร่างกายไปทางด้านซ้ายจากจุด b จนถึงตำแหน่งเป้าหมายทางด้านซ้ายครั้งที่ 1 ณ วินาทีที่ 11
- จุด d คือ จุดที่มีแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวสูงสุดในทิศทางบวก เกิดจากผู้ร่วมวิจัยโยกและเคลื่อนร่างกายไปทางด้านขวาจากจุด c จนถึงตำแหน่งเป้าหมายทางด้านขวาครั้งที่ 2 ณ วินาทีที่ 15 และยังคงรักษาตำแหน่งการเอนของร่างกายจนถึงวินาทีที่ 19.54
- จุด e คือ จุดที่มีแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวสูงสุดในทิศทางลบ เกิดจากผู้ร่วมวิจัยโยกและเคลื่อนร่างกายไปทางด้านซ้ายจากจุด d จนถึงตำแหน่งเป้าหมายทางด้านซ้ายครั้งที่ 2 ณ วินาทีที่ 21
- จุด f คือ จุดที่มีแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวสูงสุดในทิศทางบวก เกิดจากผู้ร่วมวิจัยโยกและเคลื่อนร่างกายไปทางด้านขวาจากจุด e จนถึงตำแหน่งเป้าหมายทางด้านขวาครั้งที่ 3 ณ วินาทีที่ 24.4
- จุด g คือ จุดที่มีแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวสูงสุดในทิศทางลบ เกิดจากผู้ร่วมวิจัยโยกและเคลื่อนร่างกายไปทางด้านซ้ายจากจุด f จนถึงตำแหน่งเป้าหมายทางด้านซ้ายครั้งที่ 3 ณ วินาทีที่ 26.54
- จุด h คือ จุดที่มีแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวสูงสุดในทิศทางบวก เกิดจากผู้ร่วมวิจัยโยกและเคลื่อนร่างกายไปทางด้านขวาจากจุด g จนถึงตำแหน่งเป้าหมายทางด้านขวาครั้งที่ 4 ณ วินาทีที่ 29.16
- จุด i คือ จุดที่มีแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวสูงสุดในทิศทางลบ เกิดจากผู้ร่วมวิจัยโยกและเคลื่อนร่างกายไปทางด้านซ้ายจากจุด h จนถึงตำแหน่งเป้าหมายทางด้านซ้ายครั้งที่ 4 ณ วินาทีที่ 30.4
- จุด j คือ จุดที่มีแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวสูงสุดในทิศทางบวก เกิดจากผู้ร่วมวิจัยโยกและเคลื่อนร่างกายไปทางด้านขวาจากจุด i จนถึงตำแหน่งเป้าหมายทางด้านขวาครั้งที่ 5 ณ วินาทีที่ 32.6
- จุด k คือ จุดที่มีแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวสูงสุดในทิศทางลบ เกิดจากผู้ร่วมวิจัยโยกและเคลื่อนร่างกายไปทางด้านซ้ายจากจุด j จนถึงตำแหน่งเป้าหมายทางด้านซ้ายครั้งที่ 5 ณ วินาทีที่ 34.74

3. ผลการเก็บข้อมูล

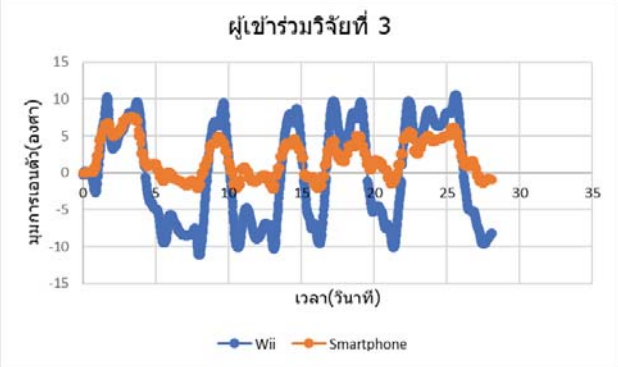
3.1 มุมการเอนตัวที่ได้จากวีอ์บาลานซ์บอร์ดและสมาร์ทโฟนจากการทดลองกับผู้เข้าร่วมวิจัย



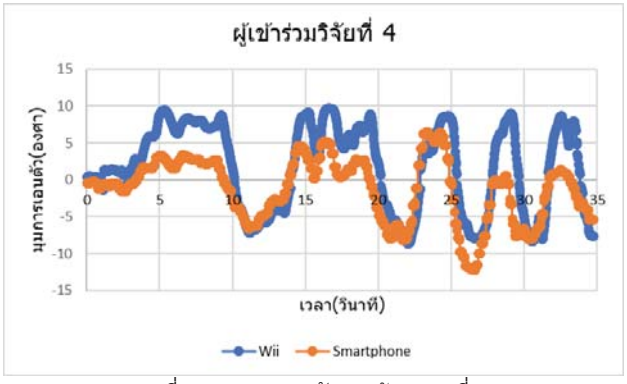
รูปที่ 9 มุมการเอนตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยที่ 1



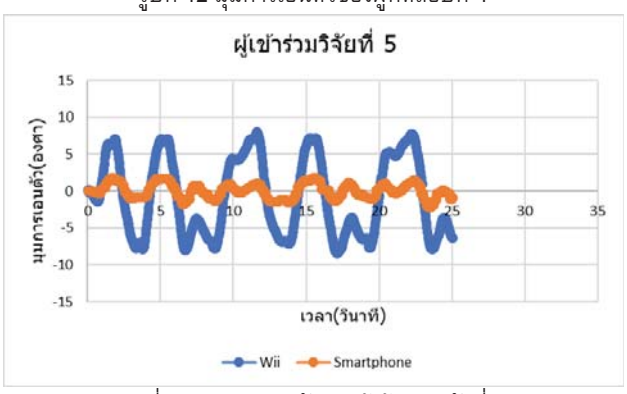
รูปที่ 10 มุมการเอนตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยที่ 2



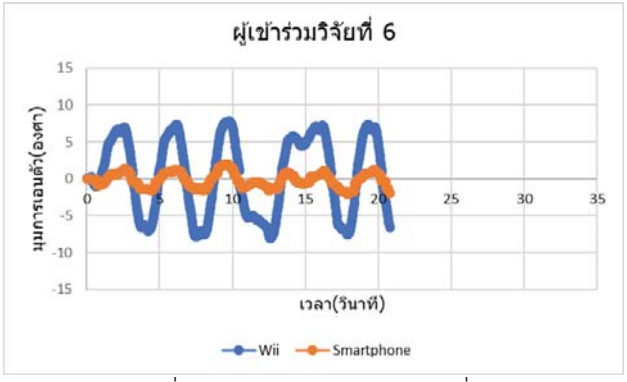
รูปที่ 11 มุมการเอนตัวของผู้ทดสอบที่ 3



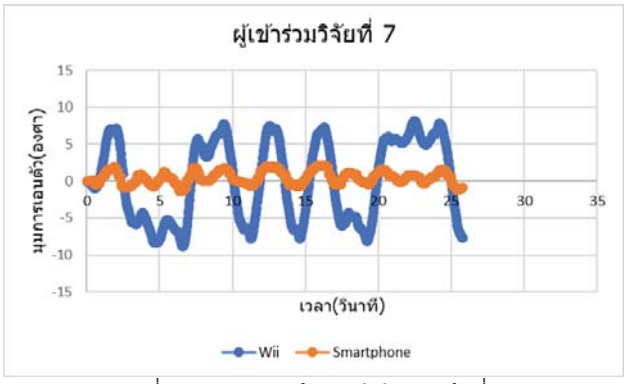
รูปที่ 12 มุมการเอนตัวของผู้ทดสอบที่ 4



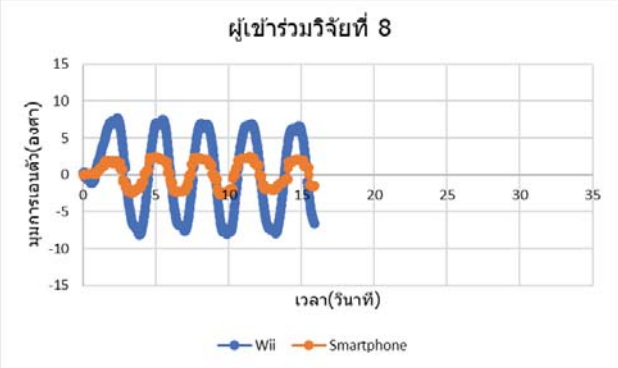
รูปที่ 13 มุมการเอนตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยที่ 5



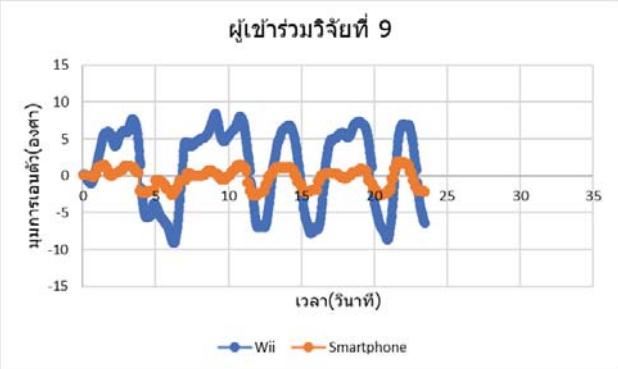
รูปที่ 14 มุมการเอนตัวของผู้ทดสอบที่ 6



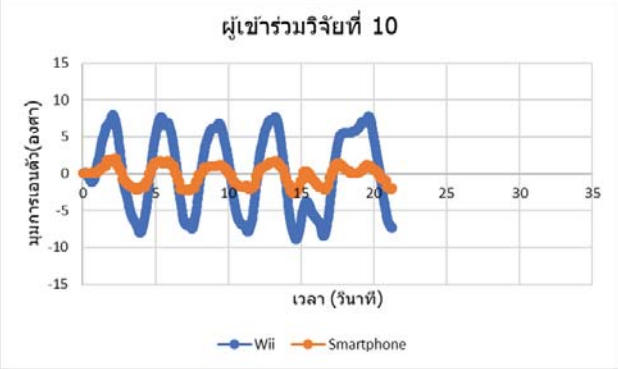
รูปที่ 15 มุมการเอนตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยที่ 7



รูปที่ 16 มุมการเอนตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยที่ 8



รูปที่ 17 มุมการเอนตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยที่ 9



รูปที่ 18 มุมการเอนตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยที่ 10

จากการเก็บข้อมูลมุมองศาการเอนตัวจากเครื่องวีอีบาลานซ์บอร์ดและข้อมูลมุมองศาการเอนตัวที่เก็บจากสมาร์ทโฟนของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 10 คน กำหนดให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนโยกร่างกายไปทางซ้าย -ขวา จำนวน 5 รอบ โดยความเร็วในการโยกไม่ได้เป็นปัจจัยควบคุม มีอัตราการบันทึกข้อมูลที่ 60 ข้อมูลต่อวินาที ตลอดช่วงเวลาการเก็บข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ ที่ให้มีจำนวนข้อมูลเฉลี่ยอยู่ที่ 1180 ข้อมูล โดยในแต่ละรอบจะมีข้อมูลเฉลี่ยอยู่ที่ 236 ข้อมูล

ข้อมูลมุมองศาการเอนตัวจากเครื่องวีอีบาลานซ์บอร์ดของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 10 คน ตั้งระยะห่างของเป้าหมายเท่ากัน พบว่ามีค่าองศาการเอนตัวสูงสุดของการยืนโยกร่างกายไปทิศทางด้านขวาและซ้ายใกล้เคียงกัน และมีค่ามากกว่าข้อมูลมุมองศาการเอนตัวที่เก็บจากสมาร์ทโฟน โดยข้อมูลมุมองศาการเอนตัวที่เก็บจากสมาร์ทโฟนของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 10 คน ตั้งระยะห่างของเป้าหมายเท่ากัน สามารถจำแนกได้ 3 กลุ่มคือ

1.ผู้เข้าร่วมวิจัยที่ 1,2 และ 3 มีค่าองศาการเอนตัวสูงสุดของการยืนโยกร่างกายไปทิศทางด้านขวาและซ้ายไม่เท่ากัน โดยค่าองศาของการยืนโยกไปทิศทางด้านขวามีค่าสูงกว่าทิศทางด้านซ้าย

2.ผู้เข้าร่วมวิจัยที่ 4 มีค่าองศาการเอนตัวสูงสุดของการยืนโยกร่างกายไปทิศทางด้านขวาน้อยกว่าทิศทางด้านซ้าย

3.ผู้เข้าร่วมวิจัยที่ 5,6,7,8,9 และ10 มีค่าองศาการเอนตัวสูงสุดของการยืนโยกร่างกายไปทิศทางด้านขวาและซ้ายใกล้เคียงกัน แต่มีค่าที่ต่ำกว่า ผู้เข้าร่วมวิจัยในกลุ่มที่ 1 และ 2

4.วิเคราะห์และสรุปผล

4.1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างมุมการเอนตัวที่ได้จากวีอีบาลานซ์บอร์ดและสมาร์ทโฟน

ตารางที่ 1 ข้อมูลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์(Correlation)

ผู้เข้าร่วมวิจัย	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
1	0.72
2	0.81
3	0.92
4	0.83
5	0.81
6	0.89
7	0.68
8	0.92
9	0.84
10	0.93

จากผลการเก็บข้อมูลผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมดมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างมุมการเอนตัวที่ได้จากวีอีบาลานซ์บอร์ดและสมาร์ทโฟน พบว่าค่าขององศาการเอนตัวที่เก็บจากสมาร์ทโฟนกับค่าขององศาการเอนตัวที่คำนวณได้จากตำแหน่งจุดCOP ที่วัดจากเครื่องวีอีบาลานซ์บอร์ดของผู้เข้าร่วมวิจัยมีค่าความสัมพันธ์ของค่าขององศาการเอนตัวที่เก็บจากสมาร์ทโฟนกับค่าขององศาการเอนตัวจากเครื่องวีอีบาลานซ์บอร์ดในทิศทางเดียวกันดังแสดงในตารางที่ 1 โดยค่าองศาการเอนตัวที่เก็บจากสมาร์ทโฟนกับเครื่องวีอีบาลานซ์บอร์ดของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมดมีค่าความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน เฉลี่ยเท่ากับ 83.5%ซึ่งหมายความว่าค่าของข้อมูลทั้งสองอุปกรณ์มีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันสูง นั้นคือถ้าผู้ร่วมวิจัยยืนโยกและเคลื่อนตัวไปในทิศทางขวาค่าขององศาการเอนตัวที่เก็บจากสมาร์ทโฟนเพิ่มขึ้นค่าขององศาการเอนตัวจากเครื่องวีอีบาลานซ์บอร์ดจะเพิ่มขึ้น หรือถ้าผู้ร่วมวิจัยยืนโยกและเคลื่อนตัวไปในทิศทางซ้ายค่าขององศาการเอนตัวที่เก็บจากสมาร์ทโฟนลดลงค่า

ขององศาการเอนตัวจากเครื่องวีอีบาลานซ์บอร์ดจะลดลงด้วย ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากสมาร์ทโฟนสามารถบ่งบอกทิศทางการยืนโยกและเคลื่อนตัวของผู้ร่วมวิจัยได้อย่างถูกต้อง เพียงแต่ค่าของแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวที่เก็บจากสมาร์ทโฟนนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าของแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวที่ได้จากเครื่องวีอีบาลานซ์บอร์ดอยู่มาก

ขนาดแอมพลิจูดขององศาการเอนตัวที่ได้จากสมาร์ทโฟน มีค่าที่ต่ำกว่าจากเครื่องวีอีบาลานซ์บอร์ด เนื่องจากข้อต่อของร่างกายมนุษย์มีค่าองศาอิสระ(degrees of freedom) มาก ดังนั้นตำแหน่งของการติดตั้งสมาร์ทโฟนเพื่อใช้ในการทดสอบอาจจะทดลองเปลี่ยนจากที่ติดตั้งไว้ที่บริเวณเอวเป็นจุดอื่นแทน เช่น หน้าอก หรือ ศีรษะ

การประยุกตสมาร์ทโฟนมาใช้เก็บข้อมูลการเอนตัว น่าจะสามารถนำมาใช้กับแนวทางการประเมินการทรงตัวขณะที่ยืนนิ่ง (mCTSIB)ได้ แต่การนำมาใช้กับแนวทางการประเมินแบบ LOS ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากสมาร์ทโฟนจะต้องปรับให้เหมาะสมกับลักษณะการเอียงตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน เป็นรายเฉพาะบุคคล (individual offset) เป็นค่าอ้างอิงให้กับค่าองศาการเอนตัวที่เก็บจากสมาร์ทโฟนของผู้ร่วมวิจัยรายนั้นๆ

การพัฒนาใช้สมาร์ทโฟนซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่พกพาและใช้ในชีวิตประจำวันกันอย่างแพร่หลายมาใช้ประเมินความสามารถในการทรงตัวอย่างง่าย ทำให้สามารถตรวจสอบความพร้อมของพนักงานก่อนทำงานในแต่ละวันเป็นการส่งเสริมความปลอดภัยในการทำงานและอาจจะประยุกต์ใช้กับผู้ป่วยในช่วงการพักฟื้นจากอาการป่วยหรือบาดเจ็บที่อาศัยอยู่ห่างไกลจากสถานพยาบาล เพื่อประกอบการรักษาในเบื้องต้นได้

5. ข้อเสนอแนะ

ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากสมาร์ทโฟนของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนค่อนข้างที่จะแตกต่างกัน แม้ว่าแนวโน้มของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนจะมีทิศทางไปด้วยกันก็ตาม ซึ่งความแตกต่างของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากสมาร์ทโฟนนี้ อาจเป็นเพราะลักษณะการเอียงตัว ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตควรทำเพิ่มเติม คือ เพิ่มจำนวนผู้เข้าร่วมวิจัยมากขึ้น เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาค่าพยากรของค่าชดเชยเฉพาะบุคคล (individual offset) จากลักษณะการเอียงตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยให้เป็นค่าชดเชย(offset) ที่ใช้อ้างอิงให้กับค่าองศาการเอนตัวของสมาร์ทโฟน อีกทั้งยังมีประเด็นที่น่าสนใจเพิ่มเติมอีก เช่น ผลกระทบต่อข้อมูลอันเนื่องจาก รูปร่าง ส่วนสูง เพศของผู้เข้าร่วมวิจัย ตำแหน่งการติดตั้งของสมาร์ทโฟน และความเร็วของการโยกร่างกาย และการหาเกณฑ์มาตรฐานของความสามารถการทรงตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยด้วยสมาร์ทโฟนนั้น ที่ต้องอาศัยการรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างของผู้ที่มีไม่มีปัญหาด้านการทรงตัว เปรียบเทียบกับ ผู้ที่มีปัญหาด้านการทรงตัว

เอกสารอ้างอิง

[1] Marco, Fabbri, and others. Postural control after a night without sleep. Neuropsychologia 44 (2006): 2520-2525.

[2] Harrison, L., Barlett, Lena, H., Ting, and Jeffrey, T., Bingham. Accuracy of force and center of pressure measures of Wii Balance Board. Gait & Posture 39 (2014):224-228.

[3] วีรเกียรติ พันธุมะโอภาส (2558). การเปรียบเทียบความสามารถของการทรงตัวระหว่างในสภาวะปกติและในสภาวะอดนอนโดยใช้วีอีบาลานซ์บอร์ด. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.

[4] Google Developers. Position sensors. [Online] . 2020. Available from: https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_position

[5] อานัต หัตถา (2534). การประดิษฐ์เครื่องมือวัดความสูงของจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย. ภาควิชาพลศึกษา คณะครุศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.

[6] สุคนธ์ แสงสุข (2533). การศึกษาระดับจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายนักเรียนระดับมัธยามศึกษาตอนปลายในกรุงเทพมหานคร. ภาควิชาพลศึกษา คณะครุศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.

[7] SJ Ozinga, JL Alberts. Quantification of postural stability in older adults using mobile technology. Experimental brain research 232 (12) (2014): 3861-3872.

ความเป็นไปได้ในการศึกษาหาขนาดพื้นที่สัมผัสนิ้วมือส่วนปลายในกลุ่มผู้พิการทางสายตา เพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบความยาวของข้อความอักษรเบรลล์

Feasibility study the contact area of fingertips in the blind group to use as a guide for designing braille text length

ณัฐพล พุฒยางกูร[1*] จุฬาลักษณ์ จารุจุฑารัตน์[2] วรวิทย์ ลีลาวรรณ[3]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
[2]ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
[3]เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
E-mail: nathapon.put@siam.edu *

Nathapon Puttyangkura[1*] Julalak Jarujutarat[2] Wolawit Leelawan[3]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Siam University
[2]Department of industrial technology, Faculty of engineering and industrial technology, Bansomdej Chaopraya Rajabhat University
[3]Department of industrial management technology, Faculty of science and technology, Dhonburi Rajabhat University
E-mail: nathapon.put@siam.edu*

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีผู้พิการที่มีบัตรประจำตัวมากกว่า 2 ล้านคน และมีผู้พิการทางสายตาอยู่ในลำดับที่ 3 ซึ่งจำเป็นต้องใช้อักษรเบรลล์ช่วยในการดำรงชีวิต โดยอักษรเบรลล์มีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับพื้นที่ของปลายนิ้วมือที่เป็นตำแหน่งสัมผัสเพื่อรับรู้ และแปรผลเป็นความเข้าใจ พื้นที่ดังกล่าวถือว่าเป็นข้อมูลปัจจัยมนุษย์ จากผลการสัมภาษณ์เบื้องต้นกับผู้พิการทางสายตา พบว่าปัญหาในการใช้งานของอักษรเบรลล์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ปัญหาก่อนการใช้งาน คือ ผู้พิการทางสายตา ขาดความรู้ หรือทักษะอักษรเบรลล์ สาเหตุจากการขาดทรัพยากรบุคคล วัตถุดิบ งบประมาณ รวมถึงมูลค่าของเทคโนโลยีการผลิตสูง ปัญหาหลังการใช้งานคือ ไม่สามารถใช้งานอักษรเบรลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สาเหตุจากขาดข้อมูลพื้นที่ในการใช้งานอักษรเบรลล์ จึงได้ทำการกำหนดศึกษาออกเป็น 3 ระยะ โดยการศึกษานี้เป็นเพียงระยะที่ 1 มีเป้าหมายศึกษาความเป็นไปได้ ซึ่งมีข้อสรุปว่ามีความเป็นไปได้ รวมถึงมีความสำคัญอย่างมากที่จะศึกษาขนาดพื้นที่สัมผัสของนิ้วมือของผู้พิการทางสายตาในการใช้งานอักษรเบรลล์ เพื่อให้เกิดการศึกษาในระยะต่อไปคือ การออกแบบเทคนิคการเก็บข้อมูลและดำเนินการ และนำข้อมูลที่ได้ไปเชื่อมโยงกับมาตรฐานขนาดอักษรเบรลล์ในการศึกษาระยะสุดท้ายต่อไป เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาสามารถใช้งานอักษรเบรลล์ในขณะที่หยิบ จับ ถืออุปกรณ์ ผลิตภัณฑ์ ตลอดจนบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ด้วยมือข้างเดียว รวมถึงเพื่อให้ได้ฐานข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในการออกแบบความยาวที่เหมาะสมของข้อความอักษรเบรลล์ อันจะส่งผลให้ผู้พิการทางสายตาสามารถใช้ประโยชน์ได้เต็มประสิทธิภาพ และส่งเสริมคุณภาพชีวิตให้ดีมากยิ่งขึ้น
คาสาคัญ: มนุษย์ปัจจัย, ขนาดพื้นที่สัมผัสปลายนิ้ว, ผู้พิการทางสายตา, อักษรเบรลล์

Abstract

There are more than 2 million people with disabilities in Thailand with ID cards and the third is blind who need braille to support their lives. Braille is closely related to the area of the fingertips that are tactile and translate it into understanding. Such areas are considered human factor data. From the results of the preliminary interview with the visually impaired person was found that problems in the use of braille can be divided into 2 periods: problems before use, which are lacking knowledge or braille skills. This is due to the lack of human resources, raw materials, budget, as well as the high value of production technology. The problem after use is braille cannot be used effectively. This is due to the lack of area information for using braille. Therefore, the study was divided into 3 phases. This study is only Phase 1 with the goal of studying the feasibility which concluded that it is possible. It is also very important to study the size of the contact area of the fingertips of the visually impaired person when using braille. For the next phase of study to be designing techniques for collecting data and implementing it and use the information obtained to be linked to the braille size standard in the final phase of study to enable visually impaired person to use braille while handling equipment, products and packaging with one hand. as well as to obtain a

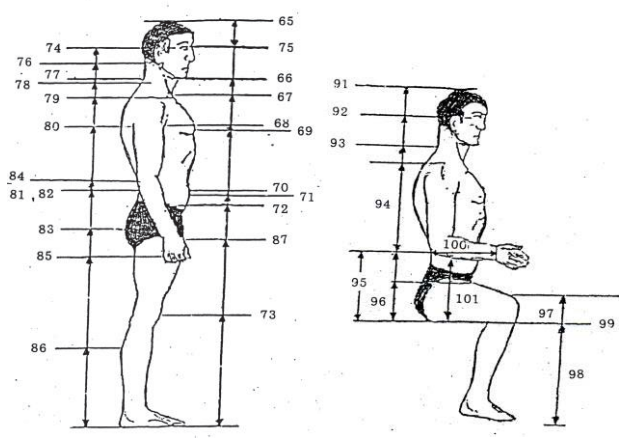
useful database for designing the appropriate text length of braille. As a result, visually impaired person can use it to promote a better quality of life.

Keywords: Human factors, Size of finger contact area, Blind person, Braille

1. บทนำ

การยศาสตร์ เป็นการศึกษากฎเกณฑ์ในการทำงาน โดยมีเป้าหมายเพื่อที่จะปรับปรุงงานหรือสภาวะงานให้เข้ากับแต่ละบุคคล ซึ่งก็คือคนงานในสถานที่ทำงานต่างๆ และใช้ความรู้ ตลอดจนกระบวนการหรือวิธีการต่างๆ โดยคำนึงถึงทางด้านร่างกายและจิตใจ[1]

แต่การที่การยศาสตร์จะเกิดประสิทธิผลที่ดี ต้องมาจากข้อมูลปัจจัยมนุษย์ที่เหมาะสม ที่ผ่านมามีการศึกษาข้อมูลปัจจัยมนุษย์ในหลายส่วน โดยเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยคือ รายงานสำรวจ และวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย[2] ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ซึ่งมีการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายคนไทยมากกว่า 120 สัดส่วน ในกลุ่มตัวอย่างเพศชายและหญิงในช่วงอายุ 1-49 ปี จำนวน 13,347 คน และนำเสนอข้อมูลทางสถิติเพื่อเป็นฐานข้อมูลแก่ผู้สนใจนำไปใช้งาน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างตำแหน่งการวัดสัดส่วนร่างกายชายไทย [1]

แต่รายงานการสำรวจฯ ดังกล่าวเป็นข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่มีความปกติทางกายในช่วงอายุ 1-49 ปีเท่านั้น ทำให้ไม่ครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างเฉพาะอื่นๆ เช่น กลุ่มผู้สูงอายุ หรือกลุ่มผู้พิการเป็นต้น

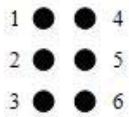
จากรายงานสถานการณ์ด้านคนพิการในประเทศไทย โดยกระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ ประจำไตรมาส 31 ธันวาคม 2564[3] ได้รายงานถึงข้อมูลผู้พิการในประเทศไทยที่ได้รับการออกบัตรประจำตัวมีจำนวน 2,102,384 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 3.18 ของประชากร แบ่งเป็น เพศชาย จำนวน 1,098,117 หรือร้อยละ 52.23 และเพศหญิง จำนวน 1,004,267 คน หรือร้อยละ 47.77

ทั้งนี้สามารถจำแนกประเภทความพิการเป็น 8 กลุ่มหลักดังตารางที่ 1 โดยมีความพิการ 3 ลำดับแรกคือ คือ ทางการเคลื่อนไหวหรือทางร่างกาย ร้อยละ 50.17 ทางการได้ยินหรือสื่อความหมาย ร้อยละ 18.69, และทางการเห็น ร้อยละ 8.92 ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่าจำนวนของผู้พิการทางการมองเห็นมีจำนวนมากถึง 187,546 คน

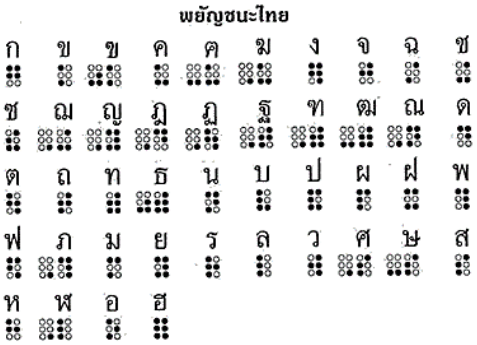
ตารางที่ 1 จำนวนและสัดส่วนผู้พิการแบ่งตามประเภท

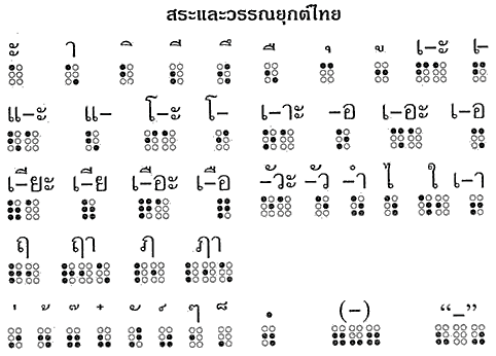
ลำดับ	ประเภทความพิการ	จำนวนคน	ร้อยละ
1	ทางการเคลื่อนไหวหรือทางร่างกาย	1,054,786	50.17
2	ทางการได้ยินหรือสื่อความหมาย	393,027	18.69
3	ทางการเห็น	187,546	8.92
4	ทางจิตใจหรือพฤติกรรม	164,710	7.83
5	ทางสติปัญญา	143,819	6.84
6	พิการมากกว่า 1 ประเภท	123,835	5.89
7	ออทิสติก	17,101	0.81
8	ทางการเรียนรู้	13,711	0.65
9	ข้อมูลรอการยืนยัน	3,849	0.18

อักษรเบรลล์ (Braille code) จากเป็นตัวอักษรสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยอักษรเบรลล์ขนาด 1 เซลล์ ประกอบด้วยปุ่มนูนเล็กๆ จำนวน 6 ปุ่มดังรูปที่ 2 โดยวางตัวในลักษณะต่างๆ กันไปตามรหัสที่กำหนดขึ้นใช้แทนตัวอักษรปกติ หรือ สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ หรือสัญลักษณ์อื่นๆ สำหรับระบบอักษรเบรลล์ที่กำหนดแทนอักษร ตัวเลขและเครื่องหมายต่างๆ ดังรูปที่ 3 [5]



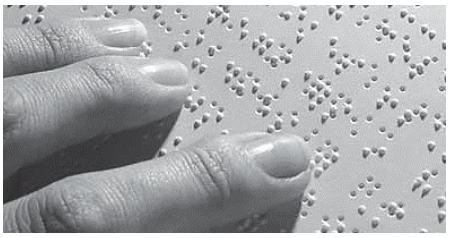
รูปที่ 2 ตำแหน่งของปุ่มนูนในอักษรเบรลล์ขนาด 1 เซลล์ [5]





รูปที่ 3 อักษรเบรลล์ที่กำหนดใช้แทนอักษรและตัวเลข [5]

รูปที่ 3 อักษรเบรลล์ที่กำหนดใช้แทนอักษรและตัวเลข (ต่อ) [5]



รูปที่ 4 ตัวอย่างการใช้งานอักษรเบรลล์ (https://rdcbraille.com/)

การใช้งานอักษรเบรลล์จะมีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับพื้นที่ของปลายนิ้วมือ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใช้สัมผัสเพื่อรับรู้และแปรผลเป็นความเข้าใจ ซึ่งพื้นที่กล่าวนั้นถือเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งของปัจจัยมนุษย์ และจากการสัมภาษณ์เบื้องต้นกับผู้พิการทางสายตาที่มีประสบการณ์ใช้งานอักษรเบรลล์ พบว่าปัญหาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ

ช่วงแรกคือ ปัญหาระยะก่อนการใช้งาน คือ ผู้พิการทางสายตา ขาดความรู้ หรือทักษะด้านอักษรเบรลล์ที่มากพอ อันมาจากสาเหตุ คือ

1) บุคลากรที่มีความรู้ในการถ่ายทอด หรือสถานที่สำหรับการเรียนการสอนยังมีจำนวนน้อยในประเทศไทย ทำให้การใช้งานยังไม่แพร่หลาย หรือเป็นทักษะพื้นฐานในชีวิตประจำวัน

2) วัตถุดิบที่ใช้ในการเรียนการสอน ตลอดจนใช้ผลิตอักษรเบรลล์ในชีวิตประจำวันยังเป็นวัตถุดิบเฉพาะและไม่ได้ผลิตจำนวนมาก

3) เทคนิคการผลิตข้อความอักษรเบรลล์ยังมีช่องว่างของเทคโนโลยีที่กว้าง เมื่อเทียบกับการสร้างทีละตัวอักษรกับข้อความขนาดยาว รวมถึงต้นทุนทางเทคโนโลยีที่สูงเกินกว่าจะเป็นอุปกรณ์ใช้ในครัวเรือน

4) ขาดงบประมาณ หรืออุปกรณ์ที่จำเป็นในเรียนรู้ อักษรเบรลล์

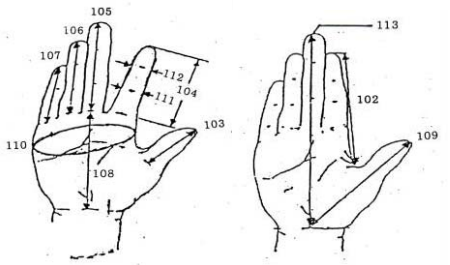
ช่วงที่สองคือ ปัญหาระยะหลังการใช้งาน คือ ผู้พิการทางสายตา ยังไม่สามารถใช้งานอักษรเบรลล์ในชีวิตประจำได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันมาจากสาเหตุ และมีความเกี่ยวข้องกับผู้ผลิต และผู้ใช้งานคือ

1) ปัจจุบันยังขาดข้อมูลทางกายภาพ การรับรู้ และขนาดพื้นที่ใช้งานนิ้วมือในการใช้งานอักษรเบรลล์ของผู้พิการทางสายตา สืบเนื่องจากข้อมูลที่ปรากฏบนบรรจุภัณฑ์ หรือผลิตภัณฑ์มีขนาดที่จำกัดจากพื้นที่ที่มี ทำให้ไม่ครบถ้วนเพียงพอต่อความต้องการ

2) เทคนิคการผลิตในปัจจุบันสามารถผลิตได้ แต่การเลือกใช้กับปริมาณของการพิมพ์ตัวอักษรยังถือว่ายังมีต้นทุนสูงที่ต้องพิจารณา เนื่องจากไม่ใช่การผลิตจำนวนมาก ทำให้ผู้บริโภคเข้าถึงได้ยาก

3) ยังขาดการศึกษาข้อมูลของผลิตภัณฑ์ หรือกิจกรรมที่ผู้พิการทางสายตามีความเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน

เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นในระยะก่อนการใช้งานมีองค์ประกอบของปัญหาเกิดขึ้นในภาพรวม ซึ่งจำเป็นต้องมีการส่งเสริมและสนับสนุนจากภาคส่วนต่างๆ รวมถึงมีระยะเวลาการดำเนินการ ทำให้ผู้วิจัยพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้นระยะหลังการใช้งาน ซึ่งมีโอกาสและช่องว่างในการศึกษาวิจัย อีกทั้งรายงานสำรวจ และวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ยังไม่ครอบคลุมขนาดพื้นที่ของนิ้วมือที่ชัดเจนดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างภาพประกอบ
แสดงตำแหน่งการวัดสัดส่วนมือชายไทย (อายุ 17-19 ปี) [1]

ทำให้สรุปได้ว่ามีความสำคัญอย่างมากที่จะศึกษาความเป็นไปได้และกำหนดแนวทางการศึกษาหาข้อมูลขนาดพื้นที่สัมผัสของนิ้วมือในการใช้งานอักษรเบรลล์ภายใต้เงื่อนไขการเคลื่อนที่ของนิ้วมือเท่านั้น เป้าหมายเพื่อให้ผู้พิการทางสายตาสามารถใช้งานอักษรเบรลล์ในขณะที่หยิบ จับ ถืออุปกรณ์ ผลิตภัณฑ์ ตลอดจนบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ด้วยมือข้างเดียว รวมถึงเพื่อให้ได้ข้อมูลปัจจัยมนุษย์ที่เป็นฐานข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในการออกแบบใช้งาน อันจะส่งผลให้ผู้พิการทางสายตาสามารถใช้ประโยชน์จากอักษรเบรลล์ได้เต็มประสิทธิภาพ และส่งเสริมคุณภาพชีวิตให้ดีมากยิ่งขึ้นต่อไป

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

ศึกษาความเป็นไปได้และการวางแผนศึกษาหาขนาดพื้นที่สัมผัสนิ้วมือของผู้พิการทางสายตาในระยะต่างๆ โดยมีเป้าหมายเพื่อจัดทำ

ฐานข้อมูลเชื่องโยงร่วมกับมาตรฐานขนาดอักษรเบรลล์ในการออกแบบปริมาณข้อความที่เหมาะสมสำหรับผู้พิการทางสายตา

3. ขั้นตอนการศึกษา

ในขั้นตอนการศึกษาจะถูกวางกรอบออกเป็น 3 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 การออกแบบแนวทางและกรอบการศึกษา

1.1) ศึกษา ค้นคว้าข้อมูลและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง อาทิ เช่น ปัญหาในการใช้ชีวิต ข้อมูล มาตรฐาน หรือกฎหมายของผู้พิการทางการมองเห็น การออกแบบ รวมถึงงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.2) สรุปช่องว่าง และความเป็นไปได้ในการศึกษานี้ จากการสังเคราะห์ และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากการค้นคว้า

1.3) กำหนดเป้าหมาย ขอบเขต เงื่อนไขของกลุ่มตัวอย่าง ภาพรวมการศึกษา ผลลัพธ์ที่คาดหวัง เพื่อกำหนดทิศทาง การศึกษาระยะที่ 2

ระยะที่ 2 ขั้นตอนเก็บข้อมูล

2.1) ออกแบบกระบวนการเก็บข้อมูล โดยระบุถึงขั้นตอนการศึกษาอย่างละเอียด และประมาณการทรัพยากรที่ต้องการ

2.2) พัฒนาแบบสัมภาษณ์ และเครื่องมือสำหรับการเก็บข้อมูลทางกายภาพ รวมถึงดำเนินการยื่นพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

2.3) ลงพื้นที่เก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างเป้าหมาย โดยกำหนดจำนวนและการกระจายตัวของกลุ่มตัวอย่างอ้างอิงจากกลุ่มประชากร และนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของสถิติพื้นฐาน

ระยะที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1) วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากนิ้วมือทั้ง 2 ข้างของกลุ่มตัวอย่าง อาทิเช่น ความแตกต่างระหว่างนิ้วมือต่างๆ และนิ้วมือซ้ายและขวา ความแตกต่างระหว่างพื้นที่สัมผัสกับความถนัดมือเป็นต้น

3.2) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เทียบกับกลุ่มตัวอย่างทั่วไปที่มีความปกติทางกาย โดยใช้หลักการทางสถิติ เพื่อหาความแตกต่างของข้อมูล

3.3) สรุปข้อมูลที่ได้เป็นข้อเสนอแนะ และแนวทางการนำไปใช้มิติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอักษรเบรลล์ เช่น สินค้า หรือบรรจุภัณฑ์เป็นต้น

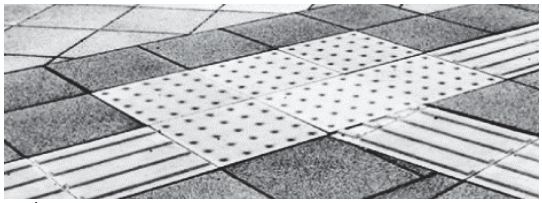


รูปที่ 6 ภาพรวมกรอบแนวคิดของการศึกษา

4. ผลการศึกษา

ผลการศึกษานี้จึงอยู่แค่เพียงในระยะที่ 1 ก็คือ การออกแบบแนวทางและกรอบการศึกษา เนื่องจากเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ โดยผลการศึกษาหัวข้อที่ 1.1) พบว่าในมิติของกฎหมายจะเป็นการนิยามที่ระบุเพียงความพิการทางการมองเห็น และสิทธิในฐานะพลเมืองเท่านั้น ดังเช่น คู่มือสิทธิของคนพิการ[6] พระราชบัญญัติส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ พ.ศ. 2550[7] และพระราชบัญญัติการจัดการศึกษาสำหรับคนพิการ พ.ศ. 2551[8] ที่กล่าวถึงขอบเขตและสิทธิของผู้พิการในการดำรงชีวิต เช่น สิทธิการจ้างงาน สวัสดิการ การกู้ยืมเงิน การช่วยเหลือทางกฎหมาย การสนับสนุน หรือสิ่งอำนวยความสะดวก สิทธิทางการแพทย์ และการศึกษาเป็นต้น

ด้านมิติของมาตรฐานที่เกี่ยวข้องในประเทศไทยยังไม่มีการระบุที่ชัดเจน ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบของการออกแบบสภาพแวดล้อมสำหรับผู้พิการทางสายตา ดังเช่น การออกแบบทางเดินที่มีส่วนประกอบของ เบรลล์บล็อก (Braille Block) โดยอ้างอิงถึงมาตรฐานสากล ดังรูปที่ 7 และการออกแบบปุ่มกดลิฟท์ดังรูปที่ 8


รูปที่ 7 ตัวอย่างการออกแบบทางเดินสำหรับผู้พิการทางสายตา (https://www.posttoday.com/. "เบรลล์บล็อก" ทางเดินคนตาบอด อย่าปล่อยให้เมืองทำร้ายคนพิการ. 05 เมษายน 2561.)



รูปที่ 8 ตัวอย่างปุ่มกดลิฟท์สำหรับผู้พิการทางสายตา
(http://brailleforblind7.blogspot.com/2016/11/blog-post.html)

ในด้านงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผู้พิการทางสายตาที่พบส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะเป็นรูปแบบของ การศึกษาวิจัยการนำอักษรเบรลล์ใส่บนบรรจุภัณฑ์เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาสามารถใช้งานผลิตภัณฑ์นั้นๆ ได้เท่าเทียมกับคนปกติ รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตอักษรเบรลล์บนบรรจุภัณฑ์ ดังเช่น

การออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์สบู่ผสมสารสกัดมังคุด[9] โดยจุฑามาศ (2556) ได้ทำวิจัยทางด้านการออกแบบอักษรเบรลล์บนบรรจุภัณฑ์สำหรับผู้บกพร่องทางสายตา โดยให้จัดวางตัวอักษรบนด้านข้างขวด และสอบถามกลุ่มผู้ใช้ และกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านบรรจุภัณฑ์ถึงรูปทรงที่เหมาะสม และผลิตได้จริง รวมถึงให้ผู้พิการทางสายตาได้เลือกและทดลองจับขวดว่าถนัดมือ และสามารถอ่านอักษรเบรลล์ได้หรือไม่

การศึกษาเรื่องการผลิตฉลากอักษรเบรลล์ด้วยระบบการพิมพ์สกรีนเพื่อใช้บนกล่องกระดาษบรรจุยา[10] โดยจุฑารัตน์ และคณะ (2552) ที่ได้ศึกษาเบอร์ผ้าสกรีนที่เหมาะสมกับการนำไปผลิตอักษรเบรลล์ โดยพบว่าผู้พิการทางสายตาสามารถอ่านอักษรเบรลล์ที่ได้จากการพิมพ์สกรีนและการเขียนด้วยสเลทโดยใช้เวลาใกล้เคียงกัน

การศึกษาการออกแบบสัญลักษณ์ขนมไทยมงคล 9 อย่างบนกล่องบรรจุภัณฑ์สำหรับผู้มีความบกพร่องทางสายตา (การออกแบบเชิงทดลอง)[11] โดยพัชราภรณ์ และฐิติกาญจน์ (2554) ซึ่งใช้เทคนิคหลังพิมพ์บนกล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์ขนมไทย พบว่าสามารถตอบสนองผู้ที่มีสายตาปกติ และช่วยผู้บกพร่องทางสายตารับรู้ข้อมูลเบื้องต้นได้

การพัฒนาฉลากยาสำหรับผู้พิการทางสายตา[12] โดยสุทธาทิพย์ และอัลจนา (2560) ได้ศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาฉลากยาโดยใช้ VOICEYE code ซึ่งผู้พิการทางสายตาสามารถใช้โทรศัพท์มือถือสแกนฉลากยาได้ด้วยตนเอง สำหรับภาชนะ 7 ชนิด ได้แก่ กล่องยา ซองยา ขวดยาน้ำทรงกลม ขวดยาน้ำทรงแบน กระป๋องแบ่งยา (เล็ก กลาง และใหญ่)

การศึกษาและพัฒนารูปแบบบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทกล่องตามแนวคิดการออกแบบเพื่อมวลชนสำหรับผู้ที่มีภาวะสายตาเลือนราง[13] โดยอนงค์นาฏ (2556) ซึ่งศึกษาพฤติกรรมและปัจจัยที่มีผลต่อการรับรู้ของผู้ที่มีสายตาเลือกราง รวมถึงองค์ประกอบและรูปแบบบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทกล่องตามแนวคิดการออกแบบอย่างเท่าเทียม

การออกแบบฉลากบรรจุภัณฑ์ยา เพื่อการสื่อสารสำหรับผู้ที่มีสายตาเลือนราง กรณีศึกษาโรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่[14] โดยวันทนา (2551) ซึ่งศึกษาการมองเห็นตัวอักษรและสีบนฉลากยาด้วยการสัมภาษณ์และทดสอบอ่าน พบว่าปกติการรับรู้ข้อมูลคือให้บุคคลอื่นอ่านให้ฟัง โดยเกือบทั้งหมดต้องการให้ปรับปรุงตัวอักษรขนาดใหญ่ขึ้นและมีอักษรเบรลล์ วันเดือนปีผลิต และสรรพคุณ

การพัฒนาฉลากบรรจุภัณฑ์ยาสำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางสายตาที่ผลิตด้วยระบบการพิมพ์สกรีน[15] โดยธิติมา (2553) ได้พัฒนาฉลากบรรจุภัณฑ์ยาด้วยระบบการพิมพ์สกรีน

การสร้างสื่อสิ่งพิมพ์อักษรเบรลล์ที่ผลิตด้วยระบบการพิมพ์สกรีนสำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางการเห็น เรื่องกฎของนิวตัน โดยนุชจรี และคณะ (2549) ได้ศึกษาสร้างสื่อสิ่งพิมพ์อักษรเบรลล์คู่กับอักษรปกติเพื่อให้ผู้พิการทางสายตาใช้สื่อร่วมกับผู้ที่มีสายตาปกติได้

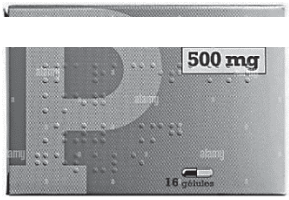
จากข้อมูลวิจัยที่กล่าวมาเห็นได้ว่าการศึกษาที่มีอยู่เป็นการศึกษาเชิงความรู้สึก โดยไม่มีด้านกายภาพที่ชัดเจน และถือเป็นรูปแบบปลายน้ำคือ มีเป้าหมายการออกแบบให้ปรากฏและปรับให้ตรงความต้องการกลุ่มผู้ใช้และวัดจากความพึงพอใจ และสามารถเห็นถึงข้อจำกัดพื้นที่และความยาวของข้อความอักษรเบรลล์ผ่านตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ ซึ่งไม่สามารถอยู่บนพื้นที่เดียวกันกับตัวอักษรปกติได้ ดังแสดงในรูปที่ 9-11



รูปที่ 9 ตัวอย่างอักษรเบรลล์บนบรรจุภัณฑ์โลหะ
(http://www.moreinspiration.com/article/2144/braille-beer-labels)



รูปที่ 10 ตัวอย่างอักษรเบรลล์บนบรรจุภัณฑ์พลาสติก
(https://consumergoods.com/pg-will-not-patent-new-packaging-designed-people-disabilities)

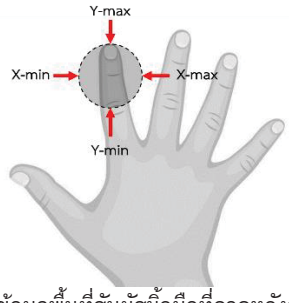


รูปที่ 11 ตัวอย่างอักษรเบรลล์บนบรรจุภัณฑ์กระดาษ
(https://www.alamy.com)

ซึ่งจากข้อมูลค้นคว้า สรุปได้ว่ามีความต้องการและช่องว่างการศึกษาต้นน้ำคือ การศึกษาข้อมูลทางกายภาพของกลุ่มผู้พิการทาง

สายตา ทำให้ผลลัพธ์การศึกษาในระยะที่ 1 หัวข้อ 1.2) สรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ โดยการกำหนดภาพรวมของการศึกษาในระยะที่ 1 หัวข้อที่ 1.3) คือ เป้าหมายและขอบเขตการศึกษาคือ เพื่อหาขนาดพื้นที่สัมผัสของปลายนิ้วมือซ้ายและขวาทุกนิ้วโดยไม่ขยับข้อมือ เพื่อให้ทราบถึงพื้นที่จำกัดและสอดคล้องกับเงื่อนไขที่ผู้พิการทางสายตาสามารถหยิบถือสิ่งของ หรืออุปกรณ์ด้วยมือข้างเดียวพร้อมกับใช้ปลายนิ้วอ่านอักษรเบรลล์ ซึ่งหลังได้ข้อมูลดังกล่าวก็จะสามารถไปเชื่อมโยงกับมาตรฐานขนาดอักษรเบรลล์ เพื่อใช้กำหนดขนาดความยาวของข้อความที่เหมาะสมได้ต่อไป

ทั้งนี้กรอบการศึกษาต่อไปจากนี้คือ การออกแบบการเก็บข้อมูลกายภาพของผู้พิการทางสายตา โดยมีกลุ่มตัวอย่างคือ ผู้พิการทางสายตาชาวไทย อายุ 20-40 ปี ที่มีทักษะการใช้งานอักษรเบรลล์ ที่มีนิ้วมือครบและสามารถใช้งานได้ปกติ ซึ่งขั้นตอนการเก็บข้อมูล แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ข้อมูลทั่วไป อาทิเช่น เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ความถนัดมือและนิ้ว ประสบการณ์ใช้อักษรเบรลล์เป็นต้น และข้อมูลกายภาพ คือ พื้นที่สัมผัสของนิ้วมือทั้ง 10 นิ้วของกลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ตัวอย่างข้อมูลพื้นที่สัมผัสนิ้วมือที่คาดหวังจากการเก็บข้อมูล

จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าพื้นที่คาดหวังจากการเก็บข้อมูลคือ พื้นที่ตั้งแต่ตำแหน่งที่ปลายนิ้วมือยืดได้สุด (Y-max) จนถึงตำแหน่งที่ปลายนิ้วมือหดเข้ามาสั้นที่สุดโดยยังสามารถใช้ปลายนิ้วสัมผัสได้อยู่ (Y-min) รวมถึงตำแหน่งสัมผัสทางซ้ายและขวา (X-min และ X-max) ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวจะนำไปเชื่อมโยงกับมาตรฐานของอักษรเบรลล์ตามแผนการศึกษาในระยะที่ 3 เพื่อสร้างเป็นแนวทางการออกแบบความยาวของข้อความอักษรเบรลล์ในการใช้งานต่อไป

5. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าปัจจุบันประเทศไทยยังมีช่องว่างของข้อมูลปัจจัยมนุษย์ของประชากร รวมถึงมีการศึกษาที่น้อยในกลุ่มเฉพาะ โดยกลุ่มผู้พิการมีการศึกษาน้อยที่สุด ผู้พิการทางสายตาถือเป็นกลุ่มหนึ่งที่ประสบอุปสรรค และได้รับผลกระทบในการดำเนินชีวิตประจำวันอย่างชัดเจน โดยเฉพาะด้านการสื่อสาร หรือรับรู้ข้อมูล

แต่การนำเอาอักษรเบรลล์มาใช้งานยังพบปัญหาจากข้อจำกัดต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ช่วงระยะ คือ ระยะก่อนการใช้งาน กับหลังการใช้งาน โดยปัญหาที่เกิดขึ้นภายหลังการใช้งานเป็นประเด็นสำคัญที่ผู้วิจัยให้ความสนใจคือ ความไม่สอดคล้องของการออกแบบกับกายภาพของผู้พิการ ถึงแม้จะมีการศึกษาเพื่อพัฒนารวมถึงสนับสนุนประสิทธิภาพการใช้อักษรเบรลล์ก็ตาม แต่ส่วนใหญ่ก็จะอยู่ในลักษณะของการนำอักษรเบรลล์ใส่ลงไปบนตัวบรรจุภัณฑ์เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาสามารถใช้งานกับการพัฒนาเทคนิคการผลิตอักษรเบรลล์ลงบนบรรจุภัณฑ์

ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาวิจัยที่ต้นน้ำคือ การศึกษาข้อมูลปัจจัยมนุษย์ที่สอดคล้องกับการใช้งานของอักษรเบรลล์เพิ่มเติมคือ พื้นที่สัมผัสของปลายนิ้วมือ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใช้ในการอ่านอักษรเบรลล์ แต่ยังคงขาดข้อมูลที่แสดงถึงพื้นที่เหมาะสมที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาด และความยาวของข้อความที่ผู้ผลิตต้องการสื่อสาร

การออกแบบกรอบแนวทางการศึกษาระยะต่างๆ ประกอบไปด้วยแนวทางการเก็บข้อมูล การตั้งสมมติฐาน และการวิเคราะห์ ตลอดจนการจัดทำฐานข้อมูลไว้เป็นแนวทาง หรือข้อเสนอแนะการออกแบบขนาดความยาวของข้อความอักษรเบรลล์ภายใต้เงื่อนไขที่ผู้พิการทางสายตาสามารถอ่านได้โดยใช้มือเพียงข้างเดียว โดยเชื่อมโยงกับขนาดมาตรฐานของอักษรเบรลล์ เพื่อให้นักออกแบบผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ รวมถึงสิ่งแวดล้อมต่างๆ ทราบถึงขนาดข้อความที่เหมาะสม ทำให้ผู้ผลิตสามารถนำไปใช้งานได้ตรงกับความต้องการและเกิดความคุ้มค่าที่สุด ส่งผลให้ผู้พิการทางสายได้รับประโยชน์จากอักษรเบรลล์ที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลต่อไป

ทั้งนี้การศึกษาในลำดับต่อไป หรือระยะที่ 2 คือ การเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างเป้าหมาย และพัฒนาเทคนิคในการเก็บข้อมูลพื้นที่สัมผัสของนิ้วมือโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ รวมถึงนำข้อมูลที่ได้เพื่อเข้าสู่ระยะสุดท้าย หรือระยะที่ 3 เพื่อจัดทำเป็นแนวทางเสนอแนะต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติ อินทรานนท์. การยศาสตร์. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2559.
[2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม (2544). รายงานการสำรวจ และวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 4 : พ.ศ. 2543 – 2544. กรุงเทพฯ.
[3] กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ. (2564). รายงานสถานการณ์ด้านคนพิการในประเทศไทย ประจำไตรมาส 31 ธันวาคม 2564.
[4] กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ. (2555). ประกาศกระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ เรื่อง ประเภทและหลักเกณฑ์ความพิการ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2555
[5] สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน). (2560).ตัวแสดงผลอักษรเบรลล์. (https://www.slri.or.th/).
[6] สำนักงานส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการแห่งชาติ. คู่มือสิทธิของคนพิการ. 2554
[7] พระราชบัญญัติส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ พ.ศ. 2550, มาตรา 4 ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 124 ตอนที่ 61 ก (27 กันยายน 2550) : หน้า 9
[8] พระราชบัญญัติการจัดการศึกษาสำหรับคนพิการ พ.ศ. 2551, มาตรา 3, ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนที่ 28 ก (5 กุมภาพันธ์ 2551) : หน้า 2.
[9] จุฑามาศ เจริญพงษ์มาลา. 2556. การออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์สบู่ผสมสารสกัดมังคุดของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. ปีที่ 5 ฉบับพิเศษ หน้า 28-42.

[10] จุฑารัตน์ สังข์เงิน. 2552. การผลิตฉลากยาอักษรเบรลล์ด้วยระบบการพิมพ์สกรีนเพื่อใช้บนกล่องกระดาษบรรจุยา. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[11] พัชราภรณ์ เตชะเลิศไพศาล และฐิติกาญจน์ หิรัญเลิศประเสริฐ. 2554. การออกแบบสัญลักษณ์ขนมไทยมงคล 9 อย่างบนกล่องบรรจุภัณฑ์สำหรับผู้มีความบกพร่องทางสายตา (การออกแบบเชิงทดลอง). วิทยานิพนธ์ปริญญานิเทศศาสตรบัณฑิต สาขาออกแบบเรขศิลป์ คณะนิเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยอัซสัมชัญ.

[12] สุทธาทิพย์ ออประยูรและอัลจนา เฟื่องจันทร. (2560). การพัฒนาฉลากยาสำหรับผู้พิการทางสายตา. วารสารเภสัชกรรมไทย ปีที่ 9 เล่มที่ 1 ฉบับมกราคม – มีนาคม หน้า 236-250.

[13] อนงค์นาฏ วรรณจิตรจรูญ. (2556). การศึกษาและพัฒนารูปแบบบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทกล่องตามแนวคิดการออกแบบเพื่อมวลชนสำหรับผู้ที่มีภาวะสายตาเลือนราง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานวัตกรรมการออกแบบ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[14] วันทนา เอี่ยมเจริญ, 2551. การออกแบบฉลากบรรจุภัณฑ์ยาเพื่อการสื่อสารสำหรับผู้ที่มีสายตาเลือนราง กรณีศึกษาโรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสื่อศิลปะและการออกแบบสื่อ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[15] ธิติมา เขียวพุ่มพวง และกฤติกา ตันประเสริฐ. 2553. การพัฒนาฉลากบรรจุภัณฑ์ยาสำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางสายตาที่ผลิตด้วยระบบการพิมพ์สกรีน. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[16] นุชรี ชัยมงคล. 2549. การสร้างสื่อสิ่งพิมพ์อักษรเบรลล์ที่ผลิตด้วยระบบการพิมพ์สกรีนสำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางการเห็น เรื่อง กฎของนิวตัน. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ลดความสูญเปล่าในการปรับตั้งเครื่องปั๊มชิ้นงาน รุ่น A

Waste reduction of setting the workpiece stamping: Series A

วรินทร์ เกียรตินุกูล
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
E-mail: warin@mutacth.com, warin_keaitnukul@hotmail.com*

Warin Keaitnukul
Department of Industrial and Logistics Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Mahanakorn University of Technology
E-mail: warin@mutacth.com, warin_keaitnukul@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความสูญเสียด้านการรอคอยเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรในครั้งที่ 2 โดยเป็นการปรับตั้งเครื่องจักรที่ทำให้เกิดความสูญเสียด้านการรอคอยเวลา มีสาเหตุมาจากปัญหาการปรับตั้งระบบการทำงานในครั้งที่ 2 ซึ่งทุกครั้งที่เกิดการปรับตั้งระบบการทำงานของเครื่องจักรใหม่จะเกิดความสูญเสีย จากการรอคอยเป็นเวลานานประมาณ 20 นาทีต่อการปรับตั้ง 1 ครั้ง จากการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภูมิก้างปลา พบว่าความ สูญเสียที่เกิดขึ้น คือ ความสูญเสียจากการรอคอยเวลา ซึ่งเกิดจากการใช้งานอุปกรณ์จับยึดและวัตถุดิบที่ไม่เหมาะ สมกันในกระบวนการผลิตชิ้นส่วน ทำให้วัตถุดิบหลุดออกจากตัวล็อคที่จะทำการผลิตชิ้นงาน เนื่องจากอุปกรณ์จับยึดไม่สามารถครอบคลุมขนาดของวัตถุ ดิบได้ จึงทำให้เครื่องจักรหยุดการทำงาน และต้องทำการปรับตั้งระบบการทำงานใหม่ จากความสูญเสียดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน โดยสร้างเครื่องช่วยประคองวัตถุดิบในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหม้อน้ำรถยนต์ รุ่น A ผลการปรับปรุง พบว่าสามารถลดการตกของวัตถุดิบ จากการตรวจสอบใน 10 วัน ก่อนปรับปรุงจำนวนการตก 10 วัน 39 ครั้ง และหลังปรับปรุง 0 ครั้ง ซึ่งลดลง 100 % และความสูญเสียด้านการรอคอยเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรในครั้งที่ 2 ก่อนปรับปรุงใช้เวลา 7,490.93 วินาที/วัน และหลังปรับปรุงลดเหลือ 2,196.60 วินาที/วัน ซึ่งคิดเป็น เปอร์เซ็นต์ลดลง 70.68 % อีกทั้งยังสามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้ตรงตามเป้าหมายที่ทางบริษัทตั้งไว้ คือ 14,000 ชิ้น/ วัน ก่อนปรับปรุงผลิตได้ 11,760 ชิ้น/วัน และหลังปรับปรุงผลิตได้ 14,020 ชิ้น/วัน ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น 19.22 %

คาสาคัญ: การปรับตั้งเครื่องจักร, การรอคอยเวลา, หม้อน้ำรถยนต์

Abstract

This research aims to reduce the waiting loss in the second-time machine setup process. Adjusting the working system caused the waiting time loss, which is caused by the second set-up problem. Every time the machine is re-set, there is a loss of waiting time of approximately 20 minutes per set. From the analysis of the problem using the fishbone diagram, it was found that the incurred was the loss from waiting time. This is due to the use of improper fixtures and raw materials in the part manufacturing process, which causes the raw material to escape from the lock that will produce the workpiece. Because the fixtures cannot cover the size of the raw material, the machine stops working, and the system needs to be improved. From such losses, the researcher has therefore made improvements by creating a material stabilizer in the production of series A radiator parts. The improvement results showed that it was able to reduce the material drop from a 10-day inspection, which was before improvement, by 39 times in 10 days, and after improvement, there was a total of 0 times. The loss of waiting time in the second setup before improvement was 7,490.93 seconds/day, and after improvement, it was reduced to 2,196.60 seconds/day, which is a percentage reduction of 70.68. The production capacity to meet the company's target is 14,000 pieces/day, before improvement to produce 11,760 pieces/day and after improvement to produce 14,020 pieces/day, which is 19.22.

Keywords: Machine setup process, Waiting time, Radiator

1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทผลิตและจำหน่ายอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องยนต์ (หม้อน้ำ) ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับเครื่องยนต์ เพื่อไม่ให้เครื่องยนต์มีอุณภูมิสูงเกินไป โดยอาศัยน้ำยาหล่อเย็นและพัดลมเพื่อใช้ในการดูดอากาศ โดยชิ้นส่วนที่ศึกษาคือชิ้นส่วนรุ่น A เป็นชิ้นส่วนหลักในหม้อน้ำรถยนต์ใช้ในการประคองแผงระบายความร้อนด้านซ้ายและขวาของหม้อน้ำรถยนต์ ปัจจุบันพบว่ามีความสูญเสียในการรอคอยเวลาจากการปรับตั้งเครื่องจักรในครั้งที่ 2 ซึ่งอยู่ในกระบวนการปั๊มชิ้นส่วน โดยในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนนั้นมีขั้นตอนในการผลิต เริ่มต้นจากการนำม้วนอลูมิเนียมมาใส่เครื่องป้อนชิ้นงาน โดยพบปัญหาว่ามีการป้อนชิ้นงานผิดวิธี ซึ่งมีการกลับด้านแผ่นอลูมิเนียมและมีการป้อนชิ้นงานจากข้างบนสู่ข้างล่าง เพื่อให้เข้าเครื่องปั๊มชิ้นงานได้ จึงทำให้วัตถุดิบเกิดการบิดงอ และยังพบปัญหาอีกว่าม้วนอลูมิเนียมมีขนาดที่ใหญ่กว่าเครื่องป้อนชิ้นงาน จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ซ้ายและขวาของม้วนอลูมิเนียมในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงาน ซึ่งปัญหาที่กล่าวข้างต้นล้วนแล้วเป็นสาเหตุที่ทำให้ม้วนอลูมิเนียมตกจากเครื่องป้อนชิ้นงาน จึงทำให้เกิดการรอคอยเวลาในการปรับตั้งระบบการทำงานของเครื่องจักรใหม่ เนื่องจากวัตถุดิบตกจากเครื่องป้อนชิ้นงาน ซึ่งในแต่ละครั้งใช้เวลานานประมาณ 20 นาที วันละประมาณ 4 ครั้ง จึงทำให้เกิดผลกระทบในการผลิตที่ล่าช้าและกำลังการผลิตที่ลดลง คิดเป็นความสูญเสียด้านการรอคอยเวลาในการปรับตั้งระบบการทำงานใหม่ 2,240 ชิ้นต่อวัน หรือ จำนวนเงิน 14,112 บาทต่อวัน ทางบริษัทกรณีศึกษาต้องการลดความสูญเสียด้านการรอคอยเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรในครั้งที่ 2 เพื่อให้เกิดความสูญเสียด้านการรอคอยเวลาน้อยลง และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้มากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยจึงได้นำหลักการ การศึกษาเวลาโดยตรง มาประยุกต์ใช้ในการหาเวลามาตรฐาน รวมทั้งได้นำหลักการ 7 Waste มาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อลดความสูญเสียด้านการรอคอยและลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต และได้นำหลักการออกแบบวิศวกรรมเครื่องมือเพื่อให้อุปกรณ์จับยึดช่วยป้องกันการทำงานที่ไม่ผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักร อีกทั้งยังเพิ่มกำลังการผลิตให้กับบริษัทมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการดำเนินงาน

2.1 การศึกษาการทำงาน (Work Study) [1][2]

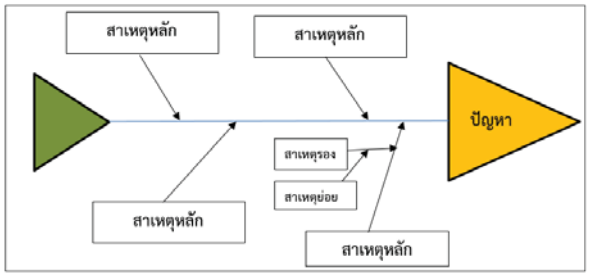
ศึกษากระบวนการทำงานเพื่อปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้นและพัฒนามาตรฐานการทำงาน รวมไปถึงการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานที่ล่าช้าให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

2.2 ทฤษฎีการลดความสูญเปล่า 7 ประการ [3]

ในกระบวนการผลิตนั้น ผู้ผลิตควรมุ่งเน้นในเรื่องของการเพิ่มคุณค่าให้กับตัวสินค้าและการลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นให้น้อยลงมากที่สุด ซึ่งการลดความสูญเปล่านั้น เป็นวิธีหนึ่งสำหรับการกำจัดกระบวนการที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้า โดยมุ่งเน้นที่จะลดความสูญเปล่า 7 ประการ โดยความสูญเปล่าจะถูกตั้งเป้าหมายว่าจะต้องถูกกำจัดออกไป รวมถึงการปรับเปลี่ยนการทำงานให้กระบวนการผลิตมีความสม่ำเสมอ และมีความราบรื่นในการทำงาน

2.3 เครื่องมือวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [4]

แผนผังสาเหตุและผล เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) เราอาจคุ้นเคยกับแผนผังสาเหตุและผล ในชื่อของ ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) เนื่องจากหน้าตาแผนภูมิมีลักษณะคล้ายปลาที่เหลือแต่ก้าง หรือ อาจรู้จักในอีกชื่อว่า แผนผังอิชิกาว่า (Ishikawa Diagram) ซึ่งได้รับการพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1943 โดยมีกระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยหัวปลาจะแสดงถึงปัญหา ส่วนก้างปลาจะแสดงถึงสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา โดยแผนผังก้างปลามีหน้าตา แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างแผนผังก้างปลา

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์จับยึด และ การลดเวลาในการผลิต ได้แก่ [5]ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อลดเวลาในการผลิตลูกหมากปีกนกด้านบน ผลการวิจัยพบว่าอุปกรณ์จับยึดที่ออกแบบ สามารถจับยึดชิ้นงานในการขึ้นรูปได้ในขั้นตอนเดียวและมีความแม่นยำโดยสามารถลดรอบเวลาการผลิตรวมได้ 1.75 วินาทีต่อชิ้น [6]ทำการเพิ่มประสิทธิภาพและพัฒนาเครื่องขัดเงาในกระบวนการขัดเงากล่องใส่อัญมณีและเครื่องประดับ ปัญหาหลักในกระบวนการขัดเงาพบว่าเกิดมาจากอุปกรณ์จับชิ้นงานขัดที่ไม่สามารถขัดให้เสร็จได้ทุกด้านในครั้งเดียวจึงพัฒนาอุปกรณ์ช่วยขัดพร้อมกัน 3 ด้าน และ ช่วยลดเวลาในกระบวนการลง โดยก่อนปรับปรุงกระบวนการขัดเงาเวลาอยู่ที่ 131.27วินาที และหลังปรับปรุงเวลาลดลงเหลือ 95.97 วินาที เวลาทั้งหมดลดลง 73% [7]ทำการลดเวลาในกระบวนการผลิตถังลมรถบรรทุกรุ่นASM003 โดยพัฒนาอุปกรณ์ช่วยป้องกันสะเก็ดเชื่อมถังลม เพื่อช่วยให้ชิ้นงานติดสะเก็ดเชื่อมน้อยลง และ ทำให้กระบวนการขัดรวดเร็วมากขึ้น ผลการปรับปรุงช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการขัดลงจาก 754.23 วินาทีต่อชิ้น เหลือเพียง 477.38 วินาทีต่อชิ้น ซึ่งลดลงร้อยละ 36.70 และ มีผลผลิตเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 12.5 [8]ลดของเสียในกระบวนการดัดเหล็กขาเพลท ในกระบวนการที่ 3 คือกระบวนการดัดเหล็ก 90 องศา ในกระบวนการย่อยที่ 3.2 การออกแบบอุปกรณ์ดัดเหล็ก 90 องศา ในส่วนของด้ามจับทุ่นแรงกับร่องดัดถูกแยกเป็นสองชิ้น

จึงมีโอกาสสูงที่จะสวมด้ามจับทุ่นแรงไม่ตรงระนาบกับร่องดัด ทำให้ของเสียเกิดขึ้นในลักษณะมุมฉากทั้งสองด้านไม่เท่ากันกระบวนการที่ 3.3 ไม่มีตัวกำหนดองศาการดัด ต้องกะระดับองศาด้วยตาเปล่า ทำให้มีโอกาสผิดพลาดสูง และไม่มีตัวล็อคชิ้นงานด้านล่าง ทำให้ชิ้นงานมีการขยับ และเกิดของเสียในที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงปรับปรุงกระบวนการที่ 3 โดยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ดัดเหล็ก 90องศาใหม่พบว่าสามารถลดของเสียในกระบวน การดัดเหล็ก 90องศาจากก่อนการปรับปรุงมีเปอร์เซ็นต์ของเสีย15.07% หลังการปรับปรุงเปอร์เซ็นต์ของเสียลดลงเหลือ 0% โดยมี %ของเสียรวมทั้ง 3 กระบวนการ ก่อนการปรับปรุง มี % ของเสียรวม 18.79% และ หลังการปรับปรุง % ของเสียรวม 3.92%

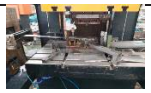
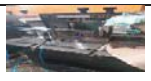
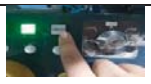
ผู้วิจัยจึงได้นำแนวทางดังกล่าว มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์จับยึดช่วยป้องกันการทำงานที่ไม่ผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักรในงานวิจัยนี้

3. การศึกษาและออกแบบแนวทางการปรับปรุง

3.1 ขั้นตอนกระบวนการผลิต

ขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องปั๊มครั้งที่1 มี11ขั้นตอน ดังตารางที่1.ดังนี้

ตารางที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการปรับตั้งเครื่องปั๊ม ครั้งที่ 1

No.	ภาพประกอบ	ขั้นตอนการทำงาน
1.		ยกวัตถุดิบไปใส่เครื่องป้อนวัตถุดิบ
2.		ใส่ตัวล็อควัตถุดิบ 2 อัน
3.		แกะเทปกาวออกจากวัตถุดิบ
4.		ดึงวัตถุดิบเข้าเครื่องรีดวัตถุดิบ
5.		ตรวจเช็คน้ำมันเครื่องก่อนเข้าเครื่องปั๊ม
6.		นำวัตถุดิบเข้าเครื่องปั๊มวัตถุดิบ
7.		ปรับตั้งค่าระบบการทำงานของเครื่องปั๊ม
8.		ทดสอบการปั๊มชิ้นงาน
9.		ปิดเครื่องชั่วคราว
10.		QA ตรวจสอบชิ้นงานและทำการบันทึกค่า
11.		เปิดเครื่องทำงานโดยปกติ

โดยตัวอย่างชิ้นส่วนงานปั๊มของส่วนประกอบหม้อน้ำรถยนต์ รุ่น A แสดงดังรูปที่ 2.



รูปที่ 2 ชิ้นส่วนหม้อน้ำรถยนต์ รุ่น A

โดยมีเวลามาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 2.

ตารางที่ 2 เวลามาตรฐานการปรับตั้งเครื่องจักรในครั้งที่ 1 (ก่อน)

กระบวนการ	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	อัตราการทำงาน	เวลาปกติ (วินาที)	ค่าเผื่อการทำงาน	เวลามาตราฐาน (วินาที)
1	182.45	1.04	189.74	1.07	203.03
2	188.85	1.04	196.40	1.07	210.15
3	83.70	1.04	87.05	1.07	93.14
4	110.06	1.04	114.46	1.07	122.47
5	60.28	1.04	62.69	1.07	67.08
6	71.33	1.04	74.18	1.07	79.38
7	481.93	1.04	501.20	1.07	536.29
8	0.20	1.04	0.21	1.07	0.22
9	131.95	1.04	137.23	1.07	146.84
10	340.44	1.04	354.06	1.07	378.84
11	77.80	1.04	80.91	1.07	86.51
รวมเวลามาตรฐาน (วินาที/รอบการติดตั้ง)					1,924.01

หมายเหตุ : ทำการศึกษาตามขั้นตอนการหาเวลามาตรฐาน

โดยหากเครื่องจักรเกิดการขัดข้องขณะที่กำลังทำงาน โดยสาเหตุมาจากวัตถุดิบตกจากเครื่องป้อนชิ้นงาน จะทำให้เกิดกระบวนการปรับตั้งระบบการทำงานของเครื่องจักรเป็นครั้งที่ 2 ซึ่งกระบวนการนี้ทำให้เกิดความสูญเสียด้านการรอคอยเวลาในการปรับตั้งการทำงานใหม่ โดยจะมีขั้นตอนการปรับตั้งครั้งที่ 2 มี 9ขั้นตอน ดังตารางที่3. และมีเวลามาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 4.

หลังจากการปรับตั้งครั้งที่ 1 ซึ่งทำก่อนที่จะเริ่มการปั๊มวัตถุดิบนั้น จะมีการเริ่มงานตั้งแต่เวลา 7.30 นาที ถึงเวลา 7.58 นาทีโดยประมาณ หลังจากที่เริ่มทำการปั๊มวัตถุดิบในช่วงแรก จะมีการตกของวัตถุดิบทำให้เครื่องจักรหยุดการทำงานและเกิดการปรับตั้งขึ้นในครั้งที่ 2

ตารางที่ 3 ขั้นตอนกระบวนการปรับตั้งเครื่องปั๊ม ครั้งที่ 2

No.	ภาพประกอบ	ขั้นตอนการทำงาน
1.		พนักงานเดินไปที่เครื่องจักร
2.		ปิดเครื่องปั๊ม
3.		ยกวัตถุดิบกลับขึ้นไปบนม้วนคอยล์
4.		ตรวจเช็คน้ำมันเครื่องก่อนเข้าเครื่องปั๊ม
5.		ปรับตั้งค่าระบบการทำงานของเครื่องปั๊ม
6.		ทดสอบการปั๊มชิ้นงาน
7.		ปิดเครื่องชั่วคราว
8.		QA ตรวจสอบชิ้นงานและทำการบันทึกค่า
9.		เปิดเครื่องทำงานโดยปกติ

.

ตารางที่ 4 เวลามาตรฐานการปรับตั้งเครื่องจักรในครั้งที่ 2 (ก่อน)

กระบวนการ	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	อัตราการทำงาน	เวลาปกติ (วินาที)	ค่าเผื่อการทำงาน	เวลามาตราฐาน (วินาที)
1	55.78	1.04	58.01	1.07	62.07
2	44.54	1.04	46.32	1.07	49.57
3	45.09	1.04	46.90	1.07	50.18
4	62.18	1.04	64.66	1.07	69.17
5	488.80	1.04	508.35	1.07	543.94
6	0.20	1.04	0.21	1.07	0.22
7	131.95	1.04	137.23	1.07	146.84
8	345.74	1.04	359.57	1.07	384.74
9	76.40	1.04	79.45	1.07	85.01
รวมเวลามาตรฐาน (วินาที/รอบการติดตั้ง)					1,391.73

หมายเหตุ : ทำการศึกษาตามขั้นตอนการหาเวลามาตรฐาน

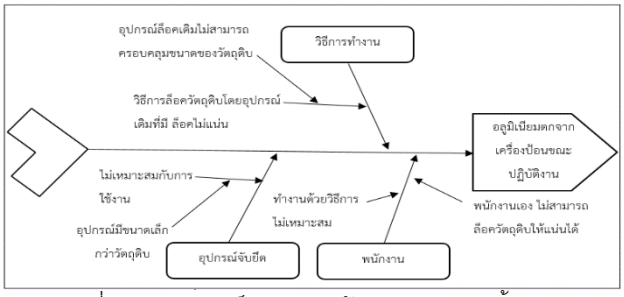
จากการเก็บข้อมูลการตกใน 10 วัน พบว่าการตกของวัตถุดิบส่วนใหญ่ จะเกิดปัญหาจากการหย่อนของวัตถุดิบโดยเป็นช่วงที่วัตถุดิบใกล้หมดม้วน จึงทำให้มีการตกเป็นบางครั้ง และสามารถสรุปความสูญเสียจากการอคอยเวลาในการปรับตั้งระบบการทำงานครั้งที่ 2 ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความสูญเสียด้านเวลารอคอยเวลา (ก่อน)

ขั้นตอน	เวลามาตรฐาน (วินาที)	จำนวนปรับตั้ง/วัน (ครั้ง)	รวมเวลา (วินาที)
1.ปรับตั้งครั้งที่ 1	1,924.01	1	1,924.01
2.ปรับตั้งครั้งที่ 2	1,391.73	4	5,566.92
รวมเวลาปรับตั้ง / วัน (วินาที/วัน)			7,490.93

3.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

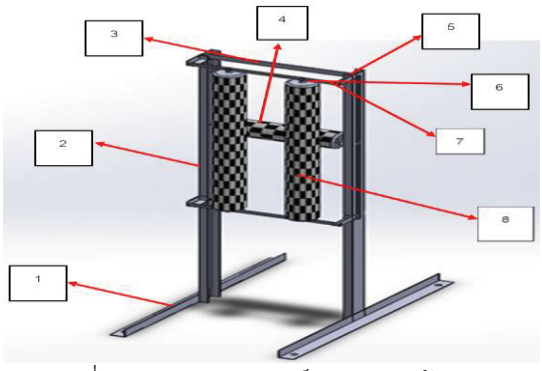
การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) พบว่าสาเหตุการตกของชิ้นงานที่เป็นไปได้เกิดจากวิธีการล็อควัตถุดิบโดยอุปกรณ์เดิมมีการล็อคไม่แน่น เนื่องจากอุปกรณ์ล็อคเดิมไม่ครอบคลุมขนาดของวัตถุดิบ, อุปกรณ์จับยึดไม่เหมาะสมกับการใช้งาน เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่าวัตถุดิบ และ พนักงานเองไม่สามารถล็อควัตถุดิบให้แน่นได้โดยพนักงานเอง แสดงดังรูปที่ 3. ดังนั้น หากมีอุปกรณ์ช่วยประคองที่เหมาะสม ย่อมจะช่วยให้ลดปัญหาการหล่นของชิ้นงานปั๊มได้ ทำให้ไม่ต้องปรับตั้งครั้งที่ 2



รูปที่ 3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการตกของชิ้นงาน

3.3 แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัญหา

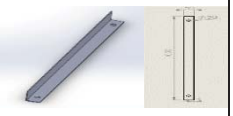
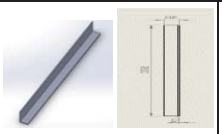
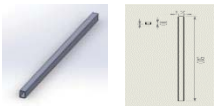
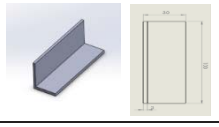
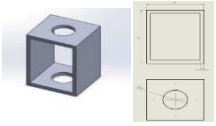
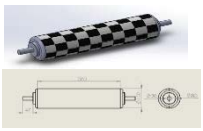
จากการศึกษาและการเก็บข้อมูลเวลาสูญเปล่าจากการปรับตั้งเครื่องจักร ซึ่งใช้เวลานานเนื่องจากวัตถุดิบตกจากเครื่องจักรทำให้ต้องปรับตั้งเครื่องจักรใหม่เป็นครั้งที่ 2 ทางผู้วิจัยเห็นว่าเกิดจากอุปกรณ์ช่วยในการผลิตไม่เหมาะสม จึงได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ช่วยประคองวัตถุดิบ เพื่อช่วยลดความสูญเสียจากการตกของชิ้นงาน และลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร ครั้งที่ 2 ลง



รูปที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยประคองวัตถุดิบ

โดยรายละเอียดการทำงานของเครื่องประคองวัตถุดิบ มีรายละเอียด ดังรูปที่ 4 และตารางกำหนดขนาดและวัสดุที่ใช้ประกอบอุปกรณ์แสดงดังตารางที่ 6.

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบขนาดและคุณสมบัติ 3ประเภทของวัสดุ

ชิ้นส่วน	รูปภาพบอกขนาด	รายละเอียด
1.		โครงเหล็กฉากจับยึดส่วนประกอบเพื่อรับแรงโรลเลอร์ ยาว1,000มม.กว้าง50 มม.
2.		โครงซ้าย ขวา เพื่อยึดให้ตั้งตรงและรับแรงจากโรลเลอร์ ขนาดยาว 1,700มม. กว้าง 70 มม. ช่องตรงกลางยาว 600 มม. กว้าง 20 มม.
3.		โครงด้านบน เพื่อยึดเสา L-R มีขนาดความยาว 500 มม. กว้าง 20 มม.
4.		แกนยึดแนวนอนโรลเลอร์ เพื่อยึดให้โรลเลอร์แนวนอนคงที่ และรับน้ำหนักได้ ยาว 500 มม. กว้าง 10*10 มม.
5.		โครงยึดแกนแนวนอน เพื่อยึดแกนซ้าย-ขวา และ บน-ล่าง ยาว100 มม.หนา3 มม.
6.		จุดยึดโรลเลอร์ด้านหน้า เพื่อล็อคให้โรลเลอร์แนวตั้งคงอยู่ และแข็งแรงต่อการรับน้ำหนัก ขนาดยาว17มม.กว้าง 14มม.
7.		โรลเลอร์แนวนอน เพื่อกันวัตถุดิบไม่ให้หลุดออกจากเซนเซอร์ มีขนาดยาว 380 มม.ด้านจับยาว 47 มม.
8.		โรลเลอร์แนวตั้ง เพื่อประคองวัตถุดิบไม่ให้ออกซ้าย และขวา ป้องกันการเสียดสีของวัตถุดิบขณะทำงานมี ยาว 915มม.

4. การดำเนินงานและผลการปรับปรุง

การดำเนินงานปรับปรุงโดยการจัดทำเครื่องช่วยประคองวัตถุดิบ และนำไปทดลองใช้ร่วมกับการวัดผล โดยเป็นผลการดำเนินงาน และผลการปรับปรุงด้านเวลา และผลผลิตที่ได้ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การดำเนินการติดตั้งและทดลองเครื่องช่วยประคองวัตถุดิบ

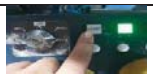
หลังจากที่ได้ทำการออกแบบและจัดทำชิ้นงานแล้ว นำไปทดลองติดตั้งที่บริษัทกรณีศึกษา โดยนำเครื่องช่วยประคองวัตถุดิบติดตั้งกับเครื่องป้อนชิ้นงาน ซึ่งอยู่ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหม้อน้ำรถยนต์ รุ่น A ดังรูปที่ 5. พบว่าพนักงานเข้าใจวิธีการใช้งานของเครื่องช่วยประคองวัตถุดิบได้อย่างรวดเร็วและสามารถทำงานได้คล่องตัว หลังจากทำการปรับปรุงแล้วเครื่องจักรก็ทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องเสียเวลารอคอยที่ต้องปรับตั้งใหม่ (ครั้งที่2) อีกหลายครั้ง โดยรูปเปรียบเทียบการทำงานแบบติดตั้งและไม่มีเครื่องประคองแผ่น แสดงดังรูปที่ 5. และเวลามาตรฐานการปรับตั้งเครื่องจักร (หลังปรับปรุง) แสดงดังตารางที่ 7.



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบการติดตั้งเครื่องช่วยประคองวัตถุดิบ ก่อน-หลัง

ขั้นตอนกระบวนการปรับตั้งเครื่องจักร หลังปรับปรุงมีทั้งหมด 12 ขั้นตอน แสดงดังตารางที่ 7. และ มีเวลามาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 8.

ตารางที่ 7 ขั้นตอนกระบวนการปรับตั้งเครื่องจักร หลังปรับปรุง

No.	ภาพประกอบ	ขั้นตอนการทำงาน
1.	3 ขั้นตอนแรก เหมือนตารางที่1.	ยกวัตถุดิบไปใส่เครื่องป้อนวัตถุดิบ
2.		ใส่ตัวล็อควัตถุดิบ 2 อัน
3.		แกะเทปกาวออกจากวัตถุดิบ
4.		ติดตั้งเครื่องช่วยประคองวัตถุดิบ
5.		ดึงวัตถุดิบเข้าเครื่องรีดวัตถุดิบ
6.		ตรวจเช็คน้ำมันเครื่องก่อนเข้าเครื่องปั๊ม
7.		นำวัตถุดิบเข้าเครื่องปั๊มวัตถุดิบ
8.		ปรับตั้งค่าระบบการทำงานของเครื่องปั๊ม
9.		ทดสอบการปั๊มชิ้นงาน
10.		ปิดเครื่องชั่วคราว
11.		QA ตรวจสอบชิ้นงานและทำการบันทึกค่า
12.		เปิดเครื่องทำงานโดยปกติ

ตารางที่ 8. เวลามาตรฐานการปรับตั้งเครื่องจักร (หลังปรับปรุง)

กระบวนการ	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	อัตราการทำงาน	เวลาปกติ (วินาที)	ค่าเผื่อการทำงาน	เวลามาตราฐาน (วินาที)
1	180.04	1.06	190.84	1.08	206.10
2	187.20	1.06	198.44	1.08	214.31
3	84.19	1.06	89.24	1.08	96.38
4	195.76	1.06	207.51	1.08	224.11
5	113.23	1.06	120.02	1.08	129.63
6	60.72	1.06	64.36	1.08	69.51
7	70.39	1.06	74.61	1.08	80.58
8	480.74	1.06	509.58	1.08	550.35
9	0.20	1.06	0.21	1.08	0.23
10	130.20	1.06	138.01	1.08	149.05
11	341.09	1.06	361.56	1.08	390.48
12	75.02	1.06	79.52	1.08	85.88
รวมเวลามาตรฐาน					2,196.60

หมายเหตุ : ทำการศึกษาตามขั้นตอนการหาเวลามาตรฐาน

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความสูญเสียด้านเวลารอคอยเวลา (ก่อน-หลัง)

เปรียบเทียบผลดำเนินงานการปรับตั้งเครื่องจักร (วินาที/ครั้ง)				
ขั้นตอน	ก่อนปรับปรุง (วินาที)	จำนวนปรับตั้ง /วัน	หลังปรับปรุง (วินาที)	จำนวนปรับตั้ง/วัน
1.ปรับตั้งครั้งที่ 1	1,924.01	1	2,196.60	1
2.ปรับตั้งครั้งที่ 2	5,566.92	4	0	0
รวม	7,490.93	5	2,196.60	1

จากตารางที่ 9. หลังติดตั้งเครื่องประคองวัตถุดิบ ไม่พบปัญหาการตกของวัตถุดิบเลยในช่วงการตรวจสอบ10วัน หรือการตกลดลง 100%

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบกำลังการผลิตก่อนและหลังปรับปรุง

ชิ้นงาน	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	เพิ่มขึ้น ร้อยละ
ชิ้นส่วนหม้อน้ำรถยนต์ รุ่น A	11,760 ชิ้น/วัน	14,020 ชิ้น/วัน	19.22%

จากตารางที่10. หลังจากทำการติดตั้งอุปกรณ์ประคองชิ้นงาน สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 14,200 ชิ้น/วัน หรือเพิ่มขึ้น 19.22% เนื่องจากชิ้นงานไม่มีการตกหล่น และไม่ต้องทำการปรับตั้งในครั้งที่ 2

5. สรุป

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

กระบวนการปรับตั้งเครื่องจักรในการผลิตชิ้นส่วนหม้อน้ำรถยนต์ รุ่น A มีความสูญด้านการรอคอยในการปรับตั้งในครั้งที่ 2 เนื่องจากวัตถุดิบตกจากเครื่องป้อนชิ้นงาน ขณะทำการปั๊มชิ้นส่วนทำให้เครื่องจักรหยุดทำงานอัตโนมัติ และต้องทำการปรับตั้งครั้งที่ 2 ผู้วิจัยจึงออกแบบเครื่องประคองวัตถุดิบบนเครื่องม้วนคอยล์ เพื่อลดการตกของชิ้นงาน ทำให้วัตถุดิบไม่ตกและไม่ต้องปรับตั้งเครื่องจักรครั้งที่ 2 โดยผลก่อนปรับปรุงใช้เวลาปรับตั้งรวม 7,490.93 วินาที/วัน หลังปรับปรุงเหลือ 2,196.60 วินาที/วัน ซึ่งเวลาปรับตั้ง(เวลาสูญเปล่า) ลดลง 70.68 % การตกของชิ้นงานลดลง 100 % สามารถเพิ่มกำลังการผลิตจาก 11,760 ชิ้น/วัน เป็น 14,020 ชิ้น/วัน คิดเป็น 19.22 %

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุง

5.2.1 เครื่องช่วยประคองวัตถุดิบที่สร้างขึ้นช่วยลดปัญหาการตกของชิ้นงานได้ดี และ สามารถใช้เป็นแนวทางการออกแบบให้กับรุ่นอื่นๆได้

5.2.2 ควรมีการตรวจสภาพ บำรุงรักษา รวมทั้งหยอดน้ำมันเครื่องประคองวัตถุดิบ ในตำแหน่งที่มีการเคลื่อนที่เป็นประจำ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัทกรณีศึกษา รวมทั้ง คุณกฤษ โต๊ะอี๊ และ คุณเสาวลักษณ์ ผู้สี ที่ช่วยเก็บข้อมูลในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. การศึกษางานอุตสาหกรรม (Work Study), สำนักพิมพ์ ท็อป, 2550.

[2] วันชัย ริจิรวนิช. การศึกษาการทำงาน หลักการและกรณีศึกษา, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2551

[3] ดวงรัตน์ ชีวปัญญาโรจน์ และ ศุภศักดิ์ พงษ์อนันต์. ความสูญเสีย 7 ประการ, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2544.

[4] Tague, Nancy R., Seven Basic Quality Tools, The Quality Toolbox, Milwaukee Wisconsin: American Society for Quality, 2004.

[5] Ankitesh and Ajay, 2014. Implementation of Improved Jigs and Fixtures in the Production of Non-Active Rotary Paddy Weeder, Science, Technology and Arts Research Journal, Vol. 5(2), 2014. pp. 152-157.

[6] อัญชลี และ คณะ, เพิ่มประสิทธิภาพและพัฒนาเครื่องขัดเงาในกระบวนการขัดเงากล่องใส่อัญมณีและเครื่องประดับ, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมอุตสาหการ, ม.เทคโนโลยีมหานคร, 2560.

[7] วรินทร์ เกียรตินุกูล. การลดเวลาในกระบวนการผลิตถังลมรถบรรทุก ASM รุ่น 003, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ พ.ศ. 2563, (IENETWORK 2020), 6-8 พฤษภาคม 2563, โรงแรมพูลแมน พัทยา จ.ชลบุรี.

[8] วรินทร์ เกียรตินุกูล. การลดของเสียในกระบวนการดัดเหล็กขาเพลท, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ พ.ศ. 2564, (IENETWORK 2021), 6-8 พฤษภาคม 2563, 5-7 พฤษภาคม 2564, โรงแรมเดอะเบด เวคชั่น ราชมังคลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

การลดความสูญเปล่าของกระบวนการตีเชือก

Waste reduction in rope production

สิริรัตน์ ศรีเมฆ[1] จิรพันธ์ ทินมณี[1] จิตติกรณ์ เกาะจอหอ[1] ปิยะ รนต์ละออง[1]* ภาษิต ทินนาม[1]
[1]สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
E-mail: rontlaong.p@gmail.com*

Sirirat Srimak[1], Jiraphan Tinmanee[1], Jittikorn Kaojorhor, Piya Rontlaong[1]* and Pasit Tinnam[1]
[1]Department of Industrial Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajaphat University
E-mail: rontlaong.p@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตเชือก โดยประยุกต์ใช้เทคนิคลีน และเทคนิคที่เกี่ยวข้อง ใช้หลักการศึกษาการทำงาน แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า และแผนภูมิการไหลมาวิเคราะห์ประเภทของกิจกรรมที่เพิ่มคุณค่า ไม่เพิ่มคุณค่า และไม่เพิ่มคุณค่าแต่มีความจำเป็นต้องทำ และความสูญเปล่า 8 ประการ หลังจากนั้นได้นำหลัก ECRS ซึ่งประกอบด้วย E : การกำจัด, C: การรวมกัน, R: การจัดเรียงใหม่ และ S: การทำให้ง่าย มาช่วยกำหนดแนวทางในการปรับปรุงวิธีการทำงานด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H โดยทำการพิจารณางานที่สามารถทำรวมกันได้ งานที่ไม่จำเป็น งานที่สามารถตัดออกได้ และลดความสูญเสียที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของพนักงาน ผลการดำเนินการปรับปรุงสามารถลดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าไม่จำเป็นจาก 6 เหลือ 0 กิจกรรม คิดเป็นร้อยละ 100 ส่งผลให้จำนวนขั้นตอนก่อนการปรับปรุง 14 เหลือ 8 ขั้นตอน ลดลงไป 6 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 42.86 สามารถลดเวลาที่ใช้ในการผลิตก่อนการปรับปรุง 5,710 วินาทีเหลือ 5,358 วินาที ลดลงไป 352 วินาที คิดเป็นร้อยละ 6.16 และสามารถลดระยะทางที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของพนักงานเกินความจำเป็นจากการเตรียมวัตถุดิบ มีระยะทางก่อนการปรับปรุง 79 เมตรเหลือ 15 เมตรลดลงไป 64 เมตร คิดเป็นร้อยละ 81.01

คาสาคัญ: ความสูญเปล่า; เทคนิคลีน; หลักการ ECRS; เทคนิค 5W1H; กระบวนการผลิตเชือก

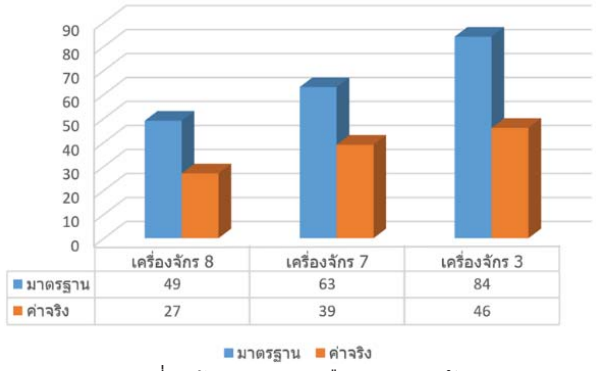
Abstract

The objective of this research is to increase the efficiency and reduction of waste in the rope manufacturing process by applying lean techniques, work study, Value Stream Mapping (VSM) and flow process chart to analyze the types of activities are value added, non-value added, necessary non value added, and 8 wastes. Subsequently, the ECRS principles, which consist of E (eliminate), C (combine), R (rearrangement), and S (simplify) are introduced to help define guidelines for improving work methods with the 5W1H technique that can be reducing the loss caused by the movement of employees. The improvement results can reduce non-essentially value-added activities from 6 to 0 activities, accounting for 100%, resulting in the number of work steps before the improvement 14 to 8 steps, a reduction of 6 steps, representing 42.86 percent. Reduced the production time before improvement of 5,710 seconds to 5,358 seconds, a reduction of 352 seconds, or 6.16 percent, and is able to reduce the distance required to move workers unnecessarily from raw material preparation. The distance before is 79 meters to 15 meters, a reduction of 64 meters, representing 81.01 percent.

Keywords: Wastes, Lean, ECRS principle, 5W1H technique, Rope manufacturing

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตเชือกในประเทศไทยต้องมีการปรับตัวและปรับปรุงพัฒนาตลอดเวลา เนื่องจากการแข่งขันที่เพิ่มมากขึ้นในตลาดจากเทคโนโลยีการผลิตเชือกแบบใหม่ ที่ไม่ต้องใช้คนในการผลิต เน้นการผลิตแบบเครื่องจักรควบคุม ดังนั้นกลุ่มอุตสาหกรรมภาคการผลิตจึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาปรับปรุงขั้นตอนการผลิต เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ในสถานการณ์ปัจจุบันที่มีความต้องการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เชือกต่าง ๆ อาทิ เช่น เชือกถัก เชือกใยยักษ์ และเชือกไนล่อน บริษัทจึงจำเป็นต้องเร่งปรับตัว เพื่อที่จะสามารถต่อสู้การแข่งขันทางการค้ากับผู้ผลิตรายอื่นได้ ดังนั้นทางบริษัทกรณีศึกษาจึงให้ความสำคัญในการควบคุมต้นทุนการดำเนินงานต่างๆ ของบริษัท การลดปริมาณของเสีย และการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาในกระบวนการผลิตเชือกไนล่อน พบว่าผลผลิตและประสิทธิภาพการผลิตเชือกของแผนกตีเชือกที่ทำการศึกษาช่วงวันที่ 31 พฤษภาคม 2564 – 6 มิถุนายน 2564 ระยะเวลา 1 สัปดาห์ ไม่ตรงตามมาตรฐานการผลิตที่กำหนด แสดงดังรูปที่ 1



	เครื่องจักร 8	เครื่องจักร 7	เครื่องจักร 3
มาตรฐาน	49	63	84
ค่าจริง	27	39	46

รูปที่ 1 ข้อมูลการผลิตเชือก (จำนวนอัพ)

จากรูปที่ 1 พบว่าค่าจริงของปริมาณผลผลิตการผลิตเชือก (หน่วยเป็นอัพ) ที่บันทึกมามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ตั้งไว้ เนื่องจากเกิดความสูญเปล่าในขั้นตอนกระบวนการผลิต (ตีเชือก) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอหลักการเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการตีเชือก โดยประยุกต์ใช้เทคนิคลีน (Lean) หลักการศึกษาการทำงาน แผนภาพสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping: VSM) แผนภูมิการผลิต (Flow Process Chart) และแผนภาพการไหล (Flow Diagram) มาวิเคราะห์ประเภทของกิจกรรมที่เพิ่มคุณค่า (Value Added: VA) กิจกรรมไม่เพิ่มคุณค่า (Non-Value Added: NVA) และกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่มีความจำเป็นต้องทำ (Necessary Non- Value Added: NNVA) และความสูญเปล่า 8 ประการ (8 Wastes) หลังจากนั้นนำหลักการ ECRS มาช่วยกำหนดแนวทางในการปรับปรุงวิธีการทำงานด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H เพื่อพิจารณาความสูญเปล่าที่เกิดเพื่อลดความสูญเปล่า และเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตีเชือกของโรงงานกรณีศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคลีน รวมทั้งการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ ได้แก่

2.1 การศึกษาการทำงาน (Work Study)

ในการบันทึกข้อมูลวิธีการทำงานใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

(1) แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า (Value Stream Mapping) [1] ทำให้มองเห็นภาพรวมของกระบวนการผลิตเชือก

(2) แผนผังกระบวนการไหล (Flow Process Chart) [2] เพื่อดูกระบวนการทำงานในแผนกตีเชือก

(3) แผนผังบริเวณปฏิบัติงาน (Flow Diagram) [2] เพื่อดูแผนผังภาพรวมในการเคลื่อนที่ของพนักงานในการปฏิบัติงาน

2.2 การศึกษาวิธีการทำงาน (Method Study)

ในการวิเคราะห์วิธีการทำงานใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

แผงผังกิจกรรมของกระบวนการ (Process Activity Mapping) ในการพิจารณา

(1) กิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (Non-Value Adde: NVA) และกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าแต่จำเป็นต้องทำ (Necessary but Non-Value Added: NNVA) ต้องทำการตัดทิ้งไป

(2) กิจกรรมที่มีลักษณะของความสูญเปล่า (WASTE) 8 ประการ มาวิเคราะห์ได้แก่ 1. ความสูญเสียที่เกิดจากการผลิตมากเกินไป (Overproduction) 2. ความสูญเสียที่เกิดจากการผลิตของเสีย (Defect) 3. ความสูญเสียที่เกิดจากการล่าช้าหรือการรอคอย (Delay or Waiting) 4. ความสูญเสียที่เกิดจากการมีวัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็น (Inventory / working-process) 5. ความสูญเสียที่เกิดจากการขนส่งหรือขนย้าย (Transport) 6. ความสูญเสียเกิดจากการกระบวนการผลิต (Process) 7. ความสูญเสียที่เกิดจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Motion) 8. การใช้คนไม่เต็มความสามารถ (Underutilized people)

2.3 หลักการ ECRS (E: Eliminate การกำจัด, C: Combine การรวมกัน, R: Rearrange การจัดเรียงใหม่, และ S: Simplify การทำให้ง่าย)

หลักการ ECRS” ซึ่งประกอบด้วย 1. การกำจัด (Eliminate) คือการพยายามกำจัดความสูญเปล่า ทั้ง 8 ประการ ที่พบออกไป 2. การรวมกัน (Combine) คือการพิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้ หรือไม่ 3. การจัดเรียงใหม่ (Rearrange) คือการจัดเรียงขั้นตอนการผลิตใหม่เพื่อลดการเคลื่อนที่ หรือการรอคอย 4. การทำให้ง่าย (Simplify) คือการปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยอาจจะออกแบบ Jig หรือ Fixture เข้ามาช่วยในการทำงาน

2.4 เทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H ช่วยให้สามารถกำหนดแนวทางในการปรับปรุงวิธีการทำงาน การวิเคราะห์ปัญหาโดยการใช้เทคนิค 5W1H ในการคิดวิเคราะห์แบบแก้ปัญหา จะใช้ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูล และทดสอบสมมติฐานมีรายละเอียดปัญหาคืออะไร หรืออะไรคือปัญหา 5W1H ประกอบด้วย

1. Who ใคร (ในเรื่องนั้นมีใครบ้าง)
2. What ทำอะไร (แต่ละคนทำอะไรบ้าง)

3. Where ที่ไหน (เหตุการณ์หรือสิ่งที่ทำนั้นอยู่ที่ไหน)
4. When เมื่อไหร่ (เหตุการณ์ หรือสิ่งที่ทำนั้น ทำเมื่อใด)
5. Why ทำไม (เหตุใดจึงได้ทำสิ่งนั้น หรือเกิดเหตุการณ์นั้นๆ)
6. How อย่างไร (เหตุการณ์หรือสิ่งที่ทำนั้นทำเป็นอย่างไรบ้าง)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ได้จัดทำเวลามาตรฐานและการปรับปรุงของการผลิตลูกชิ้น [3] การปรับปรุงกระบวนการผลิตก๊อกน้ำ [4] การเพิ่มประสิทธิภาพการประกอบของผลิตภัณฑ์ชุดสายฉีดชำระ [5] จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยได้นำเทคนิคลีน และเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการมามาประยุกต์ใช้ ดังนั้นผู้วิจัยได้นำเครื่องมือดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ และแนวทางการวิเคราะห์คุณค่ากิจกรรมในแต่ละขั้นตอนการทำงานตลอดทั้งสายการผลิต เพื่อจำแนกประเภทกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าให้อยู่ในรูปของความสูญเปล่าแต่ละประเภท จากนั้นทำการแก้ไขปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าและกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจากนั้นทำการแก้ไขปรับปรุงโดยอาศัยใช้เทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H เพื่อช่วยให้สามารถกำหนดแนวทางในการปรับปรุงวิธีการทำงาน และทำการปรับปรุง วิธีการทำงานโดยการเลือกใช้เทคนิคการปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS มากำจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

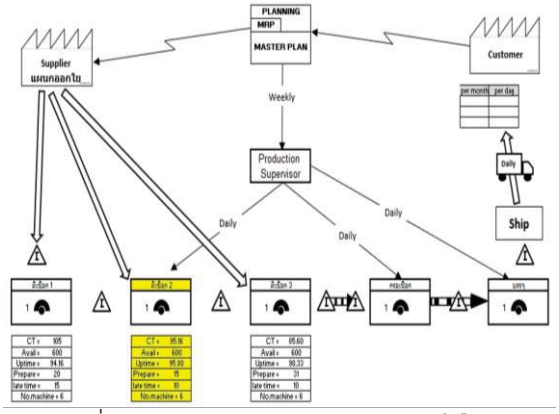
3.1 ศึกษาวิธีการทำงานของกระบวนการผลิตเชือกไนล่อน

กระบวนการตีเชือก (Flap Process) เริ่มต้นจากการนำวัสดุเส้นใย ที่เรียกว่าหลอดเส้นใยจากแผนกออกใยมาเข้ากระบวนการตีเชือก ขั้นตอนแรกคือ การเตรียมวัตถุดิบ และต่อด้วยการเปลี่ยนหลอดเส้นใยในเครื่อง รอจนเส้นใยถูกตีเป็นเชือกเสร็จจะได้เชือก1 อัพ และส่งไปยังแผนกต่อไป

3.2 รวบรวมข้อมูลด้วยแผนภูมิและไดอะแกรมต่าง ๆ

การปรับปรุงโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

3.2.1 แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า เป็นเครื่องมือและเทคนิคการผลิตแบบลีน ทำให้สามารถเห็นภาพรวมของกระบวนการผลิตเชือกไนล่อน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิสายธารคุณค่ากระบวนการตีเชือก

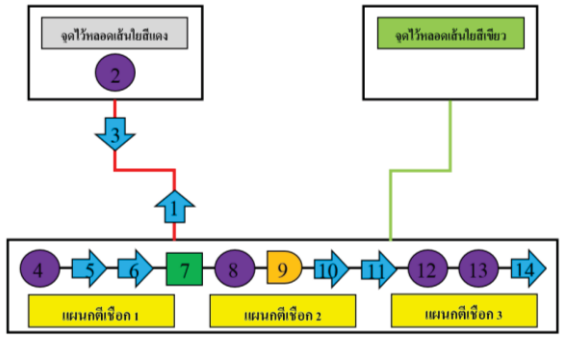
3.2.2 แผนภูมิกระบวนการผลิต ศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตเชือกไนล่อน ศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนแรกของกระบวนการผลิตจนถึงขั้นตอนสุดท้ายที่ได้ผลผลิต โดยเวลาที่ได้แต่ละขั้นตอนผู้วิจัยได้ทำการบันทึกจากพนักงานจำนวน 1 คน ของแผนกตีเชือกที่ 2 ที่มีประสบการณ์และมีความชำนาญในการทำงาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตเชือกไนล่อน

เรื่อง	ขั้นตอนการตีเชือก		สรุปขั้นตอน		บัจจุบัน	เสนอแนะ	ประหยัด
วิธีการ	บัจจุบัน		การปฏิบัติงาน	○	6		
ลักษณะงาน	พนักงานทำการตีเชือก		การเคลื่อนย้าย	⇨	7		
ลักษณะการเคลื่อน			การตรวจสอบ	□	1		
ของงาน			การรอหรือเก็บพักชั่วคราว	D	1		
สถานที่			การหยุดหรือการเก็บถาวร	▽	0		
พนักงาน	พนักงานตีเชือก 1 คน		รวมจำนวนขั้นตอน		14		
บันทึกโดย	วันที่		รวมระยะเวลาที่ใช้ (วินาที)		5710		
อนุมัติโดย	วันที่		รวมระยะทางที่ใช้ (เมตร)		79		

ลำดับ	รายละเอียดการทำงาน	เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	○	⇨	□	D	▽	หมายเหตุ
1	เส้นใยที่จุดไว้หลอดเส้นใย	14	15	○	●	□	D	▽	
2	หยิบหลอดเส้นใย	2	0	●	⇨	□	D	▽	
3	เอาหลอดเส้นใยเข้าเครื่องกลับเครื่อง	68	15	○	●	□	D	▽	
4	จอดรถเส้นใยไว้ข้างเครื่องและยกวางที่พื้น	246	0	●	⇨	□	D	▽	
5	เข็นรถเปล่าไปเก็บ	17	18	○	●	□	D	▽	
6	เดินกลับมายังเครื่อง	15	15	○	●	□	D	▽	
7	ตรวจสอบหลอดเส้นใยในเครื่อง	2	0	○	⇨	■	D	▽	
8	เปลี่ยนหลอดเส้นใยและเปิดเครื่อง	12	0	●	⇨	□	D	▽	
9	รอเครื่องผลิตเชือกให้เต็มอัพ	5,220	0	○	⇨	□	■	▽	
10	ปิดเครื่องที่อัพเต็ม และเดินไปเอาอัพเปล่า	8	5	○	●	□	D	▽	
11	เดินกลับมายังเครื่องและวางอัพเปล่าที่พื้น	10	5	○	●	□	D	▽	
12	ถอดอัพที่เต็มแล้วออก	61	0	●	⇨	□	D	▽	
13	ใส่อัพใหม่และเปิดเครื่อง	40	0	●	⇨	□	D	▽	
14	กลิ้งอัพที่เต็มแล้วไปยังแผนกรอเชือก	16	5	○	●	□	D	▽	

3.2.3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการทำงาน การศึกษาขั้นตอนวิธีการไปเอาหลอดเส้นใยที่เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกาผลิตเชือกไนล่อนโดยเริ่มตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการไปเอาหลอดเส้นใย และการเข็นรถหลอดเส้นใยกลับสถานีงานดังรูปที่ 3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการตีเชือก ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ



รูปที่ 3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการตีเชือก

3.3 วิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดความสูญเปล่า

จากการบันทึกข้อมูลด้วยแผนผังการทำงานย่อยโดยละเอียดข้างต้น ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดความสูญเปล่าในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์โดยใช้ แนวคิดในการผลิตแบบลีน (Lean) ในกาพิจารณาเพื่อจำแนกประเภทของกิจกรรมและความสูญเปล่าในแต่ละขั้นตอน ดังตารางที่ 2โดยพิจารณาดังนี้

3.3.1 ใช้แผงผังกิจกรรมของกระบวนการ (Process Activity Mapping) ในการวิเคราะห์เพื่อจำแนกขั้นตอนย่อย ๆ แต่ละขั้นตอนว่าเป็น (1) กิจกรรมที่เป็น VA, NVA และ (N)NVA (2) กิจกรรมที่มีลักษณะ

ของความสูญเปล่า (WASTE) 8 ประการมาวิเคราะห์ ตัวอย่างการจำแนกวิเคราะห์กิจกรรมต่างๆ ดังตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ประเภทของการเกิดความสูญเปล่า

รายละเอียดทำงาน	สัญลักษณ์	ประเภทกิจกรรม VA, NVA, (N)NVA	ประเภทความสูญเปล่า
1.เดินไปที่จุดไว้หลอดเส้นใย	➡	NVA	Motion
2.หยิบหลอดเส้นใย	●	NVA	Processing
3.เอาหลอดเส้นใยเข็นกลับเครื่อง	➡	NVA	Motion
4.จอดรถเส้นใยไว้ข้างเครื่องและยกวางที่พื้น	●	NVA	Processing
5.เข็นรถเปล่าไปเก็บ	➡	NVA	Motion
6.เดินกลับมายังเครื่อง	➡	NVA	Motion
7.ตรวจสอบหลอดเส้นใยในเครื่อง	■	(N)NVA	Processing
8.เปลี่ยนหลอดเส้นใยและเปิดเครื่อง	●	VA	Processing
9.รอเครื่องผลิตเชือกให้เต็มอัพ	D	(N)NVA	Delay
10.ปิดเครื่องที่อัพเต็มและ เดินไปเอาอัพเปล่า	➡	(N)NVA	Motion
11.เดินกลับมายังเครื่องและวางอัพเปล่าที่พื้น	➡	(N)NVA	Motion
12.ถอดอัพที่เต็มแล้วออก	●	VA	Processing
13.ใส่อัพใหม่และเปิดเครื่อง	●	VA	Processing
14.กลิ้งอัพที่เต็มแล้วไปยังแผนกรอเชือก	➡	VA	Motion

3.3.2 สรุปจำแนกประเภทของกิจกรรม

จากข้อมูลที่ได้ทำการเก็บบันทึกแผนผังกระบวนการไหลอย่างละเอียด สามารถจำแนกเป็นกิจกรรมที่เพิ่มมูลค่า VA มี 4 กิจกรรม คิดเป็นร้อยละ 28.57 จำแนกเป็นกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า แต่จำเป็น (N)NVA มี 4 กิจกรรม คิดเป็นร้อยละ 28.57 และจำแนกเป็นกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าไม่จำเป็น NVA มี 6 กิจกรรม คิดเป็นร้อยละ 42.86 ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์เพื่อกำหนดหาแนวทางแก้ไข โดยใช้หลัก ECRS มาประยุกต์ใช้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัดส่วนมูลค่ากิจกรรมของกระบวนการดีเชือก (ก่อนปรับปรุง)

มูลค่ากิจกรรม	กิจกรรม		เวลาที่ใช้	
	จำนวนกิจกรรม	คิดเป็นร้อยละ	เวลา (วินาที)	คิดเป็นร้อยละ
กิจกรรมที่เพิ่มมูลค่า (VA)	4	28.57	118	2.31
กิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (NVA)	6	42.86	352	6.89
กิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าแต่จำเป็น (NNVA)	4	28.57	4,640	90.80
รวม	14	100.00	5,110	100.00

3.3.3 สรุปจำแนกประเภทของความสูญเปล่า จากข้อมูลที่ได้ทำการเก็บบันทึกแผนผังกระบวนการไหลอย่างละเอียด สามารถจำแนกประเภทของความสูญเปล่า (Wastes) ดังตารางที่ 4 โดยพบว่าสัดส่วนกิจกรรมที่มีลักษณะของความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นมีอยู่ 3 ประเภทคือ

(1) ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว (Motion)

(2) ความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิต (Processing)

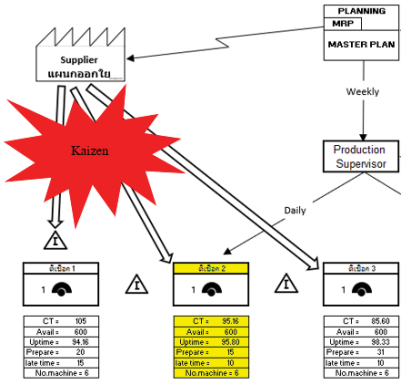
(3) ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย (Delay)

ตารางที่ 4 สัดส่วนกิจกรรมที่มีลักษณะของความสูญเปล่า

ประเภทความสูญเปล่า	กิจกรรม		เวลาที่ใช้	
	จำนวนกิจกรรม	คิดเป็นร้อยละ	จำนวนกิจกรรม	คิดเป็นร้อยละ
การเคลื่อนไหว (Motion)	7	50.00	137	2.68
กระบวนการผลิต (Processing)	6	42.86	353	6.91
การรอคอย (Delay)	1	7.14	4,620	90.41
รวม	14	100.00	5,110	100.00

3.4 กำหนดแนวทางการปรับปรุงแก้ไข

จากการที่ได้ศึกษาและเก็บข้อมูลของกระบวนการผลิตเชือกในขั้นตอนต่างๆ นำมาเขียนเป็นแผนภูมิสายธารคุณค่าเพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการผลิตเชือกที่เข้าใจได้ง่าย และเห็นกระบวนการทำงานทั้งหมด จึงเห็นจุดที่ต้องดำเนินการวางแนวทางการปรับปรุงแก้ไข (Kaizen) ตรงแผนกตีเชือกในขั้นตอนของการเดินไปเอาหลอดเส้นใยที่เป็นวัตถุดิบใช้ในการผลิตเชือก ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังสายธารคุณค่าที่จะทำการปรับปรุงแก้ไข (Kaizen)

ดังนั้นจึงทำการระดมสมองโดยใช้แนวทางของ ECRS ในการกำหนดแนวทางในการปรับปรุงวิธีการทำงานด้วยเทคนิคการตั้งคำถามโดย 5W1H สามารถสรุปปัญหาที่พบสาเหตุและแนวทางการแก้ไขได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การตั้งคำถาม 5W1H กระบวนการตีเชือก

5W1H	คำตอบ	ปัญหาที่พบ	แนวทางการแก้ไข
What (ทำอะไร)	ปรับปรุงขั้นตอนการไปเอาหลอดเส้นใย	สามารถสรุปสาเหตุได้ดังต่อไปนี้ 1) กิจกรรมที่ไม่เกิดคุณค่าการทำงานที่ ซ้ำซ้อน และ ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น 1.1) เดินไปที่จุดไว้หลอดเส้นใย 1.2) เอาหลอดเส้นใยเข็นกลับเครื่อง 1.3) เข็นรถเปล่าไปเก็บ 1.4) เดินกลับมายังเครื่อง	1) กิจกรรมที่ไม่เกิดคุณค่า การทำงานที่ซ้ำซ้อน และ ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น 1.1) การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น ลดขั้นตอนการเคลื่อนไหวของพนักงานลง โดยตัดขั้นตอนที่ 1 เดินไปที่จุดไว้หลอดเส้นใย เนื่องจาก ขั้นตอนนี้สามารถให้พนักงานแผนกออกใยเดินเข็นรถหลอดเส้นใยมาส่งให้ได้
Why (ทำไมต้องทำ)	เนื่องจากเป็นความสูญเปล่าจากการเคลื่อนที่		
Where (ทำที่ไหน)	สถานีงานตีเชือก		
Why (ทำไมต้องทำ)	จุดที่ทำการตีเชือกและส่งไปแผนกถัดไป		
Who (ใครเป็นคนทำ)	พนักงานตีเชือก		
Why (ทำไมต้องเป็นคนนั้น)	เป็นพนักงานที่อยู่จุดที่ทำการอยู่ในกระบวนการผลิต		
When (ทำเมื่อไหร่)	ตั้งแต่เอาหลอดเส้นใยใส่เครื่องตีเชือก จนได้เป็นเชือก 1 อัพส่งไปแผนกถัดไป		
Why (ทำไมต้องทำเมื่อนั้น)	เนื่องจากเป็นขั้นตอนในกระบวนการตีเชือก		
How (ทำอย่างไร)	เข็นรถเปล่าไปเอาหลอดเส้นใยที่จุดไว้หลอดเส้นใย		
Why (ทำไมต้องทำอย่างนั้น)	เนื่องจากต้องเตรียมไว้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิต		

จากการทำงานปัจจุบันก่อนการปรับปรุงนั้นพนักงานตีเชือกต้องเดินไปหยิบหลอดเส้นใยทุกเช้าก่อนเริ่มทำงาน และจะต้องยกหลอดเส้นใยใส่รถเข็น จากนั้นเข็นรถที่ใส่หลอดเส้นใยเต็มคันกลับมายังเครื่องตีเชือกของแผนกตนเองทำงาน

โดยวิธีการทำงานหลังจากการปรับปรุงนั้นเปลี่ยนเป็นให้พนักงานแผนกออกใยเดินเข็นรถที่ใส่หลอดเส้นใยมาให้ที่จุดพักคอย หรือเข็นรถที่ใส่หลอดเส้นใยมาให้ที่จุดจอดรถข้างเครื่องตีเชือก จากนั้นให้พนักงานแผนกออกใยเข็นรถที่ใส่แกนหลอดเส้นใยกลับเพื่อนำไปผลิตหลอดเส้นใยใหม่ ขั้นตอนนี้จะไม่เพิ่มภาระการทำงานให้กับแผนกออกใยเพราะปกติแล้วแผนกออกใยจะเข็นรถมาเก็บแกนหลอดเส้นใยอยู่แล้ว แค่เปลี่ยนจากเดิมที่เดินมาตัวเปล่าเปลี่ยนเป็นเดินมาพร้อมกับเข็นรถหลอดเส้นใยมาด้วยจะได้เป็นการเดินมาเอาแกนหลอดเส้นใยและเดินกลับไปยังแผนกอย่างเกิดคุณค่าในการทำงาน

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 วิเคราะห์ความสูญเปล่าของกระบวนการตีเชือกด้วยแผนภูมิ

กระบวนการผลิตจากที่ได้ทำการศึกษากระบวนการตีเชือกซึ่งมีทั้งหมด 14 ขั้นตอน นำมาวิเคราะห์หาความสูญเปล่าของกระบวนการตีเชือกตั้งแต่ขั้นตอนแรกในการเตรียมวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งขั้นตอนที่มีความสูญเปล่าในขั้นตอนการเตรียมเส้นใย (ขั้นตอนที่ 1-6) แสดงได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใย (ขั้นตอนที่ 1-6)

รายละเอียด	เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
			○	⇨	□	D	▽	
1.เดินไปที่จุดไว้หลอดเส้นใย	14	15	○	➡	□	D	▽	Process Wastes
2.หยิบหลอดเส้นใย	2	0	●	⇨	□	D	▽	
3.เอาหลอดเส้นใยเข็นกลับเครื่อง	58	15	○	➡	□	D	▽	
4.จอดรถเส้นใยไว้ข้างเครื่องและยกวางที่พื้น	246	0	●	⇨	□	D	▽	
5.เข็นรถเปล่าไปเก็บ	17	18	○	➡	□	D	▽	
6.เดินกลับมายังเครื่อง	15	16	○	➡	□	D	▽	
...	...	...						
14.กลิ้งอัพที่เต็มแล้วไปยังแผนกรอเชือก	15	5	○	➡	□	D	▽	

4.2 กำหนดแนวทางการปรับปรุงกระบวนการตีเชือก

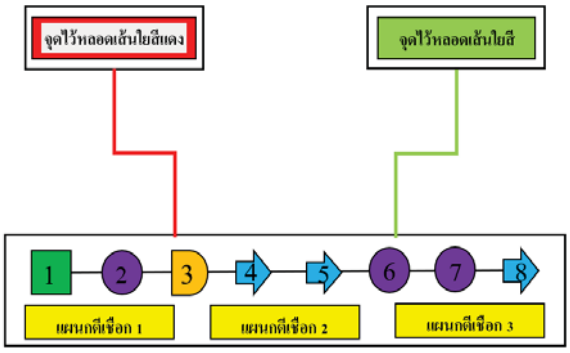
หลังจากเก็บข้อมูลนำมาวิเคราะห์จนพบขั้นตอนย่อยที่เกิดความสูญเปล่าจากกระบวนการผลิต ในลำดับถัดมาจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยหลักการ 5W1H ว่าสาเหตุของปัญหาเกิดจากอะไร และนำหลักการ ECRS มาช่วยแก้ไขปัญหาในกระบวนการตีเชือก โดยวิเคราะห์ และทำการแก้ไขดังนี้ ใช้หลักการใช้หลักการ Eliminate (E) ทำการกำจัดขั้นตอนย่อยที่ 1 ถึงขั้นตอนย่อยที่ 6 เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่เกิดคุณค่าในการทำงาน โดยเป็นขั้นตอนของการเตรียมหลอดเส้นใย หรือวัตถุดิบมาใช้ในการผลิต

จากเดิมพนักงานตีเชือกต้องเดินไปหยิบหลอดเส้นใยทุกเช้าก่อนเริ่มทำงาน เปลี่ยนเป็นให้พนักงานแผนกออกใยเดินเข็นรถที่ใส่หลอดเส้นใยมาให้ที่จุดพักคอย หรือเข็นรถที่ใส่หลอดเส้นใยมาให้ที่จุดจอดรถข้างเครื่องตีเชือกจากนั้นให้พนักงานแผนกออกใยเข็นรถที่ใส่แกนหลอดเส้นใยกลับเพื่อนำไปผลิตหลอดเส้นใยใหม่ ขั้นตอนนี้จะไม่เพิ่มภาระการทำงานให้กับแผนกออกใยเพราะปกติแล้วแผนกออกใยจะเข็นรถมาเก็บแกนหลอดเส้นใยอยู่แล้ว แค่เปลี่ยนจากเดิมที่เดินมาตัวเปล่าเปลี่ยนเป็นเดินมาพร้อมกับเข็นรถหลอดเส้นใยมาด้วยจะได้เป็นการเดินมาเอาแกนหลอดเส้นใยและเดินกลับไปยังแผนกอย่างเกิดคุณค่าในการทำงาน ซึ่งจะส่งผลให้ขั้นตอนย่อยที่ 1 ถึงขั้นตอนย่อยที่ 6 หายไปทำให้กระบวนการตีเชือกจากเดิม 14 ขั้นตอนเหลือ 8 ขั้นตอนแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แผนภูมิกระบวนการไหล (หลังการปรับปรุง)

รายละเอียด	เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
1.ตรวจสอบหลอดเส้นใยในเครื่อง	2	0	○	⇨	■	D	▽	
2.เปลี่ยนหลอดเส้นใยและเปิดเครื่อง	12	0	●	⇨	□	D	▽	
3.รอเครื่องผลิตเชือกให้เต็มอัพ	5,220	0	○	⇨	□	●	▽	
4.ปิดเครื่องที่อัพเต็มและเดินไปเอาอัพเปล่า	8	5	○	➡	□	D	▽	
5.ดินกลับมายังเครื่องและวางอัพเปล่าที่พื้น	10	5	○	➡	□	D	▽	
6.ถอดอัพที่เต็มแล้วออก	51	0	●	⇨	□	D	▽	
7.ใส่อัพใหม่และเปิดเครื่อง	40	0	●	⇨	□	D	▽	
8.กลิ้งอัพที่เต็มแล้วไปยังแผนกรอเชือก	15	5	○	➡	□	D	▽	
รวม	5,358	15	3	3	1	1	1	

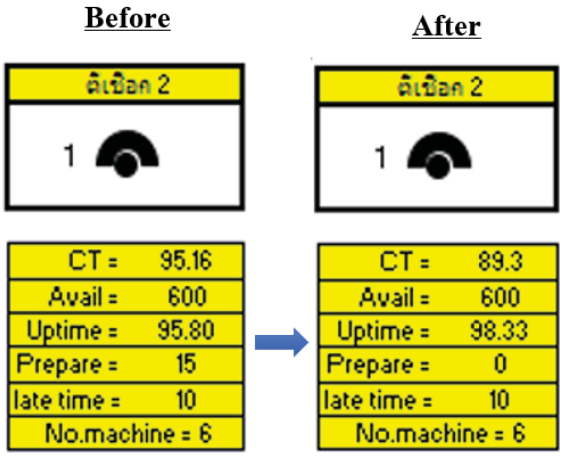
และส่งผลให้เส้นทางการไหลของกระบวนการผลิตเปลี่ยนไป แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภาพการไหล (หลังปรับปรุง)

4.3 แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า (VSM) หลังการปรับปรุง

หลังการปรับปรุงกระบวนการ ข้อมูลจากแผนผังสายธารคุณค่าของกระบวนการตีเชือกพบว่า กระบวนการตีเชือกมี Cycle Time ลดลงจากเดิมก่อนการปรับปรุง 95.16 หลังการปรับปรุงเหลือ 89.30 Uptime ก่อนการปรับปรุง 95.80 หลังการปรับปรุง 98.33 และจากเดิมที่ต้องเตรียมวัตถุดิบก่อนการผลิตเมื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตแล้วทำให้ไม่ต้องเตรียมวัตถุดิบส่งผลให้เวลาเตรียมงาน (Prepare) เท่ากับ 0 ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเทคนิคลีนมาใช้ในการศึกษากระบวนการผลิตเชือกไนล่อน และบันทึกข้อมูลกระบวนการผลิตด้วยแบบด้วยแบบฟอร์มบันทึก แผนภาพกระบวนการผลิต (Flow Operation Chart) แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยหลักการ ECRS จากนั้นหาเวลามาตรฐานแล้วมาวิเคราะห์ผล และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนทำการปรับปรุงจากนั้นสรุปผลที่ได้จากการปรับปรุง โดยผลการปรับปรุงของกระบวนการผลิตเชือกไนล่อนได้ผลดังต่อไปนี้

5.1 ตารางสรุปเวลาก่อนและหลังปรับปรุง

เวลาการผลิตเชือกไนล่อนของสถานีงานตีเชือกที่ 2 ที่ทำการเปรียบเทียบเวลาก่อน และหลังการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เวลา ขั้นตอนการผลิตเชือกไนลอน และผลผลิตต่อสัปดาห์

การปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
เวลาการผลิต (วินาที)	5,710	5,358
ขั้นตอนการผลิต (ขั้นตอน)	14	8
ผลผลิต (จำนวนอัพ)	39	42

จากการเก็บข้อมูลดังตารางที่ 8 พบว่าก่อนการปรับปรุงใช้เวลาในการตีเชือกเท่ากับ 5,710 วินาที มีขั้นตอนตีเชือกจำนวน 14 ขั้นตอน ส่งผลให้มีผลผลิต 39 อัพต่อสัปดาห์ หลังจากทำการปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS โดยใช้หลักการ Eliminate ตัดกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าลง (ขั้นตอนที่ 1-6) และทำการบันทึกข้อมูลขั้นตอนการผลิต เวลา และผลผลิตภายในระยะเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากการปรับปรุง พบว่าทำให้การทำงานสะดวกและรวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ขั้นตอนการทำงานจากเดิม 14 ขั้นตอน เหลือ 8 ขั้นตอน เวลาจากเดิม 5,710 วินาที เหลือ 5,358 วินาที ลดลง 352

วินาที คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 6.16% และกำลังการผลิตเชือกไนลอนของสถานีงานตีเชือกที่ 2 (เครื่องจักรที่ 7 ดังภาพที่ 1) ต่อสัปดาห์จากเดิมที่ผลิตได้ 39 อัพเพิ่มขึ้นเป็น 42 อัพ ส่งผลให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เพิ่มมากขึ้น

กระบวนการผลิตเชือกของสถานีงานที่ 2 ในกระบวนการผลิตเชือกก่อนการปรับปรุงมีกระบวนการผลิตทั้งหมด 14 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 6 เป็นขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบที่ในหนึ่งวันของการผลิตเชือกไม่ได้เกิดทุกครั้งอัพของการผลิตเชือกไนล่อน แต่เกิดขึ้นก่อนการเริ่มการผลิตเชือกในอัพแรกของทุกๆวัน และขั้นตอนที่ 7 และขั้นตอนที่ 8 เป็นขั้นตอนที่เกิดบ่อยครั้งในทุกๆอัพจะต้องมีการทำขั้นตอนที่ 7 และขั้นตอนที่ 8 แต่ไม่ได้เป็นขั้นตอนที่เกิดประจำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

เสนอแนะแนวทางให้ปรับปรุงกระบวนการผลิตเชือกไนล่อนของสถานีงานตีเชือก 1 และสถานีงานตีเชือก 3 ตามสถานีงานตีเชือก 2 โดยการลดขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 6 ลงเนื่องจากเป็นขั้นตอนของกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ หากทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตเชือกไนล่อนทุกสถานีงานลง จะส่งผลให้ผลผลิตของแต่ละสถานีงานเพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตต่อสัปดาห์โดยรวมของเชือกทุกขนาดผลผลิตจะเพิ่มขึ้นจากเดิม กระทำงานจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Don Tapping, Tom Leyster, Tom Shuker. มุ่งสู่ “ลีน” ด้วยการจัดการสายธารคุณค่า แปลโดยดร.วิทยา สุหฤทดำรง และคนอื่นๆ กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์อี.ไอ.สแควร์, 2550.

[2] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. การศึกษางานอุตสาหกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, 2552.

[3] พงษ์ธีรวัฒน์ ผ่องใส ณัฐพงษ์ นกต่อ และรัฐพล ทะเสนฮด. การศึกษาวิธีการทำงานและหาเวลามาตรฐานเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตลูกชิ้น กรณีศึกษา: โรงงานลูกชิ้น ป.บางใหญ่, ปริญญานิพนธ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา, 2560.

[4] จักรกฤษณ์ อภัยนอก และปกรณ์ นวลละออง. การเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊อกน้ำ กรณีศึกษา : โรงงานผลิตอุปกรณ์ภายในห้องน้ำ, ปริญญานิพนธ์ คณะเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2556.

[5] เจณภพ สุริยะวงศ์ และเอกพงษ์ เรืองศิริ. การเพิ่มประสิทธิภาพการประกอบของผลิตภัณฑ์ชุดสายฉีดชำระด้วยการวิเคราะห์โดยใช้หลักการ 5W1H และ ECRS, ปริญญานิพนธ์ คณะเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555.

การปรับปรุงสถานีงานตรวจสอบถังแก๊สคลอรีนโดยใช้การประเมินทางชีวกลศาสตร์

IMPROVEMENT OF CHLORINE GAS TANK INSPECTION WORKSTATION USING BIOMECHANICAL ASSESSMENT

ภาณุพงศ์ ภาวิไล[1*] ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: bomb_hw41_rw61@msn.com*

Phanupong Bhavilai[1*], Phairoat Ladavichitkul[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: bomb_hw41_rw61@msn.com*

บทคัดย่อ

ปัญหาการกัดกร่อนโลหะจากคลอรีนที่มีความชื้นสูง ส่งผลทำให้ถังบรรจุสารคลอรีนเกิดการรั่วไหล การตรวจสอบและระบายน้ำออกจากถังด้วยการยกถังคลอรีนคว่ำลง ทำให้พนักงานเกิดปัญหาการปวดหลัง อันเนื่องมาจากท่าทางการยกที่ไม่เหมาะสม รวมถึงภาระที่เป็น น้ำหนักของถัง 50 กิโลกรัม และความถี่ในการยก 100 ถังต่อคนต่อวัน ผลจากการประเมินภาระงานตามแนวทางชีวกลศาสตร์ โดยวิเคราะห์ค่าแรงกดอัดที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง พบว่าพนักงานเพศชายทั้ง 5 คน อายุ 19-53 ปี ส่วนสูงเฉลี่ย 171.6 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 73.6 กิโลกรัม เกิดค่าแรงกดอัดที่หลังเฉลี่ยตลอดการยกทั้ง 5 คน อยู่ที่ 4,672.5 นิวตัน ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานที่ 3,400 นิวตัน อาจเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในอนาคต จากการปรับปรุงการทำงานโดยใช้อุปกรณ์ช่วยยกและพลิกถังคลอรีน ผลการประเมินภาระงานใหม่จากพนักงานทั้งหมด พบว่าหลังปรับปรุงสามารถลดค่าแรงกดอัดที่กระทำต่อหลังส่วนล่างลงเหลือ 575.2 – 1027.9 นิวตัน หรือลดลงไป 82 - 86.6 เปอร์เซ็นต์

คาสาคัญ: ชีวกลศาสตร์, ภาวะสถิต, หลังส่วนล่าง, แรงกดอัด

Abstract

Metal corrosion problems from chlorine with high humidity causes the chlorine tank leak. Checking and turning upside down 50kgs tank with improper posture and one hundred tanks per day causes workers back pain. The workload of 5 male workers, age 19-53 years old, with average height is 171.6 cm and average weight is 73.6kgs was evaluated according to Biomechanical approach. The average compressive force on L5/S1 disc was found at 4,672.5 newtons which is more than 3,400 newtons (NIOSH Standard 1981). Then this lifting task might cause the low back pain problem. Therefore, the workstation was modified to correct the problem situation. To reduce the low back pain problem, developing a lifting tool to lift the chlorine cylinder tank was selected to reduce the workload. After the improvement, the evaluation result on the five workers found that the compressive forces on L5/S1 disc was decreased to 575.2 – 1027.9 newtons or 82 - 86.6 percent decreasing compared to the pre-improvement workstation.

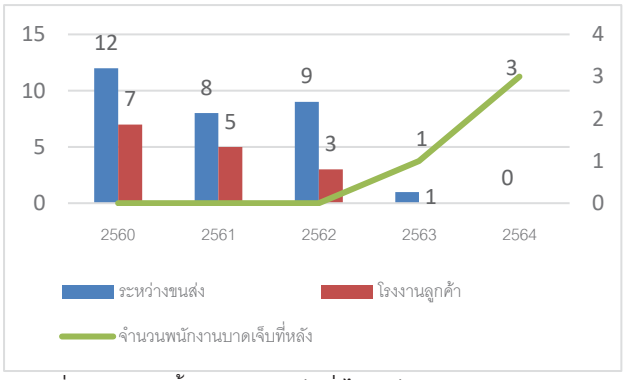
Keywords: biomechanics, static, low back pain, compressive forces

1.บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

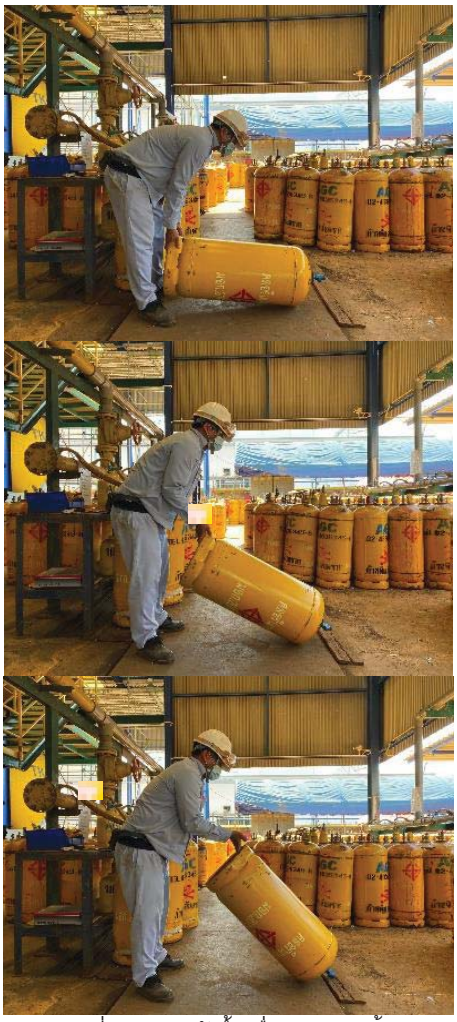
หลังส่วนล่าง (Low Back) เป็นตำแหน่งที่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บของคนงานโดยเฉพาะหมอนรองกระดูกสันหลังระหว่างตำแหน่ง L5/S1 (Lumbar5/Sacral1) [1] สาเหตุของอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง (Low Back Pain) เกิดจากการที่คนออกแรงยก ผลัก ดึง หรือ การถือมากเกินกำลังของตนเอง ในประเทศไทยจากการรายงานของสำนักงานประกันสังคมกระทรวงแรงงาน พบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2561 พบว่าสัดส่วนร้อยละของผู้บาดเจ็บบริเวณหลังยังคงอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน คือ 2.73, 2.62, 2.71, 2.62, 2.62 และ 2.59 ตามลำดับ [2]

ภายในโรงงานตัวอย่างด้านปิโตรเคมีผลิตเคมีภัณฑ์อินทรีย์ขั้นพื้นฐาน หนึ่งในผลิตภัณฑ์นั้นเป็นคลอรีนเหลวความเข้มข้นมากกว่า 99.9% และต้องปราศจากความชื้น เนื่องจากคลอรีนที่มีความชื้นจะมีสภาวะเป็นกรดและกัดกร่อนโลหะอย่างรุนแรง [3] ซึ่งมีผลต่อการรั่วไหลขณะการจัดส่งและระหว่างที่ลูกค้านำไปใช้งาน โดยความชื้นที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากน้ำที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตของลูกค้าไหลย้อนเข้าถังคลอรีน หลังจากใช้งานเสร็จแล้ว ก่อนส่งกลับมาให้กับทางโรงงานเพื่อเติมคลอรีนใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 1 จำนวนครั้งการเกิดคลอรีนรั่วไหลเทียบกับจำนวนพนักงานบาดเจ็บที่หลังของโรงงานตัวอย่าง

จากรูปที่ 1 แสดงจำนวนเหตุการณ์ถังรั่วไหลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2564 ในปี พ.ศ.2563 ทางโรงงานได้เพิ่มสถานีงานตรวจสอบถังแก๊สดังรูปที่ 2 โดยการยกถังคลอรีนขึ้นเพื่อเทน้ำออก โดยต้องปฏิบัติเหมือนกันทุกถัง จำนวนประมาณ 100 ถัง/คน/วัน ซึ่งทำให้รายงานการรั่วไหลลดลงจนเห็นได้ชัด ในทางตรงกันข้ามกลับได้รับรายงานด้านอาการปวดและบาดเจ็บที่หลังของพนักงานเพิ่มขึ้นถึง 4 คน จากพนักงานทั้งหมด 10 คน โดยเป็นการบาดเจ็บที่มีใบลาป่วยและใบรับรองแพทย์



รูปที่ 2 งานยกถังขึ้นเพื่อตรวจสอบน้ำ

โรงงานตัวอย่างได้ประเมินความปลอดภัย เพื่อตรวจสอบเหตุการณ์ดังกล่าว และหาแนวทางป้องกันอาการบาดเจ็บจากการขนย้ายของหนัก แนวทางที่ใช้ประเมินคือ แนวทางชีวกลศาสตร์ โดยคำนวณหาแรงลัพธ์และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อแต่ละส่วนของร่างกายไปจนถึงหมอนรองกระดูกสันหลัง นอกจากนี้การปรับปรุงสถานีงาน โดยคำนึงถึงท่าทางการทำงานตามหลักการยศาสตร์ถูกยกให้เป็นวิธีหนึ่งสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของกลุ่มผู้ใช้แรงงานในสถานที่ประกอบการ [4] การออกแบบทางการยศาสตร์ของสถานีงาน มีผลต่อการปฏิบัติงานของคนงานและประสิทธิภาพการผลิต [5] นอกจากผลด้านประสิทธิภาพแล้ว การออกแบบสถานีงานตามหลักการยศาสตร์ ยังส่งผลต่อสุขภาพการทำงานความปลอดภัยที่ดีขึ้นและรักษาความสามารถในการทำงานของแรงงานให้คงอยู่ตลอด [6] การเข้าไปสำรวจท่าทาง ข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายของคนงานและกระบวนการทำงานเป็นสิ่งที่สำคัญ สำหรับการปรับปรุงแก้ไขสถานีงาน และการออกแบบเครื่องมือในการทำงานให้ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

ปรับปรุงสถานีงานเพื่อลดแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) ตามหลักชีวกลศาสตร์แบบภาวะสถิต

2.ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

2.1 ผู้เข้าร่วมวิจัย

พนักงานในแผนกเติมคลอรีนเหลว เพศชาย จำนวน 5 คน อายุ 19-53 ปี ส่วนสูง 165-175 ซม. น้ำหนัก 63-78 กิโลกรัม

2.2 สถานที่เก็บข้อมูล

แผนกเติมคลอรีนเหลว สถานีงานตรวจสอบถังแก๊ส โรงงานตัวอย่างด้านปิโตรเคมี ผลิตเคมีภัณฑ์อนินทรีย์ขั้นพื้นฐาน หนึ่งในผลิตภัณฑ์เป็นคลอรีนเหลว กำลังการผลิตโดยเฉลี่ยมากกว่า 2,000 ตันต่อเดือน

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

มือถือความละเอียดกล้อง 12MP สำหรับเก็บภาพถ่ายกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้มุมกล้องตามหลัก Photogrammetry

2.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

2.4.1 เก็บข้อมูลทั่วไป ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง

2.4.2 บันทึกภาพดิจิทัล 2 มิติ ขณะยกทดสอบ โดยถังที่ใช้ยกทดสอบเป็นถังขนาดเดียวกันทั้งหมด น้ำหนัก 50 กิโลกรัม และ ส่วนสูง 91.3 เซนติเมตร และใช้เป็นวัตถุอ้างอิงกับสัดส่วนร่างกายแต่ละคน

2.4.3 คำนวณตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต ซึ่งเป็นการศึกษาในขณะที่ส่วนที่ถูกกระทำนิ่งอยู่กับที่ เป็นการคำนวณการรวมและการกระจายของแรง โมเมนต์ และของโมเมนต์บิด ที่ทำให้ส่วนที่ถูกแรงกระทำนั้นอยู่ในภาวะสมดุลสถิต

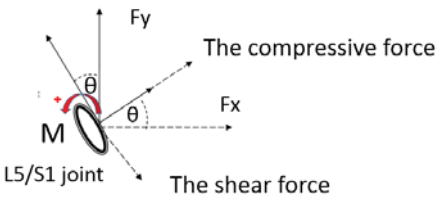
การคำนวณแรงและโมเมนต์บิดจำเป็นต้องอยู่ในสมมติฐานว่าระบบแรงอยู่ในสมดุลสถิต (Static Equilibrium) ดังนั้นเงื่อนไขข้างล่างนี้ต้องเป็นจริง (Tayyari และ Smith, 1997)

$\Sigma F_x = 0$ (ผลรวมของแรงในแนวนอน แกน X = 0)

$\Sigma F_y = 0$ (ผลรวมของแรงในแนวตั้ง แกน Y = 0)

$\Sigma M_{cm} = 0$ (ผลรวมของโมเมนต์รอบจุดหมุนใดๆ = 0)

การหาแรงกดอัดที่เกิดจากแรงกิริยาที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่างคำนวณได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 Free body diagram ที่ L5/S1

สมการคำนวณ

The compressive force = $F_x\cos\theta + F_y\sin\theta + M/d$

Fy = แรงกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนตั้ง

Fx = แรงกิริยาที่กระทำต่อ L5/S1 ในแนวแกนนอน

θ = มุมของ L5/S1 เทียบกับแกนในแนวนอน

M = โมเมนต์ที่กระทำต่อ L5/S1

d = ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลาง L5/S1 กับกล้ามเนื้อ Erector spinae กำหนดให้ระยะห่างระหว่างกระดูกสันหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อหลังอยู่ที่ 6 ซม.

2.4.4 ประเมินภาระงานจากงานยกถังคลอรีน

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางชีวกลศาสตร์

2.5.1 ประมาณค่าสัดส่วนร่างกายของแต่ละคน ตามหลัก Photogrammetry

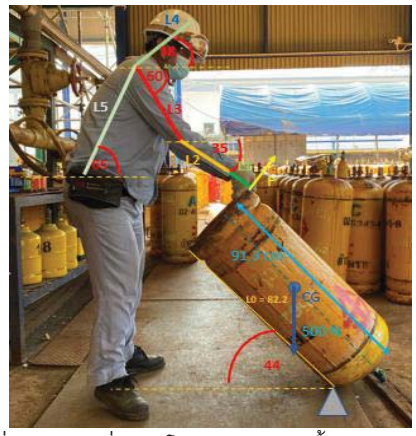
2.5.2 ประเมินภาระงานที่เกิดขึ้นที่หลังส่วนล่างในระนาบซ้าย-ขวา (Sagittal plane) ตามแนวทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิต ระบุแรงและมุมส่วนของร่างกายที่ใช้ในการคำนวณจากภาพถ่ายดิจิทัล จากท่าทางการยกถังแก๊สคลอรีน โดยประเมินท่าการยกจำนวน 3 ท่า ที่คาดว่าจะเป็นท่าที่เกิดภาระงานมากที่สุด จากการถ่ายภาพต่อเนื่องมาพิจารณา



รูปที่ 4 ท่าแบบที่ 1 ยกโดยถังทำมุมกับพื้น 5-10 องศา



รูปที่ 5 ท่าแบบที่ 2 ยกโดยถังทำมุมกับพื้น 15-25 องศา



รูปที่ 6 ท่าแบบที่ 3 ยกโดยถังทำมุมกับพื้น 30-44 องศา

2.5.3 คำนวณแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละข้อต่อต่างๆ ตั้งแต่ข้อมือ ข้อศอก หัวไหล่ ไปจนถึงหลังส่วนล่าง (L5/S1) และแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง โดยมีสมมุติฐานดังนี้

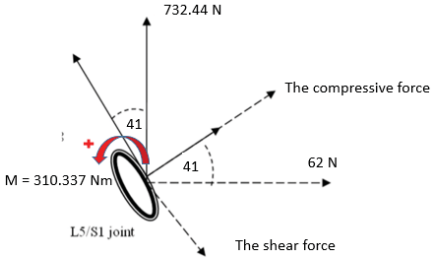
1. ให้ระยะห่างระหว่างกระดูกสันหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อหลังอยู่ที่ 6 ซม.

2. ไม่มีการบิดเอี้ยวตัว เฉลี่ยน้ำหนักยกกระจายลงไปยังมือซ้าย-ขวา เท่ากัน และความยาวของส่วนต่างๆ ทั้งซ้าย-ขวา เท่ากัน

3. เป็นการยกที่ไม่เร่งรีบ สามารถใช้การคำนวณในภาวะสถิต

ตัวอย่างการคำนวณ

จากรูปที่ 5 เป็นรูปของผู้เข้าร่วมวิจัยคนที่ 1 ยกถังคลอรีนท่าแบบที่ 2 ยกโดยทำมุมกับพื้น 17 องศามี Free body diagram ที่ L5/S1 ดังนี้



จากสมการ The compressive force = Fxcosθ + Fysinθ + M/d

Fx = 62 N, Fy = 732.44 N, θ = 41, M = 310.337 Nm, d = 0.06 m

แทนค่า The compressive force = 5,699.6 N

3.ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ผลการเก็บข้อมูลทั่วไป

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างเพศชาย จำนวน 5 คน อายุเฉลี่ย 37.6 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 15.2 ปี ส่วนสูงเฉลี่ย 171.6 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.8 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 73.6 กิโลกรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 9.3 กิโลกรัม ไม่มีปัญหาเรื่องการ บาดเจ็บของระบบกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างอย่างรุนแรงในช่วง 1 ปีที่ผ่านมา

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย

คนที่	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)
1	38	78	165
2	53	65	175
3	52	85	175
4	26	77	168
5	19	63	175
Mean	37.6	73.6	171.6
S.D.	15.2	9.3	4.8

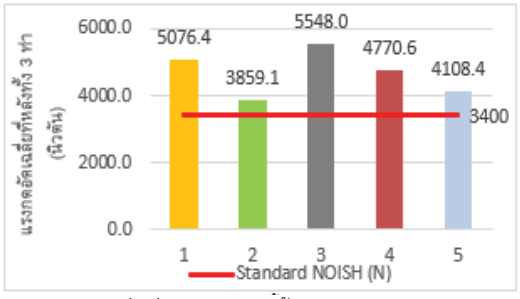
3.2 ผลจากการคำนวณแรงกดอัดทีกระดูกสันหลังส่วนล่างแบบภาวะสถิต

จากผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 5 คนดังตารางที่ 2 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 3,403.4 – 5,707.9 นิวตัน โดยมีค่าเฉลี่ย 4,672.5 นิวตัน และพบว่าในผู้ทดลองส่วนใหญ่ร้อยละ 60 ให้ค่าแรงกดอัดมากที่สุดในท่าที่ 2 ส่วนผู้ทดลองส่วนใหญ่ร้อยละ 80 พบว่าท่าที่ 3 ให้ค่าแรงกดอัดน้อยที่สุด จากการประเมินงานยกถังคลอรีนดังรูปที่ 6 พบว่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างเกินกว่ามาตรฐานขั้นต่ำของ NIOSH ที่ 3400 นิวตัน [7] ซึ่งอาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง

ตารางที่ 2 แรงกดอัดที่หลังส่วนล่าง (L5/S1 disc)

คนที่		ท่าที่	แรงกดอัดที่หลังส่วนล่าง (นิวตัน)
1		1	5551.5
		2	**5699.6**
		3	3978.1
2		1	4021.6
		2	**4152.2**
		3	3403.4
3		1	5569.4
		2	**5707.9**
		3	5366.8
4		1	**4803.9**
		2	4746.9
		3	4761.0
5		1	**4280.1**
		2	4217.3
		3	3827.9
		Mean	*4672.5*
		S.D.	*759.6*

หมายเหตุ ตัวหนาหมายถึงค่าแรงกดอัดสูงสุดจากทั้ง 3 ท่า



รูปที่ 7 แรงกดอัดเฉลี่ยที่หลังส่วนล่างทั้ง 3 ท่าของพนักงาน 5 คน

จากแผนภูมิแท่งในรูปที่ 7 แสดงค่าแรงกดอัดเฉลี่ยที่หลังส่วนล่างจากทั้ง 3 ท่า โดยเรียงค่าแรงกดอัดเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย พบว่าเป็นคนที่ 3 (5548.0 นิวตัน), 1 (5076.4 นิวตัน), 4 (4770.6 นิวตัน), 5 (4108.4 นิวตัน) และ 2 (3859.1 นิวตัน) ตามลำดับ และมีแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างเกิน 3400 นิวตัน

3.3 การลดภาระงาน

จากค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกินมาตรฐานทำให้ต้องลดภาระงานจากแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) โดยเลือกปรับปรุงอุปกรณ์สำหรับช่วยยกถังคลอรีน โดยใช้แรงดันลมสำหรับยกถังคลอรีนที่มีน้ำหนัก 50 กิโลกรัมขึ้นในแนวดิ่งดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 เครื่องยกถังคลอรีนแบบกระบอกลม

หลักการออกแบบเครื่องยกถังคลอรีน

การออกแบบงานและสถานีงานตามหลักการทางการยศาสตร์ด้านกายภาพ ใช้หลักที่เรียกว่า NEWS มีดังนี้ [8]

N = Neutral Posture รักษาท่าทางการทำงานให้สมดุลเป็นไปตามธรรมชาติ

E = (work at) Elbow Height ทำงานที่ระดับความสูงข้อศอก

W = (sufficient) Work Area มีพื้นที่ปฏิบัติงานและเคลื่อนไหวส่วนร่างกายที่พอเพียง

S = (no) Stretching ไม่มีการยืดหรือเหยียดแขน ขา หัวไหล่ และลำตัว ในขณะทำงานจนเกินขีดความสามารถของเอ็น ข้อต่อและกล้ามเนื้อของผู้ปฏิบัติงาน

1.ใช้การกลิ้งแทนการยก เข้าไปยังด้านหน้าตัวเครื่องยกถังคลอรีน และล็อกถังให้เรียบร้อย ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การกลิ้งถังเข้าไปยังด้านหน้าตัวเครื่องยก

2.ตำแหน่งวาล์วสำหรับปรับการขึ้นลง (เบอร์4) อยู่ระดับหัวไหล่ที่ 149 เซนติเมตรของผู้ใช้งานอ้างอิงจากค่าเฉลี่ยที่วัดจากพื้นถึงหัวไหล่ของผู้ใช้งานทุกคน เพื่อไม่ให้เกิดการยืดหรือเหยียดแขน หัวไหล่ และลำตัว ในขณะทำงานจนเกินขีดความสามารถของเอ็น ข้อต่อและกล้ามเนื้อของผู้ปฏิบัติงาน ตำแหน่งวาล์วอยู่ไปทางขวามือของผู้ใช้งานเนื่องจากถนัดมือขวาทั้งหมด ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตำแหน่งวาล์วปรับระดับขึ้นและลง

3.เมื่อถังถูกปรับตำแหน่งให้สูงขึ้นผู้ใช้งานต้องดึงหัวถังเข้าหาตัว



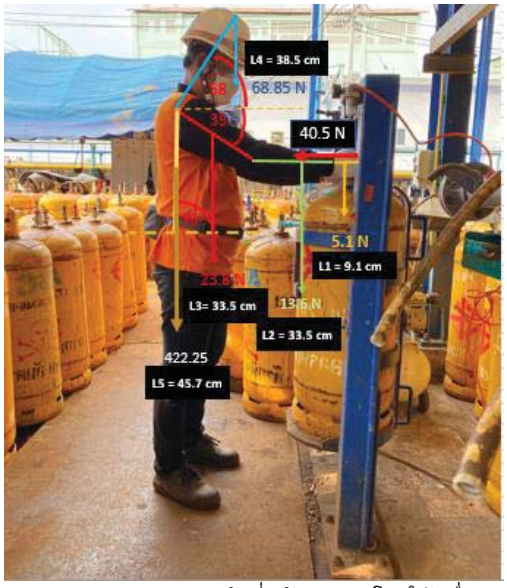
รูปที่ 11 การพลิกถังคลอรีนโดยใช้มือทั้ง 2 ดึงหัวถังเข้าหาตัวผู้ใช้งาน

โดยจุดพลิกถังคลอรีนอยู่ระดับข้อศอกที่ 109 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยความสูงตั้งแต่พื้นถึงข้อศอกของพนักงานทั้ง 5 คนและตำแหน่งนี้สามารถปรับระดับตำแหน่งพลิกถังได้ในช่วง 106-112เซนติเมตร ตามค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานให้เหมาะสมกับผู้ใช้งาน เพื่อไม่ให้เกิดการงอตัวหากอยู่ต่ำไปหรือการเอื้อมหากอยู่สูงจนเกินไป ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ตำแหน่งวาล์วจุดพลิกถังคลอรีน

ผลการประเมินแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างตามหลักชีวกลศาสตร์แบบภาวะสถิตกับผู้ทดลองคนที่ 3 ซึ่งเป็นผู้ที่มีน้ำหนัก ส่วนสูงและแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างมากที่สุด 5,707.9 นิวตัน (ก่อนปรับปรุง) โดยใช้เครื่องช่วยยก จากการวัดแรงดึงเข้าหาตัวเริ่มต้นพบว่าใช้แรงดึง 13.5 นิวตัน แต่ในการคำนวณได้เผื่อแรงดึงนี้โดยเพิ่มขึ้นไปอีก 3 เท่าของแรงดึงที่วัดได้เพื่อให้ครอบคลุมการทำงานที่อาจมีความเร่งรีบ โดยการประเมินใช้ค่าแรงดึงเท่ากับ 40.5 นิวตัน และคำนวณค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างโดยใช้ท่า ดังรูปที่ 13 พบว่าแรงกดอัดที่กระทำต่อหลังส่วนล่างมีค่าเท่ากับ 1,027.9 นิวตัน หรือลดลงไป 82% ของค่าที่ได้ก่อนการปรับปรุง ในส่วนของผู้ทดลองคนที่ 1, 2, 4 และ 5 ได้ประเมินภาระงานหลังการปรับปรุงพบว่ามีค่าแรงกดอัดที่หลังเท่ากับ 800.6, 634.6, 800.4 และ 575.2 นิวตัน ตามลำดับ หรือลดลง 86%, 84.7%, 83.3% และ 86.6% ตามลำดับ



รูปที่ 13 การคำนวณค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างโดยใช้เครื่องช่วยยก

4.สรุปผลงานวิจัย

การลดภาระงานยกถังคลอรีนโดยเฉพาะแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) โดยการคำนวณตามหลักชีวกลศาสตร์แบบภาวะสถิตในแนวระนาบหน้า-หลัง (Sagittal plane) กับผู้ทดลองชาย จำนวน 5 คน ซึ่งเป็นผู้ทำงานประจำสถานีงานตรวจสอบถังแก๊ส ซึ่งต้องมีการยกเกิดขึ้น พบว่าค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างเฉลี่ยสูงถึง 4,672.5 นิวตัน แต่ในการยกจริงยังมีปัจจัยเรื่องความเร่ง หรือยกอย่างเร็วซึ่งส่งผลให้ค่าแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างสูงกว่าที่คำนวณไว้ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการบาดเจ็บ

สำหรับท่าที่เกิดแรงกดอัดที่หลังส่วนล่างมีค่ามากที่สุดเป็นส่วนใหญ่คือท่าที่ 2 ถังทำมุมกับพื้น 15-25 องศา ส่วนที่เหลือเป็นท่าที่ 1 ถังทำมุมกับพื้น 5-10 องศา ซึ่งทั้ง 2 ท่าเป็นจังหวะที่อยู่ในช่วงแรกของการยก สำหรับการแก้ไขปัญหาโดยการใช้เครื่องยกถังคลอรีนสามารถลดแรงที่กระทำต่อหลังส่วนล่างเหลือ 575.2 – 1027.9 นิวตัน ซึ่งเป็นค่าที่ลดลงมาก และคาดว่าอาการบาดเจ็บปวดหลังจากการทำงานจะลดลงหรือหายไปได้

สำหรับค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงสถานีงานได้ใช้งบประมาณ 46,000 บาทต่อเครื่อง โดยมีจำนวนทั้งหมด 3 เครื่อง แต่จากการจับเวลาพบว่าการใช้เครื่องช่วยยกส่งผลให้ทำงานช้าลง โดยเพิ่มเวลาจากเดิม 12 วินาทีต่อถัง เป็น 24 วินาทีต่อถัง (เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า) เนื่องจากต้องเสียเวลาติดตั้งจากการล็อกและปลดล็อกถัง ดังนั้นจึงต้องเพิ่มสถานีงานและจำนวนเครื่องช่วยยก อีก 2 เท่าเพื่อให้ได้กำลังการผลิตเท่าเดิม ในอนาคตอาจปรับปรุงให้ใช้เวลาน้อยลงได้โดยการเพิ่มส่วนประกอบในการหมุนถังอัตโนมัติ

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติ อินทรานนท์ และคณะ. (2553). การยศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] สถิติงานประกันสังคม สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน. (2556-2561).

[3] THE CHLORINE INSTITUTE, Pamphlet 6 PIPING SYSTEM FOR DRY CHLORINE Edition15, pp.67

[4] Duffy, V.G., Salvendy, G., 1999. “The impact of organizational ergonomics on work effectiveness” Ergonomics Vol. 42, pp. 614–637.

[5] Black, J.T. “Design and implementation of lean manufacturing systems and cells.”In: Irani, S.A. (Ed.), Handbook of Cellular Manufacturing Systems, New York. Wiley & Sons, 1999, pp. 453–496.

[6] Thun, J.-H., Gr¨ oßler, A., Miczka, S.,2007. “The impact of the demographic transition on manufacturing: effects of an ageing work force in German industrial firms.” Journal of Manufacturing Technology Management vol. 18(8), pp. 985–999.

[7] Waters, T. R., Putz- Anderson, V., & Garg, A. (1994). Applications manual for the revised NIOSH lifting equation, pp. 755.

[8] สุทธิ์ ศรีบูรพา. เออร์กอนอมิกส์: วิศวกรรมมนุษย์ปัจจัย. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด มหาชน, 2540.

พื้นที่ขั้นต่ำแบบพลวัตในการลุก - นั่งขัดสมาธิของผู้สูงอายุไทย

MINIMUM DYNAMIC SPACE of CROSS - LEGGED Sit to Stand of THAI ELDER

อุมาภรณ์ อัศพจน์[1*] ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: umapawn@gmail.com*

Umaphorn Assapoj[1*], Phairoat Ladavichitkul[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: umapawn@gmail.com*

บทคัดย่อ

การนั่งกับพื้นเป็นวัฒนธรรมที่มีมาอย่างยาวนานของประเทศไทย ซึ่งท่านั่งกับพื้นที่เป็นที่นิยมของประชากรไทย คือ ท่านั่งขัดสมาธิ โดยพบว่าช่วงวัยที่นั่งกับพื้นส่วนใหญ่ คือ วัยผู้สูงอายุ ซึ่งการลุกนั่งจากพื้นของผู้สูงอายุในพื้นที่จำกัดหรือในกลุ่มคนจำนวนมากที่แออัด อาจส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุการชนกันหรือกระแทกกับสิ่งของได้ การหาพื้นที่ขั้นต่ำในการลุก – นั่งท่าขัดสมาธิของผู้สูงอายุไทยจึงช่วยให้ผู้ออกแบบแผนผังหรือดูแลสถานที่สามารถกำหนดจำนวนคนและการทำกิจกรรมได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวแบบสามมิติของร่างกายทั้งหมด 16 จุด จากผู้เข้าร่วมการวิจัยที่เป็นผู้สูงอายุ จำนวน 50 คน ประกอบด้วยเพศชาย 25 คน มีอายุเฉลี่ยคือ 66 ปี และเพศหญิง 25 คน มีอายุเฉลี่ย 66 ปี มาหาพื้นที่ขั้นต่ำที่ครอบคลุมการเคลื่อนไหวทุกส่วนของร่างกายตลอดการลุกนั่งดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่าที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 มีความกว้างเท่ากับ 134.38 เซนติเมตร และความลึกเท่ากับ 131.45 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่ที่ได้จากการวัดพื้นที่ขั้นต่ำแบบสถิต (ขณะนั่ง) ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95มีความกว้างเท่ากับ 60.85 เซนติเมตร และความลึกเท่ากับ 77.62 เซนติเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่คลอบคลุมการลุกนั่งแบบพลวัตมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่คลอบคลุมการนั่งแบบสถิต โดยกว้าง 2.2 เท่า และลึก 1.7 เท่า ซึ่งพื้นที่การลุก-นั่งแบบพลวัติที่มีขนาดใหญ่กว่านั้นเกิดจากการใช้ร่างกายส่วนบนช่วยทรงตัว ดังนั้นหากต้องการออกแบบพื้นที่ใช้สอยสำหรับผู้สูงอายุที่คำนึงถึงกิจกรรมตลอดการลุกและนั่งควรใช้ข้อมูลแบบพลวัตเป็นหลัก โดยขนาดพื้นที่การลุกนั่งท่าขัดสมาธิที่แนะนำของงานวิจัยนี้ สำหรับผู้สูงอายุเพศชาย คือ 17,292 ตารางเซนติเมตร หรือขนาดความกว้างเท่ากับ 131 เซนติเมตร และขนาดความลึกเท่ากับ 132 เซนติเมตร และสำหรับผู้สูงอายุเพศหญิง คือ 17,550 ตารางเซนติเมตร หรือขนาดความกว้างเท่ากับ 135 เซนติเมตร และขนาดความลึกเท่ากับ 130 เซนติเมตร

คาสาคัญ: พื้นที่ขั้นต่ำแบบพลวัต, การลุกนั่งขัดสมาธิ, ผู้สูงอายุไทย

Abstract

Sitting on the floor is a long-standing tradition in Thailand. The sitting position with the popular area of the Thai population is sitting cross-legged. It was found that most of the ages who sat on the floor were the elderly which the elderly sit up from the floor in a confined space or in a crowded crowd. May result in an accident, collision or impact with objects. Finding a minimum space to get up - sitting cross-legged for Thai elderly people helps planners or site managers to determine the number of people and to perform activities safely. Therefore, this study collected 16 three-dimensional body movement data from 50 elderly participants, comprising 25 males with a mean age of 66 years and 25 females with a mean age of 66 years. Find a minimum area that covers all body movements during sitting up. It was found that at the 95th percentile, the width was 144.85 cm and the depth was 124.60 cm. In addition, it was found that the area obtained from the static minimum area measurement (sitting) at 95 percentile had a width of 62.76 cm and a depth of 79.54 cm, indicating that the area covered with dynamic sit-down was larger than the area covered by static, 2.3 times wide and 1.6 times deep, from using the upper body to help balance. Therefore, if you want to design a living space for the elderly who take into account their activities throughout getting up and sitting, It should be based on dynamic data.

Keywords: Minimum dynamic space, Sitting cross - legged, Thai elder

การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต : กรณีการประกอบชุดขับเคลื่อนล้อหลังรถยนต์

An Improvement of Production Process Efficiency: A case of Automotive Rear-axle Frame Assembly

ปฏิมาพร คุณาทรพิพัฒน์[1*] พิมลภัส ศรีเที่ยงตรง[1] โชติ อินทวงศ์[2] อาณัติ วัฒนสังสุทธิ์[3]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

[3] บริษัท ไฮโครคาร์บอน โซลูชั่น (ประเทศไทย) จำกัด ทวีวัฒนา, กรุงเทพฯ 10170

E-mail: kunathonpipat_p@su.ac.th*

Patimaporn Kunathonpipat[1*], Pimlapas Sritiengtrong [1], Choat Inthawongse[2], Arnat Watanasungsuit[3]

[1] Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

[2]Program in Manufacturing Technology, Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University, Ratchaburi, Thailand.

[3]Hydrocarbon Solutions (Thailand) Company Limited. Thawi Wattana District, Bangkok 10170

E-mail: kunathonpipat_p@su.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต กรณีการประกอบชุดขับเคลื่อนล้อหลังรถยนต์ จากการศึกษาปัญหาเบื้องต้น พบว่าประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของโรงงาน เนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อน ซึ่งเกิดจากการทำงานของสายพานไม่สอดคล้องกับขั้นตอนการทำงานของพนักงาน ทางผู้วิจัยจึงได้คิดแนวทางที่จะเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต โดยใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงการทำงานของสายพานเพื่อลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน ด้วยการรวมขั้นตอนการทำงานและการจัดลำดับงานใหม่ของพนักงาน โดยใช้การจัดสมดุลสายการผลิต ผลจากการดำเนินการสามารถลดจำนวนพนักงานได้จาก 4 คน เหลือ 3 คน ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน โดยมี ร้อยละ Utilization จากเดิมร้อยละ 56.57 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 78.11 และสามารถลดต้นทุนในการจ้างพนักงานได้ 190,096.54 บาท/ปี

คาสาคัญ: ชุดขับเคลื่อนล้อหลัง, การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต, หลักการ ECRS

Abstract

This study aims to improve the efficiency of the production process at an automotive rear-axle frame assembly line. It was found that the efficiency of the operations in the work was lower than the factory standard due to the complex workflow. This is caused by the operation of the new conveyor inconsistent with the work process of the operators. Therefore, the researcher considers alternative ways to improve the production line. The ECRS principle is implemented to improve conveyor operations by reducing unnecessary movement. Operator's productivity improvement achieve by applying production line balancing, workflow integration, and scheduling. As a result, the number of operators can be reduced from 4 people to 3 people, the utilization increased from 56.57% to 78.11%. The cost of hiring operators was also reduced by 190,096.54 baht per year ($5,776.25).

Keywords: Rear-axle frame, Improvement of production process efficiency, ECRS principle

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ หัวใจหลักสำคัญคือ สายการประกอบรถยนต์ และสายการประกอบชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งเป็นห่วงโซ่มูลค่าที่จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ผู้ที่อยู่ในสายการประกอบและสายการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาวิศวกรรมที่เป็นพื้นฐานรองรับการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์อย่างต่อเนื่อง [3, 7]

โดยปัญหาที่พบอยู่ในส่วนของสายการประกอบขั้นสุดท้าย คือ การใช้เครื่องจักรไม่สอดคล้องกับการทำงานของพนักงาน และการทำงานของพนักงานที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงทำให้เกิดปัญหาขึ้นในการปฏิบัติงาน ทำให้เกิดความสูญเปล่าขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงวิธีการทำงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสายการผลิตและเป็นการต้องพัฒนาสายการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ประกอบการอีกด้วย

ประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของโรงงาน เนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อน ซึ่งเกิดจากการทำงานของสายพานไม่สอดคล้องกับขั้นตอนการทำงานของพนักงาน ทางผู้วิจัยจึงได้คิดแนวทางที่จะเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต โดยใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงการทำงานของสายพานเพื่อลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานด้วยการรวมขั้นตอนการทำงานและการจัดลำดับงานใหม่ของพนักงาน โดยใช้การจัดสมดุลสายการผลิต เพื่อให้ผู้ประกอบการใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น ในการหาแนวทางเพื่อตอบสนองการทำงานของวิศวกรรมการผลิต ให้เกิดประสิทธิภาพของสายการผลิตสูงสุด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาเวลา

การศึกษาเวลาถูกใช้เพื่อการประเมินเวลาที่จำเป็นในการทำงานที่ถูกกำหนดด้วยอัตราเร็วปกติ โดยพนักงานที่ถูกฝึกมาอย่างดี เป็นส่วนต่อจากการออกแบบการทำงานที่มีขึ้นเพื่อวัดงานที่ได้จากวิธีการทำงานใหม่ที่ได้ถูกออกแบบขึ้นมา ผลของการศึกษาเวลาจะทำให้ทราบว่า คน ๆ หนึ่งที่ทำงานที่ได้รับการฝึกมาอย่างดีและทำงานด้วยอัตราเร็วปกติจะทำงานได้มากน้อยเพียงใดในเวลาที่เป็นมาตรฐาน ของขั้นตอนการทำงานหนึ่ง ๆ [4,5]

2.2 การศึกษาการเคลื่อนไหว

การศึกษาการเคลื่อนไหว (Motion Study) หรืออาจจะเรียกว่า Method Study หรือ Method Design เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ถึงการเคลื่อนไหวในขณะทำงานซึ่งรวมถึงเครื่องจักร (Machine) เครื่องมืออุปกรณ์ (Tool and Equipment) และสถานีงาน (Work Station) [4] โดยเราสามารถจำแนกหลักของการเคลื่อนไหวได้เป็น 3 กลุ่มได้แก่ 1) กลุ่มหลักการใช้ร่างกายมนุษย์ 2) กลุ่มหลักการจัดสถานที่ทำงาน 3) กลุ่มหลักการออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ เพื่อจะสามารถวิเคราะห์และปรับปรุงวิธีการทำงาน เราจำเป็นต้องการเก็บข้อมูลวิธีการทำงานของงานที่เราเลือกที่จะศึกษาวิธีการทำงานแล้ว การบันทึกข้อมูลวิธีการทำงานให้ถูกต้องแม่นยำครบถ้วนตามความเป็นจริง ในการบันทึกการทำงานจึงมีการแทนสัญลักษณ์ที่เป็นสากลเพื่อง่ายต่อการเก็บข้อมูล [1]

2.3 เทคนิค ECRS

เทคนิค ECRS ที่ใช้ในการปรับปรุงวิธีการทำงาน เป็นหลักการที่ใช้เพื่อพัฒนาวิธีการทำงานให้ สมดุลที่สุดในเชิงปฏิบัติ เพื่อให้เกิดความประหยัดและมี ประสิทธิภาพในการทำงาน โดยพิจารณาสิ่งแวดล้อมทั้งหมดที่มีอยู่ ซึ่งประกอบด้วยหลักการดังต่อไปนี้ 1.กำจัดขั้นตอนการทำงานบางส่วนที่ไม่จำเป็น(Eliminate) 2.การรวมงานที่มีงานใกล้เคียงกันเป็น ขั้นตอนเดียวกัน (Combine) 3.จัดลำดับขั้นตอนของงานใหม่ (Rearrange) 4.ปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้ง่ายขึ้น (Simplify) [4]

2.4 แผนภูมิ Yamazumi (Yamazumi board)

เป็นแผนภูมิแท่งแบบเรียงซ้อนที่แสดงแหล่งที่มาของรอบเวลาการผลิตในกระบวนการที่กำหนดแผนภูมินี้แสดงกระบวนการโดยกราฟเพื่อวัตถุประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพ [6]

2.5 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

เป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เป็นไปได้สำหรับโครงการ [2]

2.5.1 อัตราผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน

เป็นดัชนีทางเศรษฐกิจที่แสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนของมูลค่าเงินปัจจุบันของผลประโยชน์กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนโครงการ อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อการลงทุน สามารถหาได้ดังจากสมการที่ (1)

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{ผลประโยชน์}}{\text{เงินลงทุน}} \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้ B/C คือ อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อการลงทุน B คือ ผลประโยชน์ และ C คือ เงินลงทุน

2.5.2 ระยะเวลาการคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี หรือกล่าวได้ว่าการลงทุนไม่มีกำไรและไม่ขาดทุนนั่นเอง ระยะเวลาคืนทุนเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน สามารถหาได้ดังจากสมการที่ (2)

$$PB = \frac{I}{P} \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้ PB คือ ระยะเวลาคืนทุน I คือ เงินลงทุน และ P คือ ผลตอบแทนจากการลงทุน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

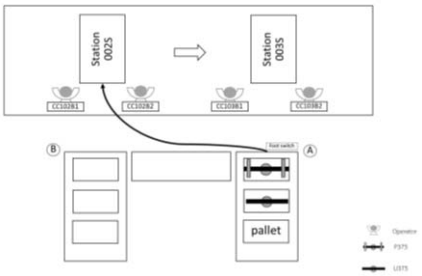
3.1 การศึกษาสภาพการดำเนินงานของโรงงาน

3.1.1 สภาพปัจจุบันของโรงงาน

ในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษา มีนโยบายบริษัทให้พนักงานแต่ละคนควรมีประสิทธิภาพในการทำงานร้อยละ 85 และต้องการให้เวลาการทำงานของพนักงานในหนึ่งรอบการทำงานเป็น 1.65 นาที จากสายการประกอบรถยนต์ซึ่งจะทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของการประกอบชุดขับเคลื่อนล้อหลังโดยจากเดิมพนักงานทั้ง 4 คน มีค่า Utilization ร้อยละ 56.57 ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐาน เนื่องจากการใช้เครื่องจักรไม่สอดคล้องกับการทำงานของพนักงาน และการทำงานของพนักงานที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงทำให้เกิดแรงจูงใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสายการผลิต

3.1.2 ผังกระบวนการประกอบ

การศึกษากระบวนการผลิตในส่วนของสถานีงานประกอบชุดขับเคลื่อนล้อหลังโดยมีขั้นตอนดังนี้ สายพานลำเลียงชิ้นงานมาที่จุด A จากนั้นพนักงานจะนำอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่ติดกับรอกจับชิ้นงานแล้วยกชิ้นงานเข้ามาประกอบที่สถานีงานในขณะที่ใช้รอกยกชิ้นงานพนักงานคนดังกล่าวจะต้องทำการกด Foot switch เพื่อสั่งการ Pallet ให้เคลื่อนไปรับชิ้นงานลำดับถัดไป ดังรูป



รูปที่ 3.1 กระบวนการประกอบชุดขับเคลื่อนล้อหลัง

3.2 การศึกษาเวลา

3.2.1 เก็บข้อมูลเวลาในการทำงานของพนักงาน

จากการศึกษาเวลาย่อยของสายประกอบขั้นสุดท้าย ในส่วนของการผลิตชุดขับเคลื่อนล้อหลังของพนักงานทั้ง 4 คน รายละเอียดของเวลาย่อยจะแสดงในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 โดยพนักงานผลิต Rear axle ชนิด P375 ได้ 27.753 ชิ้นต่อชั่วโมง และ ผลิต Rear axle ชนิด U375 ได้ 9.247 ชิ้นต่อชั่วโมง ทำให้หาเวลาปฏิบัติงานของพนักงานแต่ละคนได้ดังตาราง 3.1 ในการคำนวณหาเวลาปฏิบัติงานของพนักงานสามารถหาได้ดังสมการที่ (3)

$$WL = T_{WC} \times R_p \qquad (3)$$

เมื่อกำหนดให้ WL คือ ภาระงาน (นาที/ชั่วโมง) T_{WC} คือเวลาการทำงานของพนักงาน(นาที/รอบการทำงาน) R_p คือ งานที่ทำได้ใน 1 ชั่วโมง (ชิ้น/ชั่วโมง)

ตารางที่ 3.1 เวลาภาระงานของพนักงาน

พนักงาน	ภาระงาน (นาที/ชั่วโมง)
CC102B1	42.380
CC102B2	40.179
CC103B1	28.249
CC103B2	24.960

3.2.2 การคำนวณหาค่า Utilization

$$\%Utilization = \frac{WL \times 100}{60} \qquad (4)$$

ตารางที่ 3.2 ค่า Utilization ของพนักงานแต่ละสถานีงานก่อนการปรับปรุง

พนักงาน	%Utilization
CC102B1	70.63
CC102B2	66.97
CC103B1	47.08
CC103B2	41.60
ค่าเฉลี่ย	56.57

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ Utilization โดยเฉลี่ยของสายการผลิตนี้เท่ากับร้อยละ 56.57 ซึ่งมีค่าน้อยกว่ามาตรฐานของโรงงาน แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ทรัพยากรในการผลิตไม่ตรงตามมาตรฐานของบริษัทจึงควรมีการปรับปรุงสายการผลิตให้เกิดการใช้งานของเครื่องจักรแต่ละสถานีให้เกิดประโยชน์สูงสุด ไม่ให้เกิดการเคลื่อนไหวการทำงานระหว่างสถานีการผลิตมากเกินไป

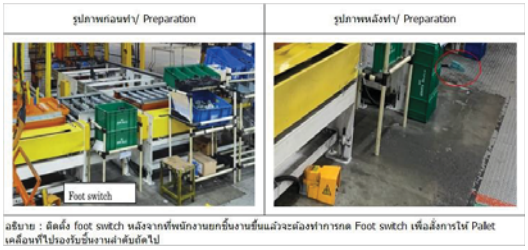
3.3 การปรับปรุงและการแบ่งภาระงาน

3.3.1 การเตรียมสถานีงาน

เริ่มต้นจากการจัดเตรียมสถานีงานโดยใช้หลัก ECRS ขั้นตอน Simplify ก่อนที่จะทำการปรับปรุงสายพาน แสดงดังรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 การติดตั้ง Photoelectric Sensor



รูปที่ 3.3 การติดตั้ง Foot Switch

หลังจากการเตรียมสถานีงานทำให้สามารถลดเวลาการเคลื่อนไหวของพนักงานที่ไม่จำเป็น เป็นขั้นตอน Eliminate ซึ่งสามารถลดพนักงานออกจากสายการผลิตได้ 1 คนต่อกะ (2 คนต่อวัน)

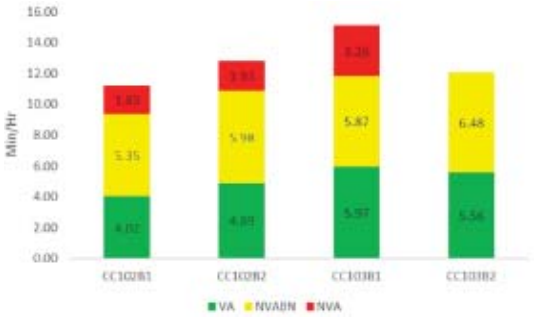
3.3.2 การแบ่งภาระงาน

เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการผลิตที่เพิ่มขึ้น จึงวางแผน รวบรวมแนวทางการแก้ไขปัญหาจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในเรื่องเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต เพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการปรับปรุงแก้ไขปัญหานี้ โดยลดพนักงานคนที่ CC102B2 ออก แล้วนำขั้นตอนงานที่เป็นการประกอบสองด้าน ใช้ Rearrange สลับขั้นตอนงานไปให้ พนักงานคนที่ CC103B1 และ CC103B2 ส่วนงานที่เป็นการประกอบด้านเดียว ใช้ Combine รวมงานให้พนักงานคนที่ CC102B1 ทำแทนทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3



Operator CC102B1	CT	Operator CC102B2	CT	Operator CC103B1	CT	Operator CC103B2	CT
ดู ROTATION ต้นไป	0.0043	ดู ROTATION ต้นไป	0.0043	ดู ROTATION ต้นไป	0.0043	ดู ROTATION ต้นไป	0.0043
หยิบ (4) RUBBER BUSHES (5719) จาก STOCK	0.0215	หยิบ (2) C-PILLAR BODY MOUNT (5418), หยิบ (4) NUT (W520214) จาก KIT	0.04515	หยิบ (4) NUT (W716896) จาก STOCK	0.01935	หยิบ (1) BOLT (W716835) และ หยิบ (1) NUT (W717314) จาก STOCK	0.0215
ประกอบ (4) RUBBER BUSHES เข้ากับ FRAME LHS	0.0946	ประกอบ (1) C-PILLAR BODY MOUNT เข้ากับ FRAME	0.06235	ยาง (4) NUT ลงบน FRAME	0.0387	หยิบ (1) BOLT (W716850), หยิบ (1) WASHER (5523), (1) NUT (W520415) จาก STOCK	0.0559
หยิบ (2) SHACKLE PLATES (5627) และหยิบ (2) SHACKLES (SK583) จาก STOCK	0.0645	หมุน (2) NUTS เข้ากับ C-PILLAR BODY MOUNT ด้วยมือ	0.06235	หยิบ (1) BOLT (W716835), หยิบ (1) NUT (W717314) จาก STOCK	0.043	หยิบ (1) REAR DAMPER LH (18080) จาก FRAME	0.0387
ยาง (1) SHACKLE PLATES และ (1) SHACKLES ลงบน FRAME	0.0602	สแกน C-PILLAR BODY MOUNT โดยใช้ SCANNER	0.0344	หยิบ SCANNER จาก FRAME	0.0129	ประกอบ (1) REAR DAMPER LH เข้ากับ FRAME	0.01505
หยิบ (1) C-PILLAR BODY MOUNT และหยิบ (2)NUT(W520214) จาก FRAME	0.0645	หยิบ (2) REAR DAMPER จาก KIT แล้วนำไปวางไว้ที่ FRAME	0.1763	สแกน BROADCAST ที่อยู่บน REAR AXLE	0.051	ประกอบ (1) WASHER (5523), 1)NUT(W520415) เข้ากับ FRAME STUD และ REAR DAMPER LH แล้วหมุน NUT ด้วยมือ	0.043
ประกอบ (1) C-PILLAR BODY MOUNT เข้ากับ FRAME	0.01935	ลาก HOIST ที่ทำล็อก REAR AXLE อยู่ไปที่ FRAME	0.16945	ลอด HOIST ออกจาก REAR AXLE แล้วเลื่อนไปที่ REAR AXLE STOCK	0.15225	หยิบ (1) BOLT (W716850) และหยิบ (1) WASHER (5523) จาก STOCK	0.0559
หมุน (2) NUT เข้ากับ C-PILLAR BODY MOUNT ด้วยมือ	0.0645	ประกอบ REAR AXLE เข้ากับ FRAME	0.2	ไป HOIST ลก REAR AXLE ของ ROTATION ต้นไป	0.15225	หยิบ (1) REAR DAMPER LH (18080) จาก FRAME	0.0387
หยิบ SCANNER จาก FRAME	0.01075	ประกอบด้านหน้าของ LEAF SPRING เข้ากับ FRAME	0			ประกอบ (1) REAR DAMPER LH เข้ากับ FRAME	0.01505
สแกน C-PILLAR BODY MOUNT	0.02305	ประกอบ (1) BOLT ยึด LEAF SPRING เข้ากับ FRAME	0.02365			ประกอบ (1) WASHER (5523), (1) NUT (W520415) เข้ากับ FRAME STUD และ REAR DAMPER RH แล้วหมุน NUT ด้วยมือ	0.043
ลาก HOIST ที่ทำล็อก REAR AXLE อยู่ไปที่ FRAME	0.1587	หมุน (1) NUT เข้ากับ BOLT ด้วยมือ	0.0387			หยิบ SCANNER แล้วทำการสแกนBARCODE ที่ติดไว้บนบน LEAF SPRING RH และ RAER DAMPER RH แล้ววาง SCANNER ไว้บน FRAME	0.13425
ประกอบ REAR AXLE เข้ากับ FRAME	0.2	ประกอบด้านหลังของ LEAF SPRING เข้ากับ FRAME	0				
ประกอบด้านหน้าของ LEAF SPRING เข้ากับ FRAME	0	ประกอบ (1) SHACKLE (2L219) ยึด LEAF SPRING เข้ากับ FRAME	0.0731				
ประกอบ (1) BOLT ยึด LEAF SPRING เข้ากับ FRAME	0.02365	ประกอบ (1) SHACKLE PLATE (5627) เข้ากับ SHACKLE	0.02795				
หมุน (1) NUT เข้ากับ BOLT ด้วยมือ	0.0387	หมุน (2) NUTS เข้ากับ SHACKLE ด้วยมือ	0.0688				
ประกอบด้านหลังของ LEAF SPRING เข้ากับ FRAME	0						
ประกอบ (1) SHACKLE (2L219) ยึด LEAF SPRING เข้ากับ FRAME	0.0731						
ประกอบ (1) SHACKLE PLATE (5627) เข้ากับ SHACKLE	0.02795						
หมุน (2) NUTS เข้ากับ SHACKLE ด้วยมือ	0.0688						
ยาง SCANNER บน FRAMEต้นไป	0.10335						
	1.1235		0.9865		0.47375		0.46535

รูปที่ 3.4 Yamazumi Chart เวลาและขั้นตอนการประกอบ Rear-axle (P375) ของพนักงานก่อนปรับปรุง



Operator CC102B1	CT	Operator CC102B2	CT	Operator CC103B1	CT	Operator CC103B2	CT
ดู ROTATION ต่อไป	0.0043	ดู ROTATION ต่อไป	0.0043	ดู ROTATION ต่อไป	0.0043	ดู ROTATION ต่อไป	0.0043
หยิบ (1) COIL SPRING (5534) วางบน FRAME	0.0215	หยิบ (1) COIL SPRING (5534) วางบน FRAME	0.086	หยิบ (2) REAR DAMPERS (18080) จาก DOLLY KIT SUPPLY และวาง PART ไว้บน FRAME	0.06665	ยก (1) REAR AXLE จาก DOLLY SUPPLY ด้วย HOIST	0.2416
หยิบ (2) DAMPER TOP MOUNT NUTS(W716936 / W716883), หยิบ (1) J-NUT (W716848), หยิบ (1) BOLT (W717650) จาก PART RACK	0.06665	หยิบ (1) UPPER COIL SPRING ISOLATOR (5599), หยิบ (1) DAMPER TOP MOUNT (18A116), หยิบ (1) UPPER TRAILING LINK (5500) จาก KIT SUPPLY	0.12685	หยิบ (3) {TRAILING LINK} FLAG BOLTS (W717651), หยิบ (3) {TRAILING LINK} NUTS (WS20216),หยิบ (1) WATT LINK BOLT (W716946), หยิบ (1) {WATTS LINK} FLAG NUT (W716899), หยิบ (1) {REAR DAMPER} NUT (W716936)	0.14405	ยก BROADCAST SHEET ออกจาก REAR AXLE ผลิตไว้ที่ด้านข้าง FRAME (LH SIDE)	0.06235
วาง (1) UPPER TRAILING LINK (5500) ลงบน FRAME	0.01075	วาง (1) UPPER COIL SPRING ISOLATOR ลงบน FRAME	0.06235	วาง PARTS ที่ทหลดลงบน FRAME (LH SIDE)	0.0774	หยิบ (1) LOWER TRAILING LINK (54648) จาก DOLLY KIT SUPPLY มาวางไว้บน FRAME	0.04515
หยิบ (1) UPPER COIL SPRING ISOLATOR(5599), หยิบ (1) DAMPER TOP MOUNT (18A116), หยิบ (1) UPPER TRAILING LINK (5500) จาก KIT SUPPLY	0.1204	ประคอบ (1) DAMPER TOP MOUNT เข้ากับ FRAME STUD	0.0344	หยิบ (1) LOWER TRAILING LINK (5A648) จาก DOLLY KIT SUPPLY	0.02795	หยิบ SCANNER แล้วทำการ SCAN BROADCAST SHEET และ REAR DAMPER แล้วเก็บ SCANNER	0.08265
วาง (1) UPPER COIL SPRING ISOLATOR ลงบน FRAME	0.06235	วาง (1) UPPER TRAILING LINK ลงบน FRAME	0.01075	ประคอบ LOWER TRAILING LINK เข้ากับ REAR AXLE AND FRAME (LH SIDE)	0.0602	*** STAB BAR ***	0
ประคอบ (1) DAMPER TOP MOUNT เข้ากับ FRAME STUD	0.0344	หยิบ (2) BODY MOUNT NUTS (WS20214)	0.03225	ประคอบ (1) FLAG BOLT เข้ากับ LOWER TRAILING LINK {FRAME END}	0.0172	ปลดล REAR AXLE ลงบน FRAME	0.167
หมุน (2) DAMPER TOP MOUNT NUTS เข้ากับ FRAME STUD ด้วยมือ	0.0731	หยิบ (1) G-PILLAR BODY MOUNT (5418)	0.02795	หยิบ (3) {TRAILING LINK} FLAG BOLTS (W717651), หยิบ (3) {TRAILING LINK} NUTS (WS20216), หยิบ (1) WATT LINK BOLT (W716946), หยิบ (1) {WATTS LINK} FLAG NUT (W716899), หยิบ (1) {REAR DAMPER} NUT (W716936)	0.14405	หยิบ (1) STAB BAR LINK NUT ที่วางอยู่บน FRAMEยึด STAB BAR LINK เข้ากับ FRAME ยและหมุนด้วยมือ	0.04945
ประคอบ J-NUT เข้ากับ FRAME	0.02365	ประคอบ (1) G-PILLAR BODY MOUNT เข้ากับ FRAME	0.0172	วาง PARTS ที่ทหลดลงบน FRAME (LH SIDE)	0.0774	หมุนแน่น (1) STAB BAR LINK NUT ยึด STAB BAR LINK เข้ากับ FRAME ด้วย POWER TOOL	0.07815
ประคอบ TRAILING LINK เข้ากับ FRAME	0.0258	หมุน (2) NUTS เข้ากับ G-PILLAR BODY MOUNT ด้วยมือ	0.0645	หยิบ (1) LOWER TRAILING LINK (5A648) จาก DOLLY KIT SUPPLY	0.02795	*** UPPER TRAILING LINK ***	0
ประคอบ BOLT เพื่อยึด TRAILING LINK เข้ากับ FRAME	0.01505	สแคน G-PILLAR BODY MOUNT	0.03225	ประคอบ LOWER TRAILING LINK เข้ากับ REAR AXLE AND FRAME (RH SIDE)	0.0602	ปรับระดับ HOIST (เพื่อประคอบ UPPER TRAILING LINK)	0.033
หมุน BOLT เข้ากับ J-NUT ด้วยมือ	0.01935	หยิบ (2) DAMPER TOP MOUNT NUTS (W716936), หยิบ (1) J-NUT (W716848 / W716883), หยิบ (1) BOLT (W717650) จาก PART RACK	0.06665	ประคอบ (1) FLAG BOLT เข้ากับ LOWER TRAILING LINK {FRAME END}	0.0172	ประคอบ (1) UPPER TRAILING LINK และ (1) BOLT UPPER TRAILING LINK เข้ากับ FRAME	0.04085
ประคอบ UPPER COIL SPRING ISOLATOR เข้ากับ FRAME	0.0301	หมุน (2) DAMPER TOP MOUNT NUTS เข้ากับ FRAME STUD ด้วยมือ	0.086	*** STAB BAR ***	0	*** WATT LINK ***	0
ประคอบ COIL SPRING เข้ากับ SPRING ISOLATOR และหมุนให้เข้าตำแหน่ง	0.04515	ประคอบ J-NUT เข้ากับ FRAME	0.02365	ลาก HOIST (พร้อมกับ RR AXLE ที่ยกไว้แล้ว) มาโหลดลงบน FRAME	0.353	ประคอบ WATT LINK และ (1) WATT LINK BOLT (W716946) เข้ากับ FRAME	0.14695
ขัน (2) DAMPER TOP MOUNT NUTS ด้วย POWER TOOL	0.1676	ประคอบ TRAILING LINK เข้ากับ FRAME	0.0258	หมุน (1) STAB BAR LINK NUT ยึด STAB BAR LINK เข้ากับ FRAME ด้วยมือ	0.043	*** LOWER TRAILING LINK ***	0
หยิบ SCANNER จาก FRAME	0.0129	ประคอบ BOLT เพื่อยึด TRAILING LINK เข้ากับ FRAME	0.01505	ขัน (1) STAB BAR LINK NUT ยึด STAB BAR LINK เข้ากับ FRAME ด้วย POWER TOOL	0.0803	ประคอบ LOWER TRAILING LINK เข้ากับ FRAME	0.04515
สแคน BROADCAST	0.04025	หมุน BOLT เข้ากับ J-NUT ด้วยมือ	0.01935	*** UPPER TRAILING LINK ***	0	ประคอบ (2) FLAG BOLT ยึด LOWER TRAILING LINK เข้ากับ FRAME	0.1233
สแคน G-PILLAR BODY MOUNT	0.0295	ประคอบ UPPER COIL SPRING ISOLATOR เข้ากับ FRAME	0.0301	ปรับระดับ HOIST (เพื่อประคอบ UPPER TRAILING LINK)	0.0502	หยิบ (1) COIL SPRING CONTROL JIG จาก COIL SPRING LH แล้วนำไปเก็บไว้ที่ STOCK	0.01505
สแคน COIL SPRING	0.0295	ประคอบ COIL SPRING เข้ากับ SPRING ISOLATOR และหมุนให้เข้าตำแหน่ง	0.04515	ประคอบ (1) UPPER TRAILING LINK และ (1) BOLT UPPER TRAILING LINK เข้ากับ FRAME	0.04085	ทำการพนาร์ค SPRING ISOLATOR โดยใช้ MARKER เพื่อใช้เป็นการประคอบ	0.1677
วาง SCANNER บน FRAME ต่อไป	0.0301	ขัน (2) DAMPER TOP MOUNT NUTS ด้วย POWER TOOL	0.1676	*** WATT LINK ***	0		
หยิบ (1) COIL SPRING CONTROL JIG จาก STOCK แล้วนำไปประคอบเข้ากับ COIL SPRING RH	0.1505	หยิบ SCANNER จาก FRAME	0.01075	ประคอบ WATT LINK และ (1)WATT LINK BOLT (W716946) เข้ากับ FRAME	0.14695		
ลอด HOIST ออกจาก RR AXLE แล้วลากลับที่เดิม	0.19825	สแคน COIL SPRING	0.02305	*** LOWER TRAILING LINK ***	0		
		วาง SCANNER บน FRAME	0.0129	ประคอบ LOWER TRAILING LINK เข้ากับ FRAME	0.04515		
		หยิบ (1) COIL SPRING CONTROL JIG จาก STOCK แล้วนำไปประคอบเข้ากับ COIL SPRING LH	0.1505	ประคอบ (2) FLAG BOLT ยึด LOWER TRAILING LINK เข้ากับ FRAME	0.13405		
		ลอด HOIST ออกจาก REAR AXLE แล้วลากลับที่เดิม	0.209	หยิบ (1) COIL SPRING CONTROL JIG จาก COIL SPRING RH แล้วนำไปเก็บไว้ที่ STOCK	0.01505		
	1.21115		1.38435		1.6331		1.30265

รูปที่ 3.5 Yamazumi Chart เวลาและขั้นตอนการประกอบ Rear-axle (U375) ของพนักงานก่อนปรับปรุง

3.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการปรับปรุง

ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ต้นทุนการปรับปรุงสถานีการผลิตส่วนของการปรับปรุงสายพาน ซึ่งในการปรับปรุงสายพาน ช่างซ่อมบำรุงจะทำการติดตั้ง Photoelectric Sensor และ Foot Switch รายละเอียดจะแสดงดังตารางที่ 3.3

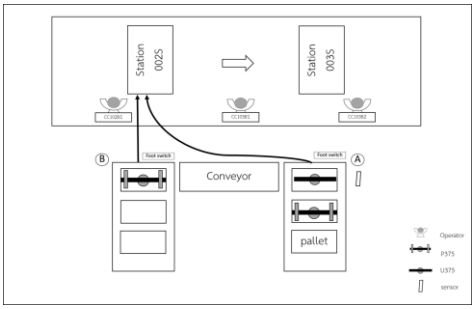
ตารางที่ 3.3 ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงสายพาน

รายการค่าใช้จ่าย		
1.ช่างซ่อมบำรุง	2,436	บาท/วัน
2. อุปกรณ์		
2.1 Photoelectric Sensor	160	บาท/ตัว
2.2 Foot Switch	1,100	บาท/ตัว
รวม	3,696	บาท

4. ผลการวิจัย

4.1 ขั้นตอนและผลการดำเนินงาน

จากการวิเคราะห์สายการผลิตชุดขับเคลื่อนล้อหลังทำการปรับปรุงโดยใช้หลักเทคนิคการลดความสูญเปล่า ECRS เพื่อช่วยให้การทำงานสะดวกมากขึ้นโดยพิจารณาจากการเคลื่อนไหวของพนักงานให้น้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้ลดเวลาความสูญเปล่าของการเคลื่อนที่ ตามที่จัดเตรียมและวางแผนไว้ ดำเนินการแก้ไขโดยการเตรียมสถานีงานเพื่อปรับปรุงสายพาน ดังรูปที่ 4.1 สามารถลดเวลาขั้นตอนการทำงานที่เกินความจำเป็นของพนักงานได้ 0.06864 นาที รายละเอียดดังตาราง 4.1



รูปที่ 4.1 แผนผังการทำงานของพนักงานหลังปรับปรุง

4.2 วิเคราะห์และสรุปผลข้อมูลที่ได้

เมื่อทราบค่าเวลารอบการผลิตแต่ละสถานีงาน ทำให้สามารถคำนวณค่าภาระงานหลังจากการปรับปรุงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เวลาภาระงานของพนักงานหลังปรับปรุง

พนักงาน	ภาระงาน (นาที/ชั่วโมง)
CC102B1	39.638
CC103B1	50.882
CC103B2	50.070

จากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า Utilization เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงของพนักงาน แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่า Utilization ของพนักงานก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
พนักงาน	%Utilization	พนักงาน	%Utilization
CC102B1	70.63	CC102B1	66.06
CC102B2	66.97	CC102B2	
CC103B1	47.08	CC103B1	84.80
CC103B2	41.60	CC103B2	83.45
ค่าเฉลี่ย	56.57	ค่าเฉลี่ย	78.11

จากตารางค่า Utilization ของพนักงานหลังการปรับปรุงเฉลี่ยจากร้อยละ 56.57 เป็นร้อยละ 78.11 ซึ่ง เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 21.53 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์

4.3 วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

4.3.1 ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน

จากการเตรียมสถานีงานแผนกการประกอบขั้นสุดท้าย ในส่วนของการผลิตชุดขับเคลื่อนล้อหลัง ช่างซ่อมบำรุงได้ทำการติดตั้ง Photoelectric Sensor และ Foot Switch หลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต สามารถลดพนักงานได้ 1 คนต่อกะ (2 คนต่อวัน) ลดต้นทุนค่าจ้างพนักงานแผนกผลิตได้ปีละ 190,096.54 บาทรายละเอียดต้นทุนของการปรับปรุงสายพาน แสดงดังตารางที่ 3.3 ซึ่งอัตราผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน เท่ากับ 51.43 เป็นอัตราส่วนที่มากกว่า 1 แสดงว่าควรตัดสินใจลงทุนการปรับปรุง

4.3.2 ระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวณ จะได้ระยะเวลาคืนทุนของการปรับปรุงสายการผลิต เท่ากับ 0.0194 ปี หรือ 8 วัน

จากอัตราผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนที่มากค่ามากกว่า 1 และมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 8 วัน ดังนั้นจึงควรที่จะตัดสินใจลงทุนปรับปรุงสายการผลิตโครงการนี้

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต กรณีการประกอบชุดขับเคลื่อนล้อหลังรถยนต์ ด้วยการปรับปรุงสายการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยทำการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยหลักการ ECRS มาเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงสายการผลิตในงานวิจัยฉบับนี้ โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงการทำงานของสายพานเพื่อลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น และการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน

ในการปรับปรุงสายการผลิตจะมี 2 ขั้นตอน คือ การเตรียมสถานีงาน และการจัดสมดุลสายการผลิต ขั้นตอนดังกล่าวได้ใช้เทคนิค ECRS และการจัดสมดุลสายการผลิตเข้ามาทำการปรับปรุงสถานีงาน เพื่อลดความสูญเปล่าในสายการผลิต ทำให้กระบวนการมีความสมดุลมากขึ้น การใช้ทรัพยากรของสายการผลิตดีขึ้น โดยสามารถลดจำนวนพนักงานจาก 4 คน เหลือ 3 คน ร้อยละ Utilization เพิ่มขึ้นร้อยละ 21.53 และสามารถลดต้นทุนค่าจ้างพนักงานแผนกผลิตได้ปีละ 190,096.54 บาทต่อปี

จากข้อมูลที่ได้ทำการวิจัยการปรับปรุงสายการผลิต ทำให้เห็นว่าการปรับปรุงสมดุลสายการผลิตด้วยเทคนิค ECRS แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพโดยรวมของสายการผลิตดีขึ้น ดังนั้นจึงสามารถนำไปเป็นแนวทางเพื่อตอบสนองการทำงานของวิศวกรรมการผลิตได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน. การศึกษาการทำงานทางอุตสาหกรรม. เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 กันยายน 2564. จาก http://pirun.ku.ac.th/fengcsr/courses/2008_01/206341/ch9.pdf

[2] ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม : Engineering Economy. (กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548) 116,176

[3] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. GDP ไตรมาสที่สาม ปี 2562 และแนวโน้มปี2562 – 2563. เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 กันยายน 2564. จาก https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link php?nid=9615

[4] Barnes, R. M. (1980). Motion and Time Study: Design and Measurement of Work. (7th ed.). New York: John Wiley & Sons.

[5] Goetsch D. L. and Davis S. B. (2005). Quality Management. (5th ed.). New Jersey: Prentice Hall.

[6] Investni. Creating a Yamazumi Chart. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 มีนาคม 2565. จาก https://www.investni.com/sites/ default/ files / documents/ static/ library/ invest-ni/documents/tutorials /creating-a-yamazumi-chart.pdf

[7] Wanna Yongpisanphob. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2563-65: อุตสาหกรรมรถยนต์. เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 กันยายน 2564. จาก https://www.krungsri.com/th/research /industry/industry- outlook /Hi-tech-Industries/ Automobiles/IO/io-automobile-20

แนวทางการปรับปรุงกระบวนการปรับตั้ง Calender rolls

Guideline for Improving the Calender Rolls Setup Process

รุจยา เกตุสุวรรณ์[1] ณัฐนารี สุขเสกสรร[1*]
[1]ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
E-mail: natanaree.s@fitm.kmutnb.ac.th*

Rujaya Ketsuwan[1], Natanaree Sooksaksun[1*]
[1]Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus
E-mail: natanaree.s@fitm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการปรับตั้ง Calender roll พร้อมทั้งหาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น และนำเสนอแนวทางในการลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรในส่วนของ Calender roll จากการศึกษากระบวนการปรับตั้ง แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบตามต้นกำลังในการขับ โดยรูปแบบที่ 1 ใช้ Gear pulley รูปแบบที่ 2 ใช้ Disc coupling โดยในงานวิจัยได้ทำการศึกษาเฉพาะรูปแบบที่ 1 ซึ่งเมื่อทำการบันทึกข้อมูลก่อนการปรับปรุงโดยการบันทึกวิดีโอการปรับตั้งที่หน้างานจริง และบันทึกขั้นตอนการทำงานย่อยของแต่ละกระบวนการทำงานด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิตของกลุ่ม พบว่าใช้เวลาการปรับตั้ง 35.92 นาที และใช้จำนวนผู้ปฏิบัติงาน 4 คนและเมื่อทำการวิเคราะห์พบความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น คือการเดินไปหยิบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ขณะทำการปรับตั้ง ดังนั้นจึงได้นำเทคนิค SMED มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกิจกรรมการทำงาน โดยแยกการปรับตั้งออกเป็นการปรับตั้งภายในและการปรับตั้งภายนอก ทำให้พบว่ามีงานภายนอก 4 กิจกรรม เป็นงานที่สามารถจัดเตรียมไว้ก่อนเริ่มงานได้ 2 กิจกรรม จึงจัดให้มีการเตรียมความพร้อมก่อนเริ่มงาน โดยกำหนดขั้นตอนการเตรียมความพร้อมก่อนเริ่มงานและจัดทำใบตรวจเช็คสภาพลูกโรล นอกจากนี้ยังพบว่ามีขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์รวมอยู่ด้วย 2 กิจกรรม จึงใช้หลักการ ECRS เข้ามาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกิจกรรมการทำงานโดยการกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก และทำการจัดเรียงขั้นตอนการทำงานใหม่ กำหนดหน้าที่ที่ชัดเจนให้กับผู้ปฏิบัติงาน แต่ละคน หลังจากวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุง พบว่าจะสามารถทำให้เวลาสูญเปล่าในการปรับตั้งลดลง 14.25 นาทีคิดเป็น 40% จากเวลาเดิมก่อนการปรับปรุง และสามารถลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานจากเดิม 4 คนเหลือ 3 คน

คาสาคัญ: ความสูญเปล่า 7 ประการ, เทคนิค SMED, หลักการ ECRS

Abstract

The purposes of this research are to study the process of adjusting the calender roll as well as to find the waste that occurred and to propose a guideline to reduce the time of machine set-up in the calender roll part. From the study of the adjustment process, there are divided into 2 types according to the driving power, the first model uses a gear pulley, and the second model uses a disc coupling. In this study, the model was conducted in which data were recorded prior to improvement by recording video of the settings on-site. After that, the gang process chart is used for the sub-steps of each workflow. This process takes 35.92 minutes, and 4 operators were used. The average worker efficiency was 48%. From the analysis, wastage caused by the unnecessary movement was found which walking to pick up tools or equipment while adjusting. Therefore, the SMED technique has been proposed to improve work activities by separating the settings into internal adjustments and external adjustments. As a result, it was found that there were 4 external work activities, 2 of which can be prepared before the start of the work. The preparation processes are defined before starting work and the check sheets are prepared to check the condition of the rolls. In addition, two non value added activities were found to be included in the activities. The ECRS principle was proposed to improve work activities by eliminating unnecessary steps and reorganizing workflows. New assign clear duties to each operator are proposed. After analyzing the improvement guidelines, it was found that the wasted time in the setup was reduced by 14.25 minutes, 40% of the original time before the renovation. Moreover, it can reduce the number of workers from 4 to 3.

Keywords: 7 Wastes, SMED Techniques, ECRS Principles

1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตแผ่นพลาสติกสำหรับกั้นในแบตเตอรี่ ซึ่งในกระบวนการพิมพ์ลายและปรับความหนาของแผ่นกั้นจะมี Calender roll ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ลายและปรับความหนาของแผ่นกั้นจะต้องถอดเปลี่ยนตามคำสั่งซื้อ โดยในกระบวนการนี้ใช้เวลาในการปรับตั้งนาน และการปรับตั้งแต่ละครั้งมีขั้นตอนและจำนวนผู้ปฏิบัติงานที่ไม่แน่นอน ซึ่งลักษณะการปรับเปลี่ยนจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบตามต้นกำลังในการขับ โดยรูปแบบที่ 1 จะใช้ Gear pulley รูปแบบที่ 2 จะใช้ Disc coupling โดยในบทความนี้จะนำเสนอเฉพาะการปรับเปลี่ยนของต้นกำลังรูปแบบที่ 1 เท่านั้น โดยในการศึกษาเบื้องต้นใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรประมาณ 35 นาทีต่อครั้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการปรับตั้ง Calender roll พร้อมทั้งหาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น และนำเสนอแนวทางในการลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรในส่วนของ Calender roll

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับความสูญเปล่า 7 ประการ เพื่อวิเคราะห์หาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และเนื่องจากการปรับปรุงกระบวนการปรับตั้งเครื่องจักรจึงเลือกประยุกต์ใช้เทคนิค SMED (Single Minute Exchange of Die) ซึ่งจะมีการแบ่งกิจกรรมออกเป็นการตั้งเครื่องภายใน (internal setup) ซึ่งเป็นการปฏิบัติการที่ต้องการทำในขณะที่เครื่องจักรหยุดทำงาน และการตั้งเครื่องภายนอก (external setup) ซึ่งเป็นการปฏิบัติการที่สามารถทำได้ในขณะที่เครื่องจักรยังคงทำงานอยู่ และนอกจากนี้ยังใช้เลือกใช้หลักการ ECRS คือการกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการลดระยะเวลาของกระบวนการ

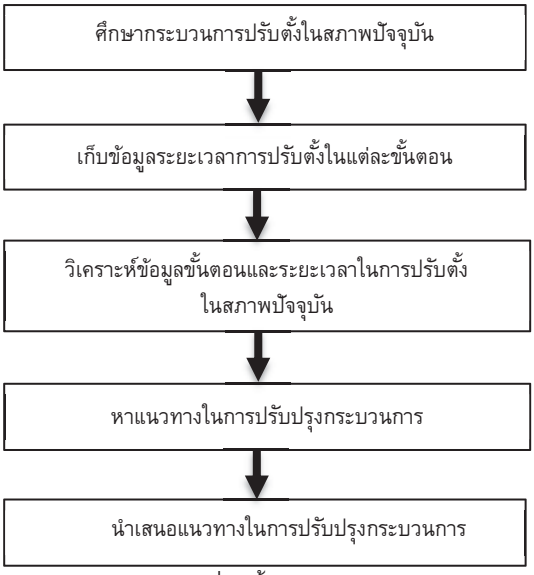
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค SMED และ ECRS ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้ขอกล่าวถึงงานวิจัยของ ธยา และโสภิดา [1] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตด้วยวิธีการเปลี่ยนสไตล์งานอย่างรวดเร็ว กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มไทย ด้วยการประยุกต์ใช้ PDCA A3 (PDCA A3 Problem Solving Report) และเทคนิค SMED โดยทำการวิเคราะห์งานเพื่อแยกงาน ปรับปรุงวิธีการ/กระบวนการดำเนินงานโดยนำขั้นตอนกระบวนการทำงานทั้งหมดมาจัดระเบียบเพื่อให้ง่ายต่อการปฏิบัติงานด้วยเทคนิค 5W ส่งผลให้สามารถลดเวลาลงและประสิทธิภาพการเปลี่ยนรุ่นการผลิตเพิ่มขึ้น พรลภัส และประจวบ [2] ได้ทำการศึกษาการลดเวลาในการปรับตั้งแม่พิมพ์ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิค SMED ร่วมกับหลักการตั้งคำถาม 5W1H และหลักการ ECRS สามารถลดขั้นตอนการทำงาน และใช้เวลาเฉลี่ยลดลงจากเดิม อรรถพล [3] ได้ทำการศึกษาการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรในสายการผลิตท่อส่งข้าว โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การทำงานของพนักงานและเทคนิค SMED ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการปรับตั้งเครื่องจักร ดังนี้ 1) แยกงานนอก-งานใน 2) เปลี่ยนวิธีการถอดและติดตั้งเครื่องมือจากด้านหน้าเป็นด้านหลังเครื่อง 3) ออกแบบการล็อกตำแหน่งจิ๊กให้ง่าย ทำให้สามารถลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงได้ ธนารักษ์ และอดิศักดิ์ [4] ได้ทำการศึกษาการลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ด้วยเทคนิค SMED และเทคนิค ECRS แล้วจัดทำมาตรฐานในการปฏิบัติงาน ทำให้เวลาปรับตั้งลดลง 50 นาที และค่า Utilization เครื่องจักรและคนเพิ่มสูงขึ้นอีกทั้งยังสามารถผลิตชิ้นงานได้เพิ่มขึ้นในชุดประกอบหัวอ่านเขียนกึ่งอัตโนมัติของสายการผลิต ด้วยการประยุกต์ใช้การศึกษาเวลาและความเคลื่อนไหวในการทำงาน และวิธีปรับปรุงงาน ECRS โดยทำการจัดการทำงานในสถานีงานใหม่และการแบ่งงานที่เหมาะสมสามารถลดรอบการผลิตของสถานีงานคอขวดทำให้สายการผลิตทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และไม่เกิดการรอคอยของสถานีงานอื่นในสายการผลิต พรศิริ และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเตาถ่าน กรณีศึกษา: โรงเตาในจังหวัดกาฬสินธุ์ ด้วยการประยุกต์ใช้แนวคิด ECRS โดยทำการลดและรวมขั้นตอนการทำงาน พบว่าวลาการทำงานลดลงได้ และพนักงานสามารถผลิตเตาถ่านได้เพิ่มขึ้น ปิยะ และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาการลดความสูญเปล่าของกระบวนการผลิตหมึกพิมพ์ออฟเซต ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS และลีนโดยทดลองลดจำนวนเครื่อง SAND MILL และเก็บตัวอย่างหมึกพิมพ์มาทดสอบแล้วถึงนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งสามารถลดขั้นตอนการบดลงและลดพลังงานไฟฟ้าได้ ธนนันท์ และจิรพัฒน์ [8] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงกำลังการผลิตของสายการผลิตปั๊มคอมมอนเรล ด้วยการประยุกต์ใช้แผนผังสาเหตุและผล หลักการ ECRS โดยทำการขจัดกิจกรรมที่ไม่จำเป็นในกระบวนการผลิต และลดรอบเวลาการผลิต ซึ่งสามารถลดรอบเวลาการผลิต ส่งผลให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิต

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการศึกษาหาแนวการปรับปรุงกระบวนการปรับตั้ง Calender rolls เพื่อลดเวลาและความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการแสดงดังรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 เริ่มจากศึกษากระบวนการปรับตั้ง Calender roll ในสภาพปัจจุบันที่หน้างานโดยการสอบถามผู้ปฏิบัติงาน และทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาการปรับตั้งในแต่ละขั้นตอน โดยทำการบันทึกวิดีโอขั้นตอนการปฏิบัติงานที่หน้างานแล้วนำมาแยกรายละเอียดขั้นตอนและเวลา โดยใช้แผนภูมิกระบวนการผลิตของกลุ่ม (Gang Process Chart) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นตอนและระยะเวลาในการปรับตั้งและทำการวิเคราะห์หาความสูญเปล่า พร้อมหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการ เพื่อมุ่งเน้นการลดระยะเวลาการปรับตั้ง โดยประยุกต์เทคนิค SMED และหลักการ ECRS หลังจากได้แนวทางการปรับปรุงแล้วได้ทำการนำเสนอแนวทางการปรับปรุงกับผู้ปฏิบัติงานหน้างานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและตรวจสอบความเป็นไปได้ของการปฏิบัติตามแนวทางที่หน้างานจริง



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการศึกษากระบวนการปรับตั้ง Calender roll ในปัจจุบัน

กระบวนการปรับตั้งที่ศึกษาคือ Calender roll ซึ่งอยู่ในกระบวนการพิมพ์ลายและปรับความหนาของแผ่นกั้น จะถูกถอดเปลี่ยนตามคำสั่งซื้อ ซึ่งในการศึกษาได้ทำการแบ่งรูปแบบการปรับตั้งออกเป็น 2 รูปแบบ เนื่องจาก Calender roll มีการติดตั้งต้นกำลังในการขับที่ต่างกัน โดยรูปแบบที่ 1 จะใช้ Gear pulley และรูปแบบที่ 2 จะใช้ Disc coupling โดยในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษารูปแบบที่ 1 โดยปัจจุบันใช้ผู้ปฏิบัติงาน 4 คนในการปรับตั้ง ผู้ปฏิบัติงานคนที่ 1 และ 2 จะทำหน้าที่ถอดเปลี่ยนลูกโรล ผู้ปฏิบัติงานคนที่ 3 จะทำหน้าที่เตรียมเครนและผู้ปฏิบัติงานคนที่ 4 จะทำหน้าที่ทำความสะอาดและเดินหยิบอุปกรณ์

4.2 ผลการเก็บข้อมูลระยะเวลาการปรับตั้งในแต่ละขั้นตอน

ทำการเก็บข้อมูลใช้การถ่ายวิดีโอบันทึกวิธีการปฏิบัติงานที่หน้างาน และนำมาแยกรายละเอียดขั้นตอนและเวลา โดยใช้แผนภูมิกระบวนการผลิตของกลุ่มเก็บข้อมูลการทำงาน ในการจับเวลาครั้งนี้มีผู้ปฏิบัติงานทั้งหมด 4 คน โดยมีผู้ปฏิบัติงานคนที่ 1 และ 2 เป็นหลัก ในขณะที่อีก 2 คนจะมีการยืนรอ แล้วมีการทำงานบ้างเล็กน้อยในช่วงหลัง ตัวอย่างผลการเก็บข้อมูลโดยใช้แผนภูมิกระบวนการผลิตของกลุ่มแสดงดังตารางที่ 1

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นตอนและระยะเวลาการปรับตั้ง

จากข้อมูลแผนภูมิกระบวนการผลิตของกลุ่มที่ทำการบันทึกมาพบว่ามีผู้ปฏิบัติงาน 4 คน ใช้เวลาในการปรับตั้งทั้งหมด 35.92 นาที ซึ่งเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งจะเริ่มนับตั้งแต่ทำการหยุดเครื่องจักรจนถึงเวลาที่เครื่องจักรเริ่มทำงานอีกครั้ง ได้ทำการสรุปข้อมูลขั้นตอนและเวลาของผู้ปฏิบัติงานทุกคนแสดงดังตารางที่ 2

นอกจากนั้นนำเอาแผนภูมิกระบวนการผลิตของกลุ่มมาคิดค่าประสิทธิภาพการทำงานของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน โดยนำเวลาการทำงานและเวลาเคลื่อนที่รวมกันทั้งหมดที่ใช้ในการปรับตั้ง มาหารเวลาปฏิบัติงานของแต่ละคน พบว่าผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนมีประสิทธิภาพการทำงานต่างกันค่อนข้างมาก ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการทำงานในการปรับตั้ง (เวลา: นาที)

ผู้ปฏิบัติงาน	เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการปรับตั้ง	เวลาปฏิบัติงาน	ประสิทธิภาพการทำงาน
คนที่ 1	35.92	32.25	89.78%
คนที่ 2	35.92	16.17	45.02%
คนที่ 3	35.92	13.38	37.26%
คนที่ 4	35.92	7.42	20.65%
ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการทำงาน			48%

จากตารางจะพบว่าประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละคนต่างกันมาก เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานคนที่ 1 คือพนักงานประจำตำแหน่งจะทำหน้าที่หลักในการปรับตั้ง ผู้ปฏิบัติงานที่ 2 จะทำหน้าที่ช่วยคนที่ 1 ส่วนผู้ปฏิบัติงานคนที่ 3 จะเริ่มทำงานที่นาทีที่ 15 และผู้ปฏิบัติงานคนที่ 4 เริ่มทำงานที่นาทีที่ 4 และทำงานแค่ 3 งาน

เมื่อพิจารณาผลการเก็บข้อมูล พบความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นคือ การเดินไปหยิบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ขณะทำการปรับตั้ง ดังนั้นจึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิค SMED แยกการปรับตั้งออกเป็นการปรับตั้งภายในและการปรับตั้งภายนอก ดังตารางที่ 2 เมื่อทำการแยกกิจกรรมปรับตั้งภายในและกิจกรรมปรับตั้งภายนอก พบว่าจากกิจกรรมการปรับตั้งทั้งหมด 32 กิจกรรม มีกิจกรรมปรับตั้งภายนอก 4 กิจกรรมและเมื่อวิเคราะห์กิจกรรมภายนอกทั้ง 4 กิจกรรม สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. กิจกรรมที่ 14 และ 24 เป็นกิจกรรมที่สามารถเตรียมเครื่องมือให้พร้อมก่อนหยุดสายการผลิตได้ เพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย

2. กิจกรรมที่ 5 และ 13 เป็นกิจกรรมที่ไม่จำเป็นต้องทำเมื่อเครื่องจักรหยุด เนื่องจากกิจกรรมที่ 5 Clean Vacuum suction zone 7 เป็นกิจกรรมทำความสะอาดระบบสุญญากาศโซนที่ 7 สามารถทำความสะอาดเมื่อใดก็ได้ และกิจกรรมที่ 13 เปลี่ยนแผ่น Screen เป็นกิจกรรมการเปลี่ยนแผ่นกรองสิ่งสกปรกในส่วนผสมก่อนจะถูกส่งไปยังกระบวนการถัดไป เป็นกิจกรรมที่ไม่จำเป็นต้องทำทุกครั้งที่มีการปรับตั้ง สามารถดูค่าการไหลของส่วนผสมที่หน้าจอควบคุม และทำการเปลี่ยนเมื่อค่าการไหลเริ่มไม่คงที่ได้ โดยกิจกรรมทั้ง 2 กิจกรรมไม่จำเป็นต้องรอเครื่องจักรหยุด สามารถกำจัดออกจากกิจกรรมการปรับตั้งได้ เพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดจากกระบวนการที่มากเกินความจำเป็น

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลการเก็บข้อมูลโดยใช้ Gang Process Chart

Operator 1	Flow	Time		Operator 2	Flow	Time		Operator 3	Flow	Time		Operator 4	Flow	Time	
		นาที	วินาที			นาที	วินาที			นาที	วินาที			นาที	วินาที
1.กดหยุด EXU	O	3	20	1.เลื่อนที่ยืนไปไว้หน้า Calender	O		20								
2.เลื่อน Calender , Smog hog กดเปิด kiss roll	O	1	30	2.เดินไปดึงสายลม	T		2								
3.ปลดสาย Emergency rope	O		10	3.ดึงสายลมมารอหน้า calender	T		28					1.ทำความสะอาดระบบสุญญากาศโซนที่ 7	O	7	
				4.เปิดตัวกด Tension belt drive	O		10								

ตารางที่ 2 ขั้นตอนหลักของการปรับตั้ง Calender roll

ลำดับ	กิจกรรม	เวลา		ลักษณะการปรับตั้ง		ลำดับ	กิจกรรม	เวลา		ลักษณะการปรับตั้ง	
		นาที	วินาที	ภายใน	ภายนอก			นาที	วินาที	ภายใน	ภายนอก
1	กดหยุด EXU		20	✓		17	ยกลูกโรลใหม่ ขึ้นใส่บน Calender	4	20	✓	
2	เลื่อน Calender และ Smog hog ออกจากหน้า Die station	1	30	✓		18	ใส่ Belt ฝั่ง Drive		15	✓	
3	ปลดสาย Emergency rope		10	✓		19	ใช้ตัวตั้งศูนย์เช็คระยะกึ่งกลาง		5	✓	
4	เปิดตัวกด Tension belt drive		10	✓		20	ใส่ประกับ Bearing ทั้ง 2 ฝั่ง		10	✓	
5	Clean Vacuum suction zone 7	7			✓	21	ใช้บล็อกลมขันอัด Bolt ที่ยึดประกับ Bearing ทั้ง 2 ฝั่ง		20	✓	
6	เปิด Cover calender ทั้ง 2 ฝั่ง		18	✓		22	ใส่สาย Flexible และเปิด Valve น้ำเข้า-ออก ทั้ง 2 ฝั่ง		30	✓	
7	ปิด valve น้ำเข้า-ออก และถอดสาย Flexible ทั้ง 2 ฝั่ง		20	✓		23	ปิด Cover calender ทั้ง 2 ฝั่ง		10	✓	
8	เก็บ Black sheet ที่ติดอยู่หน้าลูกโรลออก		10	✓		24	ยกลูกโรลเก่า ย้าย Trolley	1	50		✓
9	คลุมลูก Top roll และ Bottom roll	5		✓		25	ถอดที่คลุมลูกโรลเก็บที่ Trolley		27	✓	
10	ใช้บล็อกลมคลาย Bolt ที่ยึดประกับ Bearing ทั้ง 2 ฝั่ง		30	✓		26	ปิดตัวกด Tension belt drive		10	✓	
11	ถอด Belt ฝั่ง Drive ออก		35	✓		27	ใส่สาย Emergency rope		10	✓	
12	ปิด Valve cooling Melt pump		30	✓		28	Reset alarm ของCalender		10	✓	
13	เปลี่ยนแผ่น Screen		55		✓	29	เลื่อน Calender, Smog hog เตรียม Start line		50	✓	
14	ใช้เครนคล้อง Hook เคลื่อนมาหน้า Calender	4	30		✓	30	Set gap calender	1	40	✓	
15	ถอดประกับ Bearing ทั้ง 2 ฝั่งออก		10	✓		31	สอด Black sheet จากด้านหลังลงบน Bottom kiss roll		30	✓	
16	ยกลูกโรลออกมาวางที่ Rack เปล่า	1	40	✓		32	Start EXU		30	✓	
เวลา (นาที)								35.92		21.67	14.25
กิจกรรม								32		28	4

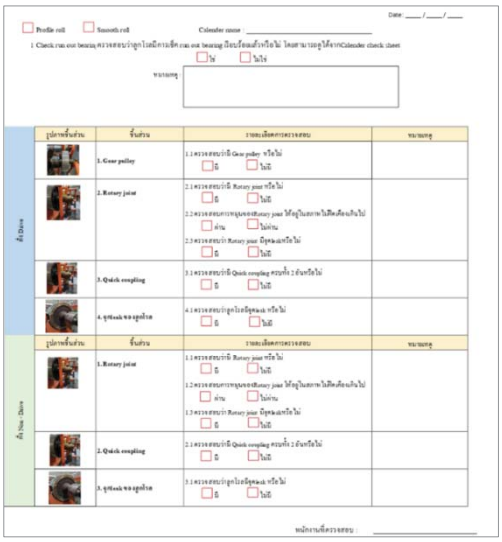
4.4 แนวทางการปรับปรุงกระบวนการ

จากผลการแยกกิจกรรมปรับตั้งภายในและกิจกรรมปรับตั้งภายนอก พบว่ามีงานที่สามารถปรับเป็นงานภายนอกได้จำนวน 4 กิจกรรม เป็นงานที่สามารถเตรียมไว้ก่อนหยุดสายการผลิต 2 กิจกรรม โดยพบว่าผู้ปฏิบัติงานเดินหาเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่างๆ ขณะทำการปรับตั้งทำให้สูญเสียเวลาไปโดยไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม จึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิค SMED จัดให้มีการเตรียมความพร้อมก่อนเริ่มงาน โดยกำหนดขั้นตอนการเตรียมความพร้อม เพื่อลดเวลาในปรับตั้งดังรูปที่ 2

และจากการสอบถามที่หน้างานพบว่าบางครั้งเมื่อทำการหยุดสายการผลิต เพื่อทำการปรับตั้งพบว่าลูกโรลไม่พร้อมพบจุดรั่วไหลหรือฝ่ายซ่อมบำรุงยังไม่ได้ทำการเช็คแบริ่ง ต้องทำการเรียกฝ่ายซ่อมบำรุงมาตรวจเช็ค ทำให้เกิดเป็นเวลาสูญเปล่า จึงให้มีการกำหนดให้ตรวจเช็คความพร้อมของลูกโรลก่อนเริ่มงาน โดยจัดทำใบตรวจเช็คสภาพลูกโรลเพื่อตรวจเช็คความพร้อมของลูกโรลก่อนการปรับตั้ง โดยใบตรวจเช็คจะแบ่งการตรวจเช็คออกเป็น 2 ฝั่ง เนื่องจากทั้ง 2 ฝั่งของลูกโรลจะมีส่วนประกอบบางส่วนที่ต่างกัน จึงต้องแบ่งการตรวจเช็คเป็น 2 ฝั่งแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมก่อนเริ่มงาน



รูปที่ 3 ใบตรวจเช็คสภาพลูกโรล

และจากการหาแนวทางปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS พบว่ามีขั้นตอนที่ไม่จำเป็นที่สามารถกำจัดออกได้ 2 กิจกรรม และในการศึกษาพบว่าผู้ปฏิบัติงานมีการรอคอย การเดินไป เดินมาระหว่างสองฝั่งของ Calender stack ลำดับขั้นตอนการปรับตั้งของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนไม่เหมือนกัน เนื่องจากไม่มีการกำหนดคนและหน้าที่ที่ชัดเจนให้กับผู้ปฏิบัติงาน ผู้ศึกษาจึงใช้หลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ในการดำเนินการปรับปรุงการปรับตั้งมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การประยุกต์ใช้หลักการ ECRS

หลักการ ECRS	แนวทางการปรับปรุง
Eliminate	1. กำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก ได้แก่ 1.1 Clean Vacuum suction zone 7 1.2 เปลี่ยนแผ่น Screen
	2. กำจัดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นออก
Rearrange	1. จัดลำดับขั้นตอนการทำงานให้เหมาะสม และกำหนดหน้าที่หลักๆให้กับแต่ละคน ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 5 ศึกษาเพิ่มเติมได้จากเล่มการปรับปรุงกระบวนการปรับตั้ง Calender rolls [9]

ตารางที่ 5 ตัวอย่างหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงาน

ขั้นตอน	รายละเอียด		
	ผู้ปฏิบัติงานฝั่ง Drive	ผู้ปฏิบัติงานฝั่ง Non-Drive	ผู้ปฏิบัติงานประจำเครน
1	กดหยุด EXU	เลื่อนที่ยืนไปไว้หน้า Calender	ใช้ไม้เกี่ยวสายปิด Cooling Melt pump
2	เลื่อน Calender ออก	เปิดตัวกด Tension belt drive	เก็บ Black sheet ที่ติดอยู่หน้าลูกโรลออก
3	ปลดสาย Emergency	เปิด Cover calender ฝั่ง Non-Drive	หยิบที่คลุมลูกโรลวางรอหน้า Calender

หลังจากวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุง พบว่าสามารถลดกิจกรรมได้ 4 กิจกรรมจากกิจกรรมทั้งหมด 32 กิจกรรม ส่งผลทำให้สามารถลดเวลาการปรับตั้งลงได้ 14.25 นาที คิดเป็น 40% ของเวลาการปรับตั้งทั้งหมด และจากการปรับปรุงตามหลักการ ECRS โดยการกำจัดกิจกรรมที่ 5 ซึ่งเป็นหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานคนที่ 4 ออกและจากการจัดให้มีการเตรียมความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์ก่อนเริ่มงาน ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีผู้ปฏิบัติงานที่ทำหน้าที่เดินไปหยิบเครื่องมือระหว่างการปรับตั้ง ส่งผลให้สามารถลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานจากเดิม 4 คนเหลือ 3 คนได้ โดยไม่ส่งผลกระทบกับภาระงานของผู้ปฏิบัติงานคนอื่น และได้ทำการนำเสนอแนวทางการปรับปรุงกับผู้ปฏิบัติงานหน้างาน เพื่อ

ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและตรวจสอบความเป็นไปได้ของการปฏิบัติตามแนวทางที่หน้างานจริง พบว่าการเตรียมเครื่องมือให้พร้อมก่อนทำการหยุดสายการผลิตและการกำจัดกิจกรรมออก 2 กิจกรรม สามารถทำได้จริงที่หน้างาน

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการปรับตั้ง Calender roll พร้อมทั้งหาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น และนำเสนอแนวทางในการลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรในส่วนของ Calender roll โดยได้นำเทคนิค SMED มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกิจกรรมการทำงาน โดยแยกการปรับตั้งออกเป็นการปรับตั้งภายในและการปรับตั้งภายนอก ทำให้พบว่ามีงานภายนอก 4 กิจกรรม เป็นงานที่สามารถจัดเตรียมไว้ก่อนเริ่มงานได้ 2 กิจกรรม ผู้วิจัยจึงจัดให้มีการเตรียมความพร้อมก่อนเริ่มงาน โดยกำหนดขั้นตอนการเตรียมความพร้อมก่อนเริ่มงานและจัดทำใบตรวจเช็คสภาพลูกโรล นอกจากนี้ยังพบว่ามีขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์รวมอยู่ด้วย 2 กิจกรรม จึงใช้หลักการ ECRS เข้ามาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกิจกรรมการทำงานโดยการกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกและทำการจัดเรียงขั้นตอนการทำงานใหม่ กำหนดหน้าที่ที่ชัดเจนให้กับผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน หลังจากวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงพบว่าจะสามารถทำให้เวลาสูญเปล่าในการปรับตั้งลดลง 14.25 นาทีคิดเป็น 40% ของเวลาการปรับตั้งทั้งหมด และสามารถลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานจากเดิม 4 คนเหลือ 3 คน

สำหรับข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไป คือ ควรดำเนินการปรับปรุงตามแนวทางทุกขั้นตอน และทำการขยายผลไปยังช่วงเวลาการทำงานกลางคืนและสายการผลิตอื่นที่มีรูปแบบการปรับตั้งเหมือนกัน เพื่อสร้างมาตรฐานการดำเนินงานและช่วยให้ลดเวลาในการปรับตั้ง

เอกสารอ้างอิง

[1] ธยา ภิรมย์ และโสภิดา จรเด่น, การเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตด้วยวิธีการเปลี่ยนสไตล์งานอย่างรวดเร็ว กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มไทย. การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2560, 12-15 กรกฎาคม 2560, เชียงใหม่.

[2] พรลภัส เลิศศักดิ์วานิช และประจวบ กล่อมจิตร, การลดเวลาในการปรับตั้งแม่พิมพ์ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2563.

[3] อรรถพล เสนาะเสียง, การลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรในสายการผลิตท่อส่งข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยบูรพา, 2559.

[4] ธนารักษ์ หีบแก้ว และ อดิศักดิ์ สมสูตร, การลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2561, 23-26 กรกฎาคม 2561, อุบลราชธานี.

[5] อนงค์นาฏ สารเดช, อนันต์ มุ่งวัฒนา และชัชพันธ์ ขาญาติ, การลดระยะเวลาการผลิตในชุดประกอบหัวอ่านเขียนกึ่งอัตโนมัติของสายการผลิต. การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2560, 12-15 กรกฎาคม 2560, เชียงใหม่.

[6] พรศิริ คำหล้า, อาภาพร การเลิศ, ปริญดา ภารรัศมี และกำธร สารวรรณ, การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเตาถ่าน กรณีศึกษา: โรงเตาในจังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 14 ฉบับที่ 3 เดือนกรกฎาคม - กันยายน 2564

[7] ปิยะ รนต์ละออง, ภาษิต ทินนาม และสุธี วัฒนพันธ์, การลดความสูญเปล่าของกระบวนการผลิตหมึกพิมพ์ออฟเซต. การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2560, 12-15 กรกฎาคม 2560, เชียงใหม่.

[8] ธนนันท์ โพธิ์พันธ์ และจิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์, การศึกษาการปรับปรุงกำลังการผลิตของสายการผลิตปั๊มคอมมอนเรล. การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2560, 12-15 กรกฎาคม 2560, เชียงใหม่.

[9] รุจยา เกตุสุวรรณ์, การปรับปรุงกระบวนการปรับตั้ง Calender rolls. ปริญญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2564.

การยศาสตร์กับแรงงานผู้สูงอายุในไทย

Ergonomics and Thai Elderly Labor

ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล[1*] ณัฐพล พุฒยางกูร[2] สุดาวรรณ ลี่ไพฑูรย์ [3]
[1]ภาควิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[2]ภาควิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง
E-mail: Phairoat.l@chula.ac.th*

Phairoat Ladavichitkul[1]*, Nathapon Puttyangkura[2], Sudawan Leepaitoon[3]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Siam University
[3] Division of Industrial and Logistics Engineering Technology, Faculty of Engineering and Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Rayong Campus
E-mail: Phairoat.l@chula.ac.th*

บทคัดย่อ

ในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยได้เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์ พร้อมกับจำนวนประชากรเกิดใหม่ที่ลดลงอย่างมากจนอาจส่งผลต่อการขาดแคลนแรงงานในอนาคต รวมถึงปัญหาเรื่องการดูแลสวัสดิภาพ และรายได้ต่ำของผู้สูงอายุที่จะเกิดขึ้น หนึ่งในแนวทางแก้ปัญหาดังกล่าวคือการสนับสนุนให้ผู้สูงอายุมีงานทำเพื่อสร้างรายได้และสามารถดูแลตนเองได้ แม้ว่ารัฐบาลได้มีการสนับสนุนให้มีการจ้างงานผู้สูงอายุแต่ก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลายอันเนื่องจาก สถานประกอบการเกิดความกังวลต่อการดูแลและความคุ้มค่าในการจ้างงาน จึงต้องการให้มีการประเมินและคัดกรองผู้สูงอายุก่อนรับเข้าทำงาน แต่ในทางตรงกันข้ามหากมองในมุมของผู้สูงอายุ ได้มีความกังวลต่อความพร้อมของสถานประกอบการกับสภาพร่างกายของผู้สูงอายุ ทั้งในเรื่องของสถาพแวดล้อม สิ่งอำนวยความสะดวกและภาระงานที่ทำ ดังนั้นเพื่อสร้างการจ้างงานที่เป็นธรรมต่อทั้งสองฝ่าย จึงจำเป็นที่จะต้องมีการดำเนินการทั้ง 1.การประเมินความสามารถและข้อจำกัดของผู้สูงอายุ และ 2.การออกแบบหรือปรับปรุงสถานที่ทำงานให้เหมาะกับผู้สูงอายุ สำหรับในประเทศไทยพบผลการศึกษาข้อจำกัดของผู้สูงอายุ ได้แก่ การเก็บข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกาย การวัดกำลังสถิต การวัดระยะการเอื้อมถึง และระยะก้าวเดิน เป็นต้น แต่ในด้านการออกแบบพบเพียง การออกแบบที่พักอาศัย ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมการทำงาน ดังนั้นถือได้ว่าความรู้ด้านการยศาสตร์สำหรับผู้สูงอายุยังไม่เพียงพอ และจะส่งผลต่อการสนับสนุนการทำงานของแรงงานผู้สูงอายุต่อไป
คาสาคัญ: การยศาสตร์, ผู้สูงอายุ, แรงงาน, การจ้างที่เป็นธรรม

Abstract

In 2022, Thailand comes into the absolute aged society along with highly decreasing of the newborn population which will become labor shortage in the future. Including the low earning and healthcare support of elderly will be a major problem. A problem solving is supporting the elderly to have a job for making money and self-care ability. Although, the government has had the supporting method to hire elderly, hiring elderly is still not widespread. Since, the company has worried about the elderly caring and worthy hiring, then they required the evaluation and screening methods to recruit the elderly labor. On the other hand, the elderly still worries about the preparing of company to deal with elderly capacities such as the workload, working environment and facilities. In order to create the fair employment, the implementation should do both 1. Elderly capacities evaluation and 2. Elderly work design and development. In Thailand, the elderly capacities had been studied as the anthropometry, strength, reach and step distances etc. However, in design perspective has been found only for living which may be not proper for working. Therefore, it can be considered that the knowledge of Ergonomics is insufficient and will affect to support the elderly work later.
Keywords: Ergonomics, Elderly, Labor, Fair employment.

1. บทนำ

การเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุของประเทศไทยในปัจจุบัน ทำให้หลายภาคส่วนได้ให้ความสำคัญกับการใช้ชีวิตของผู้สูงอายุมากขึ้นโดยเฉพาะการออกแบบสถานที่ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับผู้สูงอายุ อันได้แก่ ที่พักอาศัย สถานพยาบาล รวมไปถึงสถานที่ท่องเที่ยว สำหรับภาครัฐได้กำหนดยุทธศาสตร์ชาติว่าด้วยการจัดการภาวะผู้สูงอายุในประเทศไทย[1] ทั้งในด้านการเงิน สุขภาพ ตลอดจนการทำงานของผู้สูงอายุได้มีการสนับสนุนให้สถานประกอบการจ้างงานผู้สูงอายุ ด้วยมาตรการลดหย่อนทางภาษี พร้อมกับการเสนอแนวคิดให้สามารถจ้างงานแบบยืดหยุ่นสามารถกำหนดระยะเวลาทำงาน แต่การจ้างงานผู้สูงอายุก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย และอาจกลายเป็นปัญหาด้านงบประมาณที่ต้องใช้อุดหนุนสวัสดิภาพประชากรผู้สูงอายุ

หากพิจารณาถึงรายได้รวมในการเลี้ยงชีพตนเองหรือครอบครัวที่ผู้สูงอายุได้รับทั้งที่เป็นตัวเงินและสิ่งของหรือทรัพย์สินที่สามารถประเมินมูลค่าได้ พบว่า ผู้สูงอายุส่วนใหญ่ร้อยละ 28.2 มีรายได้เฉลี่ยต่อปี 10,000-29,999 บาท รองลงมา คือ มีรายได้เฉลี่ยต่อปี 30,000-49,999 บาท คิดเป็นร้อยละ 21.4 และรายได้เฉลี่ยต่อปี 50,000-69,999 บาท คิดเป็นร้อยละ 15.2 ตามลำดับ ผู้สูงอายุที่มีรายได้เฉลี่ยต่อปี 300,000 บาทขึ้นไป มีเพียงร้อยละ 3.9 ในขณะที่ผู้มีรายได้เฉลี่ยต่ำกว่า 10,000 บาท มีร้อยละ 10.9[2] รวมถึงสถิติเด็กเกิดใหม่ของไทยที่มีตัวเลขลดลงอย่างต่อเนื่อง[3] แสดงดังรูปที่ 1

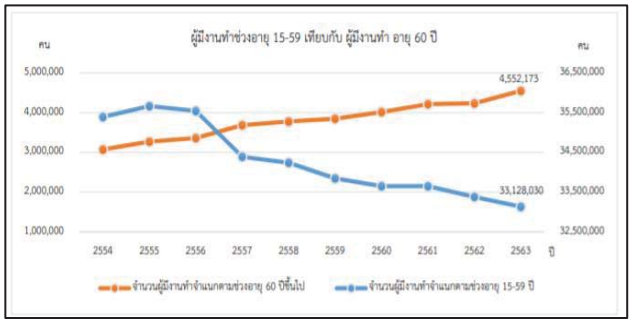


รูปที่ 1 จำนวนการเกิดประชากรไทย ช่วงปี พ.ศ.2555-2564

จากรูปที่ 1 เห็นได้ว่าจำนวนการเกิดของเด็กไทยลดน้อยลงอย่างต่อเนื่องมากกว่า 10 ปี โครงสร้างประชากรจะมีสัดส่วนแรงงานสูงอายุและผู้เกษียณอายุเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อตลาดแรงงานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ย่อมส่งผลทำให้แนวโน้มอัตราการเกื้อหนุนลดลง และจะกลายเป็นภาระต่อรัฐบาลในการดูแลผู้สูงอายุเหล่านี้ การจ้างงานผู้สูงอายุจึงเป็นหนึ่งแนวทางที่สามารถช่วยลดภาระดังกล่าวได้ แต่ปัญหาที่ทำให้การจ้างงานผู้สูงอายุไม่เป็นที่นิยม ก็เนื่องมาจากการเสื่อมสภาพตามวัยของผู้สูงอายุ จึงทำให้สถานประกอบการเกิดความกังวลต่อการจัดการและดูแลแรงงานผู้สูงอายุ ซึ่งต้องมีแนวทางในการประเมินและคัดกรองผู้สูงอายุก่อนรับเข้าทำงานเพื่อสร้างความคุ้มค่าในการจ้างงาน แต่ในทางตรงกันข้ามหากมองในมุมของผู้สูงอายุ ก็น่าจะมีความกังวลต่อความพร้อมของสถานประกอบการว่า สภาพแวดล้อมในการทำงานนั้นมีความเหมาะสมกับสภาพร่างกายของผู้สูงอายุหรือไม่ ซึ่งยังเป็นประเด็นที่หลายภาคส่วนยังไม่ได้คำนึงถึง ดังนั้นเพื่อสร้างการจ้างงานที่เป็นธรรมต่อทั้งสถานประกอบการและแรงงานผู้สูงอายุ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการดำเนินการทั้ง 1.การประเมินความสามารถและข้อจำกัดของผู้สูงอายุ และ 2.การออกแบบหรือปรับปรุงสถานที่ทำงานให้เหมาะกับผู้สูงอายุ

จากการรวบรวมข้อมูลข้อจำกัดของผู้สูงอายุต่างๆ พบว่าผู้สูงอายุจะมีปัญหาในหลายๆ ด้าน [4] เนื่องจากความชราภาพเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อคนเรามีอายุมากขึ้นสภาพร่างกายและระบบการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายจะเสื่อมถอยไป ปัญหาที่ผู้สูงอายุจะต้องพบมีหลายด้านด้วยกันเช่น ปัญหาทางด้านสุขภาพที่เกี่ยวกับความเจ็บป่วยทางร่างกาย ปัญหาด้านจิตใจของผู้สูงอายุ ส่วนมากผู้สูงอายุจะรู้สึกว้าเหว่และมีความวิตกกังวลกลัวถูกทอดทิ้ง ปัญหาทางด้านสังคมของผู้สูงอายุ เรื่องความนับหน้าถือตาที่ผู้สูงอายุเคยได้รับการยกย่องและนับถือเมื่อตอนที่ยังทำงานอยู่ เมื่อออกจากงานมาแล้วสิ่งที่เคยได้รับก็หายไปด้วย และปัญหาทางด้านเศรษฐกิจ ผู้สูงอายุที่มีสวัสดิการเช่น บำเหน็จ บำนาญ ประกันสังคม ประกันชีวิต ฯลฯ สามารถนำเงินที่ได้มาใช้จ่ายประคับประคองชีวิตในวัยสูงอายุได้ สำหรับผู้สูงอายุที่ไม่ได้วางแผนการใช้จ่ายเงินไว้ล่วงหน้าอาจทำให้เกิดปัญหาทางเศรษฐกิจได้

จากการเปลี่ยนแปลงโครงการสร้างประชากรและข้อจำกัดต่าง ๆ ของผู้สูงอายุ ทำให้เกิดนโยบายในการส่งเสริมการจ้างงานผู้สูงอายุของไทย ดังประกาศกระทรวงแรงงาน เรื่องขอความร่วมมือส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้สูงอายุมีงานทำ[5] ทำให้ผู้มีงานจำแนกในช่วงอายุ 60 ปีขึ้นไป ในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2563 มีประมาณ 3.1 ล้านคน เพิ่มขึ้นเป็น 4.5 ล้านคน ในปี พ.ศ.2563 คิดเป็นการขยายตัวเฉลี่ยประมาณร้อยละ 4.51 ต่อปี[1]



รูปที่ 2 เปรียบเทียบผู้มีงานจำแนกในช่วงอายุ 15 – 59 ปี กับผู้มีงานจำแนกในช่วงอายุ 60 ปี

จากรูปที่ 2 สังเกตได้ว่าผู้มีงานจำแนกในช่วงอายุ 15-59 ปี และผู้มีงานจำแนกในช่วงอายุ 60 ปีขึ้นไป ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 เป็นต้นมา ช่องว่างระหว่างอายุจะห่างขึ้น ๆ แนวโน้มช่องว่างในอนาคตจะห่างหรือเพิ่มขึ้นอย่างแน่นอน วัยแรงงานดังกล่าวจะทยอยเปลี่ยนผ่านเป็น

ผู้สูงอายุ แต่การปรับปรุงสถานที่ทำงานให้เหมาะกับผู้สูงอายุ กลับพบเพียงการออกแบบสถานที่พักอาศัยเท่านั้นซึ่งการนำไปใช้กับการออกแบบสถานีงานทั้งหมด อาจเกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมาได้

2. ความเป็นมาและความสำคัญ

2.1 สังคมผู้สูงอายุในประเทศไทย

ในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ คือมีสัดส่วนประชากรผู้สูงอายุร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมด และคาดว่าจะเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างเต็มที่ใน ปี พ.ศ. 2574[6] เช่นเดียวกับประเทศญี่ปุ่นที่เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างเต็มที่ในปี พ.ศ. 2550[7] การเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุของประเทศไทยได้ผลักดันให้หลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนให้ความสำคัญ โดยได้มีคำนึงถึงสวัสดิภาพในการใช้ชีวิตของผู้สูงอายุเป็นหลัก การออกแบบ และปรับปรุงที่พักอาศัยกลายเป็นประเด็นหลัก มีการจำหน่ายเครื่องมือหรืออุปกรณ์เพื่อปรับปรุงที่พักอาศัยมากขึ้น ตลอดจนการปรับปรุงสถานที่สาธารณะหรือแหล่งท่องเที่ยว และสถานพยาบาล ให้เหมาะสมกับกลุ่มผู้สูงอายุ เห็นว่าส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการดูแลกลุ่มผู้สูงอายุที่มีสภาพร่างกายที่อ่อนแอเป็นหลัก ซึ่งหากเป็นกลุ่มผู้สูงอายุที่มีความพร้อม หรือไม่มีปัญหาด้านการเงินก็จะทำให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น แต่จากการสำรวจของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พบว่า ผู้สูงอายุกว่าร้อยละ 20 มีรายได้ต่ำกว่า 20,000 บาทต่อปี ซึ่งเป็นรายได้ที่ต่ำกว่าเส้นความยากจน ขณะที่ผู้สูงอายุร้อยละ 17 มีรายได้ไม่เพียงพอ และร้อยละ 21.6 เพียงพอบางครั้ง อาจทำให้กลุ่มคนเหล่านี้ประสบปัญหาการมีคุณภาพชีวิตได้[8]

2.2 การผลักดันให้เพิ่มจำนวนแรงงานผู้สูงอายุ

ในปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาทั้งโรคระบาดและเศรษฐกิจที่มีอัตราการเติบโตลดลง พร้อม ๆ กับการลดลงของเด็กเกิดใหม่ โดยในปี พ.ศ.2563 มีอัตราการเกิดต่ำกว่า 6 แสนคนต่อปี[9] กลายเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้กลุ่มผู้สูงอายุที่มีฐานะยากจนและปานกลางมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นพร้อม ๆ กับมีลูกหลายคนที่คอยเกื้อหนุนลดลง อัตราการเกื้อหนุนลดลง จากที่มีวัยแรงงานดูแล 5 คนต่อผู้สูงอายุ 1 คน ในปี 2553 จะลดลงเหลือเพียง 1.7 คนต่อผู้สูงอายุ 1 คน ในปี 2583[8] จนกลายเป็นปัญหาต่อภาครัฐในการหางบประมาณมาดูแล ดังนั้นการสร้างรายได้ให้กับกลุ่มผู้สูงอายุโดยการสนับสนุนให้ทำงาน ทั้งการขยายระยะเวลาเกษียณอายุ การขอความร่วมมือให้หน่วยงานต่าง ๆ จ้างงานผู้สูงอายุ[5] หักรายจ่ายได้ 2 เท่าของค่าจ้างที่จ้างผู้สูงอายุ[10] ส่งผลให้อัตราการมีส่วนร่วมในกำลังแรงงาน หรือร้อยละของประชากรที่อยู่ในกำลังแรงงานรวม ของหมวดผู้สูงอายุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 3

ผลการสำรวจภาวการณ์มีงานทำ ปี พ.ศ. 2562 พบว่า มีผู้สูงอายุที่ยังคงทำงานอยู่ร้อยละ 34.5 ของทั้งหมด และในกลุ่มที่ทำงานอยู่นี้มีผู้สูงอายุร้อยละ 62 ทำธุรกิจส่วนตัวที่ไม่มีลูกจ้าง และร้อยละ 9 ที่เป็นลูกจ้างภาคเอกชน หรือหากจำแนกตามลักษณะงานพบว่าร้อยละ 59 อยู่ภาคการเกษตร ร้อยละ 19 อยู่ภาคบริการและจำหน่ายสินค้า และร้อยละ 8 เป็นช่างฝีมือ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นงานที่ใช้แรงกาย นอกจากนี้รายได้จากการทำงานลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น และแนวโน้มของสัดส่วนแรงงานของผู้สูงอายุที่ลดลงจากในอดีต ปัญหาใหญ่เกิดจากสุขภาพที่เสื่อมถอยลง[11]



รูปที่ 3 อัตราการมีส่วนร่วมในกำลังแรงงานของหมวดอายุ 60 ปีขึ้นไป

แม้ว่าได้มีการจ้างงานแรงงานผู้สูงอายุในหลายสถานประกอบการ แต่ยังคงมีความกังวลด้านสุขภาพของผู้สูงอายุ จึงมีคำแนะนำลักษณะงานที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุโดยแนะนำให้ผู้สูงอายุทำงานเบา ๆ เช่น งานที่มีลักษณะต้องใช้แรงกายนั้นมักเป็นงานที่คนส่วนใหญ่ไม่อยากทำ ตัวอย่างเช่นงานทำความสะอาดห้องพัก ในภาคบริการท่องเที่ยวและโรงแรม ไม่เพียงแต่กลุ่มผู้สูงอายุเท่านั้น แต่ในกลุ่มแรงงานปกติก็เลือกทำงานน้อยเช่นกัน จนส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนแรงงานในกลุ่มธุรกิจโรงแรม[12] ทั้งนี้อาจเป็นเพราะลักษณะงานที่ทำต้องอาศัยสุขภาพทางร่างกายเป็นหลัก เมื่อร่างกายเสื่อมถอยจึงไม่สามารถทำงานต่อไปได้

ปัญหาการขาดแคลนแรงงานในประเทศไทย ได้ถูกยกขึ้นมาเป็นปัจจัยสนับสนุนให้มีการจ้างงานผู้สูงอายุมากขึ้นเพื่อชดเชยแรงงานที่ขาดแคลน แต่ถ้าดูข้อมูลการว่างงานก็พบว่ามีจำนวนเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งงานที่ขาดแคลนจำนวนมากมักเป็นงานที่ไม่เป็นที่สนใจสำหรับแรงงานชาวไทย โดยมีการระบุไว้ว่างานเหล่านี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มงาน 3D หรือ งานที่เสี่ยงภัย (Dangerous job), งานที่มีความสกปรก (Dirty job) และ งานที่ยาก (Difficult job) ทำให้ผู้ประกอบการหันไปจ้างงานแรงงานต่างชาติกัน แม้ว่าผลสำรวจตำแหน่งงานที่ขาดแคลนไม่ได้มีรายละเอียดถึงลักษณะงานจนสามารถระบุสัดส่วนของงานประเภท 3D[13] ได้ แต่แนวคิดที่จะผลักดันให้กลุ่มผู้สูงอายุกลับไปทำงานก็ไม่ควรเป็นงานที่แรงงานวัยทำงานไม่สนใจ หรือเป็นงานที่มีภาระงานสูงอย่างงานประเภท 3D

2.3 ปัญหาการจ้างงานผู้สูงอายุในมุมของผู้จ้าง

แม้ว่าผู้สูงอายุที่อยากทำงานมีจำนวนไม่น้อย แต่ความเสื่อมถอยทางร่างกายของผู้สูงอายุมีความหลากหลายแต่ละคนไม่เหมือนกัน ทำให้ผู้ประกอบการไม่สามารถคาดการณ์ความสามารถหรือสุขภาพของผู้สูงอายุก่อนการจ้างงานได้ ผู้ประกอบการจึงมีความต้องการเครื่องมือหรือวิธีการประเมินความสามารถและคัดกรองแรงงานผู้สูงอายุ

ที่ยังคงมีความสามารถทำงานได้ หรือวิธีการกำหนดระดับความสามารถที่เหมาะสมกับอัตราค่าตอบแทน เพื่อทำให้เกิดการจ้างงานที่คุ้มค่าเป็นธรรมต่อผู้จ้าง[8] การพัฒนาวิธีการประเมินความสามารถในการทำงานของผู้สูงอายุ เพื่อคัดกรองและจัดหาตำแหน่งงานที่เหมาะสม เป็นแนวทางที่ตรงกับแนวคิด Put the right man to the right job ซึ่งการประเมินความสามารถในการทำงานของผู้สูงอายุนั้นยังไม่เห็นเป็นรูปธรรมว่าควรจะมีการประเมินในด้านใดบ้าง แต่ความเสื่อมถอยของร่างกายที่ส่งผลต่อการทำงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ด้าน คือ 1. ขนาดสัดส่วนร่างกาย โดยเฉพาะส่วนสูงที่ผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะมีความสูงที่ลดลง และอาจส่งผลต่อการหยิบจับสิ่งของและขนาดของสถานีงาน 2. ความแข็งแรงของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่ลดลง ส่งผลต่อแรงที่ใช้ในการทำงาน โดยเฉพาะงานขยับเคลื่อนย้ายสิ่งของ 3.ความอดทนที่ลดลง เนื่องจากระบบหายใจ การไหลเวียนโลหิตและการระบายความร้อนที่เสื่อมถอยลง ทำให้ไม่สามารถทำงานได้นาน โดยเฉพาะงานที่ใช้แรงกายมาก หรือมีสภาพอากาศที่ร้อน 4. ความรวดเร็วและความแม่นยำในการเคลื่อนไหวร่างกายที่ลดลง อาจส่งผลต่องานที่ต้องทำร่วมกับเครื่องจักรหรืองานในสายการผลิต และ 5. การรับรู้และตัดสินใจที่แย่ลง โดยเฉพาะระบบประสาทสัมผัสต่าง ๆ เช่น การได้ยินเสียงและการมองเห็นที่ลดลง ซึ่งจำเป็นต่อการทำงานโดยเฉพาะด้านความปลอดภัยและคุณภาพ

ในประเทศไทยการศึกษาข้อมูลมนุษย์ปัจจัยด้านที่พบคือ การศึกษาขนาดสัดส่วนร่างกาย เป็นด้านที่พบชัดเจนมากที่สุด รวมถึงมีโครงการศึกษาจัดทำเป็นมาตรฐานเพื่อกำหนด ควบคุมให้เป็นมาตรฐานใช้งานที่ชัดเจน เป็นแนวทางให้ผู้ที่เกี่ยวข้อง หรือสนใจนำไปใช้งาน ทั้งภาคธุรกิจ ภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนสถานศึกษาเป็นต้น โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ซึ่งเป็นหน่วยงานของรัฐบาลจัดทำไว้คือรายงานสำรวจ และวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 1-4 : พ.ศ. 2524 – 2544 [14] ทำการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายมากกว่า 100 สัดส่วนจากกลุ่มตัวอย่าง 13,347 คน โดยใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย แต่ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษามีเพียงคนไทยเพศชายและหญิงในช่วงอายุ 1-49 ปีเท่านั้น ทำให้ไม่ครอบคลุมถึงกลุ่มผู้สูงอายุ ที่มีคำนิยามในทางการแพทย์และสาธารณสุข คือ ผู้มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป

ทั้งนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีเป้าหมายในการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายของกลุ่มผู้สูงอายุ ดังเช่น การวัดสัดส่วนร่างกายผู้สูงอายุไทยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลโดย วุฒิชัย (2550) [15] ซึ่งทำการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายจำนวน 36 สัดส่วน จากอาสาสมัครผู้สูงอายุชาวไทย เพศชายและหญิงจำนวน 400 คน ช่วงอายุ 60-79 ปี จากบ้านพักผู้สูงอายุบางแค บ้านพักผู้สูงอายุบางละมุง และชมรมผู้สูงอายุ โดยผลการศึกษาที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์สถิติเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบขนาดที่ได้ระหว่างเพศชายกับเพศหญิง รวมถึงสัดส่วนร่างกายกับงานวิจัยอื่น ๆ

งานวิจัยขนาดมือและเท้าของผู้สูงอายุสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยพรศิริ (2559) [16] ซึ่งเป็นการศึกษาขนาดมือ 38 สัดส่วน และเท้า 18 สัดส่วน โดยใช้เครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายและสายวัด และศึกษาความสามารถในการออกแรงด้วยอุปกรณ์วัดแรงบีบมือและแรงบีบนิ้วมือ ซึ่งวัดแรงบีบนิ้วมือทุกนิ้วของมือขวาและมือซ้าย โดยเก็บข้อมูลในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปทั้งเพศชายและเพศหญิง จำนวน 403 คนในจังหวัดนครราชสีมา อีกทั้งนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบหาความแตกต่างระหว่างมือซ้ายและมือขวา รวมถึงเพศชายและเพศหญิง ตลอดจนเปรียบเทียบความแตกต่างกับงานวิจัยอื่น ๆ

การสร้างแบบจำลองสัดส่วนร่างกายและขอบเขตการเอื้อมถึงของผู้สูงอายุ ของวรรณนิศา (2560) [17] เป็นการศึกษาข้อมูลคุณลักษณะทางกายภาพ การวัดสัดส่วนร่างกายในท่ายืน 28 สัดส่วนด้วยเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย การวัดระยะเอื้อมถึงและการกวาดแขนใน 3 มิติ ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ และความสามารถในการออกแรงยก และแรงบีบด้วยเครื่องวัดความสามารถในการออกแรงสถิตและเครื่องวัดแรงบีบมือ ในกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุเพศชายและหญิง จำนวน 400 คน ช่วงอายุ 60-88 ปี ในจังหวัดนครราชสีมา แสดงผลการวิเคราะห์สถิติเบื้องต้น และความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเอื้อมถึงกับสัดส่วนร่างกาย จากการศึกษาพบว่ามีข้อเสนอแนะที่กล่าวถึงความจำเป็นในการเก็บข้อมูลจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่มากขึ้น เพื่อให้เป็นตัวแทนของประชากรได้ดียิ่งขึ้น ควรมีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นระยะ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากที่สุด

ปัญหาการขาดข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้สูงอายุไม่ได้พบแค่ในประเทศไทยแต่ยังพบในต่างประเทศ ดังเช่น บทความปัญหาและความท้าทายในการพัฒนาฐานข้อมูลสำหรับประชากรชาวมาเลเซีย[18] โดย Rosnah และคณะ (2558) ได้กล่าวถึงงานศึกษาบางส่วนที่ดำเนินการในมาเลเซีย ปัญหาและความท้าทายในการพัฒนาฐานข้อมูลระดับชาติ ความสำคัญของมานุษยวิทยาและการที่นักวิจัยหลายคนได้ทำการศึกษากลุ่มตัวอย่างต่าง ๆ โดยเน้นที่กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กและใช้สำหรับการออกแบบเฉพาะ การจัดทำขึ้นเป็นรายบุคคล หรือจำกัดเฉพาะบางกลุ่ม ที่ไม่ได้เป็นตัวแทนของประชากรทั้งหมดและยังขาดการร่วมกันในการพัฒนาฐานข้อมูลระดับชาติ

เนื่องจากการศึกษาที่ไม่แพร่หลาย ไม่ครอบคลุมองค์ความรู้ด้านต่าง ๆ และมีกลุ่มจำนวนตัวอย่างที่น้อยเมื่อเทียบกับกลุ่มประชากรผู้สูงอายุ แต่สัดส่วนประชากรผู้สูงอายุกลับมีจำนวนมากขึ้น ทำให้การศึกษาข้อจำกัดต่าง ๆ ทางร่างกายของกลุ่มผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อใช้ในการคัดกรองและจำแนกระดับความสามารถที่เหมาะสมกับความต้องการของงานที่ทำ แต่การคัดกรองความสามารถผู้สูงอายุเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอต่อการเพิ่มจำนวนตำแหน่งงาน ให้สอดคล้องกับจำนวนผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้นทุกปี

2.4 ปัญหาการจ้างงานผู้สูงอายุในมุมของแรงงานผู้สูงอายุ

หากมองในมุมของผู้สูงอายุที่ไม่แข็งแรงเหมือนเดิมและมีความกังวลต่อการกลับไปทำงาน โดยเฉพาะในส่วนของ สภาพแวดล้อมในการทำงานหรือลักษณะงานนั้นเหมาะสมต่อสภาพร่างกายหรือความ

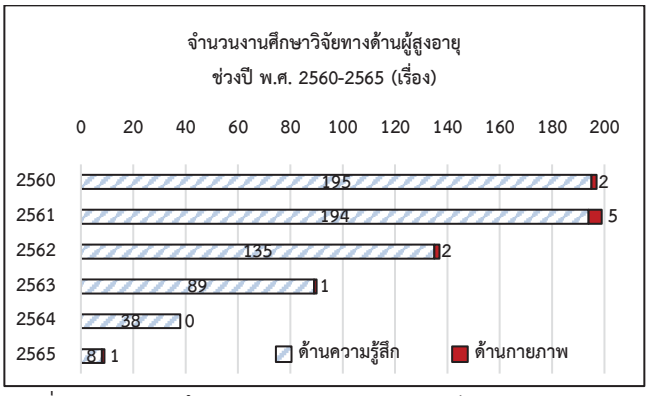
เสื่อมถอยของตัวผู้สูงอายุหรือไม่ การออกแบบ และปรับปรุงสถานที่ให้มีความเหมาะสมต่อผู้ปฏิบัติงาน หรือตรงกับแนวคิด Fit the job to the man ซึ่งจากการสำรวจพบว่ามาตรฐานการออกแบบการทำงานสำหรับผู้สูงอายุ พบว่างานศึกษาส่วนใหญ่เน้นกิจกรรมในชีวิตประจำวัน หรือพื้นที่พักอาศัยดังเช่น การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการออกแรงบิดลูกบิดประตูของผู้สูงอายุของวรกานต์ (2565) [19] ที่ศึกษาตัวอย่างผู้สูงอายุจำนวน 108 คน โดยมีการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายจำนวน 9 สัดส่วนด้วยเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย และวัดแรงบิดของมือโดยแบ่งเป็นท่ายืนและท่านั่ง มือซ้ายและมือขวา ทิศทางของการบิด ความสูงของลูกบิดด้วยเครื่องวัดแรงบิด หรือ ตำแหน่งที่จับยึดเพื่อช่วยในการลุกและนั่งของผู้สูงอายุโดยพรศิริ (2556) [20] จากกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุจำนวน 400 คน หรือ การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งความสูงของอุปกรณ์ห้องน้ำ 6 ประเภทคือ วาล์วน้ำ ฝักบัว ที่วางสบู่ ราวแขวนผ้า ฝักบัว สายฉีดชำระ และราวแขวนกระดาษชำระ ด้วยวิธีจำลองสถานีงานกับข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายผู้สูงอายุ ที่อาศัยข้อมูลจากผู้สูงอายุ จำนวน 100 คน ของนพมาศ (2561) [21] หรือ ผลกระทบของความสูงเก้าอี้ต่อท่าทางและพื้นที่ขั้นต่ำในการลุกขึ้นยืนของสูงอายุของพงศธร (2561) [22] และ การศึกษาของวรวุฒิ (2561) [23] ได้ใช้การวิเคราะห์การเดิน (Gait analysis) ของผู้สูงอายุ จำนวน 100 คน เพื่อนำไปใช้ประกอบการออกแบบทางเดินสำหรับผู้สูงอายุในประเทศไทย การออกแบบตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้สูงอายุโดยพรศิริ (2562) [24] ซึ่งสำรวจปัญหาในการใช้โถส้วมชนิดนั่งราบและบันได อีกทั้งศึกษาความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อความสูงระดับต่าง ๆ ของโถส้วมชนิดนั่งราบ และขนาดของลูกตั้งบันได

เห็นได้ว่าการศึกษาต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอมานั้น เกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตในที่พักอาศัย ซึ่งอาจนำมาประยุกต์ใช้ออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ภายในสถานประกอบการได้ เช่น ทางเดิน ห้องสุขา ห้องอาหาร เป็นต้น แต่การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของผู้สูงอายุอาจถือได้ว่าอยู่ในช่วงเริ่มต้น ต้องมีการปรับปรุงและศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถนำมาใช้ออกแบบสถานีงานที่ผู้ปฏิบัติงานต้องรับภาระจากการทำงานมากกว่าการใช้ชีวิตประจำวันทั่วไป

แนวคิดที่จะสนับสนุนให้เพียงเฉพาะผู้สูงอายุที่ยังมีสภาพร่างกายแข็งแรงใกล้เคียงกับคนในวัยทำงานสามารถกลับเข้าไปทำงานนั้นคงทำได้เพียงกลุ่มผู้สูงอายุส่วนน้อย เพราะผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีสภาพร่างกายที่เสื่อมถอยและเป็นการถดถอยที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นหากต้องการสนับสนุนให้กลุ่มผู้สูงอายุส่วนใหญ่ได้มีงานทำ ควรจะต้องมีทั้ง 1.การศึกษาหาแนวทางในการประเมินและจำแนกระดับความสามารถของผู้สูงอายุ พร้อมกับ 2.การศึกษาเพื่อกำหนดมาตรฐานการออกแบบและปรับปรุงสภาพการทำงานให้สอดคล้องกับความหลากหลายของกลุ่มผู้สูงอายุที่มีความสามารถแตกต่างกัน โดยเฉพาะการทำให้ผู้สูงอายุที่มีความสามารถน้อยยังสามารถทำงานที่ถูกออกแบบมาสำหรับผู้ที่มีความสามารถน้อยได้ นอกจากนี้การดำเนินการปรับปรุงสถานประกอบการไม่ควรจำกัดเพียงสิ่งอำนวยความสะดวกเท่านั้น แต่ควรครอบคลุมสถานีงาน เครื่องมือ และวิธีการทำงาน ซึ่งจำเป็นต้องใช้งบประมาณ ที่จะกลายเป็นต้นทุนในการจ้างงานผู้สูงอายุ ดังนั้นการสนับสนุนทั้งทางตรงหรือทางอ้อมจากทุกภาคส่วนมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพื่อทำให้เกิดการจ้างงานที่เป็นธรรมต่อทั้งสองฝ่ายจากทั้งผู้ประกอบการและแรงงานผู้สูงอายุ

2.5 จำนวนข้อมูลงานวิจัยทางด้านผู้สูงอายุ

การส่งเสริมให้มีการออกแบบหรือปรับปรุงการทำงานที่คำนึงถึงผู้สูงอายุ เริ่มจากมาตรฐานการออกแบบการทำงาน แต่การกำหนดมาตรฐานขึ้นมาต้องอาศัยองค์ความรู้ต่าง ๆ เช่น กายศาสตร์ของผู้สูงอายุ จากการสำรวจข้อมูลงานศึกษาหรือวิจัยที่เกี่ยวกับผู้สูงอายุในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ พ.ศ. 2560 ถึง 2565 จากฐานข้อมูลสำนักงานบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษา [25] โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1. งานด้านกายภาพ ที่นำเสนอข้อมูลทางกายภาพ เช่น ระยะ หรือ แรง ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาใช้ทางการยศาสตร์ได้โดยตรงกับ 2. งานด้านความรู้สึก เช่น การวัดระดับความสุขหรือความพึงพอใจ ทางสุขภาวะ ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ทางการยศาสตร์ได้โดยตรง โดยแสดงผลดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 จำนวนงานศึกษาวิจัยทางด้านผู้สูงอายุช่วงปี พ.ศ.2560-2565

จากรูปที่ 4 ผลการสำรวจจำนวนงานศึกษาวิจัยทางด้านผู้สูงอายุ เห็นได้ว่างานวิจัยทางด้านผู้สูงอายุส่วนใหญ่เป็นทางด้านความรู้สึก และพบงานศึกษาวิจัยทางด้านกายภาพมีน้อยมาก คือไม่เกินร้อยละ 2.5 ของงานที่เกี่ยวกับผู้สูงอายุทั้งหมด และยังไม่เพียงพอต่อการกำหนดมาตรฐานการทำงานให้ครอบคลุมปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ที่ส่งผลต่อสุขภาวะและความปลอดภัยในการทำงาน ดังนั้นหากต้องการให้ผู้สูงอายุสามารถทำงานได้อย่างมีสุขภาวะที่ดี จำเป็นจะต้องศึกษาให้มากขึ้นเพื่อสร้างองค์ความรู้ให้เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการกำหนดมาตรฐานการทำงานของผู้สูงอายุที่คาดว่าจะกลายเป็นกลุ่มแรงงานในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมกิจการผู้สูงอายุ กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2560). ยุทธศาสตร์กรมกิจการผู้สูงอายุ 20 ปี พ.ศ.2561-2580. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สามลดา.

[2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (2560). รายงานการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2560. กรุงเทพฯ.

[3] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2565). สถิติประชากรศาสตร์ ประชากรและเคหะ. สืบค้น 20 กุมภาพันธ์ 2565. จาก http://statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/01.aspx

[4] กรมกิจการผู้สูงอายุ. (2564). ปัญหาของผู้สูงอายุมีอะไรบ้าง. สืบค้น 22 กุมภาพันธ์ 2565. จาก https://www.dop.go.th/th/know/15/461

[5] กระทรวงแรงงาน. (2562). ประกาศกระทรวงแรงงาน เรื่อง ขอความร่วมมือส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้สูงอายุมีงานทำ. สืบค้น 30 มกราคม 2565. จาก https://www.mol.go.th/wp-content/uploads/sites/2/2019/03/prakaasphuusuungaayu.pdf

[6] กรมสุขภาพจิต. (2563). 93 วันสู่สังคม"คนชรา" 5 จังหวัด? คนแก่เยอะสุด-น้อยสุด. สืบค้น 1 กุมภาพันธ์ 2565. จาก https://www.dmh.go.th/news-dmh/view.asp?id=30453

[7] ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน). (2564). คนญี่ปุ่นกังวลหรือไม่ เมื่อประชากรในประเทศลดลงตลอดเวลา. สืบค้น 16 มกราคม 2565. จาก https://www.krungsri.com/th/plearn-plearn/ageing-society-japan

[8] กองส่งเสริมการมีงานทำ. (2565). ส่งเสริมอาชีพผู้สูงอายุ. สืบค้น 16 มกราคม 2565. จาก https://www.doe.go.th/prd/vgnew/custom/param/site/132/cat/40/sub/0/pull/detail/view/detail/object id/455

[9] ข่าวไทยพีบีเอส. (2564). สธ.เปิดสถิติเด็กไทยเกิดต่ำกว่า 600,000 คน ครั้งแรกในรอบ 3 ปี. สืบค้น 22 มกราคม 2565. จาก https://news.thaipbs.or.th/content/301313

[10] ประชาชาติธุรกิจ. (2563). สรรพากร ยืดเวลาแจ้งข้อมูลใช้สิทธิหักรายจ่าย 2 เท่า ให้ธุรกิจจ้างงานผู้สูงอายุ. สืบค้น 14 มกราคม 2565. จาก https://www.prachachat.net/finance/news-501417

[11] มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย. (2563). กางสถิติ พบผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไปยังทำงานอยู่กว่าร้อยละ 34 มส.ผส.ร่วมกับภาคีเครือข่ายเตรียมจัดเวทีหาทางออก 21 ส.ค.นี้. สืบค้น 5 มกราคม 2565. จาก https://thaitgri.org/?p=39148

[12] โพสต์ทูเดย์. (2560). โรงแรมยังขาดแคลนแรงงาน. สืบค้น 8 มกราคม 2565. จาก https://www.posttoday.com/economy/news/473869

[13] เดลินิวส์. (2561). '28 อาชีพ' ห้ามต่างด้าวทำ รอดู กม.เข้มงวดแค่ไหน?. สืบค้น 11 กุมภาพันธ์ 2565. จาก https://d.dailynews.co.th/article/651065/

[14] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ). (2544). รายงานการสำรวจ และวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 4 : พ.ศ. 2543 – 2544. กรุงเทพฯ.

[15] วุฒิชัย ชนินทร์ประเสริฐ. (2550). การวัดสัดส่วนร่างกายผู้สูงอายุไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ).

[16] พรศิริ จงกล และสุวิทยา เธียรประธาน. (2559). ขนาดมือและเท้าของผู้สูงอายุสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2559.

[17] วรรณนิศา นุชคุ้ม. (2560). การสร้างแบบจำลองสัดส่วนร่างกายและขอบเขตการเอื้อมถึงของผู้สูงอายุ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี).

[18] Rosnah Mohd. Yusuff, Dian D.I. Daruis, Siti Zawiah Md. Dawal and Siti Nurani Hassan. (2016). DEVELOPMENT OF AN ANTHROPOMETRY DATABASE FOR THE MALAYSIAN POPULATION: PROBLEMS AND CHALLENGES. Malaysian Journal of Public Health Medicine 2016, Special Volume 2: 36-43.

[19] วรกานต์ ทึงทา. (2565). ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการออกแรงบิดลูกบิดประตูของผู้สูงอายุ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 32, ฉบับที่ 1 (ม.ค.-มี.ค. 65), หน้า 65-76.

[20] พรศิริ จงกล. (2556). ความต้องการที่จับยึดเพื่อช่วยในการลุกและนั่งของผู้สูงอายุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี: นครราชสีมา.

[21] นพมาศ เวียงเกตุ. (2561). ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งความสูงของอุปกรณ์ห้องน้ำด้วยวิธีจำลองสถานีงานกับข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายผู้สูงอายุ. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

[22] พงศธร พรมสกล. (2561). ผลกระทบของความสูงเก้าอี้ต่อท่าทางและพื้นที่ขั้นต่ำในการลุกขึ้นยืนของผู้ใหญ่ตอนปลายและสูงอายุ. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

[23] วรวุฒิ ขอเจริญ. (2561). ข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการออกแบบทางเดินสำหรับผู้สุงอายุในประเทศไทยโดยวิเคราะห์ท่าทางการเดิน. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

[24] พรศิริ จงกล. (2562). การออกแบบขนาดสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้สูงอายุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี: นครราชสีมา.

[25] สำนักงานบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษา, กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. (2565). สืบค้น 3 เมษายน 2565. จาก http://www.thailis.or.th/tdc

ศึกษากระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสเพื่อลดระยะเวลาในการทำงาน

Study the welding process of stainless steel chairs to reduce working time

ณราวดี สิทธิเดชธำรง
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
E-mail: Narawadee@mutacth.com

Narawadee Sitthidetchtamroung
Department of Industrial and Logistics Engineering, Institute of Engineering and Industrial Technology,
Mahanakorn University of Technology
E-mail: Narawadee@mutacth.com

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตมีการแข่งขันอย่างรุนแรงในปัจจุบันทางด้านราคาและคุณภาพของสินค้าและบริการ ส่งผลให้อุตสาหกรรมจำเป็นต้องปรับตัวเพื่อลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็นให้มากที่สุดเพื่อควบคุมต้นทุน ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการทำกำไรได้โดยตรง จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหากระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสพบว่าเวลากระบวนการในการเชื่อมประกอบใช้เวลานาน โดยมีเวลาอยู่ที่ประมาณ 67.20 นาที ต่อการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสหนึ่งตัว ผู้วิจัยมุ่งเน้นในการลดเวลากระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส จากการวิเคราะห์หาสาเหตุพบว่าการเชื่อมประกอบใช้เวลานานนั้นเนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ที่ช่วยในการเชื่อมประกอบที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำรวมถึงมีการทำงานซ้ำๆ การวัดระยะในการเชื่อมและกระบวนการที่ไม่จำเป็น จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยได้คิดหาวิธีที่จะทำการลดเวลากระบวนการเชื่อมประกอบ โดยการออกแบบสร้างอุปกรณ์ช่วยเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส ผลลัพธ์หลังจากที่ได้ใช้อุปกรณ์ช่วยเชื่อมประกอบ พบว่าเวลาในการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสหนึ่งตัวเท่ากับ 38.60 นาที จากเดิมที่ใช้เวลาในการเชื่อมประกอบ 67.20 นาทีต่อหนึ่งตัว ลดเวลาลงได้ถึง 28.60 นาที คิดเป็นร้อยละ 42.56

คาสาคัญ: ลดเวลา, ประสิทธิภาพ, เครื่องมือช่วยในการทำงาน, แผนภูมิกระบวนการไหล

Abstract

The manufacturing industry is fiercely competitive in terms of price and quality of products and services today. As a result, the industry needs to adapt to minimize the use of the unprofitable resources in order to control costs. Which directly affects the profitability. From collecting data and analyzing problems in the welding process of stainless steel chairs, it was found that the welding process took a long time. It takes approximately 67.20 minutes for one stainless steel chair assembly. The researcher focuses on reducing the processing time of welding stainless steel chair assembly. The cause analysis revealed that assembly welding takes a long time due to the lack of precision and repetitive welding equipment and repetitive work. Measuring welding distances and unnecessary processes. From the above problems, the researcher has figured out a way to reduce the welding process time. By designing and creating equipment to help to weld stainless steel chairs The results after using welding aids It was found that the welding time for assembling a stainless steel chair was 38.60 minutes, from the former 67.20 minutes for welding assembling one chair. The time was reduced by 28.60 minutes or 42.56%.

Keywords: Reduce time, Efficiency, Work tools, Flow Process Chart

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะประเภทโต๊ะ เก้าอี้สแตนเลสยังคงเป็นที่ต้องการของตลาดจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบันอุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะมีการแข่งขันค่อนข้างสูงไม่ว่ารูปทรงที่แปลกใหม่ตามยุคสมัย ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตสแตนเลสนั้น จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานและปรับตัวเข้ากับความต้องการของลูกค้าในปัจจุบัน เพื่อลดเวลาในการผลิตและลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็นเพื่อควบคุมต้นทุน จึงทำให้ผู้ประกอบการการขึ้นรูปโลหะจะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น [1]

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ผลิตเกี่ยวกับเก้าอี้แตนเลส จากการศึกษาหาข้อมูลและทำการวิเคราะปัญหาเบื้องต้น พบว่ามีกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสที่ใช้เวลานาน เพราะขั้นตอนการเชื่อมประกอบมีขั้นตอนหลายขั้นตอนรวมถึงการกำหนดระยะในการเชื่อมต้องมีความแม่นยำ ซึ่งการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษายังเกิดปัญหาในเรื่องของเวลา ส่งผลให้ต้องเสียเวลาในการเชื่อม เช่น ต้องกำหนดตำแหน่งจุดก่อนการเชื่อมประกอบของเก้าอี้สแตนเลสทุกครั้งก่อนการเริ่มเชื่อมซึ่งขั้นตอนนี้จะใช้เวลานาน ส่งผลให้บริษัทไม่สามารถผลิตเก้าอี้ได้ทันตามความต้องการที่ลูกค้ากำหนด

ผู้วิจัยจึงมีแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการในการลดเวลาของกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส โดยนำทฤษฎีการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ผังแสดงเหตุและผลเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการเชื่อมที่ใช้เวลานาน รวมถึงการนำหลักการวิศวกรรมเครื่องมือนำมาออกแบบเครื่องมือช่วยลดเวลาในกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสเพื่อลดเวลาในการเชื่อมและสะดวกในการทำงานของพนักงาน

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยเรื่องศึกษากระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส เพื่อลดระยะเวลาในการทำงานได้ศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการวิจัยดังนี้

2.1 การศึกษาเวลา

การศึกษางานเป็นวิธีที่การที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการผลิตซึ่งเป็นที่รู้จักกันในนามของการศึกษางาน (Work Study) เป็นคำที่ใช้แทนวิธีการต่าง ๆ จากการศึกษาวิธีการทำงานและการวัดผลงานซึ่งปัจจุบันได้กลายเป็นที่นิยมใช้เป็นเครื่องมือในการปรับปรุงและออกแบบวิธีการทำงานที่ดี ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตได้ วัตถุประสงค์ของการศึกษาเวลาคือการระบุหางานที่ไม่จำเป็น (unnecessary work contents) เพื่อกำจัดงานที่ไม่จำเป็นเหล่านี้ออก [2] การศึกษาเวลาเป็นเทคนิคของการศึกษาวิธีการทำงานอย่างเป็นระบบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยมีเป้าหมายในการพัฒนาให้ได้กระบวนการทำงานที่พึงประสงค์ด้วยต้นทุนการทำงานที่น้อยที่สุด เพื่อสร้างมาตรฐานระบบและวิธีการทำงานและสามารถกำหนดเวลามาตรฐานที่ผู้ปฏิบัติงานต้องใช้ในการทำงานที่กำลังศึกษาด้วยอัตราการทำงานปกติ และเพื่อใช้ฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานให้สามารถทำงานด้วยวิธีการทำงานที่พัฒนาขึ้น [5]

การศึกษาเวลาจึงเป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์เวลาในการทำงาน เพื่อนำเวลามาปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น รวมถึงการระบุปัญหาของกระบวนการในการทำงานที่ใช้ระยะเวลานานที่สุด โดยสามารถนำเวลาที่ใช้ในกระบวนการมาลดเวลาที่ไม่จำเป็นของกระบวนการได้ [4]

2.2 แผนภูมิกระบวนการไหล

แผนภูมินี้ใช้ขั้นตอนการไหล (Flow) ของวัตถุดิบ ชิ้นส่วน พนักงาน และอุปกรณ์ที่เคลื่อนไปในกระบวนการพร้อมกับกิจกรรมต่าง ๆ โดยใช้สัญลักษณ์มาตรฐาน 5 ตัว ซึ่งกำหนดโดย ASME ในสหรัฐอเมริกาดังนี้ คือ [5]

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ของแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)

สัญลักษณ์	ชื่อเรียก	คำจำกัดความโดยย่อ
○	Operation การปฏิบัติงาน	-การเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมีหรือฟิสิกส์ของวัตถุ -การประกอบชิ้นส่วน หรือการถอดชิ้นส่วน -การเตรียมวัตถุเพื่องานงานขั้นตอนต่อไป -การวางแผน การคำนวณ การให้คำสั่ง หรือการรับคำสั่ง
□	Inspection การตรวจสอบ	-การตรวจสอบคุณลักษณะของวัตถุ -การตรวจสอบคุณภาพหรือปริมาณ
⇨	Transportation การเคลื่อน	-การเคลื่อนไหววัตถุจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง -พนักงานกำลังเดิน
D	Delay การคอย	-การเก็บวัสดุชั่วคราวระหว่างปฏิบัติงาน -การคอยเพื่อให้งานขั้นตอนต่อไปเริ่มต้น
▽	Storage การเก็บ	-การเก็บวัสดุไว้ในที่ถาวรซึ่งต้องอาศัยกาลังในการการเคลื่อนย้าย -การเก็บชิ้นส่วนที่รอเป็นเวลานาน

2.2.1 แนวทางการวิเคราะห์แผนภูมิกระบวนการไหล

1. กำหนดวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ให้ชัดเจน เช่น เพื่อลดปริมาณเวลาการเคลื่อนย้าย หรือเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เป็นต้น

2. บ่งชี้กระบวนการที่ต้องศึกษาพร้อมทั้งหลายละเอียดของกระบวนการ

3. กำหนดว่าเป็นการวิเคราะห์การไหลของเรื่องใดเรื่องหนึ่ง ดังนี้

-ผลิตภัณฑ์: การทำงานบนผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เข้าสู่สายการผลิตจนประกอบเสร็จ

-พนักงาน: การปฏิบัติงานของพนักงานในการทำงานเคลื่อนย้ายสิ่งของและการเดิน

-เครื่องมือและอุปกรณ์: การโยกย้ายของเครื่องมือหรือการใช้งานอุปกรณ์

4.เริ่มวิเคราะห์จากจุดเริ่มต้นของการไหลบันทึกงานตามที่เกิดขึ้นจริงโดยใช้สัญลักษณ์กำกับกิจกรรมที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดทุกขั้นตอนพร้อมทั้งบรรยายถึงลักษณะงานที่เกิดขึ้น

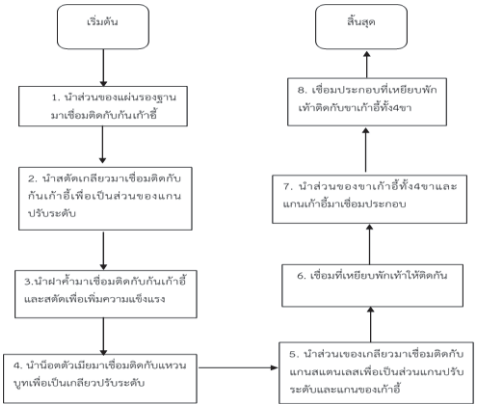
5. เก็บข้อมูลรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง

6. โยงเส้นระหว่างสัญลักษณ์จากบนลงล่าง

7. สรุปขั้นตอนการปฏิบัติงานลงในตารางสรุปผล

3. วิธีการศึกษาและการออกแบบแนวทาง

แผนภูมิกระบวนการ คือ เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลได้อย่างละเอียดเพื่อบอกขั้นตอนกระบวนการผลิตเพื่อช่วยให้นักวิเคราะห์สามารถมองเห็นภาพของกระบวนการผลิตได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ต้นจนจบ และนำไปสู่การพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการทำงานให้ดีขึ้น [3] โดยแผนภูมิแสดงการทำงานของกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสของบริษัทแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงการทำงานของกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส (ก่อนปรับปรุง)

จากรูปที่ 1 จะแสดงให้เห็นกระบวนการเชื่อมประกอบของเก้าอี้สแตนเลส โดยลำดับขั้นตอนการทำงานจะเรียงไปตามหัวลูกศร จำนวนขั้นตอนในการเชื่อมประกอบมี 8 ขั้นตอน การเชื่อมประกอบในแต่ละขั้นตอนจะเชื่อมเพื่อยึดติดแต่ละชิ้นส่วนให้มั่นคงและแข็งแรง

3.1 เก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงกระบวนเชื่อมการประกอบ

เพื่อให้ทราบถึงความสามารถของการผลิตในปัจจุบัน จึงต้องทำการเก็บข้อมูลเวลาในการทำงานมาคำนวณหาเวลามาตรฐาน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง รวมไปถึงใช้เป็นตัวชี้วัดเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพก่อนและหลังการปรับปรุงโดยรายละเอียด ดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาในกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสจากการจับเวลา 10 ครั้ง (ก่อนปรับปรุง)

ขั้นตอน	รายละเอียดงาน	ผลการจับเวลาของงาน (นาที)					เวลาเฉลี่ย (นาที)
1	นำส่วนของแผ่นรองฐานมาเชื่อมติดกับก้นเก้าอี้	3.52	4.01	3.55	3.48	3.50	3.55
		3.44	3.47	3.41	3.53	3.58	
2	นำสตัดเกลียวเชื่อมติดก้นเก้าอี้เพื่อเป็นส่วนของแกนปรับระดับ	2.27	2.23	2.18	2.25	2.20	2.25
		2.33	2.28	2.31	2.17	2.28	
3	นำฝาค้ำเชื่อมติดกับก้นเก้าอี้และสตัดเพิ่มความแข็งแรง	7.00	6.51	6.55	7.03	6.54	6.80
		7.14	7.08	6.59	6.56	7.02	
4	นำน็อตตัวเมียมาเชื่อมติดกับแหวนบูทเพื่อเป็นเกลียวปรับระดับ	5.38	5.54	5.47	5.41	5.37	5.41
		5.35	5.44	5.41	5.38	5.34	
5	นำส่วนของขั้นตอนที่ 4เชื่อมติดกับแกนสแตนเลสเพื่อเป็นแกนปรับระดับและแกนของเก้าอี้	5.12	5.18	5.06	5.10	5.15	5.14
		5.07	5.13	5.21	5.19	5.23	
6	เชื่อมที่เหยียบพักเท้าให้ติดกัน	2.35	2.31	2.42	2.38	2.33	2.36
		2.28	2.35	2.39	2.45	2.38	
7	นำส่วนของขาเก้าอี้ทั้ง 4ขาและแกนเก้าอี้มาเชื่อมประกอบ	15.40	15.45	15.57	15.44	15.38	15.46
		15.49	15.41	15.38	15.52	15.48	
8	เชื่อมประกอบที่เหยียบพักเท้าติดกับขาเก้าอี้ทั้ง 4ขา	10.33	10.40	10.28	10.36	10.24	10.31
		10.26	10.24	10.31	10.28	10.35	
รวม							51.28

หมายเหตุ: การจับเวลาในแต่ละขั้นตอนจะจับมาทั้งหมด 10 ครั้ง ซึ่งเพียงพอแล้ว จากตารางที่ 2 ที่ได้มีการจับเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนในกระบวนการเชื่อมประกอบนั้น จึงได้นำเอาข้อมูลมาเพื่อคำนวณหาค่าพิสัย (R) ค่าเวลาเฉลี่ย ($\bar{X}$) และทำการคำนวณ $R/\bar{X}$ เพื่อหารอบการจับเวลาที่เหมาะสมโดยอ้างอิงจากตาราง Maytag

3.2 คำนวณหาเวลามาตรฐาน

นำเวลาเฉลี่ยที่ได้จากการจับเวลาเบื้องต้น 10 ครั้ง มาทำการคำนวณกับอัตราเร็วและค่าเผื่อเวลา เพื่อหาเวลาปกติและเวลามาตรฐานของขั้นตอนกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสคำนวณดังนี้ [3]

$$NT = ST \times RF \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้ NT คือ เวลาปกติ (Normal Time)

ST = เวลาที่ใช้ในการทำงานจริง (Selected Time)

RF = ประสิทธิภาพในการทำงาน (Rating Factor)

$$\text{Standard Time (Std)} = NT \times (1+A) \quad (2)$$

NT= เวลาปกติ (Normal Time)

A = เวลาเผื่อ (Allowance)

จากสมการที่ (1,2) สามารถหาเวลาปกติและเวลามาตรฐานของกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เวลามาตรฐานของขั้นตอนกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส (ก่อนปรับปรุง)

ขั้นตอน	S.T.	R.F	N.T	%A	Std.
1	3.55	1.12	3.98	1.17	4.65
2	2.25	1.12	2.52	1.17	2.95
3	6.8	1.12	7.62	1.17	8.91
4	5.41	1.12	6.06	1.17	7.09
5	5.14	1.12	5.76	1.17	6.74
6	2.36	1.12	2.64	1.17	3.09
7	15.46	1.12	17.32	1.17	20.26
8	10.31	1.12	11.55	1.17	13.51
รวม					67.20

หมายเหตุ: ค่า R.F มาจากการประเมินอัตราการทำงานของพนักงานและค่า %A มาจากการประเมินตารางวิเคราะห์เวลาเผื่อของการทำงาน

ตารางที่ 4 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส (ก่อนปรับปรุง)

Flow Process Chart

ผลิตภัณฑ์ / ~~วัสดุ /พนักงาน~~	Activity	Present	Propose	Saving
	ปฏิบัติงาน	8	-	-
	เคลื่อนย้าย	-	-	-
กิจกรรม:ขั้นตอนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส วิธีทำงาน:ปัจจุบัน / ~~ปรับปรุง~~	ล่าช้า	-	-	-
	ตรวจสอบ	3	-	-
	เก็บ	-	-	-

ขั้นตอน	เวลา (นาที)	SYMBOL					หมายเหตุ
1.นำส่วนของแผ่นรองฐานมาเชื่อมติดกับก้านเก้าอี้ตรวจสอบระยะ	4.65						
2.นำสตัดเกลียวมาเชื่อมติดกับก้านเก้าอี้เพื่อเป็นส่วนของแกนปรับระดับตรวจสอบ	2.95						
3.นำฝาค้ำมาเชื่อมติดกับก้านเก้าอี้และสตัดเพื่อเพิ่มความแข็งแรง	8.91						
4.นำน็อตตัวเมียมาเชื่อมติดกับแหวนบูทเพื่อเป็นเกลียวปรับระดับ	7.09						
5.นำส่วนของขั้นตอนที่ 4 มาเชื่อมติดกับแกนสแตนเลสเพื่อเป็นส่วนแกนปรับระดับและแกนของเก้าอี้	6.74						
6.เชื่อมที่เหยียบพักเท้าให้ติดกัน	3.09						
7.นำส่วนของขาเก้าอี้ทั้ง 4 ขา และแกนเก้าอี้มาเชื่อมและตรวจสอบ	20.26						
8.เชื่อมประกอบที่เหยียบพักเท้ากับขาเก้าอี้ทั้ง 4 ขา	13.51						
รวม	67.20	8	0	0	3	0	

จากตารางที่ 4 สรุปกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส มีขั้นตอนการปฏิบัติงาน 8 ขั้นตอน ขั้นตอนการตรวจสอบ 3 ขั้นตอน และใช้เวลาทั้งหมด 67.20 นาที

3.3 การวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการปรับปรุง

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลด้านเวลาในกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส จึงได้ทำการวิเคราะห์และหาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภูมิก้างปลา สาเหตุหลักมี 4 สาเหตุด้วยกันโดยจะอธิบายแต่ละส่วนดังนี้ 1. เครื่องมือ เกิดปัญหาระยะการเชื่อมคลาดเคลื่อน มีสาเหตุมาจากไม่มีอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงานตามระยะที่ต้องการจึงทำให้เสียเวลาที่ต้องปรับแก้ไขชิ้นงานหลายรอบ 2. พนักงาน การเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสนี้ มีชิ้นส่วนเล็กที่ต้องเชื่อมประกอบติดกันหลายชิ้น ทำให้ต้องก้มทำงานเป็นเวลานาน จึงทำให้เกิดความเมื่อยล้าส่งผลความล่าช้าในการทำงาน 3. วิธีการทำงาน สามารถปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานได้เพื่อให้การทำงานนั้นง่ายขึ้นและลดเวลาในการทำงานนั้นด้วยการจัดวิธีการทำงานให้ชัดเจนขึ้น 4. วัตถุดิบ ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบนั้นอาจเกิดความผิดผลาดในการจัดเตรียมวัตถุดิบทำให้เกิดชิ้นงานเสียรูปได้ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้าในการแก้ไขชิ้นงาน

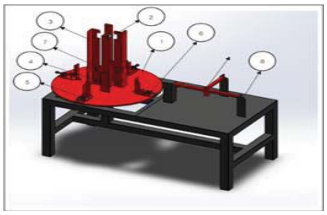
ทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบจิ๊กฟิกซ์เจอร์ เพื่อช่วยลดเวลาในการเชื่อมประกอบ โดยที่จิ๊กฟิกซ์เจอร์ ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบแบบนั้นจะช่วยกำหนดตำแหน่งชิ้นงานในการเชื่อมให้ตรงตามระยะที่ต้องการเชื่อมที่แม่นยำ

4. ดำเนินการปรับปรุง

จากการศึกษาขั้นตอนกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส และเก็บข้อมูลด้านเวลารวมถึงการวิเคราะห์ปัญหา ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสเพื่อลดเวลาในการเชื่อมของพนักงาน

4.1 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการเชื่อมประกอบ

ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบและในการเลือกวัสดุมาใช้ในการทำจิ๊กฟิกซ์เจอร์นั้นต้องคำนึงถึงการใช้งานเป็นหลัก รวมไปถึงคุณสมบัติต่างๆ ของตัววัสดุ ในการเลือกวัสดุนี้ผู้วิจัยได้กำหนดคุณสมบัติไว้ ดังนี้ 1.ความแข็งแรงทนทานของตัวอุปกรณ์ 2.ใช้งานได้ง่าย 3.อายุการใช้งานของอุปกรณ์ยาวนาน



รูปที่ 2 จิ๊กฟิกซ์เจอร์ที่ออกแบบในการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส

จากนั้นได้นำอุปกรณ์ช่วยเชื่อมประกอบที่ออกแบบนำไปผลิตและนำไปใช้จริงในการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสของบริษัทกรณีศึกษา



รูปที่ 3 การเชื่อมเก้าอี้ก่อนปรับปรุง

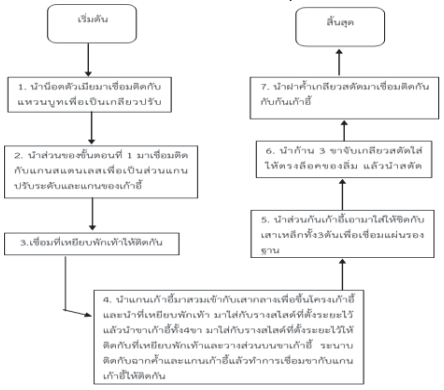


รูปที่ 4 อุปกรณ์ช่วยเชื่อมเก้าอี้สแตนเลส (หลังปรับปรุง)

จากรูปที่ 3 จะเป็นการเชื่อมประกอบโดยใช้มือของพนักงานทั้งเชื่อม กะระยะเชื่อม และจับชิ้นส่วนของเก้าอี้ ซึ่งในส่วนนี้ส่งผลในการใช้เวลาในการเชื่อมนาน รูปที่ 4 อุปกรณ์ช่วยในการเชื่อมที่สร้างขึ้น ใช้ในการระบุตำแหน่งในการเชื่อมขึ้นโครงส่วนต่างๆ ของเก้าอี้ และสามารถหมุนตัวโครงเก้าอี้เพื่อเชื่อมจุดต่าง ๆ ได้แทนการลุกขยับหรือเอียงตัวของพนักงานเพื่อเชื่อมชิ้นส่วนต่าง ๆ

4.2 ผลการดำเนินการหลังปรับปรุง

หลังจากนำอุปกรณ์ช่วยในการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส จึงมีการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานเนื่องจากมีการนำเครื่องมือช่วยมาใช้ในการเชื่อมประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 5 และทำการจับเวลาของกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสหลังปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 5 เพื่อนำมาเปรียบเทียบเวลาก่อนปรับปรุง



รูปที่ 5 แผนภูมิกระบวนการไหลในการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส (หลังปรับปรุง)

4.1 เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนเชื่อมการประกอบ

ตารางที่ 5 เวลาในกระบวนการเชื่อมประกอบจากการจับเวลาทั้งหมด 10 ครั้ง (หลังปรับปรุง)

ขั้นตอน	รายละเอียดงาน	ผลการจับเวลาของงาน (นาที)					เวลาเฉลี่ย (นาที)
1	นำน็อตตัวเมียมาเชื่อมติดกับแหวนบูทเป็นเกลียวปรับระดับ	5.22	5.15	5.00	5.09	5.29	5.18
		5.17	5.38	5.30	5.14	5.08	

ขั้นตอน	รายละเอียดงาน	ผลการจับเวลาของงาน (นาที)					เวลาเฉลี่ย (นาที)
2	นำส่วนของขั้นตอนที่ 1 มาเชื่อมติดกับแกนสแตนเลสเพื่อเป็นส่วนแกนปรับระดับและแกนของเก้าอี้	4.43	4.35	4.24	4.58	4.48	4.36
		4.40	4.21	4.27	4.34	4.25	
3	เชื่อมที่เหยียบพักเท้าให้ติดกัน	2.24	2.15	2.21	2.05	2.18	2.19
		2.11	2.32	2.07	2.19	2.37	
4	นำแกนเก้าอี้มาสวมเข้ากับเสากลางเพื่อขึ้นโครงเก้าอี้และนำที่เหยียบพักเท้าใส่กับรางสไลด์ที่ตั้งระยะไว้ แล้วนำขาเก้าอี้ทั้ง 4ขา มาใส่กับรางสไลด์ที่ตั้งระยะไว้ให้ติดกับที่เหยียบพักเท้าและวางส่วนบนขาเก้าอี้ระนาบติดกับฉากค้ำและแกนเก้าอี้ แล้วทำการเชื่อมขากับแกนเก้าอี้ให้ติดกันและตรวจสอบ	6.21	6.00	6.08	6.04	6.14	6.16
		6.28	6.15	6.27	6.18	6.24	
5	นำส่วนกันเก้าอี้ใส่ให้ชิดกับเสาเหล็กทั้ง 3 ต้นเพื่อเชื่อมแผ่นรองฐาน	3.05	3.28	3.13	3.21	3.09	3.15
		3.01	3.26	3.08	3.14	3.20	
6	นำก้าน 3 ขากับเกลียวสตัดใส่ให้ตรงล็อคของลิ่ม แล้วนำสตัดเกลียวมาใส่กับก้าน 3 ขา ทำการเชื่อมตรวจสอบ	2.40	2.58	2.42	2.46	2.33	2.40
		2.45	2.21	2.27	2.35	2.48	
7	นำฝาค้ำเกลียวสตัดมาเชื่อมติดกันกับกันเก้าอี้และตรวจสอบ	7.18	7.00	7.11	7.04	7.17	7.21
		7.22	7.15	7.31	7.24	7.14	
รวม							30.64

4.2 คำนวณหาเวลามาตรฐานหลังปรับปรุง

ตารางที่ 6 เวลามาตรฐานของขั้นตอนกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส (หลังปรับปรุง)

ขั้นตอน	S.T.	R.F	N.T	%A	Std.
1	5.18	1.06	5.49	1.16	6.36
2	4.36	1.06	5.42	1.16	6.28
3	2.19	1.06	2.32	1.16	2.69
4	6.16	1.06	6.53	1.16	7.57
5	3.15	1.06	3.34	1.16	3.87
6	2.40	1.06	2.54	1.16	2.94
7	7.21	1.06	7.64	1.16	8.86
รวม					38.60

ตารางที่ 7 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส (หลังปรับปรุง)

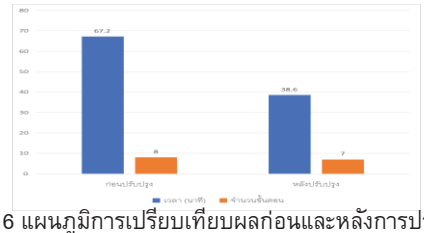
Flow Process Chart

ผลิตภัณฑ์ / ~~วัสดุ /พนักงาน~~	Activity	Present	Propose	Saving
	ปฏิบัติงาน	8	7	1
	เคลื่อนย้าย	-	-	-
กิจกรรม:ขั้นตอนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส	ล่าช้า	-	-	-
	ตรวจสอบ	3	2	1
วิธีทำงาน:~~ปัจจุบัน~~/ ปรับปรุง	เก็บ	-	-	-

ขั้นตอน	เวลา (นาที)	SYMBOL	หมายเหตุ
1.นำน็อตตัวเมียมาเชื่อมติดกับแหวนบูทเพื่อเป็นเกลียวปรับระดับก้นเก้าอี้	6.36		
2.นำส่วนของขั้นตอนที่ 1 มาเชื่อมกับแกนสแตนเลสเป็นส่วนแกนปรับระดับและแกนของเก้าอี้	6.28		
3.เชื่อมที่เหยียบพักเท้าให้ติดกัน	2.69		
4. นำแกนเก้าอี้มาสวมเข้ากับเสากลางเพื่อขึ้นโครงเก้าอี้และนำที่เหยียบพักเท้ามาใส่กับรางสไลด์ที่ตั้งระยะและนำขาเก้าอี้ทั้ง 4 ขา มาใส่รางสไลด์ที่ตั้งระยะไว้ให้ติดกับที่เหยียบพักเท้าและวางส่วนบนขาเก้าอี้ระนาบติดกับฉากค้ำและแกนเก้าอี้แล้วทำการเชื่อมขากับแกนเก้าอี้ติดกันและตรวจสอบ	7.57		
5.นำส่วนก้นเก้าอี้ใส่ให้ชิดกับเสาเหล็กทั้ง 3 ต้นเพื่อเชื่อมแผ่นรองฐาน	3.87		
6.นำก้าน 3 ขาจับเกลียวสตัดใส่ให้ตรงล็อคของลิ่ม แล้วนำสตัดเกลียวมาใส่กับก้าน 3 ขา ก็ทำการเชื่อม	2.94		
7. นำฝาค้ำเกลียวสตัดมาเชื่อมติดกันกับก้นเก้าอี้และตรวจสอบ	8.86		
รวม	38.60	7 0 0 2 0	

4.3 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง

จากการเปรียบเทียบเวลามาตรฐานในการกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส พบว่าเวลาก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 67.20 นาที และหลังปรับปรุงเวลาอยู่ที่ 38.60 นาที สามารถลดเวลาไปได้ 28.60 นาที คิดเป็นร้อยละ 42.56 และลดขั้นตอนจาก 8 ขั้นตอน เหลือ 7 ขั้นตอน สามารถลดไปได้ 1 ขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภูมิการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงของกระบวนการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลส

5. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่พบเนื่องจากเวลาในการเชื่อมประกอบเก้าอี้สแตนเลสใช้เวลานาน จึงได้มีแก้ปัญหาโดยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในกระบวนการเชื่อมประกอบ ผลลัพธ์จากเดิมใช้เวลา 67.20 นาที/ตัว เหลือเวลา 38.60 นาที/ตัว สามารถลดเวลาการเชื่อมประกอบลงได้ 28.60 นาที

5.1 ข้อเสนอแนะ

ในอนาคตสามารถนำอุปกรณ์ช่วยในการเชื่อมประกอบต้นแบบนี้ไปพัฒนาปรับปรุงและต่อยอดสร้างอุปกรณ์ช่วยเชื่อมในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ของบริษัทที่มีความหลากหลาย รวมถึงการพัฒนาให้มีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาเพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก หจก.เอ็น.พี.อาร์.สแตนเลส จำกัด นักศึกษา นายธัชธร รื่นรมณ์วารี นายวุฒิคม โพธิ์พันธ์ ช่วยเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] รายงานสถานการณ์วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ปี 2564, สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม(สสว.)

[2] Ann Hendrich, Marilyn Chow, Boguslaw A. Skierczynski, Zhenqiang Lu (2008). Hospital Time and Motion Study : How Do Medical Surgical Nurses Spend Their Time. The Permanente Journal Summer, 12(3). 25–34.

[3] Barnes, R.M. Motion and Time Study Design and Measurement of Work. 7th ed. New York: John Wiley & Sons, 1980.

[4] วัชรินทร์ สิทธิเจริญ, การศึกษางาน WORK STUDY พิมพ์ครั้งที่ 1, 2547

[5] รศ.รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. การศึกษางานอุตสาหกรรม, ฉบับปรับปรุงใหม่, บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, 2562

การเพิ่มผลิตภาพของกระบวนตัดขอบ : กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตถาดพลาสติก

Productivity Improvement of Trimming Process A Case Study of Plastic Tray Industry

ศิลปชัย วัฒนเสย[1*] สมพร พรหมดวง[1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

E-mail: sinlapachai.w@rsu.ac.th*

Sinlapachai Watthanasoei[1*] Somporn Phromduang[1]

[1]Department of Industrial Engineering, College of Engineering, Rangsit University

E-mail: sinlapachai.w@rsu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางการเพิ่มปริมาณการผลิตของกระบวนการตัดขอบถาดพลาสติก จากการศึกษาพบว่าสายการผลิตถาดพลาสติก พีพี เกิดคอขวดที่กระบวนการตัดขอบ ส่งผลให้มีปริมาณถาดพลาสติกมีการรอคอยที่สถานีนี้และไม่สมดุลกับกระบวนการผลิตอื่นๆ การศึกษาและวิเคราะห์โดยทฤษฎีการศึกษาการทำงาน การศึกษาเวลาการทำงานของคนและเครื่องจักร การดำเนินงานเริ่มจากการศึกษารวบรวมข้อมูล วิธีการทำงานและเวลาของการผลิตแบบเดิม การวิเคราะห์การทำงานคนและเครื่องจักร เสนอแนะและปรับปรุงวิธีการทำงาน ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยสำหรับการติดตั้งแม่พิมพ์ตัดชิ้นบน จากการประยุกต์ใช้วิธีการติดตั้งแม่พิมพ์และวิธีการทำงานแบบใหม่ ผลปรากฏว่าขั้นตอนการทำงานลดลง จากเดิม 6 ขั้นตอน เหลือ 4 ขั้นตอน ลดเวลาการทำงาน จาก 2.09 วินาที/ชิ้น เหลือ 1.36 วินาที/ชิ้น ทำให้ผลิตภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.8 ปริมาณการตัดขอบเพิ่มขึ้น 4,688 ชิ้นต่อวัน

คาสาคัญ: การเพิ่มประสิทธิภาพ, กระบวนการตัดขอบ, ถาดพลาสติก, การเกิดคอขวด

Abstract

The research based on productivity improvement in the work part detaching process of which polypropylene tray production line consists. This process in responsible for the delay on it prominently constitute the bottleneck. Analysis of this process is conducted using time study and work method techniques. The process is redesigned and relevant fixtures are equipped. This effort leads to reduction from six to four action steps. The cycle time diminishes to 1.36 from 2.09 seconds. The productivity improvement is raised 7.8 % and 4,688 part per day.

Keywords: Productivity Improvement, Trimming Process, Plastic Tray, Bottleneck

1. บทนำ

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 จนกระทั่งถึงปัจจุบัน เกิดโรคระบาด หรือ โควิด-19 ทำให้การดำเนินชีวิตของคนเปลี่ยนไปจากเดิม การทำงานที่บ้าน การเรียน หรือการปิดเมือง ส่งผลให้ระบบการสั่งอาหารออนไลน์แล้วจัดส่งถึงบ้าน ด้วยเพลทฟอร์มต่างๆมีมากขึ้น สิ่งหนึ่งที่มีความต้องการมากขึ้นตามมา คือ ภาชนะบรรจุอาหาร ในรูป ถาดพลาสติก กล่อง แก้ว ฯ รวมถึงการเติบโตของอาหารบรรจุกล่องเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้มีผลให้โรงงานอุตสาหกรรมผลิตกล่องบรรจุ ถาดพลาสติก มีความต้องการสูงขึ้นมากกว่าปกติ ระบบการผลิตหรือกระบวนการผลิตแบบเดิมมีความสามารถในการผลิตจำกัด ทำให้กระบวนการบางสถานีงานเกิดคอขวด ปริมาณการผลิตไม่ทันต่อความต้องการ การแก้ปัญหาแบบเดิมคือการจัดทำงานล่วงเวลาบางสถานีงานเพื่อผลิตให้ทันตามลูกค้ากำหนด งานวิจัยนี้ ศึกษา และรวบรวมข้อมูล โดยหลักการการศึกษาวิธีการทำงาน การวัดงาน [1] - [4] แนวทางการปรับปรุงการเพิ่มผลผลิต[5] จากการผลิตพาเลทไม้ งานวิจัยนี้มีการปรับปรุงกระบวนการบางสถานีงานให้ไม่เกิดคอขวด ทำให้ลดการทำงานล่วงเวลาและกำลังการผลิตสูงขึ้น

2. ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต

ผลิตภัณฑ์ถาดพลาสติก พีพี และกระบวนการผลิต โดยภาพรวมดังนี้

2.1 ผลิตภัณฑ์

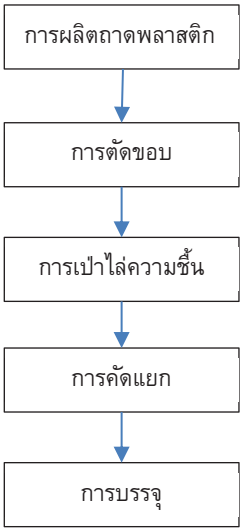
ผลิตภัณฑ์ถาดพลาสติกมีหลายรูปแบบ งานวิจัยนี้เลือกทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา คือ ถาดพลาสติก พีพี รุ่น 142-TP-0013 ซึ่งเป็นรุ่นที่มีปริมาณการผลิตและการสั่งซื้อเป็นจำนวนมากและต่อเนื่อง ดังนั้นจึงได้เลือกผลิตภัณฑ์รุ่นนี้เป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเพื่อศึกษาและปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้นและเพิ่มผลผลิตให้มากยิ่งขึ้น ถาดพลาสติก พีพี รุ่น 142-TP-0013 นี้มีขนาดความกว้าง 153 มิลลิเมตร ความยาว 179 มิลลิเมตร และความสูง 34 มิลลิเมตร เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหารพร้อมรับประทานและเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทนทั้งความร้อนและความเย็นได้โดยสามารถทนความเย็นได้ไม่ต่ำกว่า -21 องศาเซลเซียส และ สามารถทนความร้อนที่เกิดจากเครื่องไมโครเวฟ 1500w 3 นาที ถาดพลาสติก พีพี รุ่นนี้ ดังรูปที่ 1 แสดงผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา คือ ถาดพลาสติก พีพี



รูปที่ 1 ถาดพลาสติก พีพี (อ้างอิง : โรงงานกรณีศึกษา)

2.2 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตถาดพลาสติกประเภท พีพี ของโรงงานกรณีศึกษาสามารถสรุปขั้นตอนการทำงานของสายการผลิตถาดพลาสติกประเภท พีพี จากรูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตถาดพลาสติก พีพี



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตถาดพลาสติก พีพี

การผลิตถาดพลาสติกมีกระบวนการผลิต 4 กระบวนการ ได้แก่ การขึ้นม้วน, การผ่านฮีสเตอร์, Pressure/Vacuum Forming ดังรูปที่ 3 และการตัดเฟรม



รูปที่ 3 การขึ้นรูปถาดพลาสติก และ การตัดชิ้นงานเป็นแผ่นเฟรม

การตัดขอบถาดพลาสติก การตัดถาดเป็นกระบวนการตัดเฟรมถาด 1 เฟรม มีชิ้นงานอยู่ 9 ชิ้น ตัดเพื่อแยกเป็นชิ้น กระบวนตัดแยกชิ้นงานโดยนำเฟรมมาทำการตัดบนเครื่องตัดโดยควบคุมการใช้เครื่องตัดตามวิธีการตัดชิ้นงาน ดังรูปที่ 4 แสดงเครื่องตัดทำการตัดแยกชิ้นงาน



รูปที่ 4 แสดงเครื่องตัดทำการตัดแยกชิ้นงาน

3. ลักษณะปัญหา

จากการศึกษาและเก็บรวมรวบข้อมูลการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา พบว่า ปัญหาหลักของกระบวนการผลิตถาดพลาสติก พีพี รุ่น 142-TP-0013 คือไม่สามารถผลิตชิ้นงานได้ทันต่อแผนงานที่โรงงานกำหนดไว้ จากรูปที่ 2 กระบวนการผลิตถาดพลาสติกเริ่มจาก การผลิตถาดพลาสติกเครื่อง Vacuum Forming เป็นเครื่องจักรหลักมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 64,000 ถาดต่อวัน(8 ชั่วโมง) ด้วยเครื่องตัด 5 เครื่อง กระบวนการผลิตขั้นตอนที่ 2 คือการตัดขอบ จากการรวบรวมข้อมูลมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 59,996 ถาดต่อวัน(8 ชั่วโมง) ด้วยเครื่องตัด 5 เครื่อง ดังนั้นกระบวนการนี้มีงานค้างเฉลี่ย 4,004 ถาดต่อวัน(8 ชั่วโมง) จากการศึกษาเวลาการทำงานข้อมูลตารางที่ 1 เวลาการทำงานกระบวนการผลิตถาด กระบวนการตัดขอบ มีเวลาการทำงานมากกว่าสถานีงานอื่นๆจึงทำให้เกิดความล่าช้าและเกิดคอขวดในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 1 แสดงเวลาการทำงานในแต่ละกระบวนการผลิตถาดพลาสติก พีพี ของโรงงานกรณีศึกษา

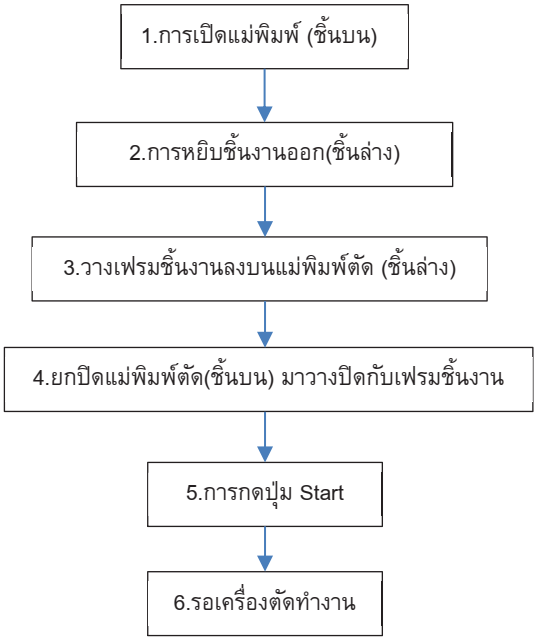
ลำดับที่	กระบวนการผลิต	เวลาการทำงาน เฉลี่ย (วินาที/ชิ้น)
1	การผลิตถาดพลาสติก	1.2
2	การตัดขอบ	2.09**
3	เป่าลมไล่ความชื้น	1.7
4	คัดแยก	1.29
5	บรรจุ	0.7

4. การปรับปรุงกระบวนการตัดขอบ

กระบวนการตัดขอบถาดพลาสติกล่าช้าทำให้เกิดคอขวดในกระบวนการผลิต การปรับปรุงกระบวนการตัดขอบมี 2 ด้าน คือ การออกแบบและติดตั้งแผ่นตัดชิ้นบนเข้ากับเครื่องกดตัด และการปรับปรุงวิธีการทำงาน มีรายละเอียดดังนี้

4.1 กระบวนการตัดขอบถาดพลาสติก

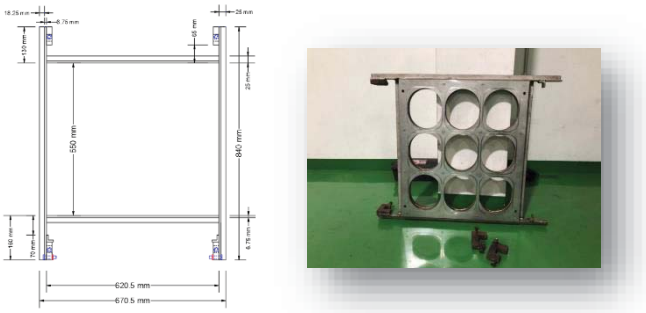
กระบวนการตัดขอบถาดพลาสติกหนึ่งรอบการทำงานมี 6 ขั้นตอน ดังรูปที่ 5 กระบวนการตัดขอบถาดพลาสติก



รูปที่ 5 กระบวนการตัดขอบถาดพลาสติก(รูปแบบเดิม)

4.2 การปรับปรุงการติดตั้งแม่พิมพ์

กระบวนการตัดขอบถาดพลาสติก ดังรูปที่ 5 มีขั้นตอนการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ตัด(ชิ้นบน) เฉลี่ย 7,000 ครั้งต่อวัน ซึ่งกระบวนการนี้เสียเวลาและเกิดการเมื่อยล้าของพนักงาน ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงคือการออกแบบอุปกรณ์จับยึดแม่พิมพ์(ชิ้นบน) ดังรูปที่ 6 ให้ติดกับเครื่องตัดพนักงานไม่ต้องเปิด-ปิดแม่พิมพ์

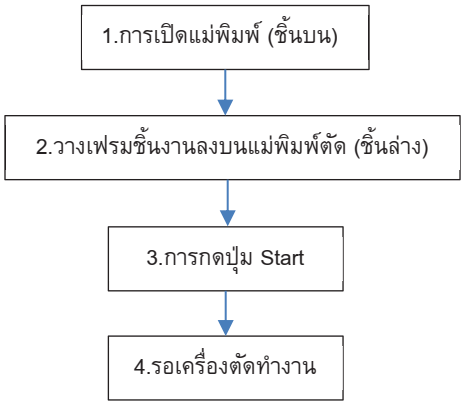


รูปที่ 6 อุปกรณ์จับยึดแม่พิมพ์(ชิ้นบน)

4.3 การปรับปรุงวิธีการทำงาน

วิธีการทำงานขั้นตอนการทำงานเดิม มี 6 ขั้นตอน จากการปรับปรุงวิธีการติดตั้งแม่พิมพ์ตัด(ชิ้นบน) วิธีการทำงานจึงลดลง ทำให้มีขั้นตอน 4 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนลดลง 2 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 30 เริ่มจาก การหยิบเฟรมชิ้นงานออก, วางชิ้นงาน, กดปุ่ม Start และรอเครื่องตัดทำงาน การทำงานของการตัดถาดแบบเดิมโดยเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 18.84

วินาที/9 ชิ้น เวลา 2.09 วินาทีต่อชิ้น จากการปรับปรุงวิธีการทำงานใหม่ลดลงเหลือ 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 7 กระบวนการตัดขอบถาดพลาสติก (รูปแบบใหม่)



รูปที่ 7 กระบวนการตัดขอบถาดพลาสติก(รูปแบบใหม่)

จากการปรับปรุงวิธีการติดตั้งแม่พิมพ์ตัด(ชิ้นบน) และนำไปประยุกต์ใช้งาน การรวบรวข้อมูลการตัดถาดหลังปรับปรุงเฉลี่ย 64,684 ชิ้น/วัน/5 เครื่อง เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 12.24 วินาที/9 ชิ้น เวลา 1.36 วนาทีต่อชิ้น ดังตารางที่ 2 การเปรียบเทียบข้อมูลการตัดรูปแบบเดิมกับรูปแบบใหม่

5. สรุป

การศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิตถาดพลาสติกโดยการศึกษาวิธีการทำงาน และเวลาการทำงาน มีการปรับปรุงการติดตั้งแม่พิมพ์(ชิ้นบน)ติดกับเครื่องตัด ทำให้ขั้นตอนการผลิตลดลงเหลือ 4 ขั้นตอน เวลาการผลิตในขั้นตอนการตัดลดลง ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น 4,688 ชิ้นต่อวัน ผลิตภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.8 แนวทางการปรับปรุงนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับกระบวนการตัดถาดพลาสติกเครื่องอื่นๆทำให้ประสิทธิภาพการผลิตมากขึ้น ลดการเกิดคอขวดและยังสามารถลดความเมื่อยล้าของพนักงานอีกด้วย

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลของกระบวนการตัดถาดก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

รายการ	การตัดถาดก่อนปรับปรุง	การตัดถาดหลังปรับปรุง	ผลต่าง
ปริมาณการตัดถาด	59,996 ชิ้น/วัน/5 เครื่อง	64,684 ชิ้น/วัน/5 เครื่อง	4,688 ชิ้น/วัน
เวลาการตัดถาด	18.84 วินาที/9ชิ้น	12.24 วินาที/9ชิ้น	6.6 วินาที/9ชิ้น
ขั้นตอนการตัดถาด	6 ขั้นตอน	4 ขั้นตอน	2 ขั้นตอน

เอกสารอ้างอิง

[1] ฐิตารีย์ ทิมจำลองเจริญ, การพัฒนางานด้วยระบบคุณภาพและการเพิ่มผลผลิต, กรุงเทพฯ: แม็ค, 2548

[2] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา (Motion and Time Study),กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2538

[3] วิจิตร ตัณฑสุทธิ์ และคณะ, การศึกษาการทำงาน,สำนักพิมพ์ฟิสิกเซ็นเตอร์, 2548

[4] Ralph M. Barnes, Motion and Time Study Designand Measurement of Work, New York: JohnWiley & Sons, 1980

[5] ศิลปชัย วัฒนเสย, พรรคพงษ์ แก่นณรงค์ และสายสุนีย์ พงษ์พัฒนศึกษา, การเพิ่มผลผลิตโดยการลดของเสียในอุตสาหกรรมการผลิตพาเลทไม้(in Thai), Proceedings of The RSU National Research Conference 2019, 278 – 285 April 2019, Rangsit University, Thailand.

การปรับปรุงกระบวนการผลิต กรณีศึกษา : โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

Manufacturing Process Improvement Case Study: Automotive Parts Manufacturers

กฤษนี ตรีสงฆ์[1*] ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม[1]
[1]ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
E-mail: 6106011611034@fitm.kmutnb.ac.th*

Kridsanee Trisong[1*], Narongrit Sonjaitham[1]
[1]Department of Industrial Management Faculty of Industrial Technology and Management
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus
E-mail: 6106011611034@fitm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เนื่องจากปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาไม่สามารถผลิตชิ้นส่วนได้ตามแผนงานที่กำหนด โดยทำการศึกษากระบวนการผลิต ค้นหาปัญหาที่เกิดขึ้นและโอกาสในการปรับปรุง ด้วยการสัมภาษณ์พนักงานและการค้นหาความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต จากการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการผลิต พบว่า 1) กระบวนการเตรียมชิ้นงาน (setting) ซึ่งเป็นกระบวนการขั้นต้นเกิดความสูญเปล่าจากการเคลื่อนที่ในขั้นตอนการทำงาน 2) กระบวนการพ่นสี (paint) เกิดความสูญเปล่าจากการผลิตของเสียในกระบวนการ 3) กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน (inspection) เกิดความสูญเปล่าจากการที่พนักงานทำงานผิดพลาด ซึ่งผู้ศึกษาได้นำหลัก ECRS มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานในกระบวนการเตรียมชิ้นงาน โดยการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานให้เป็นไปตามหลักการทำงานสองมือและปรับเปลี่ยนขั้นตอนกระบวนการทำงานโดยมีการมอบหมายงานให้ผู้ปฏิบัติงานใหม่แบบเฉพาะเจาะจงเพื่อลดความสูญเปล่าจากการเคลื่อนที่ จากการดำเนินการปรับเปลี่ยนขั้นตอนกระบวนการทำงาน พบว่า กระบวนการเตรียมชิ้นงาน ชิ้นงานโมเดล XX1 สามารถผลิตชิ้นงานได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ 47 หรือคิดเป็นมูลค่าการผลิตที่เพิ่มขึ้น 1,343,628 บาทต่อปี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเตรียมชิ้นงานในโมเดลอื่น ๆ ที่มีกระบวนการทำงานเหมือนกันได้อีกด้วย และจากแบบสอบถามความพึงพอใจในวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต พบว่าพนักงานมีความพึงพอใจในวิธีการปรับปรุงที่นำเสนอ มีระดับความพึงพอใจมากที่สุดเฉลี่ย 4.82 คะแนน

คาสาคัญ: การเพิ่มประสิทธิภาพ, ชิ้นส่วนยานยนต์, ความสูญเปล่า, ECRS

Abstract

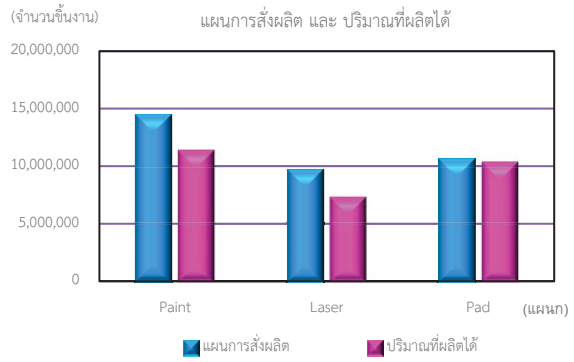
This study aims to investigate and develop the efficiency of the manufacturing process of automotive parts, because the case study company is unable to produce parts as required. The production process was studied to identify problems and opportunities for improvement by interviewing employees and searching for wastes in the production process. The study analyzing the production process found that (1) the setting process, which is the primary process from the movement in the work process (2) the painting process is wasted from the defective product in the process (3) the inspection process is the waste from the employee's mistake. The project applied principles of ECRS to improve the setting process by adjusting the working method to the principle of working with two hands and modifying the work process by reassigning tasks to specific operators to reduce the wastage of movement. As a result, in the setting process, the model XX1 can produce an average increase as 47%, or an increase in production value of 1,343,628 baht per year, which can be used to prepare other models with the same process. And from the satisfaction questionnaire on improvement methods to optimize production processes, the result is that employees' satisfaction with the proposed improvement methods has the highest amount of satisfaction with an average of 4.82 points.

Keywords: Efficiency, Automotive Parts, Waste, ECRS

1. บทนำ

ปัจจุบันเนื่องจากสถานการณ์ COVID-19 ทำให้เศรษฐกิจประเทศไทยมีการหดตัวลง แต่ก็ปฏิเสธไม่ได้ว่าในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ยังมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยมีปัจจัยหนุนจากความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่แท้จากโรงงาน หรือ OEM (Original Equipment Manufacturer) ทั้งตลาดในประเทศ และตลาดส่งออก รวมทั้งความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ทดแทน หรือ REM (Replacement Equipment Manufacturer) อย่างต่อเนื่อง ในปี 2564 การส่งออกชิ้นส่วนยานยนต์มีแนวโน้มปรับตัวดีขึ้นจากภาวะเศรษฐกิจของประเทศคู่ค้า ที่เริ่มฟื้นตัวจากการแพร่ระบาดของ COVID-19 ประกอบกับมีความคืบหน้า ของการกระจายวัคซีน และมาตรการกระตุ้นเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่องของหลายประเทศ ส่งผลให้ตลาดส่งออกหลายตลาดเริ่มกลับมาฟื้นตัวได้อีกครั้ง ทั้งนี้สมาคมผู้ผลิตชิ้นส่วน ยานยนต์ไทยได้เปิดเผยถึงสถานการณ์โดยรวมของอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ ว่าเริ่มมีแนวโน้มและทิศทางดีขึ้น หลังจากมีการปลด ล็อกดาวน์ในหลายประเทศทั่วโลก และมีปัจจัยบวกจากการทยอยฉีดวัคซีนป้องกัน COVID-19 ส่งผลให้อุตสาหกรรมรถยนต์รวมถึง ชิ้นส่วนยานยนต์กลับมาเข้าสู่สภาวะปกติ สามารถเดินเครื่องการผลิตเต็มกำลังอีกครั้ง แม้จะมีการระบาดระลอกใหม่ แต่จากการปรับแผนการบริหารที่ไม่มีการล็อกดาวน์ ทำให้การผลิตเดินหน้าไปได้ตามปกติ [1] โดยในปี 2565 คาดการณ์ ว่าจะผลิตรถยนต์ได้ถึง 1.8 ล้านคัน จึงทำให้ผู้ผลิตต่าง ๆ ต้องทำการปรับตัวให้เหมาะสมกับความต้องการที่จะเพิ่มขึ้นในปัจจุบันและอนาคต โดยคำนึงถึง การปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพการทำงานอย่างต่อเนื่อง ทั้งการปรับปรุงในเรื่องของผลิตภัณฑ์ คุณภาพการผลิตตลอดจนวิธีการทำงานต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด [2]

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยมีส่วนการผลิตจำนวน 3 แผนก คือ แผนก Paint แผนก Laser และ แผนก PAD ซึ่งจากข้อมูลการผลิตในรูปที่ 1 พบว่า ทั้ง 3 แผนก ไม่สามารถผลิตชิ้นงานได้ตามปริมาณแผนงานที่กำหนด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแผนก Paint ที่มีปริมาณความต้องการสูงสุดและมีปริมาณการผลิตไม่ได้ตามแผนงานที่กำหนด ดังนั้นผู้ศึกษาจึงมีความสนใจในการปรับปรุงกระบวนการผลิตแผนก Paint เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต



รูปที่ 1 ปริมาณการสั่งผลิตกับปริมาณที่ผลิตได้ ปี 2564

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสูญเปล่า 7 ประการ

ความสูญเปล่า (Waste) เป็นบ่อเกิดแห่งความด้อยประสิทธิภาพหรือสิ่งที่เสียไปกับขั้นตอนการทำงานโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ใดๆ ในการทำงานซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในชีวิตประจำวันทั่วไปหรือระหว่างการทำงานหรือกระบวนการผลิต ผลกระทบจากความสูญเสียทำให้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการทำงานลดลง ซึ่งความสูญเปล่าประกอบด้วย 7 ประการ ดังนี้ [3-4]

- ของเสียมากเกินไป (Waste of Defect)
- การผลิตที่มากเกินไป (Waste of Overproduction)
- กระบวนการมากเกินไป (Waste of Processing)
- การเคลื่อนไหวมากเกินไป (Waste of Motion)
- การรอคอย (Waste of Waiting)
- คลังสินค้ามากเกินไป (Waste of Inventory)
- การเคลื่อนย้าย (Waste of Transportation)

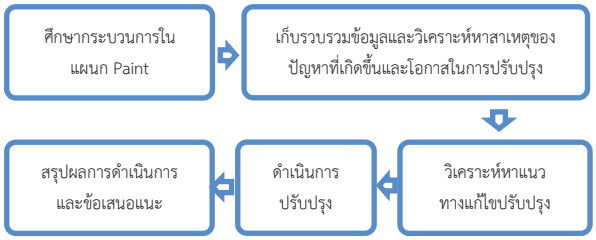
2.2 แนวคิดการลดความสูญเปล่าตามหลักการ ECRS

ECRS คือ เป็นแนวคิดในการลดความสูญเปล่าในการดำเนินงานหรือที่เรียกว่า Waste ซึ่งเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นโดยไม่สร้างผลตอบแทนหรือประโยชน์ใดๆเพิ่มเติมให้กับองค์กร และในบางกรณีอาจทำให้การดำเนินงานช้าลงจากที่ควรจะเป็น ซึ่งหลักการ ECRS เป็นแนวคิดที่มาจากตัวย่อของภาษาอังกฤษ 4 คำดังนี้ [3-5]

1) การกำจัด (Eliminate) หมายถึง การกำจัดความสูญเปล่าในการผลิตออกไป
2) การรวมกัน (Combine) หมายถึง การรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกัน
3) การจัดใหม่ (Rearrange) หมายถึง การจัดขั้นตอนการผลิตใหม่
4) การทำให้ง่าย (Simplify) หมายถึง การปรับปรุงการทำงานให้ง่าย

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

การศึกษาครั้งนี้มีวิธีการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 2



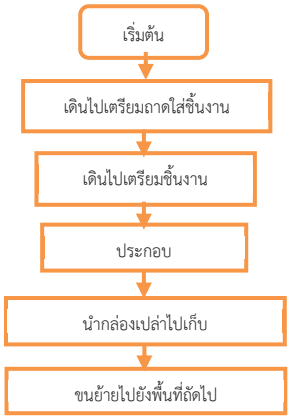
รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานการศึกษา

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

จากการเข้าไปศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิต แผนก Paint ซึ่งมี 3 กระบวนการ คือ 1) กระบวนการเตรียมชิ้นงาน (setting), 2) กระบวนการพ่นสี (paint) และ 3) กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน (inspection)

3.1.1 ศึกษากระบวนการผลิตการเตรียมชิ้นงาน (setting)

จากการเข้าไปศึกษากระบวนการของการเตรียมชิ้นงาน มีทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังในภาพที่ 3 และมีตัวอย่างการประกอบชิ้นงาน ดังในรูปที่ 4



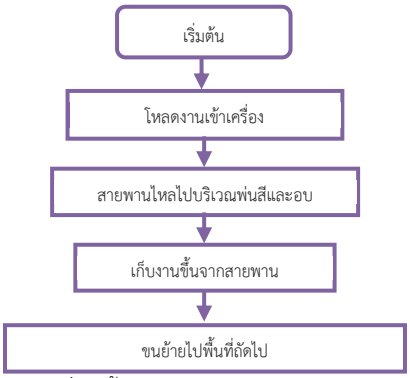
รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำงานการเตรียมชิ้นงาน



รูปที่ 4 การประกอบชิ้นงาน

3.1.2 ศึกษากระบวนการผลิตการพ่นสี (paint)

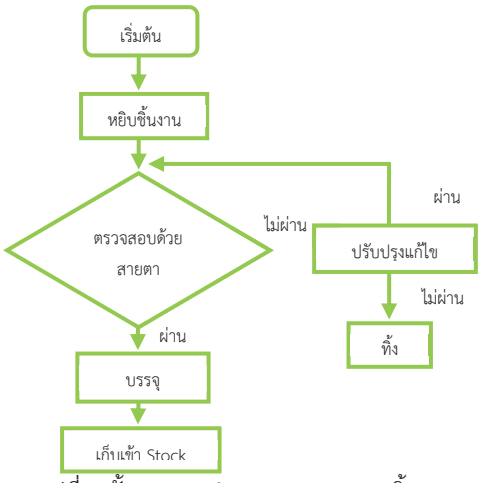
จากการเข้าไปศึกษากระบวนการผลิตของเครื่องพ่นสี มีทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงานกระบวนการพ่นสี

3.1.3 ศึกษากระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน (inspection)

จากการเข้าไปศึกษาขั้นตอนวิธีการทำงานของกระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน มีทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังในภาพที่ 6 และมีตัวอย่างการตรวจสอบชิ้นงานดังในรูปที่ 7



รูปที่ 6 ขั้นตอนการทำงานการตรวจสอบชิ้นงาน



รูปที่7 การตรวจสอบชิ้นงาน

3.2 การเลือกโมเดลในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

จากการศึกษาข้อมูลพบว่ามีโมเดลในการผลิตทั้งหมด 14 โมเดล และทุกโมเดลผ่านกระบวนการผลิตที่เหมือนกันทั้ง 3 กระบวนการ คือ 1) กระบวนการเตรียมชิ้นงาน, 2) กระบวนการพ่นสี และ 3) กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน โดยจากข้อมูลแผนปริมาณความต้องการชิ้นงานพบว่า ชิ้นงานโมเดล XX1 มีปริมาณความต้องการสูงสุดและมีความต้องการอย่างต่อเนื่อง ผู้ศึกษาจึงได้ดำเนินการเลือกโมเดล XX1 เป็นชิ้นงานตัวอย่างในการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการทำงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

โดยโมเดล XX1 มีชิ้นงานทั้งหมด 16 ชิ้น และสามารถทำการจำแนกโดยการแบ่งกลุ่มตามจำนวนชิ้นงานที่บรรจุบนถาด (Pallet Jig) ซึ่งแบ่งได้ 5 กลุ่ม โดยแบ่ง

1) กลุ่มA คือ ชิ้นงานที่มี 1 ชิ้น ต่อ 1 ถาด
2) กลุ่มB คือ ชิ้นงานที่มี 2 ชิ้น ต่อ 1 ถาด
3) กลุ่มC คือ ชิ้นงานที่มี 3 ชิ้น ต่อ 1ถาด
4) กลุ่มD คือ ชิ้นงานที่มี 6 ชิ้น ต่อ 1 ถาด
5) กลุ่มE คือ ชิ้นงานที่มี 9 ชิ้น ต่อ 1 ถาด

3.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

เมื่อทำการศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตของแต่ละกระบวนการ และ ทำการเลือกโมเดลตัวอย่างที่จะทำการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ซึ่งก็คือโมเดล XX1 แล้วนั้น ในขั้นตอนนี้จึงทำการศึกษา สภาพการทำงาน วิธีการ และ เก็บข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

3.3.1 เก็บข้อมูลกระบวนการเตรียมชิ้นงาน

จากการสอบถามหัวหน้างานพบปัญหาก็คือ พนักงานไม่สามารถผลิตชิ้นงานได้ทันจึงทำให้กระบวนการถัดไปคือ กระบวนการพ่นสี หยุดทำงานชั่วคราว

จากข้อมูลแสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการเตรียมชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าขั้นตอนที่มีการเคลื่อนที่ มีมากกว่าขั้นตอนของการทำงานที่อยู่กับที่ ซึ่งการเคลื่อนที่เหล่านี้ล้วนแต่เป็นความสูญเปล่าของกระบวนการผลิต จากนั้นทำการศึกษาวิธีการประกอบชิ้นงานแต่ละกลุ่มของโมเดล XX1 พบว่าวิธีการประกอบชิ้นงาน ไม่เป็นไปตามหลักการทำงานสองมือ จึงต้องปรับปรุงวิธีการทำงาน จากนั้นทำการหาเวลาการทำงานก่อนปรับปรุง เพื่อหารอบเวลาเฉลี่ยในการทำงานของพนักงาน 4 คน

1) วิธีการทำงานกลุ่ม A ทำเวลาเฉลี่ย 610 วินาที = 10.16 นาที
2) วิธีการทำงานกลุ่ม B ทำเวลาเฉลี่ย 720 วินาที = 12.00 นาที
3) วิธีการทำงานกลุ่ม C ทำเวลาเฉลี่ย 713 วินาที = 11.88 นาที
4) วิธีการทำงานกลุ่ม D ทำเวลาเฉลี่ย 902 วินาที = 15.03 นาที
5) วิธีการทำงานกลุ่ม E ทำเวลาเฉลี่ย 2438 วินาที = 40.63 นาที

3.3.2 เก็บข้อมูลกระบวนการพ่นสี

จากการสำรวจศึกษาพบว่าบริเวณพื้นของห้องพ่นสีมีเศษฝุ่นติดบริเวณพื้นห้องเป็นจำนวนมาก และจากข้อมูลลักษณะของเสียโมเดล XX1 พบของเสีย 5 ลักษณะได้แก่ สีไม่สม่ำเสมอ, สีพอง, เม็ดฝุ่น, รอยขีดขวน และเศษเส้นด้าย โดยปัญหาของเสียลักษณะเม็ดฝุ่นที่มีปริมาณของเสียอยู่ที่ 58% และของเสียลักษณะเศษเส้นด้ายที่ปริมาณของเสียอยู่ที่ 25% ซึ่งทั้ง 2 ลักษณะมีปริมาณของเสียสะสมอยู่ที่ 83% จึงได้ทำการเลือกของเสีย 2 ลักษณะนี้มาทำการแก้ไขและเสนอแนวทางในการลดปัญหาของเสีย

3.3.3 เก็บข้อมูลกระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน

จากการเข้าไปศึกษาและสอบถามหัวหน้างาน ในขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน พบปัญหาก็คือพนักงานไม่ทำงานตามมาตรฐานวิธีการตรวจสอบงาน (WI INSPECTION) ที่กำหนดไว้ จากการศึกษามาตรฐานวิธีการตรวจสอบงาน (WI INSPECTION) พบว่า รูปแบบมีความเข้าใจยาก ไม่กระชับ ส่วนในขั้นตอนการบรรจุ พบว่าพนักงานบรรจุ ซึ่งเป็นพนักงานใหม่ ยิงบาร์โค้ด โมเดล XX1 ผิดรุ่น เนื่องจากบัตรที่มีบาร์โค้ด และ บัตรที่มี Part Number มีจำนวนมากและมีความคล้ายคลึงกันของ Part Number จึงทำให้พนักงานทำงานผิดพลาด

3.4 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากขั้นตอนการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่พบในหัวข้อที่ 3.3 สามารถสรุปสาเหตุของแต่ละปัญหาของแต่ละกระบวนการ โดยการใช้ Cause and Effect Diagram ดังในภาพที่ 8 จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาทั้งหมดด้วย Cause and Effect Diagram สามารถสรุปปัญหาได้ดังนี้

3.4.1 กระบวนการเตรียมชิ้นงาน

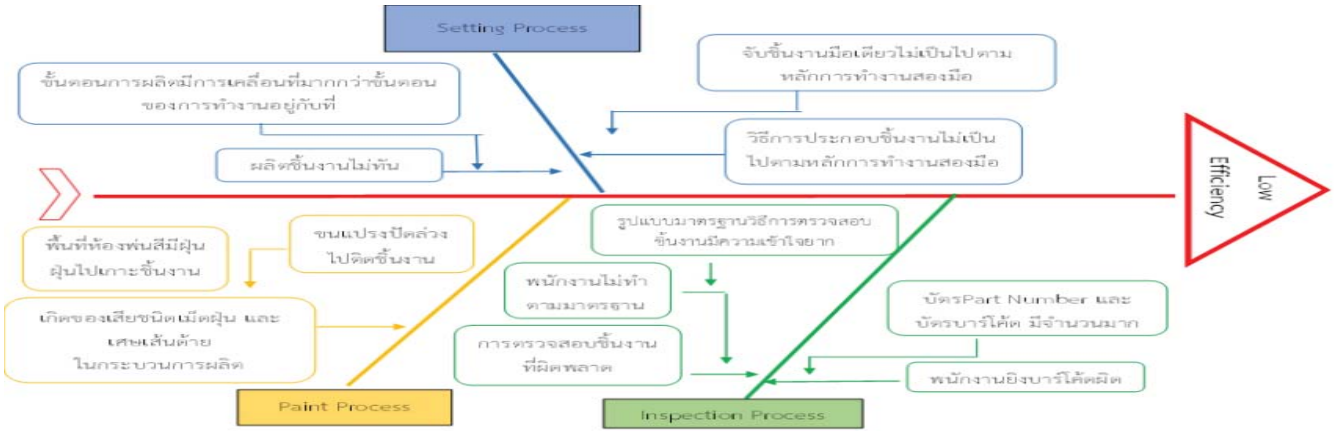
เกิดปัญหาจากความสูญเปล่าของกระบวนการผลิตเนื่องจากขั้นตอนการผลิตมีการเคลื่อนที่มากกว่าขั้นตอนการทำงานอยู่กับที่ จึงทำให้ไม่สามารถผลิตชิ้นงานส่งให้ กระบวนการถัดไปได้ทัน และ วิธีการประกอบชิ้นงานบางกลุ่มที่ไม่เป็นไปตามหลักการทำงานสองมือ

3.4.2 กระบวนการพ่นสี

เกิดปัญหาจากความสูญเปล่าของกระบวนการผลิตเนื่องจากมีการผลิตของเสียชนิดเม็ดฝุ่น เกิดจาก พื้นที่ทำงานมีฝุ่นทำให้ฝุ่นไปติดที่ชิ้นงานในระหว่างที่เครื่องพ่นสีกำลังทำงาน ทำให้เครื่องพ่นสีพ่นสีทับเศษฝุ่น และ ของเสียชนิดเศษเส้นด้าย เกิดจาก ขนแปรงปัดล่วงบนพื้นและลอยไปติดชิ้นงานในระหว่างที่เครื่องพ่นสีกำลังทำงาน

3.4.3 กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน

เกิดปัญหาจากพนักงานตรวจสอบชิ้นงานผิดพลาดจึงทำให้ชิ้นงานที่มีลักษณะผิดปกติหลุดไปยังไลน์การผลิตถัดไป เนื่องจากพนักงานไม่ทำตามมาตรฐานวิธีการตรวจสอบชิ้นงาน เพราะมาตรฐานเข้าใจยาก และปัญหาจากการสแกนบาร์โค้ดผิด เนื่องจากจำนวนของบัตร Part Number และ บัตรบาร์โค้ดมีจำนวนมาก



รูปที่ 8 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

3.5 การเสนอแนวทางการแก้ปัญหา

ในขั้นตอนเสนอแนวทางการแก้ปัญหานี้ ได้ใช้หลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการคิดมาตรการในการแก้ปัญหาการผลิตที่มีประสิทธิภาพต่ำ โดยมีการเสนอแนวทางในการแก้ไขดังนี้

3.5.1 กระบวนการเตรียมชิ้นงาน

เกิดปัญหาจากความสูญเปล่าของกระบวนการผลิต เนื่องจากมีขั้นตอนการผลิตมีการเคลื่อนที่มากกว่าขั้นตอนการทำงาน ผู้ศึกษาจึงเสนอแนวทางการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน ซึ่งขั้นตอนการทำงานในกระบวนการเตรียมชิ้นงานใหม่ โดยมีขั้นตอนการทำงานใหม่คือ 1) ให้พนักงาน 3 คนจาก 4 คน ดำเนินการทำงานขั้นตอนการประกอบชิ้นงาน เพียงขั้นตอนเดียว, 2) มอบหมายงานให้พนักงานคนที่ 4 ดำเนินการทำงานตั้งแต่ขั้นตอนของการเคลื่อนย้าย ประกอบชิ้นงาน จนเอางานที่ประกอบเสร็จไปส่งยันกระบวนการถัดไป โดยจะมีการเตรียมถาดใส่ชิ้นงานและชิ้นงานให้กับพนักงานอีก 3 คน ในคราวเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการแนะนำวิธีการทำงานให้เป็นไปตามหลักการทำงานสองมือ และจัดทำเป็นมาตรฐาน

3.5.2 กระบวนการพ่นสี

เกิดปัญหาจากความสูญเปล่าของกระบวนการผลิต เนื่องจากมีการผลิตของเสีย จากข้อมูลพบว่าของเสียลักษณะเม็ดฝุ่น และของเสียลักษณะเศษเส้นด้าย มีจำนวนมาก ผู้ศึกษาจึงได้ทำการเสนอแนวทางโดยการจัดทำ 5 ส. บริเวณพื้นของห้องพ่นสี และจัดทำเอกสารทำความสะอาดประจำวัน

3.5.3 กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน

เกิดปัญหาจากพนักงานสแกนบาร์โค้ดผิดรุ่น เนื่องจาก บัตรบาร์โค้ดและบัตร Part Number มีจำนวนมาก และรูปแบบเดิมพนักงานก็เขียนไม่เรียบร้อย ผู้ศึกษาจึงได้เสนอแนวทางโดยการออกแบบรูปแบบบัตรใหม่ โดยทำบาร์โค้ดให้ไปอยู่ในบัตร Part Number เพื่อที่พนักงานจะได้สแกนบัตรได้ถูกต้อง และ ปัญหาพนักงานตรวจสอบชิ้นงานผิดพลาดจึงทำให้ชิ้นงานที่มีลักษณะผิดปกติหลุดไปยังไลน์การผลิตถัดไป เนื่องจากพนักงานไม่ทำตามมาตรฐานวิธีการตรวจสอบชิ้นงาน เพราะเข้าใจยาก ผู้ศึกษาจึงได้เสนอแนวทางการปรับปรุงมาตรฐานให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น โดยการมีวิธีมาตรฐานเฉพาะของแต่ละโมเดล

4. ผลการดำเนินการศึกษา

หลังจากทำการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงานและเสนอแนวทางการปรับปรุงวิธีการทำงานให้เป็นไปตามหลักการทำงานสองมือแล้วจะทำการจับเวลา หลังจากที่ทำการปรับปรุงวิธีการ ดังตัวอย่างเวลาในตารางที่ 1 จากตารางแสดงรอบเวลากระบวนการเตรียมชิ้นงาน กลุ่ม A หลังทำการปรับเปลี่ยนขั้นตอนวิธีการทำงานแบบใหม่โดยมอบหมายงานแบบเฉพาะเจาะจง และ ปรับปรุงวิธีการทำงานให้เป็นไปตามหลักการทำงานสองมือ โดยรอบการทำงานของ พนักงานที่ 1-3 ซึ่งเหลือขั้นตอนการทำงานเพียงขั้นตอนเดียว มีรอบเวลาการทำงานเฉลี่ยประมาณ 413 วินาที และ พนักงานที่ 4 ซึ่งได้รับมอบหมายหน้าที่รับผิดชอบกิจการ การเคลื่อนย้ายทั้งหมด มีรอบเวลาการทำงานเฉลี่ยประมาณ 560 วินาที

และหลังจากปรับเปลี่ยนขั้นตอนกระบวนการทำงานโดยมีการมอบหมายงานให้ผู้ปฏิบัติงานใหม่แบบเฉพาะเจาะจงของกระบวนการเตรียมชิ้นงาน โดยพนักงานมีพนักงานทั้งหมด 4 คน ได้ทำการมอบหมายงานแบบเฉพาะเจาะจงให้พนักงาน 1 คนจาก 4 คน มีหน้าที่รับผิดชอบงานที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ทั้งหมด พบว่า พนักงาน 3 คน มีขั้นตอนการทำงาน ลดลงจาก 5 ขั้นตอนเหลือเพียง 1 ขั้นตอน และจากการดำเนินการปรับเปลี่ยนขั้นตอนกระบวนการทำงาน โดยผู้ปฏิบัติงานมีส่วนร่วม พบว่า ชิ้นงานกลุ่ม A, B, C, D และ E มีประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 50, 40, 60, 50 และ 36 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยมีประสิทธิภาพการผลิตรวมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 47 หรือคิดเป็นเป็นมูลค่าการผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 1,343,628 บาทต่อปี

ตารางที่ 1 รอบเวลาการประกอบชิ้นงานโมเดล XX1 หลังการปรับปรุง

กลุ่ม A						
ลำดับที่	ขั้นตอน	สัญลักษณ์	พนักงาน1 เวลา (วินาที)	พนักงาน2 เวลา (วินาที)	พนักงาน3 เวลา (วินาที)	พนักงาน4 เวลา (วินาที)
1	เดินไปเตรียมถาด (Pallet Jig)	➡	0	0	0	60
2	เดินไปเตรียมชิ้นงาน (Raw Knob)	➡	0	0	0	25
3	กระบวนการประกอบชิ้นงาน แบ่งออกเป็น 1) ยกถาด ขึ้นโต๊ะ, 2) ยกชิ้นงานขึ้นโต๊ะ, 3) ประกอบชิ้นงานกับถาด, 4) ยกชิ้นงานที่ประกอบเสร็จลงกล่อง, 5) เขียนฉลาก และ ติดกล่อง, 6) ยกกล่องลงจากโต๊ะ	●	413	411	417	420
4	เอากล่องเปล่าไปเก็บ	➡	0	0	0	30
5	เข็นงานที่ประกอบเสร็จไปยัง พื้นที่ถัดไป	➡	0	0	0	25
	รวม		413	411	417	560

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการเตรียมชิ้นงาน

กลุ่ม	ก่อนปรับปรุง (ชิ้น/ชั่วโมง/คน)	หลังปรับปรุง (ชิ้น/ชั่วโมง/คน)	ประสิทธิภาพการผลิต (ร้อยละ)
A	432.00	649.00	50.23
B	720.00	1009.00	40.14
C	540.00	865.00	60.19
D	864.00	1297.00	50.12
E	954.00	1298.00	36.06
เฉลี่ย			47.35

นอกจากนี้ ผู้ศึกษายังได้มีการเสนอแนวทางการจัดทำ 5 ส. บริเวณห้องพ่นสี, การปรับปรุงมาตรฐานวิธีการตรวจสอบชิ้นงาน เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต รวมไปถึงการออกแบบ รูปแบบบัตร Part Number แบบใหม่เพื่อให้พนักงานทำงานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น และสามารถประหยัดพื้นที่จัดเก็บได้อีกด้วย และจากแบบสอบถามความพึงพอใจในวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต พบว่า พนักงานมีความพึงพอใจในวิธีการปรับปรุงที่นำเสนอ มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ที่ระดับคะแนนเฉลี่ย 4.82 คะแนน

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษากระบวนการผลิตในบริษัทกรณีศึกษา พบว่า 1) กระบวนการเตรียมชิ้นงาน (setting) ซึ่งเป็นกระบวนการขั้นต้นเกิดความสูญเปล่าจากการเคลื่อนที่ในขั้นตอนการทำงาน, 2) กระบวนการพ่นสี (paint) เกิดความสูญเปล่าจากการผลิตของเสียในกระบวนการ, 3) กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน (inspection) เกิดความสูญเปล่าจากการที่พนักงานทำงานผิดพลาด ซึ่งผู้ศึกษาได้นำหลัก ECRS มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานในกระบวนการเตรียมชิ้นงาน โดยการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานให้เป็นไปตามหลักการทำงานสองมือและปรับเปลี่ยนขั้นตอนกระบวนการทำงานโดยมีการมอบหมายงานให้ผู้ปฏิบัติงานใหม่แบบเฉพาะเจาะจงเพื่อลดความสูญเปล่าจากการเคลื่อนที่ จากการดำเนินการปรับเปลี่ยนขั้นตอนกระบวนการทำงาน พบว่า กระบวนการเตรียมชิ้นงาน ชิ้นงานโมเดล XX1 สามารถผลิตชิ้นงานได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ 47 หรือคิดเป็นมูลค่าการผลิตที่เพิ่มขึ้น 1,343,628 บาทต่อปี นอกจากนี้ยังสามารถนำวิธีดังกล่าวไปใช้ในการเตรียมชิ้นงานในโมเดลอื่นๆ ได้อีกด้วย โดยวิธีการปรับปรุงที่นำเสนอ ได้รับความพึงพอใจจากพนักงานในระดับความพึงพอใจมากที่สุด ที่ระดับคะแนนเฉลี่ย 4.82 คะแนน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาและเจ้าหน้าที่ พนักงานทุกท่าน และพนักงานที่ปรึกษา ที่คอยให้การดูแลและให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดจนการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมการค้า ระหว่างประเทศ. Factsheet สินค้าชิ้นส่วนยานยนต์และอุปกรณ์ ข้อมูลจาก https://ditp.go.th/ditp_web61/arti (วันที่สืบค้นข้อมูล18 เมษายน 2565)

[2] สุวัชร์ ศุภกาญจน์เดชากุล. สมาคมอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ระบุตลาดรถปี 2565 มีทั้งปัจจัยบวกและปัจจัยลบ ข้อมูลจาก https://www.autospinn.com/2022/03/the-thai-automotive-industry-association-taia- (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 เมษายน 2565)

[3] ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์, ผกามาศ ได้เลิศ และ ธณัฏฐ์ยศ สมใจ. การเพิ่มผลผลิตภัณฑ์แป้งสุนัขและแมว บริษัทกรณีศึกษา Increasing Productivity of Chaingard Powder Product Case Study Company, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่39 ประจำปี 2564, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 5-7 พฤษภาคม 2564.

[4] อาทิมา ทับอรุณ และ พิเชฐ พุ่มเกสร. การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต กรณีศึกษา ผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงชนิดสเปรย์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 39 ประจำปี 2564, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 5-7 พฤษภาคม 2564.

[5] สถิตเทพ สังข์ทอง, สัณห์ รัฐวิบูลย์, ประพัฒน์ สีใส และวันชัย ริจิรวนิช. การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตเค้กชิ้นสามเหลี่ยมด้วยเทคนิค ECRS, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมครั้ง ที่39 ประจำปี 2564, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 5-7 พฤษภาคม 2564.

โปรแกรมจำลองกราฟฟิก 3 มิติเพื่อการประเมินท่าทาง

3D human graphic illustrations program for postural assessment

ธนกาณ จิรธนกุล[1] ธนพร ขนานแก้ว[1] หฤทัย โลหะศิริวัฒน์[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: haruetai.l@chula.ac.th*

Tanakan Chirathanagul[1], Thanaporn Kanankaew[1], Haruetai Lohasiriwat[1*]
[1] Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: haruetai.l@chula.ac.th*

บทคัดย่อ

การประเมินภาระงานทางกายตามหลักการยศาสตร์วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การประเมินท่าทางขณะทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งผู้ประเมินต้องทำการพิจารณาค่ามุม (องศา) ของข้อต่อหลักต่างๆ อาทิ ไหล่ ข้อศอก หลัง คอ เข่า เพื่อพิจารณาว่ามีท่าทางของร่างกายอยู่ในช่วงที่เป็นปกติ หรือเบี่ยงออกนอกช่วงปกติ ซึ่งความแม่นยำในการประเมินจะส่งผลต่อความถูกต้องของผลการประเมินความเสี่ยงในภาพรวม ในปัจจุบัน จึงมีการนำเอาเทคโนโลยีการตรวจจับรูปแบบต่างๆ เช่น อุปกรณ์วัดพิสัยการเคลื่อนไหว และระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ เข้ามาประยุกต์ใช้ในการประเมินท่าทางการทำงานได้อย่างแม่นยำ ซึ่งระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการลงทุนอุปกรณ์เฉพาะทาง และผู้ประเมินต้องมีความเชี่ยวชาญในการใช้งานอุปกรณ์ ในอีกแนวทางหนึ่ง การประเมินค่ามุมข้อต่อจากภาพถ่ายหรือภาววิดีทัศน์ เช่น โปรแกรม Kinovea ที่ทำได้โดยสะดวกไม่ซับซ้อน ไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม มักจะประสบปัญหาความคลาดเคลื่อนของค่ามุมที่ประเมินอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของมุมมองแบบ 2 มิติ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาโปรแกรมประเมินท่าทางด้วยหุ่นจำลองกราฟฟิก 3 มิติ ที่อาศัยข้อมูลนำเข้า คือ ภาพถ่ายผู้ปฏิบัติงานแบบ 2 มิติ จากนั้นผู้ใช้งานโปรแกรมจะสามารถปรับท่าทางของหุ่นจำลองให้ตรงกับท่าทางของภาพ 2 มิติผ่านการหมุนภาพ และปรับมุมมองได้อย่างอิสระ ด้วยการวางภาพแบบซ้อนทับกันเพื่อให้การปรับท่าทางของหุ่นจำลองได้ตามภาพต้นแบบ จากการทดสอบกับอาสาสมัคร 70 คน พบว่า ในภาพรวม การประเมินค่ามุมองศาของข้อต่อด้วยวิธีหุ่นจำลอง 3 มิติ มีความถูกต้องมากกว่าโปรแกรม Kinovea (p-value = 0.060)
คาสาคัญ: การประเมินท่าทาง, ท่าทางผิดปกติ, พิสัยการเคลื่อนไหว, แบบประเมิน RULA REBA,

Abstract

One widely used ergonomic assessment method is the evaluation of the working posture. When assessing, the angles (in degrees) of the joints such as shoulders, elbows, back, neck, and knees are used to determine whether the posture is within normal range. The accuracy of the overall risk assessment is therefore affected by the accuracy of the joints' angles estimation. Currently, measurement techniques such as electro-goniometer and 3D motion analysis system are commonly utilized to track joint movement with high accuracy, but these systems require specialized equipment and proficiency to operate. Alternatively, program such as Kinovea can be used for assessment of photographs and video with more convenience and without additional cost. However, this later method is prone to error due to the limitations of 2 dimensional perspective. This project aims to develop a program for assessing joint angles using a 3D human graphic model by allowing user to adjust the model's posture according to the posture shown in photograph. Results from the program testing with seventy volunteers show that the measurement of joint angles using our 3D graphic model results in lower postural error compared to those acquired with Kinovea (p-value = 0.060).
Keywords: Postural assessment, Awkward posture, Range of motion, RULA, REBA

1. บทนำ

ในการออกแบบการทำงาน เป็นที่ทราบกันดีว่าท่าทางการทำงานที่ผิดปกติ (awkward posture) หรือไม่เหมาะสมนั้นเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง เพราะจะส่งผลต่อการเกิดความเมื่อยล้า ความไม่สะดวกในการทำงาน อาจเกิดอาการบาดเจ็บ เจ็บปวดบริเวณต่างๆ ของร่างกาย จนเกิดเป็นปัญหาสุขภาพในระยะยาวได้ [1] ดังนั้น นักการยศาสตร์จึงมีการนำเสนอวิธีการประเมินท่าทางขึ้นมากมายหลายรูปแบบ โดยมักจะประเมินจากท่าทางองศาของข้อต่อต่างๆ ว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน หรืออยู่ในพิสัยการทำงานตามปกติหรือไม่ เช่น การกดข้อมือลง (wrist flexion) หรือการงอข้อมือขึ้น (wrist extension) ไม่ควรเกิน 15 องศา วัดจากแนวข้อมือตรง หรือการก้มตัวลงด้านหน้าไม่ควรเกิน 30 องศาวัดจากแนวดิ่ง เป็นต้น [2] ดังนั้น เพื่อประโยชน์ในการประเมินท่าทางขณะปฏิบัติงาน เทียบกับเกณฑ์แนะนำต่างๆ เหล่านี้ จึงมีการนำเสนอวิธีตรวจวัดท่าทางของข้อต่อด้วยวิธีต่างๆ แบ่งเป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ (1) วิธีประเมินหน้างานโดยการสังเกตงานจากผู้ประเมินเอง (2) การประเมินจากภาพถ่าย หรือภาพวิดีทัศน์ และใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วย เช่น โปรแกรม Kinovea (3) การวัดท่าทางข้อต่อต่างๆ ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดโดยตรง อาทิ อุปกรณ์วัดพิสัยการเคลื่อนไหว (goniometer) หรือระบบตรวจจัดการเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ (4) การประเมินตนเองโดยผู้ปฏิบัติงาน ด้วยวิธีสัมภาษณ์หรือตอบแบบสอบถาม ซึ่งแต่ละกลุ่มวิธีจะมีข้อดี-ข้อเสีย ความแม่นยำของผลการประเมิน และงบประมาณลงทุนที่แตกต่างกันไป [3]

โดยทั่วไป วิธีประเมินหน้างานด้วยการสังเกตแม้จะเป็นวิธีที่สะดวกในทางปฏิบัติ แต่ยังถือว่ามีความแม่นยำน้อย และมีความแตกต่างระหว่างผลการประเมินของผู้ประเมินแต่ละคนอยู่มาก อีกทั้งยังไม่เหมาะกับลักษณะงานที่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางบ่อย เพราะจะสังเกตได้ยากเนื่องจากไม่สามารถติดตามลักษณะท่าทางได้ครบถ้วน [4] ส่วนการประเมินโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ท่าทางจากภาพที่บันทึกมาก่อนล่วงหน้า จะได้ประโยชน์ในเรื่องของการสุ่มภาพตามเวลาที่ต้องการได้ แต่มักประสบปัญหาเกี่ยวกับมุมกล้องที่อาจถูกบังเมื่อผู้ปฏิบัติงานมีการเคลื่อนไหวร่างกายไปมา โดยเฉพาะรยางค์ส่วนบนที่มักมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอด [5] เนื่องจากกล้องบันทึกภาพจะถูกตั้งไว้แบบนิ่งจากมุมใดมุมหนึ่ง ส่วนการประเมินด้วยการตรวจวัดจากอุปกรณ์โดยตรงแม้จะมีข้อดีในเรื่องความแม่นยำ [6 – 7] แต่มักมีต้นทุนด้านอุปกรณ์มาก การใช้งานระบบและอุปกรณ์เหล่านี้ต้องการความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง และถึงแม้จะเป็นผู้เชี่ยวชาญ ก็ยังใช้เวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลนาน เนื่องจากระบบมักตรวจจับข้อมูลปริมาณมาก อีกทั้งการใช้อุปกรณ์เหล่านี้ยังมักจำกัดการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการเป็นหลัก ท้ายที่สุด วิธีการประเมินด้วยตัวผู้ปฏิบัติงานเอง ซึ่งความแม่นยำในการให้ข้อมูลอาจจะยังเป็นปัญหาอยู่ แต่โดยทั่วไปก็ถือได้ว่ามีความน่าเชื่อถือ โดยเฉพาะหากผู้ปฏิบัติงานแจ้งว่า มีปัญหาในท่าทางการทำงานที่ไม่สะดวก หรือปวดเมื่อย ก็มักจะมีปัญหาอยู่ในความจริง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงาน มักจะไม่เพียงพอที่จะใช้เพื่อการออกแบบงานหรือปรับปรุงงานในลำดับต่อไป เพราะ จะไม่มีค่าท่าทางหรือองศาของข้อต่อที่สนใจจะแก้ไขที่ชัดเจน

ในประเทศไทย วิธีการสังเกตงาน และการบันทึกภาพเพื่อมาประเมินท่าทางในคอมพิวเตอร์ เป็นแนวทางที่มีการนำมาใช้ในสถานประกอบการจริงค่อนข้างมาก โดยมักจะอ้างอิงค่าปกติหรือข้อแนะนำการออกแบบตามแบบประเมินมาตรฐานที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย อาทิ RULA [8], REBA [9], OWAS [10], PLIBEL [11], QEC [12] ซึ่งไม่นานมานี้ ทางสถาบันส่งเสริมความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (สสปท.) ได้ทำการออกมาตรฐานการประเมินความเสี่ยงจากท่าทางการปฏิบัติงานในลักษณะสถิตขึ้น [13] โดยได้ให้รายละเอียดการวัดค่ามุมข้อต่อ และจุดอ้างอิงบนร่างกายที่เกี่ยวข้องไว้อย่างชัดเจน ซึ่งจะช่วยให้การประเมินมีความแม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดจากการวิเคราะห์ท่าทางผ่านภาพที่บันทึกไว้ก็ยังคงมีอยู่โดยเฉพาะเรื่องของมุมมองภาพถ่ายดังที่กล่าวมากแล้ว จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมช่วยเหลือสำหรับการประเมินท่าทางผ่านแบบจำลองกราฟฟิก 3 มิติขึ้น โดยเฉพาะ เมื่อปัจจุบันยังคงพบว่า ถึงแม้การประเมินท่าทางจากภาพถ่ายจะมีมาแล้วเป็นเวลานาน แต่ก็ยังมีแนวโน้มถูกนำมาใช้เพิ่มขึ้นทั้งในกลุ่มนักการยศาสตร์ และนักออกแบบงาน [14]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

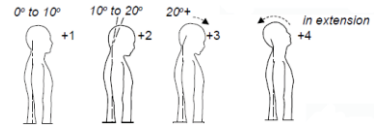
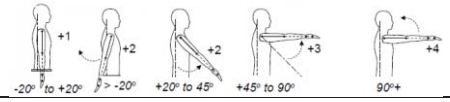
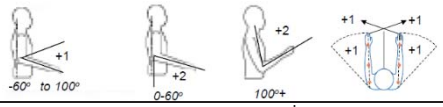
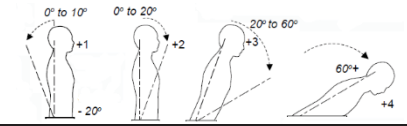
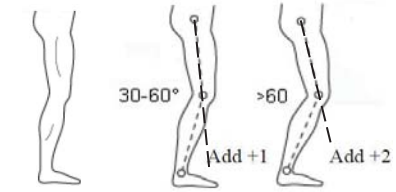
2.1 ท่าทางของข้อต่อ

ท่าทางของข้อต่อ หมายถึง องศาที่เบี่ยงไปจากแนวแกนอ้างอิงของข้อต่อที่กำลังพิจารณา (เรียกว่า ท่าที่ 0 องศา) โดยวัดค่ามุมระหว่างแกนส่วนของร่างกายที่อยู่นิ่ง และแกนที่เคลื่อนไหว ใช้บ่งบอกความผิดปกติของท่าทางการทำงานได้ การบอกท่าทางของข้อต่อจำเป็นต้องระบุค่าเริ่มต้นอ้างอิง และทิศทางของค่าองศาในทางบวกหรือลบให้ชัดเจน จึงจะทำให้เกิดการสื่อความถึงท่าทางขณะนั้นๆ ได้ตรงกัน สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ใช้ระบบเรียกท่าทางของข้อต่อตามแนวทางของ REBA/RULA โดยเลือกพิจารณาเฉพาะท่าทางตามที่ระบุรายละเอียดไว้ในตารางที่ 1 เพื่อการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น จากตารางจะเห็นได้ว่า ขอบเขตการประเมินจะอยู่ที่ 6 ข้อต่อหลัก และประเมินเฉพาะทิศทางของ flexion/extension หรือการเบี่ยงบนระนาบซ้าย-ขวา (sagittal plane) เป็นหลัก โดยยังไม่สนใจองศาที่เบี่ยงไปเนื่องจากการหมุน (rotation) เช่น การพลิกมือคว่ำ หรือหงาย การหมุนคอ และการเบี่ยงบนระนาบหน้า-หลัง (frontal plane) เช่น การกางเข้า กางออกของไหล่ หรือการเอียงซ้าย-ขวา ของข้อมือ

นอกจากนี้ การประเมินท่าทางขอข้อต่อ จะพิจารณาข้อต่อในลักษณะ “ภาพนิ่ง” กล่าวคือ ไม่สนใจทิศทางการเคลื่อนไหว เช่น การก้มลำตัวมาทางด้านหน้าที่ทำมุม 20 องศาจากแนวดิ่ง ไม่ว่าจะเกิดจากการเคลื่อนไหวในทิศทาง trunk flexion หรือ trunk extension ก็จะถือว่ามีค่าองศาท่าทางเดียวกัน สำหรับการพิจารณารูปแบบการเคลื่อนไหวที่ครบถ้วน สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก ISO7250-1 [15]

ซึ่งแบ่งท่าทางการเคลื่อนไหวของ 9 ข้อต่อหลักของร่างกาย ได้แก่ คอ ไหล่ ข้อศอก ข้อมือ สะโพก เข่า ข้อเท้า นิ้วมือ หลัง เป็น 51 รูปแบบ

ตารางที่ 1: คำอธิบายค่าองศาท่าทางของข้อต่อที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ข้อต่อ	คำอธิบายท่าทางของข้อต่อ
คอ	ท่า 0 องศา คือ คอตั้งตรงในแนวเดียวกับลำตัว การก้มมีค่า + การเงยมีค่า - 
ไหล่	ท่า 0 องศา คือ แขนท่อนบนอยู่แนวเดียวกับลำตัว การแกว่งมาด้านหน้ามีค่า + ไปด้านหลังมีค่า - 
ข้อศอก	ท่า 0 องศา คือ แขนท่อนล่างอยู่แนวเดียวกับแขนท่อนบน การแกว่งมาด้านหน้ามีค่า + 
หลัง	ท่า 0 องศา คือ ลำตัวอยู่ในแนวดิ่ง การก้มตัวลงมีค่า + การหงายไปด้านหลังมีค่า - 
เข่า	ท่า 0 องศา คือ ขาท่อนบนและท่อนล่างอยู่แนวเดียวกัน การงอเข่ามีค่า + 

2.2 แบบประเมิน RULA/REBA

แบบประเมิน RULA/REBA ถูกพัฒนาขึ้นโดยนักการยศาสตร์จากมหาวิทยาลัยนอตติงแฮม ในสหราชอาณาจักร เพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงจากท่าทางการทำงานของผู้ปฏิบัติงานด้วยการให้คะแนนท่าทางของแต่ละข้อต่อจากผลการประมาณค่ามุมองศาท่าทางของข้อต่อนั้นๆ ซึ่ง RULA จะถูกออกแบบมาให้ใช้ประเมินงานที่ใช้รยางค์ส่วนบน (ไหล่ แขน และมือ) เป็นหลัก ส่วน REBA จะเป็นการใช้หลายส่วนของร่างกายในการปฏิบัติงาน ในทางปฏิบัติสามารถใช้แบบประเมินเป็นแนวทางประเมินหน้างานโดยตรง หรือประเมินจากภาพถ่ายก็ได้ ทั้งนี้ คะแนนที่ได้จากการประเมินท่าทางตามแนวทาง RULA/REBA จะเป็นระดับคะแนนแบ่งตามช่วงองศาท่าทางข้อต่อ ดังตัวอย่างในตารางที่ 1

คะแนนท่าทางรูปแบบนี้ จะบอกได้เพียงแต่ว่า ค่าคะแนนที่สูงขึ้นจะเป็นระดับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถนำค่าคะแนนมาบวกลบกันแบบพีชคณิต หรือหาค่าเฉลี่ยคะแนนท่าทางได้ ผลการประเมินจะสรุปความเสี่ยงของท่าทางได้เท่าไหร่นั้น ท้ายที่สุด จะต้องนำคะแนนของข้อต่อต่างๆ ไปเปิดค่าจากตารางคะแนนตามแนวทาง RULA/REBA เป็นลำดับขั้นต่อๆ ไป ดังนั้น ค่าคะแนนของแต่ละข้อต่อจึงส่งผลต่อคะแนนประเมินท้ายสุดโดยตรง ซึ่งนับเป็นปัญหาหลักอย่างหนึ่งของการประเมินตามแนวทางนี้ โดยเฉพาะ หากท่าทางอยู่ในช่วงใกล้กับขอบของโซนคะแนน เช่น ก้มคอที่ 9 องศา การจะถูกประเมินคะแนนคอเป็น +1 หรือ +2 ย่อมส่งผลต่อระดับความเสี่ยงที่จะสรุปได้ ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้พบว่า แนวโน้มความผิดพลาดในการประเมินองศาท่าทางข้อต่อจากวิธีการสังเกตตามแนวทาง RULA จะพบมากที่บริเวณขอบของโซนคะแนน [16] และสำหรับ REBA พบว่า ข้อต่อที่ส่งผลต่อคะแนนสรุปของท่าทางทั้งหมด เรียงลำดับจากส่งผลมากที่สุดไปน้อยที่สุด ได้แก่ เข่า ลำตัว คอ แขนท่อนบน แขนท่อนล่าง และข้อมือ ตามลำดับ [17] ในปัจจุบันได้มีการนำเสนอระบบการให้คะแนนท่าทางข้อต่อที่ละเอียดมากขึ้นกว่าการแบ่งโซนคะแนนตามเดิม เพื่อให้เกิดความไวในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงขององศาท่าทางมากขึ้น โดยการประยุกต์ใช้แนวคิดของชุดฟัซซี่ (Fuzzy sets) [18]

2.3 วิธีการประเมินท่าทางของข้อต่อ

2.3.1 โปรแกรม Kinovea

Kinovea เป็นโปรแกรมที่มีความสะดวก ใช้งานง่าย และมีการใช้อย่างแพร่ สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ www.kinovea.org โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ขั้นตอนการใช้งาน เริ่มจากผู้ประเมินทำการเปิดไฟล์รูปภาพที่ต้องการตรวจวัดค่ามุม จากนั้น ทำการกำหนดจุดอ้างอิงตามตำแหน่งข้อต่อที่สนใจ ซึ่งโปรแกรมจะสามารถอ่านค่าพิกัดบนระนาบ 2 มิติ (x, y) ของจุดเหล่านั้นในหน่วย pixel ได้โดยอัตโนมัติ ในขั้นตอนกำหนดจุดอ้างอิงนี้ ความเข้าใจเกี่ยวกับตำแหน่ง landmark ของมนุษย์จะช่วยให้การกำหนดจุดอ้างอิงเหล่านี้เหมาะสม และหากผู้ประเมินต้องการทราบค่าระยะหรือความยาวส่วนต่างๆ ของร่างกาย ก็จำเป็นต้องถ่ายภาพให้มีสิ่งอ้างอิงขนาด เช่น อาจจัดวางไม้เมตรไว้บนระนาบเดียวกับผู้ปฏิบัติงาน เพื่อใช้ในการมาตราส่วนจากค่า pixel บนคอมพิวเตอร์ได้ สำหรับการวัดมุม ผู้ประเมินสามารถเลือกอุปกรณ์วัดมุมแบบ goniometer (วัดเทียบกับแนวแกนอิสระตามแต่ผู้ประเมินจะจัดวาง) แบบวัดเทียบกับแนวดิ่ง และแบบวัดเทียบกับแนวระดับ

2.3.2 ระบบติดตามการเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ

ระบบติดตามการเคลื่อนไหวด้วยกล้องความเร็วสูง เช่น ระบบ Optitrack และ Motive System ทำให้ผู้ประเมินสามารถติดตามการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่างๆ ตลอดเวลาการประเมินได้ โดยระบบจะตรวจจับบอลวาล์วแสง (markers) ที่ถูกติดไว้บนตัวผู้ปฏิบัติงาน ถือเป็นระบบที่มีความแม่นยำสูง สามารถแก้ปัญหาการบดบังของอวัยวะส่วนต่างๆ ได้ดี โดยใช้กล้องความเร็วสูงตั้งแต่ 6 ตัวขึ้นไป ข้อมูลที่ระบบ

ส่งออกมาได้จะเป็นค่าพิกัด (x, y, z) ของบอลวาล์วแสงทั้งหมด ซึ่งหากต้องการทราบค่ามุม เพื่อประเมินท่าทางว่าผิดปกติหรือไม่ ก็จำเป็นที่จะต้องนำพิกัดเหล่านั้นไปคำนวณต่อ ซึ่งต้องอาศัยเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลค่อนข้างมาก ระบบลักษณะนี้จะมีค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ค่อนข้างสูง ในปัจจุบันจึงมีการนำอุปกรณ์ตรวจติดตามที่ใช้ในงานทั่วไปอื่นๆ และมีราคาต่ำกว่ามาประยุกต์ใช้ ได้แก่ Microsoft Kinect พบว่ามีความแม่นยำในการประมาณค่ามุมเทียบเคียงได้กับระบบ Optitrack [19]

3. วิธีดำเนินงาน

3.1 การออกแบบโปรแกรมหุ่นจำลอง 3 มิติ

3.1.1 แนวคิดการออกแบบ (conceptual design)

เป้าหมายการออกแบบ คือ จัดทำโปรแกรมที่สร้างโมเดลรูปคนรูปแบบ 3 มิติ ที่ผู้ใช้งานสามารถจัดท่าทางข้อต่อต่างๆ ของโมเดลได้ตามอิสระ โดยการเปรียบเทียบท่าทางกับภาพถ่ายที่บันทึกไว้ล่วงหน้าในลักษณะการซ้อนภาพ โดยโมเดล 3 มิติจะสามารถหมุนได้โดยรอบเพื่อให้เห็นลักษณะมุมมองได้สะดวก ผู้ใช้งานจะเป็นผู้จัดท่าทางให้ตรงกับท่าทางที่ต้องการประเมิน เมื่อจัดท่าทางเสร็จสิ้น โปรแกรมจะบันทึกค่ามุมแสดงท่าทางของข้อต่อต่างๆ และให้ผลประเมิน RULA/REBA

3.1.2 การพัฒนาโปรแกรม (program development)

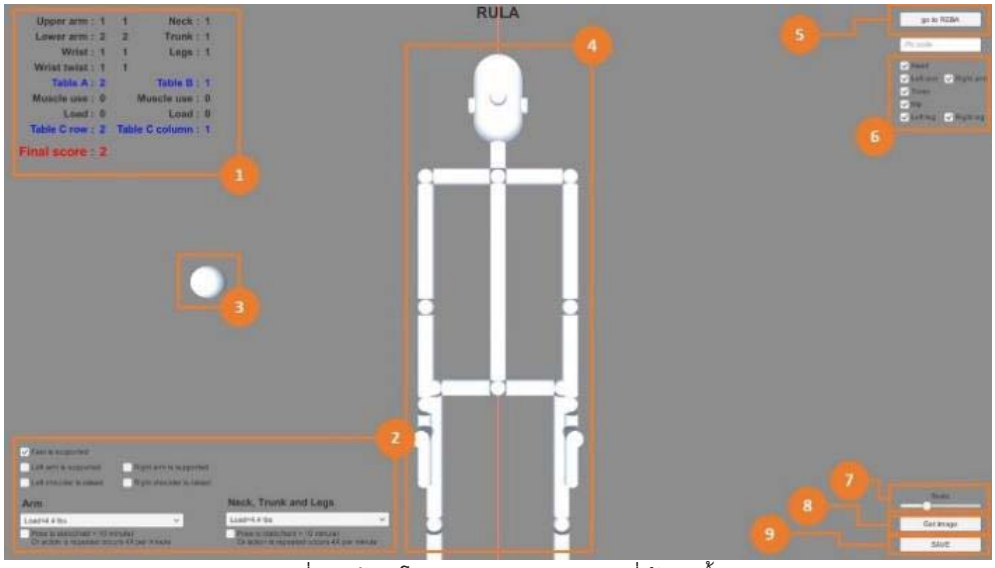
ทางกลุ่มผู้วิจัยใช้โปรแกรม unity ในการพัฒนาโปรแกรมหุ่นจำลอง 3 มิติ โดยเริ่มจากการสร้างโมเดล 3 มิติ จาก Object รูปทรงต่างๆ มาประกอบกันเป็นรูปร่างหุ่น ขนาดสัดส่วนร่างกายของหุ่นใช้อัตราส่วนเทียบกับความสูงบุคคล [20] ใช้ระบบ Parent-Child ของ Object ในการเชื่อมชิ้นส่วนเข้าด้วยกันและสามารถหมุนรอบแต่ละข้อต่อได้ สร้างระบบสำหรับรับ Input การควบคุม Object เพื่อปรับท่าทาง โดยคลิกเม้าส์เลือกข้อต่อที่ต้องการควบคุม และสั่งการทิศทางการหมุนโดยใช้ Input ผ่านคีย์บอร์ดซึ่งส่วนต่างๆ ของหุ่นสามารถหมุนได้ทุกทิศทาง

การอ่านค่ามุมข้อต่อ ทำการสร้างระบบสำหรับตรวจจับค่ามุมและประเมินคะแนนของแต่ละข้อต่อทำโดยการเขียน Script สำหรับวัดค่าระยะห่างระหว่าง 2 ข้อต่อตามแนวแกนสัมพัทธ์กับข้อต่อที่เป็นแกนอ้างอิง จากนั้น ใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติในการคำนวนหาค่ามุมของข้อต่อ ค่ามุมที่บันทึกได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การแบ่งโซนคะแนนของแบบประเมิน RULA หรือ REBA ต่อไป

เมื่อสร้างระบบการทำงานหลักแล้ว จึงพัฒนา User Interface สำหรับควบคุมการทำงาน และฟังก์ชันเสริมเพื่อการใช้งาน ได้แก่ การเปิดไฟล์รูปภาพจากคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเป็นภาพพื้นหลังเพื่อใช้เปรียบเทียบท่าทางของภาพกับโมเดล 3 มิติ โดยสามารถเลื่อนตำแหน่งภาพ หมุนภาพ และ Zoom ภาพเข้าออกได้ การเลือกซ่อน segment แต่ละส่วนจากโมเดล 3 มิติ กรณีที่มีการบดบังกันเพื่อความรวดเร็วในการปรับท่าทางโดยไม่ต้องใช้ฟังก์ชั่นหมุนโมเดล การปรับท่าทางข้อต่อกับไปที่ค่า 0 องศาแบบรวดเร็วเพื่อความสะดวกในการแก้ไข

3.1.3 หน้าจอโปรแกรม

หน้าจอโปรแกรมหุ่นจำลอง 3 มิติ เป็นดังรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้ (1) แสดงผลของมุมแต่ละข้อต่อ คะแนน และคะแนนสุดท้ายที่บ่งบอกความเสี่ยงของท่าทาง (2) เลือกตัวแปรปัจจัยการใช้กล้ามเนื้อและปัจจัยด้านภาระงาน (3) จุดควบคุมการหมุนของหุ่นจำลอง เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการ สามารถใช้งานได้โดยการคลิกเมาส์บนทรงกลมนั้น เมื่อคลิกแล้วทรงกลมนั้นจะเปลี่ยนสี บ่งบอกว่าสามารถหมุนหุ่นจำลองได้ (4) หุ่นจำลอง 3 มิติ สำหรับการจัดท่าทางเพื่อประเมินความเสี่ยง ปุ่มเปลี่ยนโหมด RULA และ REBA (5) เลือกซ่อนหรือแสดง segment ของหุ่นจำลอง 3 มิติ ตามต้องการ (6) แถบเลื่อนสำหรับเปลี่ยนอัตราส่วนของรูป (ขนาดภาพ) ที่ใช้ประเมินซึ่งจะถูกวางไว้อยู่เบื้องหลังหุ่นจำลอง 3 มิติ (7) ปุ่มสำหรับอัปโหลดรูปภาพท่าทางที่ต้องการประเมิน (8) การปรับท่าทางของข้อต่อใดไปยังจุดเริ่มต้น (มีค่า = 0) (9) ปุ่มบันทึกข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ต่อไปในไฟล์สกุล .csv



รูปที่ 1 หน้าจอโปรแกรมหุ่นจำลอง 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

3.2 การทดสอบการใช้งานโปรแกรม

3.2.1 การออกแบบการทดลอง

การทดลองเป็นรูปแบบ 2 x 2 within subject design มีตัวแปรต้น คือ 2 วิธีการประเมิน (โปรแกรมหุ่นจำลอง 3 มิติ และ Kinovea) และ 2 มุมภาพถ่าย (ภาพที่ถ่ายตั้งฉากกับ sagittal plane เรียกว่า มุม 90° และเบี่ยงจาก sagittal plane เรียกว่า มุม 45°) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2

ตัวแปรตาม คือ ความผิดพลาดของการประมาณมุมข้อต่อ (องศา) เมื่อเทียบกับค่ามุมที่วัดได้จริงด้วยระบบ Optitrack โดยจะคิดเป็นค่าสัมบูรณ์ และรวมความผิดพลาดสะสมจากทุกข้อต่อด้วยกันทั้งหมด



รูปที่ 2 ภาพประเมินแบบมุม 45° (ซ้าย) และมุม 90° (ขวา)

3.2.2 การจัดทำชุดภาพทดสอบ

ขั้นตอนนี้เริ่มจาก การคัดเลือกท่าทางการทำงานเพื่อใช้ทดสอบจำนวน 10 ท่าทาง โดยพิจารณาระดับความเสี่ยงตามแบบประเมิน OWAS (ให้ครอบคลุมระดับความเสี่ยงตามความเสี่ยงที่ 1 – 4 แบ่งเป็นระดับ 1 – 2 ระดับละ 3 ภาพ และระดับ 3 – 4 ระดับละ 2 ภาพ) ท่าทั้ง 10 นี้ จะถูกนำไปจัดทำเป็นภาพถ่าย โดยให้บุคคลแสดงท่าทางที่คัดเลือกไว้ แล้วทำการถ่ายภาพจากมุม 90 องศา และ 45 องศา พร้อมกับบันทึกค่าพิกัดข้อต่อที่แท้จริงของท่าทางนั้นๆ ด้วยระบบตรวจจับการเคลื่อนไหว (Optitrack Motion Capture) ดังนั้น จะได้ภาพชุดทดสอบทั้งหมดจำนวน 20 ภาพที่แตกต่างกัน

3.2.3 การดำเนินการทดลอง

การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานโปรแกรม ทดสอบโดยอาสาสมัครระดับปริญญาบัณฑิต จำนวน 70 คน ซึ่งมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการประเมิน RULA/REBA มาก่อนแล้ว การทดสอบมีระยะดำเนินการในช่วง 25 มกราคม ถึง 15 กุมภาพันธ์ 2565 แบ่งเป็น

การฝึกฝนใช้โปรแกรม

อาสาสมัครทุกคนจะได้รับการชี้แจงวัตถุประสงค์การทดลอง ขั้นตอนการเก็บข้อมูล ระบบการวัดมุมของงานวิจัย (ตารางที่ 1) พร้อมทั้งอบรมวิธีการใช้โปรแกรม Kinovea และหุ่นจำลอง 3 มิติ ผ่านทางระบบ MS Teams ในลักษณะการอบรมพร้อมกันแบบห้องบรรยายออนไลน์ ซึ่งมีการบันทึกการอบรมไว้เพื่ออ้างอิงภายหลังได้ เมื่ออบรมเสร็จสิ้น อาสาสมัครจะได้ทดลองใช้งานโปรแกรมกับตัวอย่างภาพที่ได้จัดเตรียมไว้ และซักถามข้อสงสัย

การอบรมแบ่งเป็น 2 รอบ (25 และ 27 ม.ค.) อาสาสมัครที่เข้าร่วมการอบรมรอบที่ 1 มีทั้งสิ้น 30 คน และรอบที่ 2 มีทั้งสิ้น 40 คน รวมเป็น 70 คน เวลาทั้งหมดในส่วนนี้อยู่ที่ 2 ชั่วโมง/รอบ

การเก็บข้อมูลการทดลอง

เนื่องจากสถานการณ์โรคระบาดโควิด-19 การเก็บข้อมูลจึงกระทำแบบออนไลน์ ซึ่งจะไม่มีผู้ทำการทดลองช่วยเหลือแบบทันที แต่อาสาสมัครสามารถติดต่อสอบถามได้หากต้องการ ในระยะเก็บข้อมูลการทดลอง อาสาสมัครจะได้รับภาพแสดงท่าทางคนละ 4 ภาพ โดยเป็นภาพที่ถ่ายจากมุม 45° และ 90° อย่างละ 2 ภาพ ซึ่งแต่ละภาพจะถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าว่าให้ประเมินด้วยวิธี Kinovea หรือหุ่นจำลอง 3 มิติ โดยสรุป อาสาสมัครแต่ละคนจะประเมินด้วยโปรแกรม Kinovea 2 ครั้ง และโปรแกรมหุ่นจำลอง 3 มิติ 2 ครั้ง ตัวอย่างภาพหน้าจอที่ผู้ทดสอบประเมินเสร็จสิ้นจากโปรแกรมทั้งสอง เป็นดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างผลการประเมินท่าทางด้วยโปรแกรม Kinovea (ซ้าย) และหุ่นจำลอง 3 มิติ (ขวา)

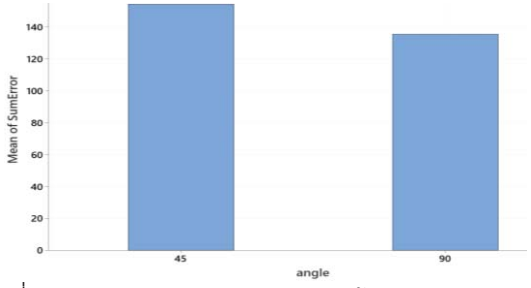
ระยะเวลาการเก็บข้อมูลกำหนดให้อาสาสมัครส่งคำตอบการประเมินภายใน 3 สัปดาห์ เพื่อให้อาสาสมัครสามารถซักถามความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรมได้โดยไม่ต้องรีบเร่ง สามารถใช้เวลาในการประเมินภาพที่ได้รับตามพอใจ เมื่ออาสาสมัครทำการประเมินภาพด้วยโปรแกรม Kinovea เสร็จสิ้น จะต้องนำค่ามุมที่อ่านได้จากโปรแกรมในแต่ละข้อต่อมากรอกลง excel spreadsheet เพื่อส่งเป็นผลการประเมิน แต่สำหรับโปรแกรมหุ่นจำลอง 3 มิติ สามารถส่งโดยการกดบันทึกภาพได้ในทันที และนำส่งเป็นไฟล์ .csv จากการบันทึกนี้

4. ผลการดำเนินงาน

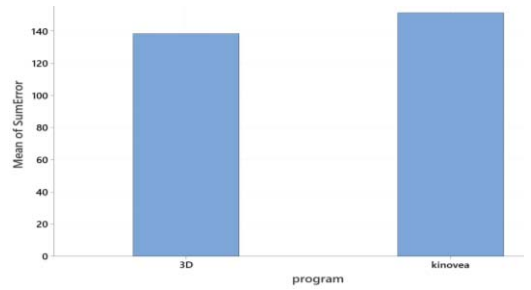
ผลการทดสอบทางสถิติโดยวิธี 2-way ANOVA พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 90% สำหรับปัจจัยมุมภาพถ่ายและ โปรแกรมที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยพบว่า โปรแกรมหุ่นจำลอง 3 มิติ ได้รับการประเมินท่าทางข้อต่อผิดพลาด (138.41 $\pm$ 59.26 องศา) น้อยกว่าโปรแกรม Kinovea (151.48 $\pm$ 56.15 องศา)และภาพถ่ายจากมุม 45 องศา ได้รับการประเมินท่าทางข้อต่อผิดพลาด (154.33 $\pm$ 59.35 องศา) มากกว่าภาพถ่ายจากมุม 90 องศา (135.56 $\pm$ 55.23 องศา) ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Factor	DF	SS	MS	F	P
มุมภาพ (A)	1	23977	23976.6	7.34	0.007*
โปรแกรม (B)	1	11627	11626.8	3.56	0.060*
A x B	1	11	11.1	0.00	0.954
Error	268	875683	3267.5		
Total	271	911298			



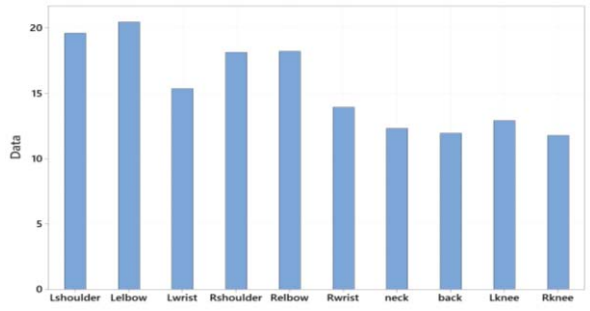
รูปที่ 4 ความผิดพลาดจากการประเมินมุมข้อต่อ (องศา) ระหว่างภาพถ่ายจากมุม 45 องศา กับ จากมุม 90 องศา



รูปที่ 5 ความผิดพลาดจากการประเมินมุมข้อต่อ (องศา) ระหว่างการใช้วโปรแกรมหุ่นจำลอง 3 มิติ (3D) กับ Kinovea

5. สรุปและอภิปรายผล

โปรแกรมหุ่นจำลอง 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้นสามารถลดความผิดพลาดในการประเมินมุมข้อต่อต่างๆ ของร่างกายจากภาพถ่ายได้จริงเมื่อเทียบกับการใช้โปรแกรม Kinovea โดยหากพิจารณาแยกความผิดพลาดการประเมินที่พบในแต่ละข้อต่อ จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยผลการประเมินผิดพลาด (องศา) ในแต่ละข้อต่อ

โดยพบว่า รยางค์ส่วนบน เป็นข้อต่อที่มีความผิดพลาดโดยรวมมากที่สุด โดยพบความผิดพลาดทางฝั่งซ้ายมากกว่า ฝั่งขวา คาดว่าเกิดจากการที่ภาพถ่ายที่ใช้ทดสอบทั้งหมดเป็นการถ่ายจากมุมทางด้านขวาเป็นหลัก (รูปที่ 2 และ รูปที่ 3) จึงเห็นได้ชัดเจนกว่าด้านซ้าย จากนั้นจึงเป็นข้อต่อคอ และหลัง (ลำตัว) ซึ่งพบความผิดพลาดต่างกันเล็กน้อย สำหรับข้อต่อเข่า เนื่องจากการทดสอบมีภาพการทำงานในท่านั่งร่วมด้วย ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่ประเมินมุมเข่า ทำให้ข้อมูลความผิดพลาดของข้อต่อเข่ามีจำนวนข้อมูลน้อยกว่าข้อต่ออื่นๆ จึงอาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกันในที่นี้

สำหรับแนวทางการพัฒนาโปรแกรมหุ่นจำลอง 3 มิติในอนาคต พบว่า ควรปรับให้ลักษณะของศีรษะในหุ่นจำลองแสดงภาพเป็น “เส้น” ที่ชัดเจน แทนการแสดงเป็นทรงกลมรี เนื่องจาก จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถจัดวางแนวการกัมหรือเงยคอได้ชัดเจนกว่า ความยาวสัดส่วนต่างๆ ควรจะปรับได้อิสระคล้ายกับแนวทางของ Kinovea และควรเพิ่มฟังก์ชั่นการจัดท่าทางในรูปแบบการหมุน (rotation) เป็นการเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

[1] สุทธิ์ ศรีบูรพา. เออร์กอนอมิกส์: วิศวกรรมมนุษยปัจจัย. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชัน จำกัดมหาชน, 2540.

[2] NJ. Dellman, Working Posture: Prediction and Evaluation. Ponsen& Looijen BV, Wageningen. 1999.

[3] G. Li, P. Buckle. 1999. “Current Techniques for Assessing Physical Exposure to Work-related Musculoskeletal Risks, with emphasis on Posture-based”. Ergonomics, 42: 674-695.

[4] A. Burdorf. 1992. “Exposure Assessment of Risk Factors for Disorders of the Back in Occupational Epidemiology”. Scandinavian Journal of Work ,Environment and Health,18: 1-9.

[5] R. Baluyut, AM. Genaidy, LS. Davis, RL. Shell, and RJ. Simmons. 1995. “Use of Visual Perception in Estimating Static Postural Stresses: Magnitudes and Sources of Errors”. Ergonomics, 38: 1841-1850.

[6] Y. Ehara, H. Fujimoto, S. Miyazaki, S. Tanaka, and S. Yamamoto. 1995, “Comparison of the Performance of 3D Camera Systems, Gait & Posture, 3: 166-169.

[7] JP. Scholz. 1993. “ Accuracy and Precision of the Peak Performance Technologies Motions Measurement System”. Journal of Motor Behavior, 25: 2-7.

[8] L. McAtamney and E. Nigel Corlett. 1993. “RULA: A Survey Method for the Investigation of Work- related Upper Limb Disorders”. Applied ergonomics, 24(2): 91–99.

[9] L. McAtamney and S. Hignett. 1995, “REBA – A Rapid Entire Body Assessment Method for Investigating Work related Musculoskeletal Disorders, in V. Blewett (ed.), Proceedings of the 31st Annual Conference of the Ergonomics Society of Australia.

[10] M. Gomez-Galan, J. Perez-Alonso, A. Callejon-Ferra, and J. Lopez- Martinez. 2017. “Musculoskeletal Disorders: OWAS Review”. Industrial Health, 55(4): 314-337.

[11]K. Kemmlert. 1995. “A Method Assigned for the Identification of Ergonomic hazards – PLIBEL”. Applied Ergonomics. 26(3): 199-211.

[12] G. Li and P. Buckle. 1998, "The Development of a Practical Method for the Exposure Assessment of Risks to Work-related Musculoskeletal Disorders". General report to the HSE (Contract No. R3408), Robens Centre for Health Ergonomics, European Institute of Health and Medical Sciences, University of Surrey.

[13] สถาบันส่งเสริมความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (สสปท.) มาตรฐานการประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ของท่าทางการปฏิบัติงานในลักษณะสถิต. กรุงเทพฯ: 2564.

[14] BD. Lowe, PG. Dempse, and EM. Jones. 2019. "Ergonomics Assessment Methods used by Ergonomics Professionals," Applied Ergonomics, 81. 102882.

[15] ISO7250-1: 2008, "Basic Human Body Measurements for Technological Design". 2008.

[16] นภัสสกร เพชรสายทิพย์ เจตริน ตระกูลพรายงาม, และหฤทัย โลหะศิริวัฒน์. 2557. "การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความถูกต้องในการประเมินท่าทางด้วยวิธี RULA." โครงงานนิสิตชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[17] J. Mangesh and D. Vishwas. (2020), "Investigation Study and Sensitivity Analysis of Rapid Entire body Assessment (REBA)," International Journal of Industrial Ergonomics, 79. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103004.

[18] G. Fakhradin and M. Neda. 2020, "A New Scoring System for the Rapid Entire Body Assessment (REBA) based on Fuzzy Sets and Bayesian Networks," International Journal of Industrial Ergonomics, 80. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103058

[19] SC. Puthenveetil, CP. Daphalapurkar, W. Zhu, MC. Leu, F. Liu, AM. Chang. Gilpin-Mcminn, JK, Wu, PH, Snodgrass, SD, (2013), "Comparison of Marker-based and Marker-less System for Low Cost Human Motion Capture," the Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 4-7 August 2013, Portland, Oregon, USA.

[20] SJ. Park, SC. Park, JH. Kim, and Kim, CBK, (1999), "Biomechanical parameters on body segments of Korean adults," International Journal of Industrial Ergonomics, 23(1-2): 23-31.

การปรับปรุงการปรับตั้งเครื่องจักรของกระบวนการเชื่อมต่อแผงวงจรในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

Process Improvement of Machine Setup of Circuits Board Bonding Processes in Electronics Component Manufacturing Plant

กุลชาติ การย์บรรจบ[1] ชนนาถ กฤตวรกาญจน์[1*]
[1]สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: chonnanath.krit@gmail.com*

Kullachart Karnbunjob[1] Chonnanath Kritworakarn[1*]
[1] Department of Industrial Management, Faculty of Engineering Chiang Mai University
E-mail: chonnanath.krit@gmail.com*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรในกระบวนการเชื่อมต่อแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากพบว่า มีการทำงานที่ไม่จำเป็นหลายกระบวนการ และใช้เวลาทำงานมากเกินไป โดยใช้แผนผังสายธารคุณค่า เพื่อจำแนกประเภทงาน 3 ประเภท เป็นงานที่มีคุณค่า งานที่ไม่มีคุณค่า และงานที่ไม่มีคุณค่าแต่จำเป็น และใช้เครื่องมือการใช้เวลาปรับตั้งเครื่องจักรเป็นเลขนาทีหลักเดียวเพื่อแยกงาน เป็นงานปรับตั้งภายนอก กับงานปรับตั้งภายใน จากนั้นใช้เทคนิคการปรับปรุงงานแบบ อี ซี อาร์ เอส มีการออกแบบรถเข็นในการจัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย และออกแบบฟิ๊กเจอร์สำหรับจับชิ้นงาน ผลจากการปรับปรุงพบว่า เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรก่อนการปรับปรุง ใช้เวลา 4,035 วินาที หลังการดำเนินการปรับปรุงสามารถลดเวลาเหลือ 2,898 วินาที ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบทั้งหมดลดลงจาก 140 เมตร เหลือเพียง 80 เมตร เวลางานปรับตั้งภายในจากก่อนการปรับปรุง 2,477 วินาที ลดเวลาเหลือ 2,211 วินาที และเวลางานปรับตั้งภายนอกจากก่อนการปรับปรุง 1,558 วินาที ลดเวลาเหลือ 687 วินาที

คาสาคัญ: การปรับปรุงกระบวนการ, การปรับตั้งเครื่องจักรเป็นเลขนาทีหลักเดียว, แผนผังสายธารคุณค่า, เทคนิค อี ซี อาร์ เอส

Abstract

The purpose of this study is to reduce machine set-up time in electronic circuit board bonding processes. It was discovered that there are numerous superfluous steps that take up too much time during the process. In order to study the circuit board bonding process, value stream mapping (VSM) is used to classify 3 types of activities: valuable activities, none-value activities, and none-value but necessary activities. External set-up activity and internal set-up activity are two types of activities that are classified using the single minute exchange of die (SMED). The ECRS approach is being used to improve the procedures. A cart is developed to make it easier to move the equipment. A fixture is also developed to hold the work parts in place. The results of the improvements found that the set up time before the renovation took 4,035 seconds. After the improvement, operation time was reduced to 2,898 seconds. The total material movement distance was reduced from 140 meters to only 80 meters. Internal activity work time was lowered from 2,477 seconds to 2,211 seconds. The time spent on external activities was reduced from 1,558 seconds to 687 seconds.

Keywords: Process improvement, Single minute exchange of die (SMED) , Value stream mapping (VSM), ECRS technique

1. บทนำ

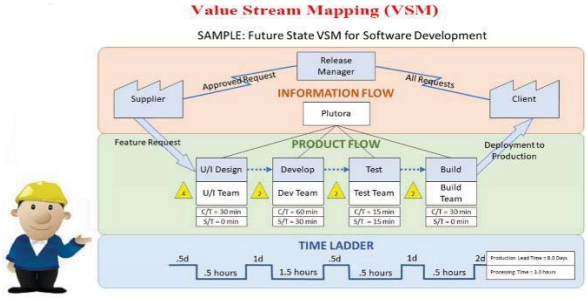
การปรับปรุงการทำงานเป็นการทำงานอย่างเป็นระบบ ประกอบด้วยกระบวนการทำงานหลายกระบวนการร่วมกัน เริ่มจากกระบวนการทบทวนงานเดิม กระบวนการเลือกปัญหาที่สำคัญ กระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุต่างๆ กระบวนการเลือกแนวทางปรับปรุงต่างๆ กระบวนการดำเนิการปรับปรุง และกระบวนการวัดผลและสรุปผลการปรับปรุง นอกจากนั้นการปรับปรุงการทำงานต้องใช้เครื่องมือต่างๆเข้ามาช่วยในแต่ละกระบวนการ เพื่อให้สามารถมีหรือเก็บหรือวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

เครื่องมือที่ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงการทำงาน มีหลายประเภทเช่นกัน เช่น แผนผังสายธารกระแสคุณค่า (Value Stream Mapping, VSM) และเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา มักถูกนำมาศึกษาวิธีการทำงาน เครื่องมือที่นิยมนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เช่น ผังก้างปลา FMEA เป็นต้น ส่วนเครื่องมือที่นิยมนำใช้ปรับปรุงการทำงานนั้นมีเครื่องมือหลายชนิด เช่น มีเทคนิค ECRS และ เทคนิคการปรับตั้งเครื่องจักรเป็นเลขนาทีหลักเดียว (Single Minute Exchange of Die, SMED) เป็นต้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนผังสายธารกระแสคุณค่า

เป็นเครื่องมือที่นิยมนำมาใช้ศึกษาการทำงาน ในปัจจุบันหลายองค์กรได้ให้ความสำคัญกับการการจัดการห่วงโซ่อุปทานและลอจิสติกส์ (Supply Chain and Logistics Management) มากขึ้น เริ่มตั้งแต่ การรับคำสั่งซื้อจากลูกค้าไปจนกระทั่งการนำส่งสินค้าถึงมือลูกค้า มีการจำแนกกิจกรรมต่างๆเป็น 3 กิจกรรมคือ กิจกรรมที่เพิ่มคุณค่า (Value Added Activities, VA), กิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า (Non-Value Added Activities, NVA), และ กิจกรรมไม่มีมูลค่าเพิ่มแต่จำเป็นที่ (Non-Value Added but Necessary, NNVA) [1] นิยมนำมาใช้แสดงข้อมูลทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงงาน ดังแสดงในรูปที่ 1 เครื่องมือนี้ได้ถูกนำมาใช้วิเคราะห์การทำงาน และใช้เพื่อการปรับปรุงการทำงานโดยนักวิชาการหลายท่าน [2] [3] [4]



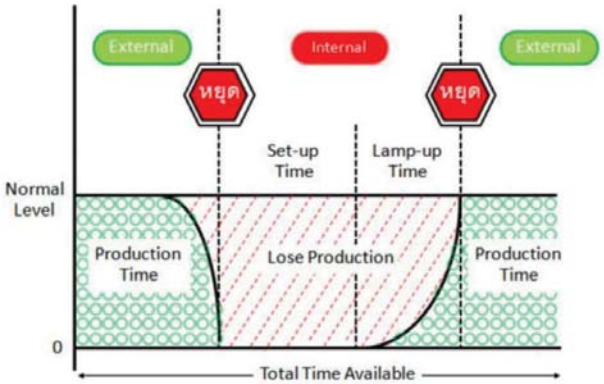
รูปที่ 1 ตัวอย่างแผนผังสายธารคุณค่า
(ที่มา: www.iok2u.com)

2.2 หลักการปรับปรุงงานแบบ ECRS

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการทางานประกอบไปด้วยการปรับปรุง 4 แบบ คือ การกำจัด (Eliminate) งานที่ไม่จำเป็นออก ทำให้เหลือแต่งานที่จำเป็นต้องทำเท่านั้น การรวม (Combine) ขั้นตอนการทำงานเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้จำนวนงานที่ต้องทำลดน้อยลงไป การจัดลำดับกระบวนการทำงานใหม่ (Rearrange) หากมีการจัดลำดับการทำงานที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นของคน วัสดุได้ และ การทำให้กระบวนการทำงานง่ายขึ้น (Simplify) จะส่งผลให้กระบวนการทำงานมีความสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น หลักการนี้ถูกนำไปใช้เพื่อการปรับปรุงงานเป็นหลักในการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลาอย่างแพร่หลาย [5][6]

2.3 เทคนิคการปรับตั้งเครื่องจักรเป็นเลขนาทีหลักเดียว

เป็นแนวคิดสำคัญเพื่อนำมาใช้ลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรให้เหลือน้อยที่สุดไม่เกิน 10 นาที อันจะช่วยให้มีเวลาทำการผลิตสินค้าเพิ่มมากขึ้น เทคนิคนี้ได้ถูกนำไปใช้ปรับปรุงการทำงานอย่างแพร่หลาย [7] [8] [9] มีหลักการที่สำคัญคือ การจำแนกกิจกรรมทั้งหมดของการปรับตั้งเครื่องจักร ออกเป็น 2 ประเภท คือ กิจกกรรมภายนอกของการปรับตั้ง (External Set-up Activity) ซึ่งเป็นกิจกรรมที่สามารถทำได้ก่อนหรือหลังการปรับตั้งเครื่องจักร และกิจกรรมภายในของการปรับตั้ง (Internal Set-up Activity) เป็นกิจกรรมที่จำเป็นต้องทำในช่วงเวลาปรับตั้งเครื่องจักร [10] ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แนวคิดการแบ่งงาน Internal & External set-up Activities
(ที่มา: บุญเลิศ คณาธนสาร, 2013)

โรงงานตัวอย่างเป็นโรงงานผลิตผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีกระบวนการเชื่อมต่อแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบยืดหยุ่นกับแก้วหน้าจอแสดงผล ซึ่งประสบกับปัญหาการใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรมากเกินไป จึงต้องหาแนวทางปรับปรุงการทำงาน

3. ผลการศึกษา

3.1 ข้อมูลเบื้องต้น

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น พบว่ากระบวนการเชื่อมต่อแผงวงจรแบบยืดหยุ่นกับแก้วหน้าจอแสดงผล มีเวลาสูญเสียมากที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลเวลาสูญเสียทั้งหมดของจากสายการผลิตทั้งหมด 7 สายการผลิต ในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึง กันยายน 2563 พบว่า “สายการผลิตที่ 2” มีเวลาสูญเสียมากที่สุดคือ 7,844 นาทีคิดเป็น 33.6%

จึงเลือกที่นำข้อมูลจากสายการผลิตที่ 2 มาหากิจกรรมที่ทำให้เกิดเวลาสูญเสีย โดยพบว่ากิจกรรมที่ทำให้เกิดเวลาสูญเสียมากที่สุด คือ “ตรวจสอบเงื่อนไขก่อนเริ่มงาน” โดยมีเวลาสุญเสียอยู่ที่ 2,675 นาที คิดเป็น 31.1% รองลงมาคือ “เปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์และตรวจสอบเงื่อนไขหลังจากเปลี่ยนแบบ” มีเวลาสุญเสียอยู่ที่ 2,415 นาที คิดเป็น 30.8% โดยกิจกรรมทั้ง 2 มีสัดส่วนเวลาสูญเสียใกล้เคียงกัน สืบเนื่องจากปัจจุบันกิจกรรม “เปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์และตรวจสอบเงื่อนไขหลังจากเปลี่ยนแบบ” ยังไม่มีขั้นตอนขั้นการทำงานที่เป็นมาตรฐาน จึงทำให้ผู้ศึกษาต้องการที่จะเลือกที่จะปรับปรุงแก้ไขในส่วนของกิจกรรมนี้

ผู้วิจัยจึงเลือกแบบผลิตภัณฑ์ “ XX44 ” ซึ่งมีความถี่ในการเปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์ และตรวจสอบเงื่อนไขหลังจากการเปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์บ่อยครั้งที่สุด คือ 19 ครั้ง โดยใช้เวลาเฉลี่ยต่อครั้งที่ 34 นาที (เวลารวม 640 นาที) มาใช้ศึกษา

4. ผลการศึกษา

4.1 ข้อมูลจากแผนผังกระแสคุณค่า

ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการเชื่อมต่อแผงวงจรแบบยืดหยุ่นกับแก้วหน้าจอแสดงผลของผลิตภัณฑ์ XX44 ที่มีกระบวนการใหญ่ๆ 3 กระบวนการ คือ กระบวนการ ACF, กระบวนการ Alignment และกระบวนการ Final Bonding จึงได้จำแนกกิจกรรม VA NVA และ NNVA มีรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 1

การจำแนกกิจกรรม VA NVA และ NNVA นั้น ผู้วิจัยได้จำแนกกิจกรรมตามลักษณะการทำงานว่า กิจกรรมที่เพิ่มคุณค่าแก่ผลิตภัณฑ์จะถูกจำแนกเป็น VA เช่น การปรับตั้งอุณหภูมิและความดัน เป็นต้น กิจกรรมใดที่ไม่เป็นการเพิ่มคุณค่าแก่ผลิตภัณฑ์จะถูกจำแนกเป็น NVA เช่น การทำความสะอาด เป็นต้น และกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าแก่ผลิตภัณฑ์แต่จำเป็นต้องทำ จะถูกจำแนกเป็น NNVA เช่น การเตรียมอุปกรณ์/เครื่องมือต่างๆ เป็นต้น

ตารางที่ 1 VA, NVA, NNVA ในขั้นตอนการเปลี่ยนแบบ และตรวจสอบเงื่อนไขของแบบผลิตภัณฑ์/รุ่น XX44

กิจกรรมหลัก		กิจกรรมย่อย	เวลาที่ใช้ (วินาที)			ระยะทาง
			VA	NVA	NNVA	(เมตร)
1. ACF Process	1	เตรียมอุปกรณ์/เครื่องมือ ACF process			438	59.4
	2	โหลดไปแกรม	11			-
	3	ปรับตั้งอุณหภูมิและแรงดัน	27			-
	4	เปลี่ยนชิ้นงาน(แก้วหน้าจอแสดงผล)ปรับตั้งระดับ	67			-
	5	เปลี่ยนฟิล์มกาวกันไฟฟ้าสถิต			176	2.5
	6	ทำความสะอาดชิ้นเครื่องจักรหมอนรอง และ แบบตัวอย่าง		61		2.5
	7	ปรับตั้งความสมดุลของแรงในการกด	64			-
	8	ตรวจสอบเงื่อนไขความสมดุลแรงกด ,เวลาที่ใช้กดจริง และอุณหภูมิจริงหลังงาน			124	-
	9	เปลี่ยนลูกกลิ้ง	28			-
	10	ปรับตั้งความตึงและระยะของฟิล์มนำไฟฟ้า	29			-
	11	ปรับตั้งความยาวของฟิล์มนำไฟฟ้า	113			-
	12	ปรับตั้งระยะการเชื่อมต่อของแก้วหน้าจอแสดงผล กับฟิล์มนำไฟฟ้า	55			-
	13	ตรวจสอบเงื่อนไขความยาวของฟิล์มนำไฟฟ้า			123	-
2.Alignment Process	14	เตรียมอุปกรณ์/เครื่องมือ Alignment process			344	30.6
	15	ปรับตั้งอุณหภูมิและแรงดัน	22			-
	16	ตรวจสอบสภาพของหัวกดสุญญากาศ			30	-
	17	เปลี่ยนชิ้นเครื่องจักร(แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์)	119			-
	18	ปรับตั้งระดับชิ้นเครื่องจักร	49			-
	19	ปรับตั้งระยะห่าง ระหว่างชิ้นเครื่องจักรกับแท่นตัวกดให้ความร้อน	36			-
	20	ปรับตั้งตำแหน่งในการหยิบจับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์	63			-
	21	ปรับตั้งตำแหน่งของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์	32			-
	22	เปลี่ยนชิ้นเครื่องจักร(แก้วหน้าจอแสดงผล) และทำการปรับตั้งระดับ	123			-
	23	เปลี่ยนฟิล์มกาวกันไฟฟ้าสถิต			249	2.5
	24	ปรับตั้งตำแหน่งติดชิ้นแผงวงจรและแก้วหน้าจอแสดงผล	44			-
	25	ทำความสะอาดชิ้นเครื่องจักรหมอนรอง และ แบบตัวอย่าง		98		2.5
	26	ปรับตั้งความสมดุลของแรงในการกด	54			-
	27	ตรวจสอบเงื่อนไขความสมดุลแรงกด ,เวลาที่ใช้กดจริง และอุณหภูมิจริงหลังงาน			185	3
3. Final bonding Process	28	เตรียมอุปกรณ์/เครื่องมือ Final bonding process			227	28.8
	29	ปรับตั้งอุณหภูมิและแรงดัน	11			-
	30	ปรับตั้งระยะห่างตัวกดให้ความร้อน	95			-
	31	เปลี่ยนฟิล์มกาวกันไฟฟ้าสถิต			126	2.5
	32	ปรับตั้งระดับชิ้นเครื่องจักร(แก้วหน้าจอแสดงผล)	45			-
	33	ตรวจสอบระดับระหว่างชิ้นกับหมอนรอง			16	-
	34	ยึดแท่นชิ้นเครื่องจักร	11			-
	35	ทำความสะอาดชิ้นเครื่องจักรหมอนรอง และ แบบตัวอย่าง		145		2.5
	36	ปรับตั้งความสมดุลของแรงในการกด	162			-
	37	ปรับตั้งระยะการเชื่อมต่อของแก้วหน้าจอแสดงผล กับฟิล์มนำไฟฟ้า	107			-
	38	ตรวจสอบเงื่อนไขความสมดุลแรงกด ,เวลาที่ใช้กดจริง และอุณหภูมิจริงหลังงาน			329	3
รวมกิจกรรมทั้งหมด			1365	305	2365	140

4.2 การใช้เทคนิค SMED

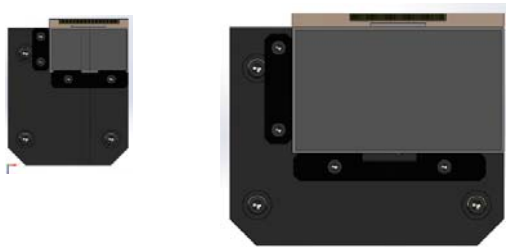
จากนั้นผู้วิจัยจึงได้จำแนกกิจกรรมย่อยทั้งหมดมาจำแนกเป็นงานภายนอกและงานภายใน โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำแนกกิจกรรมงานภายใน/งานภายนอก

กิจกรรมหลัก		กิจกรรมย่อย	Kind of Setup	
			Internal	External
1. ACF Process	1	เตรียมอุปกรณ์/เครื่องมือ ACF process		438
	2	โหลดโปรแกรม	11	
	3	ปรับตั้งอุณหภูมิ และแรงดัน	27	
	4	เปลี่ยนจิ๊ก(แก้วหน้าจอแสดงผล)/ปรับตั้งระดับ	67	
	5	เปลี่ยนเทปกาวกันไฟฟ้าสถิต		176
	6	ทำความสะอาด จิ๊กเครื่องจักรหมอนรอง และ แบบตัวอย่าง	61	
	7	ปรับตั้งความสมดุลของแรงในการกด	64	
	8	ตรวจสอบเงื่อนไขความสมดุลแรงกด ,เวลาที่ใช้กดจริง และอุณหภูมิจริงบนชิ้นงาน	124	
	9	เปลี่ยนลูกกลิ้ง	28	
	10	ปรับตั้งความตึงและระยะของฟิล์มนำไฟฟ้า	29	
	11	ปรับตั้งความยาวของฟิล์มนำไฟฟ้า	113	
	12	ปรับตั้งระยะการเชื่อมต่อของแก้วหน้าจอแสดงผล กับ ฟิล์มนำไฟฟ้า	55	
	13	ตรวจสอบเงอนไขความยาวของฟอมนำไฟฟา	123	
2.Alignment Process	14	เตรียมอุปกรณ์/เครื่องมือ Alignment process		344
	15	ปรับตั้งอุณหภูมิ และแรงดัน	22	
	16	ตรวจสอบสภาพของหัวดูดสุญญากาส	30	
	17	เปลี่ยนจิ๊กเครื่องจักร(แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์)	119	
	18	ปรับตั้งระดับจิ๊กเครื่องจักร	49	
	19	ปรับตั้งระยะห่างระหว่าง จิ๊กเครื่องจักรกับแท่นหัวกดให้ความร้อน	36	
	20	ปรับตั้งตำแหน่งในการหยิบจับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์	63	
	21	ปรับตั้งตาแหน่งของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์	32	
	22	เปลี่ยนจิ๊กเครื่องจักร(แก้วหน้าจอแสดงผล) และทาการปรับตั้งระดับ	123	
	23	เปลี่ยนเทปกาวกันไฟฟ้าสถิต		249
	24	ปรับตั้งตาแหน่งติดตั้งแผงวงจร ลงบนแก้วหน้าจอแสดงผล	44	
	25	ทาความสะอาด จิ๊กเครื่องจักรหมอนรอง และ แบบตัวอย่าง	98	
	26	ปรับตั้งความสมดุลของแรงในการกด	54	
	27	ตรวจสอบเงื่อนไขความสมดุลแรงกด ,เวลาที่ใช้กดจริง และอุณหภูมิจริงบนชิ้นงาน	185	
3. Final bonding Process	28	เตรียมอุปกรณ์/เครื่องมือ Final bonding process		227
	29	ปรับตั้งอุณหภูมิ และแรงดัน	11	
	30	ปรับตั้งระยะแท่นหัวกดให้ความร้อน	95	
	31	เปลี่ยนเทปกาวกันไฟฟ้าสถิต		126
	32	ปรับตั้งระดับจิ๊กเครื่องจักร(แก้วหน้าจอแสดงผล)	45	
	33	ตรวจสอบระดับระหว่างจิ๊กกับหมอนรอง	16	
	34	ยึดแน่นจิ๊กเครื่องจักร	11	
	35	ทำความสะอาด จิ๊กเครื่องจักรหมอนรอง และ แบบตัวอย่าง	145	
	36	ปรับตั้งความสมดุลของแรงในการกด	162	
	37	ปรับตั้งระยะการเชื่อมต่อของแก้วหน้าจอแสดงผล กับ ฟิล์มนำไฟฟ้า	107	
	38	ตรวจสอบเงื่อนไขความสมดุลแรงกด ,เวลาที่ใช้กดจริง และอุณหภูมิจริงบนชิ้นงาน	329	
		รวมกิจกรรมทั้งหมด	2477	1558

4.3 การประยุกต์ใช้เทคนิคแบบ ECRS

1. รวมขั้นตอนการทำงานเข้าไว้ด้วยกัน (Combine) จากวิธีการทำงานแบบเดิมที่พนักงานต้องเปลี่ยนจิ๊ก/ฟิกเจอร์ทุกครั้งเมื่อเปลี่ยนขนาดผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 3 ผู้วิจัยได้ได้ออกแบบและพัฒนาจิ๊ก/ฟิกซ์เจอร์ของแบบผลิตภัณฑ์แก้วหน้าจอแสดงผลของแต่ละกระบวนการย่อย โดยออกแบบให้ฐานจิ๊กตามขนาดแก้วที่ใหญ่ที่สุดคือ 4.2 นิ้ว และออกแบบขอบกั้นให้สามารถปรับ ทำให้ใช้ร่วมกันกับแบบผลิตภัณฑ์อื่นๆ เพื่อลดเวลาในการเปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์ ที่มีขนาดตั้งแต่ 1.8 นิ้ว ไปจนถึง 4.2 นิ้ว ซึ่งครอบคลุมกับแบบผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในสายการผลิตที่ 2 ทั้งหมด



รูปที่ 3 แบบจิ๊กเครื่องจักร (แก้วหน้าจอแสดงผล) ก่อนการปรับปรุง

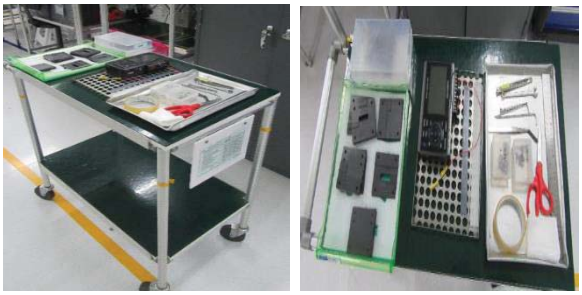


รูปที่ 4 แบบจิ๊กเครื่องจักรแก้วหน้าจอแสดงผลหลังการปรับปรุง

2. การขจัด (Eliminate) ลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Motion) เนื่องจากวิธีการทำงานแบบเดิม พนักงานต้องเดินไปหยิบอุปกรณ์หลายชิ้นที่จัดเก็บไว้ในตู้เก็บอุปกรณ์ที่มีอยู่หลายแห่ง ดังแสดงในรูปที่ 5 ทำให้เสียเวลา ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนารถเข็นสำหรับใส่เครื่องมือและอุปกรณ์เคลื่อนที่เพื่อลดเวลาในการเดินไปหยิบอุปกรณ์/เครื่องมือ โดยคัดเลือกอุปกรณ์/เครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้ในการเปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์ และตรวจสอบเงื่อนไขเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 6



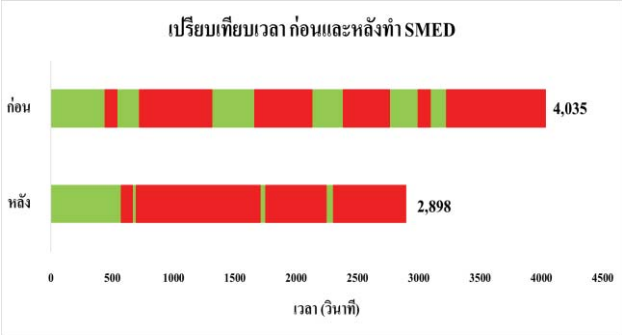
รูปที่ 5 เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 6 รถเข็นและอุปกรณ์ในการตรวจสอบหลังการปรับปรุง

4.4 เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงในด้านต่าง ๆ

เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์และตรวจสอบเงื่อนไขก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า เวลาปรับตั้งเครื่องจักรก่อนการปรับปรุง ใช้เวลาทั้งสิ้น 4,035 วินาที และเวลาปรับตั้งเครื่องจักรหลังการปรับปรุง ใช้เวลาเพียง 2,898 วินาที สามารถลดเวลาทำงานลงได้ 1,137 วินาที หรือประมาณ 19 นาทีต่อรอบการปรับตั้งเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 7



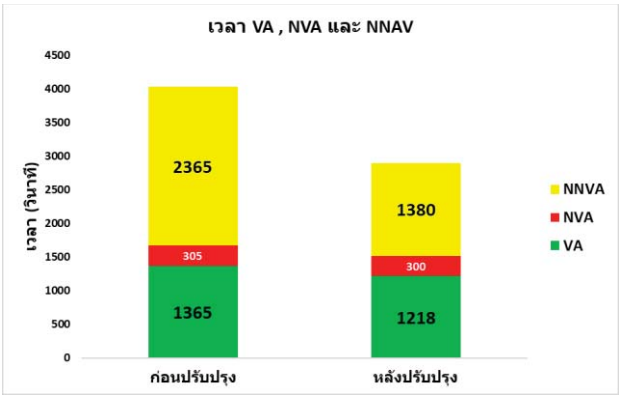
รูปที่ 7 เปรียบเทียบเวลาก่อนและหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 7 ยังพบว่า สามารถลดเวลากิจกรรมภายใน (สีแดง) ลงได้ 10. 73% ของเวลาเดิม และลดเวลาของกิจกรรมภายนอก (สีเขียว) ลงได้ 4.64% รายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบเวลาของกิจกรรมภายในและภายนอก ก่อนและหลังปรับปรุง

กิจกรรม	ก่อนการปรับปรุง (วินาที)	หลังการปรับปรุง (วินาที)	ผลต่าง (วินาที)
ภายใน	2,477	2,211	266
ภายนอก	1,558	687	871
รวม	4,035	2,898	1,137

นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบเวลาในการทำกิจกรรม VA, NVA และ NNVA ก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า เวลาของกิจกรรม VA ลดลง 147 วินาที คิดเป็น 10.77% เวลาของกิจกรรม NVA ลดลง 5 วินาที คิดเป็น 1.63% และ เวลาของกิจกรรม NNVA ลดลง 985 วินาที คิดเป็น 41.65% ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 เปรียบเทียบเวลาของกิจกรรม VA, NVA และ NNVA ก่อนและหลังปรับปรุง

5. สรุป

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ ในส่วนของการศึกษางาน ผู้วิจัยได้นำแนวคิดของแผนผังสายธารคุณค่ามาใช้เพื่อจำแนกกิจกรรมออกเป็นกิจกรรม VA NVA และ NNVA และใช้เทคนิค SMED มาแยกกิจกรรมต่าง ๆมาแยกเป็น งานปรับตั้งภายใน และงานปรับตั้งภายนอก และในส่วนของการปรับปรุงงาน ผู้วิจัยได้ใช้หลักการปรับปรุงแบบ ECRS เริ่มจากการรวมกิจกรรม โดยการออกแบบและพัฒนาจิ๊ก/ฟิกซ์เจอร์ที่ใช้จับยึดชิ้นงานให้สามารถใช้ร่วมกันกับแบบผลิตภัณฑ์อื่น ๆได้ และการลดกิจกรรมโดยการออกแบบและพัฒนารถเข็นในการจัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย จัดเลือกเฉพาะอุปกรณ์ที่ใช้งานจริง ๆเท่านั้น และได้ย้ายงานปรับตั้งภายในบางส่วนไปเป็นปรับตั้งภายนอก

ผลจากการปรับปรุงขั้นตอน, กิจกรรม ในการเปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์และตรวจสอบเงื่อนไข พบว่าสามารถลดเวลาในการเปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์ และตรวจสอบเงื่อนไขหลังจากการเปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์ 4,035 วินาที หลังการดำเนินการปรับปรุงสามารถลดเวลาเหลือ 2,898 วินาที ลดลงคิดเป็น 28% และระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบทั้งหมดลดลงจาก 140 เมตร เหลือเพียง 80 เมตร ลดลงไป 60 เมตร คิดเป็น 42.86 %

5.2 การอภิปรายผล

การปรับปรุงการทำงานสามารถดำเนินการได้หลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา ข้อมูลที่ได้รับ หรือ วัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดขึ้น เช่น การลดจำนวนของเสีย การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน การลดเวลาทำงานลง เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีเครื่องมือชนิดต่าง ๆให้เลือกใช้หลายชนิด ดังนั้น การเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสมกับงานจึงมีความสำคัญ ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาการทำงานทั่วไป อาจใช้แผนภูมิ

การไหลของกระบวนการ (Flow process chart) ก็ได้ แต่ในการศึกษานี้ได้ใช้แผนผังสายธารคุณค่า เป็นต้น

การปรับปรุงงานควรมีหัวหน้างาน และพนักงานของสายการผลิตนั้นๆ เข้ามามีส่วนร่วมด้วยเสมอ ทั้งในส่วนของการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ปัญหา การเลือกแนวทางแก้ปัญหา การลงมือแก้ปัญหา และการวัดผลหรือสรุปผลการปรับปรุงงาน และอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญ คือ การเข้ามามีส่วนร่วมและให้การสนับสนุนของฝ่ายบริหารในองค์กร ปัจจัยทั้งสองที่ได้กล่าวล้วนมีผลต่อความสำเร็จของการปรับปรุงงานอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] แหล่งที่มา : https://iok2u.com/index.php/article/logistics-supply-chain/710-lean-value-stream-mapping-vsm

[2] จิรวัฒน์ ณ พัทลุง ศิริชัย สมแสน และกฤษฎา เจริญมูล, การลดต้นทุนของกระบวนการโลจิสติกส์มังคุดส่งออกประเทศจีน กรณีศึกษาบริษัทคัดแยกและบรรจุมังคุดในจังหวัดจันทบุรี (in Thai), Proceeding of Industrial Engineering Network Conference 2021 (on Line), 5-7 May 2021, Songkhla, Thailand.

[3] สมจิตร ลาภโนนเขวา, การปรับปรุงประสิทธิภาพไลน์การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยแนวคิดลีน-ไคเซ็น (in Thai), Proceeding of Industrial Engineering Network Conference 2021 (on Line), 5-7 May 2021, Songkhla, Thailand.

[4] ชุติภา ลิ้มศรีวณิชยกร และ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์, การปรับปรุงกำลังการผลิตของกระบวนการเตรียมยาง: กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางรถยนต์ (in Thai), Proceeding of Industrial Engineering Network Conference 2021 (on Line), 5-7 May 2021, Songkhla, Thailand.

[5] สุจิตรา บัวผัน และ ประจวบ กล่อมจิตร, การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมประเภทอิเล็กทรอนิกส์ (in Thai), Proceeding of Industrial Engineering Network Conference 2021 (on Line), 5-7 May 2021, Songkhla, Thailand.

[6] ปิยวัฒน์ ปรึกไชสง และ เฉลิมเกียรติ ศรีศิลา, การปรับปรุงผลิตภาพของการเชื่อมท่อพีพีอาร์ด้วยเทคนิคอีซีอาร์เอส (in Thai), Proceeding of Industrial Engineering Network Conference 2021 (on Line), 5-7 May 2021, Songkhla, Thailand.

[7] ปรารถนา รัตนภุชงค์ และ กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข, การปรับปรุงกระบวนการเปลี่ยนรุ่นการผลิตคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิค SMED (in Thai), Proceeding of Industrial Engineering Network Conference 2021 (on Line), 5-7 May 2021, Songkhla, Thailand.

[8] ธนารักษ์ หีบแก้ว และ อดิศักดิ์ สมสูตร, การลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต (in Thai), Proceeding of Industrial Engineering Network Conference 2018, 23-26 July 2018, Ubonratchathani, Thailand.

[9] Sopida Jomden and Thaya Pirom, Reduced Labor Costs with SMED Technique Case study of Thai Garment Industry (in Thai), Proceeding of Industrial Engineering Network Conference 2017, 12-15 July 2017, Chiang Mai, Thailand.

[10] บุญเลิศ คณาธนสาร, วิทยากรฝึกอบรม Challenge training organization, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.challegeto.com, 2013.

การออกแบบพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบรับรองโรงงาน

Design and development of Self Declarations program

บรรพต เทพฤทธิ์[1] นันทวรรณ อ่ำเอี่ยม[2]

[1]สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

[2]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

E-mail: nanttu9@gmail.com*

Bunphot Tepparit[1,*], Nanthawan Am-Eam[2]

[1]Department of Engineering Law and Inspection, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University

[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University

E-mail: nanttu9@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์พัฒนาโปรแกรมการตรวจสอบรับรองโรงงานเพื่อช่วยในการตรวจสอบโรงงานให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จากการสำรวจปัญหาและความต้องการในการใช้โปรแกรมการตรวจสอบจากกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม ที่ต้องทำการตรวจรับรองโรงงาน จำนวน 50 โรงงาน และผู้ประสงค์จะขึ้นทะเบียนเป็นผู้ตรวจสอบเอกชนจำนวน100 คน พบว่า มีปัญหาความรู้ของผู้ตรวจสอบในส่วนกฎหมายที่เกี่ยวข้องและความรู้ในส่วนของกระบวนการผลิตและควบคุม (32%) สำหรับวิธีการตรวจสอบพบปัญหาระยะเวลาในการตรวจสอบไม่พอเพียงและไม่ต่อเนื่อง (28%)และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบเช่น ขาด Checklist ในการตรวจสอบ (28%) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยในการตรวจสอบโรงงานที่ถูกต้องตามกฎหมายกำหนด โปรแกรมการตรวจสอบโรงงานประกอบด้วยข้อกำหนดการตรวจสอบที่สอดคล้องกับกฎหมายตรวจรับรองโรงงานและการประเมินความเสี่ยงเป็นการตรวจสอบโดย Checklist ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม สำหรับการออกแบบโปรแกรมนั้นใช้ภาษา Visual Basic for Applications (VBA)ในการเขียนโปรแกรม และโปรแกรมใช้งานบนระบบ Ms office excel รวมถึงการรายงานผลการตรวจสอบและการประเมินความเสี่ยง จากการทดสอบใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ผู้ตรวจสอบเอกชนจำนวน 25 คนและผู้ใช้งานจากสถานประกอบการ จำนวน 25 คน ผลการทดสอบ พบว่า ผู้ทดสอบใช้งานมีความพึงพอใจด้านคุณภาพของโปรแกรมการตรวจสอบในภาพรวม เท่ากับ 4.07(ระดับมาก) สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมทั้ง 3 ด้านคือ Syntax Error Logic Error และ System Design Error พบว่า ผ่านการทดสอบทุกหัวข้อของการทดสอบ ดังนั้นโปรแกรมการตรวจสอบโรงงานนี้สามารถช่วยให้ผู้ตรวจสอบโรงงานสามารถตรวจสอบโรงงานและประเมินความเสี่ยงได้ โปรแกรมสามารถใช้ในการตรวจสอบได้ด้วยตนเอง(Self-Audit)หรือการตรวจรับรองตนเอง (Self-declaration) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถูกต้องครบถ้วน ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พศ.2562

คาสาคัญ: โปรแกรมการตรวจรับรองโรงงาน, การตรวจสอบโรงงาน,การประเมินความเสี่ยง

Abstract

This research aims to develop a factory inspection program to help monitor the plant more efficiently. According to a survey of the problems and demands for inspection programs from the Industrial Group, the company has been working on the issue and the need for inspection programs from the Industrial Works 50 factories must be certified and 100 people wish to register as private inspectors found that there was a problem with the auditor's knowledge in the relevant legal section and knowledge of the production process and control (32%).Other problems found for method that not enough time and intermittent for auditing (28%). Also, without checklist for auditing tools (28%). Therefore, this research has developed programs that help to audit legitimate factories. The factory inspection program consists of inspection requirements in accordance with factory certification laws and risk assessment as audits by Checklist, according to the Ministry of Industry announcement.

For program design, use the Visual Basic for Applications (VBA) language for programming and program used on the Microsoft office excel system, including reporting on results of the audit and assessing the risks of testing the developed programs. The program was developed by 3 specialists (experts) , 25 private auditors and 25 auditing agencies. The results showed that the tester was satisfied with the overall quality of the inspection program of 4.07 (very high level). For the validation of the program in all three areas, syntax error logic error and system design error were found to have passed all test topics. So this factory inspection program can help factory inspectors to inspect and assess risk. The program can be used for self-audit or self-declaration effectively, fully, in accordance with the Factory Act B.E. 2562 (2019).

Keywords: Factory Audit Program, Factory auditor, Risk assessment.

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในการดำเนินการประกอบกิจการโรงงานในประเทศไทยมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องหลายฉบับในการควบคุมการประกอบกิจการโรงงานซึ่งพระราชบัญญัติโรงงาน และกฎกระทรวงอุตสาหกรรม รวมถึงประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม จะมีผลบังคับใช้ในเรื่อง อาคาร สถานที่ หรือยานพาหนะ และมีกำหนดประเภทโรงงานไว้ 3 ประเภท ประกอบด้วยโรงงานประเภทที่ 1 (สามารถประกอบกิจการได้ทันที) โรงงานประเภทที่ 2(ต้องแจ้งกรมโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนเริ่มประกอบการ) และโรงงานประเภทที่ 3 (ต้องได้รับอนุญาตจึงจัดตั้งโรงงานและประกอบกิจการได้)ซึ่งคำนิยามของโรงงาน ตาม พระราชบัญญัติโรงงาน พศ.2562 คือ โรงงานจะต้องมีขนาดเครื่องจักรมากกว่า 50 แรงม้าหรือคนงานมากกว่า 50 คนขึ้นไป[3] อันจะส่งผลให้โรงงานทั้ง 3 ประเภทที่เข้าข่ายตามนิยามโรงงานต้องถูกตรวจสอบ ควบคุมกำกับดูแลตาม พระราชบัญญัติโรงงานฉบับดังกล่าว

นอกจากนี้ ในสภาวะปัจจุบันจำนวนโรงงานมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะโรงงานประเภทที่ 3 มีจำนวนถึง 79,586 โรงงาน[1] ซึ่งโรงงานดังกล่าวต้องมีการตรวจสอบตั้งแต่การขออนุญาตตั้งโรงงาน การแจ้งเริ่มประกอบกิจการ การควบคุมระหว่างการดำเนินการ(ขยายหรือโอน) รวมถึงการยกเลิกกระบวนการผลิตหรือโรงงาน ซึ่งจำนวนผู้ตรวจสอบจึงมีไม่เพียงพอ ทำให้เกิดความล่าช้าในการตรวจสอบ ดังกรณีศึกษาอุตสาหกรรมจังหวัดแห่งหนึ่งระบุว่ามีจำนวนของโรงงานที่ต้องทำการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสียตามพรบ. โรงงานมีจำนวน ประมาณ 1,800 โรงงาน แต่มีเจ้าหน้าที่ตรวจเพียง 5 คน [5]และอีกกรณีหนึ่งมีเจ้าหน้าที่จำนวน 3 ท่าน โดยตรวจสอบ 10 โรงงานในเวลา 5 วัน ซึ่งแต่ละโรงงานตั้งอยู่ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน และวิธีการตรวจสอบที่แตกต่างกัน[7]

จากผลของการสำรวจจากกลุ่มตัวอย่างโรงงานจำนวน 50 โรงงาน พบว่าปัญหาและอุปสรรคจากการตรวจสอบโรงงานมี2ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยด้านบุคลากรตรวจสอบและความรู้เกี่ยวกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง(ร้อยละ43) ส่วนอีกปัจจัยหนึ่งเป็นเรื่องวิธีการตรวจสอบ เช่น การตรวจสอบที่ขาดหัวข้อ Check List ,Check Sheet ถูกต้อง ครบถ้วน[6]และคลอบคลุม (ร้อยละ35) [2,9] รวมถึงกรณีจากการสำรวจผู้ประสงค์จะขึ้นทะเบียนผู้ตรวจสอบเอกชนจำนวน 100 คน พบว่าปัญหาที่เป็นอุปสรรคในการตรวจสอบโรงงาน เป็นอันดับ 1 คือ ความรู้ในการตรวจสอบ (30%) ส่วนวิธีการตรวจสอบ(23%)และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ (23%)ตามลำดับ[10] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการออกแบบโปรแกรมการตรวจสอบโรงงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบของผู้ตรวจโรงงาน ให้มีความถูกต้องครบถ้วน และรวดเร็วรวมถึงสามารถที่จะทำการ Self Audit ได้ด้วยตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ [8] และอีกทั้งยังเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างฐานข้อมูลเพื่อพัฒนาต่อไป

2.วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมในการตรวจสอบโรงงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายควบคุมโรงงานที่เกี่ยวข้อง
2. เพื่อวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของการตรวจสอบการปฏิบัติตามกฎหมายควบคุมโรงงาน

3.แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการตรวจสอบโรงงานนั้นเป็นกระบวนการหนึ่งที่กฎหมายกำหนดให้มีการตรวจสอบ ตั้งแต่การขออนุญาตตั้งโรงงาน การแจ้งเริ่มประกอบกิจการ การควบคุมระหว่างการดำเนินการ(ขยายหรือโอน) รวมถึงการยกเลิกกระบวนการหรือโรงงานโดยวิธีการตรวจสอบโรงงานนั้นจะต้องพิจารณาตรวจสอบผู้ประกอบกิจการ ได้ดำเนินตามที่กฎหมายกำหนดไว้ ซึ่งจะต้องถูกตรวจสอบ ตามข้อกำหนดต่างๆของพระราชบัญญัติโรงงานอุตสาหกรรม 2562โดยหัวข้อในการตรวจโรงงานตามมาตรฐานการตรวจสอบโรงงาน มีกำหนดไว้ทั้ง 8 ส่วนตามมาตรฐานการตรวจสอบโรงงาน[4] ซึ่งประกอบด้วยการตรวจสอบการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมมาตรฐานอาคารโรงงานมาตรฐานเครื่องจักรระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์มาตรฐานสภาพแวดล้อมในการทำงานและความปลอดภัยมาตรฐานการตรวจสอบสิ่งแวดล้อมและของเสียมาตรฐานการตรวจสอบบุคคลในโรงงานมาตรฐานการตรวจสอบเครื่องมือเครื่องใช้ และมาตรฐานการตรวจวัดการจัดทำรายงานและส่งรายงาน ตามลำดับ

จากมาตรฐานดังกล่าวสอดคล้องกับการตรวจโรงงานในบทบัญญัติแห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พศ.2562 ในมาตรา 9 วรรค1 และในมาตรา 9

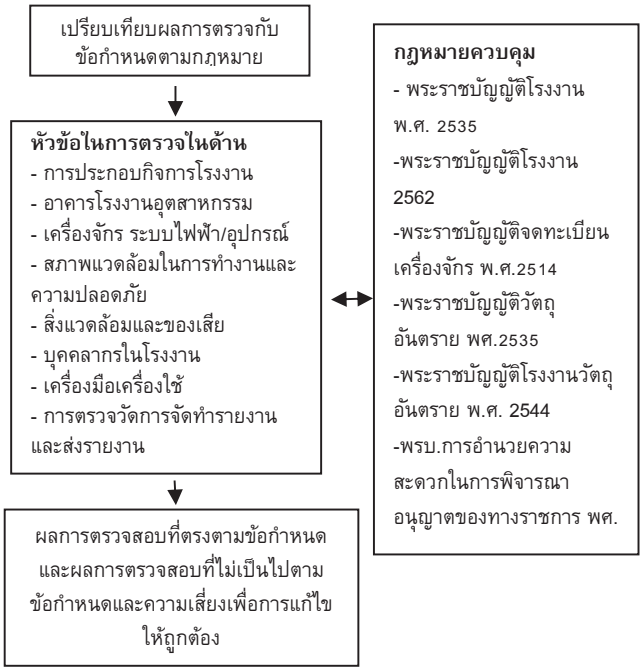
วรรค 2 กำหนดให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานมีหน้าที่ต้องเสนอรายงานผลการปฏิบัติการดำเนินการ (Self Declaration) และได้รับการรับรองจากผู้ตรวจสอบเอกชน[6]ซึ่งสามารถ สรุปแนวทางการตรวจสอบได้ 20 หัวข้อ ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่1 ตารางการตรวจสอบตามผลการปฏิบัติงาน

หัวข้อ	แนวทางการตรวจสอบ
1.	เงื่อนไขการประกอบกิจการตรวจสอบการปฏิบัติงานตามเงื่อนไข ตามใบอนุญาตประกอบกิจการ
2.	การจัดทำรายงาน EIA, EHA, ESA, Risk Assessment, IEE
3.	ค่าธรรมเนียมตรวจสอบใบเสร็จ ชำระค่าธรรมเนียมรายปี
4.	รายงานการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดจากการประกอบกิจการในโรงงาน(Risk Assessment)
5.	ระบบไฟฟ้า (ตรวจสอบเอกสารแบบแปลนการติดตั้งระบบไฟฟ้าและตรวจสอบเอกสารระบบไฟฟ้าโรงงานและรับรองความปลอดภัย
6.	ระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยตรวจสอบระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ , เครื่องดับเพลิงแบบมือถือ ,ระบบน้ำดับเพลิง เป็นไปตามมาตรฐาน ไม่ชำรุด และมีสภาพพร้อมใช้งาน
7.	ระบบทำความเย็นที่ใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น
8.	ก๊าซอุตสาหกรรม
9.	รถโฟร์คลิฟท์ที่ใช้ก๊าซปิโตรเลี่ยมเหลวเป็นเชื้อเพลิง
10.	สารกัมมันตรังสี
11.	สภาวะแวดล้อมในการทำงาน
12.	หม้อน้ำ/หม้อต้ม ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนสำหรับผู้ผลิตหม้อน้ำหรือหม้อต้มและสำหรับโรงงานผู้ใช้หม้อน้ำ/หม้อต้ม
13.	ความปลอดภัยเกี่ยวกับการจัดการสารเคมีในโรงงาน
14.	มลพิษน้ำ
15.	มลพิษอากาศ
16.	บุคลากรด้านสิ่งแวดล้อม(ประจำโรงงาน)
17.	การจัดส่งรายงานชนิดและสารมลพิษที่ระบายออกจากโรงงาน
18.	มลพิษดิน
19.	การจัดการกากอุตสาหกรรม สำหรับผู้ก่อกำเนิดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วและผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้
20.	การรายงานข้อมูลการประกอบกิจการโรงงาน

4. กรอบแนวคิดการวิจัย

โดยจากการศึกษาข้อกำหนดตามกฎหมายและงานทวนสอบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถกำหนดกรอบแนวคิดวิจัยในการออกแบบโปรแกรม โดยอ้างอิงหัวข้อในการตรวจตามมาตรฐานการตรวจ 8 ส่วนของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย(วสท.) เช่น หัวข้อการตรวจสอบ การประกอบกิจการโรงงาน การตรวจสอบอาคารโรงงาน การตรวจสอบเครื่องจักร เป็นต้น[4] และเปรียบเทียบกับตามกฎหมายควบคุม แล้วแสดงผลการตรวจสอบที่ตรงตามข้อกำหนด และผลการตรวจสอบที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดและความเสี่ยงดังแสดงตามรูปที่ 1



รูปที่1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

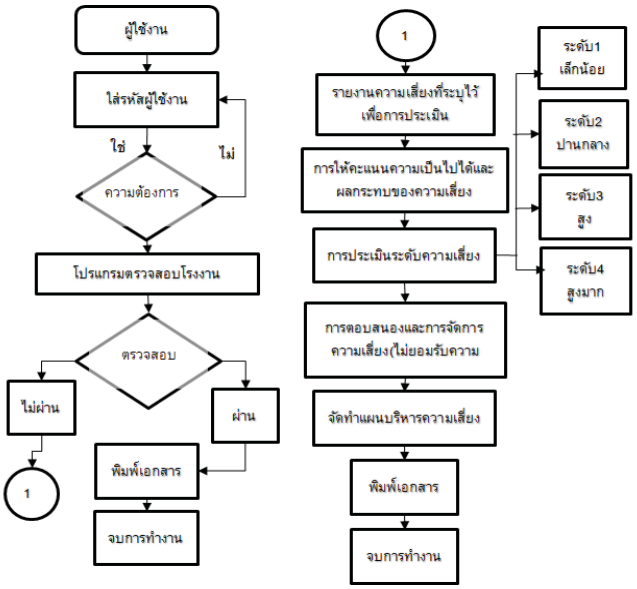
5.วิธีการศึกษาวิจัย

วิธีการศึกษาวิจัยใช้กลุ่มประชากรที่เป็นผู้ที่ใช้โปรแกรมการตรวจสอบโรงงาน โดยแบ่งเป็นประเภทโรงงาน จำนวน 25 โรงงาน และผู้ตรวจสอบเอกชน จำนวน 25 คน โดยสอบถามความต้องการในการใช้โปรแกรมการตรวจสอบโรงงานและประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยและออกแบบพัฒนาโปรแกรมฯดังนี้

5.1ศึกษาปัญหาและความต้องการของผู้ใช้งานเพื่อการออกแบบ

5.1.1ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาและความต้องการในการใช้งานโปรแกรมฯ จากแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่าง แล้วนำมาออกแบบโปรแกรมฯ โดยแยกได้ตามลักษณะของการใช้งานโปรแกรมเป็น2ส่วนหลักๆคือส่วนของการตรวจสอบโรงงานและส่วนของการประเมินความเสี่ยง แสดงขั้นตอนของการเขียนโปรแกรมดังนี้

โปรแกรมการตรวจสอบโรงงาน โปรแกรมการประเมินความเสี่ยง



รูปที่ 2โปรแกรมการตรวจสอบโรงงานและการประเมินความเสี่ยง

5.2 การประเมินคุณภาพโปรแกรม

ผู้วิจัยได้ดำเนินการในส่วนของการสร้างแบบประเมินคุณภาพโปรแกรมฯและทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง3ท่านซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดการประเมินออกเป็น 4 ด้านคือด้านการวิเคราะห์และออกแบบระบบด้านความถูกต้องในการใช้งานของโปรแกรม ด้านระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูลและด้านความสะดวกและความง่ายในการใช้งานโดยเลือกใช้เป็นมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) ซึ่งมีเกณฑ์การตอบมี 5 ระดับดังนี้

ตารางที่ 2 ช่วงคะแนนและการแปลผล

ช่วงคะแนน	ระดับ	ความพึงพอใจ	ช่วงคะแนน	ระดับ	ความพึงพอใจ
4.51 -5.00	5	มากที่สุด	1.51 – 2.50	2	น้อย
3.51 – 4.50	4	มาก	1.00 – 1.50	1	น้อยที่สุด
2.51 – 3.50	3	ปานกลาง			

5.2.1ผู้วิจัยนำแบบประเมินคุณภาพของโปรแกรมที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมรวมถึงความสมบูรณ์ของแบบประเมินคุณภาพแล้วดำเนินการประเมินคุณภาพโปรแกรม จากการใช้งาน เพื่อการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

5.3 การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานโปรแกรม

5.3.1 ผู้วิจัยได้ดำเนินการในส่วนของการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานโปรแกรมฯ โดยการกำหนดหัวข้อการประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้งานแบ่งออกเป็น 5 ด้านได้แก่ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ด้านโปรแกรมการตรวจสอบเป็นไปตามแนวทางที่กฎหมายกำหนดด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชั่นงานของระบบด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบและด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบโดยเลือกใช้เป็นมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) ตามช่วงคะแนนและการแปลผลระดับความพึงพอใจ เช่นกันกับตารางที่2

5.3.2 การตรวจสอบนั้นผู้วิจัยนำแบบประเมินความพึงพอใช้ของผู้ใช้งานโปรแกรมฯที่สร้างขึ้นให้ผู้ทรงคุณวุฒิ/ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมรวมถึงความสมบูรณ์แล้วจึงนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างต่อไป

6. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

หลังจาการออกแบบโปรแกรมแล้วทำการตรวจสอบวิเคราะห์ความถูกต้องของโปรแกรมจากความผิดพลาดทั้ง 3 ด้าน โดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งผลการทดสอบนั้นผ่านในทุกหัวข้อของการตรวจสอบ

ตารางที่ 3 รายงานการตรวจสอบ ความถูกต้องของโปรแกรม

หัวข้อ	การตรวจสอบ	ผลการทดสอบ
Syntax Error	ความผิดพลาดที่เกิดจากการใช้คำสั่งผิดรูปแบบที่ภาษานั้นกำหนด	ผ่าน
Logic Error	ความผิดพลาดที่เกิดจากการที่โปรแกรมทำงานผิดไปจากขั้นตอนที่ควรจะเป็น	ผ่าน
System Design Error	ความผิดพลาดที่เกิดจากการที่โปรแกรมทำงานได้ไม่ตรงตามความต้องการลูกค้า	ผ่าน

จากการออกแบบโปรแกรมการตรวจสอบโรงงานและได้ทำการทดลองใช้โดยผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 3 ท่านเพื่อประเมินคุณภาพของโปรแกรมการตรวจสอบโรงงาน สามารถแสดงผลได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินคุณภาพของโปรแกรมการตรวจสอบโรงงาน

หัวข้อ	**คะแนนเฉลี่ย**	**ความพึงพอใจ**
ด้านการวิเคราะห์และออกแบบระบบ	4.12	มาก
ด้านความถูกต้องในการใช้งานของโปรแกรม	3.84	มาก
ด้านระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	4.08	มาก
ด้านความสะดวกและความง่ายในการใช้โปรแกรม	4.18	มาก

จากตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์การประเมินคุณภาพของโปรแกรมการตรวจสอบโรงงานและประเมินความเสี่ยงของผู้เชี่ยวชาญพบว่ามีความคิดเห็นของเชี่ยวชาญที่ประเมินคุณภาพของโปรแกรมการตรวจสอบโรงงานทั้ง 4 ด้านอยู่ในระดับดีมากมีค่าเฉลี่ย 4.07 คะแนน

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้โปรแกรมการตรวจสอบโรงงาน

ความพึงพอใจเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมการตรวจสอบโรงงาน	คะแนนเฉลี่ย	ความพึงพอใจ
ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้	4.36	มาก
ด้านโปรแกรมการตรวจสอบโรงงานและการรายงานผลเป็นไปตามแนวทางที่กฎหมายกำหนด	4.29	มาก
ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ	4.41	มาก
ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ	4.19	มาก
ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ	4.39	มาก

จากตารางที่ 5 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้โปรแกรมการตรวจสอบโรงงานสรุปได้ว่าความพึงพอใจของของผู้ใช้โปรแกรมการตรวจสอบโรงงานเพื่อการตรวจสอบรับรองโรงงานซึ่งทั้ง 4 ด้านมีค่าเฉลี่ยรวม 4.33 (ระดับมาก)

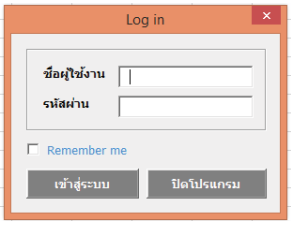
จากผลการวิจัยข้อมูลพบว่า ความแปรปรวนของคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งาน 2 กลุ่มตัวอย่างมีค่าเท่ากัน โดยการทดสอบ F-Test มีค่า Sig.ที่ 0.875 และสามารถพบว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนเฉลี่ยของการประเมินความพึงพอใจของผู้รับการตรวจสอดคล้องหรือไม่แตกต่างจากผลคะแนนเฉลี่ยของผู้ตรวจสอบโรงงาน โดยแสดงได้จากผลการทดสอบ T-Test ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยในการประเมินความพึงพอใจ

	N	ค่าเฉลี่ย	SD	t	Sig.
ผู้ตรวจสอบโรงงาน	23	4.467	0.183	0.93	0.355
ผู้รับการตรวจโรงงาน	23	4.418	0.177		

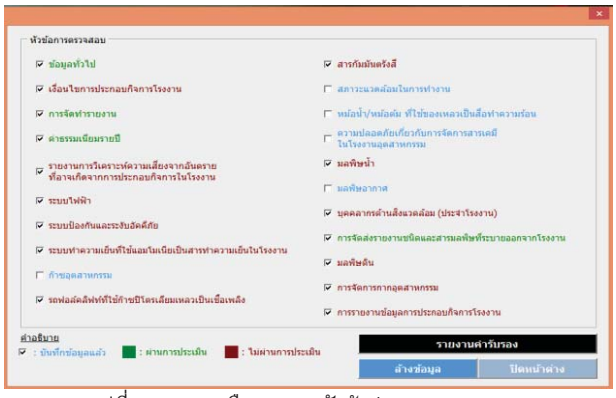
รูปแบบโครงสร้างของโปรแกรมในระบบมีรายละเอียดดังนี

1.เริ่มการเข้าสู่ระบบใช้งานโดยป้อนข้อมูลชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่าน ดังรูปที่ 3



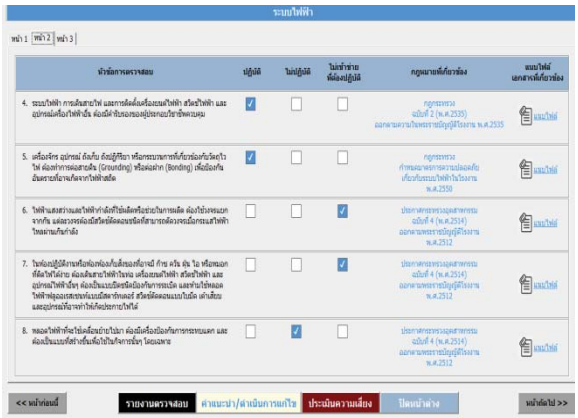
รูปที่ 3 การป้อนข้อมูล Login เข้าระบบ

2.เลือกหมวดที่จะตรวจสอบ



รูปที่ 4 เมนูการเลือกหมวดหัวข้อต่างๆ

3.ทำการตรวจตามรายละเอียดของหัวข้อที่กำหนดตามกฎหมายและสามารถเลือกกฎหมายที่เกี่ยวของและคำแนะนำ/แก้ไขปรับปรุงได้



รูปที่ 5 การตรวจสอบการปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 6 การเลือกตรวจสอบรายละเอียดกฎหมายที่เกี่ยวข้องและคำแนะนำ/แก้ไขปรับปรุง

4.กรณีที่ผลการตรวจสอบไม่ผ่าน จะต้องประเมินความเสี่ยงจากการไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดหรือกฎหมาย

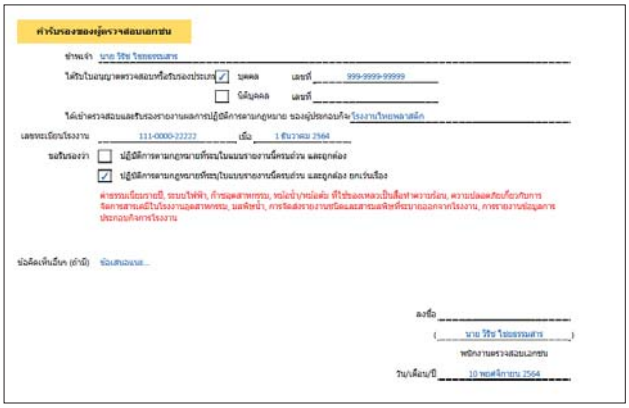


รูปที่ 7 การกรอกข้อมูลประเมินความเสี่ยงลงไปในโปรแกรม



รูปที่ 8 รายงานข้อมูลความเสี่ยงแสดงโดยโปรแกรม

5.ผู้ตรวจสอบสามารถที่จะเลือกการรายงานผลการตรวจสอบพร้อมการพิมพ์เพื่อการนำส่งรายงานได้



รูปที่ 9 แสดงรายงานที่ออกจากระบบโปรแกรมการตรวจสอบ

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 การพัฒนาต่อในการจัดเก็บฐานข้อมูลในการตรวจแต่ละครั้งของผู้ตรวจสอบเอกชน เช่น การแสดงสถานะของการตรวจในแต่ละสถานประกอบการที่ตรวจสอบ รวมถึงภาระงาน (Load) งานตรวจได้ของแต่ละภาระงานของผู้ตรวจสอบโรงงานแต่ละท่าน การจัดเก็บรวมไฟล์ที่เป็นข้อมูลเอกสาร/รูปภาพ ในการตรวจเพื่อความครบถ้วนในแต่ละสถานประกอบการ เป็นต้น

7.2 เนื่องจากการใช้โปรแกรมนั้นไม่มีความเสถียรพอและเพื่อการ Update ข้อกำหนดกฎหมายหรือแนวทางข้อแนะนำการแก้ไขป้องกันเพื่อให้ง่ายต่อการดำเนินการจึงควรพัฒนาขึ้นระบบ Cloud ในลักษณะของ Application ต่อไป

8. บทสรุป

โปรแกรมการตรวจสอบโรงงานที่ได้จากการพัฒนาและวิจัยนี้มีความสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้คือเพื่อออกแบบโปรแกรมช่วยในการตรวจสอบโรงงานและประเมินความเสี่ยงให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยตรวจอย่างถูกต้องครบถ้วนและรวดเร็วทั้งกระบวนการตรวจสอบและรายงานผลตรงตามข้อกำหนดของกฎหมายที่เกี่ยวข้องและเพื่อการวิเคราะห์ข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบโรงงานซึ่งโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมานี้ มีความเที่ยงตรง (Validity) มีความเชื่อมั่น (Reliability) ของโปรแกรมการตรวจสอบโรงงาน โดยพบว่าคุณภาพโปรแกรมการตรวจสอบโรงงาน โดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับที่ดีมาก และผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานโปรแกรมการตรวจสอบโรงงาน อยู่ในระดับพึงพอใจดีมาก เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] ข้อมูลสถิติกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2563)

[2] คู่มือระบบตรวจประเมินตนเองด้านความปลอดภัย (Safety Application) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2562

[3] คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2551

[4] มาตรฐานการตรวจสอบโรงงานอุตสาหกรรม วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์พิมพ์ครั้งที่1, 2563

[5] มีนาพิทย โสภณกิจ. 2554."กระบวนการตรวจสอบการปฏิบัติตามกฎหมายของนิคมอุตสาหกรรม" มหาวิทยาลัยรามคำแหง

[6] ร้อยตรี วิทวัส แก้วประสิทธิ์"การรับรองตนเองของผู้ประกอบกิจการ (Self Declaration)" กองพัฒนาระบบมาตรฐานงานกากับโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2562

[7] วิรัตน์ ชมชูชื่น. 2561."การจัดสมดุลภาระงานการตรวจโรงงานอุตสาหกรรม" วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[8] โสภณ พงษ์โสภณ. 2562.เทคนิคCheck list A B C, สมาคมส่งเสริมความปลอดภัยและอนามัยในการทำงาน (ประเทศไทย)

[9] บรรพต เทพฤทธิ์ "การศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการตรวจโรงงาน" รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการมาตรฐานการตรวจสอบด้านวิศวกรรม,วันที่ 15 พฤษภาคม. 2564,มหาวิทยาลัยรามคำแหง, หน้า 98-106

[10] บรรพต เทพฤทธิ์ "รายงานผลการสำรวจผู้ประสงค์จะขึ้นทะเบียนเป็นผู้ตรวจสอบเอกชน(ผู้ตรวจสอบโรงงาน) Phase2,วันที่13 – 28 กุมภาพันธ์ 2565,คณะอนุกรรมการผู้ตรวจสอบเอกชน สมาคมผู้ตรวจสอบอาคาร

การปรับปรุงกระบวนการผลิตพั้นช์: กรณีศึกษา

Improving of Punch Manufacturing Process: A Case Study

ประสาท ภูปรึ้ม[1] สุนทร อนุภาพไพรบูรณ์[1] ธีระ โสนีย์[1] ชาญชัย เหลาหา[2] กิตติพงษ์ ธารเอียม[2] สุรเชษฐ์ เถื่อนแก้วสิงห์[1*]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
E-mail: surached.th@rmuti.ac.th*

Prasart Phupruem[1] Soonthorn Anuparbpriboon[1] Teera Soney[1] Chanchai Laoha[2]
Kittipong Tarn-iam[2] Surached Thuankaewsing[1*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
[2]Department of Industrial Technology, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: surached.th@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตพั้นช์ โดยปกติส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์จะถูกทำโดยช่างผู้ชำนาญ แต่ค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ไม่ได้ค่าตามที่กำหนด อีกทั้งใช้เวลาในการผลิตนาน ดังนั้น จึงนำหลักการการลดความสูญเปล่าในการดำเนินงาน (ECRS) มาประยุกต์ใช้ โดยการนำตัว S (Simplify) มาใช้ปรับปรุงการทำงาน โดยออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยจับยึด (Fixture) ขึ้นมาใหม่ ซึ่งสามารถจับยึดพั้นช์บนเครื่องกัดแบบอัตโนมัติ (CNC Milling) และใช้เครื่องจักรในการสร้างส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ ซึ่งจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตพั้นช์เพิ่มขึ้นและกำจัดของเสียที่จะเกิด จากแนวทางใหม่นั้น ผลการวิจัยพบว่าเวลาทำงานของพนักงานลดลงเหลือเท่ากับ 36.6 นาทีต่อชิ้น หรือมีประสิทธิภาพดีขึ้นร้อยละ 72.17 สำหรับค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ได้ค่าตามที่กำหนดและไม่มีของเสียเกิดขึ้น
คาสาคัญ: การลดความสูญเปล่าในการดำเนินงาน, ไคเซ็น, พั้นช์, อุปกรณ์จับยึด, แผนภูมิกระบวนการไหล

Abstract

This research proposed an approach to improve the punch manufacturing process. Usually, the arc at the cutting edge of the punch was made by skilled technician. However, the radius of the arc at the punch's cutting edge did not match the standards, and punch production took a long time. Consequently, the ECRS was employed by applying S (Simplify) to enhance work operations by designing and creating a new fixture that could clamp the punch on a CNC milling machine. Then the machine was used to make the arc at the punch's cutting edge, as well as to eliminate waste and boost production efficiency. Based on a new approach, the results revealed that the working time of worker was reduced to 36.6 minutes per piece, or 72.17% improved. The radius of the arc at the punch's cutting edge was exactly as stated.
Keywords: ECRS, KAIZEN, Punch, Fixture, Flow Process Chart

1. บทนำ

จากการเข้าไปศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์เพื่อจัดเตรียมชิ้นส่วนสำรองที่เกิดจากการสึกหรอจากการใช้งาน พบปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตพั้นช์ที่มีส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัด ตัวอย่างของพั้นช์แสดงไว้ในรูปที่ 1 (ก) โดยพบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตพั้นช์ประเภทนี้ต่ำ พิจารณาจากกระบวนการผลิตที่ใช้เวลามากและพบของเสียเนื่องจากค่ารัศมีของส่วนโค้งไม่อยู่ในพิกัดที่กำหนด ในกระบวนการเดิมนั้นจะใช้พนักงานผู้ชำนาญในการสร้างส่วนโค้ง โดยจะทำการเจียระไนที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ให้เป็นส่วนโค้ง จากนั้นทำการขัดผิวให้เรียบและละเอียด ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 (ข) ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาและทักษะสูงในการผลิต และเป็นขั้นตอนที่ต้องระมัดระวัง เนื่องจากหากเกิดข้อผิดพลาดจะทำให้พั้นช์ชิ้นนั้นกลายเป็นของเสีย และเมื่อนำพั้นช์ที่มีค่ารัศมีของส่วนโค้งที่ไม่ได้พิกัดไปปั๊มขึ้นรูปชิ้นงานจะก่อให้เกิดของเสีย โดยชิ้นงานจะไม่ได้ขนาด ผิวของชิ้นงานไม่เรียบ หรือเกิดรอยแตกร้าวที่ขอบของชิ้นงาน ดังรูปที่ 1 (ค) ดังนั้น เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตพั้นช์ให้ง่ายและสะดวกมากขึ้น จึงได้ประยุกต์ใช้หลักการการลดความสูญเปล่าในการดำเนินงาน โดยพัฒนาอุปกรณ์ช่วยจับยึดพั้นช์ให้สามารถสร้างส่วนโค้งโดยใช้เครื่องกัดแบบอัตโนมัติในการทำงาน ทดแทนการใช้งานแรงงานคนที่ต้องมีทักษะสูง ซึ่งจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งช่วยลดของเสียจากกระบวนการผลิต



(ก)



(ข)



(ค)

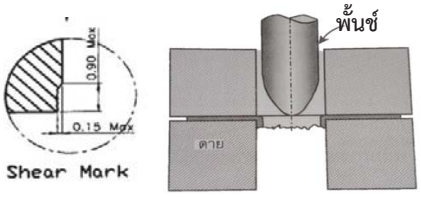
รูปที่ 1 (ก) พั้นช์ที่มีส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัด
(ข) การผลิตพั้นช์แบบเดิม
(ค) ชิ้นงานเสียจากการปั๊มขึ้นรูปด้วยพั้นช์ที่ค่ารัศมีของส่วนโค้งไม่อยู่ในพิกัดที่กำหนด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทความนี้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีและเทคนิคต่างๆ ในการแก้ปัญหาดังต่อไปนี้

2.1 แม่พิมพ์

แม่พิมพ์เป็นตัวกำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นงานสำเร็จ ซึ่งประกอบด้วยสองส่วน ได้แก่ พั้นช์ (Punch) หรือแม่พิมพ์ตัวผู้ และดาย (Die) หรือแม่พิมพ์ตัวเมีย โดยปกติพั้นช์จะอยู่ด้านบนและมีขนาดเล็กกว่าดาย โดยจะมีรูปร่างสัมพันธ์กับดายและจะเป็นตัวเคลื่อนที่เข้าไปหาดาย สำหรับบริษัทกรณีศึกษาได้ทำการออกแบบพั้นช์ซึ่งมีส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัด ตามรูปที่ 2 โดยอาศัยส่วนโค้งดังกล่าวเป็นตัวรีดให้ผิวของชิ้นงานมีความเรียบ ความตรง และไม่ทำให้เกิดรอยแตกร้าว อีกทั้งชิ้นงานที่ได้อยู่ในพิกัดที่กำหนดของแบบงาน



(ก) (ข)

รูปที่ 2 (ก) ขนาดที่กำหนดในแบบงานผิวตัดเฉือน
(ข) ลักษณะพั้นช์ที่ถูกออกแบบใหม่

2.2 การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) หรือไคเซ็น (KAIZEN)

การลดหรือเลิกขั้นตอนส่วนเกินและส่วนที่ไม่จำเป็น ด้วยการเปลี่ยนวิธีการทำงาน เริ่มจากการเปลี่ยนแปลงทีละเล็กทีละน้อย ที่สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง และต้องอาศัยการพลิกแพลงเพื่อให้หลุดพ้นจากข้อจำกัดต่างๆ เช่น งบประมาณ เวลา อุปกรณ์ เทคโนโลยี ฯลฯ การใช้หลักการไคเซ็นมี 7 ขั้นตอนซึ่งเป็นวิธีการเชิงระบบ (System Approach) หรือปรัชญาในการสร้างคุณภาพงานของเดมมิ่งที่เรียกว่า PDCA (Plan – Do – Cheek – Action) ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานหรือกิจกรรมต่างๆ ประกอบด้วย

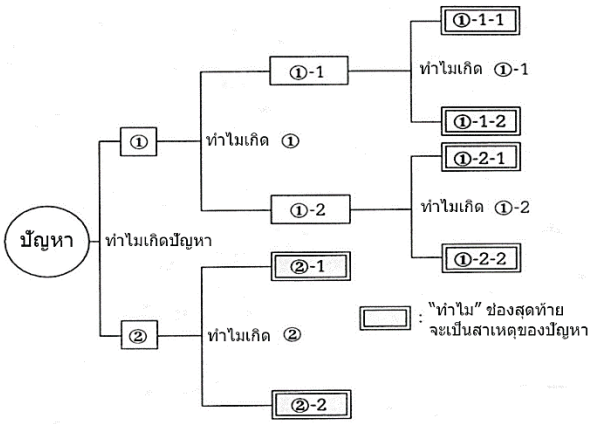
1) ค้นหาปัญหาและกำหนดหัวข้อแก้ไขปัญหา
2) วิเคราะห์สภาพปัจจุบันของปัญหา
3) วิเคราะห์หาสาเหตุ
4) กำหนดวิธีการแก้ไข โดยระบุว่าจะต้องทำอะไร ทำอย่างไร และทำเมื่อไร
5) ใครเป็นคนทำหรือผู้รับผิดชอบ
6) ลงมือดำเนินการ
7) ตรวจสอบผลและผลกระทบต่างๆ อีกทั้งรักษาสภาพที่แก้ไขแล้วโดยการกำหนดให้เป็นมาตรฐานในการทำงาน

2.3 การลดความสูญเปล่าในการดำเนินงาน (ECRS)

เป็นหลักการที่ประกอบด้วยการกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการง่ายๆ ที่สามารถใช้ในการลดความสูญเปล่าหรือ MUDA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4 ทฤษฎีการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Why – Why Analysis

เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์และค้นหาปัจจัยหรือสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาหรือปรากฏการณ์ใดๆ ที่สนใจ แบบมีขั้นตอนที่เป็นเหตุเป็นผลซึ่งจะทำให้ทราบถึงต้นตอของปัญหาหรือสาเหตุที่แท้จริง โดยแนวคิดในของเทคนิค Why – Why Analysis แสดงดังรูปที่ 3



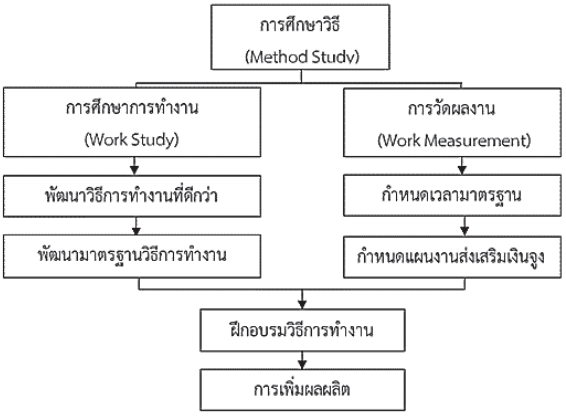
รูปที่ 3 การวิเคราะห์ด้วย Why – Why Analysis

2.5 อุปกรณ์จับยึด (Fixture)

อุปกรณ์จับยึดเป็นเครื่องมือสำหรับการผลิตที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งจับยึดและรองรับชิ้นงานให้อยู่คงที่ในระหว่างที่เครื่องจักรกำลังทำงาน เป็นตัวช่วยตั้งระยะของเครื่องมือตัดให้อยู่ตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง อุปกรณ์จับยึดจะถูกยึดให้ติดแน่นอยู่กับโต๊ะงานของเครื่องจักรในระหว่างที่ชิ้นงานกำลังถูกกระทำ เช่น ใช้กับเครื่องกัด (Milling Machine) หรือเครื่องกัดแบบอัตโนมัติ เป็นต้น อุปกรณ์จับยึดสามารถออกแบบให้จับยึดชิ้นงานให้เหมาะสมกับการทำงานรูปแบบต่างๆ โดยการออกแบบนั้นจะมีความสัมพันธ์กับเครื่องมือที่ใช้งาน

2.6 การศึกษาวิธี (Method Study)

เป็นกระบวนที่ประกอบไปด้วยการศึกษาการทำงาน (Work Study) และการวัดผลงาน (Work Measurement) ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4 โดยอาศัยเทคนิคการศึกษาเวลา (Time Study) ใช้สำหรับการศึกษากระบวนการทำงานและองค์ประกอบต่างๆ เพื่อปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้น กำหนดเวลามาตรฐานในการทำงาน พัฒนามาตรฐานในการทำงาน และกำหนดแผนงานเพื่อสร้างแรงจูงใจ เพื่อเป้าหมายคือการเพิ่มผลิตภาพในการผลิต



รูปที่ 4 การศึกษาวิธี

2.7 แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)

เป็นแผนภูมิที่ใช้บันทึกขั้นตอนการทำงานตามลำดับก่อนหลัง โดยใช้สัญลักษณ์ระบุลักษณะการทำงานของขั้นตอนต่างๆ โดยแบ่งเป็นกิจกรรม 5 รูปแบบ ประกอบด้วย

1) การปฏิบัติงาน (Operation)
2) การเคลื่อนที่ (Transportation)
3) การรองาน (Delay)
4) การตรวจสอบ (Inspection)
5) การเก็บสินค้าหรือวัสดุ (Storage)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

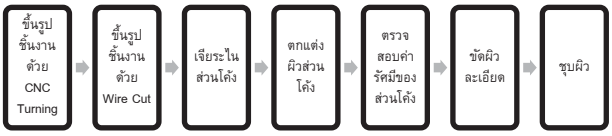
จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอาทิ เช่น [1] นำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ในการลดกิจกรรมและการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น กำหนดเวลามาตรฐานในการทำงาน หลังการปรับปรุงพบว่าสามารถลดเวลาคิดเป็นร้อยละ 16.4 และสามารถลดระยะทางของการขนส่งจากเดิม 151.3 เมตรต่อกะ เหลือ 59.9 เมตรต่อกะ กำลังการผลิตการเตรียมยางเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจาก 199 ก้อนต่อกะ เป็น 255 ก้อนต่อกะ และลดต้นทุนในการผลิตได้ประมาณ 1,060 บาทต่อวัน [2] ใช้ ECRS เข้ามาวิเคราะห์และหาแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าในการทำงาน โดยปรับปรุงและกำหนดมาตรฐานจำนวนพนักงานที่ใช้ต่อสายการผลิตให้เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า สามารถลดจำนวนพนักงานลงจากเดิม 38 คนต่อสายการผลิต เหลือ 35 คนต่อสายการผลิต และลดต้นทุนแรงงานจาก 2.394 ล้านบาทต่อเดือน เหลือ 2.205 ล้านบาทต่อเดือน [3] ประยุกต์ใช้ทฤษฎีของลีน ECRS ทฤษฎีการกำจัดของเสีย 7 ประการ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way ANOVA) ทฤษฎีแผนภูมิกระบวนการไหล และทฤษฎีแผนผังก้างปลาเพื่อลดเวลาในกระบวนการบดหมึกพิมพ์จากเดิม 400 นาที ลดเวลาเหลือ 200 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 50 โดยที่คุณภาพหมึกที่ได้ตรงตามมาตรฐาน อีกทั้งยังเพิ่มปริมาณการผลิตจาก 1 ล้อตต่อวัน เป็นผลิตได้ 2 ล้อตต่อวัน [4] ปรับปรุงผลิตภาพการเชื่อมท่อพีพีอาร์ ซึ่งพบปัญหาคือการเชื่อมใช้เวลามาก ใช้เทคนิคผังก้างปลาในการ

วิเคราะห์และหาสาเหตุ พบว่าบางขั้นตอนซับซ้อน ใช้เวลาไม่แน่นอน เกิดการรอคอย จึงได้ประยุกต์ใช้ ECRS สำหรับการปรับปรุงการทำงาน และสร้างอุปกรณ์ช่วยในการทำงานสำหรับบางขั้นตอน พบว่าสามารถลดเวลาสูญเปล่าจากเดิม 2,965.87 วินาทีต่อรอย เหลือ 1,290.36 วินาทีต่อรอย และใช้เวลาในการเชื่อมท่อลดลงร้อยละ 56.49 [5] เปลี่ยนวิธีการทำงานเป็นการทำงานแบบคู่ขนานในช่วงเวลาของการปรับตั้งภายในสายการผลิต และใช้เทคนิค ECRS ในการสลับขั้นตอนการทำงาน เปลี่ยนอุปกรณ์และปรับท่าทางการทำงานของพนักงาน ทำให้สามารถลดเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนรุ่นการผลิตลงได้จากเดิมใช้เวลาเฉลี่ยเครื่องละ 48.22 นาทีเหลือ 12.08 นาทีหรือลดลงร้อยละ 74.95 [6] ลดความสูญเปล่าในสายการผลิตด้วยหลักการ ECRS สามารถลดจำนวนสถานีงานจาก 6 สถานีงานเหลือ 4 สถานีงาน และลดจำนวนพนักงานจาก 8 คน เหลือ 4 คน ในขณะที่ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 54.83 ความแปรปรวนของภาระงานลดลง 1.95 และตัวชี้วัดความเท่าเทียมกันในการกระจายงานลดลง 7.54 [7] นำเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิดและเทคนิคลีนมาใช้ในการปรับปรุงเพื่อลดข้อบกพร่องของสายการผลิตแผนกเย็บเสื้อผ้ากีฬา และกำหนดแนวทางป้องกันปัญหาด้วยการอบรมวิธีการเย็บที่ถูกต้องให้แก่พนักงานและจัดทำคู่มือการทำงาน หลังการปรับปรุงพบว่าปัญหาต่างๆ ที่เกิดลดลง ทำให้สายการผลิตมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น [8] สร้างค่ามาตรฐานของตัวเลขที่ใช้ดึงสลักเพื่อปรับตั้งค่าความสูงของการย้ำทองแดงและการย้ำฉนวน อีกทั้งจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานสำหรับค่ามาตรฐานของตัวเลขการดึงสลักปรับตั้งค่าความสูงของการย้ำทองแดงและการย้ำฉนวนของหางปลาทุกชนิด ซึ่งช่วยสร้างมาตรฐานในการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพให้สายการผลิต [9] ประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรม ได้แก่ แผนภูมิขั้นตอนการทำงาน (OPC) แผนผังแสดงเหตุและผล การวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิค 5W1H และการลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประกอบเครื่องออกกำลังกายจักรยานปั่นอากาศของพนักงาน หลังจากการปรับปรุงพบว่า เวลาที่ใช้ในการประกอบของพนักงานคนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 79.34 และ 63.49 นาที (จากเดิม 93.41 และ 53.22 นาที) โดยเวลาสูญเปล่าลดลงเหลือ 18.38 และ 34.33 นาที (จากเดิม 20.13 และ 60.32 นาที) ตามลำดับ [10] ลดระยะเวลาที่ใช้ในการกระบวนการปรับตั้งเครื่องพิมพ์ออฟเซตแบบป้อนแผ่น โดยประยุกต์ใช้การศึกษางาน แผนผังกิจกรรมพหุคูณ เทคนิค SMED และหลักการ ECRS ทำให้สามารถลดขั้นตอนการปฏิบัติงานของหัวหน้าเครื่องพิมพ์ ช่างพิมพ์มือ 2 และผู้ช่วยช่างพิมพ์จาก 34 41 และ 22 ขั้นตอน เหลือ 20 22 และ 18 ขั้นตอน ตามลำดับ เวลาโดยเฉลี่ยในการปรับตั้งเครื่องพิมพ์ลดลงจาก 90.79 นาที เหลือ37.15 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 59.08

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษากระบวนการผลิตพั้นช์

กระบวนการผลิตพั้นช์ที่มีส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัด เพื่อช่วยลดรอยแตกร้าวที่ขอบของชิ้นงาน (Shear Mark) ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูป โดยแผนภาพกระบวนการผลิตพั้นช์ก่อนการปรับปรุงแสดงไว้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กระบวนการผลิตพั้นช์ก่อนการปรับปรุง

3.2 เก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง

ใช้แผนภูมิการไหลศึกษากระบวนการทำงานของพนักงานในการผลิตพั้นช์ก่อนการปรับปรุง โดยพบว่าขั้นตอนที่ทำให้เกิดความล่าช้าและเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดของเสีย คือ ขั้นตอนการเจียระไนและตกแต่งผิวเพื่อสร้างส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ โดยเวลาทำงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตพั้นช์ของพนักงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 131.5 นาทีต่อชิ้น ดังแผนภูมิกระบวนการไหลในรูปที่ 6

FLOW PROCESS CHART Type: MAN Material Machine

CHART No.01 SHEET No.01 OF.01

SUBJECT : CHARTED :

ACTIVITY : การทำงานของพนักงาน
PRODUCTION : การทำรัศมีที่ขอบคมตัดพั้นช์

METHOD PRESENT PROPOSED
LOCATION : บริษัทไทยซอน เทค จำกัด

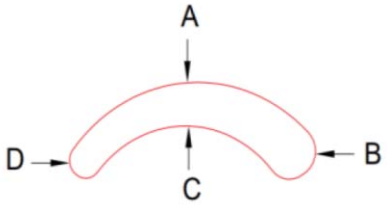
OPERATIVE(S) CLOCK No.
CHARTED BY. DATE :11 ธันวาคม 2563
APPROVED BY. DATE :11 ธันวาคม 2563

SUMMARY			
ACTIVITY	PRESENT	PROPOSED	SAVING
OPERATION ○	5		
TRANSPORT ⇨	1		
DELAY D			
INSTECTION □			
STORAGE ▽			
DISTANCE(M)	50		
TIME (man-min)	131.5		
COST			
LABOUR			
MATERIAL			
TOTAL(CAPITAL)			

DESCRIPTION	QTY	DISTIANCE (M)	TIME (MIN)	SYMBOL ○ ⇨ D □ ▽	REMAKS
1. จับยึดพั้นช์เข้ากับ Fixture	1		0.5		
2. ประกอบดอกริมเมอร์เข้ากับบล็อคลม	1		1		
3. เจียรไนแต่งผิวคมตัดพั้นช์ให้เป็นรัศมี	1		65		
4. ขัดผิวด้วยกระดาษทรายแบบละเอียด	1		20		
5. นำพั้นช์ไปเช็คค่ารัศมี (ไป-กลับ)	1	50 เมตร	5		
6. นำมาขัดละเอียดด้วยจานขัด	1		40		

รูปที่ 6 แผนภูมิกระบวนการไหลก่อนปรับปรุง

จากการตรวจสอบค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ตามจุดต่างๆ ประกอบด้วย จุด A B C และ D ดังรูปที่ 7 พบว่าวิธีการเดิมได้ค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ดังข้อมูลในตารางที่ 1



รูปที่ 7 จุดตรวจสอบค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์

ตารางที่ 1 ค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ก่อนการปรับปรุง

จุดวัด	ค่ารัศมีของส่วนโค้งทีบริเวณขอบคมตัด (มม.)					ค่าเฉลียรัศมีของส่วนโค้งแต่ละจุด (มม.)	ค่าเบียงเบนมาตรฐาน
	ชินที่ 1	ชินที่ 2	ชินที่ 3	ชินที่ 4	ชินที่ 5		
A	1.21	1.01	1.12	1.08	1.12	1.108	0.072
B	1.31	1.25	1.05	1.32	1.09	1.204	0.126
C	1.05	1.22	1.20	1.02	1.02	1.102	0.099
D	1.03	1.14	1.23	1.21	1.25	1.172	0.090
ค่าเฉลี่ยรัศมีของส่วนโค้งโดยรวม						1.147	

ข้อมูลการผลิตพั้นช์ย้อนหลังสามเดือนก่อนการปรับปรุง พบว่ามีจำนวนการผลิตทั้งหมด 15 ชิ้น เป็นของดีเท่ากับ 12 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 80 ในขณะที่พบของเสีย 3 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 20 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลของดี-ของเสียก่อนการปรับปรุง

รายการ	จานวน
จำนวนที่ผลิต (ชิ้น)	15
ของดี (ชิ้น)	12
ของเสีย (ชิ้น)	3

3.3 วิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการแก้ไขกระบวนการสร้างส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์

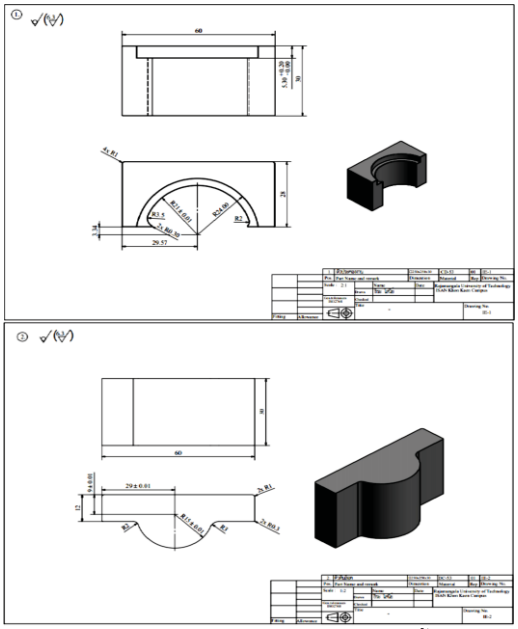
ประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรม Why-Why Analysis ในการวิเคราะห์และหาสาเหตุของปัญหา โดยมีรายละเอียดในการวิเคราะห์ดังรูปที่ 8 โดยพบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตพั้นช์ที่มีส่วนโค้งบริเวณขอบคมตัดต่ำ ซึ่งมีสาเหตุหลัก คือ อุปกรณ์ที่ใช้ทำงานได้ช้าและไม่เหมาะสมกับการทำงาน อีกต้องใช้พนักงานที่มีความเชี่ยวชาญในการผลิต



รูปที่ 8 การวิเคราะห์ Why-Why Analysis

3.4 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยจับยึด

ทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยจับยึดพั้นช์จำนวน 2 ชิ้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 9 เพื่อใช้สำหรับจับยึดพั้นช์ในขั้นตอนการสร้างส่วนโค้งบริเวณขอบคมตัด ซึ่งสามารถใช้งานเครื่องกัดแบบอัตโนมัติในขั้นตอนนี้ทดแทนการใช้แรงงานคน ทำให้ช่วยลดเวลาในการทำงานของพนักงานและช่วยลดของเสียที่จะเกิดขึ้นได้



รูปที่ 9 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยจับยึดพั้นช์

3.5 ประเมินหาประสิทธิภาพหลังการปรับปรุง

ใช้แผนภูมิการไหลศึกษากระบวนการทำงานของพนักงานในการผลิตพั้นช์หลังการปรับปรุง โดยพบว่าสามารถลดเวลาทำงานของพนักงานเหลือเท่ากับ 36.6 นาทีต่อชิ้น หรือมีประสิทธิภาพดีขึ้นร้อยละ 72.17 ดังแผนภูมิกระบวนการไหลในรูปที่ 10

FLOW PROCESS CHART Type ☑ MAN ☐ Material ☐ Machine				
CHART No.01 SHEET No.01 OF.01	SUMMARY			
SUBJECT : CHARTED :	ACTIVITY	PRESENT	PROPOSED	SAVING
	OPERATION ○	5	6	-1
ACTIVITY : การทำงานของพนักงาน	TRANSPORT ⇨	1	1	0
PRODUCTION : การทำรัศมีที่ขอบคมตัดพั้นช์	DELAY D			
	INSTECTION □			
	STORAGE ▽			
METHOD ☐ PRESENT ☑ PROPOSED LOCATION : บริษัทไทยซอน เทค จำกัด	DISTANCE(M)	50	50	0
	TIME (man-min)	131.5	36.6	94.9
OPERATIVE(S) CLOCK No.	COST			
	LABOUR			
CHARTED BY. DATE :11 กุมภาพันธ์ 2563	MATERIAL			
APPROVED BY. DATE :11 กุมภาพันธ์ 2563	TOTAL(CAPITAL)			

	QTY	DISTANCE (M)	TIME (MIN)	SYMBOL ○	⇨	D	□	▽	REMAKS
1.พนักงานนำพั้นช์ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดพั้นช์	1		0.5						
2.พนักงานนำชิ้นงานที่ประกอบกับอุปกรณ์ช่วยจับยึดวางชนกับ Stopper บนอุปกรณจับยึด	1		0.5						
3.พนักงานล็อคปากกาให้แน่น	1		0.5						
4.พนักงานกด Run เครื่อง MILLING	1		0.1						
5.พนักงานถอดชิ้นงานและตัวประคองออกจากอุปกรณ์จับยึด	1		0.5						
6.พนักงานนำชิ้นงานไปวัดค่างาน	1	50	5						
7.พนักงานนำพั้นช์ไปขัดละเอียดด้วยจานขัด	1		30						

รูปที่ 10 แผนภูมิกระบวนการไหลหลังปรับปรุง

ตรวจสอบค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ตามจุดต่างๆ ประกอบด้วย จุด A B C และ D พบว่าวิธีการใหม่ได้ค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ดังข้อมูลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์หลังการปรับปรุง

จุดวัด	ค่ารัศมีของส่วนโค้งทีบริเวณขอบคมตัด (มม.)					ค่าเฉลียรัศมีของส่วนโค้งแต่ละจุด (มม.)	ค่าเบียงเบนมาตรฐาน
	ชินที่ 1	ชินที่ 2	ชินที่ 3	ชินที่ 4	ชินที่ 5		
A	1.08	1.07	1.06	1.06	1.08	1.070	0.001
B	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07	1.076	0.005
C	1.07	1.06	1.07	1.08	1.08	1.072	0.008
D	1.08	1.08	1.07	1.07	1.08	1.076	0.005
ค่าเฉลี่ยรัศมีของส่วนโค้งโดยรวม						1.073	

ข้อมูลการผลิตพั้นช์หลังการปรับปรุง พบว่ามีจำนวนการผลิตทั้งหมด 5 ชิ้น เป็นของดีเท่ากับ 5 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 100 โดยไม่พบของเสียที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลของดี-ของเสียหลังการปรับปรุง

รายการ	จานวน
จำนวนที่ผลิต (ชิ้น)	5
ของดี (ชิ้น)	5
ของเสีย (ชิ้น)	0

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ด้านการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยจับยึดพั้นช์

อุปกรณ์ช่วยจับยึดพั้นช์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 11 สามารถนำไปใช้งานได้จริง ช่วยทำให้เวลาในการทำงานลดลง และค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์อยู่ในพิกัดที่กำหนด

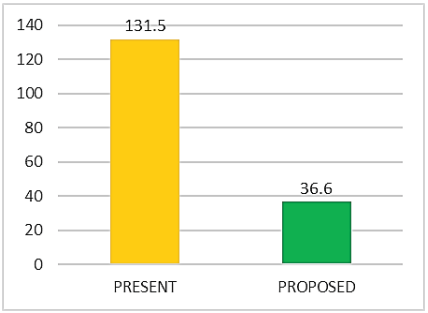


(ก) (ข)

รูปที่ 11 (ก) อุปกรณ์ช่วยจับยึดพั้นช์ที่สร้าง
(ข) การสวมพั้นช์เข้ากับอุปกรณ์ช่วยจับยึด

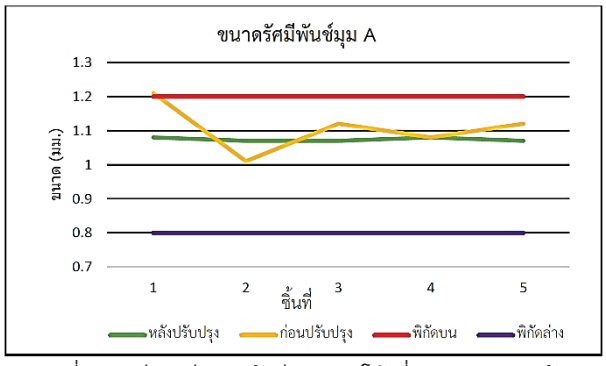
4.2 ด้านการหาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต

ผลการเปรียบเทียบเวลาในการทำงานของพนักงานในกระบวนการผลิตพั้นช์ที่มีส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัด พบว่าก่อนการปรับปรุงพนักงานใช้เวลาในการทำงานโดยเฉลี่ย 131.5 นาทีต่อชิ้น หลังการปรับปรุงเวลาในการทำงานของพนักงานลดลงเหลือ 36.6 นาทีต่อชิ้น หรือมีประสิทธิภาพดีขึ้นร้อยละ 72.17 ดังกราฟในรูปที่ 12

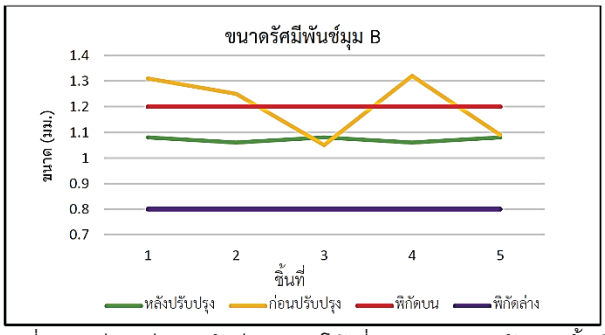


รูปที่ 12 เวลาในการทำงานของพนักงานก่อนและหลังปรับปรุง

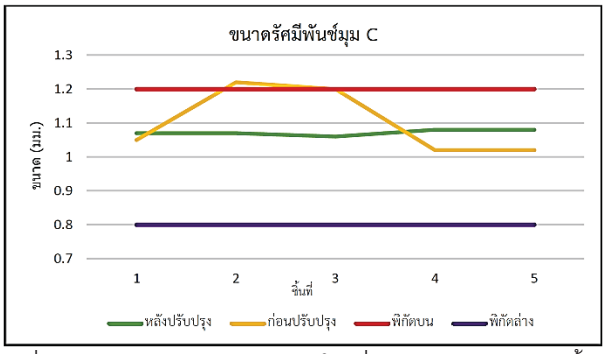
จากการตรวจสอบค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ตามจุดต่างๆ หลังการปรับปรุงพบว่าค่ารัศมีมีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 1.073 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในค่าพิกัดที่กำหนด (พิกัดล่างและพิกัดบนเท่ากับ 0.8 และ 1.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ) จากเดิมที่มีค่ารัศมีโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.147 มิลลิเมตร แม้ว่าค่ารัศมีโดยเฉลี่ยจะอยู่ในพิกัด แต่หากพิจารณาค่ารัศมีของส่วนโค้งของพั้นช์แต่ละชิ้นที่ผลิตโดยวิธีการเดิมจะพบว่าค่ารัศมีของส่วนโค้งบางจุดไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ดังข้อมูลที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 สำหรับผลการเปรียบเทียบค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงโดยจำแนกตามจุดวัด ได้แก่ จุด A B C และ D แสดงไว้ในรูปที่ 13 – 16



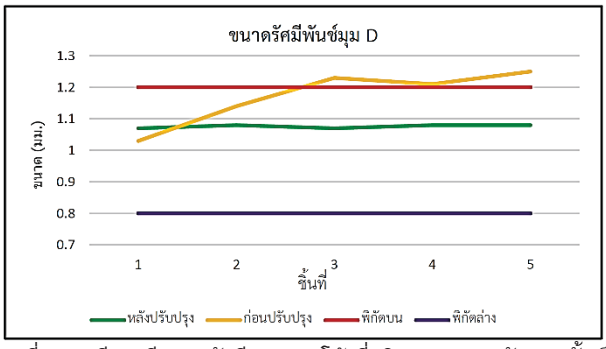
รูปที่ 13 เปรียบเทียบค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์บริเวณจุด A ก่อนและหลังปรับปรุง



รูปที่ 14 เปรียบเทียบค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์บริเวณจุด B ก่อนและหลังปรับปรุง

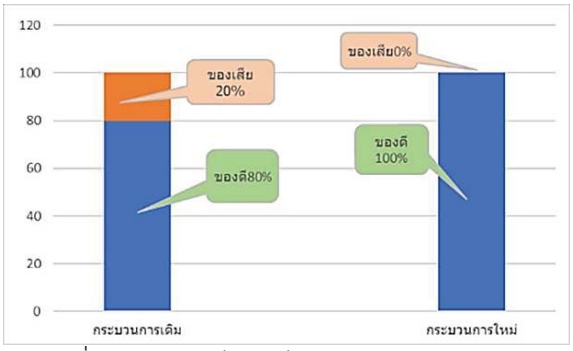


รูปที่ 15 เปรียบเทียบค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์บริเวณจุด C ก่อนและหลังปรับปรุง



รูปที่ 16 เปรียบเทียบค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์บริเวณจุด D ก่อนและหลังปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของดี-ของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าก่อนการปรับปรุงเกิดของเสียคิดเป็นร้อยละ 20 ส่วนหลังปรับปรุงไม่เกิดของเสีย ดังกราฟในรูปที่ 17



รูปที่ 17 ข้อมูลของดี-ของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการการลดความสูญเปล่าในการดำเนินงานมาปรับปรุงการทำงาน โดยออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยจับยึดพั้นช์ให้สามารถสร้างส่วนโค้งโดยใช้เครื่องกัดแบบอัตโนมัติแทนการทำงานแบบเดิมซึ่งพนักงานต้องใช้เวลาในการทำงานนานและมีของเสียเกิดขึ้น ผลที่ได้พบว่าเวลาทำงานของพนักงานลดลงร้อยละ 72.17 ค่ารัศมีของส่วนโค้งที่บริเวณขอบคมตัดของพั้นช์ได้ค่าตามที่กำหนดและไม่เกิดของเสีย

เมื่อนำพั้นช์ (หลังการปรับปรุง) ไปทดลองปั้มขึ้นรูป พบว่าชิ้นงานที่ได้เป็นงานดีและได้ขนาดตามที่แบบงานกำหนด ดังรูปที่ 18 ดังนั้น พั้นช์ที่ผลิตด้วยกระบวนการแบบใหม่สามารถใช้งานได้ตามเป้าหมาย



รูปที่ 18 ชิ้นงานที่ถูกปั้มขึ้นรูปด้วยพั้นช์ที่ผลิตด้วยวิธีการใหม่

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น และขอขอบคุณ บริษัท ไทยซอน เทค จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] ชุติภา ลิ้มศรีวาณิชยกร และจิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์, การปรับปรุงกำลังการผลิตของกระบวนการเตรียมยาง: กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางรถยนต์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 39 ประจำปี 2564, 5 – 7 พฤษภาคม 2564, สงขลา, 793 – 798.

[2] สุจิตรา บัวผัน และประจวบ กล่อมจิตร, การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมประเภทอิเล็กทรอนิกส์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 39 ประจำปี 2564, 5 – 7 พฤษภาคม 2564, สงขลา, 805 – 813.

[3] สาโรช อินชายเขา, อิงฟ้า ชัยทาน, พีระพงษ์ ยืนยงชัยวัฒน์, ปิยะรนต์ละออง และภาษิต ทินนาม, การลดความสูญเปล่าของกระบวนการผลิตหมึกพิมพ์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 39 ประจำปี 2564, 5 – 7 พฤษภาคม 2564, สงขลา, 821 – 828.

[4] ปิยวัฒน์ ปรึกไธสง และเฉลิมเกียรติ ศรีศิลา, การปรับปรุงผลิตภาพของการเชื่อมท่อพีพีอาร์ด้วยเทคนิค ECRS, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 39 ประจำปี 2564, 5 – 7 พฤษภาคม 2564, สงขลา, 860 – 867.

[5] สมเสียง จันทาสี, ฤภูวัลย์ จันทร์สา และสุริวิภา เจริญเวชธรรม, การปรับปรุงการทำงานเพื่อลดเวลาในการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของเครื่องขัดเงาอัตโนมัติ, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 38 ประจำปี 2563, 7 – 8 พฤษภาคม 2563, กรุงเทพฯ, 948 – 953.

[6] วรินทร์ เกียรตินุกูล, พิพัฒน์พงศ์ เทพมณี และสุจี ภัทรพุทธ, การจัดสมดุลสายการผลิตกระบวนการบรรจุชิ้นงานของสายการผลิตกล่องเครื่องประดับ, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 38 ประจำปี 2563, 7 – 8 พฤษภาคม 2563, กรุงเทพฯ, 983 – 988.

[7] ภัทราภา จ้อยพจน์, ธยา ภิรมย์, นฤมล นวบุญ, วิภาวรรณ เส้งทั่น และสุภาวดี ศิลาเกษ, การลดข้อบกพร่องในการทำงานช้าโดยเทคนิคลีน, การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 5, 3 – 4 กันยายน 2563, จันทบุรี, 71 – 77.

[8] ทิพรัตน์ สินหนัง และเฉลิมเกียรติ ศรีศิลา, การจัดกลุ่มการผลิตและการใช้หลักการศึกษางานลดความสูญเปล่า สำหรับบริษัทผลิตชุดสายไฟรถยนต์, การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 5, 3 – 4 กันยายน 2563, จันทบุรี, 197 – 203.

[9] ณัฐนันท์ ประสีระเตสัง, ณัฐ ประสีระเตสัง, ธนกร ชัยณรงค์, จิรัฐกาล ชะดารัมย์ และแสงสุรีย์ เกตุโสระ, การเพิ่มประสิทธิภาพในการประกอบเครื่องออกกำลังกายจักรยานปั่นอากาศโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคทางวิศวกรรม, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 37 ประจำปี 2562, 21 – 23 กรกฎาคม 2562, กรุงเทพฯ, 142 – 147.

[10] พงศกร จันทร์สุวรรณ และอภินันทนา อุดมศักดิกุล, การลดเวลาปรับตั้งเครื่องพิมพ์ออฟเซตแบบป้อนแผ่น กรณีศึกษา โรงงานผลิตสิ่งพิมพ์และบรรจุภัณฑ์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 37 ประจำปี 2562, 21 – 23 กรกฎาคม 2562, กรุงเทพฯ, 179 – 183.

การเปรียบเทียบการวัดกำลังของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ระหว่างแบบสถิตและแบบพลวัตแฝง

A Comparison of Composite Strength between Static and Semi Dynamic

ภูวเดช เสน่ห์เมือง[1*], ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: phuwadet.sa@gmail.com*

Phuwadet Sanaemuang[1*], Phairoat Ladavichitkul[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: phuwadet.sa@gmail.com*

บทคัดย่อ

การประเมินภาระงานเพื่อวัดระดับความปลอดภัยโดยหลักชีวกลศาสตร์มีอยู่ 2 แนวทางคือ การประเมินแบบภาวะสถิต (Static) และการประเมินแบบภาวะพลวัต (Dynamic) การประเมินแบบพลวัตมีความใกล้เคียงกับการเคลื่อนไหวจริงแต่เนื่องจากข้อจำกัด ทั้งเวลาและความซับซ้อนในการคำนวณ จึงมักใช้แนวทางการประเมินแบบภาวะสถิตแทน ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดและให้ผลการประเมินที่ต่ำกว่าความเป็นจริง จากการเปรียบเทียบการประเมินแบบภาวะสถิตและแบบภาวะพลวัตแฝงจากอาสาสมัครจำนวน 6 คน โดยการเก็บข้อมูลกำลังยกในท่ายกแบบใช้กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ และคำนวณโมเมนต์และแรงกดอัดที่หลังส่วนล่าง (L5/S1) พบว่ากำลังยกสูงสุด (Strength) และโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่าง (Joint Strength) ในภาวะพลวัตแฝงมีค่าเฉลี่ยมากกว่าแบบภาวะสถิต ถึงร้อยละ 29 และร้อยละ 8.6 ตามลำดับ เนื่องจากมุมของลำตัวที่เปลี่ยนไปซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นขณะเคลื่อนไหว แสดงว่าการยกแบบเคลื่อนไหวสามารถยกของได้มากกว่าการยกแบบอยู่กับที่โดยที่การทำงานของกล้ามเนื้อหลังเพิ่มขึ้นไม่มาก สำหรับค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่าง (Compressive Force) พบว่าการประเมินแบบภาวะพลวัตแฝงมีค่ามากกว่าแบบภาวะสถิตเฉลี่ยร้อยละ 12.6 แสดงให้เห็นว่าการประเมินแบบภาวะสถิตให้ค่าแรงกดอัดสูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างน้อยกว่าความเป็นจริง หากต้องการกำหนดค่าความปลอดภัยที่ใกล้เคียงกับการทำงานจริงมากขึ้นควรใช้แนวทางการประเมินแบบภาวะพลวัตแทน

คาสาคัญ: การวัดกำลังพลวัตแฝง, การวัดกำลังสถิต, การวัดกำลังกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

Abstract

There were two methods which are static assessment and dynamic assessment that estimate the safety level of the workload by implementing the biomechanical assessment in order to identify force and joint strength. Although the dynamic assessment is like the actual movement, the static assessment is more preferred since there are restrictions, limitations, time limits and complexities for measurements by applying dynamic assessment. However, there are several inaccuracies which may occur and offer lower assessment results than the realities. From the comparison of static and dynamic assessments which were analyzed by six volunteers by data which were collected from lifting movement using composite Strength and calculated the joint strength and compressive force in lower back areas (L5/S1), it revealed that the maximum Strength and the maximum joint strength in lower back areas in the semi-dynamic condition has more average than in the static condition by 29 percent and 8.6 percent respectively. Due to the variations of trunk in which the values are increasing throughout the movement, it demonstrated that actual lifting could lift more load than stable lifting whereas the workload of back muscle is not increased much. In the section of the maximum of compressive force in lower back area (L5, S1), it revealed that the average point of dynamic assessment was more than static assessment by 12.6 percent. That is, the static assessment results the maximum of compressive force in lower back area (L5, S1) lower than the fact and it is acceptable for usages which determines the maximum of safety factor. Whether the safety factor is determined as equivalent to the actual lifting, the dynamic assessment must be considered instead.

Keywords: Semi Dynamic Strength, Static Strength, Composite Strength

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วิธีการประเมินภาระงานเพื่อวัดระดับปลอดภัยและป้องกันอาการบาดเจ็บจากการขนย้ายวัสดุมีอยู่หลายแนวทาง แต่หนึ่งในแนวทางที่ใช้ประเมินคือ หลักชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach) ซึ่งเป็นการคำนวณตามหลักวิศวกรรม โดยการคำนวณหาแรงลัพธ์และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อแต่ละส่วนของร่างกายเนื่องจากแรงสามารถสะท้อนต่อการทรุดตัวของหมอนรองกระดูกสันหลังได้โดยตรง [1] โดยหลักการคำนวณชีวกลศาสตร์มีอยู่ 2 แนวทางคือ การประเมินแบบภาวะสถิตและการประเมินแบบภาวะพลวัต การทำงานที่ใช้แรงกายนับเป็นการทำงานในแบบพลวัตแต่เนื่องจากข้อจำกัดทั้งเวลาและความซับซ้อนในการประเมิน จึงมักใช้แนวทางประเมินแบบภาวะสถิต ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดโดยผลประเมินที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริงที่เป็นแบบพลวัต

การทำงานในปัจจุบันส่วนใหญ่อยู่ในสภาวะพลวัตแต่สามารถพิจารณาในท่าทางที่เรียกว่าสถิตได้โดยการวิเคราะห์สภาวะสถิตแบบต่อเนื่อง (Stop Motion) ซึ่งวิธีนี้ได้นำมาศึกษาและพัฒนาเพื่อคำนวณหาค่าภาระงานให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด โดยอาศัยภาพต่อเนื่องขณะทำงาน เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินในภาวะพลวัต มีต้นทุนที่สูงและมีความซับซ้อนในการคำนวณ เนื่องจากมีความเร็วและความเร่งเข้ามาเกี่ยวข้อง ประกอบกับลักษณะการเคลื่อนไหวของงานยกที่เคลื่อนไหวไม่เร็วมาก การนำเทคนิคการประเมินแบบพลวัตแฝง (Semi-Dynamic) [2] ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะที่มีความเร็วคงที่ ทำให้มีความเร่งน้อยมากจึงอนุมานได้ว่าความเร่งเทียบเท่ากับศูนย์ นอกจากนี้เทคนิคนี้ถูกนำไปใช้ในการหาขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของการเคลื่อนย้ายวัสดุในภาระงานผสมสำหรับคนงานหญิง [3] การหาขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ของการเข็นและลากรถเข็นบรรทุกของ [4] และการประเมินสำหรับลดแรงกดของหลังส่วนล่างในงานบรรจุผลิตภัณฑ์แผงบันไดข้างและสปอยเลอร์หลัง [5] จากที่กล่าวมาข้างต้นเทคนิคนี้จึงเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการประเมิน โดยแรงที่วัดได้จากเครื่องวัดกำลังยังคงเป็นสภาวะพลวัต แต่การคำนวณยังคงเป็นสภาวะสถิตในทุก ๆ เฟรมตลอดการเคลื่อนไหว ซึ่งการประเมินความปลอดภัยในการยกด้วยหลักชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตมีขั้นตอนดังนี้ 1. ประเมินหาค่าแรงกดอัดสูงสุดที่กระดูกสันหลัง โดยการวัดกำลังสถิต 2. ประเมินค่าแรงกดอัดที่กระดูกสันหลังจากงานจริง หรือจากการออกแบบการทดลองจากห้องปฏิบัติการที่เทียบเท่ากับสภาวะงานจริง 3. ประเมินความปลอดภัยจากงานยก โดยเกณฑ์ความปลอดภัยถูกกำหนดไว้ไม่เกิน ร้อยละ 60 ของค่าแรงกดสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังสถิต

งานยกของสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 งานย่อยคือ 1. นำสิ่งของที่ต้องการยกเข้ามาใกล้ลำตัว 2. ยกสิ่งของขึ้นจากพื้นโดยใช้กำลังของกล้ามเนื้อ 3. ยกโดยหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง และ 4. วางสิ่งของลงบนพื้นที่เป้าหมาย ลักษณะงานย่อยทั้ง 4 มีความใกล้เคียงกับการวัดกำลังกล้ามเนื้อทั้ง 4 แบบ ได้แก่ กล้ามเนื้อมือ (Hand Strength) กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ (Composite Strength) กล้ามเนื้อแขน (Arm Strength) และกล้ามเนื้อไหล่ (Shoulder Strength) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การใช้งานของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เนื่องจากเป็นท่าที่ทำให้เกิดแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างสูงที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

เปรียบเทียบค่าจากการวัดกำลัง โมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่าง และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วน จากการวัดกำลังแบบสถิตและแบบพลวัตแฝง

2. ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

2.1 ผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นอาสาสมัครที่ไม่เคยมีอาการบาดเจ็บหลังส่วนล่างมาก่อนจำนวน 6 คน

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบ

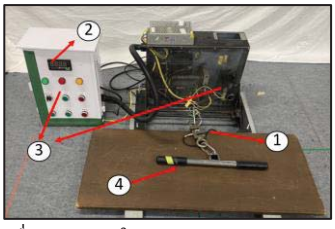
ผู้ทดสอบ	เพศ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก(กิโลกรัม)	ส่วนสูง(เซนติเมตร)
1	ชาย	25	64	183
2	ชาย	25	68	175
3	ชาย	26	97	180
4	ชาย	26	62	175
5	หญิง	25	64	170
6	หญิง	26	73	163

2.2 สถานที่เก็บข้อมูล

ห้องปฏิบัติการปัจจัยมนุษย์และการยศาสตร์ ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องวัดกำลังในภาวะสถิตและภาวะพลวัตแฝง



รูปที่ 1 เครื่องวัดกำลังในภาวะสถิตและภาวะพลวัตแฝง

อุปกรณ์ของเครื่องวัดกำลังประกอบด้วย

1. Load Cell Strain Gauge Type S 300 kg
2. Load Cell Indicator Mypin Model LM8-IRRD
3. Stepping Motor / Stepping Drive พร้อมบอร์ด PLC Transistor รุ่น FX1S 22MRT เพื่อควบคุมและสั่งการมอเตอร์ โดยเครื่องสามารถปรับ

ระดับยืดและหดของเชือกได้ตั้งแต่ 0 - 200 ซม. และสามารถกำหนดความเร็วการหมุนของมอเตอร์ได้ตั้งแต่ 0.2 – 1 เมตรต่อวินาที
4. ด้ามจับสำหรับดึง

หลักการทำงานของเครื่อง

การทำงานในภาวะสถิต

1. กำหนดระยะความยาวของเชือก ผ่านซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นการกำหนดการหมุนของมอเตอร์จนทำให้เชือกอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมกับผู้ทดสอบ
2. เมื่อผู้ทดสอบอยู่ในท่าที่เหมาะสม แล้วเริ่มออกแรงดึงมากกว่า 5 กิโลกรัม เครื่องเริ่มบันทึกข้อมูลด้วยอัตรา 10 ค่าต่อวินาที

การทำงานในภาวะพลวัต

1. กำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ พร้อมทั้งระยะความยาวในการปล่อยเชือก ผ่านซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์
2. จากโหมดการทำงานในแบบพลวัตเมื่อผู้ทดสอบเริ่มออกแรงดึงมากกว่า 5 กิโลกรัม เครื่องเริ่มทำงานโดยอัตโนมัติและบันทึกข้อมูลด้วยอัตรา 10 ค่าต่อวินาที จนสิ้นสุดระยะความยาวเชือกที่กำหนด

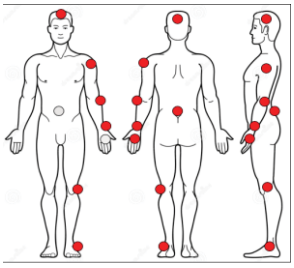
2) ระบบเก็บข้อมูลด้วยภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ Motion Capture Systems ประกอบด้วย กล้องอินฟาเรดรุ่น Flex 13 ความละเอียด 1.3 ล้านพิกเซล จำนวน 12 ตัว ลูกบอลวาวแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 14 มิลลิเมตร 8 ลูก บันทึกข้อมูลด้วยความถี่ 30 เฟรมต่อวินาที



รูปที่ 2 Motion Capture Systems

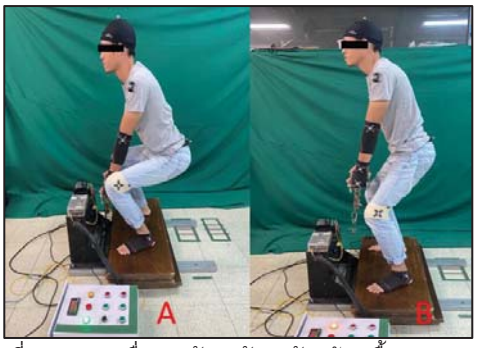
2.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1) เก็บข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง
2) ติดลูกบอลเรืองแสง 8 ตำแหน่งบนร่างกายของผู้เข้าร่วมวิจัย ศีรษะ หัวไหล่ ข้อศอก ข้อมือ มือ หลังส่วนล่าง หัวเข่า และข้อเท้า



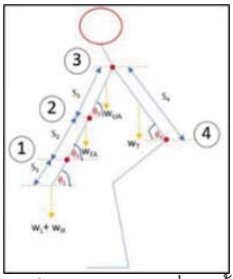
รูปที่ 3 ตำแหน่งลูกบอลเรืองแสง ของผู้เข้าร่วมวิจัย

3) วัดกำลังสถิตของท่ากล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ เป็นการออกแรงแบบมีการหดตัวของกล้ามเนื้อ ชนิดที่ความยาวของกล้ามเนื้อคงที่มีการเกร็งหรือตึงตัวของกล้ามเนื้อเพื่อต้านกับแรงต้าน จึงไม่มีการเคลื่อนไหว เป็นการออกแรงเต็มที่ในระยะเวลาสั้น ๆ โดยผู้ทดสอบอยู่ในท่ายื่นกึ่งนั่ง (Semi–Squat Position) และออกแรงเต็มที่ 5 วินาที เป็นลักษณะดังรูปที่ 4 ตำแหน่ง A แต่ไม่เกิดการเคลื่อนไหว หลังจากวัดกำลังสถิตผู้เข้าร่วมทดสอบพัก 7-8 ชั่วโมง ก่อนเข้าร่วมทดสอบอีกครั้ง
4) วัดกำลังพลวัตแฝง เป็นการออกแรงชนิดที่การทำงานของกล้ามเนื้อเป็นไปอย่างสม่ำเสมอลักษณะการเคลื่อนไหวที่ความเร็วคงที่ โดยกำหนดให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.73 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วที่มีความสัมพันธ์กับการยก [6] โดยออกแรงยกจากพื้นจนเลยระดับหัวเข่ามากเล็กน้อย เป็นการจำลองการยกพื้นขึ้นสู่โต๊ะที่ระดับเอว ซึ่งจุด A คือตำแหน่งเริ่มต้น และจุด B คือตำแหน่งสิ้นสุด



รูปที่ 4 ภาพต่อเนื่องท่าวัดกำลังพลวัตกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ

5) แปลงข้อมูลที่ได้จากการบันทึกภาพด้วยระบบ Motion Capture Systems เพื่อหามุมและความยาวของแต่ละส่วนของร่างกาย โดยการศึกษาในระนาบหน้า-หลัง (Sagittal Plane) ตามหลักชีวกลศาสตร์
6) หาจุดศูนย์กลางมวล และน้ำหนักของแต่ละ Segment เพื่อนำไปหาโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่าง และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่าง โดยใช้ตารางข้อมูลสัดส่วนร่างกาย [7]
7) คำนวณแรงที่กระทำแต่ละ Segment และโมเมนต์ โดยเริ่มจากมือ ณ จุดที่ 1 ไปยังบริเวณหลังส่วนล่าง ณ จุดที่ 4 ในแต่ละเฟรม



รูปที่ 5 แรงที่กระทำและโมเมนต์กระทำที่เกิดขึ้นในแต่ละ Segment

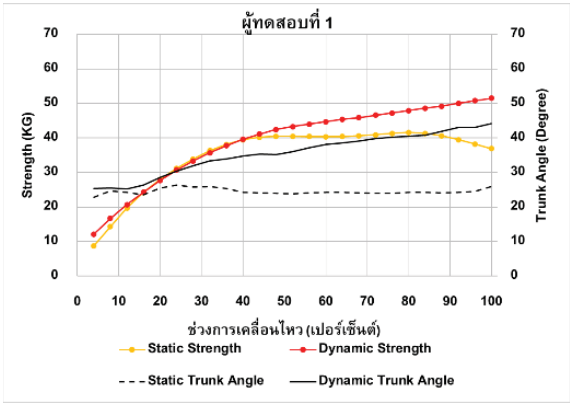
8) คำนวณหาแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่าง ณ ที่จุด 4 ดังรูปที่ 5 ตามหลักชีวกลศาสตร์

9) เปรียบเทียบค่าสูงสุดของแรงวัดกำลังที่ได้จาก Load Cell โมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่าง และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่าง ของทั้ง 2 แบบ เป็นร้อยละ โดยใช้สมการที่ (1)

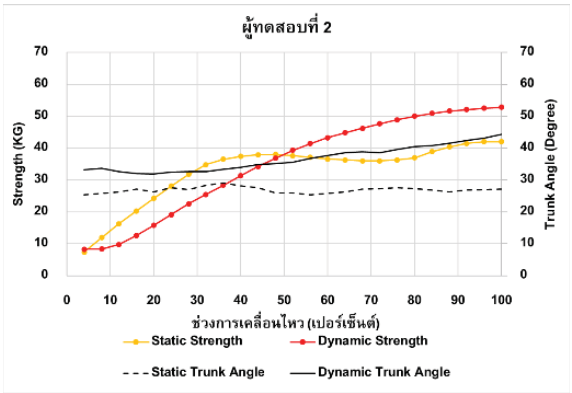
$$\text{ผลต่างของพลวัตและสถิต (ร้อยละ)} = \frac{\text{ค่าสูงสุดการวัดแบบพลวัต-ค่าสูงสุดการวัดแบบสถิต}}{\text{ค่าสูงสุดการวัดแบบสถิต}} \times 100 \qquad (1)$$

3. ผลการเก็บข้อมูล

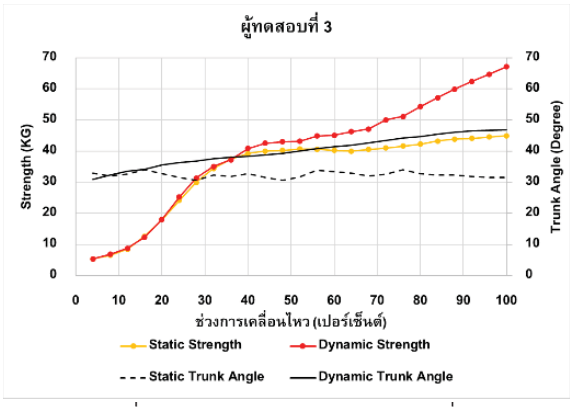
3.1 แรงวัดกำลังที่ได้จาก Load Cell และมุมองศาของลำตัว (Trunk Angle)



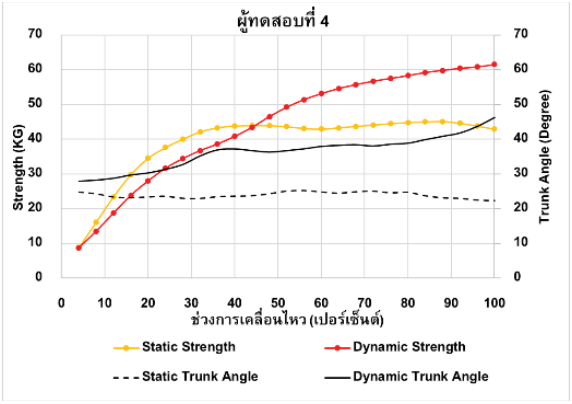
รูปที่ 6 กำลังและมุมของลำตัวผู้ทดสอบที่ 1



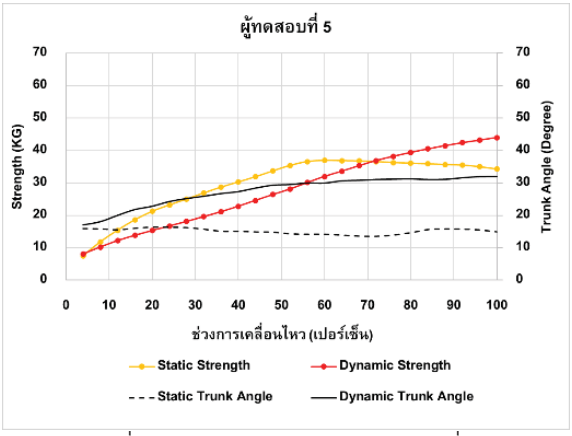
รูปที่ 7 กำลังและมุมของลำตัวผู้ทดสอบที่ 2



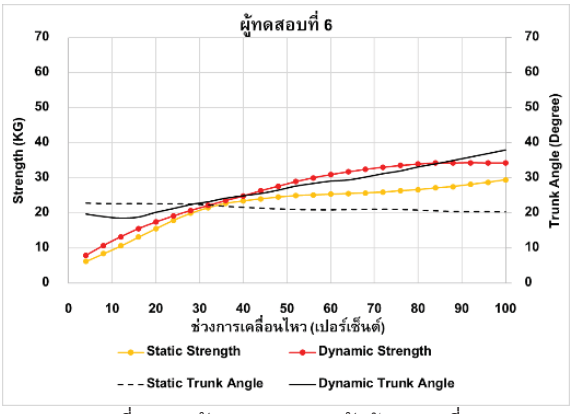
รูปที่ 8 กำลังและมุมของลำตัวผู้ทดสอบที่ 3



รูปที่ 9 กำลังและมุมของลำตัวผู้ทดสอบที่ 4



รูปที่ 10 กำลังและมุมของลำตัวผู้ทดสอบที่ 5

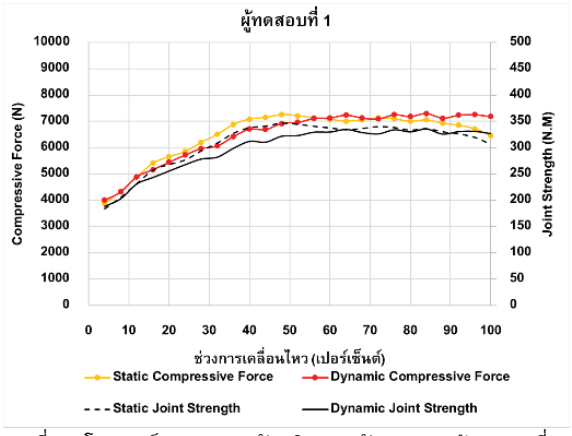


รูปที่ 11 กำลังและมุมของลำตัวผู้ทดสอบที่ 6

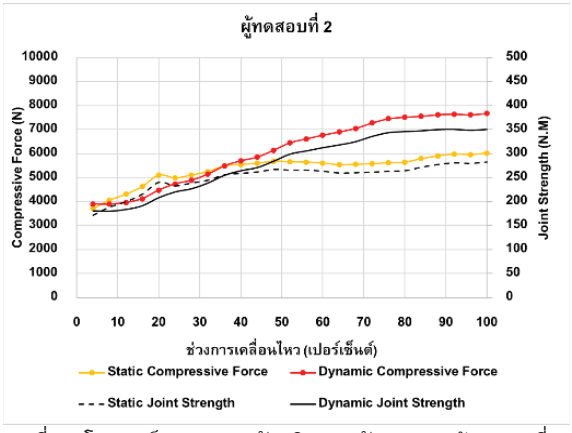
รูปที่ 6 – 11 แสดงผลการเก็บข้อมูลของแรงที่ได้จากการวัดกำลังและมุมของลำตัวของผู้ทดสอบทั้ง 6 คน ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการวัดกำลังพลวัตแฝงและการวัดกำลังสถิต โดยที่แกนแนวดิ่งด้านซ้ายคือค่าของผลการวัดกำลัง แกนแนวดิ่งด้านขวาคือมุมของลำตัว และแกนแนวนอนคือช่วงของการเคลื่อนไหว ผลการเก็บข้อมูลพบว่า แรงที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝง ให้ค่าใกล้เคียงกับแรงที่ได้จากการวัดกำลัง

สถิตในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 0 - 40 หลังจากนั้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามมุมของลำตัวที่เพิ่มขึ้นจนจบการเคลื่อนไหว ส่วนแรงที่ได้จากการวัดกำลังสถิตค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 0 – 40 และเริ่มคงที่ ตามมุมของลำตัว ส่วนผู้ทดสอบที่ 5 แรงที่ได้จากการวัดกำลังพลวัตแฝงมากกว่าแรงที่จากการวัดกำลังสถิตในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 70 เนื่องจากมุมของลำตัวค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผู้ทดสอบทั้ง 5 คน

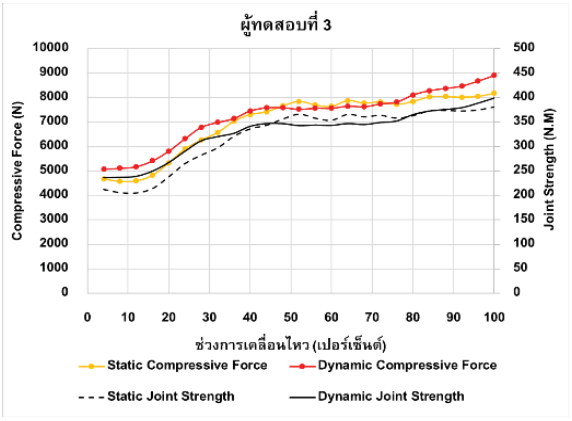
3.2 โมเมนต์ที่เกิดบริเวณหลังส่วนล่าง และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่าง



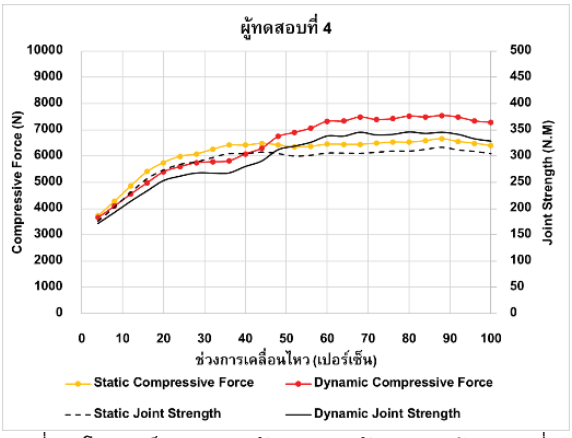
รูปที่ 12 โมเมนต์และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างผู้ทดสอบที่ 1



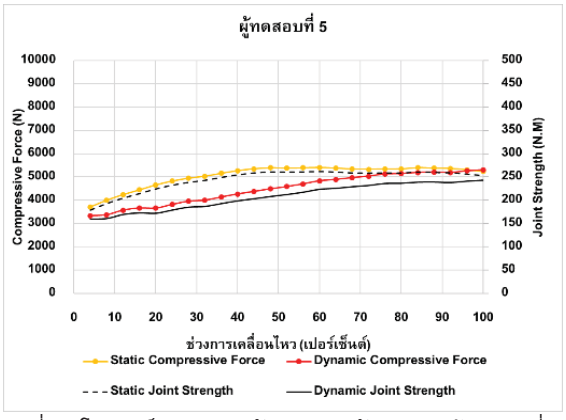
รูปที่ 13 โมเมนต์และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างผู้ทดสอบที่ 2



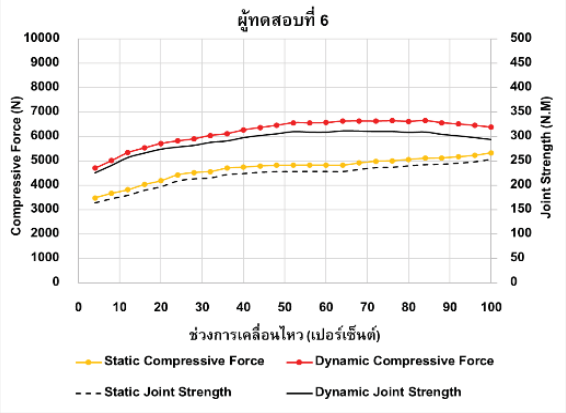
รูปที่ 14 โมเมนต์และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างผู้ทดสอบที่ 3



รูปที่ 15 โมเมนต์และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างผู้ทดสอบที่ 4



รูปที่ 16 โมเมนต์และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างผู้ทดสอบที่ 5



รูปที่ 17 โมเมนต์และแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างผู้ทดสอบที่ 6

รูปที่ 12 – 17 แสดงถึงโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างและแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างของผู้ทดสอบทั้ง 6 คน โดยที่แกนแนวดิ่งด้านซ้ายคือค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่าง แกนแนวดิ่งด้านขวาคือโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่าง และแกนแนวนอนคือช่วงของการเคลื่อนไหว พบว่า โมเมนต์ที่เกิดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงและสถิต มีค่าใกล้เคียงกัน โดยแบบพลวัตแฝงยังคงให้ค่ามากกว่า ขณะที่แบบสถิตมีค่าแนวโน้มตามแรงที่ได้จากการวัดกำลัง ส่วนโมเมนต์ที่ได้จากการวัดกำลังแบบพลวัตแฝงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ไปจนจบการเคลื่อนไหว สำหรับแรงกดอัดบริเวณหลังล่างมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงแรก แต่แรงกดอัดบริเวณส่วนล่างแบบพลวัตแฝงยังคงมีค่ามากกว่าแบบสถิต โดยเพิ่มขึ้นตามตามแรงที่ได้จากการวัดกำลังแบบพลวัตแฝง

4. สรุป

จากผลการทดลองในการวัดกำลังทั้ง 2 แบบ ของผู้ทดสอบทั้ง 6 คน พบว่าค่าแรงที่ได้จาก Load Cell ให้ค่าใกล้เคียงกันในช่วงแรกและการวัดกำลังแบบพลวัตแฝง เริ่มมากกว่าในช่วงการเคลื่อนไหวที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของการเคลื่อนไหวทั้งหมด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามมุมของลำตัวที่เพิ่มขึ้น และมีค่ามากกว่าแรงวัดกำลังแบบสถิต โดยแรงสูงสุดของการวัดกำลังสถิตอยู่ในช่วง 28.8 - 45.1 กิโลกรัม แรงสูงสุดของการวัดกำลังพลวัตแฝงอยู่ในช่วง 34.4 – 67.1 กิโลกรัม ซึ่งค่าเฉลี่ยจากการวัดกำลังทั้ง 2 แบบ ต่างกันร้อยละ 29 ส่วนโมเมนต์บริเวณหลังส่วนล่างเป็นตัวแทนกำลังของกล้ามเนื้อหลัง เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่าค่าใกล้เคียงกันในช่วงแรก จากนั้นจากการวัดกำลังแบบพลวัตเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีค่ามากกว่าจากการวัดกำลังแบบสถิต โดยค่าของโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิตอยู่ในช่วง 248.49 – 381.18 นิวตัน และค่าของโมเมนต์สูงสุดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงอยู่ในช่วง 243.17 – 398.70 นิวตัน ซึ่งมีค่าสูงกว่าการวัดกำลังสถิตเฉลี่ยร้อยละ 8.6 หมายความว่าผู้ทดสอบสามารถรับภาระงานได้มากขึ้น โดยที่การทำงานของกล้ามเนื้อหลังเพิ่มขึ้นไม่มาก ส่วนแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างเป็นตัวชี้วัดระดับความปลอดภัยจากการทำงาน เกณฑ์ความปลอดภัยถูกกำหนดไว้ไม่เกิน ร้อยละ 60 ของค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ได้จากการวัดกำลังสถิต แต่เมื่อได้ศึกษาในการวัดกำลังพลวัตแฝงแล้วพบว่าค่าแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างที่ได้มีค่ามากกว่าการวัดกำลังสถิต โดยค่าสูงสุดของแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังสถิตอยู่ในช่วง 5,232.17 – 8,178.30 นิวตัน ส่วนค่าสูงสุดของแรงกดอัดบริเวณหลังส่วนล่างจากการวัดกำลังพลวัตแฝงอยู่ในช่วง 5,303.91 – 8,910.12 นิวตัน ซึ่งมีค่าสูงกว่าการวัดกำลังสถิตเฉลี่ยร้อยละ 12.6

เนื่องจากเครื่องมือการวัดกำลังแบบพลวัตมีต้นทุนที่สูงและมีความซับซ้อนในการใช้งาน วิธีการวัดกำลังแบบพลวัต จึงเหมาะกับงานที่ต้องการกำหนดค่าความปลอดภัยให้ใกล้เคียงกับงานที่มีการเคลื่อนไหว ซึ่งจะส่งผลให้ เกณฑ์ความปลอดภัยเปลี่ยนไป เช่น น้ำหนักสิ่งของที่สามารถยกได้อย่างปลอดภัยจะสูงกว่าการวัดแบบสถิต

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติ อินทรานนท์ และคณะ. (2553). การยศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] ตริฉัตร จำปาวัลย์. (2538). ขีดจำกัดสูงสุดของการยกของที่ยอมรับได้ในแนวระนาบหน้า-หลัง. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] อรอุมา ลาสุนนท์. (2542). ขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของการเคลื่อนย้ายวัสดุในภาระงานผสมสำหรับคนงานหญิง. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] อภิชาต แผ้วพาลชน. (2545). ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ของการเข็นและลากรถเข็นบรรทุกของ. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] กาญจนา หลวงโปธา. (2554). วิธีการประเมินสำหรับลดแรงกดอัดของหลังส่วนล่างในงานบรรจุผลิตภัณฑ์แผงบันไดข้างและสปอยเลอร์หลัง. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] Pytel and Kamon. (1981). Published Data. Isokinetic Strength.

[7] Winter, D. A. (1979). Biomechanics of Human Movement. John Wiley,NY.

การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ

THE PRODUCTIVITY IMPROVEMENT FOR BATCH ASSIGNS PROCESS FROM VEHICLE KEEPED IN STOCKYARD.

พรส งามบริรักษ์[1*] อนันต์ มุ่งวัฒนา[2] และ จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน[3]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2,3]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: paros.ng@ku.th*

Paros Ngamboriruk[1*], Anan Mungwattana[2] and Chansiri Singhtaun[3]
[1]Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2,3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: paros.ng@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ และเพิ่มขีดความสามารถการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ ของฝ่ายบริหารงานจัดส่งรถใหม่ในบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิค ECRS และการลดความสูญเสีย 7 ประการ โดยก่อนการปรับปรุงประสบปัญหาในด้านขีดความสามารถในการตัดขายรถใหม่ที่ 100 คันต่อวัน ไม่สามารถทำได้เพียงพอต่อเป้าหมายความต้องการของฝ่ายขายที่ 143 คันต่อวัน กระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ การจัดเตรียมเอกสาร การเคลื่อนย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้าง การล้างทำความสะอาดรถใหม่ การตรวจสอบคุณภาพ และการเคลื่อนย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมการจัดส่ง การดำเนินการปรับปรุงเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์รอบเวลาการทำงานเพื่อหาจุดคอขวดของกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ ซึ่งพบว่าขั้นตอนการล้างทำความสะอาดรถใหม่ และขั้นตอนการย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้างมีผลผลิตต่อวันต่ำกว่าเป้าหมายที่ 111 และ 136 คันต่อวันตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกทั้งสองขั้นตอนนี้เพื่อทำการปรับปรุงประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อวันให้ได้ตามเป้าหมาย โดยแนวทางการปรับปรุงขั้นตอนการล้างทำความสะอาดรถใหม่ และขั้นตอนการย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้าง ได้พิจารณาการติดตั้งแขนเหวี่ยงสายยาง การเพิ่มจุดวางถังน้ำแชมพูเพื่อลดการเดินย้อนกลับของพนักงาน การติดตั้งเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูงเพื่อลดเวลาการฉีดล้างคราบสกปรก การจัดสรรภาระงานในขั้นตอนการทำความสะอาดรถใหม่เพื่อลดเวลารอคอยในกระบวนการ การกำหนดเส้นทางการวิ่งของรถภายในลานจอดใหม่เพื่อลดการสูญเสียเวลาจากการขับรถอ้อมโดยที่ไม่จำเป็น ซึ่งหลังการปรับปรุงสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการเพิ่มขีดความสามารถในการตัดขายรถใหม่ที่ 143 คันต่อวัน

คำหลัก: การวิเคราะห์กระบวนการ, กระบวนการคอขวด, หลักการ ECRS, ความสูญเสีย 7 ประการ

Abstract

This research is a case study of automotive company in the department of Vehicle Logistic that aims to improve the efficiency and the capacity of the batch assign process by applying the ECRS principle and 7-Waste. Before the improvement, the capacity of batch assign process was 100 units per day which was not able to meet the sales department's target of 143 units per day. The batch assign process consists of document preparing, moving to pre-washing area, washing & cleaning, quality inspection, and moving to pre-loading area. The improvement began with data collecting to identify bottleneck in work stages. It was found that processes of washing and moving to pre-washing area were under the target, 111 and 136 units per day respectively. Therefore, these two processes were chosen for improvement. To meet the target, swing arms and shampoo bucket were installed to reduce unnecessary movement of workers. High-pressure car washers were installed to reduce cycle time of cleaning process. Moreover, manpower workload in washing process were reallocated to reduce waiting time and new routes in the vehicle stock yard were also assigned to avoid unnecessary detouring. As a result, the target of 143 cars per day was achieved.

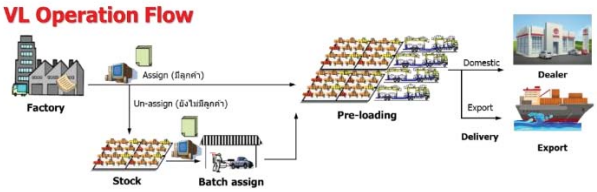
Keywords: Process Analysis, Bottleneck process, ECRS Principle, 7-Waste

1. บทนำ

ฝ่ายบริหารงานจัดส่งรถใหม่ (Vehicle logistic Department) ในบริษัทกรณีศึกษานี้ รับผิดชอบในการบริหารจัดการรับรถใหม่ที่ผลิตเสร็จจากโรงงาน เพื่อเตรียมความพร้อมรถใหม่ก่อนการจัดส่ง โดยมีกระบวนการจัดเก็บเพื่อแยกรถประเภทต่าง ๆ ตามจุดหมายปลายทางที่จะต้องจัดส่ง โดยมีการวางแผนควบคุมให้รถทุกคันจัดส่งให้ตรงกำหนดเวลานัดหมายและรักษาคุณภาพของรถใหม่ให้สมบูรณ์ที่สุดก่อนที่จะถึงมือลูกค้า

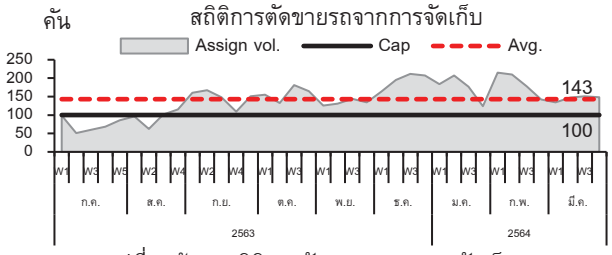
จากสถานการณ์การวางแผนการผลิตในปัจจุบันไม่สามารถวางแผนการผลิตให้เป็นแบบทันเวลาพอดี (Just in Time) ได้อย่างสมบูรณ์แบบ กล่าวคือจะผลิตเมื่อมีคำสั่งซื้อจากลูกค้าเท่านั้น เพราะพฤติกรรมลูกค้าในปัจจุบันมีแนวโน้มที่ต้องการความรวดเร็ว และไม่ต้องการรอคอยสินค้านาน ดังนั้นการวางแผนการผลิตจึงจำเป็นต้องใช้การคาดการณ์แบบล่วงหน้า เพื่อให้สามารถผลิตสินค้าออกมารองรับความต้องการของลูกค้าที่หลากหลาย และสามารถจัดส่งได้ทันที รวมทั้งเพื่อเพิ่มโอกาสในการขายให้มากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้รถที่ผลิตเสร็จจากโรงงานจึงมีโอกาสที่จะเป็นรถที่ยังไม่มีคำสั่งซื้อ (Un-Assign) เนื่องจากปัญหาความแม่นยำในการคาดการณ์ หรือจากการวางแผนเพิ่มยอดผลิตล่วงหน้าเพื่อรองรับสถานการณ์การขายที่เพิ่มมากขึ้นในช่วงเทศกาลสำคัญ

สำหรับรถที่ผลิตเสร็จจากโรงงานแล้วยังไม่มีคำสั่งซื้อ (Un-Assign) จะถูกนำไปจัดเก็บในพื้นที่ลานจอดรถใหม่ (Stock Yard) เพื่อรอตัดขายอีกครั้ง หากมีคำสั่งซื้อจากลูกค้า ฝ่ายขายจะทำการออกคำสั่งให้ฝ่ายบริหารงานจัดส่งรถใหม่ นำรถที่ถูกจัดเก็บออกมาเพื่อเตรียมการจัดส่งให้ลูกค้า โดยการคัดเลือกจากรถเป็นไปตามหลักการเข้าก่อนออกก่อน (FIFO) กระบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า “กระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ (Batch Assign)” ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการในฝ่ายบริหารงานจัดส่งรถใหม่

จากข้อมูลจำนวนความต้องการของฝ่ายขายในการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ และความสามารถในการตัดขายรถใหม่ของฝ่ายบริหารงานจัดส่งรถใหม่ ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2563 จนถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 พบว่า ความต้องการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 มีค่าเฉลี่ยที่ 143 คันต่อวัน ในขณะที่ความสามารถในการตัดขายรถใหม่ยังคงเท่าเดิมที่ประมาณ 100 คันต่อวัน ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อความต้องการในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ข้อมูลสถิติการตัดขายรถจากการจัดเก็บ

จากการที่ฝ่ายบริหารงานจัดส่งรถใหม่ไม่สามารถดำเนินการตัดขายรถใหม่ได้ทันต่อความต้องการ ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการส่งมอบรถให้ลูกค้า โดยจากข้อมูลสถิติระยะเวลาในการส่งมอบรถใหม่ให้ลูกค้าพบว่าค่าเฉลี่ยในการส่งมอบรถให้ลูกค้าอยู่ที่ 4.4 วัน ซึ่งเกินค่ามาตรฐานของบริษัทกำหนดไว้ที่ 2 วัน ส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ ความพึงพอใจของลูกค้า และอาจนำไปสู่การยกเลิกคำสั่งซื้อได้ ฝ่ายบริหารงานจัดส่งรถใหม่ จึงจำเป็นต้องเปิดการทำงานล่วงเวลาทั้งหลังเวลาทำงานปกติและวันหยุด เพื่อรองรับยอดการตัดขายที่ไม่สามารถทำได้เสร็จในเวลาปกติ โดยจากข้อมูลการบันทึกการทำงานล่วงเวลาพบว่า จำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา อยู่ที่ 70 ชั่วโมงต่อเดือนต่อคน ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของพนักงาน และต้นทุนค่าทำงานล่วงเวลาของบริษัท

2. วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ และเพิ่มขีดความสามารถของการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ จาก 100 คันต่อวัน เป็น 143 คันต่อวัน เพื่อสามารถตอบสนองต่อความต้องการของฝ่ายขายได้ภายในช่วงเวลาการทำงานปกติ

3. การตรวจเอกสาร

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ความสูญเปล่า 7 ประการ

เป็นระบบกำจัดความสูญเปล่าและปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกิจกรรมหรืองานที่ดำเนินการโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อขจัดความสูญเปล่า 7 ประการ ได้แก่

M Motion (การเคลื่อนไหว) คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนไหว หรือการออกแบบสภาพการทางานที่ไม่เหมาะสม เช่น การหยิบออกมาวางไว้ก่อน การก้มหรือเอียงตัว การหยิบชิ้นส่วนจากด้านหลัง หรือการทำงานโดยใช้มือเพียงข้างเดียว

D Defect (งานเสีย) คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากงานเสีย การที่ไม่สามารถแก้ไขงานเสียนั้นได้ทันที รวมไปถึงการซ่อมแซมงาน

W Waiting (การรอคอย) คือ ความสูญเปล่าของการรอคอยงาน การเฝ้าดูงาน เช่นเครื่องจักรทำงานโดยระบบอัตโนมัติพนักงานควบคุมเครื่องจะทำหน้าที่เพียงคอยดูการทำงานของเครื่องว่าเป็นไปด้วยดีหรือไม่

S Stock (พัสดุคงคลัง) คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากพัสดุคงคลัง การสร้างคลังสินค้าเพื่อเก็บชิ้นส่วนประกอบ หรือผลผลิตสำเร็จรูป โดยต้องจ่ายเพื่อการควบคุมดูแลรักษาสินค้า ค่าเช่าโกดัง ค่าแรงงานต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

T Transportation (การขนย้าย) คือ ความสูญเปล่าจากการขนย้ายสินค้าและวัตถุดิบ ไม่ว่าจะเป็นการขนย้ายระหว่างกระบวนการ การขนย้ายจากชั้นบนไปชั้นล่าง การขนย้ายจากโรงงาน ก. ไปยังโรงงาน ข. หรือการขนย้ายไปวางชั่วคราว ณ ที่ใดที่หนึ่ง รวมไปถึงการวางซ้อน และการต้องขนย้ายงานขึ้นลงในแนวดิ่ง

O Over Production (การผลิตเกินความจำเป็น) คือ ความสูญเปล่าของงานระหว่างผลิต ได้แก่ วัตถุดิบ หรือผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างการผลิต ที่รอลำดับการผลิต ที่กำลังผลิต ในระหว่างรอการขนย้ายไปโรงงานอื่น หรือย้ายจากข้างบนลงล่าง ความสูญเปล่านี้จะเกิดขึ้นได้ง่ายในกรณีที่ผลิตมากเกินความจำเป็น

P Process Itself (กรรมวิธีไม่มีประสิทธิภาพ) คือ ความสูญเปล่าที่มาจากวิธีการแปรรูปงาน หรือเสียเวลาซ่อมชิ้นงาน เช่น การตัดครีบของชิ้นส่วนหรือการขัดผิวของวัตถุดิบบางตัวก่อนทำการเชื่อม เนื่องจากการออกแบบที่ไม่รัดกุมทำให้ต้องทำงานที่ไม่มีความจำเป็นหรือเสียเวลาในการตกแต่งโดยไม่มีมูลค่าเพิ่ม

3.1.2 หลักการ ECRS

เป็นแนวคิดในการลดความสูญเปล่าในการดำเนินงาน ซึ่งเป็นต้นทุนที่เกิดโดยไม่สร้างผลตอบแทนหรือประโยชน์เพิ่มเติมให้กับองค์กร ประกอบด้วย 4 หลักการ ดังนี้

E Eliminate (การกำจัด) คือ การพิจารณาขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นและไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มกับผลิตภัณฑ์ แล้วจึงกำจัดขั้นตอนการผลิตที่ไม่จำเป็นออกไป รวมทั้งการกำจัดความสูญเสียทั้ง 7 ประการ

C Combine (การรวมกัน) คือ การรวมขั้นตอนการผลิตให้ลดน้อยลง โดยการพิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการผลิตใดได้ การลดขั้นตอนการผลิตสามารถลดระยะทางการเคลื่อนที่ทำให้ใช้เวลาในการผลิตลดลง

R Rearrange (การจัดใหม่) คือ การจัดลำดับการผลิตใหม่ โดยการโยกย้ายสับเปลี่ยนขั้นตอนการผลิตใหม่ให้เหมาะสมเพื่อลดการเคลื่อนที่ที่เกินจำเป็น หรือลดการรอคอยโดยการการรวมขั้นตอนการผลิตบางส่วนเข้าด้วยกัน

S Simplify (การทำให้ง่าย) คือ การปรับปรุงวิธีการทำงานให้สะดวกและง่ายขึ้นโดยการนำอุปกรณ์หรือเครื่องมือพิเศษ รวมถึงการออกแบบ Jig หรือ Fixture มาช่วยเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำ

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Moonpragarn and Chompu-inwai (2018) ได้นำเทคนิคการผลิตแบบลีน (lean Manufacturing) เข้ามาปรับใช้เพื่อปรับปรุงการไหลในสายการผลิตอุปกรณ์กรองสัญญานรบกวน (Noise Filter) โดยที่ขั้นตอนการวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการทำงานและรอบเวลาการทำงานในทุก ๆ ขั้นตอนในการผลิต หลังจากนั้นจะจึงได้จัดทำแผนผังสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping: VSM) เพื่อศึกษาภาพรวมและสามารถระบุปัญหาหลักในกระบวนการผลิต จากนั้นจึงมีการระดมความคิดเห็นกับบุคคลที่เกี่ยวข้องเพื่อระบุจุดที่เกิดการสูญเสียที่ไม่จำเป็น งานนี้เสนอวิธีปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิค Line Balancing ซึ่งอยู่ในกระบวนการที่มีการทำงานของเครื่องบัดกรีกึ่งอัตโนมัติ การวิเคราะห์รอบเวลาการทำงานของกระบวนการ การจัดทำแผนผังสายธารคุณค่า การปรับเปลี่ยนการออกแบบผังการทำงานเพื่อลดเวลาการทำงานในการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนประกอบและชิ้นงาน

Kuaites et al. (2020) ได้ทำงานวิจัยเพื่อศึกษาการลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานในอุตสาหกรรมบริการโรงแรม โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เพื่อมาวิเคราะห์กระบวนการทำงาน เช่น การใช้แผนภูมิกระบวนการไหลในการวิเคราะห์กระบวนการทำงาน การไหลของวัสดุ พนักงาน และอุปกรณ์ตั้งแต่กระบวนการแรกจนถึงกระบวนการสุดท้าย นอกจากนี้ยังใช้ในการวิเคราะห์สถานการณ์การทำงาน และเส้นทางการขนส่ง การนำเทคนิค ECRS มาใช้เพื่อลดของเสียและปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานโดยการลงไปปฏิบัติงาน สังเกต การจับเวลา และการสัมภาษณ์ที่หน้างานจริง จากการวิเคราะห์ผลเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน สามารถลดจำนวนแม่บ้านจาก 3 คน เป็น 2 คนเนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของแม่บ้านเพิ่มขึ้น โดยสามารถทำความสะอาดได้ถึง 38 ห้องต่อวัน ภายใน 8 ชั่วโมงหรือ 480 นาที รวมทั้งมีเวลาว่างจากการทำงาน 2 ชั่วโมง ต้นทุนแรงงานลดลงเหลือ 9,000 บาทต่อเดือน หรือ 108,000 บาทต่อปี ในขณะที่ประสิทธิภาพในการทำงานและเวลาในการทำงานยังเท่าเดิม

4. วิธีการ

4.1 ศึกษาข้อมูลกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ

โดยการรวบรวมข้อมูลการทำงานจริงในปัจจุบันตั้งแต่ได้รับคำสั่งการตัดขายจากฝ่ายขาย จนเสร็จสิ้นกระบวนการเมื่อรถใหม่อยู่ในพื้นที่เตรียมการจัดส่ง

4.2 เก็บรวบรวมข้อมูลรอบเวลาการทำงานในกระบวนการย่อยของการตัดขายรถใหม่ในปัจจุบัน

โดยใช้เทคนิคการจับเวลามาตรฐานด้วยนาฬิกาจับเวลา และการจับเวลาโดยใช้กล้องบันทึกวีดีโอและกล้องวงจรปิด

4.3 วิเคราะห์ข้อมูลรอบเวลาการทำงาน

โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หาจุดคอขวดในกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บในปัจจุบัน เพื่อหากระบวนการที่ต้องปรับปรุง รวมถึงการกำหนดเป้าหมายในการลดรอบเวลาการทำงานของกระบวนการคอขวดนั้น ๆ ให้สามารถบรรลุเป้าหมายการตัดขายรถใหม่ที่ 143 คันต่อวัน เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้

4.4 กำหนดแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของขั้นตอนที่เป็นคอขวดของกระบวนการ

โดยใช้เทคนิคความสูญเปล่า 7 ประการเพื่อลดความสูญเสียในขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า การใช้เทคนิคจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อปรับปรุงให้ทุก ๆ ขั้นตอนย่อยมีรอบเวลาการทำงานที่สมดุลกัน และลดเวลาว่างงานให้น้อยที่สุด การใช้หลักการ ECRS เพื่อลดความสูญเสียจากงานที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม และช่วยเพิ่มขีดความสามารถของกระบวนการทำงาน

4.5 ดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพขั้นตอนที่เป็นคอขวดของกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ

โดยแบ่งเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

4.5.1 วิเคราะห์ขั้นตอนย่อยของกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ

โดยใช้เทคนิคการจับเวลางานย่อยเพื่อประเมินประสิทธิภาพสายการผลิตก่อนการปรับปรุง

4.5.2 ดำเนินการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดรอบเวลาการทำงาน

เพื่อลดความสูญเสียจากกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น การลดความสูญเปล่า 7 ประการ การใช้เทคนิคจัดสมดุลสายการผลิต การใช้หลักการ ECRS ในการลดความสูญเสียในขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม

4.5.3 ประเมินผลหลังจากการปรับปรุงวิธีการทางาน

โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการผลิตหลังการปรับปรุง และผลของรอบเวลาการทำงานหลังการปรับปรุง ให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของฝ่ายขายที่ 143 คันต่อวัน

5. ผลการวิจัย

5.1 การศึกษาข้อมูลกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ

กระบวนการตัดขายรถจากการจัดเก็บ (Batch Assigned) หลังจากที่ได้รับคำสั่งตัดขายรถจากฝ่ายขาย ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้ การจัดเตรียมเอกสาร การค้นหารถในลานจอดรถ การติดเอกสารใหม่ทดแทนของเดิม การย้ายรถจากลานจอดมายังพื้นที่เตรียมการล้าง การล้างทำความสะอาดรถใหม่ การตรวจสอบคุณภาพรถ และการย้ายรถไปยังพื้นที่เตรียมการจัดส่ง

5.2 การเก็บข้อมูลรอบเวลาการทำงานในกระบวนย่อยของการตัดขายรถใหม่ในปัจจุบัน

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลรอบเวลาการทำงานโดยการจับเวลาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการย่อย มีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 ขั้นตอนการย้ายรถจากลานจอดมาพื้นทีเตรียมล้าง

พนักงานจะทำการค้นหารถในลานจอดตามที่ระบุไว้ในเอกสาร โดยรอบเวลาการทำงานในกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางของโซนที่รถเป้าหมายถูกจัดเก็บ

5.2.2 ขั้นตอนการทำความสะอาดรถใหม่

ประกอบด้วยการฉีดน้ำเพื่อล้างฝุ่นละอองและคราบสกปรก การล้างด้วยแชมพูล้างรถ การฉีดน้ำล้างฟอง และการเช็ดแห้ง

5.2.3 การตรวจสอบคุณภาพรถใหม่

ขั้นตอนนี้พนักงานจะทำการตรวจสอบคุณภาพรถใหม่ตามรายการมาตรฐานที่ได้ถูกกำหนดไว้

5.2.4 การย้ายรถไปยังพื้นที่เตรียมการจัดส่ง

หลังจากที่รถผ่านการตรวจสอบคุณภาพ พนักงานที่รับผิดชอบในกระบวนการนี้จะทำการย้ายรถใหม่ไปยังพื้นที่เตรียมการจัดส่ง ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย

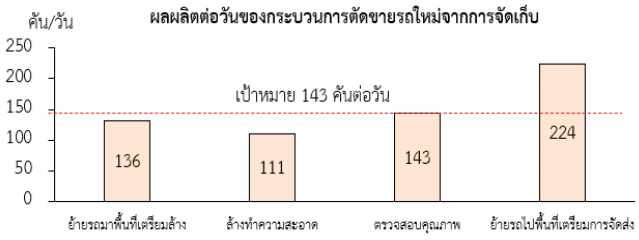
สรุปผลข้อมูลการจับเวลาดังแสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รอบเวลาทำงานขั้นตอนการย้ายรถไปพื้นที่เตรียมการจัดส่ง

ขั้นตอนย่อยการทางาน	รอบเวลาการทางาน (นาที)	จานวนคันต่อรอบ (คัน)	รอบเวลาเฉลีย (นาที)
5.2.1 ย้ายรถมาพื้นที่เตรียมล้าง	9.6	3	3.2
5.2.2 ล้างทำความสะอาด	15.8	2	7.9
5.2.3 ตรวจสอบคุณภาพ	12.2	2	6.1
5.2.4 ย้ายรถไปพื้นที่เตรียมจัดส่ง	3.9	1	3.9

5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลรอบเวลาการทำงาน

เมื่อพิจารณารอบเวลาการทำงานที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากทุกขั้นตอนย่อยของกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ และนำมาคำนวณหาผลผลิตต่อวันของแต่ละกระบวนการย่อย



รูปที่ 3 ข้อมูลผลผลิตต่อวันกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บ

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ขั้นตอนการย้ายรถมาพื้นที่เตรียมล้างและขั้นตอนการล้างทำความสะอาดรถใหม่มีผลผลิตที่ต่ำกว่าเป้าหมาย โดยขั้นตอนการล้างทำความสะอาดมีผลผลิตที่ 111 คันต่อวัน ต่ำกว่าเป้าหมาย 32 คันต่อวัน และขั้นตอนการย้ายรถมาพื้นที่เตรียมล้างมีผลผลิตที่ 136 คันต่อวัน ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมาย 7 คันต่อวัน

ดังนั้น หากต้องการบรรลุเป้าหมายในการเพิ่มขีดความสามารถของกระบวนการตัดขายรถใหม่ที่ 143 คันต่อวัน จึงควรปรับปรุงขั้นตอนการทำความสะอาดรถใหม่ที่เป็นจุดคอขวดของกระบวนการ และขั้นตอนการย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้าง โดยลดรอบเวลาการทำงานของทั้ง 2 ขั้นตอน เพื่อขจัดผลต่างระหว่างรอบเวลาการทำงานเป้าหมายและรอบเวลาการทำงานจริงในปัจจุบัน ดังแสดงตามตารางที่ 2

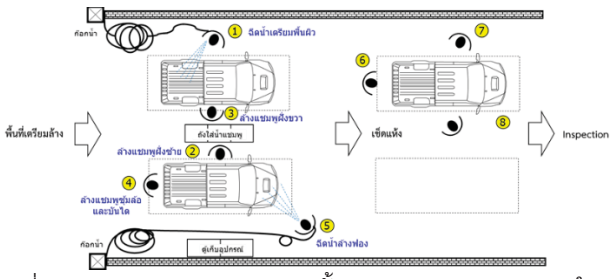
ตารางที่ 2 การคำนวณเป้าหมายการปรับปรุงรอบเวลาการทำงาน

หัวข้อ/รายละเอียด	ขั้นตอนการทางาน	
	ทาความสะอาดรถใหม่	ย้ายรถมาเตรียมล้าง
เป้าหมายผลผลิตต่อวัน (คัน)	143	143
เวลาการทำงานต่อวัน (นาที)	920	460
ประสิทธิภาพมาตรฐาน	95%	95%
เป้าหมายรอบเวลาการทำงาน	6.1	3.0
รอบเวลาการทำงานในปัจจุบัน	7.9	3.2
ผลต่าง (นาที)	**-1.8**	**-0.2**

5.4 การดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพขั้นตอนที่เป็นคอขวดของกระบวนการ

5.4.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพขั้นตอนการทำความสะอาดรถใหม่

ขั้นตอนนี้เริ่มต้นหลังจากพนักงานขับรถใหม่จากพื้นที่เตรียมล้างมายังบริเวณสถานีงานล้างทำความสะอาดซึ่งมีพนักงานประจำสถานีงาน 5 คน เมื่อล้างทำความสะอาดเสร็จรถใหม่จะถูกย้ายไปยังสถานีงานเช็ดแห้งที่มีพนักงานประจำสถานีงาน 3 คน โดยขั้นตอนการทำความสะอาดรถใหม่ประกอบไปด้วยพนักงานรวมทั้งหมด 8 คน ดังแสดงตามรูปที่ 4

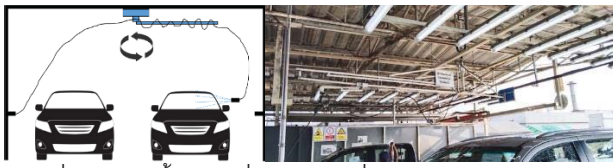


รูปที่ 4 แผนภาพกระบวนการทำงานขั้นตอนการทำความสะอาดรถใหม่

พนักงานคนที่ 1 มีหน้าที่ฉีดน้ำล้างสิ่งสกปรกเพื่อเตรียมพื้นผิวสำหรับการล้างด้วยแชมพู พนักงานคนที่ 2 มีหน้าที่ล้างรถฝั่งซ้ายด้วยแชมพู พนักงานคนที่ 3 มีหน้าที่ล้างรถฝั่งขวาด้วยแชมพู พนักงานคนที่ 4 มีหน้าที่ล้างรถบริเวณซุ้มล้อ ขอบยางรถยนต์ ยางบังโคลน บันไดข้าง และบันไดหลัง พนักงานคนที่ 5 มีหน้าที่ฉีดน้ำล้างฟองแชมพู พนักงานคนที่ 6 มีหน้าที่เช็ดแห้งส่วนท้ายรถและวัดค่าโวลต์แบตเตอรี่ พนักงานคนที่ 7 มีหน้าที่เช็ดแห้งฝั่งซ้ายของรถ และพนักงานคนที่ 8 มีหน้าที่เช็ดแห้งฝั่งขวาของรถ

จากเทคนิคการปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยใช้หลักการ ECRS และการกำจัดความสูญเปล่า 7 ประการ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดแนวทางในการปรับปรุงขั้นตอนการทำความสะอาดรถใหม่โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

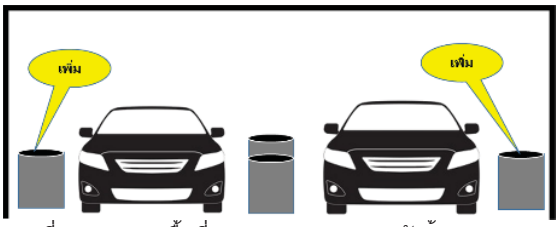
ก. การติดตั้งแขนเหวี่ยงสายยางเหนือจุดทำงานเพื่อลดการเดินย้อนกลับของพนักงานคนที่ 5 เนื่องจากพบว่าในปัจจุบันมีการสูญเสียเวลาที่ไม่จำเป็นในการเดินย้อนกลับของพนักงานหลังจากฉีดน้ำรถใหม่เมื่อพนักงานฉีดน้ำด้านหนึ่งเสร็จจะไม่สามารถเดินต่อไปยังอีกด้านหนึ่งของรถได้ทันที พนักงานต้องเดินย้อนกลับมาอีกด้านเพื่อฉีดน้ำให้ครบทั้งคัน ดังแสดงตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 การติดตั้งแขนเหวี่ยงสายยางเพื่อลดการเดินย้อนกลับของพนักงานคนที่ 5

ข. นำเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูงมาติดตั้งในกระบวนการเพื่อลดรอบเวลาการทำงานของพนักงานคนที่ 1 เนื่องจากในขั้นตอนการฉีดน้ำเพื่อเตรียมพื้นผิวก่อนการล้างด้วยแชมพู ต้องฉีดน้ำเพื่อให้สิ่งสกปรกที่ติดอยู่ตามตัวรถออกให้ได้มากที่สุดเพื่อลดภาระงานของพนักงานล้างแชมพู โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณซุ้มล้อ ยางบังโคลน และกระบะท้ายที่มักจะมีคราบสกปรกฝังแน่นและใช้เวลานานในการฉีดน้ำเพื่อล้างคราบสกปรก ดังนั้นเพื่อลดเวลาการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สะดวกและง่ายขึ้น จึงได้นำอุปกรณ์เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูงมาใช้ ตามหลัก S – Simplify ใน ECRS จึงสามารถช่วยลดรอบเวลาการทำงานของพนักงานคนที่ 1 ได้

ค. เพิ่มจุดถังใส่น้ำแชมพูเพื่อลดเวลาเดินของพนักงานล้างรถคนที่ 2 3 และ 4 เนื่องจากพนักงานต้องนำฟองน้ำมาชุบน้ำผสมแชมพูล้างรถในถังที่จัดเตรียมไว้ โดยปัจจุบันมีเพียง 1 จุด ซึ่งตั้งอยู่ตรงกลางบริเวณพื้นที่การทำงานระหว่างช่องจอดรถคันที่ 1 และ 2 เมื่อพนักงานต้องการชุบน้ำผสมแชมพูเพิ่ม จะต้องเดินกลับมาที่ถังน้ำซึ่งมีอยู่เพียง 1 จุด ทำให้เสียเวลาในการเดินโดยไม่จำเป็น ดังแสดงตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภาพพื้นที่การทำงานและจุดวางถังน้ำผสมแชมพู

ง. การจัดสรรภาระงานในสถานีงานการล้างทำความสะอาดรถใหม่ จากการเก็บข้อมูลการทำงานในขั้นตอนนี้พบว่า มีเวลารอคอยงานเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพนักงานคนที่ 4 ซึ่งมีหน้าที่ในการล้างแชมพูในส่วนของซุ้มล้อ ยางบังโคลน บันได และกระบะท้าย มีภาระงานน้อยและไม่สมดุลกับพนักงานคนอื่น ๆ จากการประยุกต์ใช้หลักการ R Rearrange ในทฤษฎี ECRS เพื่อจัดสรรภาระงานให้กับพนักงานในกระบวนการใหม่ เพื่อลดความสูญเสียจากการรอคอยที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มจึงพิจารณาย้ายภาระงานของพนักงานคนที่ 4 ไปให้กับพนักงานคนที่ 2 และ 3

จ. จากแนวทางการปรับปรุงโดยการจัดสรรภาระงานในสถานีงานการล้างทำความสะอาดรถใหม่ตามข้อ ง. สามารถลดจำนวนพนักงานในสถานีงานการล้างรถใหม่ได้ 1 คน ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการ R Rearrange ในทฤษฎี ECRS เพื่อลดรอบเวลาการทำงาน ดังนั้นจึงได้จัดสรรภาระงานของพนักงานคนที่ 6 7 และ 8 ให้กับพนักงานคนที่ 4 ที่ยังว่างงาน ทำให้สามารถลดรอบเวลาการทำงานในสถานีงานนี้ได้ตามเป้าหมาย

5.4.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพขั้นตอนการย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้าง

ขั้นตอนการย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้างในปัจจุบันมีพนักงานทั้งหมด 4 คน ประกอบด้วย พนักงานขับรถใหม่ 3 คน และพนักงานขับรถ Taxi สำหรับรับส่งพนักงานขับรถภายในลานจอด 1 คน พนักงานจะค้นหารถในลานจอดจากตำแหน่งที่ระบุไว้ในเอกสารข้อมูล เมื่อพนักงานขับรถถึงรถคันเป้าหมายพนักงานจะทำการเปลี่ยนเอกสารข้อมูลรถใบใหม่ทดแทนเอกสารใบเดิม และขับรถมายังพื้นที่เตรียมล้าง

ทางผู้วิจัยจึงพิจารณาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพขั้นตอนการย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้าง โดยการกำหนดเส้นทางการเดินรถขาออกจากจุดจอดรถมายังพื้นที่เตรียมล้างใหม่ เพื่อลดการสูญเสียเวลาจากการขับรถอ้อมโดยที่ไม่จำเป็น รอบเวลาการทำงานหลังการปรับปรุงดังแสดงตามตามรางที่ 3

ตารางที่ 3 รอบเวลาทำงานเฉลี่ยขั้นตอนการย้ายรถมาพื้นที่เตรียมล้างหลังการปรับปรุง

กระบวนการย่อย	รอบเวลาการทางานเฉลีย (นาที)
1. ค้นหารถเป้าหมายตามโซนจอดต่าง ๆ	4.1
2. ติดเอกสารใหม่ทดแทนเอกสารเดิม	1.4
3. รื้อรถ (กรณีจอดตำแหน่งที่ 2 หรือ 3)	0.9
4. ย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้าง	2.6
เวลารวม	9.0
จำนวนคันต่อรอบการทำงาน (คัน)	3
รอบเวลาการทางานเฉลียต่อคัน (นาที)	**3.0**

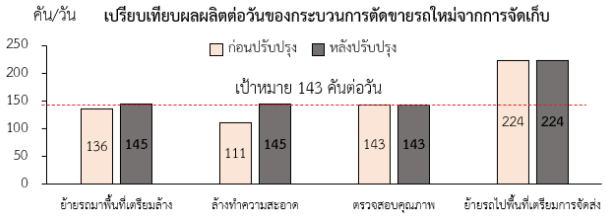
5.4.3 ประเมินผลหลังจากการปรับปรุงวิธีการทำงาน

หลังจากการปรับปรุงขั้นตอนการล้างทำความสะอาดรถใหม่ และขั้นตอนการย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้าง โดยใช้หลักการ ECRS และการกำจัดความสูญเปล่า 7 ประการ สรุปผลได้ดังนี้

ก. ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดรถใหม่ สามารถเพิ่มผลผลิตต่อวันของกระบวนการจาก 111 เป็น 145 คันต่อวัน

ข. การจัดสรรภาระงานในขั้นตอนการทำความสะอาดรถใหม่ ส่งผลให้สามารถลดจำนวนพนักงานได้ 1 คนต่อกะ และเพิ่มประสิทธิภาพสายการ ผลิตจาก 58.68 เปอร์เซ็นต์ เป็น 65.8 เปอร์เซ็นต์

ค. การกำหนดเส้นทางการเดินรถขาออกจากจุดจอดรถมายังพื้นที่เตรียมล้างใหม่ สามารถลดรอบเวลาการทำงานของขั้นตอนการย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้างจาก 3.2 เป็น 3.0 นาทีต่อคัน ส่งผลให้ผลผลิตต่อวันของกระบวนการฯ เพิ่มขึ้นจาก 136 เป็น 145 คันต่อวัน ดังแสดงตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟข้อมูลผลผลิตต่อวันของกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บก่อนและหลังปรับปรุง

ดังนั้น หลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บให้มีผลผลิตต่อวันตอบสนองต่อความต้องการของฝ่ายขายที่ 143 คันต่อวันได้

6. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บของโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง ซึ่งมีขีดความสามารถผลผลิตต่อวันก่อนการปรับปรุงที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของฝ่ายขายได้ การดำเนินการปรับปรุงวิธีการทำงาน โดยการพิจารณาลดรอบเวลาการทำงานและลดความสูญเสียจากกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น การลดความสูญเปล่า 7 ประการ การใช้เทคนิคจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อปรับปรุงให้ทุก ๆ ขั้นตอนย่อยมีรอบเวลาการทำงานที่สมดุลและมีอัตราการทำงานของ แต่ละสถานีงานเท่ากัน การใช้หลักการ ECRS ในการลดความสูญเสียในขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและช่วยเพิ่มขีดความสามารถของกระบวนการให้สูงขึ้น โดยผลจากการปรับปรุงกระบวนการทำให้สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บให้ตอบสนองต่อความต้องการของฝ่ายขายได้ จากแนวทางการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการอื่นๆ ของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องด้านการจัดส่งรถใหม่ ในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีลักษณะคล้ายกัน

7. ข้อเสนอแนะ

หากประสงค์ที่จะเพิ่มขีดความสามารถกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บในอนาคต ควรพิจารณาปรับปรุงขั้นตอนการย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้าง โดยลดรอบเวลาในขั้นตอนการค้นหารถในลานจอด และขั้นตอนการย้ายรถมายังพื้นที่เตรียมล้าง ด้วยเทคนิคการออกแบบผังการจัดเก็บสินค้า โดยกำหนดพื้นที่การจัดเก็บรถตามความถี่ ตามประเภทของรถ และตามประวัติความต้องการของลูกค้าให้เหมาะสม เพื่อลดระยะทางรวมเฉลี่ยการขับรถต่อวัน ส่งผลให้สามารถลดรอบเวลาการทำงานของขั้นตอนดังกล่าวได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มขีดความสามารถกระบวนการตัดขายรถใหม่จากการจัดเก็บโดยภาพรวมได้ นอกจากนี้ การลดระยะทางการขับรถเฉลี่ยต่อวัน ยังช่วยในด้านการประหยัดพลังงาน ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) และยังช่วยลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงได้อีกด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รศ.ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล ประธานโครงการเปิดสอนหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาคพิเศษ ตลอดจนเจ้าหน้าที่โครงการฯ ที่ให้คำแนะและให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยได้สำเร็จลุล่วง รวมทั้งบริษัทกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กมลรัตน์ ศรีสังข์สุข และ ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย. 2553. การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลสายเคเบิลขนาดเล็กโดยแนวทางลีนซิกซิกซ์มา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] Kuaites, T. 2020. “The Application of Lean Concept to Waste Reduction of Working Process in Hotel Service Industry”. 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA).

[3] ไชยยันต์ สาวนะชัย. 2551. การจัดการระบบการผลิตแบบโตโยต้าแบบเดินทีละขั้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ

[4] Moonpragarn, R. and R. Chompu-inwai. 2018.”Process flow improvement in production of noise filter products through lean manufacturing technique”. 2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA).

[5] Saranya, P. and A. Fumio. 2014. “The design of Kanban system for improving Bottleneck Problem of multiproduct”. 2014 IEEE 6th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST).

[6] Dharun Lingam, K. 2015. “Cycle time reduction for T-shirt manufacturing in a Textile industry using lean tools”. 2015 International

การวางผังครัวร้านอาหารในรูปแบบบริการจัดส่งถึงบ้าน

Plant Layout for Delivery Cuisine

ธนา ภาวนาธรรมสุข[1*] พริษฐ์ธัญ บุญรุ่ง[1] กวินธร สัยเจริญ[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: pawanathamasuk_t@su.ac.th*

Thana Pawanathamasuk[1*], Pharitthan Boonrung [1], Kawinthorn Saicharoen[1]
[1] Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: pawanathamasuk_t@su.ac.th *

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบผังครัวร้านอาหารในรูปแบบการบริการส่งถึงบ้าน โดยคำนึงถึงกับกฎหมายโรงงานและข้อกำหนดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ในบทความนี้เริ่มจากการนำข้อมูลของร้านอาหารตัวอย่างที่ต้องการจำหน่ายสินค้าในรูปแบบการบริการส่งถึงบ้าน (Delivery) มาออกแบบแผนผังของครัวสำหรับจัดเตรียมอาหารก่อนส่งให้ลูกค้า โดยคำนึงถึงหลักความปลอดภัยสำหรับโรงงานผลิตอาหารตามหลักการปฏิบัติที่ดีในการผลิตอาหาร(Good Manufacturing Practice, GMP) และการวางผังจะใช้หลักการการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning, SLP) ผลการทดลองพบว่าแผนผังครัวที่ดีมีด้วยกัน 3 ผัง ซึ่งผังที่ดีที่สุดคือผังที่ 1 โดยมีคะแนนการประเมินมากที่สุดคือ 876 คะแนน

คาสาคัญ: การวางผังโรงงานอย่างมีระบบ, หลักการปฏิบัติที่ดีในการผลิตอาหาร, การประเมินผังโรงงาน

Abstract

The objective of this article is to designed plant layout for delivery cuisine in accordance with factory laws and the Food and Drug Administration's standards for food production and storage layout. In this article, the working processes in cuisine was analyzed for design delivery cuisine layout. Food safety following the condition of good manufacturing practice (GMP) and systematic layout planning was concerned for designing the layout. The results show that three layouts are possible also the best layout is the first one, it has 876 evaluating points.

Keywords: Systematic layout planning (SLP), Good Manufacturing Practice (GMP), Plant layout evaluating

การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการเกิดข้อบกพร่องในกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แก้ว กรณีศึกษาโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว

Design of Experiments to Determine Appropriate Parameters Causing Glass Container Defects in Forming Process: A Case Study of Glass Container Factory

จารุณี หุ่นไทย[1*] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาคพิเศษ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: charunee.h@ku.ac.th*

Charunee Hunthai[1], Prapaisri Sudasna Na Ayudthya [2]
[1] Major in Engineering Management Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering Kasetsart University
[2] Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering Kasetsart University
E-mail: charunee.h@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาด้านคุณภาพของบริษัทผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว พบว่าเครื่องดื่มผสมแอลกอฮอล์ขนาด 630 มิลลิลิตร มีข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปาก 1.97 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนขวดทั้งหมดที่ผลิตได้ ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ข้อบกพร่องที่สูงที่สุด โดยมีมูลค่าความเสียหายเฉลี่ย 548,075 บาทต่อเดือน ดังนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบวิธีทากูชิ (Taguchi method) เพื่อเลือกปัจจัยและกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปาก ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยได้แก่ ผลต่างอุณหภูมิของแบลงค์โมลด์ และ อุณหภูมิของลูกสูบ ปัจจัยรบกวนของกระบวนการ 2 ปัจจัยได้แก่ ความยาวของก้อนแก้ว และความเร็วของก้อนแก้ว ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิของลูกสูบเท่ากับ 376 องศาเซลเซียส ถึง 390 องศาเซลเซียส ความยาวของก้อนแก้วเท่ากับ 350 มิลลิเมตร ถึง 359 มิลลิเมตร จากการผลิตจริงเพื่อยืนยันผลการทดลอง พบกว่าสามารถลดข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปากเหลือเพียง 1.45 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนขวดทั้งหมดที่ผลิตได้ และคิดเป็นมูลค่าความเสียหายลดลงเหลือ 123,596 บาทต่อเดือน นอกจากนั้นยังสามารถลดข้อบกพร่องอื่น ๆ ลงได้อีกด้วย โดยก่อนการปรับปรุงสัดส่วนข้อบกพร่องโดยรวมเท่ากับ 3.30 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนขวดทั้งหมดที่ผลิตได้ หลังปรับปรุงลดลงเหลือ 2.51 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนขวดทั้งหมดที่ผลิตได้ ส่งผลให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 181,450 บาทต่อเดือน

คาสาคัญ: บรรจุภัณฑ์แก้ว, ฟองอากาศพาดผิวปาก, วิธีทากูชิ

Abstract

This paper aims to present the quality problems of alcoholic drink products 630 ml. from a glass container company. The highest defect was the line over finish at the shoulder of the glass bottle. There is 1.97 percent of total bottle produced. It costs an average of $548,075 per month to bathe. For experimentation, the optimal machine parameters can be considered and analyzed to have an effect on the occurrence of line over finish at the shoulder of the glass bottle. These factors are the difference in temperature between the blank mould and the plunger, the gob length and the gob speed. The results show that the optimal levels of these factors are 376 degrees celsius to 390 degrees celsius for the temperature of the plunger and 350 millimeters to 359 millimeters for the gob length. The confirmation runs were conducted. It shows that the line over finish defect at the shoulder of the glass bottle was reduced to 1.45 percent of the total bottle produced and can decrease the cost to 123,596 baht per month. Furthermore, this can reduce other defects from 3.30 percent of total bottles produced to 2.51 percent. As a result, the cost is saved by up to 181,450 baht per month.

Keywords: Glass container, Line over finish, Taguchi method

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้ความต้องการที่สำคัญของมนุษย์ คือ การบริโภคอาหารและเครื่องดื่ม ยารักษาโรค ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งปัจจัย 4 ที่มนุษย์ต้องการ ทั้งนี้ส่วนประกอบหลักของการบริโภคอาหารและเครื่องดื่ม ยารักษาโรค คือ ส่วนของบรรจุภัณฑ์ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ใช้เพื่อการบรรจุเพื่อให้ปลอดภัยและถูกสุขลักษณะ การบริโภคนับว่าเป็นกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอีกประเภทหนึ่ง ผู้บริโภคแต่ละคนล้วนแต่มีพฤติกรรมการบริโภคที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรายได้และความพึงพอใจ หรือรสนิยมของผู้บริโภคเอง การตัดสินใจเลือกสินค้าและบริการนั้น เพื่อให้ได้รับความพึงพอใจสูงสุด ซึ่งบรรจุภัณฑ์ของสินค้าก็เป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าของผู้บริโภคขวดแก้วเป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นในความเป็นกลางไม่ทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ มีความปลอดภัยสูงและใส สามารถมองเห็นสินค้าที่บรรจุภายใน เมื่อเปิดใช้ผลิตภัณฑ์แล้วยังปิดกลับใช้ใหม่ได้ และจุดเด่นอีกประการหนึ่งคือ สามารถนำกลับมาใช้หมุนเวียนได้ อุตสาหกรรมที่ใช้ขวดแก้วส่วนใหญ่คือ เครื่องดื่ม เช่น น้ำอัดลม สุรา เบียร์ เครื่องดื่มชูกำลัง

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเศรษฐกิจจากการผลิต และส่งออกสินค้าเกษตรมาเป็นการผลิตและส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมมากขึ้น ผู้ผลิตแต่ละรายต่างก็มีลูกค้าหลักเป็นของตนเองที่ทำการผลิตป้อนให้กับตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ ทำให้อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์มีการขยายตัวและมีบทบาทมากขึ้น อุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์แก้วเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้เทคโนโลยีและเงินลงทุนสูง สิ่งที่สำคัญคือต้องมีคำสั่งซื้อจากลูกค้าอย่างต่อเนื่อง และมากเพียงพอที่จะทำการผลิตตลอดทั้งปี องค์กรจะอยู่รอดได้ต้องแสวงหาวิธีการในการปรับปรุง และพัฒนาการผลิตอย่างต่อเนื่อง โดยการแสวงหาวิธีในการปรับปรุงการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ประสิทธิผล ลดต้นทุนการผลิต ส่งมอบให้ทันเวลา และมีกำไรสูงสุด การดำเนินกิจการต่อไป ให้มั่นคงโดยการสร้างความได้เปรียบเหนือคู่แข่ง รวมถึงรักษาชื่อเสียง สร้างความเชื่อมั่น ซึ่งหนึ่งในการลดต้นทุน และการสร้างความน่าเชื่อถือให้แก่ลูกค้า หรือผู้บริโภค คือการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ให้สอดคล้องกับคุณภาพของสินค้า และตรงตามความต้องการของลูกค้า

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดปัญหาฟองอากาศพาดผิวปาก

2. เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แก้ว และลดข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปากลดลงอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์

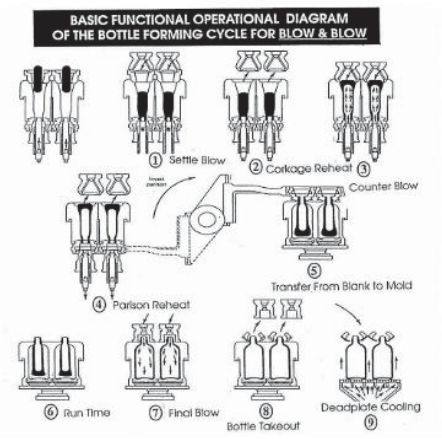
3. กระบวนการผลิต และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 กระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แก้ว

กระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แก้วแบบเป่าและเป่า (Blow & Blow: B&B) เป็นการขึ้นรูปพาริสัน ด้วยการใช้ลมแรงสูงเป่าอัดน้ำแก้วให้เป็นรูปทรงตามแบบเบ้าปากและเบ้าแบลงค์และส่งไปยัง โมลด์เพื่อเป่าอีกครั้งให้ได้รูปร่างสุดท้ายของบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการ วิธีนี้ใช้กับบรรจุภัณฑ์ปากแคบ เช่น ขวดเบียร์ ขวดเหล้า ขวดน้ำอัดลม เป็นต้น ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ [1]

ขั้นตอนที่ 1 แก้วเหลวจากห้องแก้วใส (Refining Zone) จะไหลไปตามรางไฟทำด้วยอิฐทนไฟ เรียกว่า เครื่องป้อนแก้ว (Feeder) ผ่านขั้นตอนการทำให้เย็นและปรับสภาพก่อนไหลลงสู่กรวยปลายเปิด แก้วจะไหลย้อยเป็นก้อน เมื่อได้ขนาดแล้วจะถูกตัดด้วยกรรไกร ก้อนแก้วจะตกลงไปในแบลงค์โมลด์ (Blank Mould) ซึ่งมีลักษณะขวดคล่ำเพียงแต่ขนาดของขวดจะยาวเพียง 2/3 ของความสูงขวดที่ต้องการ ก้อนแก้วที่แดงนี้จะตกลงไปที่กันเบ้าแบลงค์ และเป่าด้วยลมให้แนบกับกันแบบพิมพ์ ซึ่งมีลักษณะเป็นคอและปากขวด จากนั้นเครื่องจักรแทงก้อนแก้วด้วยเดือย (Plunger) และเป่าลมผ่านเดือยเข้าไปในก้อนแก้วทำให้แก้วขยายออกไปแนบกับแบบพิมพ์ แบบพิมพ์ที่ใช้นี้เรียกว่า แบลงค์โมลด์ หรือพาริสัน แก้วที่เป่าได้จากแบบพิมพ์นี้ จึงเรียกว่า แบลงค์หรือพาริสัน ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นขั้นตอนในการทำปากและคอขวด

ขั้นตอนที่ 2 แบลงค์โมลด์ (Blank Mould) จะแยกออกเหลือเพียงพาริสัน ที่ยังติดกับเดือยอยู่ เดือยนี้ติดอยู่กับแขวนเครื่องจักรซึ่งพาริซันจะเหวี่ยงไป 180 องศา ทำให้พาริสันซึ่งเดิมมีลักษณะเป็นขวดคว่ำกลับเป็นขวดหงายเข้าไปในโบลว์โมลด์ (Blow Mould) ซึ่งมีขนาดช่องว่างภายในและรูปร่างเท่ากับต้นแบบที่จะเป็นตัวขวด จากนั้นจะมีการเพิ่มอุณหภูมิให้ก้อนแก้วอ่อนตัวอีกครั้ง แล้วเป่าลมเข้าไปภายในขวด จนทำให้เนื้อแก้วพองตัวออกไปแนบกับผนังของโบลว์โมลด์ (Blow Mould) มีขนาดและรูปร่างตามโบลว์โมลด์ (Blow Mould) เมื่อเนื้อแก้วแข็งตัวจึงแกะขวดออกจากโบลว์โมลด์ (Blow Mould) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แก้วแบบเป่าและเป่า (Blow & Blow: B&B)

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยการออกแบบการทดลองแบบวิธีทากูชิ (Taguchi method) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่อการวัดประสิทธิภาพของปัจจัยควบคุมที่เหมาะสมกับน้ำหนักของขวดแก้ว ในกระบวนการของเครื่องขึ้นรูปขวดแก้วโดยเลือกตามคุณลักษณะของเครื่องจักร และการลดต้นทุนของอุตสาหกรรมขวดแก้ว การทดลองได้ถูกออกแบบโดยใช้ L_{16} (2^{15}) ประกอบด้วย 13 ปัจจัย 2 ระดับ 16 แถว และ 15 คอลัมน์ ผลของปัจจัยควบคุมแต่ละระดับถูกวิเคราะห์โดยใช้วิธี สัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise) การทดลองได้มีการทำซ้ำทั้งหมด 7 ครั้งเท่ากับ 111 องศาอิสระ (Degrees of Freedom) ผลการทดลองสรุปได้ว่าค่าที่เหมาะสมของน้ำหนักของขวดแก้ว (CC35) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ 376.45 ± 16.99 กรัม และค่าเฉลี่ยของน้ำหนักขวดแก้วเท่ากับ 376.03 กรัม และสามารถลดต้นทุนของคุณภาพจาก 0.028 ยูโร ลดลงให้เหลือ 0.0021 ยูโร หรือประมาณ 92 เปอร์เซ็นต์ [2]

งานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเรื่องต่อไปคือ การออกแบบการทดลองแบบวิธีทากูชิ (Taguchi) เพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำการเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำด้วยลวดทองแดง ในการค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ใช้แผนผังแสดงเหตุและผล เพื่อช่วยในการรวบรวมข้อมูลและค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ คือ พลังงาน เวลา อุณหภูมิ แรงดึง และอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน และตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ ค่าของแรงดึงลวด และค่าของแรงเฉือนลูกบอลที่ลวด โดยยิ่งมีค่ามากยิ่งดี ในการทดลองมีการกำหนดให้ตำแหน่งของการเชื่อมลวดบนหน้าไดร์เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ จากที่กล่าวมาการทดลองมีการกำหนดปัจจัยที่ควบคุมได้ทั้งหมด 5 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ และใช้การออกแบบการทดลองแบบ L_{18} (2^1x3^7) และทำการวิเคราะห์หาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากการเลือกระดับปัจจัยที่ทำให้ได้ค่า Signal to Noise Ratio สูงสุด [3]

4. ขั้นตอนการออกแบบและวิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) แบ่งได้เป็น 7 ขั้นตอน [4] ดังนี้

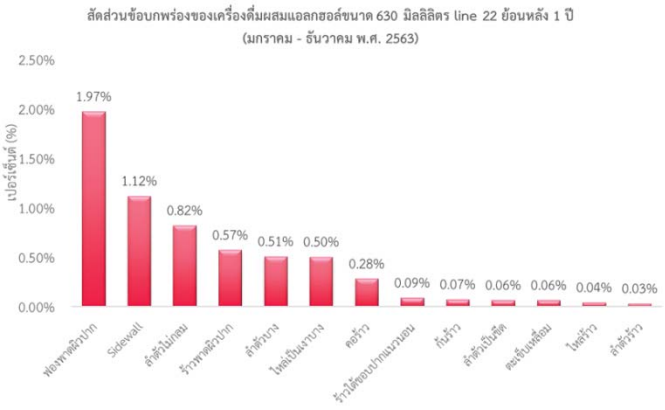
1. กำหนดปัญหาที่ต้องการจะแก้ไข
2. เลือกปัจจัยที่ทำการแปรค่าในการทดลอง และจำนวนระดับที่ใช้ในการทดลอง
3. กำหนดตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรผลลัพธ์
4. การเลือกแบบแผนการทดลอง
5. การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล
6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
7. การสรุปผลการทดลองเพื่อยืนยันและข้อเสนอแนะ

4.1 กำหนดปัญหาที่ต้องการจะแก้ไข

โดยจากการศึกษาข้อมูลปริมาณการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้วของบริษัทผลิตบรรจุภัณฑ์แก้วกรณีศึกษาตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 โดยเรียงจากปริมาณการผลิตมากสุดไปน้อยสุด 3 อันดับแรก พบว่าปริมาณการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว ชนิดเครื่องดื่มผสมแอลกอฮอล์ขนาด 630 มิลลิลิตร มีปริมาณการผลิตสูงที่สุดคือเท่ากับ 41,428 ตันต่อปี เมื่อเทียบกับแผนการผลิตในปี พ.ศ. 2564 เป้าหมายคือ 42,400 ตันต่อปี แสดงดังรูปที่ 1 เมื่อแยกสัดส่วนข้อบกพร่องของบรรจุภัณฑ์ชนิดเครื่องดื่มผสมแอลกอฮอล์ขนาด 630 มิลลิลิตร ของสายการผลิต 22 พบว่าข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปากมีสัดส่วนมากสุดคือ 1.97 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 2 คิดเป็น 593.06 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 6,625,03 บาทต่อปี ซึ่งข้อบกพร่องดังกล่าวทำให้ต้องสูญเสียต้นทุนในการผลิต และโอกาสในการขาย เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงคุณภาพ และเพิ่มผลผลิต เพิ่มโอกาสในการขายผลิตภัณฑ์แก้ว



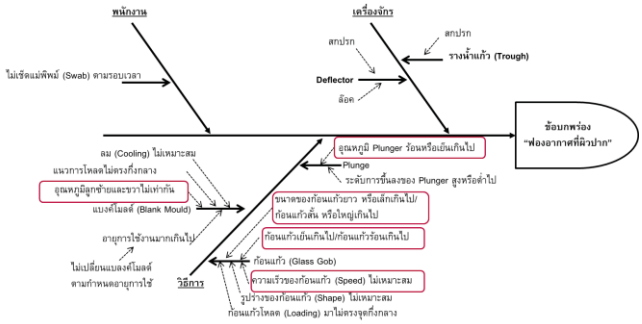
รูปที่ 2 ปริมาณการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้วของแต่ละผลิตภัณฑ์ 3 อันดับย้อนหลัง 1 ปี



รูปที่ 3 สัดส่วนข้อบกพร่องของบรรจุภัณฑ์แก้วชนิดเครื่องดื่มผสมแอลกอฮอล์ขนาด 630 มิลลิลิตร ย้อนหลัง 1 ปี

4.2 การเลือกปัจจัยที่ทำการแปรค่าในการทดลอง และจำนวนระดับที่ใช้ในการทดลอง

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปากจากการประชุมระดมความคิดเห็นกันกับหน่วยงานผลิต และหน่วยงานควบคุมคุณภาพซึ่งเป็นผู้ที่มีประสบการณ์และเป็นผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการผลิต โดยทั่ว ๆ ไป ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของบรรจุภัณฑ์แก้ว ที่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับหรือไม่นั้นตรงตามข้อกำหนดมาจาก 4M คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) และวิธีการ (Method) แต่เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แก้วเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยที่คนมีหน้าที่ในการปรับตั้งเครื่องจักรให้ได้ตามการควบคุมของการผลิต และควบคุมการผลิตให้ได้ตามเป้าหมาย เครื่องจักรเป็นแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีการปรับตั้งเครื่องจักรให้เป็นมาตรฐานอยู่เสมอ ความแปรปรวนหรือความคาดเคลื่อนของเครื่องจักรจึงมีน้อย ในส่วนของวัตถุดิบจะมีการตรวจสอบคุณภาพทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมีในขั้นตอนการรับสินค้าจากผู้ผลิตทุกครั้ง รวมทั้งในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบได้ทำตามสูตรมาตรฐานของการหลอมน้ำแก้วที่มีการคำนวณไว้แล้ว จึงทำให้สาเหตุที่เกิดจากวัตถุดิบไม่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปาก ดังนั้นสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จึงเกิดจากวิธีการทำงาน หรือการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมกระบวนการผลิตที่ไม่ตรงมาตรฐานที่กำหนดไว้ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) วิเคราะห์ข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศที่ผิวปาก

การประชุมระดมสมอง และจากการรวบรวมข้อมูล สามารถสรุปได้ว่าข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปาก เกิดจาก 4 ปัจจัยหลัก คือ

1. ผลต่างของอุณหภูมิแบลงค์โมลด์ (Difference of Temperature Blank Mould)
2. อุณหภูมิลูกสูบ (Temperature Plunger)
3. ความยาวก้อนแก้ว (Gob Length)
4. ความเร็วก้อนแก้ว (Gob Speed)

4.3 ระบุปัจจัยและเลือกระดับของแต่ละปัจจัย

โดยพิจารณาปัจจัยที่ควบคุมได้ และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (สามารถวัดค่าได้ขณะทดลอง) และทำการเลือกระดับของแต่ละปัจจัยจากการกำหนดเป็นมาตรฐานคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ของแต่ละพารามิเตอร์การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ (Job Card) ของบรรจุภัณฑ์แก้วชนิดเครื่องดื่มผสมแอลกอฮอล์ขนาด 630 มิลลิลิตร ที่สายการผลิต 22 ร่วมกับผู้ที่มีประสบการณ์ และเป็นผู้เชี่ยวชาญในการบวนการขึ้นรูปจากหน่วยงานผลิตและหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้มีข้อตกลงร่วมกันให้ทำการศึกษาปัจจัยที่ควบคุมได้ และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่ควบคุมได้ และระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	ระดับที่เลือกทดลอง	
	ระดับ 1	ระดับ 2
A: ผลต่างอุณหภูมิของแบลงค์โมลด์ (°C)	0 - 14 °C	> 15 °C
B: อุณหภูมิลูกสูบ (°C)	360 – 375 °C	376 - 390 °C

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ และระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	ระดับที่เลือกทดลอง	
	ระดับ 1	ระดับ 2
M: ความยาวก้อนแก้ว (mm.)	350 - 359 mm.	360 - 370 mm.
N: ความเร็วก้อนแก้ว (msec.)	6.0 - 6.5 msec.	6.6 - 7.0 mesc.

4.4 การเลือกแบบแผนการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลด้วยแบบวิธีทากูชิ (Taguchi method) เป็นการทดลองออร์ทอกอนัล (Orthogonal Array) เหมาะในการศึกษาผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects) โดยเป็นวิธีการที่ใช้คัดปัจจัยทิ้ง (Screening Factors) โดยคำนึงถึงปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ หรือปัจจัยรบกวนของกระบวนการ ดังนั้น “คุณภาพ” ที่ดีที่สุดของระบบหรือกระบวนการใด ๆ จะเกิดขึ้นเมื่อผลิตได้ตรงกับค่าเป้าหมาย (Right at Target) และควบคุมความผันแปรให้น้อยที่สุด (Minimize Variation) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองตามแนวคิดหลักในการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทาง ความสูญเสียยิ่งมีค่าน้อยลง ความต้องการในตัวผลิตภัณฑ์ก็จะมากขึ้น (Small the Loss, The more desirable the product) รูปแบบการทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อลดเวลาและความสิ้นเปลืองทรัพยากรจากการทดลองจำนวนมาก โดยใช้แผนการทดลองตามตารางออร์ทอกอนัล (Orthogonal Array) $L_8 2^7$ ซึ่งเหมาะสำหรับออกแบบการทดลองที่พิจารณาปัจจัยและกระบวนที่มีปัจจัยหลัก

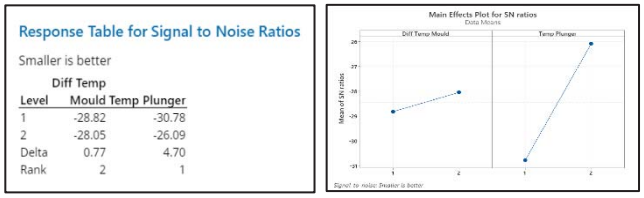
2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ รวมถึงปัจจัยรบกวนของกระบวนการ 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ซึ่งแบ่งระดับของปัจจัยออกเป็น 2 ระดับ คือ ระดับสูง (+) และระดับต่ำ (-) ตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 สำหรับแผนการทดลองที่ใช้มีจำนวนทั้งหมด 4 การทดลอง เนื่องจากถ้าทำการทดลองที่มีจำนวนการทดลองที่มาก และมีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยในการทดลองแต่ละครั้งต้องเสียเวลาประมาณ 15-20 นาที ในการปรับตั้งค่าให้ได้เท่ากับการออกแบบการทดลองในแต่ละครั้ง และอาจจะส่งผลทำให้เกิดข้อบกพร่องอื่นๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าวประมาณ 2,860 ขวดต่อครั้ง หลังจากนั้นได้ใช้โปรแกรมมินิแท็บ (Minitab software) เพื่อช่วยในการออกแบบตารางและลำดับในการทดลอง

5. วิเคราะห์ข้อมูล

ทางผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยอาศัยโปรแกรมมินิแท็บ (Minitab software) เวอร์ชั่น 19 ช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าที่ควรใช้ในการควบคุมกระบวนการ สำหรับผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

5.1 ผลตอบสนองค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบ (Signal-to-Noise Ration)

กรณี Small-the-Better ณ ระดับต่าง ๆ ของปัจจัย แสดงรูปที่ 5



Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

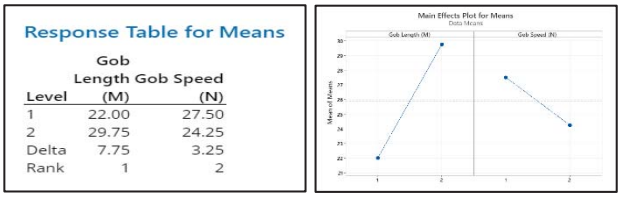
	Diff Temp	
Level	Mould Temp	Plunger
1	-28.82	-30.78
2	-28.05	-26.09
Delta	0.77	4.70
Rank	2	1

รูปที่ 5 ค่าผลตอบสนองค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบ (Signal-to-Noise Ration) กรณี Small-the-Better

จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป ปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบสนองค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบ (Signal-to-Noise Ration) กรณี Small-the-Better ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แก้ว โดยพิจารณาจากค่าผลกระทบหรือผลต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย คือ ผลต่างอุณหภูมิของแบลงค์โมลด์ (A) และอุณหภูมิลูกสูบ (B) ตามลำดับจากมากไปน้อย สรุปได้ว่า ปัจจัยของกระบวนการที่ส่งผลกระทบให้เกิดข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปาก คือ อุณหภูมิลูกสูบ (B) ที่ระดับ 2

5.2 ผลค่าเฉลี่ยของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factors)

ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มี 2 ปัจจัย คือ ความยาวก้อนแก้ว (M) และความเร็วก้อนแก้ว (N) แต่พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุดในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แก้ว คือ ความยาวก้อนแก้ว (M) ที่ระดับ 1 ดังรูปที่ 6



Response Table for Means

Level	Gob Length (M)	Gob Speed (N)
1	22.00	27.50
2	29.75	24.25
Delta	7.75	3.25
Rank	1	2

รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factors)

5.3 สรุปการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปาก ได้แก่ อุณหภูมิลูกสูบ (B) ค่าที่เหมาะสมใช้ควบคุมกระบวนการคือที่ระดับ 2 ค่าที่ต้องควบคุมคือ 376 องศาเซลเซียส ถึง 390 องศาเซลเซียส และ ความยาวก้อนแก้ว (M) ค่าที่เหมาะสมใช้ควบคุมกระบวนการคือที่ระดับ 1 ค่าที่ต้องควบคุมคือ 350 มิลลิเมตร ถึง 359 มิลลิเมตร

6. ยืนยันผลการทดลอง

จากการสรุปผลการทดลองได้นำค่าที่ได้ดังกล่าวไปใช้ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้วจริง เพื่อยืนยันว่าข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปเป็นข้อมูลมาตรฐานอ้างอิงในการปฏิบัติงานและเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตขวดให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ โดยทำการปรับพารามิเตอร์ตามระดับของปัจจัยที่ดีที่สุด ผลที่จากการยืนยันผลการทดลอง และได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้วก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนข้อบกพร่อง และมูลค่าความเสียหายก่อนและหลังปรับปรุงเฉลี่ยต่อเดือน

รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
จำนวนขวดที่ผลิตได้ทั้งหมด (ขวด/เดือน)	6,071,668	6,399,578
<u>กรณีข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปาก</u>		
จำนวนที่เกิดข้อบกพร่อง (ขวด/เดือน)	119,664	92,679
สัดส่วนข้อบกพร่อง (เปอร์เซ็นต์)	1.97	1.45
มูลค่าความเสียหาย (บาท/เดือน)	548,075	424,479
<u>กรณีข้อบกพร่องอื่น ๆ</u>		
จำนวนขวดที่ไม่ได้คุณภาพ (ขวด/เดือน)	200,278	160,661
สัดส่วนที่ไม่ได้คุณภาพ (เปอร์เซ็นต์)	3.30	2.51
มูลค่าความเสียหาย (บาท/เดือน)	917,295	735,845

จากการเปรียบเทียบจำนวนข้อบกพร่อง และมูลค่าความเสียหายที่ก่อนและหลังปรับปรุงเฉลี่ยต่อเดือนตามตารางที่ 3 พบว่าสัดส่วนข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปากก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 1.97 เปอร์เซ็นต์ หลังการปรับปรุงเหลือเพียง 1.45 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งสามารถลดสัดส่วนข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปากได้ถึง 26.52 เปอร์เซ็นต์ และในด้านมูลค่าความเสียหายของข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปาก 548,075 บาทต่อเดือน หลังการปรับปรุงเหลือเพียง 424,479 บาทต่อเดือน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ประมาณ 123,596 บาทต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนมูลค่าความเสียหายลดลงถึง 22.55 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังสามารถลดข้อบกพร่องอื่น ๆ ลงได้อีกด้วย โดยก่อนการปรับปรุงสัดส่วนข้อบกพร่องโดยรวมเท่ากับ 3.30 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนขวดทั้งหมดที่ผลิตได้ หลังปรับปรุงลดลงเหลือ 2.51 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนขวดทั้งหมดที่ผลิตได้ ส่งผลให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 181,450 บาทต่อเดือน

7. สรุปผล

การประยุกต์ใช้วิธีทากูชิ (Taguchi method) เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการลดการเกิดข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปาก สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้ คือ อุณหภูมิลูกสูบ เท่ากับ 376 องศาเซลเซียส ถึง 390 องศาเซลเซียส และ ความยาวก้อนแก้ว เท่ากับ 350 มิลลิเมตร ถึง 359 มิลลิเมตร ซึ่งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมดังกล่าวส่งผลทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทฟองอากาศพาดผิวปากลดลง 26.52 เปอร์เซ็นต์ และทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ประมาณ 123,596 บาทต่อเดือน

8. ข้อเสนอแนะ

สำหรับโรงงานกรณีศึกษามีข้อบกพร่องอื่น ๆ ที่เกิดขึ้น ดังนั้นควรนำหลักการในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องอื่น ๆ ได้ เช่น ข้อบกพร่องประเภทลำตัวไม่กลม ร้าวพาดผิวปาก ลำตัวบาง คอร้าว ลำตัวเป็นขีด ตะเข็บเหลื่อม เป็นต้น เนื่องจากทำให้สามารถหาสาเหตุของปัญหาได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์ฝึกอบรมเทคนิคการผลิตขวดแก้ว. 2554. กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว (Glass Containers Manufacturing Process). แหล่งที่มา http://www.thaiglass.co.th/th/technical_trainnig_center.php, 18 เมษายน พ.ศ. 2564.

[2] A.Adil and A. Moutawakil Laboratoire de Physique Subatomique et Applications, University of Hassan II-Mohammedia-Casablanca, Faculty of Sciences Ben M'Sik, B.P. 7955, Casablanca-Morocco. The Quality Cost Reduction

[3] Su, C.-T., & Yeh, C.-J. (2011). Optimization of the Cu wire bonding process for IC assembly using Taguchi methods. Microelectronics Reliability, 51(1), 53-59. doi: https://doi.org/10.1016/j.microrel.2010.09.007

[4] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. บริษัทสำนักพิมพ์ท้อป จำกัด., กรุงเทพฯ.

[5] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE). 2558 09-09-61: แหล่งที่มา http://piu.ftpi.or.th'productivity-tools/doe

[6] คมพันธ์ ชมสมุทร, สุกัญญา เชิดชูงาม. 2560. การศึกษาประสิทธิภาพทิศทางการกัดงานที่มีผลต่อความหยาบผิวโดยแบบวิธีทากูชิ (Taguchi) วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโยลีราชมงคลพระนครเหนือ

[7] ณัฐพัชร์ อิ่มทรัพย์. 2559. การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลสมมาตรสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองชนิดแฟคทอเรียลและแบบวิธีทากูชิ (Taguchi). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[8] สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527. วัสดุศาสตร์. กรุงเทพฯ: เอกสารประกอบการศึกษาวิชาชั้น 461 ภาควิชา ช่างปั้นดินเผา คณะวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพระนคร.

การลดต้นทุนการผลิตของชิ้นส่วนรถยนต์ โดยการเปลี่ยนชนิดลวดเชื่อมในกระบวนการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์งานเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมแบบอัตโนมัติ

Reduction of production cost of automotive parts by replacing the solid wire in the robotic automation GMAW welding

ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว[1] ประจักร จัตกุล[1] ฐิติ หมอรักษา[1*] ภูเมศวร์ แสงระยับ[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
E-mail: thiti_mh@rmutto.ac.th *
Teerawut Khuenkaew[1], Prajak Jattakul[1], Thiti Mhoraksa[1*], Phoometh Sangrayub[2]
[1]Department of Industrial Engineering, Project to establish the Faculty of Integrated Engineering and Technology, Chanthaburi campus
Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi
[2]Department of Industrial Engineering Technology, Faculty of Industry and Technology,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin Wang Klai Kang Won Campus, Prachuap Khiri Khan
E-mail: thiti_mh@rmutto.ac.th *

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อการลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของชิ้นส่วนรถยนต์ Z ที่เชื่อมโดยหุ่นยนต์งานเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมแบบอัตโนมัติ มียอดการสั่งซื้อโดยเฉลี่ย 39,850 ชิ้นต่อเดือน เป็นระยะเวลา 5 ปี โดยการเปลี่ยนลวดเชื่อมจากเดิมเป็นเครื่องหมายการค้า K ที่อยู่ภายใต้มาตรฐานคุณภาพตาม JIS Z 3312 เดียวกัน ลวดเชื่อม K ผ่านการประเมินในระดับดีจากการประเมินโดยใช้เช็คชีทเพื่อเปรียบเทียบผลดี - ผลเสียของการเปลี่ยนลวดจากผู้ประเมินระดับปฏิบัติการ และระดับบริหารจำนวนรวม 15 คน คุณภาพชิ้นงานจากการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม K ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด ได้แก่ 1) ลักษณะทางกายภาพโดยใช้การตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual Examination) ผลการทดลองสรุปได้ว่าไม่ปรากฏจุดบกพร่องใดๆ บนรอยเชื่อม 2) โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมได้แก่ ค่าการซึมลึก (p) มีค่าเฉลี่ย 1.34 มม. ความสูงของรอยเชื่อม (h) มีค่าเฉลี่ย 4.21 มม. ค่าความกว้างของรอยเชื่อม1,2 (w1,w2) มีค่าเฉลี่ย 6.59 มม.และ 4.82 มม. ตามลำดับ องศาของรอยเชื่อม1, 2 (θ1, θ2) มีค่าเฉลี่ย 138.05 และ133.35 องศาตามลำดับ นอกจากนี้การเปลี่ยนลวดเชื่อมจากเดิมเป็นเครื่องหมายการค้า K ทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลดลง 0.41 บาทต่อหน่วย คิดเป็น 0.23% ของต้นทุนการผลิตเดิม หรือ 980,310 บาท

คาสาคัญ: การลดต้นทุน, ระบบหุ่นยนต์งานเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมแบบอัตโนมัติ, การตรวจสอบรอยเชื่อม, ลวดเชื่อมชนิดลวดเปลือย

Abstract

The objective of this study was to reduce the cost per unit production of part Z welded by robotic automation gas metal arc welding. average sale volume of 39,850 pieces per month, model life of 5 years, with the replacement of welding solid wire from trademark M to trademark K under the same JIS Z 3312 quality standard. Solid wire K was evaluated at a good level from the check sheet comparison of the pros and cons by evaluators who were operational and management level, totaling 15 people. The quality of weldment from K welding wire passed the standards specified by the customer, including 1) the appearance characteristics by visual examination. There are no defects in the weldment. 2) The macroscopic structure of the weldment, such as the penetration depth (p) averaged 1.34 mm., the throat depth (h) averaged 4.21 mm., and leg length 1,2 (w1, w2) had an average of 6.59 mm and 4.82 mm, respectively. The degree of weldment (q1, q2) had an average of 138.05 and 133.35 degrees, respectively. In addition, the improvement can reduce the production cost by 0.41 baht per unit, or 0.23% of the production cost, or 980,310 baht per model life.

Keywords: Cost reduction, Robotic automation GMAW welding system, Weld inspection, Solid wire

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยโดยปัจจุบันมีนักลงทุนต่างชาติรายใหม่เข้ามาลงทุนในประเทศไทย รวมถึงมีการขยายกิจการเพื่อผลิตชิ้นส่วนรถยนต์เพิ่มขึ้น ด้วยสถานการณ์ปัจจุบันมีการแพร่ระบาดของของไวรัส COVID-19 ที่ลุกลามไปทั่วโลก กระทบห่วงโซ่การผลิตรถยนต์สะดุดลง แนวโน้มหดตัวรุนแรงขณะที่กำลังซื้อของผู้บริโภคในประเทศและตลาดส่งออกชบเซารุนแรง อย่างไรก็ตาม การผลิตและจำหน่ายรถยนต์มีแนวโน้มฟื้นตัวในปี 2564 – 2565 จากกำลังซื้อที่ทยอยฟื้นตัวตามภาวะเศรษฐกิจ [1] เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค และเพื่อให้ยอดขายของแต่ละผู้ผลิตรถยนต์เพิ่มขึ้นจึงมีการแข่งขันทางการตลาดที่สูงขึ้นเช่นกัน กิจกรรมการลดต้นทุนการผลิตเป็นกลยุทธ์ที่ถูกนำมาเป็นหัวข้อหนึ่งในการพิจารณาลดต้นทุนในการผลิต เช่น การลดค่าใช้จ่ายจากการผลิตชิ้นงานที่มีจดบกพร่อง [2] การลดเวลาในการผลิตโดยการศึกษาการเคลื่อนที่และเวลา (Motion and Time Study) [3-4] การสมดุลย์การผลิต (Line balancing) [5] การปรับ/เปลี่ยนกระบวนการผลิต [6] หรือ การเปลี่ยนประเภทลวดเชื่อมที่ใช้ในการผลิต [7] เป็นต้น

การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมเป็นกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้ในการต่อประสานชิ้นส่วนให้ติดกันของการผลิตรถยนต์หรือชิ้นส่วนรถยนต์ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถประยุกต์เข้ากับการผลิตแบบอัตโนมัติอย่างมีประสิทธิภาพ [8] ลวดเชื่อมเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญสำหรับการเชื่อมจะต้องเลือกใช้ให้ถูกต้อง และเหมาะสมกับวัสดุชิ้นงานเชื่อม สำหรับการเชื่อมชิ้นส่วนรถยนต์ที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนใช้ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน JIS Z 3312:YGW12, AWS A5.18/ASME SFA-5.18:ER70S-6, EN ISO 14341-A:G 42 3 C1CM21 ซึ่งราคาต่อกิโลกรัมลวดจะขึ้นกับบริษัทผู้ผลิต และตัวแทนจำหน่ายของแต่ละเครื่องหมายการค้าโดยปกติราคาอยู่ช่วงระหว่าง 44 ถึง 60 บาท การลดต้นทุนในการผลิตโดยเปลี่ยนเครื่องหมายการค้าลวดเชื่อมแต่คุณภาพของลวดเชื่อมอยู่ภายใต้มาตรฐานเดียวกันเป็นวิธีการหนึ่งที่ผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ใช้ในการลดต้นทุนการผลิต

งานวิจัยได้ทำการศึกษาเพื่อการลดต้นทุนการผลิตโดยการเปลี่ยนลวดเชื่อมในการเชื่อมชิ้นส่วนรถยนต์ที่มียอดการสั่งซื้อโดยเฉลี่ย 39,850 ชิ้นต่อเดือน เป็นระยะเวลา 5 ปี โดยเปลี่ยนจากเครื่องหมายการค้า M (นามสมมติ) เป็น K (นามสมมติ) งานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลดี-ผลเสียของการเปลี่ยนลวด การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต และการเปรียบเทียบผลการทดลองของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 สภาพปัจจุบัน

เนื่องจากผู้ผลิตชิ้นส่วนลำดับที่ 1 (First tier) มีการทำกิจกรรมลดต้นทุนสินค้ารวมทั้งให้มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของโรงงาน และเตรียมพื้นที่สำหรับติดตั้งไลน์การผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ จึงมีนโยบายให้ผลิตสินค้าที่มีอยู่ปัจจุบันแก่ผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ลำดับที่ 2 (Second tier) โรงงานกรณีศึกษาได้เป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ลำดับที่ 2 และเป็นผู้มีศักยภาพด้านการผลิต ด้านราคา การจัดส่ง และตอบสนองนโยบายด้านอื่น ๆ เป็นอย่างดี จึงได้รับมอบหมายให้เป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ Z ที่มีชิ้นส่วนประกอบย่อย 2 ชิ้น ชิ้นแรกทำมาจากท่อเหล็กกล้าคาร์บอน STKM11 A ตามมาตรฐาน JIS G 3445) [9] ความหนา 2 มม. และชิ้นที่สองทำมาจากเหล็กแผ่นรีดร้อน SPH270C ตามมาตรฐาน JIS G 3131 [10] ความหนา 8 มม. โดยมีส่วนประกอบทางเคมี และสมบัติทางกลตามตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ทำการประสานชิ้นส่วนย่อยเข้าด้วยกันโดยกระบวนการเชื่อมโลหะแก๊สคลุมอาร์กอนผสมคาร์บอนไดออกไซด์อัตราส่วนร้อยละ 83 ต่อ 17 ตามลำดับ ใช้ลวดเชื่อม M เป็นชนิดลวดเปลือย (Solid wire) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 1.2 มม.ตามมาตรฐาน JIS Z 3312 ความยาวของรอยเชื่อม 32 ซม.

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กแผ่นรีดร้อน SPH270C และท่อเหล็กกล้าคาร์บอน STKM11 A (wt%)

วัสดุ/สัญลักษณ์	C	Mn	P	S	Si	Fe
SPH270C	0.12 Max	0.60 Max	0.045 Max	0.035 Max	-	Balance
STKM11A	0.12 Max	0.60 Max	0.040 Max	0.040 Max	0.35 Max	Balance

ตารางที่ 2 สมบัติทางกลของเหล็กแผ่นรีดร้อน SPH270C และท่อเหล็กกล้าคาร์บอน STKM11 A

วัสดุ/สมบัติทางกล	Tensile Strength (Mpa)	Elongation (%)
SPH270C	270 Min	31 Min
STKM11A	290 Min	30 Min

2.2 การลดต้นทุนการผลิตของชิ้นส่วนรถยนต์ Z

ฝ่ายผลิตของโรงงานกรณีศึกษาประกอบด้วย 1) แผนกผลิตมีหน้าที่วางแผนการผลิตและผลิตสินค้า 2) แผนกควบคุมคุณภาพรับผิดชอบควบคุมคุณภาพสินค้าตั้งแต่การรับวัตถุดิบ(Raw material) ชิ้นส่วนประกอบย่อย (Component part) กระบวนการผลิต (Process) และสินค้าสำเร็จรูป (Finish good) 3) แผนกจัดส่งทำหน้าที่ บริหารงานจัดส่งทั้งรับเข้าและส่งออก 4) แผนกวิศวกรรม มีหน้าที่รับผิดชอบดูแลเครื่องจักรในการผลิตและเครื่องจักรสนับสนุนการผลิต

กิจกรรมการลดต้นทุนของชิ้นส่วนรถยนต์ Z เป็นนโยบายหลักของฝ่ายผลิตโดยมีเป้าหมายในการลดต้นทุนให้ได้ 1 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนการผลิตเดิม โดยทุกแผนกต้องมีส่วนร่วมในการลดต้นทุนการผลิต การลดต้นทุนการผลิตทั้งหมดที่เสนอต่อผู้บริหารได้แก่ 1) การลดเวลาในการผลิต รับผิดชอบโดยแผนกผลิต เป้าหมาย 0.16 % 2) การลดเวลาในการตรวจสอบคุณภาพ รับผิดชอบโดยแผนกควบคุมคุณภาพ เป้าหมาย 0.13 % 3) การลดค่าใช้จ่ายการขนส่ง รับผิดชอบโดยแผนก

จัดส่ง เป้าหมาย 0.10 % 4) การลดต้นทุนการผลิต โดยการเปลี่ยนชนิดลวดเชื่อม รับผิดชอบโดยแผนกวิศวกรรม เป้าหมาย 0.20 % 5) การลดต้นทุนการผลิต โดยการเปลี่ยนประเภทแก๊สเชื่อม รับผิดชอบโดยแผนกวิศวกรรม เป้าหมาย 0.42 %

งานวิจัยนี้นำเสนอเฉพาะวิธีการลดต้นทุนการผลิตของชิ้นส่วนรถยนต์โดยการเปลี่ยนชนิดลวดเชื่อมซึ่งเป็นกิจกรรมที่สามารถลดต้นทุนได้จริงสูงสุดจากกิจกรรมที่นำเสนอต่อผู้บริหารทั้งหมด ลวดเชื่อมที่ใช้ในการผลิตใช้ตามมาตรฐาน JIS Z 3312:YGW12, AWS A5.18/ASME SFA-5.18:ER70S-6, EN ISO 14341-A:G 42 3 C1CM21 โดยมีผู้ผลิตและผู้จำหน่ายภายในประเทศไทยหลากหลายเครื่องหมายการค้า โรงงานกรณีศึกษาคัดเลือกจาก 5 ผู้จำหน่ายที่เสนอราคาพร้อมกับให้ตัวอย่างลวดเชื่อมในการทดสอบเชื่อมเบื้องต้น จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลดี-ผลเสียด้านคุณภาพลวดเชื่อม การควบคุมปริมาณสินค้าคงคลัง การจัดส่ง และการบริการหลังการขาย โดยใช้เช็คชีท (Check Sheet) ที่มีหัวข้อส่วนหนึ่งในการเช็ค เช่น ลวดเชื่อมมีการผลิตตามมาตรฐานการเชื่อมหรือไม่ คุณภาพรอยเชื่อมผ่านการทดสอบการเชื่อมเบื้องต้นหรือไม่ มีคงคลังสินค้าที่สามารถเก็บสินค้าให้เพียงพอต่อปริมาณการใช้งานหรือไม่ มีการจัดส่งภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้หรือไม่ มีการบริการหลังการขายที่มีความเร็วและถูกต้องหรือไม่เป็นต้น จากการประเมินจากหัวหน้างานฝ่ายผลิตจำนวน 10 คนและจากหัวหน้างานฝ่ายจัดซื้อ 2 คน และจากผู้ประเมินระดับบริหาร 3 คน ผลการเปรียบเทียบสรุปได้ว่า ลวดเชื่อม K ผ่านการประเมิน และสามารถนำไปใช้ในการผลิตได้ โดยมีส่วนประกอบทางเคมีตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบทางเคมีของลวดเชื่อม (wt%)

ชนิด/ สัญลักษณ์	C	Mn	P	S	Si	Cu
ลวดเชื่อม M	0.10	1.56	0.011	0.012	0.88	0.24
ลวดเชื่อม K	0.07	1.53	0.012	0.070	0.86	-

2.3 เทคนิคการหาปริมาณการใช้ลวดเชื่อม

ผู้วิจัยจะทำการตัดลวดเชื่อม M และ K ความยาว 4 เมตร จำนวนชนิดละ 30 เส้น แล้วนำไปชั่งได้น้ำหนักเฉลี่ย 40 กรัม จากนั้นนำเส้นลวดเชื่อมแต่ละเส้นที่ผ่านการชั่งน้ำหนักไปทำการเชื่อมชิ้นงานให้เป็นชิ้นส่วนรถยนต์ Z จำนวน 1 ตัว เมื่อเชื่อมชิ้นงานเสร็จนำลวดส่วนที่เหลือไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ทำซ้ำ 30 ครั้งจากการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมแต่ละชนิด ได้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของการใช้ลวดเชื่อม M และ K เท่ากันคือ 31 กรัม สำหรับปัจจัยการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์งานเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมแบบอัตโนมัติเครื่องหมายการค้า PANASONIC รุ่น TA1600 ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น ผู้วิจัยกำหนดเป็นปัจจัยการเชื่อมเดียวกันตามมาตรฐานเงื่อนไขการเชื่อม (Arc Welding Condition Standard) ทั้งการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม M และ K โดยปัจจัยการเชื่อมกระแสไฟเชื่อม 175 แอมป์แปร์ แรงดันไฟฟ้า 23 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 0.60 เมตรต่อนาที

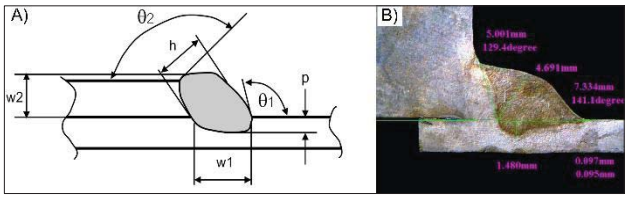
2.4 การตรวจสอบผลการทดลอง

2.4.1 ลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อม (Appearance)

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพใช้การตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual Examination) ซึ่งเป็นวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายเพื่อหารอยบกพร่องของรอยเชื่อมที่อาจเกิดขึ้นด้วยสายตาตามมาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย [11] กล่าวคือ รอยเชื่อมจะต้องไม่ตรวจพบรอยแตก (Crack) รูพรุน (Porosity) รอยเชื่อมไม่เต็ม (Under fill) จุดหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete fusion) และรอยกัดแหว่ง (Undercut) จะต้องไม่เกิน 1 มม.

2.4.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

นำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมไปตัดด้วยเครื่องไมโครคัตเตอร์ จากนั้นนำชิ้นงานที่ตัดแล้วไปอัดผงเรซิ่นด้วยเครื่องไมโครเพรส ก่อนทำการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180 และ 400 ตามลำดับ ทำการล้างชิ้นงานด้วยน้ำสะอาด ชิ้นงานที่ผ่านการล้างจะนำไปทำการกัดกรดไนไตร 15% (Nytry 15%) ทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยการศึกษาจะทำการศึกษา 3 องค์ประกอบ คือ การซึมลึกของรอยเชื่อม (p) ความกว้างของรอยเชื่อม (w) ความสูงของรอยเชื่อม (h) และองศาของรอยเชื่อม(θ) แสดงดังรูปที่1 รอยเชื่อมที่ได้มาตรฐาน [12] จะต้องมีคุณภาพดังตารางที่ 4



รูปที่ 1 ลักษณะองค์ประกอบของการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค
A) ลักษณะตามแบบงาน B) ลักษณะตามการวัดค่าชิ้นงาน

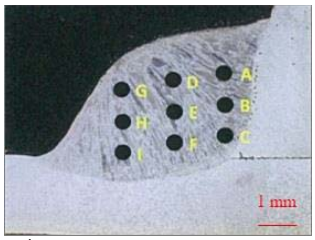
ตารางที่ 4 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม

รายการ	มาตรฐาน
การซึมลึกของรอยเชื่อม (p)	> 0.40 มม.
ความกว้างของรอยเชื่อม1 (w1)	> 1.60 มม.
ความกว้างของรอยเชื่อม2 (w2)	> 1.60 มม.
ความสูงของรอยเชื่อม (h)	> 1.40 มม.
องศาของรอยเชื่อม1(θ1)	> 90 องศา
องศาของรอยเชื่อม2 (θ2)	> 90 องศา

2.4.3 ค่าความแข็งของรอยเชื่อม

ค่าความแข็งจะวัดจากรอยเชื่อมบริเวณพื้นที่รอยเชื่อมด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์เครื่องหมายการค้า FUTURETECH รุ่น FV-700 ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น การวัดความแข็งจะใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา

ใช้เวลากด 10 -15 วินาทีโดยมีระยะห่างของการวัดค่าความแข็งแต่ละจุดเท่ากับ 1.0 มม. ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง

3. ผลการดำเนินการวิจัย

3.1 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต

จากการทดลองการเชื่อมชิ้นงาน 60 ตัว โดยไม่เปลี่ยนแปลงปัจจัยการเชื่อมทำให้ทราบว่าชิ้นส่วนรถยนต์ Z ใช้ลวดเชื่อม 31 กรัมต่อชิ้นงาน 1 ตัว โดยทั้งการใช้ลวดเชื่อม M และ K ดังนั้นต้นทุนของลวดเชื่อม M มีค่า 1.77 บาทต่อชิ้น (31 กรัม x 57 บาทต่อกิโลกรัม) ต้นทุนของลวดเชื่อม B มีค่า 1.36 บาทต่อชิ้น (31 กรัม x 44 บาทต่อกิโลกรัม) การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของโรงงานกรณีศึกษากำหนดให้ต้นทุนของลวดเชื่อมเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนกระบวนการผลิต สำหรับวิธีการคำนวณต้นทุนการผลิตต่อหน่วยแบบง่ายจะคำนวณจากสมการที่ 1

ต้นทุนการผลิต = ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง + ต้นทุนค่าแรงทางตรง
+ ต้นทุนกระบวนการผลิต
+ ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต (1)

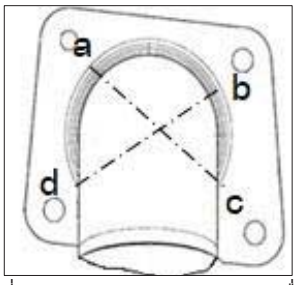
จากการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจากการเปลี่ยนลวดเชื่อม M เป็น K ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลงได้ 0.41 บาท หรือคิดเป็น 0.23% ของต้นทุนการผลิตเดิมซึ่งมากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ (0.20%) แสดงดังตารางที่ 5 เนื่องจากสามารถต่อรองราคาของลวดเชื่อมได้ถูกลง สำหรับชิ้นส่วนรถยนต์ชื่อ Z มียอดการสั่งซื้อโดยเฉลี่ย 39,850 ชิ้นต่อเดือน เป็นระยะ 5 ปี ดังนั้นสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ 980,310 บาท (39,850 x 0.41 x 12 x 5) ทั้งนี้ราคาของลวดเชื่อม K จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงราคา เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาได้ทำข้อตกลงการซื้อขายไว้ล่วงหน้าตลอดอายุของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (บาท)

รายการต้นทุน	ลวดเชื่อม M	ลวดเชื่อม K
ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง	158.12	158.12
ต้นทุนค่าแรงทางตรง	6.37	6.37
ต้นทุนกระบวนการผลิต	13.62	13.21
ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต	0.20	0.20
รวม	178.31	177.90
ความแตกต่าง	0.41 บาทต่อชิ้น	

3.2 ผลการตรวจสอบรอยเชื่อม

ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม M และ K อย่างละ 30 ชิ้นงานทดสอบ ถูกนำมาทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคชนิดละ 5 ชิ้นงานทดสอบ แล้วนำชิ้นงานดังกล่าวนำไปวัดค่าความแข็ง ชิ้นส่วนรถยนต์ Z เป็นการเชื่อมชิ้นงานเป็นรูปวงกลม ดังนั้นผลการทดลองผู้วิจัยจะตรวจวัดบนจุดรอยเชื่อมตามตำแหน่งบนเส้นรอบวงโดยแบ่งจุดการตรวจสอบเป็น 4 จุด คือ จุด a, b, c และ จุด d ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งการตรวจสอบรอยเชื่อม

3.2.1 ลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อม

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพด้วยวิธีตรวจพินิจจากชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม M จำนวน 30 ตัว และชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม K จำนวน 30 ตัว ถูกตรวจ และรับรองคุณภาพโดยบันทึกผลการตรวจสอบในเอกสารมาตรฐานการตรวจสอบขนาดชิ้นงาน (Dimension Inspection Standard :DIS) หัวข้อลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อม (Appearance) จากแผนกรับประกันคุณภาพ ผลการตรวจชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม M และ K ลักษณะของรอยเชื่อมมีความเรียบสม่ำเสมอ โค้งเป็นรูปวงกลมตามเส้นรอบวงของท่อ ไม่พบรอยแตกของรอยเชื่อม ไม่พบรูพรุน ไม่พบรอยเชื่อมไม่เต็ม ไม่พบชิ้นงานที่มีจุดหลอมละลายไม่สมบูรณ์ และไม่พบรอยกัดแหว่ง ตามรูปที่ 4 เนื่องจากเป็นการเชื่อมด้วยปัจจัยการเชื่อมเดียวกัน หุ่นยนต์งานเชื่อมเดียวกัน อีกทั้งใช้แก๊สปกคลุมแบบผสมระหว่างอาร์กอน และคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 83 ต่อ 17 ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายโอนแบบละอองที่สม่ำเสมอเกิดเม็ดโลหะ (Spatter) ปริมาณน้อย [13]

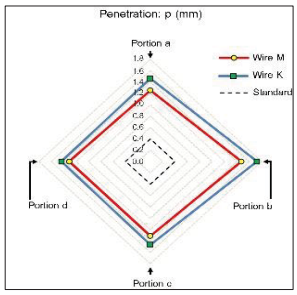


รูปที่ 4 A) ชิ้นส่วนรถยนต์ Z เชื่อมด้วยลวดเชื่อม M
B) ชิ้นส่วนรถยนต์ Z เชื่อมด้วยลวดเชื่อม K

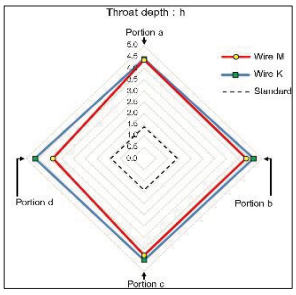
3.2.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม M และ K อย่างละ 5 ชิ้นงานทดสอบ ถูกนำมาทำการตรวจสอบ

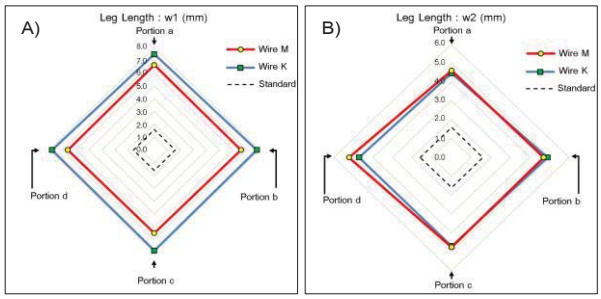
โครงสร้างมหภาคแล้วทำการตรวจวัดคุณภาพรอยเชื่อมตามรูปที่ 3 ผลการตรวจวัดโครงสร้างมหภาคการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม K โดยเฉลี่ยถูกนำมาเปรียบเทียบกับโครงสร้างมหภาคการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม M แยกเป็นแต่ละหัวข้อตรวจสอบ



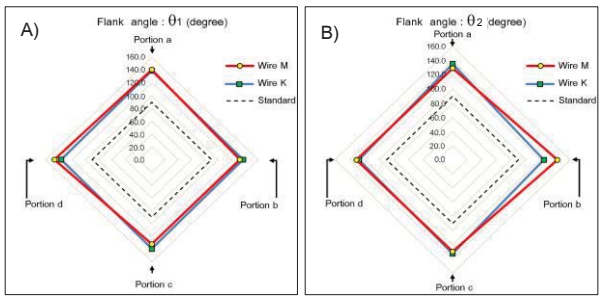
รูปที่ 5 ค่าการซึมลึกของรอยเชื่อม



รูปที่ 6 ความสูงของรอยเชื่อม



รูปที่ 7 A), B) ค่าความกว้างของรอยเชื่อม 1, 2



รูปที่ 8 A), B) องศาของรอยเชื่อม 1, 2

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าคุณภาพรอยเชื่อมที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม M และ K ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด [12] ทุกตำแหน่ง จากรูปที่ 5 ค่าการซึมลึก (p) ของการใช้ลวดเชื่อม K มีค่าเฉลี่ย 1.34 มม.ซึ่งมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าการใช้ลวดเชื่อม M 0.18 มม. รูปที่ 6 ความสูงของรอยเชื่อม (h) ของการใช้ลวดเชื่อม K มีค่าเฉลี่ย 4.21 มม.ซึ่งมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าการใช้ลวดเชื่อม M 0.34 มม. รูปที่ 7 A) ค่าความกว้างของรอยเชื่อม 1 (w1) ของการใช้ลวดเชื่อม K มีค่าเฉลี่ย 6.59 มม. มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าการใช้ลวดเชื่อม M 1.15 มม.รูปที่ 7 B) ค่าความกว้างของรอยเชื่อม 2 (w2) ของการใช้ลวดเชื่อม K มีค่าเฉลี่ย 4.82 มม. มีค่าเฉลี่ยมากกว่าการใช้ลวดเชื่อม M 0.13 มม.รูปที่ 8 A) องศาของรอยเชื่อม 1 (θ_1) ของการใช้ลวดเชื่อม K มีค่าเฉลี่ย 138.05 องศา มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าการใช้ลวดเชื่อม M 0.15 องศา รูปที่ 8 B) องศาของรอยเชื่อม 2 (θ_2) ของการใช้ลวดเชื่อม K มีค่าเฉลี่ย 133.35 องศา มีค่าเฉลี่ยมากกว่าการใช้ลวดเชื่อม M 3.25 องศา

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าชิ้นส่วนรถยนต์ Z ที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมต่างเครื่องหมายการค้าแต่มีมาตราฐานการผลิตที่มีคุณภาพระดับสากลเหมือนกัน จะให้คุณภาพของรอยเชื่อมที่คล้ายกันเนื่องจากปัจจัยการเชื่อมเป็นค่าเดียวกัน พลังงานความร้อนในการเชื่อมชิ้นงานมีค่าเท่ากัน แต่หากมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยการเชื่อม เช่น การเพิ่มแรงดันไฟฟ้า การเพิ่มกระแสไฟฟ้าเชื่อม หรือการปรับลดความเร็วในการเชื่อม จะทำให้เกิดพลังงานความร้อนในการเชื่อมสูงซึ่งจะมีผลโดยตรงกับคุณภาพรอยเชื่อม [14] และจะทำให้ปริมาณการใช้ลวดเชื่อมมีค่าแตกต่างกัน

3.2.3 ค่าความแข็งของรอยเชื่อม

ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจโครงสร้างมหภาคอย่างละ 5 ชิ้นงานทดสอบถูกนำมาทำการทดสอบค่าความแข็งตามตำแหน่งการตรวจสอบรอยเชื่อมดังรูปที่ 3 โดยแต่ละตำแหน่งจะทำการทดสอบ 9 จุดตามรูปที่ 2 ผลการทดลองแสดงตามตารางที่ 6 จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม K ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานของลูกค้าโดยค่าความแข็งของรอยเชื่อมโดยเฉลี่ยที่ผ่านการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม K (187.1 Hv) มีค่าความแข็งน้อยกว่ารอยเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม M (204.7 Hv) เนื่องจากส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมมีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะส่วนผสมของธาตุคาร์บอนในลวดเชื่อมรวมทั้งปริมาณธาตุคาร์บอนที่เป็นส่วนผสมในชิ้นงานเชื่อม [15] อย่างไรก็ตามค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม K ไม่มีผลต่อคุณภาพรอยของเชื่อม เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลการทดลองบริเวณรอยเชื่อมเพื่อการเปลี่ยนลวดเชื่อมจากลวดเชื่อม M เป็นลวดเชื่อม K ด้วยการคงที่ปัจจัยการเชื่อม ดังนั้นจึงไม่พิจารณาค่าความแข็งบริเวณวัสดุพื้น (Base Metal) บริเวณกระทบร้อน (Heat Affected Zone) อีกทั้งผลกระทบของค่าความแข็งที่เกิดจากการเปลี่ยนความเร็วในการเชื่อมเพราะความเร็วในการเชื่อมที่ต่างกันจะมีผลต่อค่าความแข็งของรอยเชื่อมกล่าวคือ การเชื่อมด้วยความเร็วต่ำจะให้ความแข็งต่ำ เนื่องจากการใช้ความเร็วต่ำทำให้ขนาดของเกรนในรอยเชื่อมมีขนาดใหญ่ และ การเชื่อมด้วยความเร็วสูงจะให้ความแข็งสูงเนื่องจากการใช้ความเร็วสูงทำให้ขนาดของเกรนในรอยเชื่อมมีขนาดเล็ก [16]

ตารางที่ 6 ผลการตรวจสอบค่าความแข็งรอยเชื่อมโดยเฉลี่ย (Hv)

ตำแหน่ง	a	b	c	d	เฉลี่ย	ความแตกต่าง
ลวด M	217.3	212.7	198.1	190.8	204.7	17.6
ลวด K	203.3	194.8	175.3	174.8	187.1	

4. สรุป

งานวิจัยได้ทำการศึกษาเพื่อการลดต้นทุนการผลิตโดยการเปลี่ยนลวดเชื่อมจากลวดเชื่อม M เป็นลวดเชื่อม K การเปรียบเทียบข้อดี-เสียผ่านการประเมินจากผู้ประเมินทั้งระดับปฏิบัติการ และผู้บริหาร ลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกัน ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ลวดเชื่อม K ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานของลูกค้าทุกตำแหน่งโดยค่าการซึมลึกมีค่าเฉลี่ย 1.34 มม. ค่าความกว้างของรอยเชื่อม 1, 2 (w1, w2) มีค่าเฉลี่ย 6.59, 4.82 มม.ตามลำดับ ความสูงของรอยเชื่อม (h) มีค่าเฉลี่ย 4.21 มม. และ องศาของรอยเชื่อม 1, 2 (θ1, θ2) ค่าเฉลี่ย 138.05, 133.35 องศาตามลำดับ และค่าความแข็งของรอยเชื่อมลวดเชื่อม K มีค่า 187.1 Hv โดยผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานของลูกค้า สรุปได้ว่า ลวดเชื่อม K ผ่านการประเมิน และสามารถนำไปใช้ในการผลิตได้ โดยสามารถลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลง 0.41 บาท หรือคิดเป็น 0.23 % ของต้นทุนการผลิตเดิม ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 980,310 บาท

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ได้อนุญาตให้คณะวิจัยเข้าศึกษาวิจัย ให้ข้อมูล และเผยแพร่ข้อมูลงานวิจัยเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] วรรณา ยงพิศาลภพ, แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2563-2565: อุตสาหกรรมรถยนต์, ข้อมูลจาก https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Hi-tech-Industries/Automobiles/IO/io-automobile-20 (วันที่สืบค้นข้อมูล 6 มกราคม 2565)

[2] ณัฐชนันท์ ชูสมบัติ และนภัสสวงศ์ โอสถศิลป์, การลดค่าใช้จ่ายรวมที่เกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องประเภทครีบในกระบวนการขึ้นรูปฝาครอบถังน้ำมัน., วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1: ม.ค. – มิ.ย. 2564

[3] กันต์ ขุนพรหม และคณะ, การปรับปรุงกระบวนการทำงานในบริษัทผลิตพาเลทไม้., วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, ปีที่ 7,ฉบับที่ 2: ก.ค. – ธ.ค. 2564

[4] ธนพร ศรีสว่างวงศ์ และนันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร, การปรับปรุงงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์., วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, ปีที่ 2, ฉบับที่ 3: ก.ค. – ธ.ค. 2559

[5] จันจิรา คงชื่นใจ และเชฏฐา ชำนาญหล่อ, การจัดสมดุลสายการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์., วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1: ม.ค.-มิ.ย. 2561

[6] ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว และฐิติ หมอรักษา, การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปุ่มสำหรับทีนัท M12 กับเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC., วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, เผยแพร่ออนไลน์ 9 ก.ย. 2564, DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.09.003

[7] กิจติศักดิ์ บัวคง. 2557. การลดต้นทุนวัตถุดิบในกระบวนการเชื่อมลวดโดยใช้ลวดทองแดง กรณีศึกษาโรงงานตัวอย่าง เซมิคอนดัคเตอร์. (การค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, คณะบริหารธุรกิจ, สาขาการจัดการวิศวกรรมธุรกิจ.

[8] ภูเมศวร์ แสงระยับ และคณะ, การหาค่าที่เหมาะสมของการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม JFE429., การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55 , 31 ม.ค. – 3 ก.พ. 2560, กรุงเทพฯ

[9] Japanese Standard Association. Japanese Industrial Standard 2016, Carbon Steel tube for machine structure JIS G 3445. Tokyo, Japan: Inc. 2016

[10] Japanese Standard Association. Japanese Industrial Standard 2010, Hot rolled mild steel plate, sheet, and strip JIS G 3131. Tokyo, Japan: Inc. 2010

[11] กรมโยธาธิการและผังเมือง. มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณ, สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ, 2551.

[12] Design Quality Innovation Division. Toyota Corporation, Arc Welding TSH 5603G. 2014

[13] ทวีศักดิ์ ส่งศรีจันทร์ และคณะ, อิทธิพลที่เกิดจากเม็ดโลหะกระเด็นระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับแก๊สผสมของการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกป้องแบบลัดวงจร, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1 : ม.ค. – มิ.ย. 2551

[14] ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว และกรรณชัย กัลยาศิริ, การศึกษาปัจจัยการเชื่อมที่มีอิทธิพลต่อรูปร่างของรอยเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม JFE429., การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2554, 20-21 ต.ค. 2554, ชลบุรี

[15] C. Han, C. Yang, H. Kim and S. Park. 2019. “The effects of robot welding and manual welding on the low- and high-cycle fatigue lives of SM50A carbon steel weld zones”. Advances in Mechanical Engineering, Vol.11(3): 1-11.

[16] ศักดิ์ชัย จันทศรี และคณะ, การเชื่อมแก๊สเฉื่อยปกคลุมต่อเหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าไร้สนิมในโครงสร้างอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล, โครงการวิจัยงบประมาณประจำปี 2556 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การออกแบบและสร้างเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติเพื่อลดเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิต

The design and construction of a semi-automatic pigskin scraper to reduce the time wasted in process

ภูริพัส แสนพงษ์[1*] ธัมม์โชโต ประจักษ์สูตร์[2]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[2]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลางนครราชสีมา
E-mail: bhuriphat.sa@rmuti.ac.th*

Bhuriphat Saenpong[1*], Thamchoto Prajaksood[2]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Ratchasima
E-mail: bhuriphat.sa@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

จากการศึกษากระบวนการผลิตแหนมหมู กรณีศึกษาโรงงานอัศวินเขียงทอง ขั้นตอนการขูดหนังหมูที่จะนำไปเป็นส่วนผสมของแหนมหมูนั้นใช้เวลาในการทำงานมาก และเกิดอุบัติเหตุกับพนักงานในกระบวนการขูดหนังหมูอยู่บ่อยครั้ง จึงมีแนวทางการแก้ไขโดยออกแบบเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในการขูดหนังหมู 50 กิโลกรัม และทำการแบ่งเป็น 10 ครั้ง ในแต่ละครั้งใช้หนังหมู 5 กิโลกรัม ในการขูดหนังหมูใช้เวลารวม 26.35 นาที จึงจะสามารถนำหนังหมูไปหั่นสไลด์เป็นเส้นบางๆ เพื่อนำไปเป็นส่วนผสมของแหนมหมูได้ ทำการเปรียบเทียบเวลาในการขูดหนังหมูของวิธีการขูดหนังหมูแบบเดิม และเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติ โดยทำการขูดหนังหมู 50 กิโลกรัม วิธีการขูดหนังหมูแบบเดิมใช้เวลาในการขูดหนังหมู 92.25 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 32 นาที ส่วนเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติใช้เวลาในการขูดหนังหมู 26.35 นาที ซึ่งเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติสามารถลดเวลาในการทำงานได้ 65.90 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 5 นาที คิดเป็นร้อยละ 71.44 สามารถเพิ่มผลผลิตกระบวนการขูดหนังหมูได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

คาสาคัญ: แหนม, หนังหมู, กึ่งอัตโนมัติ

Abstract

From the study of the production of fermented pork Case Study of Asawin Khiangthong Factory. The process of scraping pork skins to be used as ingredients for fermented pork takes a lot of time. And there are frequent accidents with employees in the process of scraping pigskin. Therefore, there is a solution by designing a semi-automatic pig skin scraper. which collected data for scraping 50 kg of pig skin and divided into 10 times, each time using 5 kg of pig skin to scrape the pig skin, it took a total of 26.35 minutes to be able to slice the pig skin into thin strips. to be used as a mixture of fermented pork Comparison of pigskin scraping times for conventional pigskin scraping methods. and semi-automatic pork skin scraper by scraping 50 kilograms of pig skin, the conventional method of scraping pigskin takes 92.25 minutes or 1 hour 32 minutes to scrape pigskin. Automatic can reduce the working time by 65.90 minutes or 1 hour 5 minutes or 71.44%, can increase the productivity of the pigskin scraping process not less than 60%.

Keywords: Sour pork, Pork skins, Semi-automatic

1. บทนำ

แหนมหมูถือได้ว่าเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านของภาคอีสานในการถนอมอาหารเพื่อยืดอายุให้สามารถรับประทานได้นานขึ้น โดยใช้การหมักเนื้อหมูผสมกับหนังหมูและเครื่องเทศ ทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้จนมีรสชาติเปรี้ยวจึงจะสามารถรับประทานได้ จังหวัดขอนแก่นมีการประกอบธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตแหนมหมูเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันกระบวนการผลิตแหนมหมูมีหลายขั้นตอน การขูดเพื่อแยกไขมันออกจากหนังหมูถือว่าเป็นกระบวนการขั้นต้นที่ทำให้เกิดคอขวดในขั้นตอนของการผลิต เนื่องจากต้องใช้พนักงานในการขูดชั้นมันหมูที่ติดมากับหนังหมูซึ่งทำงานเป็นระยะเวลานาน และบ่อยครั้งที่เกิดอุบัติเหตุเนื่องจากการปฏิบัติงานซึ่งต้องใช้การขูดด้วยใบมีด จากปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นการแก้ไขปัญหาด้วยการออกแบบเครื่องจักรเพื่อช่วยในการทำงานโดยทำงานในรูปแบบกึ่งอัตโนมัติ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาสูญเปล่าจากขั้นตอนการผลิตและสามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงขึ้น

2. วิธีดำเนินการวิจัย

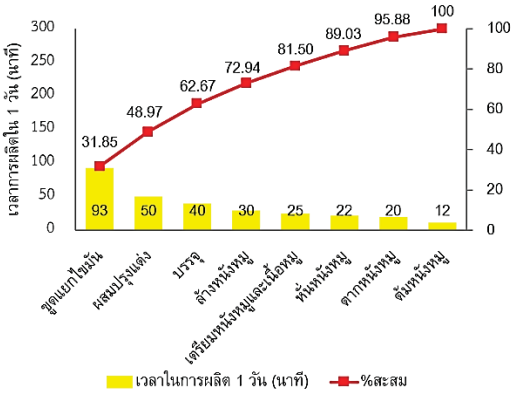
2.1 ศึกษากระบวนการขูดหนังหมู

จากกระบวนการผลิตแหนมหมูพบว่าได้ประสบปัญหาในกระบวนการขูดแยกไขมันออกจากหนังหมู ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตแหนมหมู เมื่อทำการขูดแล้วเกิดความเมื่อยล้าแก่พนักงานอีกทั้งในกระบวนการผลิตมีขั้นตอนการทำงานเกินความจำเป็นจึงทำให้กระบวนการผลิตใช้เวลามาก และทำให้ยอดการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า จากตารางที่ 1 แสดงขั้นตอนการผลิตแหนมของโรงงานอัศวินเชียงทอง โดยใช้เวลาในการผลิตทั้งสิ้น 302 นาที จากการศึกษาขั้นตอนผลิตแหนมหมูในปัจจุบัน

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการผลิตแหนมหมู

ขั้นตอนการผลิต	เวลาการผลิตใน 1 วัน (นาที)
เตรียมหนังหมูและเนื้อหมู	25
ล้างหนังหมู	30
ต้มหนังหมู	12
ตากหนังหมู	20
ขูดแยกไขมัน	93
หั่นหนังหมู	22
ผสมปรุงแต่ง	60
บรรจุ	40
รวม	302

ทางผู้วิจัยจึงได้ใช้แผนภูมิพาเรโตเพื่อใช้ในการหาแนวทางการแก้ไข จากรูปที่1 แผนภูมิพาเรโตจะเห็นได้ว่ากระบวนการขูดหนังหมูมีเวลาการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 93 นาทีต่อวัน กระบวนการผสมปรุงแต่งมีเวลาการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 50 นาทีต่อวัน การบรรจุมีเวลาการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 40 นาทีต่อวัน ล้างหนังหมูมีเวลาการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 30 นาทีต่อวัน เตรียมหนังหมูและเนื้อหมูมีเวลาการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 25 นาทีต่อวัน หั่นหนังหมูมีเวลาการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 22 นาทีต่อวัน ตากหนังหมูมีเวลาการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 20 นาทีต่อวัน และต้มหนังหมูมีเวลาการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 12 นาทีต่อวัน ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้เข้าไปแก้ปัญหาที่กระบวนการขูดหนังหมู โดยลดเวลาในการผลิตด้วยเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติ



รูปที่ 1 แสดงแผนภูมิพาเรโตเวลาการผลิตใน 1 วัน

การจับเวลาในการขูดหนังหมูแบบเดิม โดยทำการเก็บข้อมูลในการขูดหนังหมู 10 ครั้ง ในแต่ละครั้งใช้หนังหมู 5 กิโลกรัม ปริมาณในการขูดหนังหมู 50 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ยในการขูดหนังหมู 9.23 นาที ต่อหนังหมู 5 กิโลกรัม จึงจะสามารถนำหนังหมูไปใช้งานได้



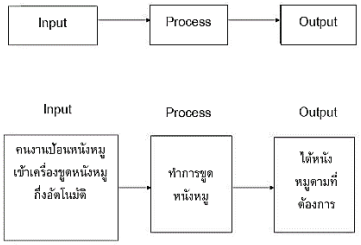
รูปที่ 2 แผนภูมิเวลาการขูดหนังหมูต่อครั้งของวิธีการแบบเดิม (ปริมาณการขูดหนังหมู 5 กิโลกรัมต่อครั้ง)

2.2 ออกแบบเครื่องจักร

เพื่อแก้ไขสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นทางคณะผู้ดำเนินงานโครงการจึงทำการหาแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องขูดหนังหมู การออกแบบในแต่ละขั้นตอนนั้นจะเน้นหลักการทำงานแบบง่ายๆในการทำงานของชิ้นส่วนต่างๆ พยายามหาวัสดุที่สามารถหาได้ตามท้องตลาดโดยทั่วไป โดยมีหลักการในการออกแบบดังนี้ [1]

1) กำหนดความต้องการหรือคุณลักษณะ
2) กำหนดหลักการทำงาน
3) กำหนดรูปทรง
4) กำหนดรายละเอียด

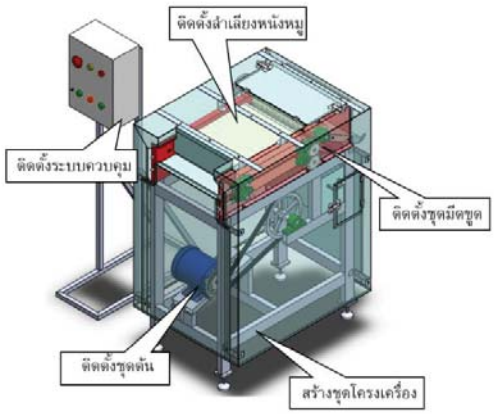
จากรูปที่ 3 จะประกอบไปด้วย Input > Process > Output ซึ่ง Input จะประกอบไปด้วย หนังหมูที่ผ่านการต้มสุกแล้ว หรือวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติ คือ หนังหมู จากนั้นนำชิ้นหนังหมูป้อนเข้าเครื่องขูดหนังหมู โดยใช้คนพนักงานเป็นคนป้อน เมื่อเข้าเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติไปแล้วก็จะเข้าสู่ Process นั้นก็คือการขูดหนังหมู เมื่อขูดหนังหมูเสร็จแล้ว จากนั้นหนังหมูจะเคลื่อนที่ออกทางช่องด้านหลังเครื่องขูดหนังหมู Output



รูปที่ 3 หลักการทำงานของเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติ

ในการดำเนินการสร้างเครื่อง ได้มีการแบ่งส่วนประกอบของเครื่องออกเป็นส่วนๆเพื่อให้ง่ายต่อการสร้างตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบดังรูปที่ 4 ซึ่งประกอบไปด้วย [3]

1) สร้างชุดโครงเครื่อง
2) สร้างชุดลำเลียงหนังหมู
3) ติดตั้งชุดมีดขูด
4) ติดตั้งชุดต้นกำลัง
5) ติดตั้งชุดควบคุม



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่อง

จากการศึกษารูปแบบการทำงานเดิมพนักงานต้องใช้ใบมีดในการขูดแล่มันหมูที่ติดออกจนหมดทำให้สูญเสียเวลาในกระบวนการ [2] ดังในในการออกแบบการทำงานของเรื่องจักรจะมีการลำเลียงหนังหมูผ่านชุดลูกรีดลำเลียงจากนั้นจะถูกกดแผ่นหนังหมูด้วยชุดลูกกลิ้งส่งต่อไปยังชุดใบมีดที่ผลิตจากสเตนเลสเกรด 304 และมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส เพื่อเป็นต้นกำลังและทำการขูดดังแสดงในรูปที่ 5

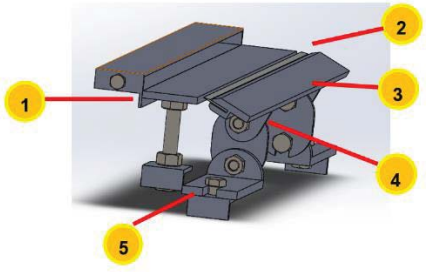


รูปที่ 5 ก) รูปที่ 5 ข)

รูปที่ 5 การเปรียบเทียบกระบวนการขูดหนังหมู
ก) การขูดด้วยกระบวนการแบบเดิม ข) การขูดด้วยเครื่องขูดหนังหมู

ในการออกแบบได้มีการออกแบบชุดใบมีดเพื่อทำการแก้ไขปัญหาการขูดหนังที่ต้องการความชำนาญและการม้วนตัวของหนังหมู จึงได้กำหนดรูปแบบของเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติโดยมีส่วนประกอบของชุดใบมีดดังนี้ [4],[5],[6],[7]

1) ชุดป้อนใบมีด
2) ใบมีด
3) แผ่นยึดใบมีด
4) ชุดปรับองศาใบมีด
5) ฐานชุดใบมีด



รูปที่ 6 แสดงส่วนประกอบของชุดใบมีดเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติ

3. ผลการดำเนินงาน

ในการวิจัยได้มีการจัดจุดสุ่มตรวจสอบขนาดความหนาของหนังหมูที่ขูดจากเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติดังรูปที่ 7 เพื่อให้ได้ความหนาของหนังหมูตามที่โรงงานต้องการ และขนาดความหนาของหนังหมูที่ขูดจากเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติต้องได้ขนาดในช่วง 3.0 – 3.5 มิลลิเมตรดังตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่สามารถนำไปใช้งานได้ และทางโรงงานสามารถยอมรับได้



รูปที่ 7 แสดงจุดตรวจสอบความหนา 5 จุด

ตารางที่ 2 ค่าตรวจสอบขนาดความหนาของหนังหมู

ชิ้นที่	ขนาดความหนาของหนังหมูที่ต้องการ 3.0 – 3.5 มิลลิเมตร					
	จุดตรวจสอบ					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1	3.46	3.50	3.40	3.48	3.46	3.46
2	3.44	3.42	3.48	3.40	3.38	3.42
3	3.38	3.40	3.46	3.42	3.46	3.42
4	3.30	3.48	3.50	3.46	3.40	3.43
5	3.48	3.50	3.38	3.46	3.32	3.43
6	3.48	3.46	3.34	3.42	3.48	3.44
7	3.46	3.32	3.30	3.40	3.32	3.36
8	3.42	3.46	3.34	3.48	3.30	3.40
9	3.36	3.38	3.40	3.40	3.34	3.37
10	3.34	3.36	3.36	3.44	3.50	3.40
ค่าเฉลี่ย	3.41	3.43	3.40	3.43	3.39	3.41

ผลของชิ้นงานที่ได้จากการปฏิบัติงานโดยเครื่องที่สร้างขึ้น ทำให้ผู้วิจัยพบว่าการใช้งานเครื่องขูดหนังหมูที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในกระบวนการขูดหนังหมูของทางโรงงานจึงสามารถนำไปใช้งานได้จึงทำให้กระบวนการผลิตใช้เวลาน้อยลง และลักษณะของหนังหมูได้ขนาดความหนาตามที่โรงงานต้องการ และผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบลักษณะของหนังหมูที่ได้จากกระบวนการขูดหนังหมูดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ก)



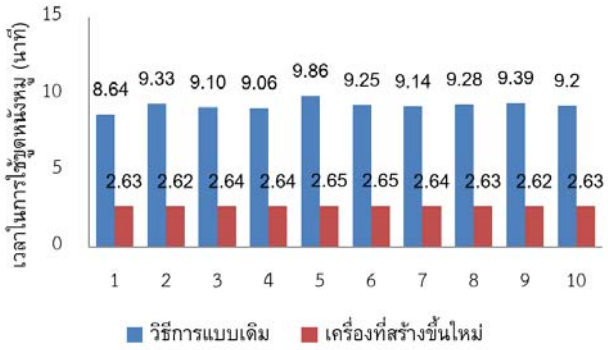
รูปที่ 8 ข)

รูปที่ 6 การเปรียบเทียบลักษณะของหนังหมูที่ได้จากวิธีการขูด ก) การขูดด้วยกระบวนการแบบเดิม ข) การขูดด้วยเครื่องขูดหนังหมู

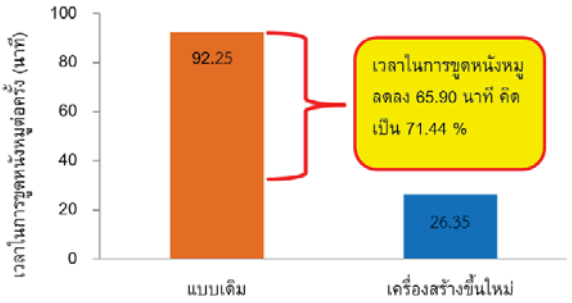
ตารางที่ 3 ค่าตรวจสอบขนาดความหนาของหนังหมู

วิธีการ	ปริมาณการขูดหนังหมู (กิโลกรัม)	เวลารวมในการขูดหนังหมู (นาที)
แบบเดิม	50	92.25
เครื่องสร้างขึ้นใหม่	50	26.35
ผลต่าง		65.90

การเปรียบเทียบเวลาในการขูดหนังหมูของวิธีการแบบเดิมและเครื่องที่สร้างขึ้นใหม่ โดยทำการขูดหนังหมูของวิธีการแบบเดิม 50 กิโลกรัม ใช้เวลารวมในการขูดหนังหมูของวิธีการแบบเดิม 92.25 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 32 นาที และทำการขูดหนังหมูจากเครื่องขูดหนังหมูที่สร้างขึ้นใหม่ 50 กิโลกรัม ใช้เวลารวมในการขูดหนังหมูของเครื่องขูดหนังหมูที่สร้างขึ้นใหม่ 26.35 นาที สามารถลดเวลาในการทำงานได้ 65.90 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 5 นาที คิดเป็นร้อยละ 71.44 ดังรูปที่ 9 และ 10

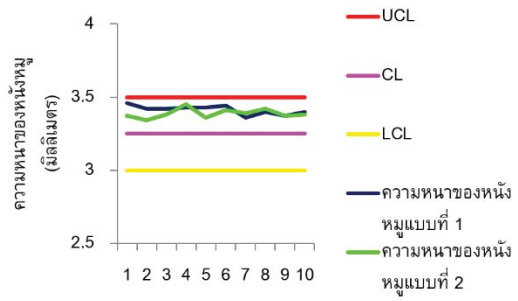


รูปที่ 9 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการขูดหนังหมูของวิธีการแบบเดิมและเครื่องที่สร้างขึ้น



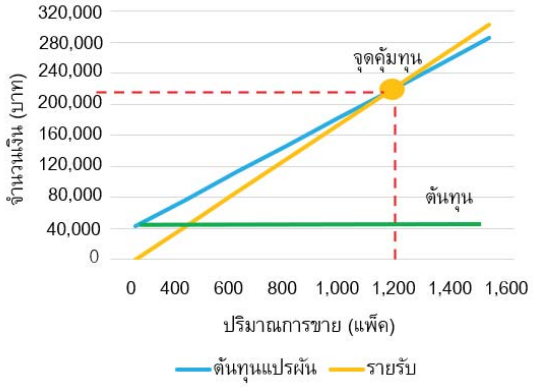
รูปที่ 10 แผนภูมิการเปรียบเทียบเวลาในการขูดหนังหมูในปริมาณ 50 กิโลกรัม

การหาประสิทธิภาพของชิ้นงานโดยการใช้แผนภูมิควบคุมโดยมีค่าขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่าง โดยใช้ตัวอย่างในการหาประสิทธิภาพขนาดความหนาของหนังหมูที่ใช้วัด 10 ตัวอย่าง มีจุดตรวจสอบทั้งหมด 5 จุด มีค่าควบคุม 3.0 – 3.5 มิลลิเมตร โดยมีหนังหมู 50 กิโลกรัมต่อ 10 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แผนภูมิควบคุมค่าขนาดความหนาของหนังหมู

จากการใช้เครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นสามารถวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ซึ่งในการดำเนินธุรกิจนั้นจำเป็นต้องทราบผลกำไร จึงต้องมีการวิเคราะห์ถึงต้นทุนในด้านต่าง ๆ ในการดำเนินธุรกิจเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการลงทุนโดยจะแสดงรายละเอียด ระยะคืนทุนจากการลงทุนในการออกแบบเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้เงินลงทุนจำนวน 42,732 บาท ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานที่สามารถคืนทุนได้คือ 1,221 แพ็ค ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 แสดงจุดคุ้มทุนเครื่องจักร

4. สรุปผลการดำเนินงาน

การดำเนินโครงการการออกแบบและสร้างเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติ และเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้น โดยมีสมมติฐานของโครงการคือ สามารถเพิ่มผลผลิตในกระบวนการขูดหนังหมูได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 โดยเปรียบเทียบจากกระบวนการทำงานจากวิธีการแบบเดิมและกระบวนการทำงานจากเครื่องที่สร้างขึ้นใหม่ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติ จากนั้นนำผลที่ได้จากการสร้างเครื่องมาวิเคราะห์ สรุปผลดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

1) การประเมินหาประสิทธิภาพของเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นสามารถเปรียบเทียบเวลาในการขูดหนังหมูต่อครั้งของวิธีการแบบเดิม และ เครื่องที่สร้างขึ้นใหม่ โดยทำการขูดหนังหมูของวิธีการแบบเดิม 50 กิโลกรัม เวลารวมที่ใช้ในการขูดหนังหมูของวิธีการแบบเดิม 92.25 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 32 นาที และทำการขูดหนังหมูจากเครื่องขูดหนังหมูที่สร้างขึ้น 50 กิโลกรัม เวลารวมที่ใช้ในการขูดหนังหมูของเครื่องขูดหนังหมูที่สร้างขึ้น 26.35 นาที สามารถลดเวลาในการทำงานได้ 65.90 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 5 นาที คิดเป็นร้อยละ 71.44

2) การขูดหนังหมูจากเครื่องขูดหนังหมูกึ่งอัตโนมัติที่ทำการสร้างขึ้นนั้นสามารถลดเวลาในการผลิตจากอัตราการผลิตทั้งหมด จากเดิมก่อนการปรับปรุงขูดหนังหมู 50 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 92.25 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 32 นาที เมื่อปรับปรุงแล้วใช้เวลาเฉลี่ย 26.35 นาที คิดเป็นร้อยละ 71.44 สามารถลดคนปฏิบัติงานได้ 1 คน และอัตราการผลิตสูงสุดต่อวันของเครื่องขูดหนังหมูที่สร้างขึ้นเท่ากับ 900 กิโลกรัม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะผู้วิจัยที่ได้ให้ความช่วยเหลือตลอดจนการดำเนินงานในทุกด้าน และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่นที่ได้อำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

[1] จิรศักดิ์ ปัญญา, สุพัฒชัย ดวงบาล. (2545). การออกแบบและสร้างเครื่องซอยหน่อไม้ (ปริญญานิพนธ์). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[2] ชัยพงษ์ พึ่งแผ่นดิน และคณะ. (2540). การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับอาหารสัตว์ (ปริญญานิพนธ์)ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[3] ธีรพงศ์ ผลโพธิ์. (2549). การออกแบบและสร้างเครื่องหั่นตะไคร้แบบสไลซ์ ตัวเครื่องหันตะไคร้แบบสไลซ์ (ปริญญานิพนธ์). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[4] ธีรศักดิ์ ซึมกลาง และคณะ. (2545). การออกแบบและสร้างเครื่องหั่นมันสำปะหลัง (ปริญญานิพนธ์). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[5] ธีรศักดิ์ มาลา, พงษ์พันธ์ พรหมมา, วิรัตน์ ขุนทอง. (2547). การออกแบบเครื่องสับต้นข้าวโพดให้เป็นอาหารสัตว์ (ปริญญานิพนธ์). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[6] วริทธิ์ อึ้งภากร, ชาญ ถนัดงาน. (2537). การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[7] วริทธิ์ อึ้งภากร, ชาญ ถนัดงาน. (2556). การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

การประยุกต์ใช้เทคนิค TPM ในการลดของเสียกระบวนการผลิตตีเกลียวเส้นด้าย กรณีศึกษา: บริษัท ซัคเซส ทวิตติ้ง จำกัด

Application of TPM for Waste Reduction in Yarn Twisting Process Case Study: Success Twisting Co., Ltd.

ประจวบ กล่อมจิตร[1*] เกียรติคุณ จงแจ่ม[1] ณัฐภัทร รัศมีโสรัจ[1]
[1,] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: klomjit_p@su.ac.th[*]

Prachuab Klomjit[1*], Giattikul Chongchaem [1], Nattapat Rassameesoraj [1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: klomjit_p@su.ac.th[*]

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญกับประเทศไทย โดยโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอนอกจากจะต้องมีกำลังการผลิตที่สูงแล้ว อีกสิ่งสำคัญที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งก็คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานกรณีศึกษาพบว่าปี 2564 มีของเสีย 4,190.15 กิโลกรัม จาก 463,485.75 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.90 และเมื่อวิเคราะห์ปัญหาด้วย Why-Why Analysis งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการลดของเสียในกระบวนการตีเกลียวเส้นด้ายและสร้างมาตรฐานในการตรวจสอบและ การบำรุงรักษาโดยประยุกต์ใช้เทคนิค TPM สองเสาหลัก ได้แก่ Autonomous Maintenance และ Focus Improvement ซึ่งเมื่อลงมือปฏิบัติงานวิจัยนี้จึงได้เลือกการผลิตเบอร์ด้ายสำเร็จรูปล็อต N70/1-24-WZT200 ในการลดของเสียตั้งแต่ทำความสะอาดเพื่อตรวจสอบ นำใบ TAG ไปสร้างมาตรฐานตรวจสอบ และปรับปรุงเฉพาะเรื่อง ไปจนถึงสร้างมาตรฐานการบำรุงรักษา ซึ่งผลที่ได้ คือ ก่อนปรับปรุงมีของเสียร้อยละ 1.18 และหลังปรับปรุงมีของเสียร้อยละ 0.39 โดยส่วนต่างของเสียที่ลดลงไปจะคิดเป็น 66.9%

คาสาคัญ: เทคนิค TPM, มาตรฐานการตรวจสอบ, ใบ TAG TPM, ไขว้หัว-ท้ายหลอด, รูปทรงไม่สวย

Abstract

The textile and garment industry, this industry is important to Thailand. The textile factory, in addition to having to have high production capacity. Another important thing that is absolutely necessary is product quality. Therefore, this research has collected the waste data generated in the case study factory, there were 4,190.15 kilograms of waste from 463,485.75 kilograms in 2021, representing 0.90%. When analyzing the problem by using Why-Why Analysis, this research aims to reduce waste in the thread spooling process and create standards for inspection and maintenance by applying TPM techniques to two pillars, namely Autonomous Maintenance and Focus Improvement. After that, when implementing the research, this research has chosen to produce the finished thread number in a lot N70/1-24-WZT200 to reduce waste from cleaning to inspection, bring the TAG sheet to establish the inspection standard, and improve the topic, to establish maintenance standards, the result of which is 1.18% waste before the renovation and 0.39% waste after the renovation, with the reduction of the waste difference accounting for 66.9%.

Keywords: TPM techniques, Inspection standard, TAG TPM sheet, Crossed head-end of the tube, Contorted shape

1. บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญกับประเทศไทย โดยโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอนอกจากจะต้องมีกำลังการผลิตที่สูงแล้ว อีกสิ่งสำคัญที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งก็คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตกระบวนการตีเกลียวเส้นด้ายของ บริษัทกรณีศึกษาในช่วงระหว่างเดือนมกราคม-สิงหาคม 2564 มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่ามีของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต 4,190.15 กิโลกรัม จากจำนวนคำสั่งผลิต 463,485.75 กิโลกรัม คิดเป็นของเสียร้อยละ 0.90 ซึ่งมีแนวโน้มของเสียเพิ่มขึ้น

ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาเครื่องมือที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมซึ่งก็คือ การประยุกต์ใช้ความรู้ด้านการบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม (TPM) มาใช้ในการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตีเกลียวเส้นด้าย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตตีเกลียวเส้นด้ายโดยการประยุกต์ใช้เทคนิค TPM
2. เพื่อเป็นการสร้างมาตรฐานการตรวจสอบและการบำรุงรักษาตามเทคนิค TPM ให้กับทางโรงงานกรณีศึกษา

3. ช่วงเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดาเนินงาน	2564					2565		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิต								
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยต่างๆ								
3. ค้นหาปัญหาที่มีนัยสำคัญจากการผลิต								
4. วิเคราะห์สาเหตุของเสียเพื่อกาหนดแนวทางในการปรับปรุง								
5. ลงมือทาความสะอาดเพื่อตรวจสอบ แก้ไขจุดที่พบผิดปกติ และทำมาตรฐานการตรวจสอบของเครื่องที่จะผลิตล็อตตัวอย่าง								
6. ทาตามมาตรฐานการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องของเครื่องที่จะผลิตล็อตตัวอย่าง และเก็บสถิติของเสีย								
7. จัดทาคู่มือมาตรฐานบารุงตามมาตรฐานการตรวจสอบและอบรมช่าง								
8. ประเมินและสรุปผลการปรับปรุงลดของเสีย								

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การบำรุงรักษาทวีผล (TPM) หมายถึง การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบการผลิตไปสู่ขีดจำกัดสูงสุดโดยการขจัดความสูญเปล่า (Loss) ต่างๆ โดยการบำรุงรักษาทวีผลจำเป็นที่จะต้องได้รับความร่วมมือจากทุกฝ่าย เพื่อทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตมีค่าสูงสุด โดยในงานวิจัยนี้มีการประยุกต์ใช้ 2 เสาหลักได้แก่ เสาหลักที่ 1 การบำรุงรักษาด้วยตนเอง โดยมีจุดมุ่งหมายในการป้องกันเครื่องจักรของตนเอง มุ่งเน้นในการพัฒนาผู้ปฏิบัติงานควบคุมดูแลเครื่องให้มีความรู้ความสามารถในการบำรุงรักษาเครื่องจักรในความควบคุมของตนเองได้ด้วยตนเอง และเสาหลักที่ 2 การปรับปรุงเฉพาะเรื่อง โดยจุดมุ่งหมายเพื่อการปรับปรุงเฉพาะเรื่องรวมไปถึงกิจกรรมที่ทำให้ประสิทธิผลโดยรวมสูงสุด การกำจัดของเสียและการปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้น (ธานี อ่วมอ้อ, 2547)

จากการศึกษาพบว่ามีการใช้แนวคิด TPM 2 เสาหลัก เพื่อช่วยในการลดของเสีย ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักร เพิ่มประสิทธิผลในการผลิต เช่น จำนง มีแก้ว (2557) ได้ศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตตัวนำตีเกลียวอะลูมิเนียม ลดปัญหาการเสียของเครื่องจักรอย่างกะทันหัน และแก้ปัญหาด้านคุณภาพในระหว่างการผลิต โดยหลักการประยุกต์ใช้เทคนิคด้าน TPM ซึ่งมุ่งเน้นไปที่เสาการบำรุงรักษาด้วยตนเอง และเสาการปรับปรุงเฉพาะเรื่อง ซึ่งเมื่อดำเนินการตามหลักการของการบำรุงรักษาทวีผลของสองเสาหลัก เช่น การดำเนินการทำความสะอาดเพื่อค้นหาสิ่งผิดปกติ การดำเนินการแก้ไขปรับปรุงสิ่งผิดปกติที่ค้นพบ การจัดทำมาตรฐานสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยตนเอง และปรับปรุงเฉพาะเรื่องในหัวข้อที่เลือก ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตตัวนำตีเกลียวอลูมิเนียมสามารถลดการสูญเสียเวลาก่อนการปรับปรุงเฉลี่ย 7,730.80 นาทีต่อเดือน และหลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,942.20 นาทีต่อเดือน สามารถลดการสูญเสียของเสียก่อนปรับปรุงเฉลี่ย 4,570.00 กก.ต่อเดือน และหลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,236.67 กก.ต่อเดือน จากการศึกษาข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นแนวทางในการลดของเสียในโรงงานกรณีศึกษาได้ ประเสริฐ บุญรอด (2563) ได้มีการศึกษาแนวโน้มของระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหายที่เครื่องจักรใช้งานลดลงในช่วงต้นปี 2562 ตั้งแต่ เดือนมกราคม-มิถุนายน มีค่าเฉลี่ยระหว่างการเสียหายหรือ MTBF เท่ากับ 146 ชั่วโมงต่อเดือน จึงนำหลักการบำรุงรักษาเชิงทวีผลโดยรวม มาปรับใช้ด้วยกัน 4 เสาหลักได้แก่การปรับปรุงเฉพาะเรื่อง การบำรุงรักษาด้วยตนเอง การบำรุงรักษาตามแบบแผน และการศึกษาและฝึกอบรม โดยที่ทำให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ หลังจากการปรับปรุงพบว่า ค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย หรือ MTBF มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยก่อนปรับปรุงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 146 ชั่วโมง/เดือน หลังปรับปรุงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 165 ชั่วโมง/เดือน หรือเพิ่มขึ้น 13 % จากการศึกษาข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นแนวคิดในการจัดทำ Work Instructions เพื่อให้ช่างซ่อมบำรุงสามารถบำรุงรักษาเครื่องจักรได้อย่างถูกต้อง รวมไปถึงปัจจัยแห่งความสำเร็จในการบำรุงรักษาเชิงทวีผล เช่น อนุสร ผโลปกรณ์ และมณฑลี ศาสนนันทน์ (2550) ชี้ให้เห็นว่าโรงงานที่ประสบความสำเร็จในการทำ TPM ให้น้ำหนักความสำคัญของเสาการปรับปรุงเฉพาะเรื่องสูงที่สุด รองลงมาด้วยเสาการบำรุงรักษาด้วยตนเอง เป็นต้น จากการศึกษาข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าทั้ง 2 เสาหลักนั้นเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้องค์กรประสบความสำเร็จในการดำเนินการบำรุงรักษาทวีผล

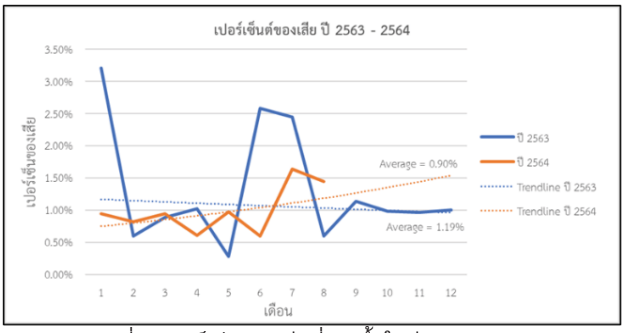
5. วิธีดำเนินงานวิจัย

5.1 การค้นหาปัญหาที่มีนัยสำคัญจากการผลิต

กระบวนการผลิตตีเกลียวเส้นด้ายให้ความสำคัญในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นหลักสำคัญหากว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะบกพร่องแล้วหลุดไปถึงมือลูกค้าอาจจะทำให้ถูกร้องเรียนจากทางลูกค้า หรือถูกขอคืนสินค้าได้ ซึ่งแต่ละกระบวนการผลิตตีเกลียวเส้นด้ายสามารถที่จะทำให้เกิดข้อบกพร่องได้จนกลายมาเป็นของเสียที่ก่อให้เกิดความสูญเสียในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนเครื่องจักรและเวลา งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญเกี่ยวกับของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตีเกลียวเส้นด้าย โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในปี 2563-2564 นำมาวิเคราะห์ถึงแนวโน้มของเสียที่เกิดขึ้น โดยการใช้โปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งจะแสดงข้อมูลได้ดังนี้

ของเสียที่เกิดขึ้นในปี 2563 มีน้ำหนักเท่ากับ 9,325.79 กิโลกรัม จากจำนวนคำสั่งผลิต 782,376.66 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.19

ของเสียที่เกิดขึ้นในปี 2564 มีน้ำหนักเท่ากับ 4,190.15 กิโลกรัม จากจำนวนคำสั่งผลิต 463,485.75 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 0.90 ซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 1



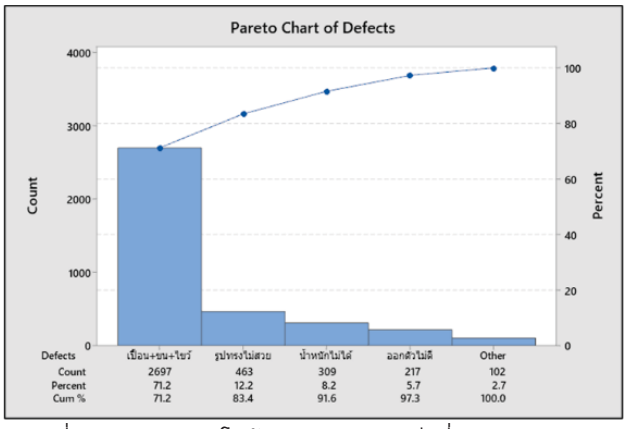
รูปที่ 1 เปอร์เซ็นของเสียที่เกิดขึ้นในปี 2563-2564

เมื่อนำมาเทียบแนวโน้มของเสียที่จะเกิดขึ้นพบว่าในปี 2564 มีแนวโน้มที่จะเกิดของเสียเพิ่มขึ้น

โดยของเสียที่เกิดจากการผลิต สามารถแบ่งประเภทของเสียจากการผลิตตั้งแต่ เดือนมกราคม - สิงหาคม 2564 ได้ตามตารางที่ 1 และแสดงได้เป็นแผนภาพพาเรโตดังรูปที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลประเภทของเสียที่เกิดจากการผลิตทั้งหมดในช่วงเดือน มกราคม-สิงหาคม 2564

ลักษณะข้อบกพร่อง	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	จำนวนของเสียสะสม (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ของเสีย
เปื้อนสกปรก	1085	1,085	28.6
เป็นขน	889	1,974	23.5
ไขว้หัว-ท้ายหลอด	723	2,697	19.1
รูปทรงไม่สวย	463	3,160	12.2
น้ำหนักไม่ได้	309	3,469	8.2
ออกตัวไม่ดี	217	3,686	5.7
อื่นๆ	102	3,788	2.7

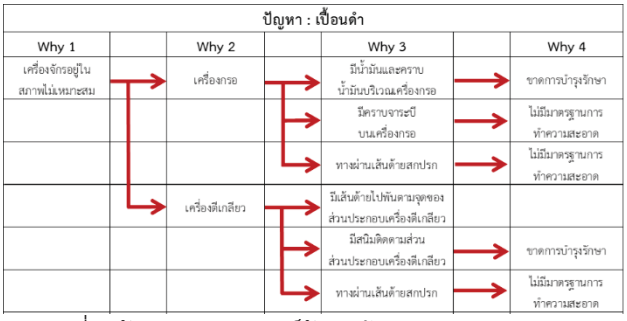


รูปที่ 2 แผนภาพพาเรโตข้อมูลประเภทของเสียที่เกิดจากการผลิตในปี 2564 ให้เข้ากับกฎ 80:20

จากแผนภาพพาเรโตจึงเลือกส่วนที่เป็น 80 คือ เปื้อนสกปรก เป็นขน ไขว้หัว-ท้ายหลอด นำมาเป็นตัวอย่างในการวิจัย

5.2 การวิเคราะห์ปัญหาที่มีนัยสำคัญจากการผลิต

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในโรงงานกรณีศึกษาเพื่อหาสาเหตุของปัญหาทั้ง 3 อย่างตามแผนภาพพาเรโต ได้แก่ เปื้อนสกปรก เป็นขน ไขว้หัว-ท้ายหลอด โดยมีการวิเคราะห์ปัญหาด้วย Why-Why Analysis ซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาด้วย Why-Why Analysis ของเสียชนิดเปื้อนดำ

ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลหาสาเหตุของปัญหาด้วย Why-Why Analysis ได้ดังนี้

ปัญหาเปื้อนสกปรกชนิดเปื้อนดำ

1. เครื่องจักรขาดการบำรุงรักษา
2. หน้าต่างคลังวัสดุเปิดทิ้งไว้ทำให้ฝุ่นจากภายนอกเข้ามา

ปัญหาเป็นขน

1. ส่วนประกอบของเครื่องจักรในการผลิตโดนกระแทกจากการปฏิบัติงานของพนักงานทำให้เกิดการแตก/ร้าว
2. ส่วนประกอบของเครื่องจักรในการผลิตมีระยะเวลาในการใช้งานที่ไม่เหมาะสม

3. ไม่มีการตรวจเช็คเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ

ปัญหาไขว้หัว-ท้ายหลอด

1. ส่วนประกอบของเครื่องจักรขาดการหล่อลื่น

2. ส่วนประกอบของเครื่องจักรในการผลิตมีระยะเวลาในการใช้งานที่ไม่เหมาะสม

3. น็อตไกด์ส่ายหลวมจากการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา

จากปัญหาที่เกิดขึ้นเกิดจากความไม่สะอาดในส่วนของเครื่องจักร อีกทั้งส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องจักรมีจุดที่เกิดความบกพร่องซึ่งเกิดจากการที่ทางโรงงานไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบและการบำรุงรักษา ด้วยเหตุนี้จึงนำหลักการบำรุงรักษาทวีผล (TPM) มาใช้ในส่วนของเสาหลักที่ 1: การบำรุงรักษาด้วยตนเอง (AM : Autonomous Maintenance) และเสาหลักที่ 2: การปรับปรุงเฉพาะเรื่อง (FI: Focus Improvement) มาใช้ในการปรับปรุงและสร้างมาตรฐานการตรวจสอบและการบำรุงรักษา

5.4 การดำเนินการแก้ไขปัญหา

ในการดำเนินการลดของเสียจึงทำการเลือกการผลิตเบอร์ด้าย สำเร็จรูปล็อต N70/1-24-WZT200 ซึ่งเริ่มทำการผลิตวันที่ 3 สิงหาคม - 14 ตุลาคม 2564 และวันที่ 2 พฤศจิกายน 2564 - 10 กุมภาพันธ์ 2565 โดยมีจำนวนคำสั่งผลิตทั้งหมด 55,732 กิโลกรัม มาเป็นตัวอย่างในการแก้ไขลดของเสีย ซึ่งในการผลิตจะใช้เครื่องจักร ดังนี้ เครื่องกรอ MURATA 5, MURATA 6, เครื่องตีเกลียว MURATA 104, MURATA 105, MURATA 106 และMURATA 107 ส่วนบน ซึ่งมีขั้นตอนดำเนินการลดของเสีย ดังนี้

5.4.1 การดำเนินงานการบำรุงรักษาด้วยตนเอง

1. การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะอาดขั้นต้นและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. ประชุมชี้แจงข้อกำหนดเบื้องต้น เช่น วิธีการทำความสะอาดและวิธีการใช้ใบ TAG TPM เพื่อนำไปค้นหาสิ่งผิดปกติของเครื่องจักร

3. ดำเนินการทำความสะอาดเครื่องจักรและค้นหาสิ่งผิดปกติต่างๆ ของเครื่องจักรระหว่างทำความสะอาด โดยเมื่อพบจุดผิดปกติให้ทำการติดป้ายสิ่งผิดปกติ โดยระบุรายละเอียดตามใบ TAG TPM ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการทำความสะอาดเครื่องจักรเพื่อตรวจสอบ

4. นำรายการสิ่งผิดปกติมาเขียนบันทึก ดังนี้ วันที่พบ เครื่องจักร ลักษณะความผิดปกติที่พบ วิธีแก้ไข ซึ่งแสดงได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลลักษณะความผิดปกติที่พบและวิธีแก้ไข

วันที่	เครื่องจักร	ลักษณะความผิดปกติที่พบ	วิธีแก้ไข
11/2/2564	MURATA M5	คอปเวอร์ระดับไม่ได้	ปรับระดับใหม่
		รางชักไกด์ส่ายจระบีแห้ง	ลงจระบีใหม่
		แกนโยก 2 แกน	เปลี่ยนน็อตใหม่
	MURATA M6	รางชักไกด์ส่ายจระบีแห้ง	ลงจระบีใหม่
		แกนโยก 6 แกน	เปลี่ยนน็อตใหม่
		คอปเวอร์ระดับไม่ได้	ปรับระดับใหม่
	MURATA M105	ไกด์บอลลูนหลวม 8 แกน	ทาเกลียวน็อตใหม่
		หม้อบอลลูนเอียง 3 แกน	ตั้งแกนใหม่
		ไกด์ส่ายขมดั้ม	ขันปรับใหม่ 5 ตัว
		ขาบังคับหลอดผิด	ลงจระบีใหม่
		เพลาฟีดเป็นสนิม จำนวน 11 แกน	ถอดออกใช้ใหม่
		ขาโยกแกนสปินเดิ้งผิด	ลงหล่อลื่นน้ำมันใหม่

5. ทำการแก้ไขปรับปรุงจุดที่พบสิ่งผิดปกติ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการแก้ไขจุดที่พบสิ่งผิดปกติก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

7. นำสาเหตุจากใบ TAG TPM ที่พบจากการทำความสะอาดพร้อมทั้งนำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์จาก Why-Why Analysis และการรวบรวมข้อมูลจากการสอบถามผู้ที่เกี่ยวข้อง นำข้อมูลมากำหนดรายการต่างๆ เพื่อนำมาเป็นมาตรฐานตรวจสอบเครื่องจักรระหว่างเปลี่ยนแปลงการผลิตของเครื่องกรอและเครื่องตีเกลียวโดยทำการตรวจสอบทุกๆ การผลิตครั้งละ 5 ตัน ซึ่งจะได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตัวอย่างมาตรฐานตรวจสอบเครื่องตีเกลียวระหว่างเปลี่ยนแปลงการผลิตสำหรับช่างซ่อมบำรุง

9. ทำตามมาตรฐานการตรวจสอบระหว่างเปลี่ยนแปลงการผลิตอย่างต่อเนื่องของเครื่องที่จะผลิตในล็อตตัวอย่าง ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ขั้นตอนการทำตามมาตรฐานอย่างต่อเนื่อง

10. เก็บสถิติของเสียที่ได้และสาเหตุที่เจอระหว่างทำการผลิต

11. จัดทำคู่มือมาตรฐานการบำรุงรักษาเครื่องจักรและทำการอบรมช่างเรื่องการบำรุงรักษาเครื่องจักร

5.4.2 การจัดการแก้ปัญหาเฉพาะเรื่อง

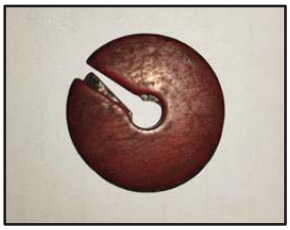
5.4.2.1 ขั้นตอนการดำเนินการประกอบด้วย

นำปัญหาที่พบในใบ TAG ที่ได้จากการทำความสะอาดเพื่อตรวจสอบและหัวข้อปัญหาที่ได้วิเคราะห์จาก Why-Why Analysis มาทำการวิเคราะห์หาวิธีแก้ไขปัญหา พบว่ามีปัญหาที่มีความสำคัญเรื่องไกด์ส่ายชนกับดั้มหรือระดับความสูงของไกด์ส่ายไม่ได้ และรางชักไกด์สั่น กระโดด จึงถูกคัดเลือกเป็นหัวข้อในการแก้ไขปัญหาเฉพาะเรื่อง

5.4.2.2 การแก้ไขปัญหาในหัวข้อไกด์ส่ายชนกับดั้มหรือระดับความสูงของไกด์ส่ายไม่ได้

1. ทำความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาที่ไกด์ส่ายชนกับดั้มในระหว่างการผลิตซึ่งเป็นเหตุให้เซรามิกไกด์ส่ายเกิดการแตกร้าว จนส่งผลให้ลูกด้ายเกิดเป็นของเสีย ได้แก่ เป็นขน เปื้อนสกปรกชนิดเปื้อนดำ หรือถ้าระดับความสูงไม่ได้มีผลทำให้เกิดไขว้หัว-ท้ายหลอด

2. นำผู้ที่เกี่ยวข้องมาทำการวิเคราะห์ซึ่งผลสรุปที่ได้เกิดจากการปรับระดับความสูงที่ไม่มีมาตรฐานที่เหมาะสมทำให้ช่างต้องคาดการณ์ความสูงขึ้นมาจึงเป็นเหตุให้เกิดปัญหาดังกล่าว ด้วยเหตุนี้จึงมีการแก้ไขปัญหาโดยการใช้หลัก Jig Fixture มาทำการออกแบบเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการทำงานซึ่งได้แก่ แหวนวัดสเกลที่มีขนาดความสูง 4 มม. ดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9



รูปที่ 8 แหวนวัดสเกลขนาดความสูง 4 มม.



รูปที่ 9 ช่างซ่อมบำรุงทำการปรับความสูงไกด์ส่ายโดยการใช้แหวนวัดสเกล

5.4.2.3 การแก้ไขปัญหาในหัวข้อรางชักไกด์สั่นกระโดด

1. ทำความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาที่รางชักไกด์สั่น กระโดด ในระหว่างการผลิตซึ่งส่งผลให้ลูกด้ายเกิดเป็นของเสีย ได้แก่ รูปทรงไม่สวย ไขว้หัว-ท้ายหลอด

2. นำผู้ที่เกี่ยวข้องมาทำการวิเคราะห์ซึ่งผลสรุปที่ได้เกิดจากการที่บูทรางชักไกด์เกิดการสึกหรอเนื่องการการเสียดสีกับตัวรางชักไกด์จึงเป็นเหตุให้เกิดปัญหาดังกล่าว ด้วยเหตุนี้จึงมีการแก้ไขปัญหาโดยการเปลี่ยนวัสดุของตัวบูทรางชักไกด์จากพลาสติกให้เป็นทองเหลืองที่สามารถทนความร้อนจากการเสียดสีได้ดีกว่าพลาสติก ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 บูทรางชักไกด์ที่เป็นพลาสติกที่มีการสึกหรอ (ภาพซ้าย) กับบูทรางชักไกด์ที่เป็นทองเหลือง (ภาพขวา)

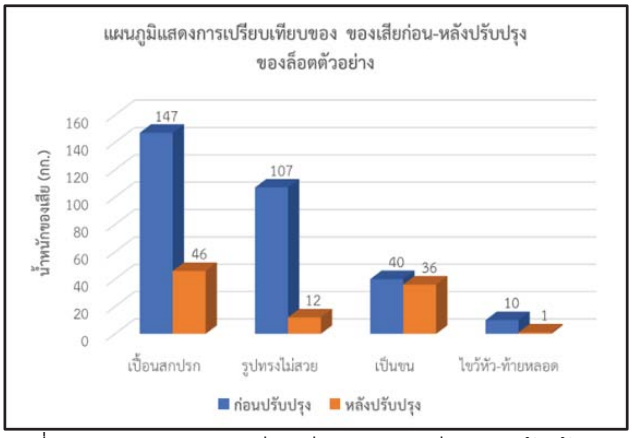
6. ผลการดำเนินงาน

ภายหลังจากการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตโดยการใช้สองเสาหลักของระบบ TPM ได้แก่ การบำรุงรักษาด้วยตนเอง และการปรับปรุงเฉพาะเรื่อง พบว่าของเสียจากการผลิตเบอร์ด้ายสำเร็จรูปล็อต N70/1-24-WZT200 สามารถสรุปผลการประยุกต์ใช้ TPM เพื่อลดของเสียได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการดำเนินการการประยุกต์ใช้เทคนิค TPM

หัวข้อ	หน่วย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	เปลี่ยนแปลง	
จำนวนของเสียที่เกิดขึ้น	กิโลกรัม	327	110	ลดลง	217
เปอร์เซ็นสูญเสียที่เกิดขึ้น (ไม่รวมวัตถุดิบบกพร่อง)	เปอร์เซ็น	1.18	0.39	ลดลง	0.79 (66.9%)

ทั้งนี้ยังมีการนำของเสียทั้ง 3 ประเภท ที่เลือกมาจากพาเรโตในกฎ 80:20 รวมถึงของเสียอื่นๆ ที่เกิดขึ้นมาในล็อตตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญนำมาเปรียบเทียบของเสียที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับปรุงของล็อตตัวอย่างซึ่งจะแสดง ได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบของ ของเสียก่อน-หลังปรับปรุงของล็อตตัวอย่าง

เมื่อทำการวิเคราะห์จากรูปที่ 11 จะพบว่าจากการประยุกต์ใช้เทคนิค TPM 2 เสาหลัก ส่งผลให้ของเสียที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุงมีจำนวนที่ลดลงเมื่อเทียบกับของเสียที่เกิดขึ้นก่อนการปรับปรุง โดยแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 4 สรุปผลการเปรียบเทียบประเภทของเสีย

ประเภทของเสีย	ก่อนการปรับปรุง	การดาเนินการแก้ไข	ผลที่ได้รับ
เปื้อนสกปรก	โรงงานไม่ได้มีมาตรฐานในการเข้าไปตรวจสอบเครื่องจักร ทาให้เครื่องจักรเกิดความสกปรกขึ้น	สร้างมาตรฐานตรวจสอบเครื่องจักรระหว่างการเปลี่ยนแปลงการผลิต โดยตรวจสอบเครื่องจักรทุกๆ 5 ตัน	ของเสียเปื้อนสกปรกลดลงจาก 147 กก. เหลือ 46 กก.
รูปทรงไม่สวย	รางชักไกด์สั่น กระโดดเนื่องจากบูทรางชักไกด์สึก	เปลี่ยนวัสดุบูทรางชักไกด์จากพลาสติกให้เป็นทองเหลือง	ของเสียรูปทรงไม่สวยลดลงจาก 107 กก. เหลือ 12 กก.
เป็นขน	ไม่ได้มีมาตรฐานในการตรวจสอบส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องจักร ทำให้ส่วนประกอบต่างๆ เกิดความบกพร่อง	สร้างมาตรฐานตรวจสอบเครื่องจักรระหว่างการเปลี่ยนแปลงการผลิต โดยตรวจสอบเครื่องจักรทุกๆ 5 ตัน	ของเสียเป็นขนลดลงจาก 40 กก. เหลือ 36 กก.
ไขว้หัว-ท้ายหลอด	ไกด์ส่ายชนกับดั้มหรือระดับความสูงของไกด์ส่ายไม่ได้ และรางชักไกด์สั่น กระโดด	ทำเครื่องมือแหวนวัดสเกลที่มีขนาดความสูง 4 มม. ช่วยในการปรับระดับความสูงระหว่างไกด์ส่ายกับดั้ม และเปลี่ยนวัสดุบูทรางชักไกด์จากพลาสติกให้เป็นทองเหลือง	ของเสียไขว้หัว-ท้ายหลอด ลดลงจาก 10 กก. เหลือ 1 กก.

ด้วยเหตุนี้จึงสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาทวีผล หรือ TPM โดยการใช้ 2 เสาหลัก ได้แก่ การบำรุงรักษาด้วยตนเอง และการปรับปรุงเฉพาะเรื่อง สามารถทำให้ของเสียที่เกิดจากการผลิตลดลง

7. สรุปการวิจัย

ผลการศึกษาการดำเนินการปรับปรุงเพื่อลดของเสียในการผลิตเบอร์ด้ายสำเร็จรูปล็อต N70/1-24-WZT200 จะพบว่าในช่วงเดือนตุลาคม 2564 ได้เริ่มมีการทำความสะอาดเครื่องเพื่อตรวจสอบและนำข้อมูลที่ได้มาจัดทำมาตรฐานการตรวจสอบและทำการปรับปรุงเฉพาะเรื่อง โดยที่ยังคงการผลิตในรูปแบบการทำงานแบบเดิม หลังจากนั้นในช่วงเดือนธันวาคม 2564 ได้เริ่มนำมาตรฐานการตรวจสอบไปใช้งานในการผลิตซึ่งจะมีการตรวจสอบทุกๆ การผลิตครั้งละ 5 ตัน ทั้งเครื่องกรอและเครื่องตีเกลียว โดยได้มีการทำอย่างต่อเนื่องจนถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ 2565 อีกทั้งได้มีการทำคู่มือมาตรฐานการบำรุงรักษาเครื่องจักรและการอบรมช่างเกี่ยวกับเรื่องการบำรุงรักษาเครื่องจักร ด้วยเหตุนี้จึงสรุปได้ว่าการทำระบบบำรุงรักษาทวีผล หรือ TPM สามารถทำให้ของเสียจากการผลิตลดลง 66.9% ซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

อย่างไรก็ตามทางโรงงานยังต้องเก็บข้อมูลและศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาการใช้งานที่เหมาะสมของส่วนประกอบต่างๆ เครื่องจักร เพื่อนำไปต่อยอดสู่การทำการบำรุงรักษาตามแผน (Planned Maintenance) และทำในเสาหลักอื่นๆ รวมถึงขยายขอบเขตของระบบการทำ TPM ให้ครอบคลุมเครื่องจักรของทั้งโรงงานต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจากคุณสมพงศ์ ยุวจรัสกุล กรรมการผู้จัดการ และคุณสุเทพ จงแจ่ม ผู้จัดการโรงงาน รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดภายในโรงงานกรณีศึกษาซึ่งได้ให้การอนุเคราะห์ในการเข้าไปเก็บรวบรวมข้อมูลในโรงงาน รวมถึงสนับสนุนข้อมูลที่มีความจำเป็นในงานวิจัย ตลอดจนปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างต่อเนื่อง คุณค่าหรือประโยชน์อันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอน้อมบูชาแด่พระคุณบิดามารดา ครู อาจารย์ที่อบรมสั่งสอน แนะนำ ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจอย่างดียิ่งเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

[1] จำนง มีแก้ว. 2557. การประยุกต์ใช้เทคนิค TPM ในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตตัวนำตีเกลียว กรณีศึกษา: บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิ้ล จำกัด. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[2] ธานี อ่วมอ้อ. 2547. การบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร. สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.

[3] ประเสริฐ บุญรอด. 2563. การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษากระบวนการพ่นสีฝุ่นในโรงงานผลิตผ้าเบรก. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี, 18(1), 1-11.

[4] อนุสร ผโลปกรณ์ และ มณฑลี ศาสนนันทน์. 2550. การศึกษาปัจจัยสำคัญแห่งความสำเร็จและแนวทางในการบำรุงรักษาเชิงทวีผล (TPM) สำหรับอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ลูกฟูก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 15(2), 40-53.

การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการขึ้นรูปยางเพื่อลดความสูญเสียจากเวลาหยุดเครื่องจักรและระยะเวลาในการผลิต

Improvement of Overall Equipment Effectiveness of Building Process

ขนิษฐา จำปาสด[1*] อนันต์ มุ่งวัฒนา[2] จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: Kanittha.ju@ku.th*

Kanittha Jumpasod[1*] Anan Mungwattana[2] and Chansiri Singhtaun[2]
[1] Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Kasetsart University
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: Kanittha.ju@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการขึ้นรูปยาง เนื่องจากความต้องการของลูกค้าเพิ่มสูงขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันกับคู่แข่งจึงจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทั้งในด้านคุณภาพและความกำลังการผลิต โดยการลดความสูญเสียในสายการผลิตที่เป็นคอขวด ดังนั้นจึงนำประสิทธิผลโดยรวมเข้ามาใช้ในการประเมินกระบวนการ เพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น พบว่าในปัจจุบันประสิทธิผลโดยรวมของกระบวนการร้อยละ 73.8 มีปัญหาหลักมาจาก 2 ส่วน คือ อัตราการเดินเครื่องและประสิทธิภาพของเครื่องจักร จากการวิเคราะห์โดยใช้หลัก DMAIC พบว่า สาเหตุของความสูญเสียของอัตราการเดินเครื่องเดินเครื่องมาจากปัญหาจากเครื่องจักรชำรุด 7,540 นาทีต่อวัน และสาเหตุความสูญเสียของประสิทธิภาพเครื่องจักรเครื่องจักรมาจากความเร็วในการผลิตลดลง 4,525 นาทีต่อวัน และปัญหาจากการหยุดเครื่องจักรเล็ก ๆ น้อย ๆ 6,463 นาทีต่อวัน ซึ่งจากการประยุกต์หลัก Kaizen ECRS และ Cycle time optimization ในการกำจัดความสูญเสีย ส่งผลให้เวลาในการเกิดปัญหาเครื่องจักรเครื่องจักรชำรุดลดลงเหลือ 5,775 นาทีต่อวัน ปัญหาจากความเร็วในการทำงานลดลงเหลือ 3,308 นาทีต่อวัน และปัญหาการหยุดเครื่องจักรเล็ก ๆ น้อย ๆ ลดลงเหลือ 5,731 นาทีต่อวัน ส่งผลให้กำลังการผลิตในกระบวนการขึ้นรูปยางเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 1,219 เส้นต่อวัน ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.9 สามารถลดต้นทุนในการผลิตจากการทำงานล่วงเวลาได้ 148,800 บาทต่อเดือน
คาสาคัญ: ประสิทธิผลโดยรวม, การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการ, อัตราการเดินเครื่องจักร, ประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักร

Abstract

The objective of the research was to increase the production capacity of building tire process. As the demand of customer increase and increase the ability to compete with competitors in terms of both quality and capacity by reducing loss of bottleneck process. The overall equipment effectiveness (OEE) has been widely used as a quantitative tool essential for the measurement of productivity in manufacturing industries and reduce loss. At present, the overall equipment effectiveness was 73.8 percent. It has 2 component loss as Availability rate and Performance rate. It applied DMAIC in improving the OEE. Its equivalent six big losses. It was found the gap of Availability - machine trouble 7,540 min per day and Performance - cycle time delay 4,525 min per day and minor stoppage 6,463 min per day. In analyze phase, it uses cause and effect diagram to analyze root cause. In Improve phase, it applied Kaizen, ECRS and Cycle time optimization to reduce losses. The result of improvement includes machine trouble 5,775 min per day cycle time delay 3,308 min per day and minor stoppage 5,731 min per day. Apart from that, it affects capacity of building process increased to 1,219 tires per day and the overall equipment effectiveness increase 5.9 percent. Its cost was decrease 148,000 baht per month.
Keywords: Overall Equipment Effectiveness, Productivity Improvement, Availability, Performance efficiency

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์นั้นมีการแข่งขันสูง การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการเพิ่มโอกาสในการเติบโตของธุรกิจของสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบัน ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตนั้นส่งผลให้ความสามารถในการแข่งขันเพิ่มสูงขึ้น สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็วและลดต้นทุนในการผลิตได้ ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการนั้นจำเป็นต้องลดความสูญเปล่าของกระบวนการผลิตทั้งในส่วนของเครื่องจักร แรงงาน และเวลาในการผลิตให้เหมาะสมโดยไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเวลาในการส่งมอบสินค้าเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อต้นทุนที่สูงขึ้นจากการใช้ทรัพยากรอย่างไม่จำเป็น

จากการศึกษากระบวนการผลิตยางรถยนต์พบว่ากำลังการผลิตสูงสุดขององค์กรโดยเฉลี่ย 36,070 เส้นต่อวัน ซึ่งคอขวดขององค์กรคือกระบวนการขึ้นรูปยาง จึงส่งผลให้ไม่สามารถรองรับความต้องการสูงสุดในอนาคตที่เพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ย 39,000 เส้นต่อวัน โดยปราศจากการทำงานล่วงเวลาได้ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้นจากค่าแรงที่เพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการ จึงได้มีการประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในรูปแบบของประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปยางเพื่อกำจัดความสูญเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ในระดับสากล (World class) มีการกำหนดประสิทธิผลโดยรวมควรมีค่าร้อยละ 85 อัตราการเดินเครื่องจักร (Availability Rate) มีค่าร้อยละ 90 ประสิทธิภาพในการเดินเครื่องจักร (Performance Rate) มีค่าร้อยละ 95 และอัตราคุณภาพ (Quality Rate) มีค่าร้อยละ 99.9 ซึ่งในปัจจุบันประสิทธิผลโดยรวมของโรงงานกรณีศึกษามีค่าต่ำกว่าร้อยละ 80 ส่งผลให้กำลังในการผลิตต่ำ จากอัตราการเดินเครื่องจักรที่ต่ำกว่าร้อยละ 90 และประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักรต่ำกว่าร้อยละ 90

ดังนั้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและวิเคราะห์หาสาเหตุความสูญเสีย โดยการประยุกต์ใช้หลัก Define Measure Analyze Improve and Control (DMAIC) ในการวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขโดยมุ่งเน้นการลดความสูญเสียจากอัตราการเดินเครื่องจักรและประสิทธิภาพของเครื่องจักรเพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมและเพิ่มกำลังการผลิตขององค์กรให้สูงขึ้นโดยใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำสุด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2. 1 การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness)

ตัวชี้วัดการทำงานของเครื่องจักรโดยมี 3 ส่วน คือ อัตราการเดินเครื่องจักร (Availability Rate : A) ประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักร (Performance Rate : P) และอัตราคุณภาพ (Quality Rate : Q) โดยมีหลักการคำนวณดังสมการที่ 1 [1]

$$OEE = A \times P \times Q \quad (1)$$

ซึ่งความสูญเสียของอัตราการเดินเครื่องจักรนั้นเกิดจากเครื่องจักรขัดข้องและการปรับตั้งเครื่องจักรซึ่งในการปรับปรุงนั้นจะเน้นความสูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงาน (Shutdown Loss) ความสูญเสียของประสิทธิภาพการเดินเครื่องนั้นเกิดจากปัญหาการหยุดเครื่องจักรเล็ก ๆ น้อย ๆ และความล่าช้าจากความเร็วของเครื่องจักร ในส่วนการปรับปรุงนั้นจะเน้นความสูญเสียจากเครื่องจักรเสียกำลังการผลิต (Capacity Loss) ความสูญเสียของอัตราคุณภาพเกิดจากการผลิตของดีเทียบกับจำนวนที่ผลิตทั้งหมด ซึ่งในการปรับปรุงนั้นเน้นความสูญเสียจากเครื่องจักรผลิตของเสียและซ่อมงาน (Yield Loss) เพื่อนำมาวิเคราะห์สาเหตุได้ตรงจุด [2]

2.2 ความสูญเสีย 6 ประการ

Nakajima [3] ได้กล่าวว่า ความสูญเสียจากเครื่องจักรขัดข้องเกิดจากเครื่องจักรหยุดทำงานและการหยุดซ่อมแซมเครื่องจักรรวมถึงการเปลี่ยนชิ้นส่วนมากกว่า 5 นาที ความสูญเสียจากการปรับตั้งเกิดจากการเปลี่ยนรุ่นการผลิต ความสูญเสียจากความเร็วในการเดินเครื่องจักรลดลงต่ำกว่ามาตรฐานส่งผลต่อรอบเวลาในการผลิต (Cycle Time) และกำลังการผลิต ความสูญเสียจากการหยุดเครื่องจักรเล็ก ๆ น้อย ๆ หรือเดินเครื่องจักรเปล่า ความสูญเสียจากผลผลิตลดลงและเกิดของเสียในช่วงเริ่มเดินเครื่องจักรและสุดท้ายคือความสูญเสียจากการผลิตของเสียหรืองานรอแก้ไข

2.3 การศึกษาการทำงาน

มาโนช [4] ได้กล่าวถึงการศึกษาการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การศึกษาวิธีการ (Method Study) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์การปฏิบัติงานเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต 2) การวัดผลงาน (Work Measurement) เป็นการกำหนดเวลามาตรฐานในการผลิตต่อหนึ่งหน่วยเพื่อให้สามารถบริหารการผลิตได้อย่างมีประสิทธิผล

กุลธิดา อาษากิจ [5] ทำการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์กำเนิดสัญญาความถี่โดยอาศัยเทคนิคการศึกษางาน (Work study) ได้มีการใช้แผนภูมิการผลิตและการสอบถามจากปัญหาที่เกิดมากที่สุดในการวิเคราะห์กระบวนการทำงาน จากนั้นใช้แผนภูมิก้างปลาในการวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดปัญหาเพื่อใช้เทคนิค ECRS ในการปรับปรุงเพื่อลดเวลาในการปรับเครื่องจักร ซึ่งสามารถลดขั้นตอนการทำงานลงร้อยละ 22.69 และเวลาในการทำงานลดลงร้อยละ 22.68

2.4 หลักการ Define Measure Analyze Improve Control (DMAIC)

นุสรา [6] กล่าวว่า หลักการ DMAIC นั้นเป็นกระบวนการใน Six Sigma เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตสูงสุดโดยมีขั้นตอนดังนี้ 1) Define คือการกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางในการแก้ไข 2) Measure คือการวัดและรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน 3) Analyze คือการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาโดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ เพื่อกำหนดจุดที่ควรนำมาปรับปรุงเพื่อให้สามารถลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ 4) Improve เป็น

การปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่ได้จากการวิเคราะห์ 5) Control เป็นการควบคุมและจัดทำแผนการในการติดตามกระบวนการและจัดทำมาตรฐานในการทำงาน

Salinas [7] ได้ประยุกต์ใช้หลักการ DMAIC ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตขอบลวดของโรงงานผลิตยางรถยนต์ เนื่องจากกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอจึงทำการศึกษากระบวนการโดยใช้หลักการ SIPOC ในการศึกษา จากนั้นทำการเก็บข้อมูลความสูญเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยนำปัญหาที่มีความสูญเสียคิดเป็นร้อยละ 80 มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุจากแผนภูมิก้างปลา จากนั้นทำการปรับปรุงและควบคุมติดตามโดยใช้ FMEA ซึ่งสามารถลดการเกิดปัญหาลงร้อยละ 50 และส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.85

2.5 หลักการ Eliminate Combine Rearrange Simplify (ECRS)

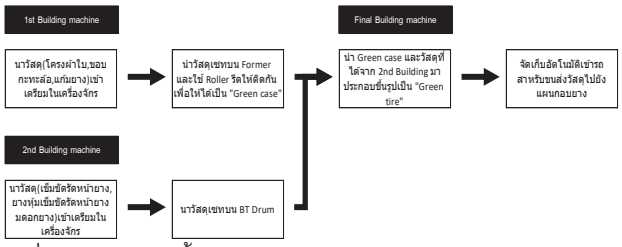
การลดความสูญเปล่าโดยใช้หลักการ ECRS จากการลดกิจกรรมที่ไม่มีคุณค่าและเพิ่มกิจกรรมที่มีคุณค่าให้กับกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบไปด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) [8]

วิชญา จันทนา และวัชรพจน์ ทรัพย์สงวนบุญ [9] ได้นำหลักการ ECRS มาใช้ในการจำแนกขั้นตอนที่สูญเปล่าและไม่จำเป็นออกจากกระบวนการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเซรามิค โดยการลดรอบเวลาในการทำงานของกระบวนการวางแผนลดลง 17.16 ชั่วโมง และกระบวนการผลิตลดลง 5.87 ชั่วโมง

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาสภาพการทำงานในปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์โดยแบ่งเครื่องจักรออกเป็น 5 ประเภท ทั้งหมด 89 เครื่อง โดยกระบวนการขึ้นรูปยางนั้นมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปยาง

3.2 การกำหนดปัญหา (Define)

เนื่องจากในปัจจุบันความต้องการยางรถยนต์มีปริมาณสูงกว่าความสามารถในการผลิตของโรงงานร้อยละ 8.27 เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันด้านต้นทุน จึงกำหนดให้ประสิทธิผลโดยรวม (OEE) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของกระบวนการ ซึ่งประสิทธิผลโดยรวมของกระบวนการขึ้นรูปยางในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 มีค่าร้อยละ 73.8 ซึ่งกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของกระบวนการให้อยู่ในร้อยละ 80.0 จึงจะเป็นต้องทำการประสิทธิผลให้สูงขึ้นร้อยละ 6.2 ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงขึ้น 2,980 เส้นต่อวัน

ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปยางประกอบไปด้วยเครื่องจักรทั้งหมด 5 ประเภท จำนวน 89 เครื่อง เป็นกระบวนการในการประกอบวัสดุต่าง ๆ จากกระบวนการผลิตผ้าใบ เข็มขัดรัดหน้ายาง แก้มยาง หน้ายางและขอบกระทะล้อเพื่อนำมาผลิตยางก่อนอบสุก (Green tire) ส่งให้กระบวนการอบยางเพื่อผลิตยางรถยนต์

3.3 การวัด (Measure)

จากการเก็บข้อมูลในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 ในการประเมินประสิทธิผลโดยรวมทั้ง 3 ปัจจัย เพื่อระบุที่มาของสาเหตุความสูญเสียจากความสูญเสีย 6 ประการ (Six big loss) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปยาง ดังนี้

1) อัตราการเดินเครื่องจักร (Availability) เท่ากับร้อยละ 88.8 ซึ่งเป้าหมายเท่ากับร้อยละ 90 โดยมีสาเหตุความสูญเสียจากปัญหาเครื่องจักรขัดข้อง (Machine Trouble) เกิดขึ้นเฉลี่ย 7,540 นาทีต่อวัน ซึ่งมีเป้าหมายในการเกิด 5,640 นาทีต่อวัน หรืออัตราการเดินเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.1 และปัญหาจากการปรับตั้งและปรับแต่ง (Size change and Tool change delay) เกิดขึ้นเฉลี่ย 1,515 นาทีต่อวัน ซึ่งมีเป้าหมายในการเกิด 1,400 นาทีต่อวัน หรืออัตราการเดินเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1

2) ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร (Performance) เท่ากับร้อยละ 85.2 ซึ่งเป้าหมายเท่ากับร้อยละ 90 โดยมีสาเหตุความสูญเสียจากปัญหาการหยุดเครื่องจักรเล็ก ๆ น้อย ๆ (Minor stoppage) เกิดขึ้นเฉลี่ย 6,463 นาทีต่อวัน ซึ่งมีเป้าหมายในการเกิด 5,463 นาทีต่อวัน หรือประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และปัญหาจากรอบเวลาในการผลิตช้า (Cycle Time Delay) เกิดขึ้นเฉลี่ย 4,525 นาทีต่อวัน ซึ่งมีเป้าหมายในการเกิด 2,925 นาทีต่อวัน หรือประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5

3) อัตราคุณภาพ (Quality) เท่ากับร้อยละ 97.6 ซึ่งเป้าหมายเท่ากับร้อยละ 99 โดยมีสาเหตุความสูญเสียจากการผลิตของเสีย (Defect)) เกิดขึ้นเฉลี่ย 1,340 นาทีต่อวัน ซึ่งมีเป้าหมายในการเกิด 1,250 นาทีต่อวัน หรืออัตราคุณภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1 และความสูญเสียที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มผลิต (Startup loss) เกิดขึ้นเฉลี่ย 0 นาทีต่อวัน เนื่องจากไม่มีขั้นตอนการทำงานที่ก่อให้เกิดความสูญเสียนี้ และเนื่องจากขอบเขตในการปรับปรุงคุณภาพในการผลิตของหน้าที่ของแผนกเทคนิค

จากตารางที่ 1 จึงมุ่งเน้นการปรับปรุง 3 หัวข้อ เนื่องจากมีเวลาความสูญเสียสูง ได้แก่ 1.ปัญหาเครื่องจักรขัดข้อง 2.ปัญหาเครื่องจักรหยุดเล็ก ๆ น้อย ๆ 3.ปัญหารวบเวลาในการผลิตล่าช้า

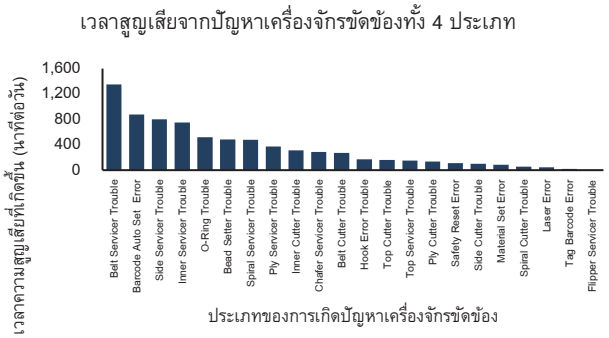
ตารางที่ 1 เวลาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564

เวลาเกิดความสูญเสีย	ก.ค. 64 (นาทีต่อวัน)	เป้าหมาย (นาทีต่อวัน)	กาลังการผลิต (เส้นต่อวัน)	OEE (ร้อยละ)
Machine trouble	7,540	5,640	1,181	2.1
Minor stoppage	6,463	5,463	621	1
Cycle time delay	4,525	2,925	994	1.5
Size change and Tool change delay	1,515	1,400	72	0.1
Defect	1,340	1,250	56	0.1
Startup loss	0	0	0	0

3.4 การวิเคราะห์ (Analyze)

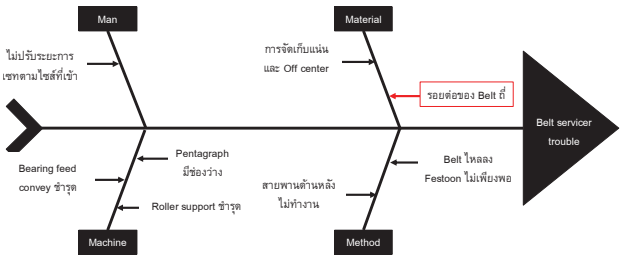
3.4.1 ปัญหาเครื่องจักรชำรุด

จากแผนภาพพาเรโตดังรูปที่ 2 พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นสูงสุด 4 อันดับมีดังนี้



รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตแสดงความสูญเสีย 6 ประการ

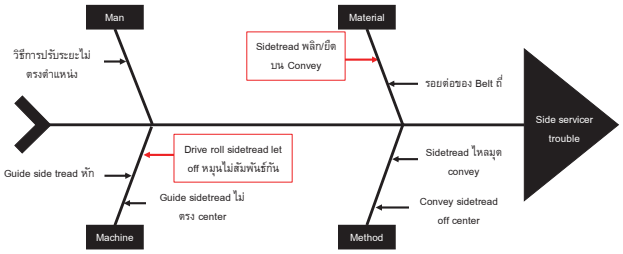
1. ปัญหา Belt servicer trouble จากการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดจากแผนผังก้างปลาดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังก้างปลาสาเหตุปัญหา Belt servicer ชำรุด

พบว่ามีสาเหตุมาจากรอยต่อของเข็มขัดหน้ายางมีจำนวนถี่ส่งผลให้เมื่อตัดเข็มขัดรัดหน้ายางตามขนาดที่ต้องการตรงบริเวณรอยต่อส่งผลให้ปลายเข็มขัดรัดหน้ายางเกิดการมุด roller เนื่องจากระยะห่างระหว่าง roller มาก

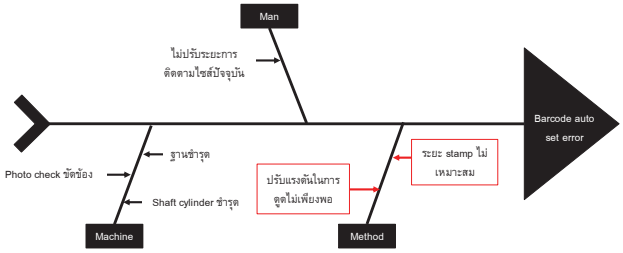
2. ปัญหา Side servicer trouble จากการวิเคราะห์วาเหตุการเกิดจากแผนผังก้างปลาดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังก้างปลาสาเหตุปัญหา Side servicer ชำรุด

พบว่ามีสาเหตุมาจากDrive roll หมุนไม่สัมพันธ์กันส่งผลให้ Side tread พลิกกลับบนสายพานและไม่สามารถทำงานได้อย่างราบรื่น

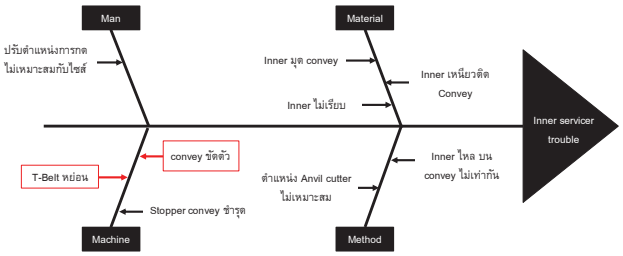
3. ปัญหา Barcode auto set error จากการวิเคราะห์วาเหตุการเกิดจากแผนผังก้างปลาดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังก้างปลาสาเหตุปัญหา Barcode auto set error

พบว่ามีสาเหตุมาจากแรงดันในการติด Barcode ไม่เพียงพอและระยะในการติดไม่เหมาะสมกับขนาดยางที่ผลิตจึงทำให้เกิดปัญหาในการปรับแก้ไขตำแหน่งของ Barcode เนื่องจากปัจจุบันสามารถปรับตำแหน่งในการติดได้เพียง 3 ระยะ

4. ปัญหา Inner servicer trouble จากการวิเคราะห์วาเหตุการเกิดจากแผนผังก้างปลาดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนผังก้างปลาสาเหตุปัญหา Inner servicer ชำรุด

พบว่ามีสาเหตุมาจากการขัดตัวของสายพานเนื่องจาก T-Belt หย่อนและไม่มีการตรวจสอบก่อนเริ่มทำงาน

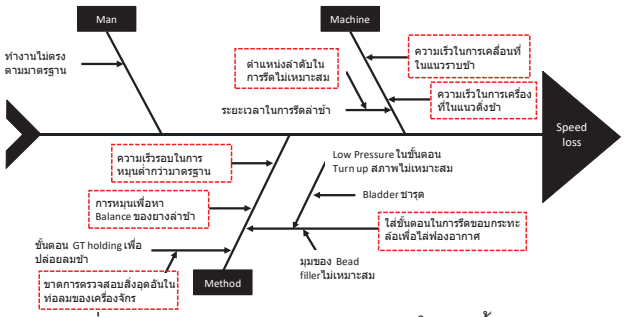
3.4.2 ปัญหาจากการหยุดเครื่องจักรเล็ก ๆ น้อย ๆ

จากการเก็บข้อมูลเครื่องจักรแต่ละประเภทที่มีเวลาความสูญเสียจากปัญหาหยุดเครื่องจักรเล็ก ๆ น้อย ๆ สูงสุด เป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อเครื่อง พบว่า สาเหตุเกิดจากวัสดุสำหรับการผลิตมีปัญหาทำให้ไม่สามารถทำงานได้อย่างราบรื่นร้อยละ 48 สาเหตุจากทักษะการทำงาน

ตามมาตรฐานและแก้ไขปัญหาเครื่องจักรล่าช้าร้อยละ 20 และสาเหตุเกิดจากปัญหาเครื่องจักรชำรุดร้อยละ 32

3.4.3 ปัญหาจากรอบเวลาในการผลิตล่าช้า

จากการสุ่มเก็บข้อมูลเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรต่ำและมีปริมาณในการผลิตสูงพบว่าสาเหตุที่ส่งผลให้รอบเวลาในการผลิตล่าช้าดังรูปที่ 8 ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากสภาพเครื่องจักรและวิธีการทำงานของเครื่องจักร



รูปที่ 8 แผนผังก้างปลาสาเหตุความล่าช้าในการขึ้นรูปยาง

3.5 การปรับปรุง (Improvement)

ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีการประยุกต์หลักการ ECRS Kaizen และ Cycle time optimization ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางการปรับปรุง

Factor	สาเหตุการเกิดปัญหา	วิธีการปรับปรุง	ขั้นตอนการปรับปรุง
อัตราการเดินเครื่องจักร (Availability)	1.Machine trouble		
	1.1 ปัญหา Belt servicer trouble		
	- รอยต่อของเข็มขัดรัดหน้ายางมีความถี่สูงส่งผลให้เวลาเคลื่อนที่บนสายพานเกิดการมุด Roller	Kaizen	- เพิ่มจำนวน Roller บริเวณสายพานให้ถี่ขึ้นเพื่อลดช่องว่างระหว่างสายพาน - เพิ่ม Plate ป้องการการมุดบริเวณ Drive motor
	1.2 ปัญหา Side servicer trouble		
	- แก้มยางพลิกบนสายพานบ่อยเนื่องจากการเคลื่อนที่ของ Drive roll กับสายพานไม่สัมพันธ์กัน	Kaizen	- เพิ่ม Roller เพื่อกำหนดสต็อกระหว่างขึ้นสายพานกับรถจัดเก็บวัสดุเพื่อลดความเร็วที่ไม่สัมพันธ์กัน
	1.3 ปัญหา Inner servicer trouble		
	- T-Belt ของสายพานหย่อนส่งผลให้สายพานเกิดการขัดตัว	PM	- กำหนดแผนการตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องจักรเพื่อป้องกันการเกิดปัญหา
	1.4 ปัญหา Barcode auto set error		
	- แรงดันในการดูดขณะติดกับ Green tire ไม่เพียงพอ	Kaizen	- เปลี่ยนรูปแบบการปรับระยะให้ยืดหยุ่นและอิสระมากยิ่งขึ้น
	- ระยะในการติดไม่เพียงพอขนาดยางที่ผลิต	Planning	- กำหนดกลุ่มขนาดยางในการผลิตสำหรับเครื่องจักรแต่ละเครื่องอย่างเหมาะสม

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Factor	สาเหตุการเกิดปัญหา	วิธีการปรับปรุง	ขั้นตอนการปรับปรุง
ประสิทธิภาพการทางานของเครื่องจักร (Performance)	2.Cycle time delay		
	2.1 ตาแหน่งในการรีดไม่เหมาะสม	ECRS-Combine	- เปลี่ยนตาแหน่งการวางของ Roller เพื่อให้สามารถทางานร่วมกันกับขั้นตอนถัดไปได้
	2.2 ความเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวราบช้า	Cycle time optimization	- ปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ให้อยู่ในค่ามาตรฐาน
	2.3 ความเร็วของการเคลื่นที่ในแนวดิ่งช้า	Cycle time optimization	- ปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ให้อยู่ในค่ามาตรฐาน
	2.4 ความเร็วรอบในการหมุนต่ากว่ามาตรฐาน	Cycle time optimization	- ปรับความเร็วในการหมุนให้อยู่ในระดับสูงสุด
	2.5 การหมุนหา Balance ของยางมากเกินไป	ECRS-Eliminate	- ตัดขั้นตอนหมุนหา balance ให้ทำงานร่วมกันกับขั้นตอนก่อนหน้า
	2.6 ขาดการตรวจสอบสิ่งอุดตันของท่อลม	PM	- เพิ่มขั้นตอนการตรวจสอบสิ่งสกปรกและทาความสะอาดในขั้นตอนการทางานบารุรักษาเครื่องจักรในทุก ๆ 3 เดือน
	2.7 เพิ่มขั้นตอนในการรีดไล่ฟองอากาศบริเวณขอบกระทะล้อโดยไม่จาเป็น	ECRS-Eliminate	- ยกเลิกขั้นตอนและเพิ่มหน่วงเวลาในการรีดบริเวณขอบกระทะล้อในขั้นตอนการรีดแก้มยาง
	3.Minor stoppage		
	3.1 ปัญหาจากการไม่ทางานตามมาตรฐาน	Work standardization	- การทำแผนการฝึกอบรมพนักงานเพื่อเพิ่มทักษะให้หลากหลาย (Multi skill)
	3.2 ปญหาจากการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นล่าช้าจากการขาดความชานาญ	Work standardization	- จัดทาแผนการติดตามประสิทธิภาพการทางานของพนักงานเพื่อจัดทาแผนฝึกอบรมเมื่อมีประสิทธิภาพการทำงานต่ากว่ามาตรฐาน

จากการดำเนินการปรับปรุงพบว่าในเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 สามารถลดเวลาความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความสูญเสียที่เกิดขึ้นก่อนและหลังปรับปรุง

เวลาเกิดความสูญเสีย	ก.ค. 64 (นาทีต่อวัน)	ม.ค. 65 (นาทีต่อวัน)
Machine trouble	7,540	5,775
Minor stoppage	6,463	5,731
Cycle time delay	4,525	3,308
Size change and Tool change delay	1,515	1,266
Defect	1,340	1,676
Startup loss	0	0

ส่งผลให้อัตราการเดินเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.1 ประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.6 ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.9 และกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 1,219 เส้นต่อวัน ดังภาพตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิผลโดยรวมของกระบวนการขึ้นรูปยางก่อนและหลังปรับปรุง

ประเภทเครื่องจักร	ก่อนปรับปรุง กรกฎาคม พ.ศ.2564					หลังปรับปรุง มกราคม พ.ศ.2565				
	A (ร้อยละ)	P (ร้อยละ)	Q (ร้อยละ)	OEE (ร้อยละ)	กาลังการผลิต (เส้นต่อวัน)	A (ร้อยละ)	P (ร้อยละ)	Q (ร้อยละ)	OEE (ร้อยละ)	กาลังการผลิต (เส้นต่อวัน)
1	92.1	90.7	97.6	81.5	2,644	95.8	89.1	97.5	83.2	2,580
2	86.9	86.0	97.6	72.9	6,644	89.4	88.2	97.2	76.6	6,525
3	89.1	84.1	97.7	73.2	9,990	91.6	88.7	98.1	79.7	10,520
4	85.7	82.1	97.6	68.7	7,423	90.8	90.6	97.5	80.1	8,179
5	90.0	83.1	97.6	73.0	9,369	92.0	87.5	97.6	78.6	9,485
ทั้งหมด	**88.8**	**85.2**	**97.6**	**73.8**	**36,070**	**91.9**	**88.8**	**97.6**	**79.7**	**37,289**

3.6 การควบคุม (Control)

หลังจากทำการปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของกระบวนการขึ้นรูปยางเพื่อรักษาสภาพของเครื่องจักรและกระบวนการขึ้นรูปยางจึงจัดทำแผนการประเมินและติดตามเวลาความสูญเสียทั้ง 6 ประการที่ส่งผลต่อประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรแบบรายวัน (Dashboard) และจัดประชุมหาแนวทางการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องรายสัปดาห์ต่อไป

4. สรุปผล

จากการศึกษากระบวนการขึ้นรูปยางเพื่อเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรโดยการประยุกต์ใช้ DMAIC ในการปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมซึ่งประกอบไปด้วยอัตราการเดินเครื่องจักร (Availability) ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร (Performance) โดยในส่วนของการกำหนดปัญหา (Define) คือการศึกษากระบวนการที่เป็นคอขวดของการผลิตยางรถยนต์เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตเนื่องจากความต้องการมากกว่ากำลังการผลิตในปัจจุบันร้อยละ 8.27 โดยใช้ประสิทธิผลโดยเป็นตัวชี้วัด การวัดผล (Measure) จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์เวลาความสูญเสียที่เกิดขึ้น 6 ประการ โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงอัตราเดินเครื่องจักรในส่วนของเครื่องจักรชำรุดและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในส่วนของรอบเวลาในการผลิตล่าช้าและปัญหาจากการหยุดเครื่องจักรเล็ก ๆ น้อย ๆ เนื่องจากมีเวลาความสูญเสียที่เกิดขึ้นสูงกว่าเป้าหมายมาก การวิเคราะห์ (Analyze) นำความสูญเสียทั้ง 3 ประการ มาศึกษาหาสาเหตุการเกิดความสูญเสียจากแผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) ในการหาแนวทางการปรับปรุง การปรับปรุง (Improve) ได้นำหลักการ Kaizen หลักการ ECRS และหลักการ Cycle time optimization มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงซึ่งผลการปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปยางนั้นส่งผลให้ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.1 และกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 1,219 เส้นต่อวัน การควบคุม (Control) เพื่อรักษาสภาพกระบวนการปรับปรุงจึงมีการติดตามเวลาความสูญเสียที่เกิดขึ้นและประสิทธิผลโดยรวมของกระบวนการแบบรายวัน (Dashboard) และประชุมหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง

จากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการของโรงงานกรณีศึกษาพบว่ายังไม่สามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้เนื่องจากมีต้นทุนในการปรับปรุงสูงกว่าที่กำหนดไว้จึงไม่สามารถขยายผลการปรับปรุงเครื่องจักรได้ทั้งหมด

5. ข้อเสนอแนะ

จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในกระบวนการทำงานเพิ่มมากขึ้นจำเป็นต้องมีการติดตามและวิเคราะห์ปัญหาวัสดุมีปัญหาเพื่อลดเวลาความสูญเปล่าจากเครื่องจักรเล็ก ๆ น้อย ๆ และให้สามารถทำงานได้อย่างราบรื่น และทำการขยายผลการปรับปรุงไปยังเครื่องจักรเครื่องอื่น ๆ เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ชาญชัย พรศิริรุ่ง. 2549. คู่มือการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

[2] ปาลิตา สิทธิไชย. 2560. การปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร กรณีศึกษากระบวนการบรรจุซอส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[3] Nakajima. 1988. Introduction to TPM. Productivity Press, Cambridge : MA.

[4] มาโนช ริทินโย. 2551. การเพิ่มผลผลิต, โรงพิมพ์ ไอที แอล เทรด มีเดีย จำกัด.

[5] กุลธิดา อาษากิจ. 2553. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณความถี่ด้วยเทคนิคการศึกษางาน. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[6] นุสรา ผาระนัตร. 2555. การกำหนดปัจจัยที่มีเหมาะสมในกระบวนการขัดหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพื่อลดของเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[7] Salinas, J.F. 2008. BBF3 Bekido Rate 15% Increase. Tecnologico de Monterrey, Universidad Virtual.

[8] วัชรินทร์ สิทธิเจริญ. 2547. การศึกษางาน = Work study. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

[9] วิชญา จันทนา และวัชรพจน์ ทรัพย์สงวนบุญ. 2563. การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเซรามิค: กรณีศึกษาโรงงานในจังหวัดสมุทรปราการ. วารสารวิทยาการจัดการ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีที่ 37

Evaluation on Mechanical Properties of WAAM-Aluminum Additive Layer

Jukkapun Greebmalai[1] Eakkachai Warinsiriruk[1*]

[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University
E-mail: Eakkachai.war@mahidol.ac.th*

Abstract

The evaluation study on mechanical properties of the aluminum additive layer, focusing on the tensile strength of aluminum alloy (AL5356) additive layer from Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM) process using the Double Pulse (DP) current in Gas Metal Arc Welding (GMAW) process. For build additive layer geometry as open-figure by continuous weld layer upon layer. The starting was used contact to work distance (CTWD) as 15 millimeters. The built-up direction has increased as layer height 0.5-millimeter layer by layer up to 100 layer finish. the mechanical testing, the result was found the base material was crack like a cone shape indicating the high ductility and good elongation. In the case of the interface and additive layer strength, the ultimate tensile strength (UTS) decreased 30.5% from the base material (183 MPa) to the additive layer (145 MPa) in the transverse direction. Moreover, the area of the interface (Fusion area) was a 5% increase in the UTS (192 MPa), due to the heat was effect. In the case of the fracture, appearance found the laminate layer almost occurred flat crack because of the less elongation compare with the base material, which has cone crack appearance. Therefore, this result could conclude the additive layer decreased the strength from the base material. However, the longitudinal was high value in both UTS and elongation. The longitudinal additive layer had increased UTS 81.8% (264 MPa) and increased elongation 101.7% (46 %) compare with the transverse direction layer, the cause of the weld bead was tightening than each layer jointing. Not only better than the transverse direction layer, the result indicates the longitudinal direction had almost the same properties as the base material.

Keywords: Additive Manufacturing, Aluminum Additive, Additive Layer Evaluation, WAAM

1. Introduction

The aluminum alloy widely used in many applications such as automotive, aircraft, marine, corrosion resistance tank or vessel and much more application. To produce a complicated-shape aluminum part as used in aircraft or aerospace. The additive manufacturing (AM) has been developed the build-up process of creating or repairing the metal part to produce the complicated geometry and save the cost of the material and investment. The additive manufacturing follows official industry standard term (ASTM F2792) for all applications of the technology. It is defined according to the joining process of materials to make part objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive material methodologies.

The GMAW Process has high flexibility and obtains the uniform of weld bead quality. The process could select the many characteristics of the current signal to match with a working material. The aluminum alloy is more compatible with the double pulse current (DP). To create the weld bead by the advantage of large dimension on width and height when compared with the traditional direct current (DC) that represented by Figure *1*. [1-2]

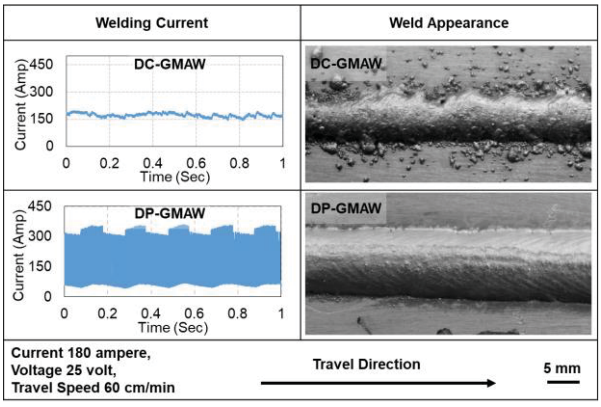


Figure 1 GMAW Current Characteristic on Weld Bead Result [1-2]

By result showed the aluminum weld appearance could effectively control by used double pulse current than direct current in the same heat input condition. The weld bead from

double pulse currents had an excellent appearance, furthermore, the double pulse can archive weld dimension uniformly and large size more than another current in the same amount of heat input. By previous research. Therefore, the double pulse current had the advantage for a weld to create the build-up layer in this research.

The study objective is to evaluate the mechanical properties of tensile strength of the aluminum build-up layer. The tensile strength sample was build-up using the DP-GMAW process with suitable study conditions [1] on the multi heat input technique.

2. Methodology

2.1 Material

The study material consist of base material and build-up material had used aluminum alloy five thousand series aluminum-magnesium alloy (Al-Mg alloy). The base or substrate material had chosen aluminum 5052. The build-up material had chosen aluminum filler wire 5356 (AL-5356) diameters 1.2 millimeters. The GMAW process shielding gas was used as an industrial-grade argon gas (Purity > 99%).

2.2 Experiment Setup

The Experiment settings, in this study had used (1) The welding power source (500 ampere) and 6-axis robot manipulator for controlling the welding parameters and the build-up motion. (2) The working table consists of the workpiece, and fixture to make the workpiece stable and secure to load/unload them in the experiment. The build-up geometry as open-figure with continuous-weld layer upon layer. The starting was used contact to work distance (CTWD) as 15 millimeters. The built-up direction has increased as layer height 0.5 millimeter layer by layer. Figure *2* represented the experiment schematic.

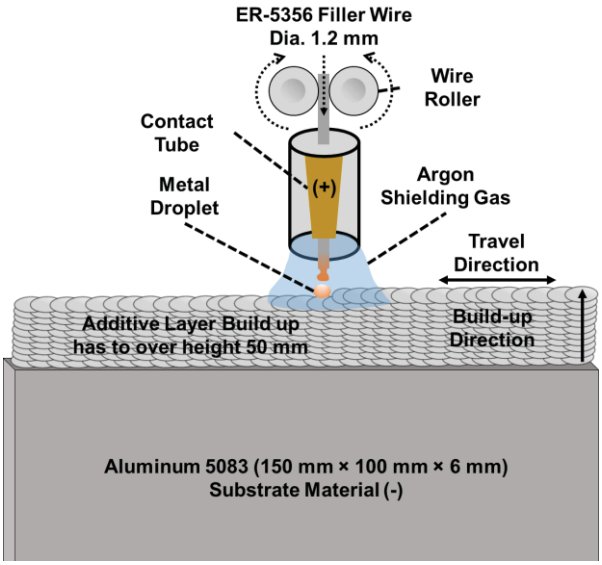


Figure 2 Experiment of Build-up Tensile Additive Sample

During the building process on an additive layer, the heat condition should be not over 50% of previous, due to the heat was accumulate too much the laminate will occur the fan shape appearance and extended on width dimension. This study needs to get in the high effective height.

To deal with the problem the technique of multi-heat condition was performed to build the additive layer or laminate wall. However, the first layer should be heated up enough not too low for prevented the inappropriate bead as lack of fusion or overlap bead formation and not too high for perverted bead overflow. The study was found the condition of welding current 120 amperes, arc voltage 17.9 volt and travel speed 120 centimeters per minute. For build-in the main-layer the continuous style used to prevent the laminate slope from the cause of arc start and end. However, the layer number in this research had limitations around 100 layers because the building heat was too high if the processing was keeping the layer will occur the bead oxidation in the top surface. The problem has an effect on strength. The study was stopped in the 100 layers to set the CTWD for the second round build-up. This procedure was a success to build the uniformly of the additive layer.

2.3 Tensile Testing Procedure

The tensile testing was conducted by a universal testing machine with a transducer load cell 20kN capacity. The tension gripper was holding and drag with speed 30 millimeters per second. On the specimen preparation (5 pieces in each condition) using the CNC machine. Moreover, the dimension

and design have been follow the standard ASTM E8 [6]. Figure *3* shows the dimension and testing region of the tensile specimen including

1) Base material
   a) Base transverse
   b) Base longitudinal
2) Interface Region
3) Additive Layer
   a) Additive transverse (Build-up direction)
   b) Additive longitudinal (Travel direction)

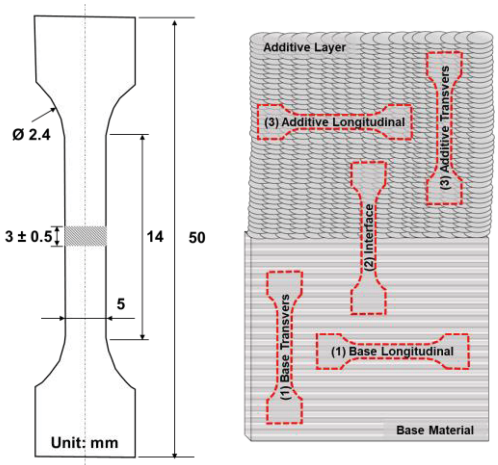


Figure 3 Tensile Specimen Preparation Procedure

3. Result and Discussion

Figure *4* shows the additive layer product. The laminate layer has a separate 2 main layer due to the build-up process does not continuously. However, this problem does not affect the effective thickness of the additive layer.



Figure 4 Double-pulse WAAM Product

The figure could see the less oxidation occurs on the surface of the laminate wall. But some of the layers were overflow cause the heat cumulative still high. For all the not uniform layer, the machining approach was used to mill to make the flat surface for tensile specimen preparation.

In the mechanical testing, the average result was found the base material was crack like a cone shape indicate the high ductility and good elongation. In the case of the interface and additive layer strength, the ultimate tensile strength (UTS) decreased 30.5% from the base material (183 MPa) to the additive layer (145 MPa) in the transverse direction. Moreover, in the area of the interface (Fusion area) was a 5% increase in the UTS (192 MPa), due to heat was an effect. In the case of the fracture, appearance found the laminate layer almost occurred flat crack because of the less elongation compare with the base material, which has cone crack appearance.

As the comparison of ultimate tensile strength show in Figure *5* and appearance in Figure *7*. Therefore base on this result could conclude the additive layer decreased the strength from the base material. However, the longitudinal was the high value in both UTS and elongation. The longitudinal additive layer had increase UTS 81.8% (264 MPa) and increase elongation 101.7% (46 %) compare with the transverse direction layer, the cause of the weld bead was tightening than each layer jointing. Not only better than the transverse direction layer, the result

indicates the longitudinal direction had almost the same properties as the base material.

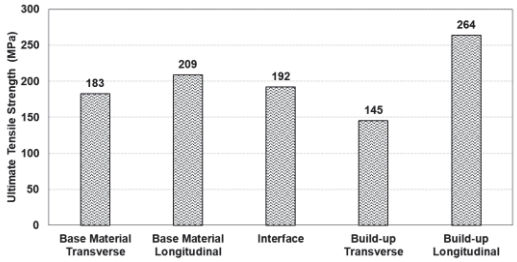


Figure 5 Ultimate Tensile Strength in Each Region of The Specimen

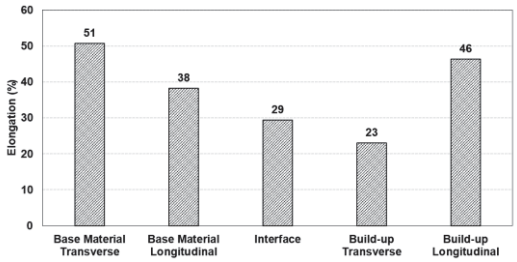


Figure 6 Elongation on The Region Of The Specimen

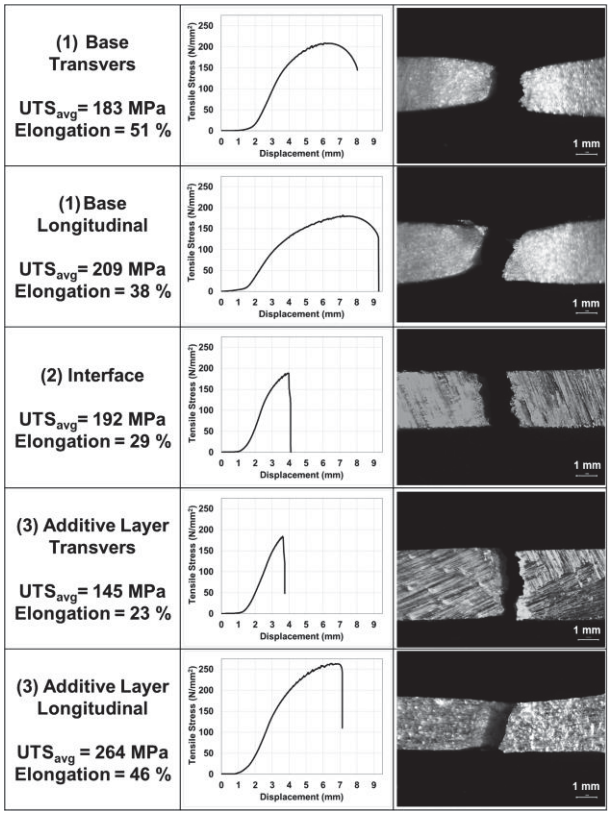


Figure 7 Ultimate Tensile Strength and Fracture Appearance

5. Summary

The study of mechanical evaluation on the DP-GMAW aluminum additive layer base WAAM process has investigated. It concluded consist of:

1) The longitudinal direction of the additive layer has higher strength and elongation than transverse direction and interface

2) The interface area has higher strength and elongation than the transverse additive layer

3) Interface area has strength almost the same with the base material but the elongation was lower significantly

4) The interface and transverse layer have low elongation (Flat crack appearance) compare with another testing area.

6. Future Work

The research had been keeping study on the aluminum WAAP using the DP-GMAW process, and planning to inspect the mechanical properties of the aluminum additive strength to evaluate the properties, process mechanism effect, and application

1. Study the effect of heat input conditions on strength of the aluminum additive layer
2. Study the impact strength of the aluminum additive layer

Acknowledgement

Acknowledgment would like to express special thanks to all the authors for their cooperation. Moreover, greatly appreciate to Research and Researcher Industry (RRi) project for funding support to make this research complete.

References

[1] Greebmalai J, Warinsiriruk E. Multi-heat input technique for aluminum WAAM using DP-GMAW process. InAIP Conference Proceedings 2020 Oct 26 (Vol. 2279, No. 1, p. 050001). AIP Publishing LLC.

[2] Warinsiriruk E, Greebmalai J, Sangsuriyun M. *Effect of Double Pulse MIG Welding on Porosity Formation on Aluminum 5083 Fillet Joint*. IIW2018 (A1) - Welding Technology; 2018

[3] Joshua OS, David MO, Sikiru IO. *Experimental Investigation of Cutting Parameters on Surface Roughness Prediction during End Milling of Aluminium 6061 under MQL (Minimum Quantity Lubrication)*. Journal of Mechanical Engineering and Automation. 2015;5(1):1-3.

[4] TOMIDA S. *Alloying of Aluminum Surface by Laser.* Journal of The Surface Finishing Society of Japan. 1992 Mar 1;43(3):

[5] Ding D, Pan Z, Cuiuri D, Li H. *Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015 Oct 1;81(1-4):465-81.

[6] Herderick ED. *Progress in additive manufacturing*. JOM. 2015 Mar 1;67(3):580-1.

[7] Xiong J, Zhang G, Zhang W. *Forming appearance analysis in multi-layer single-pass GMAW-based additive manufacturing*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015 Oct 1;80(9-12):1767-76.

[8] Xiong J, Zhang G. *Adaptive control of deposited height in GMAW-based layer additive manufacturing*. Journal of Materials Processing Technology. 2014 Apr 1;214(4):962-8.

[9] AZoM. *Aluminum 5356 Alloy (UNS A95356)*. https://www.azom.com /article.aspx?ArticleID=6654 (accessed Oct 2018).

[10] ASM. *Aluminum 5083-H112*. http://asm.matweb.com/search /SpecificMaterial.asp?bassnum=MA5083H112 (accessed Oct 2018)

[11] Wagiman A, Wahab B, Saidin M, Mohid Z, Mamat A. *Effect of GMAW-CMT heat input on weld bead profile geometry for freeform fabrication of aluminium parts*. InApplied Mechanics and Materials 2014 (Vol. 465, pp. 1370-1374). Trans Tech Publications.

[12] Ding D, Pan Z, Cuiuri D, Li H. *A multi-bead overlapping model for robotic wire and arc additive manufacturing (WAAM)*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2015 Feb 1;31:101-10.

[13] Ding D, Pan Z, Cuiuri D, Li H, van Duin S, Larkin N. *Bead modelling and implementation of adaptive MAT path in wire and arc additive manufacturing*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2016 Jun 1;39:32-42.

[14] Li Y, Sun Y, Han Q, Zhang G, Horváth I. *Enhanced beads overlapping model for wire and arc additive manufacturing of multi-layer multi-bead metallic parts*. Journal of Materials Processing Technology. 2018 Feb 1;252:838-48.

[15] Ding D, Shen C, Pan Z, Cuiuri D, Li H, Larkin N, van Duin S. *Towards an automated robotic arc-welding-based additive manufacturing system from CAD to finished part*. Computer-Aided Design. 2016 Apr 1;73:66-75.

การซึมผ่านก๊าซของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน

Gas Permeability of Natural Rubber Reinforced with Modified Silica by Admicellar Polymerization

ธัมม์โชโต ประจักษ์สูตร[1*] ภูริพัส แสนพงษ์[2]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลางนครราชสีมา
[2]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
E-mail: thongchai.pj@rmuti.ac.th*

Thamchoto Prajaksood[1*] , Bhuriphat Saenpong[2]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Ratchasima
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen
E-mail: thongchai.pj@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและการต้านทานการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนต่อยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิว(Modified Silica) ด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน 7 ระดับ (20 25 30 35 40 45 และ 50 phr ; Parts Per Hundred of Rubber) เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นสูตรเคมีสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ล้อยางใน จากผลการทดสอบพบว่า ยางที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันที่อัตราส่วนผสม 40 phr โดยผ่านการอัดขึ้นรูปที่ 160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที จะให้ประสิทธิภาพทางกลที่ดีและมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำที่สุดที่ 176 cc/m^2.day ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นสูตรเคมีสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ล้อยางใน
คาสาคัญ: การซึมของผ่าน, ก๊าซ, ยาง, ซิลิกา, แอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน

Abstract

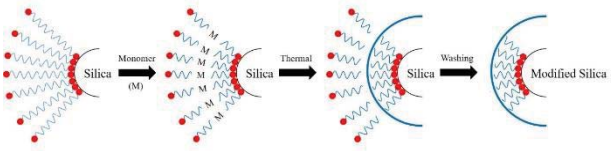
This research aims to study the mechanical properties and gas resistance of natural rubber reinforced with silica modified by admicellar polymerization at the 7 different mixtures ratio that are 20, 25, 30, 35, 40, 45 and 50 phr (Parts per hundred of rubber) to achieve the optimal mixtures ratio to be used as a rubber chemical formulae for production of inner tube. The results revealed that the rubber reinforced with silica modified by admicellar polymerization at the 40 phr mixture ratio with a compression mold at 160 kg/cm^2 at a 145 °C cure temperature for 4 minutes proved to be the best mechanical properties and has the lowest oxygen permeation rate at 176 cc/m^2.day which is the suitable condition to be used as a rubber chemical formulae for production of inner rubber tube products.
Keywords: Gas Permeability, Gas, Rubber, Silica, Admicellar polymerization

1. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับหนึ่งของประเทศและประเทศไทยยังจัดเป็นผู้ส่งออกยางพารารายใหญ่ที่สุดในโลก โดยในปี พ.ศ.2563 มีปริมาณผลผลิตยางธรรมชาติสูงถึง 4,908,814 เมตริกตัน และยังมีปริมาณการผลิต ปริมาณส่งออกและใช้ภายในประเทศที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2562 [1] โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตยางล้อรถยนต์และรถจักรยานยนต์ ความต้องการผลิตภัณฑ์ประเภทยางล้อรถยนต์และรถจักรยานยนต์ที่มีปริมาณมากและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนี้ ส่งผลให้มีการพัฒนากันอย่างกว้างขวางเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์การใช้งานที่หลากหลายตามความต้องการ แต่การนำยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์มีขีดจำกัดเนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพที่ไม่เสถียร ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของยางธรรมชาติ

แนวทางหนึ่งที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของยางธรรมชาติคือการเติมสารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing filler) [2] ซึ่งสารตัวเติมเสริมแรงแก่ยางที่สำคัญชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาง คือ ซิลิกา (Silica) เนื่องจากซิลิกามีขนาดอนุภาคที่เล็ก จึงทำให้มีพื้นที่สำหรับการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติมสูง [3,4] นอกจากซิลิกาจะมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มการเสริมแรงและให้ความยืดหยุ่นแก่ยางแล้วซิลิกายังเป็นสารประกอบที่ไม่ให้สี ส่งผลให้ไม่เกิดปัญหาในการแต่งสีของผลิตภัณฑ์อีกด้วย อย่างไรก็ตามซิลิกาก็มีข้อด้อยในเรื่องการใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงเนื่องจากซิลิกามีความพรุนสูงทำให้เกิดการดูดซับตัวเร่งปฏิกริยาเคมีได้ดี และที่พื้นผิวของซิลิกายังประกอบไปด้วยหมู่ของไซลานอล (Silanol) ซึ่งส่งผลให้ซิลิกาจัดเป็นกลุ่มที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ทำให้เกิดการ สะสมรวมกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ (Agglomerate) ในขณะที่พื้นผิวของยางเป็นแบบไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ด้วยเหตุนี้ทำให้การยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของซิลิกาและยางค่อนข้างไม่ดี การยึดเกาะที่ไม่ดีนี้ส่งผลให้อนุภาคของซิลิกาและยางแยกออกจากกัน แนวทางหนึ่งที่ทำให้ซิลิกากับยางธรรมชาติสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้คือ การปรับปรุงพื้นผิวซิลิกาก่อนนำไปผสมในยางธรรมชาติ การปรับปรุงพื้นผิวซิลิกาสามารถทำได้ด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การปรับปรุงผิวซิลิกาด้วยกระบวนการกราฟท์พอลิเมอไรเซชัน (Graft Polymerization) [5,6] การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) [7] และเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน (Admicellar Polymerization) [8-10] เป็นต้น

เทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันนี้ถูกแนะนำครั้งแรกโดย Wu et al. [8] ในปี ค.ศ. 1987 เป็นกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวซิลิกาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะระหว่างผิวของซิลิกาและยางโดยทำให้เกิดฟิล์มบางบนพื้นผิวซิลิกา ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาแอดไมเซลลาร์โพลิเมอไรเซชันแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1.) การเกิด Admicellar formation ขั้นตอนนี้สารลดแรงตึงผิวจะถูกดูดซับแบบ 2 ชั้น บนพื้นผิวที่รองรับ 2.) การเกิด Adsolubilization เป็นขั้นตอนที่มอนอเมอร์เกิดการละลายเข้าไปอยู่ในชั้นของแอดไมเซลล์(Admicell) 3.) การเกิดปฏิกิริยา Polymerization ขั้นตอนนี้เป็นการเกิดปฏิกิริยาของมอนอเมอร์ในชั้นของสารลดแรงตึงผิว และ 4.) การล้างชั้นของสารลดแรงตึงผิวชั้นนอกออกไป ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาแอดไมเซลลาร์โพลิเมอไรเซชัน

ในปัจจุบันเริ่มมีการศึกษาวิจัยการใช้ซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันเป็นสารเสริมแรงในยางธรรมชาติเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในด้านการเก็บกักอากาศของผลิตภัณฑ์ล้อยางใน [11] ซึ่งพบว่า ยางที่ใช้ซิลิกาปรับปรุงผิวเป็นสารตัวเติมจะมีอัตราการซึมผ่านของการต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับยางที่ไม่ผสมสารตัวเติม ยางที่ผสมสารตัวเติมเขม่าดำ และยางที่ผสมสารตัวเติมซิลิกาไม่ปรับปรุงผิว

ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงพื้นผิวของซิลิกาด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน โดยใช้อัตราส่วนซิลิกาต่อยางธรรมชาติที่แตกต่างกัน 7 ระดับ (20 - 50 phr) และทำการศึกษาสมบัติทางกลและการต้านทานการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนของยางธรรมชาติที่เสริมแรงเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นสูตรเคมีสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ล้อยางใน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 สารเคมีและอุปกรณ์

ยางธรรมชาติเกรด STR10-CV50 จากบริษัท Bangkok Rubber Co., Ltd. ประเทศไทย ซิลิกาเกรดการค้า Hi-Sil 255 จากบริษัท Tokuyama Siam Silica Co., Ltd. ประเทศไทย สารลดแรงตึงผิวเซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyltrimethyl Ammonium Bromide) CTAB (98%) จากบริษัท Fluka ประเทศเยอรมันนี

2.2 การปรับปรุงพื้นผิวซิลิกาด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันโดยใช้ความร้อน

ชั่ง CTAB 72.91 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 8 ลิตร และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนสารละลายมีค่าความเป็น กรด-ด่างเท่ากับ 8 กวนสารละลายตลอดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเติมซิลิกาลงในสารละลาย 400 กรัม กวนสารละลายต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเติมเอทธานอล 500.99 มิลลิลิตร โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 10.80 กรัม และไอโซพรีน 40 มิลลิลิตร กวนสารละลายต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เมื่อครบกำหนดเวลานำตัวอย่างซิลิกาไปกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง เพื่อกำจัดสารลดแรงตึงผิวที่เหลือและไอโซพรีนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาออกจนหมด

หลังจากนั้นนำตัวอย่างซิลิกาที่ได้ไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

2.3 การเตรียมสารประกอบยาง

เตรียมยางธรรมชาติ (Natural Rubber; STR10-CV50) 300 กรัม ทำการนวดโดยใส่เข้าเครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) โดยให้ความร้อนที่ลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส นวดยางจนนิ่มแล้วใส่ส่วนผสมที่จะผสมตามสูตรยางที่กำหนดตามตารางที่ 1 อย่างช้า ๆ โดยเริ่มจากกรดสเตียริก (Stearic Acid) Bemox-L ซิลิกาปรับปรุงผิวตามปริมาณที่กำหนดตามการออกแบบการทดลองตามลำดับ จากนั้นเติม PEG4000 Okerrin $CaCO_3$ และ PVI ตามปริมาณที่กำหนด จากนั้นเติมตัวกระตุ้นการทำปฏิกิริยา ซิงค์ออกไซด์ ZnO_2 และตัวเร่งปฏิกิริยา Mercapto Benzo Thiazyl Disulfide (MBTS) ตามลำดับ จากนั้นเติม Sulfur ซึ่งเป็นสารช่วยเร่งเวลาในการคงรูปของยาง แล้วทำการนวดยางต่อให้ส่วนผสมเข้ากัน จึงนำไปทดสอบการคงรูปของยางโดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง Moving Die Rheometer; MDR รุ่น M-3000A จากบริษัท Gotech Testing Machines inc. ประเทศไต้หวัน เพื่อหาระยะเวลาในการขึ้นรูป จากนั้นนำยางไปอัดขึ้นรูปด้วย Compression Molding รุ่น Wabach Genesis Press รุ่น G30H15GX ประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยแรงอัดขึ้นรูปที่ 160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นทิ้งยางให้พักตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบสมบัติทางกล

ตารางที่ 1 สูตรปริมาณสารในการเตรียมผลิตภัณฑ์ล้อยางใน

วัตถุดิบ	ปริมาณ (phr)
Natural Rubber STR10-CV50	100
Stearic Acid	2
Bemox-L	1
Modified silica	20 25 30 35 40 45 50
Okerrin	1
$CaCO_3$	25
PVI	0.25
PEG4000	1.5
ZnO_2	5
MBTS	0.75
Sulphur	1.8

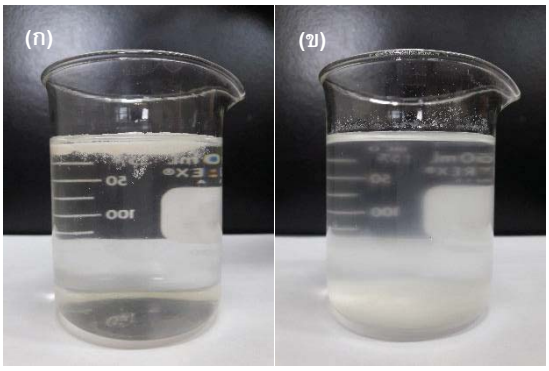
2.4 การทดสอบสมบัติยาง

ความหนาของตัวอย่างจะถูกวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ยี่ห้อ Mittutoyo รุ่น HFW960 ประเทศญี่ปุ่น การเตรียมตัวอย่างจะใช้ Cutting Board และ Machine ยี่ห้อ PVI รุ่น PS-01 Flexo Meter ประเทศสหรัฐอเมริกา ทดสอบค่าความหนืดมูนนี่ยางใช้ Mooney Viscometer; MV รุ่น MV-3000 จากบริษัท Gotech Testing Machines inc. ประเทศไต้หวัน การทดสอบสมบัติทางกลของยางจะใช้เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น AI-7000S จากบริษัท Gotech Testing Machines inc. ประเทศไต้หวัน ที่ความเร็วทดสอบ 500 มิลลิเมตรต่อนาที การทดสอบความแข็งของยางจะใช้เครื่อง Durometer แบบ Shore A จากบริษัท Taclock ประเทศญี่ปุ่น การศึกษาการยึดเกาะระหว่างซิลิกากับยางธรรมชาติจะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแบบ Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) และระบบ Focus Ion Beam (Focus Ion Beam : FIB) จาก FEI รุ่น Helios Nanolab G3 CX และการศึกษาค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของยางจะทดสอบด้วยเครื่อง Oxygen Permeation Tester รุ่น Illinois 8000 ประเทศอังกฤษ จากศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบความไม่ชอบน้ำของซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิว

ซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน จะแสดงคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) เป็นการยืนยันถึงการมีของฟิล์มพอลิไอโซพรีนบนผิวซิลิกาซึ่งจะทำการทดสอบโดยการนำผงซิลิกาและผงซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิวอย่างละ 1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ (Beaker) ที่บรรจุน้ำสะอาด 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 นาที ผลการทดสอบพบว่า ผงซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิวจะลอยอยู่เหนือผิวน้ำตลอดระยะเวลา 5 นาที ส่วนซิลิกาที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวจะจมลงสู่ก้นบีกเกอร์ทั้งหมดทันที ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลการทดสอบความไม่ชอบน้ำของซิลิกา
(ก) ซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิว (ข) ซิลิกาที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว

3.2 ผลการควบคุมคุณภาพของซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิว

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน จะทดสอบด้วยเครื่อง Moisture Analyzer โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 106 องศาเซลเซียส และการวิเคราะห์ปริมาณฟิล์มพอลิไอโซพรีนที่เคลือบบนพื้นผิวซิลิกาหลังจากผ่านการปรับปรุงผิวจะทำการวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนักซิลิกาหลัง

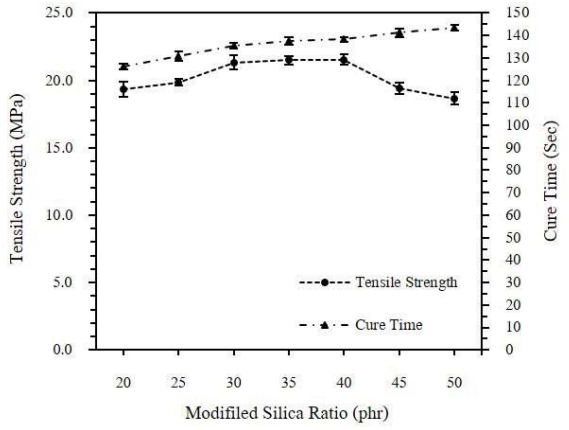
การเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ต่อน้ำหนักซิลิกาทดสอบ 1 กรัม สำหรับการวิเคราะห์ความหนาแน่นของซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิวจะทำโดยการหาค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ด้วยวิธีการเคาะ และหาค่าความความหนาแน่นจริง (Absolute Density) โดยใช้ขวดพิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) โดยคุณสมบัติที่ควบคุมของซิลิกาก่อนนำไปใช้ผสมยาง ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าวิเคราะห์คุณสมบัติของซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิว

Moisture Content	3.22 $\pm$0.03%
Bulk Density	0.26 $\pm$0.01 g/cm^3
Absolute Density	1.62 $\pm$0.04 g/cm^3
Polyisoprene Film	14.17 $\pm$1.80%

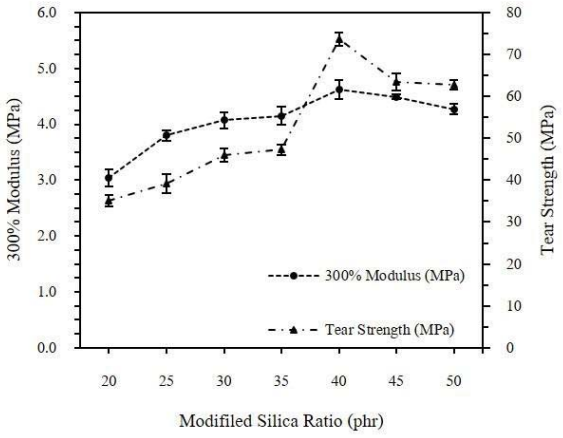
3.3 ผลทดสอบสมบัติทางกลของยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวที่อัตราส่วนต่าง ๆ

การวิเคราะห์สมบัติทางกลของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวที่อัตราส่วนแตกต่างกัน (20-50 phr) ดังผลที่ได้ในรูปที่ 3 - 5 จากรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการคงรูปของยางที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณซิลิกา ค่าจากกราฟนี้มาจากความจริงที่ว่าพื้นผิวของซิลิกาประกอบไปด้วยกลุ่มของไซลานอล (Silanol) ซึ่งสามารถดูดซับสารตั้งต้นการทำปฏิกิริยา ด้วยเหตุนี้ทำให้การคงรูปของยางธรรมชาติใช้เวลานานขึ้น สำหรับค่าคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงในช่วงแรกค่าคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณซิลิกาแต่หลังจากที่ 40 phr ของสัดส่วนซิลิกาค่าจะค่อย ๆ ลดลง จากกราฟนี้สามารถอธิบายได้ว่าการยึดเกาะระหว่างซิลิกาปรับปรุงผิวกับพื้นผิวของยางไม่ดีเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่ซิลิกาปรับปรุงผิวจะแยกออกจากพื้นผิวของยางได้โดยง่าย ดังแสดงในรูปที่ 3



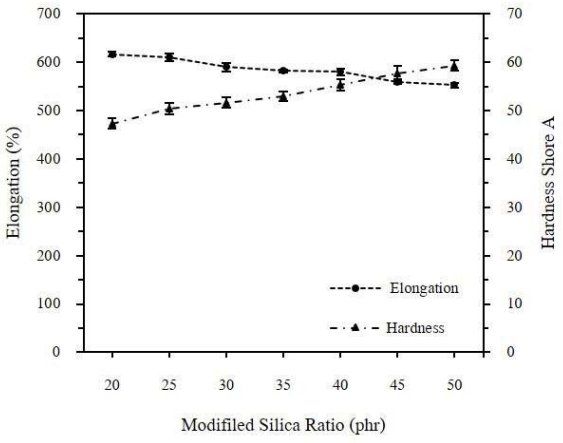
รูปที่ 3 ผลของเวลาการคงรูปของยางและค่าความต้านทานต่อการดึงของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวที่อัตราส่วนซิลิกาต่าง ๆ

จากรูปที่ 4 แสดงผลของค่า 300% Modulus และความต้านทานต่อการฉีกขาดจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้นด้วยเหมือนกัน แต่หลังจากที่ 40 phr ของสัดส่วนซิลิกา ค่าจะค่อย ๆ ลดลง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความต้านทานต่อการดึง



รูปที่ 4 ผลของค่า 300% Modulus และความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวที่อัตราส่วนซิลิกาต่าง ๆ

ในทางตรงกันข้ามรูปที่ 5 แสดงให้เห็นผลของระยะยืดจนกระทั่งขาด (Elongation at break) ที่ลดลงตามอัตราส่วนซิลิกาที่เพิ่มขึ้นและค่าความแข็ง (Hardness Shore A) ที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับซิลิกาที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

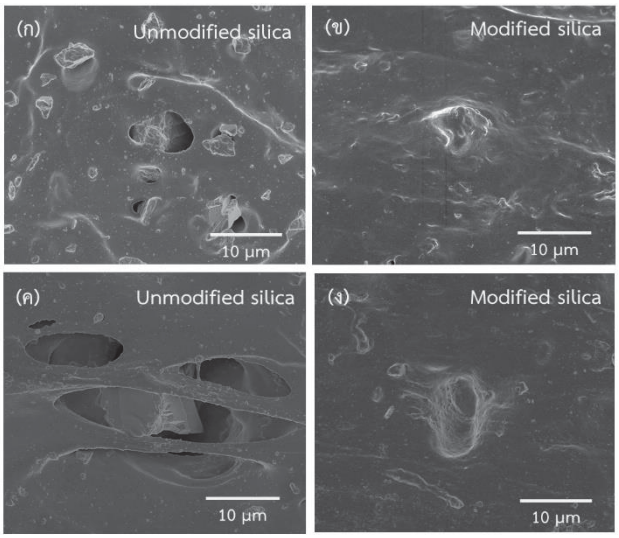


รูปที่ 5 ผลของระยะยืดจนกระทั่งขาดและค่าความแข็ง (Hardness Shore A) ของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวที่สัดส่วนซิลิกาต่าง ๆ

ดังนั้น จากผลการทดสอบสมบัติทางกลของยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวที่อัตราส่วนต่าง ๆ นี้ แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนซิลิกาปรับปรุงผิวที่ 40 phr เป็นอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดสำหรับยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิว

3.4 การศึกษาการเกาะติดระหว่างซิลิกากับยางธรรมชาติด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การวิเคราะห์การยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของยางธรรมชาติและซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน จะวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งจะแสดงภาพระดับจุลภาคของยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาไม่ปรับปรุงผิวและซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันก่อนและหลังทดสอบสมบัติทางกลที่อัตราส่วนซิลิกา 40 phr และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงดังรูปที่ 6

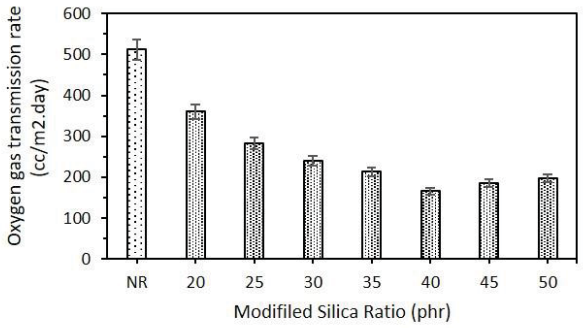


รูปที่ 6 ภาพระดับจุลภาคของยางที่เสริมแรงด้วย (ก) ซิลิกาไม่ปรับปรุงผิวก่อนทดสอบสมบัติทางกล (ข) ซิลิกาปรับปรุงผิวก่อนทดสอบสมบัติทางกล (ค) ซิลิกาไม่ปรับปรุงผิวหลังทดสอบสมบัติทางกล (ง) ซิลิกาปรับปรุงผิวหลังทดสอบสมบัติทางกล

จากรูปที่ 6 (ก ค) แสดงให้เห็นถึงช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของยางธรรมชาติและซิลิกาไม่ปรับปรุงผิว สามารถอธิบายได้จากพื้นผิวของซิลิกาไม่ปรับปรุงผิวมีความเป็นขั้ว หรือเป็นแบบชอบน้ำ ขณะที่พื้นผิวของยางธรรมชาติไม่มีความเป็นขั้วหรือเป็นแบบไม่ชอบน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างกันไม่ดี ในทางตรงกันข้ามยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน รูปที่ 6 (ข ง) ไม่ปรากฏช่องว่างระหว่างพื้นผิวของยางธรรมชาติและซิลิกาปรับปรุงผิวอันเนื่องมาจากซิลิกาจะถูกเคลือบผิวด้วยฟิล์มพอลิไอโซพรีน ดังนั้นการยึดเกาะของซิลิกาปรับปรุงผิวกับยางธรรมชาติจึงเกาะกันได้ดีกว่าซิลิกาไม่ปรับปรุงผิว

3.5 การวิเคราะห์ผลค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของยาง

ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของยางเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพในการเก็บอากาศของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันโดยผ่านการอัดขึ้นรูป ที่ 160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที ที่อัตราส่วนสารตัวเติมซิลิกาที่ได้รับการปรับปรุงผิวแตกต่างกัน 7 ระดับ ได้แก่ 20 25 30 35 40 45 และ 50 phr ตามลำดับ เทียบกับยางธรรมชาติ หลังจากได้ชิ้นงานตัวอย่างให้เก็บชิ้นงานไว้ในพื้นที่เหมาะสม หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับออกซิเจน โอโซน แสงแดดและความร้อนสูงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานดังกล่าวไปทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เครื่อง Oxygen Permeation Tester รุ่น Illinois 8000 ประเทศอังกฤษ จากศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติเสริมแรงด้วย ซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันที่สัดส่วนซิลิกาต่าง ๆ

จากรูปที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันที่สัดส่วนซิลิกาต่าง ๆ พบว่า ยางธรรมชาติที่ไม่ผสมสารตัวเติมเสริมแรง (NR) มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงที่สุดที่ 512 cc/m^2.day เนื่องจากยางไม่มีส่วนผสมของสารตัวเติมเสริมแรงที่เป็นอนุภาคช่วยขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซภายในเนื้อวัสดุ ทำให้ก๊าซซึมผ่านได้อย่างรวดเร็ว ในทางตรงกันข้ามยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันจะมีอนุภาคของซิลิกาทำหน้าที่ช่วยในการยึดเกาะและช่วยขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซภายในโครงสร้างของเนื้อยาง โดยที่อัตราส่วนสารตัวเติมซิลิกาที่ 20 phr จะมีอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนที่ 360 cc/m^2.day และพบว่าค่าอัตราการซึมผ่าน

ของก๊าซออกซิเจนนี้จะค่อยๆ ลดลงเป็นสัดส่วนของซิลิกาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่อัตราส่วนสารตัวเติมซิลิกาที่ 40 phr จะมีอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนต่ำที่สุดที่ 176 cc/m^2.day หลังจากนั้นค่าอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นที่ 185 และ 197 cc/m^2.day สำหรับยางธรรมชาติที่มีส่วนผสมสารตัวเติมซิลิกาที่ 45 และ 50 phr ตามลำดับ

จากผลการทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนนี้ สามารถอธิบายได้ว่าการผสมซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันซึ่งเป็นสารตัวเติมเสริมแรงในยางธรรมชาติจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างอนุภาคยางและสารตัวเติมและยังมีประสิทธิภาพช่วยขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนภายในโครงสร้างของเนื้อยางได้ ซึ่งความสามารถในการยึดเกาะระหว่างซิลิกาปรับปรุงผิวกับพื้นผิวของยางจะลดลงเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่ซิลิกาปรับปรุงผิวจะเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนไม่กระจายตัวผสมกับเนื้อยางทำให้ค่าอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ซึ่งผลการศึกษานี้ยังมีความสอดคล้องกับผลทดสอบสมบัติทางกลของยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวที่อัตราส่วนต่าง ๆ อีกด้วย

4. สรุปผลการศึกษา

ซิลิกาที่ปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันถูกใช้เป็นสารเติมแต่งในยางธรรมชาติ ซึ่งจะถูกวิเคราะห์สมบัติทางกลและค่าการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ คือ 20 25 30 35 40 45 และ 50 phr ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า ยางที่เสริมแรงด้วยซิลิกาปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคแอดไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชันที่อัตราส่วนผสม 40 phr โดยผ่านการอัดขึ้นรูปที่ 160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที จะมีระยะเวลาการคงรูปของยาง 138.23 ± 1.06 วินาที ค่าคุณสมบัติการทนต่อแรงดึง 21.55 ± 0.40 MPa ค่า 300% มอดูลัส 4.62 ± 0.17 MPa ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด 73.67 ± 1.58 MPa ระยะยืดจนกระทั่งขาด 579.96 ± 6.70% และค่าความแข็ง (Hardness Shore A) 55.33 ± 1.15 ตามลำดับ ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ให้ค่าประสิทธิภาพทางกลที่ดีและมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไทย มอก.683-2530 และ มอก.652-2529 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางในรถจักรยานยนต์และรถจักรยาน) และยังมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำที่สุดที่ 176 cc/m^2.day ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นสูตรเคมีสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ล้อยางใน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัท บางกอกพัฒนามอเตอร์ จำกัด ที่อนุเคราะห์สารเคมีและอุปกรณ์รวมถึงเครื่องทดสอบยางสำหรับการทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] Rubber Research Institute Department of Agriculture. (2021). Statistical of the Thai Rubber 377 Association Database. Search for information on 10 June 2021. http://www.thainr.com/uploadfile/20200427101016.pdf

[2] M. P. Wagner, “Reinforcing silicas and silicates,” Rubber Chemistry and Technology, vol. 49, no.3, pp.703-774, 1976.

[3] พงษ์ธร แซ่อุย ,2548, ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), พิมพ์ครั้งที่ 2, หน้า 11-15.

[4] พงษ์ธร แซ่อุย, 2548, สารเคมียาง, ศูนย์เทคโนโลยี โลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), พิมพ์ครั้งที่ 2, หน้า 70-74.

[5] S. Kim, et al., “Surface Modification of Silica Nanoparticles by UV- Induced Graft Polymerization of Methyl Methacrylate,” Journal of Colloid and Interface Science, vol. 292, no.1, pp. 93-98, 2005.

[6] J. Che, et al., “Graft Polymerization onto Nano-Sized SiO2 Surface and its Application to the Modification of PBT,” Journal of Materials Letters, vol.59, pp.1603-1609, 2005.

[7] B. J. Jeon, H.J.Hah and S.M. Koo, “Surface Modification of Silica Particles with Organoalkoxysilance Through Two-step (acid-base) Process in Aqueous Solution,” Journal of Ceramic Processing Research, vol. 3, no.3, pp. 216-221, 2002.

[8] Wu, J.H., Harwell, J.H. & O’Rear, E.A. (1987). Two-dimensional solvents: kinetics of styrene polymerization in admicelles at or near saturation. The Journal of Physical Chemical. Vol. 91, No. 3, pp. 623-634

[9] Yooprasert, N., Pongprayoon, T., Suwanmala, P., Hemvichian, K. & Tumcharern, G. (2010). Radiation induced admicellar polymerization of isoprene on silica: effects of surfactant’s chain length. Chemical Engineering Journal. Vol. 156, pp. 193-199

[10] Pongprayoon, T., Yooprasert, N., Suwanmala, P., Hemvichian, K. (2012). Rubber products prepared from silica modified by radiation-induced admicellar polymerization. Radiation Physics and Chemistry Journal. Vol. 81, pp. 541-546

[11] Faklek A, Pongprayoon T. Development of commercial bicycle and motorcycle inner tube using surface modified silica. Master of Engineering Thesis, Chemical Engineering, Graduate School, King Mongkut’s University of Technology North Bangkok; 2017

การพัฒนากระบวนการชุบแข็งมีดโต้ กรณีศึกษามีดม่วงหวาน อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น

Development hardening process of Big knife Case Study: Muang Wan knife products ,Nam Phong District, Khon Kaen Province

ปริญญวัตร ทินบุตร[1] สันติรัฐ นันสะอาง[2*]
[1]คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
[2*]คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร
E-mail: santirat.nan@kmutt.ac.th*

Parinyawatr Dhinnabutra[1] Santirat Nansaang[2*]
[1]Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus, Khon Kaen District
[2*]Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok
E-mail:santirat.nan@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนากระบวนการผลิตมีดม่วงหวานให้ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของกลุ่มตีมีดม่วงหวาน อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น โดยสำรวจและสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อศึกษาปัญหาและศักยภาพของกลุ่มตีมีด พร้อมนำหลักการด้านวิศวกรรมมาใช้ในการพัฒนามีด จากสังเกตุและสัมภาษณ์สมาชิกกลุ่มตีมีดม่วงหวาน พบว่า มีดม่วงหวานเป็นสำหรับใช้ในการเกษตรขนาดใหญ่ ผลิตจากเหล็กแหนบและชุบแข็งด้วยน้ำ ตามภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ได้รับการสืบทอดจากบรรพบุรุษ แต่ไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานใดๆ เนื่องจากค่าความแข็งของมีดต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด จากการชักตัวอย่างทั้งหมด 29 เล่ม พบว่า มีดจำนวน 6 เล่ม มีค่าความแข็งน้อยกว่า 48 HRC คิดเป็นร้อยละ 20.69 และบริเวณคมมีดมีโครงสร้างเพิลไลต์ และโครงสร้างเฟอร์ไรต์ คณะวิจัยจึงนำหลักการด้านวิศวกรรมโลหะวิทยามาประยุกต์ใช้ในพัฒนากระบวนการผลิตมีด หลังจากพัฒนากระบวนการผลิตพบว่า มีดที่มีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 53.036 HRC มีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ อยู่ในเกณฑ์การรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

คาสาคัญ: มีดม่วงหวาน, ภูมิปัญญาท้องถิ่น, ค่าความแข็ง, โครงสร้างจุลภาค, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

Abstract

This research aimed to develop a Muang Wan knife, Nam Phong district, Khon Kaen province, to raise the community product standard. The Muang Wan knife was a large agricultural knife. The blade is made from a leaf spring and quenched with water, which is a production process from local wisdom passed down from ancestors and not meeting the requirements of any standard because the hardness of the knife is lower than the specified standard. This research began with the study of the problems and potential by observation and interviews with the Muang Wan knife forging group members and applying engineering principles to the development of blades. The knife sampling results showed that 6 out of 29 pieces had a hardness of less than 48 HRC, or equivalent to 20.69 percent, and had a pearlite and ferrite microstructure at the edge of the knives. Then, the research team applied the principles of metallurgy engineering to improve the production of knives and found the average hardness to be 53.036 HRC and that the martensite structure in the community product standard of the knife product standard meets all requirements.

Keywords: Muang Wan knife, Local wisdom, Hardness value, Microstructure, Community product standard

1. บทนำ

บ้านม่วงหวาน ตำบลม่วงหวาน อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น เป็นแหล่งผลิตมีดที่มีชื่อเสียงแห่งหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ชาวบ้านส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลัก มีอาชีพตีมีดเป็นอาชีพรอง สืบทอดภูมิปัญญาจากรุ่นสู่รุ่นมาจากบรรพบุรุษมาไม่น้อยกว่า 80 ปี โดยทั่วไปแล้ววัสดุที่ใช้ในการผลิตมีดผลิตมาจากเหล็กเส้น เหล็กแผ่น หรือการถลุงจากแร่เหล็ก [1] แต่เมื่อเทคโนโลยีเปลี่ยนไป การพัฒนาด้านวัสดุมากขึ้น วัสดุในการผลิตมีด จึงไม่จำเป็นต้องทำการถลุงเอง มีการนำเหล็กเส้นหรือเหล็กแผ่นมาทำการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมมากขึ้น มีดในแต่ละพื้นที่ตามภูมิปัญญาท้องถิ่นมีการใช้วัสดุและวิธีแตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่น มีดดามัสกัสของประเทศซีเรีย [2] เป็นมีดที่มีการนำเหล็กมาซ้อนกันหลายชั้นให้ความร้อนเพื่อให้เหล็กแต่ละชั้นติดกัน มีดที่ได้มีพื้นผิวและลวดลายที่สวยงามความแข็งแกร่ง ความเหนียวเป็นพิเศษ [3] มีดเหล็กน้ำพี้ จังหวัดอุตรดิตถ์ มีการผลิตจากแร่เหล็ก [4,5] มีดดาบของญี่ปุ่น (Nihon Token) ของประเทศญี่ปุ่น มีกรรมวิธีการผลิตที่ต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน [6] เป็นต้น

แต่ข้อจำกัดของการตีมีดโดยภูมิปัญญาท้องถิ่น มีข้อจำกัดด้านความรู้ทางโลหะวิทยา จึงส่งผลทำให้มีดที่ผลิตออกมามีคุณภาพต่ำ [7] จึงพัฒนากระบวนการผลิตมีดหลายวิธีด้วยกัน เช่น การพัฒนาเครื่องเจียรไรคมมีดแทนการใช้มือเจียรไนเพื่อควบคุมความหนาของใบมีดสม่ำเสมอ ส่งผลให้การชุบแข็งมีดได้ความแข็งได้แม่นยำมากขึ้น [8],การนำกระดูกวัวป่นผสมกับผงถ่านไม้ เพื่อช่วยเร่งปฏิกริยาการแพ็คคาร์เบอไรซิ่งในมีด สามารถเพิ่มความแข็งของมีดได้ เมื่อใช้เวลาแพ็คคาร์เบอไรซิ่งเพิ่มขึ้น [9] การชุบแข็งเหล็กเกรด AISI 5160 [10] และ เหล็ก AISI 5155 [11] ในสารชุบต่าง ๆ ได้ โครงสร้างมาร์เทนไซต์ และโครงสร้างมาร์เทนไซต์ชนิดแผ่น จะต้องทำให้มีดมีโครงสร้างเป็นเฟสออสเทนไนต์ก่อนการชุบแข็ง จากนั้นจึงทำการชุบแข็ง โดยทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว จะทำให้เปลี่ยนเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ จะทำให้มีดมีค่าความแข็งที่สูง [12] แต่มีดที่ได้จะมีคุณสมบัติคือมีความแข็งสูง อาจส่งผลให้มีดมีการแตกร้าวได้ เช่นเดียวกับ การชุบแข็งเหล็กกล้าเกรด 6150 ชิ้นงานที่มีความหนาน้อยจะมีความไวต่อการแตกร้าวขณะชุบแข็ง [13]

การผลิตมีดม่วงหวานมีกระบวนการผลิต โดยเริ่มจากการนำเหล็กเหน็บรถยนต์เผาให้ร้อนด้วยเตาถ่าน จากนั้นจึงตีขึ้นรูปมีด ตะไบตกแต่งประกอบด้ามมีด ชุบแข็งมีดด้วยน้ำ ขั้นตอนสุดท้ายคือการลับคม ปัจจุบัน ‘มีดม่วงหวาน’ เป็นสินค้าที่ได้รับความนิยมในเขตจังหวัดขอนแก่นและพื้นที่ใกล้เคียง และเป็นสินค้าจากภูมิปัญญาทางวัฒนธรรม [14] ที่สร้างรายได้ให้กับท้องถิ่นได้เป็นอย่างดีจนได้รับคัดเลือกเป็นผลิตภัณฑ์ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ของจังหวัดขอนแก่น แต่มีดม่วงหวานยังไม่ได้ผ่านการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

เพื่อเป็นหลักประกันในคุณภาพและความมั่นใจให้กับผู้บริโภค คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีดม่วงหวานให้ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลิตภัณฑ์มีด มผช.82/2546 [15] โดยการนำความรู้ด้านโลหะวิทยามาปรับปรุงให้สอดคล้องกับภูมิปัญญาท้องถิ่นเดิม หากมีดม่วงหวานได้การรับรองเป็นสินค้าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและแสดงเครื่องหมายรับรองคุณภาพสินค้าแล้ว จะเป็นการส่งเสริมให้ชุมชนมีภูมิใจในภูมิปัญญาการตีมีดแบบของตนและเพิ่มศักยภาพสินค้าสู่การเป็นผู้ประกอบการที่มีขีดความสามารถการแข่งขันในเชิงพานิชย์และรายได้ที่มั่นคงแก่คนในชุมชนต่อไป

2. วิธีการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ มีขอบเขตและขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 ขอบเขตของขั้นตอนและวัสดุ

ในการวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ ทำการวิเคราะห์จากขั้นตอนและวัสดุที่ใช้ในการผลิตมีดม่วงหวานในขั้นตอนปกติ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิต

2.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1) ศึกษากรรมวิธีการตีมีดม่วงหวานตามภูมิปัญญาท้องถิ่นของกลุ่มตีมีดม่วงหวาน โดยสุ่มตัวอย่างมีดจากมีดรุ่นเดียวกัน และวิเคราะห์มีดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลิตภัณฑ์มีด (มผช.82/2548)

2) หาสาเหตุและหาแนวทางในการแก้ไข หากมีดม่วงหวานไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

3) วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโตมิเตอร์ เพื่อให้ทราบปริมาณธาตุผสมต่าง ๆ ของมีด ,ทดสอบค่าความแข็งของมีดแบบร็อคเวลสเกลซี และวิเคราะห์โครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4) สรุปผลการทดลอง

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 กรรมวิธีการตีมีดม่วงหวานตามภูมิปัญญาท้องถิ่นของกลุ่มตีมีดม่วงหวาน

การตีมีดของกลุ่มตีมีดม่วงหวาน มีการถ่ายทอดความรู้มาจากบรรพบุรุษ ในการผลิตมีดม่วงหวานมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การขึ้นรูปมีด ช่างจะนำเหล็กแหนบรถยนต์ ตัดให้ได้ขนาดความกว้าง 55 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 250-300 มิลลิเมตรและความหนา 6 มิลลิเมตร จากนั้นช่างตีขึ้นรูป (Forging) โดยนำเหล็กมาทำการเผาไฟในเตาดินเหนียวผสมแกลบข้าว ใช้เชื้อเพลิงที่ทำจากถ่านไม้และเพิ่มอุณหภูมิด้วยการเป่าลม เมื่อเหล็กร้อนแดงแล้ว ช่างจะตีเหล็กให้แบนด้วยเครื่องตีเหล็กและมีรูปทรงของมีดตามที่ต้องการ การแบนมีดค้อนปอนด์โดยเริ่มจากส่วนที่เป็นด้ามหรือกั้นมีดก่อน แล้วจึงตีส่วนที่เป็นตัวมีด

การทาบ้องหรือเดือย (Handle) ด้ามมีดแบบเดือย ช่างจะตีด้ามมีดให้มีลักษณะเรียวปลายแหลมเพื่อนำไปเสียบฝังในด้ามไม้ ส่วนการทำแบบบ้อง คือ ช่างจะตีเหล็กส่วนด้ามของมีดให้เป็นแผ่นบางแล้วตีให้ปลายทั้ง 2 ด้านโค้งเข้าหากัน

การตีแต่งมีดและประกอบด้ามมีด ช่างจะทำการตีย้ำคมมีดให้บางและตรง ตะไบผิวมีดให้เรียบ ช่างจะทำการตกแต่งทำลวดลายมีดและมีสัญลักษณ์ “ม่วงหวาน” ไว้บริเวณหัวมีด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สัญลักษณ์บนมีดม่วงหวาน

การชุบคมมีด ช่างตีมีดบ้านม่วงหวานจะใช้วิธีเทียบสี โดยเผาเหล็กให้เป็นสีแดงเฉพาะส่วนคมของมีดเท่านั้น จากนั้นช่างจะนำชุบแข็งด้วยน้ำลึก ใช้เวลา 2-3 วินาที ดังรูปที่ 2 จากนั้นช่างจะยกมีดรอให้คมมีดจะเปลี่ยนเป็นสีเทาเขียว ช่างให้จุ่มมีดทั้งเล่มลงในอ่างน้ำอีกครั้งและแช่ไว้จนกว่ามีดจะเย็นตัว



รูปที่ 2 การชุบแข็งมีดด้วยน้ำ

การลับคมมีด เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตมีดช่างจะทำการลับคมด้วยหินลับมีดและทดสอบความคมของมีด จากนั้นจะชโลมน้ำมันบริเวณมีดให้ทั่วเพื่อป้องกันสนิมก่อนนำออกจำหน่าย

3.2 ผลการวิเคราะห์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

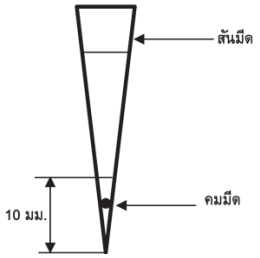
ผลการเปรียบเทียบการประเมินมีดม่วงหวานกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลิตภัณฑ์มีด (มผช.82/2548) จากผู้เชี่ยวชาญด้านการตรวจวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ชุมชน จำนวน 3 ท่าน พบว่า

1) **ลักษณะทั่วไปของมีด** มีดต้องมีรูปแบบ รูปทรงที่เหมาะสม ประณีต เรียบร้อย แข็งแรง เหมาะสมกับการใช้งาน ได้ค่าเฉลี่ย 3.45 คะแนน ผลการวิเคราะห์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

2) **การประกอบด้วยวัสดุอื่น** ได้ค่าเฉลี่ย 3.45 คะแนน ผลการวิเคราะห์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

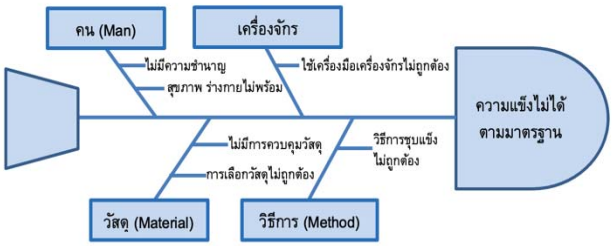
3) **การขัดเงา** มีดต้องมีความเงาสม่ำเสมอ พบว่า ได้ค่าเฉลี่ย 3.19 คะแนน ผลการวิเคราะห์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

4) **ค่าความแข็งของมีด** มีดที่ผลิตจากเหล็กกล้าจะต้องมีค่าความแข็งไม่น้อยกว่า 48 HRC คณะผู้วิจัยจึงทำการทดสอบค่าความแข็งของมีดม่วงหวานด้วยการทดสอบแบบร็อคเวลสเกลซี (Rockwell scale C) มีการเตรียมชิ้นงานโดยการตัดมีดม่วงหวานด้วยเครื่องไวร์คัท มีความกว้าง 25 มิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการทดสอบบริเวณคมมีดระยะจากปลายคมมีด 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 บริเวณทดสอบค่าความแข็งและทดสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

ผลการทดสอบ พบว่า มีดม่วงหวานบริเวณคมมีดก่อนการปรับปรุงกระบวนการ จากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 29 ตัวอย่าง พบว่า มีดม่วงหวานมีค่าความแข็งของ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 23 ตัวอย่าง มีค่าความแข็งเฉลี่ย 50.103 HRC และค่าความแข็งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 6 เล่มหรือร้อยละ 20.69 คณะวิจัยจึงนำมีดที่ค่าความแข็งที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมาทำวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุ โดยวิเคราะห์ทางผังแสดงเหตุและผล (Cause&EffectDiagram) ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4 ผังแสดงเหตุและผลสาเหตุของปัญหาความแข็งของมีดไม่ได้ตามมาตรฐาน

จากรูปที่ 4 สามารถค้นหาสาเหตุผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัญหาของความแข็งของมีดไม่ได้ตามมาตรฐาน ที่เกิดจาก 4M คือ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการ ทั้งนี้สาเหตุที่ค้นพบ ในกระบวนการผลิตมีด ดังนี้

คน (Man) จากการศึกษาพบว่า ช่างตีมีดส่วนเป็นผู้สูงอายุ บางส่วนเป็นช่างตีมีดฝึกหัด ปัญหานี้อาจจะเป็นสาเหตุทำให้มีดมีความแข็งไม่ได้ตามมาตรฐานได้ แนวทางป้องกัน ควรมีการอบรมให้ช่างตีมีดที่เข้ามาฝึก ได้รับความรู้เกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุ กระบวนการชุบแข็ง วิธีการใช้เครื่องมือเครื่องจักรได้อย่างถูกต้อง

เครื่องจักร (Machine) จากการศึกษาพบว่า เครื่องจักรที่ใช้งานผลิตสามารถใช้งานได้ดี ได้แก่ เครื่องเจียระไน เครื่องตีเหล็ก เป็นต้น

วัสดุ (Material) จากการศึกษาพบว่า ไม่มีการควบคุมคุณภาพวัสดุหรืออาจจะทำให้เลือกวัสดุไม่ถูกต้อง มาใช้ในการผลิตมีด คณะผู้วิจัยจึงเริ่มต้นจากการวิเคราะห์จากวัสดุในการนำมาผลิตมีด เพื่อค้นหาวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตมีดว่า ช่างตีมีดได้นำวัสดุที่มาผลิตมีดได้เหมาะสม

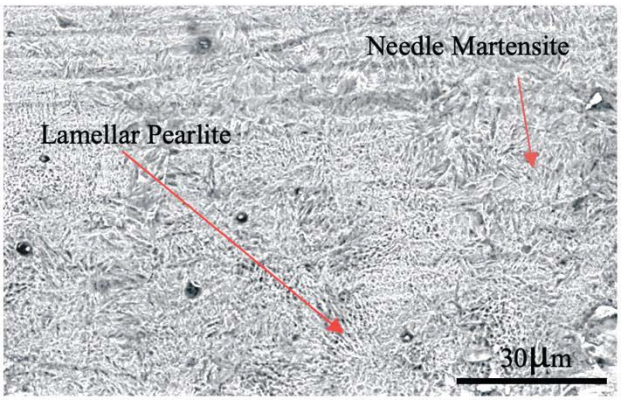
และถูกต้องหรือไม่ โดยนำมีดที่มีความแข็งไม่ผ่านมาตรฐานทั้ง 6 เล่ม มาทำการส่วนผสมทางเคมีของวัสดุเปรียบเทียบกับมีดที่มีความแข็งที่ผ่านมาตรฐาน ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ (Spectrometer) แล้วหาค่าเฉลี่ย จากการทดสอบพบว่า มีดม่วงหวานเล่มที่ไม่ผ่านมาตรฐาน ผลิตมาจากเหล็กที่มีส่วนผสมทางเคมีเหมือนกันกับมีดที่มีระดับความแข็งที่ผ่านมาตรฐาน รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของมีดม่วงหวานกับเหล็กกล้า เกรด AISI 5160

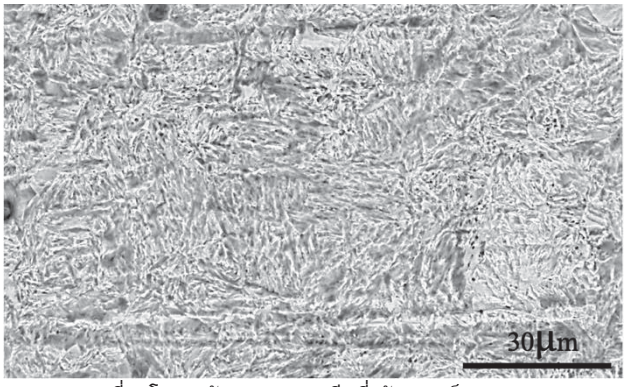
วัสดุ	มีดม่วงหวาน	AISI 5160
คาร์บอน (C)	0.60	0.56-064
ซิลิคอน (Si)	0.24	≤ 0.15-0.3
แมงกานีส(Mn)	0.86	0.75-1
โครเมียม(Cr)	0.86	0.7-0.9
ฟอสฟอรัส (P)	0.015	≤ 0.030
กำมะถัน (S)	0.027	≤ 0.04

จากตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของมีดม่วงหวาน เปรียบเทียบกับเหล็กกล้า เกรด AISI 5160 แสดงให้เห็นว่า มีดม่วงหวานผลิตจากเหล็กที่มีส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกันกับเหล็กกล้า เกรด AISI 5160 [16], [10] ซึ่งเป็นเหล็กกลุ่มเหล็กกล้าโครเมียม ที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตสปริง เพลาส่งกำลัง สามารถนำมาชุบแข็งได้ดี จึงเหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตมีด จากการทดสอบวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีนี้ จึงสรุปได้ว่า มีดที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ได้ผลิตจากวัสดุที่ถูกต้อง จึงจำเป็นต้องหาสาเหตุของมีดที่ไม่ผ่านมาตรฐาน โดยอาจจะมีสาเหตุที่เกิดจากสาเหตุอื่น

วิธีการ (Method) วิธีการชุบแข็งมีดเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการชุบแข็งมีด หากช่างตีมีดมีการปฏิบัติไม่ถูกต้อง จะทำให้มีดมีโครงสร้างและความแข็งไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน คณะผู้วิจัยจึงนำมีดที่ไม่ผ่านมาตรฐานเข้าทดสอบทางโลหะวิทยาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM) ยี่ห้อ Phenom รุ่น XL G2 Desktop SEM โดยเตรียมชิ้นงานตัดด้วยเครื่องไวร์คัท ความกว้าง 10 มิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการขัดชิ้นงานให้ละเอียดด้วยกระดาษทรายที่ทำจากผงซิลิคอนคาร์ไบด์ โดยเริ่มจากการขัดกระดาษทรายเบอร์80 ถึง 1200 ตามลำดับ ในขณะขัดต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรก จากนั้นจึงทำการขัดด้วยผ้าสักหลาดและใช้ผงอะลูมิน่าขนาด 3 ไมครอนผสมน้ำ เพื่อทำการขัดละเอียดบนจานหมุนและล้างทำความสะอาดด้วยน้ำและแอลกอฮอล์ตามลำดับ ทำการกัดผิวหน้าชิ้นงานด้วยสารละลาย 5% ไนตรัล ตามมาตรฐาน ASTM E407-99 [17] โดยการใช้สำลีทาบริเวณชิ้นงานเป็นเวลา 5 วินาที ล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์เป่าให้แห้งด้วยลมร้อน จากนั้นจึงทำการทดสอบโครงสร้างจุลภาคตามตำแหน่งต่างๆ เพื่อบันทึกผลและวิเคราะห์การทดลอง



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคบริเวณคมมีดที่ไม่ได้มาตรฐาน

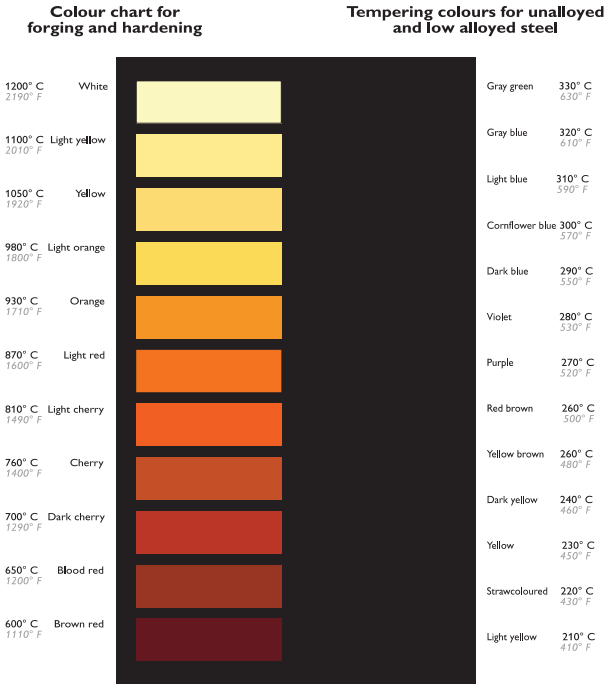


รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคคมมีดที่เข้าเกณฑ์มาตรฐาน

รูปที่ 5 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า บริเวณคมมีดพบ โครงสร้างเพิลไลต์แผ่นบางสลับแผ่นบาง เส้นสีดำ (Lamellar Pearlite) ,โครงสร้างเฟอร์ไรต์สีขาว(Ferrite) [18] และโครงสร้างมาร์เทนไซต์ชนิดเข็ม (Needle Martensite) จากที่มีโครงสร้างที่หลายชนิด ส่งผลให้มีดมีความแข็งไม่ถึงตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งสาเหตุอาจมาจากกระบวนการชุบแข็ง ที่ไม่ได้ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ถูกต้อง เช่น ความร้อนหรือเวลาในการชุบแข็งไม่ถูกต้อง ทำให้ส่งผลต่อค่าความแข็งของโลหะ [19] และทำให้ค่าความแข็งของมีดไม่สม่ำเสมอ

คณะวิจัยจึงได้นำปัญหาดังกล่าวไปนำเสนอต่อกลุ่มตีมีดม่วงหวาน เพื่อดำเนินการแก้ปัญหาและกำหนดวิธีปฏิบัติในการชุบแข็งให้ถูกต้อง โดยมีหัวข้อในการถ่ายทอดความรู้ ได้แก่ การเลือกวัสดุในการผลิตมีด อุณหภูมิและเวลาในการผลิตมีด เทคนิคการชุบแข็งมีด เทคนิคการอบคืนไฟ เทคนิคการขัดผิวเพื่อรักษาคุณภาพของมีด เป็นต้น ซึ่งแต่ละหัวข้อจำเป็นต้องใช้ความรู้ด้านวิศวกรรม

เนื่องจากกลุ่มตีมีดม่วงหวาน มีช่างที่มีประสบการณ์และช่างฝึกหัด เพื่อจะทำให้การถ่ายทอดความรู้ให้ช่างตีมีดเข้าใจง่าย รวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับภูมิปัญญาท้องถิ่นของกลุ่ม คณะผู้วิจัยจึงนำแผนภาพอุณหภูมิของสีเหล็ก ดังรูปที่ 7 มาใช้เป็นเครื่องมือในการเพื่อกำหนดอุณหภูมิในการชุบแข็งมีด ให้มีสีเหลืองสว่างที่อุณหภูมิประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส

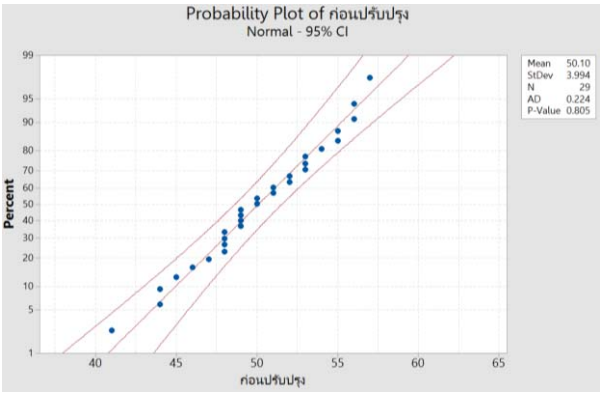


รูปที่ 7 แผนภาพอุณหภูมิของสีเหล็ก [20]

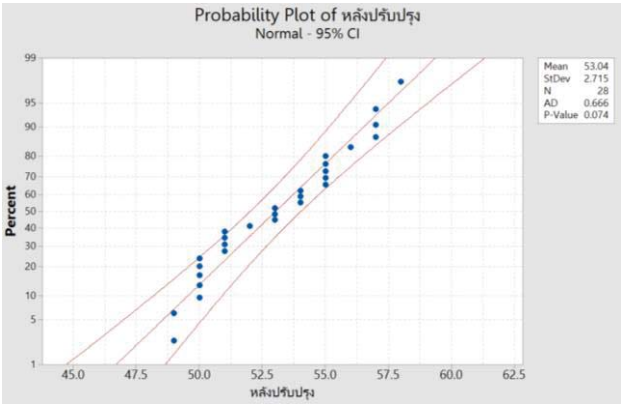
หลังจากที่ช่างตีมีดได้นำแผนภาพอุณหภูมิสีเหล็กมาใช้ปรับปรุงการผลิตมีดตามเทคนิคและวิธีการตามหลักการวิศวกรรมที่ถูกต้องแล้ว จึงนำมีดที่ผ่านการปรับปรุงมาทดสอบค่าความแข็งและโครงสร้างจุลภาคอีกครั้ง

จากการทดสอบความแข็งพบว่า มีดมีความความแข็งโดยเฉลี่ย 53.036 HRC และพบโครงสร้างมาร์เทนไซต์ชนิดเข็ม [21] กระจายทั่วบริเวณคมมีด ซึ่งส่งผลทำให้มีดม่วงหวานมีความแข็งผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกเล่ม ดังรูปที่ 6

หลังจากนั้นจึงนำค่าความแข็งของมีดก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการมาวิเคราะห์สมมุติฐานทางสถิติ สำหรับค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มอิสระต่อกัน (t-test for Independent Sample) โดยมีการทดสอบ ข้อตกลงเบื้องต้นของการแจกแจงข้อมูลเป็นปกติ (Test of Normality) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ดังรูปที่ 8



(ก) ก่อนการปรับปรุง



(ข) หลังการปรับปรุง

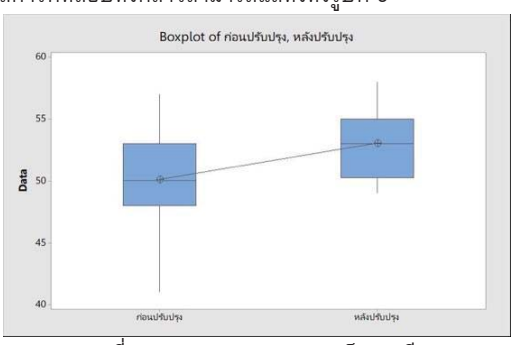
รูปที่ 8 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล

ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลสามารถทดสอบความแตกต่างของผลการวิจัย โดยกำหนดสมมติฐานการทดลอง ดังนี้

$H_0: m_1 = m_2$

$H_1: m_1 \neq m_2$

ผลการทดสอบดังกล่าวสามารถแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการทดสอบความแข็งของมีด

จากรูปที่ 9 พบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น จึงปฏิเสธ H_0 เพื่อยอมรับ H_1 นั่นคือ กระบวนการผลิตมีดแบบใหม่ทำให้ความแข็งของมีดก่อนและหลังการวิจัยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าความแข็งของมีดเพิ่มขึ้นหลังจากช่างได้ปฏิบัติตามขั้นตอนและวิธีการอย่างถูกต้อง จากเดิมค่าความแข็งของมีดเฉลี่ย 50.103 HRC ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.994 เพิ่มขึ้นเป็น 53.036 HRC ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.715 แสดงว่ากลุ่มตีมีดมีความรู้ความเข้าใจในการผลิตมีดให้ได้มาตรฐานและพร้อมที่จะนำมีดม่วงหวานเข้าสู่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนต่อไป

5) การใช้งาน ต้องสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน จากการทดลองจากผู้เชี่ยวชาญ ผลการวิเคราะห์ พบว่า มีดม่วงหวานใช้งานได้ ตามเกณฑ์มาตรฐาน

4. สรุป

จากการวิเคราะห์ผลการวิจัย สรุปและอภิปรายผลดังนี้

1.การผลิตมีดของกลุ่มตีมีดม่วงหวานมีกระบวนการผลิตตามภูมิปัญญาท้องถิ่น เป็นสินค้าที่ดี มีคุณภาพ แต่ยังไม่ได้รับการรับรองเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์มีด

2.ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบมีดม่วงหวานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์มีด (มผช.82/2546) จากผู้เชี่ยวชาญ พบว่ามีดม่วงหวานผ่านทุกข้อกำหนด ยกเว้นค่าความแข็งของมีด มีดบางส่วนมีระดับความแข็งต่ำกว่ามาตรฐาน คิดเป็นร้อยละ 20.69 ที่ระดับค่าความแข็งเฉลี่ย 50.103 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 3.994

3.หลังจากกำหนดให้อุณหภูมิของมีดก่อนการชุบแข็งโดยให้มีดมีสีเหลืองสว่างและชุบแข็งในน้ำอย่างรวดเร็ว เมื่อกลุ่มตีมีดม่วงหวานได้ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ถูกต้องแล้ว ทำให้ค่าความแข็งของมีดผ่านมาตรฐานทั้งหมด โดยมีค่าเฉลี่ยของระดับความแข็งเท่ากับ 53.036 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 2.715

4.เพื่อให้มีดมีความแข็งที่สม่ำเสมอ ต้องอาศัยมีความชำนาญและทักษะของช่าง และควรมีการนำเครื่องมือเครื่องจักรเข้ามาช่วยการผลิต เช่น เครื่องขัดละเอียดแบบสายพาน หรือมีการพัฒนาการชุบแข็งมีดม่วงหวานด้วยสารชุบอื่นหรือการควบคุมอุณหภูมิในการชุบแข็งในลักษณะอื่น จะทำให้การชุบแข็งมีประสิทธิภาพและคุณภาพมากยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2562 ขอขอบพระคุณ กลุ่มตีมีดม่วงหวาน บ้านม่วงหวาน ตำบลม่วงหวาน อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น เทศบาลตำบลม่วงหวาน สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดขอนแก่น ผู้บริหารคณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้คำแนะนำปรึกษา และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์จนงานวิจัยครั้งนี้สมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] J D Verhoeven 2001 The mystery of damascus blades Scientific American vol 284 (1) pp 74-79

[2] Adrián Židzik , Zuzana Mital'ová, František Botko, Vladimír Simkulet , Dominika Botková , Dušan Mital' Evaluation of Mechanical Properties of Damascus Steel, TEM Journal. Volume 10, Issue 4, Pages 1616-1620

[3]. Taleff, E. M., Bramfitt, B. L., Syn, C. K., Lesuer, D. R., Wadsworth, J., & Sherby, O. D. (2001). Processing, structure, and properties of a rolled, ultrahigh-carbon steel plate exhibiting a damask pattern. Materials Characterization, 46(1), 11-18

[4] W. Suwatchai and P. Adul, "A comparison of the engineering properties of Nam Phi steel," Indus. Tech. Lampang Rajabhat Univ. J., vol. 1, pp. 92-105, 2015

[5] Adul Phuk-in," Development of Nam Phi Iron Ore smelter from local knowledge to find engineering properties" Asia-Pacific Journal of Science and Technology: Volume: 23. Issue: 03. Article ID.: APST-23-03-07.

[6] M.R.Notis, "The history of the metallographic study of the japan sword,"Journal of Material Characterization, vol. 45, no. 4-5, pp. 253-258, 2000

[7] Balkhaya1*, M P Anhar1 , Suwarno2 , M S M Sani3 Investigation of knife quality by using forging and flame hardening methods. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 506 (2019)

[8] Sittipong U. ,Nalin P. "Process Improvement of Big Knife Case study : Ban Nathonthong Community, Nakhon Phanom province " IE Network 2014 ,30-31 October 2557 ,Samutprakarn

[9] Narongsak Thammachot, Sombut Noyming, Saksit Srisuk, Wanna Homjabok, Amornsak Mayai, Jarupong Banthao, Optimization of Carburizing Temperature and Time on Mechanical Properties of Hardening the Big Knives in Pack Carburizing Process by Using Cow Bone as an Energizer, J Sci Technol MSU, Vol 39. No 3, May-June 2020

[10] P.Apichai,"Effect of hardening and tempering on microstructure and mechanical properties of steel grade AISI 5160," SNRU Journal of Science and Technology, vol. 9, no. 3, pp. 574-582, 2017.

[11] Min Shan HTUN, Si Thu KYAW and Kay Thi LWIN, Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Spring Steel , Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.18 No.2 pp.191-197, 2008

[12] Satirajinda, M. (2000). Iron & Steel Heat Treatment Engineering (7th Edition). Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King's Patronage.

[13] Lee, M.K., Kim, G.H., Kim, K.H. and Kim, W.W. (2004). "Control of Surface Hardnesses, Hardening Depths, and Residual Stresses of Low Carbon 12Cr Steel by Flame Hardening", Surface and Coatings Technology. 184, 239–246.

[14] Office of the National Economic and Social Development Council, "The Twelfth National Economic and Social Development Plan 12 (2017-2021)," 2017. [Online]. Available: https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=6422. [Accessed 25 August 2021].

[15] Thai Industrial Standards Institute , "Ministry of Industry ,Community Product Standard, Knife Products No.82/2003," 2003. [Online]. Available: http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps82_46.pdf. [Accessed 25 August 2021].

[16] P. Apichai, "Effects of quenchants on microstructures and mechanical properties of steel grade AISI 5160," Journal of Metals, Materials and Minerals, vol. 30, no. 3, pp. 15-23, 2020.

[17] ASTM International,Standrad Practice for Microecthing Metal and Alloys E407-99,Annual Book of ASTM Standard,Volume 03-01,1996 pp.1-21

[18] Atlas of Microstructures of Industrial Alloys. In Metals Handbook, 8th ed.; ASM: Metals park, OH, USA, 1961–1972; Volume 7, pp. 39-40. A.

[19] A.O'Brien and C. Guzman, Welding Handbook Volume 4 Materials and Applications, part 1 (Ninth Edition), vol. 4, Miami: American Welding Society, 2011, pp. 1-55.

[20] Uddeholm, "Temperature guide," 2021. [Online]. Available: https://www.uddeholm.com/files/ Temperature _guide.pdf. [Accessed 25 August 2021].

[21] E. K. H. Salje and Y. Ishibashi, "Mesoscopic Structures in Ferroelastic Crystals: Needle Twins and Right-Angled Domains," Journal of Physics: Condensed Matter, vol. 8, no. 44, p. 8477, 1996.

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการขัดผิวเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางด้วยเคมีไฟฟ้าสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

A Study of Factors Affecting Electrolytic Polishing Process of Medium Carbon Steel for Microstructure Characterization

กฤษดา ประสพชัยชนะ[1] จันทร์ฑา นาควชิรตระกูล[1*] โรสมารินทร์ สุขเกษม[1] สุนิสา คำสุข[1]
[1]ภาควิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: chantran@buu.ac.th*

Kritsada Prasopchaichana[1], Chantra Nalvacjoratrakul [1*], Rosemarin Sukhasem[1], Sunisa Khamsuk[1]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: chantran@buu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง การศึกษาเริ่มต้นจากการออกแบบการทดลอง 2^5 แฟคทอเรียล แบบทดลองซ้ำครั้งเดียว เพื่อคัดกรองปัจจัย โดยทำการศึกษา 5 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ อุณหภูมิ เวลา ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และความเร็วการกวนสารเคมี ผลการทดลองพบว่า ทุกปัจจัยมีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญและมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง หลังจากนั้นออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลางเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับค่าความหยาบผิวที่น้อยที่สุด ผลการทดสอบกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 10% อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 120 วินาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.71 A/cm^2 และไม่มีการกวนสารเคมี จากการนำระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปใช้ในกระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า พบว่าค่าความหยาบผิว 0.08928 µm ส่งผลให้สามารถเห็นโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางได้อย่างชัดเจน

คาสาคัญ: การออกแบบการทดลอง, การขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า, ค่าความหยาบผิว, โครงสร้างจุลภาค

Abstract

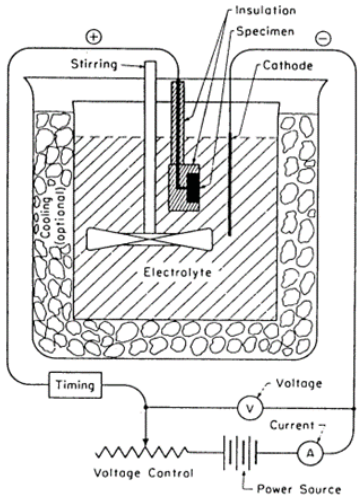
The objective of this research is to study the factors that affect the surface roughness of metallographic sample which prepared by electrolytic polishing process. The experiment was started with single replicate 2^5 factorial design. Five factors, namely electrolyte concentration, temperature, time, current density, and stirring speed were selected in the experimental design. The experimental results indicated that all factors were significant. Then the experiment was repeatedly designed by central composite design to determine the optimal factors for minimizing the surface roughness. The optimal factors were the electrolyte concentration of 10%, temperature of 30 degrees Celsius, time of 120 second, current density of 0.71 A/cm^2 and stirring speed of 0 rpm. After the optimal factors were applied in electrolytic polishing process, the minimum surface roughness of 0.08928 µm could produce a clearly visible microstructure of medium carbon steel.

Keywords: Design of Experiment, Electrolytic Polishing, Surface Roughness, Microstructure

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ได้ดำเนินการสอนภาคปฏิบัติเกี่ยวกับการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด S45C ซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ งานชิ้นส่วนเครื่องจักรกลงานแม่พิมพ์ รวมทั้งชิ้นส่วนยานยนต์ [1] โดยการศึกษาโครงสร้างจุลภาคนั้นต้องเตรียมผิวให้มีความเรียบก่อน เริ่มจากการขัดผิวโลหะด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120, 240, 400, 600, 800 และ 1000 ตามลำดับ จากนั้นทำการขัดเงาด้วยผงอะลูมิน่าขนาด 5, 0.3 และ 0.05 ไมครอน ตามลำดับ เพื่อให้มีความเรียบสูงและนำไปกัดกรด ซึ่งเห็นได้ว่าการเตรียมผิวโลหะสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคมีหลายขั้นตอน อีกทั้งต้องใช้ทักษะความชำนาญในการขัดผิวเพื่อให้ได้ระนาบที่เท่ากันและชิ้นงานไม่มีรอยขัดตกค้าง ส่งผลให้ใช้เวลาในปฏิบัติการทดลองนี้ค่อนข้างนาน ซึ่งไม่สอดคล้องกับสถานการณ์การระบาดของไวรัสโคโรน่า ที่ทางมหาวิทยาลัยบูรพามีนโยบายลดเวลาการเรียนการสอน ณ ที่ตั้ง (On-site) ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้ามาทดแทนขั้นตอนการขัดผิวโลหะด้วยผงอะลูมิน่าและการกัดกรด [2] เพื่อลดเวลาในการเรียนภาคปฏิบัติ แต่ยังคงไว้ซึ่งทักษะในการปฏิบัติใกล้เคียงรูปแบบเดิม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษากระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า เพื่อลดระยะเวลาและขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง โดยทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า เพื่อให้ได้ความหยาบผิวน้อยที่สุดซึ่งส่งผลให้สามารถเห็นโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 1 อุปกรณ์หลักในกระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า [3]

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 การศึกษากระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า

กระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้าประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังรูปที่ 1 คือ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Power Supply) ภาชนะบรรจุ (Bath) ขั้วแอโนด (Anode) ขั้วแคโทด (Cathode) สารละลายเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และอุปกรณ์การกวนสาร (Stirring) โดยชิ้นงานโลหะที่ถูกขัดผิวนั้นเป็นขั้วแอโนด ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนในระบบซึ่งทำให้สูญเสียเนื้อโลหะ ส่งผลให้ผิวเรียบขึ้นหลังการขัดผิว ส่วนขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชั่นทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนในระบบโดยส่วนมากเลือกใช้โลหะที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐาน (Standard Electromotive Force)สูง ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว นิกเกิล ฯลฯ องค์ประกอบสุดท้ายคือ สารละลายเล็กโทรไลต์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดหนืด (Viscous Acid) เช่น กรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น

2.2 กำหนดระดับปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองที่เลือกทำการศึกษาในการทดลองนี้ คือ ค่าความหยาบผิว (R_a) ของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เนื่องจากการทดลองเบื้องต้น ได้นำชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่ผ่านการขัดผิวด้วยเคมีไฟฟ้าไปส่องดูโครงสร้างจุลภาคและวัดค่าความหยาบผิว (R_a) จากนั้นนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกัน ดังตารางที่ 1 พบว่าชิ้นงานที่ 1 มีความหยาบผิวที่น้อย ภาพโครงสร้างจุลภาคที่ได้ค่อนข้างคมชัด ไม่มีเส้นรอยขัดจากกระบวนการขัดเชิงกล ชิ้นงานที่ 2 มีค่าความหยาบเพิ่มขึ้น ภาพโครงสร้างจุลภาคยังมีเส้นรอยขัดเหลืออยู่เล็กน้อย และชิ้นงานที่ 3 มีค่าความหยาบผิวที่มาก ภาพโครงสร้างจุลภาคมีรอยจุดสีดำ ซึ่งเกิดจากการกัดกร่อนที่มากเกินไปทำให้ชิ้นงานเกิดรอยพรุน ดังนั้นการทดลองเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าค่าความหยาบผิวแปรผกผันกับความคมชัดของโครงสร้างจุลภาค ซึ่งสรุปได้ว่าการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของโลหะนั้น ต้องการค่าความหยาบผิวที่น้อยที่สุด

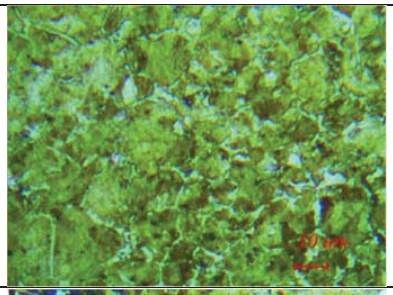
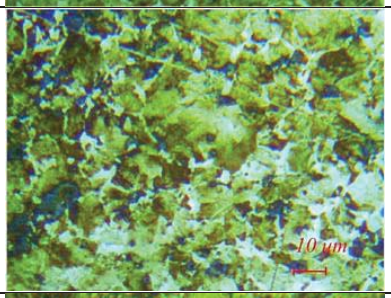
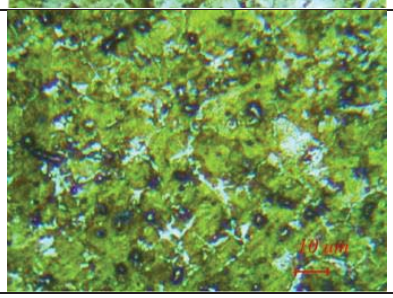
ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวในกระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้าแต่ถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ในการทดลอง มีดังนี้

1. ชนิดและรูปร่างของชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองทุกชิ้นทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ชิ้นงานทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร โดยนำมาตัดที่ความหนา 5 มิลลิเมตร เท่ากันทุกชิ้น ส่งผลให้มีคุณสมบัติที่เหมือนกันเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ เพราะมีผลในการขัดผิวที่ไม่แตกต่างกัน

2. ความหยาบผิวของชิ้นงานก่อนขัดผิวด้วยเคมีไฟฟ้า มีการขัดผิวชิ้นงานทุกชิ้นด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120, 240, 400, 600, 800 และ 1000 ตามลำดับ มีค่าความหยาบ (R_a) ก่อนขัดอยู่ที่ประมาณ 0.34 ± 0.05 µm ส่งผลให้มีคุณสมบัติที่เหมือนกันเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้

3. ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ในการทดลองเบื้องต้นได้ทดลองให้มีระยะห่าง 1 ถึง 5 เซนติเมตร เพราะบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำให้มีความจำกัดด้านระยะห่าง เมื่อทำการทดลองทุกระยะห่างแล้วพบว่าที่ 3 เซนติเมตร เป็นระยะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเมื่อระยะห่างที่มากกว่า จะทำให้ชิ้นงานไม่เกิดปฏิกิริยา และถ้าระยะห่างน้อยกว่า จะทำให้ชิ้นงานเกิดปฏิกิริยาที่มากเกินไปจนทำให้ชิ้นงานเป็นรูพรุนได้ จึงกำหนดให้ระยะห่าง 3 เซนติเมตร เท่ากันในทุกการทดลอง

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคกับค่าความหยาบผิว (R_a)

ชิ้นที่	โครงสร้างจุลภาค กำลังขยาย 200เท่า	ค่าความหยาบผิว R_a (μm)
1		0.126
2		0.252
3		0.415

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวในกระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้าและถูกกำหนดระดับของปัจจัยเพื่อทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัย มีดังนี้

1. ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ จากการศึกษา ASTM E1558-99 เรื่อง Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens [3] ได้แนะนำสารอิเล็กโทรไลต์ที่มีส่วนผสมระหว่าง เอทานอล 2-บิวทอกซีเอทานอลและกรดเปอร์คลอริกสำหรับการขัดผิวเหล็กกล้าด้วยเคมีไฟฟ้า โดยกำหนดความเข้มข้นของกรดเปอร์คลอริกระดับต่ำที่ 10% และระดับสูงที่ 30% โดยปริมาตร เนื่องจากถ้าความเข้มข้นของกรดเปอร์คลอริกสูงมากเกินไปอาจทำให้เกิดปฏิกิริยารุนแรงส่งผลให้ชิ้นงานถูกกัดกร่อนมากเกินไป [3,4]

2. อุณหภูมิ ปรับค่าระดับต่ำที่ 30 องศาเซลเซียส และระดับสูงที่ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงเกินไปจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้อย่างรวดเร็ว แต่ทำให้เกิดปฏิกิริยารุนแรงในขณะทำการทดลอง ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ทำการทดลองได้ และหากใช้ค่าอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป จะทำให้เกิดปฏิกิริยาช้า

3. เวลา จากการทดลองเบื้องต้นที่เวลา 90 วินาที ที่ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 30% ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส กระแสไฟฟ้า 0.75 A/cm^2 เมื่อนำไปศึกษาโครงสร้างจุลภาคพบว่าสามารถส่องเห็นเกรนได้และให้ค่าความหยาบผิวในระดับต่ำ จึงกำหนดให้เวลา 90 วินาที เป็นค่าปัจจัยระดับกลางในการทดลองนี้ และเมื่อใช้เวลามากขึ้นการกัดกร่อนจะเพิ่มมากขึ้น

4. ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ปรับค่าระดับต่ำที่ 0.5 A/cm^2 และระดับสูงที่ 1 A/cm^2 เนื่องจากถ้าใช้กระแสไฟฟ้าที่สูง จะทำให้ชิ้นงานกัดกร่อนมาก เกิดเป็นรูพรุน แต่ถ้าใช้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำเกินไปจะทำให้ชิ้นงานถูกกัดกร่อนได้น้อยและเกิดเขม่ามาเกาะที่ชิ้นงาน

5. ความเร็วการกวนสาร ในการทดลองใช้เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) รุ่น MS300 ยี่ห้อ BANTE INSTRUMENTS ปรับความเร็วรอบการกวนได้ตั้งแต่ 0-1,250 rpm อุณหภูมิปรับได้สูงสุดที่ 300 องศาเซลเซียส จากการทดลองเบื้องต้นเพื่อกำหนดระดับปัจจัย พบว่าเมื่อปรับความเร็วรอบในการกวนสารมากกว่า 700 rpm ความเร็วของการกวนสารทำให้เร่งปฏิกิริยาเคมีและทำให้สารเคมีกระเด็นออกนอกบีกเกอร์ ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ทำการทดลอง จึงกำหนดให้ความเร็วรอบในการกวนสารที่ 700 rpm เป็นค่าปัจจัยระดับสูงของความเร็วการกวนสาร

จากการพิจารณาคัดเลือกปัจจัยข้างต้น สามารถสรุปค่าระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้าและนำไปใช้ในการออกแบบการทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		
	ระดับต่ำ (-1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (1)
1. ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (%)	10	20	30
2. อุณหภูมิ (°C)	30	40	50
3. เวลา (วินาที)	60	90	120
4. ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/cm^2)	0.5	0.75	1
5. ความเร็วการกวนสาร (rpm)	0	350	700

2.3 กำหนดรูปแบบการทดลอง

ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยการทดลองแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยและตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง(First-Order Model) หรือเส้นโค้ง(Second-Order Model) โดยใช้การออกแบบการทดลอง 2^5 แฟคทอเรียล แบบทดลองซ้ำครั้งเดียวและเพิ่มการทดลองที่จุดกึ่งกลาง 5 จุด รวมมีการทดลองทั้งสิ้น 37 การทดลอง เมื่อทราบผลของปัจจัยและความสัมพันธ์ของปัจจัยเป็นเชิงเส้นโค้งแล้ว ช่วงที่สองเป็นการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาผลตอบที่ดีที่สุดโดยใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมกลาง(Central Composite Design) แบบ Face Center ซึ่งจะได้รูปแบบของสมการถดถอยที่สามารถกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมได้ [5,6]

3. ดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองในแต่ละสภาวะการทดลองมีดังนี้

3.1 การเตรียมชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด S45C

1. ตัดและกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 16 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร

2. ขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120, 240, 400, 600, 800 และ 1000 ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นงานล้างในสารจำพวกด่าง หรือสารซักล้างทำความสะอาด เพื่อล้างคราบน้ำมัน

โดยก่อนการนำชิ้นงานไปขัดผิวด้วยเคมีไฟฟ้า มีการนำชิ้นงานไปทดสอบความหยาบผิว เพื่อให้มั่นใจว่ามีค่าความหยาบผิวใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นการลดความแปรปรวนที่อาจเกิดเนื่องจากความหยาบผิวขั้นต้น

3.2 การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่เลือกใช้ในการทดลองขัดผิวเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางด้วยเคมีไฟฟ้า ประกอบด้วย กรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) เอทานอล 95% (C_2H_5OH) และ 2-บิวทอกซีเอทานอล ($C_6H_{14}O_2$) โดยการทดลองมีการผสมสารเคมีที่ใช้ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราส่วนของอิเล็กโทรไลต์โดยปริมาตร

ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (%)	ปริมาตรในอิเล็กโทรไลต์ (ml)		
	Ethanol	Perchloric acid 70%	2-butoxy ethanol
10	171.43	35.71	42.86
20	142.86	71.42	35.72
30	114.29	107.14	28.57

ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์อ้างอิงความเข้มข้นของกรดเปอร์คลอริกเป็นหลัก ดังนั้นเมื่อต้องการความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 10% สำหรับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 250 มิลลิลิตร จำเป็นต้องมีกรดเปอร์คลอริกเท่ากับ 25 มิลลิลิตร ซึ่งสามารถเตรียมได้จากกรดเปอร์คลอริก (70%) เท่ากับ 35.71 มิลลิลิตร และการเตรียมตัวทำละลายโดยใช้สัดส่วนของ 2-บิวทอกซี : เอทานอล เท่ากับ 2:8 สำหรับปริมาตรที่เหลือจากทั้งหมด

3.3 ดำเนินการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า

1. นำชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางไปติดตั้งเป็นขั้วแอโนด (ขั้วบวก) ในชุดการทดลองขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า

2. นำคิวโปรนิกเกิลไปติดตั้งเป็นขั้วแคโทด (ขั้วลบ) ในชุดการทดลองขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า

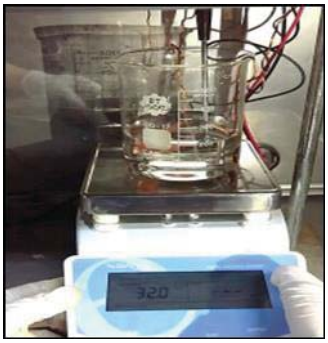
3. ปรับตั้งค่าอุณหภูมิและความเร็วในการกวนสารที่เครื่องกวนสารละลาย ดังรูปที่ 2 รอจนสารอิเล็กโทรไลต์มีอุณหภูมิตามค่าที่ตั้งไว้

4. ปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้าและตั้งค่าเวลา ตามค่าระดับปัจจัยในสภาวะการทดลอง แล้วเริ่มทำการทดลองโดยการเปิดสวิตช์เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

5. เมื่อทำการทดลองกระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้าจนครบเวลาที่กำหนดแล้ว นำชิ้นงานขึ้นจากสารอิเล็กโทรไลต์แล้วทำความสะอาดชิ้นงาน

6. นำชิ้นงานไปส่องดูโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) และนำไปทดสอบที่เครื่องวัดความหยาบผิว (Roughness Tester) แล้วบันทึกค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (R_a)

7. ดำเนินการทดลองขั้นที่ 1-6 จนครบทุกสภาวะการทดลอง



รูปที่ 2 การปรับตั้งความเร็วในการกวนและอุณหภูมิที่เครื่องกวนสารละลาย

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยโดยใช้การทดลอง 2^5 แฟคทอเรียล แบบทดลองซ้ำครั้งเดียว

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดกรองปัจจัยโดยศึกษา 5 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์(A) อุณหภูมิ(B) เวลา(C) ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า(D) และความเร็วการกวนสารเคมี(E) ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแฟคทอเรียล 2^5 แบบทดลองซ้ำครั้งเดียว หลังจากตัดปัจจัยร่วมที่ไม่มีอิทธิพลออก แสดงดังตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง พบว่าปัจจัยหลัก (Main effect) คือ A, B ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย (2-Way interaction) B*D ปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย (3-Way interaction) A*B*C, A*B*D, A*B*E, A*D*E และปัจจัยร่วม 4 ปัจจัย (4-Way interaction) A*B*C*D, มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นมีผลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัย C, D, E ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย A*D, A*E, B*C, B*E, C*D, C*E, D*E ไม่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของกระบวนการขัดโลหะด้วยเคมีไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ จึงตัดออกไม่นำมาวิเคราะห์ แต่ค่าปัจจัยหลัก C, D, E แม้ว่ามีค่า P-value มากกว่า 0.05 แต่เป็นปัจจัยร่วมที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญจึงไม่สามารถตัดออกได้

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับผลของตัวแปรตอบสนองมีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นโค้ง ซึ่งดูได้จากค่า Curvature มีค่า P-Value

น้อยกว่า 0.0001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ α= 0.05 ด้วยเหตุนี้ การสร้าง Frist order model ของกระบวนการจึงไม่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์รูปแบบทางคณิตศาสตร์แบบ Second order model ต่อไป

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองแบบ 2^k หลังจากตัดปัจจัยร่วมที่ไม่มีอิทธิพลออก

Analysis of Variance					
Source	**DF**	**Adj SS**	**Adj MS**	**F-Value**	**P-Value**
Model	12	0.208531	0.017378	12.18	<0.0001
Linear	5	0.05013	0.010026	7.03	<0.0001
A	1	0.031167	0.031167	21.84	<0.0001
B	1	0.007565	0.007565	5.3	0.030
C	1	0.002323	0.002323	1.63	0.214
D	1	0.004387	0.004387	3.07	0.092
E	1	0.004688	0.004688	3.29	0.082
2-Way Interactions	1	0.044303	0.044303	31.05	<0.0001
B*D	1	0.044303	0.044303	31.05	<0.0001
3-Way Interactions	4	0.069478	0.017369	12.17	<0.0001
A*B*C	1	0.01044	0.01044	7.32	0.012
A*B*D	1	0.012429	0.012429	8.71	0.007
A*B*E	1	0.018721	0.018721	13.12	0.001
A*D*E	1	0.027887	0.027887	19.54	<0.0001
4-Way Interactions	1	0.008515	0.008515	5.97	0.022
A*B*C*D	1	0.008515	0.008515	5.97	0.022
Curvature	1	0.036105	0.036105	25.30	<0.0001
Error	24	0.034248	0.001427		
Lack-of-Fit	20	0.028025	0.001401	0.90	0.621
Pure Error	4	0.006223	0.001556		
Total	36	0.242779			

4.2 การทดลองเพื่อหาผลตอบที่ดีที่สุดโดยใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมกลาง

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมจาก 5 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ อุณหภูมิ เวลา ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และความเร็วการกวนสารเคมี โดยใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมกลางแบบ Face Center และมีจุดกึ่งกลาง 5 จุด โดยทำการทดลองซ้ำ 1 ครั้ง เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเวลา ดังนั้น ทำให้มีการทดลองทั้งหมด 94 การทดลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 5

จากผลการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมกลาง พบว่าปัจจัยหลัก (Liner) คือ A ปัจจัยหลัก (Square) คือ C*C, D*D และปัจจัยร่วม (Interaction) คือ B*D มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นมีผลต่อความหยาบผิวของกระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถแสดงแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบ Coded Units ดังนี้

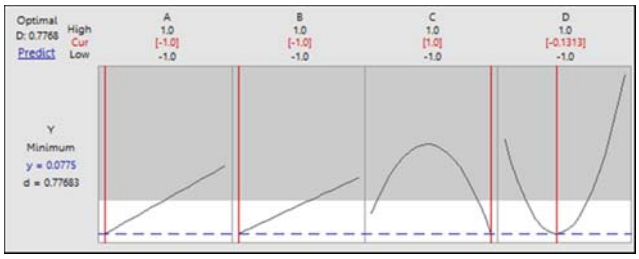
$$Y = 0.1788+0.00858A+0.01455B-0.00727C$$
$$-0.01442D-0.0546C^2+0.0861D^2-0.03689BD \quad (1)$$

เมื่อ A คือ ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (%)
B คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
C คือ เวลา (วินาที)
D คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/cm^2)

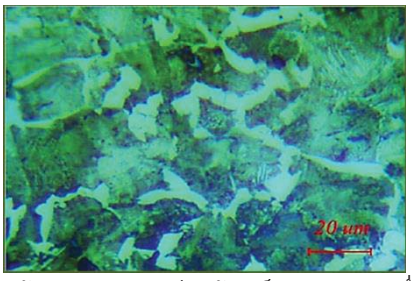
การวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่ส่งผลให้ได้ความหยาบผิวน้อยที่สุด โดยการใช้สมการที่ (1) แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งระดับปัจจัยที่เหมาะสมแสดงเป็นรูปแบบ Coded Unit สำหรับความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ -1.0 อุณหภูมิ -1.0 เวลา 1.0 และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า -0.1313 จึงทำการแปลงค่าเป็นรูปแบบ Uncoded Unit ได้ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 10% อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 120 วินาที และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.71 A/cm^2

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองของการออกแบบส่วนผสมกลาง หลังตัดปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลออก

Analysis of Variance					
Source	**DF**	**Adj SS**	**Adj MS**	**F-Value**	**P-Value**
Model	7	0.212893	0.030413	6.07	<0.0001
Linear	4	0.069501	0.017375	3.47	0.011
A	1	0.037373	0.037373	7.46	0.008
B	1	0.014389	0.014389	2.87	0.094
C	1	0.003591	0.003591	0.72	0.4
D	1	0.014148	0.014148	2.82	0.097
Square	2	0.056306	0.028153	5.62	0.005
C*C	1	0.021281	0.021281	4.25	0.042
D*D	1	0.05301	0.05301	10.58	0.002
2-Way Interaction	1	0.087086	0.087086	17.38	<0.0001
B*D	1	0.087086	0.087086	17.38	<0.0001
Error	86	0.430973	0.005011		
Lack-of-Fit	35	0.39089	0.011168	14.21	<0.0001
Pure Error	51	0.040084	0.000786		
Total	93	0.643866			



รูปที่ 3 ผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม



รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางซึ่งขัดผิวด้วยเคมีไฟฟ้า

4.3 การทดลองเพื่อยืนยันผลวิจัย

เพื่อยืนยันผลการทดลองว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมส่งผลให้ได้ความหยาบผิวน้อยที่สุดที่ 0.0775 µm จึงต้องทำการทดสอบข้อมูลทางสถิติโดยการขัดผิวชิ้นงานด้วยเคมีไฟฟ้าโดยใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสม จำนวน 30 ชิ้นงาน และนำค่าความหยาบผิวมาเปรียบเทียบกับค่าที่คาดหวัง

การทดสอบสมมุติฐานเพื่อยืนยันระดับปัจจัยที่เหมาะสม

$H_0 : \mu = 0.0775\ \mu m$

$H_1 : \mu \neq 0.0775\ \mu m$

เมื่อ μ = ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวจากการทดลองตามระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากการใช้โปรแกรม Minitab ในการประมวลผล พบว่า ค่า P-value น้อยกว่า 0.0001 ดังตารางที่ 6 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก แสดงว่าความหยาบผิวหลังจากการทดลองตามระดับปัจจัยที่เหมาะสมไม่เท่ากับ 0.0775 µm อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่เมื่อดูจากค่าเฉลี่ยของความหยาบผิวแล้วมีค่าเท่ากับ 0.08928 µm ซึ่งมากกว่าค่าความหยาบผิวที่คาดหวัง 0.0775 µm สาเหตุอาจเกิดจากสารอิเล็กโทรไลต์และขั้วแคโทดถูกใช้ซ้ำ 30 ครั้งในช่วงการทดลองยืนยันผล ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพส่งผลให้ประสิทธิภาพการขัดผิวลดลง

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยความหยาบผิว

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
30	0.08928	0.00576	0.00105	(0.08713, 0.09143)	11.20	<0.0001

ถึงแม้ผลการทดลองเพื่อยืนยันผลการวิจัยด้วยระดับปัจจัยที่เหมาะสมมีค่าเฉลี่ยความหยาบผิวสูงกว่าค่าคาดหวัง แต่ด้วยภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคที่ได้ของการทดลองในสภาวะที่เหมาะสม ยังคงมีความคมชัด ดังรูปที่ 4 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการกำหนดปัจจัยที่ได้จากการคำนวณทางสถิติคือ ความเข้มข้นสารเคมี 10% อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 120 วินาที กระแสไฟฟ้า 0.71 A/cm^2 ไม่กวนสารเคมีเป็นปัจจัยที่ทำให้การทดลองนี้เห็นโครงสร้างจุลภาคเป็นไปตามเป้าหมายสำหรับกระบวนการขัดผิวเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางด้วยเคมีไฟฟ้า

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวในกระบวนการขัดผิวเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางด้วยเคมีไฟฟ้า สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เริ่มต้นจากการทดลองแฟคเทอเรียลเต็มรูป 2^5 แบบทดลองซ้ำครั้งเดียวเพื่อคัดกรองปัจจัย ซึ่งทำการศึกษา 5 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ อุณหภูมิ เวลา ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และความเร็วการกวนสารเคมี ผลการทดลองพบว่า ทุกปัจจัยมีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญและมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง หลังจากนั้นออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง ซึ่งรูปแบบของสมการถดถอยสามารถกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 10% อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 120 วินาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.71 A/cm^2 และไม่มีการกวนสารเคมี และสุดท้ายเป็นการทดลองเพื่อยืนยันผล พบว่าค่าความหยาบผิวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.08928 µm ซึ่งมากกว่าความหยาบผิว 0.0775 µm ที่คาดหมายไว้ สาเหตุอาจเกิดจากสารอิเล็กโทรไลต์และขั้วแคโทดถูกใช้ซ้ำ 30 ครั้งในช่วงการทดลองยืนยันผล ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพส่งผลให้ประสิทธิภาพการขัดผิวลดลง แต่เมื่อนำชิ้นงานทั้ง 30 ชิ้นไปส่องดูโครงสร้างจุลภาคพบว่ายังคงให้ภาพโครงสร้างจุลภาคที่มีความชัดเจนอยู่ ดังนั้นเมื่อนำกระบวนการขัดผิวโลหะด้วยเคมีไฟฟ้าไปทดแทนขั้นตอนการขัดเงาด้วยผงอะลูมิน่าและการกัดกรด ส่งผลให้ลดเวลาในการทดลองจาก 30 นาที เหลือเพียง 2 นาที ซึ่งสามารถลดเวลาในการเรียนภาคปฏิบัติสอดคล้องกับนโยบายของมหาวิทยาลัยในการป้องกันการระบาดของไวรัสโคโรน่า แต่ยังคงไว้ซึ่งทักษะในการปฏิบัติใกล้เคียงรูปแบบเดิม

เอกสารอ้างอิง

[1] William D. Callister, David G. Rethwisch, Materials science and engineering, John Wiley & Sons Inc., 8th edition, 2011.

[2] Mikell P. Groover, Principles of Modern Manufacturing, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011

[3] American Society for Testing and Materials (ASTM), Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens: E1558-99, *In* ASTM, Annual Book of American Standard Testing Methods, Vol 03.01, Philadelphia, 2004.

[4] Taylor Lyman, Metals Handbook Vol. 2 Heat Treating, Cleaning and Finishing, 8th edition, ASM Handbook Committee, 1964.

[5] Montgomery, D.C., Design and Analysis of Experiment, John Wiley & Sons Inc., 7th edition, 2009.

[6] Jay L. Devore, Probability and Statistics, Brooks/ Cole, 5th edition, 2000.

ผลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและดีบุก ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล ของโลหะประสานทองคำ 965 สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ

Influence of silver copper and tin alloying element onto microstructure and mechanical properties of gold brazing alloys 965 for jewelry industry

ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม[1*] นพณัช พวงมาลี[2] นพนันต์ เมืองเหนือ[2] เศรษฐวิทย์ แสงทิพย์[2] นรารักษ์ บุตรชา[3] สุรัตน์ วรรณศรี[3]
[1]ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
E-mail: narongrit.s@fitm.kmutnb.ac.th*

Narongrit Sonjaitham[1*], Noppanuch Puangmalee[2], Noppanan mungnuae[2], Setthawit Saengthip[2], Nararak Budchar[3], Surat Wannasr[3]
[1]Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King's Mongkut University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus
[2]Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University
[3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan
E-mail: narongrit.s@fitm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิผลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและดีบุก ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะประสานทองคำ 965 สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ โดยชิ้นทดสอบเป็นโลหะผสม ทองคำ (Au), เงิน (Ag), ทองแดง (Cu) และดีบุก (Sn) ซึ่งมีปริมาณผสมของ Ag, Cu และ Sn เท่ากับ 0.56–3.49 wt.%, 0–1.50 wt.% และ 0–1.35 wt.% ตามลำดับ โดยสมบัติทางกลของโลหะประสานทองคำ 965 ดำเนินการทดสอบด้วยการทดสอบความแข็งตามมาตราฐาน ASTM E 92 จากการศึกษาพบว่า ชิ้นทดสอบที่มีส่วนผสมของธาตุเจือเงินและทองแดง มีลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่มีขอบเกรนจากการแบ่งทิศทางการเรียงตัวของโครงผลึกอย่างชัดเจน แต่เมื่อมีการเติมธาตเจือดีบุกเพิ่มเข้าไปในโลหะประสานทองคำ 965 พบว่า โครงสร้างจุลภาคมีลักษณะเป็นโครงสร้างเดนไดรท์ที่เกิดจากน้ำโลหะเย็นตัวภายใต้สภาวะการเย็นตัวที่เร็วกว่าสมดุล โดยมีปริมาณโครงสร้างเดนไดรท์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณธาตุเจือดีบุกเพิ่มขึ้น ส่วนการทดสอบความแข็ง พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของธาตุเจือทองแดง (Cu′) และดีบุก (Sn′) ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณโครงสร้างเดนไดรท์ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นทดสอบที่อัตราส่วนผสม 96.59Au 0.56Ag 1.50Cu 1.35Sn มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 34.03 HV1 นอกจากนี้ การเติมธาตุเจือดีบุกเพื่อทดแทนธาตุเจือเงินในโลหะประสานทองคำ 965 ซึ่งมีผลทำให้ค่าความแข็งของโลหะประสานทอง 965 เพิ่มขึ้นแล้ว ยังสามารถลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตโลหะประสานทองคำ 965 ได้อีกด้วย

คาสาคัญ: โลหะประสานทองคำ 965, ธาตุเจือเงิน, ธาตุเจือทองแดง, ธาตุเจือดีบุก, โครงสร้างจุลภาค, สมบัติทางกล, อุตสาหกรรมเครื่องประดับ

Abstract

This research investigates the influence of silver copper and tin alloying element onto microstructure and mechanical properties of gold brazing alloys 965 for jewelry industry. The specimens composed of Au, Ag, Cu and Sn. The volume of Ag, Cu and Sn were varied between 0.56–3.49 wt.%, 0–1.50 wt.% and 0–1.35 wt.% respectively. The mechanical properties of gold brazing alloys 965 was tested by hardness testing according to ASTM E 92. It was found that the specimen added by silver and copper, the microstructure appeared the grain boundary caused by the direction of arrangement of crystal structure. But, when the tin was added to gold brazing alloys 965, the microstructure of specimen appeared as the dendrite structure as a result of the cooling was faster than equilibrium, and the volume of dendrite structure was increased with increasing of tin. For hardness testing, the copper (Cu′) and tin (Sn′) intensity were increased which affect to trend of hardness was increased, which corresponds to the increasing of dendritic structure. The specimen 96.59Au 0.56Ag 1.50Cu 1.35Sn had highest value of hardness was 34.03 HV1. In addition, the adding tin alloy to replace silver alloy in gold brazing alloys 965 as a result to hardness of gold brazing alloys 965 increased, and it can also save raw materials cost for production of gold brazing alloys 965.

Keywords: Gold brazing alloys, Silver, Copper, Tin, Micro-structure, Mechanical properties, Jewelry industry

1. บทนำ

จากการศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาคุณภาพการผลิตเครื่องประดับ ด้านโลหะเชื่อมประสาน พบว่า ในกระบวนการผลิตเครื่องประดับจะต้องมีการเชื่อมประสานสำหรับประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องประดับเข้าด้วยกัน เช่น การเชื่อมกระเปาะสำหรับฝังพลอยเข้ากับตัวเรือนของจี้ ต่างหู ก้านแหวน เป็นต้น รวมถึงการเชื่อมประสานเพื่อตกแต่งผิวชิ้นงานสำเร็จ การเชื่อมปิดรอยตำหนิหรือตามดหรือรอยตำหนิจากการหดตัวของชิ้นงานจากกระบวนการหล่อขึ้นรูป ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการเชื่อมประสานเหล่านี้ ต้องมีอุณหภูมิการหลอมละลายต่ำกว่าวัสดุที่ใช้เป็นตัวเรือนเครื่องประดับ และต้องมีปริมาณส่วนผสมของโลหะมีค่าผสมอยู่ตามปริมาณที่กำหนด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องประดับที่ผลิตจากทองคำผสม 965 ซึ่งตามมาตรฐานทองคำรูปพรรณ 965 กำหนดให้มีปริมาณเนื้อทองคำไม่น้อยกว่า 96.5% โดยน้ำหนัก และมีธาตุอื่นเจืออยู่ได้ไม่เกิน 3.5% โดยน้ำหนัก [1] โดยธาตุเจืออาจอยู่ในรูปของธาตุบริสุทธิ์หรือโลหะเจือชนิดต่างๆ ซึ่งมีผลทำให้สมบัติต่างๆ ของทองคำรูปพรรณ 965 เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณและชนิดของธาตุเจือที่ผสมเข้าไป ซึ่งบ่อยครั้งที่มีการตรวจสอบเครื่องประดับที่ผลิตจากทองคำผสม 965 ไม่ผ่านมาตรฐาน เนื่องจากการใช้โลหะประสานทองคำที่มีปริมาณเนื้อทองคำต่ำกว่าวัสดุตัวเรือน ซึ่งส่งผลให้ปริมาณเนื้อทองคำโดยรวมต่ำกว่าปริมาณที่กำหนด จากการศึกษาสมบัติของธาตุเจือต่างๆ ที่นำมาเป็นธาตุเจือในวัสดุโลหะประสานทองคำ 965 และภายใต้ข้อกำหนดวัสดุประสานต้องมีเนื้อทองคำไม่น้อยกว่า 96.5% โดยน้ำหนัก มีความแข็งแรง มีจุดหลอมละลายต่ำกว่าวัสดุตัวเรือนและมีสีที่ใกล้เคียงกับวัสดุตัวเรือนมากที่สุด ซึ่งธาตุเจือหลักที่นิยมนำมาผลิตวัสดุประสานทอง 965 คือธาตุเงิน (Ag) ซึ่งจะช่วยให้วัสดุประสานทองมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากธาตุเงินมีต้นทุนค่อนข้างสูง จึงมีการนำธาตุทองแดง (Cu) มาเป็นธาตุเจือรอง ซึ่งทองแดงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้วัสดุประสานทองมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย แต่สีของวัสดุประสานทองจะออกโทนสีแดงเพิ่มขึ้นเช่นกัน [2] ดังนั้น จึงจำเป็นต้องนำธาตุเจือรองอื่นผสมเพิ่มเข้าไปในวัสดุประสานทอง นั้นคือธาตุดีบุก (Sn) ซึ่งเป็นธาตุที่ลักษณะทางกายภาพของสีเนื้อวัสดุใกล้เคียงกับธาตุเงินและมีต้นทุนที่ต่ำกว่า เพื่อทดแทนปริมาณที่ลดลงของธาตุเงินและลดโทนสีแดงของวัสดุประสานทองให้มีความใกล้เคียงกับตัวเรือนมากที่สุด นอกจากนี้ดีบุกยังมีผลทำให้จุดหลอมละลายของวัสดุผสมนั้นต่ำลงด้วย [3] ดังนั้นในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้มุ่งเน้นศึกษาผลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและดีบุก ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะประสานทองคำ 965 สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

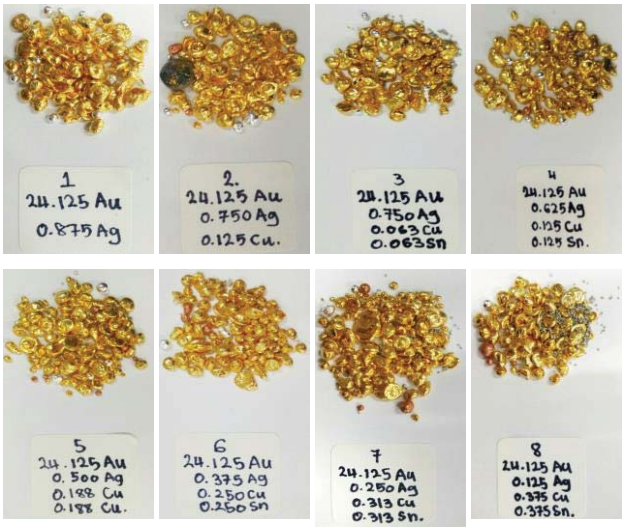
การศึกษาผลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและดีบุก ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะประสานทองคำ 965 สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 การเตรียมโลหะประสานทองคำ 965

กำหนดอัตราส่วนผสมของโลหะประสานทองคำ 965 โดยมีปริมาณธาตุหลักคือ ทองคำ (Au) 96.5 wt.% ธาตุเจือหลักคือ เงิน (Ag) 0.5–3.5 wt.% ธาตุเจือรองคือ ทองแดง (Cu) 0–1.5 wt.% และดีบุก (Sn) 0–1.5 wt.% โดยธาตุเจือหลักและธาตุเจือรองจะถูกแปรผันปริมาณ ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วต้องมีปริมาณธาตุเจือไม่เกิน 3.5 wt.% ดังแสดงในตารางที่ 1 เพื่อผลิตเป็นเม็ดโลหะประสานทองคำ 965 สำหรับเตรียมการหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 1 และดำเนินการนำเม็ดโลหะประสานทองคำ 965 มาหล่อขึ้นรูปสำหรับการวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของโลหะประสานทองคำ 965 หลังการหล่อขึ้นรูปด้วยเครื่อง X – Ray Fluorescence Spectrometer และใช้ในการทดสอบโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล เพื่อวิเคราะห์ผลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและดีบุก ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะประสานทองคำ 965 ดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมทางเคมีของโลหะประสานทองคำ 965

ชิ้นทดสอบ	สัดส่วนการผสมที่กำหนดในการทดลอง (wt.%)			
	Au	Ag	Cu	Sn
1	96.5	3.5		
2	96.5	3.0	0.5	
3	96.5	3.0	0.25	0.25
4	96.5	2.5	0.5	0.5
5	96.5	2.0	0.75	0.75
6	96.5	1.5	1.0	1.0
7	96.5	1.0	1.25	1.25
8	96.5	0.5	1.5	1.5



รูปที่ 1 เม็ดโลหะประสานทองคำ 965 สำหรับเตรียมการหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบที่อัตราส่วนผสมต่างๆ



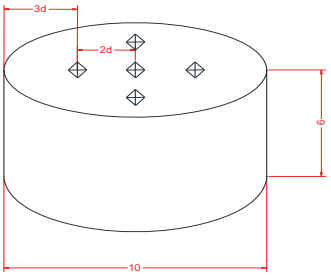
รูปที่ 2 ชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป

2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะประสานทองคำ 965

การดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะประสานทองคำ 965 ชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 2 จะถูกนำมาเตรียมสำหรับการทดสอบโดยการยึดหรือตรึงด้วยเรซิ่น ดังลักษณะที่แสดงในรูปที่ 3 เพื่อเพิ่มพื้นที่หรือความมั่นคงของการวางชิ้นทดสอบให้มีความเสถียรสำหรับการทดสอบ โดยการศึกษาวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของโลหะประสานทองคำ 965 จะถูกดำเนินการศึกษาวิเคราห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) และสำหรับการทดสอบสมบัติทางกลของโลหะประสานทองคำ 965 จะถูกดำเนินการโดยการทดสอบความแข็งด้วยวิธีการทดสอบแบบ Vickers Hardness testing โดยเลือกใช้แรงสำหรับการกดทดสอบ 1 kgf หรือ HV1 ตามมาตรฐาน ASTM E92 โดยชิ้นทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. หนา 6 mm. และทำการทดสอบชิ้นทดสอบ 5 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาคและการทดสอบความแข็ง



รูปที่ 4 การทดสอบความแข็ง

3. ผลการดำเนินการวิจัย

จากการดำเนินการศึกษาผลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและดีบุกที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะประสานทองคำ 965 สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ มีผลการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

ชิ้นทดสอบโลหะประสานทองคำ 965 ทั้งหมดที่ได้จากการหล่อหลอมผสมโลหะชนิดต่างๆ ขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบแล้ว ถูกนำไปทำการวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค x – ray fluorescence พบว่า ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบทั้งหมดมีค่าแตกต่างจากปริมาณการผสมที่กำหนดเล็กน้อย ชิ้นทดสอบบางชิ้นมีปริมาณของธาตุบางธาตุเพิ่มขึ้น บางธาตุลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งสันนิฐานได้ว่าอาจเกิดจากการกระจายตัวของธาตุต่างๆ ไม่สม่ำเสมอในบางบริเวณของชิ้นทดสอบ และเนื่องจากโลหะเจือหรือธาตุเจือต่างๆ ที่ผสมเข้าด้วยกันในที่นี้ ล้วนแต่มีอุณหภูมิจุดเดือดสูงกว่า 2000°C (อุณหภูมิจุดเดือดของโลหะทองคำ เงิน ทองแดง และดีบุก เท่ากับ 2960 °C, 2195 °C, 2600 °C และ 2602 °C ตามลำดับ) ถึงแม้ว่าจะมีอุณหภูมิจุดเดือนที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก แต่ก็เป็นไปไม่ได้ที่โลหะเจือหรือธาตุเจือต่างๆ เหล่านี้จะเกิดการสูญเพลิง แต่มีความเป็นไปได้ที่เนื้อโลหะเจือหรือธาตุเจือต่างๆ เหล่านี้อาจมีออกไซด์ผสมอยู่ แล้วถูกจับหรือแยกออกจากน้ำโลหะด้วยผงบอเร็ก (Boric acid powder) ซึ่งทำหน้าที่ฟลั๊ก (Flux) กลายเป็นขี้ตะกรัน (Slag) โดยขี้ตะกรันที่เกิดขึ้นนี้ จะลอยอยู่บนผิวหน้าและแยกตัวจากน้ำโลหะ

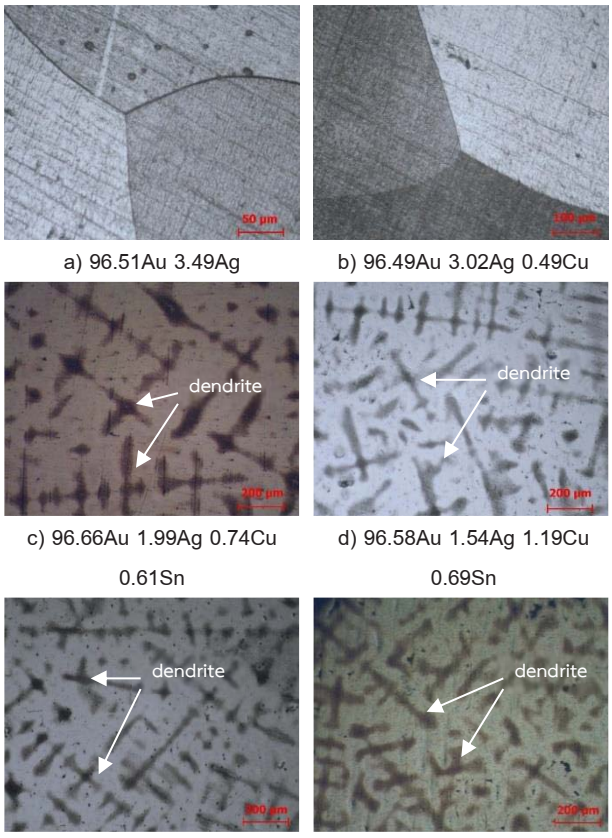
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบโลหะประสานทองคำ 965 ที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป [4]

ชิ้นทดสอบ	สัดส่วนการผสมที่กำหนดในการทดลอง (wt.%)				การวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี (wt.%)			
	Au	Ag	Cu	Sn	Au	Ag	Cu	Sn
1	96.5	3.5			96.51	3.49		
2	96.5	3.0	0.5		96.49	3.02	0.49	
3	96.5	3.0	0.25	0.25	96.61	2.97	0.27	0.15
4	96.5	2.5	0.5	0.5	96.67	2.50	0.49	0.34
5	96.5	2.0	0.75	0.75	96.66	1.99	0.74	0.61
6	96.5	1.5	1.0	1.0	96.58	1.54	1.19	0.69
7	96.5	1.0	1.25	1.25	96.57	1.02	1.22	1.19
8	96.5	0.5	1.5	1.5	96.59	0.56	1.50	1.35

3.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

จากการศึกษาวิเคราะห์ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบพบว่า ชิ้นทดสอบ 96.51Au 3.49Ag และ 96.49Au 3.02Ag 0.49Cu มีลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เป็นขอบเกรนจากการแบ่งทิศทางการเรียงตัวของโครงผลึกที่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 5 a)-b) ที่เกิดจากการที่เนื้อ

โลหะเกิดการเย็นตัวอย่างสมดุล (Equilibrium cooling) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าธาตุเจือเงินและทองแดงสามารถละลายรวมตัวกับทองคำเป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างสมบูรณ์ในลักษณะของสารละลายของแข็ง (Solid solution) โดยไม่เกิดการแยกตัวเป็นเฟสใหม่และสอดคล้องกับแผนภาพสมดุลเฟสของทองคำ–เงิน และแผนภาพสมดุลเฟสทองคำ–ทองแดง แต่ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบที่มีการผสมธาตุดีบุกเพิ่มเข้าไปเป็นธาตุเจือในโลหะประสานทองคำ 965 ด้วยปริมาณการผสมต่างๆ พบว่า โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบมีลักษณะเป็นโครงสร้างเดนไดรท์ (Dendrite structure) ซึ่งเกิดจากการที่น้ำโลหะเย็นตัวภายใต้สภาวะของการเย็นตัวที่เร็วกว่าสมดุล (Non equilibrium cooling) และมีปริมาณโครงสร้างเดนไดรท์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณธาตุเจือดีบุกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5 c)–f)



a) 96.51Au 3.49Ag b) 96.49Au 3.02Ag 0.49Cu
c) 96.66Au 1.99Ag 0.74Cu 0.61Sn d) 96.58Au 1.54Ag 1.19Cu 0.69Sn
e) 96.57Au 1.02Ag 1.22Cu 1.19Sn f) 96.59Au 0.56Ag 1.50Cu 1.35Sn

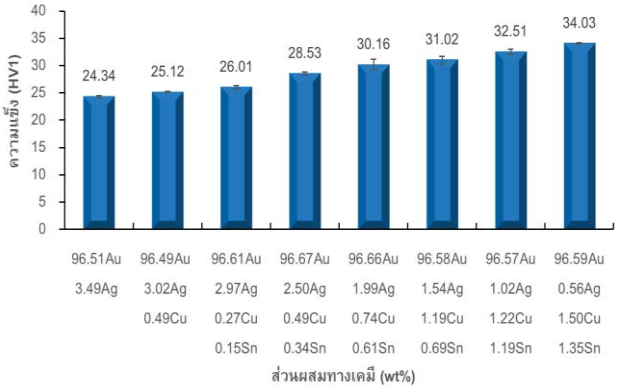
รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุโลหะประสานทองคำ 965

3.3 ผลการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกล

ชิ้นทดสอบที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ถูกนำไปดำเนินการทดสอบสมบัติทางกล โดยการทดสอบหาค่าความแข็งของวัสดุโลหะประสานทองคำ 965 ผลจากวิเคราะห์ทดสอบ พบว่า ค่าความแข็งของวัสดุโลหะประสานทองคำ 965 ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ มีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุเจือชนิดต่างๆ ที่เป็นส่วนผสมหรือองค์ประกอบทางเคมี โดยปริมาณของทองแดงและดีบุกที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้วัสดุโลหะประสานทองคำ 965 มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังผลการทดสอบที่แสดงในตารางที่ 3 และกราฟเปรียบเทียบที่แสดงในรูปที่ 6 และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของวัสดุโลหะประสานทองคำ 965 พบว่า ค่าความแข็งมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อธาตุเจือทองแดงและดีบุกเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคที่มีปริมาณโครงสร้างเดนไดรท์เพิ่มขึ้นเมื่อธาตุเจือดีบุกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5 c)–f) โดยชิ้นทดสอบที่อัตราส่วนผสม 96.59Au 0.56Ag 1.50Cu 1.35Sn มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 34.03 HV1

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ทดสอบความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965

ชิ้นทดสอบ	ส่วนผสมทางเคมี (wt.%)	ความแข็ง (HV1)	
		Average	SD
1	96.51Au 3.49Ag	24.34	0.21
2	96.49Au 3.02Ag 0.49Cu	25.12	0.15
3	96.61Au 2.97Ag 0.27Cu 0.15Sn	26.01	0.37
4	96.67Au 2.50Ag 0.49Cu 0.34Sn	28.53	0.31
5	96.66Au 1.99Ag 0.74Cu 0.61Sn	30.16	0.98
6	96.58Au 1.54Ag 1.19Cu 0.69Sn	31.02	0.72
7	96.57Au 1.02Ag 1.22Cu 1.19Sn	32.51	0.47
8	96.59Au 0.56Ag 1.50Cu 1.35Sn	34.03	0.15



รูปที่ 6 ค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

จากการวิเคราะห์ผลของธาตุเจือต่างๆ (เงิน ทองแดง ดีบุก) ที่มีต่อความแข็งของวัสดุโลหะประสานทองคำ 965 ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 6 นั้น ไม่สามารถบอกให้ทราบถึงผลของธาตุเจือต่างๆ ที่มีต่อแนวโน้มค่าความแข็งที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจนได้ ดังนั้นจึงใช้วิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุเจือต่างๆ [5] ในวัสดุโลหะประสานทองคำ 965 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็ง ซึ่งความเข้มข้นของธาตุเงิน(Ag′)

ตารางที่ 4 ค่าความเข้มข้นของธาตุเจือเงิน (Ag′) ทองแดง (Cu′) และดีบุก (Sn′) ในโลหะประสานทองคำ 965 ที่มีผลต่อค่าความแข็ง

ชิ้นทดสอบ	ส่วนผสมทางเคมี (wt.%)	อัตราการผสม (wt.%)				ค่าความเข้มข้นของธาตุเจือชนิดต่างๆ ในชิ้นทดสอบโลหะประสานทองคำ 965 (%)			ความแข็ง (HV1)
		Au	Ag	Cu	Sn	Ag′	Cu′	Sn′	
1	96.51Au 3.49Ag	96.51	3.49			100.00			24.34
2	96.49Au 3.02Ag 0.49Cu	96.49	3.02	0.49		86.04	13.96		25.12
3	96.61Au 2.97Ag 0.27Cu 0.15Sn	96.61	2.97	0.27	0.15	87.61	7.96	4.42	26.01
4	96.67Au 2.50Ag 0.49Cu 0.34Sn	96.67	2.50	0.49	0.34	75.08	14.71	10.21	28.53
5	96.66Au 1.99Ag 0.74Cu 0.61Sn	96.66	1.99	0.74	0.61	59.58	22.16	18.26	30.16
6	96.58Au 1.54Ag 1.19Cu 0.69Sn	96.58	1.54	1.19	0.69	45.03	34.80	20.18	31.02
7	96.57Au 1.02Ag 1.22Cu 1.19Sn	96.57	1.02	1.22	1.19	29.74	35.57	34.69	32.51
8	96.59Au 0.56Ag 1.50Cu 1.35Sn	96.59	0.56	1.50	1.35	16.42	43.99	39.59	34.03

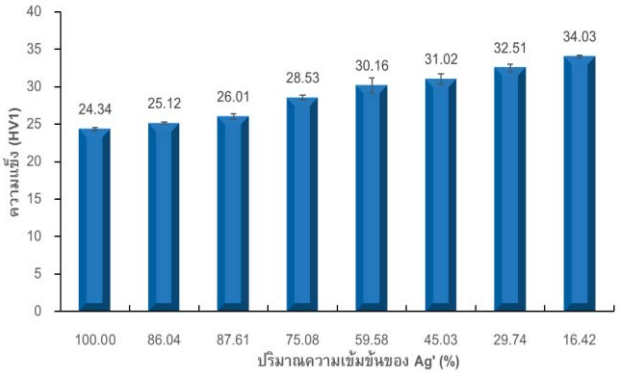
ธาตุเจือทองแดง (Cu′) และธาตุเจือดีบุก (Sn′) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1) – (3) โดยค่าความเข้มข้น Ag′, Cu′ และ Sn′ ที่มีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4

$$Ag' = \frac{Ag(wt\%) \times 100\%}{Ag(wt\%)+Cu(wt\%)+Sn(wt\%)} \quad (1)$$

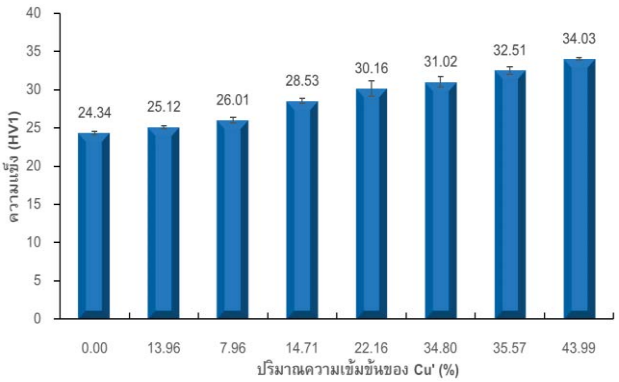
$$Cu' = \frac{Cu(wt\%) \times 100\%}{Ag(wt\%)+Cu(wt\%)+Sn(wt\%)} \quad (2)$$

$$Sn' = \frac{Sn(wt\%) \times 100\%}{Ag(wt\%)+Cu(wt\%)+Sn(wt\%)} \quad (3)$$

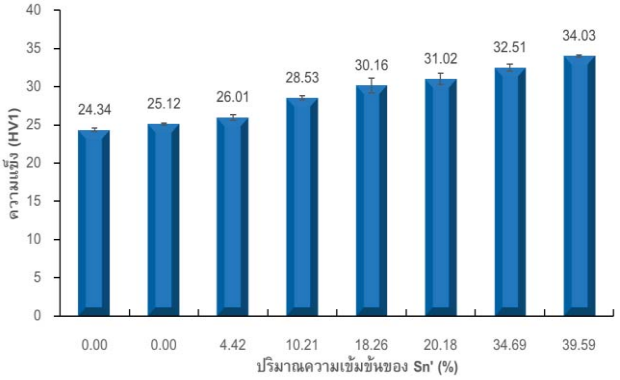
จากการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของธาตุเจือเงิน (Ag′) ทองแดง (Cu′) และดีบุก (Sn′) ที่มีต่อค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 ดังแสดงในตารางที่ 4 และในรูปที่ 7–9 พบว่า ธาตุเจือทองแดงมีผลต่อค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบชิ้นทดสอบที่ไม่มีส่วนผสมของธาตุเจือทองแดง (96.51Au 3.49Ag) กับชิ้นทดสอบที่มีธาตุเจือทองแดงผสม (96.49Au 3.02Ag 0.49Cu) พบว่าชิ้นทดสอบมีค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 จากเดิม 24.34 HV1 เพิ่มขึ้นเป็น 25.12 HV1 เมื่อมีการเติมธาตุเจือทองแดง ซึ่งปริมาณธาตุเจือทองแดงที่เพิ่มขึ้น สามารถทดแทนธาตุเจือเงินที่ลดลงได้ โดยปริมาณ Cu′ ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของธาตุเจือดีบุกที่มีต่อค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 พบว่า ธาตุเจือดีบุกมีผลต่อค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบชิ้นทดสอบที่ไม่มีส่วนผสมของธาตุเจือดีบุก (96.49Au 3.02Ag 0.49Cu) กับชิ้นทดสอบที่มีส่วนผสมของธาตุเจือดีบุก (96.61Au 2.97Ag 0.27Cu 0.15Sn) พบว่า ชิ้นทดสอบมีค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 จากเดิม 25.12 HV1 เพิ่มขึ้นเป็น 26.01 HV1 เมื่อมีการเติมธาตุเจือดีบุก ซึ่งปริมาณธาตุเจือดีบุกที่เพิ่มขึ้น สามารถทดแทนธาตุเจือเงินและทองแดงที่ลดลงได้ ซึ่งปริมาณ Sn′ ที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



รูปที่ 7 อิทธิพลค่าความเข้มข้นของธาตุเจือเงิน (Ag′) ที่มีผลต่อค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ 8 อิทธิพลค่าความเข้มข้นของธาตุเจือเงิน (Cu′) ที่มีผลต่อค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ 9 อิทธิพลค่าความเข้มข้นของธาตุเจือเงิน (Sn′) ที่มีผลต่อค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการดำเนินการวิจัยศึกษาผลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและดีบุก ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล ของโลหะประสานทองคำ 965 สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ สามารถสรุปผลการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้

การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบด้วยเทคนิค x – ray fluorescence พบว่า ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบมีค่าแตกต่างจากปริมาณการผสมที่กำหนดเล็กน้อย เนื่องจากการกระจายตัวของธาตุต่างๆ ไม่สม่ำเสมอ และเนื้อโลหะอาจมีออกไซด์ผสมอยู่ และถูกแยกออกจากน้ำโลหะด้วยผงบอเร็ก ซึ่งทำหน้าที่ฟลั๊กกลายเป็นขี้ตะกรัน ซึ่งจะลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำโลหะและแยกตัวจากน้ำโลหะ

การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาค พบว่า ชิ้นทดสอบที่มีส่วนผสมของธาตุเจือเงินและทองแดง มีลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เป็นขอบเกรนจากการแบ่งทิศทางการเรียงตัวของโครงผลึกที่ชัดเจน ที่เกิดจากการที่เนื้อโลหะเกิดการเย็นตัวอย่างสมดุล โดยไม่เกิดการแยกตัวเป็นเฟสใหม่ แต่ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบที่มีการผสมดีบุกเพิ่มเข้าไปเป็นธาตุเจือในโลหะประสานทองคำ 965 พบว่าโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบมีลักษณะเป็นโครงสร้างเดนไดรท์ ซึ่งเกิดจากการที่น้ำโลหะเย็นตัวภายใต้สภาวะของการเย็นตัวที่เร็วกว่าสมดุล และมีปริมาณโครงสร้างเดนไดรท์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณธาตุเจือดีบุกเพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของธาตุเจือเงิน (Ag′) ทองแดง (Cu′) และดีบุก (Sn′) ที่มีต่อค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 พบว่าธาตุเจือทองแดงและดีบุมีผลต่อค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 ซึ่งปริมาณธาตุเจือทองแดงและดีบุกที่เพิ่มขึ้น สามารถทดแทนธาตุเจือเงินที่ลดลงได้ โดยปริมาณ Cu′ และ Sn′ ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความแข็งของโลหะประสานทองคำ 965 เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคที่มีโครงสร้างเดนไดรท์เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมธาตุเจือดีบุกเพิ่มขึ้น โดยชิ้นทดสอบที่อัตราส่วนผสม 96.59Au 0.56Ag 1.50Cu 1.35Sn มีค่าความแข็งสูงสุด เท่ากับ 34.03 HV1 นอกจากนี้ การเติมธาตุเจือทองแดงและดีบุกเพื่อทดแทนธาตุเจือเงินในวัสดุโลหะประสานทองคำ 965 ซึ่งส่งผลทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นแล้วยังสามารถลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตวัสดุโลหะประสานทองคำ 965 ได้อีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2560

เอกสารอ้างอิง

[1] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 303–2548 ทองรูปพรรณ (GOLD ORNAMENTS), สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

[2] สุรัตน์ วรรณศรี และคณะ โครงการวิจัย “การศึกษาอิทธิพลของธาตุเจือทองแดง และทองแดง-อินเดียมต่อระดับสีทองคำ 965” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2550

[3] เศรษฐวิทย์ แสงทิพย์ และคณะ โครงกรวิจัย “การศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและดีบุก ที่มีผลต่อจุดหลอมละลายและสมบัติการเปียก ของโลหะประสานทองคำเจือ 965 สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ” สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.), 2560

[4] ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม และคณะ “ผลของธาตุเจือเงิน ทองแดงและดีบุก ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของโลหะประสานทอง 965 สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2562, 21-24 กรกฎาคม 2562, กรุงเทพมหานคร, หน้า 537-542

[5] Pearson W.S. The Metallurgy of The Carat Gold Alloys. Gold Technology, Issue No. 4, World Gold Council, 1991, 2–25

การศึกษาความเป็นไปได้ในการหลอมพื้นผิวของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลหล่อด้วยเลเซอร์

Feasibility study of laser surface remelting on Al-Ni casting alloy

อภิวิชญ์ สนโสภณ[1] กฤษฎา รัตนานนท์[1] ทศพร เจริญรูป[1] วิบุญ แซ่ตั้ง[1] พร้อมพงษ์ ปานดี[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

Apiwit Sonsopon[1], Kritsada Rattananont[1], Todsaporn Jareanroob[1], Viboon Saetang[1], Phromphong Pandee[1*]
[1]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

อะลูมิเนียมผสมนิกเกิลเป็นอะลูมิเนียมกลุ่มใหม่ที่ถูกพัฒนาให้มีความสามารถในใช้งานที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากความเสถียรของเส้นใยอะลูมิไนด์ แต่ด้วยความแข็งแรงที่ต่ำของโครงสร้างพื้นอะลูมิเนียม ทำให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มความแข็งแรงโดยอาศัยกระบวนการหลอมพื้นผิวด้วยเลเซอร์ งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการหลอมพื้นผิวของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลหล่อเกรดยูเทคติกด้วยเลเซอร์ โดยเงื่อนไขในการหลอมพื้นผิวด้วยเลเซอร์มีดังนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางของเลเซอร์ ณ ตำแหน่งโฟกัสบนชิ้นงาน 100 μm ความเร็วในการเดิน 200 mm/s ใช้พลังงานของเลเซอร์ 80 W โดยพิจารณาความถี่ของเลเซอร์ที่แตกต่างกันได้แก่ 100, 300 และ 500 kHz ทำการยิงเลเซอร์ในลักษณะเส้นตรงและพื้นที่ จากการศึกษาพบว่าการหลอมพื้นผิวด้วยเลเซอร์โดยใช้ความถี่ที่ต่างกัน ส่งผลต่อโครงสร้างทางจุลภาคและความแข็งที่ผิวบริเวณบ่อหลอมที่ได้ต่างกัน การใช้ความถี่ของเลเซอร์ที่ 500 kHz ให้ผลลัพธ์ที่ดีทั้งในด้านของความแข็งและโครงสร้างทางจุลภาค โดยความแข็งที่ผิวบริเวณบ่อหลอมเมื่อยิงเลเซอร์ในลักษณะเส้นตรงและพื้นที่ทำให้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 63.02 และ 78.61 HV ตามลำดับ คิดเป็น 1.3 และ 1.7 เท่าของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลทั่วไป แม้ความแข็งที่ผิวที่ได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความถี่ที่ 100 kHz แต่ลักษณะของบ่อหลอมไม่พบข้อบกพร่องและมีความสมบูรณ์ของบ่อหลอมที่มากกว่า

คาสาคัญ: อะลูมิเนียมผสมนิกเกิล, การหลอมพื้นผิวด้วยเลเซอร์, ค่าความแข็ง, ความถี่

Abstract

Al-Ni alloy is an alternative alloy for high-temperature applications because of their high stability of Al_3Ni eutectic fibers. However, the matrix of eutectic Al-Ni is weak, so that there are many studies attempting to overcome this weakness. A famous method is to use laser for remelting the alloy surface. The objective of this study is to reveal the feasibility of laser surface remelting on Al-Ni casting alloy. Laser spot diameter, scan speed, and laser power were set at 100 μm, 200 mm/s and 80 W, respectively. Three levels of laser pulse frequency, i.e., 100, 300 and 500 kHz, were applied in the single-line melting and areal melting processes. The results revealed that the use of different laser frequencies caused the different microstructures and microhardness of the laser-molten region. The laser frequency of 500 kHz provided a good result for the microhardness and microstructural aspects. The hardness of laser-molten zone for the single-line and areal melted samples was 63.02 and 78.61 HV, respectively, which were 1.3 and 1.7 times the hardness of untreated Al-Ni casting alloy. Although the surface hardness caused by the 500-kHz laser frequency was less than 100 kHz, the microstructure of the laser-molten zone was of more complete uniformity and less defects.

Keywords: Aluminum-nickel alloy, Laser surface remelting, Microhardness, Frequency

1. บทนำ

อะลูมิเนียมจัดเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่มีน้ำหนักเบา มีสมบัติที่เหมาะแก่การนำมาใช้งานในด้านอุตสาหกรรมไม่ว่าจะเป็นการต้านการกัดกร่อนที่สูง การนำความร้อนที่ดี อีกทั้งยังมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักที่สูงเมื่อเทียบกับเหล็ก เป็นต้น จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นเหตุให้อะลูมิเนียมนั้นเป็นวัสดุที่มีแนวโน้มของความต้องการที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรม โดยปกติการใช้งานอะลูมิเนียมหล่อต้องผสมธาตุเจือลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ให้เหมาะแก่การนำมาใช้งานด้านวิศวกรรม ซึ่งการเติมซิลิกอนลงไปถือเป็นตัวเลือกที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการปรับปรุงสมบัติของอะลูมิเนียมหล่อให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อนำอะลูมิเนียมผสมซิลิกอนไปใช้งานที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 168 ชั่วโมง พบว่าโครงสร้างทางจุลภาคเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่หยาบขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงอย่างมาก จากเดิมอะลูมิเนียมผสมซิลิกอนจะมีความแข็งอยู่ที่ประมาณ 90 HV จะลดลงมาที่ประมาณ 50 HV [1] ทำให้ไม่สามารถนำอะลูมิเนียมผสมซิลิกอนดังกล่าวมาใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้

ปัจจุบันได้มีการศึกษาเพื่อหาอะลูมิเนียมผสมทางเลือกอื่นสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง จากงานวิจัยพบว่าการเติมนิกเกิลในอะลูมิเนียมหล่อส่งผลดีในหลายด้าน โดยโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลหล่อมีการไหลตัวและการป้อนเติมในการหล่อที่ดี [2] นอกจากนี้ยังมีความแข็งและต้านทานการกัดกร่อนที่สูงอีกด้วย [3] เมื่อนำอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลไปผ่านการใช้งานที่อุณหภูมิสูงโดยมีเงื่อนไขเช่นเดียวกับอะลูมิเนียมผสมซิลิกอน พบว่าโครงสร้างทางจุลภาคเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ในส่วนของความแข็งมีการเปลี่ยนแปลงไป จากเดิมอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลจะมีความแข็งอยู่ที่ประมาณ 50 HV จะลดลงมาที่ประมาณ 40 HV [1] ซึ่งลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมซิลิกอน อย่างไรก็ตามในสภาวะปกติหรือที่อุณหภูมิห้อง ค่าความแข็งของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลจะน้อยกว่าอะลูมิเนียมผสมซิลิกอน แต่ความเสถียรเมื่อนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงนั้นมีมากกว่าส่งผลต่อการเพิ่มขีดความสามารถในการใช้งานอะลูมิเนียมผสม ดังนั้นอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลจึงเหมาะแก่การนำมาศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติในด้านต่าง ๆ ให้ดีขึ้น เพื่อให้อะลูมิเนียมผสมนิกเกิลเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในอนาคตที่สามารถนำมาใช้ในงานภาคอุตสาหกรรมเฉพาะทางที่ต้องการความเสถียรเมื่อถูกใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเลเซอร์ยิงบนผิวของโลหะ โดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการหลอมพื้นผิวด้วยเลเซอร์ (Laser Surface Remelting; LSR) ซึ่งเป็นให้ความร้อนกับผิวชิ้นงานจนทำให้เกิดการหลอมละลายและบังคับให้เกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้โครงสร้างทางจุลภาคมีความละเอียดมากขึ้นและทำให้ความแข็งเพิ่มสูงขึ้น โดยก่อนหน้านี้ได้มีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้กระบวนการดังกล่าวกับอะลูมิเนียนผสมซิลิกอน อะลูมิเนียมผสมซีเลียม อะลูมิเนียมผสมเหล็ก เป็นต้น โดยค่าความแข็งของอะลูมิเนียมผสมเหล่านั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการ LSR เปรียบเทียบกับความแข็งในสภาวะปกติ [4, 5-7]

เลเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นอินฟาเรดเลเซอร์ชนิดนาโนวินาทีที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าพลังงานของเลเซอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลเซอร์ ความเร็วในการเดินลำแสงเลเซอร์ และความถี่ในการฉายเลเซอร์ได้

งานวิจัยฉบับนี้จึงทำการศึกษาในหัวข้อการประยุกต์ใช้เลเซอร์ชนิดนาโนวินาทีสำหรับปรับปรุงสมบัติของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลอาศัยการหลอมพื้นผิวชิ้นงานมาก่อน เจาะจงไปที่อะลูมิเนียมผสมนิกเกิลหล่อเกรดยูเทคติก โดยศึกษาผ่านโครงสร้างทางโลหะวิทยาที่ผ่านกระบวนการหลอมพื้นผิวด้วยเลเซอร์และค่าความแข็งที่ได้เพื่อหาค่าความถี่ของเลเซอร์ที่เหมาะสมในการเพิ่มความแข็งให้กับผิวอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลและก่อให้เกิดข้อบกพร่องในบริเวณที่ทำการหลอมด้วยเลเซอร์ที่ต่ำ

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ใช้วัสดุหลักในการทำการทดลองดังนี้ โลหะอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ร้อยละ 99.7 โดยน้ำหนัก โลหะแม่อะลูมิเนียมผสมนิกเกิล โดยมีนิกเกิลผสมอยู่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก หลังจากทำการหล่อโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลให้มีส่วนผสมอยู่ที่จุดยูเทคติก (6 wt.%) เพื่อใช้ในงานวิจัยด้วยเบ้าหลอมที่เคลือบผิวด้วยโบรอนไนไตร์ โดยใช้เตาหล่อโลหะแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า ทำการหลอมโลหะที่อุณหภูมิ 780 องศาเซลเซียส ทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ได้ค่าดังตารางที่ 1

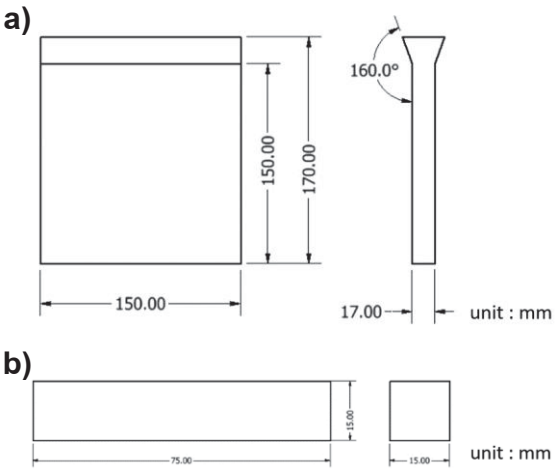
ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมผสมที่ใช้ในการทดลองจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

	Weight percent					
	Ni	Cu	Si	Mg	Fe	Al
Al-6Ni	6.000	0.067	0.100	0.003	0.051	Bal.

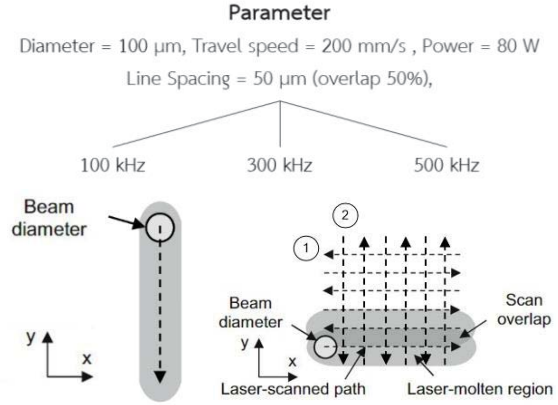
เทโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อที่ทำจากเหล็กเพื่อเตรียมชิ้นงานหล่อ ดังรูปที่ 1 ทิ้งไว้ให้เย็นตัวในสภาวะปกติ จากนั้นเตรียมชิ้นงานตัดด้วยเลื่อยสายพาน โดยตัดส่วนบนของชิ้นงานหล่อออกก่อนจนได้ขนาด 150 x 150 x 17 มิลลิเมตร หลังจากนั้นเตรียมชิ้นงานก่อนนำไปผ่านกระบวน LSR โดยตัดให้ได้ขนาด 75 x 15 x 15 มิลลิเมตร และนำผิวที่ได้จากการตัดไปผ่านกระบวนการกัดผิวให้ชิ้นงานตัวอย่างมีพื้นผิวอ้างอิง จากนั้นขัดผิวที่ผ่านการกระบวนการกัดผิวแล้วด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180, 240, 320, 480 และ 600 ตามลำดับ

ชิ้นงานที่ผ่านการขัดผิวแล้วนำมายิงเลเซอร์ (IPG YLP-1-100) ด้วยเงื่อนไขที่แสดงไว้ดังรูปที่ 2 โดยจะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของ

เลเซอร์ ณ ตำแหน่งโฟกัสบนชิ้นงาน 100 µm ความเร็วในการเดิน 200 mm/s ใช้พลังงานของเลเซอร์ 80 W โดยพิจารณาความถี่ของเลเซอร์ที่แตกต่างกันได้แก่ 100, 300 และ 500 kHz ทำการยิงเลเซอร์ในลักษณะเส้นตรงและพื้นที่ แต่ละเงื่อนไขมีระยะห่างในการยิงจากแนวเดิมที่ 50 ไมโครเมตร ในกรณีที่ยิงลักษณะพื้นที่จะยิงทับแนวเดิม 50 % ตลอดการยิง โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการศึกษาลักษณะการหลอมที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง DSX1000 Digital Microscopes - Entry Model และวัดความแข็งที่ผิวบริเวณที่เกิดการหลอมด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิคเกอร์ INNOVATEST NOVA 130/240โดยใช้ภาระกรรม 50 กรัมจากนั้นนำชิ้นงานมาตัดขวางกับแนวเดินของเลเซอร์เพื่อศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาบริเวณบ่อหลอมของแต่ละเงื่อนไข โดยเตรียมผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180, 240, 480, 600, 800, 1000 และ 1200 ขัดเงาด้วยผงเพชรขนาด 3 ไมโครเมตร และสารแขวนลอยซิลิกาขนาด 0.04 ไมโครเมตร กัดผิวด้วยสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (0.5% HF) ตรวจสอบภาพโครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ในการพิจารณาความลึกของบ่อหลอม จะศึกษาผ่านภาพตัดขวางของชิ้นงานโดยประยุกต์ใช้โปรแกรม ImageJ



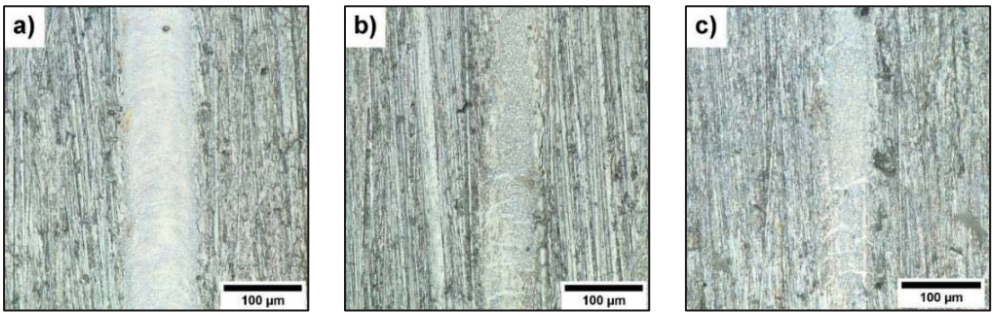
รูปที่ 1 a) ชิ้นงานหล่อ และ b) ชิ้นงานตัวอย่าง



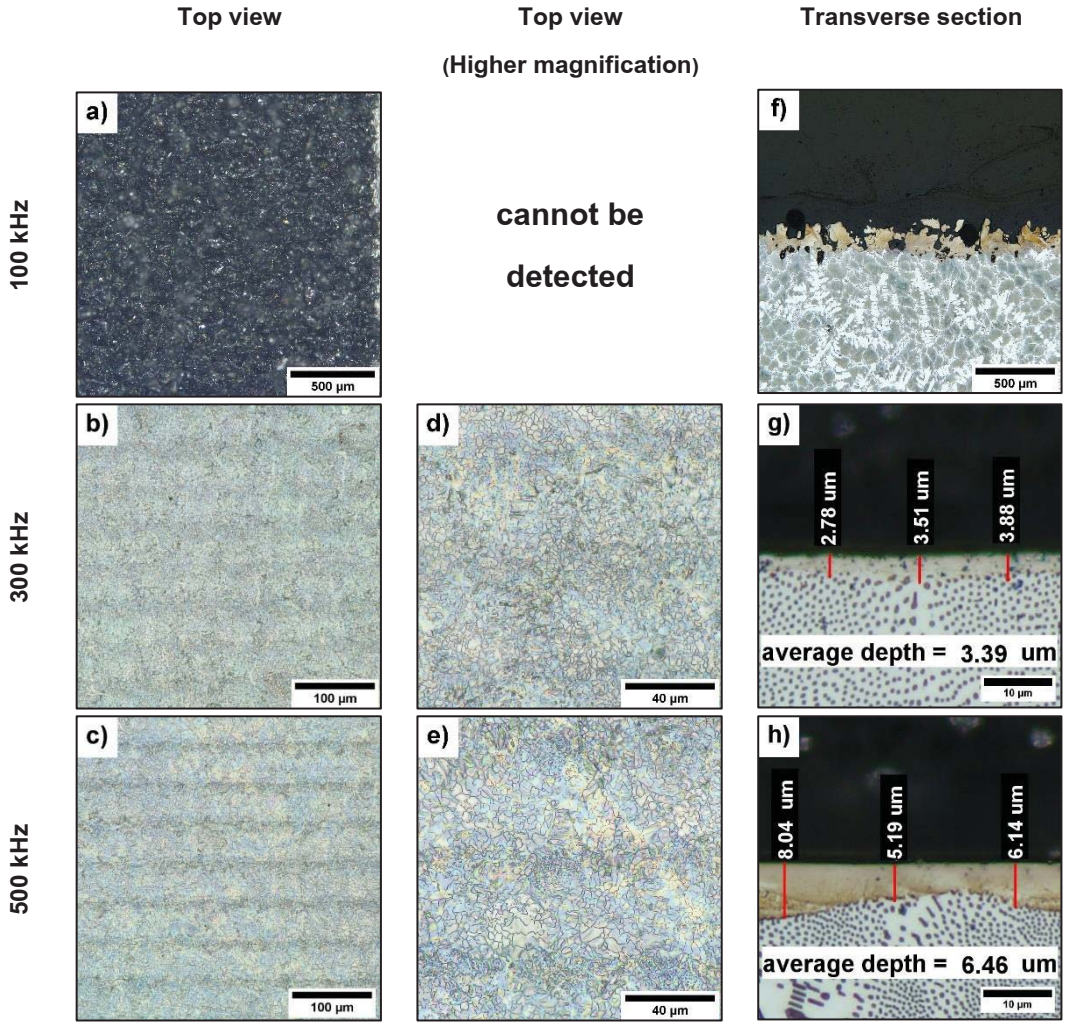
รูปที่ 2 ตัวแปรในการทดลองและแนวการเดินของเลเซอร์

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

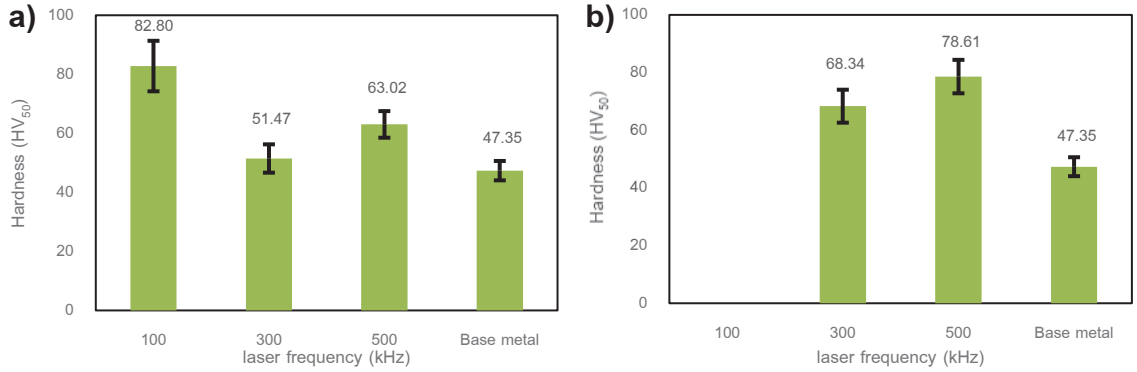
ภาพโครงสร้างทางจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงโครงสร้างผิวที่บริเวณบ่อหลอมของชิ้นงานที่ได้ภายหลังกระบวนการ LSR เมื่อเดินเลเซอร์แบบเป็นเส้นดังรูปที่ 3 ชิ้นงานที่ถูกหลอมด้วยความถี่เลเซอร์ 100 kHz พบโครงสร้างบริเวณบ่อหลอมมีความละเอียดที่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานที่ถูกหลอมด้วยความถี่ที่ 300 และ 500 kHz ส่งผลให้ค่าความแข็งบริเวณบ่อหลอมของความถี่ดังกล่าวมีค่ามากที่สุด โดยที่ความถี่ 100, 300 และ 500 kHz มีความแข็งที่ 82.80, 51.47 และ 63.02 HV ตามลำดับ ดังรูปที่ 5a โดยในส่วนของโครงสร้างบ่อหลอมที่เดินเลเซอร์ในลักษณะเส้นนั้น ไม่พบบ่อหลอมเกิดขึ้น หรืออาจมีขนาดเล็กจนไม่สามารถสังเกตได้ เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการ LSR ไม่เพียงพอต่อการทำให้เกิดการหลอมลึกที่ชัดเจน เมื่อทำการหลอมผิวชิ้นงานโดยเปลี่ยนลักษณะการยิงเลเซอร์ไปเป็นแบบพื้นที่ ดังรูปที่ 4 พบว่าที่ความถี่ 100 kHz มีการหลอมเหลวที่รุนแรง ผิวบนของบ่อหลอมที่ได้มีลักษณะขรุขระดังรูปที่ 4a) ซึ่งผิวงานดังกล่าวไม่สามารถนำมาศึกษาโครงสร้างที่มีความละเอียดสูงขึ้นได้ จากภาพตัดขวางของชิ้นงานพบว่าภายใต้ผิวที่เกิดการหลอมนั้น เกิดรูพรุนจำนวนมาก เนื่องจากพลังงานที่ได้จะแปรผกผันกับความถี่ที่ใช้ โดยที่ 100 kHz จะให้พลังงานที่มากที่สุด ส่งผลให้บ่อหลอมเกิดการเดือด สร้างฟองอากาศ เป็นสาเหตุให้เกิดรูพรุนภายหลังการเย็นตัวของบ่อหลอม ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างดังกล่าวแตกต่างไปจากลักษณะของบ่อหลอมที่ได้จากการใช้ความถี่ 300 และ 500 kHz ซึ่งให้พลังงานที่ต่ำกว่า 100 kHz โดยบ่อหลอมที่เกิดขึ้นค่อนข้างสมบูรณ์ มีความลึกของบ่อหลอมอยู่ที่ 3.39 และ 6.46 ไมโครเมตรตามลำดับ อย่างไรก็ตามลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของบ่อหลอมทั้งหมดมีขนาดที่ละเอียดมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างดั้งเดิมที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ LSR ความแข็งที่ผิวบริเวณบ่อหลอมของชิ้นงานที่ใช้ความถี่ 300 และ 500 kHz อยู่ที่ 68.34 และ 78.61 HV ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5b ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ LSR คิดเป็น 1.3 และ 1.7 เท่า ตามลำดับ อนึ่ง ความแข็งที่ผิวของชิ้นงานที่หลอมด้วยความถี่ 100 kHz ไม่สามารถวัดค่าได้ เนื่องจากไม่พบรอยกดที่เกิดขึ้นบนผิวด้านบนของบ่อหลอมข้างต้น



รูปที่ 3 บ่อหลอมที่ผ่านกระบวนการ LSR เมื่อเดินเลเซอร์ลักษณะเส้นตรงโดยใช้ความถี่ a) 100 kHz, b) 300 kHz และ c) 500 kHz



รูปที่ 4 บ่อหลอมที่ผ่านกระบวนการ LSR เมื่อเดินเลเซอร์ในลักษณะพื้นที่โดยใช้ความถี่ 100 kHz, 300 kHz และ 500 kHz
โครงสร้างบ่อหลอมบริเวณด้านบนที่กำลังขยายต่ำ a) 100 kHz b) 300 kHz และ c) 500 kHz
โครงสร้างบ่อหลอมบริเวณด้านบนที่กำลังขยายสูง d) 300 kHz และ e) 500 kHz
โครงสร้างตัดขวางแสดงบ่อหลอมที่เกิดขึ้น f) 100 kHz g) 300 kHz และ h) 500 kHz



รูปที่ 5 ความแข็งของโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลหล่อเกรดยูเทคติกที่ผ่านกระบวนการ LSR a) แบบเส้นตรง b) แบบพื้นที่

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการหลอมพื้นผิวของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลหล่อด้วยเลเซอร์สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- การใช้ความถี่ของเลเซอร์ที่ 500 kHz ให้ผลลัพธ์ที่ดีทั้งในด้านของความแข็งและโครงสร้างทางจุลภาค แม้ความแข็งที่ผิวน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความถี่ที่ 100 kHz แต่ไม่พบข้อบกพร่องบริเวณบ่อหลอม
- ค่าความแข็งที่ผิวบริเวณบ่อหลอมที่ผ่านกระบวนการ LSR มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นทั้งลักษณะการเดินแบบเส้นตรงและพื้นที่ เมื่อพิจารณาความแข็งที่ผิวในลักษณะการเดินแบบพื้นที่ พบว่าที่ความถี่ 500 kHz มีความแข็งคิดเป็น 1.7 เท่าของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลทั่วไป ตามลำดับ
- ความลึกของบ่อหลอมที่ได้จากการยิงเลเซอร์ลักษณะเส้นตรงด้วยตัวแปรที่กำหนด ไม่สามารถวัดค่าได้ เนื่องจากมีความลึกที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการยิงเลเซอร์ในลักษณะพื้นที่ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการประยุกต์ใช้กระบวนการ LSR ในภาคอุตสาหกรรมโดยทั่วไป จะทำการเดินเลเซอร์ในลักษณะพื้นที่บนวัสดุในบริเวณที่ต้องการปรับปรุง ซึ่งส่งผลมากกว่าการเดินเลเซอร์ในลักษณะเส้นตรง
- โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณบ่อหลอมที่ผ่านกระบวนการ LSR เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีความละเอียดมากขึ้น เนื่องจากการหลอมเหลวและเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วในการประยุกต์ใช้กระบวนการ LSR ซึ่งอาจเป็นผลที่ทำให้ได้ค่าความแข็งที่เพิ่มมากขึ้น

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ในอนาคต หากต้องการพัฒนาวัสดุทางเลือกสำหรับอะลูมิเนียมเพื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงอย่างปลอดภัย สามารถนำกระบวนการข้างต้นมาประยุกต์ใช้กับอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลเพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมที่จะปรับปรุงให้อะลูมิเนียมผสมมีความแข็งที่มากขึ้น ซึ่งในการศึกษาวิจัยขั้นถัดไปมีความจำเป็นต้องศึกษาถึงอิทธิพลของพลังงานของเลเซอร์ เส้นผ่านศูนย์กลางของเลเซอร์ และความเร็วในการเดิน ซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล อีกทั้งการพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเดินเลเซอร์ในลักษณะพื้นที่

6. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความสนับสนุนงบประมาณ เครื่องมือ อุปกรณ์ รวมไปถึงสถานที่ ที่ใช้ตลอดการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] F. Czerwinski, 2021, “ A Search for the Eutectic System of High- temperature Cast Aluminium Alloys”, Materials Science and Technology, Vol. 37, No. 7, pp. 683-692.

[2] F. Yousefi, R. Taghiabadi and S. Baghshahi, 2019, “ Improving Mechanical Properties of Mn- added Hypoeutectic Al- 4Ni Alloy by Friction Stir Processing”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol. 29, No. 3, pp. 460-472.

[3] R. Oliveira, R. Kakitani, L.R. Ramos, D.L. Goncalves, A. Garcia and N. Cheung, 2019, “The Roles of Mn and Ni Additions to Fe- contaminated Al in Neutralizing Fe and Stabilizing the Cellular α- Al Microstructure”, Journal of Sustainable Metallurgy, Vol. 5, No. 4, pp. 561-580.

[4] J. Abboud and J. Mazumder, 2020, " Developing of Nano Sized Fibrous Eutectic Silicon in Hypereutectic Al–Si Alloy by Laser Remelting", Scientific Reports, Vol. 10, No. 1, pp. 1-18.

[5] A. Plotkowski, O. Rios, N. Sridharan, Z. Sims, K. Unocic, R.T. Ott, R.R. Dehoff and S.S. Babu, 2017, "Evaluation of an Al-Ce Alloy for Laser Additive Manufacturing", Acta Materialia, Vol. 126, pp. 507-519.

[6] R. Oliveira, R. Kakitani, K.C. Cangerana, A. Garcia and N. Cheung, 2020, " Microstructural Refinement and Improvement of Microhardness of a Hypoeutectic Al–Fe Alloy Treated by Laser Surface Remelting", In Materials Proceedings, Vol. 2, No. 1, pp. 16.

[7] C. Zeng, J. Shen, C. He and M. Zhou, 2019, "An Ultrathin Melted Layer on Magnesium Alloy Manufactured by Low Power Laser", Materials Research Express, Vol. 6, No. 6, pp. 066527.

โครงสร้างจุลภาคและความแข็งของคอมโพสิตอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน เสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนียมไดโบไรด์

Microstructure and hardness of zirconium diboride reinforced Al-Si matrix composite

ไกลกังวล นิยมศิลป์ชัย[1] ศรันย์พร หมิ่นใจ[1] และ พร้อมพงษ์ ปานดี[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

Klaikangvol Niyomsilchai[1], Sarunporn Minchai[1], and Phromphong Pandee[1*]
[1]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

โลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 เป็นอะลูมิเนียมที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยนิยมนำมาผลิตเป็นลูกสูบ แต่ด้วยการใช้งานของลูกสูบนั้นถูกใช้งานที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นการเพิ่มสมบัติทางกลให้กับวัสดุจึงเป็นสิ่งจำเป็น งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 ที่มีการเติมปริมาณทองแดงร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก และเสริมแรงด้วยอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ (ZrB_2) ที่ส่งผลต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาและความแข็ง โดยอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ ผ่านกระบวนการเติมแบบ in-situ จากการทำปฏิกิริยาของฟลักซ์ K_2ZrF_6 และ KBF_4 จากการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณของทองแดงจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนักส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณของอนุภาคซิลิคอนปฐมภูมิ แต่การเติมปริมาณทองแดงร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก ร่วมกับเสริมแรงด้วยอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ ไม่พบการมีอยู่ของอนุภาคซิลิคอนปฐมภูมิ นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนมีขนาดเล็กลง จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบการกระจายตัวของอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ในโครงสร้างจุลภาค ซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางกลในด้านของความแข็งที่เพิ่มขึ้นจาก 113.3 เป็น 118.2 HB

คาสาคัญ: อะลูมิเนียมผสมซิลิคอน, เซอร์โครเนียมไดโบไรด์, กระบวนการกวนด้วยใบพัด, ความแข็ง

Abstract

Al-Si casting alloy AA4032 are widely used in the automotive industry, especially piston parts, which is required to be worked at high-temperatures. Therefore, the mechanical properties improvement of this alloy is necessary. In this research work, the AA4032 with the high Cu matrix composites reinforced by in-situ zirconium diboride (ZrB_2) particles were conducted to investigate the characteristics of microstructural and hardness. The ZrB_2 metal matrix composite was produced by the in-situ reaction of molten aluminum with inorganic salts K_2ZrF_6 and KBF_4. The results revealed that the amount of primary Si particles increased with increasing Cu addition from 1 wt.% to 3.5 wt.%. This indicated that Cu addition shifted the eutectic point in the alloy system. However, the ZrB_2 addition resulted in complete elimination of primary Si particles and refinement of eutectic Si phases. XRD and SEM analysis show that ZrB_2 reinforcement has been obtained and been distributed in the aluminum matrix. It is seen that there is an increase in hardness of the material after reinforcement from 113.3 HB to 118.2 HB.

Keywords: Aluminum-silicon alloy, Zirconium diboride, Stir casting process, Hardness

การจาแนกโครงสร้างทางจุลภาคของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเชิงลึก

Classification Microstructure of Al-Si Casting Alloy by Deep Convolutional Neural Networks Technique

นุติ ท้ายนาวา[1] สุกัลย์ มนัสถาวร[1] พร้อมพงษ์ ปานดี[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

Nuti Taynawa[1], Sukan Manattavon[1], and Phromphong Pandee[1*]
[1]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

โลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิกอนได้ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากเนื่องจากมีความสามารถในการไหลตัวที่ดี การเติมธาตุผสมเพื่อปรับโครงสร้างของซิลิคอนเฟสจากที่มีลักษณะเป็นแผ่นแหลมให้มีขนาดที่เล็กและมีลักษณะกลมมน ส่งผลทำให้โลหะมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น โดย American Foundry Society (AFS) ได้ทำการแบ่งระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติกซิลิกอน ผ่านการแสดงด้วยภาพโครงสร้างทางจุลภาค อย่างไรก็ตามการจำแนกระดับการปรับโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนต้องอาศัยผู้มีประสบการณ์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดจากการจำแนกที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ได้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น การศึกษาวิจัยนี้จึงได้พัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเชิงลึก สำหรับการจำแนกระดับการปรับโครงสร้างยูเทคติกของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนจากภาพโครงสร้างทางโลหะวิทยา และเมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพในการจำแนกพบว่า มีความแม่นยำในการจำแนกอยู่ที่ 93.54% ใน มีค่า Precision ค่า Recall และค่า F1-Score จากข้อมูลชุดทดสอบอยู่ที่ 0.9404, 0.9345 และ 0.9360 ตามลำดับ

คาสาคัญ: การปรับโครงสร้างยูเทคติก, การเรียนรู้เชิงลึก, ไฮโปยูเทคติกอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน

Abstract

The Al-Si alloy is widely used in many industries because of its good fluidity. The addition of alloying elements helps to modify the eutectic silicon morphology from plate-like into a fine fibrous structure. This method, called "modification," offers better mechanical properties than the normal hypoeutectic Al-Si alloy. The evaluations of modification levels are based on an American Foundry Society standard, which describes each modification level using the wall chart microstructure. However, this method is quite dependent on human experience and could introduce human-caused errors into comparative metallographic analyses. To avoid the above problem, the development of a deep convolutional neural network model for the modification level prediction from the Al-Si microstructure image has been introduced. The development performs well on the classification task since it has an accuracy of 93.54%. The precision score, recall score, and F1-score of the testing set were 0.9404, 0.9345, and 0.9360, respectively.

Keywords: Modification, Deep learning, Hypoeutectic Al-Si alloy

1. บทนำ

ปัจจุบันโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ทั้งในอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอากาศยาน และอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กลุ่มอะลูมิเนียมผสมที่มีธาตุซิลิกอนเป็นธาตุผสมหลัก เนื่องจากมีความสามารถในการไหลตัวที่ดี มีความต้านทางต่อการแตกร้าวขณะร้อน มีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดี โดยโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามปริมาณของซิลิคอนที่ผสมอยู่ได้แก่ กลุ่มไฮโปยูเทคติก (Hypoeutectic) จะมีปริมาณซิลิคอนผสมอยู่น้อยกว่าร้อยละ 11.7 โดยน้ำหนัก กลุ่มยูเทคติก (Eutectic) จะมีปริมาณซิลิคอนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 11.7 โดยน้ำหนัก และกลุ่มไฮเปอร์ยูเทคติก (Hypereutectic) จะมีปริมาณซิลิคอนผสมอยู่มากกว่าร้อยละ 11.7 โดยน้ำหนัก

อะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด A356 เป็นอะลูมิเนียมผสมในกลุ่มไฮโปยูเทคติก มีปริมาณของซิลิคอนผสมอยู่ร้อยละ 6.5-7.5 โดยน้ำหนัก และมีการเติมธาตุแมกนีเซียมในปริมาณร้อยละ 0.30-0.45 โดยน้ำหนัก ซึ่งอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด A356 นี้เป็นที่นิยมใช้ในกระบวนการหล่อโลหะ โดยโครงสร้างทางโลหะวิทยาจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ โครงสร้างอะลูมิเนียมปฐมภูมิ (Primary aluminum) และโครงสร้างยูเทคติกอะลูมิเนียมซิลิคอน (Eutectic Al-Si) หนึ่งในวิธีที่จะเพิ่มสมบัติทางกลให้ดีขึ้นนั้นสามารถทำได้โดยการปรับโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอน (Eutectic modification) เนื่องจากลักษณะทั่วไปของเฟสยูเทคติกซิลิคอนของในโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอน จะมีลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ที่มีปลายแหลม (Plate-like) ซึ่งส่งผลทำให้มีความแข็งแรงต่ำ มีความต้านทานแรงดึงต่ำ โดยการปรับโครงสร้างยูเทคติกจะทำให้เฟสยูเทคติกมีลักษณะเป็นก้อนกลมขนาดเล็ก (Fine fibrous) สามารถทำการปรับขนาดเฟสของยูเทคติกซิลิคอนได้โดยการเติมธาตุผสมลงไปในโลหะหลอมเหลวในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ สตรอนเซียม (Sr) และ โซเดียม Na เป็นต้น [1]

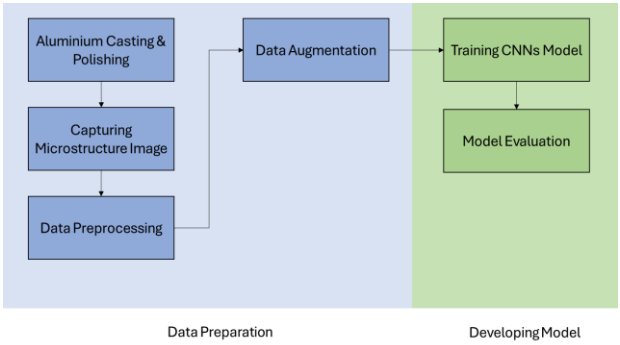
American Foundry Society (AFS) ได้ทำการจำแนกประเภทของระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอน (Modification level: ML) จากรูปร่างและขนาดของยูเทคติกซิลิคอน ออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ Fully unmodified, Lamellar, Partial modification, Non-lamellar, Fibrous eutectic silicon อย่างไรก็ตามการจำแนกระดับการปรับโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนนี้ จะใช้การเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบที่ทาง AFS กำหนดขึ้น [2] ซึ่งยากต่อการใช้งานจริง และเกิดความผิดพลาดในการจำแนก ทำให้การจำแนกระดับของยูเทคติกซิลิคอนนั้นเป็นงานที่มีความท้าทาย และต้องใช้บุคลากรผู้ที่มีทั้งประสบการณ์และความเชี่ยวชาญในการจำแนก

ในปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ได้ถูกนำมาใช้ในวงการโลหะวิทยามากขึ้น เพื่อที่จะนำมาลดความซับซ้อนในการแก้ปัญหาต่าง ๆ และเป็นเทคโนโลยีที่มีความแม่นยำสูงอีกด้วย ทำให้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ถูกนำมาใช้ในวงการโลหะวิทยาเป็นวงกว้างมากขึ้น หนึ่งในสถาปัตยกรรมของปัญญาประดิษฐ์ที่มีความนิยมนำมาใช้คือ Deep Convolutional Neural Network (CNNs) โดยที่ CNNs นั้นเป็นสถาปัตยกรรมที่เลียนแบบการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่ง CNNs นั้นสามารถทำการสกัดคุณลักษณะ (Feature) ของข้อมูลได้โดยที่ไม่มีความแตกต่างจากข้อมูลต้นฉบับมากนัก [4] ทำให้ CNNs นั้นนิยมนำมาใช้ในการจัดการกับข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง (Unstructure data) เช่น รูปภาพ วิดีโอ เป็นต้น

ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้จึงเป็นกานำเทคนิค CNNs มาใช้ในการจำแนกระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอน ในไฮโปยูเทคติกอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อ เพื่อช่วยให้สามารถทำให้การจำแนกมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และสามารถช่วยลดปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดของมนุษย์ (Human error) ในการจำแนกได้

2. ขั้นตอนวิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อที่จะสร้างโมเดล Convolutional Neural Networks โดยใช้ภาษา Python ในการสร้างโมเดล และแสดงผลบน google collab และ visual studio code เพื่อที่จะนำมาใช้ในการจำแนกระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอน ของโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน เกรด A356 จากภาพโครงสร้างจุลภาค โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 Workflow ของการดำเนินงาน

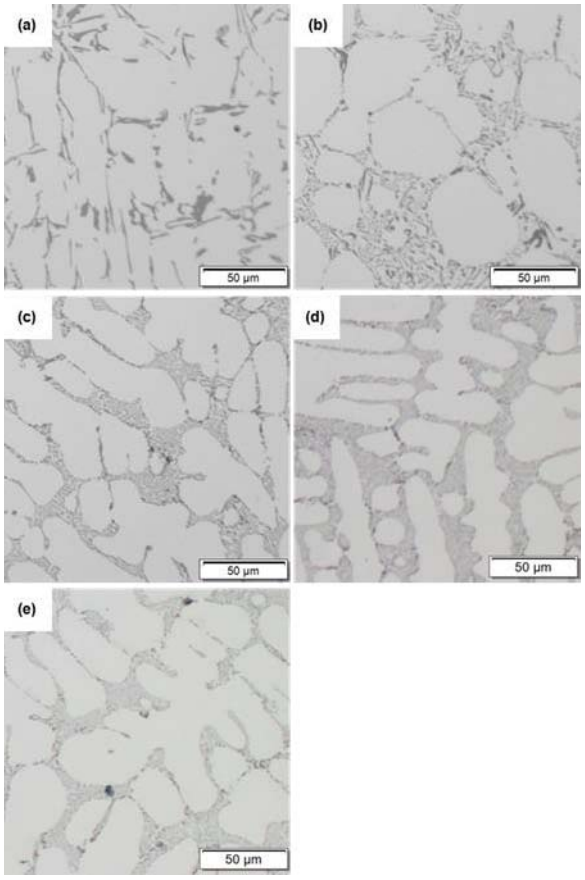
2.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับการสอนโมเดล

ในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลสำหรับการสอนโมเดลนั้น ผู้วิจัยได้ทำการหล่อโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน โดยทำการปรับโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนด้วยการเติมธาตุผสมสตรอนเซียม อ้างอิงปริมาณส่วนผสมของธาตุสตรอนเซียม จากงานวิจัยของ Chen และคณะ [4] โดยใช้โลหะอะลูมิเนียม บริสุทธิ์ร้อยละ 99.7 โดยน้ำหนัก โลหะแม่อะลูมิเนียมผสมสตรอนเซียมร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ซิลิกอนบริสุทธิ์ และ แมกนีเซียมบริสุทธิ์โดยใช้เตาหล่อโลหะแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction furnace) ทำการหลอมโลหะอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการเติมซิลิกอนบริสุทธิ์ เพื่อทำให้โลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิกอนมีส่วนผสมทางเคมีของซิลิคอนอยู่ที่ประมาณร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก แมกนีเซียมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก จึงค่อยเติมโลหะแม่อะลูมิเนียมผสมสตรอนเซียมที่ส่วนผสมตามกำหนด เพื่อให้ได้ชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการถ่ายภาพโครงสร้างทางจุลภาคที่มีระดับการปรับโครงสร้างตามเกณฑ์ของ AFS โดย

ส่วนผสมทางเคมีทดสอบด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ แสดงดังตารางที่ 1 จากนั้นทำการไล่แก๊สไฮโดรเจนที่เจือปนในโลหะหลอมเหลวด้วยแก๊สอาร์กอน

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานตัวอย่าง

Modification level	Si (wt%)	Mg (wt%)	Sr (ppm)
1	7.50	0.33	0.5
2	7.30	0.34	10.5
3	7.39	0.33	20.4
4	7.50	0.31	55.1
5	7.38	0.31	60.6



รูปที่ 2 โครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนของชิ้นงานตัวอย่างที่มีการจำแนกระดับการปรับโครงสร้างยูเทคติคตามมาตรฐาน AFS (a) Level 1, (b) Level 2, (c) Level 3, (d) Level 4, (d) Level 5.

เทโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อที่ทำจากกราไฟต์ที่มีอัตราการเย็นตัวที่ 3 องศาเซลเซียสต่อวินาที ทิ้งไว้ให้เย็นตัวในสภาวะปกติ จากนั้นนำชิ้นงานมาตัดด้วยเลื่อยสายพาน โดยตัดลึกเข้าไปจากส่วนท้ายของชิ้นงานเป็นระยะ 15 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180, 240, 320, 480, 600, 800, 1200 และ ขัดเงาด้วยผงเพชรขนาด 3 ไมโครเมตร และสารแขวนลอยซิลิกาขนาด 0.04 ไมโครเมตร ตามลำดับ แล้วจึงนำไปตรวจสอบและถ่ายภาพโครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยเลือกมุมมองของการถ่ายภาพโครงสร้าง เข้าใกล้ศูนย์กลางของชิ้นงาน ห่างจากขอบของชิ้นงานเข้าไป เป็นระยะอย่างน้อย 5 มิลลิเมตร ได้ผลดังรูปที่ 2 เพื่อเตรียมข้อมูลไปใช้ในการเรียนรู้ของโมเดล CNNs โดยถ่ายภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคระดับละ 120 ภาพ นำภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาระดับ Modification level โดยอ้างอิงจาก American standard society (AFS) chart ในการจำแนกและใช้วิธี IAS (Image analysis system) โดยแบ่ง Modification level ออกเป็น 5 ระดับตามขนาดของของเฟสซิลิคอน และใช้สมการที่ 1 ในการคำนวณหาระดับ Modification level ของแต่ละภาพ [2]

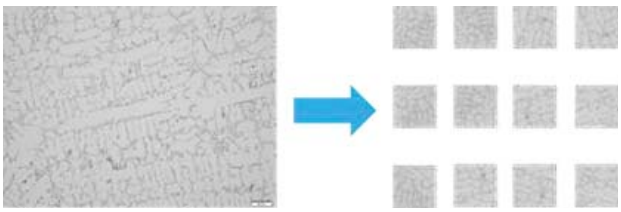
$$ML = (1 \times a\%) + (2 \times b\%) + (3 \times c\%) + (4 \times d\%) + (5 \times e\%) \quad (1)$$

เมื่อ a% - f% เป็นค่าร้อยละของแต่ละระดับ Modification level ที่พบในภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาค

2.2 Data Preprocessing

ในขั้นตอนของการทำ Data Preprocessing นั้นได้ทำการปรับภาพจากเดิมที่เป็น RGB Channel ให้กลายเป็นรูปแบบ Grayscale เพื่อลดขนาดมิติของข้อมูลภาพ และเนื่องจากภาพโดยทั่วไปจะมีช่วงของความเข้มสีในแต่ละพิกเซลตั้งแต่ 0 จนถึง 255 เพื่อทำการลดผลกระทบที่เกิดจากความแตกต่างของสเกลภาพ จึงทำการ Normalization เพื่อทำการปรับให้รูปภาพที่ได้นั้นมีสเกลอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 รวมทั้งทำการแบ่งรูปภาพจากเดิมที่มีขนาด 2080 x 1544 พิกเซล แบ่งภาพออกเป็น 12 ส่วนที่มีขนาดเท่ากับ 150 x 150 พิกเซลเพื่อที่จะใช้สำหรับการสอนโมเดล

เมื่อได้รูปภาพสำหรับการสอนโมเดลแล้ว จึงต้องทำการ Labeling รูปภาพ โดย Label นั้นคือระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติกของรูปภาพนั้น ๆ จากนั้นนำ Label มาทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของ One-hot encoding

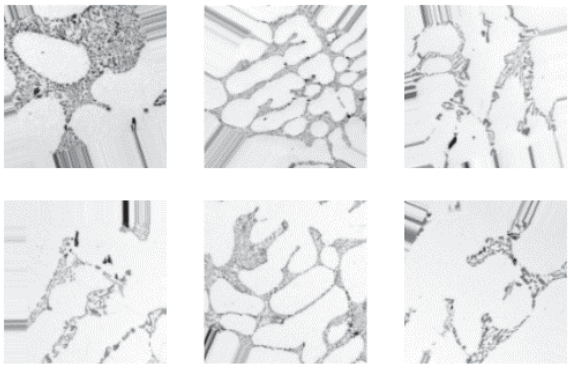


รูปที่ 3 ภาพที่ได้หลังจากการตัดแบ่งออกเป็น 12 ส่วน

2.3 Data Augmentation

Data Augmentation เป็นขั้นตอนหนึ่งในการเพิ่มจำนวนของข้อมูลเพื่อทำการแก้ไขปัญหา Overfitting และเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดล [4] ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้มีจำกัด เนื่องจากในขั้นตอนการหล่อ

ชิ้นงานต้นแบบนั้นใช้เวลานาน และมีทรัพยากรที่จำกัด ทำให้ไม่สามารถทำการหล่อชิ้นงานเป็นจำนวนมากได้ จึงต้องมีการนำวิธีการ Data Augmentation มาใช้ โดยได้ทำการปรับภาพจากภาพย่อยโดยทำการปรับภาพให้หมุนครั้งละ 40 องศา ปรับกำลังขยายของภาพครั้งละ 20 % ขยับ ภาพตามความกว้าง และความยาวครั้งละ 0.2 เท่า ทำการกลับด้านรูปภาพในแนวตั้ง และแนวนอน โดยมีตัวอย่างของรูปภาพที่ผ่านการทำ Data Augmentation ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปภาพที่ผ่านการทำ Image Augmentation

2.4 สถาปัตยกรรมของโมเดล CNNs

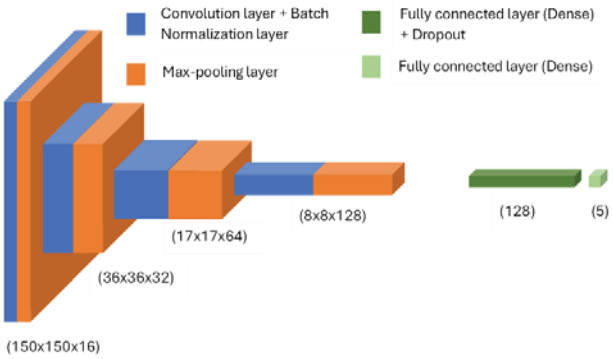
ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในโมเดล

ชนิดของ Layer
Conv2D (16), 3x3, Relu activations, zero padding
Batch Normalization layer
Max-pooling layers, filter size = 3x3, stride = 2x2
Conv2D (32), 3x3, Relu activations, zero padding
Batch Normalization layer
Max-pooling layers, filter size = 3x3, stride = 2x2
Conv2D (64), 3x3, Relu activations, zero padding
Batch Normalization layer
Max-pooling layers, filter size = 3x3, stride = 2x2
Conv2D (128), 3x3, Relu activations, zero padding
Batch Normalization layer
Max-pooling layers, filter size = 3x3, stride = 2x2
Flatten layer
Fully connected layer (128), Relu activations
Batch Normalization layer
Dropout (0.24)
Fully connected layer (5), Softmax activations

เมื่อได้รูปภาพที่ผ่านการทำ Image Augmentation แล้วจึงนำรูปภาพที่ได้นั้นไปทำการสอนโมเดล CNNs โดยโมเดล CNNs นั้นประกอบไปด้วย Convolution layers, Max-pooling layers และ Dense layer และจะนำ Batch Normalization layer และ Dropout มาใช้เพื่อลดปัญหา Overfitting ที่ทำให้โมเดลนั้นมีประสิทธิภาพในการจำแนกต่ำลง [6] ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาโมเดลสำหรับการจำแนกระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติกนั้นเป็นดังตารางที่ 2 โดยโมเดลที่ใช้นั้นมีจำนวนพารามิเตอร์สำหรับการเรียนรู้ทั้งหมด 1,148,973 พารามิเตอร์ และมีสถาปัตยกรรมของโมเดล CNNs ที่ได้พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 5

2.5 ขั้นตอนการฝึกสอนโมเดล

ในขั้นตอนการฝึกสอนโมเดลนั้น ได้นำข้อมูลส่วน Training set มาทำการสอนโมเดล และจะใช้ข้อมูลส่วน Validation set เพื่อทำการดูประสิทธิภาพของโมเดลระหว่างที่โมเดลทำการเรียนรู้ และใช้ข้อมูลส่วน Testing set ในการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลเมื่อโมเดลทำการเรียนรู้เสร็จแล้ว ในการสอนโมเดลได้ใช้ Optimizer คือ Adam ที่มีค่า Learning rate เท่ากับ 0.001 มี Loss Function คือ Categorical Crossentropy มี Epoch เท่ากับ 1000 กำหนด Batch size ที่ 50 และจะทำการบันทึกค่า Weight ของโมเดลที่สามารถทำการจำแนกข้อมูลได้อย่างแม่นยำมากที่สุดไว้ใช้เวลาในการฝึกสอนรวมทั้งสิ้น 5.27 ชั่วโมง

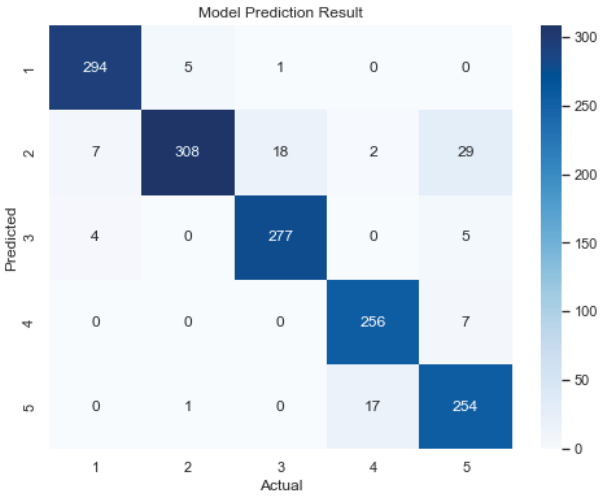


รูปที่ 5 แสดงสถาปัตยกรรมของโมเดล CNNs ที่ได้พัฒนาขึ้น

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการวัดประสิทธิภาพของโมเดลด้วย Testing set เมื่อโมเดลทำการเรียนรู้เสร็จแล้ว ทำให้ได้ผลการจำแนกระดับประเภทของระดับการปรับโครงสร้างยูเทคติกของโมเดลดังรูปที่ 6 ทำให้ได้ค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของระดับการปรับโครงสร้างยูเทคติคของโมเดล ตามเมื่อทำการพิจารณาแยกในแต่ละระดับ ตามตารางที่ 3 โดยที่มีความแม่นยำในการทำนายอยู่ที่ 94.07 % มีค่า Precision เฉลี่ยอยู่ที่ 0.9440 ค่า Recall เฉลี่ยอยู่ที่ 0.9407 และค่า F1-Score เฉลี่ยอยู่ที่ 0.9411 และเมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกระดับของเฟสยูเทคติกมาทำการพล็อตเส้น ROC Curve และคำนวณค่า AUC จากเส้น ROC Curve เพื่อพิจารณาว่า โมเดลนั้นมีประสิทธิภาพในการ

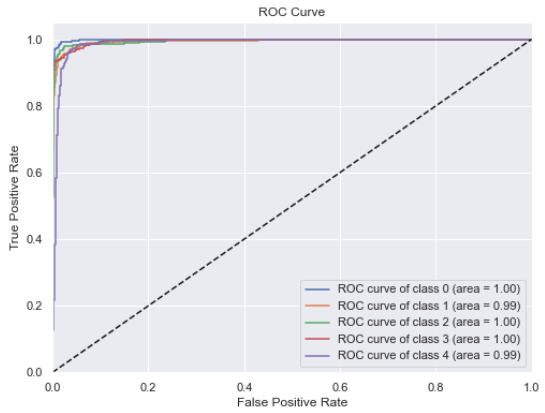
จำแนกมากน้อยเพียงใด จะได้เส้น ROC Curve ดังรูปที่ 7 และจากเส้น ROC Curve ที่ได้จะทำให้ได้ค่า AUC ดังตารางที่ 4



รูปที่ 6 ผลการจำแนกระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนของโมเดล CNN

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพในการจำแนกเมื่อพิจารณาแยกในแต่ละระดับ

ระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติก	Precision	Recall	F1-Score
ระดับ 1	0.9800	0.9639	0.9719
ระดับ 2	0.8462	0.9809	0.9086
ระดับ 3	0.9685	0.9358	0.9519
ระดับ 4	0.9734	0.9309	0.9517
ระดับ 5	0.9338	0.8610	0.8959



รูปที่ 7 แสดงเส้น ROC Curve ของระดับที่ 1 (class 0) ระดับที่ 2 (class 1) ระดับที่ 3 (class 2) ระดับที่ 4 (class 3) และ ระดับที่ 5 (class 4) ตามลำดับ

4. สรุปผลการวิจัย

เมื่อพิจารณาจากค่าต่าง ๆ ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการจำแนกระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติกของโมเดลแล้วพบว่า โมเดลที่ทำการพัฒนาขึ้นนั้นสามารถที่จะจำแนกระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติกจากรูปภาพโครงสร้างได้เป็นอย่างดี โดยที่ทำการจำแนกข้อมูลจาก Tesing test ผิดเพียง 96 ข้อมูล จาก 1485 ข้อมูล หรือมีความแม่นยำ (Accuracy) เท่ากับ 93.54% เมื่อพิจารณาจากค่า Precision score พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกเป็นระดับต่าง ๆ โดยที่เป็นระดับนั้น ๆ จริงอยู่ที่ 0.9404 และ เมื่อพิจารณาจากค่า Recall score พบว่าโมเดลมีความถูกต้องในการจำแนกอยู่ที่ 0.9345 และเมื่อพิจารณาจากค่า AUC ที่ได้จากเส้น ROC Curve พบว่า ค่า AUC ที่ได้จากการจำแนกในทุกระดับนั้นมีค่ามากกว่า 0.99 ซึ่งหมายถึง โมเดลที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมานั้นสามารถจำแนกระดับของการปรับโครงสร้าง ยูเทคติกได้อย่างถูกต้อง โดยที่ค่าของ True positive rate มีค่าที่สูงในขณะที่ False positive rate มีค่าที่ต่ำ โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ใกล้เคียงกันอย่างเช่น งานวิจัยของ DeCost et al.[7] ที่สร้างโมเดล SVM(support vector machine) เพื่อใช้ในการคัดแยกรูปภาพโครงสร้างทางจุลภาคของโลหะออกเป็น 7 กลุ่ม โดยให้ค่าความแม่นยำของโมเดลมากกว่า 80% ทำให้สามารถสรุปได้ว่าโมเดลนั้นสามารถจำแนกระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติกจากรูปภาพโครงสร้างได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4 ค่า AUC ที่ได้จากเส้น ROC Curve ของแต่ละระดับ

ระดับของการปรับโครงสร้างยูเทคติก	ค่า AUC
ระดับ 1	1.00
ระดับ 2	0.99
ระดับ 3	1.00
ระดับ 4	1.00
ระดับ 5	0.99

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ให้การสนับสนุนจนงานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Hegde and K.N. Prabhu, 2008, “Modification of Eutectic Silicon in Al–Si Alloys”, Journal of Materials Science, Vol. 43(9): 3009–3027.

[2] M. Djurdjevic, H. Jiang, and J. Sokolowski, 2001, “On-line Prediction of Aluminum–Silicon Eutectic Modification Level using Thermal Analysis”, Materials Characterization, Vol. 46(1): 31-38.

[3] S. Albawi, T. A. Mohammed and S. Al-Zawi, "Understanding of a Convolutional Neural Network," 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET), 2017, 1-6

[4] X. Chen, H. Geng and Y. Li. 2006, "Study on the Eutectic Modification Level of Al– 7Si Alloy by Computeraided Recognition of Thermal Analysis Cooling Curves", Materials Science and Engineering A, Vol. 419: 283–289.

[5] W. Jason and P. Luis, 2017, "The Effectiveness of Data Augmentation in Image Classification using Deep Learning", arXiv e-prints, arXiv:1712.04621

[6] J. Kukačka, V. Golkov and D. Cremers, 2017, "Regularization for deep learning: A taxonomy" , arXiv preprint arXiv:1710.10686.

[7] DeCost, B. L. ; Holm, E. A. A computer vision approach for automated analysis and classification of microstructural image data. Comput. Mater. Sci. 2015, 110, 126–133.

อะลูมิเนียมผสมหล่อทางเลือกสำรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง

An alternative aluminum casting alloys for high-temperature applications

ปวิมล เขตอำนวย[1] พัชรพร ศรารัชต์[1] ฟ้าใหม่ วงศ์หอม[1] พร้อมพงษ์ ปานดี[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

Pawimon Khetumnuay[1], Patcharaporn Sararat[1], Famai Wonghom[1] Phromphong Pandee[1*]
[1]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi University
E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

อะลูมิเนียมผสมเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมยานยนต์และการบินอวกาศ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีความสามารถในการหล่อและมีสมบัติทางกลที่ดี แต่อย่างไรก็ตามอะลูมิเนียมไม่สามารถรักษาสมบัติทางกลไว้ได้เมื่อนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง ซึ่งการเติมธาตุผสมลงในอะลูมิเนียมส่งผลให้อะลูมิเนียมสามารถรักษาสมบัติทางกลที่อุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น จากการศึกษาวิจัย พบว่า อะลูมิเนียมผสมนิกเกิล และอะลูมิเนียมผสมซีเรียม เป็นอะลูมิเนียมผสมทางเลือกใหม่ที่มีความเสถียรทางความร้อน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค และความแข็งของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล และอะลูมิเนียมผสมซีเรียม โดยเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยทำการศึกษาโครงสร้างและความแข็งหลังการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าหลังจากการให้ความร้อนส่งผลทำให้ค่าความแข็งของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน อะลูมิเนียมผสมนิกเกิล และอะลูมิเนียมผสมซีเรียมลดลง 35.51% 28.36% และ 19.98% ตามลำดับ โดยอะลูมิเนียมผสมซีเรียมยูเทคติกมีความเสถียรทางความร้อนที่ดีที่สุด

คาสาคัญ: อะลูมิเนียมผสมซีเรียม, ความเสถียรทางความร้อน, สมบัติทางกล

Abstract

Aluminum alloys are desirable for automotive and aerospace industries due to their lightweight, outstanding castability and excellent mechanical properties. However, one of the major drawbacks of aluminum alloys is that it does not retain their mechanical properties at high temperature. The addition of alloying elements to aluminum alloys can fill this gap. Many studies have attempted to find new aluminum-based alloys having a thermal stability. It was reported that eutectic Al-Ni and Al-Ce alloys can fulfill these requirements. The objective of this study is to investigate the microstructure and hardness of Al-Ni and Al-Ce alloys and compared to the presently used Al-Si alloys. The thermal stability of the alloys was investigated through the hardness after high-temperature exposure. The specimens were exposed in a furnace at 500 °C for up to 360 hours. The results revealed that the hardness of Al-Si, Al-Ni and Al-Ce alloys were reduced by 35.51%, 28.36% and 19.98%, respectively after the exposure. Regarding this finding, it can be implied that the Al-Ce eutectic is the most thermally stable.

Keywords: Aluminum-Cerium alloys, Thermal stability, Mechanical properties

1. บทนำ

อะลูมิเนียมเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็กชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านวิศกรรม อุตสาหกรรมการผลิต รวมถึงของใช้ในครัวเรือน เนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา แข็งแรง มีสมบัติด้านการนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดี จึงทำให้มีความต้องการใช้อะลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้น อาทิ ในอุตสาหกรรมยานยนต์ นำอะลูมิเนียมมาใช้เพื่อช่วยให้ประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงของยานพาหนะ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม [1]

ในปัจจุบันโลหะผสมอะลูมิเนียมเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่นิยมใช้อะลูมิเนียมผสมซิลิคอน เนื่องจากมีสมบัติการไหลตัวที่ดีและมีความต้านทานการแตกร้าวขณะร้อน แต่อย่างไรก็ตามความเสถียรทางความร้อนยังไม่ดีพอ เนื่องจากมีจุดยูเทคติกที่ 577 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 1 และซิลิคอนในอะลูมิเนียมมีอัตราการแพร่ที่สูง โดยที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสมีอัตราการแพร่อยู่ที่ 1.3×10^{-13} ตารางเมตรต่อวินาที ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุลดลงเมื่อนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงต้องการวิจัยเพื่อหาอะลูมิเนียมผสมทางเลือกอื่น โดยให้ความสนใจกับอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล และอะลูมิเนียมผสมซีเรียม เนื่องจากอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลมีจุดยูเทคติกอยู่ที่ 640 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 2 และอะลูมิเนียมผสมซีเรียมอยู่ที่ 644.5 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 3 [1] ซึ่งจุดยูเทคติกของทั้งสองส่วนผสมสูงกว่าจุดยูเทคติกของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน และที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นิกเกิลในอะลูมิเนียมมีอัตราการแพร่อยู่ที่ 5.99×10^{-14} ตารางเมตรต่อวินาที และซีเรียมในอะลูมิเนียมมีอัตราการแพร่อยู่ที่ 5.69×10^{-18} ตารางเมตรต่อวินาที และตั้งแต่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสจนถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการแพร่ของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลและอะลูมิเนียมผสมซีเรียมมีอัตราการแพร่ที่ต่ำกว่าอัตราการแพร่ของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนเสมอ [1]

$$577\ ^{\circ}C\ \text{Liquid} \rightarrow Al + Si \quad (1)$$

$$640\ ^{\circ}C\ \text{Liquid} \rightarrow Al + Al_3Ni \quad (2)$$

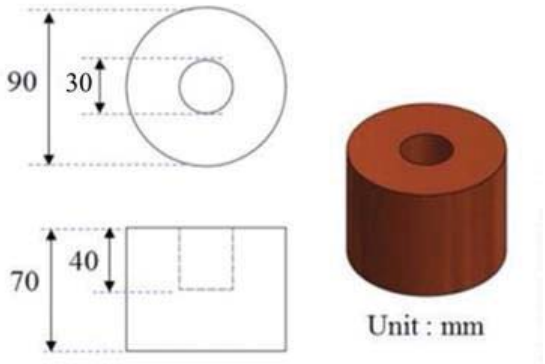
$$644.5\ ^{\circ}C\ \text{Liquid} \rightarrow Al + Al_{11}Ce_3 \quad (3)$$

นิกเกิล และซีเรียมเป็นธาตุเจือชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับผสมเข้ากับโลหะอะลูมิเนียมผสม เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติในด้านต่าง ๆ ของโลหะอะลูมิเนียมให้ดีขึ้น เนื่องจากการเติมนิกเกิลทำให้เกิดเฟสของ Al_3Ni ยูเทคติก การเติมซีเรียมทำให้เกิดเฟสของ $Al_{11}Ce_3$ ยูเทคติก ซึ่งมีความเสถียรจนถึงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และคงความแข็งแรงไว้ได้ถึง 300 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ นอกจากนี้อะลูมิเนียมผสมนิกเกิล และอะลูมิเนียมผสมซีเรียมมีสมบัติด้านการหล่อที่ดี และมีความต้านทานการกัดกร่อนสูง [2,3]

อะลูมิเนียมผสมซีเรียมเป็นอีกหนึ่งตัวอย่างที่เหมาะแก่การศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาอะลูมิเนียมผสมให้เป็นทางเลือกในการนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากยังไม่มีงานวิจัยที่รองรับ อีกทั้งจุดยูเทคติกมีค่าสูงกว่าจุดยูเทคติกของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล มีอัตราการแพร่ที่ต่ำกว่านิกเกิล และการผสมซีเรียมลงในอะลูมิเนียมทำให้มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงและมีความต้านทานการคืบสูงกว่าเมื่อเทียบกับอะลูมิเนียมผสมทั่วไป [4] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาความสามารถในการทนอุณหภูมิของอะลูมิเนียมผสมซีเรียม โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนและอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล ผ่านกระบวนการไอโซเทอร์มอลที่ส่วนผสมยูเทคติก และการวิเคราะห์โครงสร้างทางโลหะวิทยาหลังผ่านการอบที่อุณหภูมิสูง และสำหรับการศึกษาความเสถียรทางความร้อนของอะลูมิเนียมผสมมีความสำคัญสำหรับการเลือกใช้งานที่อุณหภูมิสูงจึงทำการศึกษาชิ้นงานผ่านกระบวนการไอโซเทอร์มอลที่เพิ่มเวลาจากงานวิจัยในอดีตจาก 168 ชั่วโมง [1] เป็น 360 ชั่วโมง โดยทำการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาความเสถียรทางความร้อนของวัสดุที่ใช้เวลาในการอบเพิ่มขึ้น

2. วิธีการทดลอง

การศึกษาวิจัยนี้ใช้โลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน โลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล และโลหะอะลูมิเนียมผสมซีเรียม โดยเป็นโลหะอะลูมิเนียมผสมที่ส่วนผสมยูเทคติก ซึ่งใช้วัสดุหลักในการทำการทดลองดังนี้ โลหะอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ร้อยละ 99.7 โดยน้ำหนัก โลหะซิลิคอนบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 โดยน้ำหนัก โลหะแม่อะลูมิเนียมผสมนิกเกิล โดยมีนิกเกิลผสมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และโลหะอะลูมิเนียมผสมซีเรียม โดยมีซีเรียมผสมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการหลอมโลหะในเบ้าหลอมซิลิคอนคาร์ไบด์ด้วยเตาไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เทโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อชิ้นงานทองแดงทรงกระบอก แสดงดังรูปที่ 1 เพื่อศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและความแข็งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร โดยโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน (Al-12Si) ใช้อุณหภูมิในการเทหล่อที่ 680 องศาเซลเซียส โลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล (Al-6Ni) และโลหะอะลูมิเนียมผสมซีเรียม (Al-10Ce) ใช้อุณหภูมิในการเทหล่อที่ 780 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น ARL-3460 แสดงค่าส่วนผสมดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 แบบหล่อชิ้นงานสำหรับศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและความแข็ง

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะอะลูมิเนียมผสมที่ใช้ในการทดลองจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

Nominal Composition	Element (wt.%)						
	Ce	Si	Ni	Cr	Fe	Cu	Al
Al-10Ce	10	-	-	0.01	0.51	0.90	Bal.
Al-12Si	-	10.88	-	0.01	0.12	0.02	Bal.
Al-6Ni	-	-	6.07	0.05	0.14	0.03	Bal.

สำหรับการศึกษาโครงสร้างทางมหภาคและจุลภาค เตรียมผิวชิ้นงานโดยทำการขัดผิวด้วยวิธีตามมาตรฐานทางโลหะวิทยา สำหรับโครงสร้างทางมหภาคจะกัดผิวด้วย Poulton's reagent โครงสร้างทางจุลภาคทำการกัดผิวด้วยสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (0.5% HF) โดยทำการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง รุ่น DSX1000 และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น NOVA NANOSEM 450

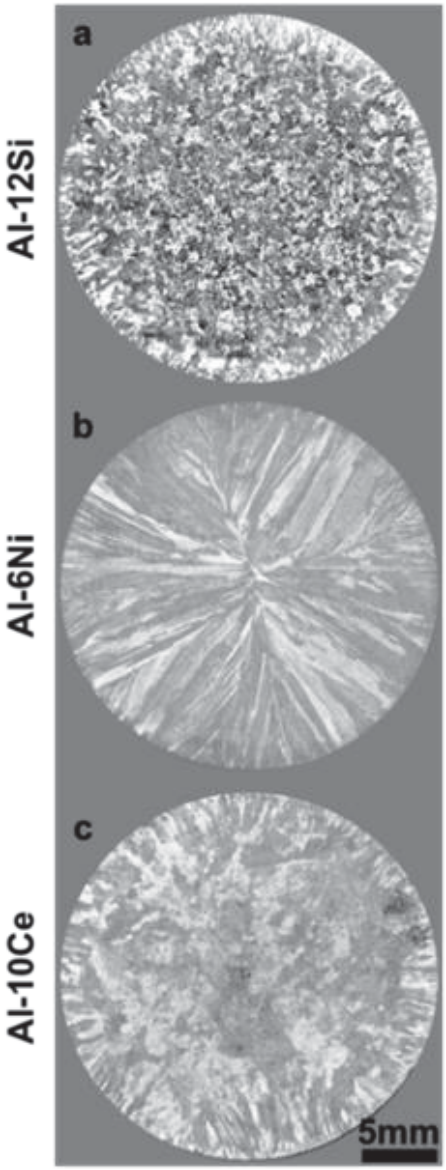
กระบวนการทำไอโซเทอร์มอล และการตรวจสอบสมบัติทางกลด้วยการวัดความแข็ง ด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ รุ่น FM-310 โดยนำชิ้นงานทั้งสามส่วนผสมเข้าอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0.5 ถึง 360 ชั่วโมง การทดสอบความแข็งของวัสดุกระทำโดยใช้หน่วยไมโครวิกเกอร์ ใช้ภาระกรรมในการกดที่ 1000 กรัม ใช้เวลาในการกด 5 วินาที โดยจะทำการทดสอบซ้ำจำนวน 15 ครั้งในแต่ละชิ้นงาน และทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการทำไอโซเทอร์มอล

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

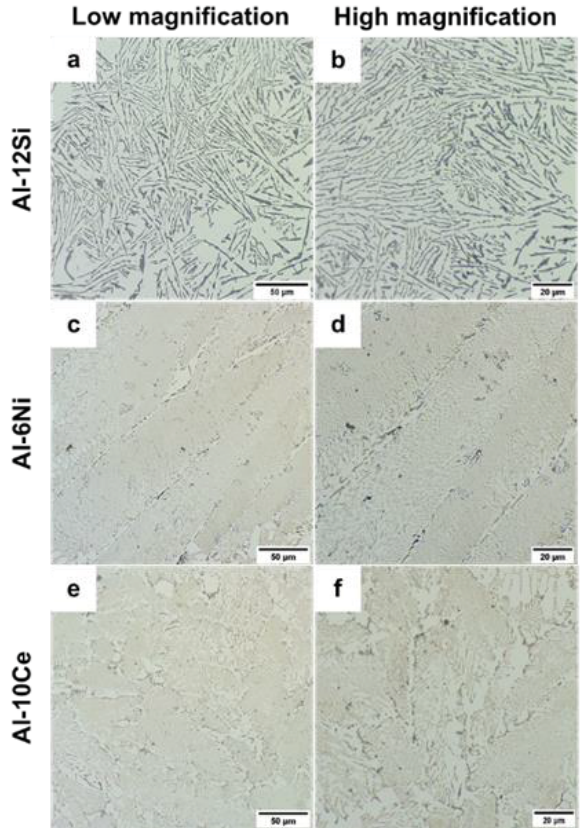
จากการตรวจสอบโครงสร้างทางมหภาคของของชิ้นงานอะลูมิเนียมทั้งสามส่วนผสมก่อนผ่านกระบวนการทางความร้อนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงดังรูปที่ 2 โดยจะแสดงลักษณะเกรนของชิ้นงาน จากรูป 2(a) อะลูมิเนียมผสมซิลิคอน เกรนส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นอิควิแอกซ์ (Equiaxed grains) อะลูมิเนียมผสมนิกเกิลมีลักษณะเป็นเกรนคอลัมนาร์ (Columnar grains) ที่ยาวจากขอบเข้าสู่ศูนย์กลางแสดงดังรูปที่ 2(b) และอะลูมิเนียมผสมซีเรียมมีลักษณะเป็นเกรน อิควิแอกซ์ที่ล้อมรอบด้วยเกรนคอลัมนาร์แสดงดังรูปที่ 2(c)

จากรูปที่ 3 แสดงภาพโครงสร้างทางจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง อะลูมิเนียมผสมซิลิคอนแสดงดังรูปที่ 3(a,b) พบโครงสร้างส่วนสีขาวที่เป็นอะลูมิเนียมและส่วนสีดำคือเฟสยูเทคติกซิลิคอน (Si) อะลูมิเนียมผสมนิกเกิลแสดงดังรูปที่ 3(c,d) พบโครงสร้างสีขาวที่เป็นอะลูมิเนียม และส่วนพื้นที่สีน้ำตาลคือเฟสยูเทคติกนิกเกิลอะลูมิไนด์ (Al_3Ni) และอะลูมิเนียมผสมซีเรียมมีโครงสร้างสีขาวเป็นอะลูมิเนียม และพื้นที่สีน้ำตาลคือเฟสยูเทคติกซีเรียม ($Al_{11}Ce_3$) แสดงดังรูปที่ 3(e,f) โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของอะลูมิเนียมทั้งสามส่วนผสมคือเฟสยูเทคติก

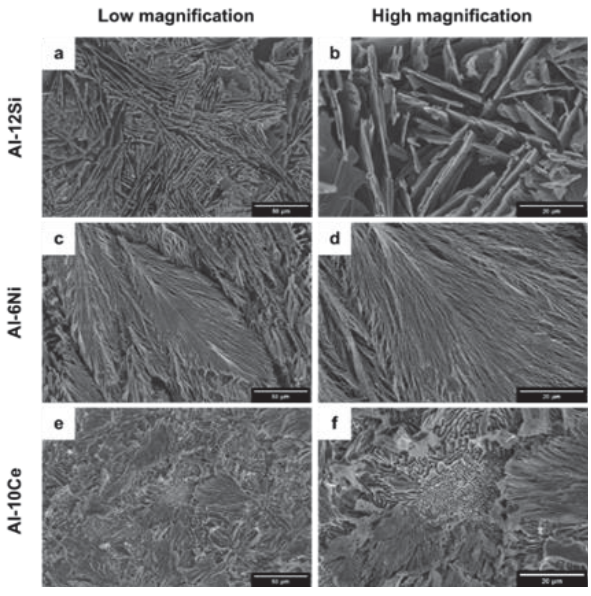
จากรูปที่ 4 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของอะลูมิเนียมทั้งสามส่วนผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยการกัดผิวด้วยกระบวนการ deep etching เพื่อให้รูปร่างโครงสร้างยูเทคติกชัดยิ่งขึ้น โครงสร้างยูเทคติกของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนจากรูปที่ 4(a,b) พบเฟส Si มีลักษณะเป็นแผ่น (flake) คล้ายแท่งหรือเข็ม ซึ่งเป็นเหลี่ยมและยาวแหลม ส่วนโครงสร้างยูเทคติกของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลแสดงในรูป 4(c,d) แสดงให้เห็นถึงเฟส Al_3Ni มีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็กบางและยาวเรียงชิดติดกัน จากรูป 4(e,f) โครงสร้างยูเทคติกของอะลูมิเนียมผสมซีเรียมพบเฟส $Al_{11}Ce_3$ มีลักษณะเป็น lamellar ที่เรียงซ้อนกัน และกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นผิว



รูปที่ 2 โครงสร้างทางมหภาคของชิ้นงานก่อนผ่านกระบวนการทางความร้อน (a) Al-12Si, (b) Al-6Ni และ (c) Al-10Ce

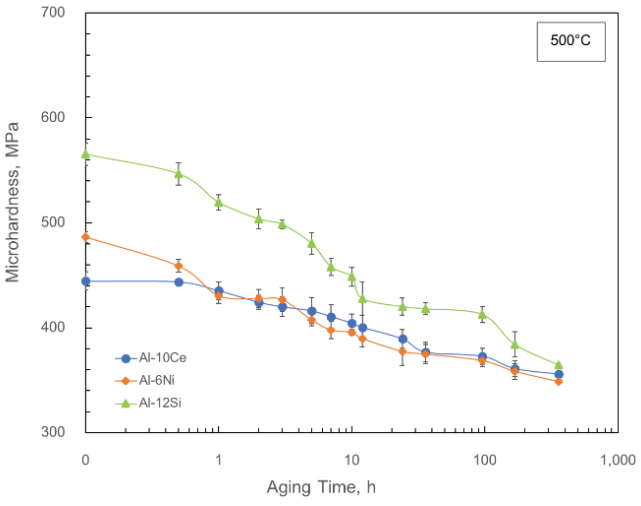


รูปที่ 3 โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานก่อนผ่านกระบวนการทางความร้อน (a,b) Al-12Si, (c,d) Al-6Ni และ (e,f) Al-10Ce

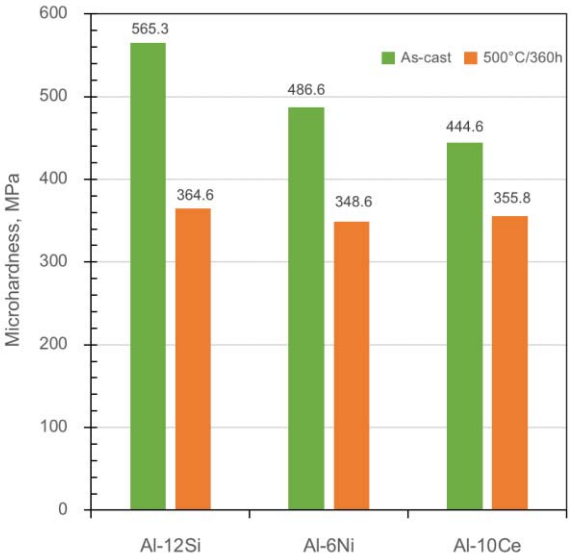


รูปที่ 4 โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานก่อนผ่านกระบวนการทางความร้อน จากการทำ deep etching (a,b) Al-12Si, (c,d) Al-6Ni และ (e,f) Al-10Ce

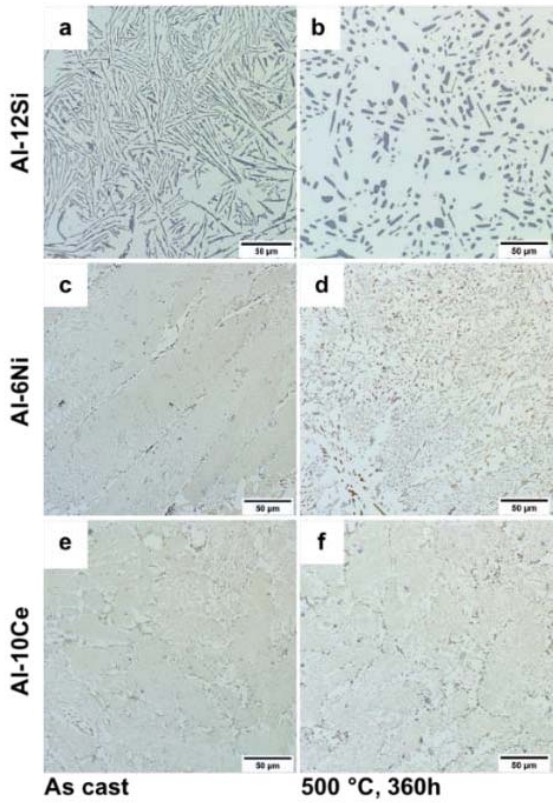
จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและเวลาของอะลูมิเนียมทั้งสามส่วนผสมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนด้วยการทำไอโซเทอร์มอล โดยการนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จนถึงเวลา 360 ชั่วโมง พบว่าค่าความแข็งลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น จากนั้นนำค่าความแข็งของชิ้นงานก่อนและหลังผ่านกระบวนการทางความร้อนมาเปรียบเทียบกัน แสดงดังรูปที่ 6 จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความแข็งของอะลูมิเนียมทั้งสามส่วนผสม พบว่าอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน, อะลูมิเนียมผสมนิกเกิล และอะลูมิเนียมผสมซีเรียมมีเปอร์เซ็นต์ความแข็งลดลง 35.51%, 28.36% และ 19.98% ตามลำดับ กล่าวคืออะลูมิเนียมผสมซิลิคอนนั้นมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความแข็งสูงที่สุด เนื่องจากการละลายของเฟสยูเทคติกซิลิคอนหลังได้รับความร้อน [3] และอะลูมิเนียมผสมซีเรียมมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความแข็งต่ำที่สุด แสดงถึงความสามารถในการรักษาความแข็งได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน และอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล ซึ่งเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Czerwinski [1] ที่อบชิ้นงานทั้งสามส่วนผสมที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 168 ชั่วโมง พบว่าอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความแข็งสูงที่สุดเช่นเดียวกันกับการอบที่เวลา 360 ชั่วโมง แต่อะลูมิเนียมอีกสองส่วนผสมจากที่มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความแข็งเท่ากัน เมื่อใช้เวลาในการอบ 360 ชั่วโมง พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความแข็งของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลนั้นมีค่าสูงกว่าอะลูมิเนียมผสมซีเรียม กล่าวได้ว่า เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเสถียรทางความร้อนของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลนั้นเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากอัตราการแพร่ของนิกเกิลมีค่าสูงกว่าอัตราการแพร่ของซีเรียมในอะลูมิเนียม [1]



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและเวลา ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบค่าความแข็งก่อนอบและหลังอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 ชั่วโมง



รูปที่ 7 โครงสร้างทางจุลภาคเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างก่อนอบและหลังอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 ชั่วโมง (a,b) Al-12Si, (c,d) Al-6Ni และ (e,f) Al-10Ce

ภาพแสดงโครงสร้างทางจุลภาคก่อนและหลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 ชั่วโมง จากรูปที่ 7(a,b) พบโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอน (Si) มีลักษณะเป็นก้อน และมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ซึ่งเกิดจากการที่ซิลิคอนในอะลูมิเนียมมีอัตราการแพร่สูงที่อุณหภูมิสูง รวมถึงการละลายของเฟสยูเทคติกซิลิคอนหลังจากได้รับความร้อน [3] สำหรับโครงสร้างยูเทคติกของนิกเกิล (Al_3Ni) และซีเรียม ($Al_{11}Ce_3$) พบว่าโครงสร้างไม่ได้เกิดเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน ซึ่งจากงานวิจัยของ Sims และคณะ และงานวิจัยของ Suwanpreecha และคณะ [2,3] กล่าวว่าเฟสยูเทคติก Al_3Ni และเฟสยูเทคติก $Al_{11}Ce_3$ มีความเสถียรจนถึงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส รวมถึงนิกเกิลและซีเรียมมีอัตราการแพร่ที่ต่ำในอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิสูง จึงทำให้โครงสร้างยูเทคติกของทั้งสองส่วนผสมไม่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงดังรูปที่ 7(c,d) และ 7(e,f) ซึ่งเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Czerwinski [1] ที่อบชิ้นงานทั้งสามส่วนผสมที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 168 ชั่วโมง พบว่า มีผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกัน

4. สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาโครงสร้างทางมหภาคของทั้งสามส่วนผสมพบว่าอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนมีลักษณะเกรนเป็นอิควิแอกซ์เป็นส่วนใหญ่ สำหรับอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลมีลักษณะเกรนเป็นคอลัมนาร์ที่ยาวจากขอบเข้าสู่ศูนย์กลาง และเกรนของอะลูมิเนียมผสมซีเรียมมีลักษณะเป็นอิควิแอกซ์ที่ถูกล้อมรอบด้วยคอลัมนาร์

2. จากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของทั้งสามส่วนผสมพบว่าโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนมีลักษณะเป็นแผ่น (Flake) คล้ายแท่งหรือเข็ม โครงสร้าง Al_3Ni ยูเทคติกเป็นเส้นใย (Fiber) มีขนาดเล็ก บางและยาวเรียงชิดติดกัน และโครงสร้าง $Al_{11}Ce_3$ ยูเทคติกเป็น lamellar เรียงซ้อนกัน

3. โครงสร้างทางจุลภาคของทั้งสามส่วนผสมหลังผ่านกระบวนการทางความร้อนพบว่าโครงสร้างของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างก่อนได้รับความร้อน จากโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนที่เป็นแผ่นยาวแหลมกระจายอยู่ทั่วพื้นผิว แต่เมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อนโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนมีลักษณะเป็นก้อนและมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ส่วนโครงสร้างของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล และอะลูมิเนียมผสมซีเรียม เมื่อได้รับความร้อนไม่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากเดิมไปมากนัก ทำให้มีคุณสมบัติทางกลดีกว่าอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน

4. อะลูมิเนียมผสมซีเรียมมีความเสถียรทางความร้อนดีที่สุด เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความแข็งต่ำที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแข็งลดลง 19.98% ซึ่งน้อยกว่า Al-12Si และ Al-6Ni ที่มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความแข็ง 35.51% และ 28.36% ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนขอขอบคุณภาควิชาวิศกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัย เครื่องมือ และอุปกรณ์ทำให้งานนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] F. Czerwinski, 2021, “A Search for The Eutectic System of High-Temperature Cast Aluminium Alloys”, Materials Science and Technology, Vol. 37, No. 7, pp. 683-692.

[2] Z.C. Sims, O.R. Rios, D. Weiss, P.E.A. Turchi, A. Perron, J.R. I. Lee, T.T. Li, J.A. Hammons, M. Bagge-Hansen, T.M. Willey, K. An, Y. Chen, A.H. King and S.K. McCall, 2017, “High performance aluminum- cerium alloys for high- temperature applications”, Materials Horizons, Vol. 4, No. 6, pp. 1070.

[3] C. Suwanpreecha, P. Pandee, U. Patakham and C. Limmaneevichitr, 2018, “New generation of eutectic Al-Ni casting alloys for elevated temperature services”, Materials Science & Engineering, pp. 46.

[4] J. Stroh, D. Sediako and D. Weiss, 2021, “Development of cerium-reinforced specialty aluminum alloy with application of x-ray and neutron diffraction”, International Journal of Metalcasting, Vol. 15, No. 1, pp. 29.

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเจดีย์ธาตุโดยการจำลองแบบ

Applying Computer Simulation to Improve the Pagoda Production

ตะวันฉาย โพธิ์หอม[1*] กฤษณา ศิริเทพ[1] ชุมพล บุญศรี[1] ธิดารัตน์ อาจอ่อนศรี[1] ณัฐพนธ์ สุทธิ[1] ณัฐพล อุตสาหะ[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
E-mail: tawanchai.p@ubu.ac.th*

Tawanchai Phohom[1*] Kritsana Sirithep[1] Chumpol Bunsri[1] Thidarat Artonsri[1] Nattopom Suthi[1] Nattopom Autsaha[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University
E-mail: tawanchai.p@ubu.ac.th*

บทคัดย่อ

เจดีย์บรรจุอัฐิแสดงถึงวัฒนธรรมการเคารพผู้ล่วงลับที่มีการใช้ในแถบเอเชียมาเป็นเวลานาน เจดีย์บรรจุอัฐิมีลักษณะแตกต่างกันตามภูมิภาคแต่มีความงามและสง่างามเพื่อแสดงความเคารพนับถือและกราบไหว้บูชา ดังนั้นกระบวนการสร้างเจดีย์บรรจุอัฐินั้นต้องใช้ช่างฝีมือและแรงงานเป็นหลัก ในช่วงสถาณการณ์ CoVid-19 การผลิตเจดีย์บรรจุอัฐิได้รับผลกระทบจึงนำการจำลองแบบมาใช้เพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุง จากการศึกษากระบวนการผลิตเจดีย์บรรจุอัฐิในปัจจุบัน มีขั้นตอนการผลิตส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิต และระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตตั้งแต่เริ่มต้นจนจบกระบวนการยังขาดประสิทธิภาพ จึงนำข้อมูลมาใช้ในการจำลองแบบการผลิตเจดีย์บรรจุอัฐิ ช่วยในการตัดสินใจปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยได้กำหนดการปรับปรุงสองทางเลือกได้แก่ การจ้างเหมาให้พนักงานทำงานเป็นกะและการเพิ่มผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาพบว่าการจ้างเหมาให้พนักงานทำงานเป็นกะสามารถผลิตสินค้าได้จำนวนเท่าเดิมโดยลดระยะเวลาในการทำงานลงร้อยละ 37.5
คำสำคัญ: การจำลองแบบ, การผลิต, เจดีย์บรรจุอัฐิ

Abstract

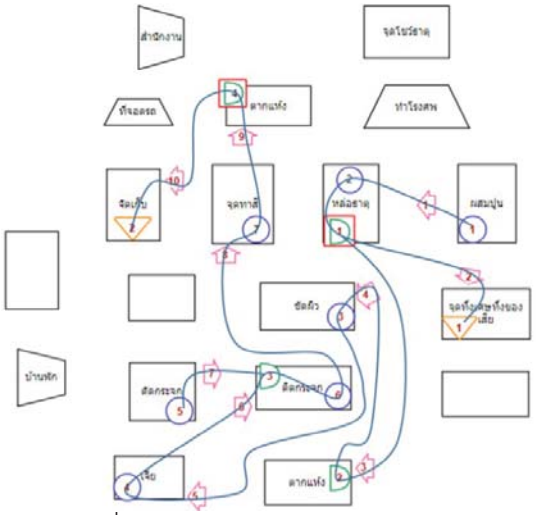
The pagoda represents a culture of honoring the deceased that has been used in Asia for a long time. The pagodas differ from region to region but are beautiful and majestic to show respect and worship. Therefore, the process of building an ash-filled pagoda requires skilled craftsmen and labor primarily. During the CoVid-19 situation, the production of the pagodas was affected, so a computer simulation was used to set improvement approaches. From the study of the current manufacturing process of pagoda containing ash. There is a production process for the components used in the production. The time it takes in the production process from start to finish is inefficient. Therefore, the data was used to simulate the production of the pagoda containing the ash. It helps in decision making of process improvement to increase production efficiency. By setting two improvements: Hiring employees to work in shifts and adding products. The results of the study showed that hiring employees to work in shifts can produce the same number of products by reducing the time spent by 37.5 percent.
Keywords: simulation, production, pagoda

1. บทนำ

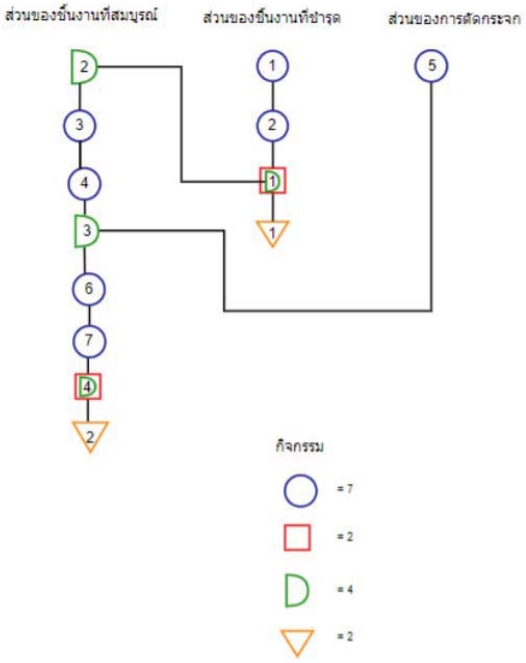
จากสถาณการณ์ Covid-19 มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมทางธุรกิจมีความซับซ้อนและหลากหลาย มากขึ้นความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนไปและมีความต้องการที่เร่งด่วนรวดเร็ว รวมทั้งคู่แข่งในธุรกิจมีจำนวนเพิ่มขึ้น และนโยบายทางการค้าเปลี่ยนแปลงไปเป็นต้น ซึ่งธุรกิจที่ได้รับผลกระทบ ส่วนมากจะเป็นธุรกิจที่มีวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่สั้น (Short Product Life Cycle) ดังนั้นจึงทำให้ องค์กรธุรกิจที่ได้รับผลกระทบนั้นพยายามที่จะหามาตรการหรือวิธีการจัดการที่มีประสิทธิภาพ ที่จะช่วยให้ธุรกิจของตนเองเอาตัวรอดจากสถานการณ์ต่าง ๆ ที่กล่าวมา ซึ่งแนวคิดที่กำลังเป็น ที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ การจัดการโซ่อุปทานซึ่งจะเป็นการมองการบริหารจัดการในภาพรวม ตั้งแต่กระบวนการรับคำสั่งซื้อของลูกค้าจนกระทั่งส่งของให้กับลูกค้า (Harrison and Hoek. 2002) ซึ่งเป็นสิ่งที่ท้าทายที่จะทำให้กระบวนการตลอด โซ่อุปทานนั้นดำเนินกิจการให้เป็นไปตาม วัตถุประสงค์ของลูกค้าพร้อมกับวัตถุประสงค์และธรรมชาติของตัวเองด้วย องค์กรต่าง ๆ จึง พยายามที่จะนำเทคนิคต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของตน ลดต้นทุนและความ สูญเปล่าต่าง ๆ ในกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มลง และเพื่อให้ตอบสนองความต้องการ ของลูกค้าได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทขนาดเล็กดำเนินธุรกิจทำเจดีย์ธาตุ จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าบริษัทมีปัญหาความสูญเปล่าจากการเคลื่อนย้ายงานระหว่างทำจากแผนกหล่อไปยังแผนก อื่น ๆ และพนักงานว่างงานมากเกินไป ซึ่งปัจจุบันแผนกหล่อจะทำงานงานโดยรวม 5 ชั่วโมงจากทั้งหมด 10 ชั่วโมง และบางแผนกทำงานมากเกินไป เนื่องจากมีงานที่ต้องทำมากเกินไป

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาถึงการจัดการบริหารทรัพยากรคนของบริษัทโดยจะทำการจำลอง สถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena เพื่อศึกษาว่าจะสามารถปรับปรุงการดำเนินงานภายในองค์กร ให้เกิดประสิทธิภาพและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น เทคนิคการจำลองสถานการณ์จะช่วยให้สามารถ วิเคราะห์สภาพปัญหาที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน (AS - IS) และช่วยหาแนวทางหรือทางเลือก (Scenarios) ที่เหมาะสมในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการก่อนนำไป ใช้หรือปฏิบัติงานจริง ซึ่งจะช่วยเพิ่มความมั่นใจให้กับผู้ประกอบการที่จะนำไปประยุกต์กับการปฏิบัติงานจริง



รูปที่ 1 แผนผังการไหลของการทำเจดีย์ธาตุ



รูปที่ 2 แผนภูมิกระบวนการผลิตอย่างสังเขป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการทางธุรกิจ

กระบวนการทางธุรกิจ (Business Process) คือ ขั้นตอนในการดำเนินธุรกิจ เริ่มตั้งแต่ การนำเงินมาลงทุนในกิจการเพื่อใช้จ่ายเป็นค่าเครื่องจักร วัสดุอุปกรณ์วัตถุดิบ ค่าแรง ตลอดจน ค่าใช้จ่ายในการบริหารงานด้านต่าง ๆ แล้วทำการผลิตสินค้าเพื่อจำหน่ายหรือบริการออกไป เพื่อ ให้ได้มาซึ่งรายรับแก่ธุรกิจ โดยวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจจะเป็น การบริหารเวลา งบประมาณและทรัพยากรบุคคลเพื่อให้องค์กรสามารถดำเนินงานไปอย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับขนาดของธุรกิจ

เครื่องมือในการจัดการกระบวนการทางธุรกิจ (Business Process Management: BPM) เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผล ผ่านการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการ มีแนวความคิดที่หลากหลาย เช่น Six Sigma หรือ Lean การจำลองสถานการณ์เป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่สามารถใช้ศึกษาระบบหรือกระบวนการทำงานและทำการพยากรณ์ผลลัพธ์ในอนาคตโดยกำหนดเป็นสถานการณ์ที่ต้องการหรือเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบหรือกระบวนการทำงานที่หลากหลายเพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจปรับเปลี่ยนระบบหรือกระบวนการทำงาน

2.2 การจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) คือ กระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลอง เพื่อการเรียนรู้พฤติกรรม ของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลจากการใช้ กลยุทธ์ (Strategies) ต่าง ๆ ในการดำเนินงานของ ระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ Kelton et al. (2003) ได้กล่าวว่า การจำลองทางคอมพิวเตอร์ เป็นการรวบรวมวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบต่าง ๆ มาไว้บน คอมพิวเตอร์ โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมใน รูปแบบต่าง ๆ โดยมีการรวบรวมข้อมูลและทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรม คอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงในอนาคต การจำลองสถานการณ์แบ่งเป็น 2 ส่วนสำคัญ คือ การสร้างแบบจำลองและการนำแบบ จำลองไปใช้งานเชิงวิเคราะห์ ดังนั้นจะพบว่ากลไกของการจำลองสถานการณ์ขึ้นกับแบบจำลอง และการใช้แบบจำลอง โดยแบบจำลองที่ใช้จะต้องสามารถช่วยให้เข้าใจระบบการทำงานจริงได้ เพื่อให้สามารถอธิบายพฤติกรรมและสามารถทำการปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานได้จริง (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2544) และจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ทำให้ การจำลองสถานการณ์ได้ถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในหลาก หลายธุรกิจ เช่น การจัดการคลัง สินค้า การจัดตารางการผลิต และการจัดระบบแถวคอย

ในปัจจุบันมีโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาโดยเฉพาะสำหรับทำการจำลองระบบ เช่น GPSS และ Microsoft Visual Basic เป็นต้น แต่มีความยุ่งยากในการทำงานจึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปที่ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองโดยเฉพาะ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Arena Simulation ซึ่งเป็นโปรแกรมสามารถในการวิเคราะห์ของ โปรแกรมสามารถบอกได้ว่าปัจจุบันระบบเป็นอย่างไร และสามารถช่วยหาแนวทางที่เป็นไปได้ เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยโครงสร้างโปรแกรม Arena Simulation เป็นการรวมเอาความ สะดวกในการใช้งานที่จะพบได้ในโปรแกรมระดับสูง มีการจัดเตรียมแบบของรูปภาพสำหรับใน การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งผู้ใช้โปรแกรม Arena Simulation สามารถเลือกใช้ โมดูล (Modules) จากภาษา SIMAN มาใช้ได้รวมทั้งยังแสดงผลออกมาเป็นภาษา SIMAN ได้ อีกด้วย

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อิทธิพล เนคมานุรักษ์ (2552) ได้ดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของโรงงาน ผลิตปลานิลแช่แข็ง โดยการประยุกต์ใช้แผนผังสายธารคุณค่าและการจำลองสถานการณ์ เพื่อให้ เกิดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์มากที่สุด จากการศึกษาสภาพปัญหาของ กรณีศึกษาซึ่งเป็นโรงงานขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิตต่อวันเฉลี่ย 2.02 ตัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับ ปริมาณความต้องการของลูกค้าที่มีความต้องการอยู่ที่ 4 ตันต่อวัน ทำให้ปริมาณการผลิตที่มีอยู่ใน ปัจจุบันไม่เพียงพอต่อการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า โดยงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการ สร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองสายการผลิตจริง จากนั้นทำการทดลอง หาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพต่าง ๆ โดยใช้แนวความคิดแบบลีน และทดสอบกระบวนการ ผ่านแบบจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นแบบจำลองที่ให้ผลการทำงานตาม เป้าหมาย และมีต้นทุนแรงงานต่อกิโลกรัมน้อยที่สุดคือแบบจำลองของการทำงานในชั่วโมง การทำงานปกติรวมกับการทำงานล่วงเวลาทั้งหมดรวม 11 ชั่วโมง (RT 8 ชั่วโมง + OT 3 ชั่วโมง) ใช้แรงงาน 45 คน ทั้งเวลาทำงานปกติและล่วงเวลาจะได้ผลผลิต 5,880 กิโลกรัม โดยมีต้นทุน ด้านแรงงาน 13,905 บาท และต้นทุนด้านแรงงานต่อกิโลกรัม 2.36 บาท

พัฒนพงศ์ น้อยนวล และ ธนัญญา วสุศรี(2555) ได้ศึกษาระบบการขนส่งภายในคลัง สินค้าเพื่อขจัดกิจกรรมที่เกิดความสูญเปล่า โดยแนวคิดของลีน (Lean Manufacturing) ซึ่งเป็น ระบบบริหารจัดการด้านการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าแบบทันทีเน้นสร้างประสิทธิภาพสูงสุดโดยกำจัดความสูญเปล่า และเพิ่มมูลค่า (Value) ให้กับตัวสินค้าอย่างต่อเนื่อง มาประยุกต์ใช้โดยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 120 ชุด จากการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพกิจกรรม การไหลพบว่าเกิดการรอคอยในระบบการจัดส่งและเกิดสินค้าคงคลังปริมาณสูง ดังนั้นจึงได้นำ เอาแนวความคิดลีนมาประยุกต์ร่วมกับโปรแกรมจำลองสถานการณ์ Arena Simulation โดยนำ เสนอแนวทางการปรับปรุง 2 แนวทาง คือ 1) การประยุกต์ใช้ระบบคัมบังและ 2) การประยุกต์ ใช้ระบบคัมบังและการส่งสินค้าทันทีจากการวิเคราะห์พบว่าผลของแนวทางที่ 1 และแนวทาง ที่ 2 ให้ผลไม่แตกต่างกันในทางสถิติสามารถลดปริมาณสินค้าคงคลังได้10.24% และ 2.37% ตามลำดับและลดเวลาการรอคอยเหลือ 0 นาท

กิตติวัฒน์ ข้องม่วง ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพ ระบบการให้บริการแผนกอายุรกรรม โรงพยาบาลสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อลดระยะเวลารอคอยสัตว์ป่วยในระบบและลดจำนวนสัตว์ป่วย คงค้างเฉลี่ยในระบบ โดยสร้างแบบจำลองสถานการณ์ระบบ การให้บริการสัตว์ป่วยของแผนกอายุรกรรมในวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และทดลองพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ของระบบ การให้บริการของแผนกอายุรกรรมขึ้นมาใหม่ เป็นนโยบายต่าง ๆ ทั้งหมด 6 นโยบายซึ่งผลจากการพัฒนาแบบจำลอง สถานการณ์พบว่า นโยบายที่ 6 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดโดย

ลด ระยะเวลารอคอยสัตว์ป่วยในระบบได้ 27.88 % และลด จำนวนสัตว์ป่วยคงค้างเฉลี่ยในระบบได้ 42.90 %

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาขั้นตอนการดำเนินงานของกระบวนการผลิตเจดีย์ธาตุ บริษัท

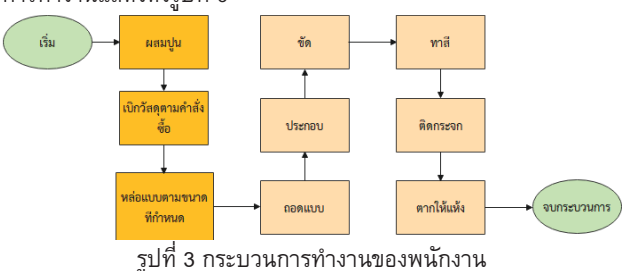
บริษัทเปิดให้บริการวันจันทร์-ศุกร์ โดยมีกระบวนการผลิตเริ่มแรกคือพนักงานแผนกหล่อ จะทำการเตรียมแบบหล่อ ผสมปูนและเทปูนลงไปในแบบหล่อ จากนั้นรอปูนแห้งประมาณ 6 ชั่วโมงจึงแกะแบบหล่อออกและตรวจสอบหากพบว่ามีรอยแตกจะถูกนำไปทิ้ง หากพบว่าชิ้นงานอยู่ในสภาพสมบูรณ์ จะถูกขนย้ายไปยังพื้นที่ตากแห้งโดยใช้พัดลมเป่าในที่ร่ม ใช้เวลา 1 ชั่วโมง หลังจากตากแห้งเสร็จจะถูกส่งไปขัดด้วยกระดาษทรายการขัดต้องใช้ความชำนาญพอสมคาร จึงมีพนักงาน 2 คนในการทำหน้าที่นี้ เมื่อขัดเสร็จจะถูกขนย้ายไปยังแผนกทาสีหรือติดกระจกโดยแผนกนี้มีพนักงาน 2 คนในการขัดและทาสี หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการทาสีและขัดแล้ว ชิ้นงานจะถูกขนย้ายไปตากอีกครั้งเพื่อให้ชิ้นงานแห่ง และนำมาประกอบพร้อมจำหน่าย

3.2 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโดยใช้กรณีศึกษา (Case study) บริษัทที่เป็นธุรกิจขนาดเล็กซึ่งยัง ไม่มีระบบการบริหารการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานที่มีประสิทธิภาพทำให้เกิดต้นทุนสูงใน การดำเนินงานและมีปัญหาด้านการส่งมอบไม่ทัน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้ 1. ศึกษาเก็บข้อมูลเชิงลึกในองค์กรที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน (AS-IS Model) โดยการศึกษา กระบวนการผลิตและเวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้า พร้อมทั้งสัมภาษณ์พนักงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละกระบวนการมาทดสอบรูปแบบการแจกแจง 2. วิเคราะห์กระบวนการทางธุรกิจของบริษัทกรณีศึกษา (Business Process Flow) และ โครงสร้างโซ่อุปทานขององค์กร 3. สร้างแบบจำลองสถานการณ์และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่าสามารถ แทนเหตุการณ์จริงได้อย่างสมบูรณ์ 4. ออกแบบการทดลองเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจ (TO-BE Model) และประเมินผลลัพธ์ 5. สรุปผลการวิจัย

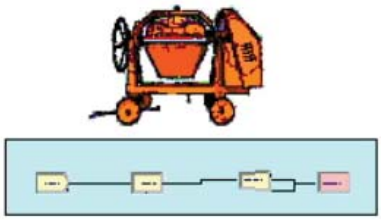
3.3 ขั้นตอนในการทำวิจัย

จากการศึกษาระบบการทำงานของโรงงานผลิตเจดีย์ธาตุ มีขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กระบวนการทำงานของพนักงาน

การทำงานของพนักงานปัจจุบันสามารถสร้างแบบจำลอง Arena เป็น 5 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ 1 กระบวนการผสมปูน



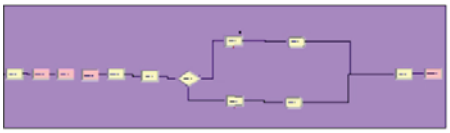
รูปที่ 4 กระบวนการผสมปูน

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของการกำหนดจำนวนปูนเริ่มจากให้วัตถุเข้ามา 1 ค่า เข้าสู่ Process การผสมปูน นำ Separate Module มาเพื่อแยกปูนไปในแต่ละ Station ดังรูปที่ 4 ส่วนที่ 2 กระบวนการหล่อปูน



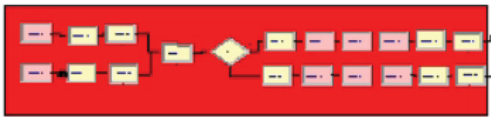
รูปที่ 5 กระบวนการหล่อปูน

ส่วนที่ 2 ส่วนเทปูนใส่แบบโดยจะใช้ Seize Module ในการจองแม่แบบ เทแบบเสร็จแล้วจะเป็นการรอแห้ง และต่อมาเป็น Process แกะแบบ ดังรูปที่ 5 ส่วนที่ 3 กระบวนการบ่มแข็งและประกอบชิ้นงาน



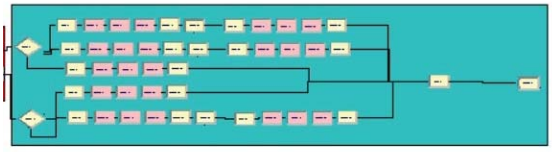
รูปที่ 6 กระบวนการบ่มแข็งและประกอบชิ้นงาน

ส่วนที่ 3 ส่วนบ่มแข็ง บ่มแข็งเสร็จจะนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมาประกอบกัน โดยสร้างคุณสมบัติให้กับชิ้นงานไว้อยู่แล้วและนำมาประกอบกันโดยใช้ Batch Module ดังรูปที่ 6 ส่วนที่ 4 กระบวนการขัด



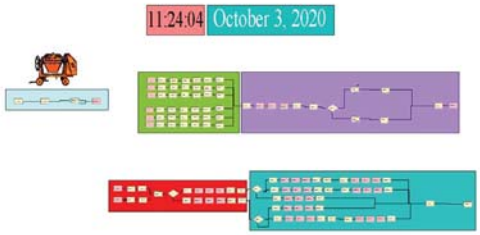
รูปที่ 7 กระบวนการขัด

ส่วนที่ 4 ใช้เครื่องขัดในการทำงานซึ่งมีเครื่องขัดจำนวน 2 เครื่อง หากเครื่องไหนว่างก็ใช้งานเครื่องนั้นได้เลย ส่วนที่ 5 กระบวนการทาสี ติดกระจก



รูปที่ 8 กระบวนการทาสี ติดกระจก

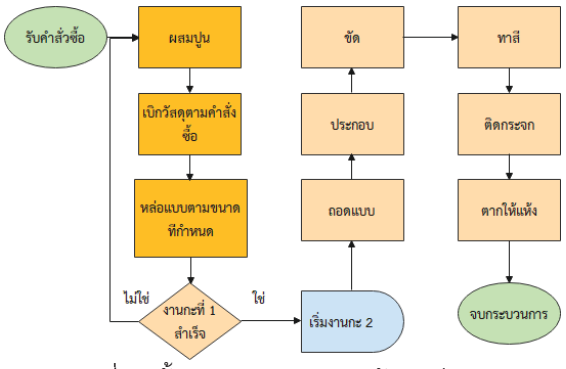
ส่วนที่ 5 ทำการจองพนักงานทาสี ติดกระจกโดยใช้ Seize Module เมื่อทำงานเสร็จแล้วนำไปตากแห้งเป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการ ดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดงแบบจำลอง Arena ของการทำงานปัจจุบัน



รูปที่ 9 โครงสร้างโปรแกรม Arena ของกระบวนการผลิตเจดีย์ธาตุปัจจุบัน

3.5 สถานการณ์แก้ไขปัญหาแบบที่ 1

สถานการณ์ (Scenario) สำหรับแนวทางการแก้ไขปัญหาแบบที่ 1 กำหนดให้พนักงานมีการทำงาน 2 กะ ได้แก่ กะตอนเช้าทำงานระหว่าง 05:00-06:00 น. กะตอนบ่ายทำงานระหว่าง 13:00-17:00 น. โดยเป้าหมายเพื่อลดเวลาว่างของพนักงานลง โดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 10

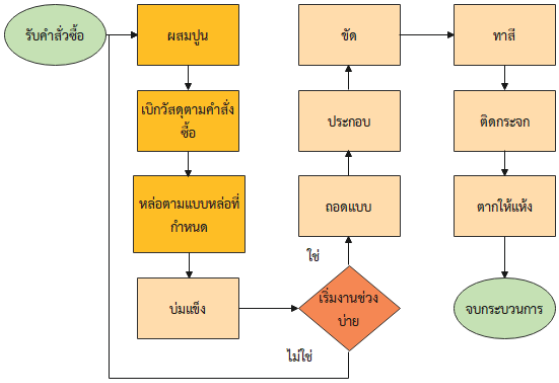


รูปที่ 10 ขั้นตอนการทำงานของพนักงานเป็นกะ

โดยการกำหนดค่าในโปรแกรม Arena ใน Schedule ให้ทำงาน ตอนเช้า 05:00-06:00 น. แล้วกลับมาทำอีกที่ 13:00-17:00 น. ผลที่ได้คือเวลาว่างของพนักงานลดลง

3.6 สถานการณ์แก้ไขปัญหาแบบที่ 2

สถานการณ์สำหรับแนวทางการแก้ไขปัญหาแบบที่ 2 กำหนดให้พนักงานทำงานเหมือนเดิมแต่เพิ่มผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้กระบวนการหล่ออย่างเดียวเพื่อสามารถทำงานได้ในช่วงรอการกระบวนต่อไปโดยเป้าหมายคือ พนักงานว่างน้อยลงและได้ผลิตภัณฑ์ เพิ่มมากขึ้นโดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ขั้นตอนการทำงานของพนักงานโดยมีการเพิ่มผลิตภัณฑ์

โดยให้พนักงานทำงานเหมือนเดิมแต่เพิ่มผลิตภัณฑ์ที่ใช้แค่กระบวนการหล่ออย่างเดียว ผลที่ได้คือ พนักงานว่างน้อยลงและได้ผลิตภัณฑ์ เพิ่มมากขึ้น

3.7 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสถานการณ์ปัจจุบัน

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยการสอบถามพนักงานว่า 1 เดือนผลิตได้กี่ชิ้น คำตอบที่ได้ คือ ผลิตได้ 40 ชิ้นต่อเดือน และผลการจำลองแบบของแบบจำลองสถานการณ์ปัจจุบัน ผลิตได้ 42 ชิ้นต่อ 1 เดือน โดยมีความคลาดเคลื่อน 0.05%

4. ผลการวิจัย

การสร้างทางเลือกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยการจำลองแบบการทำงานของโรงงานผลิตเจดีย์ธาตุ โดยการออกแบบทางเลือกในการจำลองสถานการณ์เป็นการออกแบบเพื่อจำลองสถานการณ์ในรูปแบบที่มีการปรับเปลี่ยนการทำงานที่แตกต่างไปจากกำทำงานเดิมหรือทำการเพิ่มผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมเพื่อให้กระบวนการการผลิตมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นจากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าในปัจจุบันมีพนักงานทำงานได้ประมาณ 20% ต่อ 1 วัน สาเหตุที่พบ คือ เวลาในการทำงานของพนักงานทุกคนว่างมากทำให้เราไม่คุ้มค่าในการจ้าง

ดังนั้น การออกแบบทางเลือกในการจำลองสถานการณ์ในครั้งนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ การจ้างเหมาให้พนักงานทำงานเป็นกะ และการเพิ่มผลิตภัณฑ์ ในแนวทางที่ 1 การจ้างเหมาให้พนักงานทำงานเป็นกะ ปรับเปลี่ยนจ้างเหมาพนักงานให้ทำงานเป็นกะเริ่มเวลา 05:00-06:00 น. กลับมาทำงานอีกครั้งตอนชิ้นงานแห้ง 13:00-17:00 น. แนวทางที่ 2 การเพิ่มผลิตภัณฑ์ ปรับปรุงโดยการเพิ่มผลิตภัณฑ์ที่ใช้แต่กระบวนการเทหล่อปูน ผลิตภัณฑ์ที่เพิ่ม คือ เสา และท่อซีเมนต์ โดยผลการแบบจำลองสถานการณ์ปัจจุบันผลิตผลิตภัณฑ์ได้จำนวน 42 ชิ้น แบบจำลองสถานการณ์การเจ้าเหมาพนักงานเป็นกะ

ผลิตผลิตภัณฑ์ได้ 42 ชิ้น แต่พนักงานว่างลดลง แบบจำลองสถานการณ์การเพิ่มผลิตภัณฑ์ได้เจดีย์ธาตุ จำนวน 69 ชิ้น ได้เสา และท่อซีเมนต์ จำนวน 198 ชิ้น โดยผลลัพธ์ของผลิตภัณฑ์ (Number Out) แสดงเปรียบเทียบแต่ละแบบจำลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์ของผลิตภัณฑ์ (Number Out) ของการจำลองแบบ

สถานการณ์	จำนวนที่ผลิตเจดีย์	สินค้าอื่น ๆ	รวมผลิตภัณฑ์	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
ปัจจุบัน	42	0	42	-
แนวทางปรับปรุงที่ 1	42	0	42	0
แนวทางปรับปรุงที่ 2	69	198	267	635.7

5. สรุป

จากผลที่ได้ในแต่ละทางเลือกซึ่งมีทั้งหมด 2 ทางเลือก คณะผู้วิจัยเห็นควรเลือกกรณีที่ 1 คือการจ้างเหมาให้พนักงานทำงานเป็นกะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดที่จะทำให้แก้ไขปัญหาด้านการว่างของพนักงานและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน การเลือกรูปแบบในการควบคุมการทำงานให้เหมาะสมเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและมีผลต่อผลผลิต ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง Arena แสดงประสิทธิภาพร้อยละการใช้งาน (Utilization) ของทรัพยากรที่ใช้เปรียบเทียบ 2 แนวทางการปรับปรุงแสดงดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ของร้อยละการใช้งาน (Utilization) ของทรัพยากรในการจำลองแบบ

ทรัพยากร	สถานการณ์ปัจจุบัน	แนวทางปรับปรุงที่ 1	แนวทางปรับปรุงที่ 2
พนักงานคนที่ 1	0.6931	0.5008	0.9978
พนักงานคนที่ 2	0.2717	0.5057	0.4387
พนักงานคนที่ 3	0.2606	0.6192	0.4483
พนักงานคนที่ 4	0.2586	0.5950	0.4558
พนักงานคนที่ 5	0.2558	0.6032	0.4626
พนักงานคนที่ 6	0.2566	0.5057	0.7677
เฉลี่ยพนักงาน	**0.3327**	**0.5549**	**0.5951**
เครื่องจักร 1	0.5559	0.5909	0.7117
เครื่องจักร 2	0.2723	0.5277	0.8261
เครื่องจักร 3	0.3090	0.5738	0.7083
เครื่องจักร 4	0.2219	0.5496	0.7263
เครื่องจักร 5	0.2005	0.5208	0.6045
เครื่องจักร 6	0.2408	0.5150	0.6588
เฉลี่ยเครื่องจักร	**0.3001**	**0.5463**	**0.7059**

แนวทางการปรับปรุงแบบที่ 1 จะเห็นได้ว่าพนักงานทำงาน (Utilization) มากขึ้นกว่าแบบปัจจุบันโดยใช้เวลาในการทำงานลดลงจาก 8 ชม. เหลือ 5 ชม. แนวทางการปรับปรุงแบบที่ 2 จะเห็นได้ว่าพนักงานทำงาน (Utilization) มากขึ้นกว่าแบบปัจจุบัน และได้ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องคำนึงถึงการเลือกใช้ในแต่ละทางเลือกนั้นจะต้องพิจารณาในหลายๆ ปัจจัย เช่น ปัจจัยข้อจำกัดด้านอุณหภูมิในการรอแห้ง ปัจจัยด้านงบประมาณและความคุ้มค่าในการจ้างเหมา โดยการปรับปรุงแบบที่ 1 จะได้ผลบวกในหลายประเด็นได้แก่ พนักงานทำงาน (Utilization) มากขึ้นกว่าแบบปัจจุบัน ใช้เวลาในการทำงานลดลงจาก 8 ชม. เหลือ 5 ชม. คิดเป็นร้อยละ 37.5 และสามารถผลิตสินค้าได้เท่าเดิม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ที่พนักงานโรงงานที่ช่วยสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณโรงงานผลิตเจดีย์ธาตุ ที่ให้ข้อมูลที่จำเป็นในการวิจัยและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลครั้งนี้เป็นอย่างดียิ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ดร.รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ. คู่มือการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมอารีนา (Arena)

[2] อิทธิพล เนคมานุรักษ์, การประยุกต์ผังงานสายธารคุณค่า และการจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต กรณีศึกษา: โรงงานผลิตปลานิลแช่แข็ง, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[3] พัฒนพงศ์ น้อยนวล และ ธนัญญา วสุศร. 2555. “การปรับปรุงกระบวนการขนส่งภายในคลังสินค้าโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ กรณีศึกษา อุตสาหกรรมน้ำอัดลม.” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 35 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน 2555.

[4] ดวงใจ ทาแก้ว และ พัฒนพงษ์ แสงหัตถวัฒนา 2555 “การปรับปรุงประสิทธิภาพการให้บริการผู้ป่วยกรณีศึกษา: แผนกอายุรกรรม”. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555 17-19 ตุลาคม 2555 ชะอำ เพชรบุรี

[5] กิตติวัฒน์ ข้องม่วง และไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล, การปรับปรุงระบบการให้บริการแผนกอายุรกรรมของโรงพยาบาลสัตว์ด้วยการจำลองสถานการณ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)

แนวทางการบริหารยาคงคลังโดยประยุกต์ใช้ ABC-VED Matrix: กรณีศึกษาคลังยาในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Drug Inventory Management Guideline using ABC-VED Metrix: A Case Study of Drug Warehouse in Northeast of Thailand

พิณพิชา ศิวาพรรักษ์[1] นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์[2*] รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล[1] สุภาพร แสนกุล[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[2]สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหการเชื่อมประกอบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
E-mail: naratip.su@rmuti.ac.th*

Pinpicha Siwapornrak[1] Naratip Supattananon[2*] Raknoi Akararungruangkul[1] Supaporn Sankul[2]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khonkaen University
[2]Department of Welding Technical Education, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus
E-mail: naratip.su@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์แนวโน้มการกระจายยาที่จัดกลุ่มยาโดยใช้ ABC-VED Matrix ในการบริหารจัดการยาคงคลังของคลังยากรณีศึกษา ใช้การวิเคราะห์แบบ ABC และ VED ร่วมกันสร้างเป็น ABC-VED Matrix โดยแบ่งกลุ่มยาคงคลังเป็น 3 หมวด ได้แก่ หมวด 1 ยาที่มีความจำเป็นมากและมีค่าใช้จ่ายสูง หมวด 2 ยาที่มีความจำเป็นและมีค่าใช้จ่ายปานกลาง หมวด 3 ยาที่มีความจำเป็นน้อยและมีค่าใช้จ่ายน้อย นำมาวางแผนการจัดการยาคงคลัง เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารคลังยา จากการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์แบบ ABC-VED Matrix ได้ผลดังนี้ หมวด 1 มีจำนวนร้อยละ 36.35 คิดเป็นมูลค่าร้อยละ 84.01 หมวด 2 มีจำนวนร้อยละ 59.57 คิดเป็นมูลค่าร้อยละ 15.08 หมวด 3 มีจำนวนร้อยละ 4.09 คิดเป็นมูลค่าร้อยละ 0.19 การจัดกลุ่มยาโดยใช้ ABC-VED Matrix สามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการยาคงคลังให้เหมาะสมกับยาแต่ละกลุ่ม

คำสำคัญ: การวิเคราะห์แบบ ABC, การวิเคราะห์แบบ VED, เมทริกซ์ ABC-VED, คลังยา

Abstract

This research aims to study and analyze trends in drug distribution for each drug group that was classified by the ABC-VED matrix for managing drug inventory in a drug warehouse case study. In this study, the ABC and VED analyses were created for the ABC-VED matrix to separate the drug inventory into 3 categories. The first category was drugs that are highly needed or costly drugs. The second category is drugs that are essential or have a moderate cost, the third category is drugs that are needed and have a low cost. The ABC-VED matrix classification was used for drug inventory management to increase the efficiency of drug inventory management. From the study, the results of the ABC-VED matrix analysis were as follows: the first category contained 36.35% of drug items that consumed 84.01% of annual drug expenditure (ADE); the second category contained 59.57% of items that consumed 15.08% of ADE; and the third category contained the remaining 4.09% of items that consumed only 0.19% of ADE. Drug inventory management can be appropriate for each drug group using the ABC-VED matrix classification.

Keywords: ABC Analysis, VED Analysis, ABC-VED Matrix, Drug Store

1. บทนำ

สุขภาพของประชาชนเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพของประเทศ ภาครัฐจึงได้มีการจัดสรรงบประมาณด้านสุขภาพ ซึ่งในช่วงสามทศวรรษที่ผ่านมาประเทศไทยมีค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพของไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 110,116.10 ล้านบาทใน พ.ศ.2537 เป็น 651,915.50 ล้านบาท ใน พ.ศ.2562 [1] รัฐบาลจึงต้องมีการจัดสรรและควบคุมค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพให้มีประสิทธิภาพ ซึ่ง 3 ใน 4 ของค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพคือค่าบริการด้านการรักษาพยาบาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่ายา ยาถือเป็นเครื่องมือสำคัญของการรักษาพยาบาลซึ่งทุกโรงพยาบาลจะต้องมีปริมาณเพียงพอต่อการดูแลผู้ป่วย ยาที่มีประสิทธิภาพปลอดภัย และคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์สาธารณสุข [2] ดังนั้นจึงต้องมีการบริหารจัดการยาคงคลังที่มีประสิทธิภาพและไม่ให้เกิดการขาดสต๊อกหรือมีปริมาณยาคงคลังมากเกินไป ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาล [3]

ในปัจจุบันแผนกเภสัชกรรมของโรงพยาบาลกรณีศึกษามีหน้าที่จัดหายาที่มีคุณภาพ เพื่อให้เพียงพอและพร้อมใช้สำหรับผู้รับบริการ โดยมีการวางแผนการสั่งซื้อยาตามข้อมูลปริมาณการใช้ ปริมาณการสำรองยา แต่ยังไม่มีระบบการจัดหมวดหมู่ยา เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ ควบคุม และวางแผนการจัดการบริหารคลังยาให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้รับบริการในปัจจุบัน จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนในที่จะศึกษาการจัดหมวดหมู่ยาที่จะทำให้ทราบรูปแบบการกระจายของมูลค่าการใช้ยา ซึ่งช่วยในการตัดสินใจซื้อยาตามความจำเป็น

เทคนิคการวิเคราะห์แบบ ABC (ABC Analysis) เป็นเครื่องมือที่ช่วยบริหารยาคงคลัง โดยแบ่งกลุ่มยาตามมูลค่าการใช้ [4,7] ในขณะที่การวิเคราะห์แบบ VED (VED Analysis) เป็นเครื่องมือที่ช่วยบริหารยาคงคลัง โดยแบ่งกลุ่มยาตามความจำเป็น ซึ่งจากมุมมองที่แตกต่างกันของ 2 วิธีนี้ เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกันโดยสร้างเป็นการวิเคราะห์แบบ ABC-VED Matrix จะช่วยให้การบริหารยาคงคลังมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น [5] ในงานวิจัยนี้จึงนำการวิเคราะห์แบบ ABC-VED Matrix มาใช้ในการแบ่งกลุ่มยาคงคลังให้เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการคลังยาให้เหมาะสม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิธีการวิเคราะห์แบบ ABC (ABC Analysis) เป็นวิธีการแบ่งกลุ่มยาที่ประยุกต์จากหลักการของพาเรโตที่มุ่งเน้นให้ความสำคัญกับกลุ่มสินค้าจำนวนน้อยที่มีมูลค่ามากมากกว่ากลุ่มสินค้าจำนวนมากโดยรวมที่มีมูลค่าน้อย (Critical Few and Trivial Many) ซึ่งแบ่งยาออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A เป็นกลุ่มยาที่มีจำนวนรายการยา 15-20% ของรายการทั้งหมดแต่มีมูลค่าประมาณ 75-80% ของมูลค่ายาทั้งหมด กลุ่ม B เป็นกลุ่มยาที่มีจำนวนรายการ 30-40% ของรายการทั้งหมด แต่มีมูลค่าประมาณ 10-15% ของมูลค่ายา กลุ่ม C เป็นกลุ่มยาที่มีจำนวนรายการ 50-60% ของรายการทั้งหมด แต่มีมูลค่าประมาณ 3-5% ของมูลค่ายาทั้งหมด [4,7] วิธีการวิเคราะห์แบบ VED (VED Analysis) เป็นวิธีการแบ่งกลุ่มยาโดยพิจารณาจากความสำคัญ ความจำเป็นต้องมีพร้อมใช้ในโรงพยาบาล ซึ่งแบ่งยาออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม V (Vital Items) เป็นกลุ่มยาที่มีความสำคัญในการช่วยชีวิตผู้ป่วย ต้องมีพร้อมใช้ในโรงพยาบาลตลอดเวลา กลุ่ม E (Essential Items) เป็นกลุ่มยาที่ควรมีไว้ใช้ในโรงพยาบาล เช่น ยารักษาโรคที่พบบ่อยในกลุ่มผู้ป่วยของโรงพยาบาล มีประโยชน์ต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย การขาดแคลนยากลุ่มนี้ทำให้เกิดต้นทุนการสูญเสียโอกาสอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และไม่ทำให้ผลกระทบร้ายแรงตามมา สามารถใช้ยารายการอื่นที่มีประสิทธิภาพทัดเทียมกันแทนได้ และกลุ่ม D (Desirable หรือ N – Non Essential Items) เป็นกลุ่มยาที่อาจมีในโรงพยาบาล เป็นยาเสริมสำหรับรักษาอาการเจ็บป่วยเล็กน้อย ไม่มีผลต่อการรักษา หรือมีความสำคัญน้อยในการดูแลผู้ป่วยของโรงพยาบาล การขาดแคลนยากลุ่มนี้ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อโรงพยาบาลและต้นทุนการสูญเสียน้อย เมื่อนำการวิเคราะห์แบบ ABC และ VED มาพิจารณาร่วมกัน โดยสร้างเป็น ABC-VED Matrix แล้วจะสามารถแบ่งได้ 3 หมวด ได้แก่ หมวด 1 คือ AV, AE, AD, BV และ CV ซึ่งเป็นยาที่มีความจำเป็นอย่างมากหรือมีค่าใช้จ่ายสูง มีผลต่อค่าใช้จ่ายมาก แม้ว่าจำนวนการยาจะมีสัดส่วนน้อย หมวด 2 คือ BE, CE และ BD ซึ่งเป็นยาที่มีความจำเป็นหรือมีค่าใช้จ่ายปานกลาง มีจำนวนรายการยาปานกลาง และหมวด 3 คือ CD ซึ่งเป็นยาที่มีความจำเป็นน้อยและมีค่าใช้จ่ายน้อย แม้ว่ามีจำนวนรายการยามาก การวิเคราะห์แบบ ABC-VED Matrix เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างเหมาะสมและมีเหตุผล และไม่ทำให้เกิดสถานการณ์ที่ยาคงคลังในร้านขายยาของโรงพยาบาลเกิดความขาดแคลน [6]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการยาคงคลัง พบว่า Sukhbir และคณะ (2015) ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ ABC และ VED กับร้านขายยาระดับทุติยภูมิ ของสถาบันบัณฑิตศึกษาด้านการแพทย์และการวิจัย (PGIMER) เมืองจัณฑีครห์ ประเทศอินเดีย เพื่อระบุประเภทของยาที่ต้องควบคุมอย่างเข้มงวดและศึกษาการบริโภคและค่าใช้จ่ายประจำปีที่เกิดขึ้นกับแต่ละรายการยาของร้านขายยาในปี 2008 ถึง 2009 นอกจากนี้นำเทคนิคการควบคุมสินค้าคงคลัง ได้แก่ การวิเคราะห์แบบ ABC, VED และ ABC-VED Matrix มาเปรียบเทียบกัน พบว่าสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านยาประจำปีได้ [5] Kaushik Nag และ Mohammed Anany (2016) ศึกษาการจัดการสินค้าคงคลังของศูนย์กระจายยาในประเทศคูเวต โดยใช้ ABC – VED Matrix เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์จัดกลุ่มยาจำนวน 100 รายการ คิดเป็นค่าใช้จ่ายยาทั้งหมด 27,231,151 ดีนาร์คูเวต (ประมาณ 90 ล้านเหรียญสหรัฐ) แบ่งยาเป็น 3 หมวดดังนี้ หมวด 1 จำนวน 27% คิดเป็นมูลค่า 71.02% หมวด 2 จำนวน 51% คิดเป็นมูลค่า 27.10% และหมวด 3 จำนวน 22% คิดเป็นมูลค่า 1.88% [7] เช่นเดียวกันกับ Sujata Dudhgaonkar และคณะ (2017) ศึกษาการจัดกลุ่มยาจำนวน 124 รายการ จากร้านขายยาของโรงพยาบาล ระดับตติยภูมิ ประเทศอินเดีย ในปีงบประมาณ 2559-2560 จากการวิเคราะห์แบบ ABC-VED Matrix

สามารถแบ่งยาได้ 3 หมวดดังนี้ หมวด 1 จำนวน 55.65% คิดเป็นมูลค่า 84.53% หมวด 2 จำนวน 30.65% คิดเป็นมูลค่า 13.43% และหมวด 3 จำนวน 13.70% คิดเป็นมูลค่า 2.04% [8]

ในประเทศไทยได้มีการศึกษาในด้านนี้เช่นเดียวกัน โดย ศิวดล กัญญาคำ (2561) ได้นำเสนอรูปแบบการจัดการสินค้าคงคลังที่มุ่งปรับปรุงการควบคุมสินค้าคงคลังให้มีประสิทธิภาพสำหรับร้านยา พร้อมทั้งเพิ่มความพึงพอใจในการบริการของหน่วยบริการรองโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองการวิเคราะห์ ABC-VED Matrix เพื่อจัดประเภทและกำหนดความสำคัญของรายการยา [12] เช่นเดียวกันกับยุพาวดี อินทรจันทร (2562) ที่ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ ABC/VEN ในการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์โรงพยาบาลนครพิงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารเวชภัณฑ์คลังเวชภัณฑ์ยา พบว่า ปีงบประมาณ 2562 มีรายการยาทั้งสิ้น 789 รายการ มูลค่าการใช้ต่อปี 353,249,998.74 บาท/ปี ซึ่งเมื่อใช้ระบบ ABC Analysis มาวิเคราะห์ พบว่ายากลุ่ม A เป็นยาที่มีมูลค่าการใช้มากที่สุด 267,644,411.27 บาท/ปี และเมื่อนำระบบ VEN System มาช่วยจัดลำดับความสำคัญตามผลกระทบต่อสุขภาพ ยากลุ่ม V เป็นยากลุ่มช่วยชีวิต จำนวนทั้งสิ้น 135 รายการ มูลค่า 88,588,761.33 บาท/ปี จากการศึกษาพบว่ากลุ่มที่มีความสำคัญในการรักษายาในกลุ่มนี้ได้แก่ ยากลุ่ม AV จำนวน 39 รายการ มูลค่า 75,991,477.62 บาท/ปี และโรงพยาบาลจำเป็นต้องมียากลุ่มนี้ในคลังยาเสมอแม้ว่าจะต้องเพิ่มต้นทุนการถือครอง [13]

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าวิธีการจัดกลุ่มแบบ ABC เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการจัดหมวดหมู่และความสำคัญของยาคงคลังได้เนื่องจากช่วยในการตรวจสอบปริมาณยาคงคลัง ทำให้ทราบถึงปริมาณที่แท้จริง ความถี่ในการใช้ยา และมูลค่าของยาคงคลัง โดยสัดส่วนของยากลุ่ม A:B:C เท่ากับ 80:15:5 หรือเป็นไปตามหลักพาเรโตคือ กลุ่ม A เป็นกลุ่มที่มีจำนวนรายการยาน้อยที่สุดแต่มีมูลค่าการใช้สูงสุด กลุ่ม B เป็นกลุ่มที่มีจำนวนรายการยาและมูลค่าการใช้ปานกลาง กลุ่ม C เป็นกลุ่มที่มีจำนวนรายการยามากที่สุด แต่มีมูลค่าการใช้น้อยที่สุด ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของ Singh, Kaushik และ Sujata [6-8] ในขณะที่การวิเคราะห์แบบ VED จำแนกกลุ่มยาโดยพิจารณาจากความจำเป็นต้องมี โดยแบ่งเป็นกลุ่ม V, E และ D มีความจำเป็นจากมากไปน้อยตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของ Zeynep, Ebrahim และ Ida [9-11] เมื่อนำทั้งสองวิธีนี้มาประยุกต์ใช้ร่วมกันแล้วทำให้สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาระบบในการจัดการคลังยาได้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้บริการ ไม่เสียโอกาสในการให้บริการ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้การวิเคราะห์แบบ ABC-VED Matrix ในการจัดกลุ่มยาคงคลัง

3. ระเบียบการวิจัย

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสินค้าคงคลัง ได้แก่ การจัดกลุ่มสินค้าคงคลังด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ ABC, วิธีการวิเคราะห์แบบ VED และ วิธี ABC-VED Matrix แล้วจึงนำมากำหนดขอบเขตของปัญหา

3.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบการบริหารยาคงคลังของคลังยากรณีศึกษา โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา โดยสอบถามจากเภสัชกรที่ปฏิบัติงานในส่วนคลังยาและเภสัชกรในฝ่ายจัดซื้อ เก็บรวบรวมข้อมูลรายการยาและข้อมูลการใช้ยาของคลังยากรณีศึกษาย้อนหลังตั้งแต่ 1 กรกฎาคม 2563 ถึง 30 กันยายน 2564 จากคลังยาของโรงพยาบาลกรณีศึกษา

3.3 แบ่งกลุ่มข้อมูลยาตามหลักการวิเคราะห์แบบ ABC โดยพิจารณาจากมูลค่าการใช้ยารวมทั้งปีแต่ละรายการซึ่งมีค่าเท่ากับ “จำนวนยาที่ใช้ในหนึ่งปี x ราคาต่อหน่วย” ซึ่งแบ่งยาออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่ม A มีมูลค่าประมาณร้อยละ 75 ของมูลค่าการใช้ยารวมซึ่งอาจมีจำนวนรายการน้อยเพียงร้อยละ 10 ของรายการยาทั้งหมด กลุ่ม B มีมูลค่าประมาณร้อยละ 20 ของมูลค่าการใช้ยารวมซึ่งอาจมีจำนวนรายการประมาณร้อยละ 20 ของรายการยาทั้งหมด และกลุ่ม C มีมูลค่าประมาณจากการใช้ยารวมเพียงร้อยละ 5 ของมูลค่าการใช้ยารวม แต่อาจมีจำนวนรายการมากถึงร้อยละ 70 ของรายการยาทั้งหมด [4,13]

3.4 แบ่งกลุ่มยาตามหลักการวิเคราะห์แบบ VED กล่าวคือ กลุ่ม V คือกลุ่มยาที่มีความสำคัญในการช่วยชีวิตผู้ป่วย ต้องมีพร้อมใช้ในโรงพยาบาลตลอดเวลา เช่น เซรุ่มต้านพิษ ยาปฏิชีวนะ น้ำยาฆ่าเชื้อ เป็นต้น การขาดแคลนยาประเภทนี้ทำให้โรงพยาบาลเกิดต้นทุนการสูญเสียโอกาสสูงและอาจมีผลกระทบที่ร้ายแรงตามมา เช่น ผู้ป่วยเสียชีวิต กลุ่ม E คือกลุ่มยาที่ควรมีไว้ใช้ในโรงพยาบาล เช่น ยารักษาโรคที่พบบ่อยในกลุ่มผู้ป่วยของโรงพยาบาล มีประโยชน์ต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยและ กลุ่ม D คือกลุ่มยาที่อาจมีในโรงพยาบาล เป็นยาเสริมสำหรับรักษาอาการเจ็บป่วยเล็กน้อย ไม่มีผลต่อการรักษา หรือมีความสำคัญน้อย [6-11]

3.5 นำการวิเคราะห์แบบ ABC และ VED มาพิจารณาร่วมกัน โดยสร้างเป็น ABC-VED Matrix ดังตารางที่ 1 แล้วจะสามารถแบ่งได้ 3 หมวดดังนี้ หมวด 1 AV, AE, AD, BV และ CV เป็นยาที่มีความจำเป็นอย่างมากหรือมีค่าใช้จ่ายสูง มีผลต่อค่าใช้จ่ายมาก แม้ว่าจำนวนการยาจะมีสัดส่วนน้อย หมวด 2 ได้แก่ BE, CE และ BD ยาที่มีความจำเป็นและมีค่าใช้จ่ายปานกลาง มีจำนวนรายการยาปานกลาง หมวด 3 ได้แก่ CD เป็นยาที่มีความจำเป็นน้อยและมีค่าใช้จ่ายน้อย แม้ว่ามีจำนวนรายการยามาก [13-16]

3.6 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล นำผลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการคลังยา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารยาคงคลัง

4. ผลการวิจัย

จากการรวบรวมข้อมูลรายการยาและมูลค่ายาของคลังยาโรงพยาบาลกรณีศึกษาย้อนหลังตั้งแต่ 1 กรกฎาคม 2563 ถึง 30 กันยายน 2564 ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่ามีจำนวนรายการยาทั้งสิ้น 1,150 รายการ มีมูลค่าการใช้ทั้งสิ้น

432,343,920.44 บาท เมื่อนำข้อมูลรายการยาและมูลค่าการใช้ยามาแบ่งกลุ่มตามการวิเคราะห์แบบ ABC แล้วได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การจัดกลุ่มยาตามหลักการ ABC-VED Matrix

สัญลักษณ์	นิยาม	รายละเอียด
AV	(x,y) เมื่อ x คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม A และ y คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม V	ยาที่มีมูลค่าสูงแม้มีจำนวนน้อย และมีความสำคัญมากต่อโรงพยาบาล
AE	(x,y) เมื่อ x คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม A และ y คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม E	ยาที่มีมูลค่าสูงแม้มีจำนวนน้อย และมีความจำเป็นต่อโรงพยาบาล
AD	(x,y) เมื่อ x คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม A และ y คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม D	ยาที่มีมูลค่าสูงแต่เป็นเพียงยาทางเลือก เป็นยาเสริม มีความสำคัญต่อโรงพยาบาลน้อย
BV	(x,y) เมื่อ x คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม B และ y คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม V	ยาที่มีมูลค่าปานกลาง แต่เป็นยาที่มีความสำคัญมาก
BE	(x,y) เมื่อ x คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม B และ y คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม E	ยาที่มีมูลค่าปานกลาง และมีความจำเป็นต่อโรงพยาบาล
BD	(x,y) เมื่อ x คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม B และ y คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม D	ยาที่มีมูลค่าปานกลาง และมีความสำคัญต่อโรงพยาบาลน้อย
CV	(x,y) เมื่อ x คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม C และ y คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม V	ยาที่มีมูลค่าน้อยแม้จะมีจำนวนมาก และมีความสำคัญมากต่อโรงพยาบาล
CE	(x,y) เมื่อ x คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม C และ y คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม E	ยาที่มีมูลค่าน้อยแม้จะมีจำนวนมาก และมีความจำเป็นต่อโรงพยาบาล
CD	(x,y) เมื่อ x คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม C และ y คือรายการยาคงคลังในกลุ่ม D	ยาที่มีมูลค่าน้อยแม้จะมีจำนวนมาก และมีความสำคัญต่อโรงพยาบาลน้อย

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มยาตามหลักการวิเคราะห์แบบ ABC

กลุ่ม	จำนวน (รายการ)	%	มูลค่า (บาท)	%
A	241	20.96%	348,975,459.65	80.72%
B	391	34.00%	72,840,534.60	16.85%
C	518	45.04%	10,527,926.20	2.44%
รวม	1150	100.00%	432,343,920.44	100.00%

เมื่อนำข้อมูลรายการยามาวิเคราะห์และจัดกลุ่มยาตามความจำเป็นด้วยหลักการวิเคราะห์แบบ VED ได้ผลตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การแบ่งกลุ่มยาตามหลักการวิเคราะห์แบบ VED

กลุ่ม	จำนวน (รายการ)	%	มูลค่า (บาท)	%
V	60	5.22%	3,311,357.00	0.77%
E	882	76.70%	381,310,745.96	88.20%
D	208	18.09%	47,721,817.48	11.04%
รวม	1150	100.00%	432,343,920.44	100.00%

หลังจากนำหลักการวิเคราะห์แบบ ABC และ VED มาพิจารณาร่วมกันโดยสร้าง ABC-VED Matrix แล้วจะสามารถจัดกลุ่มยาได้ผลตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การจัดกลุ่มยาตามหลักการ ABC-VED Matrix

กลุ่ม	จำนวน (รายการ)	%	มูลค่า (บาท)	%
AV	30	2.61%	33,107,653.49	7.66%
AE	211	18.35%	315,867,806.15	73.06%
AD	0	0.00%	-	0.00%
BV	67	5.83%	12,103,757.99	2.80%
CV	110	9.57%	2,150,026.00	0.50%
BE	312	27.13%	58,838,665.61	13.61%
BD	12	1.04%	1,898,111.00	0.44%
CE	361	31.39%	7,564,054.20	1.75%
CD	47	4.09%	813,846.00	0.19%
รวม	1150	100.00%	432,343,920.44	100.00%

เพื่อให้เป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการยาคงคลังจึงนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ ABC-VED Matrix มาจัดหมวดหมู่ยาเป็น 3 หมวด ดังนี้ หมวดที่ 1 เป็นยา AV, AE, AD, BV และ CV หมวดที่ 2 เป็นยา BE, CE และ BD และหมวดที่ 3 เป็นยา CD ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การจัดหมวดหมู่ยาตาม ABC-VED Matrix

หมวด	จำนวนรายการ	%	มูลค่า (บาท)	%
1	418	36.35%	363,229,243.64	84.01%
2	685	59.57%	68,300,830.81	15.80%
3	47	4.09%	813,846.00	0.19%
รวม	1150	100%	432,343,920.44	100%

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่าข้อมูลรายการยาและมูลค่าการใช้งานสามารถนำมาจัดกลุ่มยาตามหลักการวิเคราะห์แบบ ABC ได้ดังนี้ กลุ่ม A เป็นกลุ่มที่มีจำนวนรายการยาน้อยที่สุดมีจำนวนร้อยละ 20.96 ของรายการยาทั้งหมด แต่มีมูลค่าสูงสุดคิดเป็นมูลค่าร้อยละ 80.72 กลุ่ม B มีจำนวนร้อยละ 34 คิดเป็นมูลค่าร้อยละ 16.85 และกลุ่ม C มีจำนวนร้อยละ 45.04 คิดเป็นมูลค่าร้อยละ 2.44 ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของธนเพ็ญ พัฒนเสถียรกุล, วรศักดิ์ พุฒิวณิชย์ และวิชัย ก้องเกียรตินคร [15-17] ในขณะที่การวิเคราะห์แบบ VED สามารถจัดกลุ่มยาได้ดังนี้ กลุ่ม V เป็นกลุ่มรายการยาที่มีความจำเป็นมากที่สุดมีจำนวนร้อยละ 5.22 คิดเป็นมูลค่าร้อยละ 0.77 กลุ่ม E เป็นกลุ่มรายการยาที่มีความจำเป็นรองลงมามีจำนวนร้อยละ 76.70 คิดเป็นมูลค่าร้อยละ 88.20 และกลุ่ม D เป็นกลุ่มที่มีความจำเป็นน้อยที่สุดมีจำนวนร้อยละ 18.09 คิดเป็นมูลค่าร้อยละ 11.04 และเมื่อนำทั้งสองวิธีมาวิเคราะห์ร่วมกันแล้วจะสามารถจัดหมวดหมู่ของยาตามหลักการ ABC-VED Matrix ได้ดังนี้ หมวดที่ 1 มีจำนวนร้อยละ 36.35 คิดเป็นมูลค่าสูงสุดร้อยละ 84.01 ยากลุ่มนี้เป็นยาที่มีความสำคัญมาก จำเป็นต่อโรงพยาบาลเป็นอย่างยิ่ง และมีค่าใช้จ่ายสูง จึงควรได้รับการดูแลเป็นพิเศษ และมียากลุ่มนี้สำรองอยู่ในคลังยาในปริมาณที่เหมาะสม หมวดที่ 2 มีจำนวนร้อยละ 59.57 คิดเป็นมูลค่าร้อยละ 15.08 ควรเลือกบริหารจัดการยาคงคลังหมวดนี้เป็นลำดับสุดท้าย เนื่องจากมีจำนวนรายการยามากที่สุด ต้องใช้ทรัพยากรในการจัดการยาคงคลังสูง หมวดที่ 3 มีจำนวนร้อยละ 4.09 คิดเป็นมูลค่าร้อยละ 0.19 มีความจำเป็นน้อย ไม่ส่งผลกระทบต่อการบริการมากหากเกิดการขาดแคลน ยาคงคลังหมวดนี้ควรวางแผนซื้อเท่าที่จำเป็น ไม่ต้องสำรองไว้เป็นจำนวนมากแต่ต้องมีจำนวนมากพอที่จะไม่กระทบต่อการรักษาผู้ป่วย

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยอื่น

หมวด	การศึกษานี้		Kaushik (2016) [8]		Sujata (2017) [9]		Zeynep (2017) [10]		ธนเพ็ญ (2556) [16]		วรศักดิ์ (2556) [17]		วิชัย (2563) [15]	
	รายการ (%)	มูลค่าการใช้ (%)	รายการ (%)	มูลค่าการใช้ (%)	รายการ (%)	มูลค่าการใช้ (%)	รายการ (%)	มูลค่าการใช้ (%)	รายการ (%)	มูลค่าการใช้ (%)	รายการ (%)	มูลค่าการใช้ (%)	รายการ (%)	มูลค่าการใช้ (%)
A	20.96	80.72	19.00	70.00	14.51	69.75	10.31	69.96	16.38	80.10	15.45	69.92	16.69	74.95
B	34.00	16.85	17.00	20.00	16.94	20.24	21.78	20.02	23.46	14.91	19.14	20.00	27.21	20.05
C	45.04	2.44	64.00	10.00	68.55	10.01	67.91	10.01	60.16	4.99	65.41	10.08	56.10	5.00
V	5.22	0.77	10.00	9.43	54.03	79.28	10.76	23.31	4.57	1.04	4.13	13.87	11.30	11.51
E	76.70	88.20	63.00	81.42	30.65	17.35	45.49	55.85	63.93	38.95	69.18	62.98	45.47	50.67
D	18.09	11.04	27.00	9.15	15.32	3.37	43.75	20.84	31.50	60.01	26.69	23.15	43.23	37.81
1	36.35	84.01	27.00	71.02	55.65	84.53	17.40	75.25	20.79	80.84	19.49	83.30	25.97	85.08
2	59.57	15.80	51.00	27.10	30.65	13.43	48.70	22.18	63.46	17.89	65.05	13.94	48.06	12.80
3	4.09	0.19	22.00	1.88	13.70	2.04	33.90	2.57	15.75	1.27	15.46	2.76	25.97	2.13

เมื่อนำจำนวนรายการและมูลค่าการใช้ของยาแต่ละประเภทจากผลการศึกษาที่ได้มาเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่นๆ ในรูปของร้อยละจะแสดงดังตารางที่ 6 หรือรูปที่ 1 และรูปที่ 2 จากผลการเปรียบเทียบจำนวนรายการและมูลค่าการใช้ยาของแต่ละหมวดหมู่ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ แล้ว สัดส่วนการแบ่งกลุ่มยาจากการวิเคราะห์แบบ ABC ให้ผลไปในทางเดียวกัน คือกลุ่ม A เป็นกลุ่มที่มีจำนวนรายการน้อยที่สุดแต่มีมูลค่าการใช้มากที่สุดเหมือนกัน ส่วนผลการจัดกลุ่มจากการวิเคราะห์แบบ VED มีความแตกต่างกับการศึกษาอื่น เนื่องจากเกณฑ์ในการกำหนดกลุ่มที่ต่างกัน ส่วนผลการจัดหมวดหมู่ยาจากการวิเคราะห์แบบ ABC-VED Matrix จะเห็นได้ว่ามีงบประมาณการใช้ยาไปในทางเดียวกัน แม้ว่าจำนวนรายการยาแตกต่างกันก็ตาม

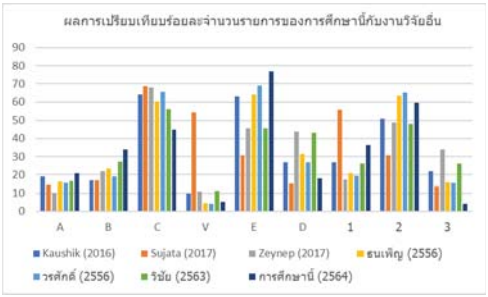
7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอนสำหรับงานวิจัยนี้

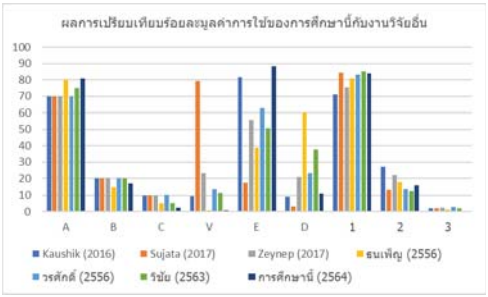
เนื่องจากการวิเคราะห์แบบ ABC เป็นการจัดกลุ่มยาตามมูลค่าการใช้ยาในแต่ละปี ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมหรือนโยบายของโรงพยาบาล จึงความมีการอัพเดทข้อมูลให้มีความทันสมัยถูกต้อง และน่าเชื่อถือ นอกจากนี้เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการแบ่งประเภทยาตามหลักการวิเคราะห์แบบ VED จึงต้องมีการกำหนดนิยามตามมาตรฐานของโรงพยาบาลให้ชัดเจน โดยบัญชียาของโรงพยาบาลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด

7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับบริหารจัดการคลังยา และจัดซื้อจัดหาให้เหมาะสม เพื่อลดต้นทุนในการบริหารคลังยา และสามารถควบคุมยาคงคลังให้มีปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้งาน โดยงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะรายการยาเท่านั้น ควรทำการศึกษาเวชภัณฑ์เพิ่มเติม และผลการวิจัยอาจไม่เหมาะสมกับการใช้งานในกรณีของการเกิดโรคระบาด



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบร้อยละจำนวนรายการยาของผลการศึกษานี้กับงานวิจัยอื่น



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบร้อยละมูลค่าการใช้ของผลการศึกษานี้กับงานวิจัยอื่น

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ, บัญชีรายจ่ายสุขภาพแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2562 นนทบุรี: มูลนิธิเพื่อการพัฒนานโยบายสุขภาพระหว่างประเทศ กระทรวงสาธารณสุข; 2564. ข้อมูลจาก http://ihppthaigov.net/DB/publication/attachresearch/457/chapter1.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 31 มกราคม 2565)

[2] คณะอนุกรรมการพัฒนาบัญชียาหลักแห่งชาติ. คู่มือการใช้ยาอย่างสมเหตุสมผลตามบัญชียาหลักแห่งชาติ ยาระบบประสาทส่วนกลาง เล่ม 1 กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย; 2553.

[4] ชวพร ลีลาเวทพงษ์ และคมสัน โสตางกูร. 2554. “การศึกษาประสิทธิภาพการบริหารเวชภัณฑ์กลุ่มงานเภสัชกรรมโรงพยาบาลเจริญกรุงประชารักษ์”. วารสารโรงพยาบาลเจริญกรุงประชารักษ์, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2: 1-14.

[3] บรรณสรณ์ เตชะจำเริญสุข, กิตติยศ ยศสมบัติ. การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ ABC-VED ในการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์. กรุงเทพฯ: ศูนย์การศึกษาต่อ เนื่องทางเภสัชศาสตร์ สภาเภสัชกรรม; 2561 ข้อมูลจาก https://ccpe.pharmacycouncil.org/index.php?option=article_detail&subpage=articledetail&id=477 (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 มกราคม 2565)

[4] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, การจัดซื้อและวางแผนการจัดซื้อ, , กรุงเทพฯ:กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม; 2559. ข้อมูลจาก https://bsc.dip.go.th/th/category/logistics/fs-purchaseplan (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 มิถุนายน 2564)

[6] S. Singh, K.G. Anil and D. Mahesh. 2015. “ABC and VED Analysis of the Pharmacy Store of a Tertiary Care, Academic Institute of the Northern India to Identify the Categories of Drugs Needing Strict Management Control”. Journal of Young Pharmacists, Vol. 7(2): 76-80.

[7] N. Kaushik and A. Mohammed, Application of ABC and VED analysis for a pharmaceutical distributor’s inventory in Kuwait, Proceedings of the 2016 industrial and systems engineering research conference, 21-24 May 2016 California.

[8] D. Sujata, C.R. Sachin, B.P. Narendra. 2017. “The ABC and VED analysis of the medical store of the tertiary care teaching hospital in Maharashtra”. India. International Journal of Basic & Clinical Pharmacology Vol. 6(9):2183.

[9] C. Zeynep and B. Serol. 2017. “Drug inventory management of a pharmacy using ABC and VED analysis”. Eurasian Journal of Health Technology Assessment. Vol. 2: 14-8.

[10] H. Ebrahim, P. Babak, A. Aliz and T. Morteza. 2018. “ABC and VED analysis of Imam Reza educational hospital pharmacy” Annals of Military and Health Sciences Researchใ Vol. 16(3): 1-5.

[11] F. Ida, S.D. Raden and S.B. Dwi, 2018. “Medicine Inventory Management by ABC-VED Analysis in the Pharmacy Store of Veterinary Hospital, Yogyakarta, Indonesia”. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances, Vol.13: 85-90.

[12] Siwadol Kanyakam. 2018. “Inventory Management in Medical Stores of Secondary Care Unit Service Level Hospitals in Northeast of Thailand”. Mahasarakham International Journal of Engineering Technology, Vol. 4(1): 7-23.

[13] ยุพาวดี อินทรจันทร, การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ ABC/VEN ในการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์โรงพยาบาลนครพิงค์, เชียงใหม่ฯ: งานเภสัชกรรม โรงพยาบาลนครพิงค์; 2562 ข้อมูลจาก http://mis.nkp-hospital.go.th/institute/admInstitute (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 กรกฎาคม 2564)

[14] วิชัย ก้องเกียรตินคร. 2563. “การศึกษาการจัดกลุ่มรายการยาในเภสัชตำรับ โรงพยาบาลศรีนครินทร์โดยใช้ ABC-VED Matrix”. วารสารสมาคมประสาทวิทยาศาสตร์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ปีที่ 15 ฉบับที่ 4: 46-55.

[15] ธนเพ็ญ พัฒนเสถียรกุล. 2556. “การบริหารคลังยาโดยใช้ระบบ ABC-VEN Matrix ในโรงพยาบาลราชพิพัฒน์”. วารสารโรงพยาบาล เจริญกรุงประชารักษ์, ปีที่ 9: 58-67.

[16] วรศักดิ์ พุฒิวณิชย์. 2560. “การพัฒนางานคลังเวชภัณฑ์ในโรงพยาบาลสุราษฎร์ธานีโดยใช้ ABC-VEN Matrix”. เภสัชกรรมคลินิก, ปีที่ 23: 55-61..

การสำรวจปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทย

Exploration of Drivers and Challenges of Industry 4.0 for the Thai Sugar Industry

ดนัย ปานเจริญ[1] ปนิทัศน์ สุรียธนาภาส[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมและโลจีสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
E-mail: panisu@kku.ac.th*

Danai Pancharoen[1] Panitas Sureeyatanapas[1*]
[1]Industrial and Logistics Engineering Management Program, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
E-mail: panisu@kku.ac.th*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงทางอุตสาหกรรม 4.0 นับว่ามีความสำคัญและท้าทายต่ออุตสาหกรรมผู้ผลิตระดับโลกในด้านเทคโนโลยี องค์กร และการจัดการ ทำให้กระบวนการทำงานและกระบวนการผลิตเกิดความรวดเร็วและมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่งผลให้มีความสามารถในการแข่งขันได้ในธุรกิจ ถึงแม้ว่าอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทยได้เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงไปสู่อุตสาหกรรม 4.0 ไปบ้างแล้ว แต่ก็ยังพบว่าอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งถือเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศ ผู้ผลิตส่วนใหญ่ยังไม่ได้พัฒนาองค์กรไปสู่อุตสาหกรรม 4.0 อาจเนื่องจากอุปสรรคในหลายๆ ด้าน งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อรวบรวมปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของการพัฒนาองค์กรไปสู่อุตสาหกรรม 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทย โดยใช้วิธีรวบรวมปัจจัยผลักดัน และอุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0 จากการทบทวนวรรณกรรม จากนั้นจะทดสอบความถูกต้องของปัจจัย เพื่อให้มั่นใจว่าปัจจัยที่รวบรวมมามีความเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมน้ำตาล โดยใช้วิธีการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้องจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านอุตสาหกรรม 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล จำนวน 9 คน ซึ่งแบ่งผู้เชี่ยวชาญเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญจากอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทย จำนวน 4 คน ผู้เชี่ยวชาญจากภาควิชาการ จำนวน 3 คน และผู้เชี่ยวชาญจากภาครัฐ จำนวน 2 คน ซึ่งผลที่ได้คือ สามารถระบุปัจจัยผลักดันของอุตสาหกรรม 4.0 ได้จำนวน 22 ข้อ อุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0 ได้จำนวน 7 ข้อ และผลที่ได้รับสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำตาลให้สามารถก้าวเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งผู้พัฒนาหรือให้บริการด้านเทคโนโลยี 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล สามารถนำปัจจัยที่ระบุได้ดังกล่าวไปพัฒนาแนวทางการปรับปรุงหรือออกแบบเทคโนโลยี 4.0 ให้สอดคล้องกับปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของอุตสาหกรรมน้ำตาลได้

คำสำคัญ: อุตสาหกรรม 4.0, ปัจจัยผลักดัน, อุปสรรค, อุตสาหกรรมน้ำตาล

Abstract

At present, Industry 4.0 transformation is important and challenging for the global manufacturing industry in terms of technology, organization and management. This improves work and production processes to be faster and more flexible, leading to the enhancement of firms' competitive ability. Although many sectors of the Thai manufacturing industry have started to initiate Industry 4.0, some sectors, such as the sugar industry which is one of the main contributors to the Thai economy, are still behind others due to many barriers. This research aims to explore drivers and challenges for the Thai sugar industry to adopt Industry 4.0. Potential drivers and barriers were collected by a review of literature. They were then verified for their relevance to the Thai sugar industry by the index of item objective congruence, or IOC method, based on the interviews of nine experts. The experts can be divided into three groups including four experts from the industrial sector, three academic lecturers and two experts from the government parties. From this study twenty-two drivers and seven challenges can be identifies for the Thai sugar industry. The obtained results can be used to develop a guideline for sugar manufacturers to transition themselves to Industry 4.0 era. Moreover, technology developers or service providers for the sugar industry can utilize these identified factors to improve or design technologies according to the drivers and challenges of the Thai sugar industry.

Keywords: Industry 4.0, Drivers, Challenges, Sugar Industry

1. บทนำ

"อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0)" คือ การรวมเทคโนโลยีและนวัตกรรมสมัยใหม่เข้ากับเครื่องจักร อุปกรณ์ ระบบต่างๆ ให้เกิดการทำงานที่ผสมผสานกันกับมนุษย์ โดยมีระบบอินเตอร์เน็ตเป็นตัวส่งผ่านข้อมูล [1] การเปลี่ยนแปลงทางอุตสาหกรรม 4.0 นับว่ามีความสำคัญและท้าทายต่ออุตสาหกรรมการผลิตระดับโลกในด้านเทคโนโลยี องค์กรและการจัดการ ทำให้กระบวนการทำงานและกระบวนการผลิตเกิดความรวดเร็วและมีความยืดหยุ่นมากขึ้น นอกจากนี้อุตสาหกรรม 4.0 ยังมีผลกระทบอย่างมากในตลาดแรงงาน รวมถึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านเศรษฐกิจและสังคม [2]

สำหรับประเทศไทยในช่วงห้าปีที่ผ่านมา หลังจากทางรัฐบาลได้เล็งเห็นความสำคัญของอุตสาหกรรม 4.0 จึงได้กำหนดนโยบายสนับสนุนให้ประเทศก้าวไปสู่อุตสาหกรรม 4.0 เพื่อทำให้เศรษฐกิจไทยมีการเติบโตมากขึ้น การใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพ มีผลผลิตเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้น และยังส่งผลให้มีรายได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากต้นทุนต่ำลง ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยผลักดันให้เกิดการลงทุนในอุตสาหกรรม 4.0 [3] แต่ในขณะเดียวกันการพัฒนาองค์กรตามหลักการของอุตสาหกรรม 4.0 ก็อาจมีอุปสรรคหลายด้าน อาทิ ใช้เงินลงทุนสูง ขาดความรู้ในเทคโนโลยีสมัยใหม่ เป็นต้น [4]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ได้ศึกษาปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0 ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมบริการ อุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่มักใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นบริษัทในธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (Small and Medium Enterprises [SMEs]) [1-4 6 8-9, 16-19] แต่อย่างไรก็ตามยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องนี้ สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทย

2. การทบทวนวรรณกรรม

เพื่อให้มีความเข้าใจในด้านปัจจัยผลักดันและอุปสรรคที่มีผลต่อความพร้อมสำหรับการนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทย จึงต้องมีการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.1 ปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0

การรวบรวมปัจจัยผลักดันและอุปสรรคสำหรับการใช้งานเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ในครั้งนี้ จะได้มาจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อการพัฒนาองค์กรไปสู่อุตสาหกรรม 4.0 ที่ตีพิมพ์ระหว่างปี ค.ศ.2018 - ค.ศ.2021 เริ่มจาก Türkes et al. [1] ได้ทำการรวบรวมปัจจัยผลักดันและอุปสรรคที่มีผลต่อการนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 มาใช้งานในอุตสาหกรรม SMEs ในประเทศโรมาเนีย งานวิจัยนี้ใช้วิธีสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญและแบบสอบถามเพื่อรวบรวมข้อมูล ซึ่งกลุ่มตัวอย่างมาจากหลายภาคอุตสาหกรรม อาทิ อุตสาหกรรมรถยนต์ ผลิตอิเล็กทรอนิกส์ การให้คำปรึกษา ประกันภัย น้ำมันและก๊าซ เป็นต้น ผลที่ได้พบว่า ปัจจัยผลักดันที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดคือ การลดต้นทุน ขณะที่ปัจจัยด้านความต้องการของลูกค้ามีค่าเฉลี่ยน้อย ส่วนอุปสรรคที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือขาดองค์ความรู้ด้านอุตสาหกรรม 4.0

Orzes et al. [5] ซึ่งทำการศึกษาอุปสรรคต่อการนำอุตสาหกรรม 4.0 ไปใช้ใน SMEs ผู้วิจัยได้รวบรวมปัจจัยอุปสรรคจากการทบทวนวรรณกรรม และสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจากอุตสาหกรรมต่างๆ ใน 4 ประเทศ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา อิตาลี ออสเตรเลีย และไทย โดยคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญจากอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอุปกรณ์การเกษตร และอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ ผลที่ได้พบว่า อุปสรรคที่สำคัญต่อการนำอุตสาหกรรม 4.0 ไปใช้งานแบ่งเป็น 6 ด้าน ได้แก่ ด้านเศรษฐกิจและการเงิน ด้านวัฒนธรรมองค์กร ด้านสมรรถนะและทรัพยากร ด้านกฎหมาย ด้านเทคนิค และด้านกระบวนการใช้งาน ซึ่งอุปสรรคที่ SMEs ทุกกลุ่มได้แสดงความเห็นตรงกันคือ ใช้เงินลงทุนสูง ผลตอบแทนที่ไม่แน่นอน ขาดความรู้ด้านอุตสาหกรรม 4.0 ผู้บริหารระดับสูงไม่สนับสนุนในอุตสาหกรรม 4.0 ส่วนปัจจัยข้อจำกัดทางกฎหมายพบว่า มีเพียงในประเทศอิตาลี และประเทศไทยเท่านั้น

ถัดมา Müller et al. [6] ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยผลักดันและอุปสรรคในการก้าวไปสู่อุตสาหกรรม 4.0 ที่ยั่งยืน โดยได้รวบรวมปัจจัยผลักดันและอุปสรรคจากการทบทวนวรรณกรรม และได้ใช้วิธีส่งแบบสอบถามไปยังบริษัทผู้ผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักร เคมีและพลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนยานยนต์ และโลหะ ซึ่งสรุปได้ว่าการมีแผนกลยุทธ์ที่ดี การลดต้นทุน การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมการทำงานเป็นปัจจัยผลักดันให้ก้าวไปสู่เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ส่วนอุปสรรคคือ การใช้เงินลงทุนสูง นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของบริษัทขนาดใหญ่มีความพร้อมมากกว่าบริษัทขนาดเล็ก

ต่อมา Horváth and Szabó [7] ทำการสำรวจและเปรียบเทียบแนวความคิดของผู้บริหารระดับสูงที่มีต่อปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของอุตสาหกรรม SMEs และบริษัทต่างชาติที่มาลงทุนภายในประเทศ (Multinational Enterprises [MNEs]) โดยใช้วิธีสัมภาษณ์เชิงลึก ผลการสัมภาษณ์สรุปว่า ปัจจัยผลักดันที่สำคัญของ SMEs กับ MNEs คือ การขาดแคลนแรงงาน ส่วนการลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงานและด้านการผลิตสำคัญมากสำหรับ MNEs แต่ไม่สำคัญกับ SMEs และแรงกดดันจากคู่แข่งเป็นปัจจัยสำคัญของ MNEs ส่วนด้านอุปสรรคพบว่า การขาดแคลนทรัพยากรบุคคลมีความสำคัญที่สุดสำหรับ SMEs และ MNEs การขาดแหล่งเงินทุนหรือทรัพยากรทางการเงินเป็นอุปสรรคต่อการลงทุนด้านเทคโนโลยีของ SMEs เป็นอย่างมาก ในขณะที่อุปสรรคด้านแรงกดดันจากคู่แข่งจะมีผลต่อ MNEs เป็นอย่างมาก

หลังจากนั้น Stentoft et al. [8] ได้ทำการตรวจสอบปัจจัยผลักดันและอุปสรรคว่ามีผลต่อความพร้อมในการนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

4.0 ไปใช้งานหรือไม่ โดยส่งแบบสอบถามไปยังบริษัทผู้ผลิตระดับ SMEs หลายแห่ง จากนั้นคัดเลือกตัวแทนจาก 4 บริษัทเพื่อเข้าร่วมการสัมภาษณ์ประกอบด้วย อุตสาหกรรมยาสูบ โลหะ เครื่องจักร และผู้ให้บริการเทคโนโลยีขั้นสูง จากการสัมภาษณ์สรุปได้ว่าปัจจัยผลักดันที่เหมือนกันคือ ด้านกฎหมาย และอุปสรรคที่สำคัญคือ ด้านการบริหารจัดการ และแรงงาน

Rezqianita and Ardi [9] ทำการศึกษาปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของการนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 มาใช้ในอุตสาหกรรมของประเทศอินโดนีเซีย โดยใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรมเพื่อรวบรวมปัจจัยดังกล่าว จากนั้นใช้วิธีสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานในอุตสาหกรรมต่างๆ ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญจากอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมบริการ ผลการศึกษาในภาพรวมได้สรุปปัจจัยผลักดันหลักไว้ 5 ด้าน คือ ด้านภาครัฐ ด้านเงื่อนไขทางการตลาด ด้านองค์กร ด้านประสิทธิภาพและการเพิ่มผลผลิต และด้านระบบนิเวศน์อุตสาหกรรม และสรุปปัจจัยอุปสรรคหลักไว้ 5 ด้าน คือ ด้านการเงิน ด้านองค์กร ด้านทรัพยากรมนุษย์ ด้านภาครัฐ และด้านเทคโนโลยี

Setyaningsih et al. [10] ได้ทำการรวบรวมปัจจัยผลักดันและอุปสรรคที่ส่งผลต่อการนำเทคโนโลยี 4.0 มาใช้ใน SMEs พบว่าปัจจัยผลักดันที่สำคัญคือ การลดต้นทุน ส่วนด้านอุปสรรคคือ พนักงานขาดความรู้ด้านเทคโนโลยี 4.0

ถัดมา Turkyilmaz et al. [11] ได้รวบรวมปัจจัยผลักดัน อุปสรรค และประเมินโอกาสที่อุตสาหกรรม SMEs ของประเทศคาซัคสถานจะก้าวเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 จากนั้นใช้วิธีสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรม SMEs เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของปัจจัยผลักดันและอุปสรรคดังกล่าว พบว่าปัจจัยผลักดันที่สำคัญ คือ ได้รับการสนับสนุนจากนโยบายของรัฐบาล ส่วนอุปสรรคที่สำคัญคือการขาดองค์ความรู้ ขาดทรัพยากรทางการเงิน และขาดบุคลากรในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรม 4.0

จากนั้น Majumdar et al. [12] ได้ทำการศึกษาอุปสรรคในการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมเสื้อผ้าและสิ่งทอ โดยงานวิจัยนี้ได้รวบรวมอุปสรรคจากการทบทวนวรรณกรรม จากนั้นได้ส่งแบบสอบถามไปยังผู้ผลิตจำนวนมาก ทำให้ได้อุปสรรคที่เป็นแรงขับเคลื่อนของอุปสรรคทั้งหมด คือ ขาดพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมด้านอุตสาหกรรม 4.0 ผู้บริหารขาดความมุ่งมั่นและความเข้าใจในอุตสาหกรรม 4.0 ขาดการสนับสนุนจากภาครัฐ และขาดการวิจัยและพัฒนาด้านอุตสาหกรรม 4.0

ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมทั้งหมดเกี่ยวกับปัจจัยผลักดันและอุปสรรคที่มีผลต่อความพร้อมสำหรับการนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 มาประยุกต์ใช้ในบริษัทผู้ผลิตนั้น ทำให้สามารถสรุปปัจจัยผลักดันได้ทั้งหมด 25 ข้อ และอุปสรรคที่น่าจะเป็นไปได้ 15 ข้อ

3. วิธีการดำเนินงาน

เมื่อรวบรวมปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0 จากการทบทวนวรรณกรรมเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นการทดสอบความถูกต้องของเนื้อหา เพื่อให้มั่นใจว่าปัจจัยที่รวบรวมมานั้นมีความเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมน้ำตาล โดยใช้วิธีการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง หรือวิธี Index of Item-Objective Congruence (IOC) โดยอาศัยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยี 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล จำนวน 9 คน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nantee and Sureeyatanapas [13] และ Zamanzadeh et al. [14] ที่แนะนำจำนวนผู้เชี่ยวชาญที่เหมาะสมที่สุด ในการเข้ามาช่วยตรวจสอบความสอดคล้องของเนื้อหากับวัตถุประสงค์ว่า ควรมีจำนวนผู้เชี่ยวชาญอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 คน ซึ่งเพียงพอที่จะยืนยันได้ว่าไม่ใช่เป็นความเห็นที่ตรงกันโดยบังเอิญ แต่เป็นความเห็นที่เกิดจากความถูกต้องของเนื้อหาอย่างแท้จริงของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญจากอุตสาหกรรมน้ำตาล 4 คน ผู้เชี่ยวชาญจากภาควิชาการ 3 คน และผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานภาครัฐ 2 คน

การเก็บข้อมูลดำเนินการโดยขอให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาข้อคำถามไปทีละข้อแล้วให้คะแนนของความสอดคล้องดังต่อไปนี้

+1 หมายถึง เนื้อหาของคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าเนื้อหาของคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือไม่

-1 หมายถึง เนื้อหาของคำถามไม่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์

เมื่อผู้เชี่ยวชาญทั้ง 9 คน ให้คะแนนในข้อคำถามครบถ้วนทุกปัจจัยแล้ว จะนำคะแนนของผู้เชี่ยวชาญทุกคนมาหาค่า IOC หรือค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย หากค่า IOC มีค่าอยู่ระหว่าง 0.50 - 1.00 หมายความว่าปัจจัยนั้นมีความสอดคล้อง สามารถนำไปใช้งานได้จริง แต่หากมีค่าต่ำกว่า 0.50 หมายความว่า ปัจจัยนั้นไม่มีความสอดคล้องกับบริบทของอุตสาหกรรมน้ำตาล จะไม่นำไปใช้งาน [21 22]

4. ผลงานวิจัย

จากผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ ทำให้ได้ปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0 ที่มีความเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทย (มีค่า IOC เท่ากับหรือมากกว่า 0.5) โดยแบ่งเป็นปัจจัยผลักดัน 22 ข้อ และอุปสรรค 7 ข้อ ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งเรียงลำดับตามค่า IOC จากสูงไปต่ำ โดยปัจจัยผลักดันที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 จะถูกตัดทิ้งไป เนื่องจากไม่สอดคล้องกับบริบทของอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งมีจำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ 1.ทำให้มีโอกาสใหม่ทางธุรกิจ 2.เพื่อลดเวลานำ และ 3.เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนอุปสรรคที่ถูกตัดทิ้งไป มีจำนวน 8 ข้อ ได้แก่ 1.ขาดกฎหมายสนับสนุน/ขาดมาตรฐานการดำเนินงาน 2.ขาดการคุ้มครองทางกฎหมายเกี่ยวกับความปลอดภัยของข้อมูล 3.ขาดการสนับสนุนทางการเงินจากรัฐบาล 4.ข้อกำจัดด้านพื้นที่ของโรงงาน 5.ขาดระบบโครงสร้างพื้นฐานที่เพียงพอ 6.ความยากในการผสานรวมเทคโนโลยีและความเข้ากันได้ของระบบ 7.ไม่มีเวลา

มากพอในการอบรมหรือให้การศึกษาพนักงานด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่ และ 8.แรงต่อต้านในการเปลี่ยนแปลงของพนักงาน

ตารางที่ 1 ปัจจัยผลักดันของอุตสาหกรรม 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทย

ลำดับ	ปัจจัยผลักดัน	IOC
1	(1) รัฐบาลสนับสนุนด้านการเงิน [11]	1.00
	(2) เพื่อลดหย่อนภาษี [8-9]	1.00
	(3) เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ [6-7, 10]	1.00
	(4) เพื่อลดต้นทุนการผลิต [7, 10]	1.00
	(5) ตอบสนองความต้องการของลูกค้า [7, 9-10]	1.00
	(6) แก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน [7, 9-10]	1.00
	(7) เพื่อลดอุบัติเหตุและการเจ็บป่วยจากการทำงาน [2]	1.00
	(8) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของกระบวนการ [6]	1.00
	(9) เพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ [6]	1.00
	(10) เพื่อลดอัตราการทำงานที่ผิดพลาดและยกระดับความถูกต้องของการทำงาน [7, 9]	1.00
	(11) เพื่อลดเวลาการผลิต/เพิ่มกำลังการผลิต [9]	1.00
	(12) เพื่อลดเวลาหยุดการทำงาน [9]	1.00
	(13) เพื่อพัฒนาความสามารถในการติดตามข้อมูล [10]	1.00
	(14) เพื่อติดตามและปรับปรุงสมรรถนะการดำเนินงานของบริษัทอย่างต่อเนื่อง [7, 9-10]	1.00
	(15) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ขององค์กร [2]	1.00
	(16) เพื่อเพิ่มความโปร่งใสของการบริหารจัดการโซ่อุปทาน [9]	1.00
2	(17) ตอบสนองต่อข้อกำหนด/การเปลี่ยนแปลงทางกฎหมาย [1 8, 11]	0.78
	(18) เพื่อเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มการเติบโตทางเทคโนโลยี [7, 9]	0.78
3	(19) แรงกดดันจากคู่แข่งขัน [7, 9-10, 20]	0.67
	(20) เพื่อพัฒนาความรู้และทักษะของพนักงาน [2]	0.67
	(21) เพื่อการทำงานที่ง่ายขึ้น [6]	0.67
4	(22) ตอบสนองนโยบายของรัฐบาลในการส่งเสริม/พัฒนาศูนย์รวมนวัตกรรมและเทคโนโลยีสมัยใหม่ [9]	0.56

ตารางที่ 2 อุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทย

ลำดับ	อุปสรรค	IOC
1	(1) ขาดผู้ให้บริการทางเทคโนโลยีที่ไว้วางใจได้หรือเชื่อถือได้ [5]	1.00
2	(2) ใช้เงินลงทุนสูง [4 6-7, 9-10, 12]	0.89
	(3) ขาดการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง [5 7, 9-12 15]	0.89
	(4) ขาดการวางแผนยุทธศาสตร์องค์กรระยะยาว [7, 11 15]	0.89
3	(5) ขาดความรู้ และบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านอุตสาหกรรม 4.0 [5 8-10, 20]	0.78
4	(6) ไม่แน่ใจกับการเปลี่ยนแปลง [9]	0.67
5	(7) ผลตอบแทนที่ยังไม่แน่นอน [5 7, 11 15]	0.56

5. การอภิปรายผล

5.1 การอภิปรายผลสำหรับปัจจัยผลักดันของอุตสาหกรรม 4.0

จากตารางที่ 1 ปัจจัยในลำดับที่ 1 (IOC = 1.00) มีทั้งหมด 16 ข้อ ซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลที่ผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดเห็นพ้องต้องกันว่าส่งเสริมให้เกิดการลงทุนเพื่อนำอุตสาหกรรม 4.0 เข้ามาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทย ส่วนปัจจัยลำดับที่ 2 (IOC = 0.78) เริ่มจากการตอบสนองต่อข้อกำหนด/การเปลี่ยนแปลงทางกฎหมายนั้น ผู้เชี่ยวชาญจากภาควิชาการและภาครัฐมีมุมมองที่ตรงกันว่าข้อกำหนดหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้อง (อาทิ กฎหมายด้านความปลอดภัย และด้านสิ่งแวดล้อม) มีแนวโน้มจะเข้มงวดขึ้นในอนาคต ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมน้ำตาลจะหาอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่ทันสมัย หรือนวัตกรรมสมัยใหม่ เข้ามาช่วยในการควบคุมสิ่งต่างๆ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายที่กำลังจะเปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่ผู้เชี่ยวชาญจากอุตสาหกรรมน้ำตาลบางคน มีความเห็นที่แตกต่างออกไปว่าข้อกำหนดของกฎหมายอาจจะยังมีแรงผลักดันยังไม่เพียงพอที่จะส่งเสริมให้เกิดการลงทุนเพื่อนำอุตสาหกรรม 4.0 มาประยุกต์ใช้ภายในองค์กร ส่วนปัจจัยเพื่อเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มการเติบโตทางเทคโนโลยี ผู้เชี่ยวชาญจากภาควิชาการทั้งหมดเห็นตรงกันว่าการเติบโตของนวัตกรรมสมัยใหม่ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมน้ำตาลนั้น จะเป็นปัจจัยผลักดันให้เกิดการลงทุนในอุตสาหกรรม 4.0 เพื่อให้เกิดประโยชน์กับองค์กร อาทิ ลดต้นทุนการผลิต ช่วยให้ทำงานได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ช่วยลดของเสีย เป็นต้น ในขณะที่ผู้เชี่ยวชาญจากภาครัฐบางคน ให้ความเห็นว่า หากพิจารณามุมมองของอุตสาหกรรมน้ำตาลแล้ว บางองค์กรอาจจะไม่ได้ให้ความสนใจมากนัก เนื่องจากยังมั่นใจในเทคโนโลยีเดิมที่มีอยู่ ซึ่งยังสามารถให้ผลผลิตเป็นไปตามเป้าหมายได้

ปัจจัยผลักดันในลำดับที่ 3 (IOC = 0.67) มี 3 ข้อ เริ่มจากปัจจัยด้านแรงกดดันจากคู่แข่งขันนั้น ผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่มองว่า สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลนั้น ถ้าคู่แข่งเริ่มก้าวเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 โดยการ

นำเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติต่างๆ เข้ามาช่วยในการผลิตหรือช่วยงานในส่วนอื่นๆ ขององค์กรแล้ว จะทำให้องค์กรนั้นได้รับประโยชน์ในทางใดทางหนึ่ง อาทิ ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ต้นทุนต่ำลง รวมถึงประสิทธิทางด้านการบันทึก วิเคราะห์ และใช้งานข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจะถือเป็นการกดดันให้ผู้ผลิตรายอื่นๆ ต้องปรับตัวตามๆ กันไป นอกจากนี้ยังมีปัจจัยผลักดันจากความต้องการในการพัฒนาความรู้และทักษะของพนักงานและเพื่อให้เกิดการทำงานที่ง่ายขึ้น ส่วนปัจจัยในลำดับที่ 4 (IOC = 0.56) ได้แก่ การตอบสนองนโยบายของรัฐบาลในการส่งเสริม/พัฒนาศูนย์รวมนวัตกรรมและเทคโนโลยีสมัยใหม่ ผู้เชี่ยวชาญจากภาควิชาการและภาครัฐส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่า หากภาครัฐมีการกำหนดนโยบายที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการก้าวเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 เช่น สนับสนุนให้มีศูนย์รวมเทคโนโลยีสมัยใหม่สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล หรือสนับสนุนให้เกิดโรงงานต้นแบบในการนำนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีสมัยใหม่มาประยุกต์ในอุตสาหกรรมน้ำตาลจะเป็นประโยชน์กับทางองค์กรที่ยังขาดองค์ความรู้เกี่ยวกับอุตสาหกรรม 4.0 เป็นอย่างมาก ซึ่งหมายความว่าองค์กรจะมีต้นแบบในการศึกษานวัตกรรมสมัยใหม่ก่อนการลงทุน ในขณะเดียวกันผู้เชี่ยวชาญจากอุตสาหกรรมน้ำตาลบางคน แสดงความไม่มั่นใจว่าปัจจัยนี้จะเป็นปัจจัยผลักดันอย่างแท้จริงหรือไม่ ด้วยเหตุผลที่ว่าในความเป็นจริงแล้วยังไม่เคยรับทราบมาก่อนว่ามีนโยบายของภาครัฐที่จะสนับสนุนให้มีศูนย์รวมเทคโนโลยีสมัยใหม่สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล นอกจากนี้ ผู้เชี่ยวชาญจากภาควิชาการบางคนแสดงความไม่เห็นด้วยเช่นกัน เนื่องจากคิดว่าปัจจัยนี้ยังไม่มีน้ำหนักเพียงพอที่จะผลักดันให้ผู้ประกอบการลงทุนในอุตสาหกรรม 4.0 แต่ถ้าเป็นโยบายของภาครัฐที่สนับสนุนด้านการเงิน เช่น ลดหย่อนภาษี หรือให้สิทธิประโยชน์อื่นๆ จะทำให้มีน้ำหนักมากกว่าที่จะทำให้ผู้ประกอบการตอบสนองนโยบายโดยการลงทุนในอุตสาหกรรม 4.0

5.2 การอภิปรายผลสำหรับอุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0

จากตารางที่ 2 อุปสรรคหลักของอุตสาหกรรมน้ำตาล ในลำดับที่ 1 (IOC = 1.00) ได้แก่ ขาดผู้ให้บริการทางเทคโนโลยีที่ไว้วางใจได้หรือเชื่อถือได้ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดเห็นตรงกันว่าผู้ให้บริการด้านเทคโนโลยีที่เชื่อถือได้ เป็นการสร้างความมั่นใจว่าถ้ามีการนำเทคโนโลยี 4.0 เข้ามาประยุกต์ใช้งานแล้ว เมื่อเกิดปัญหาจะมีแนวทางการแก้ไขได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำให้ประสิทธิภาพลดลง อุปสรรคลำดับที่ 2 มี 3 ข้อ (IOC = 0.89) ซึ่งผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่ เห็นตรงกันว่าอุตสาหกรรม 4.0 นั้น ต้องใช้เงินลงทุนสูง ซึ่งถ้าบางองค์กรยังไม่มีความพร้อมด้านทรัพยากรทางการเงินจะไม่เกิดการลงทุนอย่างแน่นอน นอกจากนี้ยังมีอุปสรรคด้านการขาดความมุ่งมั่นจากผู้บริหารระดับสูง และขาดการวางแผนยุทธศาสตร์องค์กรระยะยาว ซึ่งจะทำให้งานที่วางแผนและเสนอการลงทุนนั้นเป็นไปได้ยากหรือเป็นไปไม่ได้เลย ปัจจัยอุปสรรคลำดับที่ 3 (IOC = 0.78) ได้แก่ การขาดความรู้และบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านอุตสาหกรรม 4.0 ปัจจัยในลำดับที่ 4 (IOC = 0.67) ได้แก่ การไม่แน่ใจกับการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับปัจจัยในลำดับที่ 5 ได้แก่ การมีผลตอบแทนที่ยังไม่แน่นอน ผู้เชี่ยวชาญจำนวนหนึ่งมองว่าบริษัทส่วนใหญ่ยังมีความลังเลต่อการลงทุนเพิ่มเติม ขณะที่ผู้เชี่ยวชาญบางคนไม่แน่ใจว่าเป็นอุปสรรคหรือไม่ เนื่องจากมองว่าเป็นเรื่องที่ขึ้นอยู่กับวิสัยทัศน์และมุมมองของผู้บริหารแต่ละคน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญบางคน กล่าวว่า จากการที่บริษัทผู้ผลิตในอุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทยยังก้าวไปสู่อุตสาหกรรม 4.0 ไม่มากนัก และผลของการลงทุนยังไม่ปรากฏชัดเจน จึงทำให้บริษัทส่วนใหญ่ไม่แน่ใจในผลตอบแทนที่จะได้รับจากการลงทุนนั้น อาจจะทำให้เกิดความลังเลและส่งผลให้ไม่เกิดการลงทุนหรือลงทุนได้ช้าลง ทั้งนี้องค์กรควรมีการศึกษาความเป็นไปได้(Feasibility) และต้องรับทราบผลตอบแทนของการลงทุนก่อนที่จะลงทุนเสมอ นอกจากนี้ ผู้เชี่ยวชาญยังให้ความเห็นเพิ่มเติมว่า ข้อควรระวังในการศึกษาความเป็นไปได้นั้น ข้อมูลบางส่วนที่ใช้ในการคำนวณมาจากข้อมูลการคาดการณ์ในอนาคต ซึ่งไม่ใช่ข้อมูลที่มีความแม่นยำมากนัก อาจจะนำไปสู่การลงทุนที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นควรใช้ข้อมูลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด อาทิ ข้อมูลขององค์กรที่เคยเกิดขึ้นในอดีตมาที่ผ่านมา ซึ่งในปัจจุบันบริษัทในอุตสาหกรรมน้ำตาลยังมีกรณีศึกษาที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัตโนมัติหรือระบบอัจฉริยะไม่มากนัก

6. สรุปผล

จากการศึกษาปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของอุตสาหกรรม 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทยในครั้งนี้ สามารถสรุปปัจจัยผลักดันหลักที่มีความสำคัญและส่งเสริมให้เกิดการลงทุนในอุตสาหกรรม 4.0 ซึ่งแบ่งปัจจัยผลักดันหลักออกได้เป็น 4 ลำดับ คือ ปัจจัยผลักดันหลักลำดับที่ 1 มีจำนวน 16 ข้อ ปัจจัยผลักดันลำดับที่ 2 มีจำนวน 2 ข้อ ส่วนปัจจัยผลักดันรองในลำดับที่ 3 และ 4 มีจำนวน 3 และ 1 ข้อ ตามลำดับ รวมปัจจัยผลักดันในการส่งเสริมการลงทุนในอุตสาหกรรม 4.0 มีทั้งหมด 22 ข้อ

นอกจากนี้ สามารถสรุปอุปสรรคที่มีผลกระทบต่อการลงทุนในอุตสาหกรรม 4.0 สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทยที่สำคัญที่สุดคือ ขาดผู้ให้บริการทางเทคโนโลยีที่ไว้วางใจได้หรือเชื่อถือได้ อุปสรรคหลักลำดับที่ 2 ได้แก่ ใช้เงินลงทุนสูง ขาดการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง และขาดการวางแผนยุทธศาสตร์องค์กรระยะยาว อุปสรรคลำดับที่ 3 คือขาดความรู้ และบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านอุตสาหกรรม 4.0 อุปสรรครองลำดับที่ 4 และ 5 คือไม่แน่ใจกับการเปลี่ยนแปลงและผลตอบแทนที่ยังไม่แน่นอนตามลำดับ ซึ่งปัจจัยผลักดันและอุปสรรคที่ระบุได้นี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำตาลให้สามารถก้าวเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งบริษัทที่ให้บริการด้านเทคโนโลยี 4.0 ยังสามารถนำปัจจัยผลักดันและอุปสรรคเหล่านี้ไปเป็นแนวทางการพัฒนาปรับปรุงหรือออกแบบเทคโนโลยี 4.0 ให้สอดคล้องกับปัจจัยผลักดันและอุปสรรคของอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทยได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญจากอุตสาหกรรมน้ำตาล และผู้เชี่ยวชาญจากภาควิชาการ และผู้เชี่ยวชาญจากภาครัฐที่ให้ข้อมูลประกอบการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Türkes, M. C., et al. (2019). Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania. Processes, 7, 153.

[2] Chonsawat, N., & Sopadang, A. (2020). Defining SMEs' 4.0 Readiness Indicators. Applied Sciences, 10, 8998.

[3] Nosalska, K., Piatek, Z. M., Mazurek, G., & Rzadca, M., (2020). Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies. Journal of Manufacturing Technology Management, 31(5), 837–862.

[4] Stornelli, A., Ozcan, S., & Simms, C. (2021). Advanced manufacturing technology adoption and innovation: A systematic literature review on barriers, enablers, innovation types. Research Policy, 50, 104229.

[5] Orzes, G., Rauch, E., Bednar, S., & Poklemba, R. (2018). Proceedings of the industry 4.0 Implementation Barriers in Small Medium Sized Enterprises: A Focus Group Study. 2018 IEEE International conference on industrial engineering and engineering management. Thailand: Bangkok.

[6] Müller, J. M., Kiel, D., & Voigt, K. I. (2018). What drives the implementation of industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. Sustainability, 10, 247.

[7] Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?. Technological Forecasting & Social Change, 146 119-132.

[8] Stentoft, J., Wickstrøm, K. A., Philipsen, K., & Haug, A. (2020). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium- sized manufacturers. Production Planning & Control, 8, 1-18.

[9] Rezqianita, B. L., & Ardi, R. (2020). Proceedings of drivers and Barriers of Industry 4.0 Adoption in Indonesian Manufacturing Industry. The 3rd Asia pacific conference on research in industrial and system engineering 2020. Indonesia: Association for Computing Machinery.

[10] Setyaningsih, S., Kelle, P., & Maretan, A. S. (2020). Proceedings of driver and barrier factors of industry 4.0 implementation for small and medium- sized enterprises: An overview. 63rd International scientific conference on economic and social development –"Building resilient society" – zagreb. Varazdin. Croatia: Varazdin Development and Entrepreneurship Agency.

[11] Turkyilmaz, A., Dikhanbayeva, D., Suleiman, Z., Shaikholla, S., & Shehab. E. (2021). Industry 4.0: Challenges and opp ortunities for Kazakhstan SMEs. Procedia CIRP, 96 231-218.

[12] Majumdar, A., Garg, H., & Jain R. (2021). Managing the barriers of Industry 4.0 adoption and implementation in textile and clothing industry: Interpretive structural model and triple helix framework. Computers in Industry, 125 103372.

[13] Nantee, N., & Sureeyatanapas, P. (2021). The impact of Logistics 4.0 on corporate sustainability: a performance assessment of automated warehouse operations. Benchmarking: An In ternational Journal. [n.p.]

[14] Zamanzadeh, V., Ghahramanian, A., Rassouli, M., Abbaszadeh, A., Alavi-Majd, H. and Nikanfar, A.-R. (2015), "Design and implementation content validity study: development of an instrument for measuring patient- centered communication", Journal of Caring Sciences, Vol. 4 No. 2 pp. 165-178.

[15] Bakhtari, A. R., Kumar, V., Waris, M. M., Sanin, C., & Szczerbicki, E. (2020). Industry 4.0 Implementation Challenges in Manufacturing Industries: an Interpretive Structural Modelling Approach. Procedia Computer Science, 176 2384-2393.

[16] Chonsawat, N., & Sopadang, A. (2021). Smart SMEs 4.0 Maturity Model to Evaluate the Readiness of SMEs Implementing Industry 4.0. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences, 20(2), 1-13.

[17] Kohpaiboon, A. (2020). Industry H.0 Policies in Thailand. Economics Working Papers, 2 1-17.

[18] Langhans, B. (2019). Digitalization in sugar production – mind the foundation!. International Sugar Journal, 121(1446), 434-438.

[19] Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinovic, P., (2015). Proceedings of Industry 4.0-Potentials for creating smart products: empirical research results. International Conference on Business Information Systems. Springer: Cham.

[20] Yu, F., & Schweisfurth, T. (2020). Industry 4.0 technology implementation in SMEs - A survey in the Danish-German border region. International Journal of Innovation Studies, 4 76-84.

[21] อารยา องค์เอี่ยม, & พงศ์ธารา วิจิตเวชไพศาล. (2561). การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย.[ฉบับอิเล็กทรอนิกส์]. Thai Journal of Anesthesiology, 44(1), 36-42.

[22] สุรพงษ์ คงสัตย์ และธีรชาติ ธรรมวงค์. (2551). การหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม(IOC).เข้าถึงได้จากhttp://mcu.ac.th/site/articlecontent_desc.php?article_id=656&articlegroup_id=146.2551 [22] สุรพงษ์ คงสัตย์ และธีรชาติ ธรรมวงค์. (2551). การ

หาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม(IOC).เข้าถึงได้จาก http://mcu.ac.th/site/articlecontent_desc.php?article_id=656&articlegroup_id=146.2551

การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเพื่อหาปัจจัยทีเหมาะสมต่อค่าความหนืดในกระบวนการกวนผสม กรณีศึกษาบริษัทผลิตน้ำมันหล่อลื่น

Experimental Design and Analysis to Determine the Appropriate Factors Affecting Viscosity in Lubricants Production

พีรชัย เรืองวิไลรัตน์[1*] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: peerachai.r@ku.th*

Peerachai Ruangwilairat[1*] Prapaisri Sudasna-Na-Ayudthya[2]
[1]Major in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: peerachai.r@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยและระดับที่เหมาะสมต่อค่าความหนืด (Viscosity) ของขั้นตอนการกวนผสมในกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นของบริษัทกรณีศึกษา โดยการทดลองเป็นการเก็บตัวอย่างน้ำมันระหว่างการผลิตที่ระดับของปัจจัยต่าง ๆ กันแล้วหาค่าความหนืด การทดลองใช้แฟกทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิค 46 โดยปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษามีดังนี้ 1. เวลาที่ใช้การกวนผสม (Circulation Time) มีระดับของปัจจัยที่ 4 ระดับคือ 15 30, 60 และ 180 นาที 2. ความเร็วรอบของใบพัดกวน (Agitation Speed) มีระดับของปัจจัยที่ 2 ระดับคือ 84 และ 120 รอบต่อนาที และ 3. ขนาดของรอบการผลิต (Volume Size) มีระดับของปัจจัยที่ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง จากการทดลองพบว่าอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการกวนผสมและความเร็วรอบของใบพัดกวน และอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการกวนผสมและขนาดของรอบการผลิตต่อค่าความหนืดมีผลต่อค่าความหนืด ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าความหนืดสำหรับน้ำมันเกียร์ 85W140 น้ำมันไฮดรอลิค 68 และ น้ำมันเทอร์ไบน์ 68 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถลดเวลาการผลิตสำหรับน้ำมันเกียร์ 85W140 น้ำมันไฮดรอลิค 68 และ น้ำมันเทอร์ไบน์ 68 จากเดิมลงได้ 46 45 และ 50 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง, ความหนืด, น้ำมันหล่อลื่น

Abstract

This research proposes to determine factors and appropriate factor levels that affects to viscosity in stirring step in lubricant manufacturing process for case study company. The experiment is to collect oil samples during production at various levels of factors then find the viscosity. The full factorial experiment is conducted to study the factors affecting the viscosity of hydraulic oil 46. The studied factors and their levels are as follows: 1. Time of stirring (Circulation Time) at 4 levels: 15 30, 60 and 180 minutes 2. The rotation speed of the stirring impeller (Agitation Speed) at 2 levels: 84 and 120 rpm and 3. Production batch size (Volume Size) at 2 levels: low level and high level. From the experiment, it is found that there are interaction between the circulation time and agitation speed and interaction between the circulation time and production batch size to the viscosity value that affected viscosity. The researcher then determines the appropriate settings for all factors affecting viscosity for gear oil 85W140, hydraulic oil 68 and turbine oil 68. These settings result in the reduction of production time for gear oil 85W140, hydraulic oil 68 and turbine oil 68 by 46 %, 45 % and 50 % respectively.

Keywords: Design of Experiment, Viscosity, Lubricant

1. บทนำ

น้ำมันหล่อลื่น ทำหน้าที่หล่อลื่นชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เคลื่อนไหวภายในเครื่องยนต์ [1] ผลิตจากการผสมน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oil) กับสารเพิ่มคุณภาพ (Additives) ในสัดส่วนต่างๆ กัน ภายในถังกวนผสมโดยถังกวนผสมมีวัตถุประสงค์ในการทำให้ของผสมกลายเป็นเนื้อเดียวกัน [2] ภายในถังกวนผสมมีใบพัดกวนทำหน้าที่ผสมของเหลวทั้งสองชนิดให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยรูปแบบการไหลของของเหลวที่เกิดขึ้นในถังกวนผสมขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบของใบพัด ขนาดและรูปทรงของถังกวนผสม รวมถึงคุณสมบัติของของเหลว [3] การเพิ่มความเร็วในการหมุนของใบพัดทำให้ความเร็วและความดันภายในถังกวนผสมเพิ่มมากขึ้น การไหลแบบปั่นป่วนเพิ่มขึ้น ทำให้ของผสมกลายเป็นเนื้อเดียวกันเร็วขึ้นในขณะที่ใช้เวลาและต้นทุนที่ลดลง [4] ลักษณะความลึกของก้นถังที่แตกต่างกันส่งผลต่อรูปแบบการไหลของของเหลวภายในถังกวนผสม โดยพบว่าโคนด้านล่างตรงกลางของถังกวนผสม ช่วยทำให้การไหลของของเหลวที่ไหลออกจากใบพัดเข้าสู่ผนังของถังกวนผสมรุนแรงมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดบริเวณจุดอับบริเวณด้านล่างของถัง ส่งผลให้การกวนผสมมีประสิทธิภาพมากขึ้น [5] การติดตั้งแผ่นกั้น (Baffle) ภายในถังกวนผสมช่วยเพิ่มการหมุนวน และเพิ่มประสิทธิภาพของการกวนผสม [6] การใช้ใบพัดกวนชนิดต่าง ๆ กันมีผลต่อประสิทธิภพการกวนผสม พบว่าการใช้ใบพัดกวนต่างชนิดกันส่งผลต่อรูปแบบการไหลของของเหลวในถังกวนผสม ทำให้ประสิทธิภาพในการกวนผสมแตกต่างกัน [7, 8] น้ำมันที่ผ่านกระบวนการผลิตจะสามารถเริ่มทำการบรรจุลงภาชนะ เพื่อทำการจำหน่ายไปยังลูกค้าได้ ต้องผ่านการทดสอบโดยห้องปฏิบัติการ ค่าความหนืดเป็นปัจจัยหลักของผลิตภัณฑ์น้ำมันหล่อลื่นทุกชนิด โดยค่าความหนืดสามารถใช้อธิบายถึงความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวเนื้อน้ำมัน โดยเมื่อผลิตภัณฑ์ถึงจุดที่เป็นเนื้อเดียวกัน ค่าความหนืดจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป การผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำหรับโรงงานกรณีศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้ ใช้เวลาในขั้นตอนการกวนผสมที่ 180 นาที เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดในกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น และระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการกวนผสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาขั้นตอนการกวนผสม และทำให้ระยะเวลาการผลิตน้ำมันหล่อลื่นลดลงได้

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทดลองโดยใช้การทดลองแฟคทอเรียลและเลือกน้ำมันไฮดรอลิค 46 มาใช้ในการหาปัจจัยที่มีต่อค่าความหนืด โดยแสดงลำดับการเก็บตัวอย่างน้ำมันไฮดรอลิคในถังกวนผสมดังตารางที่ 1 ลำดับที่ 1 ถึง 4 มีการผลิตที่ขนาดรอบการผลิตที่ระดับต่ำ (Low) มีการใช้ความเร็วของใบพัดกวนที่ 84 รอบต่อนาที และมีการเก็บตัวอย่างที่เวลา 15 30, 60 และ 180 นาที จากนั้นทำการทำการจ่ายผลิตภัณฑ์ออกจากถังกวนผสมทั้งหมด และทำการผลิตผลิตภัณฑ์ในถังกวนผสมเดิม โดยใช้ความเร็วของใบพัดกวนผสมที่ 84 รอบต่อนาที แต่ใช้รอบการผลิตที่ระดับสูง (High) และทำการเก็บตัวอย่างที่ 5 ถึง 8 ที่ระยะเวลาการกวนผสมที่ 15 30, 60 และ 180 นาที ตามลำดับ โดยตัวอย่างที่ 9 ถึง 12 และ 13 ถึง 16 ทำในลักษณะเดียวกันตามรายละเอียดที่ระบุไว้ในตารางที่ 1 การทดลองจะใช้วัตถุดิบชุดเดียวกัน จากนั้นมีการทำซ้ำ (Replication) หนึ่งรอบ โดยตัวอย่างที่เก็บทั้งหมด 32 ตัวอย่างจะถูกส่งไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความหนืด จากนั้นใช้โปรแกรม Minitab เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืด ในส่วนการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อค่าความหนืดสำหรับน้ำมันเกียร์ 85W140 น้ำมันไฮดรอลิค 68 และ น้ำมันเทอร์ไบน์ 68 ทำในลักษณะเดียวกันกับน้ำมันน้ำมันไฮดรอลิค 46 แต่ใช้ขนาดรอบการผลิตระดับสูงที่ระดับเดียว และระดับของปัจจัยเวลาในการกวนผสม ที่ 5 ระดับ ได้แก่ 15 30, 45 60 และ180 นาที ในส่วนของปัจจัยความเร็วของใบพัดกวนที่ 2 ระดับ ได้แก่ 84 และ 120 รอบต่อนาที ดังนั้นจะมีตัวอย่างที่รวมถึงการทำซ้ำหนึ่งรอบทั้งหมด 20 ตัวอย่าง (5 x 2 x 2) ต่อผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 1 ลำดับการเก็บตัวอย่างน้ำมันและระดับของปัจจัยเพื่อหาค่าความหนืดสำหรับน้ำมันไฮดรอลิค 46

ลำดับตัวอย่าง	ความเร็วของใบพัดกวน (รอบต่อนาที)	ขนาดของรอบการผลิต (ลิตร)	เวลาในการกวนผสม (นาที)
1	84	Low	15
2	84	Low	30
3	84	Low	60
4	84	Low	180
5	84	High	15
6	84	High	30
7	84	High	60
8	84	High	180
9	120	Low	15
10	120	Low	30
11	120	Low	60
12	120	Low	180
13	120	High	15
14	120	High	30
15	120	High	60
16	120	High	180

3. ผลและวิจารณ์

3.1 การวิเคราะห์การหาค่าปัจจัยทีมีผลต่อค่าความหนืด

น้ำมันไฮดรอลิค 46 ถูกนำมาใช้เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดเบื้องต้นเนื่องจากมีการผลิตเป็นจำนวนมากในบริษัทผลิตน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการศึกษา โดยปริมาณการผลิตในปี พ.ศ. 2564 มีจำนวน 560,784 ลิตร ผลิตภัณฑ์นี้มีข้อกำหนดช่วงความหนืดของผลิตภัณฑ์ระหว่าง 42.0 ถึง 46.0 mm^2/s ณ อุณหภูมิการทดสอบที่ 40

องศาเซลเซียส กำหนดเป้าหมายของค่าความหนืดไว้ที่ 43.85 mm^2/s ทำการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง มีการกำหนดระดับของปัจจัยสำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการกวนผสมและความเร็วของใบพัดกวนดังตารางที่ 1 และขนาดของรอบการผลิต มีการกำหนดระดับของปัจจัยที่ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (Low) หมายถึงรอบการผลิตที่น้อยกว่า 10,000 ลิตร และระดับสูง (High) หมายถึงรอบการผลิตที่มากกว่า 10,000 ลิตร ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 20,000 ลิตร ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab แสดงดังรูปที่ 1 พบว่าอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการกวนผสมและความเร็วรอบของใบพัดกวน และอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการกวนผสมและขนาดของรอบการผลิตต่อค่าความหนืดมีผลต่อค่าความหนืดเนื่องจากค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และเนื่องจากมีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยจึงไม่ทำการพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก จาก Normal Probability Plot พบว่าลักษณะกราฟมีการกระจายตัวแบบเส้นตรง ดังรูปที่ 2 สามารถสรุปได้ว่า ค่าความหนืดมีการแจกแจงปกติ (P-Value = 0.059)

Factor Information

Factor	Levels	Values
Circulation Time	4	15, 30, 60, 180
Agitation Speed	2	84, 120
Volume Size	2	Low, High

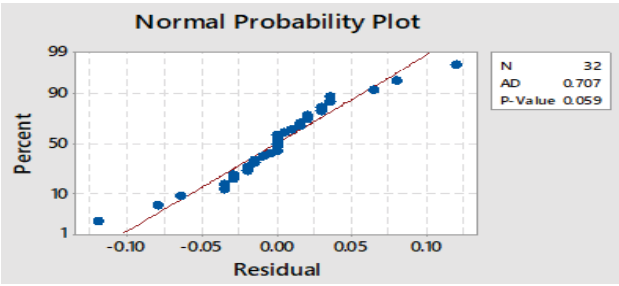
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	15	17.6439	1.17626	307.02	0.000
Linear	5	15.7713	3.15427	823.30	0.000
Circulation Time	3	15.1228	5.04095	1315.74	0.000
Agitation Speed	1	0.5725	0.57245	149.42	0.000
Volume Size	1	0.0761	0.07605	19.85	0.000
2-Way Interactions	7	1.8583	0.26547	69.29	0.000
Circulation Time*Agitation Speed	3	1.6715	0.55717	145.43	0.000
Circulation Time*Volume Size	3	0.1847	0.06157	16.07	0.000
Agitation Speed*Volume Size	1	0.0021	0.00211	0.55	0.469
3-Way Interactions	3	0.0142	0.00475	1.24	0.328
Circulation Time*Agitation Speed*Volume Size	3	0.0142	0.00475	1.24	0.328
Error	16	0.0613	0.00383		
Total	31	17.7052			

Model Summary

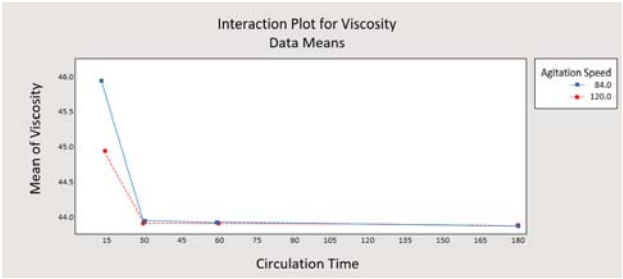
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0618971	99.65%	99.33%	98.62%

รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสม ความเร็วของใบพัดกวน และขนาดของรอบการผลิต

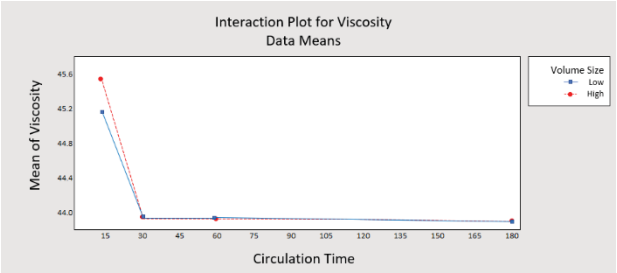


รูปที่ 2 Normal Probability Plot ค่าความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิค 46

กราฟอันตรกิริยา (Interaction Plot) ระหว่างค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสมและความเร็วของใบพัดกวน (รูปที่ 3) สามารถกำหนดค่าเวลาการกวนผสมที่ 30 นาที และความเร็วของใบพัดกวนที่ 120 รอบต่อนาที ทำให้ค่าความหนืดเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากขึ้น และกราฟอันตรกิริยาระหว่างค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสมและขนาดของรอบการผลิต (รูปที่ 4) พบว่าขนาดของรอบการผลิตที่น้อยกว่าทำให้ค่าความหนืดมีค่าเข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้น



รูปที่ 3 กราฟอันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาการกวนผสมและความเร็วของใบพัดกวน



รูปที่ 4 กราฟอันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาการกวนผสมและขนาดของรอบการผลิต

3.2 การวิเคราะห์หาค่าปัจจัยที่เหมาะสมของน้ำมันเกียร์ 85W140

น้ำมันเกียร์ 85W140 มีข้อกำหนดค่าช่วงความหนืดของผลิตภัณฑ์ระหว่าง 24.5 ถึง 29.0 mm^2/s ณ อุณหภูมิการทดสอบที่ 100 องศาเซลเซียส กำหนดเป้าหมายของค่าความหนืดไว้ที่ 27.67 mm^2/s ทำการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง ศึกษาปัจจัยควบคุม 2 ปัจจัย คือ ระยะเวลาการกวนผสมที่ 15 30, 45 60 และ 180 นาที และความเร็วของใบพัดกวนที่ 84 และ 120 รอบต่อนาที ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม Minitab แสดงดังรูปที่ 5 โดยพบว่ามีอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการกวนผสมและความเร็วรอบของใบพัดกวนต่อค่าความหนืดของน้ำมันชนิดนี้เนื่องจากค่า P-Value เท่ากับ 0.008 มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จาก Normal Probability Plot ของค่าความหนืด (รูปที่ 6) พบว่าลักษณะกราฟมีการกระจายตัวแบบเส้นตรง (P-Value = 0.379) ค่าความหนืดมีการแจกแจงปกติ

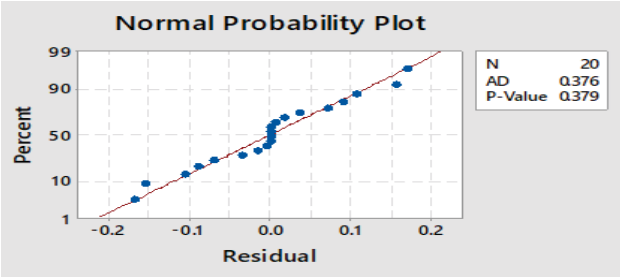
Factor Information

Factor	Levels	Values
Circulation Time	5	15, 30, 45, 60, 180
Agitation Speed	2	84, 120

Analysis of Variance

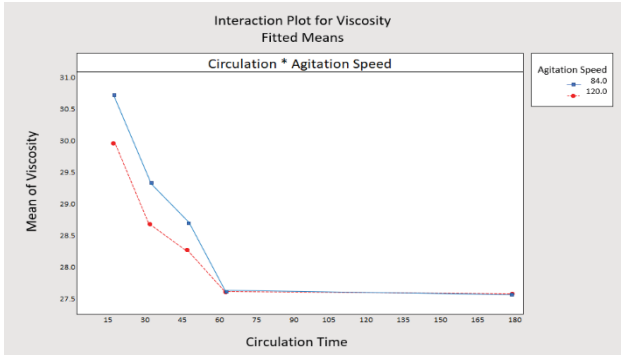
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	20.6656	2.29618	146.39	0.000
Linear	5	20.2597	4.05193	258.33	0.000
Circulation Time	4	19.7052	4.92630	314.08	0.000
Agitation Speed	1	0.5544	0.55445	35.35	0.000
2-Way Interactions	4	0.4060	0.10149	6.47	0.008
Circulation Time*Agitation Speed	4	0.4060	0.10149	6.47	0.008
Error	10	0.1569	0.01569		
Total	19	20.8225			

รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสมความเร็วของใบพัดกวน



รูปที่ 6 Normal Probability Plot ค่าความหนืดของน้ำมันเกียร์ 85W140

รูปที่ 7 แสดงกราฟอันตรกิริยาระหว่างค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสมและความเร็วรอบของใบพัดกวนที่ระดับต่าง ๆ พบว่าที่เวลากวนผสมที่ 60 นาที ที่ความเร็วรอบการกวนผสมที่ 84 รอบ และ 120 รอบต่อนาที ค่าความหนืดมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ 27.67 mm^2/s



รูปที่ 7 กราฟอันตรกิริยาระหว่างค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสมและความเร็วของใบพัดกวนของน้ำมันเกียร์ 85W140

3.3 การวิเคราะห์หาค่าปัจจัยที่เหมาะสมของน้ำมันไฮดรอลิค 68

น้ำมันไฮดรอลิค 68 มีข้อกำหนดค่าช่วงความหนืดของผลิตภัณฑ์ระหว่าง 62.0 ถึง 68.0 mm^2/s ณ อุณหภูมิการทดสอบที่ 40 องศาเซลเซียส กำหนดเป้าหมายของค่าความหนืดไว้ที่ 65.54 mm^2/s ทำการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง ศึกษาปัจจัยควบคุม 2 ปัจจัย คือ ระยะเวลาการกวนผสมที่ 15 30, 45 60 และ 180 นาที และความเร็วของใบพัดกวนที่ 84 และ 120 รอบต่อนาที ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม Minitab แสดงดังรูปที่ 8 โดยพบว่ามีอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการกวนผสมและความเร็วรอบของใบพัดกวนต่อค่าความหนืดของน้ำมันชนิดนี้เนื่องจากค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และเนื่องจากมีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยจึงไม่ทำการพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก

Factor Information

Factor	Levels	Values
Circulation Time	5	15, 30, 45, 60, 180
Agitation Speed	2	84, 120

Analysis of Variance

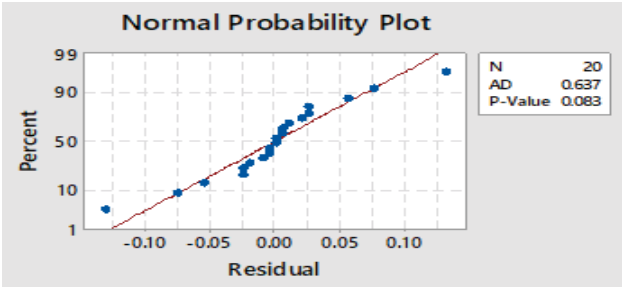
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	23.6725	2.63028	480.85	0.000
Linear	5	22.2802	4.45603	814.63	0.000
Circulation Time	4	21.3813	5.34532	977.21	0.000
Agitation Speed	1	0.8989	0.89888	164.33	0.000
2-Way Interactions	4	1.3923	0.34808	63.63	0.000
Circulation Time*Agitation Speed	4	1.3923	0.34808	63.63	0.000
Error	10	0.0547	0.00547		
Total	19	23.7272			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0739594	99.77%	99.56%	99.08%

รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสมความเร็วของใบพัดกวนของน้ำมันไฮดรอลิค 68

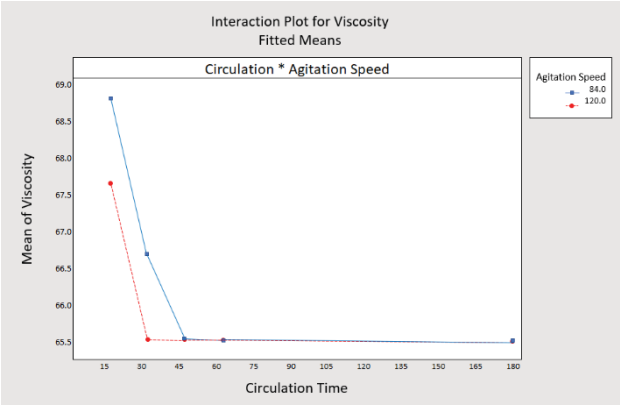
Normal Probability Plot ของค่าความหนืดน้ำมันไฮดรอลิก 68 (รูปที่ 9) พบว่าลักษณะกราฟมีการกระจายตัวแบบเส้นตรง (P-Value = 0.083) สรุปได้ว่า ค่าความหนืดมีการแจกแจงปกติ



รูปที่ 9 Normal Probability Plot ค่าความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิค 68

กราฟอันตรกิริยาระหว่างค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสมและความเร็วรอบของใบพัดกวน (ดังรูปที่ 10) พบว่าที่ระยะเวลาการกวนผสมที่ 30 นาที และความเร็วรอบการกวนผสมที่ 120 นาที มีค่า

ความหนืดมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ 65.54 mm^2/s และพบว่าค่าความหนืดมีค่าเข้าใกล้เป้าหมายเมื่อใช้เวลาในการผสม และรอบความเร็วของใบพัดกวนที่สูงขึ้น



รูปที่ 10 กราฟอันตรกิริยาระหว่างค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสมและความเร็วของใบพัดกวนน้ำมันไฮดรอลิค 68

3.4 การวิเคราะห์หาค่าปัจจัยที่เหมาะสมของน้ำมันเทอร์ไบน์ 68

น้ำมันเทอร์ไบน์ 68 มีข้อกำหนดค่าช่วงความหนืดของผลิตภัณฑ์ระหว่าง 61.2 ถึง 74.8 mm^2/s กำหนดเป้าหมายของค่าความหนืดไว้ที่ 68.86 mm^2/s ศึกษาปัจจัยควบคุม 2 ปัจจัย โดยปัจจัยแรกคือเวลาในการกวนผสมที่ 15 30, 45 60 และ 180 นาที และปัจจัยที่สองคือความเร็วรอบของใบพัดกวนที่ 84 และ 120 รอบต่อนาที

Factor Information

Factor	Levels	Values
Circulation Time	5	15, 30, 45, 60, 180
Agitation Speed	2	84, 120

Analysis of Variance

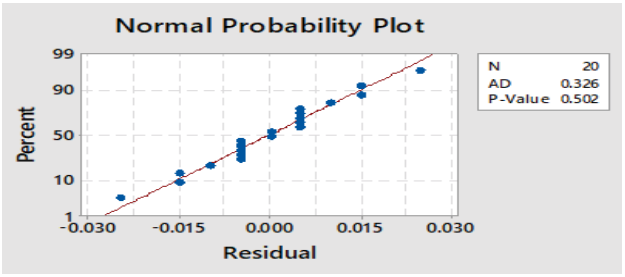
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	3.34968	0.372187	1431.49	0.000
Linear	5	2.42940	0.485880	1868.77	0.000
Circulation Time	4	2.20468	0.551170	2119.88	0.000
Agitation Speed	1	0.22472	0.224720	864.31	0.000
2-Way Interactions	4	0.92028	0.230070	884.88	0.000
Circulation Time*Agitation Speed	4	0.92028	0.230070	884.88	0.000
Error	10	0.00260	0.000260		
Total	19	3.35228			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0161245	99.92%	99.85%	99.69%

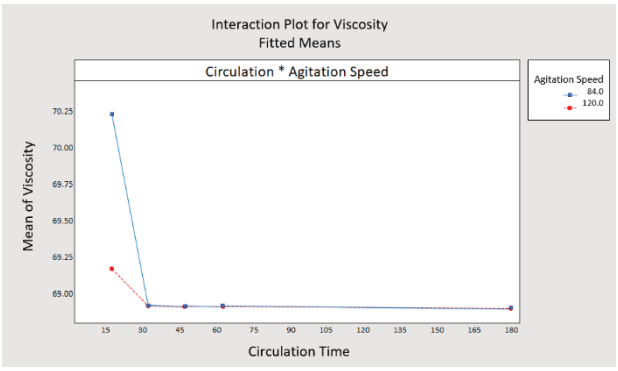
รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสมความเร็วของใบพัดกวนของน้ำมันเทอร์ไบน์ 68

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม Minitab แสดงดังรูปที่ 11 โดยพบว่ามีอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการกวนผสมและความเร็วรอบของใบพัดกวนต่อค่าความหนืดของน้ำมันชนิดนี้เนื่องจากค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และเนื่องจากมีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยจึงไม่ทำการพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก Normal Probability Plot ของค่าความหนืดน้ำมันเทอร์ไบน์แสดงดังรูปที่ 12 พบว่าลักษณะกราฟมีการกระจายตัวแบบเส้นตรง (P-Value = 0.502) ค่าความหนืดมีการแจกแจงปกติ



รูปที่ 12 Normal Probability Plot ค่าความหนืดของน้ำมันเทอร์ไบน์ 68

กราฟอันตรกิริยาของค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสมและความเร็วรอบของใบพัดกวนที่ระดับต่าง ๆ (ดังรูปที่ 13) พบว่าที่ระยะเวลาการกวนผสมที่ 30 นาที และความเร็วรอบของใบพัดที่ 84 หรือ 120 รอบต่อนาที ค่าความหนืดมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ 65.54 mm^2/s และพบว่าค่าความหนืดมีค่าเข้าใกล้เป้าหมายเมื่อใช้เวลาในการผสม และรอบความเร็วของใบพัดกวนที่สูงขึ้น



รูปที่ 13 กราฟอันตรกิริยาระหว่างค่าความหนืดต่อระยะเวลาการกวนผสมและความเร็วของใบพัดกวนของน้ำมันเทอร์ไบน์ 68

4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab สำหรับน้ำมันไฮดรอลิค 46 พบว่าอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการกวนผสมและความเร็วรอบของใบพัดกวน และอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการกวนผสมและขนาดของรอบการผลิตต่อค่าความหนืด เนื่องจากค่า P-Value น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 ในส่วนของการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าความหนืดสำหรับน้ำมันเกียร์ 85W140 น้ำมันไฮดรอลิค 68 และ น้ำมันเทอร์ไบน์ 68 พบว่าอันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาในการกวนผสมกับ

ความเร็วของใบพัดกวนมีผลต่อค่าความหนืดที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกวนผสมและความเร็วของใบพัดกวนจะทำให้ค่าความหนืดมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ การกำหนดระยะเวลาในการกวนผสมและความเร็วใบพัดกวนที่แตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะองค์ประกอบของน้ำมันแต่ละชนิดที่แตกต่างกันมีผลต่อการเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของตัวน้ำมัน จากการทดลองทำให้ได้ระดับของปัจจัยใหม่มาปรับใช้กับการผลิตแต่ละวันดังนี้

1) น้ำมันเกียร์ 85W140 สามารถปรับลดเวลาการกวนผสมจากเดิมที่ 180 นาที มาที่ 60 นาที และใช้ความเร็วของใบพัดกวนที่ 84 รอบต่อนาที

2) น้ำมันไฮดรอลิค 68 สามารถปรับลดเวลาการกวนผสมจากเดิมที่ 180 นาที มาที่ 45 นาที และใช้ความเร็วของใบพัดกวนที่ 120 รอบต่อนาที

3) น้ำมันเทอร์ไบน์ 68 สามารถปรับลดเวลาการกวนผสมจากเดิมที่ 180 นาที มาที่ 30 นาที และใช้ความเร็วของใบพัดกวนที่ 84 รอบต่อนาที

นอกจากนี้การลดเวลาในขั้นตอนการกวนผสมทำให้ระยะเวลาในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นลดลง สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงและหลังปรับปรุงระดับของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืด

ผลิตภัณฑ์	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง		
	เวลาทั้งหมดที่ใช้ในขั้นตอนการผลิต ต่อ ผลิตภัณฑ์ (นาที)	เวลาที่ใช้ในขั้นตอนการกวนผสม (นาที)	เวลาที่ใช้ทั้งหมดในขั้นตอนการผลิต ต่อ ผลิตภัณฑ์ (นาที)	เวลาที่ใช้ในขั้นตอนการกวนผสม (นาที)	เวลาที่ใช้ในการผลิตลดลงทั้งหมด (เปอร์เซนต์)
น้ำมันเกียร์ 85W140	260	180	140	60	46
น้ำมันไฮดรอลิค 68	300	180	165	45	45
น้ำมันเทอร์ไบน์ 68	300	180	150	30	50

ข้อเสนอแนะสำหรับการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าความหนืดในกระบวนการกวนผสมของน้ำมันหล่อลื่น สามารถทำการทดสอบเพิ่มเติมโดยอาจพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ เช่น ลักษณะรูปทรงของถังกวนผสมลักษณะรูปทรงและชนิดของใบพัดกวน หรือชนิดของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ประเภทอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น นอกจากค่าความหนืดที่เป็นค่าพารามิเตอร์หลักของน้ำมันหล่อลื่นแล้วยังมีค่าปริมาณโลหะในน้ำมันหล่อลื่นเช่น แคลเซียม หรือ สังกะสี ที่สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่สละเวลาให้คำแนะนำรวมถึงข้อเสนอแนะในการปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้งานวิจัยนี้ถูกต้องสมบูรณ์ รวมทั้งบริษัทกรณีศึกษาสำหรับข้อมูลที่นำมาใช้ในการทำงานวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สมศักดิ์ พวงศรี, น้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์. กรมชลประทาน , 2562.

[2] E. L. Paul, V. A. Atiemo- Obeng and S. M. Kresta. 2003. Handbook of Industrial Mixing Science and Practice. A JOHN WILEY & SONS, United States of America.

[3] P.M. Doran. 2013. Bioprocess Engineering Principles. Elsevier Ltd., England.

[4] V. Sharan, K. Rohit, M. Ravishankar, D. Bhuvaneshwar and R. Harish. 2020. CFD simulation of turbulent flow behaviour in a mixing reactor with Rushton impeller. Journal of Physics: Conference Series 1716(1): 012025.

[5] A. Belhanafi and M. Bouzit. 2019. Numerical Investigation of Hydrodynamics Induced by a Pitched Blade Turbine: Effect of the Shape of Vessel Base. MECHANIKA 25(5): 370-376.

[6] M. Pathak and T.T. Devi. 2020. CFD Investigation of Impact of Vessel configuration and Different Impeller Types in Stirred Tank. Material Science Engineering 1004 012006.

[7] I. Torotwa, C. Okinda, M. S. Memon and C. Ji. 2018. Comparative analysis of effects of different agitation impeller designs in maintaining nutrients homogeneity in fertigation tanks. International Agricultural Engineering Journal 27(2): 92-102.

[8] L.A. Ramirez, E.L. Perez, C.G. Diaz, D.A.C. Luengas, N. Ratkovich and L. H. Reyes. 2020. CFD and Experimental Characterization of a Bioreactor: Analysis via Power Curve, Flow Patterns and kLa. Processes 2020 8(7): 878.

Production-Scheduling Problem: a Case of SD Tractors Company, Limited

Adul Phuk-in [1*]

[1*]Industrial Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit Province, Thailand
E-mail: Adun999@gmail.com*

Abstract

This study had brought problems of production scheduling for SD Tractors Company, Limited. The objective was to optimize the production scheduling of the company by conducting mathematical programming model. The mathematical programming model makes the least makespan, including having developed program and used Local Search to find out the solutions of scheduling. Data and information of this research were times used from customers' orders and information from production and maintenance department, numbers of machines, machine-setting-up times and times used of production processes of each product, including regulations and constraints. Problem patterns were divided into three sizes, such as small, medium and large problems, to calculate the optimal production scheduling. The results revealed that the developed mathematical programming model enabled to find out the most appropriate production scheduling for all problems, for example, a small problem case with 6 jobs, 7 machines, 5,349.39 minutes of makespan used 0.207 second of processing time with 100% of all machines used, and a large problem of the company, previously spent 34,774.21 minutes of makespan, approximately 73 days; 8 hours a working day, meanwhile, the result from production scheduling calculated from mathematical programming model with program development spent only 26,365.22 minutes, approximately 55 days that time reduced for 18 days. Therefore, production scheduling from mathematical model with program development reduced makespan for 8,408.99 minutes and the percentage of efficiency improvement was 24.19%. The results fulfilled the objectives of the research.

Keywords: Mathematical Programming Model, Makespan, Optimization, Agricultural-Cargo Truck

1. Introduction

Nowadays, Thai economics has counted on and driven from the exports, accordingly the export values in B.E. 2020 were 423,309.2 million Baht of crude oil, 416,107.2 million baht of machineries and parts and 383,464.7 million baht of electronical and electronic machines and parts [1]. Export values of machineries and parts were the results from the development of domestic industries, so domestic industries with their potential had the vital roles to push up the domestic economics, and the government promoted economic development plan in innovation increasingly to enhance the competitive potentiality in all aspects. Currently, it's high competition in industrial and service businesses, every business has emphasized 4M's of business administration for highest efficiency. It consists of man, method, material and money [2, 3]. The main proposes of most businesses are to reduce costs as much as possible and increase competitiveness; in the meantime, they have sought the ways of management to control production and use all resources most valuably.

The researcher selected SD Tractors Company, Limited. as a case study in this study. The initial information showed that the company produced parts and accessories of agricultural-cargo trucks in 6,400 m^2 of working area; separated into 2 factories, with 30 machines and more than 90 instruments. The company followed the job scheduling, there were schedules in each work station of production department and maintenance work, then all parts would be assembled as customers' orders with First-In-First-Out (FIFO) method. Problems found in the spare part production line that didn't have scheduling and depended on only the operation level workers' experience. It affected raw materials, machines, tools and methods of the production inappropriately, and caused both direct and indirect costs. The company was not able to make the production scheduling most appropriately and efficiently. Besides, some problems came from external factors, i.e., delay in the delivery of raw materials, delay of management, that affected delivery time to the assembly line and finally, delay in the delivery to customers. Consequently, it caused unexpected costs and might loss the customers.

This study aimed to apply mathematical programming model to solve problems of production scheduling that would optimize the production processes, makespan, of SD Tractors Company, Limited.

2. Materials and methods

2.1 Scheduling Problem

Scheduling problem [4] is a vital problem and often found in the production industry. Since the factories would like to make the production plan most efficiently under regulations and constraints [5, 6], such as times, machines, human resources, so production scheduling orderly could be set up suitably and finally [7], it could deliver to customers on time. The result of that process is what all businesses need most [8].

Generally, production types can be divided by product features, such as make to stock, make to order, assembly to order, engineering to order, and each type has its own characteristics varied by customers' needs. Moreover, types of production can be divided by production systems, such as mass product, job shop, made-to-order, made-to-stock, assembly-to-order, [4] project manufacturing, [9] batch production, line-flow, or assembly, or repetitive production, [10] continuous process, or continuous flow production. However, each type of production is characterized by its system and volumes, for example, made-to-order production depends on the customers' needs in high volumes, is produced in lots and quite changeable in products, the machines run continuously until finish, and lastly start new product with the same machine [11].

The results from literature reviews showed that there were many objectives of production scheduling, such as: (1) to reduce waiting time in production process that mean to reduce the average waiting time during machines and workers still work other jobs [4]; (2) to reduce work delay. In case of delay and having delay penalty, the ways to reduce work delay are to reduce the most delay or reduce works that delay [12]; (3) to reduce total cost of the system [13] Total cost is costs of work finished before due date and costs of work delayed; (4) to reduce mean flow time in the system [13]; (5) to find out makespan range; calculate finish time of machines time used most and least; and (6) to reduce makespan of the system [9, 10].

2.2 Company's General Conditions

SD Tractors Company, Limited was established in 2015. It has produced vehicles used for agricultural cargo, i.e., pick-ups, hydraulic-trucks, agricultural-cargo trucks, with 7 5 vehicles of annual capacity and 24,180,000 Baht of annual sales. It locates in Mueang District, Uttaradit province. There are 5 parts in the organization; marketing, production and maintenance, inventory storage, purchasing, finance and accounting, and board of director, all parts work integrally as the circular flow as showed in figure 1. Board of director is in the center of the chart to respond and fulfil needs of production and after-sales services gradually.

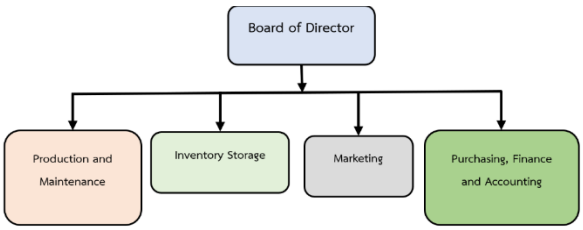


Figure 1 The Organization Chart of SD Tractors Company, Limited.

SD Tractors Company, Limited. has produced agricultural cargo parts with make to order process, that is characterized the numbers of customers' purchasing order before producing. Machines used in the factory are cutting machines, turning machines, welding machines, vertical milling machines with jig and fixture, and drilling machines. There are various products produced in the factory, such as 38-mm booth set, front-assembly set, pulley set, chock bolt set and 19-mm bolts, as showed in figure 2.



Figure 2 Products of SD Tractors Company, Limited.

Steps of operating production line would be followed the orders from production department monthly, it started from ordering raw materials, and processes of cutting, forming and assembling as showed in figure 3, the processes in details were shown as the following:

2.2.1 Cutting process – to cut cold drawn bar and steel plate by order;

2.2.2 Turning process – to turn workpiece in various methods as follows;

2.2.2.1 facing turning – to reduce the length of the workpieces that is slightly longer than the final piece and make smooth surface,

2.2.2.2 parting turning – to reduce the sizes of the workpieces by their patterns,

2.2.2.3 threading turning – to cut threads in the outer surface that make them turn in tightly with knots,

2.2.2.4 boring turning – to make holes on the workpieces in various wide diameter range,

2.2.2.5 sharpening turning – to clear unexpected sharp scrap of the workpieces,

2.2.3 Drilling process – to drill the workpieces followed work patterns;

2.2.4 Making tap screw – the process followed both metric and British systems after boring turning;

2.2.5 Welding process – to weld by electric welding machine called arc welding; and

2.2.6 Roll bending process – to roll pieces of steel plate that were cut, into the wide diameter set in the pattern.

Some workpieces after turning processes were shown in figure 3.



Figure 3 Workpieces after turning processes

2.3. Parts Production - According to the company's production process that was make-to-stock production process, most parts; 38-mm booth set, front-assembly set, pulley set, chock bolt set and 19-mm bolts, had to be produced in order under precedence constraint as shown in figure 4.

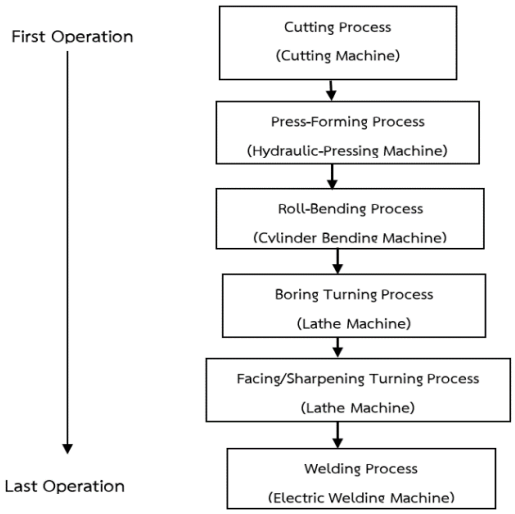


Figure 4 The Operation of Production Process

Operation steps of production shown in figure 4 explained 6 steps; cutting, press-forming, roll-bending, boring turning, facing/ sharpening turning and welding processes, respectively, every step was set up times for each machine, including operating and maintenance times. But it depended on the volumes of production order, in case of more than 50 pieces of the order, the production had to add the maintenance process once.

2.4. Collecting data of machines production time of each piece from the same machine, [4,9,14] because all processes couldn't operate in the same machine that was a capacity constraint. Slash sign (/) was used and showed that machine enabled to work in the process required, but having left blank meant machine couldn't work as required.

2.5. Standard Production time – The researchers conducted a time study from the company's production report. [4,14] The production time of each product is explained that the company has had machines mainly operated by workers' experience, therefore there is not time-used information of all products in each process. This research started to collect time-used data of each process and did repeatedly 20 times, then calculated the average time-used of each process. Moreover, setting-up time of each machine and maintenance stoppage were also collected. Although type of machines was the same, setting-up time were varied. Therefore, the operating times were calculated and used the average time as shown in table 1 and 2.

Table 1 Sample of setting machine ability for producing 38-mm booth set

Parts	Process	Machine Number:						
		1	2	3	4	5	6	7
38-mm booth set	1.Cutting	/	/					
	2. Facing Turning			/	/			
	3. Boring Turning			/	/			
	4. Sharpening Turning			/	/			
	5. Drilling					/	/	
	6. Tapping Screw							/

Table 2 Sample of adjusting time and Operating time of machine for producing 76-mm booth

Parts	Process	Production Time (Minutes)				
		Adjusting Time (S)		Maintenance Time (S)	Operating Time (P)	No. of order (pieces)
76 - mm booth set	1.Cutting	1.01	1.31	4.00	20.95	30
	2.Facing Turning	5.05	5.85	4.5	10.63	30
	3.Boring Turning	5.03	5.21	3.00	20.35	30
	4.Sharpening Turning	3.26	3.18	1.00	5.05	30
	5.Drilling	3.28	3.23	5.10	2.31	30
	6.Tapping Screw	1.05	1.05	1.00	2.03	30

2.6 Manufacturing orders data – The production department received manufacturing orders from the production planning department. It was comprised of item numbers and quantities. The researcher focused on parts 38-mm booth set**,** front-assembly set, pulley set, chock bolt set and 19-mm bolts, and quantities of each part were produced by order. It was the order of August, 2020. This month was time that customers' orders were closely the same amounts, and affected production scheduling directly and complicatedly. Hence, the order data to produce had to be accurate. Sample of order items to produce of August, 2020 were shown in table 3.

Table 3 Sample of order items to produce of August, 2020

Order Items	Quantity (pieces)
38-mm booth set	120
front-assembly set	150
pulley set	80
chock bolt set	190
19-mm bolts	100

2.7 Mathematical model – The proposed mathematical model is presented in this section. [4,14] The researcher collated necessary data of the company and imposed indices, parameters, decision variable, objective function and constraints as the following:

2.7.1 Indices

i = work order, where $i = 1, 2, \ldots, n$

j = machine order, where $j = 1, 2, \ldots, m$

2.7.2 Parameters

n = number of works

m = number of machines

PO_i = quantity of production order of work i (pieces)

PW_{ij} = used time of producing work i with machine j (min/piece)

TTP_{ij} = total used time of producing work i with machine j (min)

ST_{ij} = setting-up time of machine j for work i (min)

M_{ij} = maintenance used time of machine j for work i (min/time)

QM_j = quantity of work i in maximum, then maintain machine j (piece)

T_j = numbers of machine j maintenance (times – integer)

TC_j = total used time of the operation with machine j (min)

AM_{ij} = the matrix of the work i at the j operating machine

STM_{ij} = start time of machine j for work i

C_{max} = maximum time of makespan of any machine

2.7.3 Decision variable

X_{ij} = 1 (assign work i to machine k), and 0 (do not assign work i to machine k)

2.7.4 Objective function

The objective of mathematical model developed for production scheduling under conditions of the factory in real situation that to minimize makespan (Z) as showed in the following equations: [7,14]

$$Minimize\ Z = C_{max} \quad (1)$$

Where

$$C_{max} = Max\{TC_j\} \quad (2)$$

$$TC_j = \sum_{i=1}^{i-1} X_{ij}[(PW_{ij}\ PO_i) + ST_{ij} + (M_{ij}T_j)];\ \ \forall j \quad (3)$$

Constraint functions:

$$\sum_{j=1}^{m} X_{ij} \leq \sum_{j=1}^{m} X_{(i-1)j};\ \ \forall i; i \geq 2 \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{m} X_{ij} = 1;\quad \forall i \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij}\left[PO_i/QM_j\right] = T_j;\quad \forall j \quad (6)$$

$$STM_{ij} \geq \sum_{i=1}^{i-1} TTP_{ij};\ \ \forall i; \forall j;\ i \geq 2 \quad (7)$$

$$TTP_{ij} = \left[(PW_{ij}\ PO_i) + ST_{ij}\right]X_{ij};\quad \forall i, \forall j \quad (8)$$

$$AM_{ij}X_{ij} = 0;\ \forall i, \forall j \quad (9)$$

$$STM_{1j} = 0;\quad \forall j \quad (10)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\};\ \forall i, \forall j \quad (11)$$

$$M_{ij}T_j < TC_j;\ \forall i, \forall j \quad (12)$$

According to equations above, equations (1) - (3) concerned with the objective function, to find out the minimum makespan, inequality (4) was prerequisite condition of work i, equation (5) was to assign work for only machine required, equation (6) was to impose time to maintain machine j for work i in maximum, inequality (7) was prerequisite of machine, equation (8) was time of producing work i with machine j equals to used time of production times the amount of work i produced with machine j plus setting-up time, equation (9) was conditions of each products with machine capacity, equation (10) was start time of the first work or first job i on machine j equal to 0, equation (11) was decision variable in only binary, and equation (12) the total maintenance period of the machine must not be more than the total time. This research used the process that was designed from heuristic method; local search, [11] to find out the solution as well.

3. Results

The research divided objectives into 2 experiments, firstly to find out the most appropriate production scheduling by using mathematical programming model with local search of heuristic method, and secondly to improve the efficiency of production scheduling of SD Tractors Company, Limited. by comparing minimum makespan of production table that calculated from mathematical model with the company's table. Besides, each experiment would be tested by using computer with 2.80 GHz. CPU, 8GB RAM and on Windows10 64-bit operation system.

All data collected from the factory. Since there were lots of products, the researcher divided problems by sizes into 3 sizes, such as small, medium and large, that would be easy to test the model. Sizes of problem depended on numbers of works and machines used. Small problem consisted of 38-mm booth set, front-assembly set, pulley set. Medium problem consisted of chock bolt set and 50-mm booth set. Large problem consisted of all products. Finally, production scheduling would be made as shown in table 4.

Table 4 Production scheduling problems of SD Tractors Company, Limited.

Problem Size	Product Items	No. of works (n)	No. of machines (m)
Small 1	38-mm booth set	6	7
Small 2	front-assembly set	6	7
Small 3	pulley set	6	9
Small 4	chock bolt set	14	9
Medium	19-mm bolts / 50-mm booth set	18	10
Large	All products	50	10

3 . 1 Scheduling program: the model was developed C++ programming language that was statically typed and used local search [4,7,11] of heuristic method to find out the solution of minimum makespan randomly [14,15,16]. To find out the optimal solutions of all-sized problems was a major objective. Sample of decision results of production scheduling of small-sized problem (Small 2) was shown in table 5.

According to table 5, there were 7 machines and 6 works/steps that 0; not assign work i to machine j. After processing data, the result showed that the maximum makespan of 7 machines was 5,349.39 minutes and some machines were use less than the rest, such as machine 4 and 5, because these machines were used for specific works, i.e., facing turning, sharpening turning and drilling.

Table 5 Sample of Makespan of Front-Assembly Set

Order/Machine	m 1	m 2	m 3	m 4	m 5	m 6	m 7
n1	2082.01	0	1219.72	0	1737.31	0	617.05
n2	1908.24	0	1923.15	0	0	2427.23	2041.12
n3	0	1216.51	936.65	0	0	1218.13	1106.55
n4	0	310.01	239.95	0	0	82.34	
n5	0	0	239.95	0	0	324.43	373.55
n6	0	0	0	2362.10	0	1030.23	1211.12
Total Makespan (minutes)	3990.25	1526.52	4559.42	2362.1	1737.31	5082.36	5349.39

Moreover, this program could develop the optimal solution of production scheduling that was to minimize makespan with other problems. The analysis of experiment results showed in table 6.

According to table 6, it showed how to use all resources efficiently. The only one small-sized problem that there was only one machine that was not used in Small 3, so percentage of machine used dropped to 88.89% and the rest were 100%. Therefore, to optimize production scheduling of each problem enabled to start by deciding to use all machines efficiently. The use of all machines in the factory depended on the experience of operating workers, they decided to use machines unsystematically and without proper plans, including time wastes from setting-up and maintenance. Production scheduling that was designed was helpful for production, maintenance and reducing breakdown.

Table 6 Conclusion of minimum makespan of small-sized and medium-sized problems by using mathematical programming model

Problems	Size (n x m)	Makespan (minutes)	Time for processing (seconds)	Unused machines (machines)	Percentage of machine used (%)
Small	6 x 7	8,431.29	0.106	0	100
Small 2	6 x 7	5,349.39	0.207	0	100
Small 3	6 x 9	4,025.65	0.104	1	88.89
Small 4	14 x 9	8299.22	0.242	0	100
Medium	18 x 10	10928.52	0.204	0	100

3.2 Result of improving the efficiency: to improve the efficiency of production scheduling was the objective of the research and compared new schedule with the previous schedule as shown in table 7. Information of production scheduling of the factory showed that there were 50 workpieces, 10 machines and steps of works that was classified as large-sized problem.

Table 7: Comparison results of makespan from previous and new production scheduling

Issues of comparison	Makespan of large-sized problem (minutes)		Time Difference (minute)	Percentage of efficiency improvement
	Previous production scheduling	New production scheduling		
Makespan	34,774.21	26,365.22	8,408.99	24.19 %

According to table 7, the results of makespan from previous and new production scheduling were 34,774.21 minutes (approximately 73 days) and 26,365.22 minutes (approximately 55 days), if there were 8 hours a working day. New production scheduling developed from mathematical programming model reduced makespan for 8,408.99 minutes or approximately 18 days. Percentage of efficiency improvement was 24.19%. The major inefficient product scheduling was from planning without actual information of operating workers, and uncleared schedule that caused improper works, unexpected and unnecessary costs and lastly, delay of delivery.

4. Summary

To optimize the production scheduling of SD Tractors Company, Limited. proposed to reduce operating times under regulations and constraints, after the company faced problem of inefficient production scheduling with limited machines and workforce. Mathematical programming model was conducted to minimize makespan, with developed program from local search heuristic method, they were used to find out the solution.

Data of time used from the first to last operation were collected, and used to conduct the model. Data were product items, order quantity of production and maintenance department, types and numbers of machines, setting-up times, and production times of each process and of each product, including regulations and constraints. Patterns of problems were divided b sizes, into 3 sizes, small, medium and large. Large-sized problem gathered all products and machines together. The optimization of production scheduling was made and developed from mathematical programming and local search heuristic method.

The results revealed that developed mathematical model was able to find the optimal solution of production scheduling for all-sized problems, and apply to use all machines efficiently. Large-sized problem of the company used as a case study enabled to manage minimum makespan at 26,365.22 minutes that lowered makespan for 18 days or 24.19% from the previous production scheduling.

Acknowledgement

I am very grateful to Uttaradit Rajabaht University for the research grant, and thankful to the administrators of Production and Maintenance Department of SD Tractors Company, Limited. for study areas, and useful data, and the instructors of Industrial Technology Program, Uttaradit Rajabhat University, who helped for data analysis.

References

[1] Office of the Permanent Secretary Ministry of Commerce, Retrieved from http://www2.ops3.moc.go.th/tradeWebservice/. (Accessed on Sept 22, 2021).

[2] I. B. Suryaningrat,. (2020). “Raw Material Procurement on Agro - Industrial Supply Chain Management: A Case Survey of Fruit Processing Industries in Indonesia”. Agriculture and Agricultural Science Procedia, Vol. 9: 253-257.

[3] M. A. Nguyen, G. T. Dang, M. H. Ha and M. T. Pham. (2022). “The Min-Cost Parallel Drone Scheduling Vehicle Routing Problem”. European Journal of Operational Research, Vol. 299 (3): 910-930.

[4] S. Frisch, P. Hungerlander, A. Jellen, B. Primas, S. Steininger and D. Weinberger. (2021). “Solving a real-world Locomotive Scheduling Problem with Maintenance Constraints”. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 150: 386-409.

[5] J. F. Cordeau, F. Soumis and J. Desrosiers. (2000). “A Benders decomposition approach for the locomotive and car assignment problem”. Transportation Science, Vol.34 (2): 133–149.

[6] J. F. Cordeau, G. Desaulniers, N. Lingaya, F. Soumis and J. Desrosiers. (2001). “Simultaneous Locomotive and car assignment at VIA Rail Canada”. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 35 (8): 767–787.

[7] R. Chaouch, H. Ghorbel and S. Khalfallah. (2021). “Model for the Classification of Scheduling Problems based on Ontology”. Procedia Computer Science, Vol. 181: 890–896.

[8] R. Cordone and P. Hosteins. (2019). “A Bi-Objective Model for the Single-Machine Scheduling Problem with Rejection Cost and Total Tardiness Minimization”. Computers & Operations Research, Vol. 102: 130-140.

[9] Y. Che, K. Hu, Z. Zhang and A. Lim. (2021). “Machine Scheduling with Orientation Selection and Two Dimensional Packing for Additive Manufacturing”. Computers & Operations Research, Vol. 130: 105245.

[10] M. K. Sarakhsi, S. M. T. Fatemi Ghomi, and B. A. Karimi. (2016). “A new hybrid algorithm of scatter search and Nelder–Mead algorithms to optimize joint economic lot sizing problem”. Journal of Computational and Applied Mathematics, Vol. 292: 387-401.

[11] M. S. Umam, M. Mustafid and S. Suryono. (2021). “A Hybrid Genetic Algorithm and Tabu Search for Minimizing Makespan in Flow Shop Scheduling Problem”. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, Vol. 34 (2): 1-9.

[12] A. Aloui and K. H. Hamou. (2021). “A heuristic approach for a scheduling problem in additive manufacturing under technological constraints”. Computers & Industrial Engineering, Vol. 154: 107115.

[13] A. Ebrahimi, H. W. Jeon, S. Lee and C. Wang. (2020). “Minimizing Total Energy Cost and Tardiness Penalty for a Scheduling-Layout Problem in a Flexible Job Shop System: A Comparison of Four Metaheuristic Algorithms”. Computers & Industrial Engineering, Vol. 141: 106295.

[14] T. Khamphrmmi, S. Khruthphaaha, N. Tungcharoenchai, S. Phetsawat and T. Thepphakorn. (2019). “ Solving production scheduling problems using a mathematical programming model : case study of a truck part production company in Phitsanulok province”. Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal, Vol. 1(3): 47-66.

[15] C. Fecarotti, J. Andrews and R. Pesenti. (2021). “A mathematical programming model to select maintenance strategies in railway networks”. Reliability Engineering & System Safety, Vol. 216: 107940.

[16] O. Wu, G. D. Ave, I. Harjunkoski and L. Imsland. (2021). “A rolling horizon approach for scheduling of multiproduct Batch production and maintenance using generalized disjunctive programming models”. Computers & Chemical Engineering, Vol. 148: 107268.

การพัฒนาโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล สำหรับวางแผนการผลิต เพื่อลดการส่งมอบงานล่าช้า กรณีศึกษา : บริษัทผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

Microsoft Excel Program Development for Production Planning to Reduce the Delay in The Delivery of Work. A Case: Motorcycle Parts Manufacturing Company

กฤษณะ สุวัฒนมงคลชัย[1*] ณัฐวัตร จันทะโคตร[1] ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ[1] บัญญัติ พันธ์ประสิทธิ์เวช[1] ธรรมวิชช์ ประเสริฐ[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: Suwatthanamongkhonchai_K@su.ac.th*

Krisana Suwatthanamongkhonchai[1*] Nutthawut Chanthakhot[1] Patipat Hongsuwun[1] Banyat Panprasitvech[1] Thammawit Prasert[1]
[1]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: Suwatthanamongkhonchai_K@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการส่งมอบสินค้าล่าช้าที่มีมากถึง 85% จากคำสั่งผลิตทั้งหมด โดยกรณีศึกษาเป็นการรับผลิตชิ้นส่วนจักรยานยนต์ตามคำสั่งผลิต จากข้อมูลในเดือนกรกฎาคม–กันยายน ปัญหาที่พบเกิดจากการใช้ประสบการณ์ในการคาดคะเนและตัดสินใจในการกำหนดวันเวลาส่งมอบ และมีการแทรกของงานการผลิต ทำให้มีข้อผิดพลาดส่งผลให้วันส่งมอบมีคลาดเคลื่อนสะสม 17 รายการ คิดเป็นวันได้ 164 วัน ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล โดยใช้ฟังก์ชัน VBA โดยประยุกต์ใช้หลักการการวางแผนทรัพยากรองค์กร (ERP) ใช้ในการวางแผนจัดตารางการผลิต เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลของทุกส่วนในองค์กร และนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนการและจัดตารางการผลิตหลัก ผลการศึกษาพบว่าโปรแกรมสามารถช่วยคำนวณ พยากรณ์ หรือตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถจัดลำดับการทำงานในกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถทำการแทรกงานที่ต้องการ ทำให้สามารถควบคุมแผนการผลิตได้อย่างถูกต้อง สามารถลดการส่งมอบสินค้าล่าช้าเหลือเพียง 25% จากรายการคำสั่งผลิต หรือการส่งมอบสินค้าล่าช้าจาก 17 รายการ เหลือ 5 รายการ

คำสำคัญ : ซอฟต์แวร์การบริหารทรัพยากร, VBA, การวางแผนจัดตารางการผลิต

Abstract

This study tries to address the issue of delivery delays, which affect up to 85% of all production orders. The case study focused on the production of motorcycle parts in accordance with a production schedule. Based on data from July to September, The issues encountered range from user experience to forecasting and determining delivery dates. There's also an insertion point for production work. As a result of the miscalculation, the total delivery time for 17 goods has increased to 164 days. As a result, the researcher used the VBA function in Microsoft Excel to create a program that applied the principles of enterprise resource planning (ERP) to plan production schedules. To be able to connect data from throughout the enterprise and use it for planning and scheduling. The most significant output, According to studies, the program can assist in more efficiently calculating, forecasting, or making judgments, as well as better prioritizing job operations. as well as the ability to insert the desired work. This allows for proper control of the production schedule. can decrease delivery delays to just 25% of all production orders. or reduce the number of goods delivered from 17 to 5.

Keywords: Resource management software, VBA, Production scheduling planning

1. บทนำ

ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาวิสาหกิจขนาดกลาง และขนาดย่อม มีการจดทะเบียนเป็นผู้ประกอบการใหม่กว่า 70,000 รายต่อปี ในจำนวนทั้งหมดนี้มีเพียง 50% ที่ก้าวผ่านปีแรกไปได้ 10% ต้องปิดกิจการไปในที่สุด อ้างอิงมาจากสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) แสดงให้เห็นถึงธุรกิจส่วนใหญ่ประสบปัญหาบางอย่างที่ทำให้ไปต่อไม่ได้ ปัจจุบันวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ยังประสบปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ปัญหาอีกหลายด้าน เพื่อให้สามารถแข่งขันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและดำเนินธุรกิจให้อยู่รอดไปได้ ดังนั้นการผลิตที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องอาศัยการวางแผนที่ถูกต้อง และมีการนำข้อมูลมาใช้ในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กรณีศึกษาบริษัทผลิตอะไหล่ชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ เป็นวิสาหกิจขนาดกลางและย่อม หรือ SME (Small and Medium Enterprises) รับผลิตชิ้นส่วนจักรยานยนต์ตามคำสั่งผลิต จากข้อมูลในเดือนกรกฎาคม-กันยายน มีปัญหาการส่งมอบสินค้าล่าช้า ปัญหาที่พบเกิดจากการใช้ประสบการณ์ในการคาดคะเนและตัดสินใจในการกำหนดวันเวลาส่งมอบ และมีการแทรกของงานการผลิต ซึ่งไม่มีการใช้เทคโนโลยีสำหรับการบริหารเข้ามาช่วยการในการบริหาร

ในปัจจุบันการดำเนินธุรกิจมีการแข่งขันสูง การจัดการที่มีประสิทธิภาพจะทำให้องค์กรได้เปรียบคู่แข่งรวมทั้งการตัดสินใจใน การบริหารกระบวนการผลิต และการส่งมอบงานให้ทันตามกำหนดการส่งมอบให้กับลูกค้าเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือในองค์กร โดยจะนำโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล [1] มาประยุกต์ใช้กับการจัดการในรูปแบบของ ระบบบริหารทรัพยากรองค์กร หรือ ERP (Enterprise Resource Planning) [2] เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของแต่ส่วนได้ในทันที และลดการส่งมอบงานล่าช้า ซึ่งสภาพของปัญหาที่เกิดขึ้น พบว่ามีการส่งมอบงานที่ล่าช้าถึง 85% เนื่องขาดการคำนวณเวลาที่แม่นยำ การตัดสินใจ และการวางแผนที่คลาดเคลื่อน รวมถึงการแทรกงาน จึงทำให้การเสนอส่งมอบงานกับลูกค้ามีความล่าช้าออกไปจนส่งมอบงานไม่ทันกำหนดการที่ได้ตกลงกันไว้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล สำหรับวางแผนการผลิต กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์
2. เพื่อลดจำนวนรายการที่ส่งมอบล่าช้า

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดระบบงานสำหรับกระบวนการทางธุรกิจ (Business Process) ให้สามารถเข้าถึง และตรงความต้องการของตลาด ภายใต้สภาวการณ์ปัจจุบันต้องอาศัยความเป็นเอกภาพและความเที่ยงตรงของข้อมูลค่อนข้างสูง เพื่อให้สามารถรองรับการปรับเปลี่ยนของกระแสธุรกิจได้ตลอดเวลา หลาย ๆ องค์กรจึงมีแนวคิดในการนำระบบ ERP ซึ่งเป็นระบบวางแผนทรัพยากรองค์กรเข้ามาช่วยเพิ่มความคล่องตัวในกระบวนการทางธุรกิจโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเชื่อมโยงข้อมูลการใช้ทรัพยากรของแต่ละส่วนงานภายในองค์กรเข้าด้วยกัน และสร้างกระบวนการไหลของข้อมูลให้เป็นระบบ เพื่อให้งานทุกส่วนในองค์กรใช้ข้อมูลจากแหล่งเดียวกันในการบริหารจัดการ ช่วยลดความซ้ำซ้อน และความผิดพลาดในการวางแผนได้เป็นอย่างดี เพื่อผลักดันให้แรงขับเคลื่อนของธุรกิจสูงขึ้น [3]

Chan, Chih และ Rong ได้ศึกษาการนำระบบ ERP ไปใช้กับบริษัท T Opto Electronics Co. , Ltd. ผู้ผลิตสาร AlGaInP และ AlGaAs ซึ่งนำไปใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ผู้วิจัยได้นำเสนอกลยุทธ์ในการพัฒนาระบบการประเมินซอฟต์แวร์ ERP ผลการวิจัยพบว่าการพัฒนาระบบ ERP จะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมที่มีความหลากหลายและจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรจำนวนมาก หากขาดการเตรียมการที่ดี อาจทำให้องค์กรต้องสูญเสียงบประมาณจำนวนมาก ใช้เวลาเกินกว่าที่คาดการณ์และผลตอบแทนไม่บรรลุตามเป้าหมาย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการประเมินให้รอบคอบก่อนที่จะตัดสินใจนำระบบมาใช้ [4]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาลักษณะการทำงานของกรณีศึกษา

3.1.1 ทำการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

3.1.2 รวบรวมข้อมูล และจัดเตรียมข้อมูลของกรณีศึกษา ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์การวางแผนการผลิต

3.2 วิเคราะห์ปัญหา

จากการเก็บข้อมูล พบว่าในการวางแผนการผลิตขององค์กรยังไม่มีการจัดลำดับการทำงานที่เหมาะสม แผนการผลิตขึ้นอยู่กับหัวหน้างานที่มีความชำนาญเป็นคนจัดสายการผลิตก่อนหลังทุกคำสั่งซื้อ การตัดสินใจอาศัยประสบการณ์ ซึ่งส่งผลให้มักทำให้เวลาที่ได้พูดคุยกับลูกค้ามีความคลาดเคลื่อนบ่อยครั้ง และโดยปกติจะเลือกผลิตงานที่มีกำหนดส่งก่อน แทรกเข้ามาในสายการผลิต ไม่มีแผนรองรับใน จุด ๆ นั้น ทำให้เกิดการรอคอยในสายการผลิตหลายจุดจนสายการผลิตชะงักลงไป มีจำนวนงานรายการส่งมอบ ดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลการส่งมอบสินค้า ในเดือน ก.ค-ก.ย 2564

ลำดับ	Product	เริ่มวันที่	Need Date	วันที่เสร็จ	+ Ok
1	Cover Speaker 6	5 Jul 21	28 Jul 21	5 Aug 21	-8.00
2	Foot Peg NTC	12 Jul 21	10 Aug 21	8 Aug 21	2.00
3	Adapter Fender	17 Jul 21	20 Jul 21	24 Jul 21	-4.00
4	Adapter Fender	17 Jul 21	20 Jul 21	24 Jul 21	-4.00
5	RearCaliper108m	24 Jul 21	24 Aug 21	13 Aug 21	11.00
6	Cover Indicator	24 Jul 21	24 Aug 21	28 Aug 21	-4.00
7	Duo Instrument	24 Jul 21	1 Sep 21	23 Sep 21	-22.00
8	Cover Timing So	24 Jul 21	1 Sep 21	23 Sep 21	-22.00
9	Cover Timing Tv	24 Jul 21	1 Sep 21	23 Sep 21	-22.00
10	Cover derby Sof	24 Jul 21	1 Sep 21	23 Sep 21	-22.00
11	Cover derby Tw	24 Jul 21	1 Sep 21	23 Sep 21	-22.00
12	Pull Back Riser V	24 Jul 21	1 Sep 21	23 Sep 21	-22.00
13	Single Cover-Spe	9 Aug 21	10 Sep 21	12 Sep 21	-2.00
14	Foot Peg NTC	15 Aug 21	10 Sep 21	11 Sep 21	-1.00
15	Toe Peg NTC	15 Aug 21	10 Sep 21	12 Sep 21	-2.00
16	BrakePedal	15 Aug 21	10 Sep 21	12 Sep 21	-2.00
17	BalanceShock-70	15 Aug 21	10 Sep 21	12 Sep 21	-2.00
18	Pull Back Riser-N	15 Aug 21	10 Sep 21	12 Sep 21	-2.00
19	Adapter Fender	27 Aug 21	6 Sep 21	3 Sep 21	3.00
20	Adapter Fender	9 Sep 21	12 Sep 21	13 Sep 21	-1.00

ตารางที่ 2 การส่งมอบสินค้าแบบรายการคำสั่งซื้อในเดือน ก.ค-ก.ย 2564

รายการที่ส่งมอบไม่ทัน	รายการที่ส่งมอบทัน	รวมรายการ
17	3	20
85%	15%	100%

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เนื่องจากปัญหาหลักๆ ขององค์กรคือการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้ามีความล่าช้าดังตารางที่ 1 จึงจำเป็นต้องเก็บข้อมูลด้านเวลาอื่น ๆเพื่อทำการลดเวลาในกระบวนการต่าง ๆ ที่ไม่จำเป็น

3.4 วิเคราะห์ข้อมูลจากผลการเก็บรวบรวมข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลการส่งมอบสินค้าไม่ทันในช่วงเดือน ก.ค.-ก.ย. 2564 โดยวิเคราะห์จากรูปแบบของรายการคำสั่งผลิต ดังตารางที่ 2

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น พบว่าการส่งมอบงานมีความล่าช้าแบบรายการคำสั่งซื้อมีการส่งมอบไม่ทัน 85% คิดจาก 20รายการคำสั่งซื้อ

3.5 การออกแบบซอฟต์แวร์การวางแผนทรัพยากร (ERP)

3.5.1 ส่วนของการวางแผนและความเป็นไปได้ (Planning and Feasibility)

1. ใบเสนอราคา

โปรแกรมจะคำนวณต้นทุนของสินค้า เวลาในการผลิต สินค้าสำเร็จรูปในคงคลัง และวัตถุดิบคงคลัง รวมไปถึงการวางแผนผลิตหลัก ซึ่งจะมีการเชื่อมสูตรกับข้อมูลของสินค้า ค่าแรง และค่าพยากรณ์ของราคาวัตถุดิบ

ใบเสนอราคา (P/O)

ชื่อลูกค้า	NTC			
Order Date	20/2/2022	Start Date		
Need Date		Finish Date	7/1/00	

Gantt Chart

P/O No.	PO-1
Product code	NTC-FB-V2
Product description	Floor Board NTC
Lot size Method	Lot for Lot
Color	Black
Qty.	15
Material	AA6061

Inventory

Product Code	Product Description	Qty	Time	คลัง	ขาด
NTC-FB-V2	Floor Board NTC	15	10465.31	0	-15.00

Inventory Raw Material

No.	Material description	Qty.	หนา	กว้าง	ยาว
3	AA6061	15	55	15	30
2	AA6061	15	55	15	30
1	AA6061	2	55	25	13

รูปที่ 1 ตัวอย่างการรับคำสั่งซื้อ

ราคาขาย	
Unit Price	฿14,500.00
SubTotal Price	฿217,500.00
Discount(%)	0.00%
Balance Due	฿217,500.00

ต้นทุน	Unit
Material Price	฿55,240.31
Labor Cost	฿10,257.19
Machining Cost	฿90,000.00
Total Cost	฿155,497.50

Profit	฿62,002.50

เวลา	Unit min
Standard Time	565.31 min
Machining Time	9000.00 min
Set up time	900.00 min
Total Time	10465.31 min
	7.268 Day

รูปที่ 2 การคำนวณต้นทุนด้านเวลาและด้านการเงิน

โปรแกรมจะเก็บข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณของสินค้าโดยการนำค่า เวลามาตรฐาน เวลาเครื่องจักร เวลาเปลี่ยนชิ้นงาน และราคาขายต่อชิ้น เมื่อได้ข้อมูลของสินค้าจะทำการคำนวณการเงิน และเวลาในการผลิตตามจำนวนความต้องการในคำสั่งซื้อแล้ว ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ยกตัวอย่างเช่น เมื่อใส่รหัสสินค้า NTC-FB-V2 จำนวนที่ต้องการ และวัตถุดิบที่ใช้จากรูปที่ 1 โปรแกรมจะทำการคำนวณราคาสินค้า เวลาในการผลิต ต้นทุน และสินค้าในคงคลังจากจำนวนที่ต้องการ ดังรูปที่ 2 ในส่วนของการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบจะเป็นไปตามสูตรการคำนวณสูตร (น้ำหนักต่อ mm^2 x กว้าง x ยาว) x ราคา kg/บาท ซึ่งมีจะมีตารางเปรียบเทียบความหนาเพื่อกับ น้ำหนักต่อ mm^2 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางเทียบความหนากับน้ำหนักต่อ mm^2

ตารางน้ำหนัก AA6061		ตารางน้ำหนัก AA7075	
ความหนา(mm)	นน.ต่อ ตร.มม	ความหนา(mm)	นน.ต่อ ตร.มม
6.35	0.0000175	6.35	0.0000179
8	0.000022	8	0.0000226
10	0.0000275	10	0.0000282
12.7	0.0000349	12.7	0.0000358
15	0.0000413	15	0.0000423
16	0.000055	16	0.0000451
20	0.0000699	20	0.0000564
25.4	0.0000825	25.4	0.0000716
30	0.0000873	30	0.0000846
31.75	0.0000963	31.75	0.0000895
35	0.0001048	35	0.0000987
38.1	0.00011	38.1	0.0001074
40	0.0001238	40	0.0001128
45	0.0001238	45	0.0001269
50.8	0.0001397	50.8	0.0001433

การคำนวณราคาวัตถุดิบจะเชื่อมกับข้อมูลในคำสั่งซื้อ และส่งข้อมูลไปยังแสดงหน้าต่างของคำสั่งซื้อ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณราคาวัตถุดิบ

Product Code	Product Description	ประเภทวัตถุดิบ	หนา	กว้าง	ยาว	ราคารวม
ATP-FP-01	Foot Peg CFM	AA6061	30	64	105	฿170.66
ATP-FP-01	Foot Peg CFM	AA7075	30	64	105	฿224.56

ต้นทุนค่าแรงพนักงาน และเครื่องจักรจะเป็นต้นทุนคงที่ และต้นทุนของวัตถุดิบจะทำการพยากรณ์แบบเส้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่หรือ Moving Average โดยมีข้อมูลต้นทุน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางต้นทุนการผลิตและวัตถุดิบ

ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย Cost machine shop

ลำดับ	หน่วยการผลิต	บาท/นาที	บาท/ช.ม.
1	CNC Milling	10	600
2	Labor Cost	7	420

ต้นทุนวัตถุดิบ

ลำดับ	ประเภท	บาท/กก.
1	AA6061	290.91
2	AA7075	395

เมื่อทำการพยากรณ์ต้นทุนวัตถุดิบแบบ Moving Average จากการเก็บข้อมูลย้อนหลัง 3เดือน และ 5เดือน พบว่าการเก็บข้อมูลแบบ 3 เดือนจะมีค่า MAPE อยู่ที่ 8.35% และแบบ 5เดือน จะมีค่า MAPE อยู่ที่ 8.81% จึงเลือกแบบ 3เดือน เพราะมีความน่าเชื่อถือมากกว่า จากนั้นโปรแกรมจะเก็บค่าราคาวัตถุดิบในทุก ๆ 3เดือนเพื่อการพยากรณ์ในอนาคต

2. สถานะของการผลิต

จะทำหน้าที่ตรวจสอบภาพรวมของกระบวนการผลิต การบันทึกและการเชื่อมข้อมูลจากคำสั่งซื้อในรูปที่ 1 เข้ามาเติมให้ในฟังก์ชันสถานะการผลิตในรูปที่ 3 และฟังก์ชันใบเสนอขาย

3. แผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart)

จะทำการตรวจสอบสถานะ และกำหนดการของการผลิต จะมีการเชื่อมข้อมูลคำสั่งซื้อจากรูปที่ 1 เพื่อเลือกวันที่เริ่มในการผลิต และเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ซึ่งให้เครื่องจักรที่ 1 มีแถบสีเขียว เครื่องจักรที่ 2 มีแถบสีเหลือง เมื่อมีงานเร่งด่วน จะเปลี่ยนสถานะเป็น Urgent แล้วแถบสีเปลี่ยนเป็นสีแดงแทน เพื่อช่วยในการพิจารณา จึงมีการใส่ VBA สำหรับการเลือกดูระหว่างเครื่องจักรกับเวลา ในกรณีคำสั่งการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงสถานะการผลิตจากหน้าต่างสถานะการผลิตในรูปที่ 2 จะมีการวิเคราะห์ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการแทรกงาน และเลื่อนเวลาในการผลิตอื่นออกไป

3.5.2 คงคลังและการเก็บประวัติการผลิต

1. คงคลังสินค้าสำเร็จรูปและคลังวัตถุดิบ

คงคลังสินค้าสำเร็จรูป จะทำการเก็บข้อมูลสินค้าที่เข้าออกในคลังจะมีการเชื่อมไปยังฟังก์ชันการเสนอขาย ทำให้สะดวกต่อการตัดสินใจ และมีการเชื่อมกับส่วนวางแผนการผลิตหลัก เพื่อวางแผนในการสต๊อกสินค้า ในส่วนคลังวัตถุดิบ จะทำการเก็บข้อมูลขนาดของวัตถุดิบที่มีอยู่ในคลัง เพราะมักมีวัตถุดิบเหลือจากงานตัดที่เหลือทิ้งเผื่อนำกลับมาใช้ได้

2. ระบบวางแผนการผลิตหลัก

เพื่อให้สามารถตรวจสอบแนวทางในผลิตสินค้า จึงมีการทำตารางการแผนการผลิต ให้สามารถควบคุมปริมาณสินค้าที่ต้องผลิตให้สอดคล้องกับเวลาที่ลูกค้าต้องการสินค้าขึ้นมาโดยจะนำข้อมูลของคลังสินค้า และสถานะการผลิตจากรูปที่3 มาคำนวณวันที่ลูกค้าต้องการเทียบกับสินค้าที่มีในคงคลัง

3. ระบบบันทึกรายการที่ผลิตไปแล้ว โดยจะบันทึกข้อมูลที่มีการทำการผลิตไปแล้ว จากแนวโน้มต่าง ๆ นำมาพยากรณ์ หรือนำมาวิเคราะห์แนวโน้มในอนาคตได้

3.5.3 ส่วนของการรายงาน (Report)

1. การเงิน (Cash Flow) ช่วยในการควบคุมงบประมาณขององค์กรและรายรับรายจ่ายต่อเดือน

2. แนวโน้มจากการขายสินค้า ช่วยในการควบคุมการผลิตสินค้าจึงทำการออกแบบระบบให้ตรวจสอบจากยอดสั่งสินค้านั้น

3. รายงานประสิทธิภาพของการผลิต เพื่อไม่ให้ประสิทธิภาพของการผลิตลดลง จึงทำรายงานประสิทธิภาพ คอยควบคุมการผลิต เมื่อประสิทธิภาพมีลดลง จะได้แก้ไขได้เร็วขึ้น

3.6 หลักการทำงานของโปรแกรม

จากผังงาน (Flowchart) ระบบการวางแผนการผลิตสามารถอธิบายขั้นตอนได้ดังรูปที่ 5

3.6.1 ฝ่ายขาย รับคำสั่งซื้อมาจากลูกค้าและส่งข้อมูลสินค้าไปให้ฝ่ายวางแผน โดยฝ่ายวางแผนจะทำการตรวจสอบข้อมูลของสินค้า

3.6.2 ฝ่ายวางแผน จะทำการผลิตสินค้าต้นแบบเพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ ราคาขาย และเวลาที่ใช้ในการผลิตเพื่อเก็บข้อมูลสินค้า

3.6.3 ฝ่ายจัดซื้อ ทำการติดต่อกับบริษัทผู้จำหน่ายวัตถุดิบเพื่อขอใบเสนอราคา ชำระค่าวัตถุดิบ และจะทำการตรวจสอบรายการวัตถุดิบ

3.6.4 ฝ่ายวางแผน ทำการประมวลผลตารางเวลาของงานต่าง ๆ ก่อนทำตารางการผลิตหลัก เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่ได้รับคำสั่งซื้อแล้วทำการเบิกวัตถุดิบ “ยืนยัน” วันที่ทำการผลิตเสร็จ

3.6.5 ฝ่ายขาย ทำใบเสนอราคาให้ลูกค้า

3.6.6 ฝ่ายวางแผน ทำการผลิตสินค้าตามคำสั่งซื้อ และจัดทำเอกสารข้อมูล ประสิทธิภาพและเวลาในการผลิต เมื่อทำการผลิตตามคำสั่งซื้อเรียบร้อย จะส่งสินค้าไปยังคงคลังเพื่อรอจำหน่าย

3.6.7 ฝ่ายวางแผน ส่งข้อมูลการผลิต ไปยัง “ ฐานข้อมูลการผลิต

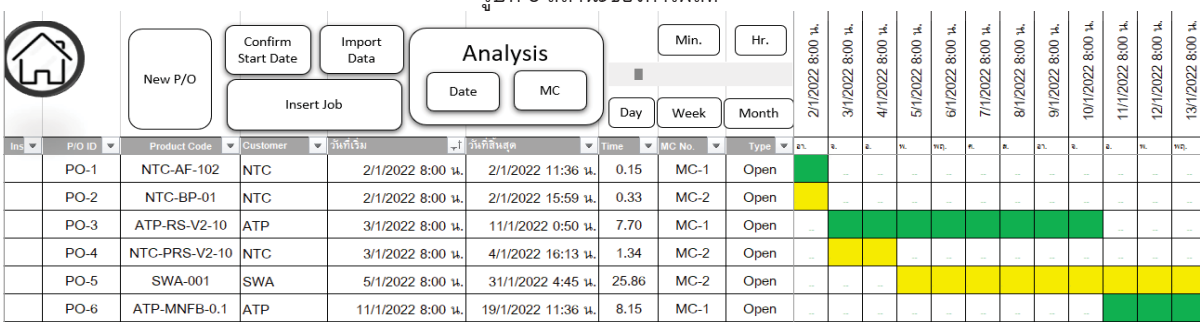
3.6.8 ฝ่ายจัดส่ง ทำการแพ็คเกจสินค้าเพื่อส่งไปให้ลูกค้า

3.6.9 ฝ่ายจัดส่ง ส่งข้อมูลการจัดส่งสินค้าไปยัง “ฐานข้อมูลคำสั่งซื้อสินค้า”



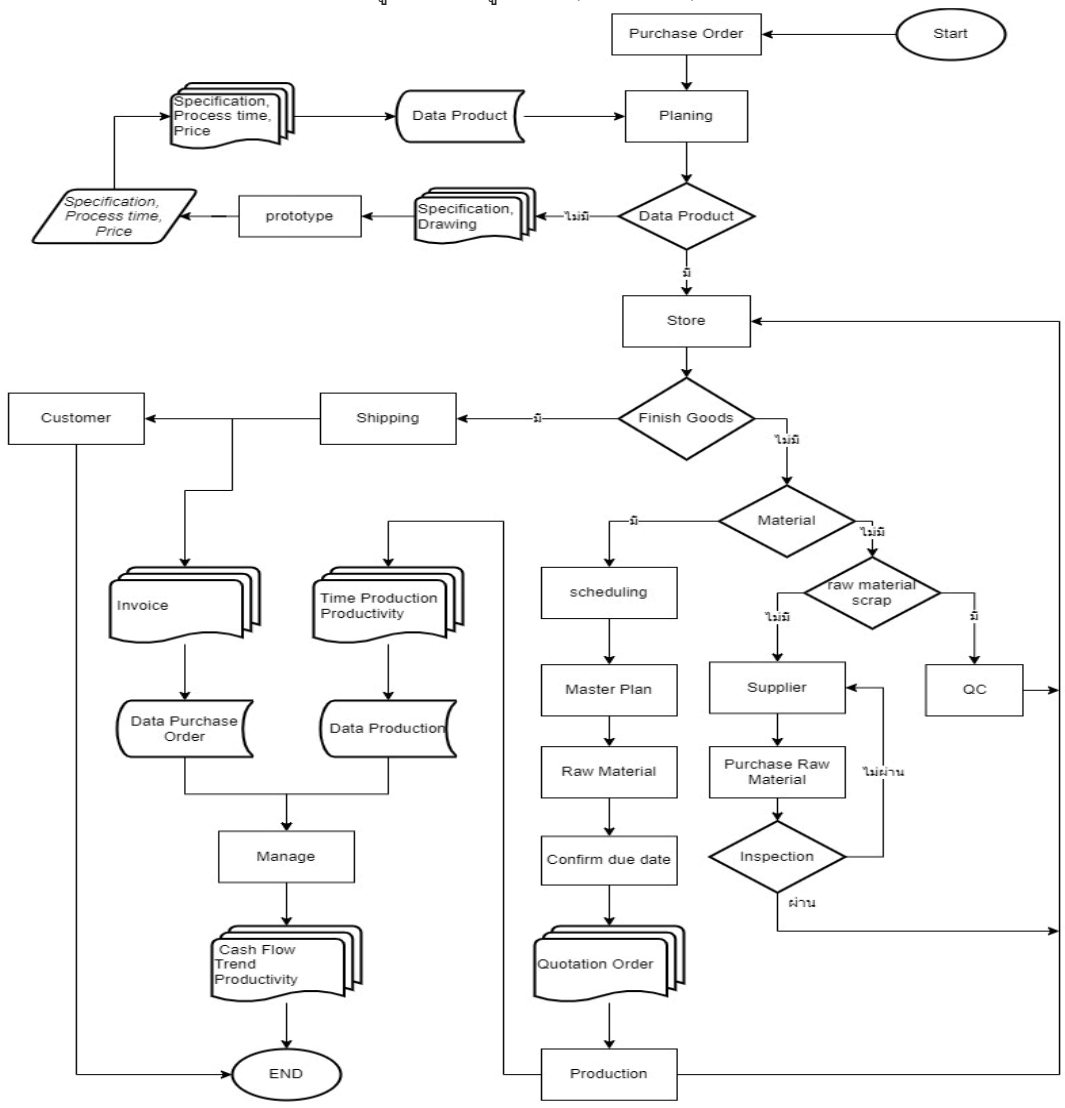
P/O No	Product Code	Product Description	Col	Status	Qty.	Material	Unit Price(Ba	Net Price	Discount ($	Price (Baht	Start Date	Finish Date	Need date
PO-1	NTC-AF-102	Adapter Fender 102mm	Black	Deliveried	20.00	AA6061	฿750.00	฿15,000.00	0.00%	฿15,000.00	2/01/2565	2/01/2565	7/01/2565
PO-2	NTC-BP-01	BrakePedal	Gold	Deliveried	9.00	AA6061	฿1,000.00	฿9,000.00	0.00%	฿9,000.00	2/01/2565	2/01/2565	7/01/2565
PO-3	ATP-RS-V2-10	Riser V.2 10" CFM	Raw	Deliveried	30.00	AA6061	฿9,500.00	฿285,000.00	0.00%	฿285,000.00	2/01/2565	10/01/2565	15/01/2565
PO-4	NTC-PRS-V2-10	Pull Back Riser-NTC V.2	Gold	Deliveried	5.00	AA6061	฿13,500.00	฿67,500.00	0.00%	฿67,500.00	2/01/2565	3/01/2565	5/01/2565
PO-5	SWA-001	SwingArm	Raw	Deliveried	10.00	AA6061	฿45,000.00	฿450,000.00	0.00%	฿450,000.00	14/01/2565	31/01/2565	6/02/2565

รูปที่ 3 สถานะของการผลิต



Ins	P/O ID	Product Code	Customer	วันที่เริ่ม	วันที่สิ้นสุด	Time	MC No.	Type
	PO-1	NTC-AF-102	NTC	2/1/2022 8:00 น.	2/1/2022 11:36 น.	0.15	MC-1	Open
	PO-2	NTC-BP-01	NTC	2/1/2022 8:00 น.	2/1/2022 15:59 น.	0.33	MC-2	Open
	PO-3	ATP-RS-V2-10	ATP	3/1/2022 8:00 น.	11/1/2022 0:50 น.	7.70	MC-1	Open
	PO-4	NTC-PRS-V2-10	NTC	3/1/2022 8:00 น.	4/1/2022 16:13 น.	1.34	MC-2	Open
	PO-5	SWA-001	SWA	5/1/2022 8:00 น.	31/1/2022 4:45 น.	25.86	MC-2	Open
	PO-6	ATP-MNFB-0.1	ATP	11/1/2022 8:00 น.	19/1/2022 11:36 น.	8.15	MC-1	Open

รูปที่ 4 แผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart)



รูปที่ 5 กระบวนการทำงานของโปรแกรม

4.ผลการดำเนินการวิจัย

หลังจากนำโปรแกรมมาประยุกต์ใช้ในองค์กร พบว่ามีงานที่สามารถส่งได้ก่อนกำหนด และจำนวนวันที่เสร็จก่อนกำหนดมีมากขึ้น ตามตารางที่ 4 ผลการศึกษาพบว่ามีงานที่ส่งมอบได้ทันอยู่ 75% และส่งมอบไม่ทันอยู่ที่ 25% ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 6 ข้อมูลการส่งมอบสินค้าหลังจากใช้โปรแกรม ในเดือนม.ค-มี.ค 2565

ลำดับ	Product	เริ่มวันที่	วันที่เสร็จ	Need Date	+ Ok
1	NTC-AF-102	2 Jan 22	2 Jan 22	7 Jan 22	4.52
2	NTC-BP-01	2 Jan 22	2 Jan 22	7 Jan 22	4.33
3	ATP-RS-V2-10	2 Jan 22	10 Jan 22	15 Jan 22	4.97
4	NTC-PRS-V2-10	2 Jan 22	3 Jan 22	5 Jan 22	1.32
5	SWA-001	14 Jan 22	31 Jan 22	6 Feb 22	5.80
6	ATP-MNFB-0.1	15 Jan 22	19 Jan 22	30 Jan 22	10.52
7	ATP-MNFB-0.1	20 Jan 22	24 Jan 22	30 Jan 22	5.52
8	ATP-MNFB-0.1	25 Jan 22	29 Jan 22	30 Jan 22	0.85
9	ATP-MNFB-0.1	30 Jan 22	3 Feb 22	30 Jan 22	-4.15
10	NTC-MNFB-V2	2 Feb 22	3 Feb 22	12 Feb 22	8.09
11	NTC-MNFB-V2	4 Feb 22	5 Feb 22	12 Feb 22	6.09
12	NTC-MNFB-V2	4 Feb 22	5 Feb 22	12 Feb 22	6.09
13	SWA-001	6 Feb 22	11 Feb 22	7 Feb 22	-4.39
14	NTC-AF-102	12 Feb 22	12 Feb 22	11 Feb 22	-1.82
15	NTC-FB-V2	13 Feb 22	15 Feb 22	14 Feb 22	-1.76
16	NTC-FB-V2	13 Feb 22	16 Feb 22	14 Feb 22	-2.24
17	ATP-FP-01	20 Feb 22	21 Feb 22	24 Feb 22	2.02
18	NTC-FB-V2	20 Feb 22	27 Feb 22	2 Mar 22	2.40
19	ATP-MNFB-0.1	22 Feb 22	23 Feb 22	1 Mar 22	5.42
20	ATP-RS-V2-10	24 Feb 22	1 Mar 22	1 Mar 22	0.47

ตารางที่ 7 ข้อมูลการส่งมอบสินค้าหลังจากใช้โปรแกรม ในเดือนม.ค-มี.ค 2565

รายการที่ส่งมอบไม่ทัน	รายการที่ส่งมอบทัน	รวมรายการ
5.00	15.00	20.00
25%	75%	100%

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างตารางที่ 2 และ 7 พบว่าสามารถส่งมอบงานได้ทันกำหนดการเพิ่มมากขึ้น 60% หรือ 12 รายการ

5. สรุปผลการวิจัย

จากการรวบรวมข้อมูลลักษณะการทำงานขององค์กรกรณีศึกษาได้ทำการหาสาเหตุและนำมาวิเคราะห์จนได้ข้อสรุปว่าองค์กรใช้การ การคาดคะเนและตัดสินใจโดยประสบการณ์การทำงานทำให้มีข้อผิดพลาดคลาดเคลื่อนอยู่มาก ผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบระบบการทำงานที่สอดคล้องและเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนจัดตารางการผลิตให้มากขึ้น โดยใช้ซอฟต์แวร์การบริหารทรัพยากร หรือ ERP ช่วยในการจัดตารางการผลิตและระบบการบริหาร ส่วนอื่น ๆ โดยใช้ฟังก์ชัน VBA ภายในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล ผลการศึกษาพบว่าสามารถช่วยคำนวณ พยากรณ์ และตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและจากเดิมมีเปอร์เซ็นต์การส่งมอบสินค้าล่าช้าจาก 85% เหลือเพียง 25% หรือการส่งมอบสินค้าล่าช้าจาก 17 รายการเหลือ 5 รายการ

6. ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโปรแกรม

1. พัฒนาในด้านการจัดการความไม่แน่นอน สามารถจัดการกับงานแทรกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. พัฒนาให้ส่วนของรูปแบบของโปรแกรม ให้เข้าใจง่าย ใช้งานง่ายมากขึ้น

3. พัฒนาให้ตัวโปรแกรมให้เข้าถึงได้ง่าย ในกลุ่มคนที่หลากหลายมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] อัญชลี แสนยากร. 2563. “การพัฒนาโปรแกรมจัดทำรายงานแสดงข้อมูลสินค้าคงคลัง กรณีศึกษา แผนกวัตถุดิบ บริษัท เอ็กซ์วาย แซด จำกัด”.วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม–ธันวาคม 2563

[2] กษิดิ์เดช สุวัช และพัชรพล จรดล. 2562. “ระบบสารสนเทศเพื่อการวางแผนทรัพยากรองค์กรในธุรกิจค้าวัสดุก่อสร้าง”. โครงงานที่ 26/2562 (วศบ.อุตสาหการ)

[3] มัทนา ลีลาธนาพิพัฒน์. 2555. “การศึกษาการนำระบบ ERP (Syteline7) มาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการบริหารทรัพยากรขององค์กร กรณีศึกษา บริษัทยา”. สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรมวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[4] Chan, Chih และ Rong. 2005. “การนำระบบ ERP ไปใช้กับบริษัท T Opto Electronics Co., Ltd.”

[5] Constantinos J. Stefanou. Published online: 18 Apr 2012. “ Organizational Key Success Factors for Implementing SCM/ ERP Systems to Support Decision Making” . Journal of Decision System, Volume 10 2001 - Issue 1.

[6] Samwel Matende and Patrick Ogao. 2013. “ Enterprise Resource Planning (ERP) System Implementation: A case for User participation”. Procedia Technology 9 (2013) 518-526.

[7] ธิปัตย์ โสตถิวรรณ์. 2560. “การวางแผนการจัดการโรงงานกล่องขนม สำหรับปริมาณการสั่งผลิตที่ไม่แน่นอนในแต่ละครั้ง”. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2560

[8] อัญชลี พริ้มพราย. 2552. “การวางแผนการผลิตเพื่อลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางปริก อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช”. วิชชา วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ปีที่ 28 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2552

การลดรอบเวลาในแผนก Fleece line โดยใช้แผนภูมิคน-เครื่องจักร กรณีศึกษา โรงงานผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่

Cycle time reduction in Fleece line department by using Man-machine chart A case study: Battery separator manufacturing company.

อารียา ศรีวงษ์[1] ปรียานุช แย้มจินดา[1*]
[1]สาขาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: Preeyanut.Y@fitm.kmutnb.ac.th*

Areeya Sriwong[1] Preeyanut Yamjinda[1*]
[1]Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
E-mail: Preeyanut.Y@fitm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยปัจจุบันอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดมีการแข่งขันเป็นอย่างมาก ผลจากกลไกตลาดที่ต้องแข่งขันตอบสนองความต้องการของลูกค้า ทำให้ความต้องการชิ้นส่วนแบตเตอรี่ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่มากขึ้นไปด้วยภายใต้ทรัพยากรที่มีจำกัด อาทิ เช่น ปัจจัยในการผลิตและเวลาในการผลิต เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดรอบเวลาในการทำงานของพนักงานในกระบวนการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ในแผนก Fleece line โดยประยุกต์ใช้หลักการศึกษาเวลาและการเคลื่อนไหว (Time and motion study) วิเคราะห์วิธีการทำงานด้วยแผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-machine chart) และปรับปรุงวิธีการทำงานของพนักงานด้วยหลักการ ECRS ใช้หลักสมดุลสายการผลิต (Line balancing) ช่วยกำหนดเป้าหมายในการลดรอบเวลาการทำงานของพนักงาน นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดวิธีการทำงานดังกล่าวให้เป็นมาตรฐานการทำงาน (Work Instruction) ผลการปรับปรุงพบว่า สามารถลดรอบเวลาการผลิตของพนักงานที่ประจำเครื่อง F1 จาก 238.00 นาที/รอบ ลดเหลือ 179.00 นาที/รอบ คิดเป็น 24.79%, เครื่อง F2 จาก 109.40 นาที/รอบ ลดเหลือ 92.40 นาที/รอบ คิดเป็น 15.54% และเครื่อง F3 จาก 186.40 นาที/รอบ ลดเหลือ 162.70 นาที/รอบ คิดเป็น 12.71% สามารถเพิ่มกำลังการผลิตรวมจากเดิม 157,685 เมตร/วัน เป็น 187,610 เมตร/วัน หรือ 18.97%

คำสำคัญ: กำลังการผลิต, แผนภูมิคน-เครื่องจักร, หลักการจัดสมดุลสายการผลิต, หลักการศึกษาเวลาและการเคลื่อนไหว

Abstract

Since the lead-acid battery industry is very tough competition because of effect from market machine to meet customer requirement, then it is resulting to have increasing demand of battery part under limited resources such as production factors and production time, etc. The objective of this research was to reduce cycle time in Fleece line department by applying the principle of time and motion study. Then working method was analyzed by man-machine charts and improve the method of employees work by ECRS. The principle of line balancing was used to set cycle time reduction target of employees. In addition, the researcher has set the such working method as a standard of work. The improvement results found that the production cycle time of employees at the F1 machine could reduce from 238.00 minutes/rev to 179.00 minutes/rev or 24.79%. F2 machine could reduce from 109.40 minutes/rev to 92.40 minutes/rev or 15.54% and F3 machine could reduce from186.40 minutes/rev to 162.70 minutes/rev or 12.71%. Consequently, total production capacity could be increased from 157,685 m/day to 187,610 m/day or 18.97%

Keywords: Capacity, Man-machine chart, Line balancing, Time and motion study.

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ในปัจจุบันมีการแข่งขันสูงตามกลไกตลาด เนื่องจากมีความต้องการของลูกค้ามากขึ้น ซึ่งอุตสาหกรรมแบตเตอรี่มีความต้องการชิ้นส่วนแบตเตอรี่มากขึ้นเช่นกัน บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตแผ่นกั้นของแบตเตอรี่เป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง จำเป็นจะต้องเพิ่มกำลังการผลิตในแผนก Fleece line โดยมีเครื่องจักร F1 F2 และ F3 เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว ภายใต้ทรัพยากรที่มีจำกัด เช่น ปัจจัยในการผลิตและเวลาในการผลิต เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาวิธีการทำงานของพนักงาน เพื่อลดรอบเวลาการทำงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแบตเตอรี่นำไปสู่เพิ่มกำลังการผลิต ภายใต้ปัจจัยด้านแรงงานและเวลาในการผลิตเท่าเดิม ภายหลังการปรับปรุงมีการกำหนดมาตรฐานการทำงานเพื่อให้พนักงานทำงานอย่างมีระบบแบบแผนและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีทางวิศวกรรมอุตสาหการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

2.1 แผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-machine chat) [1]

ใช้แสดงความสัมพันธ์ของการทำงานของพนักงานและเครื่องจักร เพื่อที่จะวิเคราะห์กิจกรรมที่ทำร่วมกันและแยกทำ เพื่อลดเวลาว่างของพนักงานและเครื่องจักรลง หรือเพิ่มผลิตภาพในการทำงาน

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ของแผนภูมิคน-เครื่องจักร

Symbol	Name	Description
	กิจกรรมร่วม	กิจกรรมที่พนักงานทำงานร่วมกับเครื่องจักรจึงไม่สามารถโยกย้ายอิสระได้
	กิจกรรมอิสระ	กิจกรรมแต่ละบุคคลหรือแต่ละเครื่องจักรทำงานเป็นอิสระแก่กัน
	การว่างงาน	เมื่อพนักงานหรือเครื่องจักรไม่มีกิจกรรม

แนวทางการวิเคราะห์

1. ทำการบันทึกเวลาของกิจกรรมแต่ละประเภทของพนักงานและเครื่องจักร
2. บันทึกลงบนแผนภูมิกิจกรรมร่วม
3. วิเคราะห์กิจกรรมต่าง ๆ อย่างละเอียด เพื่อศึกษาว่ากิจกรรมอิสระใดบ้างที่สามารถสลับเปลี่ยนหรือให้ลดการรอคอยของงานลง หรือลดขั้นตอนการทำงานบางอย่างลง
4. พัฒนาวิธีการทำงานใหม่
5. คำนวณหา % การทำงานของพนักงานและเครื่องจักร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การทำงาน} = \frac{\text{เวลาที่มีในการทำงาน}}{\text{รอบเวลาในการทำงาน}} \times 100 \qquad (1)$$

2.2 หลักการศึกษาเวลาและการเคลื่อนไหว (Time and Motion Study) [1]

การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา (Time and Motion Study) หรือการศึกษาการทำงาน (Work study) หมายถึง เทคนิคในการวิเคราะห์ขั้นตอนของการปฏิบัติงานเพื่อขจัดงานที่ไม่จำเป็นออก และสรรหาวิธีการทำงานซึ่งดีที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการปฏิบัติงานนั้น ๆ ทั้งนี้รวมถึงการปรับปรุงมาตรฐานของวิธีการทำงาน

ขอบเขตของการศึกษา

1. การพัฒนาวิธีการทำงานที่ดีกว่า: หรืออีกนัยหนึ่ง ก็คือ การออกแบบวิธีการทำงาน เพื่อนำเอาแรงงานละเครื่องจักรมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ เริ่มต้นตั้งแต่การศึกษาวัตถุประสงค์ไปจนถึงกระบวนการผลิตสินค้าสำเร็จรูป
2. การกำหนดเป็นมาตรฐาน: นำเอาวิธีการนั้นไปใช้ รวมทั้งกำหนดสภาพเงื่อนไขในการทำงาน เพื่อให้ได้มาตรฐานที่ตั้งไว้
3. การหาเวลามาตรฐาน: การทำงานมาตรฐานสำหรับพนักงานที่ได้รับการฝึกมาดีแล้ว ทำงานที่กำหนดด้วยความเร็วปกติ
4. การฝึกอบรมพนักงาน: ฝึกอบรมพนักงาน โดยใช้แผนภูมิต่าง ๆ หรือสาธิตด้วยกล้องภาพยนตร์

2.3 หลักการจัดสมดุลสายการผลิต (Line balancing) [2]

การจัดสมดุลสายการผลิต (Line balancing) เป็นกลยุทธ์ในการผลิตที่เกี่ยวข้องกับผู้ปฏิบัติงานและเครื่องจักรเพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการผลิตกับ Takt Time

2.3.1 หลักการของการจัดสมดุลสายการผลิต [2]

1. จัดกลุ่มงานย่อยให้เป็นสถานีทำงาน
2. พยายามทำให้เวลาแต่ละสถานีทำงานนั้นเท่ากัน หรือใกล้เคียงกัน
3. คำนึงถึงข้อจำกัด (Constraints) ได้แก่
   - ลำดับก่อนหลังของงานย่อย (Precedence)
   - สามารถผลิตได้ตามเป้าหมายตามรอบเวลา (Cycle Time)
   - ความแตกต่างของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรในการทำงานย่อย

2.3.2 รอบเวลาการทำงาน (Cycle time: C.T.) [3]

รอบเวลาการทำงาน เป็นเวลาที่ทีมเริ่มลงมือสร้างผลงานจนกระทั่งงานเสร็จพร้อมที่จะส่งมอบ (ไม่นับเวลาที่ใบงานรออยู่บน Board) ดังนั้น Cycle Time คือ เวลาที่เริ่มวัดตั้งแต่เมื่อใบงานถูกเลื่อนเข้าสู่ Working/Doing Column หรือมองง่าย ๆ ว่าเป็นค่าเฉลี่ยที่ทีมทำงานเสร็จ 1 งาน

$$\text{ผลผลิต} = \frac{\text{เวลาในการทำงานต่อวัน}}{\text{รอบเวลาในการทำงาน}} \qquad (2)$$

2.3.3 ความเร็วในการผลิต (Takt Time) [4]

ความเร็วในการผลิต (Takt Time : T/T) หมายถึง ความเร็วในการผลิต มีที่มาจากภาษาเยอรมัน แปลว่า จังหวะดนตรี ซึ่งเราใช้ความเร็ว

ในการผลิต(Takt Time) ในการกำหนดจังหวะการผลิตสินค้าต่อชิ้นให้เป็นไปตามจังหวะที่ลูกค้าต้องการ นั่นคือ พนักงานทุกคนต้องควบคุมจังหวะการผลิตสิ่งของในหนึ่งสถานีการผลิตให้นานไม่เกินเวลาที่กำหนดไว้

$$\text{Take time} = \frac{\text{เวลาทำงานปกติสุทธิในหนึ่งวัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ต้องการต่อวัน}} \quad (3)$$

2.4 หลักการ ECRS [1]

หลักการ ECRS เป็นหลักการที่ประกอบด้วยการกำจัด (Eliminate) การรวมกัน(Combine), การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการง่าย ๆ ที่สามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเปล่าหรือ MUDA ลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

E (Eliminate) คือ การพิจารณาการทำงานปัจจุบันและพยายามกำจัดความสูญเปล่าทั้ง 7 ประการที่พบออกไป คือการผลิตมากเกินไป การรอคอย การเคลื่อนที่หรือเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ การเก็บสินค้าที่มากเกินไป

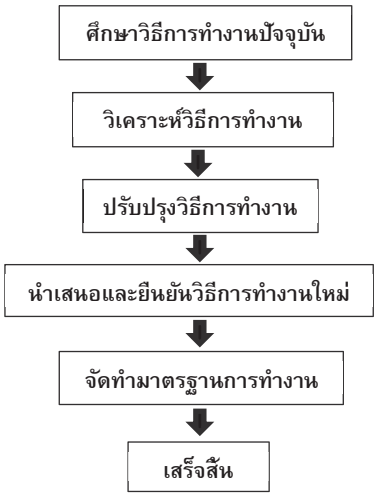
C (Combine) คือการพิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ เช่น จากเดิมเคยทำ 5 ขั้นตอนก็รวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกัน

R (Rearrange) คือ การจัดขั้นตอนการผลิต และบริการใหม่เพื่อให้ลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น หรือ การรอคอย เช่นในกระบวนการผลิตหากทำการสลับขั้นตอนที่ 2 กับ 3 โดยทำขั้นตอนที่ 3 ก่อน 2 จะทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ลดลง เป็นต้น

S (Simplify) คือ การจัดรูปแบบของเอกสารให้เข้าใจง่ายและสะดวกเหมาะสมกับการใช้งาน หรือเป็นการปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น

3. การดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานสามารถแบ่งได้ 5 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

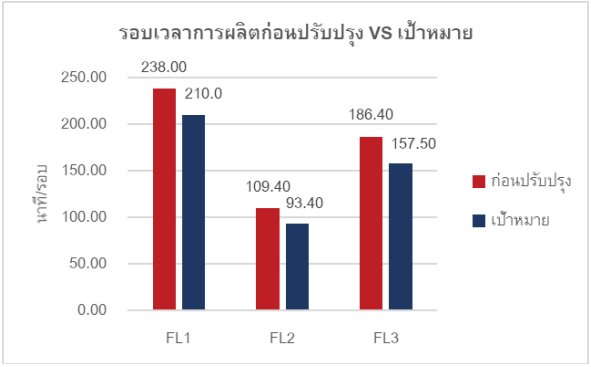
3.1 ศึกษาวิธีการทำงานปัจจุบัน

จากการศึกษาวิธีการทำงานในปัจจุบันของพนักงานโดยการใช้แผนภูมิคน-เครื่องจักร [7] ซึ่งจะทำให้เห็นเวลาว่างของเครื่องจักรโดยชัดเจน แสดงตัวอย่างที่บันทึกเวลาและวิธีการทำงานของพนักงานประจำเครื่อง F2 บนแผนภูมิคน-เครื่องจักรดังตารางที่ 3 โดยเลือกศึกษาพนักงานที่มีความชำนาญงานสูงที่ประจำแต่ละเครื่องจำนวน 5 คน ในการผลิตชิ้นส่วนแบตเตอรี่ประจำเครื่องจักรจำนวน 3 เครื่อง ศึกษาที่ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน คือ F Product 855 m โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการแรกถึงขั้นตอนสุดท้ายคือนำชิ้นงานไปจัดเก็บ พบว่ามีกิจกรรมการทำงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตทั้งหมด 21 รายการ โดยแต่ละรอบมีกิจกรรมทำงานไม่เท่ากัน มีจำนวน Output ของผลิตภัณฑ์และ Standard speed ของแต่ละเครื่องจักรไม่เท่ากัน แต่มีการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่องเท่ากันจำนวน 7 ม้วน/กล่อง ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลการศึกษาวิธีการทำงานปัจจุบัน

Mc	Output (ม้วน/ครั้ง)	Mc Std. Speed (m/min)	จำนวนพนักงานประจำเครื่อง (คน)	รอบเวลาการผลิตก่อนปรับปรุง (นาที/รอบ)	กำลังการผลิตก่อนปรับปรุง (เมตร/วัน)
F1	1	50	1	238.00	31,284
F2	4	30	2	109.40	79,655
F3	2	30	2	186.40	46,746
				Total	157,685

เป้าหมายในการลดรอบเวลาในการทำงานของพนักงานซึ่งกำหนดจากความต้องการของลูกค้า [4] ซึ่งต้องการกำลังการผลิตรวมเพิ่มขึ้น 16.04% ต่อวัน จึงกำหนดเป้าหมายการลดรอบเวลาการทำงานของพนักงานประจำเครื่อง 3 เครื่องขั้นต้นเครื่องละ 16.04% ดังแสดงกราฟข้อมูลรอบเวลาการผลิตก่อนปรับปรุงเปรียบเทียบกับรอบเวลาเป้าหมายในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบรอบเวลาการผลิตก่อนปรับปรุงและเป้าหมาย

ตารางที่ 3 แผนภูมิคน-เครื่องจักรของพนักงาน F2 (ก่อนปรับปรุง)

แผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-machine Chart)							
เครื่องจักร : F2			แผนภูมิหมายเลข_2_แผ่นที่_1_				
แผนก : F Product			วิธีการ : วิธีปัจจุบัน / วิธีปรับปรุง				
ชื่อชิ้นงาน :			ความยาว :		ความกว้าง :		
			Operator :		Helper :		
ผู้บันทึก : อารียา ศรีวงษ์			บันทึกวันที่ :				
เวลารวม	Operator	เวลา	Helper	เวลา	เครื่องจักร F2	เวลา	
22.1	การเขียนเบิกงาน	6	การเตรียม GM ใส่รถเข็น	1	ว่าง	6	
			การเตรียม PE	5			
	คิดงาน	2.4	การบรรจุแกนคอร์	2.4	คอยเพื่อให้บรรจุแกนคอร์	2.4	
	ช่วยคนที่ 2	2	การต่อ PE	3.7	คอยเพื่อให้ต่อ PE	3.7	
	ว่าง	1.7					
	ช่วยคนที่ 2	8.2	การต่อ GM	8.2	คอยเพื่อให้ต่อ GM	8.2	
	การทำความสะอาดเครื่องจักร	1.8	ว่าง	1.8	คอยเพื่อให้ทำความสะอาด	1.8	
28	การตั้งฐานพาเลทใหม่	1.3	การเตรียม GM ใส่รถเข็น	1	Mc Run	28	
	การเขียน Log sheet	4	การสต็อกวัสดุแพ็คลัง	5			
	รอคอย	22.7	รอคอย	22			
8	ว่าง	0.7	การเตรียมเทปติดปลายม้วน	0.7	ว่าง	0.7	
	การนำ FR ลงพาเลท	3.9	ช่วย คนที่ 1	3.9	คอยเพื่อให้นำ FR ออก	3.9	
	การบรรจุแกนคอร์	2.4	ว่าง	3.4	คอยเพื่อให้บรรจุแกนคอร์	2.4	
3	รอคอย	3	รอคอย	3	Mc Run	3	
9.5	ช่วยคนที่ 2	2	การต่อ GM	8.2	คอยเพื่อให้ต่อ GM	8.2	
	ว่าง	5.7					
	การทำความสะอาดเครื่องจักร	1.8	ว่าง	1.3	คอยเพื่อให้ทำความสะอาด	1.3	
8	รอคอย	8	รอคอย	7.3	Mc Run	8	
			การเตรียมเทปติดปลายม้วน	0.7			
10.1	ช่วยคนที่ 2	3.9	การนำ FR ลงพาเลท	3.9	คอยเพื่อให้นำ FR ออก	3.9	
	การติด Label ที่ม้วน FR	2	ว่าง	2	ว่าง	6.2	
	การแพ็คลัง	4.2	ช่วยคนที่ 1	4.2			

ตารางที่ 4 สรุปสัดส่วนการทำงานแผนภูมิคน-เครื่องจักรของพนักงาน F2 (ก่อนปรับปรุง)

สัดส่วนการทำงาน	Operator	Helper	เครือง F2
เวลาว่าง	49.60	56.00	53.40
เวลาทำงาน	59.80	53.40	56.00
เวลาทั้งหมด	109.40	109.40	109.40
ร้อยละ	54.66%	48.81%	51.19%

3.2 วิเคราะห์วิธีการทำงาน

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และจำแนกกิจกรรมการทำงาน [1] จำนวน 21 รายการออก เป็น 3 กลุ่มเพื่อให้ง่ายต่อการปรับปรุงวิธีการทำงานบนแผนภูมิคน-เครื่องจักร [7] ด้วยหลักการ ECRS ในขั้นต่อไป ได้แก่

1. กิจกรรมที่เป็นการเตรียม เป็นงานอิสระของพนักงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร จำนวน 9 รายการ
2. กิจกรรมที่ทำร่วมกับเครื่องจักรโดยที่เครื่องจักรจำเป็นต้องหยุด จำนวน 5 รายการ
3. กิจกรรมที่เป็นการจัดเก็บ/บรรจุ/จัดทำประวัติงาน เป็นงานอิสระของพนักงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร จำนวน 7 รายการ

ตารางที่ 5 การแบ่งกลุ่มกิจกรรมการทำงาน

No.	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
1	การเขียนเบิกงาน	การบรรจุแกนคอร์	การแพ็คลัง
2	การเตรียม PE	การต่อ PE	การวัดงาน
3	การเตรียม GM	การต่อ GM	การเขียน Log sheet
4	การเตรียม GM ใส่รถเข็น	การนำ FR ลงพาเลท	การส่งตัวอย่างตรวจที่ห้อง QC
5	การตั้งฐานพาเลทใหม่	การทำความสะอาดเครื่องจักร	การติด Label ที่ม้วน FR
6	การเติมกาว		การเคลื่อนลังสินค้าไปเก็บ
7	การเตรียมเทปติดปลายม้วน		
8	การสต็อกวัสดุแพ็คลัง		
9	การเตรียมแกนคอร์		

3.3 ปรับปรุงวิธีการทำงาน

จากการวิเคราะห์วิธีการทำงานบนแผนภูมิคน-เครื่องจักร แล้วนั้นได้ทำการปรับปรุงวิธีการทำงานด้วยหลักการ ECRS [5] ดังนี้

1. C–Combine คือ การรวมงาน แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การรวมกิจกรรมหลักที่จำเป็นต้องทำในขณะเครื่องจักรหยุด

Mc	(1) การบรรจุแกนคอร์	(2) การต่อ PE	(3) การต่อ GM	(4) การเอา FR ลงพาเลท	(5) การทำความสะอาดเครื่องจักร
F1	√	√	√	√	√
F2	√	√	√	√	Combine (1), (2) หรือ (3)
F3	√	√	√	√	Combine (2) หรือ (3)

2) R–Rearrange คือ การสลับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน ปรับปรุงโดยการนำกิจกรรมกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 ทุกรายการย้ายไปทำในขณะที่เครื่องจักรทำงานทั้ง 3 เครื่อง

หลังจากการวิเคราะห์รวมทั้งปรับปรุงแล้วนั้น ผู้วิจัยได้มีการนำเสนอต่อหัวหน้างานของบริษัทกรณีศึกษา จากนั้นทำการจัดทำมาตรฐานในการปฏิบัติงาน (Work instruction)

4. ผลการดำเนินงาน

ผู้วิจัยสรุปผลการวิจัยออกเป็น 3 ประเด็น ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการปรับปรุงวิธีการทำงาน

ตารางที่ 7 แผนภูมิคน-เครื่องจักรของพนักงาน F2 (หลังปรับปรุง)

แผนภูมิคน-เครื่องจักร(Man-machine Chart)						
เครื่องจักร : F2			แผนภูมิหมายเลข_2_แผ่นที่_1_			
แผนก : F Product			วิธีการ : วิธีปัจจุบัน / *วิธีปรับปรุง*			
ชื่อชิ้นงาน :			ความยาว :		ความกว้าง :	
			Operator :		Helper :	
ผู้บันทึก : อารียา ศรีวงษ์			บันทึกวันที่ :			
เวลารวม	Operator	เวลา	Helper	เวลา	เครื่องจักร F2	เวลา
14.3	การเตรียม GM	1	การบรรจุแกนคอร์	2.4	คอยเพื่อให้บรรจุแกนคอร์	2.4
	การเขียนเบิกงาน	6	การต่อ GM	8.2	คอยเพื่อให้ต่อ GM	8.2
	การทำความสะอาดเครื่องจักร	1.8				
	การตั้งฐานพาเลทใหม่	1				
	ช่วยคนที่ 2	2	การต่อ PE	3.7	คอยเพื่อให้ต่อ PE	3.7
	เตรียม PE	5				
2.5			การเตรียม GMใส่รถเข็น	1	Mc Run	28
25.5	การเขียน Log sheet	4	การสต๊อกวัสดุแพ็คลัง	5		
	ทิดงาน	2.4	รอคอย	21.3		
	รอคอย	19.1				
			ตัดเทปไว้แปะ FR	0.7		
6.3	การนำ FR ลงพาเลท	3.9	ช่วยคนที่ 2	3.9	คอยเพื่อให้นำ FR ออก	3.9
	การบรรจุแกนคอร์	2.4	การเติมกาว	1	คอยเพื่อให้บรรจุแกนคอร์	2.4
			รอคอย	8.6		
17	การเขียน Log sheet	4			Mc Run	17
	การวัดงาน	3.2				
	รอคอย	9.8	การส่งตัวอย่างตรวจที่ห้อง Qc	1.3		
8	รอคอย	8	รอคอย	7.3	Mc Run	8
			ตัดเทปไว้แปะ FR	0.7		
3.9	ช่วยคนที่ 2	3.9	การนำ FR ลงพาเลท	3.9	คอยเพื่อให้นำ FR ออก	3.9

ตารางที่ 4 สรุปสัดส่วนการทำงานแผนภูมิคน-เครื่องจักรของพนักงาน F2 (หลังปรับปรุง)

สัดส่วนการทำงาน	Operator	Helper	เครื่อง F2
เวลาว่าง	48	48.7	36.4
เวลาทำงาน	44.4	43.7	56
เวลาทั้งหมด	92.4	92.4	92.4
ร้อยละ	48.1%	48.81%	60.61%

เนื่องจากกิจกรรมการทำงานในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 สามารถโยกย้ายได้และไม่จำเป็นต้องทำให้เสร็จภายในรอบเวลาการทำงานเดียวนั้น ผู้วิจัยจึงตัดบางกิจกรรมของพนักงานออกไป และกำหนดว่าสามารถทำให้แล้วเสร็จในรอบการทำงานถัดไปได้ จึงสนใจข้อมูลในตารางสรุปสัดส่วนการทำงานแผนภูมิคน-เครื่องจักรเพียงรอบเวลาทั้งหมดที่ลดลง

จากตัวอย่างการปรับปรุงบนแผนภูมิคน-เครื่องจักร ของพนักงาน F2 ในตารางที่ 3 และตารางที่ 7 นั้นทำให้ทราบว่าการปรับปรุงด้วย ECRS สามารถลดรอบเวลาได้จากเดิม 109.40 นาที/รอบ ลดลงเหลือ 92.40นาที/รอบ คิดเป็น 15.54%

4.1 รอบเวลาการผลิต

หลังจากปรับปรุงวิธีการทำงานของพนักงานที่ประจำเครื่องทั้ง 3 เครื่อง ผู้วิจัยสรุปรอบเวลาก่อนและหลังหลังปรับปรุงบนกราฟดังรูปที่ 3

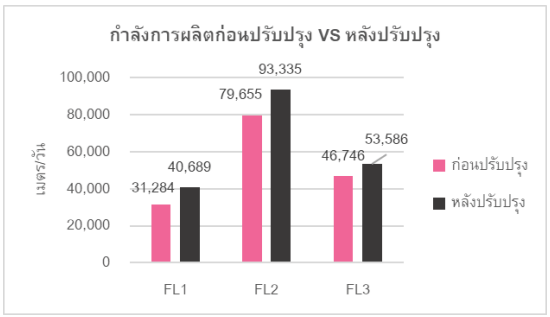


รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบรอบเวลาการผลิตก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

จากกราฟในรูปที่ 4 สรุปได้ว่า รอบเวลาการผลิตของพนักงานประจำเครื่อง F1 จาก 238.00 นาที/รอบ ลดเหลือ 179.00 นาที/รอบ คิดเป็น 24.97%, เครื่อง F2 จาก 109.40 นาที/รอบ ลดเหลือ 92.40 นาที/รอบ คิดเป็น 15.54% และเครื่อง F3 จาก 186.40 นาที/รอบ ลดเหลือ 162.70 นาที/รอบ คิดเป็น 12.71%

4.2 กำลังการผลิต

จากการปรับปรุงลดรอบเวลาในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแบตเตอรี่ของพนักงานให้น้อยลงนั้น ส่งผลทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตรวมจากเดิม 157,685 เมตร/วัน เพิ่มเป็น 187,610 เมตร/วัน หรือเพิ่มขึ้น



18.97% แสดงกำลังการผลิตก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของพนักงานที่ประจำเครื่องจักรแต่ละเครื่องดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบกำลังการผลิตก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

5. สรุป

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงการลดรอบเวลาการทำงานของพนักงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตรวมให้ทันต่อความต้องการลูกค้า จากเดิมรอบเวลาการผลิตของพนักงานประจำเครื่อง F1 จาก 238.00 นาที/รอบ ลดเหลือ 179.00 นาที/รอบ คิดเป็น 24.97%, เครื่อง F2 จาก 109.40 นาที/รอบ ลดเหลือ 92.40 นาที/รอบ คิดเป็น 15.54% และเครื่อง F3 จาก 186.40 นาที/รอบ ลดเหลือ 162.70 นาที/รอบ คิดเป็น 12.71% ส่งผลให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตรวมจากเดิม 157,685 เมตร/วัน เป็น 187,610 เมตร/วัน หรือ 18.97% ซึ่งทำได้ถึงเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้คือ 18%

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. เมื่อเครื่องหยุดควรมีสัญญาณเสียงเตือน เนื่องจากบางครั้งพนักงานไม่ทราบว่าเครื่องจักรหยุดหากไม่ได้สังเกตเครื่องจักรจะเกิดการรอคอยหรือเตือนเมื่องานมีปัญหาจะช่วยให้แก้ไขเครื่องจักรได้ไวลดเวลาการตัดและ Splicer ชิ้นงาน โดยอาจติด Alarm เข้ากับเซ็นเซอร์เมื่อเครื่องหยุดให้ส่งสัญญาณเสียง
2. ในการวิจัยนี้ควรมีการอบรมพนักงานเพื่อชี้แจงถึงข้อที่ควรปฏิบัติเพื่อให้ทราบถึงความสำคัญของการปรับปรุงในครั้งนี้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยดี ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาโครงการสหกิจศึกษา และบุคลากรของบริษัทกรณีศึกษาทุกท่านที่อุปถัมภ์และให้คำแนะนำเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. การศึกษางานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป, 2552.
[2] การจัดสมดุลสายการผลิต. [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 25 กรกฎาคม 2564]. จาก : https://vidwahaha.blogspot.com/2019/03/line-balancing -plant-design-4.html.
[3] ปาวีณา เจริญธรรม. Lead Time และ Cycle Time คืออะไร และต่างกันอย่างไร. [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 25 กรกฎาคม 2564]. จาก : https://medium.com/@paweena.char.
[4] บริษัท กรีนเวิลด์ พับลิเคชั่น จำกัด. เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้วยการกำหนด TAKT TIME. [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 25 กรกฎาคม 2564]. จาก : https://www.mmthailand.com/-takt-time/.
[5] อัจฉรา ผ่องพิทยา. การปรับปรุงกระบวนการผลิตผ้าดิบโดยใช้หลักการ ECRS. วารสารวิทยาการจัดการปริทัศน์ สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี .ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 : มหาวิทยาลัยราชภัฏสมเด็จเจ้าพระยา, 2560.
[6] นพดล ศรีพุทธา และบุญสิน นาดอนดู่. การลดความสูญเปล่าในกระบวนการกลึงข้อต่อท่อโดยใช้เทคนิค ECRS. รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ.ครั้งที่ 11:มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล,2562
[7] วสันต์ โนชัย และอนิรุท ไชยจารุวณิช. การเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิตการฉีดขึ้นรูปพลาสติกป้ายสำหรับทำเครื่องหมายที่หูของปศุสัตว์. งานสัมมนาทางวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการอุตสาหกรรม. ครั้งที่ 2 : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2561.

การจัดสมดุลสายการผลิตกระบวนการผลิตประตูปิดฝากระโปรงท้ายรถยนต์ กรณีศึกษา: โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง

A Line Balancing of the Assembly Processes Case Study: An automotive parts factory

กฤตินนท์ วรรณสอน[1*] วรเมธ สุวรรณรัตน์[1] อาริสา สะโนนอก[1] ประจวบ กล่อมจิตร[1]
[1]สาขาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: Wannason_k@silpakorn.edu*

Kittinon Wannason[1*] Waramet Suwannarat[1] Arisa Sanonok[1] Prachuab Klomjit[1]
[1]Engineering Management, Department of Industrial Engineering and Management,
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: Wannason_k@silpakorn.edu*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา โดยอาศัยหลักการจัดสมดุลสายการผลิตและหลักการ ECRS เข้ามาช่วย จากการวิเคราะห์สาเหตุพบว่าโรงงานกรณีศึกษามีความต้องการของชิ้นส่วนยานยนต์เพิ่มขึ้น ได้แก่ ชิ้นส่วนฝากระโปรงท้ายฝั่งซ้ายและชิ้นส่วนฝากระโปรงท้ายฝั่งขวา จึงทำให้กำลังการผลิตที่มีอยู่ไม่เพียงพอและไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ทางโรงงานจึงมีการแก้ปัญหาโดยเปิดทำงานล่วงเวลาจำนวน 5 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเกินกว่าความจำเป็น ส่งผลให้เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการค่อนข้างสูงและเกิดค่าใช้จ่ายจำนวนมาก หลังจากการปรับปรุงพบว่าสายการผลิตมีความสมดุลมากขึ้น ส่งผลให้สายการผลิตฝากระโปรงท้ายฝั่งซ้ายและฝั่งขวามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจาก 75.39 เปอร์เซ็นต์ เป็น 94.55 เปอร์เซ็นต์ และจาก 74.03 เปอร์เซ็นต์ เป็น 92.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนั้นยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาลงได้จำนวน 41,002.5 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ: การจัดสมดุลสายการผลิต รอบเวลาการผลิต เวลาความต้องการของลูกค้า

Abstract

This research aims to optimize of line efficiency of case studies by relying on line balancing and ECRS principles. According to why-why analysis, factory has increased demand for automotive parts, including left-side and right-side package tray parts. As a result, the existing capacity is inadequate and the customer's need cannot be met. Therefore, the factory has solved the problem by working five hours of overtime per day, which exceeds the need. This results in relatively high process waste and a lot of costs. After improvement, the production lines were found to be more balanced. As a result, the efficiency of left and right side package tray are increased from 75.39 to 94.55 percentage and from 74.03 to 92.51 percentage, respectively. In addition, overtime costs can be reduced by 41,002.5 baht per month.

Keywords: Line Balancing, Cycle Time, Takt Time

1. บทนำ

เอเชียเป็นภูมิภาคหนึ่งที่จัดเป็นฐานการผลิตยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ เนื่องจากมีการผลิตรถยนต์มากกว่าครึ่งหนึ่งของปริมาณการผลิตทั่วโลก โดยมีฐานการผลิตที่สำคัญอย่างประเทศจีน ญี่ปุ่น เวียดนาม รวมทั้งประเทศไทย ซึ่งไทยเป็นประเทศที่มีการผลิตรถยนต์มากที่สุดเป็นอันดับ 1 ของอาเซียนและเป็นอันดับ 5 ของเอเชีย [1] ซึ่งเป็นฐานการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ขนาดใหญ่ที่สามารถรองรับและตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมยานยนต์ได้อย่างเพียงพอ จึงกล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์นับเป็นฟันเฟืองสำคัญที่ช่วยขับเคลื่อนอุตสาหกรรมยานยนต์ให้ประสบความสำเร็จได้ แม้ว่าในช่วงปี 2563 ที่ผ่านมาอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทยมีแนวโน้มหดตัวลงจากภาวะเศรษฐกิจถดถอยทั่วโลก แต่มีการคาดการณ์ว่าในปี 2565 ถึงปี 2567 การผลิตรถยนต์ของไทยมีแนวโน้มขยายตัวเฉลี่ย 4-6% ต่อปี ซึ่งจะส่งผลให้อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ทยอยฟื้นตัวไปในทิศทางเดียวกันกับอุตสาหกรรมยานยนต์ตามภาวะเศรษฐกิจ และช่วยหนุนผลประกอบการของอุตสาหกรรมให้กระเตื้องขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป [2]

จากการศึกษาโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งซึ่งเป็นกรณีศึกษา เบื้องต้นพบว่าชิ้นส่วน Body ตัวถังรถยนต์ คือ ชิ้นส่วนประกอบกับประตูปิดฝากระโปรงท้าย ซึ่งถือเป็นชิ้นส่วน Safety มีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสอดคล้องกับแนวโน้มการฟื้นตัวของอุตสาหกรรมยานยนต์ จากการพยากรณ์พบว่าในเดือนธันวาคม ปี 2564 มียอดคำสั่งซื้ออยู่ที่ 1,180 ชิ้นต่อเดือนต่อข้าง และในเดือนมกราคม ปี 2565 มียอดสั่งซื้ออยู่ที่ 2,420 ชิ้นต่อเดือนต่อข้าง ในขณะที่โรงงานกรณีศึกษามีลักษณะสายการผลิตเป็นการผลิตแบบเป็นงวด (Batch) ที่มีกระบวนการผลิตเพียง 1 กะ ซึ่งทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวันเท่านั้น จึงไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่ทยอยเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากขาดการบริหารจัดการทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพ กอปรกับจำนวนพนักงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ทางโรงงานจึงมีนโยบายให้พนักงานทำงานล่วงเวลาอยู่ที่ 5 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งพบว่าการทำงานล่วงเวลาก่อให้เกิดต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้นกว่า 2 เท่า ผู้บริหารของโรงงานจึงต้องการมุ่งเน้นการจัดการการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อเตรียมความพร้อมด้านกำลังการผลิตเพื่อรองรับต่อความต้องการที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตควบคู่ไปกับการจัดการต้นทุนด้านการผลิตให้ลดลง

ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงเป็นการเสนอแนวทางการแก้ปัญหาโดยการประยุกต์ใช้การจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตร่วมกับหลักการปรับปรุงขั้นตอนงาน (ECRS) ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนในการผลิตลดลงและมีการจัดการทรัพยากรอย่างเกิดประโยชน์สูงสุด

วัตถุประสงค์

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตบริษัทกรณีศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing)

การจัดสมดุลสายการผลิต เป็นการจัดงานให้กับสถานีงานที่มีการผลิตแบบต่อเนื่องกันให้มีจำนวนสถานีงาน (Work Station) หรือจำนวนพนักงานต่ำที่สุดตามรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) ที่กำหนดให้ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดขั้นตอนบางขั้นตอน หรือจำนวนสถานีงานที่ไม่จำเป็น หรือผนวกรวมขั้นตอน/สถานีงานอื่นที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งจะส่งผลให้สายการผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้การจัดสมดุลสายการผลิตจะต้องจัดสรรปริมาณงานให้พนักงานในสายการผลิตมีเวลาว่างงานน้อยที่สุดเพื่อลดเวลาว่างงาน (Idle Time) อันเกิดจากกระบวนการคอขวด (Bottleneck process) [3]

หลักการจัดสมดุลสายการผลิตประกอบด้วย 5 ขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ 1) กำหนดและแบ่งงานก่อนหลังของงานย่อยแต่ละงาน 2) กำหนดความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานย่อยแต่ละงาน 3) คำนวณหาจำนวนต่ำสุดของสถานีงาน 4) กำหนดงานย่อยที่ต้องทำให้กับสถานีงาน และ 5) คำนวณหาประสิทธิภาพของสายการผลิตที่ได้ ในการจัดสมดุลสายการผลิตมีปัจจัยสำคัญดังนี้

รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) คือ เวลาสูงสุดที่กำหนดให้พนักงานแต่ละคนในการทำงาน หรือหมายถึงเวลาที่ผลิตภัณฑ์ออกจากสายการผลิต 1 หน่วย ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (1) [4]

$$\text{รอบเวลาการผลิต} = \frac{\text{เวลาในการทำงานต่อวัน}}{\text{ผลิตผลที่ต้องการต่อวัน}} \quad (1)$$

เวลาความต้องการของลูกค้า (Takt Time) จะเป็นตัวกำหนดเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$\text{เวลาความต้องการของลูกค้า} = \frac{\text{เวลาทำงานปกติสุทธิ}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ต้องการ}} \quad (2)$$

ประสิทธิภาพสายการผลิต (Line Efficiency) เป็นดัชนีชี้วัดความสามารถของการจัดงานลงในสถานีงาน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3) [4]

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{N} T_i \times 100}{N \times CT} \quad (3)$$

โดยที่ E คือ ประสิทธิภาพสายการผลิต
T_i คือ เวลาทำงานของสถานีที่ i
N คือ จำนวนสถานีงาน
CT คือ รอบเวลาการผลิต

2.2 หลักการ ECRS

ECRS เป็นแนวคิดในการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพ กำจัดงานที่ไม่จำเป็นต้องทำ หรืออาจเปลี่ยนวิธีการทำงานแล้วเกิดผลลัพธ์ที่ดีขึ้นกว่าเดิม หลักการ ECRS ประกอบไปด้วย Eliminate (E) คือ การตัดหรือกำจัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นออก Combine (C) คือการรวบรวมการทำงานเข้าด้วยกันเพื่อประหยัดเวลาหรือแรงงานในการทำงาน Rearrange (R) คือการจัดลำดับการทำงาน

ใหม่ให้เหมาะสม และ Simplify (S) คือการปรับปรุงการทำงานให้ง่ายขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกต่อพนักงาน [5]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นพมณี วัฒนสังสุทธิ์ และวรพจน์ มีถม (2564) [6] ได้ทำการศึกษาชิ้นงาน BRACE-FR PLR UPR HINGE ในสายการผลิต H ของบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง โดยประยุกต์ใช้หลักการจัดสมดุลสายการผลิตและหลักการ ECRS ร่วมกับหลักการเศรษฐศาสตร์การเคลื่อนไหว เพื่อลดเวลาในการติดตั้งแม่พิมพ์และเพิ่มปริมาณการผลิตต่อหน่วยเวลา ในการศึกษาพบว่ามีการออกแบบวิธีการทำงานใหม่ในกระบวนการติดตั้งแม่พิมพ์และมีการสร้างอุปกรณ์ขนถ่ายเศษชิ้นงานในขั้นตอนที่ 2 เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับพนักงานประจำสถานี ซึ่งในการออกแบบจะคำนึงถึงการเคลื่อนไหวของพนักงานเป็นหลักเพื่อลดความเมื่อยล้าให้กับพนักงานอีกด้วย หลังจากการปรับปรุงทำให้กระบวนการติดตั้งแม่พิมพ์มีเวลาลดลงจาก 8.18 นาที เป็น 5.51 นาทีต่อครั้ง คิดเป็น 32.64 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณการผลิตต่อหน่วยเวลาเพิ่มขึ้นจาก 442 ชิ้นต่อชั่วโมง เป็น 474 ชิ้นต่อชั่วโมง ซึ่งคิดเป็น 12.32 เปอร์เซ็นต์

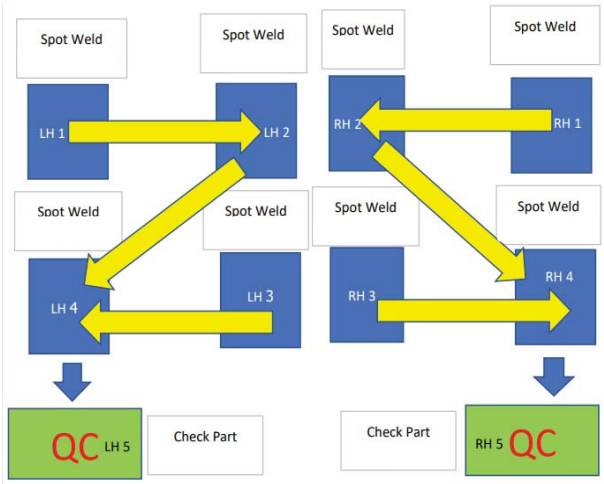
วรินทร์ เกียรตินุกูล (2561) [4] ได้ศึกษาการจัดสมดุลสายการผลิตกระบวนการประกอบโครงอลูมิเนียมของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันตามเวลาที่กำหนด ซึ่งบริษัทกรณีศึกษาพบปัญหาในสถานีงาน CNC (สถานีงานที่ 3) คือใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องนาน และสถานีงานการประกอบ (สถานีงานที่ 4) มีการคัดแยกเส้นอลูมิเนียมเป็นเวลานาน ส่งผลให้สายการผลิตเกิดความล่าช้า จึงมีการออกแบบตัวจับยึดที่เหมาะสมให้กับสถานีงานที่ 3 และออกแบบรถเข็นช่วยลำเลียงและคัดแยกประเภทโครงอลูมิเนียมให้กับสถานีงานที่ 4 โดยอาศัยหลักการ ECRS ร่วมด้วย จากการปรับปรุงพบว่าจำนวนสถานีงานลดลงจาก 6 สถานี เหลือ 4 สถานี รอบเวลาในการผลิตลดลง 32.18 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 46.45 เปอร์เซ็นต์ เป็น 84.32 เปอร์เซ็นต์ ความแปรปรวนของภาระงานลดลง 82.26 เปอร์เซ็นต์ และความเท่าเทียมในการกระจายงานลดลงจาก 70.17 เป็น 16.08

ธัชณนท์ ธนภัทร และชาณิดา (2560) [7] ได้ทำการลดจำนวนสินค้าที่ผลิตไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า ลดปัญหาคอขวด และลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตปลาแซลมอนแช่แข็งของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง โดยใช้หลักการศึกษาการทำงานและหลักการจัดสมดุลสายการผลิต นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS เข้ามาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตร่วมด้วย ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดขั้นตอนในการผลิตจาก 31 ขั้นตอน เป็น 30 ขั้นตอน ระยะทางโดยรวมของกระบวนการลดลง 14.74 เปอร์เซ็นต์ของระยะทางเดิม รอบเวลาการผลิตลดลง 3.23 เปอร์เซ็นต์ และมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 8.63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้บริษัทมียอดขายเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มต่อปีจากกระบวนการผลิตทั้งสิ้น 45,906,117 บาท

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สภาพปัจจุบัน

โรงงานกรณีศึกษาเป็นธุรกิจผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ คือ ชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนประกอบกับประตูปิดฝากระโปรงท้าย มีลักษณะกระบวนการผลิตเป็นแบบ Spot Welding โดยจะนำชิ้นส่วนมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน และโรงงานมีเวลาการทำงานจำนวน 5 วันต่อสัปดาห์ วันละ 7 ชั่วโมง ซึ่งเพียงพอต่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้าในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 ที่มีปริมาณความต้องการลดน้อยลง ในกระบวนการมีพนักงานทั้งหมดจำนวน 5 คน รับผิดชอบการผลิตทั้งชิ้นส่วนทางฝั่งซ้ายและชิ้นส่วนทางฝั่งขวา และมีความต้องการเป้าหมายในการผลิตต่อวัน เท่ากับ 1,000 ชิ้นของการผลิตทั้งสองข้างโดยกระบวนการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สายการผลิตชิ้นส่วนฝากระโปรงท้ายฝั่งซ้ายและฝั่งขวา

แต่ในปัจจุบันเศรษฐกิจต่างทยอยฟื้นตัวขึ้นเป็นผลให้อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์มีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการพยากรณ์ความต้องการล่วงหน้าพบว่าโรงงานต้องทำการผลิตชิ้นส่วนเฉลี่ยจำนวน 500 ชิ้นต่อข้างต่อวัน ซึ่งโรงงานไม่สามารถผลิตสินค้าได้เพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้ต้องมีการทำงานล่วงเวลาวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน รวมเป็นเวลาการทำงานทั้งสิ้น 12 ชั่วโมงต่อวัน จึงจะเพียงพอต่อเป้าหมายในการผลิตที่ต้องการ

3.2 การคำนวณหาเวลามาตรฐาน

$$Std.Time = NT(1 + A) \quad (4)$$

โดยที่ NT คือ เวลาปกติ
A คือ เวลาเผื่อสำหรับบุคคล = 5%

สำหรับการคำนวณหาค่าเวลามาตรฐานตามสมการที่ (4) [8] ของกระบวนการย่อย โดยอ้างอิงค่าเผื่อเวลาลดหย่อนและค่าปรับความเร็วสำหรับการทำงานตามความต้องการของบริษัท ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลามาตรฐานการทำงานกระบวนการผลิตประตูปิดฝากระโปรงท้าย

ผลิตภัณฑ์	สถานีงาน	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ค่าปรับความเร็ว	ค่าเผื่อเวลาลดหย่อน	เวลาปกติ (วินาที)	เวลามาตรฐาน (วินาที)
ฝากระโปรงท้ายฝั่งซ้าย (LH)	Sub component 1	33.0	95%	0.05	31.35	31.40
	Sub component 2	31.2	95%	0.05	29.64	29.69
	Sub component 3	19.8	95%	0.05	18.81	18.86
	Sub component 4	41.4	95%	0.05	39.33	39.38
	Quality gate LH	30.6	95%	0.05	29.07	29.12
ฝากระโปรงท้ายฝั่งขวา (RH)	Sub component 1	33.6	95%	0.05	31.92	31.97
	Sub component 2	31.8	95%	0.05	30.21	30.26
	Sub component 3	18.0	95%	0.05	17.1	17.15
	Sub component 4	42.0	95%	0.05	39.9	39.95
	Quality gate RH	30.0	95%	0.05	28.5	28.55

3.3 การคำนวณอัตราความต้องการของลูกค้า

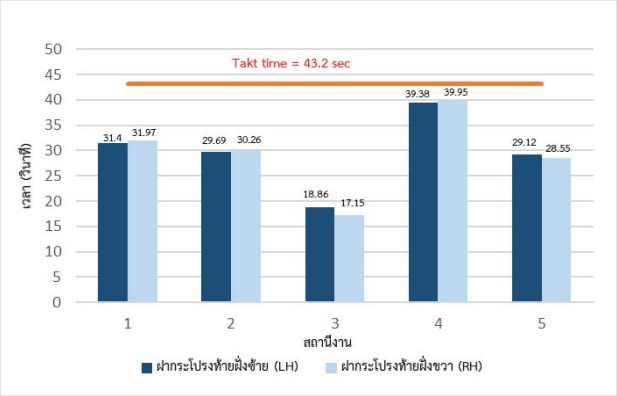
- เวลาที่ใช้ในการผลิตต่อหนึ่งวัน = 12 ชั่วโมง
- ปริมาณความต้องการของลูกค้าในหนึ่งวัน = 500 ชิ้น/ข้าง/วัน

ในกรณีศึกษามีการผลิตสินค้า 2 ข้าง คือ ฝากระโปรงท้ายฝั่งซ้ายและฝากระโปรงท้ายฝั่งขวา

- ปริมาณความต้องการของลูกค้าทั้งหมด = 1000 ชิ้น/วัน

ดังนั้น อัตราความต้องการของลูกค้า $= \frac{12\times60\times60}{1000} = 43.2$ วินาทีต่อชิ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลามาตรฐานในการทำงานกับอัตราความต้องการของลูกค้าดังรูปที่ 2 พบว่าเมื่อมีการทำงานล่วงเวลาวันละ 5 ชั่วโมงทำให้ทุกสถานีงานมีเวลามาตรฐานต่ำกว่าอัตราความต้องการของลูกค้า และมีปริมาณงานในแต่ละสถานีไม่สมดุลกัน ผู้วิจัยจึงดำเนินการหาแนวทางปรับปรุงเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว



รูปที่ 2 เปรียบเทียบเวลามาตรฐานกับอัตราความต้องการของลูกค้าก่อนปรับปรุง

สามารถคำนวณประสิทธิภาพสายการผลิตก่อนปรับปรุง ได้ดังนี้

$$E_{LH} = \frac{148.45\times100}{5\times39.38} = 75.39\%$$

$$E_{RH} = \frac{147.88\times100}{5\times39.95} = 74.03\%$$

3.4 การวิเคราะห์สาเหตุ

จากการศึกษาโรงงานกรณีตัวอย่างโดยผู้ปฏิบัติงานอยู่จริง พบว่าโรงงานมีปัญหาเรื่องกำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ส่งผลให้บริษัทต้องมีการทำงานล่วงเวลา 5 ชั่วโมงต่อวันและจากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าการเปิดทำงานล่วงเวลา จำนวน 5 ชั่วโมงต่อวันมีกำลังการผลิตเกินกว่าความต้องการโดยไม่จำเป็น ส่งผลให้พนักงานมีเวลาสูญเปล่าเกิดขึ้นในทุกสถานีงานค่อนข้างมาก มีเพียงสถานีงานที่ 4 เท่านั้นที่พนักงานมีภาระงานสูงกว่าสถานีอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าการทำงานล่วงเวลาก่อให้เกิดต้นทุนที่สูงขึ้นมากกว่าเดิมถึง 2 เท่า ซึ่งทางโรงงานให้ความสำคัญกับปัญหาด้านค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จึงนำปัญหาดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยหลักการทำไม ทำไม (Why-Why Analysis) เพื่อหารากฐานที่แท้จริงของปัญหา โดยอาศัยการระดมความคิด (Brainstorm) จากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมดในสายการผลิต โดยจะใช้คำว่า “ทำไม” ในการหาสาเหตุของปัญหาว่ามาจากอะไร จากนั้นจะถามต่อด้วยคำว่า “ทำไม” เพื่อหาว่าทำไมสาเหตุดังกล่าวจึงเกิดขึ้น และจะถามซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะพบรากเหง้า หรือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ซึ่งเป็นการอาศัยหลักการตั้งคำถาม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ทำไม ทำไม (Why-Why Analysis)

ทำไม	คำถาม	คำตอบ
Why 1	ทำไมค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาของสายการผลิตกรณีศึกษาจึงสูงกว่าสายการผลิตอื่น	เนื่องจากพนักงานไม่สามารถผลิตสินค้าได้ทันตามความต้องการในช่วงเวลาทำงานปกติ
Why 2	ทำไมพนักงานไม่สามารถผลิตสินค้าได้ทันตามความต้องการในช่วงเวลาทำงานปกติ	เนื่องจากพนักงานมีภาระงานอยู่ในสายการผลิตอื่นด้วย
Why 3	ทำไมพนักงานจึงมีภาระงานอยู่ในสายการผลิตอื่นด้วย	เนื่องจากพนักงานมีไม่เพียงพอต่อความต้องการที่ผันผวนขึ้นอย่างรวดเร็ว
Why 4	ทำไมพนักงานจึงมีไม่เพียงพอต่อความต้องการที่ผันผวนขึ้นอย่างรวดเร็ว	เนื่องจากบริษัทมีนโยบายลดพนักงานที่ไม่มีความจำเป็นออกในช่วงเศรษฐกิจตกต่ำ
Why 5	ทำไมบริษัทจึงมีนโยบายลดพนักงานที่ไม่มีความจำเป็นออกในช่วงเศรษฐกิจตกต่ำ	เนื่องจากต้องการลดค่าใช้จ่ายให้ต่ำที่สุด

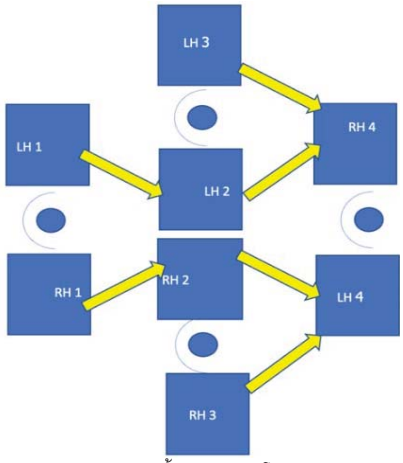
4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 กระบวนการปรับปรุงการทำงาน

จากการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมพบว่าพนักงานมีภาระงานมากกว่า 1 สายการผลิต ส่งผลให้การทำงานในสายการผลิตชิ้นส่วนฝากระโปรงท้ายไม่เต็มกำลังการผลิตเท่าที่ควร รวมทั้งในการผลิตชิ้นส่วนดังกล่าวนี้พนักงานมีหน้าที่เดินไปหยิบชิ้นส่วนเอง ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเปล่าขึ้น จึงนำหลักการ ECRS มาใช้ในการปรับปรุงดังนี้

Eliminate = ขจัดขั้นตอนในการทำงานที่ไม่จำเป็น เช่น การเดินไปหยิบชิ้นส่วนในแต่ละสถานีงาน และการรอชิ้นส่วนการประกอบที่อยู่ไกล จึงควรมีการนำรถเข็นหรืออุปกรณ์ใส่ชิ้นส่วนเข้ามาช่วยในการเคลื่อนย้ายเพื่อลดระยะเวลาในการเดินไปหยิบชิ้นงานแต่ละครั้ง

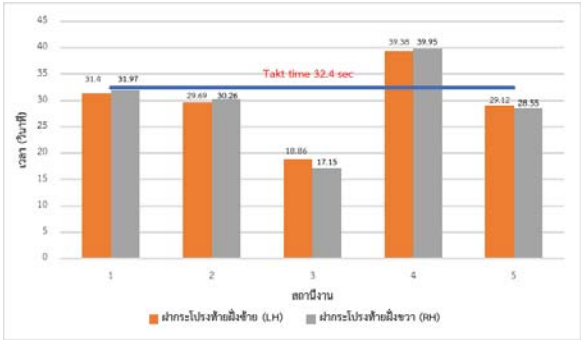
Simplify = การปรับปรุงการทำงานให้ง่ายขึ้น โดยการจัดแผนผังสายการผลิตใหม่ให้มีระยะที่ใกล้กันมากขึ้น ดังรูปที่ 3 โดยหลังจากการปรับปรุงพบว่าพนักงานเปลี่ยนสถานีงานจากการผลิตชิ้นส่วนฝากระโปรงฝั่งซ้ายมายังสถานีงานสำหรับผลิตชิ้นส่วนฝากระโปรงฝั่งขวาด้วยระยะเวลาที่น้อยลง



รูปที่ 3 สายการผลิตชิ้นส่วนฝากระโปรงท้ายหลังปรับปรุง

4.2 การจัดสมดุลสายการผลิต

เมื่อพิจารณารูปที่ 2 พบว่าการเปิดทำงานล่วงเวลาวันละ 5 ชั่วโมงมากเกินความจำเป็น จึงทำการคำนวณจำนวนการเปิดทำงานล่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น พบว่า การเปิดทำงานล่วงเวลาเพียง 2 ชั่วโมงต่อวันสามารถลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นได้และมีกำลังการผลิตเพียงพอต่อความต้องการ ดังรูปที่ 4



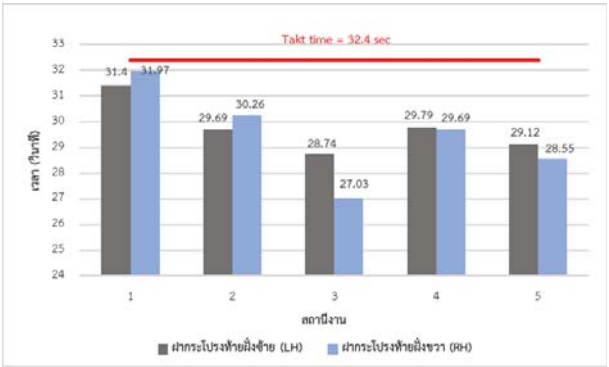
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบหลังปรับลดการทำงานล่วงเวลา

จากรูปที่ 4 พบว่าในสายการผลิตมีกระบวนการคอขวดที่สถานีงานที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยงานย่อยจำนวน 8 งาน ดังตารางที่ 3 โดยจากการศึกษาพบว่าพนักงานต้องเดินไปหยิบชิ้นงานเพื่อนำมาประกอบเองจากสถานีงานที่ 2 และสถานีงานที่ 3 ทั้งสายการผลิตชิ้นส่วนฝั่งซ้ายและฝั่งขวา รวมทั้งต้องมีการตรวจสอบชิ้นส่วนก่อนเริ่มกระบวนการในสถานีงานที่ 4 จึงทำการวิเคราะห์เพื่อจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weight method: RPW) โดยจะกำหนดให้ค่าน้ำหนักของแต่ละงานคือผลรวมเวลาของงานนั้นกับเวลาของงานที่ตามหลังทั้งหมด แล้วจึงทำการเรียงลำดับตามค่าน้ำหนักจากมากไปหาน้อยเพื่อจัดงานย่อยให้กับแต่ละสถานีงาน จากนั้นจะทำการจัดงานย่อยลงทีละสถานีตามค่าน้ำหนัก โดยงานย่อยที่มีค่าน้ำหนักมากจะถูกพิจารณาจัดลงในสถานีก่อนควบคู่ไปกับการตรวจสอบลำดับงานก่อนหน้า เพื่อไม่ให้ผิดกฎการจัด

ตารางที่ 3 งานย่อยในสถานีงานที่ 4

สถานีที่	ลำดับ	งานย่อย	LH Time	RH Time
4	21	เดินไปหยิบชิ้นงานที่ ST 2	5.2	5.2
	22	ตรวจสอบชิ้นงาน	5.2	5.2
	23	set part บน jig	1.7	1.7
	24	เดินไปหยิบชิ้นงานที่ ST 3	5.1	5.0
	25	ตรวจสอบชิ้นงาน	4.3	4.3
	26	เตรียมชิ้นงานลงบน jig	2.3	2.3
	27	spot ชิ้นงานด้วย C Gun spot 7 จุด	8.7	8.7
	28	spot ชิ้นงานด้วย X Gun spot 8 จุด	9.2	9.2

เมื่อทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่โดยการย้ายงานย่อยที่ 21 และ 22 ซึ่งเป็นขั้นตอนการเดินไปหยิบชิ้นงานที่สถานีงานที่ 2 และขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานก่อนการดำเนินกระบวนการถัดไปตามลำดับ พบว่าสถานีงานที่ 4 ของการผลิตฝากระโปรงฝั่งซ้ายและฝั่งขวามีปริมาณงานลดลง ส่งผลให้เวลาของสถานีงานฝั่งซ้ายลดลงจาก 39.38 วินาที เป็น 29.79 วินาที คิดเป็น 75.65 เปอร์เซ็นต์ ในขณะเดียวกันเวลาของสถานีงานฝั่งขวาลดลงจาก 39.95 วินาที เป็น 29.69 วินาที คิดเป็น 74.32 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณงานในแต่ละสถานีมีความสมดุลกันมากขึ้นและสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าภายใต้เวลาในการทำงานปกติ และการทำงานล่วงเวลา จำนวน 2 ชั่วโมงต่อวัน



รูปที่ 5 เปรียบเทียบเวลามาตรฐานกับอัตราความต้องการของลูกค้าหลังปรับปรุง

ประสิทธิภาพสายการผลิตหลังปรับปรุงของการผลิตฝากระโปรงฝั่งซ้าย (LH) และฝั่งขวา (RH) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_{LH} = \frac{148.45 \times 100}{5 \times 31.4} = 94.55\%$$

$$E_{RH} = \frac{147.88 \times 100}{5 \times 31.97} = 92.51\%$$

จากการลดการทำงานล่วงเวลาจาก 5 ชั่วโมงเหลือจำนวน 2 ชั่วโมง พบว่า ค่าใช้จ่ายลดลงเป็นจำนวนมาก ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณค่าใช้จ่ายที่ลดลงโดยให้ค่าจ้างพนักงานสำหรับการทำงานล่วงเวลามีค่าเท่ากับ 68.75 บาทต่อชั่วโมงต่อคน และค่าอาหารสำหรับการทำงานล่วงวลาเท่ากับ 20 บาทต่อชั่วโมงต่อคน ซึ่งอ้างอิงค่าจ้างแรงงานตามโครงสร้างบริษัทกรณีศึกษา และการคำนวณค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาต่อชั่วโมงต่อคน สามารถคำนวณได้ดังนี้

-ค่าทำงานล่วงเวลา เท่ากับ 68.75 บาทต่อชั่วโมงต่อคน

-ค่าอาหารในการทำงานล่วงเวลา เท่ากับ 20 บาทต่อชั่วโมงต่อคน

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาต่อวันต่อคน คิดเป็นจำนวนเงิน 68.75 + 20 = 88.75 บาท

จากนั้นนำค่าใช้จ่ายล่วงเวลาต่อชั่วโมงที่คำนวณได้ข้างต้นมาใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายต่อวัน เมื่อมีการทำงานล่วงเวลา 5 ชั่วโมงต่อวัน และ 2 ชั่วโมงต่อวัน ของพนักงานทั้งหมด 5 คน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลา

	OT 5 ชม/วัน	OT 2 ชม/วัน
ค่าแรง (บาทต่อคน)	88.75 x 5 = 443.75	88.75 x 2 = 177.5
พนักงาน (คน)	5	5
ค่าใช้จ่ายต่อวัน	443.75 x 5 = 2,218.75	177.5 x 5 = 355
ค่าใช้จ่ายต่อเดือน	2,218.75 x 22 = 48,812.5	355 x 22 = 7,810

จากตารางที่ 3 พบว่าการทำงานล่วงเวลา จำนวน 5 ชั่วโมงต่อวัน มีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 2,218.75บาทค่อวัน หรือ 48,812.5 บาทต่อเดือน และเมื่อมีการปรับปรุงพบว่าการทำงานล่วงเวลาลดลงเหลือ 2 ชั่วโมงต่อวัน มีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 355 บาทต่อวัน หรือ 7,810 บาทต่อเดือน ซึ่งกล่าวได้ว่าหลังจากการปรับปรุงสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 1,863.75 บาทต่อวัน และสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 41,002.5 บาทต่อเดือน

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการจัดสมดุลสายการผลิตโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง โดยอาศัยวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่งเพื่อแก้ปัญหาความสูญเปล่าจากการเปิดทำงานล่วงเวลาเกินพอดี จากการปรับปรุงพบว่าสายการผลิตมีความสมดุลมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพสายการผลิตฝากระโปรงฝั่งซ้ายและฝั่งขวาเพิ่มขึ้นจาก 75.39 เปอร์เซ็นต์ เป็น 94.55 เปอร์เซ็นต์ และจาก 74.03 เปอร์เซ็นต์ เป็น 92.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนั้นยังสามารถลดการทำงานล่วงเวลาจาก 5 ชั่วโมงต่อวัน เหลือ 2 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาลดลง 41,002.5 บาทต่อเดือน

เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์วิจัยกรุงศรี. 2563. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2563-65: อุตสาหกรรมรถยนต์. ข้อมูลจาก https://www.krungsri.com/get media/4ab44c0c-2b2d-4054-9ce4-4277f574e53 dd/ IO_Automobile_200724_TH_EX.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 8 กุมภาพันธ์ 2565)

[2] ศูนย์วิจัยกรุงศรี. 2565. แนวโน้มธุรกิจและอุตสาหกรรมไทย ปี 2565-2567. ข้อมูลจาก https://www.krungsri.com/getmedia/07201ab9-d647-4e0e-8f67-7b9b34565c95/SO_Industry_Outlook_2022_2024_220111_TH_EX. pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 4 กุมภาพันธ์ 2565)

[3] ยุทธณรงค์ จงจันทร์. การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตรองเท้า. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2555 มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2555.

[4] วรินทร์ เกียรตินุกูล. การจัดสมดุลสายการผลิตกระบวนการประกอบโครงอลูมิเนียม กรณีศึกษา: บริษัทตัวอย่าง. วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2561.

[5] อรรถพันธ์ นันทกุลวาณิช. 2556. การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการรับสินค้าของคลังสินค้า กรณีศึกษาธุรกิจการผลิตสินค้าอุปโภคบริโภค.งานนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

[6] นพมณี วัฒนสังสุทธิ์ และวรพจน์ มีถม. 2564. การปรับปรุงกระบวนการปั๊มขึ้นรูปในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์. วานสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 หน้า 79-98.

[7] ธัชณนท์ ธนภัทร และชาณิดา. 2560. การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตปลาแซลมอนแช่แข็ง. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2560, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 23-26 กรกฎาคม 2561 อุบลราชธานี.

[8] คมกริช นัดฐ์พร และมนินทรา. 2559. การศึกษาเวลามาตรฐานในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก: กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด เรืองชนะแพ็คกิ้ง. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2559 หน้า 107-121.

การออกแบบและพัฒนาระบบจัดทำใบเสนอราคาของบริษัทรับเหมา

Design and Development of a Quotation System for a Contractor Company

ภาณุภาคย์ คลังเพ็ชร์[1*] จุฑา พิชิตลำเค็ญ[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: panupark.k@ku.th*

Panupark Klangpetch[1*] Juta Pichitlamken[2]
[1]Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: panupark.k@ku.th*

บทคัดย่อ

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาจัดทำใบเสนอราคาโดยอยู่บนพื้นฐานของโปรแกรมที่มีใช้อยู่ภายในบริษัท และรวบรวมข้อมูลวัสดุ ค่าแรงงาน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการในแต่ละกิจกรรมของงานรับเหมางานโครงสร้าง เพื่อใช้เป็นราคามาตรฐานภายในบริษัท การออกแบบและพัฒนาระบบนี้แบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกคือพัฒนาการเขียนแบบจำลองสามมิติโดยใช้โปรแกรม SketchUp ร่วมกับการสร้างฐานข้อมูลแบบจำลองสามมิติ ส่วนที่สองคือพัฒนาขั้นตอนการถอดปริมาณวัสดุโดยใช้โปรแกรมส่วนขยาย SketchUp BIM Tool ร่วมกับการสร้างฐานข้อมูลรหัสต้นทุน ส่วนที่สามพัฒนาโปรแกรมจัดทำใบเสนอราคาโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กซ์เซล และไมโครซอฟท์ วิชวลเบสิก ร่วมกับการสร้างฐานข้อมูลวัสดุ ค่าแรงงาน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน โดยประยุกต์ให้ทั้งสามส่วนทำงานร่วมกันเพื่อจัดทำเป็นระบบจัดทำใบเสนอราคา ผลการทดสอบการใช้งานระบบเปรียบเทียบกับวิธีปัจจุบันที่ใช้อยู่ พบว่า ระบบที่นำเสนอสามารถจัดทำใบเสนอราคาได้เร็วขึ้นขึ้นเฉลี่ย 42.50% และความแตกต่างของราคาโครงการจากการเปรียบเทียบกับวิธีปัจจุบันมีความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 0.59% จากโครงการที่นำมาทดสอบทั้งหมด 10 โครงการ
คำสำคัญ: บริษัทรับเหมา, ใบเสนอราคา, ระบบจัดทำใบเสนอราคา

Abstract

Our objective is to reduce the preparation time of quotations by developing a quotation system based on the software available in the company. We collect information on materials, labor costs and operating costs for structural contracting activities to use as standard prices. The design and development of this system is divided into 3 parts: The first part is the development of 3D modeling using the SketchUp program in addition to the development of a 3D model database. The second part is the development of a material quantification process by the extension of SketchUp BIM Tool program along with the creation of a cost code database. The third part is the development a program to create quotations on Microsoft Excel and Microsoft Visual Basic along with creating a database of materials and labor costs and operating expenses. All three parts work together as a quotation system. When the proposed system was compared with the original method, we found that it could produce quotations 42.50% faster on average, the difference in project price compared to the original method was averaged at 0.59% based on 10 quotations.
Keywords: Contractor Company, Quotation, Quotation System

1. บทนำ

ในปัจจุบันธุรกิจรับเหมาก่อสร้างมีการแข่งขันที่สูงมาก กระบวนการเสนอราคา และประมูลราคาเพื่อคัดเลือกผู้รับเหมางานจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่ง ในการเสนอราคาเพื่อให้ได้รับงาน ความบกพร่องในงานจัดทำเอกสารประกอบการเสนอราคาที่เกิดขึ้น ทั้งในด้านความล่าช้าของกระบวนการจัดทำใบเสนอราคา และความผิดพลาดของข้อมูลประกอบการเสนอราคา เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้บริษัทไม่ได้เข้าร่วมการคัดเลือก ไม่ได้รับการคัดเลือก หรือขาดทุนจากข้อผิดพลาดนั้น บริษัทรับเหมาต่าง ๆ จึงควรหาวิธีปรับปรุงกระบวนการจัดทำใบเสนอราคาให้มีความรวดเร็วและถูกต้องขึ้น เพื่อสามารถเพิ่มโอกาสในการแข่งขันกับคู่แข่งในยุคปัจจุบันได้ดีขึ้น

บริษัทในกรณีศึกษาดำเนินกิจการรับเหมางานก่อสร้าง ติดตั้งเครื่องจักร และระบบท่อ ในงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะงานโครงสร้าง ซึ่งประกอบไปด้วยประเภทงานและวัสดุที่หลากหลาย เช่น งานคอนกรีต ฐานราก โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ และงานทาสี กระบวนการจัดทำใบเสนอราคารูปแบบปัจจุบันใช้เวลานาน ทำให้บริษัทเสียโอกาสในการประมูลราคางาน และบางโครงการมีข้อผิดพลาดในการถอดวัสดุเนื่องมาจากความผิดพลาดของพนักงาน ทำให้เสียรายได้ในส่วนนั้นไป

จากข้อมูลการเข้าร่วมเสนอราคางานย้อนหลัง 4 ปี (พ.ศ. 2561 - 2564) พบว่าในโครงการที่มีมูลค่าสูงกว่า 500,000 บาท จำนวน 48 โครงการ มีมูลค่าโครงการรวม 72,453,100 แต่ผลจากการเข้าร่วมเสนอราคาได้รับงานเพียงร้อยละ 30.79 เท่านั้น เมื่อวิเคราะห์สาเหตุที่ไม่ได้รับงานพบว่า ในโครงการที่มูลค่า 500,000 บาทขึ้นไปที่ไม่ได้รับงานทั้งหมดมูลค่า 50,142,025 บาท สามารถจำแนกสาเหตุได้ดังตารางที่ 1 มีสาเหตุหลักมาจากการเสนอราคาล่าช้าคิดเป็นร้อยละ 60.58 และมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดจากพนักงานและระบบการเสนอราคาคิดเป็นร้อยละ 9.19 แสดงให้เห็นว่าสาเหตุหลักที่ทำให้ไม่ได้รับงานโครงการคือ ระบบจัดทำใบเสนอราคา ซึ่งรวมแล้วมีความเกี่ยวข้องสูงถึงร้อยละ 69.77

ตารางที่ 1 สาเหตุที่ทำให้ไม่ได้รับงานในโครงการที่มีมูลค่า 500,000 บาทขึ้นไป

สาเหตุ	มูลค่าโครงการ (บาท)	ร้อยละของมูลค่าโครงการ
1. โครงการที่ไม่ได้งานจากความผิดพลาดของระบบเสนอราคา	**34,983,163**	**69.77**
1.1 เสนอราคาล่าช้า	30,374,399	60.58
1.2 ราคาผิดพลาดจากพนักงานและระบบการเสนอราคา	4,608,764	9.19
2. โครงการที่ไม่ได้รับงานเนื่องจากการแพ้ประมูลและอื่น ๆ	**15,158,862**	**30.23**
รวมโครงการที่ไม่ได้รับงานทั้งหมด	**50,142,025**	**100.00**

กระบวนการในการจัดทำใบเสนอราคาเหมางานโครงการและการเสนอราคาของบริษัทในปัจจุบัน แสดงดังรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

1) รับข้อมูลความต้องการจากลูกค้า เอกสาร และแบบ (Drawing) แสดงรายละเอียดงาน

2) สร้างโมเดลสามมิติผ่านโปรแกรม SketchUp เพื่อความชัดเจนของรายละเอียดและรูปแบบ

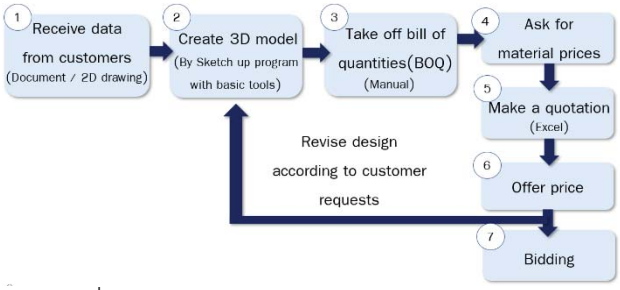
3) ถอดรายการวัสดุด้วยการนับจำนวน วัดพื้นที่ ความยาว ปริมาตร ด้วยมือ จากโมเดลสามมิติที่สร้างขึ้น กรอกข้อมูลลงแบบฟอร์ม Bill of Quantity (BOQ) ผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กซ์เซล

4) ขอราคาวัสดุจากบริษัทผู้จัดจำหน่ายวัสดุต่าง ๆ

5) จัดทำใบเสนอราคาตามแบบฟอร์มของบริษัท ผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กซ์เซล

6) เสนอราคาไปยังลูกค้า ลูกค้าจะตรวจสอบรายละเอียดงาน ข้อมูลจำเพาะของวัสดุ หรือรายละเอียดรูปแบบต่าง ๆ หากมีการแก้ไขรายละเอียด หรือรูปแบบ จะต้องกลับไปแก้ไขและเริ่มดำเนินการที่ขั้นตอนที่ 2 อีกครั้ง แต่หากข้อมูลถูกต้องเรียบร้อย จะส่งเข้าประมูลราคาต่อไป

7) เข้าประมูลงาน



รูปที่ 1 ผังการไหลของกระบวนการการเสนอราคาปัจจุบัน

จากปัญหาความล่าช้าที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการแก้ปัญหาของกระบวนการจัดทำใบเสนอราคา เพื่อลดระยะเวลาในกระบวนการ และเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของพนักงาน โดยการออกแบบและพัฒนาระบบจัดทำใบเสนอราคาบนคอมพิวเตอร์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 รายการประมาณราคาและวัสดุ (BOQ : Bill of Quantity)

BOQ เป็นเอกสารที่รวบรวมรายการสินค้า ค่าแรง ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ และรายละเอียดงานสำหรับโครงการก่อสร้าง ความสำคัญของ BOQ คือ เป็นข้อกำหนดที่ใช้อ้างอิงของโครงการและเป็นการให้รายละเอียดของสัญญางานก่อสร้างในการจัดซื้อจัดจ้าง กำหนดขอบเขตของวัสดุและปริมาณของงานที่วางแผนจะดำเนินการ รวมถึงใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดมูลค่าราคาหรือค่าตอบแทนโดยประมาณสำหรับงานก่อสร้าง วิธีการถอดรายการประมาณราคา มีอยู่ 3 รูปแบบ ดังนี้

1) แบบดั้งเดิม คือ วัดปริมาณต่าง ๆ จากเอกสารที่เป็นกระดาษและถอดรายละเอียดด้วยมือ

2) Digital BOQ คือการอาศัยเทคโนโลยี CAD หรือ ซอฟต์แวร์เขียนแบบสองมิติแต่ยังคงถอดรายละเอียดด้วยมือ

3) BIM (Building Information Model) - based BOQ คือการถอดรายละเอียดอัตโนมัติจากแบบจำลองสามมิติ [1]

2.2 การประมาณราคา

การประมาณราคา คือ ราคาโดยประมาณหรือใกล้เคียงกับความเป็นจริงของค่าก่อสร้าง โดยเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จอาจจะไม่ตรงกับราคาที่ประมาณไว้เลย ขึ้นอยู่กับเหตุผลหลายประการ เช่น ปริมาณวัสดุที่ได้ประมาณและเผื่อการเสียหายไว้ ไม่ตรงกับที่ใช้ก่อสร้างจริง ราคาวัสดุที่ซื้อจริงหรือค่าแรงงานไม่ตรงกับที่ประมาณการไว้ เป็นต้น การประมาณราคาค่าก่อสร้างโดยทั่วไปทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1) วิธีประมาณราคาโดยละเอียด

ถอดแบบคำนวณปริมาณงาน ปริมาณวัสดุ จำนวนแรงงาน ออกมาเป็นหน่วยของงานแต่ละประเภท และคูณด้วยราคาค่าวัสดุ และค่าแรงต่อหน่วย รวมกันแล้วนำไปหาค่าดำเนินการ กำไรและภาษีต่อไป

ในทางปฏิบัติจริง นิยมใช้วิธีประมาณราคาจากปริมาณงานวัสดุก่อสร้างและแรงงานต่อหน่วย เพื่อให้ทราบวงเงินค่าก่อสร้างนำไปใช้ยื่นเสนอราคาวิธีการประมาณราคาจากปริมาณวัสดุก่อสร้างทั้งหมด นิยมใช้กับงานก่อสร้างที่เป็นงานขนาดเล็ก ไม่มีความละเอียดประณีตนัก หรือเพื่อต้องการหาจำนวนวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง

2) วิธีประมาณราคาโดยสังเขป

ใช้สำหรับผู้ออกแบบ เพื่อให้ทราบว่าแบบก่อสร้างที่ได้ออกแบบมานั้นจะสามารถก่อสร้างได้ตามวงเงินที่ตั้งงบประมาณไว้หรือไม่ หรือใช้ตรวจสอบการประมาณราคาโดยละเอียด ที่ได้ประมาณราคาไปได้ผิดพลาดหรือไม่ ทำได้ 2 วิธีคือ ประมาณราคาจากปริมาตร และวิธีประมาณราคาจากพื้นที่ คูณด้วยราคาค่าก่อสร้างต่อหน่วยของปริมาตรหรือพื้นที่นั้น ซึ่งอาศัยข้อมูลของงานประเภทเดียวกันที่เคยก่อสร้างหรือประมาณราคาไว้แล้ว ซึ่งวิธีนี้นิยมใช้กับอาคารโล่ง ๆ ที่มีรายละเอียดของงานไม่มากนัก [2]

2.3 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM: Building Information Model)

แบบจำลองสารสนเทศ เป็นกระบวนการที่บูรณาการการทำงานของแต่ละขั้นตอนในการออกแบบและการก่อสร้างอาคาร โดยการสร้างแบบจำลอง (Building Model) ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ที่ประกอบไปด้วยข้อมูลหรือสารสนเทศ (Information) เพื่อบูรณาการกระบวนการทำงานทุกขั้นตอนเข้าด้วยกันอย่างมีประสิทธิภาพ แนวคิดของ BIM ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Charlet M. Eastman และได้ตีพิมพ์ในวารสารเอไอเอ (AIA Journal) ในปี ค.ศ. 1975 โดยใช้ชื่อว่า “Building Description System” จนกระทั่งปี ค.ศ. 1986 Robert Aish ได้เสนอให้เปลี่ยนมาใช้คำว่าว่า “Building Information Modeling” ในปัจจุบันมีซอฟแวร์แบบจำลองสารสนเทศอาคารอยู่หลายผลิตภัณฑ์ เช่น Autodesk Revit, ArchiCAD [3]

เมื่อเปรียบเทียบการถอดปริมาณวัสดุเทียบกันระหว่างวิธีดั้งเดิมและ BIM พบว่า BIM สามารถช่วยลดเวลาที่ใช้ในการประมาณการประมาณราคาโครงการได้ [4-6]

2.4 การสร้างฐานข้อมูลและพัฒนาโปรแกรมด้วยไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล

Qarkaxhija (2018) ได้สร้างฐานข้อมูลคลังสินค้าและออกเอกสารประกอบโดยใช้ฟังก์ชันในเอ็กซ์เซล เช่น if, sum, sumif และ vlookup ผลลัพธ์คือทำให้ได้ซอฟต์แวร์ที่ใช้งานได้จริงซึ่งคำนวณสิ่งที่คลังสินค้าเหลืออยู่หลังจากการขาย โดยผู้ใช้งานไม่ต้องเสียเงินจำนวนมากเพื่อซื้อระบบฐานข้อมูล แต่ Worksheet นี้ช่วยให้สร้างฐานข้อมูลได้โดยไม่ต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญในไมโครซอฟท์ เอ็กซ์เซล [7]

มาโครเป็นการเก็บคำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้งานบ่อย และใช้งานซ้ำ ๆ มาเก็บไว้เป็นชุดคำสั่ง เมื่อเรียกใช้คำสั่งที่เก็บไว้จะทำงานอัตโนมัติ สามารถบันทึกมาโครในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กซ์เซลได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องมีความรู้เรื่องการเขียนโค้ด นอกจากนั้นยังสามารถเขียนมาโครโดยใช้ Microsoft Visual Basic Editor ใน Microsoft Visual Basic เพื่อแก้ไขหรือเขียนสคริปต์มาโครได้เช่นกัน ซึ่งถ้าหากต้องการการทำงานในขั้นที่สูงขึ้นต้องเขียนโค้ด VBA (Visual Basic for Applications) โดยใช้ภาษา Visual Basic ในการเขียนโค้ดควบคุมโปรแกรมที่อยู่ใน Microsoft [9]

Ishak et al. (2020) ใช้มาโครในการออกแบบระบบข้อมูลการจองชุดยูนิฟอร์ม พบว่าการใช้มาโครในไมโครซอฟท์ เอ็กซ์เซลง่ายต่อการออกแบบและพัฒนา ช่วยประหยัดเวลาการทำงาน และลดอัตราความผิดพลาดของการทำงานด้วยมือได้ สามารถช่วยลดความซับซ้อนของระบบการสั่งซื้อ ช่วยให้ลูกค้าเข้าถึงได้ง่าย ซึ่งเหมาะกับธุรกิจ SMEs เป็นอย่างมาก [8]

3. การออกแบบและพัฒนาระบบจัดทำใบเสนอราคา

3.1 พัฒนาวิธีการสร้างแบบจำลองสามมิติสำหรับโปรแกรม SketchUp

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ส่วนขยายของโปรแกรม SketchUp ชื่อ Profile Builder 3 เป็นส่วนขยายที่ใช้สำหรับช่วยเขียนโมเดลสามมิติมีฟังก์ชันจดจำต้นแบบไว้เป็น Profile ที่สามารถเรียกมาใช้งานได้ง่ายสะดวก และรวดเร็ว สามารถปรับย่อ - ขยายขนาดของวัตถุต่าง ๆ ได้ง่ายทำให้ออกแบบงานสามมิติและปรับเปลี่ยนรายละเอียดได้เร็วขึ้น ฐานข้อมูลแบบจำลองสามมิติสำหรับวัสดุที่ใช้ในโครงการมี 4 รูปแบบ

1) ฐานข้อมูลสำหรับสร้างเหล็กรูปพรรณ การใช้ส่วนขยาย Profile Builder 3 นั้นจะต้องสร้างฐานข้อมูลแบบจำลองสามมิติก่อน จึงจะสามารถดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาใช้ได้ โดยสิ่งที่จะต้องกำหนดให้โมเดล มีรายละเอียดดังนี้ รูปหน้าตัดโมเดล (Profile) กำหนดพื้นผิววัสดุ (Material) กำหนด Layer และ กำหนดชื่อโมเดลให้ตรงกับชื่อวัสดุในฐานข้อมูลวัสดุ

2) ฐานข้อมูลสำหรับสร้างโมเดลที่มีส่วนประกอบซ้ำ ๆ เป็นแถวเรียงต่อกัน (Assembly) เช่น รั้ว ราวกันตก คานคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นต้น การใช้งานฟังก์ชันนี้ของ Profile Builder 3 ต้องสร้างฐานข้อมูลแบบจำลองสามมิติก่อน จึงจะสามารถดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาใช้ได้ โดยสิ่งที่ต้องกำหนดให้โมเดล มีรายละเอียดดังนี้ สร้างส่วนประกอบโมเดล (Assembly) กำหนดพื้นผิววัสดุและเลเยอร์ของแต่ละส่วนประกอบ กำหนดชื่อโมเดลให้ตรงกับชื่อวัสดุในฐานข้อมูล

3) ฐานข้อมูลสำหรับสร้างโมเดลที่มีลักษณะเป็นชิ้นตายตัว เช่น โซฟา วาล์ว เป็นต้น โมเดลลักษณะนี้ใช้ฟังก์ชัน Component ซึ่งเป็นฟังก์ชันพื้นฐานของโปรแกรม SketchUp โดยสร้างโมเดลตามลักษณะและขนาดที่ต้องการ กำหนดเลเยอร์ และบันทึกในโฟลเดอร์ที่กำหนด

4) ฐานข้อมูลสำหรับพื้นผิววัสดุ ใช้สำหรับจำแนกวัสดุด้านพื้นผิว โดยเฉพาะงานสีจะต้องใช้การจำแนกประเภทสีที่ใช้ในงาน เช่น สีน้ำมัน สีอิพ็อกซี่ เป็นต้น ฐานข้อมูลนี้จะใช้ฟังก์ชัน Material ซึ่งเป็นฟังก์ชันพื้นฐานของโปรแกรม SketchUp โดยเลือกสี กำหนดชื่อ และบันทึก

3.2 พัฒนาวิธีการถอดรายการปริมาณวัสดุจากแบบจำลองสามมิติ

ผู้วิจัยเลือกใช้ส่วนขยายของโปรแกรม SketchUp ชื่อว่า SketchUp BIM Tool เป็นส่วนขยายที่ช่วย SketchUp สามารถทำงานแบบโปรแกรม BIM ใช้สำหรับถอดรายการวัสดุจากโมเดลสามมิติโดยสามารถเลือกคุณลักษณะต่าง ๆ ของโมเดล เช่น ความยาว พื้นที่ผิว ปริมาตร เพื่อนำมาคำนวณตามต้องการได้ การใช้งานถอดรายการวัสดุนั้นใช้ฟังก์ชัน Quickboq โดยต้องสร้างฐานข้อมูลรหัสต้นทุนเพิ่มเติม เพื่อให้ง่ายต่อการเรียงลำดับ ค้นหา และตรวจสอบรายการ เมื่อระบุข้อมูลใน BOQ ที่ต้องการทั้งหมดแล้วสามารถส่งข้อมูลออกเป็นไฟล์เอ็กซ์เซลได้

3.3 ออกแบบ พัฒนาฐานข้อมูลและโปรแกรมจัดทำใบเสนอราคา

ออกแบบและพัฒนาโดยใช้งาน ไมโครซอฟท์ เอ็กซ์เซล, เอ็กซ์เซล มาโคร และ VBA

3.3.1 พัฒนาฐานข้อมูลสำหรับราคาค่าวัสดุ

ฐานข้อมูลวัสดุพัฒนาโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล ประกอบด้วย 2 กลุ่มประเภทข้อมูล ดังนี้

1) กลุ่มข้อมูลวัสดุประเภทราคาผันผวน จึงต้องใช้การคำนวณราคาจากน้ำหนักวัสดุคูณด้วยราคาต่อน้ำหนัก ณ ช่วงเวลานั้น ๆ วัสดุประเภทนี้ส่วนมากเป็นเหล็กรูปพรรณ เก็บข้อมูลประเภทวัสดุ ขนาด น้ำหนักต่อความยาวและพื้นที่ผิวต่อความยาวของวัสดุโดยอ้างอิงขนาดตามมาตรฐานวัสดุในประเทศไทย ฐานข้อมูลนี้จะนำไปใช้ร่วมกับรายการวัสดุจากข้อ 3.2 ที่อยู่ในหน่วยความยาวและราคาต่อน้ำหนัก ณ ช่วงเวลานั้น ๆ เพื่อสร้างใบเสนอราคา

2) กลุ่มข้อมูลวัสดุประเภทราคาไม่ผันผวน สามารถใช้ราคาต่อพื้นที่หรือปริมาตรได้ เช่น สี ไม้แบบ คอนกรีต จะเก็บข้อมูลประเภทวัสดุ ชนิด และราคาต่อหน่วย (บาท/m^2 บาท/m^3) ฐานข้อมูลนี้จะนำไปใช้ร่วมกับรายการวัสดุจากข้อ 3.2 ที่อยู่ในหน่วยพื้นที่และปริมาตรเพื่อสร้างใบเสนอราคา

3.3.2 สร้างฐานข้อมูลสำหรับค่าแรงงาน และค่าดำเนินงาน

ฐานข้อมูลค่าแรงงานและค่าดำเนินงาน สร้างโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ประเภท ดังนี้

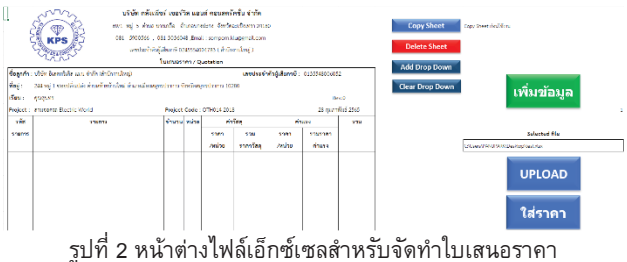
1) ค่าแรงงานและค่าดำเนินงานประเภทผันแปรตามลูกค้า เนื่องจากลูกค้าแต่ละบริษัทมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนค่าแรงงานที่ต่างกันทำให้การกำหนดราคาค่าแรงและค่าดำเนินงานนั้นแตกต่างกันไปด้วย เช่น ความเข้มงวดด้านความปลอดภัย (Safety) ในบริษัทที่ผลิตหรือกักเก็บสารเคมีนั้น การทำงานจะต้องมีการจัดการป้องกันเป็นพิเศษทำให้มีต้นทุนที่สูงกว่าบริษัททั่วไป เป็นต้น ฐานข้อมูลประเภทนี้จัดเก็บอยู่ในแผ่นงานเอ็กซ์เซลเดียวกับฐานข้อมูลลูกค้า เพื่อง่ายต่อการดึงข้อมูลมาใช้ในการทำใบเสนอราคาต่อไป

2) ค่าแรงงานและค่าดำเนินงานประเภทคงที่ ข้อมูลประเภทนี้จะเป็นการจ้างผู้รับเหมาภายนอก การเช่าเครื่องจักร และงานประเภทที่ราคาไม่ได้รับผลกระทบจากกฎระเบียบของลูกค้า เช่น ค่าเช่ารถเครน ค่าแรงงานพ่นทราย เป็นต้น ฐานข้อมูลประเภทนี้จัดเก็บอยู่ในแผ่นงานเอ็กซ์เซลเดียวกับหัวข้อ 3.3.1 เพื่อง่ายต่อการดึงข้อมูลมาใช้

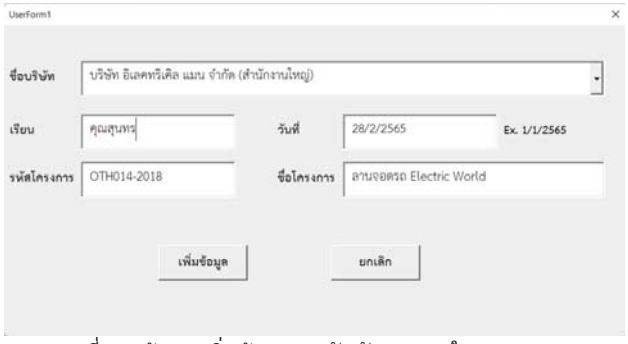
3.2.3 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมจัดทำใบเสนอราคา

พัฒนาโปรแกรมให้สามารถประมาณราคาและสร้างใบเสนอราคาได้แบบอัตโนมัติ โดยใช้ ไมโครซอฟท์ เอ็กซ์เซล, เอ็กซ์เซล มาโคร และ VBA ออกแบบโปรแกรมโดยอ้างอิงจากแบบฟอร์มใบเสนอราคาปัจจุบันของบริษัท หน้าต่างไฟล์เอ็กซ์เซลแสดงดังรูปที่ 2 โดยมีฟังก์ชันการทำงานดังนี้

1) หัวกระดาษ เป็นส่วนที่ระบุรายละเอียดของลูกค้า และโครงการ การกรอกข้อมูลทำผ่านปุ่ม “เพิ่มข้อมูล” จะปรากฏหน้าต่างเพื่อกรอกข้อมูลดังรูปที่ 3 สามารถกดเลือกบริษัทได้โดยปุ่มดรอปดาวน์ซึ่งเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลลูกค้าไว้ ในส่วนอื่น ๆ คือ วันที่ และ เลขที่โครงการผู้ใช้งานกรอกข้อมูลเอง จากนั้นกด เพิ่มข้อมูล ข้อมูลทั้งหมดปรากฏที่หัวกระดาษโดยข้อมูลของลูกค้าจะดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลลูกค้ามาแสดงอัตโนมัติ



รูปที่ 2 หน้าต่างไฟล์เอ็กซ์เซลสำหรับจัดทำใบเสนอราคา



รูปที่ 3 หน้าต่างเพิ่มข้อมูลสำหรับหัวกระดาษใบเสนอราคา

2) ปุ่ม Copy Sheet และ Delete Sheet เป็นส่วนที่ช่วยในการคัดลอกแผ่นงานและลบแผ่นงานนั้น ๆ ให้สะดวกขึ้น

3) อัพโหลดไฟล์ โดยใช้ในการอัพโหลดไฟล์เอ็กซ์เซลที่ส่งออกมาจาก SketchUp BIM Tool เพื่อนำข้อมูลมาจัดเรียงลงฟอร์มใบเสนอราคา เมื่อกดปุ่ม Upload จะปรากฏหน้าต่างให้เลือกไฟล์ซึ่งรองรับไฟล์เอ็กซ์เซลเท่านั้น เมื่ออัพโหลดเข้ามาแล้ว โปรแกรมจะดึงข้อมูลมาจัดเรียงในแบบฟอร์มใบเสนอราคาให้อัตโนมัติ ข้อจำกัดของการเลือกไฟล์คือ หากเลือกไฟล์เอ็กซ์เซลอื่นที่ไม่ได้ส่งออกมาจาก SketchUp BIM Tool จะทำให้ข้อมูลที่ดึงมาแสดงไม่เป็นไปตามแบบฟอร์ม

4) ใส่ข้อมูล หลังจากอัพโหลดไฟล์เรียบร้อยแล้วเมื่อกดปุ่มใส่ข้อมูล โปรแกรมจะจัดฟอร์ม ดึงราคาวัสดุและค่าแรงประเภทคงที่จากฐานข้อมูลมาใส่ในช่องราคา สำหรับเหล็กรูปพรรณจะต้องใส่ราคาเหล็กต่อน้ำหนักในช่องราคาเหล็กก่อนบริเวณใต้ปุ่มใส่ข้อมูลดังรูปที่ 4 ส่วนค่าแรงประเภทแปรผันตามลูกค้าจะต้องกรอกข้อมูลในช่องบริเวณใต้ปุ่มใส่ข้อมูลดังรูปที่ 4 โดยจะมีราคาแนะนำปรากฏอยู่ใต้ช่องที่ใช้กรอกราคา ซึ่งราคาแนะนำเหล่านี้ดึงมาจากฐานข้อมูลลูกค้า และแปรผันไปตามลูกค้าแต่ละบริษัท จากนั้นโปรแกรมจะใส่สูตรคำนวณราคาอัตโนมัติ ได้ใบเสนอราคาฉบับสมบูรณ์ ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5 ถ้าหากต้องการเพิ่มข้อมูล พิมพ์ สามารถปรับแก้ได้เหมือนไฟล์เอ็กซ์เซลทั่วไป

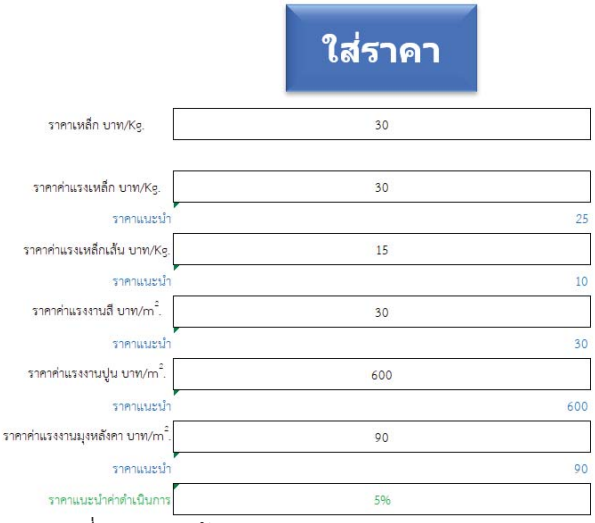
4. ผลการทดสอบระบบจัดทำใบเสนอราคา

เปรียบเทียบการจัดทำใบเสนอราคาตั้งแต่ขั้นตอนทำแบบจำลองสามมิติจนถึงสร้างใบเสนอราคา ด้วยวิธีปัจจุบันและระบบที่นำเสนอ จำนวน 10 โครงการ โดยจับเวลาเฉพาะเวลาปฏิบัติงานเท่านั้น ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าส่วนการทำแบบจำลองสามมิติสามารถจัดทำได้เร็วขึ้นเฉลี่ย 36.99% และในส่วนการถอดราคาและจัดทำใบเสนอราคาพบว่าจัดทำได้เร็วขึ้นเฉลี่ย 52.52% เมื่อรวมเวลาทั้งสองส่วนพบว่าระบบจัดทำใบเสนอราคานี้สามารถจัดทำใบเสนอราคาได้เร็วขึ้นเฉลี่ย 42.50% ลดเวลาทำงานของพนักงานไปได้เฉลี่ยโครงการละ 1 ชั่วโมง 52 นาที

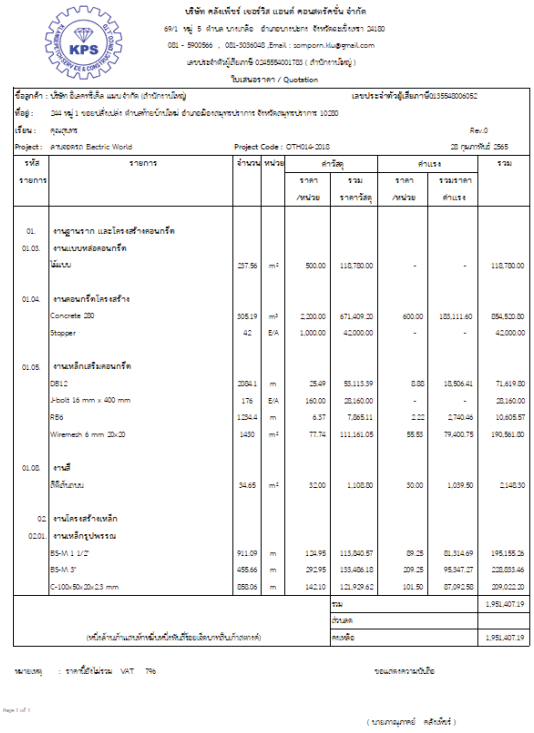
มูลค่าของโครงการไม่มีผลต่อความเร็วของระบบ แต่พบว่าความซับซ้อนของโครงการส่งผลโดยตรงต่อความเร็วระบบ หากโครงการยิ่งมีรายละเอียดที่ซับซ้อนมาก ระบบนี้จะมีเปอร์เซ็นต์ความเร็วเมื่อเทียบกับระบบปัจจุบันที่เร็วมากขึ้นตามลำดับ

ความแตกต่างของราคาโครงการมีความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 0.59 % ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าความผิดพลาดส่วนใหญ่เกิดจากวิธีปัจจุบัน เช่น ถอดปริมาณวัสดุไม่ครบถ้วน คำนวณพื้นที่ทาสีผิดพลาด

ระบบจัดทำใบเสนอราคานี้สามารถลดเวลาการจัดทำใบเสนอราคาได้ และมีความถูกต้องของข้อมูลที่ไม่ต่างจากวิธีปัจจุบัน



รูปที่ 4 ช่องสำหรับกรอกราคาต่อหน่วยและราคาแนะนำ



รูปที่ 5 ตัวอย่างใบเสนอราคาที่สร้างจากระบบจัดทำใบเสนอราคา

5. สรุป

กระบวนการจัดทำใบเสนอราคาของบริษัทรับเหมา เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการประมูลงาน การนำเทคโนโลยีหรือซอฟท์แวร์เข้ามา

ช่วยในกระบวนการทำงานนี้จะทำให้การเสนอราคารวดเร็วขึ้นและมีความผิดพลาดที่ลดลง ลดโอกาสในการส่งใบเสนอราคาช้าอันเป็นเหตุให้เข้าร่วมประมูลไม่ทัน เพิ่มโอกาสในการได้งาน นอกจากนั้นยังช่วยลดเวลาทำงานของพนักงานอีกด้วย

สำหรับบริษัทรับเหมาขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) นั้น การพัฒนาระบบจัดทำใบเสนอราคาขึ้นมาเองจากโปรแกรมหรือซอฟท์แวร์ที่เป็นทรัพยากรของบริษัทอยู่แล้ว เช่น ในงานวิจัยนี้เป็น Microsoft Office และ SketchUp จะช่วยพัฒนาบริษัทได้อย่างมาก เนื่องจากการพัฒนาระบบเองทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการซื้อลิขสิทธิ์ระบบที่มีราคาแพง ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายหลายต่อเพื่อใช้หลายโปรแกรมประกอบกัน หรือ แก้ปัญหาที่ระบบไม่ตอบโจทย์กับความต้องการของบริษัท การพัฒนาระบบจัดทำใบเสนอราคาเองนั้นนอกจากจะทำให้สามารถเพิ่มโอกาสในการได้งานโครงการเพิ่มและอื่นๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้น ยังสามารถกำหนดฟังก์ชันการทำงานเองให้ตรงกับความต้องการของบริษัทได้ เช่น ในงานวิจัยนี้มีการสร้างฐานข้อมูลสำหรับวัสดุ ค่าแรงงาน และค่าดำเนินงาน ไว้เป็นราคามาตรฐานของบริษัท เป็นต้น โดยที่ประหยัดค่าใช้จ่ายอีกด้วย

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการจัดทำใบเสนอราคาด้วยวิธีปัจจุบันและระบบที่นำเสนอ

โครงการที่	มูลค่าโครงการ (บาท)	ระบบที่นำเสนอเร็วขึ้น (%)		
		3D Drawing	จัดทำใบเสนอราคา	รวม
1	2,270,643	51.44%	38.71%	47.83%
2	1,158,991	7.14%	36.00%	20.75%
3	667,695	35.05%	63.64%	45.39%
4	476,446	21.74%	40.00%	28.17%
5	2,014,567	51.43%	66.42%	55.65%
6	3,703,063	24.50%	48.51%	32.56%
7	2,367,973	48.99%	44.78%	47.69%
8	471,247	27.71%	53.85%	36.07%
9	1,519,627	54.55%	73.33%	58.33%
10	2,573,418	47.31%	60.00%	52.53%
เฉลี่ย		36.99%	52.52%	42.50%

6. ข้อเสนอแนะ

ระบบที่พัฒนาขึ้นเป็นการพัฒนาระบบเพื่อใช้ในการจัดทำใบเสนอราคาให้มีประสิทธิภาพขึ้น เนื่องจากการศึกษานี้มีเวลาจำกัดในการพัฒนาระบบ จึงยังมีส่วนของระบบที่ควรจะพัฒนาต่อยอดเพิ่มเติมให้สมบูรณ์ขึ้นได้ เช่น การจัดการออกรหัสโครงการอัตโนมัติ การปรับเปลี่ยนโมเดลสามมิติแล้วสามารถอัพเดทข้อมูลในแผ่นงานเดิมได้

ความต้องการฟังก์ชันการใช้งานของบริษัทหรือทรัพยากรซอฟท์แวร์ของแต่ละบริษัท อาจมีความแตกต่างกัน การพัฒนาระบบจัดทำใบเสนอราคานั้น ผู้ที่สนใจสามารถปรับเปลี่ยนไปตามความต้องการและทรัพยากรที่มีได้อย่างอิสระ โดยเริ่มจากศึกษาความต้องการระบบและวิธีที่จะแก้ปัญหานั้นได้มาประยุกต์ พัฒนารวมเข้าเป็นระบบของบริษัทตนเอง

การพัฒนาระบบขึ้นเองในช่วงแรกระบบอาจยังไม่สมบูรณ์ ต้องทำการทดลองใช้ในหลาย ๆ รูปแบบเพื่อให้เจอข้อผิดพลาดครอบคลุมทุกรูปแบบและพัฒนาแก้ไขให้สมบูรณ์ต่อไป สุดท้ายแล้วความถูกต้องของใบเสนอราคายังขึ้นอยู่กับความละเอียดรอบคอบของผู้จัดทำด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Juszczyk, M., A. Lesniak and K. Zima. 2017. Selected Issues of Bills of Quantities in Constructionworks in Poland. Journal of Science of the Military Academy of Land Force 49 (1) : 189 – 200.

[2] ธีรภพ สุพรหม. 2559. แนวทางการคิดค่าอำนวยการโครงการก่อสร้างงานอาคารในเขตจังหวัดบุรีรัมย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

[3] เบญจวรรณ พักดี, เอกพิสิษฐ์ บรรจงเกลี้ยง, พรพจน์ นุเสน และมานพ แก้วโมราเจริญ. 2563. การวิเคราะห์แนวทางตรวจรับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับงานก่อสร้างอาคาร มหาวิทยาลัย, น. CEM10-1 – CEM10-10. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25. ชลบุรี.

[4] Becvarovská, R. and P. Matějka. 2014. Comparative Analysis of Creating Traditional Quantity Takeoff Method and Using a BIM Tool. In Construction Maeconomics Conference 2014. 22 October 2020. Czech technical university in Prague.

[5] Zima, K. and A. Lesniak. 2013. Limitations of Cost Estimation Using Building Information Modeling in Poland. Journal of Civil Engineering and Architecture 7 (5): 545 – 554.

[6] Plebankiewicz, E. , K. Zima and M. Skibniewski. 2015. pp. 405 – 414. Analysis of the first Polish BIM- Based cost estimation application. In Creative Construction Conference 2015. 21-24 June 2015. Cracow University of technology.

[7] Qarkaxhija, E. 2018. Database Creation Through IF, VLOOKUP, SUM and SUMIF Functions of Microsoft Excel. Prizren Social Science Journal 2 (2): 27 - 34.

[8] Ishak, A., R. Ginting and T. Amalia. 2020. Macro Excel (VBA) Implementation in Designing Booking Information Systems in Uniform Convection (Case Study: Kholidi Taylor SME, Medan Denai). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1003: 1 - 9.

[9] พิราวรรณ จงไกรจักร. 2560. การสร้างฐานข้อมูลเครื่องมือและเครื่องจักร ในธุรกิจก่อสร้าง. โครงงานหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

การวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้ออย่างเหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการจัดการอะไหล่คงคลัง

Order Quantity Analysis to Costs Reduce for Spare Part Inventory Management

ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์ [1*] สุภาภรณ์ เกตุพันธ์[1]
[1]ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
E-mail: prasert.s@itm.kmutnb.ac.th*

Prasert Sriboonchandr[1*] Supaporn Ketpan[1]
[1]Department of Industrial Management, Faculty of Industrial and Technology Management
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus
E-mail: prasert.s@itm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้ออย่างเหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการจัดการอะไหล่คงคลัง โดยการศึกษากระบวนการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ และกระบวนการจัดการอะไหล่คงคลัง ศึกษาสภาพปัญหาการจัดการอะไหล่คงคลัง พบว่าไม่มีรูปแบบการจัดการที่แน่นอน เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้อะไหล่ในอดีต จากนั้นเสนอแนวทางการปรับปรุงการจัดการอะไหล่คงคลัง โดยนำเทคนิคการวิเคราะห์ ABC และนำอะไหล่ที่มีความสำคัญระดับ A มาทำการคำนวณหาประมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) จากผลการเปรียบเทียบต้นทุนพบว่ารูปแบบการหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดจะมีต้นทุนรวมทั้งหมดของการจัดการอะไหล่คงคลังเท่ากับ 4,383,207.96 บาท และการจัดการอะไหล่คงคลังแบบเดิมจะมีต้นทุนรวมเท่ากับ 4,441,755.96 บาท โดยต้นทุนการจัดการอะไหล่คงคลังลดลง 58,548 บาท
คำสำคัญ: ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด, เทคนิคการวิเคราะห์ ABC, อะไหล่คงคลัง

Abstract

This research aims to analyze the appropriate order quantity to reduce the cost of spare parts inventory management. By studying the battery separator manufacturing process and parts inventory management processes. Study of the spare parts management problems. It was found that there was no definite management style. Collect historical spare parts consumption data, then suggest ways to improve spare parts inventory management. The ABC analysis technique and A-level priority spare parts were used to calculate the Economical Order Estimation (EOQ). Spare parts inventory management is 4,383,207.96 baht, the original spare parts inventory management has a total cost of 4,441,755.96 baht, with the cost of managing spare parts inventory decreased by 58,548 baht.
Keywords: Economics Order Quantity: EOQ, ABC Analysis, Spare Part

1. บทนำ

การจัดการคลังสินค้าเป็นสายงานหนึ่งในกระบวนการห่วงโซ่ของการสร้างมูลค่า (value chain) และเป็นกิจกรรมหนึ่งในส่วนลอจิสติกส์ภายใน (inbound logistics) หากกิจการได้รับการบริหารที่ถูกต้องแม่นยำจะส่งผลไปยังโซ่อุปทาน (supply chain) ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น กล่าวคือกิจการสามารถเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ลดค่าใช้จ่ายในแต่ละกิจกรรมลง ลดรอบระยะเวลา (cycle time) และการบริการที่ดี (service level) วัสดุมีความหมายกว้างครอบคลุมถึงสิ่งของ เครื่องมือ เครื่องใช้ อุปกรณ์ อะไหล่ เครื่อง จักร เครื่องยนต์ วัตถุดิบ วัสดุก่อสร้าง เป็นต้น

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ชนิดโพลีเอททีลีน ส่งจำหน่ายให้กับโรงงานผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ทั้งในและต่างประเทศ ปัจจุบันบริษัทมีการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น โดยทำการผลิตอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้บริษัทต้องมีการเตรียมความพร้อมด้านการผลิตและการวางแผนป้องกันปัญหา เพื่อให้การดำเนินการมีความต่อเนื่อง โดยเฉพาะการจัดการอะไหล่คงคลัง ซึ่งจะช่วยลดเวลาการหยุดเดินเครื่องจักรในสายการผลิต แต่ก็พบว่ายังมีต้นทุนการสั่งซื้อวัสดุอยู่ค่อนข้างสูง เนื่องจากมีการจัดเก็บวัสดุอะไหล่เพิ่มมากกว่าเดิม ซึ่งส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการจัดการอะไหล่คงคลังก็มากขึ้นตามไปด้วย

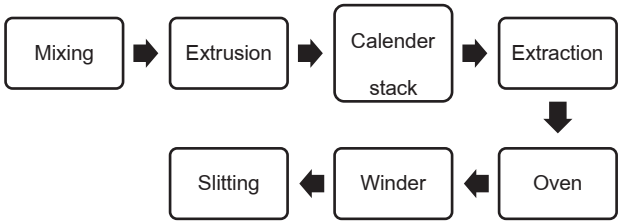
จากการศึกษาสภาพปัญหาผู้วิจัยจึงได้มีการเสนอแนวทางการแก้ปัญหาคือ การประยุกต์ใช้เทคนิค ABC Analysis เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มออกตามลำดับความสำคัญ วิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม (Economics Order Quantity) เพื่อมุ่งเน้นการลดต้นทุนการเก็บอะไหล่คงคลัง

2. ศึกษากระบวนการผลิตและการจัดการคลังสินค้า

จากการลงสำรวจพื้นที่พบว่า กระบวนการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่เป็นการผลิตแบบต่อเนื่องโดยจะใช้เครื่องจักรเป็นพื้นฐานในการผลิตเพื่อจัดส่งจำหน่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่เป็นหลัก

2.1 ศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิต

ขั้นตอนการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่

จากรูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ ประกอบด้วยการ Mixing, Extrusion, Calender stack, Extraction, Oven, Winder และ Slitting ซึ่งทุกขั้นตอนต้องใช้เครื่องจักรในการผลิต และต้องมีอะไหล่สำรองสำหรับเครื่องจักรแต่ละเครื่อง

2.2 ศึกษาขั้นตอนการดำเนินงานภายในคลังสินค้า

ขั้นตอนการดำเนินงานภายในคลังสินค้า แสดงดังรูปที่ 2

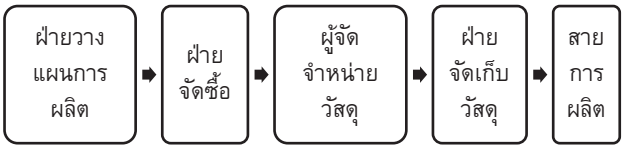


รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานภายในคลังสินค้า

จากรูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการทำงานภายในคลังสินค้า ประกอบด้วยการตรวจรับวัสดุ การจัดเก็บวัสดุ และการจ่ายวัสดุ

2.3 ศึกษากระบวนการสั่งซื้อวัสดุ ขั้นตอนการควบคุมการรับ การเคลื่อนย้าย และการจัดเก็บวัสดุ

กระบวนการสั่งซื้อวัสดุ ขั้นตอนการควบคุมการรับ การเคลื่อนย้ายและการจัดเก็บวัสดุ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผังงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดซื้อวัสดุ

จากรูปที่ 3 แสดงผังงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดซื้อวัสดุ ซึ่งประกอบด้วย การวางแผนการผลิต จัดซื้อ ผู้จัดจำหน่ายวัสดุ ฝ่ายจัดเก็บวัสดุ และสายการผลิต

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

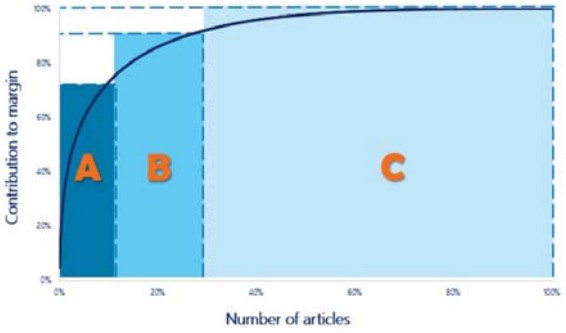
3.1.1 การวิเคราะห์แบบเอบีซี (ABC Analysis)

ใช้ในการวิเคราะห์จัดแบ่งกลุ่มตลับลูกปืน (Bearing) ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังรูปที่ 4

กลุ่ม A = 20% ของรายการ มีมูลค่า 80% ของมูลค่าวัสดุทั้งหมด เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญมากที่สุด มีการควบคุมอย่างเข้มงวด ตรวจสอบทุกสัปดาห์

กลุ่ม B = 50% ของรายการ มีมูลค่า 15% ของมูลค่าวัสดุทั้งหมด เป็นกลุ่มที่มีการควบคุมสินค้าเข้มงวดปานกลาง ตรวจสอบทุกเดือน

กลุ่ม C = 30% ของรายการ มีมูลค่า 5% ของมูลค่าวัสดุที่จ่ายไปทั้งหมด เป็นกลุ่มที่มีการควบคุมไม่เข้มงวด ตรวจสอบทุกไตรมาส



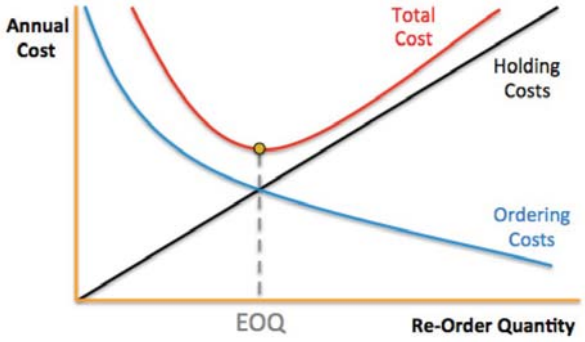
รูปที่ 4 การวิเคราะห์แบบเอบีซี (ABC Analysis)

3.1.2 การคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (Economics Order Quantity)

ใช้ในการวิเคราะห์คำนวณหาปริมารการสั่งซื้ออย่างเหมาะสม เพื่อลดต้นทุนการสั่งซื้อและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการสินค้าคงคลัง จะพิจารณาจากต้นทุนของสินค้าคงคลังในช่วงเวลา โดยมีรายละเอียดดังนี้ แสดงดังรูปที่ 5

- ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษา (Carrying Cost) เป็นค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษาวัสดุคงคลัง ซึ่งประกอบด้วย ค่าประกันอัคคีภัย ค่าเสื่อมราคาอาคาร ค่าเสียหายวัสดุล้าสมัยและเสื่อมเสีย ค่าซ่อมบำรุงรักษาอาคารและเครื่องมือ

- ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (Ordering Cost) เป็นค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อต่อครั้ง พิจารณาจากค่าแรงพนักงาน ค่าใช้จ่ายการสื่อสาร ค่าวัสดุสิ้นเปลืองและค่าเสื่อมราคา



รูปที่ 5 องค์ประกอบการคำนวณ EOQ
(https://eazystock.medium.com/)

โดยสูตรที่ใช้คำนวณหาดังนี้

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AS}{I}} \quad (1)$$

โดยที่ A คือปริมาณการใช้ทั้งปี S คือค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อต่อครั้ง และ I คือค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา

$$N = \frac{A}{EOQ} \quad (2)$$

โดยที่ N คือจำนวนครั้งที่สั่งซื้อประหยัดต่อปี A คือปริมาณการใช้ทั้งปี และ EOQ คือขนาดการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้งที่ประหยัด (Q*)

3.2 งานวิจัยที่เกียวข้อง

สุภัสสรา ปัญโญรัฐโรจน์ (2559) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “การวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม” งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนและระยะเวลาในการสั่งซื้อโดยใช้ทฤษฎีการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) มาใช้ในการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม โดยเก็บข้อมูลจากตัวอย่างสินค้าที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตและมีมูลค่าค่อนข้างสูงและเป็นสินค้าที่ไม่ค่อยจะเพียงพอต่อการใช้งาน เนื่องจากมีราคาแพง พบว่าถ้านำรูปแบบการสั่งซื้ออย่างประหยัดมาใช้ในการบริหารจัดการสินค้าคงคลังจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายรวมทั้งปีได้ถึง 910,500.69 บาท

เสริมพงษ์ เนียมสกุล (2561) ได้ทำการศึกษาเรื่อง”การประเมินและคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบโดยการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น” งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เกณฑ์การประเมินผู้ส่งมอบและเพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบ ที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มผู้ส่งมอบตามประเภทวัตถุดิบ พบว่าค่าน้ำหนักความสำคัญของ เกณฑ์การประเมินผู้ส่งมอบตามลำดับคือ คุณภาพ (0.317) ความตรงต่อเวลาในการส่งมอบ (0.241) ราคาวัตถุดิบ (0.213) การให้เครดิตในการจ่ายเงิน (0.152) และสถานที่ตั้งของผู้ส่งมอบ (0.077) และผลการคัดเลือกผู้ส่งมอบที่มีค่าคะแนนความสำคัญสูงสุดแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มผู้ส่งมอบวัตถุดิบ ประเภทโลหะ ได้แก่ บริษัท SUN (0.291) กลุ่มผู้ส่งมอบวัตถุดิบประเภท ได้แก่ บริษัท TOA (0.412) และกลุ่มผู้ส่งมอบวัตถุดิบประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้าและเบ็ดเตล็ด ได้แก่ บริษัท ROJ (0.520)

สุคนธ์ทิพย์ เพิ่มศิลป์ (2561) ได้ทำการศึกษาเรื่อง”การควบคุมพัสดุคงคลังประเภทหมึกพิมพ์” งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด พัสดุคงคลังสำรองและจุดสั่งซื้อใหม่ วิธีการดำเนินการวิจัยมี3 ขั้นตอน คือ (1) ใช้หลักการวิเคราะห์ABCเพื่อแบ่งกลุ่มหมึกพิมพ์ ได้ผลคือมีหมึกพิมพ์กลุ่ม A จำนวน 25 รายการ จากหมึกพิมพ์ทั้งหมด 135 รายการ (2) ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนเพื่อทดสอบความเหมาะสมของข้อมูลก่อนการหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด ได้ผลคือมีหมึกพิมพ์ 23 รายการที่สามารถนำมาหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดได้ (3) คำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด พัสดุคงคลังสำรอง และจุดสั่งซื้อใหม่ของหมึกพิมพ์ พบว่าผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ระดับพัสดุคงคลังลดลงจาก 4,191 กิโลกรัมเหลือ 2,751 กิโลกรัม และเงินลงทุนในพัสดุคงคลังลดลงจาก 473,583 บาทต่อปี เหลือ 310,863 บาทต่อปี ลดลงได้ 162,720 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 34.4%

ธัญพิสิษฐ์ ติยานนท์ ชนาธิป ต่ายทรัพย์ ปฐพี พิลาดิษฐ์ ชานนท์ แก้วพวงศ์ รัตนพงษ์ ชนะพันธ์และสุรชัย นามพรมมา (2562) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “ความยืดหยุ่นของการประยุกต์ใช้ปริมาณการสั่งซื้อ

ที่ประหยัดที่สุด (EOQ) และจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) ในการบริหารสินค้าคงคลังของกิจการร้านค้าอะไหล่เครื่องซักผ้า" โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์ ต้นทุนของการบริหารจัดการสินค้าคงคลังแบบปัจจุบันกับต้นทุนของการบริหารจัดการสินค้าคงคลังตามแบบ EOQ ของสินค้ากลุ่ม A พบว่าปัจจุบันมีจำนวนการสั่งซื้อเท่ากับ 180 ครั้งต่อปี และเมื่อคำนวณหาโดยวิธีการ EQQ จะมีจำนวนการสั่งซื้อเท่ากับ 87.98 ครั้ง ดังนั้นหากนำรูปแบบการสั่งซื้อแบบประหยัดมาใช้ในการบริหารจัดการสินค้าคงคลังจะทำให้จำนวนครั้งของการสั่งซื้อสินค้าลดลงส่งผลให้ต้นทุนจากการสั่งซื้อสินค้าลดลง

สมชาย เปรียงพรม (2564) ได้ทำการศึกษาเรื่อง"การหาแนวทางลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังด้วยการหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม" งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ชนิดกล่อง และเพื่อหาแนวทางการลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลัง จากการศึกษาข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าการประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์หาปริมาณการสั่ง ที่ประหยัดสามารถลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังโดยรวมจากเดิม 23,316.62 บาทต่อปี ลดลงเหลือ 12,944.34 บาทต่อปี ลดลงรวม 10,372.28 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 44.48

4. วิธีการดำเนินงาน

4.1 ศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน

จากการศึกษาพบว่าปัจจุบันการจัดการอะไหล่คงคลังจะอาศัยประสบการณ์จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ใช้งานจริงหรือหัวหน้างานทำให้เกิดปัญหาด้านการจัดการอะไหล่คงคลัง เนื่องจากพนักงานคนก่อนมีการแบ่งกลุ่มประเภทวัสดุอะไหล่โดยการกำหนดเอง จึงทำให้การจัดการอะไหล่คงคลังของบริษัทมีรายการตลับลูกปืน (Bearing) กลุ่ม A มากเกินไป รวมถึงไม่มีการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนเกี่ยวกับปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม บริษัทกรณีศึกษาจะแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 แบบ คือการควบคุมวัสดุคงคลัง (Inventory Stock) งานสั่งซื้อที่ทางหน่วยงาน Spare part control ทำการสั่งซื้อเข้ามาและมีการทำรับเข้าระบบ ซึ่งการเบิก-จ่ายของที่มีการควบคุมนั้น ต้องทำการค้นหาในระบบก่อน เพื่อให้ทราบตำแหน่งและจำนวนคงเหลือของวัสดุนั้น ๆ และการซื้อใช้งานโดยตรง (Direct Purchased) คือ งานสั่งซื้อที่ทางผู้ใช้งานหรือหัวหน้างานทำการสั่งซื้อเข้ามาเอง ลักษณะเป็นการใช้งานครั้งเดียวหรืองานโครงการ ซึ่งจะแยกเก็บไว้เป็นพาเลต ในการนำไปใช้งานสามารถนำไปใช้ได้เลย

4.2 เสนอแนวทางการปรับปรุง

จากการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดการอะไหล่คงคลัง ได้นำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา ดังนี้

4.2.1 การจัดลำดับกลุ่มด้วยเทคนิค ABC Analysis

โดยคำนวณหาร้อยละของมูลค่าแต่ละรายการและหาค่าร้อยละสะสมของแต่ละรายการ จากนั้นก็จัดลำดับรายการออกตาม กลุ่ม A กลุ่ม B และกลุ่ม C และผลที่ได้จากการจัดลำดับกลุ่มจะนำมาเป็นเครื่องมือในการจัดระเบียบการดำเนินงานภายในคลัง รวมถึงใช้ในการตรวจสอบต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงในปัจจุบัน

4.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้ออย่างประหยัด (Economic order quantity: EOQ)

เลือกเฉพาะรายการตลับลูกปืนกลุ่ม A ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้ออย่างเหมาะสม เพื่อเสนอแนวทางในการจัดการอะไหล่คงคลังให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

5. ผลการดำเนินงาน

5.1 การจัดกลุ่มตลับลูกปืนด้วยเทคนิค ABC Analysis

ผู้ศึกษาได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการเบิกใช้ลูกตลับปืนในอดีต ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 - ธันวาคม พ.ศ. 2563 จำนวนทั้งสิ้น 85 รายการ มาทำการวิเคราะห์จัดแบ่งกลุ่มด้วยเทคนิค ABC Analysis โดยการกำหนดให้เป็นกลุ่ม A กลุ่ม B และกลุ่ม C ตามมูลค่าความสำคัญ 80:15:5 ตามลำดับ โดยคำนวณหามูลค่าของรายการตลับลูกปืนแต่ละรายการและจากผลการวิเคราะห์ผู้จัดทำสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค ABC Analysis

รายการที่	กลุ่ม	มูลค่าสินค้าคงคลัง	ร้อยละมูลค่าสินค้าคงคลัง
1-9	A	4,441,755.96	79%
10-25	B	913,737.1	16%
26-85	C	266,653.26	5%

จากตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ABC Analysis สรุปได้ดังนี้

รายการที่ 1-9 มีมูลค่ารวมสินค้าคงคลังถึง 4,441,755.96 บาท คิดเป็นร้อยละ 79 ของมูลค่ารวมทั้งหมด จัดเป็นกลุ่ม A เพราะมีมูลค่าสูงและมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

รายการที่ 10-25 มีมูลค่ารวมสินค้าคงคลังถึง 913,737.10 บาท คิดเป็นร้อยละ 16 ของมูลค่ารวมทั้งหมดจัดเป็นกลุ่ม B เพราะมีมูลค่าปานกลางและมีความสำคัญระดับปานกลาง

รายการที่ 26-85 มีมูลค่ารวมสินค้าคงคลังถึง 266,653.26 บาท คิดเป็นร้อยละ 5 ของมูลค่ารวมทั้งหมด จัดเป็นกลุ่ม C เพราะมีมูลค่าน้อยและมีความสำคัญน้อย

จากผลจากการจัดลำดับกลุ่มที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ผู้ศึกษาจะนำเฉพาะกลุ่ม A ทั้งหมด 9 รายการ มาวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด โดยมีรายละเอียดของต้นทุนการสั่งซื้อและถือครองแต่ละรายการดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดต้นทุนของแต่ละรายการ

รายการที่	รหัสสินค้า	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ปริมาณการใช้ต่อปี (หน่วย)
1	MM0024P	75,761.35	15
2	MM0025P	75,761.35	13
3	MM0345P	17,544.50	22
4	MM0018P	31,257.45	12
5	MM0019P	31,257.45	12
6	MM0654P	11,400.00	28
7	MM0013P	37,005.83	8
8	MM0012P	36,498.34	8
9	MM0649P	8,937.00	31

5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้ออย่างประหยัด (Economics order quantity: EOQ)

ในหัวข้อนี้จะเป็นการคำนวณหา EOQ ซึ่งจะพิจารณาจากต้นทุนของสินค้าคงคลังในช่วงเวลา 1 ปี โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษา (Carrying Cost)

เป็นค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษาวัสดุคงคลัง ซึ่งประกอบด้วย ค่าประกันอัคคีภัย ค่าเสื่อมราคาอาคาร ค่าเสียหายวัสดุล้าสมัยและเสื่อมเสีย ค่าซ่อมบำรุงรักษาอาคารและเครื่องมือ ในการรวบรวมทางองค์กรใช้หลักเกณฑ์ตามการคำนวณตัดค่าเสื่อมราคาอาคารในอัตราคงที่ 10% ต่อปี

- ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (Ordering Cost)

เป็นค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อต่อครั้ง พิจารณาจากค่าแรงพนักงาน ค่าใช้จ่ายการสื่อสาร ค่าวัสดุสิ้นเปลืองและค่าเสื่อมราคาต่าง ๆ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ 120 บาท/ครั้ง

นำข้อมูลที่ได้จากวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ABC Analysis เฉพาะกลุ่ม A ทั้ง 9 รายการ มาคำนวณหาต้นทุนของการควบคุมอะไหล่คงคลังแบบเดิม ได้ผลดังรูปที่ 6

รายการที่	รหัสรายการสินค้า	ราคาต่อหน่วย (บาท)	แบบเดิม	
			ปริมาณการใช้ต่อปี (หน่วย)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาทต่อปี)
1	MM0024P	75,761.35	15	1,136,420.25
2	MM0025P	75,761.35	13	984,897.55
3	MM0345P	17,544.50	22	385,979
4	MM0018P	31,257.45	12	375,089.40
5	MM0019P	31,257.45	12	375,089.40
6	MM0654P	11,400.00	28	319,200.00
7	MM0013P	37,005.83	8	296,046.64
8	MM0012P	36,498.34	8	291,986.72
9	MM0649P	8,937.00	31	277,047.00
รวม			149	4,441,755.96

รูปที่ 6 การคำนวณต้นทุนกลุ่ม A รูปแบบเดิม

จากรูปที่ 6 แสดงการคำนวณต้นทุนของการควบคุมอะไหล่คงคลังประเภท A ได้ค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 4,441,755.96 บาท

รายการที่	รหัสรายการสินค้า	ราคาต่อหน่วย (บาท)	แบบ EOQ		
			ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (หน่วย)	สั่งจริง	ค่าใช้จ่ายรวม (บาทต่อปี)
1	MM0024P	75,761.35	19	15	1,136,420.25
2	MM0025P	75,761.35	18	13	984,897.55
3	MM0345P	17,544.50	23	22	385,979.00
4	MM0018P	31,257.45	17	12	375,089.40
5	MM0019P	31,257.45	17	12	375,089.40
6	MM0654P	11,400.00	26	26	296,400.00
7	MM0013P	37,005.83	14	8	296,046.64
8	MM0012P	36,498.34	14	8	291,986.72
9	MM0649P	8,937.00	27	27	241,299.00
รวม				143	4,383,207.96

รูปที่ 7 ผลการคำนวณต้นทุนกลุ่ม A รูปแบบการสั่งซื้ออย่างประหยัด

จากรูปที่ 7 แสดงการคำนวณต้นทุนของการควบคุมอะไหล่คงคลังประเภท A ที่ทำการวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้ออย่างเหมาะสม ได้ค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 4,383,207.96 บาท แสดงตัวอย่างการคำนวณดังนี้

รายการที่ 1 รหัส MM0024P

$$EOQ = \sqrt{\frac{2(15)(120)}{10}}$$

ปริมาณการสั่งซื้อแบบ EOQ = 19 ลูกต่อครั้ง
จำนวนครั้งที่สั่งซื้อประหยัดต่อปี = D/Q = 15/19 = 1 ครั้งต่อปี

รายการที่ 2 รหัส MM0025P

$$EOQ = \sqrt{\frac{2(13)(120)}{10}}$$

ปริมาณการสั่งซื้อแบบ EOQ = 18 ลูกต่อครั้ง
จำนวนครั้งที่สั่งซื้อประหยัดต่อปี = D/Q = 13/18 = 1 ครั้งต่อปี

รายการที่ 3 รหัส MM0345P

$$EOQ = \sqrt{\frac{2(22)(120)}{10}}$$

ปริมาณการสั่งซื้อแบบ EOQ = 23 ลูกต่อครั้ง
จำนวนครั้งที่สั่งซื้อประหยัดต่อปี = D/Q = 15/23 = 1 ครั้งต่อปี

จากรูปที่ 6-7 พบว่าการสั่งซื้อรูปแบบเดิมของรายการที่ 6 รหัส MM0654P มีปริมาณการใช้ทั้งปีอยู่ที่ 28 หน่วย แต่เมื่อใช้วิธีการสั่งซื้อแบบ EOQ จะมีปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดอยู่ที่ 26 หน่วย และของรายการที่ 9 รหัส MM0649P มีปริมาณการใช้ทั้งปีอยู่ที่ 31 หน่วย แต่เมื่อใช้วิธีการสั่งซื้อแบบ EOQ จะมีปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดอยู่ที่ 27 หน่วย ซึ่งจำนวนที่ลดลงไม่ได้มีผลต่อการสั่งซื้อขั้นต่ำและส่วนลด

เนื่องจากเป็นการสั่งซื้อภายในประเทศค่อนข้างหาซื้อง่ายและระยะเวลาจัดส่งไม่นานมากนักจึงไม่ได้เป็นปัญหาสำหรับปริมาณการสั่งซื้อที่ลดลง และผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าการสั่งซื้อรูปแบบเดิมจะมีต้นทุนสูงกว่ารูปแบบการสั่งซื้อที่ประหยัด ดังนั้นหากนำรูปแบบการสั่งซื้อที่ประหยัดมาใช้ในการบริหารจัดการสินค้าคงคลังจะสามารถลดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายได้ถึง 58,548 บาท แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการควบคุมอะไหล่คงคลัง

เปรียบเทียบ	แบบเดิม	แบบ EOQ
ต้นทุนในการจัดการสินค้าคงคลังต่อปี	4,441,755.96 บาท	4,383,207.96 บาท

จากตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าปริมาณการสั่งซื้ออย่างประหยัด (EOQ) หลังปรับปรุงเป็นสิ่งที่ควรนำมาประยุกต์ใช้จะสามารถลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการจัดวัสดุคงคลังลงได้

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้ออย่างเหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการจัดการอะไหล่คงคลัง โดยนำทฤษฎีการวิเคราะห์แบบเอบีซี (ABC Analysis) มาประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับกลุ่มออกตามมูลค่าสินค้าคงคลัง และนำทฤษฎีการสั่งซื้ออย่างประหยัดมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้ออย่างประหยัด พบว่ารูปแบบการหาปริมาณการสั่งซื้ออย่างประหยัดของบริษัทกรณีศึกษาจะมีต้นทุนรวมทั้งหมดของการบริหารจัดการสินค้าคงคลังเท่ากับ 4,383,207.96 บาท และการบริหารจัดการสินค้าคงคลังรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษาจะมีต้นทุนรวมของการบริหารจัดการสินค้าคงคลังเท่ากับ 4,441,755.96 บาท สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายรวมทั้งปีได้ถึง 58,548 บาท โดยค่าใช้จ่ายที่ลดลงไปนั้นเกิดจากค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อต่อครั้งและค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษาสินค้าลดลง เนื่องจากมีปริมาณการสั่งซื้ออย่างเหมาะสมมากขึ้น และค่าใช้จ่ายที่ลดลงไปนั้นบริษัทสามารถนำไปใช้จ่ายในกิจกรรมอื่นๆได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบริษัท ดารามิค (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้ความร่วมมือในการเข้าไปศึกษาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ขอขอบคุณพนักงานทุกฝ่ายในบริษัทที่ช่วยให้ข้อมูลในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] เรือเอก สุชาติ ศุภมงคล. การจัดการอะไหล่ให้เพิ่มผลผลิต (SPARE PARTS OPTIMIZATION), ฉบับปรับปรุง, 2546.

[2] ภัสสรา ปัญโญรัฐโรจน์. การวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้ออย่างเหมาะสม. มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์, 2559.

[3] เสริมพงษ์ เนียมสกุล, จิราวรรณ เนียมสกุล. การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการวัตถุดิบคงคลัง. วารสารสหศาสตร์ศรีปทุม ชลบุรี. ปีที่ 15 ฉบับที่ 3 เดือนมกราคม-มีนาคมม, 2562.

[4] สุคนธ์ทิพย์ เพิ่มศิลป์. การควบคุมพัสดุคงคลังประเภทหมึกพิมพ์. วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 29 ฉบับที่ 4 เดือนตุลาคม-ธันวาคม, 2561

[5] ธัญพิสิษฐ์ ติยานนท์, ชนาธิป ต่ายทรัพย์, ปฐพี พิลาดิษฐ์, ชานนท์ แก้วพวงศ์, รัตน์พงษ์ ชนะพันธ์และสุรชัย นามพรมมา. การวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดและจุดสั่งซื้อใหม่ กรณีศึกษาร้านค้าอะไหล่เครื่องซักผ้า . การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงตลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 4 และการประชุมระดับนานาชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1 26-28 มิถุนายน, 2562

[6] สมชาย เปรียงพรม. การหาแนวทางลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังด้วยการหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม.วารสารศรีนครินทรวิโรฒวิจัยและพัฒนา (สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์) ปีที่ 13 ฉบับที่ 26 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม, 25

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือ กรณีศึกษารถขุดบุ้งกี๋หมุน

Preventive Maintenance Plan Based on Reliability: Case Study of Bucket Wheel Excavator

ณัฐพล ธรรมสุรีย์[1*] กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์[1] ชัชวาล ชินวิกัย[1] วันชัย แหลมหลักสกุล[1]
[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: note.nataphol@gmail.com*

Nataphol Thumasuree[1*] Kanokporn Sripathomswat[1] Chatchawan Chinvigai[1] Vanchai Leamlaksakul[1]
[1]Department of Industrial Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
E-mail: note.nataphol@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำหลักการวิศวกรรมความน่าเชื่อถือมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน สำหรับเครื่องจักรขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรมเหมืองถ่านหินทางตอนเหนือของประเทศไทย โดยเลือกรถขุดบุ้งกี๋หมุนมาเป็นกรณีศึกษา จากเดิมกรณีศึกษาใช้การแจ้งให้ช่างเข้าซ่อมเมื่อเครื่องเสีย ยังไม่มีการกำหนดแผนการบำรุงรักษา ในการศึกษาวิจัยนี้ เริ่มจากการนำข้อมูลความเสียหายเครื่องจักรมาทำการคัดเลือกเครื่องจักรที่มีปัญหาการเกิดเหตุขัดข้องและเสียหาย จากนั้นทำการรวมข้อมูลช่วงเวลาทำงานเครื่องจักร เพื่อนำมาวิเคราะห์ความน่าจะเป็นช่วงเวลาความเสียหาย และทำการทดสอบสมติฐาน เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลช่วงเวลาความเสียหาย กำหนดให้ฟังก์ชันความเสียหายและความน่าเชื่อถือของสมการไวบูลล์ นำชุดข้อมูลความเสียหายมาหาค่าความเชื่อมั่นในการบำรุงรักษาโดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นเพื่อใช้ในการวางแผนรอบการบำรุงรักษาเครื่องจักร ผลการศึกษาพบว่าเวลาที่เหมาะสมในการเข้าบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางกลคือ 17 วัน
คำสำคัญ: การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน, การบำรุงรักษาบนฐานความน่าเชื่อถือ, การแจกแจงไวบูลล์

Abstract

This research aims to apply the principle of reliability engineering as a guideline to design a preventive maintenance plan based on reliability for a huge machine in a coal mining industry in the north of Thailand. The selected case study is a bucket-wheel excavator. Previously, maintenance technicians were informed when the broken machine had occurred and it lacked of maintenance plan as the breakdown maintenance theme was employed. The research began with analyzing the data concerning the damages to identify broken machines. Then, the data of working time and machine failure were used to analyze the probability of failure period. Later on, the hypothesis test was performed to determine the Weibull distribution and the reliability of failure was explored to set up the circle of machine maintenance. As a result, the proposed maintenance plan circle was established for every 17 days.
Keywords: preventive maintenance, reliability-centered maintenance, Weibull distribution

1. บทนำ

ในปัจจุบันในประเทศไทยมีแหล่งและปริมาณสำรองของถ่านหินในประเทศสำรองถ่านหินมากกว่า 2,000 ล้านตัน โดยในจำนวนนี้คิดเป็นปริมาณสำรองที่ประเมินแล้วประมาณ 1,100 ล้านตัน แหล่งถ่านหินส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณตอนเหนือของประเทศ ซึ่งพื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปางนั้นมีปริมาณการผลิตถ่านหินลิกไนท์ปริมาณมากที่สุดในประเทศและเป็นเหมืองเปิดที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ ซึ่งในกระบวนการเปิดหน้าดินนั้นทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้เปิดการประมูลเพื่อให้บริษัทเอกชนเข้ามารับเหมางานในแต่ละพื้นที่ที่ทำการเปิดเหมืองในจุดที่สำรวจพบถ่านหินลิกไนท์ ซึ่งปัจจุบันมีการเปิดหน้าดินเหมืองเข้าสู่สัญญา 8 และ 9 โดยมีอายุสัญญาโดยประมาณ 10 ถึง 15 ปี จากการศึกษาเบื้องต้นบริษัทกรณีศึกษาซึ่งที่ดำเนินธุรกิจด้านการเปิดหน้าดินเหมืองถ่านหินลิกไนต์ได้สัญญาจ้างเหมาขุด-ขนดิน มีมูลค่าทั้งหมดประมาณ 22,871 ล้านบาท ต้องดำเนินการขุดและขนดินปริมาณ 375.0 ล้าน ลบ.ม. และขุดคัดแยกถ่านหินปริมาณ 31.0 ล้านตัน ให้แล้วเสร็จตามสัญญาตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2568 โดยใช้ระบบสายพานลำเลียง มีความยาวทั้งสิ้น 12.6 กิโลเมตร ประกอบด้วยสายพาน 12 เส้นที่มีความกว้างของสายพานอยู่ที่ 2.2 เมตรและ 2.6 เมตร และมีความจุสูงสุด 27,600 ตัน/ชั่วโมง

การบำรุงรักษาเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยลดการเกิดการขัดข้องและเสียหาย (Breakdown) ของเครื่องจักร อันได้แก่ การจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) รวมถึงการใช้ความรู้ทางด้านการบำรุงรักษาบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือ (Reliability) เพื่อช่วยในการคาดการณ์และสามารถกำหนดรูปแบบแผนงานซ่อมบำรุงได้ก่อนที่จะเกิดการขัดข้อง

รศ.ดร. สมภพ ตลับแก้ว (2558) ได้ทำการศึกษาทฤษฎี วิศวกรรมความน่าเชื่อถือ สำหรับการบำรุงรักษา ในส่วนของรอบการคำนวณ

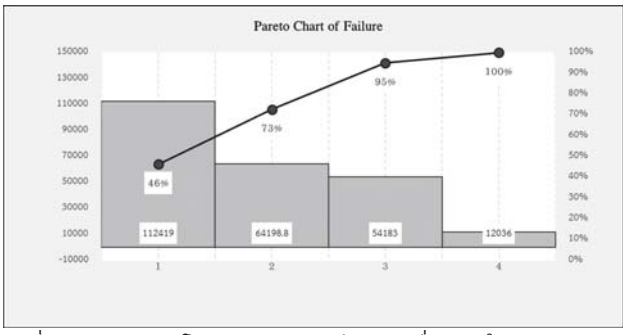
สมศักดิ์ สัมฤทธิ์ (2552) ได้ทำการศึกษาการจัดลำดับความสำคัญของชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องผสมคอนกรีต และนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความเสียหายและระดับความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะความเสียหายและผลกระทบ

กาญจนา จิตรจุน (2550) การวิเคราะห์รูปแบบและผลกระทบของความเสียหาย, อัตราความพร้อมใช้งาน, เวลาเฉลี่ยระหว่างความเสียหาย ได้นำระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรและการวิเคราะห์รูปแบบและผลกระทบของความเสียหายมาใช้งานในโรงงานตัวอย่าง

บริษัทกรณีศึกษาได้ทำแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรแต่ยังขาดความน่าเชื่อถือ และมีสาเหตุหลักที่ทำให้แผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรในปัจจุบันไม่ได้ผลเท่าที่ควร เช่น เครื่องจักรที่ใช้งานมานานและเสื่อมสภาพ เครื่องจักรบางส่วนมีการดัดแปลงสภาพจากเดิม จึงทำให้เกิดความเสียหายของเครื่องจักรตามตารางที่ 1 และสามารถแสดงเป็นแผนภูมิพาเรโตเวลาสูญเสียของเครื่องจักรในกระบวนการขุดและขนดิน ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 การสูญเสียเวลาที่เกิดจากความเสียหายของเครื่องจักรที่ใช้ในการดำเนินกิจการ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2562 – มิถุนายน พ.ศ. 2563

ลำดับที่	เครื่องจักรหลักที่ใช้ในการผลิต	ระยะเวลาที่เครื่องจักรเกิดความเสียหาย (นาที)
1	รถขุดบุ้งกี๋หมุน (BUCK WHEEL EXCAVATOR)	112,419
2	เครื่องโม่ดิน (CRUSHING PLANT)	64,198
3	ระบบสายพานลำเลียง (CONVEYOR SYSTEM)	54,183
4	เครื่องโปรยดิน (SPREADER)	12,036



รูปที่ 1 แผนภูมิพาเรโตแสดงเวลาสูญเสียของเครื่องจักรในกระบวนการขุด-ขนดิน

ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโดยเน้นเครื่องจักรหลักที่ใช้ในการผลิตเพื่อให้มีข้อมูลและรายละเอียดที่เจนมากขึ้น ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องจักรรถขุดบุ้งกี๋หมุน (Bucket Wheel Excavator) จำนวน 2 คัน จากตารางที่ 2

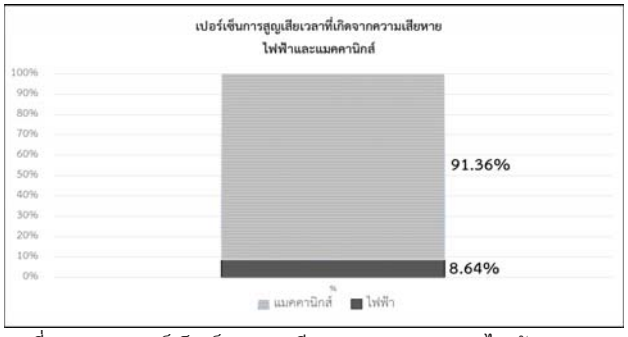
ตารางที่ 2 การสูญเสียเวลาที่เกิดจากความเสียหายของรถขุดบุ้งกี๋หมุนคันที่ 1 และ 2 ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ.2562 – มิถุนายน พ.ศ.2563

ลำดับที่	เครื่องจักรหลักที่ใช้ในการผลิต	ระยะเวลาที่เครื่องจักรเกิดความเสียหาย (นาที)
1	รถขุดบุ้งกี๋หมุน (BUCKET WHEEL EXCAVATOR) No. 1	51,940
2	รถขุดบุ้งกี๋หมุน (BUCKET WHEEL EXCAVATOR) No. 2	60,479

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกทำการศึกษาปัญหาความเสียหายของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตโดยมุ่งเน้นไปยังรถขุดบุ้งกี๋หมุนเบอร์ 2

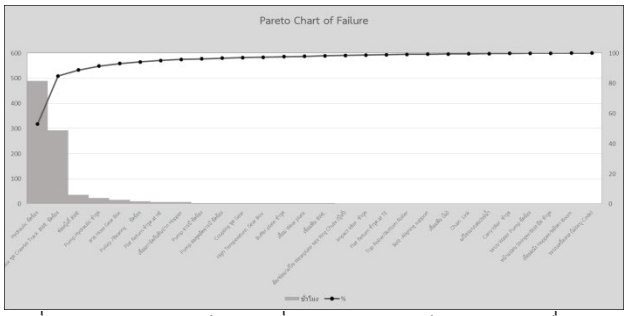
2. วิธีวิจัย

การสูญเสียเวลาที่เกิดจากความเสียหายของรถขุดบุ้งกี๋หมุนเบอร์ 2 เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาปัญหา ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการแยกสาเหตุถึงชิ้นส่วนระบบย่อยโดยใช้ข้อมูลการเกิดเหตุขัดข้องของเครื่องจักรมาวิเคราะห์ถึงปัญหาการสูญเสียเวลานั้นมาจากทางด้านระบบไฟฟ้าหรือทางด้านระบบแมคคานิกส์ ซึ่งใช้ข้อมูลการเกิด Breakdown จากทางหน่วยงานฝ่ายผลิตมาวิเคราะห์



รูปที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเวลาระหว่างระบบไฟฟ้าและระบบแมคคานิกส์

จากการที่ได้ทำการแยกการสูญเสียเวลาที่เกิดจากความเสียหายของเครื่องจักรดังรูปที่ 2 ทำให้ทราบปัญหาของการเกิดการสูญเสียเวลาที่เกิดจากความเสียหายของเครื่องจักรนั้นมาทางด้านระบบแมคคานิกส์ ทำให้ทางผู้วิจัยได้จำแนกกลุ่มของการเกิดความเสียหายทางด้านแมคคานิกส์ออกมาเป็นระบบย่อยดังตารางที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการสูญเสียเวลาที่เกิดจากความเสียหายของเครื่องจักรออกเป็นกลุ่มระบบย่อยเครื่องจักรรถขุดบุ้งกี๋หมุน

จากรูปที่ 3 แสดงการสูญเสียเวลาที่เกิดจากความเสียหายของเครื่องจักรในรูปแบบพาเรโต้นั้นแสดงให้เห็นว่ากลุ่มระบบย่อยเครื่องจักรรถขุดบุ้งกี๋หมุนที่ส่งผลกับปัญหาการเกิด Breakdown สูง ได้แก่ 1) Hydraulic ขัดข้อง และ 2) Gear box ชุด Crawler Track BWE. ขัดข้อง

2.1 การประเมินแนวทางการบำรุงรักษาโดยใช้หลักการวิศวกรรมความน่าเชื่อถือ

ในขั้นตอนแรกเป็นการดำเนินการรวบรวมข้อมูลช่วงเวลาทำงานเครื่องจักร (Time to Failure : TTF) ของ Hydraulic ขัดข้อง และ Gear box ชุด Crawler Track BWE ขัดข้อง เพื่อใช้ทำการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นข้อมูลในช่วงเวลาตั้งแต่ มกราคม ปี 2562 จนถึง มิถุนายน ปี 2563 ตามตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 ช่วงเวลาความเสียหาย (TTF) ของ Hydraulic ขัดข้อง

ลำดับ	เดือน	เวลาขัดข้อง (นาที)	เวลาเครื่องจักรทำงาน (นาที)
1	มกราคม 62	680	41970
2	กุมภาพันธ์ 62	1920	29546
3	มีนาคม 62	1610	26782
4	เมษษยน 62	1260	52331
5	พฤษภาคม 62	6600	35398
6	มิถุนายน 62	2177	41050
7	กรกฎาคม 62	63	34225
8	สิงหาคม 62	943	46579
9	กันยายน 62	720	44379
10	ตุลาคม 62	1538	44311
11	พฤศจิกายน 62	420	43134
12	ธันวาคม 62	373	47490
13	มกราคม 63	559	34033
14	กุมภาพันธ์ 63	1848	41890
15	มีนาคม 63	559	38542
16	เมษษยน 63	6900	26221
17	พฤษภาคม 63	529	43699
18	มิถุนายน 63	613	41850

ตารางที่ 4 ช่วงเวลาความเสียหาย (TTF) ของ Gear box ชุด Crawler Track BWE.ขัดข้อง

ลำดับ	เดือน	เวลาขัดข้อง (นาที)	เวลาเครื่องจักรทำงาน (นาที)
1	มกราคม 62	238.2	41970
2	กุมภาพันธ์ 62	498	29546
3	มีนาคม 62	178.2	26781
4	พฤษภาคม 62	124.2	35398
5	กันยายน 62	36	44379
6	ธันวาคม 62	615	47490
7	มกราคม 63	15840	34033
8	พฤษภาคม 63	10.8	43699

เพื่อยืนยันรูปแบบการแจกแจงของข้อมูลที่ได้จากการวาดกราฟความน่าจะเป็น (Probability Plotting) ผู้วิจัยได้เลือกทำการทดสอบการกระจายความเสียหายของชิ้นส่วนอุปกรณ์ด้วยวิธีการทดสอบภาวะสารูปสนิทดี (Goodness of Fit Test) ซึ่งเป็นกระบวนการทางสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานเพื่อยอมรับหรือปฏิเสธการแจกแจงที่แสดงถึงลักษณะของข้อมูลประชากรที่สนใจ โดยสมมติฐานที่ใช้ทดสอบ คือ

H_0 : ข้อมูลช่วงเวลาความเสียหายเป็นรูปแบบการแจกแจงตามที่กำหนด
H_1 : ข้อมูลช่วงเวลาความเสียหายไม่เป็นรูปแบบการแจกแจงที่กำหนด

สำหรับสถิติที่ใช้ในการทดสอบภาวะสารูปสนิทดีสามารถแบ่งได้ตามแต่ละรูปแบบของการแจกแจงโดยสรุปได้ในตารางที่ 5 และใช้การประมาณค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของการแจกแจงแต่ละแบบสำหรับการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของช่วงเวลาความเสียหายของทั้ง 2 ระบบ ได้ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 5 วิธีการทดสอบภาวะสารูปสนิทดี (Goodness of Fit Test)

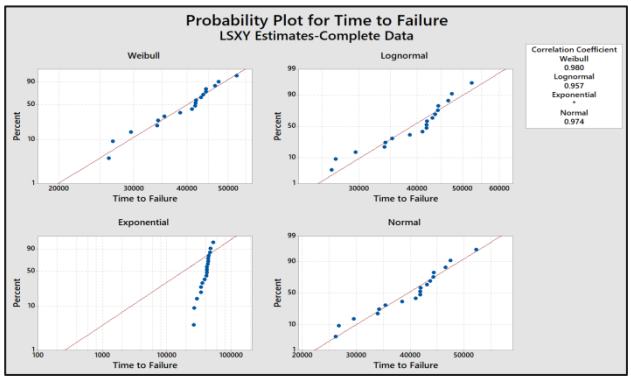
การแจกแจง	สถิติที่ใช้ทดสอบ
Exponential	Bartlett's Test
Normal / Lognormal	Kolmogorov-Smirnov Test
Weibull	Mann's Test

ตารางที่ 6 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของการแจกแจงแต่ละแบบ

การแจกแจง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Exponential	θ	θ
Normal	μ	σ
Lognormal	$\exp(\mu+0.5\sigma^2)$	$\sqrt{\exp(2\mu+\sigma^2)[\exp(\sigma^2)-1]}$
Weibull	$\theta\left[\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)\right]$	$\sqrt{\theta^2\left[\Gamma\left(1+\frac{2}{\beta}\right)-\left(\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)\right)^2\right]}$

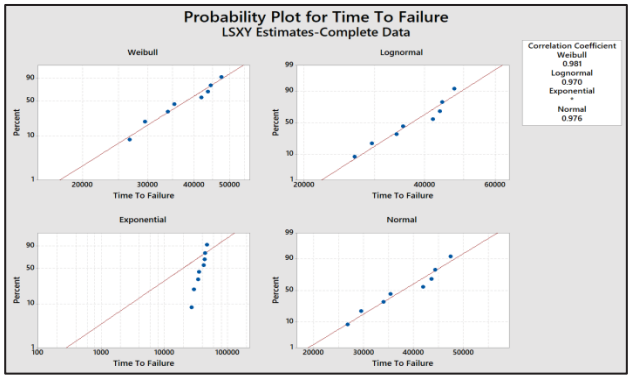
ที่มา : Lewis (1996) และ Ebeling (1997)

จากตารางที่ 3 ช่วงเวลาความเสียหาย (TTF) ของระบบ Hydraulic ขัดข้อง นำมาลำดับข้อมูลจากน้อยไปหามากเพื่อทำการวิเคราะห์หารูปแบบการแจกแจงของข้อมูลด้วยการวาดกราฟความน่าจะเป็น (Probability Plotting) ด้วยโปรแกรมทางสถิติ Minitab 11 ซึ่งแสดงผลได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลช่วงเวลาความเสียหายของระบบ Hydraulic ขัดข้อง

นำข้อมูลช่วงเวลาความเสียหายจากตารางที่ 4 ช่วงเวลาความเสียหาย (TTF) ของ Gear box ชุด Crawler Track BWE ขัดข้อง มาวิเคราะห์หารูปแบบการแจกแจงของข้อมูลด้วยการวาดกราฟความน่าจะเป็น (Probability Plotting) ด้วยโปรแกรมทางสถิติซึ่งแสดงผลได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลช่วงเวลาความเสียหายของ Gear box ชุด Crawler Track BWE ขัดข้อง

สถิติที่ใช้ทดสอบได้แก่ Mann's Test ซึ่งมีรูปแบบในการคำนวณดังสมการ ดังนี้

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} [\ln(t_{i+1}-\ln t_i)/M_i]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} [\ln(t_{i+1}-\ln t_i)/M_i]} \quad (1)$$

$$k_1 = \left[\frac{r}{2}\right] \quad (2)$$

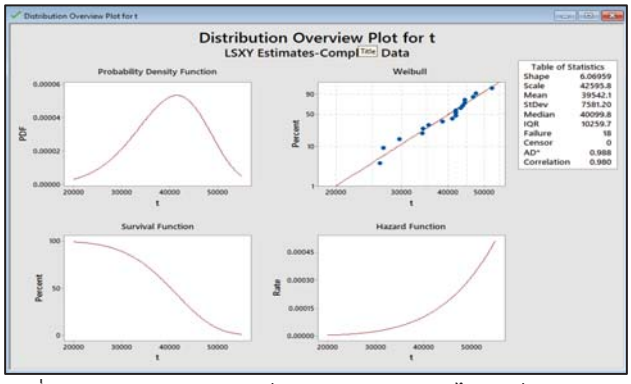
$$k_2 = \left[\frac{r-1}{2}\right] \quad (3)$$

2.2 การประมาณค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability Estimation) ของชิ้นส่วนอุปกรณ์

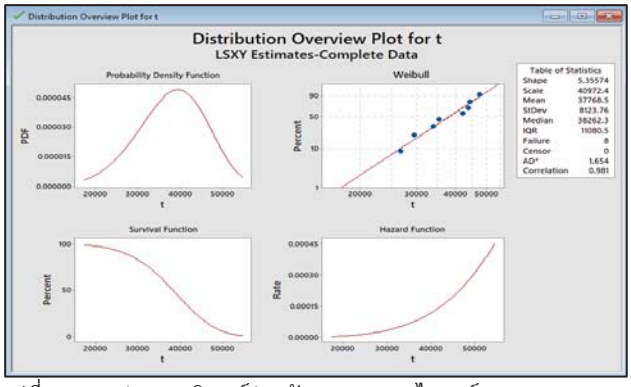
เมื่อทราบรูปแบบการกระจายตัวของช่วงเวลาความเสียหายของชิ้นส่วนอุปกรณ์ในลำดับต่อไปเป็นการประมาณค่าความน่าเชื่อถือของชิ้นส่วนอุปกรณ์เพื่อนำไปใช้ในการออกแผนงานบำรุงรักษา โดยทำการพิจารณาที่ความเชื่อมั่นโดยแบ่งตามลำดับ กำหนดให้ฟังก์ชันความเสียหายและความน่าเชื่อถือของไวบูลล์ โดยหาค่าความเชื่อมั่นตามสมการที่ 1-4

$$R(t) = e^{-(\frac{t}{\eta})^{\beta}} \quad (4)$$

จากค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรมทางสถิติ Minitab 11 ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 สามารถแบ่งความน่าเชื่อถือเป็น 2 ระบบคือ 1) Hydraulic ขัดข้อง 2) Gear box ชุด Crawler Track BWE ขัดข้อง นำไปคำนวณตามสมการที่ 1-4 จะได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 7 และ 8



รูปที่ 6 แสดงค่าพารามิเตอร์สำหรับแทนสมการไวบูลล์ของระบบ Hydraulic ขัดข้อง



รูปที่ 7 แสดงค่าพารามิเตอร์สำหรับแทนสมการไวบูลล์ของระบบ Gear box ชุด Crawler Track BWE. ขัดข้อง

ตารางที่ 7 ประมาณค่าความน่าเชื่อถือของ Hydraulic ขัดข้อง

R(t)	รอบเวลา (นาที)
95%	26112.10
90%	29399.99
85%	31576.11
80%	33269.19
75%	34691.21

ตารางที่ 8 ประมาณค่าความน่าเชื่อถือของ Gear box ชุด Crawler Track BWE ขัดข้อง

R(t)	รอบเวลา (นาที)
95%	23530.95
90%	26915.97
85%	29184.67
80%	30964.34
75%	32468.48

3. การ วางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับเครื่องจักร

จากการศึกษาข้อมูลเครื่องจักรรถขุดบุ้งกี๋หมุน (Buck Wheel Excavator) ของบริษัทกรณีศึกษาย้อนหลังนั้น ทำให้ทราบว่าบริษัทกรณีศึกษายังไม่มีแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน จะทำการบำรุงรักษาก็ต่อเมื่อเครื่องจักรนั้นเกิดเสียหาย (Breakdown) ทำให้ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลช่วงเวลาเครื่องจักรทำงาน เพื่อประมาณค่าความน่าเชื่อถือในการคำนวณรอบเวลาวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

จากการศึกษาข้อมูลความเสียหายของเครื่องจักรรถขุดบุ้งกี๋หมุน และนำข้อมูลความเสียหายมาทำการคำนวณรอบเวลาในการเข้าบำรุงรักษาเครื่องจักรนั้น ทำให้สามารถกำหนดรอบเวลาการเข้าบำรุงรักษาโดยกำหนดรอบอยู่ที่ทุกๆ 17 วัน ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

ระบบ	รอบเวลา (นาที)	ชั่วโมง	วัน
ระบบ Hydraulic	26112.10	435.20	18.13
Gear box ชุด Crawler Track BWE. ขัดข้อง	23530.95	392.18	16.34
	เฉลี่ย	413.69	17.23

3.1 รายการตรวจเช็คเครื่องจักรรอบ 17 วัน

จากการคำนวณรอบการเข้าตรวจเช็คเครื่องตามการประเมินแนวทางสำหรับการบำรุงรักษาโดยใช้หลักการวิศวกรรมความน่าเชื่อถือ (Reliability Engineering) ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยสามารถกำหนดรอบการเข้าตรวจเช็คทุกๆ 17 วัน ทางผู้วิจัยสามารถประมาณการถึงรายการที่จำเป็นต้องเข้าตรวจเช็คเมื่อถึงรอบการเข้าเช็ค

เครื่องจักร ได้ดังตารางที่ 10 จากการคำนวณโดยใช้หลักการวิศวกรรมความน่าเชื่อถือ คาดหมายว่าจะส่งผลให้การดำเนินแผนงานซ่อมบำรุงมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดปัญหาการเกิดเหตุขัดข้องของเครื่องจักร

ตารางที่ 10 รายการตรวจเช็คเครื่องจักรรถขุดบุ้งกี๋หมุนรอบ 17 วัน

ลำดับ	รายการตรวจสอบ Gear box ชุด Crawler Track BWE.
1	ตรวจสอบความเสียหายของยางกันชนของฐานยึดแรงบิด
2	ตรวจสอบข้อต่อเกลียวบนฐานยึดแรงบิด
3	ตรวจสอบการจัดตำแหน่งเพลาอินพุตและเอาต์พุต
4	ตรวจสอบอุณหภูมิเกียร์
5	ตรวจสอบเสียงขณะเครื่องเดิน
6	ตรวจสอบความแน่นของจุดเกียร์
7	ตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน
8	ตรวจสอบระดับน้ำมัน
9	ทำความสะอาดวาล์วระบายอากาศ
10	ตรวจสอบสกรูยึดให้แน่น
11	ตรวจสอบและควบคุมการทำงานของเบรค thruster
12	ตรวจสอบว่าความหนืดของน้ำมันเปลี่ยนไปหรือน้ำมันมีสีเข้ม
13	ตรวจสอบใบแท็คตัวเดินและโตรท์ที่ทับเบลอร์เข้ากันได้ดี ไม่เช่นนั้น ให้ปรับคลานใหม่ ติดตามความตึงเครียด
14	ตรวจสอบการเติมน้ำมันของอุปกรณ์ปรับความตึงไฮดรอลิก
15	ตรวจดูว่าใบที่เสียรูปหรือไม่และรอยเชื่อมมีรอยร้าวหรือไม่
16	ตรวจสอบการสึกหรอของล้อราง
17	ตรวจสอบล้อรองรับการสึกหรอตามแนวแกน
18	ตรวจสอบการสึกหรอของลูกเบี้ยวไตรพ์

ลำดับ	รายการตรวจสอบระบบ Hydraulic
1	ตรวจสอบว่าน็อตยึดแน่น
2	ตรวจสอบความแน่นของท่อไฮโดรลิกและข้อต่อ
3	ตรวจสอบความแน่นของกระบอกไฮดรอลิก
4	ตรวจสอบระดับการเติมน้ำมัน
5	ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมัน
6	ตรวจสอบระดับการปนเปื้อนของตัวกรอง
7	ตรวจสอบพฤติกรรมของวาล์วแรงดัน
8	ตรวจเช็คระบบการทำงานของชุด solenoid valve
9	ตรวจเช็คระดับแรงดันของชุด Pump Hydraulic

4. สรุป

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือของชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนซ่อมบำรุงเพื่อลดปัญหาการเกิดการขัดข้อง จากการศึกษาพบว่าเครื่องจักรรถขุดบุ้งกี๋หมุนไม่มีแผนงานบำรุงรักษา ขาดแผนการบำรุงรักษาและขาดข้อมูลที่สำคัญในการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เช่น ประวัติการซ่อม คู่มือเครื่องจักร และระเบียบวิธีการซ่อมบำรุง เป็นต้น

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้กำหนดไว้ ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานหลักๆ ดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลเครื่องจักรและชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่มีผลกระทบกับเครื่องจักร
2. ประเมินแนวทางการบำรุงรักษาโดยใช้หลักวิศวกรรมความน่าเชื่อถือ (Reliability Engineering)
3. ออกแบบแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับบริษัทกรณีศึกษา
4. สรุปผลการดำเนินงานวิจัยโดยนำเสนอแผนการบำรุงรักษาโดยใช้หลักวิศวกรรมความน่าเชื่อถือ (Reliability Engineering)

4.1 ข้อดีและข้อด้อยในการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือ

4.1.1 ข้อดี

การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ (Reliability Analysis) เป็นวิธีการที่บ่งบอกถึงรูปแบบความเสียหายของชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องจักรได้อย่างถูกต้องตามหลักทางสถิติและให้ผลของการกำหนดรอบเวลาการซ่อมแซม / การเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องจักรอย่างเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริง

4.1.2 ข้อด้อย

เนื่องด้วยการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ (Reliability Analysis) เพื่อกำหนดรอบเวลาการซ่อมแซม / การเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องจักร จำเป็นต้องใช้ข้อมูลความเสียหายของเครื่องจักรเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการวิเคราะห์

4.2 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย

การรวบรวมชุดข้อมูลหรือเอกสารยังไม่เป็นระบบ เนื่องจากทางบริษัทกรณีศึกษามีการลงบันทึกข้อมูลการเกิดเหตุขัดข้องและเสียหาย (Breakdown) ยังไม่ละเอียดและชัดเจน จึงส่งผลให้การวิเคราะห์ปัญหาอาจคลาดเคลื่อน ไม่ตรงประเด็น

4.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลงานวิจัย ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางออกแบบแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือ เพื่อลดปัญหาการเกิดเหตุขัดข้องและเสียหาย (Breakdown) ดังนั้นควรให้ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีวิศวกรรมความน่าเชื่อถือ (Reliability Engineering) กับหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษาเครื่องจักร เพื่อให้มีส่วนร่วมในการออกแบบแผนงานบำรุงรักษาและควรมีระบบการจัดฐานข้อมูล (Database Management System) เกี่ยวกับงานบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างเหมาะสม เพื่อความสะดวกในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์และใช้งานจริง

เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ดร. สมภพ ตลับแก้ว (2558). “วิศวกรรมความน่าเชื่อถือ สำหรับการบำรุงรักษา”, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2] สมศักดิ์ สัมฤทธิ์ (2553). การลดเวลาสูญเสียในการผลิตโดยวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันบนพื้นฐานทฤษฎีความน่าเชื่อถือ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[3] กาญจนา จิตรจุน (2550). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษาบนพื้นฐานของความน่าเชื่อถือ กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล, ภาควิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การวิเคราะห์ความเสี่ยงของกระบวนการดำเนินงานโดยการใช้ IDEF0 และ FMEA กรณีศึกษาบริษัทผลิตและบรรจุเครื่องสำอาง

An analysis on process risk in a case study of cosmetic business using IDEF and FMEA techniques

ศิริรัตน์ สุทธิรัตนาพร[1*] จุฑามาศ ชุมลักษณ์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: s.siriratnutt@gmail.com*

Sirirat Suttirattanaporn[1*] Juthamas Choomlucksana[1]
[1]Department of Materials Handling and Logistics Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: s.siriratnutt@gmail.com*

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมเครื่องสำอางมีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น 9.5% จากข้อมูลในไตรมาสเดียวกันของปี พ.ศ.2563 - 2564 และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นบริษัทควรหาโอกาสในการเพิ่มประสิทธิภาพการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อช่วยในการลดข้อบกพร่องและต้นทุนระหว่างกระบวนการผลิต จากการศึกษาข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษาบริษัทรับผลิตเครื่องสำอาง พบว่าในปีพ.ศ.2563 มีต้นทุนค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นประมาณ 470,000 บาท เนื่องจากเกิดความผิดพลาดระหว่างกระบวนการผลิต โดย 72% ของค่าใช้จ่ายดังกล่าวเกิดจากกระบวนการออกแบบของหน่วยวิจัยและพัฒนาเทคนิคบรรจุภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่อง ผลกระทบและนำเสนอแนวทางการจัดการความเสี่ยงในกระบวนการออกแบบ โดยเริ่มต้นจากการประยุกต์ใช้เทคนิค IDEF0 ในการสร้างแผนภาพกระบวนการธุรกิจ อธิบายความสัมพันธ์ของกิจกรรม และวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ FMEA ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลการออกแบบ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง
คำสำคัญ: ระบบผังงาน, การประเมินความเสี่ยง, การจัดการความเสี่ยง, การปรับปรุงคุณภาพ

Abstract

The cosmetics industry's manufacturing growth rate has increased to 9.5% in the same period (2020 and 2021) and shows a tendency to expand continuously. One reason, for this that companies have looked for opportunities to improve product development effectiveness, reducing defects and costs during the production process. Our company case study revealed an extra cost of approximately 470,000 baht due to mistakes during the production processes. An additional 72% of the extra costs are caused by errors in the product development process. Hence, we proposed analyzing the failure modes' effects to provide risk management guidelines for product development. The IDEF0 technique was used to build a business process displaying the relationships between activities. Then the FMEA was applied to analyze risks in the various activities identified. The results found that a lack of knowledge and poor design libraries are the main factors that increase defects.
Keywords: Framework, Failure, Risk Assessment, Quality improvement

1. บทนำ

การประเมินความเสี่ยงเป็นสิ่งจำเป็นที่ช่วยในการตัดสินใจว่าความเสี่ยงใดสามารถยอมรับได้ และความเสี่ยงใดต้องได้รับการแก้ไขภายใต้ระยะเวลาและต้นทุนที่จำกัด เทคนิคการวิเคราะห์ความเสี่ยงและผลกระทบ (FMEA) ถือเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ ดังตัวอย่างงานวิจัย [1] กล่าวว่าเทคนิค FMEA เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงของข้อบกพร่องในบริษัท อย่างไรก็ตามบุคคลที่ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงควรเป็นบุคลากรที่มีความเข้าใจในกระบวนการก่อน [2] ประยุกต์ใช้ FMEA ร่วมกับวิธีการ Saaty ในการเลือกผู้ให้บริการขนส่งสำหรับการจัดส่งสินค้าทางรถไฟ ผลการวิจัยพบว่าเทคนิค FMEA และ Saaty ช่วยเปรียบเทียบข้อจำกัดตัวแปรต่าง ๆของผู้ให้บริการ ส่งผลให้บริษัทสามารถตัดสินใจเลือกผู้ให้บริการที่เหมาะสมที่สุดได้ [3] ทำการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ร่วมกับเทคนิค FMEA สำหรับการปรับปรุงปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตผ้าเบรก ผลจากการวิเคราะห์พบว่าระบบควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบในกระบวนการผลิตมากที่สุด ผลการศึกษาพบว่าค่าคะแนนความเสี่ยงลดลง 5.8% เช่นเดียวกับ [4] ทำการประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงการแปรรูปไม้ยางพารา พบว่าหลังการปรับปรุงมีค่าคะแนนความเสี่ยงลดลง 53.3% [1 2] ทำการประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA และสรุปว่าเทคนิค FMEA ถือเป็นเทคนิคที่สำคัญที่ช่วยในการวิเคราะห์และจัดการความเสี่ยงหรือข้อบกพร่องได้ โดยสามารถใช้ได้กับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การออกแบบ การผลิต การบริการ และกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

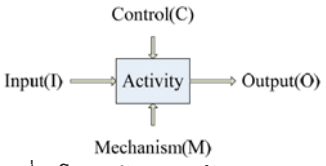
อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์หรือประเมินความเสี่ยง จำเป็นต้องทราบถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลหรือปัจจัยภายในกระบวนการก่อน ซึ่งเทคนิค IDEF0 เป็นเทคนิคที่ใช้ในการช่วยอธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมที่เกิดขึ้น และแสดงให้เห็นถึงการไหลของข้อมูลที่เกี่ยวข้องในกิจกรรม ดังงานวิจัย [5] ใช้เทคนิค IDEF0 วิเคราะห์และควบคุมการไหลของข้อมูลภายในกระบวนการทำงาน และประยุกต์ FMEA ร่วมกับ CPM ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการขาดทุนของการประเมินราคาการรับเหมาก่อสร้าง ผลการวิจัยพบว่า IDEF0 และ FMEA สามารถช่วยลดเวลาในการประเมินราคาและเพิ่มความแม่นยำของการประเมินราคาสูงถึง 95% เช่นเดียวกับ [6] ที่เลือกใช้เทคนิค IDEF0 เพื่อระบุกิจกรรมภายในคลังสินค้าของร้านขายยา รวมถึงช่วยแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมภายในคลังสินค้าได้อย่างชัดเจน และนำเทคนิค FMEA มาใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงลึกในกิจกรรมเพื่อทำการปรับปรุง ในขณะที่ [7] เลือกใช้เทคนิค IDEF0 มาวิเคราะห์และอธิบายความสัมพันธ์ในแต่ละระบบ และแสดงการไหลของข้อมูลเกี่ยวกับความเสี่ยงของโครงการก่อสร้าง ซึ่งเป็นโครงการที่มีการดำเนินงานที่ต่อเนื่อง และมีการประสานงานที่ซับซ้อน โดยการวิเคราะห์ดังกล่าวช่วยให้มีระบบในการจัดการความเสี่ยงที่ง่ายขึ้น รวมทั้งลดความเสี่ยงจากอันตรายในระหว่างการปฏิบัติงาน และลดการเกิดต้นทุนที่ไม่จำเป็นได้อีกด้วย

จากการศึกษาข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษาในปีพ.ศ.2563 พบว่าบริษัทมีค่าใช้จ่ายประมาณ 470,000 บาท (ร้อยละ 72 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด) สำหรับใช้ในการแก้ไขข้อบกพร่องระหว่างกระบวนการผลิตจากความผิดพลาดของกระบวนการดำเนินงานของหน่วยวิจัยและพัฒนาเทคนิคบรรจุภัณฑ์ จากการศึกษางานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ในการประยุกต์ใช้เทคนิค IDEF0 และ FMEA ว่าสามารถช่วยในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นได้ คณะผู้วิจัยจึงให้ความสนใจในการประยุกต์ใช้ทั้ง 2 เทคนิคในการวิเคราะห์กระบวนการดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษา และนำข้อมูลที่ได้ไปประเมินความเสี่ยง แก้ไขข้อบกพร่องของการดำเนินการของบริษัท เพื่อป้องกันการเกิดข้อบกพร่อง และลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น อีกทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ในอนาคต และช่วยให้บริษัทสามารถดำเนินธุรกิจต่อไปได้ภายใต้สภาวะธุรกิจในปัจจุบัน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคนิคผังระบบงาน IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling)

[6] เทคนิคผังระบบงาน IDEF0 ประกอบไปด้วย 2 โครงสร้างหลัก คือ กล่องข้อความ และลูกศร โดยกล่องข้อความเป็นตัวแทนของกิจกรรม กระบวนการ หรือการเปลี่ยนรูปของงาน และลูกศรแสดงความเกี่ยวข้องของข้อมูลและกิจกรรม ผังระบบงานจะประกอบไปด้วยลูกศร 4 ทิศทางดังความสัมพันธ์ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างระบบผังงาน IDEF0

โครงสร้างและความสัมพันธ์ของข้อมูลในผังระบบงานประกอบด้วย

1. กิจกรรม (Activity) หมายถึงการกระทำ หรือหน้าที่การทำงาน
2. ข้อมูลนำเข้า (Inputs) แสดงถึงวัตถุดิบและข้อมูลที่ต้องใช้ในการทำกิจกรรม เช่น ความต้องการลูกค้า
3. ผลลัพธ์ (Outputs) แสดงถึงผลหลังจากดำเนินกิจกรรมเสร็จสิ้น
4. ตัวควบคุม (Controls) แสดงถึงตัวควบคุมของกิจกรรมและปัจจัยป้อนเข้าเพื่อที่จะทำให้เกิดผลลัพธ์ เช่น ข้อกำหนดลูกค้า หรือกฎหมาย เป็นต้น
5. ตัวขับเคลื่อน (Mechanisms) แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมสามารถดำเนินงานสำเร็จได้ ต้องอาศัยเครื่องมือหรือวิธีการใด

โดยทั่วไปกระบวนการทางธุรกิจประกอบไปด้วยกระบวนการย่อยที่ทำงานประสานกัน ประกอบด้วยกิจกรรมย่อยหลายกิจกรรม โดยกิจกรรมย่อยอาจมีกิจกรรมแยกย่อยเป็นระดับ ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของกิจกรรมและกระบวนการ

2.2 เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

เทคนิค FMEA เป็นเทคนิคที่ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยบริหารความเสี่ยง สามารถแบ่งออกเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. ระบุข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์หรือเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการต่าง ๆ
2. ประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องเหล่านั้นและจัดลำดับความสำคัญของปัญหาเพื่อการดำเนินการแก้ไข
3. ระบุและดำเนินการแก้ไขเพื่อจัดการกับข้อบกพร่องที่มีความเสี่ยงที่สุด

โดยมีการกำหนดเกณฑ์สำหรับการประเมิน 3 เกณฑ์ คือ

1. ระดับความรุนแรงของข้อบกพร่อง (S, Severity)
2. ความถี่ของโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง (O, Occurrence)
3. ความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่อง (D, Detection)

การคำนวณคะแนนความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) คือการนำคะแนนที่ได้ในแต่ละเกณฑ์มาคำนวณตามสมการ

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

โดยค่า RPN สามารถแยกประเภทความเสี่ยงได้ 3 ระดับ ความเสี่ยงต่ำ ความเสี่ยงปานกลาง และ ความเสี่ยงสูง

[4] ได้กล่าวถึงประโยชน์ของ FMEA ดังนี้

1. ช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ
2. ช่วยปรับปรุงและเพิ่มความพึงพอใจของผู้บริโภค เนื่องจากอาจมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนในด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์
3. ช่วยลดกิจกรรมที่ไม่มีคุณค่า (non-value-added operations) และ
4. ช่วยในการควบคุมแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์

เทคนิค FMEA แบ่งออกได้เป็น 6 ประเภทหลักดังนี้ ระบบ (System FMEA) การออกแบบ (Design FMEA) กระบวนการ (Process FMEA) การบริการ (Service FMEA) ซอฟต์แวร์ (Software FMEA) และการผลิต (Manufacturing FMEA) โดยในงานวิจัยนี้ทำการประยุกต์ใช้ FMEA ประเภทการออกแบบ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

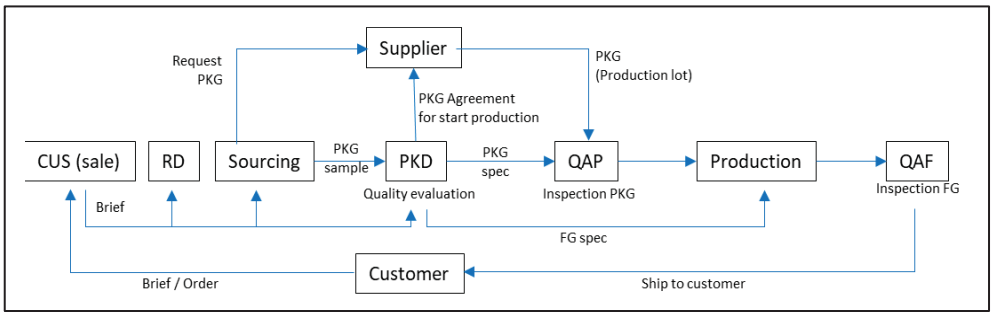
3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทรับจ้างผลิตและบรรจุเครื่องสำอางที่มีการให้บริการแบบครบวงจร ตั้งแต่การออกแบบ การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ การจัดหาวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ และการวางแผนการผลิต โดยมีการประสานงานร่วมกันระหว่างลูกค้า พนักงานดูแลลูกค้า และโรงงาน เพื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของลูกค้าตลอดจนส่งมอบสินค้า ในส่วนของขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้องมีการประสานงานและทำงานร่วมกันกับหลาย ๆ หน่วยงาน โดยความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยงานเป็นดังรูปที่ 2 ประกอบไปด้วยหน่วยงานหลัก 8 หน่วยงานดังนี้

1. CUS (Sale) ทำหน้าที่ติดต่อกับลูกค้าเพื่อรับความต้องการและรวบรวมข้อมูลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งรับยอดการเปิดสั่งซื้อ
2. RD ทำหน้าที่ปรับปรุง และพัฒนาสูตรของผลิตภัณฑ์ให้ตรงความต้องการลูกค้า
3. Sourcing ทำหน้าที่จัดหาบรรจุภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการของลูกค้าส่งให้หน่วยงาน PKD รวมทั้งติดต่อและควบคุม Timeline การผลิตของ Supplier ให้สอดคล้องกับแผนการผลิตของ LGT
4. PKD ทำหน้าที่รับรองคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ โดยหน่วยงาน PKD จะมีหน่วยงานภายในที่ทำงานร่วมกัน 3 หน่วยงานย่อยดังนี้
   - Project: ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลผลิตภัณฑ์เพื่อติดต่อกับหน่วยงานผลิตและ LGT เพื่อวางแผนการผลิต และจัดทำเอกสาร FG spec เพื่อเป็นข้อกำหนดในการผลิต
   - Technic: ทำหน้าที่ประเมินและรับรองบรรจุภัณฑ์หลัก (Primary Packaging) รวมทั้งออกแบบบรรจุภัณฑ์รอง (Secondary Packaging) ให้สอดคล้องกับการตลาด การวางขาย และการขนส่ง และจัดทำเอกสาร Agreement spec เพื่อเป็นข้อตกลงในการผลิตบรรจุภัณฑ์ร่วมกับ Supplier
   - Lab testing: ทำหน้าที่ทดสอบบรรจุภัณฑ์ตามเอกสารที่เจ้าหน้าที่เทคนิคจัดส่ง
5. QAP ทำหน้าที่ตรวจสอบและรับรองคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ของให้มีคุณภาพสอดคล้องกับข้อตกลงและการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ตามเอกสาร PKG spec
6. Production หรือหน่วยงานผลิต ทำหน้าที่ผลิตผลิตภัณฑ์ตามแผนของ LGT และดำเนินการผลิตตามขั้นตอนและข้อกำหนดที่ถูกระบุไว้ในเอกสาร FG spec
7. QAF ทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Finished goods) ก่อนการส่งมอบให้ลูกค้า
8. LGT ทำหน้าที่วางแผนการผลิตให้สอดคล้องกับระยะเวลาการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าตาม Timeline

ระยะเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ การนำเสนอผลิตภัณฑ์ (Business Bidding) และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ (Business Award) เพื่อตอบสนองความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้ารวมถึงสร้างความน่าเชื่อถือของบริษัท

ดังนั้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จึงมีปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณา คือ คุณภาพ ค่าใช้จ่าย จำนวนผลิตภัณฑ์ในการส่งมอบ และระยะเวลาการส่งมอบผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

3.2 การเก็บข้อมูลกระบวนการการดำเนินการ

คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ขั้นตอนการดำเนินงานของหน่วยวิจัยและพัฒนาเทคนิคบรรจุภัณฑ์ (PKD-Technic) โดยทำการศึกษาและเก็บข้อมูลตั้งแต่ขั้นตอนการรับความต้องการจากลูกค้าจนถึงการออกเอกสารข้อตกลงการผลิต (PKG specification) รวมทั้งรวบรวมข้อมูลข้อบกพร่องต่าง ๆ ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมปี พ.ศ.2563

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลข้อบกพร่อง

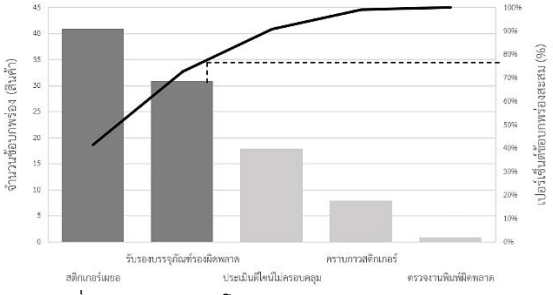
ดังที่กล่าวมาข้างต้นว่าในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลักทั้ง 4 ปัจจัย ดังนั้นเมื่อมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นในกระบวนการจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อปัจจัยหลักทั้ง 4 ด้าย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามความต้องการลูกค้า มีต้นทุนที่เพิ่มขึ้น หรือจำนวนผลิตภัณฑ์ไม่ครบตามการสั่งซื้อ ซึ่งในบางกรณีอาจส่งผลกระทบไปถึงการเลื่อนระยะเวลาในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ จึงได้นำข้อมูลข้อบกพร่องของแต่ละประเภทของผลิตภัณฑ์มาทำการวิเคราะห์ ผลิตภัณฑ์ของบริษัทแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ดังนี้

1). กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องสำอาง (Makeup Product)

2). กลุ่มผลิตภัณฑ์บำรุงและดูแลร่างกาย (Skincare Product)

จากการรวบรวมข้อมูลลักษณะข้อบกพร่อง พบว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องสำอางมีเปอร์เซ็นต์ข้อบกพร่องมากกว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์บำรุงและดูแลร่างกาย คือ 54% และ 46% ตามลำดับ

จากนั้นนำลักษณะข้อบกพร่องที่พบของผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องสำอางมาวิเคราะห์โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคพาเรโต พบว่าสติกเกอร์เผยอ และการรับรองบรรจุภัณฑ์รองผิดพลาด ถือเป็นปัญหาสำคัญที่ควรได้รับการดำเนินการแก้ไขดังแสดงในรูปที่ 3



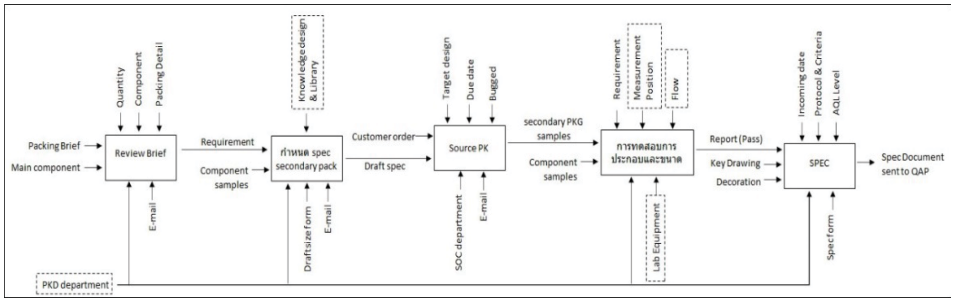
รูปที่ 3 แผนภูมิพาเรโตจำแนกตามประเภทของข้อบกพร่อง

4. ผลการดำเนินการ

4.1 วิเคราะห์กิจกรรมด้วยระบบผังงาน IDEF0

จากนั้นทำการวิเคราะห์กิจกรรมที่เป็นสาเหตุให้เกิดสติกเกอร์เผยอและการรับรองบรรจุภัณฑ์รองผิดพลาดโดยทำการประยุกต์ใช้ผังระบบงาน IDEF0 เพื่อแสดงรายละเอียดความสัมพันธ์ของกิจกรรมและข้อมูลที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ

การรับรองการผลิตสติกเกอร์เพื่อการใช้งานในการผลิตมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ บริษัททำการสรุปความต้องการลูกค้า เพื่อกำหนดสติกเกอร์ (รูปแบบ วัสดุ และตำแหน่ง) และส่งข้อมูลให้หน่วยงาน Sourcing ขอตัวอย่างสติกเกอร์จาก supplier และนำมาทดสอบการติดแน่นสติกเกอร์ เมื่อสติกเกอร์ที่ผ่านการรับรองแล้ว บริษัทจะทำการจัดทำเอกสารข้อตกลงการผลิตเพื่อให้ supplier ผลิตและจัดส่งสติกเกอร์เข้าโรงงานเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าต่อไป



รูปที่ 4 ระบบผังงาน IDEF0 ของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องการกำหนดและการทดสอบสติกเกอร์

การรับรองบรรจุภัณฑ์รองเพื่อการใช้งานในการผลิต มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ บริษัททำการสรุปความต้องการของลูกค้าเกี่ยวกับรูปแบบและจำนวนการแพคสินค้า การขนส่ง เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดบรรจุภัณฑ์รอง (รูปแบบ วัสดุ การขึ้นรูป และการประกอบ) หลังจากนั้นข้อมูลต่อให้หน่วยงาน Sourcing จะดำเนินการขอตัวอย่างจาก supplier และนำมาทดลองประกอบร่วมกับบรรจุภัณฑ์หลัก เมื่อบรรจุภัณฑ์รองผ่านการรับรองแล้ว บริษัทจะทำการจัดทำเอกสารข้อตกลงการผลิต เพื่อให้ supplier ผลิตและจัดส่งเข้าโรงงานเพื่อใช้งานต่อไป

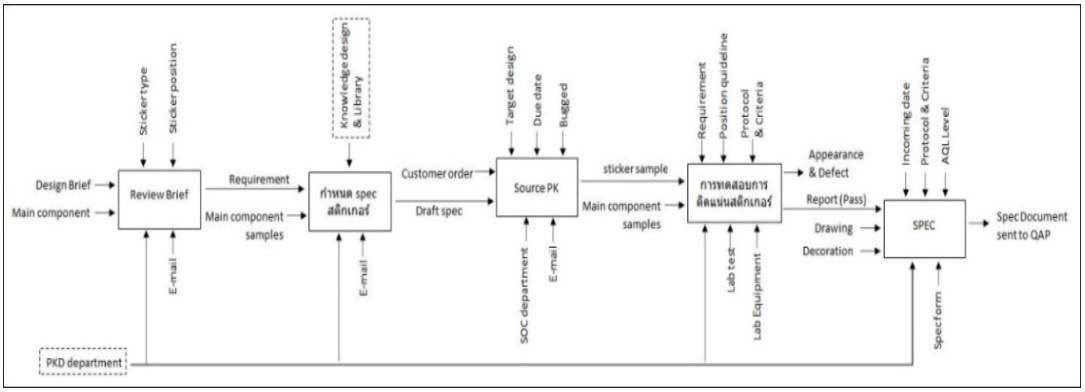
รูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงการไหลของข้อมูลระหว่างกิจกรรมที่สำคัญจากการประยุกต์ใช้ IDEF0 สามารถสรุปปัจจัยที่นำไปประเมินความเสี่ยงได้ดังนี้ คือ คู่มือการออกแบบบรรจุภัณฑ์ พนักงานผู้ปฏิบัติงาน ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ ข้อกำหนดในการทำงาน และอุปกรณ์ในการทดสอบ

4.2 วิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงด้วยตาราง FMEA

ทำการวิเคราะห์ในแต่ละปัจจัยของลักษณะข้อบกพร่องโดยการประยุกต์ทฤษฎีก้างปลา และจากการสอบถามข้อมูลเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานโดยตรง พบประมาณ 22 สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องแสดงในตารางที่ 6 จากนั้นทำการวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น และจัดลำดับความสำคัญโดยการใช้ค่าคะแนน RPN ค่าคะแนนกำหนดจากช่วงเกณฑ์คะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 5 ระดับ ดังตารางที่ 3 ถึง 5 รายละเอียดคะแนน RPN แสดงดังตารางที่ 6 ทั้งนี้การประเมินความเสี่ยงถูกประเมินโดยหัวหน้างานที่มีประสบการณ์การทำงานในหน่วยวิจัยและพัฒนาเทคนิคบรรจุภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา จำนวน 3 ท่าน ที่มีอายุงาน 5 ปี 7 ปี และ 15 ปีตามลำดับ

4.3 แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

ตารางที่ 6 แสดงผลคะแนนความเสี่ยงพบว่ามาจาก 6 สาเหตุหลักที่มีค่าคะแนน RPN สูงสุด คิดเป็น 80% ของสัดส่วนสาเหตุข้อบกพร่องทั้งหมด 22 สาเหตุ และทำการวิเคราะห์เพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุงต่อไป



รูปที่ 5 ระบบผังงาน IDEF0 ของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องการกำหนดและการทดสอบบรรจุภัณฑ์รอง

ตารางที่ 3 เกณฑ์คะแนนความรุนแรงของข้อบกพร่อง

ผล	ระดับความรุนแรงของข้อบกพร่อง	คะแนน
มากที่สุด	ลูกค้าไม่ยอมรับ และมีเรื่องร้องเรียน	5
มาก	มีค่าใช้จ่ายเพิ่ม และต้องเลื่อนแผนปฏิบัติงานออกไป	4
ปานกลาง	ต้องหยุดปฏิบัติงานชั่วคราว และทำการขอเกณฑ์การยอมรับใหม่จากลูกค้า	3
น้อย	กระทบต่อการปฏิบัติงาน ต้องเพิ่มกระบวนการการคัดแยก แต่ไม่กระทบจำนวนผลิตภัณฑ์ส่งออก	2
น้อยมาก	ไม่มีผลกระทบต่อการปฏิบัติงาน	1

ตารางที่ 4 เกณฑ์คะแนนโอกาสการเกิด

ผล	ระดับความรุนแรงของข้อบกพร่อง	คะแนน
มากที่สุด	เกิดขึ้น > 80% ของปริมาณงานทั้งหมด	5
มาก	เกิดขึ้น 61-80% ของปริมาณงานทั้งหมด	4
ปานกลาง	เกิดขึ้น 31-60% ของปริมาณงานทั้งหมด	3
น้อย	เกิดขึ้น 10-30% ของปริมาณงานทั้งหมด	2
น้อยมาก	เกิดขึ้น < 10% ของปริมาณงานทั้งหมด	1

ตารางที่ 5 เกณฑ์คะแนนการตรวจสอบหรือการควบคุมสาเหตุ

ผล	ระดับความรุนแรงของข้อบกพร่อง	คะแนน
มากที่สุด	ไม่สามารถควบคุมหรือตรวจสอบได้	5
มาก	มีการตรวจสอบ แต่ไม่สามารถตรวจพบหรือควบคุมได้	4
ปานกลาง	อาศัยเวลาในการตรวจสอบ / ตรวจพบและสามารถควบคุมได้หลังจากผ่านการทดสอบ	3
น้อย	ตรวจสอบได้ยาก / ตรวจพบเมื่อผ่านไปยังกระบวนการถัดไป	2
น้อยมาก	ตรวจพบและสามารถควบคุมได้ทันทีเมื่อเริ่มกระบวนการ	1

4.3 แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

ตารางที่ 6 แสดงผลคะแนนความเสี่ยงพบว่ามาจาก 6 สาเหตุหลักที่มีค่าคะแนน RPN สูงสุด คิดเป็น 80% ของสัดส่วนสาเหตุข้อบกพร่องทั้งหมด 22 สาเหตุ และทำการวิเคราะห์เพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุงต่อไป เนื่องจากค่า RPN เป็นตัวชี้วัดความเสี่ยงของสาเหตุในแต่ละกิจกรรม ดังนั้นการจัดการความเสี่ยงโดยการลดค่า RPN ดังนี้

1. ลดโอกาสการเกิดของสาเหตุนั้น ๆ (O; Occurrence)

1.1 จากการเก็บข้อมูลพบว่าพนักงานไม่ใช้คู่มือเป็นข้อมูลในการออกแบบในการทำงาน มีสาเหตุสำคัญมาจากข้อมูลในปัจจุบันมีการจัดเก็บหลายที่อยู่ไฟล์ และหลายสกุลไฟล์ รวมทั้งไม่มีการจำแนกปัจจัยให้ตรงกับการใช้งานเช่น กลุ่มวัสดุพื้นผิวในการติดสติกเกอร์ ชนิดสติกเกอร์ หรือวัสดุของสติกเกอร์ เป็นต้น ส่งผลให้ไม่สะดวกในการนำข้อมูลมาใช้งานต่อ ทำการแก้ไขได้โดยการรวบรวมข้อมูลให้อยู่ในชุดเดียว โดยข้อมูลจะต้องมีการจำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงของพนักงาน

1.2 พนักงานไม่มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบสติกเกอร์ และบรรจุภัณฑ์รอง ทำการแก้ไขโดยการเพิ่มการอบรมพนักงานอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง และมีจัดทำแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ เพื่อวัดผลการอบรมของพนักงาน

2. เพิ่มการตรวจสอบหรือการควบคุม (D; Detection)

จากการปฏิบัติงานของพนักงานในปัจจุบัน ไม่มีกระบวนการตรวจสอบข้อมูลของลูกค้าหรือผลิตภัณฑ์ เช่น วิธีการทดสอบ รูปแบบการขนส่ง หรือจำนวนตัวอย่างที่ต้องใช้ทดสอบ ส่งผลให้มีตัวอย่างไม่เพียงพอในการทำงานต่อ และเกิดเป็นข้อจำกัดในการออกแบบ ทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบไม่เหมาะสมในการใช้งานต่อ หรือไม่สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ตามความต้องการของลูกค้า กระทบระยะเวลาในการพัฒนาสินค้า เนื่องจากต้องปรับแก้ไขเพื่อให้ตรงความต้องการลูกค้า จึงมีการจัดทำเอกสารใบตรวจสอบข้อมูลผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นเอกสารสำหรับเพิ่มในขั้นตอนการตรวจสอบของพนักงานขณะทำงาน

ผลการปรับปรุงตามแนวทางการลดค่า O และค่า D พบว่าค่า RPN หรือคะแนนความเสี่ยงลดลงจากเดิม 578 คะแนน เหลือ 232 คะแนน หรือคิดเป็นร้อยละ 59.86 ของคะแนนความเสี่ยงที่ลดลง ตามข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 คะแนนระดับความเสี่ยงของปัจจัยที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่อง

Function	Potential failure mode	S	Potential cause(s) of failure	Current process		RPN
				O	D	
1. กำหนดสติกเกอร์ (รูปแบบและวัสดุ)	- รูปแบบสติกเกอร์ไม่เหมาะสม	5	Man: พนักงานใหม่ขาดความเข้าใจเกี่ยวกับวัสดุและการออกแบบ	3	5	75
			Man: พนักงานไม่ใช้ข้อมูลจากคู่มือการออกแบบ	4	5	100
			Material: ไม่มีตัวอย่างบรรจุภัณฑ์สำหรับการประเมิน	3	1	15
			Method: คู่มือการออกแบบที่มีในปัจจุบันไม่สะดวกในการใช้งาน	5	5	125
	- วัสดุสติกเกอร์ไม่เหมาะสม	5	Man: พนักงานประเมินวัสดุสติกเกอร์ไม่สอดคล้องกับลักษณะของบรรจุภัณฑ์	5	5	125
			Man: พนักงานไม่ใช้ข้อมูลจากคู่มือการออกแบบ	4	5	100
2. การทดสอบการติดแน่นสติกเกอร์	- กำหนดหรือเลือกใช้อุปกรณ์หรือเงื่อนไขในการทดสอบไม่ตรงตามข้อกำหนดการทดสอบ	4	Man: พนักงานไม่รอบคอบ / ไม่อ่านเอกสารข้อกำหนดลูกค้า	4	3	48
			Man: พนักงานไม่เข้าใจข้อกำหนดการทดสอบ	3	3	36
			Man: อ้างอิงผลการทดสอบโดยไม่มีการทดสอบ	5	2	40
3. กำหนดบรรจุภัณฑ์รอง (รูปแบบ ขนาด วัสดุ หรืออื่น ๆ)	- ใช้สูตรการออกแบบไม่ถูกต้อง	5	Man: พนักงานขาดความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบ	3	4	60
			Man: พนักงานไม่ใช้สูตรการคำนวณตามแบบฟอร์มที่มีการจัดทำไว้	2	5	50
			Method: คู่มือการออกแบบที่มีในปัจจุบันไม่สะดวกในการใช้งาน	5	5	125
	- จำนวนการบรรจุสินค้าไม่ตรงตามความต้องการลูกค้า	5	Man: พนักงานไม่รอบคอบ / ไม่อ่านเอกสารข้อกำหนดของลูกค้า	3	3	45
	- รูปแบบการวางเรียงไม่เหมาะสม	4	Man: พนักงานขาดประสบการณ์หรือไม่มีองค์ความรู้มากพอในประเมิน	4	3	48
	- วัสดุข้อมูลจำเพาะของวัสดุไม่ครอบคลุมในการใช้งานและการขนส่ง	5	Man: พนักงานขาดประสบการณ์หรือไม่มีองค์ความรู้มากพอในประเมิน (ไม่ประเมินร่วมกับรูปแบบการขนส่งของลูกค้า)	2	4	40
			Man: พนักงานใช้ค่าคงที่ในการคำนวน ไม่เหมาะสมกับบรรจุภัณฑ์	4	4	80
4. การทดสอบการประกอบและขนาดของบรรจุภัณฑ์รอง	- พิจารณาขนาดและการประกอบของบรรจุภัณฑ์ที่ประกอบร่วมไม่เหมาะสม	5	Man: พนักงานขาดความเข้าใจเกี่ยวกับการวัดและการประเมินความเหมาะสม	3	3	45
			Man: ความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาการประกอบของพนักงานแต่ละคน	2	3	30
			Man: พนักงานไม่วัดตำแหน่งตรงตามเอกสารคู่มือการทำงาน	1	3	15
			Machine: อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดไม่ได้มาตรฐาน	1	5	25
			Material: จำนวนสินค้าหรือบรรจุภัณฑ์ร่วมไม่เพียงพอในการทดลองการประกอบ	5	3	75
			Method: ไม่มีการระบุหน้าที่ความรับผิดชอบในการทำงานของขั้นตอนนี้ชัดเจน	2	4	40

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าคะแนนความเสี่ยงของแต่ละสาเหตุก่อนและหลังการปรับปรุง

กิจกรรม	สาเหตุ	การแก้ไข		RPN	
				ก่อน	หลัง
1. กำหนดสติกเกอร์ (รูปแบบและวัสดุ)	Method: คู่มือการออกแบบที่มีในปัจจุบันไม่สะดวกในการใช้งาน	ลดค่า O	ปรับปรุงรูปแบบข้อมูลการออกแบบ	125	50
	Man: พนักงานประเมินวัสดุสติกเกอร์ไม่สอดคล้องกับลักษณะของบรรจุภัณฑ์	ลดค่า O	ปรับปรุงรูปแบบข้อมูลการออกแบบ	125	50
2. การทดสอบการติดแน่นสติกเกอร์	Man: พนักงานไม่รอบคอบ / ไม่อ่านเอกสารข้อกำหนดลูกค้า	ลดค่า O, D	จัดทำใบตรวจสอบผลิตภัณฑ์	48	12
3. กำหนดบรรจุภัณฑ์รอง (รูปแบบ ขนาด วัสดุ หรืออื่น ๆ)	Method: คู่มือการออกแบบที่มีในปัจจุบันไม่สะดวกในการใช้งาน	ลดค่า O	ปรับปรุงรูปแบบข้อมูลการออกแบบ	125	50
	Man: พนักงานใช้ค่าคงที่ในการคำนวน ไม่เหมาะสมกับบรรจุภัณฑ์	ลดค่า O	ปรับปรุงรูปแบบข้อมูลการออกแบบ	80	40
4. การทดสอบการประกอบและขนาดของบรรจุภัณฑ์รอง	Material: จำนวนสินค้าหรือบรรจุภัณฑ์ร่วมไม่เพียงพอในการทดลองการประกอบ	ลดค่า O, D	จัดทำใบตรวจสอบผลิตภัณฑ์	75	30
รวม				578	232

5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2563 พบว่าปัญหาสติกเกอร์เผยอ และการรับรองบรรจุภัณฑ์ผิดพลาดเป็นข้อบกพร่องหลักที่พบในกระบวนการผลิต ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น การประยุกต์ใช้เทคนิค IDEF0 และ FMEA ช่วยให้บริษัททราบสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยปัจจัยสำคัญคือข้อมูลการออกแบบที่ไม่ถูกจัดเก็บในรูปแบบเดียวกัน และไม่มีการอัปเดตของข้อมูล ส่งผลให้พนักงานไม่สะดวกในการใช้งาน จึงไม่ปฏิบัติตามคู่มือการทำงาน

ดังนั้นสรุปได้ว่า การทำการประเมินความเสี่ยงโดยการวิเคราะห์ผลกระทบของข้อบกพร่อง FMEA ร่วมกับการวิเคราะห์ระบบผังงาน IDEF0 มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกัน สามารถช่วยในการจัดการความเสี่ยงในกระบวนการการผลิต ภายใต้ข้อจำกัดในด้านของระยะเวลา และค่าใช้จ่ายได้

แต่เนื่องจากการดำเนินงานในบริษัทเป็นการดำเนินงานร่วมกันกับหลาย ๆ หน่วยงาน ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่องควรมีการวิเคราะห์ร่วมกันกับทุก ๆ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการจัดการและลดความเสี่ยงภายในทุกส่วนของหน่วยงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] L. Sultan Lipol, J. Haq. 2011. “Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations”. International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS, Vol. 11 (5): 74–82.

[2] Š. KudlaČ*, V. Štefancová, J. MajerČák. 2017. “Using the Saaty Method and the FMEA Method for Evaluation of Constraints in Logistics Chain”. Procedia Engineering. Vol. 187:749-755.

[4] สุริยันต์ จอมธนชัย, วนิดา รัตนมณี และ รัญชนา สินธวาลัย. 2559. “การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อผิดพลาดและผลกระทบ สำหรับระบบการทวนสอบประมาณการผลิตในโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา: กรณีศึกษา.” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 26 ฉบับที่ 1: 61-73.

[3] อนุธิดา มากมี. การปรับปรุงกระบวนการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนโดยใช้เทคนิค QFD และ FMEA, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2562.

[5] ศิริวรรณ สรรพขาว และ สุขสันติ์ พรหมบัญพงศ์, การพัฒนาระบบประเมินราคาสำหรับงานรับเหมาก่อสร้าง (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2020, 7 - 8 May 2020, Bangkok, Thailand.

[6] M. Bevilacqu, G. Mazzuto, C. Paciarotti. 2015. “A combined IDEF0 and FMEA approach to healthcare management reengineering”. International Journal of Procurement Management, Vol. 8 (1/2): 25-43.

[7] T. Hui-Ping, C. I-Cheng, C. Chun-Hung and L. Yu-Fan. 2021. “Developing a Risk Management Process for Infrastructure Projects Using IDEF0”. Sustainability, Vol. 13: 6958.

การเปรียบเทียบกฎการจัดตารางเพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการจ่ายน้ำมัน

Comparison of scheduling rules for energy reduction in the fuel distribution process

ศุภณัฐ สีทา[1*] อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย[1] และ วรโชค ไชยวงศ์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: supanut.sitha@gmail.com*

Supanut Sitha[1*], Angsumalin Senjuntichai[1] and Worachok Chaiwong[1]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: supanut.sitha@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการจัดตารางการเติมน้ำมันให้กับรถบรรทุกน้ำมันโดยกฎการจ่ายงานต่าง ๆ ของคลังน้ำมันกรณีศึกษาที่มีโรงจ่ายน้ำมันประกอบด้วยช่องจ่ายน้ำมัน (สถานีงาน) จำนวน 14 ช่อง แต่ละช่องสามารถจ่ายน้ำมันได้พร้อมกัน 1-4 ชนิดน้ำมันที่แตกต่างกัน ประกอบกับปั๊มที่ใช้ในการจ่ายน้ำมันพื้นฐานแต่ละชนิดจะมีขนาด จำนวน ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมถึงจำนวนหัวจ่ายของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกัน ในขณะที่ลูกค้าสามารถสั่งซื้อน้ำมันได้สูงสุด 6 ชนิดต่อใบคำสั่งซื้อ มีผลให้กระบวนการจัดตารางซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นกับจำนวนหัวจ่ายที่ถูกใช้งานของปั๊มแต่ละชนิดณ เวลาใด ๆ ซึ่งกระบวนการจัดตารางจะเป็นแบบฮิวริสติกพลวัต (Dynamic Heuristic) จากการเปรียบเทียบการจัดตารางการจ่ายน้ำมันรวม 4 วิธีในการจัดลำดับความสำคัญของใบคำสั่งซื้อ และการจัดตารางเวลาที่คำนึงถึงจำนวนหัวจ่ายที่ถูกใช้งาน งานที่เหลืออยู่ในระบบ และการใช้พลังงานของปั๊มที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา พบว่าการจัดตารางด้วยกฎการจัดลำดับแบบจำนวนการดำเนินการที่เหลืออยู่น้อยที่สุด (Least Operation Remaining) รวมกับกฎการจัดลำดับแบบเวลาปฏิบัติงานมากที่สุด (Largest Processing Time) มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด เพียง 0.24 วัตต์ชั่วโมงต่อลิตร มีผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มลดลงจาก 4,203.73 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวันหรือ 12 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกค้า เหลือ 2,437.7 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวันหรือ 6.96 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกค้า ทำให้ปริมาณพลังงานลดลงเฉลี่ย 2,176.25 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ส่งผลให้ค่าไฟลดลง 200,215.25 บาทโดยเฉลี่ยต่อเดือนหรือ 2,402,583 บาทต่อปี

คำสำคัญ: การจัดตารางการผลิต กฎการจัดลำดับแบบจำนวนการดำเนินการที่เหลืออยู่น้อยที่สุด กฎการจัดลำดับแบบเวลาปฏิบัติงานมากที่สุด การประหยัดพลังงาน

Abstract

The purpose of this research is to compare the energy consumption in the filling-fuel scheduling of oil trucks based on different scheduling rules. A case study is an oil depot with an oil distribution plant consisting of 14 oil distribution bays (workstations), each of which can fill 1–4 different oil types at the same time. In addition, the pumps used to supply each type of base oil have different sizes, electricity consumption amounts, and the number of nozzles for each type of oil, while customers can order up to six types of oil per order. As a result, the scheduling process is complex and changes depending on the number of nozzles being used for each pump at any given time, called dynamic heuristic scheduling. A comparison of four fuel distribution scheduling methods in order to prioritize purchase orders, which takes into account the number of nozzles being used, the remaining tasks in the system, and the energy consumption of the pump as it changes over time, found that the Least Operation Remaining rule combined with the Largest Processing Time rule had the lowest energy consumption, only 0.24 watt-hours per liter. As a result, the pumps' average electric power consumption was reduced from 4,203.73 kWh per day, or 12 kWh per customer, to 2,437.7 kWh per day, or 6.96 kWh per customer. The average reduction is 2,176.25 kWh per day in energy consumption. The monthly electricity costs are averagely reduced by 200,215.25 baht, or 2,402,583 baht annually.

Keywords: Dynamic Heuristic scheduling, Least Operation Remaining, Largest Processing Time, Energy Saving

การพัฒนาวิธีการจ่ายงานเพื่อจัดสมดุลของภาระงานในแผนกวิศวกรรม

Development of Work Assignment Method for Work Balancing in The Engineering Department

กฤติน สิริโภคากร[1*] จุฑา พิชิตลำเค็ญ[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาคพิเศษ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: krittin.siri@ku.th*

Krittin Siripokakorn[1*] Juta Pichitlamkhen[2]
[1]Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Kasetsart University
[2]Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering Kasetsart University
E-mail: krittin.siri@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาการทำงานที่ล่าช้าในแผนกวิศวกรรมของบริษัทผลิตตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำ พบว่าพนักงานที่มีเวลาทำงานล่าช้าสูงสุดเท่ากับ 42.37 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พนักงานที่มีเวลาทำงานล่าช้าต่ำสุดเท่ากับ 3.62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งช่วงของเปอร์เซ็นต์ทำงานล่าช้ามีความกว้างมาก ดังนั้นจึงศึกษาหลักเกณฑ์พื้นฐานการตัดสินใจเพื่อจัดตารางการผลิตแบบฮิวริสติก (Heuristic) และใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ในการจัดลำดับงานเพื่อลดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าของแต่ละพนักงานให้เหลือไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ โดยศึกษาวิธีการจัดลำดับงานหลายแบบดังนี้ วิธีการจัดลำดับงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดก่อน (Short Processing Time First, SPT) เป็นการจัดลำดับงานที่ใช้ระยะเวลาการทำงานน้อยที่สุดก่อน แล้วจึงทำงานที่มีระยะเวลาการทำงานมากกว่าเป็นอันดับถัดไป วิธีการจัดลำดับงานที่ใช้เวลามากที่สุดก่อน (Longest Processing Time First, LPT) เป็นการจัดลำดับงานที่ใช้ระยะเวลาการทำงานมากที่สุดก่อน แล้วจึงทำงานที่มีระยะเวลาการทำงานน้อยกว่าเป็นอันดับถัดไป และวิธีการจัดลำดับงานที่ถึงวันกำหนดส่งเร็วที่สุดก่อน (Earliest Due Date, EDD) เป็นการจัดลำดับงานที่มีกำหนดส่งเร็วที่สุดก่อน แล้วจึงทำงานที่มีกำหนดส่งช้ากว่าเป็นอันดับถัดไป ในการวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์พบว่าวิธีการจ่ายงาน ณ ปัจจุบันจะมีเปอร์เซ็นต์ความล่าช้าสูงที่สุดจากพนักงาน 6 คนอยู่ที่ 41.53 เปอร์เซ็นต์ วิธีการจ่ายงานแบบ EDD จะมีเปอร์เซ็นต์ความล่าช้าสูงที่สุดจากพนักงาน 6 คนอยู่ที่ 3.49 เปอร์เซ็นต์ และวิธีการจ่ายงานแบบ SPT จะมีเปอร์เซ็นต์ความล่าช้าสูงที่สุดจากพนักงาน 6 คนอยู่ที่ 3.78 เปอร์เซ็นต์ และวิธีการจ่ายงานแบบ LPT จะมีเปอร์เซ็นต์ความล่าช้าสูงที่สุดจากพนักงาน 6 คนอยู่ที่ 3.78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิธีการจ่ายงานแบบ EDD มีผลลัพธ์ของความล่าช้าของงานที่ต่ำที่สุดใน 3 วิธีการอยู่ที่ 3.49 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การจัดลำดับงาน, ฮิวริสติก, การทำงานล่าช้า

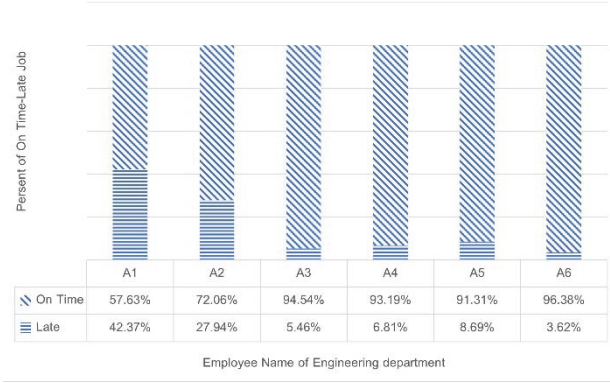
Abstract

This paper considers the problem of delayed work in the engineering department of a low-voltage switchboard company. The highest percentage of lateness was 42.37 percent, the lowest percentage of late work was 3.62 percent. The range of lateness is wide. We experiment with heuristic scheduling rules and use simulation model for workforce scheduling. The goal is to reduce the percentage of delays in the engineering department to be less than 10 percent by studying scheduling rules as follows: The Shortest Processing Time First (LPT) prioritizes the job that takes the least amount if time and then does the next job that has a longer run time. The Longest Processing Time First (LPT) rule prioritizes the most time-consuming tasks and then does the job with the next longer duration. The Earliest Due Date (EDD) rule prioritizes the work that has the earliest due date and then performs the next task with a later deadline. Through simulation experiments, the current approach had the largest percentage of delays of 6 people at 41.53 percent, the EDD rules had the highest percentage of delays of 6 people at 3.49 percent, the SPT rule had the highest percentage of delays of 6 people at 3.78 percent, the LPT rule had the highest percentage of delays of 6 people at 3.78 percent. Therefore, the EDD rule has the lowest delay fraction of 3 heuristic method at 3.49 percent.

Keywords: Workforce Scheduling, Heuristic, Delayed work

1. บทนำ

การทำงานล่าช้าเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นกับทุกบริษัททำให้เกิดผลเสีย ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียทางรายได้หรือการจ่ายค่าปรับ รวมถึงการสูญเสียความน่าเชื่อถือของบริษัท ในบางครั้งความล่าช้าอาจจะไม่ได้เกิดจากวิธีการทำงานของพนักงาน แต่อาจจะเกิดขึ้นจากจำนวนงานที่มากเกินไปสำหรับพนักงานแต่ละคน ดังนั้นการจัดสมดุลของภาระงานกลายเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะช่วยให้ภาระงาน มีความเหมาะสมต่อความสามารถของพนักงาน และจะทำให้มีโอกาสล่าช้าในการทำงานน้อยลงและมีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น ซึ่งบริษัทกรณีศึกษามีปัญหานี้เช่นเดียวกัน ทำให้ผู้บริหารเล็งเห็นว่าควรจัดภาระงานให้สมดุลในแต่ละพนักงานของแผนกวิศวกรรม เนื่องจากว่ามีสถิติความล่าช้าของงานแสดงในรูปที่ 1 ที่มีความล่าช้าสูงสุดอยู่ที่ 42.37% ซึ่งเป็นที่ยอมรับไม่ได้สำหรับผู้บริหารเพราะมีผลต่อการส่งใบเสนอราคาที่ล่าช้าทำให้มีโอกาสที่จะสูญเสียงานได้



รูปที่ 1 อัตราส่วนระหว่างงานที่ล่าช้าและส่งทันเวลาของพนักงานแต่ละบุคคลระหว่างวันที่ 1 ม.ค. 2564 ถึงวันที่ 31 ธ.ค. 2564

โดยผู้บริหารกำหนดให้การพัฒนาวิธีการจ่ายงานที่สามารถจัดภาระงานของบุคลากรในแผนกวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยต้องมีงานล่าช้าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวางแผนเป็นกิจกรรมที่คาดหวังว่าจะต้องปฏิบัติ ซึ่งเป็นผลจากการค้นหาและกำหนดวิธีทำงานในอนาคตเพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมาย บรรลุวัตถุประสงค์ และเป้าหมายที่กำหนดไว้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดประโยชน์ต่อหน่วยงานและหน่วยงานมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าจะมีการทำอะไร ทำที่ไหน เมื่อใด ให้ใครทำ ทำอย่างไร และให้รายละเอียดอื่นๆ ที่จำเป็นช่วยให้การปฏิบัติงานลุล่วงไปอย่างมีประสิทธิภาพ [1]

การจัดตารางการผลิตในโรงงานเป็นปัญหาที่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตามหัวหน้างานหรือผู้มีหน้าที่ในการจัดตารางการผลิตสามารถจัดการกับปัญหาการจัดลำดับงานได้หลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดคือ ไม่สนใจปัญหาแล้วจัดลำดับงานแต่ละงานโดยวิธีสุ่ม [2]

เมื่อไรก็ตามที่ผู้ควบคุมงานในแต่ละแผนกเริ่มต้นจัดตารางการผลิตจำเป็นจะต้องตรวจสอบให้แน่ใจเสียก่อนว่า มีแรงงานและอุปกรณ์อย่างเพียงพอ นอกจากนั้น ยังต้องทำการทบทวนงานแต่ละอย่างที่ต้องทำทรัพยากรที่ต้องการ ตลอดจนเวลาเริ่มงานและทำงานเสร็จ ผู้ควบคุมงานอาจรวบรวมงานชนิดเดียวกันไว้แล้วทำครั้งเดียว หรือจะทำเรียงตามลำดับงาน ดังนั้นจำเป็นจะต้องนึกถึงวิธีการจัดแจงทรัพยากรให้กับงานต่าง ๆ ให้เป็นไปตามตารางการผลิตที่ต้องการ ทั้งนี้เพราะเวลาผ่านไปทรัพยากรย่อมอาจมีการเปลี่ยนแปลง จึงจำเป็นต้องปรับตารางการผลิต หรืออาจกล่าวได้ว่า ปัญหาการจัดตารางการผลิตนั้นเป็นกระบวนการพลวัต (Dynamic process) [3]

วัตถุประสงค์ในการจัดตารางการผลิต มีประการหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1. เพื่อลดเวลาในการทำงานรวม (Makespan) ให้น้อยที่สุด คือการลดช่วงกว้างของระยะเวลาตั้งแต่เริ่มงานแรกจนกระทั่งเสร็จสิ้นงานสุดท้าย ในกรณีนี้จะใช้สำหรับการกำหนดตารางการผลิตที่มีจำนวนงานที่แน่นอน

2. เพื่อลดการรอคอยในกระบวนการผลิต คือ การลดการสะสมของงานในระหว่างกระบวนการ (In Process Inventory) เป็นการลดจำนวนงานที่ต้องรอคอยโดยเฉลี่ยลงในขณะที่เครื่องจักรหรือคนกำลังทำชิ้นงานอื่นอยู่

3. เพื่อลดความล่าช้าของงาน (Tardiness) คือ การพยายามผลิตงานให้เสร็จสิ้นทุกงานในระยะเวลาที่กำหนด หรือเหลือจำนวนที่เสร็จสิ้นล่าช้าให้น้อยที่สุด

การจัดตารางการผลิต (Scheduling) เป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนการผลิต (Production Planning) ซึ่งเป็นการจัดสรรทรัพยากรการผลิตไม่ว่าจะเป็นแรงงาน เครื่องจักร หรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้ดำเนินการผลิตตามที่ได้รับมอบหมายภายในช่วงระยะเวลาที่กำหนดได้ การจัดตารางการผลิตจะรับช่วงต่อมาจากการวางแผนความต้องการวัสดุ (Material Requirement Planning) และการวางแผนความต้องการกำลังการผลิต (Capacity Requirement Planning) ทั้งการจัดตารางการผลิตจะเกี่ยวข้องกับเรื่องการทำงาน (Job Order) และการจัดลำดับงาน (Job Sequencing) ให้กับแต่ละหน่วยงาน การจัดตารางการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการผลิตแบบต่อเนื่อง และแบบกลุ่มรวมถึงไม่ต่อเนื่อง เพราะจะต้องจัดทรัพยากรการผลิตที่มีใช้สำหรับผลิตภัณฑ์หลายชนิด ดังนั้นจึงต้องใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งด้านแรงงาน และเครื่องจักรอุปกรณ์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และสูญเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด การจัดตารางการผลิตจึงเป็นกลยุทธ์ที่มีการศึกษาและวิจัยเป็นอย่างมาก เพื่อให้ตอบสนองต่อการผลิตรูปแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการผลิต โดยการจัดตารางการผลิตจะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของการดำเนินการ [4]

วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีการที่ใช้หลักเกณฑ์เชิงประสบการณ์ (Rule of Theme) หลาย ๆ วิธี เป็นวิธีที่ง่ายต่อความเข้าใจและง่ายต่อการประยุกต์ใช้ เพื่อค้นหาวิธีการทำงานที่เหมาะสมและให้ผลลัพธ์ที่ดีตรงวัตถุประสงค์ที่ต้องการมากที่สุด [5]

การจำแนกลักษณะของปัญหาของการจัดตารางการผลิตตามรูปแบบของทรัพยากรและลักษณะงาน ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะงานใหญ่ ๆ คือ 1. n งาน 1 เครื่องจักร หรือ Single Machine 2. n งาน m เครื่องจักร หรือ Multiple Machine โดย Multiple Machine แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ การต่อเครื่องจักรแบบอนุกรม (Non-Parallel Machine) และการต่อเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel Machine) หากงานที่นำมาจัดตารางผลิตไม่สามารถเพิ่มเวลาการทำงาน (Over Time) ได้จะเรียกระบบงานชนิดนี้ว่าระบบงานแบบคงที่ (Static System) แต่ถ้าสามารถเพิ่มเวลาการทำงานได้จะเรียกระบบงานชนิดนี้ว่าระบบงานแบบพลวัต (Dynamic System) นอกจากนี้ในส่วนของข้อจำกัดหรือข้อมูลนำเข้าเป็นข้อมูลที่มีความแน่นอน รูปแบบของปัญหาชนิดนี้จะเรียกว่าแบบจำลองที่กำหนดได้ (Deterministic Model) ส่วนถ้ามีข้อมูลนำเข้าเป็นข้อมูลที่ไม่แน่นอนสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา รูปแบบของปัญหาชนิดนี้จะเรียกว่าแบบจำลองแบบสุ่ม (Stochastic Model) [6]

หลักเกณฑ์พื้นฐานที่นิยมใช้ของฮิวริสติกของการจัดตารางการผลิตด้วยกฎลำดับความสำคัญดังต่อไปนี้

1. FCFS (First Come – First Serve) เป็นการจัดลำดับงานโดยให้ทำงานที่เข้ามาก่อนเป็นอันดับแรกและทำงานที่เข้ามาทีหลังเป็นอันดับต่อไป วิธี FCFS อาจเป็นวิธีที่ไม่ค่อยดีนัก แต่ถ้าพิจารณาในแง่ของความเป็นธรรมแล้วงานที่เข้าก่อนก็ควรจะได้รับการปฏิบัติก่อนซึ่งข้อเสียที่เด่นชัดของการจัดงานตามวิธีดังกล่าวคืองานที่ใช้เวลาทำมากจะทำให้งานอื่น ๆ ที่ตามมาต้องคอยนานโดยทั่วไปแล้ววิธีการ FCFS เหมาะกับงานด้านการให้บริการ เช่น งานร้านอาหาร โรงภาพยนตร์ และธนาคาร เป็นต้น

2. SPT (Shortest Processing Time First) เป็นการจัดลำดับงานโดยให้ทำงานที่ใช้เวลาสั้นที่สุดก่อนแล้วจึงค่อยทำงานที่ใช้เวลามากเป็นอันดับถัดไป วิธี SPT เป็นวิธีที่มุ่งเน้นการลดเวลาแล้วเสร็จของงานแต่ละงานและพยายามทำให้งานต่าง ๆ ออกจากระบบการผลิตไปให้เร็วที่สุด ข้อดีของการจัดงานแบบ SPT คือเวลาเฉลี่ยของงานในระบบจะต่ำที่สุดทำให้เกิดสินค้าคงเหลือในระหว่างการผลิตน้อยและสามารถประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ แต่ข้อเสียของการจัดงานแบบ SPT คืองานที่ใช้เวลาในการผลิตนาน ๆ มักถูกผลักไปอยู่ในอันดับท้ายทำให้มีการรอคอยเกิดขึ้น

3. LPT (Longest Processing Time First) เป็นการจัดลำดับงานโดยให้ทำงานที่ใช้เวลานานที่สุดก่อน (ตรงข้ามกับวิธี SPT) โดยวิธีการแบบ LPT มักเป็นวิธีที่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพโดยรวมของการผลิตมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ เพราะการจัดลำดับงานแบบ LPT มักทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตงานทั้งหมดนานและยังทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานทรัพยากรด้านการผลิต (เครื่องจักร กำลังคน ฯลฯ) ต่ำอีกด้วย

4. EDD (Earliest Due Date) เป็นการจัดลำดับงานโดยให้ทำงานที่จะถึงวันกำหนดส่งเร็วที่สุดก่อน โดยทั่วไปแล้ววิธี EDD เป็นวิธีที่มุ่งเน้นลดการล่าช้าจากกำหนดส่งมอบงาน ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะดูสมเหตุสมผลและเป็นวิธีที่นิยมใช้ปฏิบัติกันโดยทั่วไปก็จริง แต่วิธีการดังกล่างอาจทำให้มีจำนวนงานที่เข้ามาในระบบมากกว่าวิธีการอื่น ๆ (หมายถึงพนักงานจะมีงานอยู่ตลอดเวลา) และทำให้เกิดสินค้าคงเหลือระหว่างการผลิตสูง เนื่องจากในการจัดลำดับการทำงานตามหลักของ EDD นั้นไม่ได้มีการนำเอาเวลาที่ใช้ในการทำงานมาพิจารณาร่วมด้วย [7]

การจำลองทางคอมพิวเตอร์เป็นการรวบรวมวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบต่าง ๆ มาไว้บนคอมพิวเตอร์ โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่าง ๆ โดยมีการรวบรวมข้อมูลและทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงในอนาคต [8]

ในปัจจุบันมีโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาโดยเฉพาะสำหรับทำการจำลองระบบ เช่น GPSS และ Microsoft Visual Basic เป็นต้น แต่มีความยุ่งยากในการทำงานจึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปที่ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองโดยเฉพาะ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Arena Simulation ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าปัจจุบันระบบเป็นอย่างไร และสามารถช่วยหาแนวทางที่เป็นไปได้เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยโครงสร้างโปรแกรม Arena Simulation เป็นการรวมความสะดวกในการใช้งานที่พบได้ในโปรแกรมระดับสูง มีการจัดเตรียมแบบของรูปภาพสำหรับในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งผู้ใช้โปรแกรม Arena Simulation สามารถเลือกใช้โมดูล (Modules) จากภาษา SIMAN มาใช้ได้ รวมทั้งยังแสดงผลออกมาเป็นภาษา SIMAN ได้ [9]

3. ขั้นตอนการออกแบบและวิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการพัฒนาวิธีการจ่ายงานของแผนกวิศวกรรมแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษากระบวนการทำงานของแผนกวิศวกรรมในบริษัทกรณีศึกษา
2. เก็บข้อมูลงานของแต่ละบุคลากรในแผนกวิศวกรรม
3. วิเคราะห์ข้อมูลงานของบุคลากรในแผนกวิศวกรรม
4. หลักเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการจัดตารางการทำงานแบบฮิวริสติก (Heuristic)
5. การสรุปผลเพื่อยืนยันและข้อเสนอแนะ

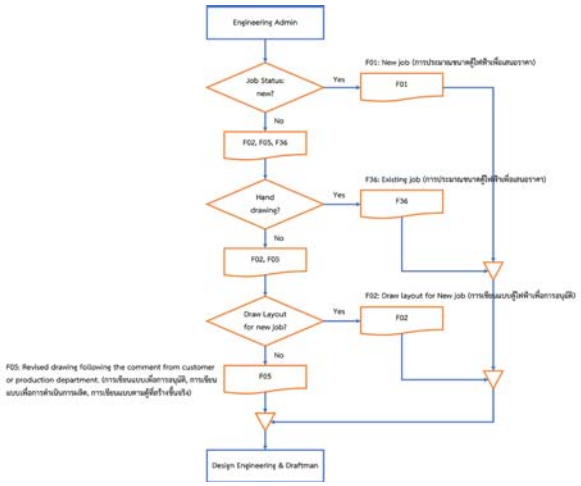
3.1 ศึกษากระบวนการทำงานของแผนกวิศวกรรมในบริษัทกรณีศึกษา

จากการศึกษาข้อมูลการทำงานของแผนกวิศวกรรมตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 พบว่าการทำงานของแผนกวิศวกรรมจะแบ่งเป็น 4 ชนิดงานดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเอกสารการทำงาน

เอกสารเลขที่	รายละเอียด
F01-MP01	เอกสารสำหรับงานใหม่ที่ไม่มีรายชื่ออยู่ในระบบเก็บข้อมูลของบริษัท จัดทำขึ้นเพื่อขอใบเสนอราคา และแบบร่างมือเพื่อประเมินขนาดตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำ
F36-MP01	เอกสารสำหรับงานแก้ไขที่มีรายชื่ออยู่ในระบบเก็บข้อมูลของบริษัท จัดทำขึ้นเพื่อขอใบเสนอราคาฉบับแก้ไข และแบบร่างมือฉบับแก้ไขเพื่อประเมินขนาดตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำ
F02-MP01	เอกสารสำหรับงานที่มีรายชื่ออยู่ในระบบเก็บข้อมูลของบริษัท จัดทำขึ้นเพื่อขอแบบเบื้องต้นของตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำโดยใช้โปรแกรม AutoCAD
F05-MP01	เอกสารสำหรับงานแก้ไขที่รายชื่ออยู่ในระบบเก็บข้อมูลของบริษัท จัดทำขึ้นเพื่อขอแก้ไขแบบเบื้องต้นของตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำโดยใช้โปรแกรม AutoCAD

การไหลของงานในแผนกวิศวกรรม เริ่มจากงานถูกส่งมาจากผู้ดูแลงานของแผนกวิศวกรรม แล้วจะตรวจสอบว่าเป็นงานใหม่ที่ไม่มีชื่ออยู่ในระบบก่อน ถ้าตรวจสอบแล้วว่าไม่มีชื่ออยู่ในระบบจะส่งไปให้วิศวกรออกแบบโดยจะถือว่าเป็นเอกสารเลขที่ F01 ส่วนถัดมาจะตรวจสอบว่าเป็นงานออกแบบมือเดิม ถ้าตรวจสอบแล้วเป็นงานออกแบบมือเดิมจะถูกส่งไปให้วิศวกรออกแบบโดยจะถือว่าเป็นเอกสารเลขที่ F36 ถัดมาจะเป็นการตรวจสอบว่าเป็นการออกแบบโดยใช้โปรแกรม ซึ่งจะตรวจสอบว่าเป็นการเขียนแบบในโปรแกรมที่เป็นงานใหม่หรือไม่ ถ้าตรวจสอบแล้วเป็นงานใหม่จะส่งไปให้พนักงานเขียนแบบโดยถือว่าเป็นเอกสาร F02 ส่วนตรวจสอบแล้วว่าเป็นงานเดิมในการเขียนแบบจะถือว่าเป็นเอกสารเลขที่ F05 ซึ่งจะเป็นดังรูปที่ 12



รูปที่ 2 แผนผังการไหลของกระบวนการทำงานแผนกวิศวกรรม

กฎการจ่ายงานของแผนกวิศวกรรมในเงื่อนไขดังนี้

1. ถ้าเป็นงานเดิมที่มีชื่อในฐานข้อมูลและมีเจ้าของงานเดิม งานนั้นจะถูกจ่ายไปที่เจ้าของงานเดิม
2. ถ้างานเป็นงานใหม่จะจ่ายไปสู่บุคลากรในแผนกวิศวกรรมซึ่งจะจ่ายให้แก่บุคลากรที่มีจำนวนงานในมือน้อยที่สุด
3. A1 จะทำงานชนิด F01-MP01 และ F36-MP01 เท่านั้น
4. A2 A3 A4 และ A5 จะทำงานทุกชนิดงาน
5. A6 จะทำงานชนิด F02-MP01 และ F05-MP01 เท่านั้น

3.2 เก็บข้อมูลงานของแต่ละบุคลากรในแผนกวิศวกรรม

การเก็บข้อมูลงานของแผนกวิศวกรรมจะมีฐานข้อมูลงานที่แผนกวิศวกรรมเก็บไว้ซึ่งจะมีหัวข้อดังนี้

1. วันที่งานเข้ามาในระบบ
2. ชื่องาน
3. ชนิดงาน
4. วันที่ต้องส่งงาน
5. ชื่อบุคลากรที่รับผิดชอบ
6. วันที่ส่งงานตามจริง
7. จำนวน Single Line Diagram
8. มูลค่างาน

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลงานของบุคลากรในแผนกวิศวกรรม

จากการวิเคราะห์ข้อมูลงานของแผนกวิศวกรรมพบว่าชนิดของงานที่ได้รับมามีอัตราส่วนดังตารางที่ 2 ซึ่งงานทั้งหมดมีจำนวน 1,164 งาน

ตารางที่ 2 ร้อยละของชนิดงานต่องานทั้งหมด

ชนิดงาน	ร้อยละของชนิดงานต่องานทั้งหมด
F01-MP01	31
F36-MP01	21
F02-MP01	20
F05-MP01	29

สามารถหาร้อยละของบุคลากรที่ได้รับงานชนิด F01-MP01 และ F36-MP01 และร้อยละของบุคลากรที่ได้รับงานชนิด F02-MP01 และ F05-MP01 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ร้อยละของบุคลากรที่ได้รับงานชนิด F01-MP01 F36-MP01 และ F02-MP01 F36-MP01

รายชื่อบุคลากร	ร้อยละของบุคลากรที่ได้รับงาน F01_MP01 และ F36_MP01	ร้อยละของบุคลากรที่ได้รับงาน F02_MP01 และ F05_MP01
A1	48	0
A2	38	9
A3	6	30
A4	3	27
A5	5	26
A6	0	8

การวัดระดับความเร็วของพนักงานในแผนกวิศวกรรมมีเพื่อเรียงลำดับความเร็วในการทำงาน โดยจัดอันดับจากการทดสอบการออกแบบตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เหมือนกันและมีข้อกำหนดความเร็วในการทำงานเพื่อจัดระดับความเร็วของบุคลากรในแผนกวิศวกรรมโดยจะกำหนดให้การทำงานที่เร็วกว่า 1 ชั่วโมงเป็นระดับ 1 การทำงานที่เกิน 1 ชั่วโมงแต่น้อยกว่า 2 ชั่วโมงเป็นระดับ 2 และการทำงานที่เกิน 2 ชั่วโมงขึ้นไปเป็นระดับ 3 ดังตารางที่ 4 ซึ่งหลังจากทดสอบความเร็วในการทำงานของบุคลากรในแผนกวิศวกรรมสามารถจัดระดับความเร็วของบุคลากรในแผนกวิศวกรรมได้ 2 ระดับ ระดับ 1 คือพนักงานที่มีความเร็วในการทำงานระดับสูง และระดับ 2 คือพนักงานที่มีความเร็วในการทำงานระดับกลางดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ข้อกำหนดความเร็วในการทำงาน

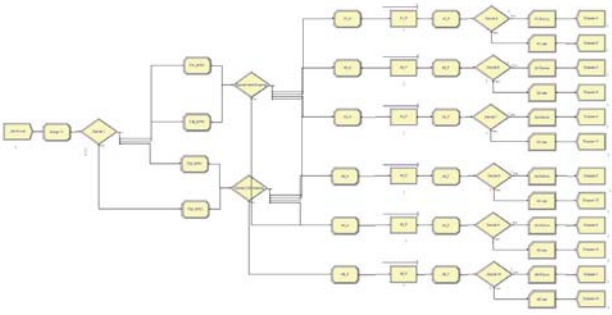
ข้อกำหนดความเร็ว	ระดับความเร็วในการทำงาน
การทำงานที่เร็วกว่า 1 ชั่วโมง	1
การทำงานที่เกิน 1 ชั่วโมงแต่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง	2
การทำงานที่เกิน 2 ชั่วโมงขึ้นไป	3

ตารางที่ 5 ระดับความเร็วในการทำงานของแต่ละบุคลากรในแผนกวิศวกรรม

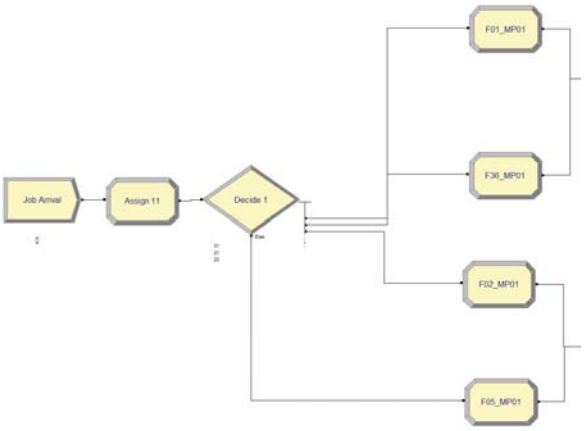
ระดับความเร็วในการทำงาน	รายชื่อพนักงาน
1	A
1	B
1	C
2	D
2	E
2	F

3.4 หลักเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการจัดตารางการทำงานแบบฮิวริสติก (Heuristic)

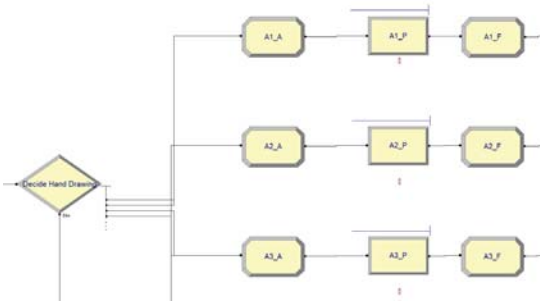
วิธีการจ่ายงานแบบปัจจุบันของบริษัทสามารถสร้างเป็นแบบจำลองอารีน่าโดยงานที่เข้ามาในระบบให้เป็น Job Arrival โดยใช้ Create Module และไปต่อที่ Assign Module เพื่อกำหนดเวลาที่งานเข้ามาในระบบและวันส่งงาน หลังจากนั้นไปที่ Decide Module เพื่อกระจายงานไปสู่ Assign Module ที่กำหนดชนิดงาน รวมถึงกำหนดระยะเวลาการทำงานของแต่ละงาน เมื่อกำหนดชนิดงานเสร็จ จึงเข้าไปที่ Decide Module เพื่อจ่ายงานให้แต่ละพนักงาน แล้วไปต่อที่ Assign Module เพื่อคำนวณตัวแปรความสามารถในการทำงานกับระยะเวลาการทำงาน หลังจากนั้นไปที่ Process Module เพื่อทำงานของแต่ละพนักงาน เมื่อเสร็จจาก Process Module จะไปที่ Assign Module สำหรับการกำหนดเวลาเสร็จงาน และไปที่ Decide Module เพื่อกำหนดให้วันที่ส่งงานต้องมากกว่าวันที่เสร็จงานถึงจะเป็นงานที่ส่งตรงเวลา และจะใช้ Count Module สำหรับการนับจำนวนงานที่ส่งตรงเวลาและงานที่ส่งช้า หลังจากนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้เก็บมาจึงนำมาสร้างเป็นแบบจำลองอารีน่าได้ดังรูปที่ 3-8



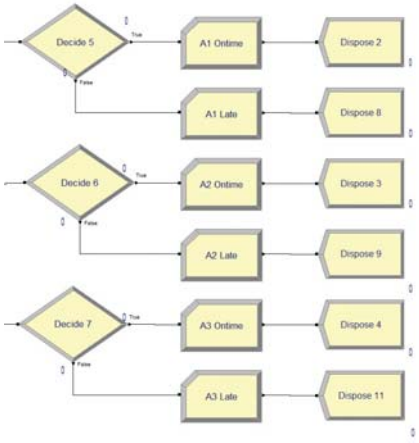
รูปที่ 3 แบบจำลองสถานการณ์ของการจ่ายงานแผนกวิศวกรรมโดยรวม



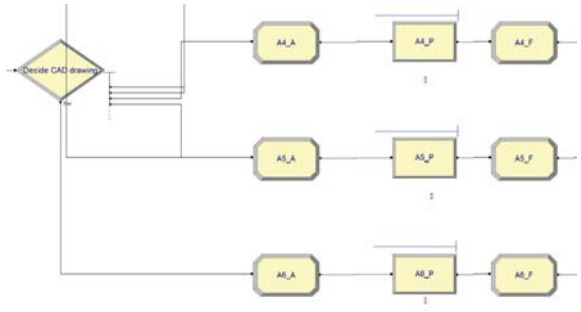
รูปที่ 4 แบบจำลองสถานการณ์ของการจ่ายงานแผนกวิศวกรรมส่วนที่ 1



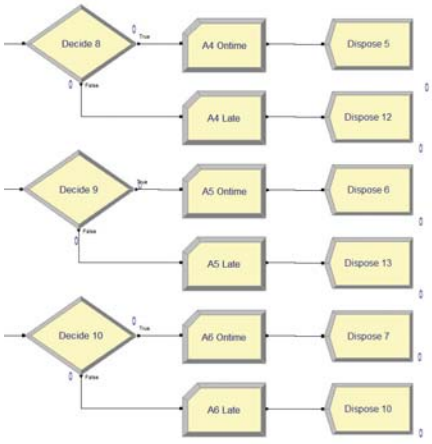
รูปที่ 5 แบบจำลองสถานการณ์ของการจ่ายงานแผนกวิศวกรรมส่วนที่ 2



รูปที่ 6 แบบจำลองสถานการณ์ของการจ่ายงานแผนกวิศวกรรมส่วนที่ 3



รูปที่ 7 แบบจำลองสถานการณ์ของการจ่ายงานแผนกวิศวกรรมส่วนที่ 4



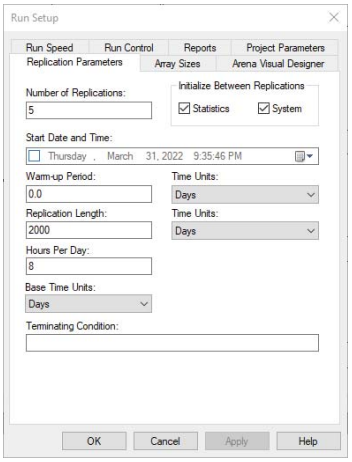
รูปที่ 8 แบบจำลองสถานการณ์ของการจ่ายงานแผนกวิศวกรรมส่วนที่ 5

โดยข้อมูลที่นำเข้าไปใส่ใน module ต่าง ๆ จะเป็นดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อินพุทของแต่ละโมดูลในแบบจำลองสถานการณ์ของวิธีการทำงาน ณ ปัจจุบัน

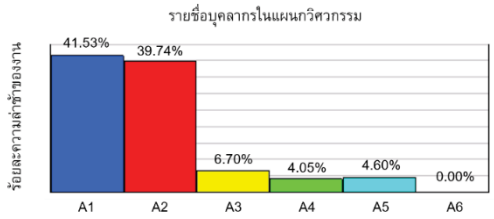
ชื่อ Module	Expression
Job Arrival (Create Module)	Type: DISC(0.5,0.5,0.8,0.9,1,1) Entities per Arrival: DISC(0.3,1,0.8,2,1,3
Assign 1 (Assign Module)	Attribute, Arrival Time, TNOW Attribute, Due Date, Arrival Time + UNIF (1,15)
Decide 1 (Decide Module with N-way by Chance)	31,21,20
F01_MP01 (Assign Module)	Attibute,F01_P,UNIF(1,15) Entity Type,F01
Decide Hand Drawing (Decide Module with N-way by Chance)	9,30,27,26
Assign A (Assign Module)	Attribut,A1_T,(F01_P*0.95) || (F02_P*0.95) || (F05-P*0.95) || (F36_P*0.95)
Process A (Process Modle)	Seize Delay Release (A1_T)
Assign A_F (Assign Module)	Attribute, A1 Finish, TNOW
Decide A (Decide Module with 2-way by Condition)	Due Date – A1 Finish > 0
A Ontime (Count Module)	Count,1,No,A1 OT
A Late (Count Module)	Count,1,No,A1 L

และกำหนดฟังก์ชัน Run Setup ดังรูปที่ 9

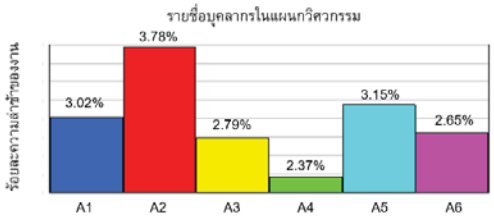


รูปที่ 9 ฟังก์ชัน Run Setup ของแบบจำลองสถานการณ์

โดยวิธีการจ่ายงาน ณ ปัจจุบันที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์มีผลดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความล่าช้าของวิธีการจ่ายงาน ณ ปัจจุบัน



รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความล่าช้าของการจ่ายงานแบบ SPT

จากผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความล่าช้าของวิธีการจ่ายงาน ณ ปัจจุบันในแบบจำลองสถานการณ์เห็นว่ามีความใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์ความล่าช้าของวิธีการจ่ายงาน ณ ปัจจุบันในความเป็นจริง จึงนำแบบจำลองสถานการณ์นี้มาใช้ในวิธีการจ่ายงานตามหลักเกณฑ์การตัดสินใจแบบฮิวริสติก

แบบจำลองสถานการณ์ของวิธีการจ่ายงานตามหลักเกณฑ์การตัดสินใจแบบฮิวริสติกมีข้อแตกต่างจากวิธีการจ่ายงาน ณ ปัจจุบันที่โมดูล Decide Hand Drawing โดยใช้ Decide Module with N-way by Condition แทน Decide Module with N-way by Chance ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อินพุทของโมดูล Decide Hand Drawing

ชื่อ Module	Expression
Decide Hand Drawing (Decide Module with N-way by Condition)	1. (NQ(A1_P.Queue)<NQ(A2_P.Queue)) || (NQ(A1_P.Queue)<NQ(A3_P.Queue)) || (NQ(A1_P.Queue)<NQ(A4_P.Queue)) || (NQ(A1_P.Queue)<NQ(A5_P.Queue)) 2. (NQ(A2_P.Queue)<NQ(A3_P.Queue)) || (NQ(A2_P.Queue)<NQ(A4_P.Queue)) || (NQ(A2_P.Queue)<NQ(A5_P.Queue)) || (NQ(A2_P.Queue)<NQ(A1_P.Queue)) 3. (NQ(A3_P.Queue)<NQ(A4_P.Queue)) || (NQ(A3_P.Queue)<NQ(A5_P.Queue)) || (NQ(A3_P.Queue)<NQ(A1_P.Queue)) || (NQ(A3_P.Queue)<NQ(A2_P.Queue)) 4. (NQ(A4_P.Queue)<NQ(A5_P.Queue)) || (NQ(A4_P.Queue)<NQ(A1_P.Queue)) || (NQ(A4_P.Queue)<NQ(A2_P.Queue)) || (NQ(A4_P.Queue)<NQ(A3_P.Queue))

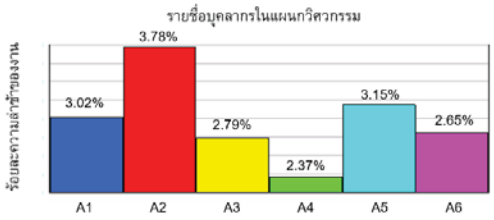
โดยวิธีการจ่ายงานตามหลักเกณฑ์การตัดสินใจแบบฮิวริสติก (Heuristic) ที่นำมาใช้จะมีดังนี้

1. การจ่ายงานด้วยวิธีการ SPT (Shortest Processing Time First)

การจ่ายงานด้วยวิธีการ SPT (Shortest Processing Time First) จะให้ทำงานที่มีระยะเวลาการทำงานน้อยที่สุดก่อน แล้วจึงทำงานที่มีระยะเวลาการทำงานมากกว่าเป็นลำดับถัดไป โดยตั้งค่า Queue เป็น Lowest Attribute Value ที่ A1_T ถึง A6_T ซึ่งจะได้เปอร์เซ็นต์ความล่าช้าดังรูปที่ 11

2. การจ่ายงานด้วยวิธีการ LPT (Longest Processing Time First)

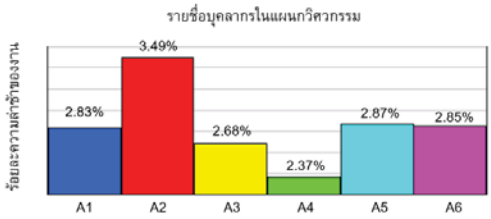
การจ่ายงานด้วยวิธีการ LPT (Longest Processing Time First) จะให้ทำงานที่มีระยะเวลาการทำงานมากที่สุดก่อน แล้วจึงทำงานที่มีระยะเวลาการทำงานน้อยกว่าเป็นลำดับถัดไป โดยตั้งค่า Queue เป็น Highest Attribute Value ที่ A1_T ถึง A6_T ซึ่งจะได้เปอร์เซ็นต์ความล่าช้าดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความล่าช้าของการจ่ายงานแบบ LPT

3. การจ่ายงานด้วยวิธีการ EDD (Earliest Due Date)

การจ่ายงานด้วยวิธีการ EDD (Earliest Due Date) จะให้ทำงานที่มีการกำหนดส่งเร็วที่สุดก่อนแล้วจึงทำงานที่มีกำหนดส่งช้ากว่าเป็นลำดับถัดไป โดยตั้งค่า Queue เป็น Lowest Attribute Value ที่ Due Date ซึ่งจะได้เปอร์เซ็นต์ความล่าช้าดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความล่าช้าของการจ่ายงานแบบ EDD

4. สรุปการวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการจ่ายงานที่สามารถจัดภาระงานของบุคลากรในแผนกวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยต้องมีงานล่าช้าของแต่ละพนักงานไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมด จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจัดตารางระหว่างวิธีการจ่ายงานของแผนกวิศวกรรม ณ ปัจจุบันแสดงและวิธีจ่ายงานต่าง ๆ ตามหลักเกณฑ์พื้นฐานการตัดสินใจเพื่อการจ่ายงานแบบฮิวริสติกดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบร้อยละความล่าช้าของงานระหว่างวิธีการจ่ายงานปัจจุบันและวิธีการจ่ายงานแบบฮิวริสติก

รายชื่อบุคลากรในแผนกวิศวกรรม	วิธีการจ่ายงานปัจจุบัน (ร้อยละ)	วิธีการจ่ายงานแบบ SPT (ร้อยละ)	วิธีการจ่ายงานแบบ LPT (ร้อยละ)	วิธีการจ่ายงานแบบ EDD (ร้อยละ)
A1	41.53	3.02	3.02	2.83
A2	39.74	3.78	3.78	3.49
A3	6.70	2.79	2.79	2.68
A4	4.05	2.37	2.37	2.37
A5	4.60	3.15	3.15	2.87
A6	0.00	2.65	2.65	2.85

พบว่าวิธีการจ่ายงาน ณ ปัจจุบันจะมีเปอร์เซ็นต์ความล่าช้ามากที่สุดอยู่ที่ 41.53 เปอร์เซ็นต์ จากพนักงาน 6 คน วิธีการจ่ายงานแบบ SPT จะมีเปอร์เซ็นต์ความล่าช้ามากที่สุดอยู่ที่ 3.78 เปอร์เซ็นต์ จากพนักงาน 6 คน และวิธีการจ่ายงานแบบ LPT จะมีเปอร์เซ็นต์ความล่าช้ามากที่สุดอยู่ที่ 3.78 เปอร์เซ็นต์ จากพนักงาน 6 คน และวิธีการจ่ายงานแบบ EDD จะมีเปอร์เซ็นต์ความล่าช้ามากที่สุดอยู่ที่ 3.49 เปอร์เซ็นต์ จากพนักงาน 6 คน ซึ่งวิธีการจ่ายงานแบบ EDD มีผลลัพธ์ของความล่าช้าของงานที่ดีที่สุดใน 3 วิธีการอยู่ที่ 3.49 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำผลสรุปที่ได้จากการใช้แบบจำลองอารีน่าโดยวิธี EDD (Earliest Due Date) สามารถลดร้อยละงานที่ล่าช้าของ A1 จาก 41.53 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 2.83 เปอร์เซ็นต์ A2 จาก 39.74 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 3.49 เปอร์เซ็นต์ A3 จาก 6.70 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 2.68 เปอร์เซ็นต์ A4 จาก 4.05 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 2.37 เปอร์เซ็นต์ A5 จาก 4.60 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 2.87 เปอร์เซ็นต์ แต่เพิ่มงานล่าช้าของ A6 จาก 0 เปอร์เซ็นต์ เป็น 2.85 เปอร์เซ็นต์ หากนำมาคิดเป็นชั่วโมงการทำงานทั้งหมดสามารถลดไปได้ประมาณ 3,576 ชั่วโมงต่อปี

5. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาค้นคว้าอิสระในการพัฒนาวิธีการจ่ายงานที่สามารถจัดภาระงานของบุคลากรในแผนกวิศวกรรมโดยใช้วิธีการ EDD (Earliest Due Date) เมื่อนำไปใช้ในการทำงานจริงสามารถที่จะลดเวลาการทำงานโดยรวมของแต่ละบุคลากร แต่วิธีการ EDD ไม่สามารถนำงานที่มีอยู่ในฐานข้อมูล (F36_MP01 และ F05_MP01) มาจ่ายงานให้ผู้ที่เคยรับผิดชอบงานนี้อยู่แล้วได้ ซึ่งอาจจะเกิดปัญหาในการไม่เข้าใจในเนื้องานและเสียเวลาเพิ่มเติมในการเข้าใจงาน รวมถึงอาจเสียเวลาเพื่อนร่วมงานที่เป็นผู้รับผิดชอบเดิมมากขึ้นเพื่อที่จะอธิบายงานที่เข้ามาให้ผู้รับผิดชอบคนใหม่

เอกสารอ้างอิง

[1] อุทัย บุญประเสริฐ. 2538. การวางแผนและการจัดแผนงานในโรงเรียน. พิมพ์ครั้งที่ 1 โรงพิมพ์ เอส ดีเพรส, กรุงเทพฯ

[2] ชุมพล ศฤงคารศิริ. 2545. การวางแผนและควบคุมการผลิต (ฉบับปรับปรุงใหม่). พิมพ์ครั้งที่ 9. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

[3] พิภพ ลลิตาภรณ์. 2545. ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต (ฉบับปรับปรุง). พิมพ์ครั้งที่ 11. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

[4] บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. 2552. การวางแผนและควบคุมการผลิต. สำนักพิมพ์ท้อป. กรุงเทพฯ.

[5] พิภพ ลลิตาภรณ์. 2553. การกำหนดตารางการผลิตและการควบคุม. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ

[6] Kenneth R. B. and D. Trietsch. 2009. Principles of Sequencing and Scheduling. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

[7] Jui, C.J., H.C., Kou, M.W., Hui. 2008. A dynamic scheduling model of parallel-machine group for weapon production. The International Journal of Advance Manufacturing Technology, 36 1202-1209.

[8] Kelton, W.D., R.P., Sadowski, D.A., Sadowski. Simulation with Arena. Second Edition. McGraw – Hill Company, Inc.

[9] รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ. 2551. คู่มือการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. กรุงเทพฯ.

การจัดตารางการเดินเครื่องสูบน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา กรณีศึกษา กองการประปา เทศบาลเมืองโพธาราม

Pump Scheduling in Tab Water Production Processes Case Study of Photharam Municipality

ปณิธาน พฤฑฒิกุล[1*] วรวุฒิ หวังวัชรกุล[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: panithan.pru@ku.th*

Panithan Pruttikul[1*] Worawut Wangwatcharakul[2]
[1]Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2] Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: panithan.pru@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการจัดตารางเดินเครื่องสูบน้ำประปาของกองการประปา เทศบาลเมืองโพธาราม โดยมีโรงสูบน้ำเพื่อผลิตอยู่ 2 โรงได้แก่ โรงสูบน้ำวัดไทร อารีรักษ์และโรงสูบน้ำหนองกลางแตง โดยเดินเครื่องสูบน้ำจากแหล่งน้ำเพื่อนำมาผลิตน้ำตลอด 24 ชั่วโมงทั้ง 2 โรงสูบเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตของผู้บริโภค โดยสามารถผลิตน้ำประปาได้เฉลี่ยเดือนละ 252,177 ลูกบาศก์เมตร แต่มีหน่วยน้ำที่จำหน่ายแล้วเกิดเป็นรายได้เฉลี่ยเดือนละ 126,211 ลูกบาศก์เมตร ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ การเดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมงทำให้ปริมาณน้ำที่ผลิตได้มากเกินความต้องการการใช้น้ำ ถือเป็นการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่เสียเปล่ามากถึง 50.04 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เล็งเห็นถึงปัญหาและต้องการแก้ด้วยการจัดตารางเดินเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสม เพื่อลดต้นทุนการผลิตโดยมุ่งเน้นไปที่ต้นทุนด้านพลังงาน โดยใช้วิธีกำหนดปัญหาเชิงเส้น (Linear Programming) เข้ามาแก้ปัญหาในการจัดตาราง โดยจากการจัดตารางใหม่พบว่า จากเดิมต้นทุนการผลิตด้านพลังงานอยู่ที่ 257,643.84 บาทต่อเดือน เมื่อมีการจัดตารางการเดินเครื่องสูบน้ำต้นทุนลดลงอยู่ที่ 167,294.84 บาทต่อเดือน คิดเป็น 35.07 เปอร์เซ็นต์
คำสำคัญ: การจัดตารางการเดินเครื่องสูบน้ำ, วิธีกำหนดปัญหาเชิงเส้น, การพยากรณ์

Abstract

This research focuses on the problem of Pump scheduling in the Water Works Department of Photharam Municipality. There are two pumping stations for production, namely Wat Sai Areerak Pumping Station and Nong Klang Tang Pumping Station. By operating water pumps that produce water 24 hours a day, both pumping stations can provide enough water to meet customer demand. They can produce tap water on average 252,177 cubic meters per month, but the demand is 126,211 cubic meters per month. The 24-hour operation of the plant results in the amount of water produced exceeding the water demand. To balance the supply and demand for lower production and energy cost. The problem was formulated as a Linear programming. The model was implemented in Excel Solver to find an optimal production plan and production cost. Currently, the energy cost is 257,643.84 baht per month. With a new pump schedule, the energy cost reduces to 167,294.84 baht per month or 35.07 percent reduction.
Keywords: Pump Scheduling, Linear Programming, Forecasting

1. บทนำ

ในชีวิตประจำวันมนุษย์มีการใช้น้ำในการประกอบกิจการต่าง ๆ มนุษย์อาศัยระบบน้ำประปาที่ถูกผลิตขึ้นโดยกระบวนการต่าง ๆ ที่มีการกรอง และฆ่าเชื้อโรค โดยมีการส่งจ่ายผ่านท่อจากโรงผลิตน้ำเพื่อแจกจ่ายตามบ้านเรือนที่อยู่ในพื้นที่อย่างทั่วถึง

กองการประปา เทศบาลเมืองโพธาราม มีสถานที่สำหรับผลิตน้ำประปา จำนวน 2 แห่ง ได้แก่ โรงสูบน้ำหนองกลางแตง และโรงสูบน้ำวัดไทร อารีรักษ์ โดยเดินเครื่องสูบน้ำจากแหล่งน้ำเพื่อนำมาผลิตน้ำตลอด 24 ชั่วโมง ทั้ง 2 โรงสูบเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตของผู้บริโภคโดยสามารถผลิตน้ำประปาได้เฉลี่ยเดือนละ 252,177 ลูกบาศก์เมตร แต่มีหน่วยน้ำที่จำหน่ายแล้วเกิดเป็นรายได้เฉลี่ยเดือนละ 126,211 ลูกบาศก์เมตร ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการเดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมงทำให้ปริมาณน้ำที่ผลิตได้มากเกินความต้องการการใช้น้ำ ถือเป็นการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่เสียเปล่า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือออกแบบการจัดตารางการเดินเครื่องสูบน้ำเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำของผู้บริโภคและลดต้นทุนสำหรับการผลิตน้ำประปา โดยใช้วิธีการพยากรณ์แบบฤดูกาลเป็นเครื่องมือสำหรับการพยากรณ์หาปริมาณน้ำที่เหมาะสมและใช้การแก้ปัญหาแบบกำหนดการเชิงเส้น หรือ Linear Programming สำหรับปัญหาการจัดตารางเดินเครื่องสูบน้ำ

2. ทฤษฎีที่เกียวข้อง

ในการออกแบบวิธีการจัดตารางการเดินเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำของผู้บริโภคและลดต้นทุนนั้น สำหรับความต้องการการใช้น้ำในปีถัดไปนั้นใช้การพยากรณ์แบบ Winter's Method และใช้การแก้ปัญหาแบบกำหนดการเชิงเส้น หาค่า Optimization เข้ามาเพื่อหาต้นทุนที่ต่ำที่สุด

2.1 การพยากรณ์ด้วยวิธีการแบบฤดูกาล (Winter's Method)

การพยากรณ์แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือการพยากรณ์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เพื่อคาดคะเนสิ่งที่จะเกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้ใช้การพยากรณ์เชิงปริมาณ จะใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์บนพื้นฐานของข้อมูล ปริมาณความต้องการที่เก็บรวมรวมไว้ในอดีตรวมทั้งข้อมูลอื่น [1] สำหรับวิธีการแบบฤดูกาลของวินเตอร์ เป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นแนวโน้มอย่างมีทิศทางและเป็นฤดูการ การพยากรณ์โดยวิธีวินเตอร์จะให้ค่าการพยากรณ์ที่ดีเหมือนกับการปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลซ้ำ 2 ครั้ง การพยากรณ์ด้วยเทคนิควินเตอร์ต้องใช้ข้อมูลอย่างน้อย 2 ฤดูกาล และมีรูปแบบที่ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ค่าคงที่ของการปรับเรียบ เรียกว่าค่าแอลฟา (α) ค่าคงที่ของแนวโน้ม เรียกว่าค่าเบต้า (β) และค่าคงที่สำหรับฤดูกาล เรียกว่าค่าแกรมม่า (γ) โดยค่าดังกล่าวจะมีอยู่ค่าหนึ่งที่จะทำให้มีค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์น้อยที่สุด โดยจะสามารถหาค่าได้จากเกณฑ์ความผิดพลาด ได้แก่ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (Mean Error), ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation, MAD), ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error, MSE), ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ย (Mean Percentage Error, MPE) และค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) โดยแต่ละค่าควรจะมีค่าน้อย [2]

2.2 รูปแบบกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Model)

เป็นเทคนิคการทำ Optimization ที่ใช้สำหรับปัญหาที่มี Objective Function และ Constraints เป็นแบบฟังก์ชันเชิงเส้น โดยที่สมการของ Constraints เป็นแบบ Equalities Constraints หรือ Inequalities Constraints [3] โดยที่มีการพิจารณาปัญหาของระบบมีอยู่ทั้งหมด 2 แบบด้วยกัน คือการพิจารณาปัญหาในการหาค่ามากสุด และการพิจารณาปัญหาในการหาค่าน้อยสุด โดยวิธีการกำหนดรูปแบบเชิงเส้นของปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น [4] คือ

2.2.1 กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

หมายถึงกิจกรรมที่ผู้ตัดสินใจสนใจค่าของตัวแปรที่เหมาะสม คือปริมาณที่ควรกระทำ โดยในแต่ละปัญหาจะมีตัวแปรตัดสินใจที่ต่างกันออกไป โดยตัวแปรตัดสินใจอาจมีมิติเดียวหรือหลายมิติก็ได้ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา แต่จะต้องพิจารณาเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ในบางปัญหา เช่นปัญหาการลงทุนอาจ อาจกำหนดตัวแปรเพียงมิติเดียว โดยกำหนดให้ X_i เป็นตัวแปรตัดสินใจสำหรับการลงทุนธุรกิจที่ i หรือสำหรับปัญหาประเภทการผลิตหรือจัดตารางอาจกำหนดตัวแปรหลายมิติ โดยกำหนด X_{ij} เป็นตัวแปรตัดสินใจสำหรับการผลิต i ในวันที่ j เป็นต้น [5]

2.2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

หมายถึงฟังก์ชันที่เป็นตัวบอกเป้าหมายความต้องการว่าต้องการค่าสูงสุดแทนด้วยสมการที่ (1) หรือค่าต่ำสุดแทนด้วยสมการที่ (2)

$$MaxZ = C_1X_1 + C_2X_2 + \cdots C_nX_n \qquad (1)$$

$$MinZ = C_1X_1 + C_2X_2 + \cdots C_nX_n \qquad (2)$$

โดยที่ $C_1, C_2, \ldots C_n$ คือสัมประสิทธิ์ตัวแปรที่ 1 2,... n และ $X_1, X_2, \ldots X_n$ คือตัวแปรที่มีเลขยกกำลังเป็นหนึ่งที่ 1 2,...n

2.2.3 เงื่อนไขแสดงขอบข่าย (Constraints)

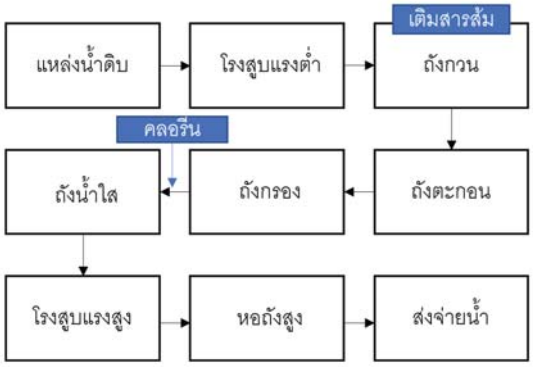
หมายถึงขอบข่ายที่เป็นข้อจำกัดของคำตอบหรือค่าตัวแปรที่ตัดสินใจจะเป็นไปได้ ซึ่งอาจแทนได้ด้วยสมการหรืออสมการเช่น มากกว่าเท่ากับหรือน้อยกว่าเท่ากับ เป็นต้น

2.2.4 บริเวณที่เป็นไปได้ของคำตอบ (Feasible Region)

กลุ่มของคำตอบที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขขอบข่ายทั้งหมดของปัญหา ซึ่งพิจารณาค่าทุกค่าเป็นค่าบวกและศูนย์เท่านั้น

2.3 การผลิตน้ำประปาผิวดิน

กระบวนการผลิตน้ำประปาจากผิวดิน ดังรูปที่ 1 เริ่มจากการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดินธรรมชาติเข้าสู่ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อกำจัดตะกอนและความขุ่น โดยน้ำดิบจะถูกสูบเข้าถังกวนและสร้างตะกอนโดยการเติมสารส้มลงไปด้วย หลังจากนั้นตะกอนจะตกลงสู่ก้นถัง โดยน้ำใสที่อยู่ด้านบนจะไหลออกมาสู่ถังกรอง เพื่อกรองตะกอนน้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะไหลเข้าสู่ถังน้ำใส ในขณะเดียวกันจะมีการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค เมื่อน้ำใสเต็มถังจะมีการสูบขึ้นหอถังสูงเพื่อเตรียมจ่ายเข้าสู่ท่อเมนให้ผู้ใช้ผ่านมาตรวัดน้ำ [6]



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา

2.4 อัตราค่าไฟตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use Rate, TOU)

เป็นอัตราค่าไฟที่สะท้อนถึงต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่

1. ช่วง Peak คือช่วงที่ค่าไฟมีราคาสูงเนื่องจากประเทศมีความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูง โดยการไฟฟ้าต้องจัดหาเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงและต่ำมาผลิตเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ ช่วงเวลา 09.00 น. – 22.00 น.

2. ช่วง Off Peak คือช่วงที่ค่าไฟมีราคาต่ำ เนื่องจากประเทศมีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ โรงไฟฟ้าสามารถเลือกเชื้อเพลิงการผลิตที่มีราคาต่ำมาผลิตได้ จึงทำให้ต้นทุนค่าไฟฟ้าช่วง Off Peak ต่ำกว่าช่วง Peak ช่วงเวลา 22.00 น. – 09.00 น.

อัตราค่าไฟ TOU เหมาะสมกับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย กิจการหรือธุรกิจและโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้ไฟฟ้ามากในช่วง Off Peak หรือเหมาะกับผู้ใช้ไฟฟ้าที่สามารถจัดตารางกิจกรรมให้ได้ตามช่วงเวลาที่ได้รับประโยชน์นั่นเอง [7] โดยจากการศึกษาการจัดตารางในด้านอื่นเช่นการจัดตารางการผลิตในโรงงานพบว่าการหลีกเลี่ยงการทำงานตามระยะเวลาของ TOU สามารถลดต้นทุนค่าไฟได้จริง [8]

2.5 การแก้ปัญหากำหนดเชิงเส้นด้วยเอ็กเซลโซลเวอร์ (Excel Solver)

โซลเวอร์ (Solver) คือเครื่องมือที่ช่วยในการคำนวณโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดจากข้อจำกัดหรือเงื่อนไขที่มีอยู่ เป็นโปรแกรมย่อย (Add-ins) ของโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกเซล (Microsoft Excel)เพื่อช่วยวิเคราะห์ปัญหาประเภทที่ต้องการคำตอบที่ดีที่สุด แต่ในการหาคำตอบนั้นอาจจะไม่ดีที่สุดไม่เสมอไป เพราะในบางครั้งให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในขอบเขตหนึ่ง แต่หากเปลี่ยนขอบเขตอาจทำให้คำตอบที่ดีที่สุดเปลี่ยนไป โดย Solver พื้นฐานนั้น จะสามารถใช้ได้กลับจำนวนตัวแปรตัดสินใจไม่เกิน 200 ตัวแปรและ 100 ข้อจำกัด แต่หากตัวแปรตัดสินใจมีจำนวนมากกว่านั้น จำเป็นที่จะต้องใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver มาแก้ปัญหา [9]

3. ขั้นตอนการออกแบบและวิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเรื่องการจัดตารางการเดินเครื่องสูบน้ำในระบบการผลิตน้ำประปาของกองการประปา เทศบาลเมืองโพธารามมีการรวมรวมข้อมูลการผลิตน้ำ โดยมีเป้าหมายให้ผลิตน้ำเพียงพอต่อความต้องการเพื่อลดต้นทุนในการผลิตและไม่เกินความจำเป็นจนเกิดเป็นน้ำสูญเสีย ในการจัดตารางจะใช้โปรแกรม Minitab 18 เพื่อการพยากรณ์ความต้องการน้ำในปีถัดไป นำมาเป็นข้อมูลสำหรับการจัดตารางและใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver มาเป็นเครื่องมือในการช่วยหาคำตอบ

3.1 การพยากรณ์ความต้องการน้ำ

การพยากรณ์ความต้องการการน้ำใช้ข้อมูลสำหรับการพยากรณ์ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2558 – เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 โดยเป็นข้อมูลหน่วยน้ำที่จำหน่ายจากกองการประปา เทศบาลเมืองโพธาราม โดยใช้โปรแกรม Minitab 18 ด้วยการใช้ฟังก์ชัน Winter's Method กำหนดค่า Seasonal Length = 12 และกำหนดค่าแอลฟา = 0.2 ค่าเบต้า = 0.2 และค่าแกรมม่า = 0.2 ผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการพยากรณ์ด้วยวิธี Winter's Method

ลำดับที่	ปริมาณน้ำ (ลบ.ม.)
1	127,436
2	134,292
3	127,783
4	130,069
5	137,048
6	130,387
7	132,702
8	139,803
9	132,991
10	135,335
11	142,559
12	135,596

3.2 การจัดตารางเดินเครื่องสูบน้ำ

การจัดตารางเดินเครื่องสูบน้ำใช้การสร้างรูปแบบแผ่นงานบนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกเซลและใช้ OpenSolver เข้ามาเป็นเครื่องมือในการแก้ไข

3.2.1 ข้อมูลสำหรับการจัดตารางเดินเครื่องสูบน้ำ

ข้อมูลที่นำมาใช้ประกอบไปด้วยหลายส่วน ได้แก่

1. ข้อมูลมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำ กองการประปามีเครื่องสูบน้ำแรงต่ำสำหรับการผลิตน้ำรวมจำนวน 6 เครื่อง แบ่งเป็นโรงสูบวัดไทรฯ จำนวน 3 เครื่อง และโรงสูบหนองกลางแตง จำนวน 3 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องมีกำลังไฟฟ้า 50 kW และอัตราการสูบน้ำอยู่ที่ 200 m^3 ต่อชั่วโมง

2. ข้อมูลการเดินเครื่องสูบน้ำ โรงสูบแต่ละโรงสูบเดินเครื่องสูบน้ำแรงต่ำเพื่อสูบขึ้นมาผลิต ระยะเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชั่วโมงการเดินเครื่องสูบน้ำในแต่ละวันของแต่ละโรงสูบ

3. ข้อมูลปริมาณน้ำล้างกรอง เพื่อให้การกรองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องล้างกรองในแต่ละวัน โดยการล้างกรองในแต่ละวัน โรงสูบน้ำประปาทั้ง 2 โรงสูบมีการล้างกรองวันละ 2 หม้อกรองต่อโรงสูบ ที่เวลา 09.00 น. และ 09.30 น.สำหรับโรงสูบหนองกลางแตง แต่ในส่วนของโรงสูบวัดไทรฯนั้น จะมีการล้างหม้อกรองที่เวลา 13.00 น. และ 18.00 น โดยในการล้างกรองแต่ละครั้งจะใช้น้ำเป็นปริมาตร 100 ลบ.ม. ต่อหม้อกรอง หรือรวม 400 ลบ.ม. ต่อวัน

4. ข้อมูลการพยากรณ์ความต้องการน้ำต่อวัน เนื่องจากกองการประปาเทศบาลเมืองโพธารามมีการเก็บข้อมูลรายเดือนทำให้จำเป็นต้องนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 1 มาหาค่าเฉลี่ยต่อวันเพื่อใช้สำหรับเป็นข้อมูลในการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมและต้นทุนการผลิตด้านพลังงานต่ำที่สุด

5. ข้อมูลปริมาณการระบายน้ำ กองการประปามีการระบายน้ำออกเพื่อรักษาระดับปริมาณน้ำในถังน้ำใส ไม่ให้เกินต่อ ปริมาตรความจุของถังน้ำใส และช่วยในการระบายตะกอนก้นถัง โดยมีข้อมูลการระบายน้ำดังตารางที่ 2

6. ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้า TOU สำหรับกองการประปา ดำเนินการเป็นกิจการเป็นกิจการประเภทที่ 3 หรือกิจการขนาดกลาง คือธุรกิจที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 30 kW แต่ไม่ถึง 1,000 kWและมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนก่อนหน้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน [4] โดยมีอัตราค่าไฟฟ้า ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณการระบายน้ำออก

โรงสูบ	ขนาดท่อ (นิ้ว)	จำนวนท่อ	ระยะเวลาระบายน้ำ (ชม./วัน)	อัตราการไหล (ลบ.ม./ชม.)	ปริมาตรที่ระบาย (ลบ.ม./วัน)
วัดไทร	2 1/2	1	24	20.20	484.8
หนองกลางแตง	2	20	1	12.46	249.2

ตารางที่ 3 อัตราตามช่วงเวลาการใช้ หรือ TOU

อัตราค่าไฟ	ค่าความต้องการพลังงาน (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
		Peak	Off Peak	
แรงดัน 22-33 kV	132.93	4.1839	2.6037	312.24

7. ข้อมูลถังเก็บน้ำใส กองการประปาเทศบาลมีถังเก็บน้ำใสสำหรับพักน้ำก่อนจะสูบเพื่อส่งจ่าย มีปริมาตรเป็นดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลถังเก็บน้ำใส

รายละเอียด	ปริมาตร (ลบ.ม.)
ปริมาตรความจุรวมถังน้ำใส	2,000
ปริมาตรเริ่มต้น	375
ปริมาตรภายในถังน้ำใสต่ำสุดที่ยอมรับได้	500
ปริมาตรสูงสุด	2,000

3.2.2 การกำหนดรูปแบบเชิงเส้นของปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น

1.กำหนดตัวแปรที่ต้องตัดสินใจและพารามิเตอร์ โดยจะกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับปัญหาและข้อมูลที่มี เพื่อใช้ในการกำหนดวัตถุประสงค์และเงื่อนไขการแสดงขอบข่าย

1.1 ดัชนี

i = 1 2,...,6

j = 1 2,...,7

1.2 ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ij} = จำนวนชั่วโมงในการเดินเครื่องสูบน้ำ i ในวันที่ j ในช่วง Off Peak

W_{ij} = จำนวนชั่วโมงในการเดินเครื่องสูบน้ำ i ในวันที่ j ในช่วง On Peak

Y_{ij} = 1 ; เครื่อง i เดินเครื่องในวันที่ j

0 ; เครื่อง i ไม่ได้เดินเครื่องในวันที่ j

V_j = ปริมาณน้ำในอ่างเมื่อสิ้นสุดวันที่ j (ลบ.ม.)

โดยที่ i คือเครื่องสูบเครื่อง และ j คือช่วงของวันที่ทำงาน

1.3 พารามิเตอร์

D_j = ปริมาณน้ำที่ผู้บริโภคต้องการในวันที่ j (ลบ.ม.)

R_{on} = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง On peak (4.2097 บาท/หน่วย)

R_{off} = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง Off peak (2.6295 บาท/หน่วย)

P = พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำขนาด 200 ลบ.ม.ใช้งานใน 1 ชั่วโมง (หน่วย)

V_{low} = ปริมาณน้ำในอ่างน้ำใสไม่ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของความจุ (500 ลบ.ม.) (ลบ.ม.)

V_{high} = ปริมาณน้ำในอ่างน้ำใสที่ไม่เกินความจุ 2,000 ลบ.ม. (ลบ.ม.)

C_{off} = ค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง Off peak (บาท/ชั่วโมง)

C_{on} = ค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง On peak (บาท/ชั่วโมง)

2. การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เนื่องจากเป็นการแก้ปัญหาการจัดตารางการเดินเครื่องสูบน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการโดยที่ต้องมีต้นทุนในการผลิตน้อยสุด จะใช้การแก้ปัญหาแบบค่าน้อยที่สุดกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังสมการที่ (3)

$$Z = C_{off} \sum_i \sum_j X_{ij} + C_{on} \sum_i \sum_j W_{ij} \quad (3)$$

โดยที่ Z คือต้นทุนการผลิต (บาท/สัปดาห์)

อัตราค่าไฟฟ้าในช่วง Off Peak (เวลา 22.00 – 09.00 หรือชั่วโมงที่ 1 ถึง 11) ดังสมการที่ (4)

$$C_{off} = R_{off} * P \quad (4)$$

อัตราค่าไฟฟ้าในช่วง On Peak (เวลา 09.00 – 22.00 หรือชั่วโมงที่ 12 ถึง 24) ดังสมการที่ (5)

$$C \quad = R \quad * P \quad (5)$$

3. เงื่อนไขแสดงขอบข่าย

3.1 การเดินเครื่องสูบน้ำในช่วงของวันที่ j ของโรงสูบน้ำวัดไทรฯ จะต้องมีการเดินเครื่องอย่างน้อย 1 เครื่อง (กำหนดเครื่องสูบ 3 เครื่องของโรงสูบวัดไทรฯเป็นเครื่องที่ i =1,2 และ 3) ดังสมการที่ (6)

$$\sum_{i=1}^{3} Y_{ij} \geq 1 \ ; \ \forall_j \quad (6)$$

3.2 การเดินเครื่องสูบน้ำในช่วงของวันที่ j ของโรงสูบน้ำหนองกลางแตง จะต้องมีการเดินเครื่องอย่างน้อย 1 เครื่อง (กำหนดเครื่องสูบ 3 เครื่องของโรงสูบหนองกลางแตงเป็นเครื่องที่ i = 4 5 และ 6) ดังสมการที่ (7)

$$\sum_{i=4}^{6} Y_{ij} \geq 1; \ \forall_j \quad (7)$$

3.3 ปริมาณน้ำในวันที่ j ต้องไม่น้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของความจุในการเก็บน้ำและต้องไม่เกินความจุรวมของอ่างน้ำใส ดังสมการที่ (8)

$$V_{low} \leq V_j \leq V_{high} \ ; \forall \text{ j} \quad (8)$$

3.4 ปริมาณน้ำในวันที่ j จะต้องมากกว่าปริมาณน้ำที่ต้องการในวันที่ j ดังสมการที่ (9)

$$V_j \geq (V_{j-1} + (\sum X_{ij} * P) + (\sum W_{ij} * P)) - (D_j + 1134) \ ; \ \forall_{i,j} \quad (9)$$

3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ดังสมการที่ (10) และ (11)

$$X_{ij} \leq 24 * Y_{ij} \ ; \ \forall_{i,j} \quad (10)$$

$$W_{ij} \leq 24 * Y_{ij} \ ; \ \forall_{i,j} \quad (11)$$

3.6 จำนวนชั่วโมงการเดินเครื่องสูบน้ำที่ i ในวันที่ j ในช่วงเวลา Off Peak (22.00 - 09.00 น.) ไม่เกิน 11 ชั่วโมง ดังสมการที่ (12)

$$X_{ij} \leq 11 \ ; \ \forall_{i,j} \quad (12)$$

3.7 จำนวนชั่วโมงการเดินเครื่องสูบน้ำที่ i ในวันที่ j ในช่วงเวลา On Peak (09.00 - 22.00 น.) ไม่เกิน 13 ชั่วโมง ดังสมการที่ (13)

$$W_{ij} \leq 13 \ ; \ \forall_{i,j} \quad (13)$$

4. การกำหนดปริมาณถังน้ำใสในวันถัดไป โดยจากสมการที่ (14) ปริมาตรน้ำที่จะคงเหลือในถังน้ำใสนั้นจะหาได้จาก ปริมาตรน้ำที่มีอยู่เดิมรวมกับน้ำที่ผลิตได้ใหม่ในวันนั้น ลบด้วยปริมาณน้ำที่ถูกใช้ระหว่างวันและน้ำสำหรับการล้างกรองและน้ำที่ระบายออก จะทำให้เหลือเป็นปริมาณน้ำตั้งต้นสำหรับวันถัดไป

$$V_j = (V_{j-1} + (\sum X_{ij} * P) + (\sum W_{ij} * P)) - (D_j + 1134) \ ; \ \forall_{i,j} \quad (14)$$

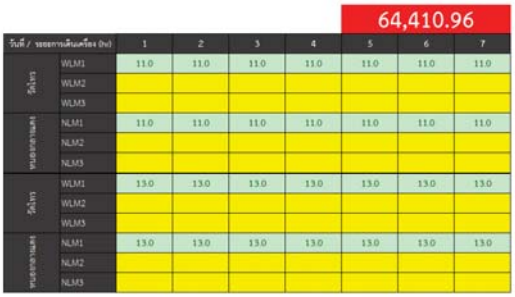
ในการจัดตารางจะทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่างการเดินเครื่องสูบน้ำแบบเดิมกับหลังจากการจัดตารางใหม่โดยมีเงื่อนไขที่ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ต้องเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค หากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลงกว่าเดิม จะทำให้สรุปผลการจัดตารางได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์

4. สรุปและวิเคราะห์ผล

ในการศึกษาวิจัยการจัดตารางการเดินเครื่องสูบน้ำในครั้งนี้ใช้นโยบายสูบเพื่อผลิตตามความต้องการโดยคำนึงถึงน้ำในอ่างน้ำใสจากวันก่อนหน้าเป็นหลัก โดยการใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver มาเป็นเครื่องมือสำหรับดำเนินการ สำหรับระยะเวลา 7 วัน และให้การเดินเครื่องใน 1 วัน เดินเครื่องตามจำนวนชั่วโมงที่สามารถจัดตารางได้ ซึ่งมีการเดินเครื่องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงเต็มทั้ง 2 โรงสูบ ได้ผลดังนี้

4.1 ผลการเดินเครื่องสูบน้ำแบบเดิม

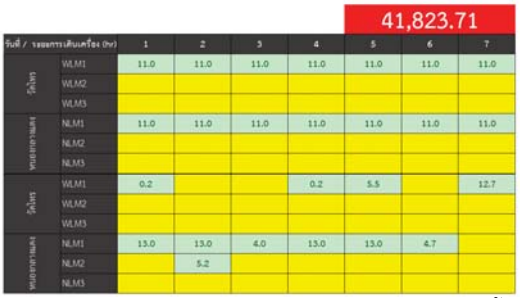
การเดินเครื่องสูบน้ำแบบเดิม ดำเนินการโดย เดินเครื่องสูบแรงต่ำเพื่อสูบน้ำขึ้นมาผลิต โรงสูบน้ำวัดไทรฯ และโรงสูบน้ำหนองกลางแตง เดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตประเภทค่าไฟฟ้า พบว่ามีค่าใช้จ่ายการผลิตในรอบ 7 วันอยู่ที่ 64,410.96 บาท หรือ 257,643.84 บาทต่อเดือน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการเดินเครื่องสูบน้ำแบบเดิม

4.2 ผลการเดินเครื่องจากการจัดตารางเดินเครื่องสูบน้ำ

การเดินเครื่องสูบน้ำจากการจัดตาราง ที่มีวัตถุประสงค์เป็นต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด และถูกควบคุมภายใต้ข้อจำกัดตามนโยบายการสูบมาผลิตโดยคำนึงถึงน้ำที่มีอยู่ในถังเก็บน้ำใสและต้องเพียงพอกับปริมาณน้ำที่ผู้บริโภคต้องการ โดยเมื่อพิจารณาจากต้นทุนประเภทค่าไฟฟ้าพบว่ามีค่าใช้จ่ายในการผลิตในรอบ 7 วันอยู่ที่ 41,823.71 บาท หรือ 167,294.84 บาทต่อเดือน ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการเดินเครื่องจากการจัดตารางเดินเครื่องสูบน้ำ

4.3 เปรียบเทียบผลการจัดตาราง

จากผลลัพธ์พบว่าเมื่อมีการเดินเครื่องสูบน้ำตามการจัดตารางโดยมุ่งเน้นไปในการเดินเครื่องสูบตามช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟต่ำกว่าสามารถบริหารจัดการการใช้น้ำได้และยังช่วยลดต้นทุนประเภทค่าไฟฟ้าเป็นสัดส่วนลดลง 35.07 เปอร์เซ็นต์

5. ข้อเสนอแนะ

สำหรับการจัดตาราง ควรมีการศึกษาปริมาณการใช้น้ำและปัจจัยอื่น ๆ เช่นการปริมาณน้ำที่สูญเสียหากเกิดเหตุการณ์ท่อแตกหรือเหตุการณ์อื่นที่มีความเป็นไปได้ที่ก่อให้เกิดน้ำสูญเสียแล้วนำมาปรับใช้กับการจัดตารางเพื่อให้ได้ความแม่นยำที่มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] มุกดา แม้นมินทร์. อนุกรมเวลาและการพยากรณ์, พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ประกายพรึก, 2549.

[2] อภิชัย พรมอ่อน. การศึกษาการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series) เพื่อการวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบ กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนท่อยางรถยนต์, สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น, 2561.

[3] เบญจมาศ พนมรัตน์รัก. เอกสารประกอบการสอนวิชา Advanced Mathematics for Electrical Engineering, ข้อมูลจาก https://inc.kmutt.ac.th/~yoodyui/courses/EEE603/ (วันที่สืบข้อมูล 5 มีนาคม 2565)

[4] ทวีผล ซื่อสัตย์.การวิจัยดำเนินงาน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.

[5] พิศาล สีนวล. การใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาจัดสรรทรัพยากรเพื่อลดเวลาวางแผนการผลิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2559.

[6] กรมทรัพยากรน้ำ. คู่มือควบคุมการผลิตน้ำประปา ระบบประปาผิวดินรูปแบบกรมทรัพยากรน้ำปี 2562 ,ข้อมูลจาก http://division.dwr.go.th/bwm/index.php/component/users/?view=reset&Itemid=101 (วันที่สืบข้อมูล 5 มีนาคม 2565)

[7] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เรื่องการทบทวนอัตราค่าไฟฟ้าตามหลักเกณฑ์การกำหนดอัตราค่าไฟปี 2558,ข้อมูลจาก http://pea.co.th (วันที่สืบข้อมูล 6 มีนาคม 2565)

[8] Zhang, H., F. Zhaol and J.W. Sutherland. 2015. Manufacturing Scheduling of Collaborative Factories for Energy Cost Reduction. Procedia Manufacturing 1: 122-133.

[9] ศักดิ์สิทธิ์ สุขสุเมฆ. สร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจ (Optimization Modeling) ด้วย Excel (Solver), พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2557.

การประยุกต์ใช้แผนภูมิสายธารคุณค่าเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต : กรณีศึกษากระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทเลนส์สายตายาว

Applying Value Stream Mapping to Reduce Wastes in the Production Process : A Case Study of Convex Lens Production Process

วันชัย รัตนภักดี[1*] ทศพล เกียรติเจริญผล[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail: 63601168@kmitl.ac.th*

Wanchai Rattanapakdee[1*] Tossapol Kiatcharoenpol[1]
[1]Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
E-mail: 63601168@kmitl.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาวในกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมของบริษัทกรณีศึกษา และเสนอแนวทางในการกำจัดความสูญเปล่า เพื่อปรับปรุงระบบสายการผลิต โดยการประยุกต์ใช้แผนภูมิสายธารคุณค่า ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการค้นหาความสูญเปล่าในกระบวนการ ขั้นตอนในการดำเนินงานเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาวในกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม ตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการสุดท้าย จากการวิเคราะห์ความสูญเปล่าในกระบวนการด้วยแผนภูมิสายธารแห่งคุณค่าพบว่ามีความสูญเปล่า 3 ประการคือ ความสูญเสียเนื่องจากใช้ประโยชน์เครื่องจักรเตาอบเลนส์ไม่เต็มประสิทธิภาพ บุคลากรปฏิบัติงานไม่เต็มศักยภาพ และกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม แนวทางในการกำจัดความสูญเปล่าดังกล่าวคือ การศึกษาวิเคราะห์กระบวนการทำงานเพื่อนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์เครื่องจักร ออกแบบการทำงานให้บุคลากรทำงานได้อย่างเต็มศักยภาพ และปรับปรุงกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ตามลำดับ โดยแนวทางปรับปรุงกระบวนการใช้หลักการ ECRS ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า สามารถลดความสูญเปล่าในกระบวนการได้ เวลารวมทั้งกระบวนการจากเดิม 661.07 นาที ลดลงเหลือ 480.68 นาที คิดเป็นลดลงร้อยละ 27.29 เวลานำรวมจากเดิม 1.20 วัน ลดลงเหลือ 0.94 วัน คิดเป็นลดลงร้อยละ 21.67 พนักงานจากเดิม 42 คนต่อกะทำงาน ลดลงเหลือ 29 คนต่อกะทำงาน คิดเป็นลดลงร้อยละ 30.95 และลดการใช้เครื่องจักรเตาอบเลนส์ทั้ง 3 กะการทำงานจาก 3 เตา ลดลงเหลือ 2 เตา คิดเป็นลดลงร้อยละ 33.33

คำสำคัญ: แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า, การผลิตแบบลีน, การปรับปรุงสายการผลิต, การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต

Abstract

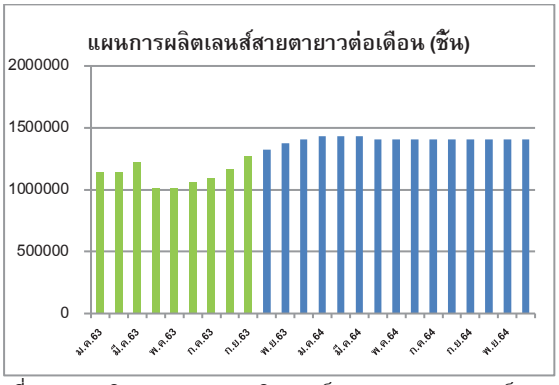
This research was aimed to study the wastes in production process of the traditional convex lenses production and proposed a method to eliminate wastes in this process by applying value stream mapping (VSM) is used as a tool for data gathering and identifying of wastes from the beginning to end of the final process. From the data analysis with value stream mapping (VSM), it was found that there were 3 wastes which are losses due to ineffectiveness oven machine utilization for polymerization process, ineffectiveness of personnel and inappropriate working processes. The way to eliminate such wastes are work study method which leads to optimization of machine utilization, designed work processes of personnel to their full potential and improved inappropriate work processes to increase efficiency respectively. The method to improve the processes of using the ECRS method. The results of the research showed that the wastes in the process can be reduced as follows: Total throughput time was reduced from 661.07 minutes to 480.68 minutes, representing a decreased of 27.29%. Total production lead time was reduced from 1.20 days to 0.94 days, representing a decreased of 21.67%. Employees were reduced from 42 people to 29 people per shift, representing a decreased of 30.95%. And a reduction of oven machinery for all 3 shifts from 3 ovens, reduced to 2 ovens, representing a decreased of 33.33%.

Keywords: Value stream mapping, Lean production, Production improvement, Wastes elimination in production process

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตเลนส์แว่นตาเป็นอุตสาหกรรมที่เติบโตตามการขยายตัวของภาคเศรษฐกิจ เนื่องจากอุตสาหกรรมผลิตเลนส์แว่นตาเป็นอุตสาหกรรมที่มีความจำเป็นต่อคุณภาพและการดำเนินชีวิตประจำวัน ซึ่งถือเป็นสินค้าที่มีความจำเป็นในระดับหนึ่ง โดยกำลังการสั่งซื้อของตลาดอาจจะลดลงตามกลไกของเศรษฐกิจและสังคม ตลอดจนระดับมาตรฐานคุณภาพชีวิตทางสังคมและระดับทางการศึกษาของประชากรในประเทศ [1] การดูแลสายตาที่ดีจะนำไปสู่สุขรูปที่ดีขึ้นโดยรวม ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตเลนส์แว่นตา เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาความบกพร่องทางสายตา แม้แต่ข้อจำกัดทางการอ่านการเรียนรู้ ซึ่งไม่ได้ส่งผลกระทบแค่การเรียนรู้เท่านั้น แต่ยังรวมถึงภาพลักษณ์ของผู้บริโภคอีกด้วย [2]

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิต และให้บริการด้านจัดจำหน่ายเลนส์แว่นตา ประเภทเลนส์สายตา เลนส์กันแดด เลนส์เคลือบสี และเลนส์ที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะเข้าไปศึกษากระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทเลนส์สายตายาว เนื่องจากได้เล็งเห็นว่าในสายการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทเลนส์สายตายาวนั้นมีกระบวนการผลิตซับซ้อน และประกอบกับมีแผนการผลิตที่มีจำนวนมากดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งในกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนเหล่านั้น ล้วนแล้วแต่ก่อให้เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตทั้งสิ้น ดังนั้นการลดความสูญเปล่า และการจัดการการไหลของกิจกรรมการผลิต ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้องค์กรมีความได้เปรียบในด้านการแข่งขัน



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงแผนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทเลนส์สายตายาวของบริษัทกรณีศึกษาในปี พ.ศ. 2563 ถึง ปี พ.ศ. 2564

ในปัจจุบันหลายองค์กรได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตสินค้าและบริการตามวิถีของลีน (Lean Manufacturing) แต่ก็ยังพบว่าไม่เพียงพอ เพราะลีนทำให้เกิดการพัฒนาเป็นส่วน ๆ เท่านั้น จึงได้เริ่มมีการประยุกต์ใช้แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า (Value Stream Mapping) เพราะแผนภูมิสายธารแห่งคุณค่านั้น เป็นการมองเห็นทุกส่วนในภาพรวมของกระบวนการผลิตสินค้าตลอดจนการส่งมอบสินค้าและผลิตภัณฑ์บริการ จึงทำให้เห็นความสูญเปล่าในกระบวนการมากยิ่งขึ้น และนำไปสู่การวางแผนที่จะกำจัดความสูญเปล่าเหล่านั้น อีกทั้งสามารถทำให้ทางบริษัทลดต้นทุนในการผลิตสินค้า ส่งมอบสินค้าได้ถึงมือลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มระดับความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า และนำไปสู่ความสามารถในการแข่งขันในธุรกิจ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาสาเหตุแห่งความสูญเปล่า และศึกษาแนวทางการลดเวลาของกิจกรรมในสายธารแห่งคุณค่าของกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทเลนส์สายตายาว

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing)

การผลิตแบบลีน คือวิธีการที่มีระบบแบบแผนในการระบุ และกำจัดความสูญเสียหรือสิ่งที่ไม่เพิ่มคุณค่าภายในกระแสคุณค่าของกระบวนการโดยอาศัยการดำเนินตามจังหวะความต้องการของลูกค้าด้วยระบบดึงทำให้เกิดสภาพการไหลอย่างต่อเนื่อง ราบเรียบและทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างคุณค่าให้แก่ระบบอยู่เสมอ

3.2 แผนภูมิสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping; VSM)

แผนภูมิสายธารคุณค่า เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญในการเริ่มต้นวิเคราะห์กระบวนการซึ่งได้รับการยอมรับจากบริษัทชั้นนาระดับโลกว่าเป็นการสังเคราะห์วิธีปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practice) และได้รับความนิยมล่าสุดในการปรับปรุงการผลิต เป็นรูปแบบที่ดีเยี่ยมในการจัดการด้วยสายตา โดยแนวคิดสายธารคุณค่า (Value Stream Thinking) จะทำให้สามารถเข้าใจภาพรวมของกระบวนการ (Overall Process) จากมุมมองของลูกค้าโดยมุ่งแนวทางปรับปรุงการไหลของทรัพยากรและสารสนเทศ ตลอดทั้งโซ่อุปทานซึ่งทำให้สามารถระบุกิจกรรมที่จำเป็นสำหรับการกำจัดความสูญเปล่า สายธารคุณค่า VSM จึงเป็นแนวทางที่ใช้จำแนกกิจกรรมก่อให้เกิดมูลค่า (Value Added Activity) และกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non-Value Added Activity) โดยนำข้อมูลผลลัพธ์จากการวิเคราะห์สถานะปัจจุบัน (Current State) ที่ถูกแสดงด้วยเอกสารสำหรับกำหนดสถานะในอนาคต (Future State) หลังจากการปรับปรุง

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

António Pedro Lacerda, Ana Raquel Xambre & Helena Maria Alvelos.2016 อธิบายถึงงานที่ดำเนินการในบริษัทผลิตอุปกรณ์ตั้งเดิมของโปรตุเกสซึ่งดำเนินงานในอุตสาหกรรมการฉีดขึ้นรูปซึ่งจัดหาบริษัทยานยนต์รายใหญ่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยการลดของเสียและเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพ โดยการนำ แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า (Value Stream Mapping; VSM) มาประยุกต์ใช้พิจารณาและวิเคราะห์กระบวนการเพื่อค้นหาความสูญเปล่าในกระบวนการและนำไปปรับปรุงแก้ไข ผลลัพธ์ที่ได้คือ Cycle Time ในกระบวนการย่อยการประกอบลดลงจาก 370 เหลือ 140 วินาทีจำนวนผู้ปฏิบัติงานลดลงจาก 4 คนเหลือเป็น 3 คน และระดับสินค้าคงคลังของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เสร็จก็ลดลง 25% และหนึ่ง

ในปัญหาคอขวดที่สำคัญถูกกำจัดโดยการเปลี่ยนการดำเนินการ 95 วินาทีเป็น 1 วินาที

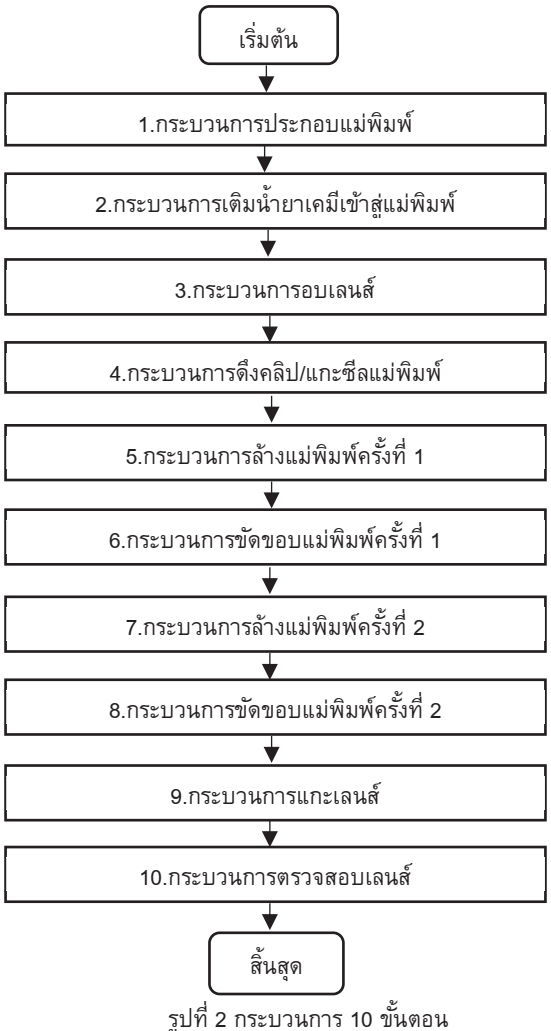
4. วิธีดำเนินงานวิจัย

4.1 การศึกษาและเก็บข้อมูลกระบวนการผลิต

ที่มาของการคัดเลือกผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา มาจากที่ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตและส่งออกของผลิตภัณฑ์เลนส์แว่นตาแต่ละประเภท ย้อนหลังเป็นเวลา 4 เดือนคือตั้งแต่เดือน มิถุนายน-กันยายน พ.ศ.2563 จากนั้นได้นำมาแจกแจงข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เลือกผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาซึ่งคือเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาว เนื่องจากมีกำลังการผลิตที่สูง และมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อน ประกอบกับประสบปัญหาด้านผลผลิตที่ต่ำกว่าเป้าหมาย

4.2 กระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาว

กระบวนการทำงานโดยรวมของการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาวด้วยกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม ประกอบด้วย 10 กระบวนการ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการ 10 ขั้นตอน

4.3 การกำหนดหัวข้อปัญหา

จากการสำรวจและศึกษาปัญหาเชิงลึกร่วมกับหัวหน้างานฝ่ายผลิต พบว่า การผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาวในส่วนของสายการผลิตแบบดั้งเดิมนั้น ประสบปัญหาด้านผลผลิตที่ต่ำกว่าเป้าหมาย ในกระบวนการผลิตมีความซับซ้อน และใช้ทรัพยากรในการผลิตเกินความจำเป็น รวมไปถึงการส่งมอบชิ้นงานสำเร็จไม่เป็นไปตามระยะเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงเป็นที่มาของการกำหนดเป็นหัวข้อปัญหาเพื่อศึกษาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และหาแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าในสายการผลิตแห่งนี้

4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่นำมาช่วยในการดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ คือ การรวบรวมข้อมูลจากสถานที่จริง นำมาทำการวิเคราะห์เบื้องต้น เน้นการสัมภาษณ์เชิงลึกด้วยการศึกษาข้อมูลในหน้างานจริง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาข้อมูลสำหรับการดำเนินงานวิจัยเพิ่มเติม ซึ่งประกอบไปด้วย ขั้นตอนและรายละเอียดในการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทเลนส์สายตายาว แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) แผนภูมิสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping, VSM) การวิเคราะห์ความสูญเปล่า หลักการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยรวม และเทคนิคทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการที่เกี่ยวข้อง

4.5 การออกแบบระบบงานในอนาคต

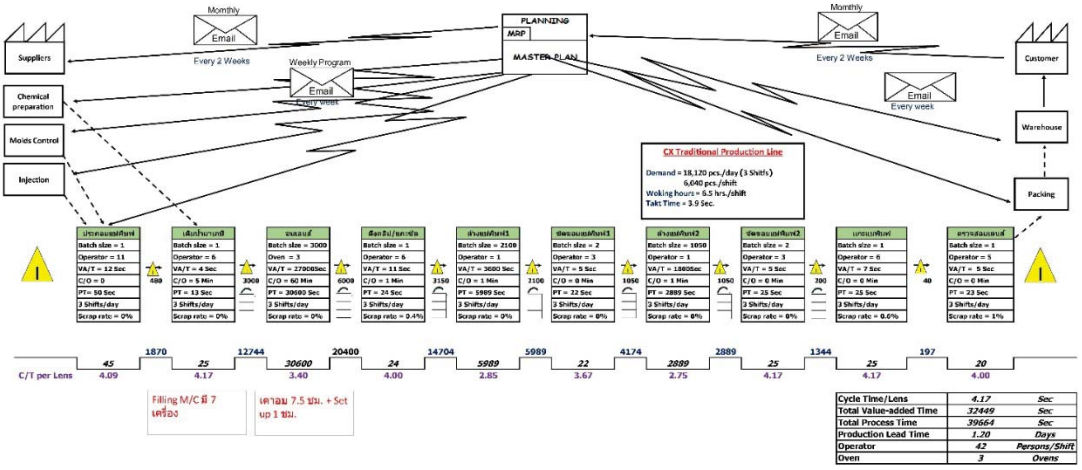
ในการพัฒนาระบบงานให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยและทีมงานในหน่วยงานผลิตได้ร่วมกันการออกแบบระบบงานใหม่เพื่อขจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยใช้แนวคิดของระบบลีนนำมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการผลิต มีการออกแบบนวัตกรรมมาช่วยในการผลิตแทนบุคลากรในบางขั้นตอนการทำงาน จากนั้นนำระบบงานใหม่ที่ได้ไปเปรียบเทียบผลและนำไปประยุกต์ใช้จริงต่อไป โดยในขั้นตอนนี้จะทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนการผลิต ระยะเวลารวม และประสิทธิภาพโดยรวมที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพด้านระยะเวลาในการผลิต ซึ่งนำไปสู่ต้นทุนรวมของการผลิตที่ลดลง

5. ผลการวิจัย

5.1 แผนภาพสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์กระบวนการภาพรวมตั้งแต่กระบวนการวางแผนการผลิต การติดต่อสื่อสารประสานงานการผลิต การจัดเตรียมวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต กระบวนการขั้นตอนในการผลิตจนไปถึงกระบวนการส่งมอบชิ้นงานสำเร็จให้แก่ลูกค้า และได้จำแนกกิจกรรมย่อยทำการจับเวลาแต่ละกิจกรรมจากกระบวนการผลิตทั้ง 10 ขั้นตอน

หลัก และสามารถนำมาเป็นสร้างแผนภูมิสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบัน (Current State VSM) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบันของการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาวด้วยการผลิตแบบดั้งเดิม

จากรูปที่ 3 แสดงถึงการไหลของข้อมูล (Information Flow) เป็นการส่งต่อข้อมูลจากกระบวนการวางแผนการผลิตไปยังกระบวนการที่เกี่ยวข้องได้แก่ ผู้ผลิตวัตถุดิบ หน่วยงานจัดเตรียมวัตถุดิบ หน่วยงานผลิต หน่วยงานบรรจุสินค้า หน่วยงานจัดเก็บสินค้า และไปจนถึงลูกค้า ในส่วนการไหลของงาน (Work Flow) แสดงถึงกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาสายตายาวตั้งแต่กระบวนการรับวัตถุดิบคือ น้ำยาเคมี แม่พิมพ์ และซีล ส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตทั้ง 10 ขั้นตอน ไปจนถึงส่งมอบชิ้นงานสำเร็จไปยังลูกค้าคือหน่วยงานบรรจุสินค้า หน่วยงานจัดเก็บสินค้า และส่งไปหาลูกค้าตามลำดับ เมื่อพิจารณาในกล่องกระบวนการจะพบตารางข้อมูล 7 ส่วนได้แก่ จำนวนการผลิตต่อรอบ (Batch Size) จำนวนพนักงานต่อหนึ่งกระบวนการ (Operator) เวลาในกระบวนการที่สร้างมูลค่า (Value Added Time: VA/T) เวลาในการเปลี่ยนรุ่นสินค้าในการผลิต (Change Over Time: C/O) เวลาที่ใช้ในกระบวนการ (Process Time: P/T) จำนวนกะการทำงานต่อวัน (Shift/Day) และอัตราของเสียต่อกระบวนการ (Scrap Rate) ในส่วนของข้อมูลด้านล่างของแผนภูมิสายธารคุณค่าคือเส้นแสดงส่วนของเวลา (Timeline Segment) ในมุมขวาด้านล่างของแผนภาพสายธารคุณค่า จะมีกล่องสรุประยะเวลาที่เกิดขึ้นได้แก่ รอบเวลาเฉลี่ยในการผลิตต่อหนึ่งเลนส์ (Cycle Time per Lens) ผลรวมเวลาในกระบวนการที่สร้างมูลค่า (Total Value Added Time) ระยะเวลานำของการผลิตทั้งหมด (Production Lead Time) จำนวนพนักงานทั้งหมดต่อกะ (Operator) และจำนวนเตาอบเลนส์ (Number of Oven Machine) หากระบบงานได้รับการปรับปรุงแล้ว ค่าดังกล่าวควรมีค่าที่ลงลง โดยเน้นลดเวลาที่สูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย หรือกิจกรรมที่ไม่สำคัญ จากการคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทเลนส์สายตายาว ในสายการผลิตแบบดั้งเดิมในปัจจุบันโดยใช้วิธีจับเวลาในแต่ละกิจกรรม พบว่ามีรอบเวลาเฉลี่ยในการผลิตต่อหนึ่งเลนส์ (Cycle Time) คือ 4.17 วินาที สูงกว่าเวลาที่ลูกค้าต้องการ (Takt Time) เวลาที่ลูกค้าต้องการคือ 3.9 วินาที มีคอขวดเกิดขึ้นในกระบวนการไม่สามารถผลิตงานได้ตามแผนที่ตั้งไว้ ผลรวมเวลาในกระบวนการที่สร้างมูลค่า 32,449 วินาที (540.82 นาที) เวลาของกระบวนการผลิตทั้งหมด 39,664 (661.07 นาที) ระยะเวลานำทั้งหมด 1.20 วัน จำนวนพนักงานต่อ 1 กะการทำงาน 42 คน และจำนวนเตาอบเลนส์ร่วมกันทั้ง 3 กะการทำงานทั้งหมด 3 เตา

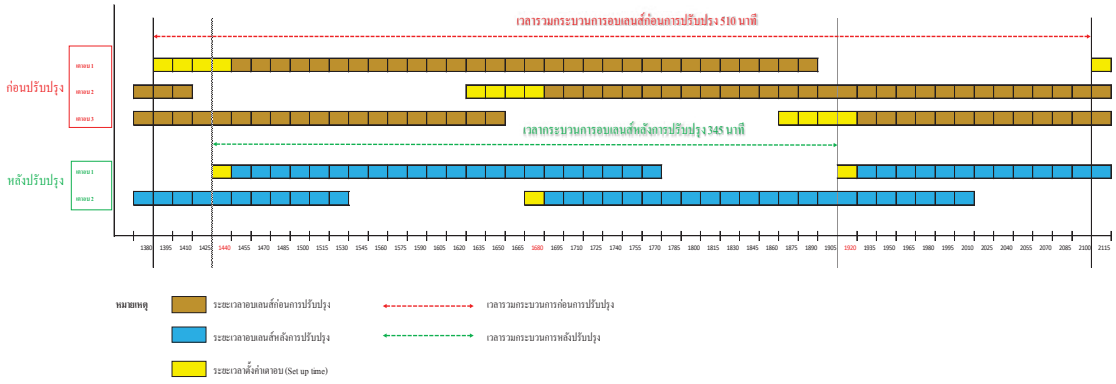
5.2 ความสูญเปล่าในการบวนการ

ผลการวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานจาก 10 กระบวนการผลิตเพื่อระบุกิจกรรมที่สร้างมูลค่า และไม่สร้างมูลค่าที่เป็นความสูญเปล่าในกระบวนการโดยใช้แนวคิดหลักการวิเคราะห์คุณค่า ซึ่งสามารถจำแนกกิจกรรมย่อยในแต่ละกระบวนการพบว่ามีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่า (Value Added Activity : VA) ทั้งหมด 19 กิจกรรม กิจกรรมที่เป็นความสูญเปล่าไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (Non-Value Added Activity : NVA) ทั้งหมด 18 กิจกรรม ในกิจกรรมเหล่านี้มีความสูญเปล่าเกิดขึ้น 3 ประการคือ ความสูญเสียเนื่องจากใช้ประโยชน์เครื่องจักรเตาอบเลนส์ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งจัดอยู่ในประเภทภูมิรู้ที่สูญเปล่า (Not use idea from team) ซึ่งได้ถูกนำเสนอเรื่องการลดเวลาในการอบเลนส์ และลดเวลาในการตั้งค่าเตาอบเพื่อจะลดจำนวนเตาอบลง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เครื่องจักรจากทีมงานหน่วยงานผลิตแต่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงแก้ไข บุคลากรปฏิบัติงานไม่เต็มศักยภาพ จัดอยู่ในประเภทความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวมากเกินไป (Motion) มีการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น การทำงานไม่ถูกวิธี ไม่มีเครื่องมือช่วยในการทำงานให้ง่ายขึ้น เช่นสถานีงานดึงคลิปและแกะซีลออกจากแม่พิมพ์ควรมีเครื่องมือมาช่วยในการทำงานให้สะดวกและง่ายขึ้น และกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม จัดอยู่ในประเภทความสูญเสียจากการมีกระบวนการที่มากเกินความจำเป็น (Extra Processing) กระบวนการ

มากเกินความจำเป็นอาจหลีกเลี่ยงได้ การจัดกระบวนการใหม่ให้เหมาะสม ลดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเช่นในกระบวนการล้างทำความสะอาดแม่พิมพ์พนักงานมีเวลาว่างช่วงที่เครื่องจักรทำงาน จากการตรวจสอบและวิเคราะห์กระบวนการพบว่าสามารถจัดพนักงาน 1 คนสามารถทำงานร่วมกับเครื่องจักรล้างแม่พิมพ์ได้ 2 เครื่องจักรโดยการจัดลำดับการทำงานใหม่ และสถานีขัดขอบแม่พิมพ์ครั้งที่1 และสถานีขัดขอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 2 สามารถเพิ่มจำนวนการขัดจาก 2 ชิ้น เพิ่มเป็น 3 ชิ้นได้ใน 1 รอบการทำงานเพื่อลดระยะเวลาการทำงานลง ส่งผลไปสู่การลดจำนวนพนักงานในขั้นตอนนี้ลงได้ จาก 6 คน เหลือ 3 คน

5.2.1 การปรับปรุงกระบวนการอบเลนส์ในเตาอบ

ในกระบวนการอบเลนส์ในเตาอบเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในกระบวนการค่อนข้างมากซึ่งมีระยะเวลาในการอบสูงถึง 450 นาทีต่อรอบการอบ และใช้เตาอบเลนส์ร่วมกัน 3 เตาทั้ง 3 กะการทำงานแบบหมุนเวียน ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดการลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางลดความสูญเปล่าในกระบวนการนี้ จากการสอบถาม ระดมสมอง และวิเคราะห์กระบวนการกับทีมงานฝ่ายผลิตได้ข้อสรุปว่ามีความสูญเปล่าในกระบวนการอบ คือ ชิ้นงานอบที่สมบูรณ์แล้วถูกแช่ทิ้งไว้ในเตาอบอีก 120 นาที ซึ่งสามารถลดระยะเวลาในการแช่ชิ้นงานได้โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงาน จึงได้ปรับตั้งค่าระยะเวลาการอบเลนส์ใหม่ที่เตาอบให้ลดลงจาก 450 นาที เหลือ 330 นาทีต่อเตา จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ความสูญเปล่าของเวลาตั้งค่าเตาอบ (Setup Time) เตาอบเลนส์โดยการวิเคราะห์จำแนกกิจกรรมที่ไม่จำเป็นออกคือกิจกรรมการเปิดเตาอบไว้รองานเข้าอบ 45 นาทีซึ่งไม่จำเป็น จึงสามารถลดเวลาการตั้งค่าเตาอบเลนส์จาก 60 นาที ลดลงเหลือ 15 นาที คิดเป็นเวลาที่ลดลง 45 นาที ทำให้ลดเวลาของกระบวนการในการอบเลนส์จากเดิม 510 นาที ลดลงเหลือ 345 นาที จากนั้นผู้วิจัยได้นำผลเวลาของเตาอบและการปรับตั้งค่าเครื่องที่ลดลงมาทำแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) จัดความสัมพันธ์ของการทำงานของเตาอบใหม่พบว่าทำให้สามารถลดการใช้เตาอบเลนส์ร่วมกันแบบหมุนเวียนทั้ง 3 กะทำงาน จาก 3 เตา เหลือ 2 เตา ลดลง 1 เตา ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภูมิแกนต์แสดงระยะเวลารวมกระบวนการอบเลนส์ก่อนและหลังการปรับปรุง

5.2.2 การปรับปรุงกระบวนการล้างแม่พิมพ์

ในกระบวนการล้างทำความสะอาดแม่พิมพ์หลังจากการแกะคลิปและดึงซีลออกแล้วจะนำแม่พิมพ์ที่ติดกับเลนส์ไปล้างทำความสะอาดซึ่งมีกระบวนการจุ่มล้างด้วยน้ำยาเคมีลงในถังล้างก่อนนำไปขัด และแกะเลนส์ออกตามลำดับ โดยในกระบวนการล้างแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการประกอบไปล้างครั้งที่ 1 จำนวนครั้งละ 2,100 ชิ้น และครั้งที่ 2 จำนวนครั้งละ 1,050 ชิ้นจาก ที่ผู้วิจัยได้วิเคราะห์กระบวนการจัดตารางแสดงความสัมพันธ์การทำงานระหว่างพนักงาน และเครื่องล้างทำความสะอาดแม่พิมพ์ครั้งที่ 1 และล้างทำความสะอาดแม่พิมพ์ครั้งที่ 2 โดยมีพนักงานควบคุม 2 คน เครื่องล้าง1 มี 1 คน และเครื่องล้าง 2 มี 1 คน ซึ่งพบว่าพนักงานที่ควบคุมเครื่องล้างมีช่วงเวลาการรอคอยเครื่องจักรทำงานสามารถที่จะลดพนักงานจากเดิม 1 คนต่อ 1 เครื่องล้าง ลดลงเหลือ 1 คนต่อ 2 เครื่องล้าง ดังแสดงในตารางที่ 1

5.2.3 การปรับปรุงกระบวนการขัดขอบแม่พิมพ์

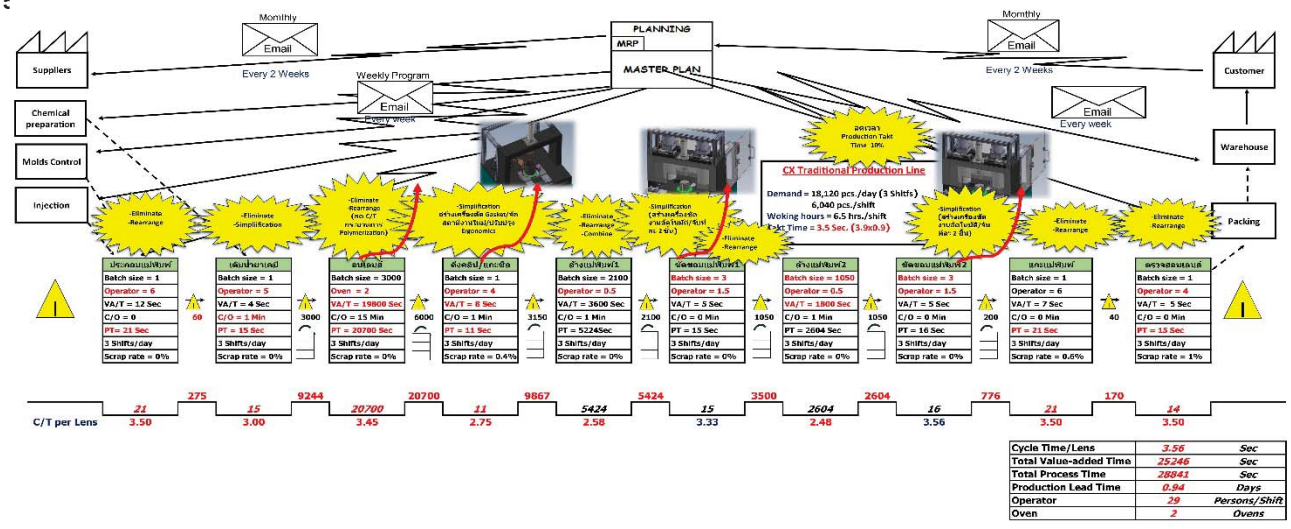
ในกระบวนการขัดขอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 1 และกระบวนการขัดขอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 2 มีขั้นตอนการทำงานที่เหมือนโดยมีพนักงานทั้งหมด 6 คน สถานีละ 3 คน ในการขัดขอบแม่พิมพ์ 1 รอบจะทำการขัดครั้งละ 2 ชิ้น ใช้เวลาในการขัดขอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 1 คือ 22 วินาที และใช้เวลาในการขัดขอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 2 คือ 25 วินาที จากการวิเคราะห์งานสามารถลดกิจกรรมการตรวจสอบแม่พิมพ์ ลดเวลาลงได้ 3 วินาที และลดกระบวนการเป่าลมก่อนขัด ลดเวลาลงได้ 4 วินาที และได้ทำการวิเคราะห์ต่ออีกว่าสามารถเพิ่มจำนวนการขัดขอบแม่พิมพ์จากครั้งละ 2 ชิ้น เป็นครั้งละ 3 ชิ้น ทำให้รอบเวลาขัดเฉลี่ยต่อชิ้นจาก 4.17 วินาทีต่อชิ้น ลดลงเหลือ 3.56 วินาทีต่อชิ้น จึงทำให้สามารถลดพนักงานขัดขอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 จาก 6 คน ลดลงเหลือ 3 คน

ตารางที่ 1 ตารางแสดงความสัมพันธ์การทำงานระหว่างพนักงาน และเครื่องล้างทำความสะอาดแม่พิมพ์ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

	พนักงานล้างขึ้นงาน	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์	เครื่องล้างขึ้นงาน 1	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์	เครื่องล้างขึ้นงาน 2	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์
1.	ย้ายงานมารอคุลล้างเครื่องล้าง 1	272		ว่าง	517		ว่าง	892	
2.	ยกงานลงถังล้าง 1 (เครื่องล้าง 1)	245							
3.	ย้ายงานมารอคุลรอล้างเครื่องล้าง 2	250		เครื่องล้างถัง 1	900				
4.	ยกงานลงถังล้าง 1 (เครื่องล้าง 2)	125		ทำงาน					
5.	ว่าง	525					เครื่องล้างถัง 1 ทำงาน	900	
6.	ยกงานลงถังล้าง 2 (เครื่องล้าง 1)	247		ว่าง	247				
7.	ว่าง	128		เครื่องล้างถัง 2	900				
8.	ยกงานลงถังล้าง 2 (เครื่องล้าง 2)	128		ทำงาน			ว่าง	128	
9.	ว่าง	644					เครื่องล้างถัง 2 ทำงาน	900	
10.	ยกงานลงถังล้าง 3 (เครื่องล้าง 1)	245		ว่าง	245				
11.	ว่าง	15		เครื่องล้างถัง 3	900				
12.	ยกงานออกจากเครื่องล้าง 2 (เครื่องล้าง 2)	132		ทำงาน			ว่าง	676	
13.	ย้ายขึ้นงานจากเครื่องล้าง 2 ไปคุรอขัด 2	169							
14.	ย้ายงานมาคุลรอล้างเครื่องล้าง 2	250							
15.	ยกงานลงถังล้าง 1 (เครื่องล้าง 2)	125							
16.	ว่าง	211					เครื่องล้างถัง 1 ทำงาน	900	
17.	ยกงานออกจากถังล้าง 3 (เครื่องล้าง 1)	245		ว่าง	245				
18.	ว่าง	446		เครื่องล้างถัง 4	900				
19.	ยกงานลงถังล้าง 2 (เครื่องล้าง 2)	128		ทำงาน			ว่าง	128	
20.	ว่าง	326					เครื่องล้างถัง 2 ทำงาน	900	
21.	ยกงานออกจากถังล้าง 4 (เครื่องล้าง 1)	251		ว่าง	875				
22.	ย้ายขึ้นงานจากเครื่องล้าง 1 ไปคุรอขัด 1	323							
23.	ยกงานออกจากถังล้าง 2 (เครื่องล้าง 2)	132					ว่าง	301	
24.	ย้ายขึ้นงานจากเครื่องล้าง 2 ไปคุรอขัด 2	169							
	เวลาทำงานรวม	5,182		เวลาทำงานรวม	3,600		เวลาทำงานรวม	5,600	
	เวลาว่างรวม	2,543		เวลาว่างรวม	2,125		เวลาว่างรวม	2,125	
	เวลารวม	5,725		เวลารวม	5,725		เวลารวม	5,725	
	เปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์	55.58%		เปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์	62.88%		เปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์	62.88%	

สัญลักษณ์ : ■ คือ ทำงานอิสระ ■ คือ ทำงานร่วมกัน ☐ คือ ว่างงาน

หลังจากการวิเคราะห์ความสูญเปล่า และกำหนดแนวทางเพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาวในกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมแล้ว หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์เสนอแนวทางการลดความสูญเปล่าในกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า นำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขในแต่ละกระบวนการในการผลิต สามารถสร้างแผนภูมิสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคต (Future-state VSM) โดยมีการลดขั้นตอนการการทำงานจากเดิม 94 ขั้นตอน เหลือ 72 ขั้นตอน ซึ่งลดลง 22 ขั้นตอน และพบว่ารอบเวลาเฉลี่ยในการผลิตต่อหนึ่งเลนส์ (Cycle Time) จากก่อนการปรับปรุง 4.17 วินาที ลดลงเหลือ 3.56 วินาที ผลรวมเวลาในกระบวนการที่สร้างมูลค่าก่อนการปรับปรุง 32,449 วินาที (540.82 นาที) ลดลงเหลือ 25,246 วินาที (420.77 นาที) เวลาของกระบวนการผลิตทั้งหมดก่อนการปรับปรุง 39,664 วินาที (661.07 นาที) ลดลงเหลือ 28,841 วินาที (480.68 นาที) ระยะเวลานำทั้งหมดก่อนการปรับปรุง 1.20 วัน ลดลงเหลือ 0.94 วัน จำนวนพนักงานต่อ 1 กะการทำงานก่อนการปรับปรุง 42 คน ลดลงเหลือ 29 คน และจำนวนเตาอบเลนส์ร่วมกันทั้ง 3 กะการทำงานแบบหมุนเวียนก่อนการปรับปรุงทั้งหมด 3 เตา ลดลงเหลือ 2 เตา โดยจากการลดกิจกรรมที่สูญเปล่าของกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาวในกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมของบริษัทกรณีศึกษา ส่งผลทำให้สามารถลดต้นทุน ลดระยะเวลา เพิ่มผลผลิตให้แก่บริษัทได้ แผนภูมิสารธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคต (Future State VSM) แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคตของการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาวด้วยการผลิตแบบดั้งเดิม

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบก่อน และหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาวด้วยการผลิตแบบดั้งเดิม

รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ผลที่ได้	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลง
รอบเวลาการผลิตต่อหนึ่งเลนส์ (Cycle time per lens)	4.17 วินาที	3.56 วินาที	ลดลง 0.61 วินาที	14.63%
ผลรวมเวลากระบวนการที่สร้างมูลค่า (Total Value-added time)	32,449 วินาที (540.82 นาที)	25,246 (420.77 นาที)	7,203 วินาที (120.05 นาที)	22.20%
ผลรวมเวลากระบวนการ (Total process time)	39,664 วินาที (661.07 นาที)	28,841 วินาที (480.68 นาที)	10,823 วินาที (180.38 นาที)	27.29%
ระยะเวลานำของการผลิต (Total production lead time)	1.20 วัน	0.94 วัน	0.26 วัน	21.67%
จำนวนพนักงานต่อ 1 กะการทำงาน (Number of operator per shift)	42 คน	29 คน	13 คน	30.95%
จำนวนเตาอบที่ใช้ทั้ง 3 กะการทำงาน (Number of oven machine)	3 เตา	2 เตา	1 เตา	33.33%

6. สรุป

งานวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้แผนภูมิสายธารคุณค่าเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต กรณีศึกษากระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทเลนส์สายตายาว ของบริษัทกรณีศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาวในกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมของบริษัทกรณีศึกษา และเสนอแนวทางในการกำจัดความสูญเปล่า เพื่อปรับปรุงระบบสายการผลิตโดยการประยุกต์ใช้แผนภูมิสายธารคุณค่า ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการค้นหาความสูญเปล่าในกระบวนการ ขั้นตอนในการดำเนินงานเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาประเภทสายตายาวในกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม ตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการสุดท้าย จากการวิเคราะห์ความสูญเปล่าในกระบวนการด้วยแผนภูมิสายธารแห่งคุณค่าพบว่ามีความสูญเปล่า 3 ประการคือ ความสูญเสียเนื่องจากใช้ประโยชน์เครื่องจักรเตาอบเลนส์ไม่เต็มประสิทธิภาพซึ่งจัดอยู่ในประเภทภูมิรู้ที่สูญเปล่า (Not use idea from team) ซึ่งได้ถูกนำเสนอเรื่องการลดเวลาในการอบเลนส์ และลดเวลาในการตั้งค่าเตาอบเพื่อจะลดจำนวนเตาอบลง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เครื่องจักรจากทีมงานหน่วยงานผลิต บุคลากรปฏิบัติงานไม่เต็มศักยภาพจัดอยู่ในประเภทความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวมากเกินไป (Motion) มีการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น การทำงานไม่ถูกวิธี ไม่มีเครื่องมือช่วยในการทำงานให้ง่ายขึ้น และกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสมจัดอยู่ในประเภทความสูญเสียจากการมีกระบวนการที่มากเกินความจำเป็น (Extra Processing) กระบวนการมากเกินความจำเป็นอาจหลีกเลี่ยงได้ การจัดกระบวนการใหม่ให้เหมาะสม ลดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า แนวทางในการกำจัดความสูญเปล่าดังกล่าวคือวิเคราะห์กระบวนการทำงานนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์เครื่องจักร ออกแบบการทำงานให้บุคลากรทำงานได้อย่างเต็มศักยภาพ และปรับปรุงกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ตามลำดับ โดยแนวทางปรับปรุงกระบวนการใช้หลักการ ECRS ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า สามารถลดความสูญเปล่าในกระบวนการได้ เวลารวมทั้งกระบวนการจากเดิม 661.07 นาที ลดลงเหลือ 480.68 นาที คิดเป็นลดลงร้อยละ 27.29 เวลานำรวมจากเดิม 1.20 วัน ลดลงเหลือ 0.94 วัน คิดเป็นลดลงร้อยละ 21.67 พนักงานจากเดิม 42 คนต่อกะทำงาน ลดลงเหลือ 29 คนต่อกะทำงาน คิดเป็นลดลงร้อยละ 30.95 และลดการใช้เครื่องจักรเตาอบเลนส์ทั้ง 3 กะการทำงาน จาก 3 เตา ลดลงเหลือ 2 เตา คิดเป็นลดลงร้อยละ 33.33 ทำให้สามารถผลิตเลนส์ได้ตามแผนการผลิตที่วางไว้ ส่งมอบได้ตามเวลาที่ลูกค้าต้องการลูกค้า อีกทั้งแผนภูมิสายธารคุณค่ายังสามารถชี้ให้เห็นการสมดุลไลน์ผลิต นำไปสู่การปรับปรุงให้การผลิตมีความราบรื่นมีประสิทธิภาพ จากการปรับปรุงสายการผลิตแบบดั้งเดิมนี้ถ้าหากเทียบกับสายการผลิตแบบต่อเนื่องแล้ว ชี้ให้เห็นว่ามีความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นมากกว่าสายการผลิตแบบต่อเนื่อง จากรูปแบบกิจกรรมในการทำงานในกระบวนการค่อนข้างซับซ้อน ส่วนใหญ่มีการควบคุมการทำงานด้วยพนักงานเอง มีโอกาสที่จะเบี่ยงเบนจากมาตรฐานที่กำหนดไว้ รวมทั้งต้องเพิ่มความเข้มข้นในการตรวจติดตามกระบวนการทำงานมากยิ่งขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุน และความช่วยเหลือจากบริษัทผลิตเลนส์แว่นตาแห่งหนึ่ง รวมถึงเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องและปฏิบัติงานในบริษัทแห่งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] พนิดา จามรโชติ. 2555. ความคิดเห็นของพนักงานระดับบริหารต่อความสามารถในการแข่งขันกลุ่มบริษัทไทยซัมมิท. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม, 11(1), น. 112-114.

[2] ชิตามาส อนุพงษ์, มนัส ไพฑูรย์เจริญลาภ, ณัฐวุฒิ โรจน์นิรุตติกุล. 2558. เทคนิคที่มีผลต่อความสูญเปล่าและการเคลื่อนไหวในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาบริษัท เอสซีลอร์ แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย). วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม ปีที่ 14 ฉบับที่ 3.

[3] Michel Baudin, Lean assembly: The nuts and bolts of making assembly operations flow, USA. : Malloy Lithographing Inc., 2002. Pp. 1-104.

[4] นิพนธ์ บัวแก้ว. 2550. รู้จักระบบการผลิตแบบโตโยต้า, พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), หน้า 1-248.

[5] มังกร โรจน์ประภากร. 2550. ระบบการผลิตแบบโตโยต้า, พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), หน้า 1-248.

[6] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), Lean manufacturing Online, 2010. Available:http://www.tpa.or.th/tpanews/upload/mag_content/28/ContFile359.pdf

[7] จินตนัย ไพรสณฑ์, จักรินทร์ สุขหมอก และเรนเดอร์ เบรี่. 2551. การจัดการการผลิตและการปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ: เพียร์สัน เอ็ดดูชั่น อินโดไชน่า.

[8] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, การพัฒนาโรงงานอุตสาหกรรมด้วยแนวความคิดแบบลีน (Online), Available: http://www.pteleanonline.com

[9] วันชัย ริจิรวนิช. 2555. การศึกษาการทำงาน หลักการและกรณีศึกษา. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

[10] ประดิษฐ์ วงศ์มณีรุ่ง, สมเจตน์ เพิ่มพูนธัญญะ, พรเทพ เหลือทรัพย์สุข, นพดล อิ่มเอม. 1-2-3 ก้าวสู่ลีน Lean in action. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร, 2552.

[11] ประเสริฐ อัครประถมพงศ์. 2009. การลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS. ข้อมูลจาก https://cpico.wordpress.com/2009/11/29/การลดความสูญเปล่า

[12] นิพนธ์ บัวแก้ว. 2547. ระบบการผลิตลีน. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร.

[13] บุษบา พฤกษาพันธ์รัตน์. 2552. การวางแผนและควบคุมการผลิต. บริษัทสำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, กรุงเทพฯ.

[14] ธวัชชัย สุวรรณบุตรวิภา. 2553. กลยุทธ์การจัดสมดุลสายการผลิตให้มีประสิทธิภาพ (Online), Available:http://www.intelific.com/Articles/technical/line_bakancing.pdf

[15] ปารเมศ ชุติมา, รณชัย ศิโรเวฐนุกูล. 2560. เทคนิคการจัดสมดุลสายการประกอบ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การศึกษาการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ด้วยเทคนิคเชิงผสม

The study of the Coronavirus 2019 epidemic with a combination of techniques

เจนณรงค์ ใจเกลี้ยง[1*] วริทธิ์ธร พร้อมมูล[1] ธนวัฒน์ อาตม์สกุล[1] ศุภวิชญ์ วนาวรกุล[1] สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: s6401052810018@email.kmutnb.ac.th*

Jannarong Jaikliang[1*] Waritthon Prommool[1] Tanawat Artsakun[1] Supawit Wanaworakul[1] Supaporn Suwannarongsri[1]
[1]Department of Materials Handling and Logistics Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: s6401052810018@email.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือโรคโควิด-19 ด้วยเทคนิคเชิงผสมระหว่างเทคนิคเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ร่วมกับเทคนิคการพยากรณ์ จากสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือโรคโควิด-19 ทั่วโลก พบว่ามีผู้ติดเชื้อรวมจำนวน 457 ล้านราย และผู้เสียชีวิตรวมจำนวน 6.04 ล้านราย โดยประเทศไทยพบว่ามีผู้ติดเชื้อรวม 3.16 ล้านราย และมีผู้เสียชีวิตมากกว่า 2 หมื่นราย ในปัจจุบันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 มีการระบาดอย่างต่อเนื่อง มีความหลากหลายทางสายพันธุ์เพิ่มมากขึ้น และยังมีแนวโน้มทำให้ผู้ติดเชื้อรวมถึงผู้เสียชีวิตเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด 19 ซึ่งเป็นเชื้อไวรัสที่อุบัติขึ้นใหม่และยังไม่มีมาตรการการป้องกันที่ชัดเจนเนื่องมากจากโรคอุบัติใหม่นี้ยังไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อนจึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการศึกษาและวิจัยโรค จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ด้วยเทคนิคเชิงผสมระหว่างเทคนิคเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ร่วมกับเทคนิคการพยากรณ์ เทคนิคเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์สามารถแสดงผลเป็นแผนภาพ (Visualization) โดยสามารถแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อและผู้เสียชีวิตของประเทศไทยในแต่ละจังหวัด ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละพื้นที่ของการระบาดของโรคได้ จากผลของข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมากำหนดกฎเกณฑ์พร้อมแนวทางการป้องกันโรคระบาดของแต่ละพื้นที่ อีกทั้งยังเป็นการเตรียมความพร้อมของบุคลากรทางการแพทย์ในการจัดเตรียมยาและเวชภัณฑ์ หลังจากนั้นจะทำการพยากรณ์เพื่อหาแนวโน้มของจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 ด้วยเทคนิคการพยากรณ์โดยอาศัยโปรแกรม Power BI Desktop จากการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วย 2 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่ปี 2563-2564 ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพแนนเชียลพบว่าสามารถพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยรายจังหวัดได้ และเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเพียงร้อยละ 5.18

คำสำคัญ: โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) , โรคอุบัติใหม่, การพยากรณ์, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, ข้อมูลเชิงพื้นที่

Abstract

This article presents a study on the outbreak of the Coronavirus 2019 or COVID-19 aiming on the combination of geospatial techniques and forecasting techniques. Refers to record since the outbreak of the Coronavirus 2019 or COVID-19 around the world, there has been 457 million infected people and 6.04 million deaths. Thailand so far has more than 3.16 million infected people and accumulated over 20,000 deaths. At present, the Coronavirus 2019 has a continuous epidemic. There are more species diversity which also tends to increase the number of infections and deaths. COVID-19 is an emerging virus and there is no clear preventive measure, since this emerging disease has not occurred before, it takes time to study and research the disease. From the above statements, the researcher is interested in studying the Coronavirus 2019 outbreak by using a combination of geospatial techniques and forecasting techniques. Geospatial techniques will be represented as a diagram (Visualization), which can show the number of infections and deaths of Thailand in each province. This will enhance the possibility to analyze data in each area of the outbreak. From the results of such information, formulating rules and guidelines in order to prevent epidemic of each focused area could be more feasible and reliable. It is useful for a preparation of medical personnel and medical supplies. After that, a forecast will be made to determine the trend of the number of COVID-19 cases. By applying the forecasting technique using Power BI Desktop program, from forecasting the number of patients for the past 2 years from 2020 to 2021 using the exponential smoothing method, it was found that the number of cases per province can be predicted. and the least error occurred, only 5.18 percent.

Keywords: Coronavirus Disease 2019 (COVID-19), Emerging Diseases, Forecasting, Geographic Information System, Spatial data

1. บทนำ

โรคระบาดไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 หรือโรคโควิด-19 เป็นโรคติดเชื้อทางเดินหายใจที่เกิดจากไวรัสโคโรนา ซึ่งมีชื่อทางการว่า SARS-CoV-2 ที่มีอาการไข้ ไอ และอาจมีอาการทำให้ปอดอักเสบเป็นบางราย โดยโรคนี้เริ่มมีการแพร่ระบาดครั้งแรกเมื่อประมาณเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 และได้ถูกประกาศให้เป็นการระบาดครั้งใหญ่โดยองค์กรอนามัยโลกในเดือนมีนาคมปี พ.ศ. 2563 [1] โดยการติดเชื้อไวรัสนั้นมีการแพร่เชื้อระหว่างคนในลักษณะเดียวกับไข้หวัดใหญ่ คือติดเชื้อผ่านทางละอองจากระบบทางเดินหายใจ ในขณะที่ผู้ติดเชื้อไอ จาม หรือพูด ละอองที่ปนเปื้อนเชื้อ โดยอาการที่พบบ่อยในผู้ติดเชื้อ ได้แก่ การมีไข้ ไอ และหายใจลำบาก ซึ่งอาจเกิดภาวะแทรกซ้อนรวมไปถึงปอดบวมได้ และยังรวมไปถึงกลุ่มอาการหายใจลำบากเฉียบพลันด้วย โดยความน่ากลัวของเชื้อไวรัสนี้คือ มีระยะฟักตัวนาน ทำให้กว่าที่ผู้ติดเชื้อไวรัสจะรู้ตัว หรือแสดงอาการ ก็อาจผ่านไป 5-14 วันแล้ว ประกอบกับมีระยะเวลาแพร่เชื้อนาน การที่ระยะเวลาแพร่เชื้อของโรคติดเชื้อไวรัสมีระยะเวลานาน 8-10 วัน หรือนานกว่านั้น ทำให้เพิ่มโอกาสในการแพร่ระบาดของโรคได้มากขึ้น จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) ลุกลามไปอย่างรวดเร็วในทุกภูมิภาคของโลก ทั้งในการติดเชื้อภายในประเทศและติดเชื้อจากการเดินทางระหว่างต่างประเทศ โดยมียอดจำนวนผู้ติดเชื้อ ทั่วโลกแล้วเป็นจำนวน 456,797,217 คน และยอดผู้เสียชีวิตเป็นจำนวน 6,043,094 คน [2] จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้มีการตอบสนองทางระบบสาธารณสุขทั่วโลก คือ มีการจำกัดการท่องเที่ยว การกักด่าน การห้ามออกจากเคหสถานเวลาค่ำคืน การยกเลิกการจัดงาน และการปิดสถานศึกษา นอกจากนี้ยังมีการคัดกรองตามท่าอากาศยานและสถานีรถไฟ รวมทั้งมีการออกคำแนะนำเกี่ยวกับการเดินทางไปยังภูมิภาคที่มีการแพร่เชื้อในระดับประชาคม ส่งผลกระทบกับการเรียนการสอน และเศรษฐกิจในทุกภาคส่วนทั่วโลก

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยได้สนใจที่จะนำการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลเชิงแผนที่ทางภูมิศาสตร์ จากข้อมูลผู้ติดเชื้อโรคไวรัสโคโรนา 2019 ที่มีอยู่นั้น มาแสดงผลในรูปแบบของ Map Based Data Visualization เพื่อให้เห็นถึงการกระจายตัวของโรค พื้นที่เสี่ยงในการเกิดโรค เป็นต้น ซึ่งจะสามารถมองเห็นแนวโน้มของการเกิดโรคได้ว่ามีพื้นที่ใดเสี่ยงที่จะเกิดโรคได้บ้าง และทำให้บุคคลากรทางการแพทย์สามารถนำข้อมูลไปใช้ได้จริง และสามารถทำการพยากรณ์แนวโน้มจำนวนผู้ป่วยที่มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้ สำหรับหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการป้องกันและควบคุมโรค หรือโรงพยาบาลในแต่ละจังหวัด จวบจนกระทั่งระดับประเทศ สืบเนื่องต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) เป็นระบบสารสนเทศข้อมูลเชิงพื้นที่ หรือข้อมูลที่มีพิกัดตำแหน่ง ซึ่งเป็นการผสมผสาน การทำงานระหว่าง กระบวนวิธีวิเคราะห์ร่วมกับระบบฐานข้อมูลที่มีการอ้างอิงเชิงพิกัด รวมทั้งระบบของการให้คำตอบเชิงพื้นที่ ซึ่งใช้เทคโนโลยี เพื่อดำเนินการในแต่ละขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การรวบรวม และนำเข้าข้อมูล การจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ การกำหนดเงื่อนไขสำหรับเลือกใช้ข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ หรือสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ [3]

2.2 ระบบพิกัดในแผนที่

การกำหนดตำแหน่งบนโลก ต้องถ่ายทอดตำแหน่ง จากพื้นที่จริงลงมาสู่แผนที่ด้วยระบบพิกัด โดยระบบพิกัดแผนที่ คือ การอ้างอิงตำแหน่งของโลกที่ถ่ายทอดลงมาสู่แผนที่ซึ่งมีลักษณะแบนราบเป็นค่าระยะเชิงมุมของละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) โดยจุดกำเนิดของพิกัดอยู่บนผิวโลก และมีลักษณะเป็นระบบพิกัดฉาก อันเกิดจากการตัดกันของแกนสมมติตั้งแต่ 2 แกนขึ้นไป ซึ่งพิกัดเหล่านี้ได้อ้างอิงกับตำแหน่งบนโลกด้วยระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ [4]

2.3 ระบาดวิทยา (Epidemiology)

ระบาดวิทยาเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับการเกิด การกระจาย และปัจจัยที่เกี่ยวข้องของโรคหรือภัยสุขรูปที่เกิดกับกลุ่มประชากร จุดมุ่งหมายของระบาดวิทยาก็เพื่อการส่งเสริมสุขภาพ ป้องกัน และควบคุมโรคในประชากร ดังนั้นจึงต้องรู้ถึงหลักคิดที่สำคัญเพื่อได้ข้อมูลและความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดขึ้น ตั้งอยู่ และดับไปของโรค หรือภัยที่คุกคามสุขภาพอย่างน้อย 3 ด้าน คือ เหตุปัจจัยที่ทำให้เกิดโรคภัยสุขภาพ (Determinants) การกระจาย (Distribution) และธรรมชาติของโรค (Natural History of Diseases) [5]

2.4 Data Visualization Systems (DVS)

Visualization คือ การจินตนาการ หรือสร้างภาพขึ้นในความคิด ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจสำหรับเรื่องที่จินตนาการยากหรือเข้าใจยาก วิธีการที่เป็นทางลัดก็คือการสร้างภาพให้เป็นบันไดความคิดไปสู่การใช้ความคิดอีกระดับ บันไดนี้จะช่วยตัดปริมาณข้อมูลช่วยลดภาระการคำนวณ หรือการนำไปผ่านหลากหลายกระบวนการความคิด เพื่อนำไปสู่คำตอบที่ต้องการได้โดยเร็ว และถูกต้อง [6]

2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์

1.การพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) เป็นวิธีการพยากรณ์แบบเฉลี่ยน้ำหนักที่ซับซ้อน แต่เข้าใจง่าย ผลการพยากรณ์แต่ละค่าจะได้มาจากพยากรณ์ล่าสุด บวกด้วยอัตราร้อยละของส่วนต่างระหว่างค่าที่พยากรณ์นั้นกับค่าจริง

2.ความแม่นยำของการพยากรณ์ เป็นฟังก์ชันของค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์โดยไม่คำนึงถึงทิศทาง การพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนธรรมดาโดยฟังก์ชันของค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะใช้ช่วยวัดความถูกต้อง ได้แก่ ค่า MAD MSE และ MAPE ตามลำดับ การที่ค่าเหล่านี้มีค่าน้อยเป็นผลเนื่องมาจากค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ต่ำสุด

2.6 งานวิจัยที่เกียวข้อง

นายสุรัติ เกิดในมงคล [7] ได้จัดทำงานวิจัยเรื่องแผนที่ทางระบาดด้วยกูเกิ้ลแมปส์ (Google Map) ซึ่งเป็นการนำเอาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และอินเตอร์เน็ต มาใช้ประโยชน์ในการแสดงแผนที่การแพร่กระจายของโรคที่ต้องเฝ้าติดตาม และเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในโรงพยาบาลและสถานีอนามัย สังกัดกระทรวงสาธารณสุข

สรวงสุดา คงมั่ง [8] ได้ศึกษางานด้านระบาดวิทยา ซึ่งเป็นงานที่ต้องอาศัยความรวดเร็วในการสื่อสารข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้อธิบายปัญหาสุขภาพ ประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการเกิดโรค และได้ศึกษาพัฒนาเครื่องมือระบบสารสนเทศในงานเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา ภายใต้โปรแกรม ArcGIS Desktop ด้วย Visual Basic for Applications (VBA) และ ArcObjects

ราเชษฐ์ เหมือนเสน และ นาฏสุดา ภูมิจำนงค์ [9] ได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงโดยวิธีการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่ (Potential Surface Analysis : PSA) ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อสร้างแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงต่อการระบาดโรคไข้เลือดออกในจังหวัดตราด และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุบัติการณ์โรคไข้เลือดออกกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม และปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ

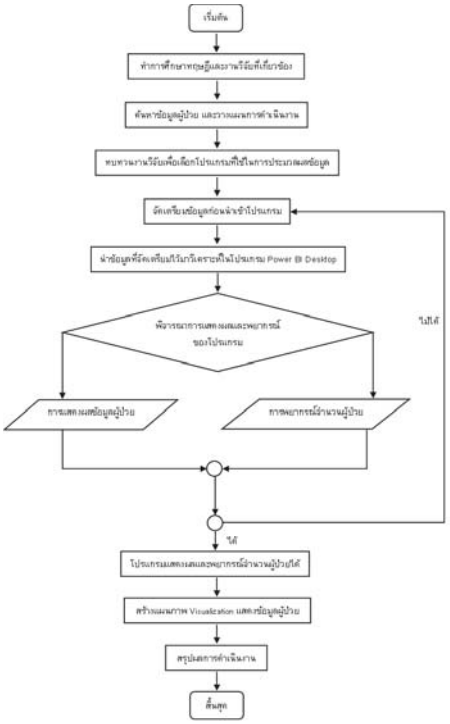
อิสสระ หิรัญคำ [10] ได้ทำการวิจัยเพื่อประเมินประสิทธิผลการจัดการป้องกันการแพร่ระบาด ของโรคโคโรนาไวรัส 19 ของเทศบาลเมืองหัวหิน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีการเปรียบเทียบความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อประสิทธิผลการจัดการป้องกันการแพร่ระบาดของโรคโคโรนาไวรัส 19 และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยประสิทธิผลการจัดการป้องกันการแพร่ระบาด ของโรคโคโรนาไวรัส 19 ของเทศบาลเมืองหัวหิน

ฉัฐวัฒน์ ชัชณาภัฏฐ์ [11] ได้ทำการวิจัยเพื่อจัดการองค์การโดยใช้ช่วงการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือโรคติดเชื้อไวรัส COVID-19 เป็นกรณีศึกษา พบว่าการเกิดการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัส COVID-19 ถือเป็นภาวะวิกฤตประเภทหนึ่งที่ต้องได้รับการจัดการองค์การเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในแต่ละด้านอย่างเร่งด่วน เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ เพราะการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัส COVID-19 คือ ภาวะที่ประสบโดยไม่ได้คาดคิดมาก่อน

3. วิธีดำเนินการศึกษา

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโรคระบาดและการแสดงผลในระบบแผนที่ทางภูมิศาสตร์ Map Based Data Visualization ซึ่งเป็นงานวิจัยของนายเจนณรงค์ ใจเกลี้ยง นางสาวรมย์ธีรา สิตาธรรม และนางสาวณัฐวดี นิยมวงษ์ ที่ได้ทำการศึกษาโปรแกรมเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ร่วมกับเทคนิคการพยากรณ์ เพื่อสร้างภาพ Visualizations ในโปรแกรม Power BI Desktop และเพื่อหาแนวโน้มของจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกที่มีโอกาสจะเกิดขึ้น พบว่ารูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้พยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออก คือ วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) ซึ่งค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธีนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำ

ดังนั้น จากปัญหาสถานการณ์ในปัจจุบันที่มีการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 มีแนวโน้มของการระบาดในรูปแบบเดียวกันกับโรคไข้เลือดออก คือ หากมีผู้ติดเชื้ออยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกับผู้ที่ยังไม่ติดเชื้อ จะทำให้การระบาดของโรคมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ซึ่งหากสามารถทำการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยได้ในแต่ละพื้นที่ จะทำให้สามารถวางแผนป้องกันการเกิดโรคระบาดได้ โดยหากพื้นที่ใดมีจำนวนผู้ป่วยจากการพยากรณ์เป็นจำนวนมาก ทางหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องอาจจะต้องมีมาตรการคุมเข้มมากกว่าพื้นที่อื่น ผู้วิจัยจึงนำการศึกษางานวิจัยข้างต้นมาประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ในปัจจุบัน



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากรูปที่ 1 ขั้นตอนพิจารณาการแสดงผลและพยากรณ์ของโปรแกรม มีเกณฑ์การพิจารณา 2 ข้อ คือ การแสดงผลข้อมูลผู้ป่วยและการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วย โดยพิจารณาว่าโปรแกรมสามารถแสดงผลได้ตามเกณฑ์ทั้งสองหรือไม่ หากโปรแกรมสามารถแสดงผลได้ตามเกณฑ์ทั้งสองก็จะดำเนินการตามขั้นตอนต่อไป หากโปรแกรมไม่สามารถแสดงผลได้ตามเกณฑ์ ต้องกลับไปยังขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลก่อนนำเข้าโปรแกรม ซึ่งได้แสดงไว้ดังรูปที่ 1

3.1 การวิเคราะห์และจัดเตรียมข้อมูล

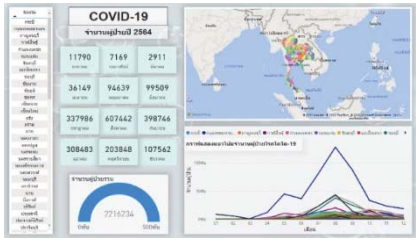
เนื่องจากข้อมูลที่ได้มาจากการค้นหาในเว็บไซต์ของสำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (data.go.th) แสดงข้อมูลผู้ป่วยเป็นรายวัน และไม่ได้มีการแยกจำนวนผู้ป่วยในแต่ละจังหวัด ทำให้เมื่อได้ข้อมูลมา

ผู้วิจัยจึงทำการใช้สูตรในโปรแกรม Excel เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มา โดยทำการแยกจำนวนผู้ป่วยในแต่ละเดือนของแต่ละจังหวัด

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาแล้ว จากนั้นทำการจัดเตรียมข้อมูลในโปรแกรม Excel แบ่งคอลัมน์ออกเป็นจังหวัด ละติจูด ลองจิจูด เดือนทั้ง 12 เดือน และคอลัมน์ผลรวมยอดผู้ป่วยของแต่ละจังหวัด ก่อนการนำเข้าไปประมวลผลในโปรแกรม Power BI Desktop

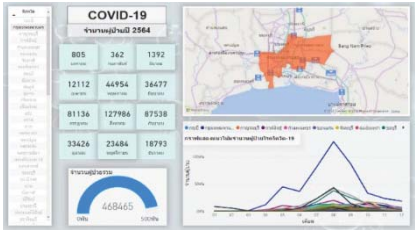
3.2 การประมวลผลผ่านหน้าจอแดชบอร์ด (Dashboard)

เมื่อจัดเตรียมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จากนั้นเปิดโปรแกรม Power BI Desktop นำเข้าข้อมูลไฟล์ Excel เลือกการสร้างภาพ Visualizations แบบแผนที่แถบสี และสร้างการแสดงข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ตามที่ต้องการและเหมาะสม เพื่อเป็นการมองภาพได้อย่างสะดวกและชัดเจนมากขึ้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แดชบอร์ด (Dashboard) แสดงภาพ Visualizations สรุปยอดจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 ทั้งหมดในปี พ.ศ. 2564

จากรูปที่ 2 เป็นการสรุปยอดจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 ในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2564 และแสดงกราฟแนวโน้มของจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 ซึ่งในแดชบอร์ดสามารถเจาะลึกข้อมูลเพื่อดูจำนวนยอดผู้ป่วยโรคโควิด-19 ของแต่ละจังหวัดในแต่ละเดือนได้ ดังในรูปที่ 3



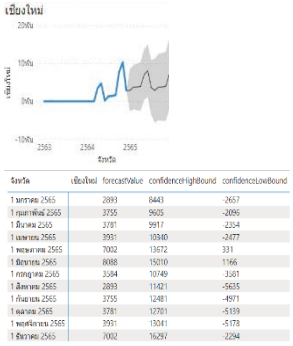
รูปที่ 3 แดชบอร์ด (Dashboard) แสดงภาพ Visualizations สรุปยอดจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 ในแต่ละเดือนของกรุงเทพมหานคร

จากรูปที่ 3 เป็นการใช้ฟังก์ชันรูปแบบที่เป็นปฏิกิริยาเชิงโต้ตอบ (Interactive) ของโปรแกรม Power BI Desktop ซึ่งสามารถเจาะลึกดูรายละเอียดรายย่อยลงไปได้อย่างสะดวก โดยจะแสดงผลการสรุปยอดจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 ในแต่ละเดือนของกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2564

3.3 การพยากรณ์

ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) โดยใช้โปรแกรม Power BI Desktop ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลและสามารถหาผลของการพยากรณ์ได้ โดยผู้วิจัยได้นำข้อมูลย้อนหลัง 2 ปี คือปี พ.ศ. 2563-2564 มาหาผลพยากรณ์ในปี พ.ศ. 2565 ในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ เพื่อเปรียบเทียบว่าค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าจริงหรือไม่ และมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่าไร โดยแบ่งวิธีการทดลองการพยากรณ์เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

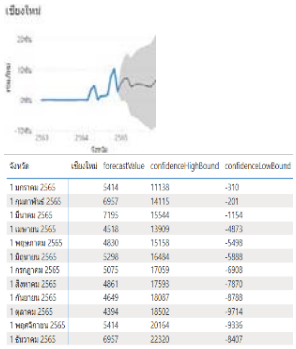
1.การพยากรณ์แบบ Exponential Smoothing ที่มีการปรับค่า Seasonality เท่ากับ 7 ทุกจังหวัด เพราะจากกราฟแสดงยอดจำนวนผู้ป่วยมีพฤติกรรมการเกิดโรคในช่วง 7 เดือน และมีค่าความเชื่อมั่นที่ 99 % เนื่องจากในงานวิจัยทางการแพทย์ส่วนใหญ่จะใช้ค่าความเชื่อมั่นที่ 95 % ขึ้นไป ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าความเชื่อมั่นที่ 99 % และจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องมีการปรับค่า Seasonality ตามรูปแบบข้างต้น อีกทั้งโรคที่ทำการวิจัยในครั้งนี้เป็นโรคอุบัติใหม่ จึงมีการทดสอบแบบ try out error โดย try แบบใช้หลักการร่วมกันกับการทบทวนวรรณกรรม



จังหวัด	เชียงใหม่	forecastValue	confidenceHighBound	confidenceLowBound
1 มกราคม 2565		2893	8443	-2657
1 กุมภาพันธ์ 2565		3755	9605	-2095
1 มีนาคม 2565		3781	9917	-2354
1 เมษายน 2565		3931	10340	-2477
1 พฤษภาคม 2565		7002	13672	331
1 มิถุนายน 2565		8088	15010	1166
1 กรกฎาคม 2565		3584	10749	-3581
1 สิงหาคม 2565		2893	11421	-5635
1 กันยายน 2565		3755	12481	-4971
1 ตุลาคม 2565		3781	12701	-5139
1 พฤศจิกายน 2565		3931	13041	-5178
1 ธันวาคม 2565		7002	16297	-2294

รูปที่ 4 ผลการพยากรณ์ ที่มีการปรับค่า Seasonality เท่ากับ 7 ทุกจังหวัด ตัวอย่างจังหวัดเชียงใหม่

2.การพยากรณ์แบบ Exponential Smoothing ที่มีการปรับค่า Seasonality ตามความเหมาะสมของแต่ละจังหวัด และมีค่าความเชื่อมั่น 99 %

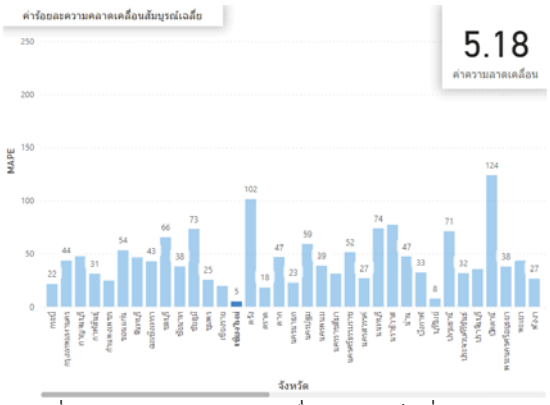


จังหวัด	เชียงใหม่	forecastValue	confidenceHighBound	confidenceLowBound
1 มกราคม 2565		5414	11138	-310
1 กุมภาพันธ์ 2565		6957	14115	-201
1 มีนาคม 2565		7195	15544	-1154
1 เมษายน 2565		4618	13909	-4873
1 พฤษภาคม 2565		4830	15158	-5498
1 มิถุนายน 2565		5298	16484	-5888
1 กรกฎาคม 2565		5075	17059	-6908
1 สิงหาคม 2565		4861	17593	-7870
1 กันยายน 2565		4649	18087	-8788
1 ตุลาคม 2565		4394	18502	-9714
1 พฤศจิกายน 2565		5414	20164	-9336
1 ธันวาคม 2565		6957	22320	-8407

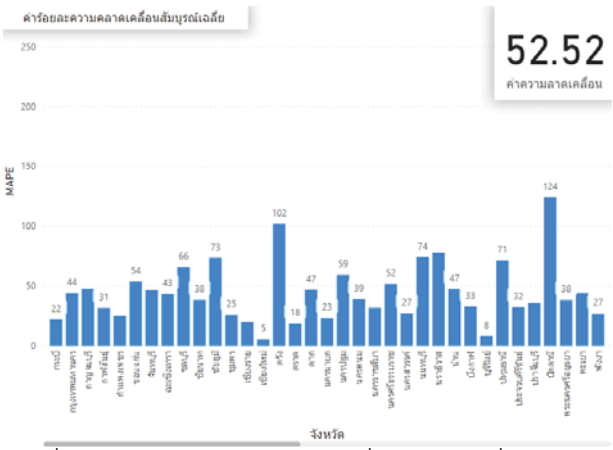
รูปที่ 5 ผลการพยากรณ์ ที่มีการปรับค่า Seasonality

ตามความเหมาะสมของแต่ละจังหวัด ตัวอย่างจังหวัดเชียงใหม่

จากผลการพยากรณ์แบบ Exponential Smoothing ที่มีการปรับค่า Seasonality เท่ากับ 7 ทุกจังหวัด และแบบที่มีการปรับค่า Seasonality ตามความเหมาะสมของแต่ละจังหวัด ให้ผลดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ จากนั้นนำค่าการพยากรณ์ไปหาค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่ผู้วิจัยนำมาใช้ คือ ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ที่มีการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ เมื่อผู้วิจัยได้ทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองแบบแรก (ตัวอย่างจังหวัดเชียงใหม่) ผลของค่า MAPE เท่ากับ 46.42 และเมื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองแบบที่สอง ผลของค่า MAPE เท่ากับ 5.18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทดลองแบบที่สองให้ผลของค่าการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่า ทั้งนี้ค่า Seasonality ที่มีการปรับตามความเหมาะสมของแต่ละจังหวัด เนื่องจากการติดเชื้อโรคโควิด-19 ในแต่ละจังหวัดมีจำนวนการติดเชื้อที่แตกต่างกัน มีการเดินทางและการอาศัยอยู่ของผู้ติดเชื้อที่แตกต่างกัน รวมไปถึงมาตรการการควบคุมและป้องกันการเกิดโรคว่ามีความเข้มงวดมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 6 ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ของจังหวัดเชียงใหม่ ที่มีความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์น้อยที่สุด

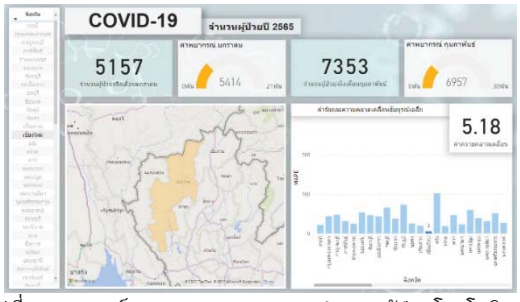


รูปที่ 7 ตัวอย่างค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ของแต่ละจังหวัดในประเทศไทย

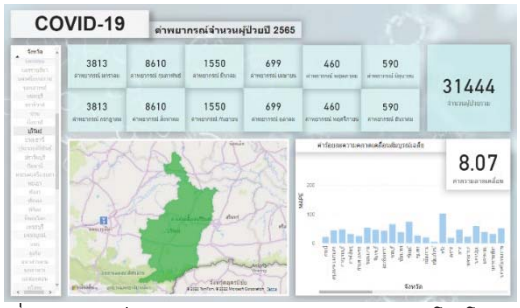
จากรูปที่ 6 แสดงค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ของจังหวัดเชียงใหม่ ที่มีความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์น้อยที่สุด และจากรูปที่ 7 แสดงตัวอย่างค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ของแต่ละจังหวัดในประเทศไทย โดยค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของทั้งประเทศ เท่ากับ 52.52 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์เป็นการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับค่าจริงในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ปี พ.ศ. 2565 เท่านั้น

3.4 การนำข้อมูลจริงและค่าพยากรณ์มาแสดงผล

เป็นการนำข้อมูลผู้ป่วยจริงกับค่าการพยากรณ์ที่มีการปรับค่า Seasonality ตามความเหมาะสมของแต่ละจังหวัด เพื่อแสดงผลว่าในแต่ละจังหวัดมีผู้ป่วยจริงและผู้ป่วยจากการพยากรณ์เป็นจำนวนเท่าไร และแสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ของแต่ละจังหวัด รวมทั้งสามารถนำผลการพยากรณ์ที่ได้ของแต่ละเดือนในปี พ.ศ. 2565 มาแสดงผลได้ด้วย เพื่อใช้ในการวางแผนและกำหนดมาตรการป้องกันและควบคุมโรคได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 8 และรูปที่ 9



รูปที่ 8 แดชบอร์ด (Dashboard) แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 จากการพยากรณ์ และจำนวนผู้ป่วยที่เกิดขึ้นจริง จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 9 แดชบอร์ด (Dashboard) แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 จากการพยากรณ์ จังหวัดบุรีรัมย์

จากตัวอย่างการแสดงผลจำนวนผู้ป่วยในรูปที่ 8 ที่มาจากการพยากรณ์และจำนวนผู้ป่วยที่เกิดขึ้นจริง ในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ปี พ.ศ. 2565 ของจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์น้อยที่สุดเพียงร้อยละ 5.18 และจากรูปที่ 9 เป็นตัวอย่างการแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 จากการพยากรณ์ในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2565 (ตัวอย่างจังหวัดบุรีรัมย์)

4. ผลการทดลอง

จากการดำเนินงานวิจัยตามขั้นตอนการดำเนินงาน ทางผู้วิจัยได้ผลจากการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1.สามารถดำเนินการจัดเตรียมข้อมูลและนำเข้าข้อมูลไปแสดงผลในโปรแกรม Power BI Desktop เพื่อสร้างแดชบอร์ด (Dashboard) แสดงภาพ Visualizations สรุปยอดจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 ทั้งหมดในปี พ.ศ. 2563-2564

2.ใช้การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) ในโปรแกรม Power BI Desktop ได้ผลแสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ซึ่งการพยากรณ์แบบที่มีการปรับค่า Seasonality ตามความเหมาะสมของแต่ละจังหวัด ทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ น้อยที่สุดเพียงร้อยละ 5.18

3.สร้างแดชบอร์ด (Dashboard) แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 จากการพยากรณ์ และจำนวนผู้ป่วยที่เกิดขึ้นจริง การสร้างแดชบอร์ด (Dashboard) แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 จากการพยากรณ์ที่ได้ในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2565 เพื่อเป็นการนำข้อมูลการคาดการณ์ ไปวางแผนและกำหนดมาตรการควบคุมและป้องกันการเกิดโรคที่เข้มงวดมากขึ้น เพื่อลดโอกาสในการแพร่กระจายของโรคได้ไม่มากก็น้อย

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างภาพ Visualizations ในโปรแกรม Power BI Desktop ซึ่งจะได้ผลข้อมูลเชิงพื้นที่ออกมาว่าในแต่ละจังหวัดของประเทศไทยมีจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 เป็นจำนวนเท่าใด และจากการศึกษาการพยากรณ์เพื่อหาแนวโน้มของจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด-19 ที่จะเกิดขึ้น ด้วยการใช้ข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ปี 2563-2564 โดยวิธีการพยากรณ์ที่ใช้ คือ วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) ในโปรแกรม Power BI Desktop ซึ่งจากการทดลองการพยากรณ์ที่ยอมรับได้คือ การพยากรณ์แบบที่มีการปรับค่า Seasonality ตามความเหมาะสมของแต่ละจังหวัด ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์น้อยที่สุดเพียงร้อยละ 5.18 และผู้วิจัยได้นำผลจากการพยากรณ์ในแต่ละเดือนของปี 2565 มาแสดงผล เพื่อเป็นการนำข้อมูลจากคาดการณ์ ไปวางแผนและกำหนดมาตรการควบคุมและป้องกันการเกิดโรคที่เข้มงวดมากขึ้น เพื่อลดโอกาสในการแพร่กระจายของโรคได้ไม่มากก็น้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 เป็นโรคอุบัติใหม่ ทำให้ข้อมูลที่มีอยู่อาจจะไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้ในการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยที่มีโอกาสจะเกิดขึ้น ทำให้ผลการพยากรณ์ออกมามีค่าความคลาดเคลื่อนในบางจังหวัดที่ยังคงสูงอยู่ แต่ทั้งนี้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ไม่ว่าจะเป็นจำนวนประชากรในแต่ละพื้นที่ การเดินทางเข้าออกในแต่ละจังหวัด รวมทั้งมาตรการการป้องกันโรคโควิด-19 ของแต่ละพื้นที่ที่อาจจะไม่เข้มงวดมากพอ ดังนั้นผู้วิจัยมองเห็นว่าหากจะพัฒนาต่อยอดงานวิจัย ผู้วิจัยต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับปัญหา และต้องมีข้อมูลที่เพียงพอต่อการพยากรณ์ เพื่อให้สามารถพยากรณ์ได้แม่นยำมากขึ้น และทำให้สามารถทราบได้ว่าบริเวณพื้นที่ใดมีโอกาสที่จะมีผู้ป่วยเป็นจำนวนมาก และสามารถหามาตรการการป้องกันการเกิดโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization. Coronavirus disease (COVID-19). Online document https://www.who.int/health-topics/coronavirus #tab=tab_1. html accessed on March 9, 2022

[2] World Health Organization. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. Online document https://covid19.who.int/table. html accessed on March 9, 2022

[3] สิริพร กมลธรรม, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เบื้องต้น, ข้อมูลจาก https://www.dit.go.th/FILE/CONTENT_FILE/255909151616187298348.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 สิงหาคม 2562)

[4] ไพฑูรย์ ปิยะปกรณ์, ระบบพิกัดที่ใช้บนแผนที่, ข้อมูลจาก http://old-book.ru.ac.th/e-book/g/GE230(47)/GE230-6.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 สิงหาคม 2562)

[5] อาจินต์ สงทับ, เอกสารการสอนระบาดวิทยา, ข้อมูลจาก https://www.dent.cmu.ac.th/web/backend/web/uploads/files/5c6cff9bafce1.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 สิงหาคม 2562)

[6] ประโยชน์ของ Data Visualization Systems (DVS) คืออะไร, ข้อมูลจาก http://560101040008.blogspot.com (วันที่สืบค้นข้อมูล 26 สิงหาคม 2562)

[7] สุรัติ เกินในมงคล. 2553. แผนที่ทางระบาดด้วยกูเกิ้ลแมปส์ (ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

[8] สรางสุดา คงมั่ง. 2553. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา (ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[9] ราเชษฐ์ เหมือนเสน และนาฏสุดา ภูมิจำนงค์. 2555. การประยุกต์ระบบภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการระบาดของโรคไข้เลือดออก จังหวัดตราด ประเทศไทย (ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยมหิดล.

[10] อิสระ หิรัญคำ “ประสิทธิพลการจัดการป้องกันการแพร่ระบาดของโรค โคโรนาไวรัส19 ของเทศบาลเมืองหัวหิน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.” วารสารวิชาการ การจัดการภาครัฐและเอกชน, ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน 2563).

[11] ฉัฐวัฒน์ ชัชณาภัฏฐ์ “การจัดการองค์กรณ์ในภาวะวิกฤต กรณีโรคติดเชื้อไวรัส COVID-19.” วารสารวิชาการธรรมทรรศน์, ปีที่ 20, ฉบับที่ 4 (ตุลาคม-ธันวาคม2563).

การพยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย

Forecast Crude Palm Oil Price in Thailand.

ภัทรนันท์ โฆษิตวัฒน์[1*] พิเชฐ พุ่มเกษร[1]
[1]ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
E-mail: 6106011621030@fitm.kmutnb.ac.th*

Phattharanan Kositwat[1*] Pichet Pumkaesorn[1]
[1]Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok Prachin Buri Campus.
E-mail: 6106011621030@fitm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสม สำหรับการพยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย โดยนำข้อมูลราคาน้ำมันปาล์มดิบย้อนหลังจากกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ในรูปแบบรายวันตั้งแต่ปี พ.ศ.2563-2564 รวมทั้งสิ้น 731 ข้อมูล โดยได้ทำการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยวิธีเพียร์สันและใช้เทคนิคในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา 2 วิธี 1) วิธีการแยกส่วน ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแบบการบวกและตัวแบบการคูณ ใช้ข้อมูลปี 2564 จำนวน 365 ชุดข้อมูล และ 2) วิธีบอกซ์-เจนกินส์ ใช้ข้อมูลปี 2563-2564 จำนวน 731 ชุดข้อมูลในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษา พบว่า วิธีที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้พยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย ด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา วิธีการแยกส่วนตัวแบบการคูณ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) คือ 4.91%

คำสำคัญ: น้ำมันปาล์มดิบ, อนุกรมเวลา, แยกส่วน, บอกซ์-เจนกินส์, พยากรณ์

Abstract

The objective of this study was to find a suitable model. For Crude Palm Oil Price Forecast in Thailand by taking historical crude palm oil price data from the Department of Internal Trade Ministry of Commerce in daily format since 2020-2021 a total of 731 data. The correlation of the data was determined by Pearson Method and two time-series forecasting techniques were used. 1) Classical Decomposition. This includes the addition and multiplication models, using 365 2021 data sets, 2) the Box-Jenkins method uses 731 datasets 2020-2021 to create an appropriate forecasting model. and compared the lowest mean percent of absolute discrepancy (MAPE). The results of the study found that a suitable method for forecasting the price of crude palm oil in Thailand. with time series forecasting techniques Multiplicative private separation method which has a mean percentage of absolute discrepancy (MAPE) is 4.91%.

Keywords: Crude Palm Oil, time-series, Classical Decomposition, Box-Jenkins Method, Forecast

1. บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของโลก เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่มีบทบาทสำคัญในธุรกิจน้ำมันพืชเพื่อการบริโภคและเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกหลายอุตสาหกรรม อีกทั้งปาล์มน้ำมันยังมีบทบาทสำคัญในการใช้ผลิตไบโอดีเซล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่ผลิตได้จากชีวภาพ จากน้ำมันพืช เช่น ปาล์มน้ำมัน โดยแหล่งผลิตปาล์มน้ำมันที่สำคัญอยู่ในภูมิภาคอาเซียน ประเทศผู้ผลิตหลักที่มีบทบาทกำหนดทิศทางราคาในตลาดโลก คือ อินโดนีเซียและมาเลเซีย เนื่องจากเป็นประเทศที่มีผลผลิตปาล์มน้ำมันมากที่สุด และประเทศไทยเองก็มีผลผลิตปาล์มน้ำมันสูงเป็นอันดับ **3** ของโลก แต่มีสัดส่วนน้อยเพียง **3.9%** ของผลผลิตปาล์มน้ำมันโลกจึงไม่มีอำนาจหรือบทบาทที่จะกำหนดทิศทางราคาเหมือนอินโดนีเซียและมาเลเซีย

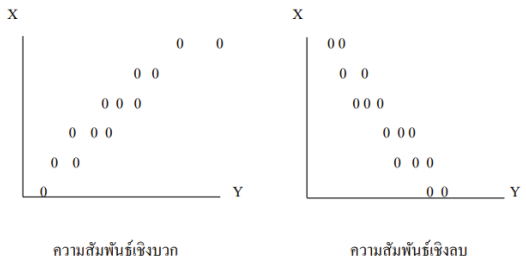
อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มของไทยมีจุดแข็งจากการมีห่วงโซ่การผลิตที่ครบวงจรประกอบไปด้วย **1)** เกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมัน (อุตสาหกรรมขั้นต้น) **2)** โรงสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (อุตสาหกรรมขั้นกลาง) และ **3)** โรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (อุตสาหกรรมขั้นปลาย) แต่ปัจจุบันโรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ในไทยไม่สามารถดูดซับอุปทานน้ำมันปาล์มดิบได้ทั้งหมด โรงสกัดน้ำมันปาล์มดิบจึงต้องพึ่งพาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่องอื่นๆ เพื่อระบายอุปทานน้ำมันปาล์มดิบส่วนเกิน อาทิ โรงงานผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (**B100**) โรงงานไฟฟ้าและไอน้ำ โรงงานไบโอแก๊ส และคลังจัดเก็บน้ำมัน เป็นต้น **[1]** ซึ่งในประเทศไทยจะแบ่งผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปาล์มเป็น 4 ส่วน คือ ผลิตภัณฑ์อาหาร โอเลโอเคมีคัล ไบโอดีเซล และที่เหลือเป็นพลังงานชีวภาพ (Biomass) [2] ซึ่งในปัจจุบันราคาน้ำมันปาล์มมีความผันผวนอย่างมากนับตั้งแต่เกิดสถานการณ์โควิด-19 เนื่องจากมีอุปสงค์มากกว่าอุปทาน ซึ่งประเด็นหลักที่ทำให้ราคาปาล์มน้ำมันเกิดความผันผวน ได้แก่ ประเด็นที่ 1 ประเทศมาเลเซียเมื่อเกิดสถานการณ์โควิด-19 ต่างชาติไม่สามารถเข้าประเทศได้ ทำให้ไม่มีคนเข้าไปตัดปาล์มน้ำมันในสวน ผลผลิตจึงลดลง ทั้งที่ผลผลิตความจริงไม่ได้ลดลง แต่ไม่มีแรงงานเข้าไปตัดปาล์มเพื่อผลิตเป็นน้ำมัน เกษตรกรหรือชาวสวนปาล์มก็เกิดความเสียหาย ปาล์มร่วง เน่า เสีย ประเด็นที่ 2 ปัญหาการแพร่ระบาดของโควิด-19 ร่วม 2 ปี ทางสหรัฐเมริกาติดโควิดตั้งแต่เริ่มต้นก็มีปัญหาไม่มีชาวไร่ที่จะไปปลูกถั่วเหลืองทำให้ผลผลิตลดลง ราคาถั่วเหลืองก็ขยับขึ้น ขณะที่ปาล์มมาเลเซีย แม้ว่าผลผลิตไม่ได้ลด แต่ไม่มีแรงงานเข้าไปตัดมีความเสียหาย ส่วนถั่วเหลืองเป็นพืชล้มลุกที่จะต้องปลูกตามฤดูกาล ตอนช่วงมีโควิด คนไปปลูกน้อยลง ผลผลิตน้อยลง ทำให้อุปทานน้อยลง แต่อุปสงค์ยังพอมีอยู่มากกว่าอุปทาน ราคาถั่วเหลืองขยับขึ้น เพราะฉะนั้นราคาน้ำมันปาล์มจึงสูงขึ้น โดยราคาเมืองไทยก็ต้องตามราคาตลาดโลก ส่วนผลผลิตในประเทศที่เกินความต้องการซื้อก็ต้องดันออกไปส่งขายตลาดต่างประเทศ ซึ่งขายได้ในราคาที่สูงกว่า [3]

ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงสนใจทำการศึกษาราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย โดยได้ทำการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยวิธีเพียร์สันและใช้วิธีการพยากรณ์ 2 วิธี คือ วิธีการแยกส่วน ทั้ง 2 รูปแบบ คือ ตัวแบบการบวก ตัวแบบการ และวิธีบอกซ์-เจนกินส์ เพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมที่ใช้ในการพยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การหาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยวิธีของเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation)

การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ [4]



ความสัมพันธ์เชิงบวก ความสัมพันธ์เชิงลบ

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ที่มีลักษณะแนวโน้มเป็นเส้นตรง

การพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของ X และ Y ว่า มีความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใดสามารถคำนวณความสัมพันธ์นั้นออกมาเป็นค่าของตัวเลข ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการของเพียร์สัน ที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ซึ่งมีสูตรในการคำนวณ สมมุติให้ r แทน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลตัวแปรคู่ X และ Y ดังนั้นจะแสดงดังสมการที่ (1)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - n\bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - n\bar{X}^2\right]\left[\sum_{i=1}^{n} Y_i{}^2 - n\bar{Y}^2\right]}} \quad (1)$$

2.3 วิธีการแยกส่วน (Classical Decomposition)

อนุกรมเวลา คือ เซตของข้อมูลเชิงปริมาณที่มีการจัดเก็บในช่วงเวลาที่ติดต่อกัน ส่วนข้อมูล อนุกรมเวลา (Time Series Data) คือ ชุดของข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมตามระยะเวลาที่ติดต่อกันอย่างเป็นระบบ โดยทั่วไปข้อมูลอนุกรมเวลาประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 ส่วน คือ แนวโน้ม (Trend: T), ฤดูกาล (Seasonal: S), วัฏจักร (Cycle: C) และเหตุการณ์ที่ผิดปกติหรือเหตุการณ์ความไม่แน่นอน (Irregular: I) สำหรับรูปแบบของอนุกรมเวลาโดยทั่วไปนั้นมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ [5]

- **ตัวแบบการบวก (The Additive Components Model)**

ส่วนประกอบของข้อมูลอนุกรมเวลา ที่มีตัวแบบการบวก มาจากแนวคิดพื้นฐานว่าส่วนประกอบทั้ง 4 เป็นอิสระต่อกัน เมื่อส่วนใดส่วน

หนึ่ง มีค่าเปลี่ยนแปลงไป จะไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เหลือโดยมีตัวแบบดังสมการที่ (3)

$$Y_t = T_t + C_t + S_t + I_t \quad (3)$$

- **ตัวแบบการคูณ (The Multiplicative Components Model)**

ส่วนประกอบทั้งสี่ของอนุกรม เวลาที่มีตัวแบบการคูณ มีความสัมพันธ์กัน เมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เหลือ ตัวแบบการคูณเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดโดยมีตัวแบบดังสมการที่ (4)

$$Y_t = T_t \times C_t \times S_t \times I_t \quad (4)$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

T_t คือ ค่าประมาณแนวโน้ม

C_t คือ ค่าประมาณการแปรผันตามวัฏจักร

S_t คือ ค่าประมาณการแปรผันตามฤดูกาล

I_t คือ ค่าประมาณการแปรผันตามเหตุการณ์ผิดปกติ

2.4 การพยากรณ์โดยวิธีบอก-เจนกินส์ (Box-Jenkins method)

การพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีทั้งส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปร ตามฤดูกาล มีตัวแบบในรูปทั่วไป คือ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)s แสดงดังสมการที่ (5) แต่ในกรณีที่อนุกรมเวลามี เพียงส่วนประกอบของแนวโน้มเท่านั้น ตัวแบบจะสามารถถูก ลดรูปเหลือเพียง ARIMA(p, d, q) *[6]*

$$\phi_p(B)\Phi_P(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \delta + \theta_q(B)\Theta_Q(B^s)\varepsilon_t \quad (5)$$

เมื่อ แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปรกติและเป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความ แปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา

$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_P(B^s)$ แทนค่าคงตัว (Constant) โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary)

$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \ldots - \phi_p B^p$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ p กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p: AR(p))

$\Phi_P(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \ldots - \Phi_P B^{Ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Operator of Order P: SAR(P))

$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \ldots - \theta_q B^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Moving Average Operator of Order q: MA(q))

$\Theta_Q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \ldots - \Theta_Q B^{Qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ Q กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Moving Average Operator of Order Q: SMA(Q))

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 เมื่อ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator) โดยที่ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

2.5 การหาค่าความคลาดเคลื่อน

เมื่อทำการพยากรณ์ค่าที่ต้องการออกมาแล้ว จำเป็นจะต้องทำการตรวจสอบความแม่นยำของข้อมูลที่พยากรณ์ [7]

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) มีรูปแบบดังสมการที่ (6)

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left(\frac{A_t - F_t}{A_t}\right) \times 100 \quad (6)$$

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

การวิจัยเพื่อหาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาปัญหาปาล์มน้ำมัน

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับราคาน้ำมันปาล์มจากกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ เพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของปาล์มน้ำมันในประเทศไทย

3.2 เก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลน้ำมันราคาปาล์มดิบในประเทศไทยจากกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์

3.3 เลือกวิธีการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล และหาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูล

ทำการหาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยเลือกวิธีที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย

3.4 เลือกวิธีการพยากรณ์ และพยากรณ์หาตัวแบบ

เลือกเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะกับชุดข้อมูลราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทยจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นำเทคนิคที่ได้มาทำการพยากรณ์เพื่อหาตัวแบบที่เหมาะกับชุดข้อมูลราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย

3.5 เลือกวิธีวัดค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์และวัดค่าความคลาดเคลื่อน

เลือกวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสม และนำมาวัดค่าความคลาดเคลื่อนของเทคนิคการพยากรณ์ที่ได้จากข้อ 3.4

3.6 เลือกตัวแบบพยากรณ์ และพยากรณ์ตัวแบบ

เลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ซึ่งใช้วิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากข้อ 3.5 จากนั้นเมื่อได้ตัวแบบที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด นำตัวแบบนั้นมาใช้พยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการหาค่าความสัมพันธ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (SPSS) ในการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของเวลาและราคา ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของเวลาและราคา

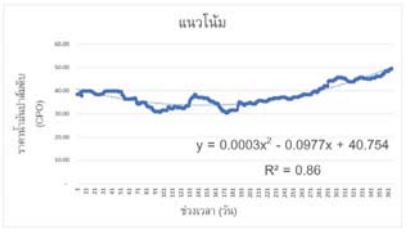
		เวลา	ราคา
เวลา	Pearson Correlation	1	.586
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	365	365
ราคา	Pearson Correlation	.586	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	365	365

จากตารางที่ 1 สรุปได้ว่า เวลาและราคามีความสัมพันธ์เชิงบวกแบบตามกันโดยสมบูรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

4.2 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์

4.2.1 การสร้างตัวแบบพยากรณ์ โดยวิธีการแยกส่วน (Classical Decomposition)

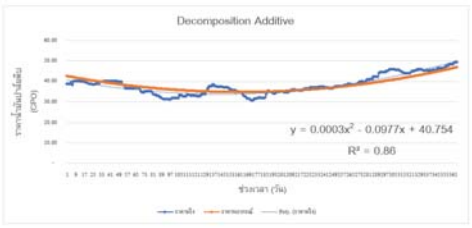
เมื่อทำการพิจารณาแนวโน้ม (Trend) ของราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลปี 2564 เป็นข้อมูลรายวัน จำนวน 365 ชุดข้อมูลจึงได้แนวโน้มของข้อมูลดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟแนวโน้มของข้อมูลปี 2564

- **วิธีการแยกส่วนตัวแบบการบวก (The Additive Components Model)**

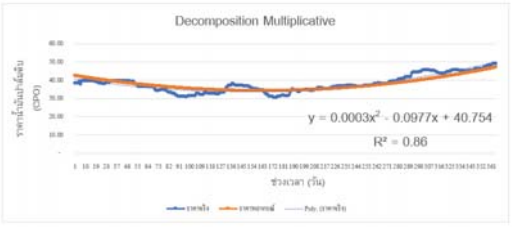
เมื่อนำข้อมูลทำการพยากรณ์ตัวแบบด้วยวิธีการแยกส่วนตัวแบบการบวก ทำให้ได้แนวโน้มของตัวแบบพยากรณ์ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแนวโน้มของข้อมูลจากการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการแยกส่วนตัวแบบการบวก

- **วิธีการแยกส่วนตัวแบบการคูณ (The Multiplicative Components Model)**

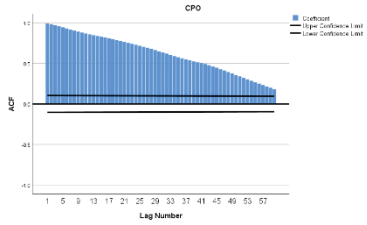
เมื่อนำข้อมูลทำการพยากรณ์ตัวแบบด้วยวิธีการแยกส่วนตัวแบบการบวก ทำให้ได้แนวโน้มของตัวแบบพยากรณ์ดังรูปที่ 4



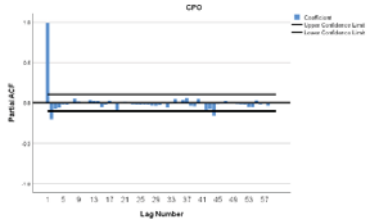
รูปที่ 4 กราฟแนวโน้มของข้อมูลจากการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการแยกส่วนตัวแบบการคูณ

4.2.2 การสร้างตัวแบบพยากรณ์ โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins method)

เมื่อทำการพิจารณาความคงที่ของอนุกรมเวลาของราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูล ปี 2563 จำนวน 366 ชุดข้อมูล พบว่า กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัว (Autocorrelation Function: ACF) มีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 5 และกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) มีช่วงเวลาที่ 1 (Lag 1) เกินเส้น Upper หรือเส้นขอบเขตอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 6 หมายความว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้ม



รูปที่ 5 กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัว (ACF) ที่มีแนวโน้มลดลง

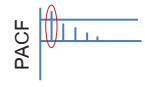
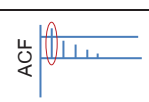
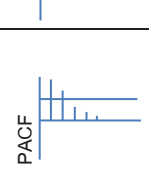
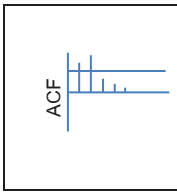


รูปที่ 6 กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวบางส่วน (PACF) ที่มีช่วงเวลาที่ 1 (Lag 1) เกินเส้น Upper หรือเส้นขอบเขต

ผลการการอ่านค่าตัวแบบ เนื่องจากอนุกรมเวลาของราคาน้ำมันปาล์มชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้ม จึงได้ทำการกำจัดแนวโน้มโดยการหาผลต่าง (d) หรือผลต่างของฤดูกาลก่อน (D) ซึ่งการอ่านค่าตัวแบบสามารถอ่านได้ดังนี้

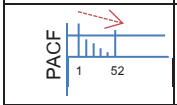
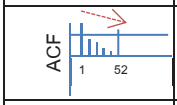
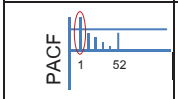
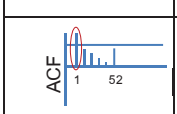
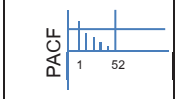
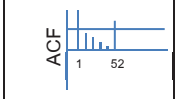
การอ่านตัวแบบ ARIMA เนื่องจากใช้ข้อมูลเป็นรายวัน จึงมีการอ่านค่า Define Date แบบ Week, work day(5) ดังนั้นจึงจะสนใจเพียง 5 Lag แรก เนื่องจาก 5 Lag แรก จะมีอิทธิพลกับข้อมูลมากที่สุด

ตารางที่ 2 การอ่านตัวแบบ ARIMA

Model	อ่านค่า	คำอธิบาย
	AR(0)	เมื่อกราฟ PACF มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง จะอ่านค่า AR(0)
	MA(0)	เมื่อกราฟ ACF มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง จะอ่านค่า MA(0)
	AR(1)	เมื่อกราฟ PACF มีช่วงเวลา (Lag) เกินเส้นขอบเขต 1 เส้น จะอ่านค่า AR(1)
	MA(1)	เมื่อกราฟ ACF มีช่วงเวลา (Lag) เกินเส้นขอบเขต 1 เส้น จะอ่านค่า AR(1)
	AR(2), AR(0)	เมื่อกราฟ PACF มีช่วงเวลา (Lag) เกินเส้นขอบเขต 2 เส้น จะอ่านค่า AR(2) และหากเส้น Lag ที่ 2 ต่ำกว่าเส้น Lag ที่ 1 จะถือว่ากราฟ PACF มีการลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ทำให้สามารถอ่าน AR(0) ได้เช่นกัน
	MA(2)	เมื่อกราฟ ACF มีช่วงเวลา (Lag) เกินเส้นขอบเขต 2 เส้น จะอ่านค่า MA(2) แต่หากเส้น Lag ที่ 2 สูงกว่าเส้น Lag ที่ 1 จะไม่ถือว่ากราฟ ACF มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง

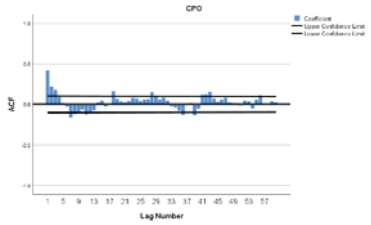
การอ่านตัวแบบ SARIMA เนื่องจากใช้ข้อมูลเป็นรายวัน จึงมีการอ่านค่า Define Date แบบ Week, work day ดังนั้นจึงจะสนใจเพียง Lag ที่ 1 และ 52 เท่านั้น

ตารางที่ 3 การอ่านตัวแบบ SARIMA

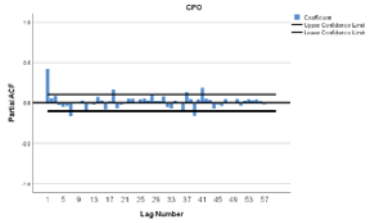
Model	อ่านค่า	คำอธิบาย
	AR(0)	เมื่อกราฟ PACF มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง จะอ่านค่า AR(0)
	MA(0)	เมื่อกราฟ ACF มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง จะอ่านค่า MA(0)
	AR(1)	เมื่อกราฟ PACF มีช่วงเวลา (Lag) เกินเส้นขอบเขต 1 เส้นเพียงเส้นเดียว จะอ่านค่า AR(1)
	MA(1)	เมื่อกราฟ ACF มีช่วงเวลา (Lag) เกินเส้นขอบเขต 1 เส้นเพียงเส้นเดียว จะอ่านค่า AR(1)
	AR(2)	เมื่อกราฟ PACF มีช่วงเวลา ที่ 1 และ52 (Lag 1 52) เกินเส้นขอบเขตทั้ง 2 เส้น จะอ่านค่า AR(2) และหากเส้น Lag ที่ 52 สูงกว่าเส้น Lag ที่ 1 จะไม่ถือว่ากราฟ PACF มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง
	MA(2), MA(0)	เมื่อกราฟ ACF มีช่วงเวลา ที่ 1 และ52 (Lag 1 52) เกินเส้นขอบเขตทั้ง 2 เส้น จะอ่านค่า MA(2) และหากเส้น Lag ที่ 52 ต่ำกว่าเส้น Lag ที่ 1 จะถือว่ากราฟ ACF มีการลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ทำให้สามารถอ่าน MA(0) ได้เช่นกัน

4.3 ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์

เนื่องจากอนุกรมเวลาของราคาน้ำมันปาล์มชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้ม จึงได้ทำการกำจัดแนวโน้มโดยการหาผลต่างลำดับที่ 1 (d=1) จากการประมวณผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยใช้ข้อมูลปี 2563 จำนวน 366 ชุดข้อมูล ในการพยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบปี 2564 จึงได้กราฟ ACF ดังรูปที่ 7 และ กราฟ PACF ดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 กราฟ ACF เมื่อกำจัดแนวโน้มโดยการหาผลต่างลำดับที่ 1



รูปที่ 8 กราฟ PACF เมื่อกำจัดแนวโน้มโดยการหาผลต่างลำดับที่ 1

จากรูปที่ 7 จะสามารถอ่านค่า ARIMA ได้ว่า AR(1), d(1), MA(3) แต่เนื่องจากกราฟมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น จึงอ่านค่า ARIMA ได้เป็น AR(0,1), d(1), MA(0,3) และจากรูปที่ 8 จะสามารถอ่านค่า SARIMA ได้ว่า AR(1), D(0), MA(1) แต่เนื่องจากกราฟมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น จึงอ่านค่า SARIMA ได้เป็น AR(0,1), D(0), MA(0,1) หลังจากที่อ่านค่าตัวแบบออกมาแล้ว จึงนำค่าตัวแบบที่อ่านได้หาค่าประมาณพารามิเตอร์ โดยได้ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ คือ ARIMA(0,1,3) $SARIMA(0,0,0)_{12}$ ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์

ARIMA Model Parameters

					Estimate	SE	t	Sig.
CPO-Model_1	CPO	No Transformation	Difference		1			
			MA	Lag 1	-.379	.052	-7.255	.000
				Lag 2	-.165	.055	-2.977	.003
				Lag 3	-.119	.052	-2.274	.024
	DAY, period 5	No Transformation	Numerator	Lag 0	.008	.012	.662	.508

5.1 ผลการเลือกตัวแบบพยากรณ์

ได้ค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธีตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแบบพยากรณ์ในแต่ละวิธี

วิธีการพยากรณ์	MAPE
แยกส่วนตัวบวก	5.01%
แยกส่วนตัวคูณ	4.91%
บอกซ์-เจนกินส์	11.47%

จากตารางที่ 5 พบว่า วิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ได้แก่ การพยากรณ์โดยวิธีแยกส่วนตัวคูณ การพยากรณ์โดยวิธีแยกส่วนตัวบวก และการพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ตามลำดับ ดังนั้น ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทยคือ วิธีการพยากรณ์โดยวิธีแยกส่วนตัวคูณ

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย โดยนำข้อมูลราคาน้ำมันปาล์มดิบย้อนหลังจากกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ ในรูปแบบรายวันปี พ.ศ.2563-2564 รวมทั้งสิ้น 731 ชุดข้อมูล โดยได้ทำการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยวิธีเพียร์สัน ซึ่งพบว่า เวลาและราคามีความสัมพันธ์เชิงบวกแบบตามกันโดยสมบูรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 และได้ใช้เทคนิคในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา 2 วิธี 1) วิธีการแยกส่วน ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแบบการบวกและตัวแบบการคูณ ใช้ข้อมูลปี 2564 จำนวน 365 ชุดข้อมูล และ 2) วิธีบอกซ์-เจนกินส์ ใช้ข้อมูลปี 2563-2564 จำนวน 731 ชุดข้อมูลในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม และได้ใช้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ในการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ พบว่าวิธีที่เหมาะสมในการเป็นตัวแบบสำหรับพยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทยมากที่สุด คือ วิธีการพยากรณ์โดยวิธีแยกส่วนตัวคูณ โดยให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ต่ำที่สุด คือ 4.91% ทั้งนี้ควรมีการเก็บข้อมูลราคาน้ำมันปาล์มดิบย้อนหลังในปีอื่นๆ มาทำการพยากรณ์ร่วมด้วย เพื่อให้ตัวแบบที่จะใช้พยากรณ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และควรนำตัวแบบที่ได้ไปพยากรณ์เทียบกับข้อมูลชุดใหม่อยู่เรื่อย ๆ เพื่อให้ทราบว่าตัวแบบที่นำมาพยากรณ์มีความเหมาะสมหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

[1] ชัยวัฒน์ เสาทรงสุข. “แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2563-2565: อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน”. สืบค้นออนไลน์. https: / / www. krungsri. com/ th/ research/ industry/ industry-outlook/agriculture/sugar-(1)/IO/io-oil-palm-20-th (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2565)

[2] ประอรพิต กัษฐ์วัฒนา. “เพิ่มขีดความสามารถการผลิตปาล์มน้ำมันของไทย ด้วยแผนพัฒนา 6 ผลิตภัณฑ์โอเลโอเคมีคัล”. สืบค้นออนไลน์ https://www.salika.co/2021/05/13/oleochemical-products-palm-oil-industry/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2565)

[3] ฐานเศรษฐกิจ. “ปาล์มน้ำมันโลกร้อนแรง ดันราคาพุ่ง 10.20 บาท/กก.สูงสุดในรอบ 10 ปี”. สืบค้นออนไลน์. https://www.thansettakij.com/economy/502173 (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2565)

[4] ยุทธ ไกยวรรณ์. สถิติเพื่อการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2549.

[5] สุรชัย จันทร์จรัส และลัดดาวรรณ อาจพรม. 2556. “การประมาณค่าความผันผวนและการพยากรณ์มูลค่ากองทุนรวมหุ้นระยะยาว”. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร, ปีที่ 33 ฉบับที่ 1

[6] วรางคณา เรียนสุทธิ์. 2562. “การพยากรณ์ราคาผลปาล์มน้ำมันด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์”. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., ปีที่ 42 ฉบับที่ 2

[7] ปัญญาพร เด่นดวง และพิเชฐ พุ่มเกษร. “การพยากรณ์ปริมาณน้ำยางพาราสดในประเทศไทย”. ปริญญานิพนธ์ คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2563

การสังเคราะห์ต้นทุนการผลิตสตรอว์เบอร์รีของกลุ่มเกษตรกรเครือข่ายโรงงานหลวงอาหารสำเร็จรูปที่ 1 (ฝาง) ด้วยแนวคิดบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ

Synthesizing Production Cost for Strawberry Farmers of the First Royal Factory (Fang) Network based on Material Flow Cost Accounting

วัชรพงษ์ มโนชมภู[1] วิชัย ฉัตรทินวัฒน์[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: Watsharapong_ma@cmu.ac.th[*]

Watsharapong Manochomphu[1] Wichai Chattinnawat[1*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
E-mail: Watsharapong_ma@cmu.ac.th[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุในการสังเคราะห์ต้นทุนการผลิตสตรอว์เบอร์รีของเครือข่ายเกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รีบ้านหนองเต่า เครือข่ายเกษตรกรของโรงงานหลวงอาหารสำเร็จรูปที่ 1 (ฝาง) เพื่อกำหนดโครงสร้างต้นทุนการผลิตและวางแผนศึกษาแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงาน โดยเริ่มจากที่ผู้วิจัยทำการศึกษาโครงสร้างต้นทุนทั้งหมดและประเมินความสูญเสียออกมาในรูปของต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าบวก และต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าลบที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการได้แก่ การลงปลูกต้นพันธุ์สตรอว์เบอร์รี และการดูแลรักษาต้นสตรอว์เบอร์รี พบว่า ต้นทุนที่มากที่สุดคือ ค่าแรงซึ่งคิดเป็น 74.49 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ค่าต้นพันธุ์ คิดเป็น 16.40 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุพบว่าต้นทุนการผลิต แบ่งเป็น positive product 92.65 เปอร์เซ็นต์ และ negative product 7.35 เปอร์เซ็นต์ เกิด negative product มากที่สุดในกระบวนการที่ 2 จาก system cost (SC) ซึ่งมาจากปัญหาโรครา จึงได้ดำเนินการวางแผนดำเนินกิจกรรมร่วมกับเกษตรกร และภาคีเครือข่าย ในการชี้แหล่งกำเนิดต้นทุน และหาความสูญเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่เพาะปลูก กำหนดแนวทางและทดลองปรับปรุงการทำงาน เพื่อลดความสูญเสียด้านการเกษตรกับเกษตรกรเครือข่าย โดยออกแบบกิจกรรมเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสตรอว์เบอร์รีและนำไปประยุกต์ใช้ให้แก่เกษตรกร ผู้วิจัยสามารถเปรียบเทียบประสิทธิผลการดำเนินงานกิจกรรมตลอดช่วงระยะเวลาโดยพบว่าต้นทุนโดยรวมของเกษตรกรดีกว่าค่ามาตรฐานสามารถลดต้นทุนในการดำเนินงานลงได้ 1,858 บาท และกลุ่มเกษตรกรทั้ง 42 รายยังสามารถลดค่าใช้จ่ายได้รวมกันเป็นจำนวน 40,608 บาท

คำสำคัญ: บัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ, ต้นทุนการผลิตสตรอว์เบอร์รี, การบัญชีเพื่อความยั่งยืน

Abstract

The objective of this research is to apply Material Flow Cost Accounting (MFCA) technique to analyze the production cost for Strawberry Farmers of the First Royal Factory (Fang) Network Study and improvement of the network of strawberry farmers. This study analyzed the cost structure of strawberry production. Strawberry productions were divided into 2 stages or processes of plantation and strawberry production and harvesting. The analysis of MFCA cost divided each process into the positive product cost and the negative product cost. The results showed that the labor cost constituted the highest proportion of the MFCA cost almost 74.49 percent followed by the strawberry seedling operation constituting about 16.40 percent. The MFCA cost of strawberry production showed that the positive cost of strawberry production is about 92.65 percent whereas the negative product cost is about 7.35 percent. The researcher found that the main negative product was from system cost in process 2 because fungi problems. Therefore, the research collaborated with the farmers and networks to conduct activities and identified the source of production cost, the cost and loss reduction activities. The researchers then created improvement plan and designing activities for alleviate the fungi problems and reduce losses and apply to farmers. The results indicated that the efficiency of production was increased during the study and the total cost was lower than the standard cost by 1,858 Baht. The whole network of 42 farmers can reduce the total cost by 40,608 baht.

Keywords: MFCA, Strawberry cost, Sustainable Accounting

1. บทนำ

สตรอว์เบอร์รี (Strawberry) เป็นไม้ผลทรงพุ่มขนาดเล็ก มีลักษณะการเจริญเติบโตโดยการแตกกอ เป็นพืชที่ต้องการอุณหภูมิต่ำในช่วงของการพัฒนาตาดอก และเกิดการติดผลจึงมีพื้นที่ปลูกหลักอยู่ภาคเหนือตอนบน เช่น เชียงใหม่ เชียงราย เป็นต้น โดยปัจจุบันมีการปลูกพันธุ์พระราชทาน 80 เป็นหลักในพื้นที่การปลูกทั้งของเกษตรกรและของพื้นที่การส่งเสริมการปลูกอาทิ ของมูลนิธิโครงการหลวง ฯ เนื่องจากพันธุ์พระราชทาน 80 มีรูปร่างสวย คุณภาพและรสชาติดี ซึ่งการปลูกและผลิตสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 ต้องพิจารณา (1) ปัจจัยต้นพันธุ์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการผลิต โดยเกษตรกรต้องใช้ต้นไหลสตรอว์เบอร์รีจากต้นแม่พันธุ์ที่มีลักษณะดี สามารถให้ผลผลิตสูง ต้านทานและปลอดจากโรคต่าง ๆ (2) การจัดวางแปลงปลูก การเลือกและเตรียมพื้นที่แปลงปลูกซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยสภาพของดิน ควรเป็นดินร่วนซุยโดยควรมีการระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ชนิดของพืชที่เคยปลูกมาก่อนในแปลง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของโรคที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เกษตรกรต้องดำเนินกิจกรรมตั้งแต่ การเตรียมพื้นที่ปลูก การไถดินและตากแดดทิ้งไว้อย่างน้อย 2 สัปดาห์ เพื่อลดปริมาณเชื้อสาเหตุของโรคที่มีอยู่ในดิน วัชพืช รวมถึงไส้เดือนฝอยที่อาศัยอยู่ในดินด้วย โดยเกษตรกรต้องพิจารณาการแบ่งแปลงสำหรับเป็นที่ปลูกสตรอว์เบอร์รีและใช้เป็นทางเดิน การยกร่องในสวนที่จะเป็นแปลงปลูกกำหนดขนาดความกว้าง ความสูงแปลงปลูกที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การถ่ายเทอากาศ อีกทั้งยังช่วยให้มองเห็นตรวจสอบและเก็บผลผลิตได้ง่าย ประกอบกับการกำหนดระดับความลึกการปลูกที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มการรับแสงให้ต้นสตรอว์เบอร์รีจะช่วยให้เกิดการพัฒนาของสีและลดการเกิดโรคได้

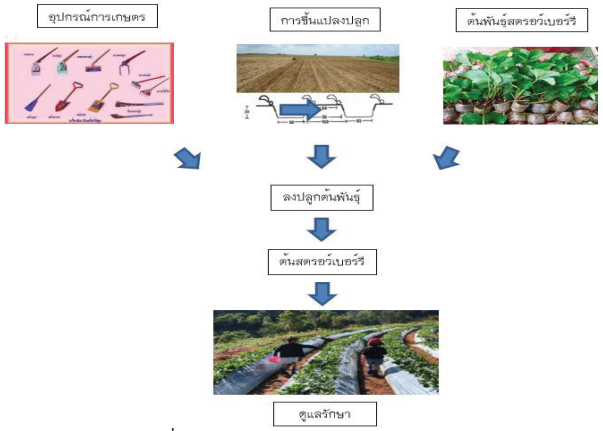
ทฤษฎีบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ ซึ่ง (Michiyasu Nakajima, 2006) ได้อธิบายถึงคุณลักษณะและคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุว่าสามารถนำมาใช้ในการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะแบ่งสัดส่วนต้นทุนความสูญเสียออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนวัตถุดิบ ส่วนการผลิต ส่วนของพลังงาน และส่วนของกากของเสียที่ปล่อยจากกระบวนการ การใช้บัญชีต้นทุนการไหลวัสดุเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการดำเนินงานและกระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดกำไรโดยใช้ปัจจัยต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน อาทิจากงานวิจัยของ ชนานันท์ ปินค่าว (2555) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำเอาเทคนิค MFCA ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้าเพื่อติดตามควบคุมกระบวนการผลิตและเป็นแนวทางในการศึกษาหาต้นทุนซึ่งหลังจากปรับปรุงกระบวนการผลิตแล้วพบว่าสามารถลดปริมาณของเสียในกระบวนการตัดจาก 20% เหลือเพียง 10% (วิชัย ฉัตรทินวัฒน์ & นริศ เปรมธีรสมบูรณ, 2556) ได้กล่าวไว้ว่าหลักการบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ จะเริ่มจากการค้นหาและวัดปริมาณความสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าลบ (Negative Product) ซึ่งในระบบการบัญชีต้นทุนทั่วไปความสูญเสียนี้อยู่ในส่วนของต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมแต่ในหลักการ MFCA นั้นคิดต้นทุนส่วนนี้ออกมาอย่างชัดเจนและเป็นพื้นฐานที่จะนำไปสู่การค้นหาสาเหตุและวิธีการจัดการ เช่นเดียวกับการประยุกต์ใช้เทคนิค MFCA ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของชนินาถ ศรีเพ็ญ (2556) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงในส่วนของต้นทุนทางด้านการจัดการของเสีย โดยได้ใช้การวิเคราะห์บัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ หาความสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการผลิตทรานฟอร์เมอร์ โดยเลือกผลิตภัณฑ์เป้าหมายมาทำการศึกษาหนึ่งรุ่นและทำการประเมินความสูญเสียออกมาในรูปของต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าลบจากการวิเคราะห์พบว่าต้นทุนความสูญเสียทางวัสดุมีต้นทุนที่สูงสุด

การวิจัยเพื่อระบุหาลักษณะสาเหตุของความสูญเสียในระดับแปลงปลูกจึงเป็นสิ่งจำเป็น และอาจนำไปสู่การใช้ประโยชน์จากการของเสีย ซึ่งในปัจจุบันได้มีผลงานวิจัยที่พยายามหาแนวทางในการทำของเสียให้เกิดมูลค่าเพิ่ม เช่นในการผลิตเบียร์ของ Kanazawa ที่พัฒนาเบียร์ทำจากขนมปังที่เหลือจากการผลิตโดยจะนำไปสู่การลดการสูญเสียอาหาร (Food Loss) (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2563) ผู้ศึกษาวิจัยได้เล็งเห็นโอกาสในการสนับสนุนส่งเสริมถ่ายทอดเทคโนโลยีการลดความสูญเสียให้แก่การดำเนินงานของเครือข่ายเกษตรกรของ โรงงานหลวงอาหารสำเร็จรูปที่ 1 (ฝาง) โดยใช้หลักการบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุซึ่งสามารถระบุแนวทาง หลักการรวมถึงปัจจัยที่สามารถนำมากำหนดแผนกลยุทธ์ในการลดความสูญเสียให้แก่การดำเนินงานของเครือข่ายเกษตรกร การประยุกต์ใช้หลักการบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุจะส่งผลให้เกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รีอาทิสามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์และสมรรถนะด้านการจัดการบริหารงานความยั่งยืนและสิ่งแวดล้อมที่สูงขึ้นได้

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การศึกษาขั้นตอนและกิจกรรมการปลูกสตรอว์เบอร์รี่

ผู้วิจัยศึกษาต้นทุนในทุกๆ กระบวนการผลิตสตรอว์เบอร์รีเพื่อจะได้กำหนดกระบวนการย่อยที่ต้องทำการศึกษาในกระบวนการผลิตสตรอว์เบอร์รีสดประกอบไปด้วย ขั้นตอนการลงปลูก และการดูแลรักษา ซึ่งในแต่ละกระบวนการอาจจะมีการจ้างแรงงานเพิ่มเติมดังตัวอย่างการไหลของกระบวนการดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตสตรอว์เบอร์รี

2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของต้นทุนการปลูก

การวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนยังสามารถดำเนินการได้โดยใช้หลักการบัญชีต้นทุนมาตรฐานที่นักวิชาการนิยมใช้เพื่อหาต้นทุนทั้งหมดเช่น สุทธิดา ชำนาญนิล (2554) ได้ทำการจำแนกต้นทุนดังนี้ 1. วัตถุดิบทางตรง 2. ค่าแรงทางตรง 3. ค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งผู้วิจัยได้นำมาปรับใช้โดยเริ่มจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลภาคสนามของแต่ละแปลงปลูกของเกษตรกรแต่ละรายเพื่อเก็บรวบรวมต้นทุนและข้อมูลทั่วไปที่ใช้ในการผลิตสตรอว์เบอร์รี จากการดำเนินงานทั้งการสังเกตและสอบถามข้อมูลจากเกษตรกรและเก็บรวบรวมข้อมูลต้นทุนวัสดุ Material Cost (MC) จำแนกตามปริมาณและชนิดวัสดุที่ใช้ในการทำงานในแปลงปลูกแรงงานที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมดต้นทุนระบบและแรงงานในการปลูก System Cost (SC) ปริมาณพลังงานและต้นทุนพลังงานที่ใช้ในผลิตสตรอว์เบอร์รี Energy Cost (EC) จำแนกตามกิจกรรมกระบวนการผลิตสตรอว์เบอร์รี การลงปลูกต้นพันธุ์ การให้ปุ๋ย สารเคมี สารชีวพันธ์ การดูแลรักษาแปลงนอกจากนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการระบุค้นหาปริมาณผลผลิตที่เป็นของเสียรวมถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงกิจกรรมในด้านความสูญเสียของวัสดุ ผลผลิต แรงงาน และพลังงานที่สูญเสียไป รายละเอียดของวัตถุดิบและราคาต้นทุนของวัตถุดิบ ผู้วิจัยได้จำแนกเบื้องต้นประเภทและชนิดของวัสดุดังตารางที่ 1 โดยแบ่งออกเป็น วัตถุดิบทางตรง (Direct material) วัตถุดิบทางอ้อม (Indirect material) และวัตถุดิบเสริม (Auxiliary material)

ตารางที่ 1 รายละเอียดวัตถุดิบการผลิตสตรอว์เบอร์รี

รายการวัตถุดิบ	Material description	ประเภทวัตถุดิบ
ต้นพันธุ์สตรอว์เบอร์รี	สตรอว์เบอร์รีพันธุ์ 80	วัตถุดิบทางตรง
ปุ๋ย	สูตร 15-15-15 8-24-24 0-0-50, 0-0-60, 46-0-0, 13-13-21 ขี้หมู, ขี้ไก่	วัตถุดิบทางตรง
สารเคมี	Abamectin, Spinetoram, Fenpyroximat, Difenoconazole, Azoxystrobin, Mancozeb	วัตถุดิบทางตรง
พลาสติกคลุมแปลง	พลาสติกสีดำใช้คลุมแปลง	วัตถุดิบทางอ้อม
ใบตองคลุมแปลง	ใบตองใช้คลุมแปลง	วัตถุดิบทางอ้อม
หัวบัวรดน้ำ	หัวบัวรดน้ำ	วัตถุดิบทางอ้อม
บัวรดน้ำ	บัวรดน้ำ	วัตถุดิบทางอ้อม
อุปกรณ์การเกษตร	อุปกรณ์ทั่วไปเช่น จอบ เสียม คราด	วัตถุดิบทางอ้อม
ท่อ PVC	ท่อ PVC ขนาด 4 หุน 6 หุน และ 1 นิ้ว	วัตถุดิบเสริม
สายยาง	สายยางขนาด 4 หุน 6 หุน และ 1 นิ้ว	วัตถุดิบเสริม
หัวสปริงเกอร์	หัวสปริงเกอร์	วัตถุดิบเสริม

2.3 การสร้างแบบจำลองและใช้เทคนิค MFCA ในการรายงานโครงสร้างต้นทุน

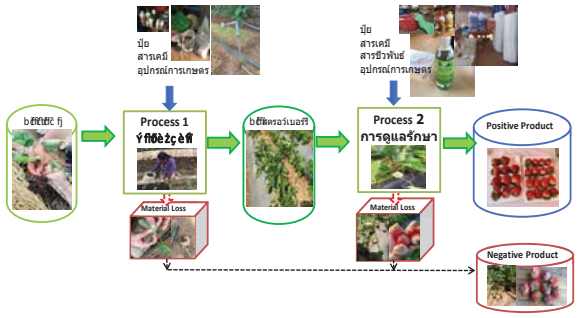
ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิค MFCA ในการหาโมเดลต้นทุนการผลิตสตรอว์เบอร์รีผลสด และคำนวณต้นทุนการเกษตรเพื่อประเมินต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยการผลิต 10000 ต้นหรือพื้นที่ปลูก 1 ไร่ โดยเริ่มจากการทำการระบุปัจจัยขาเข้าและปัจจัยขาออกในทุก ๆ กระบวนการในการผลิตสตรอว์เบอร์รี โดยปัจจัยขาเข้าประกอบไปด้วย วัตถุดิบ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการและแรงงานที่ใช้ ส่วนปัจจัยขาออกประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ การสูญเสียวัตถุดิบเนื่องมาจากการดำเนินงานและความสูญเสียจากภัยพิบัติ ศัตรูพืช โรคพืช การสูญเสียพลังงาน และการสูญเสียแรงงาน ซึ่งการสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้นจะถูกจำแนกอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าลบจากนั้นนำข้อมูลต้นทุนทั้งหมดมาบันทึกลงในตารางตามตัวอย่างดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ต้นทุนที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่ i

Material Balance Table (Process i)					
Input: material used		Output: waste		Output: product	
Main material	Quantity	Waste	Quantity	Products	Quantity
input required					
Quantity percentage		Quantity percentage		Quantity percentage	
Cost of input material		Cost of waste(negative)		Cost of material (positive)	
total(bath)		total(bath)		total(bath)	

หลังจากนั้นทำการศึกษาปัจจัยขาเข้าและขาออกในแต่ละกระบวนการโดยเทคนิคสมดุลมวลซึ่งปัจจัยขาออกทั้งหมดจะเท่ากับปัจจัยขาเข้าซึ่งการสมดุลน้ำหนักของปัจจัยขาเข้าและปัจจัยขาออกจะถูกนำเสนอโดยการเขียนออกมาในรูปแผนภาพสมดุลมวลเพื่อระบุปริมาณของดีที่เข้าสู่กระบวนการ และปริมาณของดีที่ออกจากกระบวนการรวมไปถึงของเสียที่ออกจากกระบวนการซึ่งประกอบไปด้วย วัตถุดิบที่เป็นของเสีย พลังงานที่สูญเสีย และแรงงานที่สูญเสียไปในแต่ละกระบวนการ

ผู้วิจัยได้ดำเนินกิจกรรมการวิเคราะห์และสรุปผลด้านต้นทุนด้วยหลักการบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุโดยใช้แบบสอบถามเก็บข้อมูลที่ได้ย้อนหลังในช่วงเดือน สิงหาคม 2563 จนถึงเดือน กันยายน 2563 ระหว่างการเตรียมการลงแปลงและการปลูกของเกษตรกรทั้ง 42 ราย และใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากการเก็บรวบรวมรายสัปดาห์ตามแบบฟอร์มของโครงการบันทึกข้อมูลโดยเกษตรกร ตั้งแต่ช่วงเดือน ตุลาคม 2563 จนถึง เมษายน 2564 รวมทั้งสิ้น 7 เดือน เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำไปปรับปรุงการดำเนินงานผู้วิจัยได้รวบรวมและรายงานให้เห็นถึงผลสัมฤทธิ์การดำเนินงานที่เกิดขึ้นจากนั้นทำการวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนของกลุ่มเกษตรกรทั้งหมดโดยได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นจุดศูนย์กลางปริมาณจำนวน 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การเตรียมแปลงและลงปลูก ช่วงเดือน สิงหาคม 2563 – ตุลาคม 2563 และส่วนที่ 2 การดูแลแปลงและเก็บเกี่ยวผลผลิต ช่วงเดือน พฤศจิกายน 2563 ถึง เมษายน 2564 โดยมีรายละเอียดผลการดำเนินการคำนวณเริ่มจากการสร้างแผนภูมิการไหลวัสดุ



รูปที่ 2 การไหลวัสดุของการผลิตสตรอว์เบอร์รีผลสดตามหลักการบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุ

ผู้วิจัยได้รวบรวมและสรุปการใช้วัสดุในกระบวนการผลิตสตรอว์เบอร์รีของทั้งเครือข่าย โดยได้รวบรวมวัสดุหลักตั้งแต่ ต้นพันธ์ ปุ๋ย สารเคมี และ สารชีวพันธ์ และวัสดุรองได้แก่อุปกรณ์ทางการเกษตร ผู้วิจัยยังได้ดำเนินการบ่งชี้แนวทางประมาณการใช้น้ำและพลังงานที่เกิดขึ้นตลอดฤดูกาลผลิตของเกษตรกรแต่ละราย วิเคราะห์ต้นทุน MFCA จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MFCA และนำเสนอโครงสร้างต้นทุนด้วยตาราง Material Flow Cost Matrix ข้อมูลต้นทุนรวมดังตารางที่ 3 โดยจำแนกออกเป็นต้นทุนที่ใช้ไปกับวัตถุดิบ ระบบ พลังงาน และการจัดการของเสีย จากนั้นบ่งชี้จำนวนการเกิดผลิตภัณฑ์มูลค่าบวกและผลิตภัณฑ์มูลค่าลบ แยกตามแต่ละองค์ประกอบของต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนระบบ ต้นทุนพลังงาน และต้นทุนการกำจัดของเสีย หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตสตรอว์เบอร์รี

ตารางที่ 3 Material Flow Cost Matrix แสดงข้อมูลต้นทุนรวม

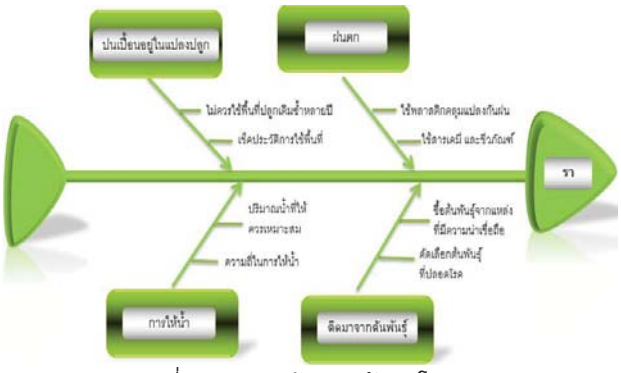
cost Item		Process 1(marking process)
Newly Input total cost		
	Total	
	Newly input MC	
	Newly input SC	
	Newly input EC	
Total cost hand over from		
previous process	Total	
	MC from previous process	
	SC from previous process	
	EC from previous process	
Process total of input cost		
	Total	
	Input MC	
	Input SC	
	Input EC	
Percent quanlity of negative product		
Percent quanlity of positive product		
Positive product cost		
	Total	
	Positive product MC	
	Positive product SC	
	Positive product EC	
Negative product cost		
	Total	
	Negative product MC	
	Negative product SC	
	Negative product EC	
	Waste treatment cost	

2.4 จัดลำดับความสำคัญและกำหนดแนวทางปรับปรุงแก้ไขลดต้นทุนด้วยหลักการเกษตรทีดี

ผู้วิจัยได้วางแผนการกำหนดแนวทางการปรับปรุงโดยใช้เทคนิค Why-Why Analysis ในการวิเคราะห์หาสาเหตุตลอดจนการการหาแนวทางแก้ไขปัญหา ซึ่งสามารถลดปริมาณวัตถุดิบในการผลิตลงได้เริ่มจากการจัดลำดับความสำคัญจะใช้ผลิตภัณฑ์มูลค่าลบ (Negative Product) โดยนำต้นทุนที่มีค่าผลิตภัณฑ์มูลค่าลบ (Negative Product) ที่มีค่ามากที่สุดมาแก้ไขก่อน ร่วมกับการวิเคราะห์สาเหตุ Cause and Effect Diagram เพื่อกำหนดหาสาเหตุที่เกิดความสูญเสียในส่วนของ 4M (Man, Method, Material, Machine ซึ่งคือแปลงปลูก) ค้นหาปัจจัยที่เกิดเพื่อลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการหาแนวทางการแก้ไขปรับปรุงและลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการด้วยเทคนิควงจรบริหารงานคุณภาพต่อไปผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาจะบ่งบอกเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ เพื่อกำหนดการปรับปรุงการใช้ทรัพยากรและปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่เหมาะสมและลดความสูญเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตสตรอว์เบอร์รีและใช้ออกแบบกิจกรรมการดำเนินการลดต้นทุนแก่เกษตรกรและประยุกต์ใช้กิจกรรมที่ได้ออกแบบ เพื่อทดสอบแนวคิดในระดับแปลง ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวคิดการลดความสูญเสียแก่เกษตรกร โดยได้จัดกิจกรรมอบรมและให้ความรู้ รวมถึงกำหนดแนวทางการดำเนินการป้องกันการลดความสูญเสียให้แก่เกษตรกร อาทิ การออกแบบอุปกรณ์ในการดูแล และเก็บเกี่ยวผลผลิต การใช้อุปกรณ์ป้องกันความเสียหายในระหว่างเก็บเกี่ยว การปรับพื้นที่การทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการบรรจุและตรวจสอบโดยสมาชิกกลุ่ม การกำหนดโปรแกรม ZERO DEFECT และการสร้างแผนการเฝ้าระวังติดตามคุณภาพของเกษตรกร การสร้างคู่มือคุณภาพการทำงาน การสร้างคู่มือการวิเคราะห์และรายงานความสูญเสีย การสร้างเทคนิคการป้องกันของเสียจากนกและแมลงด้วยถุงผ้าคลุม การใช้สารป้องกันเพื่อลดเชื้อราในแปลงระหว่างฝนตก การลดการสะสมเชื้อราในแปลงหลังฝนตก ฯลฯ

2.5 การประเมินกำหนดแนวทางและดำเนินแผนการลดความสูญเสียและต้นทุนการปลูกสตรอว์เบอร์รีของเกษตรกรทั้งเครือข่าย

ผู้วิจัยจะใช้เทคนิคด้านการวิเคราะห์ข้อมูล ร่วมกับการจำลองสถาณการณ์ (Case Scenario Analysis) เข้าช่วยประเมินและกำหนดแนวทางที่สามารถนำมาใช้ลดความสูญเสียและลดต้นทุนแก่เกษตรกร จากนั้นจะคัดเลือกแนวทางและดำเนินการทดลองออกแบบการดำเนินงานการปลูกและดูแลจัดการสตรอว์เบอร์รีปรับปรุงการลดต้นทุน รวมถึงประเมินการดำเนินงานการลดต้นทุนและถ่ายทอดให้ความรู้แก่เกษตรกรในการปรับปรุง แก้ไขปัญหาโดยมีการรายงานทั้งในรูปของต้นทุนและโครงสร้างต้นทุนก่อนปรับปรุง และต้นทุนหลังการปรับปรุงการดำเนินงานดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพก้างปลาปัญหาโรครา

จากการศึกษาวิจัยพบว่าต้นทุนการผลิตสตรอว์เบอร์รี 10,000 ต้น ต้นทุนที่มากที่สุดคือ ค่าแรงซึ่งคิดเป็น 74.49 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ค่าต้นพันธุ์คิดเป็น 16.40 เปอร์เซ็นต์ ลำดับต่อมาคือ ค่าปุ๋ยคิดเป็น 9.69 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ ค่าวัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และสารชีวพันธ์ คิดเป็น 4.39 1.68 และ 0.001 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุพบว่าในการผลิตสตรอว์เบอร์รีต้นทุนที่มากที่สุดคือ System cost (SC) ซึ่งคิดเป็น 69.43 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถจำแนกเป็น positive product 64.53 เปอร์เซ็นต์ และ negative product 4.90 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ Material cost (MC) คิดเป็น 30.02 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถแบ่งเป็น positive product 27.60 เปอร์เซ็นต์ และ negative product 2.42 เปอร์เซ็นต์ และลำดับต่อมาคือ Energy cost (EC) คิดเป็น 0.55 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็น positive product 0.51 เปอร์เซ็นต์ และ negative product 0.04 เปอร์เซ็นต์ สำหรับของเสียพบว่าในกระบวนการผลิตสตรอว์เบอร์รีไม่พบของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการ ดังรูปที่ 3 Total cost (TC) ผลรวมของต้นทุนการผลิตสตรอว์เบอร์รีทั้งหมดพบว่า ในต้นทุนการผลิต 100.00 เปอร์เซ็นต์ แบ่งเป็น positive product 92.65 เปอร์เซ็นต์ และ negative product 7.35 เปอร์เซ็นต์

ผลจากการศึกษาวิจัยยังพบว่าเกิด negative product มากที่สุดในกระบวนการที่ 2 คือการดูแลรักษาต้นสตรอว์เบอร์รี ซึ่งพบว่าเกิดจาก System cost (SC) ซึ่งมาจากปัญหาโรค รา จึงได้ดำเนินการวางแผนหาแนวทางแก้ไขปัญหาโรค รา โดยออกแบบกิจกรรมเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสตรอว์เบอร์รี และนำไปประยุกต์ใช้ให้แก่เกษตรกร

3. สรุป

ผลการวิจัยและการดำเนินกิจกรรม ทำให้เกิดการถ่ายทอดองค์ความรู้ เพิ่มศักยภาพ ลดความสูญเสีย ลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตแก่เครือข่ายเกษตรกรบ้านหนองเต่า 42 ราย โดยใช้องค์ความรู้ด้านการควบคุมคุณภาพและการจัดการต้นทุนเป็นเครื่องมือ ผ่านกลไกในการดำเนินงานและส่งผ่านความรู้ด้วยการใช้การดำเนินกิจกรรมร่วมกับเกษตรกรผ่านการฝึกอบรมและการทดลองภาคสนาม เกิดกระบวนการลดต้นทุนและความสูญเสียเกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รี เกิดการเพิ่มศักยภาพและความสามารถของเกษตรกรให้มีความรู้ความเข้าใจในการดำเนินงานคลอบคลุมด้านการผสมปุ๋ย ปรับคุณภาพดิน การพัฒนาสารชีวพันธ์กำจัดโรคพืช การดูแลดอกสตรอว์เบอร์รี การเฝ้าระวังดูแลคุณภาพ ความหวาน และปริมาณผลผลิตรวมถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่มีประสิทธิภาพลดความสูญเสีย มีการสร้างนวัตกรรมเครื่องมือป้องกันความเสียหายผลผลิตด้วยถุงกันนก และหอยทาก มีการสร้างนวัตกรรมระบบการควบคุมคุณภาพกลุ่มด้วยนักวิจัยชุมชนและเกษตรกรนักควบคุมคุณภาพของชุมชน

ผลจากการคำนวณต้นทุนทำให้ผู้วิจัยสามารถเปรียบเทียบประสิทธิผลการดำเนินงานกิจกรรมตลอดช่วงระยะเวลาโดยพบว่าต้นทุนโดยรวมของเกษตรกรดีกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยมูลนิธิโครงการหลวง ซึ่งผลการดำเนินงานสามารถเปรียบเทียบให้เห็นได้ว่ากลุ่มเกษตรกรที่ได้รับการถ่ายทอดองค์ความรู้และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง สามารถลดต้นทุนในการดำเนินงานลงได้ 1,858 บาทต่อจำนวนการปลูก 10,000 ต้นต่อรายต่อรอบปีการปลูกและกลุ่มเกษตรกรทั้ง 42 รายยังสามารถลดค่าใช้จ่ายได้รวมกันเป็นจำนวน 40,608 บาท

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. (2563). แนวทางการลดการสูญเสียอาหาร (Food Loss).

[2] ชนานันท์ ปินค่าว (2555). “การประยุกต์ใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลวัสดุในกระบวนการผลิตเสื้อผ้ากรณีศึกษา บริษัท คอนเฟ็ดเดอร์เรทอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด.”การค้นคว้าแบบอิสระ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] ชนินาถ ศรีเพ็ญ (2556). “การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์บัญชีต้นทุนการไหลของวัสดุในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์.” การค้นคว้าแบบอิสระ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[4] วิชัย ฉัตรทินวัฒน์, นริศ เปรมธีรสมบูรณ. (2556). เล่าสู่กันฟัง MFCA. doi:http://www.ftpi.or.th .สืบค้นเมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน 2563

[5] สุทธิดา ชำนาญนิล. (2554). ต้นทุนและผลตอบแทนของการปลูกเสาวรสของเกษตรกรในอำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่. 89 หน้า.

[6] Nakajima, M. (2006). The new management accounting field established by material flow cost accounting (MFCA). Kansai University review of business and commerce, 8, 1-22.

การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการจัดการสินค้าคงคลังโดยประยุกต์ใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมประเภทอาหารเพื่อสุขภาพ

Increasing the Efficiency of Inventory Management by Applying the Decision Support System A Case Study in the Healthy Food Industry

สกุลทิพย์ ปัณฑิตธาดาพงศ์[1] สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: Suphattra.sr@spu.ac.th*

Sakultip Panthitthadaph[1] Suphattra Sriyanalugsana[1*]
[1]Department of Industrial Engineering, School of Engineering, Sripatum University
E-mail: Suphattra.sr@spu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบการจัดการสินค้าคงคลัง โดยการประยุกต์ใช้ระบบการสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System : DSS) การจัดกลุ่มของสินค้าคงคลังแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป วัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์ ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ ศึกษาขั้นตอนการจัดการสินค้าคงคลัง รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และการจัดทำระบบ DSS โดยระบบมีการจัดหมวดหมู่สินค้าคงคลัง (Inventory Categorization) กำหนดตัวชี้วัดของสินค้าคงคลังแต่ละกลุ่ม ได้แก่ มูลค่าสินค้าคงคลังในมือ (On Hand Value) ยอดขายหรือรายได้จากการขาย (Sale Revenue) อัตราการหมุนเวียนของสินค้า (Inventory Turnover) และอายุของสินค้าบนชั้นวาง (Shelf Aging) และกำหนดเกณฑ์ในการจัดกลุ่มสินค้าคงคลังในแต่ละตัวชี้วัดและแต่ละกลุ่ม เพื่อให้แบ่งประเภทของสินค้าคงคลังและมีข้อมูลที่สามารถเปรียบเทียบและตัดสินใจในการจัดการสินค้าคงคลังเพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้บริหารคลังสินค้าสามารถใช้งานได้อย่างรวดเร็ว ลดเวลาในการจัดทำรายงานการเรียกคืน (Mock Recall Report) จากเดิมเฉลี่ย 2 วัน เหลือเฉลี่ยประมาณ 30 นาที มีระบบในการประมวลผลข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นสามารถเรียกดูข้อมูลได้ทันที และมีข้อมูลสนับสนุนในการประเมินความเสี่ยงของการจัดการสินค้าคงคลัง

คำสำคัญ: การจัดการสินค้าคงคลัง, ระบบการสนับสนุนการตัดสินใจ, การจัดหมวดหมู่สินค้าคงคลัง

Abstract

This research aims to increase inventory management system efficiency by applying the Decision Support System (DSS). The inventory can be divided into three groups: raw materials, the finished product, packaging. The study approach involved four steps: the current inventory management process, data collection, data analysis and DSS preparation. The DSS includes Inventory Categorization to determine the inventory grouping by applying the inventory value, sales revenue, inventory turnover and shelf aging as criteria for inventory classification. Each inventory item can be classified by the criteria to process the decision information so that comparisons and inventory management decisions can be made with a tool that warehouse managers can use quickly to save time. The system reduced the Mock Recall report preparation from an average of 2 days to 30 minutes also was found to be more efficient and a good system to retrieve data immediately for prompt report preparation. Moreover, the manager can receive key inventory information to support risk assessment in inventory decision-making.

Keywords: Inventory Management, Decision Support System, Inventory Classification

1. บทนำ

โรงงานกรณีศึกษาประกอบกิจการผลิตจำหน่ายอาหารเพื่อสุขภาพที่ทำจากธัญพืชและสมุนไพรต่างๆ และพึ่งได้รับการรับรองมาตรฐานสากล คือ มาตรฐานสุขลักษณะที่ดีในการผลิตอาหาร (Good Hygiene Practices: GHPs) ปัจจุบันประสบปัญหาในเรื่องการจัดการสินค้าคงคลัง คือ ยังไม่ได้มีการสังเคราะห์ข้อมูลสินค้าคงคลังเพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้บริหาร การทำงานปัจจุบันใช้การจดบันทึกด้วยลายมือในการควบคุมการเบิกจ่าย หรือการตัดสต๊อก จึงเกิดความล่าช้าและความผิดพลาดในการเรียกข้อมูล ส่งผลให้บางครั้งไม่สามารถสอบย้อนกลับ (Traceability) ข้อมูลสินค้าได้ในกรณีที่ลูกค้ามีปัญหาทำให้ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดข้อ 7.5 เกี่ยวกับการเรียกคืน (Recall) ของระบบ GHPs [1] และเกิดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นเกี่ยวกับการจัดการคลังสินค้า เช่น สั่งวัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์มาสต๊อกเกินความจำเป็น การบริหารคลังสินค้าสำเร็จรูปมีความผิดพลาด เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบการจัดการสินค้าคงคลัง โดยการประยุกต์ใช้ระบบ DSS เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจให้กับผู้บริหาร และเพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับมาตรฐาน GHPs

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System: DSS)

ระบบ DSS เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร [2] ส่วนประกอบของระบบ DSS ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1.ส่วนจัดการข้อมูล 2.ส่วนจัดการแบบ (Model) 3.ส่วนการจัดการการโต้ตอบ (Dialogue Management Subsystem) [3] การพัฒนาระบบ DSS ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1.การใช้ความคิดประกอบเหตุผล (Intelligence) เป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลมาวิเคราะห์และตรวจสอบเพื่อแยกแยะและกำหนดรายละเอียดของปัญหา 2. การออกแบบ (Design) เป็นขั้นตอนการพัฒนาและวิเคราะห์ทางเลือกในการปฏิบัติที่เป็นไปได้ รวมถึงการตรวจสอบและประเมินทางเลือกในการแก้ปัญหา 3.การคัดเลือก (Choice) เป็นขั้นตอนที่ผู้ตัดสินใจจะเลือกแนวทางเลือกที่เหมาะสมกับปัญหาโดยใช้เครื่องมือมาช่วยวิเคราะห์ คำนวณค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนของแต่ละแนวทางเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าได้เลือกแนวทางที่ดีที่สุด 4.การนำไปใช้ (Implementation) เป็นขั้นตอนที่นำผลการตัดสินใจไปปฏิบัติและติดตามผลของการปฏิบัติ

2.2 การจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory management)

การจัดการสินค้าคงคลังเป็นกุญแจสำคัญที่จะผลักดันให้ธุรกิจสามารถอยู่ได้อย่างยั่งยืนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (Small- and Medium-Sized Enterprises: SMEs) [4-6] วิธีการที่สำคัญในการจัดการสินค้าคงคลังทำได้โดยการจัดหมวดหมู่สินค้าคงคลัง (Inventory Categorization) ซึ่งมีหลายวิธี ประกอบด้วย 1. การจำแนกประเภทสินค้าคงคลังเกณฑ์เดียว (Single Criteria Inventory Classification) เช่น การจำแนกสินค้าคงคลังเป็นหมวดเอบีซี (ABC Classification) โดยพิจารณามูลค่า (Value) หรือการจำแนกโดยใช้ตัวชี้วัดอื่นๆ เช่น มูลค่าสินค้าคงคลังในมือ (On Hand Value) ยอดขาย (Sale revenue) อัตราการหมุนเวียนของสินค้าคงคลัง (Inventory Turnover) และอายุของสินค้าบนชั้นวาง (Shelf Aging) [4] 2. การจำแนกประเภทสินค้าคงคลังแบบ Bi-Criteria (Bi-Criteria Inventory Classification) และ 3. การจำแนกประเภทสินค้าคงคลังหลายเกณฑ์ (Multi Criteria Inventory Classification) [7-8]

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานตามลำดับดังนี้

3.1 การศึกษาข้อมูลโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงาน SME ซึ่งผลิตและจำหน่ายอาหารเพื่อสุขภาพ มีผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป อยู่ประมาณ 40 SKUs มีมูลค่าโดยรวมทั้งหมดประมาณ 3 แสนบาท คิดเป็น 8 % ของมูลค่าสินค้าคงคลัง โดยอาหารที่เป็นประเภทลูกเดือยอบกรอบจะมีอายุผลิตภัณฑ์ 6 เดือน เครื่องดื่มที่ผสมด้วยจมูกข้าวและสาหร่ายปรุงรสจะมีอายุผลิตภัณฑ์ 9 เดือน อาหารประเภทขนมอบกรอบและเครื่องดื่มอื่นๆจะมีอายุผลิตภัณฑ์ 12 เดือน วัตถุดิบ อยู่ประมาณ 50 SKUs ซึ่งมีมูลค่าโดยรวมทั้งหมดประมาณ 1.4 ล้านบาท คิดเป็น 38% ของมูลค่าสินค้าคงคลัง และบรรจุภัณฑ์ อยู่ประมาณ 43 SKUs ซึ่งมีมูลค่าโดยรวมทั้งหมดประมาณ 2.1 ล้านบาท คิดเป็น 53%ของมูลค่าสินค้าคงคลัง

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสินค้าคงคลัง ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป วัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์ โดยเก็บข้อมูลของปี พ.ศ. 2562 และข้อมูลของปี พ.ศ. 2563

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้ง 3 กลุ่มและนำมาวิเคราะห์ พบว่าการจัดการคลังสินค้ามีเพียงการตัดสต๊อกในแต่ละวัน และบันทึกลงแบบฟอร์ม ยังไม่มีการวิเคราะห์จัดประเภทตามความสำคัญ ไม่มีการใช้ตัวชี้วัดมาวิเคราะห์และจัดเรียงทำให้การบริหารสินค้าคงคลังขาดประสิทธิภาพ ไม่มีข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจให้กับผู้บริหาร งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดตัวชี้วัดขึ้นมา 4 ตัว คือ มูลค่าสินค้าคงคลัง (On Hand Value) ยอดขายหรือรายได้จากการขาย (Sale Revenue) อัตราการหมุนเวียนของสินค้า (Inventory Turnover) และอายุของสินค้าบนชั้นวาง (Shelf Aging) ซึ่งในแต่ละกลุ่มมีการใช้ตัวชี้วัดโดยพิจารณาจากตัวชี้วัดแบบเกณฑ์เดี่ยว ดังนี้

ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป คือ สิ่งที่เสนอขายเพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภคให้ได้รับความพึงพอใจ ใช้ตัวชี้วัด คือ 1. ยอดขาย คิดจากรายได้ที่เกิดจากการขายสินค้า 2. อัตราการหมุนเวียนของสินค้า คิด

จากจำนวนครั้งที่สามารถขายสินค้าคงคลังออกไปได้ 3. อายุของสินค้าบนชั้นวาง คิดจากอายุของสินค้าที่อยู่ในคลัง

วัตถุดิบ คือ ของที่ซื้อมาเพื่อใช้เป็นส่วนผสมหรือส่วนประกอบในการผลิตสินค้าสำเร็จรูป และบรรจุภัณฑ์ คือ วัสดุใดๆ ที่นำมาใช้สำหรับห่อหุ้ม ป้องกัน ลำเลียง จัดส่ง โดยวัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์จะใช้ตัวชี้วัดเหมือนกัน คือ 1. มูลค่าสินค้าคงคลังในมือ คิดจากราคาของวัตถุดิบหรือบรรจุภัณฑ์ และ 2. อายุของสินค้าบนชั้นวาง คิดจากอายุของวัตถุดิบหรือบรรจุภัณฑ์ที่อยู่ในคลัง

ในการจัดกลุ่มของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป วัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์ จะทำการแบ่งแต่ละกลุ่มเป็น 3 ระดับ คือ ระดับ A B และ C ตามลำดับ งานวิจัยนี้ได้เรียกชื่อการจัดกลุ่ม ABC (ABC Categorization) โดยที่จากการระดมสมองร่วมกับทางโรงงานกรณีศึกษา ได้สรุปเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มนอกจากใช้เกณฑ์เดี่ยวแล้ว งานวิจัยนี้ยังใช้เกณฑ์การจำแนกประเภทสินค้าคงคลังหลายเกณฑ์ด้วย คือ สำหรับผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจะวัดพร้อมกันโดย 3 ตัวชี้วัดที่กำหนด ส่วนวัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์ จะวัดแบบเกณฑ์คู่ หรือ 2 ตัวชี้วัดที่กำหนดพร้อมกัน การระดมสมองร่วมกันทางโรงงานกรณีศึกษาได้ให้ความสำคัญของแต่ละตัวชี้วัดแต่ละตัวไม่เท่ากัน จึงใช้การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average) ตามสมการที่ (1)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average)

$$= \frac{\sum(\text{ระดับคะแนนของตัวชี้วัด} \times \text{ค่าน้ำหนักของตัวชี้วัด})}{\sum \text{ค่าน้ำหนักของตัวชี้วัด}} \quad (1)$$

เนื่องจากหน่วยของแต่ละตัวชี้วัดไม่เหมือนกัน งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญของแต่ละตัวชี้วัดออกมาในรูปแบบคะแนนหรือน้ำหนักของข้อมูล เพื่อที่จะสามารถนำตัวชี้วัดแต่ละตัวมาคิดคะแนนรวมเพื่อหาค่าเฉลี่ยเพื่อการจัดกลุ่มสินค้าและวัสดุคงคลังสินค้าคงคลัง (Inventory Categorization)

3.4 การนำระบบ DSS มาประยุกต์ใช้

3.4.1 การจัดการฐานข้อมูล (Data Base) ประกอบด้วยฐานข้อมูลของยอดขาย ข้อมูลการเคลื่อนไหวของวัตถุดิบ และข้อมูลการเคลื่อนไหวของบรรจุภัณฑ์ บทความนี้ขอยกตัวอย่างข้อมูลของผลิตภัณฑ์ ปี พ.ศ.2562 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลยอดขายของผลิตภัณฑ์

รายการสินค้า	ราคา (บาท)	รายได้ (บาท)	อายุของสินค้า (เดือน)
แครกเกอร์ธัญพืช	43	3,073,253.00	12
งาธรรมชาติอบ	26	643,552.00	12

นอกจากนั้นระหว่างการศึกษาข้อมูลได้ทำการวิเคราะห์ปรับปรุงการลดเวลาโดยลดขั้นตอนของการบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวของวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ในบัตรควบคุม (Stock Card) โดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) ช่วยในการวิเคราะห์ทำให้สามารถลดเวลาโดยลดขั้นตอนของบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวของวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ โดยการใช้โปรแกรม Microsoft Excel แทนการบันทึกด้วยลายมือลงแบบฟอร์ม จากเดิมที่ใช้เวลาในการบันทึกประมวลผลข้อมูลทั้งหมด 20.61 นาที หลังปรับปรุงใช้เวลาในการบันทึกประมวลผลข้อมูลทั้งหมด 9.33 นาที ทำให้สามารถลดเวลาการบันทึกประมวลผลข้อมูลไปได้ทั้งหมด 11.28 นาที

3.4.2 การจัดการแบบ (Model) ในส่วนนี้จะทำการจำแนกประเภทโดยพิจารณาจากตัวชี้วัดที่กำหนดขึ้นมา 4 ตัว คือ มูลค่าสินค้าคงคลังในมือ (On Hand Value) ยอดขายหรือรายได้จากการขาย (Sale Revenue) อัตราการหมุนเวียนของสินค้า (Inventory Turnover) และอายุของสินค้าบนชั้นวาง (Shelf Aging) สำหรับผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจะวัดพร้อมกันโดย 3 ตัวชี้วัดที่กำหนด ส่วนวัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์ จะวัดแบบเกณฑ์คู่ หรือ 2 ตัวชี้วัดที่กำหนดพร้อมกัน มีการให้ความสำคัญของแต่ละตัวชี้วัดออกมาในรูปแบบคะแนน หรือน้ำหนักของข้อมูล และหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average)

ดังนั้นน้ำหนักของตัวชี้วัด หรือคะแนนของแต่ละกลุ่มข้อมูลให้คะแนนเต็ม 9 คะแนนสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เนื่องจากพิจารณาจาก 3 ตัวชี้วัด ยอดขาย (Sale Revenue) 9 คะแนน อัตราการหมุนเวียนของสินค้า (Inventory Turnover) 6 คะแนน และอายุของสินค้าบนชั้นวาง (Shelf Aging) 3 คะแนน สำหรับวัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์ ให้คะแนนเต็ม 10 คะแนน โดยพิจารณาจาก 2 ตัวชี้วัด มูลค่า (Value) มีคะแนนเต็ม 10 คะแนน อายุของสินค้าบนชั้นวาง (Shelf Aging) คะแนนเต็ม 5 คะแนน

ในบทความนี้ยกตัวอย่างเกณฑ์การแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ปี พ.ศ. 2562 ของแต่ละตัวชี้วัดจะมีเกณฑ์การแบ่งกลุ่ม ดังตารางที่ 2-4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2 ระดับชั้นช่วงคะแนนของตัวชี้วัดยอดขาย และการจัดกลุ่มของผลิตภัณฑ์

รายได้จากการขาย	ระดับชั้นช่วงคะแนน	กลุ่ม
2,400,000 - 3,100,000	6	C
1,000,000 - 2,300,000	5	C
600,000 - 900,000	4	B
200,000 - 500,000	3	B
60,000 - 100,000	2	A
1 - 50,000	1	A

เกณฑ์การแบ่งกลุ่มของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ปี พ.ศ.2562 จากตัวชี้วัดยอดขาย (Sale Revenue) กลุ่ม A รายได้จากการขายประมาณ 6 หมื่นบาทลงไป ควรจะเป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลเป็นพิเศษ กลุ่ม B รายได้จากการขายประมาณ 2 แสนบาท ถึง 9 แสนบาท ควรจะเป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลปานกลาง กลุ่ม C รายได้จากการขายประมาณ

1 ล้านบาทถึง 3.1 ล้านบาท ควรจะเป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลแบบสุ่มตรวจ

ตารางที่ 3 ระดับชั้นช่วงคะแนนของตัวชี้วัดการหมุนเวียนของสินค้าและการจัดกลุ่มของผลิตภัณฑ์

Turnover (รอบ/ปี)	ระดับคะแนน	กลุ่ม
13 รอบขึ้นไป	6	C
11 - 12	5	C
8 - 10	4	B
5 - 7	3	B
2 - 4	2	A
<= 1	1	A

เกณฑ์การแบ่งกลุ่มของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ปี พ.ศ.2562 จากตัวชี้วัดอัตราการหมุนเวียนของสินค้า (Inventory Turnover) กลุ่ม A อัตราการหมุนเวียน 4 รอบลงไปเป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลเป็นพิเศษ กลุ่ม B อัตราการหมุนเวียนประมาณ 5 รอบถึง 10 รอบ เป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลปานกลาง กลุ่ม C ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการหมุนเวียน 13 รอบขึ้นไป เป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลแบบสุ่มตรวจ

ตารางที่ 4 ระดับชั้นช่วงคะแนนของตัวชี้วัดอายุของสินค้าบนชั้นวาง (Shelf Aging) และการจัดกลุ่มของผลิตภัณฑ์

Shelf Aging (วัน)	ระดับคะแนน	กลุ่ม
1 - 3	6	C
4 - 6	5	C
7 - 9	4	B
10 - 20	3	B
21 - 30	2	A
31 วันขึ้นไป	1	A

เกณฑ์การแบ่งกลุ่มของผลิตภัณฑ์ ปี พ.ศ. 2562 จากตัวชี้วัด อายุของสินค้าบนชั้นวาง (Shelf Aging) กลุ่ม A ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุค้างอยู่ในคลังประมาณ 21 วันขึ้นไปเป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลเป็นพิเศษ กลุ่ม B ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุค้างอยู่ในคลังประมาณ 7 วันถึง 20 วัน เป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลปานกลาง กลุ่ม C ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุค้างอยู่ในคลังประมาณ 6 วันลงไป เป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลแบบสุ่มตรวจ

หลังจากการแบ่งระดับชั้นช่วงคะแนนของแต่ละตัวชี้วัดแล้วทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักจากทั้ง 3 ตัวชี้วัด คือ ยอดขาย อัตราการหมุนเวียน และอายุของสินค้าบนชั้นวาง ของข้อมูลผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ผลการคำนวณแสดงดังตัวอย่าง

ยกตัวอย่าง แครกเกอร์ธัญพืช ((6×9)+(6×6)+(5×3)) ÷ 18 = 5.83

การจัดกลุ่มสินค้าและวัสดุคงคลังสินค้าคงคลัง (ABC Categorization) ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ปี พ.ศ. 2562 ซึ่งแบ่งกลุ่มจากระดับชั้นช่วงคะแนนสามารถจัดกลุ่มได้เป็นค่าเฉลี่ยและแบ่งออกมาเป็นสี ดังนี้

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.00 – 2.00 จะอยู่ในกลุ่ม A ■ กลุ่มสีแดง เป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลเป็นพิเศษ ความถี่สูง เช่น ทบทวนทุกสัปดาห์

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.01 – 4.99 จะอยู่ในกลุ่ม B ■ กลุ่มสีเหลือง เป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลปานกลาง ความถี่ปานกลาง เช่น ทบทวนเดือนละครั้ง

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 5.00 – 6.00 จะอยู่ในกลุ่ม C ■ กลุ่มสีเขียว เป็นกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลแบบสุ่มตรวจ ความถี่ต่ำ เช่น ทบทวนทุกไตรมาส

ค่าเฉลี่ยดังกล่าวที่ได้มานั้น เกิดจากการคำนวณโดยใช้ขอบบน – ขอบล่างของแต่ละกลุ่ม ซึ่งมีกลุ่ม A B และ C ของในแต่ละตัวชี้วัดมาคิด ซึ่งค่าขอบบน – ขอบล่างจะใช้ระดับชั้นช่วงคะแนนที่แสดงดังตารางที่ 2 – 4 มาใช้ในการคำนวณโดยใช้สูตรค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักดังสมการ (1)

จากการนำหลักการการจัดกลุ่มสินค้าและวัสดุคงคลังสินค้าคงคลังเข้ามาเพื่อช่วยในการจำแนกประเภทข้อมูลที่ได้รวบรวมและคำนวณออกมา เพื่อจัดลำดับความสำคัญของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจของผู้บริหาร แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการจำแนกประเภทสินค้าคงคลังแบบสามเกณฑ์ในการจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์ ปี พ.ศ. 2562

รายการสินค้า	ยอดขาย	อัตราการหมุนเวียนสินค้า	อายุของสินค้า	ค่าเฉลี่ย	กลุ่ม
น้ำตาลทรายแดง	53,564	3	30	1.50	A
แครกเกอร์สาหร่าย	1,630,947	7	4	4.33	B
แครกเกอร์ธัญพืช	3,073,253	14.2	4	5.83	C

3.4.3 การจัดการโต้ตอบ หรือเรียกว่าส่วนจัดการประสานผู้ใช้ (User Interface Management) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างผู้ใช้กับระบบ เพื่อให้การติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้กับระบบเป็นไปด้วยความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ผู้ใช้สามารถควบคุมข้อมูลนำเข้าและรูปแบบจำลองรวมอยู่ในการวิเคราะห์ได้ โดยมีข้อมูลนำเข้า (Input) ทั้ง 3 ประเภท คือ ข้อมูลผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ข้อมูลวัตถุดิบ และข้อมูลบรรจุภัณฑ์ และข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลแล้ว (Output) คือ การประมวลผลการวิเคราะห์ทางออนไลน์ (Online Analytical Processing: OLAP) โดยการใช้ Microsoft Access โดยผู้ใช้งาน (User) จะใช้โปรแกรม Microsoft Access เพื่อค้นหาข้อมูล และสามารถตัดสินใจในการจัดการสินค้าคงคลัง ได้อย่างรวดเร็วและประหยัดเวลาในการปฏิบัติงาน

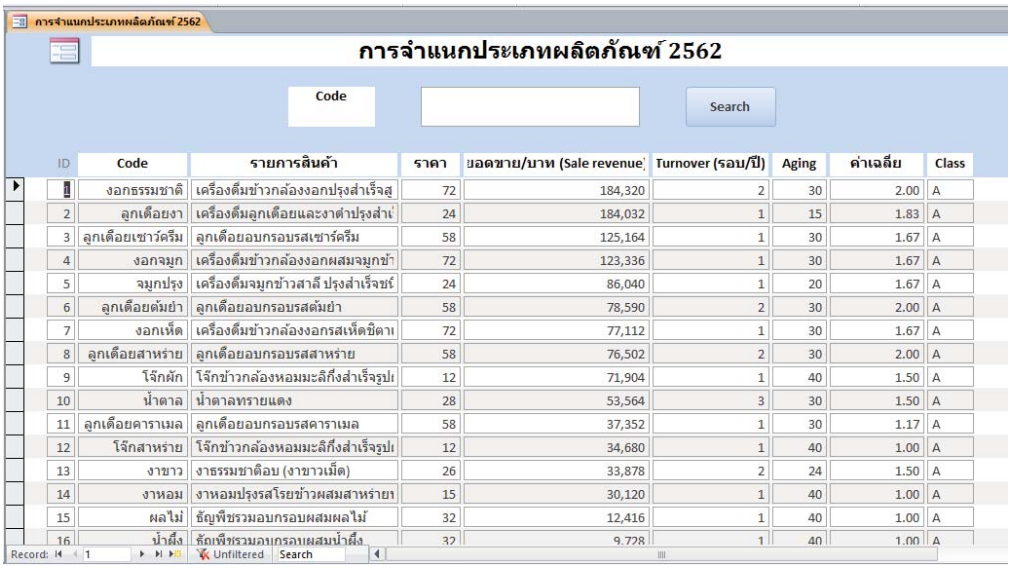
ยกตัวอย่างวิธีการใช้โปรแกรม Microsoft Access เพื่อดูผลลัพธ์ที่ได้ จากตารางที่ 5 ในกลุ่มผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป สามารถพิจารณาจากตัวชี้วัดแบบเกณฑ์เดี่ยวและแบบสามเกณฑ์

เกณฑ์เดี่ยวดูได้จากตัวชี้วัด ยอดขาย (Sale Revenue) ในกลุ่ม A ดูจากรายได้จากการขายที่ต่ำกว่าเกณฑ์ กลุ่ม B ดูได้จากรายได้จากการขายที่อยู่ในจุดเสี่ยง และกลุ่ม C ดูได้จากรายได้จากการขายที่ขายได้ตามปกติ อัตราการหมุนเวียนของสินค้า (Inventory Turnover) ในกลุ่ม A ดูได้จากอัตราการหมุนเวียนที่ต่ำกว่าเกณฑ์ กลุ่ม B ดูได้จากอัตราการหมุนเวียนที่อยู่ในจุดเสี่ยง และกลุ่ม C ดูได้จากอัตราการหมุนเวียนที่อยู่ในเกณฑ์ปกติ อายุของสินค้าบนชั้นวาง (Shelf Aging) ในกลุ่ม A ดูได้จากของที่ค้างอยู่ในคลังเป็นเวลานานกว่าปกติ กลุ่ม B ดูได้จากของที่ค้างอยู่ในคลังเป็นเวลาที่อยู่ในจุดเสี่ยง และกลุ่ม C ดูได้จากของที่ค้างอยู่ในคลังเป็นเวลาไม่นาน

สามเกณฑ์สามารถดูรวมทั้ง 3 ตัวชี้วัดได้ โดยในกลุ่ม A ดูรายได้จากการขายที่ต่ำกว่าเกณฑ์ อัตราการหมุนเวียนที่ต่ำกว่าเกณฑ์ และของที่ค้างอยู่ในคลังเป็นเวลานานกว่าปกติ กลุ่ม B ดูรายได้จากการขายที่อยู่ในจุดเสี่ยง อัตราการหมุนเวียนที่อยู่ในจุดเสี่ยง และของที่ค้างอยู่ในคลังเป็นเวลาที่อยู่ในจุดเสี่ยง กลุ่ม C ดูรายได้จากการขายที่ขายได้ตามปกติ อัตราการหมุนเวียนที่อยู่ในเกณฑ์ปกติ และของที่ค้างอยู่ในคลังเป็นเวลาไม่นาน

จากการจัดกลุ่มของผลิตภัณฑ์จากการจำแนกประเภทของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป วัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์ โดยในผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปโรงงานกรณีศึกษาเน้นพิจารณารายได้จากการขายมากที่สุด ส่วนในวัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์ โรงงานกรณีศึกษาจะเน้นพิจารณามูลค่ามากที่สุด ซึ่งมีมาตรการเพื่อให้ผู้บริหารสามารถตัดสินใจเพื่อจัดการต่อไปได้ดังนี้

กลุ่มผลิตภัณฑ์ กลุ่ม A คือ กลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ขายไม่ค่อยได้ ไม่สามารถทำกำไรให้กับบริษัทได้เลย กลุ่ม B คือ กลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลปานกลาง เนื่องจากเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำกำไรให้กับบริษัทได้แค่ประมาณหนึ่งซึ่งไม่มากนัก และกลุ่ม C คือ กลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลแบบสุ่มตรวจ เนื่องจากเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำกำไรให้กับบริษัทได้อย่างมาก ผู้ประกอบการสามารถจัดการได้ ดังนี้ มาตราการจัดการในมุมมองของการตลาด (Marketing) เช่น จัดโปรโมชั่น จัดทำโฆษณาให้มากขึ้น เป็นต้น มาตราการจัดการในมุมมองของคลังสินค้า (Warehouse) เช่น เลิกผลิตในผลิตภัณฑ์ที่ขายไม่ค่อยได้ ลดปริมาณการผลิตลงหรือเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากขึ้น เป็นต้น ส่วนในกลุ่มวัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์ดูแลและควบคุมเหมือนกัน เนื่องจากในวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์จะมีลักษณะความต้องการแปรผันตามผลิตภัณฑ์ ผู้ประกอบการสามารถจัดการได้ ดังนี้ กลุ่ม A คือ กลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลเป็นพิเศษ เนื่องจากมีของค้างอยู่ในคลังเป็นจำนวนมาก กลุ่ม B คือ กลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลปานกลาง เนื่องจากมีของค้างอยู่ในคลังอยู่ในปริมาณที่อยู่ในจุดเสี่ยง ผู้ประกอบการสามารถจัดการได้ ดังนี้ ดูแลและตรวจสอบ รวมถึงการจดบันทึกอย่างละเอียดรอบคอบ เมื่อมีการเบิกไปใช้ คอยตรวจความเรียบร้อยทั้งก่อนการนำไปใช้และหลังการนำไปใช้ และกลุ่ม C คือกลุ่มที่ต้องควบคุมดูแลแบบสุ่มตรวจ ซึ่งถึงจะมีของค้างอยู่ในคลังเป็นจำนวนน้อยก็ตาม แต่ก็ควรสุ่มตรวจดูแลอย่างรอบคอบอาจจะดูแลเป็นระยะโดยการตรวจสอบทุก ๆ สัปดาห์ ยกตัวอย่างวิธีการใช้โปรแกรม Microsoft Access เพื่อค้นหาข้อมูลที่ได้ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ปี พ.ศ. 2562 แสดงดังรูปที่ 1


การจำแนกประเภทผลิตภัณฑ์ 2562

การจำแนกประเภทผลิตภัณฑ์ 2562

Code | Search

ID	Code	รายการสินค้า	ราคา	ยอดขาย/บาท (Sale revenue)	Turnover (รอบ/ปี)	Aging	ค่าเฉลี่ย	Class
1	งอกธรรมชาติ	เครื่องดื่มข้าวกล้องงอกปรุงสำเร็จสู	72	184,320	2	30	2.00	A
2	ลูกเดือยงา	เครื่องดื่มลูกเดือยและงาดำปรุงสำเ	24	184,032	1	15	1.83	A
3	ลูกเดือยเชาว์ครีม	ลูกเดือยอบกรอบรสเชาว์ครีม	58	125,164	1	30	1.67	A
4	งอกจมูก	เครื่องดื่มข้าวกล้องงอกผสมจมูกข้า	72	123,336	1	30	1.67	A
5	จมูกปรุง	เครื่องดื่มจมูกข้าวสาลี ปรุงสำเร็จชนิ	24	86,040	1	20	1.67	A
6	ลูกเดือยต้มยำ	ลูกเดือยอบกรอบรสต้มยำ	58	78,590	2	30	2.00	A
7	งอกเห็ด	เครื่องดื่มข้าวกล้องงอกรสเห็ดชิตาเ	72	77,112	1	30	1.67	A
8	ลูกเดือยสาหร่าย	ลูกเดือยอบกรอบรสสาหร่าย	58	76,502	2	30	2.00	A
9	โจ๊กผัก	โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปเ	12	71,904	1	40	1.50	A
10	น้ำตาล	น้ำตาลทรายแดง	28	53,564	3	30	1.50	A
11	ลูกเดือยคาราเมล	ลูกเดือยอบกรอบรสคาราเมล	58	37,352	1	30	1.17	A
12	โจ๊กสาหร่าย	โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปเ	12	34,680	1	40	1.00	A
13	งาขาว	งาธรรมชาติอบ (งาขาวเม็ด)	26	33,878	2	24	1.50	A
14	งาหอม	งาหอมปรุงรสโรยข้าวผสมสาหร่ายร	15	30,120	1	40	1.00	A
15	ผลไม้	ธัญพืชรวมอบกรอบผสมผลไม้	32	12,416	1	40	1.00	A
16	น้ำผึ้ง	ธัญพืชรวมอบกรอบผสมน้ำผึ้ง	32	9,728	1	40	1.00	A

Record: 1 | Unfiltered | Search

รูปที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป พ.ศ. 2562 ใน Microsoft Access

4. สรุปและเสนอแนะ

การนำระบบ DSS เข้ามาประยุกต์ใช้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในระบบการจัดการสินค้าคงคลัง ทำผู้ใช้งานประหยัดเวลาในการค้นหาข้อมูล และสามารถจัดการสินค้าคงคลังได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถเรียกดูข้อมูลได้ทันที มีข้อมูลสนับสนุนในการประเมินความเสี่ยงของการจัดการสินค้าคงคลัง ผู้บริหารมีข้อมูลสนับสนุนในการตัดสินใจหลายมุมมองทั้งการพิจารณาทีละเกณฑ์แต่ละตัวชี้วัด และพิจารณาทุกตัวชี้วัดพร้อม ๆ กัน ซึ่งจะให้มุมมองที่แตกต่างกัน เช่น การจัดการสินค้าคงคลังกลุ่มบรรจุภัณฑ์จากข้อมูลที่ได้ทำการจัดทำเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มบรรจุภัณฑ์สามารถเลือกใช้เกณฑ์คู่ช่วยในการแบ่งกลุ่ม โดยพิจารณาจากมูลค่าของบรรจุภัณฑ์คงคลังในมือ และอายุของบรรจุภัณฑ์บนชั้นวาง ซึ่งจะทำให้สามารถทราบถึงปริมาณบรรจุภัณฑ์ที่มีเก็บไว้นานและมีมูลค่าสูง ตามเงื่อนไขในระบบ เพื่อให้สามารถกำหนดนโยบายทางด้านบรรจุภัณฑ์คงคลังที่เหมาะสมต่อไปได้ เช่น การปรับนโยบายการจัดหาของบรรจุภัณฑ์ที่ควรปรับปรุง นอกจากนี้หากต้องการข้อมูลเพียงเกณฑ์ใดเกณฑ์หนึ่งก็ สามารถเลือกดึงข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์ได้ รวมทั้งผู้ใช้งานสามารถสอบย้อนกลับข้อมูลสินค้าได้อย่างถูกต้อง สอดคล้องข้อกำหนดมาตรฐาน GHPs สามารถลดเวลาในการจัดทำรายงานการเรียกคืน (Mock Recall Report) จากเดิมเฉลี่ย 2 วัน เหลือเฉลี่ยประมาณ 30 นาที

ในอนาคตในการจัดเก็บข้อมูลควรทำเป็นระบบ เช่น Microsoft Access เพื่อการค้นหาและจัดการกับสินค้าคงคลังได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น ควรสร้างรหัสสินค้า (Product Code) ที่เป็นระบบเพื่อใช้ระบุสินค้าคงคลัง และง่ายต่อการจำแนกประเภทสินค้าคงคลัง (Inventory) และพิจารณาตัวชี้วัดอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ระยะเวลาในการรอคอยสินค้า (Lead Time) กำไร (profit) วันหมดอายุของสินค้า (Expire Date) เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้การสนับสนุน และขอขอบคุณ ผศ.ดร. สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ และช่วยปรับแก้ไขจนกระทั่งบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] The Food and Agriculture Organization. “General Principles of Food Hygiene CXC 1- 1969” . Online document https: / / www. fao. org/ fao- who- codexalimentarius/ codex-texts/codes-of-practice/en/ accessed on March 31 2022

[2] กุลกันยา ศรีสุข, วีระชัย คอนจอหอ, พัฒนพงษ์ วันจันทึก, กฤตชน วงศ์รัตน์. 2557. “ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการจัดการอุตสาหกรรมพลาสติกรีไซเคิล”. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, ปีที่ 9, ฉบับที่ 2: 59-68.

[3] S. Vicki L. Decision Support Systems for Business Intelligence, 2nd ed., A John Wiley & Sons, 2010.

[4] S. Sriyanalugsana and K. Suwantararangsri. 2020. “The key Development to enhance Inventory Management for a new Insect Snack Food SME in Thailand” . Kasem Bundit Engineering Journal, Vol.10 (1): 64-80.

[5] J. Breivik. 2019. “Retail chain affiliation and time trend effects on inventory turnover in Norwegian SMEs”. Cogent Business & Management, Vol.6 (1): 1-17.

[6] O. Monisola. 2013. “An assessment of inventory management in small and medium scale industrial enterprises in Nigeria”. European Journal of Business and Management, Vol 5 (28):150-159.

[7] N. Pandya Shiv and D. Darshak A. 2019. “ Inventory Categorization Techniques for Effective Inventory Management” , Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, Vol 6 (1): 689-700.

[8] G.O. Odu. 2019. “Weighting methods for multi-criteria decision-making technique” , Journal of Applied Sciences and Environmental Management, Vol 23 (8): 1449-1457.

การหาจุดเหมาะสมของสภาวะปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหล่อเครื่องประดับกำไลข้อมือทองเหลืองโดยใช้การออกแบบส่วนประสมกลาง

Optimization of Parameters Affecting Jewelry-Bodied Casting Process of Brass Bracelet by Using Central Composite Design

จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์[1*] ประจวบ กล่อมจิตร[1] สิทธิชัย แซ่เหล่ม[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: j_pen2000@outlook.com[*]

ChanpenAnurattananon[1*]Prachuab Klomjit[1]Sittichai Saelem[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: j_pen2000@outlook.com[1*]

บทคัดย่อ

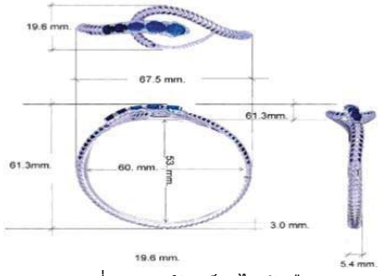
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยและหาจุดเหมาะสมที่มีผลต่อการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับโดยใช้อัลลอยด์ของทองเหลืองชนิดใหม่กับผลิตภัณฑ์กำไลข้อมือคือ Cu-28Zn 97%ผสมกับ ADC12 3% โดยใช้การออกแบบส่วนประสมกลาง(Central Composite Design:CCD) มากำหนดระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัย 5 ระดับ และศึกษาปัจจัย 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิเทน้ำหล่อโลหะ และอุณหภูมิเบ้าหล่อโลหะ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลโดยนำไปตรวจสอบจำนวนชิ้นงานดีและชิ้นงานเสียเพื่อหาค่าผลผลิตและทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติด้วยโปรแกรม MinitabVersion 16 หลังการศึกษาพบว่า ปัจจัย 2 ปัจจัยมีผลต่อค่าผลผลิต โดยที่จุดเหมาะสมมีค่าผลผลิตของชิ้นงานเท่ากับ 101.62% โดยระดับสภาวะของปัจจัยคืออุณหภูมิเทน้ำโลหะมีค่าเท่ากับ 1079.47องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเบ้าหล่อโลหะมีค่าเท่ากับ 625.25 องศาเซลเซียส
คาสาคัญ: จุดเหมาะสม, การทดลองแบบส่วนผสมกลาง, อัลลอยด์ของทองเหลืองชนิดใหม่

Abstract

The objective of this research is to study factors and find optimization of factors affecting to Jewelry-bodied casting process of Bracelet is Cu-28Zn 97% combine with ADC12 3%. By using Central Composite Design (CCD) with five levels in each factor, there were two factors included Pouring Temperature and Mold Temperature. The research's data were collected by verifying defective specimens to estimate yield, after that the statistical data were analyzed by using MinitabVersion 16. The result was found that such two factors affected yield of the specimens. The optimum point of yield was 101.617% by optimum of Pouring Temperature of 1079.465 °C and Mold Temperature of 625.245 °C.
Keywords: Optimization, Central Composite Design, New Brass Alloy

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเครื่องประดับและอัญมณีเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้เข้าประเทศอย่างมหาศาล โดยเป็นสินค้าส่งออกติดอันดับ 1 ใน 5 ของประเทศไทยที่มีมูลค่าการส่งออกสูงที่สุดและเนื่องจากการแข่งขันด้านอุตสาหกรรมเครื่องประดับที่สูงขึ้น ส่งผลให้อุตสาหกรรมน้อยใหญ่ต่างพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ โดยมุ่งเน้นที่คุณภาพและผลผลิตเป็นหลักเพื่อความได้เปรียบในท้องตลาด ทางบริษัทกรณีศึกษาจึงใช้อัลลอยด์ทองเหลืองชนิดใหม่คือ Cu-28Zn 97% ผสมกับ ADC12 3%ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กำไลข้อมือเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1ผลิตภัณฑ์กำไลข้อมือ

การกำหนดสภาวะของการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อคุณภาพ เช่น อุณหภูมิเบ้าหล่อ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ ชนิดของอัลลอยด์ แรงดันขณะหล่อ และมุมของการขึ้นช่อ [1] ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะชิ้นงาน ทำให้ช่างหล่อเครื่องประดับต้องอาศัยการลองผิดลองถูกประกอบกับความชำนาญงานจึงเป็นปัญหาต่อการควบคุมคุณภาพของชิ้นงานที่ผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ[2]ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับและหาจุดเหมาะสมที่ช่วยกำหนดค่าผลผลิตสูงสุดของผลิตภัณฑ์กำไลข้อมืออัลลอยด์ทองเหลืองชนิดใหม่

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบการทดลอง (Experimental Design)[3] มีประโยชน์ต่องานปรับปรุงและพัฒนาการปฏิบัติงานของกระบวนการ เพื่อศึกษาว่าปัจจัย (Factors) ที่สามารถควบคุมได้ที่ศึกษานั้นส่งผลกระทบหรือไม่ต่อตัวแปรตาม (Dependent Variables) ตัวอย่างของการออกแบบการทดลอง เช่น การออกแบบส่วนประสมกลาง(Central Composite Design: CCD)[4] เป็นวิธีการหาพื้นผิวผลตอบสนอง(Response Surface Methodology: RSM)ที่นิยมใช้เพื่อหากระบวนการที่เหมาะสม โดยหลักการพื้นฐานของการออกแบบส่วนประสมกลางเป็นการขยายการออกแบบแฟกทอเรียล 2^kซึ่งจะต้องกำหนดพารามิเตอร์ 2 ตัว ได้แก่ ระยะทาง αคือการรันในแนวแกนจากจุดศูนย์กลางของการออกแบบและจำนวนของจุดศูนย์กลาง n_c โดยการเลือกค่าของ $\alpha = (n_f)^{1/4}$ จะทำให้เกิดการออกแบบส่วนประสมกลางที่สามารถหมุนได้ (Rotatable CCD) เมื่อ n_f คือ จำนวนของจุดที่ถูกใช้ในส่วนแฟกทอเรียลของการออกแบบซึ่งการออกแบบส่วนประสมกลางถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆเช่นการปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ชนิดมีขา[5] การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู [6]

งานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบส่วนประสมกลางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการหล่อเครื่องประดับ [7] เนื่องด้วยการหล่อเครื่องประดับเป็นกระบวนการต้นน้ำที่สำคัญที่สุดที่เป็นสาเหตุของของเสียในอุตสาหกรรมเครื่องประดับผลการวิจัยพบว่า ค่าสูงสุดของผลผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำนายใน alloy 1 คือ 100% มีปัจจัยที่เหมาะสม ดังนี้: มุมทางเข้า = 37°C, อุณหภูมิแม่พิมพ์ = 482°C, และอุณหภูมิการเท = 934°C และค่าสูงสุดของผลผลิตผลิตภัณฑ์ที่คาดการณ์ของ alloy 2 คือ 100% มีปัจจัยที่เหมาะสม ดังนี้: มุมทางเข้า = 35°C อุณหภูมิแม่พิมพ์ = 535°C, และอุณหภูมิการเท = 974°C และค่าสูงสุดของผลผลิตผลิตภัณฑ์ที่คาดการณ์ของ alloy 3 คือ 99.72% มีปัจจัยที่เหมาะสม ดังนี้ : มุมทางเข้า = 35°C อุณหภูมิแม่พิมพ์ = 514°C, และอุณหภูมิการเท = 1034°C โดยงานวิจัยและบทความต่างๆ ได้ถูกนำมาใช้เป็นแนวทางของการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษางานวิจัยดังกล่าวนี้

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

ทางผู้จัดทำได้เลือกปัจจัยที่จะทำการแปรค่าการทดลองมา 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิเทน้ำหล่อโลหะกับอุณหภูมิเบ้าหล่อโลหะโดยกำหนดให้แต่ละปัจจัยมี 5 ระดับการทดลอง กำหนดตัวแปรตอบสนองหรือผลลัพธ์ คือ ค่าผลผลิต (Yield) สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่ดี}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด}} \times 100 \qquad (1)$$

โดยมีขั้นตอนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

2.1 การศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับอัลลอยด์ทองเหลืองชนิดใหม่ใช้เครื่องหล่อแบบสุญญากาศ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องหล่อแบบสุญญากาศ

สามารถอธิบายกระบวนการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับอัลลอยด์ทองเหลืองชนิดใหม่อย่างละเอียดได้ด้วยขั้นตอนดังนี้

- การออกแบบตัวเรือนเครื่องประดับ ทำการออกแบบชิ้นงานที่ผลิตโดยการวาดมือหรือการใช้โปรแกรม 3D

- การทำแม่พิมพ์ต้นแบบหรือกระสวน ทำชิ้นงานต้นแบบด้วยวัสดุขี้ผึ้งโดยใช้เครื่องพิมพ์ CNC และแกะขี้ผึ้งให้มีรูปร่างตามแบบ

- การอัดพิมพ์ยาง เลือกบล็อกโลหะที่มีขนาดสูงกว่าชิ้นงานต้นแบบและจัดวางชิ้นงานต้นแบบให้อยู่กึ่งกลางของบล็อกโลหะ จากนั้นนำยางมาอัดให้เต็มบล็อกโลหะและนำเข้าเครื่องอัด

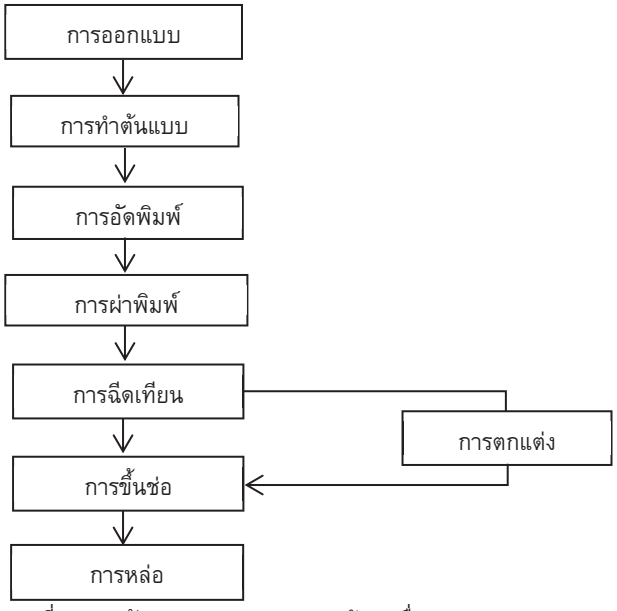
- การผ่าพิมพ์ยาง นำชิ้นงานต้นแบบออกจากบล็อกยาง

- การฉีดเทียน ฉีดขี้ผึ้งที่หลอมละลายเข้าไปในโพรงแบบพิมพ์ยางและปล่อยให้ขี้ผึ้งแข็งตัวก่อนจะแกะออกจากพิมพ์ยาง

- การตกแต่งชิ้นงาน จะตกแต่งชิ้นงานในกรณีที่พบข้อบกพร่องหรือตำหนิ และทำการซ่อมแซมแก้ไขเพื่อให้ชิ้นงานสมบูรณ์

- การติดต้นเทียนหรือการขึ้นช่อ นำชิ้นงานขี้ผึ้งหรือแบบเทียนหรือแม่พิมพ์เทียนที่ได้มาติดเรียงซ้อนกันเป็นชั้นอย่างเป็นระเบียบ เพื่อให้สามารถหล่อในปริมาณมาก ๆ ได้ในแต่ละครั้ง

- การหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ ชั่งและคำนวณน้ำหนักส่วนผสมเนื้อทองเหลือง แล้วนำไปหล่อปูนกับอบเบ้าปูน จากนั้นจึงหล่อตัวเรือนและขัดแต่งผิว ก่อนนำไปล้างทำความสะอาดต่อไป แสดงกระบวนการดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังแสดงกระบวนการหล่อด้วยเครื่องหล่อแบบสุญญากาศ

2.2 ออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ จะทำการออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบส่วนประสมกลางที่สามารถหมุนได้ใช้ระยะห่างที่แกน $\alpha = \sqrt[4]{4} = 1.414$ โดยออกแบบให้แต่ละปัจจัยมี 5 ระดับปัจจัยแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับปัจจัย

ระดับปัจจัยธรรมชาติ	ระดับปัจจัยรหัส				
	-1.414	-1	0	1	1.414
X_1	979.3	1000	1050	1100	1120.7
X_2	529.3	550	600	650	670.7

โดยที่ X_1 คือระดับปัจจัยรหัสของอุณหภูมิเทน้ำหล่อ(C^o)และ X_2 คือระดับปัจจัยรหัสของอุณหภูมิเบ้าหล่อ (C^o)

โดยค่าระยะห่างที่แกน α หาจาก $(n_f)^{1/4} = (4)^{1/4}$ เมื่อ n_f คือจำนวนจุดแฟคทอเรียล สำหรับ k=2 มี $n_f=(2)^2= 4$ จุดซึ่งมีจำนวนจุดที่แกน = 2k = 2(2) = 4 จุดและใช้จำนวนจุดศูนย์กลางของการออกแบบ (n_c) = 4 จุด รวมจำนวนจุดของการออกแบบ 12 จุดในส่วนของการออกแบบระดับปัจจัยทำได้ดังนี้

$$X_1 = \frac{F_1-1050}{50} \quad (1)$$

$$X_2 = \frac{F_2-1050}{50} \quad (2)$$

โดยที่ F_1 คือระดับปัจจัยธรรมชาติของอุณหภูมิเทน้ำหล่อโลหะ และ F_2 คือระดับปัจจัยธรรมชาติของอุณหภูมิเทน้ำหล่อโลหะคำนวณได้ค่าดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จุดของการออกแบบ

จุดของการออกแบบ					
ระดับปัจจัยรหัส			ระดับปัจจัยธรรมชาติ		
Run	X_1	X_2	Run	F_1	F_2
1	-1	-1	1	1000.0	550.0
2	-1	1	2	1000.0	650.0
3	1	-1	3	1100.0	550.0
4	1	1	4	1100.0	650.0
5	-1.414	0	5	979.3	600.0
6	1.414	0	6	1120.7	600.0
7	0	-1.414	7	1050.0	529.3
8	0	1.414	8	1050.0	670.7
9	0	0	9	1050.0	600.0
10	0	0	10	1050.0	600.0
11	0	0	11	1050.0	600.0
12	0	0	12	1050.0	600.0

ในส่วนของลำดับการทดลองผู้จัดทำได้กำหนดเบอร์ฉลาก 12 เบอร์ แล้วสุ่มจับฉลากทีละเบอร์ จากนั้นจดเบอร์ไว้แล้วสุ่มครั้งต่อไปแบบไม่ใส่คืน จนครบ 12 ครั้ง ได้ผลการสุ่มดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าอุณหภูมิเทน้ำหล่อโลหะ และอุณหภูมิเบ้าหล่อ ที่ใช้ในการหล่อโลหะของแต่ละจุดการทดลอง

ลำดับการทดลอง	ลำดับจากการสุ่ม	ระดับปัจจัย	
		F_1	F_2
1	10	1050.0	600.0
2	12	1050.0	600.0
3	8	1050.0	670.7
4	4	1100.0	650.0
5	3	1100.0	550.0
6	2	1000.0	650.0
7	5	979.30	600.0
8	11	1050.0	600.0
9	1	1000.0	550.0
10	9	1050.0	600.0
11	6	1120.7	600.0
12	7	1050.0	529.3

จากนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยด้วยโปรแกรม MinitabVersion 16 และทำการวิเคราะห์หาจุดเหมาะสมของกระบวนการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ

3. ผลการดาเนินงานวิจัย

3.1 ผลการทดลองการหล่อเครื่องประดับอัลลอยด์ทองเหลืองที่มีผลต่อค่าผลผลิตของผลิตภัณฑ์กำไลข้อมือ

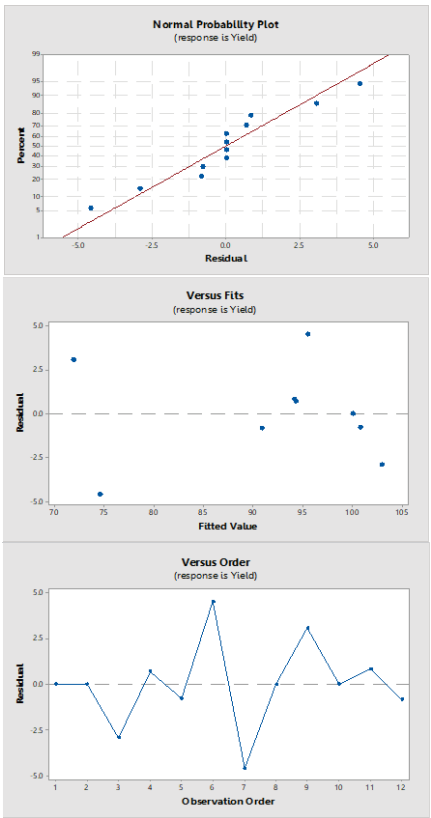
ตารางที่ 4 บันทึกผลจำนวนชิ้นงานดีและชิ้นงานเสียที่ได้จากการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ

ลำดับการทดลอง	ลำดับจากการสุ่ม	ระดับปัจจัย		จำนวนชิ้นงาน	
		X_1	X_2	จำนวนชิ้นงานดี	จำนวนชิ้นงานเสีย
1	10	1050.0	600.0	20	0
2	12	1050.0	600.0	20	0
3	8	1050.0	670.7	20	0
4	4	1100.0	650.0	19	1
5	3	1100.0	550.0	20	0
6	2	1000.0	650.0	20	0
7	5	979.3	600.0	14	6
8	11	1050.0	600.0	20	0
9	1	1000.0	550.0	15	5
10	9	1050.0	600.0	20	0
11	6	1120.7	600.0	19	1
12	7	1050.0	529.3	18	2

ตารางที่ 5 บันทึกค่าผลผลิตที่ได้จากการทดลอง ที่ระดับสภาวะปัจจัยต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์กำไลข้อมือ

การทดลอง	X1	X2	ค่าผลผลิต (Yield)	Run NO.
1	0	0	100	10
2	0	0	100	12
3	0	1.414	100	8
4	1	1	95	4
5	1	-1	100	3
6	-1	1	100	2
7	-1.414	0	70	5
8	0	0	100	11
9	-1	-1	75	1
10	0	0	100	9
11	1.414	0	95	6
12	0	-1.414	90	7

จากตารางที่ 4 และตารางที่ 5ทำการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ พบว่า Residual มีการแจกแจงแบบปกติ กราฟระหว่าง Residual กับ Fitted Valueมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอรอบเส้นกึ่งศูนย์กลาง และกราฟระหว่าง Residual กับ Observation Order ไม่มีลักษณะของแนวโน้ม ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากกระบวนการหล่อเครื่องประดับอัลลอยด์ทองเหลืองที่มีผลต่อค่าผลผลิตของผลิตภัณฑ์กำไลข้อมือ

3.2.1 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยของค่าผลผลิตของผลิตภัณฑ์กาไลข้อมือ

ตารางที่ 6ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยของค่าผลผลิตโดยใช้โปรแกรม MinitabVersion 16

Response Surface Regression: Yield versus X1, X2

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Yield

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	100.00	1.61	62.25	0.000	
X1	6.92	1.14	6.09	0.001	1.00
X2	4.27	1.14	3.76	0.009	1.00
X1*X1	-7.81	1.27	-6.15	0.001	1.04
X2*X2	-1.56	1.27	-1.23	0.265	1.04
X1*X2	-7.50	1.61	-4.67	0.003	1.00

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.21306	94.86%	90.59%	63.48%

จากตารางที่ 6 ทำการทดสอบสมมติฐาน โดยเมื่อพิจารณาจากค่า α ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งบ่งบอกว่าตัวแปรมีผลต่อค่าผลผลิตตัวเรือนเครื่องประดับอัลลอยด์ทองเหลือง พบว่าอุณหภูมิเทน้ำหล่อโลหะที่มีค่า P-Value เท่ากับ 0.001 และอุณหภูมิเบ้าหล่อโลหะที่มีค่า P-Value เท่ากับ 0.009 นั้นมีค่าน้อยกว่า α ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าทั้งสองปัจจัยมีความสัมพันธ์กับค่าผลผลิตตัวเรือนเครื่องประดับอัลลอยด์ทองเหลืองชนิดใหม่

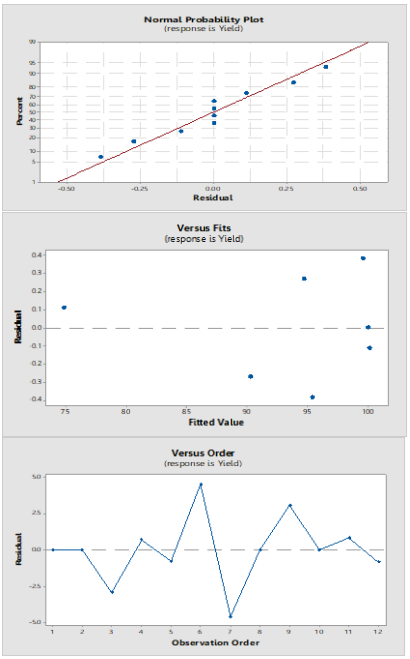
จากโปรแกรม MinitabVersion 16ได้ค่า R-sq = 94.86% หมายความว่าสมการถดถอยที่พยากรณ์ได้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าผลผลิตได้ 94.86% ดังนั้น สมการประมาณค่าที่ใช้อธิบายค่าตอบสนองที่เหมาะสม คือ

$$\hat{Y}=100.00+4.894X_1+3.018X_2 - 3.908X_1^2-0.781X_2^2-3.751X_1X_2 \quad (2)$$

โดยที่ $\hat{Y}$คือค่าพยากรณ์ผลผลิต X_1คืออุณหภูมิเทน้ำหล่อโลหะ และ X_2 คืออุณหภูมิเบ้าหล่อโลหะ

เนื่องจากการทดลองที่ได้ค่าของข้อมูลที่ผิดปกติในลำดับที่ 6 และ 7 ส่งผลให้ค่า Absolute ของ Studentized Residuals มีค่ามากกว่า 2 ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่า R-Sq ที่สูงขึ้นและสมการประมาณค่าที่ใช้อธิบายค่าตอบสนองที่เหมาะสมมากกว่าเดิม ทางผู้จัดทำจึงได้นำข้อมูลลำดับที่ 6 และ 7 ออกจากการทดลอง แล้วทำการคำนวณและวิเคราะห์ชุดข้อมูลใหม่อีกครั้ง

จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ พบว่า Residual มีการแจกแจงแบบปกติ กราฟระหว่าง Residual กับ Fitted Valueมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอรอบเส้นกึ่งศูนย์กลาง และกราฟระหว่าง Residual กับ Observation Order ไม่มีลักษณะของแนวโน้มดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบหลังนำเอาข้อมูลที่ 6 และ 7 ออกโดยใช้โปรแกรม MinitabVersion16

3.2.2 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยของค่าผลผลิตของผลิตภัณฑ์กำไลข้อมือหลังนำเอาข้อมูลลำดับที่ 6 และ 7 ออก

ตารางที่ 7ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยของค่าผลผลิตหลังนำเอาข้อมูลที่ 6 และ 7 ออกโดยใช้โปรแกรม MinitabVersion 16

Response Surface Regression: Yield versus X1, X2

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Yield

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	100.000	0.171	584.98	0.000
X1	6.441	0.296	21.77	0.000
X2	3.480	0.169	20.63	0.000
X1*X1	-6.864	0.264	-26.03	0.000
X2*X2	-2.405	0.140	-17.17	0.000
X1*X2	-5.924	0.291	-20.38	0.000

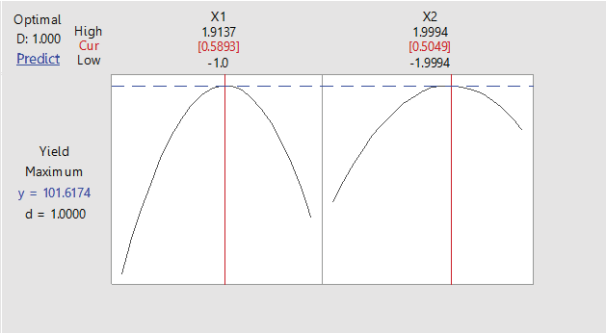
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.341889	99.92%	99.82%	92.41%

จากตารางที่7พบว่าค่า R-Sqมีค่ามากขึ้น ซึ่งบ่งบอกว่าปัจจัยทุกตัวสามารถอธิบายค่าผลผลิตตัวเรือนเครื่องประดับอัลลอยด์ทองเหลืองได้และจะได้ว่าค่า R-Sqยิ่งมีค่ามาก สมการจะยิ่งมีความเหมาะสมมาก

จากโปรแกรม MinitabVersion 16 ได้ค่า R-sq = 99.92% ซึ่งมากขึ้นกว่าเดิมจึงหมายความว่าสมการถดถอยที่พยากรณ์ได้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าผลผลิตได้ 99.92% ดังนั้นสมการประมาณค่าที่ใช้อธิบายค่าตอบสนองที่เหมาะสม คือ

$$\hat{Y} = 98.694 + 7.286X_1 + 3.179X_2 - 4.711X_1^2 - 1.2027X_2^2 - 3.471X_1X_2 \quad (3)$$

3.3.3 ผลการวิเคราะห์จุดเหมาะสม (Optimization) ที่ระดับสภาวะปัจจัยต่าง ๆที่มีผลต่อค่าผลผลิตตัวเรือนเครื่องประดับอัลลอยด์ทองหลืองของผลิตภัณฑ์กำไลข้อมือ



รูปที่ 6 กราฟจุดเหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลผลิตเครื่องประดับอัลลอยด์ทองเหลืองของผลิตภัณฑ์กำไลข้อมือ

จากรูปที่ 6 แสดงถึงจุดเหมาะสมของปัจจัยแต่ละตัวที่มาจากการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำหล่อโลหะมีค่าเท่ากับ 0.5893 และปัจจัยอุณหภูมิเบ้าหล่อโลหะมีค่าเท่ากับ 0.5049

นำค่าจุดเหมาะสมของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยแทนค่าในสมการที่ (3) โดยแทนค่า x_1= 0.5893 และ x_2= 0.5049 จะได้ $\hat{Y}$= 101.62เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของค่าผลผลิตที่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์นั้นมาจากการหาจุดเหมาะสมด้วยโปรแกรม Minitab Version 16 ซึ่งตามค่าพยากรณ์ดังกล่าวจะพบว่าไม่มีของเสียเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำค่าจุดเหมาะสมของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยมาเขียนเป็นระดับปัจจัยธรรมชาติได้ดังนี้ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำหล่อโลหะ(F_1)มีค่าเท่ากับ 1079.47 องศาเซลเซียส และ ปัจจัยอุณหภูมิเบ้าหล่อโลหะ(F_2)มีค่าเท่ากับ 625.25 องศาเซลเซียส

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาหาจุดเหมาะสมของสภาวะปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับกำไลข้อมืออัลลอยด์ทองเหลืองชนิดใหม่โดยใช้การออกแบบส่วนประสมกลางเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหล่อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวและเพื่อหาจุดเหมาะสมที่มีผลต่อสภาวะปัจจัย พบว่าปัจจัย 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิเทน้ำหล่อโลหะและอุณหภูมิเบ้าหล่อโลหะที่ α ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั้นมีผลต่อค่าผลผลิตของผลิตภัณฑ์จากนั้นใช้ตัวแบบสมการถดถอยในการหาค่าปรับตั้งของปัจจัยที่เหมาะสมของค่าผลผลิต จะมีค่าพยากรณ์ของค่าผลผลิต ($\hat{Y}$) เท่ากับ 101.62เปอร์เซ็นต์จะมีค่าระดับปัจจัยรหัสดังนี้ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำหล่อโลหะ (X_1) มีค่าเท่ากับ 0.5893 และปัจจัยอุณหภูมิเบ้าหล่อโลหะ (X_2) มีค่าเท่ากับ 0.5049 และระดับปัจจัยธรรมชาติดังนี้ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำหล่อหล่อโลหะ (F_1) มีค่าเท่ากับ 1079.47 องศาเซลเซียส และปัจจัยอุณหภูมิเบ้าหล่อโลหะ (F_2) มีค่าเท่ากับ 625.25 องศาเซลเซียส

เอกสารอ้างอิง

[1] กมลวรรณ คมกล้า,จิรวรรณ โซนรัมย์ และปฏิภาณ ถาวรเสน,การหาจุดเหมาะสมของสภาวะของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของชิ้นงานหล่อเครื่องประดับเงิน(ปริญญานิพนธ์ภาควิชาวิชกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2557).

[2] เจนิสตา ตันยะไพบูลย์, ชนิกานต์ นิ่มเสนาะ และอรกานต์ บั้งจันอัด,การหาจุดเหมาะสมของสภาวะของปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับทองเหลืองโดยใช้การออกแบบ Central Composite Design(ปริญญานิพนธ์ภาควิชาวิชกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2562).

[3] ศุภชัย นาทะพันธ์, การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองขั้นพื้นฐาน (กรุงเทพมหานคร:ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2559), หน้า 11-25.

[4] S. Kacim, L. Binst, F. Reniers, &F. Bouillon, “Composition and structure ofreactively sputter- depositedmolybdenum- carbon films,” Thin Solid Films 287 (October 1996): 25-31.

[5] สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ และวัลภา เตชะสุข,“การปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ชนิดมีขา,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ1, 21(พฤศจิกายน 2555): หน้า 88-98.

[6] คนัน ธนกุลชัยทวี และศุภชัย นาทะพันธ์,“การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู” วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร 2, 9 (ธันวาคม2557): หน้า 38-47

[7] Chanpen Anurattananon, Nutpol Sirisawang, “ Optimization Using a Central Composite Rotatable Design for Jewelry-Bodied,” J Sci Technol MSU5, 31 (September- October 2012):662-667

การทดลองเพื่อหาน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุอ้างอิงสำหรับเครื่องมือวัดความหนืดไคนีมาติกอัตโนมัติ

Experiment to Determine the Suitable Lubricant as a Reference Material for Automatic Kinematic Viscometer

วารุณี ถวัลย์วีระวงศ์[1*] สุวิชภรณ์ วิชกูล[2] ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: Waruni.t@ku.th*

Waruni Thawanwirawong[1*] Suwitchaporn Witchakul[2] Ailada Treerattrakoon
[1]Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: Waruni.t@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อหาน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุอ้างอิงในการทดสอบความใช้ได้ของเครื่องมือวัดค่าความหนืดไคนีมาติกอัตโนมัติ ออกแบบการทดลองโดยเลือกน้ำมันหล่อลื่นมา 3 ชนิด ทำการแบ่งบรรจุน้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดเป็น 2 รูปแบบ คือ การแบ่งบรรจุแบบขวดใหญ่ 2 ลิตร และการแบ่งบรรจุแบบขวดเล็ก 200 มิลลิลิตร ทำการวัดค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดที่แบ่งบรรจุได้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิด ผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำมันหล่อลื่นทั้ง 3 ชนิดมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ทำการคำนวณค่าขอบเขตควบคุมค่าต่ำและค่าสูงจากผลการวัดที่ได้ ทำการวัดค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดทั้ง 2 รูปแบบการบรรจุ ทุกวันเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าน้ำมันพื้นฐานของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เกรดรวม 15W40 ที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุอ้างอิงสำหรับเครื่องมือวัดความหนืดไคนีมาติกอัตโนมัติมากที่สุด เนื่องจากไม่พบการหลุดออกนอกช่วงควบคุมของค่าความหนืดไคนีมาติกทั้งการแบ่งบรรจุแบบขวดใหญ่ 2 ลิตร และการแบ่งบรรจุแบบขวดเล็ก 200 มิลลิลิตร โดยมีค่าความเบี่ยงเบนของการทดสอบค่าความหนืดไคนีมาติกแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่ากับ 0.0095 เซนติสโตก และ 0.0086 เซนติสโตก ตามลำดับ

คาสาคัญ: น้ำมันหล่อลื่น, วัสดุอ้างอิง, เครื่องมือวัดความหนืดไคนีมาติกอัตโนมัติ

Abstract

This research is conducted to determine the suitable Lubricant as a reference material for testing the validity of Automatic Kinematic Viscometer. The experiment is designed by selecting 3 types of lubricants. Two types of packages, 2 liters large bottle and 200 ml small bottle, are selected. The viscosity of each type of lubricant are measured and used Analysis of Variance (ANOVA) to test the homogeneity of each lubricant. The results of the analysis revealed that all 3 types of lubricants are homogeneous. The upper control and lower control limits are calculated from the measurement results. The kinematic viscosity of each type of lubricant are measured in both packages by daily for 12 weeks, the base oil of 15W40 multigrade engine oil without additives is the most suitable for using as a Reference Material for Automatic Kinematic Viscometer because there is no fall out of the control range for both the 2 liters large bottle and the 200 ml small bottle package, with slightly difference in the kinematic viscosity result deviation of 0.0095 centistoke and 0.0086 centistoke respectively.

Keywords: Lubricant, Reference material, Automatic kinematic viscometer

1. บทนำ

สำหรับผู้วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทดสอบนั้น การทำให้ผลวิเคราะห์ทดสอบมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ ถือเป็นหน้าที่และความรับผิดชอบ [1] โดยการควบคุมคุณภาพ (Quality Control: QC) เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้วิเคราะห์ทดสอบมีความมั่นใจในการวิเคราะห์ผลทดสอบมากยิ่งขึ้น

การควบคุมคุณภาพภายใน (Internal Quality Control) ของห้องปฏิบัติการทดสอบนั้นเป็นหนึ่งในข้อกำหนดที่สำคัญในมาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.17025 (ISO/IEC 17025) และแผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นหนึ่งในวิธีการควบคุมคุณภาพที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้ในการตรวจสอบและเฝ้าระวังผลการวัด โดยวัสดุอ้างอิงจะถูกนำมาทดสอบความใช้ได้ของเครื่องมือวัดว่าเครื่องมือและ/หรือกระบวนการวัดนั้นยังมีความถูกต้อง แม่นยำ และเชื่อถือได้ก่อนทำการทดสอบประจำวัน แผนภูมินี้สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบว่าผลการวิเคราะห์ทดสอบนั้นอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ ทำให้สามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงหรือแนวโน้มของการวิเคราะห์ทดสอบได้ เนื่องจากแผนภูมิควบคุมแสดงในรูปของกราฟ โดยโครงสร้างของแผนภูมิควบคุมประกอบด้วยแกน X ซึ่งเป็นเวลาหรือลำดับครั้งของการทดสอบ ส่วนแกน Y เป็นผลการทดสอบ โดยมีเส้นกลาง (Center Line) และเส้นขอบเขตควบคุมค่าสูงและค่าต่ำ (Upper and Lower Control Limits) ตามลำดับ โดยการเลือกใช้วัสดุอ้างอิงที่ได้รับการรับรอง (Certified reference material) หรือเลือกใช้วัสดุอ้างอิงที่ห้องปฏิบัติการจัดเตรียมขึ้นเองนั้น ห้องปฏิบัติการจะต้องเป็นผู้ประเมินความยากง่ายในการจัดหาวัสดุอ้างอิง ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อหรือการจัดเตรียม และความเหมาะสมในการนำมาใช้งานทดสอบนั้น

การจัดเตรียมวัสดุอ้างอิงขึ้นเองเพื่อใช้งานในห้องปฏิบัติการนั้นมีความยืดหยุ่น และมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้งานวัสดุอ้างอิงที่ได้รับการรับรอง (Certified reference material) ค่อนข้างมาก โดยวัสดุอ้างอิง คือ วัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกันเพียงพอตามคุณสมบัติที่ระบุตั้งแต่หนึ่งอย่างขึ้นไป ซึ่งได้รับการจัดเตรียมขึ้นอย่างเหมาะสม [2] ห้องปฏิบัติการทดสอบมีการนำวัสดุอ้างอิงมาใช้งานอย่างหลากหลาย เช่น การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการ การสอบเทียบ การประเมินความไม่แน่นอน และการควบคุมคุณภาพภายใน เป็นต้น หน้าที่หลักของวัสดุอ้างอิงที่จัดเตรียมขึ้นเอง เพื่อช่วยให้ห้องปฏิบัติการประหยัดค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบกระบวนการวัด เพื่อทดสอบความเที่ยงตรงแม่นยำของกระบวนการวัดแบบเป็นประจำ [3] (ตัวอย่างเช่น รายวัน รายสัปดาห์)

วัสดุอ้างอิงนั้นมีหลายประเภทและมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปตามประเภทของการทดสอบ วัสดุอ้างอิงทางชีวภาพ [4] นั้นมักจะไม่เป็นเนื้อเดียวกันในบางสัดส่วนที่ผสมกัน ดังนั้นการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน จึงเป็นขั้นตอนแรกในการเตรียมกระบวนการที่จะต้องทำการประเมิน วัสดุอ้างอิงสำหรับจุดวาบไฟที่อุณหภูมิต่ำนั้นหาได้ยากและมีราคาสูง [5] ดังนั้นวัสดุอ้างอิงที่ได้จัดเตรียมขึ้นเองจึงมีประโยชน์สำหรับใช้ในการตรวจสอบการวัดจุดวาบไฟในงานทดสอบประจำ ซีรั่มที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิง [6] ที่ได้รับการรับรองมีราคาที่แพงมาก และค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบในแต่ละขวดมีความแปรปรวนสูง ซีรั่มยูเรียที่เตรียมขึ้นเองมีราคาถูก เตรียมได้ง่าย มีความแปรปรวนน้อยกว่า ทำให้สามารถตรวจจับข้อผิดพลาดได้ดีกว่า การเตรียมวัสดุอ้างอิงซีลีเนียมในผงแมงกานีสในห้องปฏิบัติการ [7] พบว่าวัสดุดังกล่าวมีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเสถียร ดังนั้นสามารถนำมาใช้สำหรับควบคุมกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการทดสอบซีลีเนียม

การรับรองวัสดุอ้างอิงจะประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญ [8] คือ การจัดเตรียมและบรรจุอย่างระมัดระวัง การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันด้วยกระบวนการทดสอบที่เหมาะสม การทดสอบความเสถียรด้วยกระบวนการทดสอบที่เหมาะสม และค่าคุณสมบัติของวัสดุอ้างอิง ซึ่งขนาดของหน่วยบรรจุของวัสดุอ้างอิงที่มีความเหมาะสมในการบรรจุต่อ 1 ขวด ควรขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้งาน

คุณสมบัติที่สำคัญหนึ่งที่สุดของน้ำมันหล่อลื่น คือ ค่าความหนืด (Viscosity) โดยค่าความหนืดเป็นค่าที่บอกถึงคุณสมบัติการต้านการไหลของน้ำมันหล่อลื่น ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่นิยมวัดกันมากที่สุดในปัจจุบัน คือ ความหนืดไคนีมาติก (Kinematic Viscosity) มีหน่วยวัด คือ เซนติสโตก (Centistoke: cSt.) ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความหนืดไคนีมาติกอัตโนมัติ

ปัจจุบันห้องปฏิบัติการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นบริษัทกรณีศึกษาพบปัญหาคือ เมื่อทำการทวนสอบความใช้ได้ของเครื่องมือทดสอบค่าความหนืดไคนีมาติกอัตโนมัติด้วยน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงที่จัดเตรียมขึ้นเองนั้น พบว่าผลการทดสอบความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวมักไม่อยู่ในขอบเขตควบคุม ซึ่งมีค่ามากถึง 24.50 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย เมื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาพบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงที่จัดเตรียมขึ้นเอง อาจไม่มีความเหมาะสมมากเพียงพอในการนำมาใช้งาน หรือมีการแบ่งบรรจุไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการปนเปื้อนระหว่างใช้งานซึ่งส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นตามมา ดังนั้นการจัดเตรียมวัสดุอ้างอิงที่จัดเตรียมขึ้นเองเพื่อใช้ในการทวนสอบเครื่องมืออย่างถูกต้องเหมาะสมจึงถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง

บทความนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อหาน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงสำหรับการทดสอบค่าความหนืดไคนีมาติกเพื่อใช้ในการตรวจสอบความใช้ได้ของเครื่องมือวัดความหนืดไคนีมาติกอัตโนมัติ โดยมีสัดส่วนจำนวนครั้งที่ค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิง ไม่อยู่ในช่วงควบคุมน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ตลอดระยะเวลาที่ใช้งาน 12 สัปดาห์

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการเลือกน้ำมันหล่อลื่นที่แตกต่างกัน 3 ชนิด นำมาใช้ในการทดลองเพื่อหาน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุอ้างอิงการทดสอบค่าความหนืดไคนีมาติก โดยคำนึงถึงความคล้ายคลึงของตัวอย่างทดสอบประจำวัน และความเสถียร ทำการแบ่งบรรจุน้ำมันหล่อลื่นที่เลือกมาใช้เป็นวัสดุอ้างอิงแต่ละชนิดเป็น 2 รูปแบบ โดยแบ่งบรรจุ แบบขวดเล็ก และแบบขวดใหญ่ เพื่อวิเคราะห์ว่าการแบ่งบรรจุมีผลต่อการใช้งานหรือไม่

หลังทำการแบ่งบรรจุน้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดจะถูกนำไปวิเคราะห์ความเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab Version 18 ในวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงแต่ละชนิดด้วย One-way ANOVA [9] ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

หลังจากได้น้ำมันหล่อลื่นที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ค่าความหนืดไคนีมาติกที่ได้จากการทดลองความเป็นเนื้อเดียวกันจะถูกนำมาใช้ในการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย และหาเส้นขอบเขตควบคุมค่าสูงและค่าต่ำจากค่าบวกและลบสามเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามลำดับ จากนั้นทดลองวัดค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงทั้ง 3 ชนิด เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์ความใช้ได้ของน้ำมันหล่อลื่นใช้เป็นวัสดุอ้างอิงแต่ละชนิด โดยน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุอ้างอิงทดสอบความใช้ได้ของเครื่องมือวัดค่าความหนืดไคนีมาติกอัตโนมัติจะถูกวิเคราะห์จากค่าสัดส่วนจำนวนครั้งที่ค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงไม่อยู่ในช่วงควบคุมน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 สัปดาห์ โดยจะทำการทดลองวัดค่าความหนืดไคนีมาติก ณ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เท่านั้นเนื่องจากเป็นอุณหภูมิหลักที่ใช้งาน

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการจัดเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง

น้ำมันหล่อลื่น 3 ชนิด ถูกนำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นชนิดที่ 1 คือ น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เกรดรวม 15W40 เนื่องจากมีความคล้ายคลึงกับตัวอย่างทดสอบประจำวันมากที่สุด น้ำมันหล่อลื่นชนิดที่ 2 คือ น้ำมันพื้นฐานของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เกรดรวม 15W40 ที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง และน้ำมันหล่อลื่นชนิดที่ 3 คือ น้ำมันพื้นฐานของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เกรดรวม 15W40 ที่มีการเติมสารเติมแต่งที่ช่วยเพิ่มค่าดัชนีความหนืด ในอัตราส่วนเดียวกับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เกรดรวม 15W40

3.2 ผลการแบ่งบรรจุน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิง

เนื่องด้วยการทดสอบจะต้องใช้งานครั้งละ 20 มิลลิลิตรโดยประมาณ ซึ่งการใช้งาน 1 และ 12 สัปดาห์ จะต้องจัดเตรียมอย่างน้อย 140 และ 1,680 มิลลิลิตร ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อจัดเตรียมวัสดุอ้างอิงดังกล่าวให้มีมากเพียงพอสำหรับใช้งานจึงทำการแบ่งบรรจุ 2 ขนาด คือ ขวดเล็ก 200 มิลลิลิตร เพื่อใช้งาน 1 สัปดาห์ จำนวน 12 ขวด และขวดใหญ่ 2 ลิตร จำนวน 1 ขวด เพื่อใช้งานต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

3.3 ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ความเป็นเนื้อเดียวกันหลังแบ่งบรรจุ

น้ำมันหล่อลื่นใช้เป็นวัสดุอ้างอิงขวดเล็ก 200 มิลลิลิตร ถูกสุ่มมาจำนวน 6 ขวด รวมกับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงขวดใหญ่ 2 ลิตร จำนวน 1 ขวด รวมทั้งหมด 7 ขวดต่อชนิด ถูกนำมาทดลองหาค่าความหนืดไคนีมาติกขวดละ 3 ซ้ำ เพื่อวิเคราะห์ความเป็นเนื้อเดียวกัน

ตั้งสมมติฐานสำหรับทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 1 โดยใช้ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ ได้ดังนี้

สมมติฐานหลัก H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 1 ทั้ง 7 ขวด ไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานรอง H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 1 ทั้ง 7 ขวด มีอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน

การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 2 และ 3 สามารถตั้งสมมติฐานได้ในรูปแบบเดียวกัน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 1

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-Value	P-Value
Between-units	6	0.000762	0.000127	1.57	0.228
Within-units	14	0.001133	0.000081		
Total	20	0.001895			

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 2

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-Value	P-Value
Between-units	6	0.000190	0.000032	0.48	0.815
Within-units	14	0.000993	0.000067		
Total	20	0.001124			

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 3

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares (SS)	Mean Squares (MS)	F-Value	P-Value
Between-units	6	0.002457	0.000410	2.15	0.112
Within-units	14	0.002667	0.000190		
Total	20	0.005124			

จากตารางที่ 1, 2, และ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 1, 2 และ 3 มีค่า P-value เท่ากับ 0.228, 0.815 และ 0.112 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงทั้ง 3 ชนิด ทั้ง 7 ขวด ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 หรือกล่าวได้ว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงทั้ง 3 ชนิด มีความเป็นเนื้อเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

3.4 ผลการหาค่าขอบเขตควบคุมค่าต่ำและขอบเขตควบคุมค่าสูงของค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่น

หลังจากได้น้ำมันหล่อลื่นที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงที่ได้จากการทดลองความเป็นเนื้อเดียวกันทั้ง 3 ชนิด จำนวน 21 ค่าต่อชนิด จะถูกนำมาใช้ในการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย และหาเส้นขอบเขตควบคุมค่าสูงและค่าต่ำ (Upper and Lower Control Limits) จากค่าบวกและลบสามเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามลำดับ โดยสามารถแสดงผลการคำนวณค่าทางสถิติได้ดังตารางที่ 4 โดยค่าควบคุมนี้จะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความใช้ได้ของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 4 ค่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมของค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงทั้ง 3 ชนิด

ค่าความหนืดไคนีมาติก (หน่วย: เซนติสโตก)			
	น้ำมันหล่อลื่นชนิดที่ 1	น้ำมันหล่อลื่นชนิดที่ 2	น้ำมันหล่อลื่นชนิดที่ 3
ค่าเฉลี่ย	14.5562	12.0748	17.3481
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.00973	0.00750	0.01601
3 เท่าของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0292	0.0225	0.0480
ขอบเขตควบคุมค่าสูง	14.5854	12.0973	17.3961
ขอบเขตควบคุมค่าต่ำ	14.5270	12.0523	17.3001

3.5 ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ความใช้ได้ของน้ำมันหล่อลื่น

ผลการทดลองวัดค่าความหนืดไคนีมาติกของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 1, 2 และ 3 ทั้ง 2 รูปแบบการบรรจุ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แสดงดังรูปที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยพบว่าค่าความหนืดไคนีมาติกไม่อยู่ในช่วงควบคุมแสดงดังตารางที่ 5

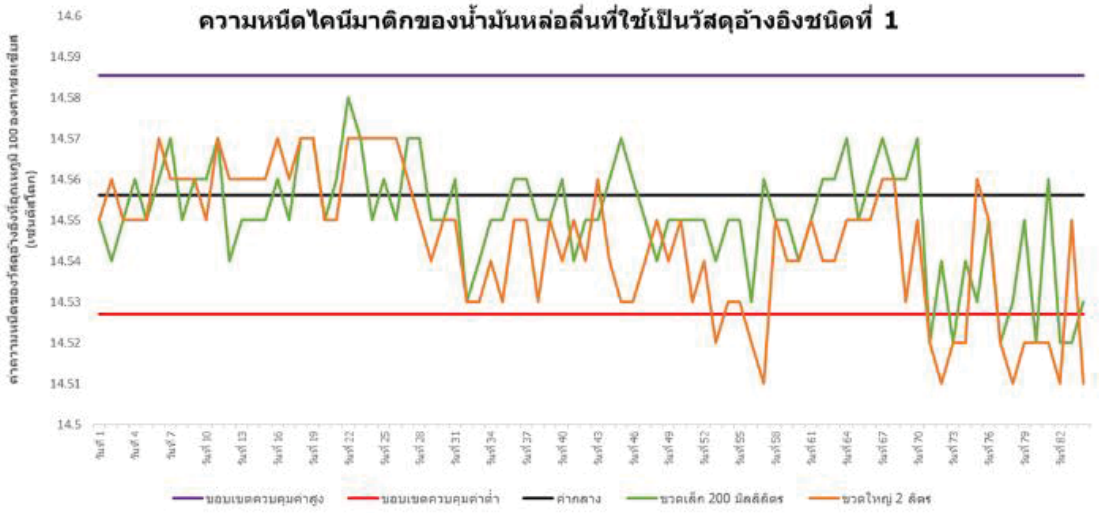
ตารางที่ 5 จำนวนครั้งและเปอร์เซ็นต์ที่ค่าความหนืดไคนีมาติกไม่อยู่ในช่วงควบคุม

ประเภท	รูปแบบการทดลอง	จำนวนครั้งที่ของค่าความหนืดไคนีมาติกที่ไม่อยู่ในช่วงควบคุม	เปอร์เซ็นต์ของค่าความหนืดไคนีมาติกที่ไม่อยู่ในช่วงควบคุม
น้ำมันหล่อลื่นชนิดที่ 1	ขวดใหญ่ 2 L	14	16.67
	ขวดเล็ก 200 mL	6	7.14
น้ำมันหล่อลื่นชนิดที่ 2	ขวดใหญ่ 2 L	0	0
	ขวดเล็ก 200 mL	0	0
น้ำมันหล่อลื่นชนิดที่ 3	ขวดใหญ่ 2 L	6	7.14
	ขวดเล็ก 200 mL	2	2.38

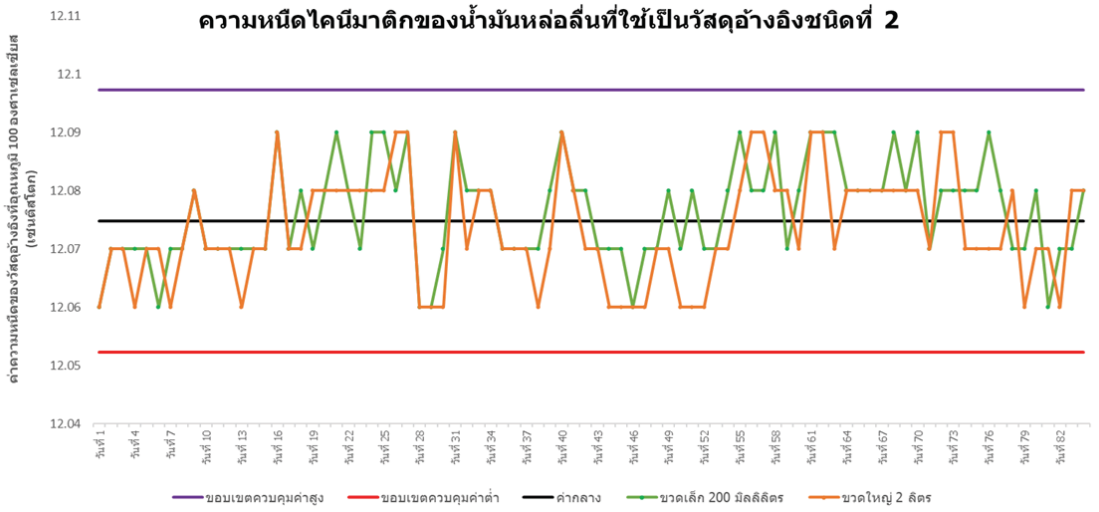
จากตารางที่ 5 น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงทั้ง 3 พบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 2 ไม่พบการหลุดออกนอกช่วงทั้งแบบบรรจุขวดเล็ก 200 มิลลิลิตร และแบบขวดใหญ่ 2 ลิตร

3.6 ผลการเลือกน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม

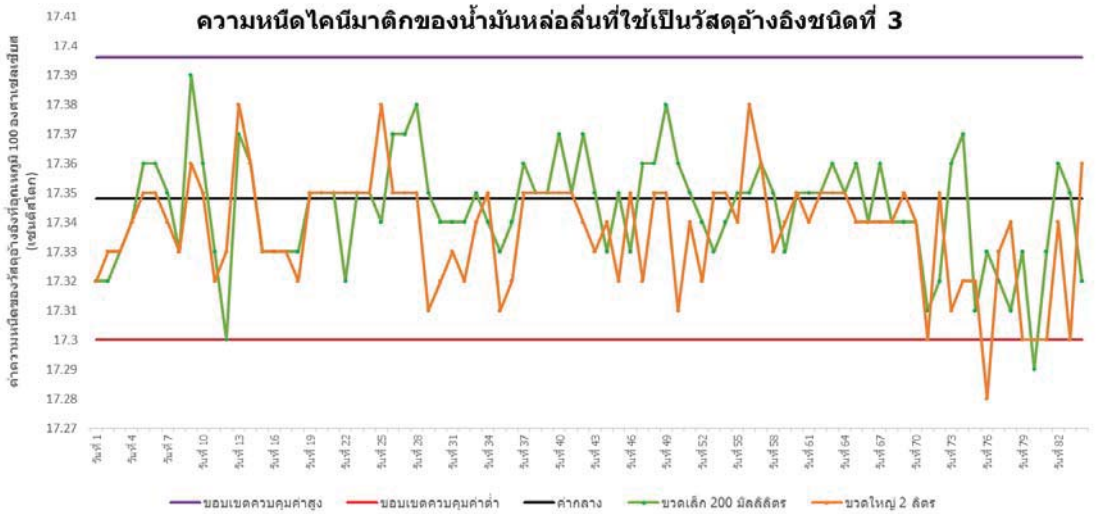
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 2 คือ น้ำมันพื้นฐานของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เกรดรวม 15W40 ที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งเป็นน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุอ้างอิงทดสอบความใช้ได้ของเครื่องมือวัดค่าความหนืดไคนีมาติกอัตโนมัติมากที่สุด โดยผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนจำนวนครั้งที่ค่าความหนืดไคนีมาติกไม่อยู่ในช่วงควบคุมมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบการหลุดออกนอกช่วงทั้งการแบ่งบรรจุแบบขวดใหญ่ 2 ลิตร และขวดเล็ก 200 มิลลิลิตร ซึ่งสามารถสรุปผลการคำนวณค่าทางสถิติได้ดังตารางที่ 6 โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแบ่งบรรจุแบบขวดใหญ่ 2 ลิตร มีค่ามากกว่าแบบขวดเล็ก 200 มิลลิลิตร เพียงเล็กน้อย รวมทั้งค่าขอบเขตควบคุมค่าสูง และขอบเขตควบคุมค่าต่ำมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 1 แผนภูมิควบคุมแสดงค่าความหนืดไคนีมาติกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 1 ในแต่ละวัน



รูปที่ 2 แผนภูมิควบคุมแสดงค่าความหนืดไคนีมาติกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 2 ในแต่ละวัน



รูปที่ 3 แผนภูมิควบคุมแสดงค่าความหนืดไคนีมาติกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 3 ในแต่ละวัน

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณค่าขอบเขตควบคุมค่าสูง และขอบเขตควบคุมต่ำของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงชนิดที่ 2 จากผลการทดสอบ 12 สัปดาห์

ค่าความหนืดไคนีมาติก (เซนติสโตก)		
	ขวดใหญ่ 2 L	ขวดเล็ก 200 mL
ค่าเฉลี่ย	12.0735	12.0763
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0095	0.0086
3 เท่าของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0285	0.0258
ขอบเขตควบคุมค่าสูง	12.1020	12.1021
ขอบเขตควบคุมค่าต่ำ	12.0450	12.0505

4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

น้ำมันพื้นฐานของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เกรดรวม 15W40 ที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งมีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้งานเป็นวัสดุอ้างอิงสำหรับทดสอบความใช้ได้ของเครื่องมือวิเคราะห์ค่าความหนืดไคนีมาติกอัตโนมัติที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยเป็นน้ำมันชนิดเดียวที่ไม่พบการหลุดออกนอกช่วงตลอดระยะเวลาที่ใช้งาน 12 สัปดาห์ ทั้งการแบ่งบรรจุแบบขวดใหญ่ 2 ลิตร และขวดเล็ก 200 มิลลิลิตร

เมื่อพิจารณาตามประเภทการแบ่งบรรจุจะพบว่า ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนของการทดสอบค่าความหนืดไคนีมาติกทั้ง 12 สัปดาห์ การแบ่งบรรจุแบบขวดใหญ่ 2 ลิตร มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับ 0.0095 เซนติสโตก และขวดเล็ก 200 มิลลิลิตร มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0086 เซนติสโตก ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงเมื่อทำการพิจารณาจากลดค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อใช้ภาชนะบรรจุเพียง 1 ขวดใหญ่ ความสะดวกในการใช้งานและการจัดเก็บ รวมถึงลดการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นจากการแบ่งบรรจุ การเลือกใช้งานแบบขวดใหญ่ 2 ลิตร จึงมีความเหมาะสมมากกว่า โดยค่าขอบเขตควบคุมค่าสูงและขอบเขตควบคุมค่าต่ำของการแบ่งบรรจุแบบขวดใหญ่ 2 ลิตร มีค่าเท่ากับ 12.1020 เซนติสโตก และ 12.0450 เซนติสโตก ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะสำหรับการทดสอบค่าความหนืดไคนีมาติกที่อุณหภูมิอื่น ๆ หรือระยะเวลาการใช้งานวัสดุอ้างอิงมากกว่า 12 สัปดาห์ หรือการแบ่งบรรจุขนาดอื่น ๆ สามารถทำการทดลองได้ในแนวทางเดียวกัน โดยสิ่งสำคัญที่ควรนำมาพิจารณา คือ ปริมาณวัสดุทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้งาน ซึ่งอาจพิจารณาจากปริมาณต่อปีที่ห้องปฏิบัติการต้องการใช้งาน ขนาดของหน่วย ปริมาณวัสดุที่จัดเตรียมและสามารถทำให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ ระยะเวลาในการเก็บรักษา ความเสถียรของวัสดุ ประเภทและขนาดของสถานที่จัดเก็บ รวมถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเตรียมวัสดุอ้างอิงขึ้นใช้เองจะต้องมีความคุ้มค่ามากกว่าการซื้อวัสดุอ้างอิงที่ได้รับการรับรองมาใช้งาน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่สละเวลาให้คำแนะนำแนวทางในการทำงานวิจัยนี้ ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ เพื่อให้งานวิจัยนี้ถูกต้องสมบูรณ์ รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้อันเป็นประโยชน์ อีกทั้งบริษัทกรณีศึกษาที่สนับสนุนงานทดลองทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] นีระนารถ แจ้งทอง และปัทมา นพรัตน์. 2546. “แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ในห้องปฏิบัติการ.” วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, ปีที่ 51, ฉบับที่ 163: 12-16.

[2] C. Baltacı, H. İlyasoğlu, S.B.Ö. Sarıkaya, S. Cavrar and N. Yaylı. 2011. “A proficiency test scheme for the quality control of black tea and development of quality control material for internal quality control’. Accreditation and Quality Assurance, Vol 16: 507–513.

[3] International Standardisation Organisation (ISO). Guidance for the in-house preparation of quality control materials (QCMs), ISO copyright office, 2014.

[4] M. Olejnik, P. Jedziniak, T. Szprengier-Juszkiewicz and J. Zmudzki. 2013. “In-house quality control material of nicarbazin and narasin in eggs: preparation and inter- laboratory evaluation”. Accreditation and Quality Assurance, Vol 18: 421-427.

[5] H.E. Ahmed, I.F. Tahoun. and S. Zakel. 2020. “Development of decahydronaphthalene reference material for low flash point measurements”. Egyptian Journal of Petroleum, Vol 30(1): 7-10.

[6] B. Haile, D. Bikila, H. Tewabe and M. Wolde. 2020. “Preparation of In-House Quality Control Human Serum for Urea and its Use in Clinical Chemistry”. Clinical laboratory, Vol 66(3): 365-368.

[7] N. Etxebarria, G. Arana, R. Antolín, G. Borge, T. Posada and J. C. Raposo. 2007. “Selenium in electrolytic manganese as a reference material for the quality control of aluminium melts”. Accreditation and Quality Assurance, Vol 12: 575-580.

[8] T.P.J. Linsinger, J. Pauwels, A. M. H. van der Veen, H. Schimmel and A. Lamberty. 2001. “Homogeneity and stability of reference materials”. Accreditation and Quality Assurance, Vol 6: 20–25.

[9] D.C. Montgomery and G.C. Runger. Applied Statistics and Probability for Engineers, 3rd ed., John Wiley & Son, Inc., 2003.

การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเพื่อลดปริมาณของอนุภาคในมอเตอร์ฮาร์ดดิสก์จากกระบวนการทำความสะอาด

Design and Analysis of Experiment to Reduce Particles in the Motor from the Cleaning Process

กชกร หามนตรี[1*] สุวิชภรณ์ วิชกูล[2] ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: koachakorn.h@ku.th*

Koachakorn Hamontree[1*], Suwitchaporn Witchakul[2], Ailada Treerattrakoon[2]
[1]Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering,Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2]Department of Engineering Management, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: koachakorn.h@ku.th*

บทคัดย่อ

กระบวนการทำความสะอาดเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญมากในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เนื่องจากสิ่งปนเปื้อนหรืออนุภาคขนาดเล็กซึ่งอยู่ในกระบวนการผลิต เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้คุณภาพของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอาจจะไม่ได้ตามมาตรฐาน ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจึงจำเป็นต้องควบคุมสภาวะของความสะอาดงาน ดังนั้นวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยในกระบวนการทำความสะอาดที่มีผลต่อปริมาณอนุภาคบน Spindle Motor พร้อมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัย เพื่อควบคุมให้ปริมาณอนุภาคเฉลี่ยลดลงอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (CCD) และวิเคราะห์ผลด้วย Minitab Version 18 จากการศึกษา 4 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในการทำความสะอาด อุณหภูมิของน้ำในถังล้าง ความเข้มข้นของน้ำยาทำความสะอาด และกำลังวัตต์คลื่นอัลตราโซนิก เพื่อหาค่าตอบสนองคือค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย (ค่า LPC) ผลจากการวิเคราะห์พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด คือ เวลาในการทำความสะอาด 320.45 วินาที อุณหภูมิของน้ำในถังล้าง 41.7 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของน้ำยาทำความสะอาด 6.34 เปอร์เซ็นต์ และกำลังวัตต์คลื่นอัลตราโซนิก 70 เปอร์เซ็นต์

คาสาคัญ: การออกแบบการทดลอง, ปริมาณอนุภาคเฉลี่ย, กระบวนการทำความสะอาด

Abstract

The cleaning process is one of the most important processes in hard disk drive manufacturing. Due to contaminants or small particles in the production process This is the main reason why the quality of hard disk drives may not meet the standards. In the manufacturing process of hard disk drive components, it is necessary to control the condition of cleanliness. This research aims to determine the factors in the cleaning process that affect the particle counts on the spindle motor and determine the optimum condition of the factors. To control the average particle quantity reduction by at least 20 percent. The central compound experimental design (CCD) was used and the results were analyzed by Minitab Version 18 program. The temperature of the water in the rinsing tank cleaning solution concentration and the wattage of the ultrasonic waves to determine the response was the mean particle content (LPC value). The results of the analysis showed that the most suitable parameter for each factor to obtain the mean particle content was the least value, i.e. cleaning time 320.45 sec, water temperature in a rinsing tank 41.7 °C, the cleaning solution was 6.34 percent and the ultrasonic wattage was 70 percent.

Keywords: Design of Experiment, Liquid Particle Count, Cleaning Process

1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตหลักของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก มีการแข่งขันสูงในด้านของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุมาก แต่มีขนาดเล็ก แต่ปัญหาที่ตามมาคือสิ่งปนเปื้อนหรืออนุภาคขนาดเล็กที่ต้องควบคุมในกระบวนการผลิต เพราะสิ่งปนเปื้อนเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้คุณภาพของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอาจจะไม่ได้ตามมาตรฐาน ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจึงจำเป็นต้องควบคุมสภาวะของความสะอาด ปัญหาผลิตภัณฑ์ของเสียที่เกิดจากอนุภาคฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงานค่อนข้างสูงขึ้นเป็นระยะ จากการตรวจสอบด้วย LPC (Liquid Particle Counter) ซึ่งตรวจวัดด้วยวิธีการนับปริมาณอนุภาคโดยใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง [1]

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิต Hub FCC ซึ่งเป็นหนึ่งในชิ้นส่วนประกอบของ Spindle Motor โดย Hub FCC ทำหน้าที่เป็นแกนหมุนของแผ่นเก็บข้อมูล [2] ใช้สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 3.5 นิ้ว Hub FCC แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือทำมาจากสแตนเลสและอะลูมิเนียม จากนั้นนำ Hub ไปทำร่อง (Groove) ด้านใน เพราะฉะนั้น Hub จึงมีอนุภาคฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนที่เกิดจากการกัดร่อง Groove ซึ่งจะมีทั้งเศษเนื้อวัสดุสแตนเลสหรืออะลูมิเนียมของ Hub ฝุ่นจากสิ่งแวดล้อม และคราบน้ำยาที่ใช้ในการกัดร่อง สิ่งเหล่านี้มีอิทธิพลต่อค่า LPC ที่สูงขึ้น

เนื่องจาก Hub FCC แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือทำมาจากสแตนเลสและอะลูมิเนียม โดย Hub ทั้ง 2 ประเภทจะมีลักษณะพื้นผิว และการออกแบบที่แตกต่างกัน จากการเข้าไปศึกษาในกระบวนการผลิตพบว่าประเภท Hub ที่มี Balance Hole หรือรูสกรูจำนวนมาก จะมีค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย (LPC) สูงและไม่คงที่ เนื่องจากอนุภาคฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนสามารถเข้าไปสะสมในรูได้มาก รวมถึงวัสดุของ Hub ชนิดนี้เป็นประเภทอะลูมิเนียม ผิวสัมผัสรอบ Hub จึงเป็นคราบได้ง่าย เมื่อนำไปทำความสะอาดซ้ำหลาย ๆ รอบจะทำให้พื้นผิวรอบ ๆ เป็นคราบขุ่น มีรอยขีดข่วนจากการสัมผัสชิ้นงานมาก ๆ ทำให้เกิดความเสียหาย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือก Hub อะลูมิเนียมโมเดล CM5 เนื่องจากการออกแบบมีลักษณะ Balance Hole จำนวนที่มากกว่าและมีขนาดใหญ่ อีกทั้ง Hub โมเดล CM5 มีปริมาณการสั่งซื้อในปีพ.ศ. 2564 เท่ากับ 7,300,000 ชิ้น คิดเป็น 85.88 เปอร์เซ็นต์ของสินค้า Hub FCC ประเภทอะลูมิเนียมทั้งหมด

จากการศึกษากระบวนการทำความสะอาด Hub FCC นั้นสามารถอธิบายขั้นตอนการทำความสะอาดได้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระบวนการทำความสะอาด Hub FCC

ขั้นตอนที่	กระบวนการ
1	การนำชิ้นงานเข้าในถังล้าง โดยใส่งานในตะกร้าสำหรับใช้เข้ากระบวนการล้าง
2	ล้างชิ้นงานครั้งที่ 1 ในถังอัลตราโซนิกถังที่ 1 ที่มีน้ำยาทำความสะอาด
3	ล้างชิ้นงานครั้งที่ 2 ในถังอัลตราโซนิกถังที่ 2 ที่ไม่มีน้ำยาทำความสะอาด
4	ล้างชิ้นงานครั้งที่ 3 ในถังอัลตราโซนิกถังที่ 3 ที่ไม่มีน้ำยาทำความสะอาด
5	เป่างานให้แห้ง ในถังเป่าลมร้อนถังที่ 1
6	เป่างานให้แห้ง ในถังเป่าลมร้อนถังที่ 2
7	การนำชิ้นงานออกจากถังล้าง
8	การสุ่มชิ้นงานเพื่อนำไปตรวจวัดค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย (LPC) บนชิ้นงาน

จากการตรวจสอบปริมาณอนุภาคเฉลี่ย โดยตรวจสอบจำนวน 5 ชิ้นต่อวันพบว่าค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่า LPC ของ Hub โมเดล CM5 มีแนวโน้มสูงขึ้น ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงธันวาคมปี พ.ศ. 2564 มีค่าเฉลี่ย LPC เท่ากับ 3,685 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 761 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร แต่ในช่วงเดือนมกราคมถึงมิถุนายนปี พ.ศ. 2564 มีค่าเฉลี่ย LPC เท่ากับ 4,070 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 937 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร โดยลูกค้าได้กำหนดขอบเขต (Specification) ของค่า LPC ต้องไม่เกิน 7,000 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร ทางบริษัทกรณีศึกษาจึงกำหนดค่า UCL (Upper Control Limit) ของค่า LPC ต้องไม่เกิน 6,300 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร เพื่อควบคุมคุณภาพงานอย่างดีที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยในกระบวนการทำความสะอาดที่มีผลต่อปริมาณอนุภาคบน Spindle Motor พร้อมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัย เพื่อควบคุมให้ปริมาณอนุภาคเฉลี่ยลดลงอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 ศึกษากระบวนการทาความสะอาดของ Hub FCC

จากการพบปัญหาของเสียในกระบวนการที่เกิดจากอนุภาคฝุ่นหรือสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงานค่อนข้างสูงขึ้นเป็นระยะ ๆ จากการตรวจสอบปริมาณอนุภาคเฉลี่ย หรือ LPC (Liquid Particle Counter) ซึ่งตรวจวัดด้วยวิธีการนับปริมาณอนุภาคโดยใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง ซึ่งเป็นการทดสอบคุณภาพที่สำคัญตามมาตรฐานของลูกค้าที่กำหนดไว้ และเมื่อต้องนำชิ้นงานที่มีค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยสูงกลับมาเข้ากระบวนการทำความสะอาดใหม่ จะมีโอกาสที่จะทำให้เกิดของเสียในกระบวนการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษากระบวนการความสะอาด Hub FCC เพื่อหาปัจจัยในกระบวนการทำความสะอาดที่มีผลต่อปริมาณอนุภาคบน Spindle Motor

2.2 คัดเลือกปัจจัยคาดว่าจะมีผลต่อค่าปริมาณอนุภาคของ Spindle motor

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในการลดปริมาณอนุภาคเฉลี่ยของ Hub FCC โมเดล CM5 จะต้องหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำความสะอาด โดยคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณอนุภาคด้วยการวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลา

2.3 การออกแบบแผนการทดลอง กำหนดตัวแปรตอบสนองและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ทำการออกแบบแผนการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (CCD) [3, 4] โดยกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) คือ ค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย และกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองโดยพิจารณาจากค่าปัจจุบันที่ทางบริษัทกรณีศึกษาใช้ร่วมกับข้อมูลในอดีต

2.4 ทาการทดลองตามแผนการทดลอง

ทำการทดลองตามแผนการทดลอง โดยลำดับการทดลองจะเป็นแบบสุ่ม (Random)

2.5 วิเคราะห์ผลการทดลองและหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

หลังจากทำการทดลองเสร็จเรียบร้อย จะทำการวิเคราะห์และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด

2.6 การยืนยันผลการทดลอง

จากวิเคราะห์ผลการทดลอง เมื่อได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยแล้ว จะทำการยืนยันผลการทดลอง โดยนำระดับที่เหมาะสมนำมาทดลองใช้ในกระบวนการผลิตจริง แล้วจึงทำการวิเคราะห์ว่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยที่ได้นั้นดีขึ้นกว่าเดิมหรือไม่อย่างไร

3. ผลการวิจัย

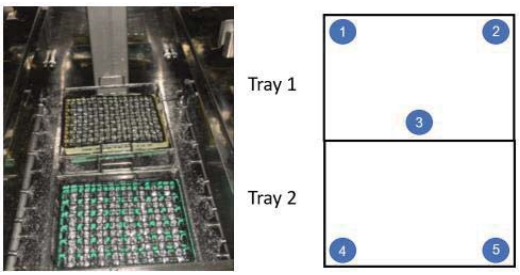
3.1 ผลการศึกษากระบวนการล้างของ Hub FCC

จากกระบวนการทำความสะอาด 8 ขั้นตอนดังตารางที่ 1 จากนั้นผู้วิจัยจะเก็บตัวอย่างมา 5 ชิ้นในการสุ่มแต่ละครั้ง โดยใน 1 ตะกร้าจะสามารถบรรจุงานได้ 48 ชิ้น โดยใส่ครั้งละ 2 ตะกร้า เท่ากับว่าในแต่ละรอบจะมีชิ้นงาน Hub FCC เข้าไปทำความสะอาดครั้งละ 96 ชิ้นงาน วิธีการสุ่มในปัจจุบันคือจะหยิบงานบริเวณใด หรือตำแหน่งใดเพื่อไปวัดค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยก็ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะศึกษาความแตกต่างของค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยบนชิ้นงานในแต่ละตำแหน่งว่าตำแหน่งที่สุ่มตรวจมีผลต่อค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยหรือไม่ โดยผู้วิจัยเลือกสุ่มหยิบงานในแต่ละตำแหน่งมา 5 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 1

การตั้งสมมติฐาน

สมมติฐานหลัก (H_0) : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

สมมติฐานรอง (H_1) : μ_i ไม่เท่ากันอย่างน้อย 1 คู่



รูปที่ 1 ตำแหน่งการสุ่มหยิบตัวอย่างชิ้นงาน

จากการที่ผู้วิจัยเลือกสุ่มหยิบงานในแต่ละตำแหน่งมา 5 ตำแหน่ง และทำการวัดค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยทั้งหมด 3 ครั้ง ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการสุ่มหยิบชิ้นงานแต่ละตำแหน่ง

ตำแหน่งที่	ปริมาณอนุภาคเฉลี่ย (LPC) หน่วย อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	3,152	3,117	3,210
2	3,306	3,242	3,011
3	2,997	3,052	3,027
4	3,022	3,134	3,054
5	2,985	3,042	3,127

จากนั้นนำไปวิเคราะห์ Analysis of Variance [4] พบว่าค่า p-value มีค่าเท่ากับ 0.156 มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.10 ดังนั้นไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ สรุปว่าค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการทดลองขั้นถัดไปผู้วิจัยสามารถสุ่มชิ้นงานในตำแหน่งใดมาทำการทดลองวัดค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย

3.2 ผลการคัดเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีต่อค่าปริมาณอนุภาคของ Spindle motor

ในการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณอนุภาคของ Spindle Motor ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลา แสดงดังรูปที่ 2 โดยทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการ 4M คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) และวิธีการ (Method)

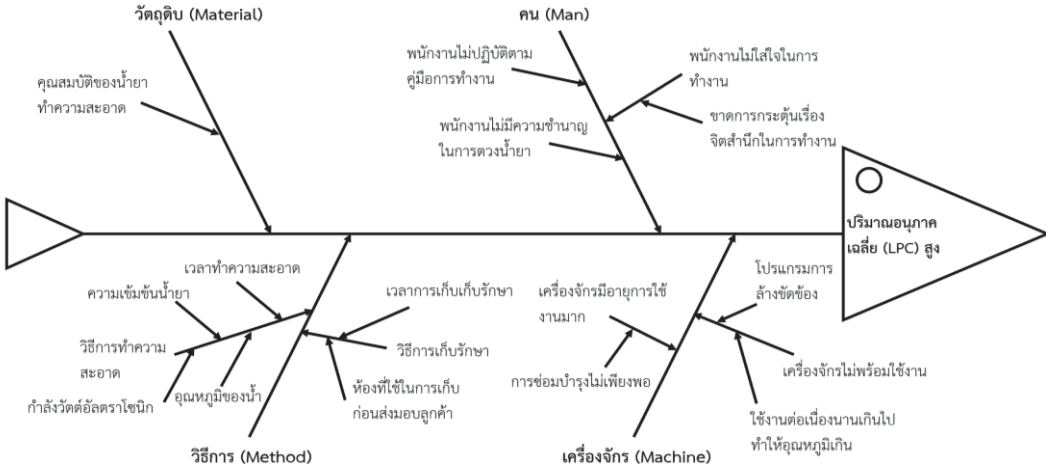
จากการวิเคราะห์ปัญหาจึงเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลทำให้ปริมาณอนุภาคเฉลี่ยสูงมา 4 ปัจจัย คือ เวลาในการทำความสะอาด อุณหภูมิของน้ำในถังล้าง ความเข้มข้นของน้ำยาทำความสะอาด และกำลังวัตต์คลื่นอัลตราโซนิก [5, 6]

3.3 ผลการออกแบบแผนการทดลอง กำหนดตัวแปรตอบสนองและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Designs : CCD) เนื่องจากเหมาะสำหรับใช้ในการศึกษาลักษณะโพลิโนเมียลดีกรี 2 (Second-Order or Quadratic Model) ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการใช้งานและมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับแผนการทดลองอื่นที่ใช้ในการศึกษาแบบโพลิโนเมียลดีกรี 2 [4] ตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) คือ ค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย ทำการทดลองทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ เวลาในการทำความสะอาด อุณหภูมิของน้ำในถังล้าง ความเข้มข้นของน้ำยาทำความสะอาด และกำลังวัตต์คลื่นอัลตราโซนิก โดยสามารถสรุประดับของแต่ละปัจจัยสำหรับการออกแบบการทดลองได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปัจจัยและระดับปัจจัยสำหรับกระบวนการทำความสะอาดมีผลต่อปริมาณอนุภาค

ปัจจัย	ประเภทปัจจัย	ระดับของปัจจัย ต่ำ	ระดับของปัจจัย สูง	หน่วย
เวลาในการทำความสะอาด (A)	Continuous	240	300	วินาที
อุณหภูมิของน้ำในถังล้าง (B)	Continuous	35	40	องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นของน้ำยาทำความสะอาด (C)	Continuous	5	6	เปอร์เซ็นต์
กำลังวัตต์คลื่นอัลตราโซนิก (D)	Categorical	70	80	เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2 ผังก้างปลาสำหรับวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลให้ปริมาณอนุภาคเฉลี่ยสูง

จากการคำนวณรูปแบบแผนการทดลองโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ Minitab Version 18 ซึ่งกำหนดปัจจัย A B และ C ทดลองที่ 5 ระดับ และปัจจัย D ทดลองที่ 2 ระดับ จากการคำนวณค่า Power เมื่อกำหนดจำนวนการทำซ้ำ 1 2 3 และ 4 ครั้ง ได้ค่า Power แสดงดังรูปที่ 3 ในงานวิจัยนี้มี 4 ปัจจัย มี Center Point 8 จุด ดังนั้นจึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 40 การทดลอง โดยไม่ทำการทดลองซ้ำ แผนการทดลองแสดงดังตารางที่ 4

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design
α = 0.1 Assumed standard deviation = 1

Method

Factors: 4 Base Design: 4, 16
Blocks: none

Including a term for center points in model.

Results

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Power
8	2	1	24	0.97340
8	2	2	40	0.99994
8	2	3	56	1.00000
8	2	4	72	1.00000

รูปที่ 3 ผลการคำนวณค่า Power เมื่อมีจำนวนการทำซ้ำ 1 ถึง 4 ครั้ง

ตารางที่ 4 แผนการทดลองโดยวิธีการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (CCD)

No.	Std Order	Run Order	PtType	Blocks	A	B	C	D
1	11	1	-1	1	270.00	33.30	5.50	70
2	6	2	1	1	300.00	35.00	6.00	70
3	1	3	1	1	240.00	35.00	5.00	70
4	35	4	0	1	270.00	37.50	5.50	80
5	20	5	0	1	270.00	37.50	5.50	70
6	33	6	-1	1	270.00	37.50	4.66	80
7	38	7	0	1	270.00	37.50	5.50	80

ตารางที่ 4 (ต่อ)

No.	Std Order	Run Order	PtType	Blocks	A	B	C	D
8	13	8	-1	1	270.00	37.50	4.66	70
9	2	9	1	1	300.00	35.00	5.00	70
10	21	10	1	1	240.00	35.00	5.00	80
11	23	11	1	1	240.00	40.00	5.00	80
12	5	12	1	1	240.00	35.00	6.00	70
13	4	13	1	1	300.00	40.00	5.00	70
14	24	14	1	1	300.00	40.00	5.00	80
15	32	15	-1	1	270.00	41.70	5.50	80
16	29	16	-1	1	219.55	37.50	5.50	80
17	26	17	1	1	300.00	35.00	6.00	80
18	14	18	-1	1	270.00	37.50	6.34	70
19	34	19	-1	1	270.00	37.50	6.34	80
20	7	20	1	1	240.00	40.00	6.00	70
21	8	21	1	1	300.00	40.00	6.00	70
22	15	22	0	1	270.00	37.50	5.50	70
23	18	23	0	1	270.00	37.50	5.50	70
24	36	24	0	1	270.00	37.50	5.50	80
25	39	25	0	1	270.00	37.50	5.50	80
26	25	26	1	1	240.00	35.00	6.00	80
27	17	27	0	1	270.00	37.50	5.50	70
28	28	28	1	1	300.00	40.00	6.00	80
29	30	29	-1	1	320.45	37.50	5.50	80
30	27	30	1	1	240.00	40.00	6.00	80
31	37	31	0	1	270.00	37.50	5.50	80
32	31	32	-1	1	270.00	33.30	5.50	80
33	3	33	1	1	240.00	40.00	5.00	70
34	40	34	0	1	270.00	37.50	5.50	80
35	12	35	-1	1	270.00	41.70	5.50	70
36	10	36	-1	1	320.45	37.50	5.50	70
37	9	37	-1	1	219.55	37.50	5.50	70
38	16	38	0	1	270.00	37.50	5.50	70
39	22	39	1	1	300.00	35.00	5.00	80
40	19	40	0	1	270.00	37.50	5.50	70

3.4 ผลการทดลอง

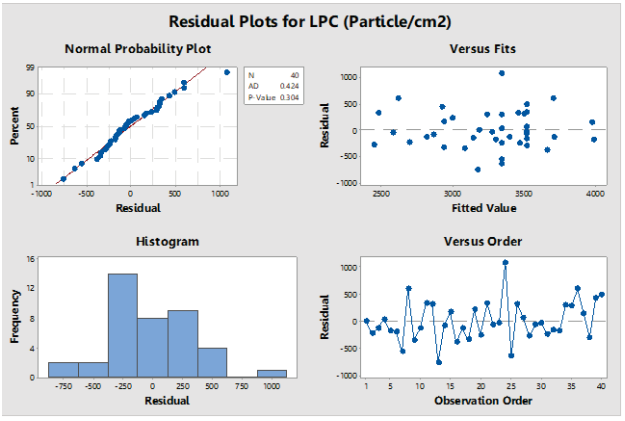
ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดลองตามแผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

No.	Std Order	Run Order	PtType	Blocks	A	B	C	D	ปริมาณอนุภาคเฉลี่ย (อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร)
1	11	1	-1	1	270.00	33.30	5.50	70	3,187
2	6	2	1	1	300.00	35.00	6.00	70	2,463
3	1	3	1	1	240.00	35.00	5.00	70	3,581
4	35	4	0	1	270.00	37.50	5.50	80	3,379
5	20	5	0	1	270.00	37.50	5.50	70	3,342
6	33	6	-1	1	270.00	37.50	4.66	80	3,112
7	38	7	0	1	270.00	37.50	5.50	80	2,779
8	13	8	-1	1	270.00	37.50	4.66	70	4,298
9	2	9	1	1	300.00	35.00	5.00	70	2,731
10	21	10	1	1	240.00	35.00	5.00	80	3,261
11	23	11	1	1	240.00	40.00	5.00	80	3,857
12	5	12	1	1	240.00	35.00	6.00	70	3,805
13	4	13	1	1	300.00	40.00	5.00	70	2,407
14	24	14	1	1	300.00	40.00	5.00	80	2,788
15	32	15	-1	1	270.00	41.70	5.50	80	3,105
16	29	16	-1	1	219.55	37.50	5.50	80	3,274
17	26	17	1	1	300.00	35.00	6.00	80	2,680
18	14	18	-1	1	270.00	37.50	6.34	70	2,602
19	34	19	-1	1	270.00	37.50	6.34	80	3,218
20	7	20	1	1	240.00	40.00	6.00	70	3,208
21	8	21	1	1	300.00	40.00	6.00	70	2,809
22	15	22	0	1	270.00	37.50	5.50	70	3,451
23	18	23	0	1	270.00	37.50	5.50	70	3,484
24	36	24	0	1	270.00	37.50	5.50	80	4,426
25	39	25	0	1	270.00	37.50	5.50	80	2,703
26	25	26	1	1	240.00	35.00	6.00	80	3,776
27	17	27	0	1	270.00	37.50	5.50	70	3,577
28	28	28	1	1	300.00	40.00	6.00	80	2,174
29	30	29	-1	1	320.45	37.50	5.50	80	2,519
30	27	30	1	1	240.00	40.00	6.00	80	3,235
31	37	31	0	1	270.00	37.50	5.50	80	3,100
32	31	32	-1	1	270.00	33.30	5.50	80	2,987
33	3	33	1	1	240.00	40.00	5.00	70	3,801
34	40	34	0	1	270.00	37.50	5.50	80	3,641
35	12	35	-1	1	270.00	41.70	5.50	70	3,521
36	10	36	-1	1	320.45	37.50	5.50	70	3,215
37	9	37	-1	1	219.55	37.50	5.50	70	4,117
38	16	38	0	1	270.00	37.50	5.50	70	3,215
39	22	39	1	1	300.00	35.00	5.00	80	3,359
40	19	40	0	1	270.00	37.50	5.50	70	4,006

3.5 ผลการวิเคราะห์และหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

การวิเคราะห์ความค่าความคลาดเคลื่อนจากโปรแกรม Minitab ตามข้อสมมุติของการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยแผนภูมิการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual Plot) ของค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย (LPC) แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟค่าความคลาดเคลื่อน (Residual Plot) ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยของกระบวนการทำความสะอาด

จากกราฟค่าความคลาดเคลื่อนสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) มีลักษณะเป็นเส้นตรง และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของการทดสอบเท่ากับ 0.304 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.10 แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ
2. จากกราฟ Residual vs Fitted Value พบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวอยู่บน และล่างเส้นศูนย์พอ ๆ กัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ นอกจากนี้ค่าคลาด เคลื่อนไม่มีลักษณะเป็นรูปลำโพงแสดงว่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่
3. จากกราฟ Residual vs Observation Order พบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวแบบสุ่ม ไม่มีรูปแบบแน่นอน แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน

จากผลการวิเคราะห์ค่าแปรปรวนพบว่าการวิเคราะห์ความเพียงพอของสมการ (Lack of Fit) ของค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย (LPC) โดยกำหนดสมมติฐานทางสถิติ (Statistic Hypothesis) สำหรับการทดสอบความเพียงพอของสมการ ดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) คือสมการเหมาะสม (There is No Lack of Fit)

สมมติฐานรอง (H_1) คือสมการไม่เหมาะสม (There is a Lack of Fit)

โดยที่ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ของค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย (LPC) โดยไม่พิจารณาอันตกิริยาตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป จากวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า Lack of Fit แสดงค่า P-Value เท่ากับ 0.722 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.10 แสดงว่าไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) จึงสามารถสรุปได้ว่าสมการถดถอยสำหรับพยากรณ์ปริมาณอนุภาคเฉลี่ย (LPC) มีความเหมาะสมแล้ว แสดงดังรูปที่ 5

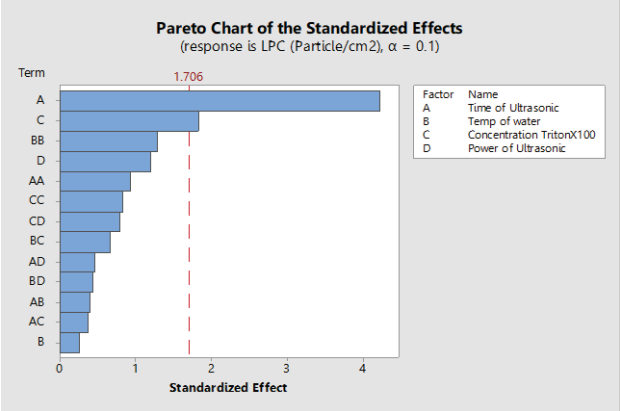
Response Surface Regression: Y-bar (LPC) versus Time of ... Ultrasonic

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	13	5495328	422718	2.09	0.053
Linear	4	4578711	1144678	5.67	0.002
Time of Ultrasonic	1	3588184	3588184	17.78	0.000
Temp of water	1	13979	13979	0.07	0.794
Concentration TritonX100	1	679503	679503	3.37	0.078
Power of Ultrasonic	1	297045	297045	1.47	0.236
Square	3	550404	183468	0.91	0.450
Time of Ultrasonic*Time of Ultrasonic	1	178694	178694	0.89	0.355
Temp of water*Temp of water	1	333460	333460	1.65	0.210
Concentration TritonX100*Concentration TritonX100	1	139362	139362	0.69	0.414
2-Way Interaction	6	366213	61035	0.30	0.930
Time of Ultrasonic*Temp of water	1	33581	33581	0.17	0.687
Time of Ultrasonic*Concentration TritonX100	1	29156	29156	0.14	0.707
Time of Ultrasonic*Power of Ultrasonic	1	44642	44642	0.22	0.642
Temp of water*Concentration TritonX100	1	92873	92873	0.46	0.504
Temp of water*Power of Ultrasonic	1	38867	38867	0.19	0.664
Concentration TritonX100*Power of Ultrasonic	1	127095	127095	0.63	0.435
Error	26	5247114	201812		
Lack-of-Fit	16	2827656	176729	0.73	0.722
Pure Error	10	2419458	241946		
Total	39	10742442			

รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย (LPC)

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 คือ เวลาในการทำความสะอาด (A) และความเข้มข้นของน้ำยาทำความสะอาด (C) แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟพาเรโตของค่าผลกระทบมาตรฐานของปัจจัยโดยที่มีผลต่อค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย

โดยมีสมการถดถอย (Regression) เพื่อใช้พยากรณ์ความเป็นไปได้ของค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยโดยโปรแกรม Minitab Version 18 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 สมการเนื่องจากปัจจัย D เป็นปัจจัยแบบไม่ต่อเนื่อง (Categorical Factor) ผลลัพธ์ได้ตามสมการที่ 1 และ 2

$$\widehat{LPC}_1 = -52626 + 72.4\,A + 1799\,B + 5666\,C - 0.0875\,A^2 - 17.2\,B^2 - 279\,C^2 - 0.61\,AB - 2.85\,AC - 61.0\,BC \quad (1)$$

$$\widehat{LPC}_2 = -53896 + 75.1\,A + 1769\,B + 5939\,C - 0.0875\,A^2 - 17.2\,B^2 - 279\,C^2 - 0.61\,AB - 2.85\,AC - 61.0\,BC \quad (2)$$

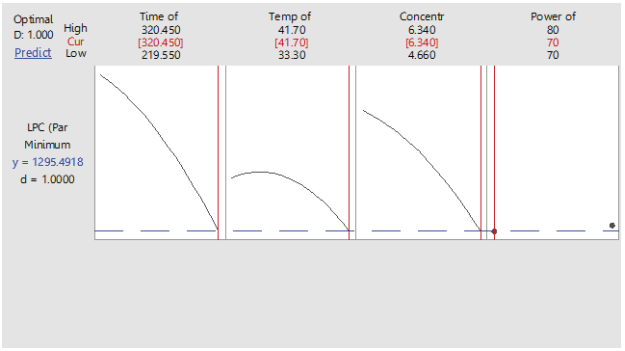
โดยที่ $\widehat{LPC}_1$ คือค่าพยากรณ์ของค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยที่กำลังวัตต์อัลตราโซนิก 70 เปอร์เซ็นต์

$\widehat{LPC}_2$ คือค่าพยากรณ์ของค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยที่กำลังวัตต์อัลตราโซนิก 80 เปอร์เซ็นต์

โดยที่ค่าปัจจัยต่าง ๆ ต้องมีค่าอยู่ในช่วงดังนี้

1. เวลาในการทำความสะอาด (A) มีค่าอยู่ระหว่าง 219.55 วินาที ถึง 320.45 วินาที
2. อุณหภูมิของน้ำในถังล้าง (B) มีค่าอยู่ระหว่าง 33.30 องศาเซลเซียส ถึง 41.70 องศาเซลเซียส
3. ความเข้มข้นของน้ำยาทำความสะอาด (C) มีค่าอยู่ระหว่าง 4.66 เปอร์เซ็นต์ ถึง 6.34 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำสมการพยากรณ์ค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยมาวิเคราะห์ผลด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) โดยใช้คำสั่ง Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab Version 18 เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการกำหนดค่าเป้าหมายเป็นค่าที่น้อยที่สุด เนื่องจากปริมาณอนุภาคเฉลี่ย ยิ่งน้อยยิ่งดี แสดงว่าพื้นผิวมีความสะอาดมาก โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 Optimization Plot

จากรูปที่ 6 พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด คือ เวลาในการทำความสะอาด 320.45 วินาที อุณหภูมิของน้ำในถังล้าง 41.7 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของน้ำยาทำความสะอาด 6.34 เปอร์เซ็นต์ และกำลังวัตต์คลื่นอัลตราโซนิก 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระดับปัจจัยที่เหมาะสมเหล่านี้จะส่งผลให้ค่าพยากรณ์ของปริมาณอนุภาคเฉลี่ยน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 1,295.4918 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร

3.6 ผลการยืนยันผลการทดลอง

เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ได้จากผลการวิจัยว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยหลังการปรับปรุงมีค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยลดลงอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์ (ค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยในช่วงเดือนมกราคมถึงมิถุนายนปี พ.ศ. 2564 ซึ่งเท่ากับ 4,070 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร โดยถ้าต้องการให้ค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ย

ลดลงอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยต้องมีค่าน้อยกว่า 3,256 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร) ตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้หรือไม่ โดยทำการทดสอบในกระบวนการผลิตจำนวน 30 ตัวอย่าง สามารถเขียนสมมติฐานการทดสอบได้ดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) : $\mu_i = 3,256$

สมมติฐานรอง (H_1) : $\mu_i < 3,256$

ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าค่า P-Value มีค่าเท่า กับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.10 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ กล่าวคือค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยหลังการปรับปรุงมีค่าน้อยกว่า 3,256 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำการออกแบบการทดลองมาเพื่อใช้ออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยในกระบวนการทำความสะอาดที่มีผลต่อปริมาณอนุภาคบน Spindle Motor พร้อมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัย จากการวิเคราะห์พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย เพื่อให้ได้ค่าปริมาณอนุภาคเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด คือ เวลาในการทำความสะอาด 320.45 วินาที อุณหภูมิของน้ำในถังล้าง 41.7 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของน้ำยาทำความสะอาด 6.34 เปอร์เซ็นต์ และกำลังวัตต์คลื่นอัลตราโซนิก 70 เปอร์เซ็นต์

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ให้ข้อมูลและสถานที่ในการเก็บข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ภูษิต ศรีสวัสดิ์. 2554. ทฤษฎีการวัดขนาดและปริมาณอนุภาค. แหล่งที่มา:http://www.myscience.co.th/ index.php? lay= show& ac=article&Id=539352052,14 กันยายน 2564

[2] Hard Disk Computing. 2015. Britannica Technology. Available Source:https://www.britannica.com/technology/hard-disk, September 5, 2021

[3] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ท้อปจำกัด กรุงเทพมหานคร

[4] Montgomery, D. C. 2009. Introduction to Statistical Quality Control. 6th ed. John Wiley & Son, Incorporated.

[5] ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. 2544. เครื่องมือวิทยาศาสตร์. ปรับปรุงใหม่ พิมพ์ครั้งที่ 3. หจก. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา ,ขอนแก่น

[6] John Funchs, F. 1995. Ultrasonic Cleaning. Fundamental theory and application, Blackstone Corp., Jamestown, NY, United States..

การปรับปรุงประสิทธิภาพปฏิบัติการใช้ระบบของเตาอบขนมอบกรอบ

Improving Operational Availability of A Biscuit Heating Tunnel

จันทร์ฑา นาควชิรตระกูล[1] กฤษดา ประสพชัยชนะ[1*] โรสมารินทร์ สุขเกษม[1] สุนิสา คำสุข[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: krisadap@eng.buu.ac.th*

Chantra Nakvachiratrakul[1], Kritsada Prasopchaichana[1*], Rosemarin Sukhasem[1], Sunisa Khamsuk[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: krisadap@eng.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

การปรับปรุงประสิทธิภาพปฏิบัติการใช้ระบบ (Operational Availability: A_o) ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตเป็นวิธีการหนึ่งของการเพิ่มผลผลิต โรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตขนมอบกรอบแห่งหนึ่ง มีการใช้เตาอบขนมเป็นเครื่องจักรหลักโดยมีประสิทธิภาพปฏิบัติการใช้ระบบโดยเฉลี่ยเพียง76.38% งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาข้อมูลเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของความขัดข้องล้มเหลวของเตาอบขนมต้นแบบ แล้วดำเนินการปรับปรุงโดยการเพิ่มภารกิจบำรุงรักษาเชิงรุกที่จำเป็นสำหรับการลดเวลาหยุดชะงักของเตาอบขนมจำนวน 39 รายการ ประกอบด้วยมาตรการบำรุงรักษาด้วยตนเอง การปรับปรุงชิ้นส่วนอุปกรณ์ให้บำรุงรักษาได้ง่าย การพัฒนาทักษะซ่อมบำรุง และการกำหนดวงรอบการบำรุงรักษาชิ้นส่วนอุปกรณ์ ผลการปรับปรุงแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพปฏิบัติการใช้ระบบ (Operational Availability: A_o) มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 93.55% ตามเป้าหมายของโรงงานกรณีศึกษา

คาสาคัญ: ประสิทธิภาพปฏิบัติการใช้ระบบ, มาตรการบำรุงรักษาด้วยตนเอง, ลักษณะความขัดข้องล้มเหลว

Abstract

Improving Operational Availability (A_o) of manufacturing machines is a method of the productivity improvement. The case study factory is a biscuit manufacturer that uses heat tunnels as the main machines with average operational availability of 76.38%. This research aims to analyze the root causes of the failure modes of the heat tunnel model. The improvements were conducted by adding 39 proactive maintenance tasks for an autonomous maintenance, improving parts for an easy preventive maintenance, developing maintenance skills and determining the maintenance cycles of equipment parts. The result showed an increment in operational availability to 93.55% toward the firm target.

Keywords: Operational Availability**,** Autonomous maintenance, Failure modes

1. บทนำ

กรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตขนมอบกรอบที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด แผนกผลิตขนมอบกรอบ CCK ใช้เตาอบทั้งหมด 7 เครื่อง เตาอบต้นแบบกรณีศึกษามีประสิทธิภาพปฏิบัติการใช้ระบบ (Operational Availability: A_o) เพียง 76.38% ซึ่งไม่สามารถตอบสนองต่อเป้าหมายการขายในปี 2562 ที่มียอดขายสูงขึ้น 20% ผู้บริหารต้องการให้เตาอบขนมมีความขัดข้องล้มเหลวลดลง โดยกำหนดเป้าหมายที่ค่า A_o ของเตาอบต้นแบบจะต้องไม่น้อยกว่า 85% การศึกษานี้จึงนำเสนอกระบวนการกำหนดภารกิจบำรุงรักษาเชิงรุกที่เหมาะสมสำหรับแต่ละลักษณะความขัดข้องล้มเหลวของแต่ละชิ้นส่วนอุปกรณ์ย่อยของเตาอบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพปฏิบัติการใช้ระบบของเตาอบขนม CCK

2. ทฤษฎีที่เกียวข้อง

2.1 ประสิทธิภาพการปฏิบัติการใช้ระบบ

ประสิทธิภาพปฏิบัติการการใช้ระบบ (Operational Availability: A_o) [1] เป็นมาตรวัดค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักรและระบบปฏิบัติการในช่วงเวลาที่สนใจศึกษา ซึ่งพิจารณาเวลาหยุดชะงักของระบบจากทุกกิจกรรมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักรและระบบตามที่แสดงในสมการ (1) โดยพิจารณาให้เป็นสัดส่วนของเวลาเดินเครื่องจักร (In-cycle Time or Machine Running Time: *RT*) ต่อเวลาปฏิบัติการระบบ (Operating Time: *OT*) ที่ประกอบด้วยเวลาเดินเครื่องจักร ซึ่งเป็นส่วนของเวลาของการสร้างคุณค่าและองค์ประกอบเวลาสูญเปล่าที่เกิดจากการดำเนินกิจกรรมต่างๆ คือ เวลาทำความสะอาดเครื่องจักร เวลาปรับเปลี่ยนและปรับตั้งเครื่องจักร เวลาอุ่นเครื่องจักร เวลาซ่อมแซมหลังขัดข้องล้มเหลว เวลาของงานธุรการและจัดเตรียมทรัพยากรก่อนซ่อมแซมหลังขัดข้องล้มเหลว เวลาค้นหาความผิดปกติหลังขัดข้องล้มเหลว เวลารอคอยการผลิต เวลาหยุดซ่อมบำรุงตามวงรอบที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

$$A_o = RT/OT \qquad (1)$$

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการกระจายแบบไวบูลล์ [2,3,4,5]

การวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการกระจายแบบไวบูลล์ซึ่งมีลักษณะข้อมูลการกระจายแบบต่อเนื่องที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากการนำไปใช้ค่อนข้างง่ายในขณะที่ต้องการขนาดตัวอย่างไม่ใหญ่มากและมีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็นไวบูลล์ แสดงดังนี้

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^{\beta}} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right], \quad t \geq 0 \qquad (2)$$

β คือ พารามิเตอร์รูปร่าง (Shape parameter)

η คือ พารามิเตอร์สเกล (Scale parameter)

2.3 การบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความเชือถือได้เป็นสำคัญ

การบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความเชื่อถือได้เป็นสำคัญ (Reliability-Centred Maintenance: RCM) เป็นแนวคิดของการบำรุงรักษาที่แสดงให้เห็นว่ารูปแบบอัตราขัดข้องล้มเหลวไม่จำเป็นต้องเป็นรูปโค้งอ่างน้ำ (Bathtub Curve) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่รูปแบบอัตราความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนองค์ประกอบต่างๆ อาจมีได้ถึง 6 รูปแบบ ซึ่งการพิจารณารูปแบบอัตราความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนองค์ประกอบได้อย่างถูกต้อง จะทำให้สามารถกำหนดภารกิจซ่อมบำรุงที่ถูกต้องหรือมีประสิทธิผลมากขึ้น โดยที่ RCM ได้กำหนดให้ภารกิจซ่อมบำรุงแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มมาตรการเชิงรุกและกลุ่มมาตรการเชิงรับ มีทั้งสิ้น 6 ภารกิจ คือ ภารกิจซ่อมบำรุงตามสภาพ ภารกิจฟื้นฟูสภาพตามกำหนดการ ภารกิจถอดเปลี่ยนชิ้นส่วนองค์ประกอบตามกำหนดการ ภารกิจการตรวจค้นหาความขัดข้องล้มเหลว ภารกิจการออกแบบระบบใหม่ และภารกิจซ่อมแซมเมื่อขัดข้องล้มเหลว [6,7]

3. วิธีการดำเนินการ

การศึกษาเพื่อกำหนดภารกิจบำรุงรักษาเชิงรุกเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพปฏิบัติการระบบของเตาอบขนมอบกรอบ แบ่งขั้นตอนการดำเนินการออกเป็น 4 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

3.1 การรวบรวมข้อมูลความขัดข้องล้มเหลว

รวบรวมข้อมูลความขัดข้องล้มเหลวของแต่ละชิ้นส่วนอุปกรณ์ทั้ง 19 ชิ้นส่วนที่เคยเกิดขึ้นกับเตาอบทั้ง 7 เครื่อง มีความขัดข้องล้มเหลวโดยรวม 6 ลักษณะ (Failure mode: FM) ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งการหลวมคลอนเป็นลักษณะความขัดข้องล้มเหลวที่เกิดกับอุปกรณ์จำนวน 10 ชิ้นส่วน ลำดับถัดไป คือ ล้าตัว สึกหรอเกิดขึ้นกับอุปกรณ์จำนวน 4 ชิ้นส่วน และลักษณะความขัดข้องล้มเหลวที่เหลือก็คือ ฝืดตาย แตกไหม้ บิดงอ และการอุดตัน

ตารางที่ 1 จำนวนลักษณะความขัดข้องล้มเหลวที่เคยเกิดขึ้นกับเตาอบ

ลักษณะความขัดข้องล้มเหลว	จำนวนอุปกรณ์ที่ขัดข้องล้มเหลว
หลวมคลอน	10
ยืดหย่อนล้าตัว สึกหรอ	4
แตก	3
บิดงอ, ฝืดตาย, ไหม้	อย่างละ 1 (รวมเป็น 3)

3.2 การวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา (Root causes analysis)

วิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาโดยการระดมสมองจากผู้บริหารและช่างซ่อมบำรุงที่มีประสบการณ์ด้วยแผนภูมิลูกศรความสัมพันธ์ (Relationship Arrow Diagram: RAD) เพื่อค้นหาสาเหตุของ

ปัญหาที่แท้จริงของความขัดข้องล้มเหลวของแต่ละชิ้นส่วนอุปกรณ์ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1) หน่วยงานซ่อมบำรุงกำหนดภารกิจบำรุงรักษามาตรการเชิงรุกโดยขาดการพิจารณาด้วยวิธีการที่เหมาะสมเพียงพอ มีเพียงการกำหนดให้มีการบำรุงรักษาแบบยกเครื่องทุกรอบการใช้งานครบ 9,600 ชั่วโมงเท่านั้น และจะซ่อมแซมตามอาการความขัดข้องล้มเหลวหากมีความขัดข้องล้มเหลวเกิดขึ้นก่อนถึงกำหนด 9,600 ชั่วโมง

2) ไม่มีโปรแกรมบำรุงรักษาเชิงรุกสำหรับชิ้นส่วนอุปกรณ์บางชิ้นส่วน

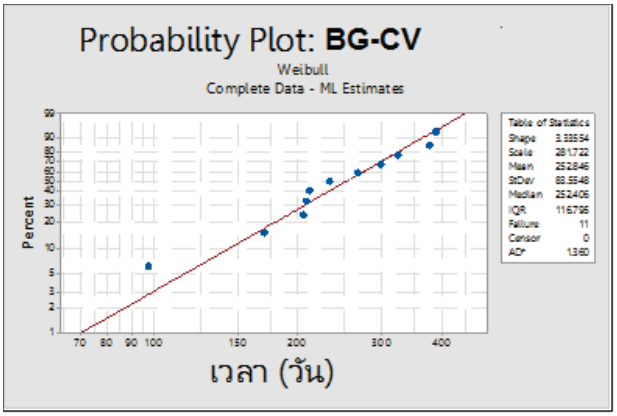
3) การใช้สารหล่อลื่นที่ทนความร้อนน้อยเกินไป

4) ขาดโปรแกรมการตรวจสอบสภาพเมื่อมีโอกาสหยุดเครื่องจักร

5) ขาดมาตรฐานการตรวจวัดสภาพที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงการละเลยการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิผล

3.3 การศึกษาอัตราความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนอุปกรณ์

การศึกษาอัตราความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนอุปกรณ์ จากบันทึกข้อมูลอายุการใช้งานก่อนขัดข้องล้มเหลว *TTF (Time To Failure)* ของแต่ละชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่เคยเกิดขึ้น พบว่ามีเพียง ตลับลูกปืน BG-CV เท่านั้นที่มีข้อมูล *TTF* จำนวน 11 ข้อมูล คือ 97, 170, 205, 208, 211, 233, 267, 298, 324, 376 และ 388 วัน นำข้อมูลมาวิเคราะห์การกระจายไวบูลล์หรือฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่แสดงในสมการ (2) ของตลับลูกปืน BG-CV ซึ่งสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ของการกระจายไวบูลล์ของข้อมูล *TTF* ของชิ้นส่วน BG-CV ด้วยวิธีการ *MLE* ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งกรณีที่จำนวนข้อมูลมีน้อยกว่า 20 ข้อมูล การทดสอบภาวะสารูปสนิทดี *GOF* จึงจำเป็นต้องทดสอบด้วยวิธีโคลโมกอรอฟ สเมอร์นอฟ ผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 1 พบว่าพารามิเตอร์รูปร่างและพารามิเตอร์สเกลของการกระจายไวบูลล์จากข้อมูล *TTF* ของตลับลูกปืน BG-CV เป็น 3.34 และ 281.72 วันตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ย *MTTF* เป็น 252.85 วัน



รูปที่ 1 Probability Plot ของตลับลูกปืน BG-CV

3.4 การกำหนดภารกิจบำรุงรักษา

การศึกษานี้ได้นำแนวคิดของการบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความเชื่อถือได้เป็นสำคัญ (Reliability-Centered Maintenance: RCM) มาใช้พิจารณาภารกิจซ่อมบำรุงที่ให้ความสำคัญกับการกำหนดภารกิจบำรุงรักษาที่สอดคล้องกับอัตราความขัดข้องล้มเหลวของแต่ละชิ้นส่วน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 การวิเคราะห์ลักษณะความขัดข้องล้มเหลวและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis: FMEA) ร่วมกับการวิเคราะห์ต้นไม้ตรรกะ (Logic tree analysis: LTA) การวิเคราะห์ FMEA จะพิจารณาว่าความขัดข้องล้มเหลวแต่ละลักษณะจะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของการปฏิบัติการ (Operational consequence: O) มากหรือน้อยเพียงใด หรือมีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมหรือฟื้นฟูระบบ (Non-operational consequence: N) สูงหรือไม่ ซึ่งหากมีผลกระทบต่อ O หรือ N สูงแล้วจำเป็นต้องพิจารณาภารกิจซ่อมบำรุงที่เหมาะสม โดยที่กำหนดภารกิจบำรุงรักษาที่สำคัญไว้ 6 ภารกิจ คือ การบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition direct: CD), การถอดชิ้นส่วนเปลี่ยนตามกำหนดการ (Time direct discard: TDD), การฟื้นฟูซ่อมแซมตามกำหนดการ (Time direct restoration: TDR), ซึ่งกรณีที่การประมาณค่าพารามิเตอร์ β ในสมการ (2) β>1 เท่านั้น ที่จะสามารถกำหนดภารกิจบำรุงรักษาแบบ TDD หรือ TDR ได้ การค้นหาความขัดข้องล้มเหลวแฝง (Failure finding: FF) จะใช้ในกรณีที่ความขัดข้องล้มเหลวมีผลกระทบบริบทด้าน H (Hidden failure) ภารกิจซ่อมแซมหรือฟื้นฟูสภาพหลังขัดข้องล้มเหลว (Run to failure: RTF) ใช้สำหรับชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่เมื่อขัดข้องล้มเหลวแล้วมีผลกระทบต่อบริบททั้ง 4 ด้านในระดับต่ำมาก และการออกแบบใหม่ (Redesign: RDS) จะใช้ในกรณีที่ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ขัดข้องล้มเหลวแล้วมีผลกระทบต่อการ

ดำเนินธุรกิจของสถานประกอบการ (Operational Consequence: O) แต่ไม่สามารถกำหนดภารกิจบำรุงรักษาที่มีประสิทธิผลได้ ตารางที่ 2 เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์ FMEA และ LTA ซึ่งผลของการวิเคราะห์ทำให้ทราบสาเหตุของปัญหานำไปสู่การกำหนดภารกิจบำรุงรักษาที่จำเป็นของแต่ละอุปกรณ์ย่อยได้แม่นยำมากขึ้น

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ FMEA และ LTA ความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนอุปกรณ์

		สาเหตุ	ผลกระทบ		ภารกิจบำรุงรักษา			
อุปกรณ์	FM		O	N	CD	TDD	TDR	RDS
PNMLD	FM072 -หลวม คลอน	ขาดการบำรุงรักษาเบื้องต้นที่ดี	Y	N	Y	N	N	*
	FM049 -ฝืด ตาย	ใช้สารหล่อลื่นที่ทนความร้อนน้อยเกินไปและขาดโปรแกรมการตรวจสอบสภาพเมื่อมีโอกาสหยุดเครื่องจักร	Y	N	N	N	N	Y
BG-CV	FM021 -แตก	ขาดมาตรฐานการตรวจวัดสภาพระหว่างการใช้งานที่มีประสิทธิภาพ	Y	Y	Y	N	N	Y

หมายเหตุ “N” – มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ หรือ เป็นทางเลือกที่ต้องพิจารณา

“Y” – ผลกระทบในระดับต่ำ หรือ ไม่เป็นทางเลือกที่ต้องพิจารณา

3.4.2 การกำหนดมาตรการบำรุงรักษาเชิงรุก เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพปฏิบัติการระบบของเตาอบขนมในการศึกษานี้ประกอบด้วย

1) การกำหนดภารกิจบำรุงรักษาที่จำเป็นและความถี่หรือวงรอบปฏิบัติการบำรุงรักษาสำหรับแต่ละชิ้นส่วนอุปกรณ์ย่อย เพื่อลดโอกาสการเกิดความขัดข้องล้มเหลวลงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

2) การกำหนดภารกิจบำรุงรักษาที่จำเป็นเพื่อป้องกันหรือลดปัญหาความขัดข้องล้มเหลวด้วยช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อโอกาสการเกิดความขัดข้องล้มเหลวนั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดความถี่หรือวงรอบการปฏิบัติการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิผล การรวบรวมข้อมูลปัญหาความขัดข้องล้มเหลวและการค้นหาสาเหตุปัญหารวมถึงการกำหนดภารกิจบำรุงรักษาที่จำเป็นดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายการภารกิจบำรุงรักษาที่จำเป็น

ชิ้นส่วนอุปกรณ์	ภารกิจบำรุงรักษา	รหัสภารกิจบำรุงรักษา
PNMLD, WT-E3, WT-PJ, WT-TJ, WT-SW, WT-SH, TT-OCMD, TT-JM, TT-HPLT, TT-MD, NZ-MD	ภารกิจบำรุงรักษาด้วยตนเอง ตรวจสอบสภาพขันแน่นประจำวันและทำความสะอาดสิ่งอุดตันประจำสัปดาห์	AM- T01- AM- 10, AM-C01
PNMLD, SP-CV, WD-MM, SP-SH	การตรวจสอและซ่อมแซมก่อนขัดข้องล้มเหลวประจำเดือน	I&R01,I&R04, I&06, I&R10
BG-CV, CH-CV, BG-MM, OC-MD, HPLT, MD	การตรวจสอและซ่อมแซมก่อนขัดข้องล้มเหลวประจำเดือนและเปลี่ยนตามวงรอบ	I&R02- I&R03, I&R05, I&07-I&R09

ซึ่งกำหนดการบำรุงรักษาเบื้องต้น แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

(1) กลุ่มชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ขาดโปรแกรมบำรุงรักษาเบื้องต้น ได้แก่ การทำความสะอาด การหล่อลื่น การตรวจสอบความผิดปกติเล็กๆ น้อยๆ และการขันแน่น มีจำนวน 11 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ มอบหมายให้ทีมช่างเทคนิคจัดทำใบตรวจสอบและมาตรฐานบำรุงรักษาด้วยตนเองให้พนักงานฝ่ายผลิตผู้ควบคุมเครื่องรับผิดชอบทำเป็นประจำทั้งรายวันและรายสัปดาห์

(2) กลุ่มชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ลักษณะความขัดข้องล้มเหลวที่มีแนวโน้มจะไม่ขึ้นกับอายุการใช้งาน ซึ่งขาดโปรแกรมบำรุงรักษา การตรวจสอบสภาพและแก้ไขก่อนขัดข้องล้มเหลวจำนวน 4 อุปกรณ์ เนื่องจากความขัดข้องล้มเหลวของอุปกรณ์กลุ่มนี้จะมีลักษณะสุ่ม ในเบื้องต้นจึงกำหนดให้มีการตรวจสอบโดยช่างซ่อมบำรุงด้วยความถี่ค่อนข้างมากเป็นรายเดือน แล้วจึงปรับความถี่ที่เหมาะสมหลังจากที่มีการตรวจสอบสภาพไประยะหนึ่งคือประมาณ 6 เดือน จึงจะประเมินปรับความถี่การตรวจสอบสภาพอีกครั้ง

(3) กลุ่มชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ลักษณะความขัดข้องล้มเหลวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งาน ซึ่งขาดโปรแกรมบำรุงรักษาตรวจสอบสภาพและโปรแกรมการเปลี่ยนหรือฟื้นฟูสภาพตามระยะเวลาจำนวน 6 อุปกรณ์ แต่ไม่มีข้อมูลอายุการใช้งานก่อนขัดข้องล้มเหลว (*TTF:Time To Failure)* ของอุปกรณ์เหล่านี้สำหรับการกำหนดวงรอบ

การบำรุงรักษา มีเพียงตลับลูกปืน BG-CV เท่านั้นที่มีข้อมูล *TTF* มากพอ จึงจำเป็นต้องกำหนดให้มีการตรวจสอบอุปกรณ์อีก 5 ชนิดโดยช่างซ่อมบำรุงด้วยความถี่เป็นรายเดือน และหากพบว่าชิ้นส่วนอุปกรณ์เหล่านี้เริ่มมีอาการผิดปกติและเริ่มส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรืออื่นๆ ให้กำหนดโปรแกรมในระยะเวลาสั้นลงเพื่อปฏิบัติการฟื้นฟูสภาพหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์เหล่านั้น และบันทึกอายุการใช้งานก่อนขัดข้องล้มเหลวนั้นเพื่อใช้สำหรับการศึกษาวงรอบการบำรุงรักษาที่เหมาะสมต่อไป

4. สรุปผลและอภิปราย

การค้นหาข้อมูลความจริง (Fact finding) ในเบื้องต้นทำให้ทราบว่าปัญหาหยุดชะงักของเตาอบขนม เกิดจากปัญหาชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเตาอบขนม ถูกกำหนดโปรแกรมบำรุงรักษาเชิงรุกไม่ครอบคลุมตามลักษณะความขัดข้องล้มเหลวแต่ละลักษณะที่เกิดขึ้น

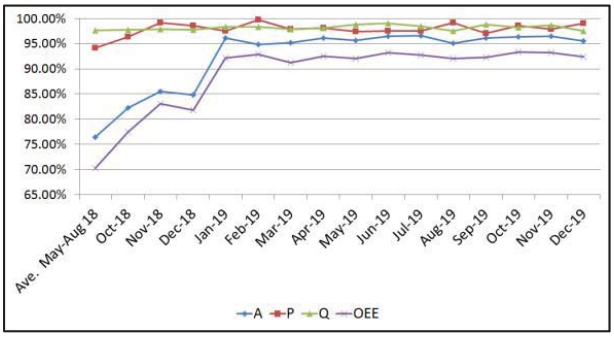
การวิเคราะห์ลักษณะความขัดข้องล้มเหลวร่วมกับการวิเคราะห์ต้นไม้ตรรกะ ทำให้สามารถกำหนดภารกิจบำรุงรักษาเชิงรุกที่จำเป็นเพิ่มขึ้นจำนวน 39 รายการที่จำแนกตามชนิดของแต่ละลักษณะความขัดข้องล้มเหลวดังแสดงในตารางที่ 4 ประกอบด้วยภารกิจบำรุงรักษาเบื้องต้น การทำความสะอาด การหล่อลื่น การตรวจสอบอาการผิดปกติเล็กๆน้อยๆ การขันแน่น ซึ่งเป็นภารกิจบำรุงรักษาที่ไม่ต้องการทักษะการบำรุงรักษามากนัก แต่มีภารกิจจำนวนมากที่อาจใช้เวลา จึงกำหนดให้พนักงานผู้ควบคุมเครื่องจักรฝ่ายผลิตมีส่วนร่วมทำการบำรุงรักษาเบื้องต้นนี้ในกิจกรรมการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (AM: Autonomous Maintenance) จำนวน 11 รายการ

การปรับปรุงเครื่องจักรเพื่อให้ทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพจำนวน 16 รายการ เช่น ติดตั้งกระเปาะอัดจารบีอัตโนมัติ ติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนนอกเตาอบขนม ติดตั้งลิมิตสวิทช์ตรวจสอบโซ่หย่อนไม่เกินกำหนด และการแก้ไขความผิดปกติที่ตรวจวัดได้ก่อนที่จะเกิดความขัดข้องล้มเหลว ซึ่งความถี่การตรวจวัดจะขึ้นกับโอกาสความผิดปกติที่อาจมีขึ้น ดังนั้นการกำหนดความถี่การตรวจวัดสภาพความผิดปกติในเบื้องต้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาอายุการใช้งานชิ้นส่วนอุปกรณ์ก่อนขัดข้องล้มเหลวจำนวน 6 ชิ้นส่วน โดยมีเพียงตลับลูกปืน BG-CV เท่านั้นที่มีข้อมูล *TTF* อยู่ส่วนหนึ่งจึงนำมาประมาณการวงรอบการบำรุงรักษา ซึ่งได้ค่า MTTF ประมาณ 252 วัน นั่นคือ เมื่ออายุการใช้งานของตลับลูกปืน BG-CV มีค่าเท่ากับ 75% ของ MTTF หรือเท่ากับ 189 วัน จะต้องมีการตรวจสอบสภาพตลับลูกปืนชุดนี้ ซึ่งวงรอบนี้ก็ยังไม่อาจกล่าวได้ว่ามีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้กำหนดอายุการใช้งานก่อนขัดข้องล้มเหลวของตลับลูกปืน BG-CV ได้เลย เนื่องจากข้อมูล *TTF* ทั้ง 11 ชุดนั้นเป็นระยะเวลาอายุการใช้งานจนขัดข้องล้มเหลวที่มีปัจจัยก่ออัตราเร่งของการขัดข้องล้มเหลว จึงถูกใช้อ้างอิงเพื่อกำหนดโปรแกรมการตรวจวัดความสั่นสะเทือนของอุปกรณ์เท่านั้น ส่วนอุปกรณ์ที่ไม่มีข้อมูล *TTF* จึงต้องกำหนดให้มีการตรวจวัดเบื้องต้นตามเวลาที่เหมาะสมต่อโอกาสการเกิดความขัดข้องล้มเหลวซึ่งกำหนดให้ตรวจสอบอาทิตย์ละครั้งในช่วงแรกและบันทึกข้อมูล *TTF* เมื่อพบความผิดปกติและเปลี่ยนทันทีก่อนขัดข้องล้มเหลว และเก็บข้อมูล *TTF* นี้เพื่อทบทวนวงรอบอายุการใช้งานก่อนขัดข้องล้มเหลวเมื่อมีจำนวนข้อมูล *TTF* ของแต่ละลักษณะความขัดข้องล้มเหลวมากพอ

ตารางที่ 4 ภารกิจบำรุงรักษาที่เพิ่มขึ้น

ภารกิจบำรุงรักษา	จำนวน (รายการ)
การบำรุงรักษาเบื้องต้นกิจกรรม AM	11
ปรับปรุงเปลี่ยนชนิดสารหล่อลื่น	1
ปรับปรุงเครื่องจักรเพื่อให้ทำ PM ง่ายและมีประสิทธิภาพ	16
กำหนดมาตรฐานงาน PM ใหม่ และพัฒนาทักษะการทำ PM	5
ศึกษาอายุการใช้งานชิ้นส่วนอุปกรณ์	6

การปรับปรับปรุงดังกล่าวข้างต้นสามารถยกระดับค่าประสิทธิภาพการปฏิบัติการใช้ระบบ A_o ของเตาอบขนมอบกรอบระหว่างการศึกษาเดือนตุลาคม 2561 ถึงเดือนธันวาคม 2562 รวม 15 เดือน มีแนวโน้มที่ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2 ประสิทธิภาพการปฏิบัติการใช้ระบบเฉลี่ย A_o = 93.55% ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 17% มีผลทำให้โรงงานกรณีตัวอย่างสามารถผลิตสินค้าได้ตามยอดคำสั่งซื้อ และช่วยลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการเสียโอกาสทำกำไรและค่าแรงงานผลิตที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 ประสิทธิผลโดยรวมของเตาอบขนมก่อนและหลังการปรับปรุง

นอกจากนี้โรงงานกรณีศึกษายังกำหนดให้มีการทบทวนโปรแกรมบำรุงรักษาเครื่องจักรอื่นๆ ทั้งหมด โดยพิจารณาจากลักษณะความขัดข้องล้มเหลวที่เคยเกิดขึ้นเป็นอันดับแรกและพิจารณาแนวโน้มลักษณะความขัดข้องล้มเหลวที่ไม่เคยเกิดแต่มีแนวโน้มเกิดขึ้นได้อย่าง

เป็นระบบหลังจากที่มีการปรับปรุงกระบวนการพิจารณาภารกิจบำรุงรักษาเตาอบขนมเสร็จและมีผลลัพธ์ที่ดีขึ้นสอดคล้องกับเป้าหมาย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้บริหารและพนักงานทุกๆ ท่านของโรงงานกรณีศึกษาที่มีส่วนร่วมและให้ความร่วมมือในการศึกษานี้จนสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

[1] Kumar U.D. et al., Reliability Maintenance and Logistic Support: A Life Cycle Approach, Kluwer Academic Publishers, USA., 2000.

[2] Manzini R, Regattieri A, Pham H, Ferrari Ej, Maintenance for Industrial Systems, Springer, 2010.

[3] Dodson R and Nolan D., Reliability Engineering Handbook, QA Publishing, LLC, USA., 1999.

[4] จันทร์ฑา นาควชิรตระกูล, เทคโนโลยีการจัดการบำรุงรักษาอุตสาหกรรม พิมพ์ครั้งที่ 3 จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์ จำกัด, 2556.

[5] Ebeling C. E., Reliability and Maintainability Engineering, The McGraw-Hill Companies Inc., USA., 1997.

[6] Moubray J., Reliability- centred Maintenance, Butterworth-Heinemann, UK, 2001.

[7] Smith A. M., Reliability- centered Maintenance, McGraw- Hill, Inc., U.S.A., 1993.

การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับการผลิตไส้แบบตัน โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบการทดลอง

Improving Quality of Resin Coated Sand by Applying Quality Function Deployment Technique and Design of Experiments in Case of Solid Core

พรมงคล พรายแก้ว[1*], ประจวบ กล่อมจิตร[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: plykaew_p@su.ac.th*

Pronmongkon Plykaew[1*], Prachuab Klomjit[1]
[1]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: plykaew_p@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบการทดลองมาปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินซึ่งเป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยผู้วิจัยได้มีการนำเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพมาเป็นเครื่องมือในการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับไส้แบบตัน และนำปัจจัยที่ได้จากการประเมินความสัมพันธ์นี้มาออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งจากการประเมินความสัมพันธ์โดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า มี 5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซิน ได้แก่ อุณหภูมิของทรายก่อนเริ่มทำการผลิต, อัตราส่วนระหว่างทรายเอและทรายบี, ปริมาณฟีนอลิกเรซิน , อัตราส่วนระหว่างเรซินเอและเรซินบี, และปริมาณเฮกซามีน ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งระดับของปัจจัยออกเป็น 3 และ 5 ระดับ เมื่อนำปัจจัยเหล่านี้มาออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปและวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตทำให้ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 222 การทดลอง ซึ่งจากการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินด้วยหม้อผสมเล็ก พบว่า มี 3 การทดลองที่ผ่านข้อกำหนดความพึงพอใจของโรงงานกรณีศึกษาที่เปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจเท่ากับ 77.14, 77.14 และ 68.57 เปอร์เซ็นต์ และมีต้นทุนในการผลิต เท่ากับ 3.70, 3.71 และ 3.71 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

คาสาคัญ: การออกแบบการทดลอง, การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ, การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์, ทรายเคลือบเรซิน, การหล่อแบบเปลือก

Abstract

This paper aims to use the results of the Quality Function Deployment Technique and Design of Experiments to improve the quality of resin-coated sand products, as a qualitative research. A quality function deployment technique has been used by the researcher as a tool to select important input factors affecting the quality of resin-coated sand for solid cores. The factors derived from this relationship assessment were used to design experiments with the packaged program. During a relationship assessment by experts, it was found that there were five factors contributed to the quality of resin-coated sand products, including sand temperature before production, the ratio between sand A and sand B, Resin content, the ratio between resin A and resin B, and Hexamine content. Based on the levels of factors, the researcher divided them into three and five levels. When these factors were used to design the experiments with the packaged program and analyze the cost of production, a total number of 222 experiments were obtained. From the trials of resin-coated sand products with a laboratory's mixer, it was found that there were 3 trials that met the satisfaction requirements of the case study factory with the satisfaction percentage of 77.14, 77.14 and 68.57 and the production cost was 3.70, 3.71 and 3.71 Baht per kilogram, respectively.

Keywords: DOE, QFD, Product improvement, Resin Coated Sand, Shell Mold Casting

1. บทนำ

ปัจจุบันงานด้านการหล่อโลหะเข้ามามีส่วนสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมการเกษตร และอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกล เป็นต้น ซึ่งประเภทการหล่อที่ได้รับความนิยมเป็นอันดับต้นๆ คือ การหล่อแบบทราย (Sand Casting)

จากสถานการณ์ที่มีการแพร่ระบาดของไวรัส Covid-19 ตั้งแต่ช่วงต้นปี 2563 ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในหลายประเทศที่มีการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส Covid-19 ต้องหยุดชะงักลง ทำให้หลายๆโรงงานจำเป็นที่จะต้องมีการถ่ายโอนการผลิตชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนมาผลิตที่โรงงานที่จัดตั้งอยู่ที่ประเทศไทยมากขึ้น ส่งผลให้โรงงานกรณีศึกษาต้องผลิตทรายเคลือบเรซิน (Resin Coat Sand: RCS) ที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าในส่วนของอุตสาหกรรมยานยนต์เพิ่มมากขึ้น และเนื่องจากแนวโน้มการผลิตที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้โรงงานกรณีศึกษามีนโยบายในการศึกษาและพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ด้านค่าความแข็งและการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินที่นำไปผลิตเป็นแบบหล่อทราย

จากที่กล่าวมาข้างต้น สิ่งที่สำคัญและเป็นอีกหนึ่งสาเหตุของการเกิดของเสียในงานหล่อประเภทนี้ คือ ค่าความแข็งและการขยายตัวของแบบหล่อทราย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกทำการศึกษาแนวทางการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่การทำงานเชิงคุณภาพในส่วนของการออกแบบและพัฒนาคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ด้านค่าความแข็งและการขยายตัวของแบบหล่อทราย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคนิคการกระจายหน้าทีการทางานเชิงคุณภาพ (QFD)

การกระจายหน้าที่การทำงานเชิงคุณภาพ หรือ Quality Function Deployment เป็นเทคนิคที่ประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ระบบการทำงานของโรงงานและการให้บริการ โดยเริ่มต้นจากการนำความต้องการของลูกค้ามาผ่านขั้นตอนและวิธีการปรับเปลี่ยนให้เป็นกระบวนการในการดำเนินงานที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเหมาะสม โดยรูปแบบพื้นฐานของ QFD Metrix คือ การสร้างแผนผังหรือเมทริกซ์ซึ่งมีการกำหนดระดับความสำคัญของปัจจัยทั้งในแนวตั้งและแนวนอนโดยที่มีการกำหนดระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ซึ่งเรียกแผนผังชนิดนี้ว่า แผนผังแบบลำดับความสำคัญ (Prioritization Matrix) [1]

2.1.1 รูปแบบพื้นฐานของ QFD Metrix

เมทริกซ์เป็นเครื่องมือสำคัญของ QFD ซึ่งเมตริกเป็นแผนผังรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ถูกแบ่งออกเป็นแถวตั้งหรือสดมภ์ (Columns) หลายๆ สดมภ์ และแถวนอน (Rows) หลายๆแถว ช่องที่ตัดกันระหว่างสดมภ์และแถวนอนแต่ละคู่เรียกว่า เซล (Cell) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในแถวนอนและปัจจัยในสดมภ์ [1] และมีการประยุกต์ใช้บ้านแห่งคุณภาพเพื่อค้นหาความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับการผลิตไส้แบบตัน

2.1.2 บ้านแห่งคุณภาพ หรือ House of Quality

บ้านแห่งคุณภาพเป็นการรวบรวมความต้องการของลูกค้าโดยแสดงเป็นตารางความสัมพันธ์ระหว่างความคิดของลูกค้าว่าต้องการให้มีคุณลักษณะอะไรบ้างในตัวของผลิตภัณฑ์หรือการบริการ (Voice of Customer) เพื่อให้ทราบความต้องการของลูกค้าว่าต้องการอะไร (“What” of Customer desires) แล้วให้น้ำหนักความสำคัญแก่แต่ละคุณลักษณะ ซึ่งวิธีการรวบรวมความคิดเห็นของลูกค้านี้ทำได้หลายวิธี ซึ่งเป็นการประเมินผลการตอบสนองจากลูกค้า หลังจากนั้นจะแปลงความหมายของความต้องการของลูกค้าให้เป็นคำแทนคุณลักษณะทางด้านคุณภาพ (Substitute quality characteristics: SQCs) ซึ่งเป็นศัพท์ทางเทคนิคหรือข้อกำหนดที่ใช้กันภายในองค์กร เพื่อแสดงว่าจะทำอย่างไรจึงจะทำให้ได้สิ่งที่ลูกค้าต้องการ [2] ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ ความพึงพอใจของลูกค้าเกิดจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินที่สามารถใช้ทำไส้แบบแล้วสามารถเทงานหล่อโลหะได้โดยปราศจากการเกิดปัญหาบนชิ้นงานหล่อโลหะ

2.2 การขึ้นรูปด้วยการหล่อ

การหล่อเป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปแบบหนึ่งที่นิยมใช้ในปัจจุบัน โดยการนำวัตถุดิบประเภทโลหะมาทำการหลอมให้อยู่ในสถานะของเหลวจากการนำมาหลอมที่อุณหภูมิสูง จากนั้นนำน้ำโลหะมาทำการเทหรือฉีดเข้าสู่แบบหล่อ (Mold) หรือแม่พิมพ์ (Die) และปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวลงแล้วนำชิ้นงานที่ได้ไปผ่านกระบวนการทางความร้อนจึงจะได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์และนำไปใช้งานได้ [3]

แบบหล่อเปรียบเสมือนการสร้างภาชนะขึ้นมาสำหรับรองรับน้ำโลหะเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานตามความต้องการ ซึ่งการเตรียมแบบหล่อโลหะเป็นขั้นตอนที่นำแม่พิมพ์มาสร้างแบบหล่อ โดยวัสดุที่นำมาใช้ทำแบบหล่อสามารถแบ่งได้ ดังนี้ แบบหล่อทราย (Sand Casting), แบบหล่อขี้ผึ้ง (Investment Casting or Lost Wax Casting), แบบหล่อถาวร (Permanent Mold Casting), แบบหล่อปูนพลาสเตอร์ (Plaster Mold Casting), แบบแกว่งชิ้นงานหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Casting), แบบหล่อทรายเคลือบเรซิน (Shell Mold Casting), แบบหล่อถาวรร่วมกับการอัดน้ำโลหะ (Die Casting), และแบบหล่ออื่นๆ [3] โดยวิธีการหล่อโลหะที่เกี่ยวข้องกับโรงงานกรณีศึกษา คือ แบบหล่อทรายเคลือบเรซิน (Shell Mold Casting)

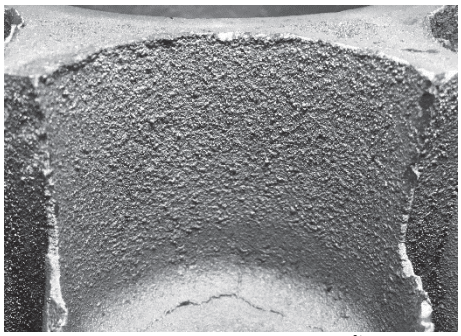
2.3 ทรายเคลือบเรซิน หรือ Resin Coated Sand

ในอดีตที่ผ่านมา กระบวนการหล่อแบบเปลือกและการทำไส้แบบนั้นมีกระบวนการผลิตที่ง่ายไม่มีความซับซ้อน แต่แบบหล่อเปลือกและไส้แบบที่ได้นั้นไม่มีความแข็งแรงคงทนเนื่องจากในขั้นตอนการผสมนั้นทรายและเรซินไม่ถูกผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ชิ้นงานเกิดการ

แตกง่าย และชิ้นงานที่ออกมายังคงติดกับแบบหล่ออยู่ โดยสาเหตุเหล่านี้มีผลมาจากขั้นตอนการผสมทรายกับเรซินยังไม่มีความเหมาะสมและถูกต้อง ต่อมาในปี ค.ศ.1950 ได้มีการพัฒนากระบวนการผสมทรายเคลือบเรซินขึ้นมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของทรายเคลือบเรซิน โดยมีอยู่ 2 กระบวนการที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก คือ กระบวนการเคลือบร้อน (Hot Coating Process) และกระบวนการเคลือบอุ่น (Warm Coating Process) โดยวิธีที่โรงงานกรณีศึกษาใช้ในกระบวนการผลิต คือ กระบวนการเคลือบร้อน (Hot Coating Process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เรซินชนิดของแข็ง (Solid Resin) ที่อยู่ในรูปของเม็ดเล็กๆ, ผง, หรือผลึก รวมตัวกันขณะใส่ลงไปในทรายที่มีอุณหภูมิสูง [4] และจะมีการเติมส่วนผสมพิเศษที่แตกต่างกันออกไปตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้แบบที่ทำจากผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินนี้สามารถลดการเกิดความเสียหายบนชิ้นงานหล่อโลหะให้น้อยที่สุดหรือช่วยให้ไม่เกิดความเสียหายบนชิ้นงานหล่อโลหะเลย

2.4 ลักษณะความเสียหายของชิ้นงานหล่อโลหะ

ลักษณะความเสียหายของงานหล่อโลหะที่สามารถเกิดขึ้นได้ในกระบวนการหล่อโลหะชนิดแบบหล่อทราย คือ Veining, Sand Burn, Core Crack และ Metal Penetration โดยโรงงานกรณีศึกษาให้ความสำคัญในการป้องกันการเกิดทรายไหม้เนื่องจากเป็นปัญหานี้สามารถเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาทั้งหมดได้ ซึ่งปัญหาทรายไหม้นี้เกิดจากการที่ทรายทนความร้อนไม่ได้ ทำให้เมื่อสัมผัสกับน้ำโลหะที่เทลงมาในแม่พิมพ์จะทำให้ทรายบางส่วนที่ทนความร้อนไม่ได้และเกิดการเผาไหม้ ส่งผลให้น้ำโลหะเข้าแทนที่ในตำแหน่งที่ทรายไหม้ ดังนั้นชิ้นงานหล่อโลหะที่ได้จึงมีผิวขรุขระและนูนขึ้นมาตามรอยทรายที่ไหม้



รูปที่ 1 การเกิดปัญหาทรายไหม้บนผิวชิ้นงานหล่อ

2.5 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลอง (Designs and Analysis of Experiment: DOE) มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อคุณภาพของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ที่สนใจ รวมไปถึงการกำหนดระดับที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด (Optimal Condition) โดยอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้า (Input) หรือปัจจัย (Factor or Variable) และคุณลักษณะด้านคุณภาพ (Quality Characteristic) หรือปัจจัยนำออก (Output Factor) หรือผลตอบสนอง (Response) ที่ให้ความสำคัญ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไปในการออกแบบสูตรและค่าพารามิเตอร์ในกระบวนผลิตผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับไส้แบบตัน

2.5.1 การออกแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไป

การออกแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไปมักพบในการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไป วิธีที่ดีที่สุดในการดำเนินการทดลองดังกล่าวคือการใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปแบบ การทดลองเหล่านี้เป็นการทดลองที่มีการตรวจสอบปัจจัยต่าง ๆ ร่วมกันในการทำซ้ำของการทดสอบแต่ละครั้ง การทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบเต็มรูปแบบเป็นวิธีเดียวในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ อย่างสมบูรณ์และเป็นระบบนอกเหนือจากการระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาสภาพทั่วไปของกระบวนการผลิตทรายเคลือบเรซิน พบว่า วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตทรายเคลือบเรซิน คือ ทราย, ฟีนอลิกเรซิน, เฮกซามีน, และแคลเซียมสเตียเรท โดยวัตถุดิบหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพและคุณสมบัติของทรายเคลือบเรซินมากที่สุด คือ ชนิดของทรายและเรซินที่เลือกมาใช้ในการผลิต

3.1 การกำหนดแนวคิดและการวางแผนในการพัฒนา

การผลิตทรายเคลือบเรซินสำหรับการผลิตไส้แบบตันนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวม จัดกลุ่ม คัดแยก และวิเคราะห์ความต้องการของฝ่ายบริหารเกี่ยวกับสูตรทรายเคลือบเรซินสูตรใหม่ที่ต้องการปรับปรุงค่าความแข็งและค่าการขยายตัวทางความร้อนของผลิตภัณฑ์ โดยคำนึงถึงคุณภาพและความเป็นไปได้ในการปรับปรุงและพัฒนา และนำมาเรียบเรียงเพื่อใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้า

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ความต้องการของฝ่ายบริหารแทนความต้องการของลูกค้าและการเปรียบเทียบกับคู่แข่งจะเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของทรายเคลือบเรซินสูตรเก่ากับทรายเคลือบ เรซินสูตรใหม่ที่ออกแบบโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่การทำงานเชิงคุณภาพ และมีการระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญด้านกระบวนการการผลิตผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อค้นหาและระบุปัจจัยนำเข้าที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซิน

จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า ปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อค่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินมากที่สุดโดยพิจารณาจากค่าคะแนนความสำคัญ (Importance Rating: IMP) ได้แก่

- อุณหภูมิของทรายก่อนเริ่มทำการผลิต (S.S.T.)
- อัตราส่วนระหว่างทรายเอและทรายบี
- ปริมาณฟีนอลิกเรซิน (Resin Content)

- อัตราส่วนระหว่างเรซินเอและเรซินบี
- ปริมาณเฮกซามีน (Hexamine Content)

		RCS Characteristics										
		↑	○	○	↑	○	○	↓	↓	↓	↓	↓
	Rating Range 1 to 5 1-Low , 5-High (Don't fill number if you think the factor are not related to the characteristic)	Bending Strength	Bend 200° x 300 g	Bend 250° x 500 g	Melting Point	Loss on ignition	Grain Fineness Distribution	3 Mesh Upper	3 Mesh Lower	Thermal Expansion @ 4 min	Gas Quantity @ 7 min	Sand Burn Casting Defect	Importance Rating
Engineering Design	S.S.T (Set Sand Temp)	4	2	2	3	4				2	3	3	18.2
	D.S.T. (Discharge Sand Temp)	4	2	2	1	3				2	2	2	7.8
	Blower Time	4	3	1	1	3					3	4	8.4
	Ratio of Sand (Sand A:Sand B)	4	2	2	2	1	3	3	3	4	2	4	22.4
	Resin Content	5	5	4	3	5	1	1	1	4	4	4	27.2
	Ratio of Resin (ResinA : ResinB)	4	3	3	3	2				4	3	3	18.4
	Hexamin Content	3	5	4	2	2				3	4	2	21.6
	Ca-St Content	3	2	1	2	2	1		1	1	2	1	8.2
	Water Content	3	2	1	1	3				1	1	1	6.2
	Specification Target Value	≥ 70kgf/(cm^2)	Not count	(0.01 to 0.8 mm)	≥ 107.0 °C	Not count	Not count	≤ 4.0 %	Not count	≤ 0.600 %	≤ 6.0 ml/gBCS)	(100% no defect)	
	Technical Difficulty (1-Low, 5-High)	1		1	2			1		2	2	3	
	Importance Rating	30.8	16.0	13.4	10.8	14.6	2.2	2.6	2.6	15.2	14.2	16.0	

รูปที่ 2 ผลการประเมินความสัมพันธุ์ของปัจจัยที่อาจส่งผลต่อค่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับผลิตไส้แบบตัน

3.2 การออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial Design

จากการประเมินปัจจัยที่อาจส่งผลต่อค่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับการผลิตไส้แบบตันด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ พบว่า ปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 ซึ่งมีการประเมินและกำหนดระดับปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญโดยกำหนดให้แต่ละปัจจัยมีระดับปัจจัย เท่ากับ 3 ยกเว้นอัตราส่วนของเรซินมีระดับปัจจัย เท่ากับ 5 เนื่องจากเรซินเอและเรซินบีมีคุณสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไปด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปจะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 405 การทดลอง แต่เนื่องจากจำนวนการทดลองดังกล่าวมีต้นทุนสูงและในแต่ละการทดลองต้องมีการทดสอบค่าคุณสมบัติดังตารางที่ 2 ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบพอสมควร ผู้วิจัยจึงใช้ข้อกำหนดเรื่องต้นทุนการผลิตมากรองจำนวนการทดลองลงภายใต้เงื่อนไขต้นทุนของการผลิตต่ำกว่า 3.80 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้จำนวนการทดลองลดลงเหลือ 222 การทดลอง

โดยในแต่ละการทดลองจะต้องตรวจสอบค่าคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับการผลิตไส้แบบตันมาวิเคราะห์ผลการทดสอบ เพื่อเลือกสูตรที่ดีที่ดีที่สุดนำเสนอฝ่ายบริหารของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งจะมีการประเมินจากข้อกำหนดด้านคุณภาพที่โรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้กำหนด โดยแต่ละค่าการตรวจสอบจะมีการให้คะแนนความพึงพอใจตั้งแต่ 1 ถึง 5 รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับการผลิตไส้แบบตัน

ปัจจัย	ชื่อปัจจัย	ระดับ					หน่วย
		1	2	3	4	5	
A	ปริมาณเรซิน	1.50	1.75	2.00	-	-	%
B	อัตราส่วนเรซิน	20	40	50	60	80	%
C	อัตราส่วนทราย	20	50	80	-	-	%
D	อุณหภูมิทราย	13	13	14	-	-	˚C
E	ปริมาณเฮกซามีน	9	13	17	-	-	%

ตารางที่ 2 ช่วงความต้องการของค่าคุณสมบัติต่าง ๆของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซิน ซึ่งแบ่งออกตามข้อกำหนดระดับความพึงพอใจ

ค่าการตรวจสอบ	ระดับ					หน่วย
	1	2	3	4	5	
Bending Strength	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	kgf/cm^2
Bend 250˚C x 500 g	0.80	0.65	0.50	0.35	0.20	mm
Sticky Point	93.0	96.5	100.0	103.5	107.0	˚C
3 Mesh Upper	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	%
Thermal Expansion @ 4 min	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	%
Gas Quantity @ 7 min	10.0	9.0	8.0	7.0	6.0	ml/g
Sand Burn Severity	Over	3	2	1	0	-

4. ผลการดำเนินการวิจัย

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้ง 222 การทดลอง พบว่า ผลคะแนนตามข้อกำหนดระดับความพึงพอใจของค่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับไส้แบบตันของโรงงานกรณีศึกษามีค่ามากที่สุด เท่ากับ 5 + 5 + 3 + 5 + 2 + 4 + 3 = 27 / 35 คิดเป็น 77.14 % ของความพึงพอใจตามข้อกำหนด คือ การทดลองเลขที่ 273 และต้นทุนมีต้นทุนเท่ากับ 3.70 บาทต่อกิโลกรัม และอีก 2 การทดลองที่ผ่านข้อกำหนดความพึงพอใจของโรงงานกรณีศึกษาที่เปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจเท่ากับ 77.14, และ 68.57 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่าคุณสมบัติของทรายเคลือบเรซินสำหรับไส้แบบตันที่ผ่านข้อกำหนดความพึงพอใจของโรงงานกรณีศึกษา

ค่าการตรวจสอบ	หมายเลขการทดลอง			หน่วย
	48	58	221	
Bending Strength	72.3	73.8	72.5	kgf/cm^2
Bend 250°C x 500 g	0.18	0.18	0.12	mm
Sticky Point	102.6	102.4	100.9	°C
3 Mesh Upper	3.47	4.61	4.75	%
Thermal Expansion @ 4 min	1.12	0.95	1.16	%
Gas Quantity @ 7 min	6.81	7.93	8.30	ml/g
Sand Burn Severity	2	1	2	-

จากนั้นผู้วิจัยได้นำค่าคุณสมบัติมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับผลิตไส้แบบตันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าคุณสมบัติหลักที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับผลิตไส้แบบตัน คือ อุณหภูมิของทรายก่อนเริ่มทำการผลิต ปริมาณฟีนอลิกเรซิน อัตราส่วนระหว่างเรซินเอและเรซินบี และปริมาณเฮกซามีน

5. สรุป

จากผลการทดลอง พบว่า การทดลองที่ผ่านข้อกำหนดความพึงพอใจของโรงงานกรณีศึกษาสูงสุด เท่ากับ 77.14 เปอร์เซ็นต์ และมีต้นทุนในการผลิต เท่ากับ 3.70 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งมีรายละเอียดการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสม ดังนี้

- อุณหภูมิของทรายก่อนเริ่มทำการผลิต (S.S.T.) เท่ากับ 130°C
- อัตราส่วนระหว่างทรายเอและทรายบี เท่ากับ 4 ต่อ 1
- ปริมาณฟีนอลิกเรซิน (Resin Content) เท่ากับ 2.0 เปอร์เซ็นต์
- อัตราส่วนระหว่างเรซินเอและเรซินบี เท่ากับ 1 ต่อ 1
- ปริมาณเฮกซามีน (Hexamine Content) เท่ากับ 17.0 เปอร์เซ็นต์

โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนี้มาจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของการทดลองเลขที่ 273 ซึ่งเป็นการทดลองที่มีค่าความพึงพอใจสูงที่สุด

และจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าคุณสมบัติหลักที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับผลิตไส้แบบตัน คือ อุณหภูมิของทรายก่อนเริ่มทำการผลิต ปริมาณฟีนอลิกเรซิน อัตราส่วนระหว่างเรซินเอและเรซินบี และปริมาณเฮกซามีน

6. ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับไส้แบบตันมีคุณภาพที่ดีและตอบสนองความต้องการของลูกค้าในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมหล่ออะลูมิเนียม ควรมีการเพิ่มชนิดของทราย หรือ ชนิดของเรซิน หรือ ธาตุเจืออื่นๆเข้าไปในการทดลอง และเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทรายเคลือบเรซินสำหรับไส้แบบตันอย่างต่อเนื่อง อาจใช้แนวทางอื่นที่เหมาะสมในการออกแบบการทดลอง เช่น Mixture Experiment

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่อนุเคราะห์แบ่งสรรเวลาให้ผู้วิจัยทำการทดลอง และพนักงานทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนการทำการทดลองจนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Cohen L. (1995). “Quality Function Deployment: How to make QFD work for you”. n.p.: Addison-Wesley.

[2] จินดาวรรณ บำรุงเขตต์ และคณะ. “วิธีวัดความพึงพอใจลูกค้า และเปรียบเทียบความสามารถการแข่งขันด้วยบ้านแห่งคุณภาพ”. บทความวิชาการ จาก บีพีอาร์ แอนด์ ทีคิวเอ็ม คอนซัลแทนท์.

[3] IFOUNDRYMAN. (2560). “การหล่อโลหะ”. แหล่งข้อมูล: http://www.ifoundryman.com/casting/. ค้นหาเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2564.

[4] ประชาชาติธุรกิจ. (2559). “อุตสาหกรรมหล่อโลหะ”. แหล่งข้อมูล: http://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1423042209. ค้นหาเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2564.

[5] พงศกร ดำเกาะ. (2552). “การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) กรณีศึกษา: โรงงานผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็ง”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[6] อัจฉราวดี แก้ววรรณดี. (2549). “การประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่การทำงานเชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องหนัง”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] อิสรัฐ เวียงอำพล. (2555). “การประยุกต์ใช้ Quality Function Deployment (QFD) ในการดัดแปลงรถกระบะบรรทุกเป็นรถสะเทินน้ำสะเทินบกสำหรับขนส่งในภาวะภัยพิบัติ”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[8] Rosnani Ginting และคณะ. (2020). “Product Development with Quality Function Deployment (QFD)”. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

[9] Ridwan Usman และคณะ. (2020). “Aluminum Frame Product Development Using Quality Function Deployment and Value Engineering at PT KSN”. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

[10] ภูวดล ศิริวิมลพันธุ์. (2560). “ผลกระทบของสัดส่วนการผสมทรายเคลือบเรซินที่มีผลต่อคุณสมบัติและต้นทุน”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬัฟพาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[11] จักรพันธ์ จริยาจิรวัฒนา. (2560). “การปรับปรุงค่าคุณสมบัติที่สำคัญของทรายเคลือบเรซินสำหรับทำไส้แบบกลวง”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[12] Foundry Management and Technology. “What Causes of Casting Defect”. แหล่งข้อมูล:https://www.foundrymag.com/ask-the- expert/ article/ 2 1 9 3 1 7 7 6 / what- causes- a- mold-penetration- defect- and- what- prevents- it. ค้นหาเมื่อวันที่ 17 กรกฎาคม 2564.

[13] Vietnam Cast Iron.Co.Ltd. “5 types of sand casting defects and how to prevent”. แหล่งข้อมูล: https://vietnamcastiron.com/sand-casting-defects/. ค้นหาเมื่อวันที่ 17 กรกฎาคม 2564.

[14] i Foundryman Est.2012. “Cast Iron Introduction”. แหล่งข้อมูล: https://ifoundryman.com/cast-iron/ ค้นหาเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2564

การลดของเสียจากข้อบกพร่องซีลไม่ติดในกระบวนการบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์

Defective Reduction from Seal not Sticking Defect in Pasteurized Milk Filling Process

เกษธนา ลือกิจนา[1*] นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: kestana.lue@gmail.com*

Kestana Luekitna[1*], Napassavong Osothsilp[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,
E-mail: kestana.lue@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดในกระบวนการบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์ ในการดำเนินงานได้ใช้หลักการซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงกระบวนการ โดยการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน และการวิเคราะห์การถดถอยได้ถูกนำมาใช้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความสมบูรณ์ในการซีลและปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะ ลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดจากร้อยละ 0.9 เหลือร้อยละ 0 ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่อาจทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติด ได้แก่ ระดับความร้อนในการซีลแนวตั้ง ระดับความร้อนในการซีลแนวนอน และระดับเวลาในการซีล พบว่า ปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้แก่ ระดับความร้อนในการซีลแนวนอนและระดับเวลาในการซีล ซึ่งควรปรับตั้งที่ระดับ 5 และระดับ 4 ตามลำดับ หลังปรับปรุงพบว่า ไม่พบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดอีกต่อไป

คาสาคัญ: การบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์, ซีลไม่ติด, แบบการทดลองบ็อกซ์ - เบห์นเคน, ซิกซ์ ซิกมา

Abstract

The objective of this research is to reduce the defective rate from seal not sticking defect in the pasteurized milk filling process. This research applied the Six Sigma approach to improve the process. Box-Behnken response surface design and regression analysis were used to find the relationship between the seal score and significant factors. This research aims to reduce the defective rate from seal not sticking defect from 0.9% to 0%. This research studied the factors that might affect seal not sticking defect, which were the vertical sealing heat level, the horizontal sealing heat level, and the sealing time level. It was found that significant factors were the horizontal sealing heat level and the sealing time level, which should be set at level 5 and level 4, respectively. After improvement, it was found that there is no defective item from seal not sticking defect anymore.

Keywords: Pasteurized Milk Filling Process, Seal not Sticking, Box-Behnken Design, Six sigma

1. บทนำ

จากแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรมการแปรรูปน้ำนมดิบในประเทศไทย ในปัจจุบันมีปริมาณน้ำนมดิบสูงถึง 1,291.12 พันตันต่อปี [1] การประกอบอาชีพจากมาตรการรับซื้อน้ำนมดิบตามคุณภาพนมทำให้ผู้เลี้ยงมีการปรับปรุงคุณภาพการผลิตเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพผลผลิตและทำให้ผู้ประกอบการแปรรูปน้ำนมดิบเล็งเห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์และลดต้นทุนการผลิตเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจและรองรับน้ำนมดิบที่เพิ่มขึ้น จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจากโรงงานแปรรูปน้ำนมดิบกรณีศึกษาพบว่า ของเสียที่เกิดมากเป็นอันดับหนึ่ง คือของเสียจากข้อบกพร่องซีลถุงนมไม่ติด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 47.46 ของปริมาณของเสียทั้งหมด และคิดเป็นร้อยละ 1.88 ของปริมาณการผลิต โดยข้อบกพร่องซีลไม่ติดนี้ทำให้ถุงนมเกิดการรั่ว จึงจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงคุณภาพการบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์ให้ดีขึ้น โดยพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องซีลไม่ติดและกำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยเหล่านั้น เพื่อกำจัดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและสร้างความมั่นใจในคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้มากยิ่งขึ้น

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงคุณภาพกระบวนการบรรจุนมพาสเจอไรซ์ให้มีของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดลดลง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติด

2.1 ทฤษฎีซิกซ์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมา เป็นแนวทางการปรับปรุงคุณภาพโดยประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านสถิติเพื่อลดความแปรปรวนของงาน โดยมีขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอนได้แก่ 1.การนิยามปัญหา 2.การเก็บรวบรวมข้อมูล 3.การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 4.การปรับปรุงงาน 5.การควบคุมกระบวนการ

2.2 กระบวนการบรรจุนมพาสเจอไรซ์

ในการบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์ พนักงานควบคุมเครื่องบรรจุต้องเบิกฟิล์มนมและเตรียมเครื่องบรรจุถุงอัตโนมัติดังแสดงในรูปที่ 1 ในการบรรจุ พนักงานจะต้องตั้งค่าปัจจัยบนเครื่องบรรจุดังนี้ ความร้อนในการซีลแนวตั้งที่ระดับ 5, ความร้อนในการซีลแนวนอนที่ระดับ 3 และเวลาในการซีลที่ระดับ 5 และจะมีการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าหลังจากทำความสะอาดประจำวันโดยการบรรจุน้ำเปล่าเพื่อล้างน้ำนมคงค้างภายในเครื่อง เมื่อบรรจุเสร็จ จึงนำตะกร้าใส่ถุงนมเข้าเก็บในห้องเย็นเพื่อรอการขนส่งต่อไป



รูปที่ 1 เครื่องบรรจุถุงอัตโนมัติ

2.3 การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

แบบการทดลองพื้นผิวตอบสนองร่วมกับการวิเคราะห์การถดถอยช่วยในการสร้างแบบจำลองหรือสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองที่สนใจและปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ เพื่อที่จะใช้หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า ในแบบการทดลองประเภทนี้ ปัจจัยนำเข้าจะถูกทำการทดลองที่มากกว่า 2 ระดับ เพราะจะทำให้สามารถเห็นจุดที่ตัวแปรตอบสนองมีค่าสูงที่สุด ค่าต่ำที่สุด หรืออยู่ในระดับที่ต้องการได้ โดยแบบการทดลองบ็อกซ์-เบห์นเคนจะเหมาะสมสำหรับ 3 ปัจจัย เนื่องจากต้องการจำนวนครั้งการทดลองที่น้อย โดยแต่ละปัจจัยจะถูกทดสอบที่ 3 ระดับโดยใช้หลักการของแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบผนวกกับการออกแบบบล็อคไม่สมบูรณ์ แบบการทดลองนี้จะไม่ได้มีสภาวะการทดลองที่รวมระดับสูงที่สุดหรือต่ำที่สุดของทุกปัจจัยไว้ จึงช่วยลดความเสี่ยงจากการทดลองในสภาวะที่อาจทำให้เกิดปัญหากับเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองและลดความเสี่ยงในการเกิดของเสียจำนวนมากจากการทดลองได้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Das & Chowdhury [2] ได้ทดสอบคุณสมบัติการซีลของฟิล์มภายในห้องปฏิบัติการโดยการทดสอบที่อุณหภูมิ 85 - 166 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่สามารถซีลได้คือ 100 - 166 องศาเซลเซียส แต่หากซีลที่อุณหภูมิสูงกว่า 130 องศาเซลเซียส รอยซีลจะมีรอยไหม้เกรียม แต่หากเป็นวัสดุประเภท SPI-PVA blend films อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 180 - 230 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการซีลส่งผลต่อความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ โดยหากซีลที่อุณหภูมิต่ำกว่า 143 องศาเซลเซียส บรรจุภัณฑ์ที่ได้จะไม่มีความแข็งแรง แต่หากซีลที่อุณหภูมิมากกว่า 144 องศาเซลเซียส บรรจุภัณฑ์จะมีความแข็งแรงดี โดยจะแข็งแรงที่สุดที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส โดยเวลาที่เหมาะสมในการซีลคือ 1 - 3 วินาที

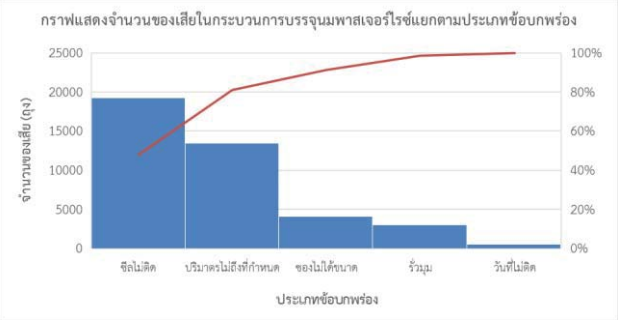
งานวิจัยของ Morris [3] กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของการซีลนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักคือ ปัจจัยในกระบวนการซีลและการออกแบบบรรจุภัณฑ์ โดยมีรายละเอียดคือ ประเภทแรก ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการซีล ประกอบด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในการซีล อุณหภูมิ แรงกด การออกแบบแท่นซีล การปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ และประเภทที่ 2 การออกแบบบรรจุภัณฑ์ ประกอบด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 5 ปัจจัย ได้แก่ ความหนาของบรรจุภัณฑ์ การเคลือบบรรจุภัณฑ์ การยึดเกาะของพื้นผิว การออกแบบบรรจุภัณฑ์ และสารเติมแต่งในบรรจุภัณฑ์

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยได้ดำเนินงานแบ่งเป็น 7 ขั้นตอนดังนี้

3.1 การกำหนดปัญหา

การสำรวจปริมาณการผลิตและจำนวนของเสียแยกตามข้อบกพร่องตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2561 - เดือนมิถุนายน 2562 พบว่ามีปริมาณการผลิตเฉลี่ยต่อเดือน 2,127,000 ถุงและมีจำนวนของเสียเฉลี่ยต่อเดือน 40,000 ถุง รูปที่ 2 แสดงจำนวนของเสียเฉลี่ยต่อเดือนในกระบวนการบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์แยกตามประเภทข้อบกพร่อง โดยในปี 2563 จนถึงเดือนกันยายน 2564 โรงงานกรณีศึกษาไม่ได้ดำเนินการผลิตเนื่องจากสถานการณ์โควิด 19



รูปที่ 2 จำนวนของเสียในกระบวนการบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์แยกตามประเภทข้อบกพร่อง

จากกราฟจำนวนของเสียในกระบวนการบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์พบว่า มีของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดและของเสียจากปริมาตรไม่ถึงที่กำหนด สูงถึง 47.76% และ 33.37% จากจำนวนของเสียทั้งหมด โดยของเสียจากทั้งสองข้อบกพร่องนี้คิดเป็น 81.13% จากจำนวนของเสียทั้งหมด อีกทั้งยังเกิดของเสียประเภทซองไม่ได้ขนาด รั่วมุมและวันที่ไม่ติด คิดเป็น 18.87% จากจำนวนของเสียทั้งหมด โดยเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของเสียจากข้อบกพร่องที่เป็นสาเหตุหลักในการก่อให้เกิดของเสีย จึงเลือกข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดมาทำการปรับปรุงเป็นอันดับแรก เนื่องจากทำให้เกิดของเสียในสัดส่วนที่สูงที่สุด โดยสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องทุกประเภทรวมกันคิดเป็นร้อยละ 1.88 ของปริมาณการผลิต แบ่งเป็นสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดร้อยละ 0.9 ของปริมาณการผลิต งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดให้เหลือร้อยละ 0

3.2 กำหนดขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูล

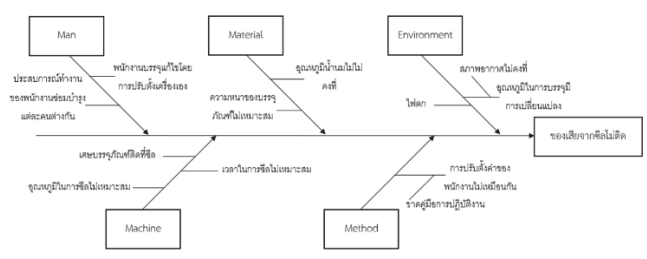
ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้สูตรการหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมดังสมการที่ 1 เพื่อหาจำนวนถุงนมที่จะต้องเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียที่น่าเชื่อถือก่อนและหลังการปรับปรุง โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นเป็น 95% และกำลังการทดสอบเป็น 95% และประมาณค่า p_1, q_1 จากสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือร้อยละ 1.88 และ p_2, q_2 จากค่าสัดส่วนของเสียเป้าหมายหลังการปรับปรุงคือร้อยละ 1

$$n = \frac{\left[z_{\alpha/2}\sqrt{(p_1+p_2)(q_1+q_2)/2}+z_{\beta}\sqrt{p_1q_1+p_2q_2}\right]^2}{(p_1-p_2)^2} \quad (1)$$

จากการคำนวณพบว่า จะต้องเก็บจำนวนถุงนมก่อนและหลังการปรับปรุงอย่างละ 4,700 ถุง ซึ่งพบว่า จำนวนข้อมูลที่มีก่อนการปรับปรุงนั้นมีมากกว่าขนาดตัวอย่างที่ต้องการ จึงไม่จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมก่อนการปรับปรุง

3.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเริ่มจากการศึกษาขั้นตอนและกระบวนการทำงานของเครื่องบรรจุถุงอัตโนมัติ หลังจากนั้นทีมงานซึ่งประกอบพนักงานหน้าเครื่อง ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายโรงงาน ผู้เชี่ยวชาญตรวจรับมอบนมพาสเจอร์ไรซ์ และผู้วิจัย ได้ระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องซีลไม่ติดโดยอาศัยเครื่องมือคือแผนผังสาเหตุและผล โดยในแผนผังจะแบ่งหมวดหมู่ของสาเหตุตามหลักการ 4M + 1E ได้แก่ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วัตถุดิบ (Material), วิธีดำเนินงาน (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment) ดังแสดงในรูปที่ 3



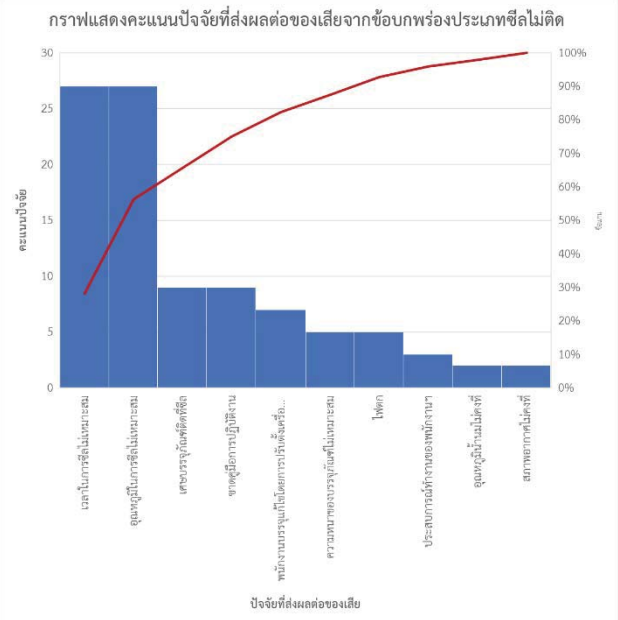
รูปที่ 3 แผนผังสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติด

จากรูปที่ 3 พบว่า มี 10 ปัจจัยที่เป็นไปได้ที่อาจส่งผลต่อของเสียประเภทซีลไม่ติด จากนั้นจึงระดมความคิดของทีมงานในการจัดความสำคัญของปัจจัย โดยพิจารณาผลกระทบของปัจจัยนั้นที่มีต่อจำนวนของเสียประเภทซีลไม่ติด ซึ่งมีเกณฑ์ให้คะแนนดังตารางที่ 1 โดยการให้คะแนนนี้จะช่วยแยกปัจจัยที่ส่งผลกระทบมากและน้อยออก

จากกันอย่างชัดเจน รูปที่ 4 แสดงกราฟคะแนนของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนของเสียประเภทซีลไม่ติด

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล

ระดับความสัมพันธ์	ความหมาย	คะแนน
มาก	ปัจจัยมีผลมากต่อจำนวนของเสีย	9
ปานกลาง	ปัจจัยมีผลปานกลางต่อจำนวนของเสีย	3
น้อย	ปัจจัยมีผลน้อยต่อจำนวนของเสีย	1
ไม่มีผล	ปัจจัยไม่มีผลต่อจำนวนของเสีย	0



รูปที่ 4 กราฟแสดงคะแนนปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติด

จากรูปที่ 4 พบว่า ปัจจัยเรื่องเวลาในการซีลไม่เหมาะสมและอุณหภูมิในการการซีลไม่เหมาะสม มีคะแนนผลกระทบต่อของเสียประเภทซีลไม่ติดสูงที่สุด และจากงานวิจัยของ Morris [3] กล่าวว่า ทั้งสองปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลโดยตรงกับคุณภาพในการซีล โดยหากเวลาและอุณหภูมิในการซีลไม่สัมพันธ์กันจะก่อให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติด ผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาและปรับปรุงสองปัจจัยนี้ต่อไป

3.4 การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ

ในการปรับปรุงปัญหาเกี่ยวกับการซีลไม่ติดนั้น ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัยข้างต้นและคะแนนความสมบูรณ์ในการซีล จากนั้นหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของสองปัจจัยนี้โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองที่จะศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรตอบสนองคือ คะแนนแสดงระดับความสมบูรณ์ของการซีลดังแสดงในตารางที่ 2 และกำหนดปัจจัยนำเข้าได้แก่ ระดับความร้อนในการซีลแนวตั้ง ระดับความร้อนในการซีลแนวนอนและระดับเวลาในการซีล ซึ่งสามารถกำหนดการตั้งค่าได้จากปุ่มปรับระดับหน้าเครื่องจักร

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนความสมบูรณ์ของการซีล

คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
0	ซีลไม่สนิท มีน้ำนมรั่ว
3	ซีลสนิทแต่มีรอยไหม้เป็นทางยาว
5	ซีลสนิทแต่รอยซีลไม่สม่ำเสมอ, มีรอยไหม้เล็กน้อย
7	ซีลสนิทแต่รอยซีลไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย
9	รอยซีลสม่ำเสมอ

2) เลือกแบบการทดลองที่เหมาะสม ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนซึ่งเป็นแบบการทดลองชนิดพื้นผิวตอบสนองที่เหมาะสมสำหรับกรณีมีปัจจัยที่ต้องการทดสอบ 3 ปัจจัย เนื่องจากจำนวนครั้งการทดลองน้อยกว่าแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนองแบบอื่นๆ โดยมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 15 ครั้งการทดลอง แบบการทดลองพื้นผิวตอบสนองจะทำให้สามารถทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองได้รวมทั้งทดสอบอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยนำเข้าได้อีกด้วย จากนั้นหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของปัจจัย ที่ทำให้ได้ค่าคะแนนความสมบูรณ์ของการซีลสูงที่สุด

3) กำหนดระดับของปัจจัยที่จะนำไปทดลอง พร้อมทั้งพิจารณาปัญหาข้อจำกัดต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการทดลอง โดยแต่ละปัจจัยจะมีการทดสอบที่ 3 ระดับในหน่วยแบบค่ารหัสคือ -1, 0, 1 ซึ่งสอดคล้องกับหน่วยการปรับตั้งเครื่องจริงตามระดับของปุ่มปรับระดับหน้าเครื่องจักร ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยระดับที่เพิ่มขึ้นจะให้ความร้อนในการซีลและเวลาในการซีลที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 สัญลักษณ์และระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย		
		-1	0	+1
ระดับความร้อนในการซีลแนวตั้ง	A	4	5	6
ระดับความร้อนในการซีลแนวนอน	B	4	5	6
ระดับเวลาในการซีล	C	4	4.5	5

4) กำหนดขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ขนาดตัวอย่างในที่นี้หมายถึง จำนวนถุงนมที่จะต้องทดสอบในแต่ละครั้งการทดลอง เนื่องจากยังไม่มีงานวิจัยใดที่กำหนดสูตรในการหาขนาดตัวอย่างสำหรับการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนโดยตรง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้สูตรในการหาขนาดตัวอย่างสำหรับทดสอบเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของคะแนนความสมบูรณ์ในการซีลสำหรับสอง

ประชากรดังแสดงในสมการที่ 2 โดยค่า μ_1, μ_2, σ_1 และ σ_2 ถูกประมาณจากการเก็บตัวอย่างเบื้องต้นที่ค่าตามหน่วยแบบรหัสเป็น -1 และ +1 ตามลำดับ และได้กำหนดระดับความเชื่อมั่นเป็น 95% และกำลังการทดสอบเป็น 95%

$$n = \frac{(z_{\alpha/2}+z_{\beta})^2(\sigma_1^2+\sigma_2^2)}{(\mu_1-\mu_2)^2} \quad (2)$$

จากการคำนวณพบว่า จะต้องเก็บจำนวนถุงนม 45 ถุงต่อ 1 ครั้งการทดลอง

5) เก็บข้อมูลและนำผลการทดลองที่ได้ไปพิสูจน์นัยสำคัญและสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองและเทอมที่มีนัยสำคัญของปัจจัย

3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

1) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จำนวน 4 ผลกระทบ ได้แก่ ผลกระทบหลักของระดับความร้อนในการซีลแนวนอนและระดับเวลาในการซีล ผลกระทบกำลังสองของระดับความร้อนในการซีลแนวนอน และผลกระทบร่วมระหว่างระดับความร้อนในการซีลแนวนอนและระดับเวลาในการซีล ส่วนปัจจัยระดับความร้อนในการซีลแนวตั้งไม่มีผลต่อคะแนนความสมบูรณ์ในการซีล ดังแสดงในรูปที่ 5

Response Surface Regression: Seal Score versus A, B, C

Stepwise Selection of Terms

α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	17.9063	4.4766	10.75	0.001
Linear	2	11.7612	5.8806	14.13	0.001
B	1	6.4800	6.4800	15.57	0.003
C	1	5.2812	5.2812	12.69	0.005
Square	1	3.8950	3.8950	9.36	0.012
B*B	1	3.8950	3.8950	9.36	0.012
2-Way Interaction	1	2.2500	2.2500	5.40	0.042
B*C	1	2.2500	2.2500	5.40	0.042
Error	10	4.1630	0.4163		
Lack-of-Fit	8	3.2364	0.4045	0.87	0.635
Pure Error	2	0.9267	0.4633		
Total	14	22.0693			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.645216	81.14%	73.59%	49.73%

รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

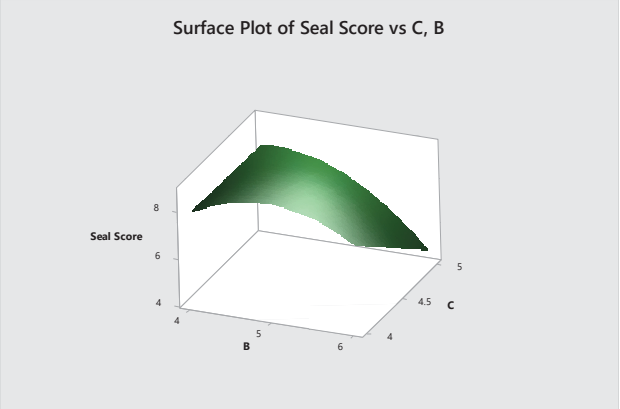
สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความร้อนในการซีลแนวนอนและระดับเวลาในการซีลที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบขั้นตอน (Stepwise Regression) แสดงดังสมการที่ 3

Seal score = 7.971 - 0.900B - 0.813C - 1.021B*B - 0.750B*C (3)

ผู้วิจัยได้ตรวจสอบสมมติฐานพบว่า สมการถดถอยที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลโดยได้ทดสอบส่วนตกค้างในเรื่องการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้าง ความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง และความคงที่ของความแปรปรวนของส่วนตกค้าง

สมการถดถอยแบบลดรูปที่ได้ มีค่า R-squared adjusted สูงที่สุดเท่ากับ 73.59% และมีค่า R-squared เท่ากับ 81.14% ซึ่งหมายความว่า สมการถดถอยแบบลดรูปนี้สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้ 81.14% ซึ่งถือได้ว่าสมการถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือ

2) พิจารณากราฟพื้นผิวตอบสนอง ดังรูปที่ 6 ของปัจจัยที่มีนัยสำคัญพบว่า ระดับความร้อนในการซีลแนวนอน (B) และระดับเวลาในการซีล (C) มีผลต่อตัวแปรตอบสนองในลักษณะดังนี้



รูปที่ 6 กราฟพื้นผิวตอบสนองของปัจจัยระดับความร้อนในการซีลแนวนอน (B) และระดับเวลาในการซีล (C)

เมื่อระดับเวลาในการซีลเป็น 4 เมื่อเพิ่มระดับความร้อนในการซีลแนวนอนจากระดับ 4 เป็นระดับ 5 จะทำให้คะแนนความสมบูรณ์ในการซีลเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อระดับเวลาในการซีลเป็น 5 เมื่อเพิ่มระดับความร้อนในการซีลแนวนอนจากระดับ 4 เป็นระดับ 5 พบว่า คะแนนความสมบูรณ์ในการซีลลดลงเล็กน้อย แต่หากเพิ่มระดับความร้อนในการซีลแนวนอนจากระดับ 5 เป็นระดับ 6 จะทำให้คะแนนความสมบูรณ์ในการซีลลดลงอย่างชัดเจนไม่ว่าระดับเวลาในการซีลจะเป็นเท่าใด นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ระดับความร้อนในการซีลแนวนอนระดับ 4 เมื่อเพิ่มระดับเวลาในการซีล คะแนนความสมบูรณ์ในการซีลไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อระดับความร้อนในการซีลแนวนอนเพิ่มระดับมากขึ้นเป็นที่ระดับ 6 เมื่อเพิ่มระดับเวลาในการซีลจะทำให้คะแนนความสมบูรณ์ในการซีลลดลงอย่างชัดเจน

ผู้วิจัยได้อธิบายเหตุผลของผลการทดลองที่เกิดขึ้น โดยอธิบายผลของปัจจัยระดับความร้อนในการซีลแนวนอนได้ว่า เมื่อใช้เวลาในการซีลไม่มาก หากเพิ่มระดับความร้อนในการซีลสูงขึ้น จะทำให้ความสมบูรณ์ของการซีลดีขึ้นโดยพิจารณาจากรอยในการซีลมีความสมบูรณ์มากขึ้น แต่หากให้ความร้อนในระดับที่สูงเกินไป จะทำให้บริเวณที่ทำการซีลเกิดรอยไหม้ได้ ในขณะที่เมื่อใช้เวลาในการซีลมาก หากเพิ่มระดับความร้อนในการซีลสูงขึ้น จะทำให้ความสมบูรณ์ของการซีลลดลง

เนื่องจากรอยซีลจะไหม้และมีความไม่สม่ำเสมอ ในส่วนผลของเวลาในการซีล ก็สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อใช้ระดับความร้อนในการซีลแนวนอนที่มาก ร่วมกับการใช้เวลาในการซีลมากขึ้น จะทำให้เกิดการหลอมเหลวของวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มากเกินไปจนทำให้เกิดรอยไหม้ได้

3) หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้คะแนนความสมบูรณ์ของการซีลมีค่ามากที่สุดด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer จากโปรแกรม Minitab โดยค่าที่ยอมรับได้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 5 (ไม่ก่อให้เกิดของเสียประเภทถุงรั่ว) พบว่า จะได้ความสมบูรณ์มากที่สุดที่คะแนน 8.78 หากตั้งระดับความร้อนในการซีลแนวนอนในหน่วยแบบค่ารหัสที่ระดับ -0.0707 และ ระดับเวลาในการซีลที่ระดับ -1 แต่ในทางปฏิบัติ ไม่สามารถปรับตั้งค่าระดับความร้อนในการซีลแนวนอนและระดับเวลาในการซีลที่ระดับทศนิยมนี้ได้ จึงต้องทำการปรับค่าปัจจัยเหล่านี้ให้เป็นจำนวนเต็ม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เปรียบเทียบคะแนนความสมบูรณ์ที่ระดับความร้อนในการซีลแนวนอนและระดับเวลาในการซีลของสองทางเลือกในหน่วยแบบค่าจริงที่สามารถปรับตั้งได้ ดังแสดงในตารางที่ 4 และเลือกทางเลือกที่ทำให้ได้ค่าทำนายของคะแนนความสมบูรณ์ในการซีลสูงที่สุด

ตารางที่ 4 ค่าคะแนนความสมบูรณ์ในการซีลเปรียบเทียบที่สองทางเลือกของระดับปัจจัย

ระดับความร้อนในการซีลแนวนอน	ระดับเวลาในการซีล	คะแนนความสมบูรณ์ในการซีล
5	4	8.78
4	4	7.91

3.6 การทดลองยืนยันผล

ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างถุงนมเพื่อดูความสมบูรณ์ของการซีลจำนวน 5,000 ถุงที่ระดับความร้อนในการซีลแนวนอนเท่ากับ 5 และระดับเวลาในการซีลเท่ากับ 4 ได้ผลคือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนความสมบูรณ์ในการซีลเท่ากับ 8.84 ซึ่งคลาดเคลื่อนไปจากคำทำนาย 0.68% โดยเป็นความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ และค่าคะแนนความสมบูรณ์ของการซีลหลังปรับปรุงนี้มีค่ามากขึ้นกว่าคะแนนก่อนการปรับปรุงซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.71 โดยหลังปรับปรุง รอยซีลที่เกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอและไม่มีรอยไหม้ หลังจากนั้นผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนธันวาคม 2564 ถึงเดือนมกราคม 2565 พบว่า ไม่มีของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดเกิดขึ้นเลย แต่ยังมีของเสียจากข้อบกพร่องประเภทอื่นที่ไม่ได้อยู่ในขอบเขตของการปรับปรุงในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้แก่ ข้อบกพร่องเรื่องปริมาตรไม่ถึงที่กำหนด ซองไม่ได้ขนาด รั่วมุมและวันที่ไม่ติด รวมกันคิดเป็นร้อยละ 0.98 ของปริมาณการผลิต

3.7 การควบคุมกระบวนการหลังปรับปรุง

เพื่อคงค่าสัดส่วนของเสียที่ลดลงหลังการปรับปรุง ผู้วิจัยกำหนดมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสมโดยมีการตั้งค่าความร้อนในการซีลแนวนอนที่ระดับ 5 และเวลาในการซีลที่ระดับ 4 พร้อมทั้งจัดทำแผนควบคุมโดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องหลักๆ ได้แก่ ปัจจัยที่ต้องควบคุม วิธีการควบคุม ความถี่และขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อควบคุมคุณภาพ

4. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงกระบวนการบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์เพื่อลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เพื่อวิเคราะห์หาสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความสมบูรณ์ในการซีลและปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่อาจทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดได้แก่ ระดับความร้อนในการซีลแนวตั้ง ระดับความร้อนในการซีลแนวนอน และระดับเวลาในการซีล พบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้แก่ ระดับความร้อนในการซีลแนวนอนและระดับเวลาในการซีล ซึ่งควรปรับตั้งที่ระดับ 5 และระดับ 4 ตามลำดับ หลังปรับปรุงพบว่า สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทซีลไม่ติดลดลงจากร้อยละ 0.9 ของปริมาณการผลิตเหลือร้อยละ 0 ซึ่งสามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] แผนกติดตามและประเมินผลกองแผนงานและโครงการฝ่ายนโยบายและแผนงาน. รายงานประจำปี 2562. สระบุรี: องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย, 2562.

[2] M. Das and T. Chowdhury. Heat sealing property of starch based self-supporting edible films, Food Packaging and Shelf Life, vol. 9, pp. 64-68, 2016.

[3] B. A. Morris, 7 - Heat Seal, The Science and Technology of Flexible Packaging, B. A. Morris Ed. Oxford: William Andrew Publishing, pp. 181-257, 2017.

[4] L. Meunier-Goddik and S. Sandra. Liquid Milk Products: Pasteurized Milk, Reference Module in Food Science: Elsevier, 2016.

[5] D. C. Montgomery. Design and Analysis of Experiments. Jonn Wiley & Sons, 2012.

การพัฒนาน้ำเคลือบเซรามิกจากตะกอนผลิตน้ำใสโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

Development of Ceramic Glaze from Mae Moh Power Plant Sludge by Quality Function Deployment Technique

นนทนัน วิเชียรสาร[1,2*] วัสสนัย วรรธนัจฉริยา[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[2]โรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
E-mail: nwichiensan@gmail.com*

Nontanan Wichiensan[1,2*], Wassanai Wattanutchariya[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
[2]Mae Moh Power Plant, Electricity Generating Authority of Thailand
E-mail: nwichiensan@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เคลือบเซรามิกโดยใช้กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำใสที่ใช้กับกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นวัตถุดิบในการเคลือบ ซึ่งเป็นการพัฒนาผลพลอยได้จากกระบวนการให้เกิดคุณค่า โดยมีการประยุกต์ใช้แนวคิดด้านการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ในส่วนของเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพในการพัฒนาตะกอนดังกล่าวไปสู่การใช้เป็นน้ำเคลือบเซรามิกได้อย่างเหมาะสม งานวิจัยใช้เทคนิคเดลฟายในการแสวงหาข้อมูลจากความคิดเห็นของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญเป็นตัวแทนในการระบุหัวข้อความต้องการของลูกค้า ร่วมกับเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ เพื่อแปลงความต้องการนั้นไปสู่คุณลักษณะทางเทคนิคสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงความต้องการของผู้ใช้งานมากที่สุด ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่ามีประเด็นในการพัฒนาจากการสำรวจความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ 13 ประเด็น แบ่งได้เป็น 4 ด้าน คือ ต้นทุนการผลิต กระบวนการผลิต คุณสมบัติพิเศษ และความสวยงาม โดยผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญกับประเด็นด้านความสม่ำเสมอของเฉดสีในแต่ละล๊อตผลิต การป้องกันการซึมผ่านของของเหลว และไม่มีสารพิษตกค้าง เป็นลำดับต้นๆ และเมื่อใช้เมทริกซ์ความสัมพันธ์แปลงเป็นคุณลักษณะทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ พบว่าประเด็นคุณลักษณะด้านความต้านทานต่อการแตกราน ความสวยงาม ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน การขยายตัวเคลือบเนื่องจากความร้อน คือคุณลักษณะที่ได้คะแนนสูงเป็นลำดับต้นๆ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ด้วยหลักการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพได้นำไปสู่การพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์และการประเมินความพึงพอใจ ซึ่งพบว่าผู้ประเมินมีความพึงพอใจกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบในด้านต้นทุน ความสวยงาม ความต่อเนื่องของการส่งมอบวัตถุดิบที่มากกว่าการผลิตด้วยสารเคลือบเดิม แต่มีประเด็นความกังวลในเรื่องสารตกค้างในผลิตภัณฑ์ ความสม่ำเสมอของเฉดสี และ ความเสถียรภาพของวัตถุดิบ ซึ่งในอนาคตทางทีมวิจัยต้องดำเนินการทดสอบและปรับปรุงเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่พึงพอใจและได้มาตรฐานต่อไป

คาสาคัญ: น้ำเคลือบเซรามิก, การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์, การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ, เดลฟาย

Abstract

The goal of this study is to create a ceramic coating product using sludge from the Mae Moh power plant's clear water process. This sludge coating was applied the product design concept and the quality function deployment (QFD) technique for use in ceramic coating experiments. Delphi is used to find customer needs from experts. Then, the QFD is employed to convert that needs into technical specifications for product development. The results of the data analysis revealed that there were development issues from the survey of experts, which can be divided into 4 areas: production costs, production process, special features, and aesthetics. The experts focused on color uniformity in each production lot, preventing liquid penetration, and no toxic residues, respectively. Afterward, the correlation matrix converted these customer's needs into product technical characteristics. It was found that the issues of resistance to cracking, aesthetics, resistance to sudden temperature changes, and coating expansion due to heat are among the highest rated features. The results of the QFD led to the development of product prototypes and satisfaction assessment. It was found that the assessors were more

satisfied with the prototype product in terms of cost, aesthetics, continuity of raw material delivery than the production with the original coating. But there is a concern about the residue in the product, color uniformity, and stability of raw material. According to customer concern, the researcher must continue to test and improve in order to keep the product satisfactory and up to standard.

Keywords: Ceramic glaze, Product design and development, Quality function deployment, Delphi

1. บทนำ

ในปัจจุบันปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากถ่านหิน โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ที่ขออนุญาตนำออกนอกบริเวณโรงงานในแต่ละปีเพื่อทำการฝังกลบ พบว่าหลายประเภทมีศักยภาพในการใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรม เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย (Sludge) ที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำใส ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการผลิตไฟฟ้า ในกระบวนการผลิตน้ำใสจะใช้แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งน้ำต้องถูกปรับปรุงคุณภาพให้ได้ตามมาตรฐานก่อนเข้าสู่กระบวนการ เช่น การใช้สารเคมีลดความกระด้างของน้ำและเร่งการตกตะกอน โรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นโรงไฟฟ้าหลัก (Base Load) ประจำภาคเหนือของประเทศไทย มีการเดินเครื่องเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้ในพื้นที่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องผลิตน้ำใสเพื่อสนับสนุนการเดินเครื่องอย่างต่อเนื่องเช่นกัน และในกระบวนการนี้ส่งผลให้เกิดกากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำใสปริมาณ โดยเฉลี่ย 4,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี [1] กากตะกอนที่เกิดขึ้นจะถูกพักไว้ที่พื้นที่พักตะกอน (Sludge Drying Bed) จำนวนทั้งหมด 28 บ่อ จนกว่าจะแห้งเพื่อส่งการกำจัด โดยการกำจัดต้องตั้งงบประมาณจ้างกำจัดอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยกากตะกอนแห้ง (Sludge) ตามเกณฑ์ที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548 พบว่ากากตะกอนแห้งมีคุณสมบัติเป็นกากอุตสาหกรรมที่ไม่อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ จากการศึกษาองค์ประกอบของกากตะกอนด้วยเทคนิค XRD (X-ray Diffraction) พบว่ามีปริมาณของแคลเซียม (Ca) ในปริมาณที่สูงถึง 90% โดยน้ำหนัก ตามตารางที่ 1 และมีลักษณะทางกายภาพเป็นผงละเอียด

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำใสโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ XRD

Element Quantity %Wt						
Sludge	Al	Si	P	S	K	Ca
	0.2	1.24	0.92	0.46	0.16	90.5
	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Sr
	0.05	0.51	5.52	0.02	0.19	0.24

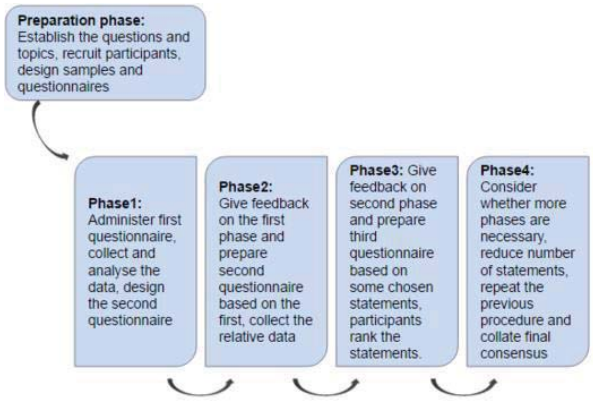
โรงไฟฟ้าแม่เมาะตั้งอยู่ในพื้นที่ จังหวัดลำปาง ซึ่งมีอุตสหกรรมประเภทเซรามิกมากกว่า 155 แห่ง [3] งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำกากตะกอนแห้ง มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิก ด้านการทำสารเคลือบผิวเซรามิก เนื่องจากลักษณะทางกายภาพเป็นผงละเอียด ง่ายต่อการทำไปทำน้ำเคลือบ แคลเซียม (Ca) มีคุณสมบัติในทางเคลือบเป็นความด่าง สามารถทดแทนสารเคมีในทางเคลือบได้ และมีสารที่ให้สี เช่น โลหะ ทั้งนี้การพัฒนาน้ำเคลือบจากกากตะกอน ยังต้องศึกษาเพิ่มถึงความต้องการของผู้ใช้ประโยชน์น้ำเคลือบเซรามิก วิเคราะห์หาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำเคลือบเซรามิกจากตะกอนระบบผลิตน้ำใสโรงไฟฟ้าแม่เมาะ รวมไปถึงวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทคนิคของสารเคลือบเซรามิกหลังการเผา โดยงานวิจัยนี้มีแนวคิดการนำหลักการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ เฟสที่ 1 หรือ บ้านแห่งคุณภาพ (House Of Quality : HoQ) มาประยุกต์ใช้ เป็นเครื่องมือที่สามารถจัดรูปแบบความต้องการของลูกค้า และสร้างความสัมพันธ์ที่นำไปสู่แนวทางการตัดสินใจผลิตสินค้าหรือชิ้นงาน และพัฒนาองค์ประกอบของน้ำเคลือบ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยการพัฒนาน้ำเคลือบเซรามิกจากกากตะกอนน้ำใส ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบในการศึกษาเพื่อเคลือบชิ้นงานประเภทของประดับ และเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร (Tableware) โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากการประยุคใช้เทคนิคการกระจายน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ที่มาจากการสอบถามความต้องการของลูกค้าในพื้นที่ จังหวัดลำปาง เนื่องจากที่ตั้งใกล้เคียงพื้นที่วัตถุดิบ สามารถขนส่งได้อย่างต่อเนื่องและต้นทุนต่ำ อีกทั้งจังหวัดลำปางมีประวัติด้านอุตสาหกรรมเซรามิกอันยาวนาน และเป็นแหล่งผลิตเซรามิกที่มีชื่อเสียง

การหาความต้องการของลูกค้า

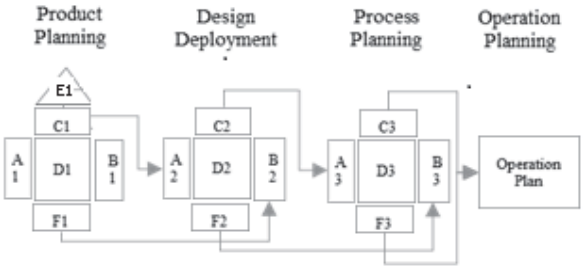
จากการสำรวจความต้องการของผู้ใช้งานน้ำเคลือบเซรามิก ซึ่งใช้เทคนิคเดลฟาย เฟสที่ 1 (Delphi technique) แสดงดังรูปที่ 1 เป็นเครื่องมือในการสำรวจ กลุ่มเป้าหมายตามแบบวิธีเดลฟายจะใช้ผู้เชี่ยวชาญเป็นตัวแทน ซึ่งได้เลือกกลุ่มเป้าหมายสำรวจความต้องการจากผู้ประกอบการโรงงานเซรามิกในพื้นที่จังหวัดลำปาง การสัมภาษณ์นั้น ในครั้งแรกจะเป็นการถามคำถามปลายเปิดโดยการสัมภาษณ์ และดำเนินการรวบรวมคำตอบและข้อคิดเห็น มาจัดเรียงใหม่ แปลงเป็นความต้องการจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องมือคุณภาพ คือ แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity diagram) และแผนผังต้นไม้ (Tree diagram) เพื่อนำไปจัดทำแบบสำรวจคะแนนในแต่ละความต้องการเพื่อการลำดับคะแนนความสำคัญ (Important : IMP) และนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ใน การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ต่อไป



รูปที่ 1 เทคนิคเดลฟาย (Delphi technique)

การประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

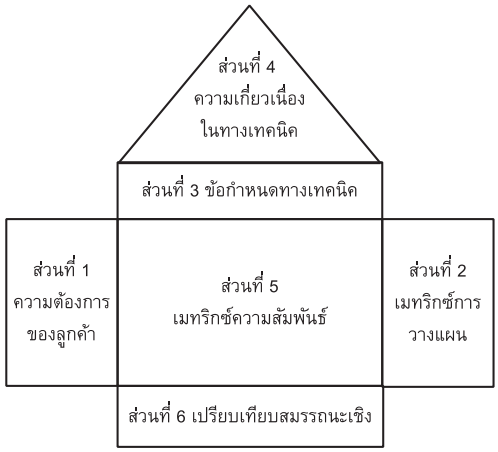
การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment : QFD) ประกอบด้วย 4 เฟส ดังแสดงรูปที่ 2 โดย เฟสที่ 1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (product planning) หรือบ้านคุณภาพ (house of quality) เป็นส่วนที่นำข้อมูลความต้องการของลูกค้ามาแปลงเป็นข้อกำหนดทางเทคนิค เฟสที่ 2 เมตริกซ์การแปลงการออกแบบ (design deployment) เป็นการแปลงข้อกำหนดทางเทคนิคเป็นข้อกำหนดของชิ้นส่วนหรือ ส่วนประกอบย่อย เฟสที่ 3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวน การ (process planning) เป็นขั้นตอนการแปลงข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยให้เป็นพารามิเตอร์หรือ ข้อกำหนดของกระบวนการ และ เฟสที่ 4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการ (operation planning) เป็นขั้นตอนการแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการให้เป็นขั้นตอนการปฏิบัติงาน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ QFD 4 เฟส [3,5]

โดยงานวิจัยนี้ ใช้แนวทางการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ เฟสที่ 1 หรือ บ้านแห่งคุณภาพ (House Of Quality : HoQ) ดังแสดงรูปที่ 3 เป็นเมทริกซ์การวางแผนที่ช่วยแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ที่มีอยู่ระหว่างสิ่งที่ลูกค้าต้องการ (Voice Of Customer : VOC) และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Substitute Quality Characteristics; SQCs) ที่แสดงออกมาในรูปแบบที่สามารถวัดได้ เช่น ข้อกำหนดทางด้านเทคนิค ซึ่งจะนำค่า SOCs เป็นตัวชี้วัดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ส่วนเริ่มการทำ HoQ คือ ความต้องการของลูกค้า (Customer Need) มาสร้างเมตทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่าง ข้อกำหนดทางเทคนิค ใน

▲การให้คะแนนความสัมพันธ์นั้น สัญลักษณ์ ◉ หมายถึง มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก ○ หมายถึง มีความสัมพันธ์ต่อกันปานกลาง หมายถึง มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย และช่องว่าง หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน การกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องการ (Technical Requirement) เกิดจากการระดมสมองและแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นระหว่างกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ และการค้นหาข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานสากล เพื่อหาลำดับความสำคัญเชิงเทคนิค ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เป็นการรวมผลน้ำหนักความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิค และ ระดับความสำคัญ (% Relative) ค่าน้ำหนักความสำคัญเมื่อเทียบกันภายในคุณลักษณะเชิงเทคนิค และนำไปสร้างเมทริกซ์การวางแผน (Planning matrix) เป็นวิธีในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์รูปแบบ เก่าและรูปแบบใหม่ เมื่อได้ส่วนประกอบของบ้านคุณภาพ (HOQ) ครบถ้วนแล้วจะทำการออกแบบผลิตภัณฑ์น้ำเคลือบเซรามิกจากกากตะกอนน้ำใสตามแนวทางต่อไป



รูปที่ 3 บ้านแห่งคุณภาพ (HOQ)

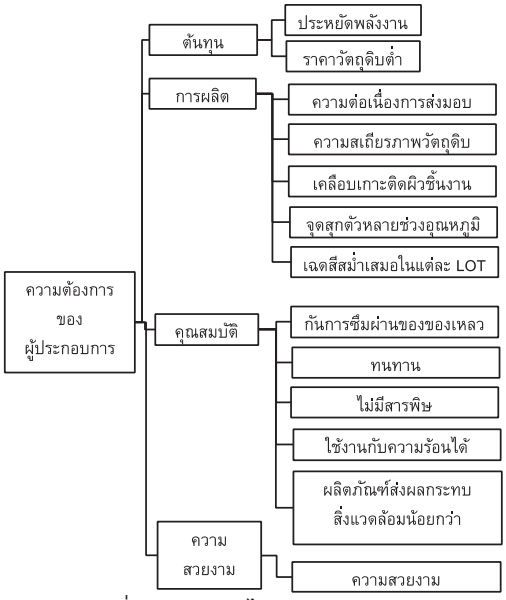
3. ผลการวิจัย และการวิเคราะห์ผล

การวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำเคลือบเซรามิก ที่มีวัตถุดิบตั้งต้นจากกากอุตสาหกรรมให้เกิดคุณค่า โดยประยุคใช้เดลฟาย และการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ มาแปลงความต้องการที่เป็นแนวทางในการพัฒนาน้ำเคลือบเซรามิกที่มีส่วนผสมจากกากตะกอนน้ำใส โดยมีรายละเอียดดังนี้

ผลการหาความต้องการของลูกค้า

ใช้เครื่องมือเดลฟาย (Delphi technique) ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกของ จ.ลำปาง มีทั้งหมด 155 แห่ง ดำเนินการคัดเลือกผู้เชียวชาญทรงคุณวุฒิ แบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 4 ท่าน ประกอบไปด้วย ท่านแรก คือ โรงงานเซรามิกที่ตั้งอยู่ใน อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ซึ่งอยู่ใกล้เคียงพื้นที่ตั้งของแหล่งวัตถุดิบมากที่สุดคือ ท่านที่ 2 ผู้ประกอบการ โรงงานเซรามิกขนาดใหญ่ มีประวัติการผลิตและพัฒนาเซรามิกมาอย่างยาวนาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2498 หรือมากกว่า 67 ปี ท่านที่ 3 ผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตและเคลือบเซรามิกผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหารและของตกแต่ง และท่านที่ 4

ผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิก ผู้ประกอบการณ์ขนาดกลาง-เล็ก และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยพัฒนาวัสดุอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ เมื่อได้สัมภาษณ์ ตามเทคนิคเดลฟาย เฟสที่ 1 สามารถแบ่งความต้องการได้ 4 กลุ่มหลัก ดังแสดงรูปที่ 4 คือ ด้านต้นทุนการผลิต กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิต คุณสมบัติที่ช่วยให้ชิ้นงานเซรามิกมีความพิเศษ และความสวยงาม และเมื่อนำประเด็นความต้องการมารวมกลุ่มกันเพื่อจัดทำแบบสอบถาม หาความต้องการของลูกค้า (IMP) พบว่ามี13 ประเด็น คือวัตถุดิบสามารถส่งมอบได้อย่างต่อเนื่อง มีความเสถียร เฉดสีสม่ำเสมอในแต่ละ ล๊อต ทั้งต้องมีคุณสมบัติ ป้องการกันซึมผ่านของเหลว ไม่มีสารพิษตกค้าง และสามารถ ใช้งานกับความร้อนได้ ดังแสดงตารางที่ 2



รูปที่ 4 แผนผังต้นไม้ (Tree diagram)

ตารางที่ 2 ความต้องการของลูกค้าและ IMP

ความต้องการ		IMP
ต้นทุน	ประหยัดพลังงาน	3.5
	ราคาวัตถุดิบต่ำ	3.5
การผลิต	ความต่อเนื่องการส่งมอบวัตถุดิบ	4.5
	ความสเถียรภาพวัตถุดิบ	4.25
	เคลือบเกาะติดผิวชิ้นงาน	3.25
	จุดสุกตัวหลายช่วงอุณหภูมิ	3
	เฉดสีสม่ำเสมอในแต่ละล๊อต	4.75
คุณสมบัติ	กันการซึมผ่านของของเหลว	4.75
	ทนทาน	3.5
	ไม่มีสารพิษ	4.75
	ใช้งานกับความร้อนได้	4.25
	ผลิตภัณฑ์ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า	3.25
ความสวยงาม	ความสวยงาม	3.25

ผลการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าทีเชิงคุณภาพ

1) ความต้องการของลูกค้า (Customer need) เป็นการนำความต้องการของลูกค้ามาเป็นจุดเริ่มต้นดังแสดงที่ รูปที่ 5

2) IMP จากการสอบถามกลับยืงผู้เชี่ยวชาญ พบว่า การที่เฉดสีที่ได้หลังการเผามีความสม่ำเสมอกันในทุก ล๊อต การผลิต มีความสำคัญ ที่ระดับคะแนน 4.75 จาก 5 คะแนน รวมไปถึงการมีคุณสมบัติพิเศษ ด้านการกันการซึมผ่านของเหลว และ ไม่มีสารพิษตกค้าง

3) จากการนัดกลุ่มย่อยผู้เชี่ยวชาญ การระดมสมอง และการเชื่อมโยงข้อมูลมาตรฐานด้านเทคนิคของผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เคลือบ ทำให้ได้ ข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องการ (Technical requirement) และนำมาตรฐานภาชนะเซรามิกบนโต๊ะอาหารมาเป็นข้อกำหนดทางเทคนิคเพิ่มเติม [6-7] จำนวน 16 รายการ ดังแสดงตารางที่ 3

4) การสร้างเมตทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้าและ ข้อกำหนดทางเทคนิค เกิดขึ้นจากการระดมสมองของผู้เชี่ยวชาญและผู้วิจัย และผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวจะถูกแสดงในรูปสัญญลักษณ์ ดังแสดงในรูปที่ 5

5) การคำนวณหาลำดับความสำคัญของความสำพันธ์ พบว่าความสัมพันธ์เมื่อเรียงน้ำหนัก ความสามารถในการทนการแตกรานเป็นอันดับแรก (8.2%) และ การขยายตัวเคลือบเนื่องจากความร้อน (COE) (7.3%) ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน (7.3%) เป็นอันดับที่รองลงมา ซึ่งจะดำเนินการนำคุณลักษณะเชิงเทคนิค

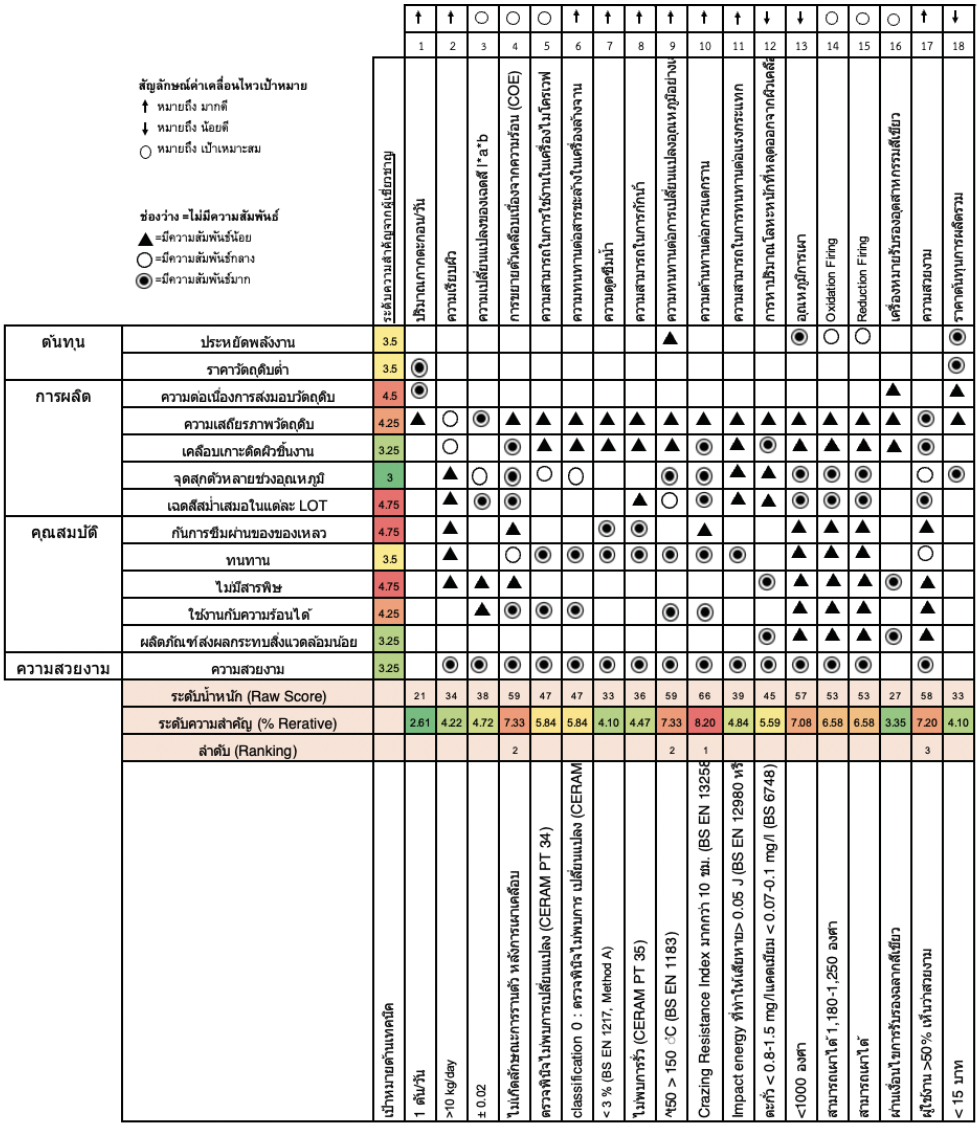
การประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ พบว่าคุณลักษณะในด้าน ความสามารถทนต่อการแตกรานได้ดีนั้น มีความสำคัญอันดับแรก เพราะมีความสัมพันธ์กับหลายประเด็นความต้องการ ได้แก่ ด้านการเคลือบเกาะชิ้นผิวงาน จุดสุกตัว เฉดสีที่ควรสม่ำสมอ มีความทนทาน ใช้งานกับความร้อน และ ความสวยงาม โดยคุณสมบัติที่ได้คะแนนความสำคัญลำดับต้นๆ เหล่านี้จะนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาต้นแบบในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical requirement)

ปริมาณกากตะกอน/วัน	1 ตัน/วัน
ความเรียบผิว	>10 kg/day
ความเปลี่ยนแปลงของเฉดสี l*a*b	± 0.02
การขยายตัวเคลือบเนื่องจากความร้อน (COE)	ไม่เกิดลักษณะการรานตัว
ความสามารถในการใช้งานในเครื่องไมโครเวฟ	ตรวจพินิจไม่พบการเปลี่ยนแปลง (CERAM PT 34)
ความทนทานต่อสารชะล้างในเครื่องล้างจาน	classification 0 : ตรวจพินิจไม่พบการ เปลี่ยนแปลง (CERAM BCRL WW1)
ความดูดซึมน้ำ	< 3 % (BS EN 1217, Method A)
ความสามารถในการกักน้ำ	ไม่พบการรั่ว (CERAM PT 35)
ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน	^t50 > 150 ♂C (BS EN 1183)

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical requirement) (ต่อ)

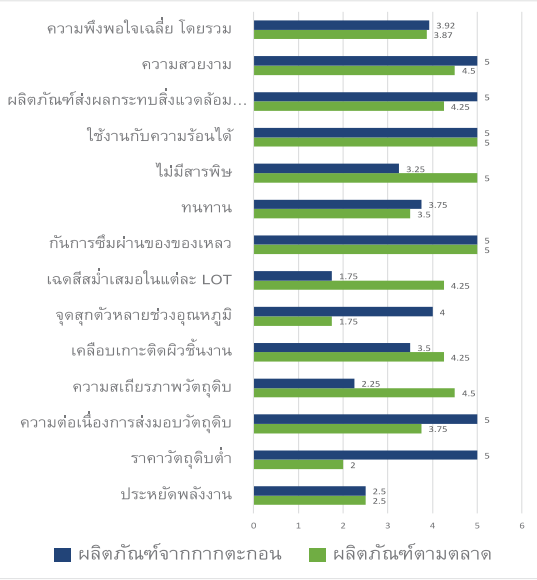
ปริมาณกากตะกอน/วัน	1 ตัน/วัน
ความต้านทานต่อการแตกราน	Crazing Resistance Index มากกว่า 10 ชม. (BS EN 13258, Method A)
ความสามารถในการทนทานต่อแรงกระแทก	Impact energy ที่ทำให้เสียหาย> 0.05 J (BS EN 12980 หรือ CERAM PT 32)
การหาปริมาณโลหะหนักที่หลุดออกจากผิวเคลือบของภาชนะ	ตะกั่ว < 0.8-1.5 mg/แคดเมียม < 0.07-0.1 mg/l (BS 6748)
อุณหภูมิการเผา	สามารถเผาได้ 1,180-1,250 ◌C
เครื่องหมายรับรองอุตสาหกรรมสีเขียว	ผ่านเงื่อนไขการรับรองฉลากสีเขียว
ความสวยงาม	ผู้ใช้งาน >50% เห็นว่าสวยงาม
ราคาต้นทุนการผลิตรวม	< 15 บาท



รูปที่ 5 เมตทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้า และ ข้อกำหนดทางเทคนิค

การพัฒนาสินค้าต้นแบบและการประเมินความพึงพอใจ

จากการนำเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ผู้วิจัยได้ทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบในสัดส่วนที่เหมาะสมกับค่าเป้าหมาย ตามประเด็นของ QFD ซึ่งเมื่อได้ทดลองเคลือบชิ้นงานเซรามิกแล้วเสร็จ ได้ดำเนินการนำไปประเมินกับกลุ่มเป้าหมาย โดยทำการทดสอบลักษณะเปรียบเทียบชิ้นงานที่เคลือบโดยน้ำเคลือบกากตะกอนน้ำใสที่พัฒนาขึ้นและผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกันในท้องตลาด ดังแสดงในรูปที่ 6-8 โดยแบ่งระดับตาม Likert Scale (1-5) พร้อมสอบถามประเด็นที่ต้องการปรับแก้ไขเพื่อเป็นการพัฒนาต่อในอนาคต จากการประเมินพบว่าความพึงพอใจของผู้ใช้โดยรวม การพัฒนาน้ำเคลือบเซรามิกจากกากตะกอนน้ำใสที่ 3.98 คะแนน โดยที่ผลิตภัณฑ์ทั่วไปตามตลาด ที่ 3.87 คะแนน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนามาจากกากตะกอนนั้น ในด้านความสวยงาม เนื่องจากมีธาตุที่ผสมผสานกันมาก ไม่ใช่ธาตุบริสุทธ์ การเกิดสีและลักษณะพื้นผิวมีความเป็นเอกลักษณ์ ซึ่งเป็นความสวยงามและจุดขายที่เลียนแบบได้ยาก แต่มีความสเถียรภาพน้อยเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ขายอยู่ในตลาด ส่งผลให้แต่ละ ล๊อต การผลิตสีไม่สม่ำเสมอกัน ในด้านต้นทุนการผลิต เนื่องจากกากตะกอนเป็นกากอุตสาหกรรมที่ต้องนำไปกำจัด ค่าวัตถุดิบจึงมีราคาถูกกว่าตามท้องตลาด และมีจุดสุกตัวที่หลากหลายเนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการปรุงน้ำเคลือบ ในด้านการเคลือบเกาะติดผิว ผู้ใช้งานประเมินความพึงพอใจด้อยกว่าผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด เนื่องจากหากมีการเพิ่มสีสันในน้ำเคลือบ จะมีความหนืดต่ำ ต้องมีการปรับคุณสมบัติเพิ่มเติม และในด้านความทนทาน การใช้งานกับความร้อน มีความพึงพอใจใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาดทั่วไป และประเด็นสารพิษตกค้างในน้ำเคลือบ จากการสอบถามเพิ่มเติม ผู้ใช้งานมีความกังวลอาจมีสารพิษตกค้างเพิ่มเติมหากนำมาใช้เคลือบผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร เนื่องจากมีแร่บางชนิดที่อาจตกค้างและหลุดออกในขณะใช้งาน ซึ่งสามารถนำเข้าวิเคราะห์เชิคเทคนิคได้ เพื่อความมั่นใจของผู้ใช้งานต่อไป



รูปที่ 6 เปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์



รูปที่ 7 ทดลองเคลือบชิ้นงานเซรามิก



รูปที่ 8 ชิ้นงานต้นแบบ

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการนำกากตะกอนผลิตน้ำใสที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มาพัฒนาให้เป็นน้ำเคลือบเซรามิก โดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่ชิงคุณภาพ และหลักการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยความต้องการของลูกค้าหรือผู้ใช้งาน แบ่งออกเป็น 4 ด้าน คือ ต้นทุนการผลิต ด้านการผลิต คุณสมบัติพิเศษ และความสวยงาม โดยมีเรื่องเฉดสีสม่ำเสมอในแต่ละล๊อตผลิต การป้องกันการซึมผ่านของของเหลว และไม่มีสารพิษตกค้างเป็นลำดับต้นๆ ซึ่งสะท้อนไปสู่คุณลักษณะทางเทคนิคในด้านความเปลี่ยนแปลงของเฉดสี การหาปริมาณโลหะหนักที่หลุดในผิวเคลือบ ความดูดซึมน้ำและความสามารถในการกักน้ำ ความทนต่อการแตกราน เป็นประเด็นคุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงเพื่อนำไปสู่การพัฒนาต้นแบบ เมื่อนำชิ้นงานต้นแบบไปประเมินกับกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งผลประเมินพบว่าอยู่ในระดับใกล้เคียงชิ้นงานที่ขายในท้องตลาด มีจุดเด่นในเรื่อง ราคาต้นทุนวัตถุดิบที่ต่ำกว่า ความต่อเนื่องของวัตถุดิบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม อีกทั้งความสวยงามที่เป็นเอกลักษณ์ แต่มีข้อที่ควรปรับปรุงในเรื่อง เฉดสีที่ไม่สม่ำเสมอกันในแต่ละล๊อตการผลิต ความเสถียรภาพของวัตถุดิบ ซึ่งอาจนำไปพัฒนาเคลือบชิ้นงานในเชิงศิลปะได้ดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กองเชื้อเพลิงถ่านและน้ำ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. 2564. แผนการผลิตฯ กองเชื้อเพลิงถ่านและน้ำโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

[2] ศูนย์วิจัยและพัฒนาวัสดุอุตสาหกรรมสร้างสรรค์. (2017). รายชื่อโรงงานเซรามิก สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2564, จาก https://cim.dip.go.th/th/category/2017-03-03-02-37-41/2017-03-03-02-47-12

[3] วัสสนัย วรรธนัจฉริยา. 2555. การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[4] Cohen, L., 1995, Quality Function Deploy- ment: How to Make QFD Work for You, Addison-Wesley Publishing, Massachusetts, 368 p.

[5] ธนากร วาสนาเพียรพงศ์. 2554. เซรามิกส์. สมาคมเซรามิกส์ไทย-กรุงเทพ

[6] สาวิตรี กองเกียรติวานิช. 2555. ห้องปฏิบัติการทดสอบผลิตภัณฑ์เซรามิก. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)

[7] ลดา พันธ์สุขุมธนา. 2551 มาตรฐานภาชนะเซรามิกบนโต๊ะอาหาร. วารสารเซรามิก

[8] กชกร มูลทรัพย์, ภัทรภูมิ สมสะอาด, สัญญา พันธ์แจ่ม, วัสสนัย วรรธนัจฉริยา “การพัฒนาแผ่นมาร์กหน้าจากข้าวเฉดสีด้วยหลักการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ”, การประชุม ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2560, กรกฎาคม 2560, เชียงใหม่

[9] Rick Parente, Janet Anderson-Parente “A case study of long-term Delphi accuracy” Towson University, Towson, Maryland, 21286, USA, August 2011

[10] ZON-Y AU LEE, CHUNG-CHE P AI “Customer Needs and Technology Analysis in New Product Development via Fuzzy QFD and Delphi” Graduate Institute of Project Management, Department of Air Transportation Kainan University, 2012

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต

Data Visualization for Reducing Defects in Production Process

สุธิกานต์ พูนสินรุ่งโรจน์[1*] สุนาริน จันทะ[1]
[1]สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
E-mail: 6106011610089@fitm.kmutnb ac.th*

Suthikarn Poonsinrungrod[1*], Sunarin Chanta[1]
[1]Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus
E-mail: 6106011610089@fitm.kmutnb ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ โดยมีเป้าหมายไม่เกิน 18,000 ตารางเมตรต่อวัน หรือร้อยละ 5.7 ของกำลังการผลิต โดยกระบวนการผลิต ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ กระบวนการอัดรีด และกระบวนการการสกัด จากการศึกษาปัญหาในกระบวนการผลิต พบว่า ของเสียที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตมากที่สุด 2 ลำดับแรก คือ ของเสียที่มีรอยการไหล และของเสียที่เกิดรู จากนั้นใช้แผนผังสาหตุและผลค้นหาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย และเก็บรวบรวมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร ข้อมูลถูกนำเข้าลงในโปรแกรม Power BI เพื่อนำเสนอข้อมูลในรูปแบบเชิงภาพ โดยใช้แผนภูมิควบคุม มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งทำให้สามารถติดตามการดำเนินงานของกระบวนการผลิตได้แบบทันที และสามารถเข้าไปแก้ไขปัญหาได้ทันเวลา ส่งผลให้ปริมาณของเสียลดลง ผลหลังการปรับปรุง พบว่า ค่าเฉลี่ยของเสียทั้งหมดต่อวันลดลง จากเดิมร้อยละ 3.35 เหลือร้อยละ 2.70, จำนวนวันที่เกิดของเสียมากกว่าร้อยละ 5.7 ของกำลังการผลิต ลดลงจาก 3 วัน เหลือ 0 วัน

คาสาคัญ: การลดของเสีย, กระบวนการอัดรีด, กระบวนการสกัด, การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพ, แผนภูมิควบคุม

Abstract

The objective of this study is to reduce defects in battery separator manufacturing process. The target is not exceeding 18,000 square meters per day or 5.7% of the production capacity. The manufacturing process consists of 2 parts, which are extrusion process and extraction process. After study the problem in the production process, we found the first two defects that affect the production the most, which are the flow mark and the hole. Then, we used cause and effect diagram to find the causes of the defects, and collected machine-related parameter data. The data is used as an input into Power BI program to present the data visualization with the use of control charts for analysis. So, we are able to monitor the operation of the production process by real time, and be able to correct the problem in time, with result to defect reduction. After the improvement, we found that the average of total defects per day reduced from 3.35% to 2.70%, the number of days that has defect more than 5.7% of the production capacity reduced from 3 days to 0 day.

Keywords: Defect reduction, Extrusion, Extraction, Data visualization, Control chart

1. บทนำ

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด เป็นอุปกรณ์กักเก็บพลังงานสำหรับยานพาหนะต่างๆ โดยเฉพาะรถยนต์มีความต้องการทางการตลาดของผู้บริโภคค่อนข้างสูง ทำให้บริษัทผู้ผลิตรถยนต์และแบตเตอรี่มีความต้องการปริมาณการผลิตที่สูงเพื่อให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการทางตลาดของผู้บริโภค โดยให้ความสำคัญการตอบสนองความต้องการของลูกค้านั้น ต้องมีการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าและยังเป็นการลดจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตอีกด้วย บริษัทกรณีศึกษาทำการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ประเภทโพลีเอทิลีน (Polyethylene) ประสิทธิภาพสูงแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ ซึ่งปัจจุบันบริษัทเหล่านี้จัดหาแผ่นกั้นแบตเตอรี่ เพื่อใช้สำหรับกั้นสารภายในแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรด แผ่นกั้นทำหน้าที่เป็นตัวกั้นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ มีสัดส่วนการส่งจำหน่ายไปยังต่างประเทศประมาณร้อยละ 90 และจำหน่ายภายในประเทศประมาณร้อยละ 10 โดยมีสายการผลิตทั้งหมด 6 สาย จาก 2 โรงการผลิต โรงการผลิตที่ 1 เป็นส่วนสายการผลิตที่ 1-5 และโรงการผลิตที่ 2 เป็นสายการผลิตที่ 6 เนื่องจากผลิตภัณฑ์นี้มีการผลิตเป็นปริมาณมากในแต่ละวัน ทำการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง การทำงานแบ่งเป็น 3 กะ คือ กะเช้า กะบ่าย และกะดึก มีกำลังการผลิตที่สามารถผลิตได้สูงสุด ในแต่ละวัน 315,000 ตารางเมตรต่อวัน พบว่ามีค่าของเสียในกระบวนการผลิตต่อวัน (Defects) เท่ากับ 20,000 ตารางเมตรต่อวัน หรือร้อยละ 6.3 ของกำลังผลิต และในกระบวนการผลิตยังพบปัญหาการรอคอยในเรื่องของการวิเคราะห์ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต เมื่อเกิดปัญหาในกระบวนการผลิตทำให้หาสาเหตุความผิดปกติในเครื่องจักรได้ยากและต้องรอคอยผู้เชี่ยวชาญมาทำการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา ตัวอย่างเช่น พนักงานทำงานในกะดึก พบปัญหาในกระบวนการผลิตขึ้นแต่ไม่สามารถหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทำให้อาจต้องหยุดทำการผลิตส่งผลให้การผลิตล่าช้า แล้วยังต้องรอผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์สาเหตุที่เกิดขึ้นในเวลาช่วงเช้า ทำให้แผนในการผลิตที่วางไว้ต้องเลื่อนออกไป

เมื่อพบปัญหาเหล่านี้ ผู้ศึกษาจึงต้องการหาแนวทางแก้ไขโดยการศึกษากระบวนการผลิตและข้อมูล ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ จัดทำฐานข้อมูลที่สะดวก เข้าใจง่ายยิ่งขึ้นกว่าเดิมโดยโปรแกรม Power BI แสดงผล การวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบภาพ (Visualization) ที่เห็นข้อมูลจุดผิดปกติได้ชัดเจน สะดวก สามารถแก้ไขปัญหาได้ทันทีเมื่อพบปัญหาไม่จำเป็นต้องรอคอยผู้เชี่ยวชาญมาทำการวิเคราะห์และลดค่าของเสียในกระบวนการผลิต จากเดิม 20,000 ตารางเมตรต่อวัน ให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 18,000 ตารางเมตรต่อวัน หรือร้อยละ 5.7 ของกำลังผลิต โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อนำเสนอข้อมูลเชิงภาพของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต

2. เพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 18,000 ตารางเมตรต่อวัน หรือร้อยละ 5.7 ของกำลังการผลิต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือ แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) หรือ Ishigawa Diagram เป็นแผนภาพที่ใช้สำหรับพิสูจน์หาสาเหตุของปัญหา โดยเราจะนำสาเหตุหลักหรือปัญหาหลักไว้ที่หัวปลา และจะหาสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดปัญหาหลักนี้ไว้ที่ก้างปลา และในแต่ละปัญหาย่อยเราจะแตกสาเหตุของสาเหตุย่อยออกมาอีกที โดยใช้หลักการ Why Why Analysis เป็นการถามว่าทำไมถึงเกิดปัญหา วิธีการนี้ให้พนักงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาช่วยกันหาสาเหตุ และกำหนดแนวทางในการแก้ไขปัญหา รวมถึงผู้รับผิดชอบ

โครงสร้างของแผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลา ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลา ซึ่งได้รวบรวมปัจจัย อันเป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลา ที่เป็นข้อสรุปของสาเหตุที่กลายเป็นตัวปัญหา โดยตามความนิยมจะเขียนหัวปลาอยู่ทางขวามือ และตัวปลา (หางปลา) อยู่ทางซ้ายมือเสมอ

2.2 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิต โดยวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีความแปรปรวนผิดปกติ หรือสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัดคุณภาพแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Variables) เป็นค่าที่ได้จากการ วัด ชั่ง ตวง แสดงค่าเป็นตัวเลขที่มีลักษณะของจำนวนเต็มหรือทศนิยม ได้แก่ ความยาว ส่วนสูง และความเร็ว เรียกตัวแปรเชิงปริมาณ (Variables) 2) ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Variables) เป็นค่าที่ได้จากการนับแยกประเภท แยกกลุ่ม แสดงค่าเป็นตัวเลขจำนวนนับ ได้แก่ ชิ้นงานที่มีรอยตำหนิ และชิ้นงานที่ไม่มีรอยตำหนิ ชิ้นงานที่มีสีตรงหรือผิดไปจากมาตรฐาน เรียกตัวแปรเชิงคุณลักษณะ (Attribute)

หลักการสร้างแผนภูมิควบคุม ประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit: UCL), ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit: LCL), และเส้นกลาง (Center line: CL) โดยหากข้อมูลตกภายในขีดจำกัดแสดงถึงกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (in control) ส่วนข้อมูลที่ตกนอกขีดจำกัดแสดงถึงกระบวนการอยู่นอกการควบคุม (out of control) โดยกระบวนการที่อยู่ภายใต้การควบคุมคุณภาพที่กำหนดคือ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99.73% จะถือว่ากระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิต ในการเก็บข้อมูลของกระบวนการมาเป็นจำนวน *m* ชุด โดยแต่ละชุดมีจำนวน *n* ค่าสังเกต สามารถสร้างเป็นแผนภูมิควบคุมได้ ดังนี้ [1]

แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$ Chart)

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}} \quad (1)$$

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} \quad (2)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}} \quad (3)$$

โดยที่ x คือ ค่าวัดเชิงปริมาณของผลิตภัณฑ์

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่ประกอบด้วย n ค่าสังเกต

$\bar{\bar{X}}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยชุดข้อมูลทั้ง m ชุด
$\sigma_{\bar{x}}$ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย

ในการศึกษานี้ ปัญหาของการลดของเสียใช้ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร ได้แก่ ค่าความเร็ว ค่าแรงดัน ค่าหมุนต่อรอบของเครื่องจักร ค่าอุณหภูมิ ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบนำข้อมูลมาคำนวณสร้างแผนภูมิการควบคุมค่าเฉลี่ย

2.3 โปรแกรม Power BI

Power BI (Business Intelligence) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลธุรกิจ (Business Analytics Tool) และสร้างรายงานสรุปผลการดำเนินงาน (Power BI Dashboard) ช่วยให้มุมมองรอบทิศทางกับผู้ใช้งาน เพื่อประกอบการตัดสินใจ สามารถติดตามข้อมูลได้อย่างทันที และสามารถดูผลจากอุปกรณ์ที่หลากหลาย ผู้ใช้สามารถทำการคลิกเพื่อดูข้อมูลในมุมที่ต้องการ เพื่อที่จะหาคำตอบและตัดสินใจ โดยสามารถเชื่อมต่อแหล่งข้อมูล และสามารถเข้าถึงข้อมูลและรายงานได้จาก Apps Power BI Mobile ทั้งใน Windows, iOS, Android

Power BI Desktop คือ โปรแกรมที่ใช้ช่วยวิเคราะห์สรุปผลข้อมูล สามารถนำเข้าข้อมูลจากแหล่งข้อมูล เช่น Excel File, Microsoft Access Database, SQL Server, Oracle เป็นต้น แสดงผลได้ทั้งรูปแบบตาราง และกราฟในรูปแบบต่างๆ รวมถึงแผนที่ โดยสามารถแสดงผลผ่านเว็บไซต์ และอุปกรณ์ Mobile และ Tablet จึงทำให้ติดตามข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว สามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องและทันเวลา

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฐาปนันดร์ และศุภรัชชัย (2554) [2] ได้ทำการวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก โดยใช้ใบตรวจสอบ ทำการสำรวจสภาพของเสีย และเก็บข้อมูลจำนวนของเสียจากกระบวนการผลิต จากนั้นแจกแจงปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) และแสดงความถี่ของปัญหา เพื่อแยกความสำคัญตามลำดับด้วย กฎ 80:20 ในการเลือกแก้ไขส่วนที่มีของเสียมากที่สุด แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ปัญหานั้นด้วยแผนภูมิก้างปลา แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาเปรียบเทียบก่อน และหลังจากการปรับปรุงผลการดำเนินการปรับปรุงสามารถลดการเกิดปัญหาของเสียจากเดิม 1.53 % ลดลงเป็น 0.53 %

กฤษณะ (2561) [3] ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตเลนส์ถ่ายภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียที่ในกระบวนการผลิตเลนส์ถ่ายภาพให้ได้ไม่ต่ำกว่า 10 % โดยใช้ใบตรวจสอบมาทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนของเสีย หลังจากนั้นได้ทำการแจกแจงความสำคัญและแสดงความถี่ของปัญหา โดยใช้แผนภูมิพาเรโต แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา เพื่อวางมาตรการในการดำเนินการแก้ไขโดยอาศัยหลักการ PDCA หรือ Deming Cycle ผลการดำเนินงาน พบว่า ก่อนการปรับปรุงนั้นมีจำนวนของเสียคิดเป็น 29.39% จากจำนวนของเสียทั้งหมด และหลังจากที่ดำเนินการปรับปรุงแล้วจำนวนของเสียคิดเป็น 11.88% จากจำนวนของเสียทั้งหมด ซึ่งลดลงจากก่อนการดำเนินการปรับปรุงถึง 17.41%

ธนัชดิษย์ และปฏิภาณ (2562) [4] ศึกษาการลดของเสียของสายการผลิตชิ้นส่วน SFJ-P83S ทำการศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิต และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนภูมิพาเรโต ระบุของเสียหลักได้ คือ การลบคมปากรูลึกและตื้นเกินไป ความยาวของชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน จากนั้นหาสาเหตุของของเสียแต่ละประเภท โดยใช้แผนผังก้างปลา และประเมินสาเหตุที่ควรนำมาทำการปรับปรุงได้ทั้งหมด 5 สาเหตุ จากนั้นทำการนำเสนอแนวทางในการปรับปรุง ได้แก่ การหาปริมาณการตัดชิ้นงานเพื่อให้เครื่องจักรหยุดการทำงานที่เหมาะสม หาค่าอัตราการป้อนที่สัมพันธ์กับความเร็วรอบ ใช้หลักการ ECRS การจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน และนำเสนอการบำรุงรักษาด้วยตนเอง โดยพบว่าร้อยละของการเกิดของเสียลดลง

อิสราภรณ์ (2563) [5] ได้ศึกษาแนวทางการลดความสูญเสียของบรรจุภัณฑ์ถ้วยพลาสติก ในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์แปรรูปของผลิตภัณฑ์ 3 รูปแบบ ได้แก่ ถุง กระป๋อง และถ้วยพลาสติก พบว่า ถ้วยพลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาณการสูญเสียมากที่สุด ทำการระบุปัญหาการสูญเสียโดยใช้แผนภูมิพาเรโต พบว่าปัญหามากที่สุด คือ แถบปิดผนึกไม่สมบูรณ์ รองลงมา คือ ปากถ้วยบุบ ฟิล์มเอียง และถ้วยแตก จากนั้นวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยใช้แผนผังก้างปลา และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) โดยการประเมินตัวเลขความเสี่ยง (RPN) แล้วคัดเลือกสาเหตุของปัญหาที่มีร้อยละสะสมของตัวเลขความเสี่ยงที่ร้อยละ 50 นำมาปรับปรุง ทำปรับปรุงกระบวนการด้วยการใช้วงจรการควบคุมคุณภาพ PDCA ผลการวิจัยพบว่า สามารถลดปริมาณการสูญเสียของบรรจุภัณฑ์ถ้วยพลาสติก จาก 2,553 ppm ลดลงเหลือ 1,687 ppm คิดเป็นร้อยละ 28

สุทธิดา (2563) [6] ศึกษาการลดระยะเวลาการสั่งซื้อวัตถุดิบ โดยนำหลักการ ECRS และโปรแกรม Power BI เข้ามาปรับปรุงแก้ไข เนื่องจากมีปัญหาได้รับวัตถุดิบล่าช้า บริษัทจึงเพิ่มปริมาณวัตถุดิบคงคลังให้สูงขึ้นเพื่อป้องกันการขาดแคลน ส่งผลให้ต้นทุนวัตถุดิบคงคลังสูงและพื้นที่จัดเก็บที่ไม่เพียงพอ จากการศึกษาพบว่าขั้นตอนการขออนุมัติคำสั่งซื้อภายในองค์กรมีระยะเวลาสูงกว่าขั้นตอนอื่น โดยขั้นตอนการทำงานมีความยุ่งยากในการติดตามคำสั่งซื้อ ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในการประสานงานและขาดการแบ่งปันข้อมูลระหว่างแผนกจึงเกิดการผิดพลาด ดังนั้นจึงนำหลักการ ECRS และการบริหารจัดการการสื่อสารข้อมูลโดยโปรแกรม Power BI มาใช้ในการติดตามคำสั่งซื้อและการแบ่งปันข้อมูล จากการเก็บข้อมูลพบว่าสามารถลดระยะเวลาการสั่งซื้อวัตถุดิบเฉลี่ยลงได้ 7.04 วัน ลดพื้นที่การจัดเก็บลงได้ 34.8 ตารางเมตร และลดต้นทุนวัตถุดิบคงคลังได้ 3,440,004 บาท

ปัทมาและนิเวศ (2561) พัฒนาระบบธุรกิจอัจฉริยะเพื่อสนับสนุนการพยากรณ์และการตัดสินใจ กรณีศึกษากลุ่มโรงพยาบาล โดยใช้ระบบธุรกิจอัจฉริยะ ผ่านโปรแกรม Power BI และการจัดการฐานข้อมูลด้วย Oracle Database เพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์ข้อมูลการรักษาพยาบาลของผู้บริหาร โดยนำข้อมูลจากระบบสารสนเทศ

โรงพยาบาล และข้อมูลโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง มาสร้างรายงานอัจฉริยะ (Dashboard) โดยระบบสามารถพยากรณ์ข้อมูลและช่วยในการตัดสินใจอย่างรวดเร็วและถูกต้อง จากการประเมินความพึงพอใจของระบบโดยผู้บริหารจำนวน 30 คน ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.15 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.67

3. การดำเนินงาน

3.1 ศึกษากระบวนการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี

ขั้นตอนที่ 1: กระบวนการอัดรีด

วัตถุดิบส่วนผสมได้รับการชั่งน้ำหนักตามสูตรที่กำหนดไว้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของลูกค้า โดยจะผสมเข้าด้วยกันและผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูป เมื่อออกจากเครื่องอัดรีด วัสดุจะถูกฉีดเข้ากับลูกโรลขนาดใหญ่ทันที ซึ่งเป็นการปรับลายนูนของแผ่นงานที่มีขนาดความหนาของลายตามที่ลูกค้าต้องการ เพื่อเตรียมการสำหรับขั้นตอนต่อไป วัสดุจะถูกรีดออกเป็นแผ่นให้ชิ้นงานตึงไม่หย่อนด้วยลูกโรลขนาดเล็กและทำให้เย็นลงด้วย Cold Can

ขั้นตอนที่ 2: กระบวนการสกัด

ขั้นตอนนี้วัตถุที่รีดออกมาเป็นแบบแผ่นสีดำเข้าสู่อ่างสกัดที่มีการผสมสาร Miscella ไว้จำนวน 8-10 อ่าง จากนั้นจะมีการปาดน้ำมันที่ติดมาออกและการเป่าลมด้วยอุณหภูมิสูงเพื่อให้สาร TCE ที่ติดมาระเหยออก ในระหว่างขั้นตอนนี้ จะมีการเติมสารเฉพาะแต่ละสูตรและสารเคลือบพิเศษเฉพาะตามความต้องการของลูกค้า เมื่อวัตถุได้ถูกทำการสกัดเรียบร้อยแล้วแผ่นพลาสติกจากสีดำมีน้ำมันติดอยู่จะกลายเป็นแผ่นพลาสติกสีเทาไม่มีน้ำมันติดในตัวแผ่น เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการนี้แล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะเป็นลักษณะม้วนโรลขนาดใหญ่

ขั้นตอนที่ 3: ผลิตภัณฑ์สินค้าสำเร็จ

ในการจัดเตรียมผลิตภัณฑ์สินค้าสำเร็จสำหรับการจัดส่งให้กับลูกค้า วัสดุจะถูกจัดเตรียมตามรูปร่างของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการลูกค้า ดังนี้ 1) ม้วนโรลขนาดใหญ่ 2) Slit Roll ตัดขนาดความกว้างตามความต้องการของลูกค้า 3) แบบเป็นชิ้น ตัดขนาดความกว้างและความยาวตามความต้องการของลูกค้าพร้อมกับติดกาว 4) แบบเป็นซอง เย็บมุม ตัดขนาดความกว้างและความยาวตามความต้องการของลูกค้าพร้อมกับเย็บขอบมุมด้านข้างเก็บเป็นลักษณะแบบซอง โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป แสดงดังรูปที่ 1

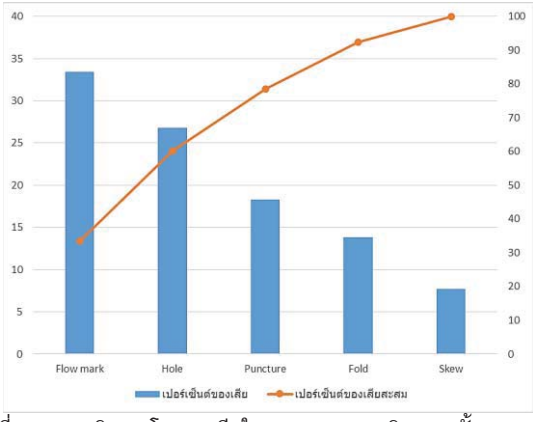


รูปที่ 1 รูปแบบผลิตภัณฑ์สินค้าสำเร็จ

จากการเก็บข้อมูลของการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ระหว่างเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม พบว่ามีลักษณะของเสีย 5 ปัญหา คือ ร่องรอยการไหล (Flow mark), เกิดรู (Hole), ความต้านทานของการเจาะไม่ได้มาตรฐาน (Puncture), รอยพับ (Fold) และความตรงขอบข้างไม่ได้มาตรฐาน (Skew) ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลของเสียแต่ละประเภท จากนั้นนำข้อมูลจำนวนของเสียเฉลี่ยมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแผนภูมิพาเรโต แสดงดังรูปที่ 2 จากข้อมูลของเสียในการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ จะเห็นได้ว่าของเสียที่เกิดจากร่องรอยการไหล และของเสียจากการเกิดรู มีจำนวนและร้อยละของเสียสูงที่สุดอันดับที่ 1 และ 2 จึงนำมาพิจารณาและเลือกแก้ปัญหาใน 2 อันดับแรกที่ทำให้เกิดของเสียมากที่สุด

ตารางที่ 1 ลักษณะของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

ลักษณะของเสีย	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์สะสม
ร่องรอยการไหล (Flow mark)	33.4 %	33.4 %
เกิดรู (Hole)	26.8 %	60.2 %
การเจาะไม่ได้มาตรฐาน (Puncture)	18.3 %	78.5 %
รอยพับ (Fold)	13.8 %	92.3 %
ขอบข้างไม่ได้มาตรฐาน (Skew)	7.7 %	100 %

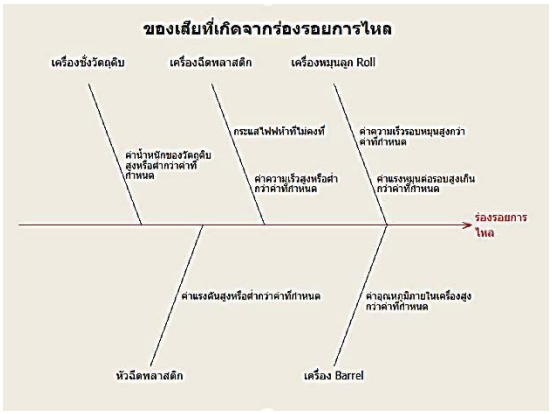


รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตของเสียในกระบวนการผลิตแผนกั้นแบตเตอรี่

3.2 การวิเคราะห์สาเหตุ

จากการศึกษาปัญหากระบวนการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียมากที่สุด คือ ของเสียที่เกิดจากร่องรอยการไหล และของเสียจากการเกิดรู จึงทำการใช้แผนผังแสดงเหตุและผลวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียทั้ง 2 ประเภท ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 3 และ 4

โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดร่องรอยการไหล และเกิดรูขึ้นในตัวผลิตภัณฑ์มาจากการทำงานของเครื่อง ดังนี้ 1) เครื่องชั่งวัตถุดิบ เกิดจากค่าน้ำหนักของวัตถุดิบสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด ทำให้คุณภาพที่ผลิตไม่เท่ากันและไม่ได้มาตรฐาน 2) เครื่องฉีดพลาสติก เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไม่คงที่และค่าความเร็วสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด ทำให้เกิดของเสียต่อเนื่อง 3) เครื่องหมุนลูกโรล เกิดจากค่าความเร็วรอบหมุนสูงกว่าค่าที่กำหนด ส่งผลทำให้การรีดพลาสติกมีขนาดไม่เท่ากันตลอดแผ่นและไม่เรียบตรง 4) หัวฉีดพลาสติก เกิดจากค่าแรงดันสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด ส่งผลทำให้เวลาฉีดพลาสติกแผ่นมีความหนาและบางไม่เท่ากัน 5) เครื่อง Barrel เกิดจากค่าอุณภูมิภายในเครื่องสูงกว่าค่าที่กำหนด ส่งผลทำให้วัตถุดิบผสมเหลวเกินไป 6) เครื่องจับวัตถุแปลกปลอม เกิดจากค่าแรงดันเครื่องสูงกว่าค่าที่กำหนดทำให้เครื่องหมุนเร็วกว่าปกติและทำงานหนักมากขึ้นเพื่อปรับค่าแรงดันสูงขึ้นเมื่อพบเศษไม้ ทราย และเศษกระดาษและเป็นสาเหตุหลักของการเกิดรู



รูปที่ 3 แผนผังแสดงเหตุและผลของปัญหาของเสียที่เกิดจากร่องรอยการไหล (Flow mark)

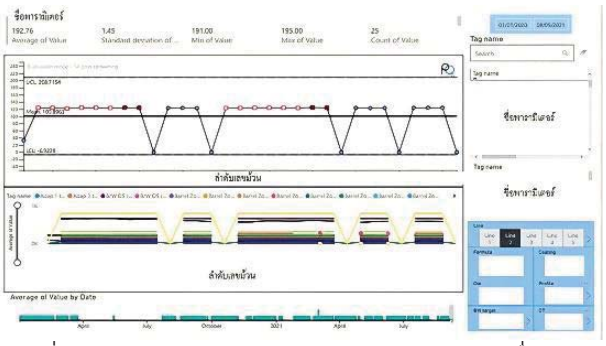


รูปที่ 4 แผนผังแสดงเหตุและผลของปัญหาของเสียที่เกิดจากรู (Hole)

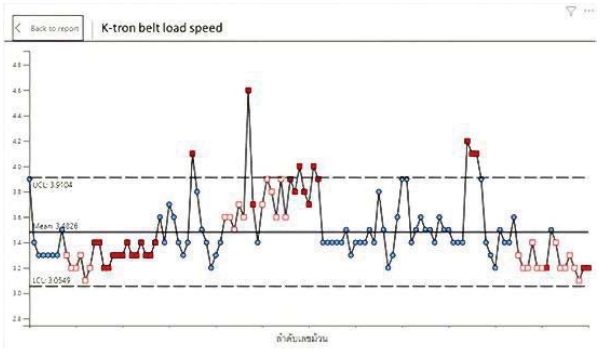
4. การดำเนินงาน

เมื่อทราบสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียจากร่องรอยการไหล และของเสียจากการเกิดรู ผู้ศึกษาจึงได้ทำการออกแบบหน้ารายงานนำเสนอข้อมูลผ่านโปรแกรม Power BI มาประยุกต์ใช้ มีการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรทั้งหมด 6 ตัว ได้แก่ ค่าความเร็ว ค่าแรงดัน ค่าหมุนต่อรอบของเครื่องจักร ค่าอุณหภูมิ ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบ ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดของเสียนำเสนอเป็นภาพกราฟ และแผนภูมิควบคุม เพื่อที่จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถดูข้อมูลและนำข้อมูลไปวิเคราะห์แก้ไขอย่างรวดเร็ว

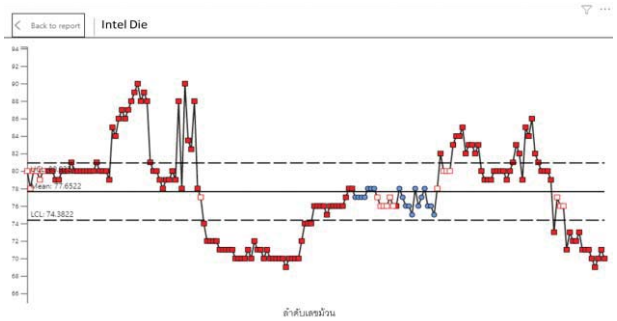
โดยการออกแบบรูปแบบหน้าแสดงผลของโปรแกรมจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ 1 เป็นการแสดงสถานะหรือภาพรวมของกระบวนการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง แสดงดังรูปที่ 5 และส่วนที่สองจะเป็นการแสดงค่าผิดปกติของเครื่องจักร ได้แก่ ค่าชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบ ค่าแรงดันภายในหัวฉีดและค่าแรงดันภายในเครื่องตรวจจับวัตถุแปลกปลอม ค่ากระแสไฟ ค่าแรงหมุนต่อรอบของเครื่องจักร และค่าอุณหภูมิของเครื่องจักร โดยแสดงค่าของกระบวนการที่ออกนอกขีดจัดกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม แสดงดังรูปที่ 6-11



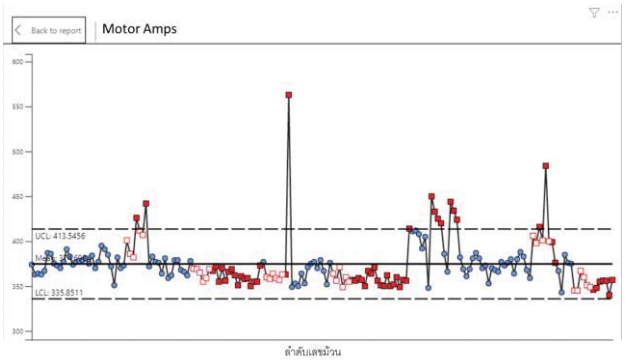
รูปที่ 5 หน้าหลักแสดงสถานะของกระบวนการผลิตของเครื่องจักร



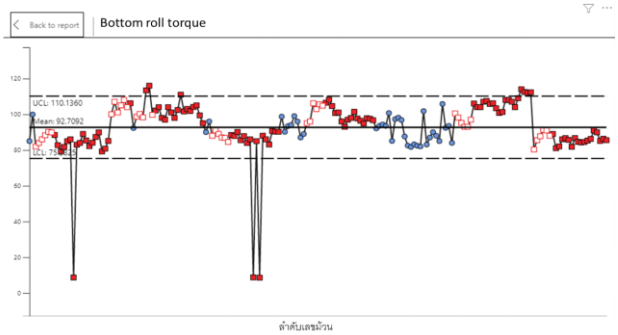
รูปที่ 6 ส่วนการแสดงค่าผิดปกติของเครื่องชั่งวัตถุดิบ



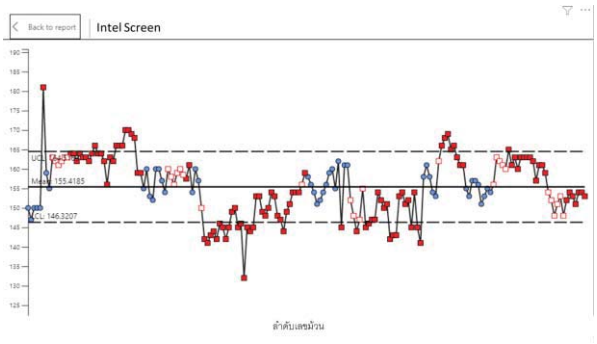
รูปที่ 7 ส่วนการแสดงค่าผิดปกติของเครื่องฉีดพลาสติก



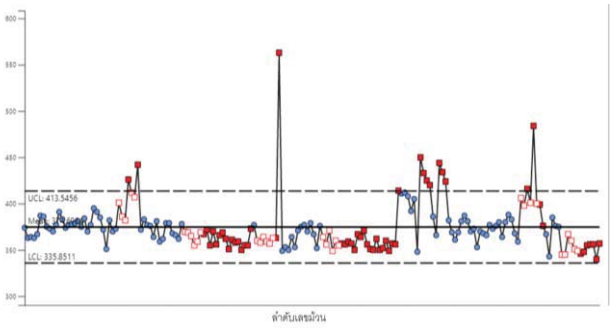
รูปที่ 8 ส่วนการแสดงค่ากระแสไฟผิดปกติของเครื่องจักร



รูปที่ 9 ส่วนการแสดงค่าแรงหมุนผิดปกติของลูกโรล



รูปที่ 10 ส่วนการแสดงค่าผิดปกติของเครื่องจับวัตถุแปลกปลอม



รูปที่ 11 ส่วนการแสดงค่าอุณหภูมิที่ผิดปกติของเครื่องจักร

5. การติดตามผลหลังการปรับปรุง

วิเคราะห์เปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยทำการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 รวมทั้งสิ้น 2 เดือน พบว่าเดือนมิถุนายนมค่าเฉลี่ยของเสียต่อวัน เท่ากับร้อยละ 0.65 ของปริมาณของเสียทั้งหมด เดือนกรกฎาคมมีค่าเฉลี่ยของเสียต่อวัน เท่ากับร้อยละ 0.49 ปริมาณของเสียทั้งหมด และหลังจากที่ได้ดำเนินการใช้ Power BI ช่วยในการวิเคราะห์เชิงภาพได้มีเก็บข้อมูลผลหลังการปรับปรุงเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2564 ถึง เดือน กันยายน พ.ศ. 2564 รวมทั้งสิ้น 2 เดือน พบว่าในเดือนสิงหาคม มีค่าเฉลี่ยของเสียต่อวันเท่ากับร้อยละ 0.35 ของปริมาณของเสียทั้งหมด ลดลงจากเดือนกรกฎาคม เท่ากับร้อยละ 0.14 และเดือนกันยายนมีค่าเฉลี่ยของเสียต่อวันเท่ากับร้อยละ 0.30 ของปริมาณของเสียทั้งหมด ลดลงจากเดือนสิงหาคม เท่ากับร้อยละ 0.05

6. สรุปผล

จากปัญหาการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ เมื่อทำการศึกษาการทำงานพบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสียมากที่สุด คือ ของเสียที่เกิดจากร่องรอยการไหล และของเสียจากการเกิดรู เนื่องจากมีค่าข้อมูลที่มีค่าผิดปกติและแสดงผลข้อมูลที่ยากซับซ้อน โดยงานวิจัยได้นำเอาโปรแกรม Power BI มาออกแบบนำเสนอข้อมูลของเครื่องจักรต่างๆ เป็นภาพกราฟ แผนภูมิควบคุม Control Chart ช่วยทำให้ผู้ใช้งานสามารถดูข้อมูลและนำข้อมูลไปวิเคราะห์แก้ไขอย่างรวดเร็ว

โดยผลหลังการปรับปรุงสามารถลดของเสียจากเดิมร้อยละ 3.35 ลดลงเหลือร้อยละ 2.7

เอกสารอ้างอิง

[1] Douglas C. Montgomery (2013). “Statistical Quality Control ". 7th Edition John Wiley & Sons, Inc.

[2] ฐาปนันดร์ เขียวสังข์, ศุภรัชชัย วรรัตน์ (2554). “การลดของเสียในกระบวนการผลิตการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก". กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

[3] กฤษณะ สุรินทร์ (2561). “การลดของเสียในกระบวนการผลิตเลนส์ถ่ายภาพ”. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

[4] ธนัชดิษย แสนสิงห์ชัย, ปฏิภาณ มาทา (2562). “การลดของเสียของสายการผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ของเครื่องจักร”. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] อิสราภรณ์ ธรรมวาโร (2563). “การลดความสูญเสียในสายการแปรรูปอาหารสัตว์เลี้ยง: กรณีศึกษา “โรงงานแปรรูปอาหารสัตว์เลี้ยง”. สารนิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[6] สุทธิดา ไชยกิจ (2563). “การลดระยะเวลาการสั่งซื้อวัตถุดิบ เพื่อลดต้นทุนการจัดเก็บ”. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[7] ปัทมา เที่ยงสมบุญ และนิเวศ จิระวิชิตชัย (2561). “การพัฒนาระบบธุรกิจอัจฉริยะเพื่อสนับสนุนการพยากรณ์และการตัดสินใจของผู้บริหาร กรณีศึกษากลุ่มโรงพยาบาล”. วารสาร Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 5, ฉบับที่ 4: 16-30.

การวิเคราะห์ต้นทุนและการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรสำหรับการผลิตข้าวหอมมะลิในจังหวัดอุบลราชธานี

Cost Analysis And The Use of Agricultural Machinery for Jasmine Rice Cultivation in Ubon Ratchathani Province

นัฐิยาภรณ์ สีลารวม[1] ศันสนีย์ สุภาภา[1] พัชราภรณ์ ญาณภิรัต[1*]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)
E-mail: fengppy@ku.ac.th *

Natiyaporn Silaruam[1], Sansanee Supapa[1], Patcharaporn Yanpirat[1*]
[1]Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University (Bangkhen)
E-mail: fengppy@ku.ac.th *

บทคัดย่อ

การขาดแคลนแรงงานในการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการผลิต งานวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตข้าวหอมมะลินาปี และความสัมพันธ์ของรายได้จากการขายข้าวต่อปีกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร ในจังหวัดอุบลราชธานี โดยการสำรวจเกษตรกรในพื้นที่ด้วยแบบสอบถามโดยการสุ่มแบบแบ่งเป็นชั้น จำนวน 400 ชุด และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างรายได้จากการขายข้าวต่อปีกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรในจังหวัดอุบลราชธานีมีต้นทุนในการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิเฉลี่ย 1,273 บาทต่อไร่ ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่มาจากค่าจ้างรถเกี่ยวข้าว คิดเป็นร้อยละ 43.92 ของต้นทุนรวมเฉลี่ย ค่ารถไถ หรือรถแทรกเตอร์ คิดเป็นร้อยละ 24.90 ของต้นทุนรวมเฉลี่ย และค่าปุ๋ย คิดเป็นร้อยละ 20.74 ของต้นทุนรวมเฉลี่ย ในส่วนรายได้จากการขายข้าวเฉลี่ยอยู่ที่ 2,918 บาทต่อไร่ คิดเป็นกำไรจากการเพาะปลูกข้าวหอมมะลินาปีเท่ากับ 1,645 บาทต่อไร่ หรือร้อยละ 56.36 ของรายได้จากการขายข้าว นอกจากนี้พบว่ารายได้จากการขายข้าวต่อปีขึ้นอยู่กับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร โดยการใช้รถเกี่ยวข้าวเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับของรายได้มากที่สุด รองลงมาคือ การใช้รถปักดำข้าว และเมื่อวิเคราะห์ด้านความเป็นเจ้าของพบว่า ส่วนใหญ่เป็นการเช่าเหมาเพื่อกิจกรรมการผลิต ขณะที่รถไถเดินตามเป็นเครื่องจักรกลการเกษตรที่เกษตรกรมีการลงทุนเพื่อการครอบครองเป็นเจ้าของมากที่สุด

คาสาคัญ: การผลิตข้าว, เครื่องจักรกลการเกษตร, วิเคราะห์ความสัมพันธ์, ข้าวหอมมะลิ

Abstract

The shortage of labor supply in the jasmine rice cultivation has been a factor to drive the increase in production cost. The objectives of this research aimed to analyze annual production costs of jasmine rice cultivation, relationship between annual sales revenue, and the use agricultural machinery utilization including their ownership in Ubon Ratchathani province. A survey questionnaire was designed and 400 samples were distributed to the specific areas using stratify sampling technique. For analyzing relationship between annual sales revenue and the use agricultural machinery utilization, the multiple regression analysis was used. The results showed that an average annual production cost was at 1,273 baht per rai, most of the costs come from the wages of harvesters accounting of 43.92 percent of the average total cost, the wages of tractor and fertilizer cost accounting of 24.90 and 20.74 percent of average total cost, respectively. For an average annual sales revenue was at 2,918 baht per rai and net income was at 1,645 baht per rai accounting of 56.36 percent of annual sales revenue. Based on the regression results, the utilization of 7-type agricultural machineries for replacing labor intensive activities affected the annual sales revenue. The use of rice harvester was the most important factor and followed by the use of rice transplanter machine. For machinery ownership, the walking tractor was the most machine that invested and occupied by the farmers.

Keywords: Rice Production, Agricultural Machinery, Multiple Regression Analysis, Jasmine Rice.

1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่การเพาะปลูกข้าว 61,197,134 ไร่ ซึ่งภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภูมิภาคที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด โดยมีพื้นที่ 37,799,154 ไร่ คิดเป็น 62 เปอร์เซ็นต์ของประเทศ แต่ผลผลิตข้าวเฉลี่ยต่อไร่กลับต่ำที่สุดอยู่ที่ 352 กิโลกรัมต่อไร่ โดยภาคกลางเป็นภาคที่มีผลผลิตต่อไร่สูงที่สุดอยู่ที่ 618 กิโลกรัมต่อไร่ [1] ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจังหวัดที่มีพื้นที่การเพาะปลูกมากที่สุด คือ จังหวัดอุบลราชธานี มีพื้นที่ 3.94 ล้านไร่ รองลงมา คือ จังหวัดนครราชสีมา มีพื้นที่ 3.56 ล้านไร่ การเพาะปลูกข้าวจะนิยม 2 รูปแบบ คือ เพาะปลูกข้าวแบบนาดำ และการเพาะปลูกข้าวแบบนาหว่าน ส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคน และมีใช้เครื่องจักรกลการเกษตรเข้ามาร่วมด้วย เช่น รถไถเดินตาม รถแทกเตอร์ และเครื่องเกี่ยวนวดข้าว เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้เข้าสู่การเป็นสังคมสูงอายุ (Aged Society) มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 และคาดว่าประเทศไทยจะเป็นสังคมสูงวัยโดยสมบูรณ์ (Complete Aged Society) ในปี พ.ศ. 2564 และเป็นสังคมสูงวัยระดับสุดยอด (Super Aged Society) ภายในปี พ.ศ. 2578 โดยประมาณการว่าจะมีประชากรสูงอายุเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนประชากรทั้งหมด [2] และจากสถิติยังพบว่าจำนวนประชากรในภาคการเกษตรมีแนวโน้มลดลง โดยลดลงจากร้อยละ 57.71 เป็นร้อยละ 36.30 ซึ่งปัญหานี้อาจจะส่งผลกระทบทำให้การทำเกษตรมีจำนวนลดลง หรือมีการปล่อยทิ้งพื้นที่ ผลกระทบอีกอย่าง คือ ค่าจ้างแรงงานคนก็จะสูงขึ้นเนื่องจากการขาดแคลนแรงงาน และส่งผลต่อด้านต้นทุนการผลิตของเกษตรกร

จากปัญหาส่งผลให้แรงงานภาคการเกษตรมีการเคลื่อนย้ายสู่ภาคอุตสาหกรรม แรงงานภาคเกษตรที่มีอยู่ในปัจจุบันเริ่มเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุมากขึ้น รวมถึงผลกระทบต่อแรงงานการเกษตรในการผลิตข้าว ดังนั้นการที่นำเครื่องจักรกลเกษตรเข้ามาใช้ทดแทนแรงงานคนในการผลิตข้าวคาดว่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยเกษตรกรในด้านการขาดแคลนแรงงาน และค่าจ้างแรงงานที่สูงขึ้น

กรณีศึกษา: พื้นที่การเพาะปลูกข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจังหวัดที่มีพื้นที่การเพาะปลูกมากที่สุด คือ จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ที่ 3.94 ล้านไร่ และเป็นพื้นที่ๆ นิยมเพาะปลูกข้าวสายพันธุ์หอมมะลิ ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวประเภทที่มีคุณภาพสูง แต่ให้ผลผลิตที่ต่ำกว่าข้าวพันธุ์อื่น แต่ข้าวหอมมะลิสายพันธุ์นี้สามารถขายได้ราคาสูงกว่าสายพันธุ์อื่น จากปัญหาการขาดแคลนแรงงานภาคการเกษตร และแรงงานที่มีอยู่ในปัจจุบันเริ่มเข้าสู่ยุคสังคมผู้สูงวัย ทำให้เกิดอัตราค่าจ้างแรงงานที่สูง ส่งผลให้เกิดต้นทุนการเพาะปลูกข้าวสูง งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเกี่ยวกับต้นทุนการผลิตข้าวหอมมะลิ และความสัมพันธ์ของรายได้จากการขายข้าวต่อปีกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร รวมทั้งความนิยมของเครื่องจักรกลการเกษตร ในจังหวัดอุบลราชธานี

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรม

2.1 การผลิตข้าวเปลือก

ขั้นตอนการผลิตประกอบด้วย 6 ขั้นตอน [3] ดังนี้

1. การไถพรวน (Tillage) คือ การเตรียมดินก่อนการเพาะปลูกข้าว
2. การเพาะเมล็ด (Seeding) คือ การหว่านเมล็ดลงแปลงที่เตรียมดินไว้แล้ว
3. การใส่ปุ๋ย (Fertilizing) คือ ขั้นตอนการดูแลต้นข้าวให้เจริญเติบโต รอดพ้นจากศัตรูพืช
4. การฉีดพ่น (Spraying) คือ ขั้นตอนการดูแลต้นข้าวเหมือนกับการใส่ปุ๋ย
5. การเก็บเกี่ยว (Harvesting) คือ การเก็บเมล็ดข้าว หรือเรียกว่าเก็บผลผลิตจากการผลิต
6. การตัดการเผา (Slashing) คือ ขั้นตอนการตัดตอข้าวหลังจากการเก็บเกี่ยว

นอกจากนี้บทบาทของเครื่องจักรกลการเกษตร ในขั้นตอนการผลิตข้าว สามารถแบ่งตามขั้นตอนการผลิตได้ 5 ขั้นตอน [4] ดังนี้

1. การไถพรวน (Tillage) โดยใช้รถไถเดินตาม ขณะที่การทำการเกษตรเชิงพาณิชย์มีการใช้รถแทรกเตอร์ที่ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบติดตั้งเป็นอุปกรณ์ไถพรวนเป็นหลัก
2. การเพาะและการย้ายปลูก (Seeding and Transplanting) การย้ายปลูกด้วยมือต้องใช้เวลา ค่าใช้จ่าย และพืชผลมักประสบกับภาวะช็อกในการย้ายปลูก เกษตรกรสามารถหลีกเลี่ยงภาวะช็อกนี้ได้ด้วยการย้ายกล้าโดยเครื่องปลูกถ่ายแบบเครื่องจักรกลการเกษตร สามารถมารถแก้ไขปัญหาการขาดแคลนแรงงาน และความล่าช้าในการย้ายปลูก
3. การชลประทาน (Irrigation) ใช้เครื่องสูบน้ำในการทำชลประทานเมื่อต้องการใช้น้ำในการเพาะปลูก
4. การควบคุมวัชพืช และการป้องกันพืช (Weed Control and Plant Protection) การกำจัดวัชพืชจะดำเนินการโดยใช้แรงงานคนเป็นส่วนใหญ่ และความต้องการแรงงานขึ้นอยู่กับความรุนแรงของวัชพืช สำหรับเครื่องกำจัดวัชพืชแบบเครื่องกล เกษตรกรใช้เครื่องพ่นแบบสะพายหลังเนื่องจากราคาต่ำ ทำให้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการพ่นยาฆ่าแมลงในไร่นา
5. การเก็บเกี่ยว (Harvesting) การเก็บเกี่ยวถือเป็นขั้นตอนที่มีค่าใช้จ่ายที่แพงที่สุด มีความต้องการแรงงานอย่างรุนแรงในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว การใช้รถเกี่ยวจะทำให้ใช้เวลาเก็บเกี่ยวน้อยลง

2.2 เครื่องจักรกลการเกษตรในปัจจุบันที่ใช้ในการผลิตข้าว

เครื่องจักรกลการเกษตรในปัจจุบันที่เกษตรกรนิยมใช้ในการผลิตข้าว คือ เครื่องปลูกข้าว (Rice Transplanter) ปั๊มน้ำ (Water Pump) เครื่องนวดข้าว (Rice Thresher) รถเกี่ยวนวดขนาดเล็ก (Mini Combine Harvester) รถแทรกเตอร์ (4 ล้อ) รถแทรกเตอร์ (2 ล้อ) และรถเกี่ยวข้าว [5,6] พื้นที่ศึกษาจังหวัดอุบลราชธานี เครื่องจักกลการเกษตรที่ถูกใช้มากที่สุด คือ รถแทรกเตอร์ 2 ล้อ เนื่องจากมีราคาไม่แพง และสามารถใช้ประโยชน์ได้มาก [7]

2.3 แรงงานด้านการเกษตรกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร

เนื่องด้วยในภาคเกษตรการขาดแคลนแรงงาน และการเพิ่มขึ้นของค่าแรงที่เกิดจากการย้ายถิ่น ทำให้ฟาร์มขนาดย่อมหันมาลงทุนในเครื่องจักรกลขนาดเล็ก

[8] ได้ศึกษากระบวนการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรที่ดำเนินการในเอเชียใต้ โดยใช้ Multivariate Probit Model (MVPM) และ Correlation Coefficient จากการศึกษาพบว่าเครื่องจักรกลการเกษตรที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในเอเชียใต้ คือ รถแทรกเตอร์มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 74 ของจำนวนครัวเรือนเกษตรกร รองลงมา คือ ปั๊ม คิดเป็นร้อยละ 72 เครื่องนวดข้าว คิดเป็นร้อยละ 65 รถเกี่ยวข้าว คิดเป็นร้อยละ 23 และรถไถเดินตามแบบไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 16

นอกจากนี้ [9] ได้ศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างขนาดฟาร์มกับการนำบริการเครื่องจักรกลการเกษตรมาใช้ ในมณฑลเหอหนานประเทศจีน โดยใช้ Non-linear relationship ดังสมการที่ (1)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 A_i + \beta_2 A_i^2 + \beta_3 X + \varepsilon_i \qquad (1)$$

โดยที่ Y_i คือ ขนาดฟาร์ม (เฮกตาร์)
A คือ พื้นที่ปลูกข้าว (เฮกตาร์)
X คือ มูลค่าเครื่องจักร (หยวน)
β_0 คือ ค่าคงที่
β_1, β_2 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย
ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยภายนอก

จากแบบจำลองสมการที่ (1) ความสัมพันธุ์ของขนาดฟาร์มต่อการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร ผลลัพธ์ คือ ได้ความสัมพันธุ์เป็นรูปตัวยูกลับหัว นั่นหมายความว่า ฟาร์มขนาดเล็กและขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะเลิกใช้บริการเครื่องจักรกลการเกษตรมากกว่าฟาร์มขนาดกลาง เนื่องจากเกษตรกรเผชิญกับราคาค่าบริการที่สูง เกษตรกรรายย่อยจึงทดแทนแรงงานด้วยแรงงานในครอบครัว แทนการใช้บริการเครื่องจักรกลการเกษตร สำหรับฟาร์มขนาดใหญ่เมื่อเผชิญกับราคาบริการที่สูง ส่งเสริมให้เกษตรกรลงทุนในทรัพย์สินเครื่องจักรเป็นของตนเอง ยิ่งราคาค่าบริการสูง ระยะเวลาคุ้มทุนของเจ้าของก็ยิ่งสั้นลง แต่สำหรับฟาร์มขนาดกลางที่ขาดแรงงานในครอบครัว และการลงทุนในสินทรัพย์เครื่องจักรที่ไม่คุ้มค่า ทำให้เกษตรกรจะต้องนำเครื่องจักรกลการเกษตรมาใช้

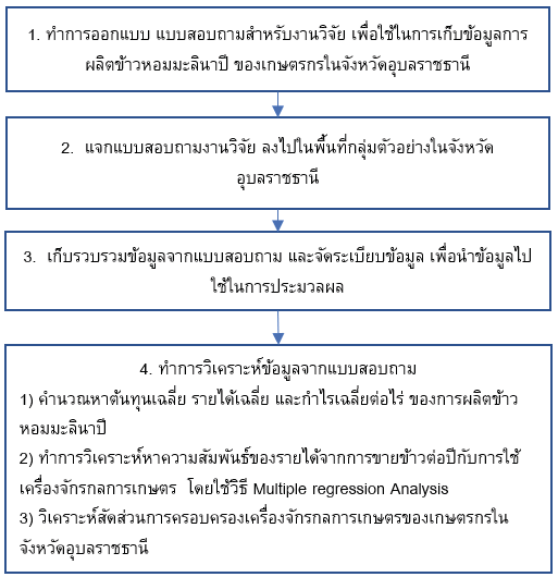
2.4 การตัดสินใจนำเครื่องจักรกลการเกษตรไปใช้ในภาคการเกษตร

ในส่วนฟาร์มที่เป็นเชิงพาณิชย์จะใช้ประโยชน์จากการบริการเครื่องจักรกลการเกษตรสำหรับการเตรียมดิน และรถเกี่ยวข้าวเพื่อการเก็บเกี่ยว เนื่องจากต้นทุนทางการเงินต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการจ้างแรงงานคน [7] ในปากีสถานเกษตรกรที่มีสมาชิกในครอบครัวมากมีโอกาสน้อยที่จะซื้อ และเป็นเจ้าของเครื่องจักรกลการเกษตร เพราะการใช้แรงงานครอบครัวมีต้นทุนต่ำกว่า ส่วนครอบครัวที่มีสมาชิกน้อยมีความต้องการจ้างคนภายนอก ทำให้มีความเป็นไปได้สูงที่จะใช้เงินทุนลงทุนในเครื่องจักร เพราะประหยัดเวลา [10]

ด้านการศึกษาการบริการเครื่องจักรกลการเกษตรในระบบการทำฟาร์มของเกษตรกรรายย่อย กรณีศึกษาจากแอฟริกาตอนใต้ของทะเลทรายซาฮารา เอเชียใต้ และละตินอเมริกา [11] พบว่าจำนวนเกษตรรายใหม่มีแนวโน้มหันมาใช้บริการเครื่องจักรกลการเกษตรเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้มีการสำรวจด้านอุปสงค์ในการใช้แครื่องจักรกลการเกษตรจากเกษตรกร [12] พบว่า การใช้เครื่องจักรจะช่วยอำนวยความสะดวกในการปลูก การเก็บเกี่ยวที่รวดเร็ว ข้อได้เปรียบเหล่านี้อาจช่วยเกษตรกรในการจัดการความเสี่ยงในการขาดแคลนแรงงานและความแปรปรวนของสภาพอากาศ อีกแง่มุมหนึ่ง คือ การลดงานที่ต้องใช้ร่างกายที่ครัวเรือนในฟาร์มต้องทำ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากปัญหาการขาดแคลนแรงงานภาคการเกษตร และแรงงานที่มีอยู่ในปัจจุบันเริ่มเข้าสู่ยุคสังคมผู้สูงวัย ทำให้เกิดอัตราค่าจ้างแรงงานที่สูง ส่งผลให้เกิดต้นทุนการเพาะปลูกข้าวสูง งานวิจัยนี้จึงจะศึกษาเกี่ยวกับต้นทุนการผลิตข้าวหอมมะลิ และความสัมพันธ์ของรายได้จากการขายข้าวต่อปีกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร รวมทั้งความนิยมของเครื่องจักรกลการเกษตร ในจังหวัดอุบลราชธานี โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

รายละเอียดการดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

1. การออกแบบแบบสอบถามงานวิจัย เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลของเกษตรกรในพื้นที่ จังหวัดอุบลราชธานี โดยประกอบด้วย 6 ส่วน ดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

2) ข้อมูลเกี่ยวกับการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิ

3) ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร

4) ความสนใจในการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรในอนาคต

5) ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม เกี่ยวกับการนำเครื่องจักรมาใช้ในการทำนา

6) ปัญหาที่เกษตรกรไม่จ้าง หรือไม่ซื้อเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อใช้ในการทำนา

2. การเก็บรวบรวมข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรในจังหวัดอุบลราชธานี โดยคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากจำนวนเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 326,631 ครัวเรือน จากสูตร Taro Yamane ณ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คิดเป็นจำนวนแบบสอบถาม 400 ราย วิธีการสุ่มตัวอย่าง ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบใช้ความน่าจะเป็น (Probability Sampling) ร่วมกับวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Non-Probability Sampling)

3. ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม และจัดระเบียบข้อมูล เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการประมวลผล และกำหนดตัวแปร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างรายได้จากการขายข้าวต่อปีกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร

กำหนดให้

Y_1 คือ รายได้จากการขายข้าวต่อปี (บาท)

X_1 คือ จำนวนพื้นที่ๆ ใช้เครื่องสูบน้ำ (ไร่)

X_2 คือ จำนวนพื้นที่ๆ ใช้รถไถเดินตาม (ไร่)

X_3 คือ จำนวนพื้นที่ๆ ใช้รถแทรกเตอร์ (ไร่)

X_4 คือ จำนวนพื้นที่ๆ ใช้รถปักดำข้าว (ไร่)

X_5 คือ จำนวนพื้นที่ๆ ใช้เครื่องหว่านเมล็ดข้าว (ไร่)

X_6 คือ จำนวนพื้นที่ๆ ใช้รถสีข้าว หรือรถนวดข้าว (ไร่)

X_7 คือ จำนวนพื้นที่ๆ ใช้รถเกี่ยวข้าว (ไร่)

4. คำนวณต้นทุนของการผลิตข้าวหอมมะลินาปี ในจังหวัดอุบลราชธานี รายได้เฉลี่ย กำไรจากการผลิตข้าวหอมมะลิ และทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของรายได้จากการขายข้าวต่อปีกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร โดยใช้วิธี Multiple regression Analysis แล้ววิเคราะห์สัดส่วนการครอบครองเครื่องจักรกลการเกษตรในจังหวัดอุบลราชธานี

4. ผลจากการวิเคราะห์

จากการสำรวจข้อมูล โดยการส่งแบบสอบถามออกไปให้เกษตรกรในจังหวัดอุบลราชธานีจำนวน 500 ฉบับ ได้รับการตอบแบบสอบถามกลับมาจำนวน 472 ฉบับ และแบบสอบถามที่เชื่อถือได้มีจำนวน 400 ฉบับ คิดเป็นร้อยละ 80 ของจำนวนแบบสอบถามที่ส่งออกไป ซึ่งปัญหาในการตอบแบบสอบถามที่พบมากที่สุด คือ เกษตรกรตอบแบบสอบถามไม่ครบถ้วนในส่วนข้อมูลรายได้ขายข้าวเฉลี่ยต่อปี และข้อมูลการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้

4.1 การคำนวณต้นทุนการเพาะปลูกข้าวและรายได้เฉลี่ยต่อไร่ของการเพาะปลูกข้าวหอมมะลินาปี ในจังหวัดอุบลราชธานี

จากการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้แบบสอบถาม กับเกษตรกรจำนวน 400 ราย ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่า เกษตรกรในจังหวัดอุบลราชธานีมีต้นทุนในการผลิตข้าวหอมมะลิเฉลี่ย 1,273 บาทต่อไร่ ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่มาจากค่าจ้างรถเกี่ยวข้าว คิดเป็นร้อยละ 43.92 ของต้นทุนรวมเฉลี่ย ค่ารถไถ หรือรถแทรกเตอร์ คิดเป็นร้อยละ 24.90 ของต้นทุนรวมเฉลี่ย และค่าปุ๋ย คิดเป็นร้อยละ 20.74 ของต้นทุนรวมเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับรายได้จากการขายข้าว เฉลี่ยอยู่ที่ 2,918 บาทต่อไร่ คิดเป็นกำไรจากการผลิตข้าวหอมมะลินาปีอยู่ที่ 1,645 บาทต่อไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 56.36 ของรายได้จากการขายข้าว

ตารางที่ 1 ต้นทุนการผลิตข้าวหอมมะลินาปีของเกษตรกรในจังหวัดอุบลราชธานี

ต้นทุนการเพาะปลูก	เฉลี่ย	ร้อยละ
ค่าเช่าที่นา	3,050.00	11.55
ค่าเมล็ดพันธุ์/ ค่าต้นกล้า	2,973.15	11.25
ค่าปุ๋ย	5,477.61	20.74
ค่ายาปราบศัตรูพืช	1,912.44	7.24
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	3,251.76	12.31
ค่าจ้างแรงงานคนปักดำ/หว่าน	2,339.29	8.86
ค่าจ้างแรงงานคนใส่ปุ๋ย/ตัดหญ้า	1,444.68	5.47
ค่าจ้างแรงงานคนเก็บเกี่ยว	2,587.14	9.79
ค่าจ้างเครื่องสูบน้ำ	1,603.23	6.07
ค่าจ้างรถไถ/ รถแทรกเตอร์	6,576.68	24.90
ค่าจ้างรถปักดำ/ รถหว่าน	2,937.50	11.12
ค่าจ้างเครื่องหว่านเมล็ดข้าว	1,133.33	4.29
ค่าจ้างเครื่องนวดข้าว หรือรถสีข้าว	1,314.29	4.98
ค่าจ้างรถเกี่ยวข้าว	11,600.93	43.92
ค่าอื่นๆ	2,485.71	9.41

4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของรายได้จากการขายข้าวต่อปีกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร ในจังหวัดอุบลราชธานี

การวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี Multiple Regression Analysis และใช้โปรแกรม Minitab ver.19 ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์พบว่า รายได้จากการขายข้าวเฉลี่ยต่อปี (Y_1) จะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนพื้นที่ๆ ใช้เครื่องจักรกลการเกษตรเพิ่มขึ้น ดังแสดงในสมการถดถอย (2) กล่าวคือ เมื่อมีการใช้เครื่องจักรกลเพิ่มขึ้น จะทำให้เกษตรกรมีรายได้จากการขายข้าวเฉลี่ยต่อปี (Y_1) เพิ่มขึ้น และตัวแปรอิสระทั้ง 7 ตัว มีค่า P-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 (P-Value < 0.05) ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งจะได้ว่า ตัวแปรอิสระที่เป็นจำนวนพื้นที่ๆ ใช้รถเกี่ยวข้าว (X_7) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการ

เพิ่มรายได้มากที่สุด เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์ในสมการมากที่สุด และจำนวนพื้นที่ๆ ใช้รถสีข้าว (X_6) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญน้อยที่สุด เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์ในสมการน้อยที่สุด

สมการถดถอย

$$Y_1 = 7238 + 762X_1 + 942X_2 + 1188X_3 + 1304X_4 + 1043X_5 + 450X_6 + 1431X_7 \quad (2)$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	7238	2213	3.27	0.001	
X1	762	112	6.82	0.000	1.11
X2	942	127	7.40	0.000	1.60
X3	1188	135	8.77	0.000	2.04
X4	1304	276	4.73	0.000	1.07
X5	1043	177	5.89	0.000	1.14
X6	450	179	2.52	0.012	1.10
X7	1431	122	11.74	0.000	1.77

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
24755.0	71.58%	71.08%	66.76%

Durbin-Watson Statistic

Durbin-Watson Statistic = 1.90971

รูปที่ 2 ผลวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณระหว่างรายได้จากการขายข้าวต่อปีกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร

4.3 การใช้เครื่องจักรกลการเกษตรของเกษตรกรในการเพาะปลูกข้าวหอมมะลิ ในจังหวัดอุบลราชธานี

จากการสำรวจพบว่าเครื่องจักรกลการเกษตรที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในจังหวัดอุบลราชธานี คือ รถเกี่ยวข้าวคิดเป็นร้อยละ 77 ของพื้นที่เพาะปลูก รถไถเดินตามคิดเป็นร้อยละ 47 ของพื้นที่เพาะปลูก รถแทรกเตอร์คิดเป็นร้อยละ 44 ของพื้นที่เพาะปลูก เครื่องสูบน้ำคิดเป็นร้อยละ 40 ของพื้นที่เพาะปลูก ตามลำดับ ส่วนเครื่องจักรกลการเกษตรที่ใช้น้อยที่สุดคือ รถปักดำข้าวคิดเป็นร้อยละ 3 ของพื้นที่เพาะปลูก สำหรับการครอบครองเครื่องจักรกลการเกษตรของเกษตรกรในจังหวัดอุบลราชธานีพบว่า รถไถเดินตามถูกครอบครองมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 55 ของจำนวนเกษตรกร เครื่องสูบน้ำคิดเป็นร้อยละ 48 ของจำนวนเกษตรกร รถเกี่ยวข้าวคิดเป็นร้อยละ 16 ของจำนวนเกษตรกร และรถแทรกเตอร์คิดเป็นร้อยละ 14 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ

5. สรุปผล

จากการเก็บข้อมูลโดยการใช้แบบสอบถามกับเกษตรในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานีจำนวน 400 ราย สามารถสรุปข้อมูลได้ว่าเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานีมีต้นทุนในการผลิตข้าวหอมมะลิเฉลี่ย 1,273 บาทต่อไร่ ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่มาจากค่าจ้างรถเกี่ยวข้าวคิดเป็นร้อยละ 43.92 ของต้นทุนรวมเฉลี่ย ค่ารถไถ หรือรถแทรกเตอร์คิดเป็นร้อยละ 24.90 ของต้นทุนรวมเฉลี่ย และค่าปุ๋ย คิดเป็นร้อยละ 20.74 ของต้นทุนรวมเฉลี่ย และรายได้จากการขายข้าวเฉลี่ยอยู่ที่ 2,918 บาทต่อไร่ และเกษตรกรสามารถทำกำไรจากการผลิตข้าวหอมมะลินาปีเฉลี่ยอยู่ที่ 1,645 บาทต่อไร่ จากการวิเคราะห์การใช้เครื่องจักรกลการเกษตรในการผลิตข้าวหอมมะลิ ในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า การใช้เครื่องจักรกลการเกษตรมีความสัมพันธ์กับรายได้จากการขายข้าวเฉลี่ยต่อปี โดยการใช้รถเกี่ยวข้าวเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อรายได้มากที่สุด รองลงมาคือรถปักดำข้าว ขณะที่การใช้รถสีข้าวเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยที่สุด เมื่อวิเคราะห์ด้านความเป็นเจ้าของพบว่า ส่วนใหญ่เป็นการเช่าเหมาเพื่อกิจกรรมการผลิต ขณะที่รถไถเดินตามเป็นเครื่องจักรกลการเกษตรที่เกษตรกรมีการลงทุนเพื่อการครอบครองเป็นเจ้าของมากที่สุด

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

จากผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของรายได้จากการขายข้าวต่อปีกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร ในจังหวัดอุบลราชธานี พบว่า การใช้รถเกี่ยวข้าวเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อรายได้มากที่สุด รองลงมาคือรถปักดำข้าว ผู้วิจัยจึงอยากขอเสนอแนะเกษตรกรผู้ที่ทำการผลิตข้าวหอมมะลิ ให้ใช้งานรถเกี่ยวข้าวในการเก็บเกี่ยว และใช้รถปักดำในการปักดำข้าวในการปลูกข้าว แทนการใช้แรงงานคน เพื่อให้เกษตรกรสามารถมีรายได้จากการขายข้าวต่อปีเพิ่มขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564, ข้อมูลจาก http://https://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดข้าวนาปี/TH-TH (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 เมษายน 2564)

[2] อัญชลี นวลศรี, 2561, สังคมสูงวัยกับแรงงานภาคการเกษตรไทย, นักวิชาการตรวจสอบบัญชี ชำนาญการ, กรมตรวจบัญชีสหกรณ์

[3] A. Muazu, A. Yahya, W. I. W. Ishak and S. Khairunniza-Bejo. 2014. Machinery Utilization and Production Cost of Wetland, Direct Seeding Paddy Cultivation in Malaysia. Agriculture and Agricultural Science Procedia 2: 361-369.

[4] M.M. Rahman, M. R. Ali, M. M. H. Oliver, M. A. Hanif, M. Z. Uddin, Tamim-Ul-Hasan, K. K. Saha, M. H. Islam and M. Moniruzzaman. 2021. Farm mechanization in Bangladesh: A review of the status, roles, policy, and potentials. Journal of Agriculture and Food Research 6: 100225.

[5] Ekawati, Ellyta and S Sugiardi. 2021. Economic feasibility analysis of service business of agricultural equipment and machinery in Kubu Raya Regency, Indonesia. Earth and Environmental Science 637: 012059.

[6] B. Purwantana, Murtiningrum, S. Markumningsih, M. Makky and A. Anwar. 2019. Operational performance of agricultural machineries managed by custom hiring (UPJA) in Banyumas district of Central Java province. Earth and Environmental Science 355: 012011.

[7] P. Kramol and B. Ekasingh. 2020. Evolution of Rice Farming in Ubon Ratchathani Province. White Gold: The Commercialisation of Rice Farming in the Lower Mekong Basin. 69-83. Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economy and Development, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.

[8] J.P. Aryal, D.B. Rahut, G. Thapa and F. Simtowe. 2021. Mechanisation of small-scale farms in South Asia: Empirical evidence derived from farm households survey. Technology in Society 65: 101591.

[9] T. Qiu and B. Luo. 2021. Do small farms prefer agricultural mechanization services? Evidence from wheat production in China. Applied Economics 53:26, 2962-2973.

[10] M.W. Akram, N. Akram, H. Wang, S. Andleeb, K.U. Rehman, U. Kashif and S. F. Hassan. 2020. Socioeconomics Determinants to Adopt Agricultural Machinery for Sustainable Organic Farming in Pakistan: A Multinomial Probit Model. Sustainability 12(23). Licensee MDPI, Basel, Switzerland.

[11] J.V. Loon, L. Woltering, T. J. Krupnik, F. Baudron, M. Boa and B. Govaerts. 2020. Scaling agricultural mechanization services in smallholder farming systems: Case studies from sub-Saharan Africa, South Asia, and Latin America. Journal of Agric Syst 180: 102792.

[12] B. Belton, M. T. Win, X. Zhang and M. Filipski. 2021. The rapid rise of agricultural mechanization in Myanmar. Food Policy 101: 102095.

แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับระบบบำบัดอากาศเสีย กรณีศึกษา : โรงงานผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี

Preventive Maintenance Plan for Air Pollution Control System : Case Study of Battery Cell Separator Factory

วรวิช ชำนาญชล[1] ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์[1] ธณัฏฐ์ยศ สมใจ สุพร หนูคง[1*]
[1]ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
E-mail: suporn.n@fitm.kmutnb.ac.th*

Worawich Chamnanchol[1], Prasert Sriboonchandr[1], Thanutyot Somjai[1], Suporn Nookhong[1*]
[1]Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus
E-mail: suporn.n@fitm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับระบบบำบัดอากาศเสียของโรงงานผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ เนื่องจากทางโรงงานมีการเตรียมแผนการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียใหม่ โดยทำการศึกษาระบบบำบัดอากาศเสียและทำการรวบรวมอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในระบบบำบัดอากาศเสียนำมาจัดทำข้อมูลอะไหล่สำรอง ประกอบด้วย ชื่ออุปกรณ์ โค้ดของอุปกรณ์ รายละเอียดของอุปกรณ์ รุ่น และผู้ผลิต และในส่วนของแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันประกอบด้วย ชื่ออุปกรณ์ วิธีการบำรุงรักษา และระยะเวลาในการตรวจเช็ค เพื่อเตรียมแผนให้กับเครื่องบำบัดอากาศเสีย และแบบฟอร์มการตรวจเช็ค เมื่อจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเสร็จสิ้น จึงได้ทำการประเมินความพึงพอใจจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ผลการประเมินพบว่าระบบการเก็บอะไหล่สำรองมีระดับความพึงพอใจเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 และการวางแผนการการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน มีระดับความพึงพอใจเฉลี่ยเท่ากับ 4.11 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความพึงพอใจมาก

คาสาคัญ: ระบบบำบัดอากาศเสีย, การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน, อะไหล่สำรอง

Abstract

This research focused on making a preventive maintenance plan for an air pollution control system, in the battery cell separator factory, according to initiating the new system installation. The study investigated the air pollution control system and gathered information on applied devices. Thus, the spare parts documentation was provided, including the device name, code, description, model, and manufacturer. Preventive maintenance documented the device name, maintenance instruction, maintenance time for planning, and checklist form. A satisfaction survey of those involved was conducted after the preventive maintenance plan was finished, and the spare parts management system had an average satisfaction score of 4.20. The preventive maintenance plan got an average score of 4.11. Both of them were at a very satisfactory level.

Keywords: Air pollution control system, Preventive maintenance, Spare parts

1. บทนำ

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาตามวาระหรือระยะเวลาการใช้งานที่กำหนด เพื่อรักษาสภาพทำงานของเครื่องจักรให้เหมาะสมก่อนที่จะมีการหยุดชะงัก โดยอาจใช้ประสบการณ์ของฝ่ายบำรุงรักษาหรือ คู่มือการใช้งานของเครื่องจักรนั้นๆ โรงงานกรณีศึกษา เป็นผู้ผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ที่ส่งจำหน่ายให้กับผู้ผลิตแบตเตอรี่ในรถยนต์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งในกระบวนการผลิตแผ่นกั้น จะต้องมีการใช้ตัวทำละลายในกระบวนการผลิตที่มีชื่อว่า ไตรคลอโรเอธิลีน (Trichloroethylene, TCE) มีสูตรทางเคมีคือ C_2HCL_3 มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายคลอโรฟอร์มและอีเธอร์ ไตรคลอโรเอธิลีนจัดเป็นสารอินทรีย์ไอระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) ที่ระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ในอุณหภูมิและความดันปกติ จัดอยู่ในกลุ่ม Chlorinate VOCs หรือ Halogenated hydrocarbons คือ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล สารประกอบประเภทนี้มีความเป็นพิษและมีความเสถียรในสิ่งแวดล้อม เพราะมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนที่ทนทานมากและสะสมได้นาน สลายตัวทางชีวภาพได้ยาก มีผลรบกวนการทำงานของสารพันธุกรรมหรือยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ และมีฤทธิ์ในการก่อมะเร็งหรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้ [1] สาร TCE ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพมีศักยภาพความเป็นพิษที่ไม่แต่เฉพาะเป็นมะเร็ง แต่มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ไต ตับ ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบสืบพันธุ์เพศชาย และการพัฒนาการของทารกในครรภ์ ดังนั้นทางโรงงานจึงมีการบำบัดและกำจัดสารพิษก่อนที่จะปล่อยอากาศออกสู่บรรยากาศ โดยใช้ ระบบบำบัดอากาศเสีย (Activated Carbon System) หรือ ระบบบำบัดกลิ่นด้วยถ่านกัมมันต์ เป็นการใช้หลักการดูดซับ (Adsorbtion) ของ Activated Carbon ในการแยกก๊าซเสียหรือไอระเหยสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนออกจากอากาศ โดยมีกระบวนการที่โมเลกุลของก๊าซเสียหรือสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดกลิ่น จะถูกแยกออกจากอากาศโดยการดูดซับไว้ที่ผิวของ Activated Carbon ที่มีผิวเป็นรูพรุน ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญในการดูดซับสารเคมีได้เป็นอย่างดี ซึ่งตัวดูดซับ Activated Carbon หรือ ถ่านกัมมันต์ มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีคุณสมบัติในการดูดซับสารอินทรีย์ได้สูง ระบบบำบัดกลิ่นด้วยคาร์บอนจะมีคุณสมบัติเด่นด้านการบำบัดกลิ่น เหมาะกับการติดตั้งเพื่อเป็นระบบบำบัดกลิ่นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม และระบบคาร์บอน ยังเหมาะกับโรงงานเคมีที่มีสาร VOCs [2] ในปัจจุบันทางโรงงานได้มีแผนในการออกแบบระบบและติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียใหม่ เพื่อนำมาใช้แทนระบบของ Cbed2 ที่เสื่อมสภาพอยู่ เพื่อเป็นการลดการปล่อยอากาศเสียให้น้อยลง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิศรุต สุวรรณไตรย์ และนุชสรา เกรียงกรกฎ [3] พัฒนาระบบการซ่อมบำรุงของโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ในจังหวัดฉะเชิงเทรา ในระบบการซ่อมบำรุงเครื่องจักรในหน่วยงานเป่าของแผนกพลาสติก จำนวน 5 เครื่อง การนำเอาหลักการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ช่วยลดความถี่ของการชำรุด และลดเวลาเฉลี่ยในการซ่อม เป็นการเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ปรินทร์ แซ่เบ๊ และคณะ [4] ทำการพัฒนาระบบวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของเครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC) ในงานตัดปาดผิว (Machining) โดยการวิเคราะห์จำนวนและวิธีการบำรุงรักษาตามแผน ทบทวนรอบเวลาในการบำรุงรักษา วิเคราะห์ระบบส่งกำลัง วิเคราะห์ระบบหล่อลื่น วิเคราะห์ระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน พบว่าการปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานในรายการบำรุงรักษา พัฒนาวิธีการบำรุงรักษาให้เหมาะสมและเป็นมาตรฐาน รวมถึงอบรมช่างเทคนิคพร้อมกับการฝึกปฏิบัติ การทำวิธีปฏิบัติงานเป็นมาตรฐาน โดยประเมินจากการใช้งานและการทำงานของชิ้นส่วนในระบบต่างๆ ส่งผลต่อการลดจำนวนครั้งในการบำรุงรักษา ในรอบเวลาเดียวกัน ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา พัฒนพงศ์ วิญญาวงศ์ และอนิรุท ไชยจารุวณิช [5] การวางแผนการบำรุงรักษารถบรรทุกแร่โดยจัดทำแผนการบำรุงรักษาด้วยตัวเองและเชิงป้องกันสำหรับรถบรรทุกแร่ 10 คัน เพื่อเพิ่มอัตราค่าความพร้อมของรถบรรทุกแร่ โดยทำการศึกษาและวิเคราะห์หาสาเหตุของการเสียของรถบรรทุกโดยการเก็บข้อมูล และสร้างแผนการบำรุงรักษารถบรรทุกแร่ ประกอบด้วยแผนการบำรุงรักษาด้วยตนเอง และแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หลังจากนำไปปฏิบัติ ผลจากการใช้แผนบำรุงรักษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอัตราค่าความพร้อมของรถบรรทุกแร่เพิ่มขึ้น และค่า MTBF มีแนวโน้มดีขึ้น ชนารดี เวชเพิ่ม และคณะ [6] จัดทำแผนการบำรุงรักษาเครื่องฉีดพลาสติกเชิงป้องกัน โรงงานตัวอย่างไม่มีแผนในการบำรุงรักษาเครื่องจักร งานวิจัยนี้จึงได้เสนอการจัดทำแผนในการบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน และได้นำใบตรวจเช็คไปใช้ในการเก็บข้อมูล เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการบำรุงรักษาเครื่องจักร การวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องฉีดพลาสติกเชิงป้องกันประจำวัน ช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรและอุปกรณ์ ส่งผลทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

ดังนั้นก่อนการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสีย จำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน เพื่อให้เครื่องจักรในระบบบำบัดอากาศเสียที่จะติดตั้งใหม่ สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต งานวิจัยมีวัตถุประสงค์ในการจะจัดทำแผนการบำรุงรักษาระบบบำบัดอากาศเสีย โรงงานกรณีศึกษาเพื่อเป็นการตรวจเช็คในระยะสั้นและระยะยาว การเตรียมวัสดุ อุปกรณ์และเตรียมความพร้อมด้านบุคลากรให้เข้ามาช่วยในการบำรุงรักษาระบบบำบัดอากาศเสียให้คงสภาพที่ดีและสมบูรณ์มากที่สุด นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

นิยามและวัตถุประสงค์ของงานบำรุงเชิงป้องกัน

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance : PM) คือ การดำเนินการกิจกรรมซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลาก่อนที่เครื่องจักรจะเกิดชำรุดเสียหาย ป้องกันการหยุดของเครื่องจักรโดยเหตุฉุกเฉิน สามารถทำได้ด้วยการตรวจสภาพเครื่องจักร การทำความสะอาดและ

หล่อลื่นโดยถูกวิธี การปรับแต่งให้เครื่องจักรที่จุดทำงานตามคำแนะนำของคู่มือรวมทั้งการซ่อมบำรุงและเปลี่ยนชิ้นอะไหล่ตามกำหนดเวลา Preventive Maintenance ช่วยลดปัญหาความขัดข้องระหว่างการผลิตเนื่องจากการตรวจสอบอุปกรณ์และเครื่องจักรในชิ้นส่วนต่างๆ ที่อาจเกิดความเสียหาย จะทำให้สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดในเบื้องต้นได้อย่างทันท่วงที และไม่ก่อให้เกิดปัญหาการผลิตล่าช้า จนทำให้เกิดการค้างสต๊อกหรือการสูญเสียรายได้ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง สามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรให้ยาวนานมากยิ่งขึ้นด้วย การรักษาชิ้นส่วนต่างๆ และสภาพของเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพที่ดี โดยการหมั่นตรวจเช็คอย่างสม่ำเสมอ ช่วยสร้างผลผลิตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องด้วยการมีมาตรการป้องกันความเสียหายของเครื่องจักรเป็นอย่างดีจะช่วยทำให้เครื่องจักรสามารถสร้างผลผลิตและสินค้าต่างๆ ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยในการลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ที่เกิดจากปัญหาขาดการบำรุงรักษาได้อีกประเภทของการบำรุงรักษา งานบำรุงรักษาสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท

1. การซ่อมบำรุงโดยการซ่อมแซมส่วนที่เสีย (Breakdown maintenance) เป็นการบำรุงรักษาหลังเกิดการเสียหายหรือใช้งานจนกระทั่งเสียหายเป็นเทคนิคการบำรุงรักษาที่ง่ายที่สุด

2. การบำรุงรักษาตามแผน (Planned/ Preventive maintenance) เป็นการบำรุงรักษาตามแผน ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของทรัพย์สิน อุปกรณ์และโครงสร้างพื้นฐานของโรงงาน รวมถึงการปรับเปลี่ยน การทำความสะอาด การหล่อลื่น การซ่อมแซม และการเปลี่ยน

3. การบำรุงรักษาโดยการคาดคะเน (Predictive maintenance) เป็นการคาดคะเนอัตราการเสื่อมของเครื่องจักรจากผลการวัดโดยใช้เครื่องมือทำให้ได้ข้อมูลที่สามารถคาดคะเน ทำนาย พยากรณ์อาการชำรุดในปัจจุบัน

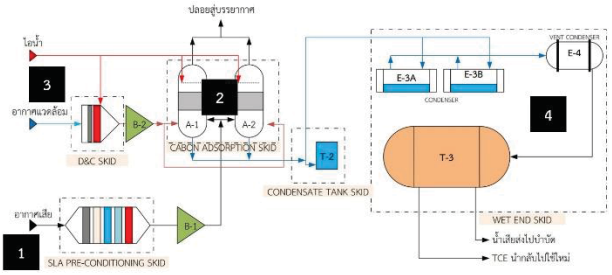
4. การบำรุงรักษาแบบป้องกันล่วงหน้า (Proactive maintenance) การประยุกต์หลักการของ Preventive ให้ดียิ่งขึ้นโดยจะเป็นการวางแผนเพื่อเก็บข้อมูลส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร ทั้งชื่อรุ่น แบรนด์ และความเสี่ยงต่างๆ ก่อนทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เพื่อดำเนินการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนนั้นๆ

3. ผลการวิจัย

3.1 หลักการทำงานของระบบบำบัดอากาศเสีย

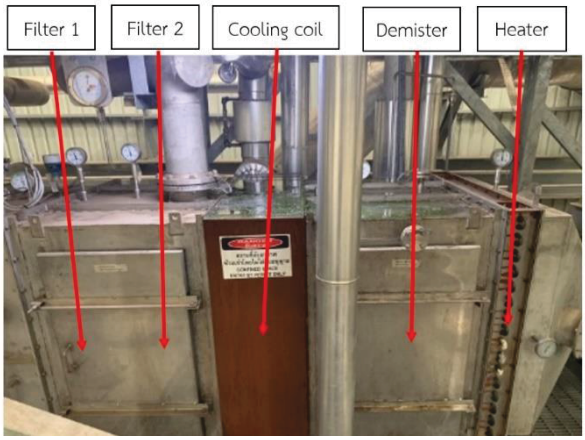
ระบบบำบัดอากาศเสียเป็นระบบที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นกั้นแบตเตอรี่ซึ่งมีกระบวนการในการกรองและบำบัดอากาศเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตซึ่งมีขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 1

อากาศเสียจากกระบวนการผลิตจะถูกส่งเข้าไปยังระบบบำบัดอากาศ จากนั้นจะถูกส่งไปปรับสภาพอากาศในกระบวนการ Pre-Conditioning (หมายเลข 1) โดยจะผ่าน Filter ชั้นแรกเป็นการกรองหลักเพื่อกรองเศษฝุ่นต่างๆ และผ่านตัวกรองชั้นที่สอง และเข้า Cooling Coil เพื่อลดอุณหภูมิลงเพื่อทำให้อากาศแห้งและผ่านตัวดักไอน้ำ Demister และเข้าไปที่ Heater เพื่อเพิ่มลดอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการดูดซับของ Activated Carbon แสดงดังรูปที่ 2



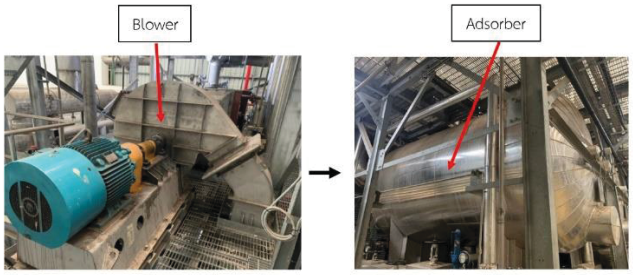
หมายเลข 1 กระบวนการ Pre-Conditioning
หมายเลข 2 กระบวนการ Adsorption
หมายเลข 3 กระบวนการ Regeneration
หมายเลข 4 กระบวนการ WET END

รูปที่ 1 Flowchart ของระบบ Carbon bed



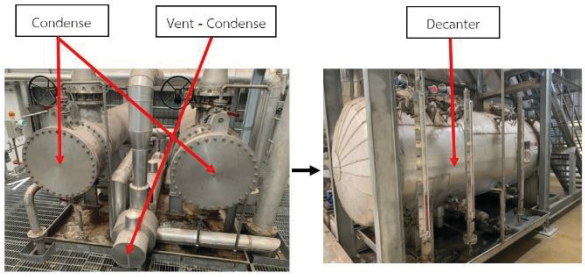
รูปที่ 2 Pre-Conditioning

กระบวนการ Adsorption (หมายเลขที่ 2) อากาศที่ถูกปรับสภาพแล้วจะถูก Blower ส่งเข้าไปในถัง (Adsorber) ซึ่งภายในจะประกอบไปด้วย Activated Carbon ที่ทำหน้าที่คอยดูดซับสาร TCE ที่มากับอากาศเสียและอากาศที่ผ่านการดูดซับแล้วจะถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ แสดงดังรูปที่ 3 และเมื่อ Activated Carbon ดูซับสาร TCE จนอิ่มตัวจะเข้าสู่กระบวนการ Regeneration เป็นกระบวนการทำความสะอาดเม็ด Carbon เพื่อล้างสารที่ถูกดูดซับออกและทำให้ Activated Carbon พร้อมสำหรับการดูดซับอีกครั้ง



รูปที่ 3 Adsorption

กระบวนการ Regeneration (หมายเลขที่ 3) จะมีอยู่ 3 ขั้นตอน 1) Steaming คือการใช้ไอน้ำเข้าไปฉีดล้างทำความสะอาดเม็ด Carbon และสาร TCE และน้ำเสียจะออกมาจากเม็ด Carbon แล้วถูกส่งไปเก็บไว้ Condensate 2) Drying คือการทำให้เม็ด Carbon แห้งโดยใช้อากาศที่ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิโดย Heater 3) Cooling คือการทำให้เม็ด Carbon เย็นลงและพร้อมทำการดูดซับอีกครั้งโดยใช้ลมเย็นเข้าไปเป่าเม็ด Carbon และ กระบวนการ WET END (หมายเลขที่ 4) เริ่มจากสาร TCE และน้ำเสียที่ถูกเก็บไว้ที่ Condensate จะถูกส่งไปยัง Condenser เพื่อควบแน่นไอบางส่วนให้กลายเป็นของเหลวแล้วจะส่งไปที่ Vent-Condenser เพื่อลดอุณหภูมิให้เย็นจากนั้นเข้าไปที่ Decanter จะทำหน้าที่แยกน้ำเสียกับสาร TCE ออกจากกันและน้ำเสียจะถูกส่งไปบำบัดส่วน TCE จะถูกนำกลับไปใช้ใหม่แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Condenser และ Decanter

3.2 การจัดระบบการเก็บอะไหล่สำรอง

เนื่องจากโรงงานมีการติดตั้งระบบบำบัดอากาศเสียเพิ่ม ทางโรงงานจึงยังขาดการจัดระบบการเก็บอะไหล่สำรอง ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาข้อมูลจากหน่วยงานซ่อมบำรุงกับทางผู้จัดการแผนกเพื่อปรึกษาและจัดทำระบบเก็บอะไหล่สำรองขึ้น การกำหนดเกณฑ์นโยบายเบื้องต้นในการจัดระบบการจัดเก็บอะไหล่สำรองดังต่อไปนี้

1) ศึกษาเครื่องจักรและ P&ID ซึ่งเป็นแบบทางอุตสาหกรรมที่แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในกระบวนการและเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ ในอุตสาหกรรมใช้ชุดสัญลักษณ์มาตรฐานเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย เช่น ขนาดท่อ วาล์ว ถังบรรจุ เครื่องจักร และเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมและอื่นๆ โดยผ่านรูปแบบของแผนผัง และรวบรวมอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบ Carbon bed โดยจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ คือ อุปกรณ์หลัก 23 ชิ้น วาล์ว 108 ชิ้น และ เครื่องมือวัด 63 ชิ้น และแบ่งตามหมวดหมู่ได้ดังต่อไปนี้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ Carbon bed

อุปกรณ์หลัก			
ชื่อ	จำนวน (ชิ้น)	ชื่อ	จำนวน (ชิ้น)
Filter	3	Pump	4
Cooling coil	1	Activated carbon	2
Demister	1	Adsorber	2
Heater	2	Condensate	2

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ Carbon bed (ต่อ)

Blower	2	Condenser	2
Vent condenser	1	Decanter	1
วาล์ว			
Air vents	2	Pressure regulator	2
Ball valve	49	Rupture	2
Basket strainer	1	Solenoid valve	2
Butterfly valve	12	Spring check	3
Gate valve	10	Steam trap	4
Glove valve	1	Swing cheek	2
Pressure reducing	1	Y-strainer	4
เครื่องมือวัด			
RTD	13	Level controls	7
Thermometer	16	Level gauges	3
Diff. Pressure gauge	11	Flow meter	5
Pressure gauge	8		

2) การจัดระบบรายการอะไหล่สำรองประกอบไปด้วย ชื่ออุปกรณ์หลัก โค้ดของอุปกรณ์ สเปคของอุปกรณ์ รุ่นการผลิต และผู้ผลิต ตัวอย่างตารางข้อมูลและรายละเอียดของอุปกรณ์ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างรายการอะไหล่

อุปกรณ์หลัก	โค้ด	สเปค	รุ่น	ผู้ผลิต
SLA Primary panel filter	910X01 -F1A	Material stainless steel Nominal size (in) 24"X24"X2" 15 layers ; 18 Guage	904475	Airsan
SLA Secondary panel filter	910X01 -F1B	Material stainless steel Nominal size (in) 24"X24"X2" 15 layers ; 18 Guage	904475	Airsan
SLA Cooling coil	910X01 -E1A	Header CS ; 5/8" Copper tubes with 0.035 wall ; Casing CS 2-1/2" Flanged CS ; Right-hand Horizontal airflow ;Circuit : Full Fin 3/8" Aluminum ; 12/IN	C-12.0AE 49.9X48.0 -4-1	Aerofin

3) การจัดระบบในการควบคุมอะไหล่ พื้นที่ในการจัดเก็บอะไหล่ อะไหล่ในการเก็บ กำหนดผู้รับผิดชอบ รับ-จ่ายอะไหล่ จัดเก็บ อะไหล่ให้เป็นระเบียบ ดูแลเอกสารรายละเอียดในการรับจ่ายอะไหล่และทำการบันทึกแต่ละสัปดาห์เพื่อพิจารณาสั่งซื้ออะไหล่

4) การจัดระบบบันทึกอะไหล่ มีการบันทึกรายการรับ และรายการจ่ายอะไหล่ทุกครั้ง โดยทำการบันทึกข้อมูลในเอกสารควบคุมการรับจ่ายอะไหล่ ในการจ่ายอะไหล่จะให้ทางผู้ขอเบิกอะไหล่เขียนรายละเอียดลงในเอกสารการเบิกอะไหล่ทุกครั้ง โดยต้องมีการอนุมัติและลงชื่อจากหัว
หน้างาน

5) การจัดปริมาณในการเก็บอะไหล่ เนื่องจากทางหน่วยงานซ่อมบำรุงยังไม่มีการจัดการเก็บอะไหล่สำรอง สำหรับระบบบำบัดอากาศเสียที่กำลังจะติดตั้งเพิ่ม จึงได้ทำการจัดระบบการเก็บอะไหล่สำรองขึ้น โดยมีการสำรองอะไหล่ที่ใช้เปลี่ยนในเหตุการเครื่องจักรชำรุดหรือขัดข้อง

จากอะไหล่สำรองทั้งหมดที่กล่าวมา อุปกรณ์ทุกชนิดจัดเป็นกลุ่มอะไหล่ที่ซ่อมแซมได้ในราคาที่ไม่แพง

3.3 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเป็นแนวทางในการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่ช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร ลดสาเหตุของการชำรุดขัดข้องและทำให้เครื่องจักรมีความพร้อมในการใช้งาน

1) การบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยตนเอง การตรวจสอบและวัดค่าทั่วไปประกอบด้วย

(1) ทำความสะอาดหรือเปลี่ยนกรองอากาศ

(2) การตรวจสอบความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์

(3) การรั่วซึมของของเหลวตามข้อต่อ

(4) หล่อลื่นชิ้นส่วนด้วยจาระบีที่มีโซเดียมหรือลิเธียม ทำความสะอาดและตรวจสอบการสั่นสะเทือน

(5) การขันแน่นของชิ้นส่วนทางกลที่เคลื่อนที่

(6) โอเวอร์ฮอลมอเตอร์

(7) เปลี่ยนถ่าน Carbon

(8) การสอบเทียบ อุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ

2) การวางแผนงานการบารุงรักษาเชิงป้องกัน โดยการรวบรวมรายการอุปกรณ์ ประกอบด้วย ชื่ออุปกรณ์หลัก โค้ดของอุปกรณ์ การบำรังรักษา และระยะเวลาในการตรวจเช็ค โดยแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

อุปกรณ์หลัก	โค้ด	การบารุงรักษา	เวลา
SLA Primary panel filter	910X01-F1A	ทำความสะอาดหรือเปลี่ยนกรองอากาศ	3 เดือน
SLA Secondary panel filter	910X01-F1B	ทำความสะอาดหรือเปลี่ยนกรองอากาศ	3 เดือน
SLA Cooling coil	910X01-E1A	การทำความสะอาดภายนอกและภายในของคอยส์ ล้างออกด้วยการทำความสะอาดที่ไม่กัดกร่อนหรือทำความสะอาดด้วยไอน้ำหรือล้างด้วยน้ำสะอาดและทดสอบการรั่วไหล	1 ปี

3) การจัดทำใบมาตรฐานการบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติและเป็นมาตรฐานเดียวกันในการบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยจัดทำแผนการปฏิบัติงานการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยได้จัดทำ แบบฟอร์มการตรวจเช็คเครื่องจักรแบบรายวัน, รายเดือน และรายปี โดยระบุตำแหน่งที่จะทำการตรวจเช็ค มาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบ วิธีการ พร้อมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้และการแก้ไข เพราะเครื่องจักรมีการทำงานอยู่ตลอดเวลา หรือ 24 ชั่วโมง โดยแบบฟอร์มการตรวจสอบของระบบบำบัดอากาศเสียที่มีการตรวจสอบ รายวัน รายเดือน และรายปีแสดงดังนี้

ลาดับที่	ตาแหน่งที่พบปัญหา	มาตรฐาน	วิธีการ	อุปกรณ์ที่ใช้/การแก้ไข	ใช้เวลา (นาที)	รอบระยะเวลา/วัน						
						จ	อ	พ	พฤ	ศ	ส	อา
1	ตู้ Control	ค่าต่างๆอยู่ในมาตรฐาน	มองด้วยสายตา	แก้ไขทันที	2	●	●	●	●	●	●	●
2	ใต้ท่อ Steaming	ไม่มีน้ำหยด	แก้ไขรอยรั่วและเช็ดทำความสะอาด	เครื่องมือ เศษผ้า	5				●			
3	Blower	ไม่มีฝุ่นผง	เช็ดทำความสะอาด	เศษผ้า	10	●						
4	Pump	ไม่มีฝุ่นผง และคราบจาระบี	เช็ดทำความสะอาด	เศษผ้า	10		●					
5	รางน้ำรอบตัวเครื่อง	น้ำไหลได้สะดวก	ล้างทำความสะอาด	ไม้กวาด สายยางฉีดน้ำ	5						●	
6	ตัวเครื่องจักร	สายไฟอยู่ในระเบียบ	จัดเก็บให้เรียบร้อย	ที่รัดสายไฟ	5							●
7	ตัวเครื่องจักร	ไม่มีสิ่งกีดขวาง	จัดเก็บให้เรียบร้อย	แก้ไขทันที	10					●		

รูปที่ 5 แบบฟอร์มการตรวจสอบแบบรายวัน

ลาดับที่	ตาแหน่งที่พบปัญหา	มาตรฐาน	วิธีการ	อุปกรณ์ที่ใช้/การแก้ไข	ใช้เวลา (นาที)	รอบระยะเวลา/เดือน											
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ตัวเครื่องจักร	สายไฟอยู่ในระเบียบ	จัดเก็บให้เรียบร้อย	ที่รัดสายไฟ	5	●		●		●		●		●		●	
2	Motor	ไม่มีฝุ่นและคราบจาระบี	เช็ดถู	เศษผ้า	10		●		●		●		●		●		●
3	Motor	แรงดันและเท้อน	ตรวจเช็ค	เครื่องมือวัด	5	●			●			●			●		
4	Filter	อากาศไหลได้สะดวก ไม่มีฝุ่นผง	ล้างทำความสะอาด	เครื่องมือ สายยางฉีดน้ำ	10		●			●			●			●	
5	Motor	ความตึงสายพานเหมาะสม	ปรับตั้งความตึง	แก้ไขทันที	5	●		●		●		●		●		●	
6	Blower , Pump	มีสารหล่อลื่นเพียงพอ	เติมจาระบีจนเต็ม	เครื่องมือ จาระบี	5		●			●			●			●	

รูปที่ 6 แบบฟอร์มการตรวจสอบแบบรายเดือน

ลาดับที่	ตาแหน่งที่พบปัญหา	มาตรฐาน	วิธีการ	อุปกรณ์ที่ใช้/การแก้ไข	ใช้เวลา (นาที)	รอบระยะเวลา/ปี			
						1	2	3	4
1	Motor	ไม่ชำรุด	เปลี่ยนสายพาน	เครื่องมือ	10	●		●	
2	Cooling coil	ไม่มีจุดรั่วซึม	ทำความสะอาด	เครื่องมือสายฉีดน้ำ น้ำยาที่ไม่กัดกร่อน	60	●	●	●	●
3	Heater	ไม่มีจุดรั่วซึม	ทำความสะอาด	เครื่องมือสายฉีดน้ำ น้ำยาที่ไม่กัดกร่อน	60	●	●	●	●
4	Condensate tank	ไม่มีจุดรั่วซึม	ทำความสะอาด	สายฉีดน้ำ น้ำยาขจัดคราบ	60	●	●	●	●
5	Adsorber	แผ่นเจาะไม่ผุ	ทำความสะอาด	เครื่องมือ	60	●		●	
6	Condenser	ไม่มีจุดรั่วซึม	ทำความสะอาด	เครื่องมือสายฉีดน้ำ	60	●	●	●	●
7	Vent-Condenser	ไม่มีจุดรั่วซึม	ทำความสะอาด	เครื่องมือสายฉีดน้ำ	60	●	●	●	●
8	Deanter	ไม่มีจุดรั่วซึม	ทำความสะอาด	เครื่องมือสายฉีดน้ำ	60	●	●	●	●
9	Activated Carbon	มีรูพรุนเยอะ	ตรวจเช็ค	เปลี่ยนใหม่	60	●			●
10	วาล์วทุกตัว	ไม่มีจุดรั่วซึม	ทำความสอาด	เครื่องมือและอุปกรณ์	60	●	●	●	●
11	เครื่องมือวัดทุกตัว	ไม่มีจุดรั่วซึม	ทำความสอาด	เครื่องมือและอุปกรณ์	60	●	●	●	●

รูปที่ 7 แบบฟอร์มการตรวจสอบแบบรายปี

4) เนื่องจากการทำวิจัยครั้งนี้มีเวลาที่สั้นผู้วิจัยไม่สามารถทำการทดลองแบบฟอร์มต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นได้ จึงได้นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมรายละเอียดของอุปกรณ์และแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันมานำเสนอและทำการประเมินผลความพึงพอใจโดยผู้ที่เกี่ยวข้องจำนวน 5 ท่าน ตำแหน่ง Continuous improvement และ Maintenance ซึ่งใช้แบบประเมินของลิเคิร์ท (Likert) เป็นมาตรวัดที่ใช้สำหรับให้ผู้แสดงระดับความคิดเห็นใน แบบสอบถามปลายปิด (Close ended question) ที่จะมีตัวเลือกให้ผู้ตอบแบบสอบถามตอบตามระดับความเห็น โดยใช้ระดับการวัดข้อมูลประเภทอันตรภาคชั้น มี 5 ระดับ [7] สอดคล้องกับงานวิจัยของ ฉัตราภรณ์ รัตนกร และคณะ [8] ผลการประเมินความพึงพอใจของรายการอะไหล่สำรองของระบบบำบัดอากาศเสียได้คะแนน

ระดับความพึงพอใจเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 4.2 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความพึงพอใจมาก และความพึงพอใจของรายการการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่สามารถนำไปใช้งาน จากการทำการประเมินผลความพึงพอใจ ได้คะแนนระดับความพึงพอใจเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 4.11 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความพึงพอใจมาก

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและทำการจัดระบบการเก็บอะไหล่สำรองและวางแผนการการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เพื่อลดปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และสามารถเพิ่มค่าความพร้อมการใช้งานของระบบบำบัดอากาศเสียได้ อย่างไรก็ตามผลของการดำเนินงานตามแผนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันนั้นยังเห็นผลยังไม่ชัด เนื่องจากมีระยะเวลาในการทำวิจัยเป็นอุปสรรคภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ ผลการประเมินความพึงพอใจของรายการการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของระบบบำบัดอากาศเสีย ได้คะแนนระดับความพึงพอใจเฉลี่ยเท่ากับ 4.11 อย่างไรก็ตาม จากความสำเร็จการจัดระบบการเก็บอะไหล่สำรองที่พึงเกิดขึ้นจะเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาในการปฏิบัติงานได้ส่วนหนึ่ง ผลการประเมินความพึงพอใจของรายการอะไหล่สำรองของระบบบำบัดอากาศเสีย ได้คะแนนระดับความพึงพอใจเฉลี่ยเท่ากับ 4.2

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ควรมีการการจัดระบบการเก็บอะไหล่และนำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ไปทำการทดลองใช้งานและเก็บข้อมูลปัญหาต่างๆ เพื่อการพัฒนาระบบซ่อมบำรุง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษา และบุคลากรทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Gist ,G.L., and Burg, T.M. 1995. “Trichloroethylene–a review of the literature from a health effects perspective”. Toxicol Ind Health., 11: 253-307.

[2] บริษัท เจนคอน เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด, ระบบบำบัดอากาศเสีย (Activated Carbon System), ข้อมูลจาก https://www.gencon.co.th/ products- activated- carbon. php (วันที่สืบค้นข้อมูล 12 กุมภาพันธ์ 2565)

[3] วิศรุต สุวรรณไตรย์ และนุชสรา เกรียงกรกฎ. 2557. “การพัฒนาระบบการซ่อมบำรุงของโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ในจังหวัดฉะเชิงเทรา”. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 7, ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม.

[4] ปรินทร์ แซ่เบ๊, วิรัตน์ หมัดละ, อารี จันทรักษ์, ชัยพล ผ่องพลีศาล และ สมภพ ทิมดิษฐ์. 2561. “การวางแผนบำรุงรักษาเครื่องจักรกลแบบอัตโนมัติ (เครื่อง CNC) กรณีศึกษา: โรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล”. การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2, 16 ธันวาคม 2561, ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

[5] พัฒนพงศ์ วิญญาวงศ์ และอนิรุท ไชยจารุวณิช. 2562. “การวางแผนการบารุงรักษารถบรรทุกแร่ ของ บริษัทโลตัสฮอล วิศวกรรมเหมืองแร่และการก่อสร้าง จากัด”. บทคัดย่อแบบขยาย (Extended Abstract) งานสัมมนาทางวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการอุตสาหกรรม ครั้งที่ 3 ปี.

[6] ชนารดี เวชเพิ่ม, ดวงกมล พาภักดี และ สมศักดิ์ มีนคร. 2563. “การวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องฉีดพลาสติกเชิงป้องกัน”. การประชุมวิชาการสำหรับนักศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 3, 1 พฤษภาคม 2563 ณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

[7] ปรารถนา มินเสน. 2561, “หลักการออกแบบสอบถาม (แบบสำรวจความต้องการของผู้รับบริการ และแบบประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการ)”, ข้อมูลจาก https: / / digital. cmru. ac. th/core/File/1290.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 กุมภาพันธ์ 2565)

[8] ฉัตราภรณ์ รัตนกร, วรรณรัตน์ อยู่เป้า และอธิตยา กันกา. 2563. “ลดการ Breakdown ของเครื่องจักร์โดยการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษาบริษัท คีนิค-ไทย จำกัด”. ปริญญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ประเภทเส้นด้ายไนลอนฟิลาเม้นท์

Loss Reduction in The Synthetic Nylon Filament Production Process

ชนินาท แสงสิน[1] สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: Suphattra.sr@spu.ac.th*

Chaninart Saengsin[1], Suphattra Sriyanalugsana[1*]
[1]Department of Industrial Engineering, School of Engineering, Sripatum University
E-mail: Suphattra.sr@spu.ac.th*

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์เส้นด้ายไนลอนของบริษัทกรณีศึกษามีการสูญเสียในกระบวนการผลิต เช่น ผลิตของเสีย จำนวน 8.33% ของยอดการผลิต บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยเน้นใน 4 ด้าน คือ ด้านคุณภาพ (Quality) ด้านต้นทุน (Cost) ด้านการส่งมอบ (Delivery) และด้านความปลอดภัย (Safety) หรือ QCDS ขั้นตอนในการศึกษาประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ ศึกษากระบวนการผลิต เก็บข้อมูลการสูญเสียที่ส่งผลต่อ QCDS จัดลำดับความสำคัญของปัญหาเพื่อเลือกประเด็นปรับปรุง จากนั้นทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และปรับปรุงกระบวนการทำงาน พบว่าปัญหาการสูญเสียเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำความสะอาดผิวหน้า (Spinneret Coating) ขั้นตอนการเริ่มเดินเครื่องจักร (Start) ขั้นตอนการตัดด้าย และขั้นตอนบรรจุด้าย ในการแก้ไขปัญหาประยุกต์ใช้หลักการ ECRS จัดทำระเบียบปฏิบัติงาน การปรับสภาพแวดล้อมในการทำงานเพื่อความปลอดภัย ผลการปรับปรุงการสูญเสียลดลง 3.99% สามารถประหยัดจำนวนเงินสูญเสียได้ 39,293 บาทต่อเดือนหรือคิดเป็น 471,518 บาทต่อปี สามารถเพิ่มผลผลิต 57 กิโลกรัมต่อเดือน มีโอกาสขายเพิ่มขึ้นคิดเป็นเงิน 6,245 บาทต่อเดือน คิดเป็น 74,940 บาทต่อปี และความเสี่ยงที่พนักงานจะได้รับอันตรายจากการปฏิบัติงานลดลง

คาสาคัญ: การลดการสูญเสีย, องค์ประกอบในการเพิ่มผลผลิต, QCDS, ECRS

Abstract

The Nylon Yarn Polyester Production Process in the case study had production losses such as defective waste for around 8.33% of the total production. This article aims to reduce the losses in the production process, and is focused on four areas: quality, cost, delivery and safety (QCDS). The study involves five steps which start with a study of the current production process. Loss data that affected QCDS was then collected, followed by prioritizing the high impact loss issues to prepare the improvements. The cause of the problem was then identified and work improvements were performed. The research revealed that the key loss issues occurred in many areas as follows: a loss in the Spinneret Coating process (cleaning the surface), a loss when starting the machine, a loss in the thread cutting process and a loss in the thread packing process. A solution can be found by applying ECRS principles to revise the standard work operations and improve the work environment safety. As a result, the loss was reduced by 3.99% which is equal to 39,293 baht per month or equivalent to 471,518 baht per year. The improvement also increased productivity by 57 kg per month which is worth 6,245 baht per month, or 74,940 baht per year. Lastly, the accidental risk to employees' work was also reduced.

Keywords: Loss Reduction, Productivity Improvement, QCDS, ECRS

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ของไทยเติบโตได้ดีขึ้นกว่าในปีที่ผ่านมา ขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.1 (%yoy) [1] เนื่องจากเส้นใยสังเคราะห์สามารถนำไปเป็นปัจจัยในการผลิตของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้หลายประเภท ส่งผลให้ทางอุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์มีปริมาณความต้องการสูง ในส่วนของเส้นใยสังเคราะห์ไนลอนมีคุณสมบัติเด่น เช่น มีความต้านทานแรงดึงที่ดี มีความต้านทานการกัดกร่อนและความทนทานต่อสารเคมี รวมทั้งมีคุณสมบัติที่สามารถพัฒนาได้ดี ไนลอนสามารถนำไปใช้กับเครื่องนุ่งห่ม ในขณะที่การใช้งานทางอุตสาหกรรมเกี่ยวข้องกับ แหจับปลา เชือก และถุงลมนิรภัย [2]

บริษัทกรณีศึกษาผลิตเส้นใยสังเคราะห์ 2 ชนิด คือ เส้นด้ายไนลอนฟิลาเม้นท์ (Nylon Filament) กับเส้นด้ายโพลีเอสเตอร์ฟิลาเม้นท์ (Polyester Filament) และผลิตเม็ดพลาสติกเพื่ออุตสาหกรรม ปัจจุบันบริษัทประสบปัญหาเกี่ยวกับการเกิดการสูญเสียในกระบวนการผลิตเส้นด้ายไนลอนฟิลาเม้นท์ เช่น เกิดของเสีย เป็นจำนวน 8.33% ของยอดการผลิต ซึ่งส่งผลไปถึงการสูญเสียในด้านอื่น ๆ เช่น ด้านต้นทุน (Cost) ด้านการส่งมอบ (Delivery) โดยบริษัทตั้งเป้าหมายไว้ว่าจะทำให้การสูญเสียดังกล่าวลดลงประมาณ 0.5%

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสูญเสียทางด้าน QCDS โดยศึกษาสิ่งที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น คำนึงถึงผลผลิตให้ได้คุณภาพมาตรฐานที่กำหนด ใช้ต้นทุนให้คุ้มค่ามากที่สุด ผลิตให้ทันและเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ขณะที่มีความปลอดภัยของพนักงานควบคู่ไปด้วย ตลอดจนนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อให้การสูญเสียในด้านต่าง ๆ ลดลงและเกิดประโยชน์สูงสุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ประกอบในการเพิ่มผลผลิต

องค์ประกอบในการเพิ่มผลผลิต ประกอบด้วย 7 ประการ คือ คุณภาพ (Quality) ต้นทุน (Cost) การส่งมอบ (Delivery) ความปลอดภัย (Safety) ขวัญและกำลังใจ (Morale) สิ่งแวดล้อม (Environment) และจรรยาบรรณ (Ethics) หรือ QCDSMEE งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้หลักการดังกล่าว โดยเลือกมาประยุกต์ใช้ 4 ประการในมุมมองการตอบสนองความต้องการของลูกค้า คือ QCD และเพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายของบริษัทที่คำนึงถึงความปลอดภัยของพนักงานเป็นหลัก จึงเลือก S เพิ่มหนึ่งตัว รวมเป็น QCDS

2.2 เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ (7 QC Tools)

เครื่องมือด้านคุณภาพ 7 ประการ (7 QC Tools) ประกอบด้วย ใบตรวจสอบ แผนภูมิก้างปลา แผนผังพาเรโต แผนผังฮีสโตแกรม แผนภูมิควบคุม แผนผังการกระจาย และกราฟ ถูกเสนอครั้งแรกโดย Ishikawa และ McConnell [3-4] ใช้เพื่อมุ่งเน้นให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง [5] ทำให้เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย [6-7] สามารถแก้ปัญหาได้สูงถึง 95% [8] งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ใบตรวจสอบ แผนภูมิก้างปลา แผนผังพาเรโต และกราฟ

2.3 การปรับปรุงการทำงาน (Work Improvement)

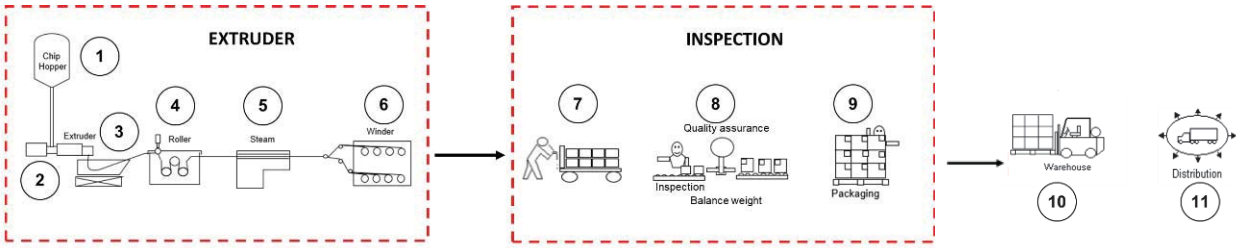
การปรับปรุงการทำงาน เป็นการทบทวนการทำงานในปัจจุบัน เพื่อปรับปรุงให้การปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น [9] ในการปรับปรุงการทำงานงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) และหลักการ ECRS คือ Eliminate (การกำจัด) Combine (การรวม) Rearrange (การจัดเรียงใหม่) และ Simplify (การทำให้ง่ายขึ้น) ECRS เป็นเครื่องมือที่มีหลักคิดง่าย ๆ แต่สามารถใช้ได้จริงสามารถประยุกต์ใช้หลักการนี้เพื่อการปรับปรุงกระบวน เพิ่มผลผลิต ลดการสูญเสีย ลดต้นทุน

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย 5 ขั้นตอนโดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.1 การศึกษากระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์

การศึกษากระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ไนลอน พบว่าสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ การผลิตเส้นด้ายเข้าหลอด (Extruder) การตรวจสอบคุณภาพ (Inspection) และการขนส่ง ดังรูปที่ 1 โดยกระบวนการที่มีปัญหาทางด้าน QCDS จะอยู่ในส่วนที่ 1 และ 2 โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์

ส่วนที่ 1 การผลิตเส้นด้ายเข้าหลอด เริ่มจากการรับเม็ดพลาสติก (Chip) ส่งเข้าสู่กระบวนการหลอม (Extruder) เพื่อดันเม็ดพลาสติกให้ออกมาเป็นเส้นด้ายเข้าสู่อ่างน้ำ (Quench Bath) ผ่านกระบวนการดึงยืดเส้นด้าย (Roller) และทำการกรอเส้นด้ายเข้าหลอด (Bobbin) ซึ่งในส่วนนี้เกิดปัญหาด้านการเริ่มเดินเครื่องจักร (Start) ด้านการทำความสะอาดผิดหน้า (Spinneret Coating) ด้านการตัดด้าย ด้านการกรอเส้นด้ายเข้าหลอด (Bobbin) และเกิดอันตรายตรงพื้นที่การเติมเม็ดพลาสติก (Chip)

ส่วนที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพเส้นด้ายและบรรจุ เริ่มจากพนักงานรับเส้นดายที่กรอเข้าหลอดเรียบร้อยแล้ว มาตรวจสอบเชิงคุณภาพ เช่น สี รูปแบบการเรียงตัวเข้าแกนของเส้นด้ายและเชิงปริมาณโดยดูน้ำหนักหากผ่านเกณฑ์ทำการบรรจุลงกล่องหรือพาเลท ซึ่งในส่วนนี้เกิดปัญหา คือ ด้ายบางส่วนไม่ผ่านเกณฑ์และเกิดอันตรายจากการนำด้ายออกจากเครื่องลอกด้ายโดยใช้คัตเตอร์

ส่วนที่ 3 การขนส่ง ขั้นตอนนี้เป็นการนำผลิตภัณฑ์เก็บเข้าคลังสินค้าเพื่อเตรียมส่งมอบให้ลูกค้า

3.2 การเก็บข้อมูลการสูญเสียที่ส่งผลต่อ QCDS

การเก็บข้อมูลการสูญเสียในกระบวนการผลิตทำทั้งเชิงคุณภาพโดยการสัมภาษณ์ สังเกตหน้างาน และเชิงปริมาณโดยเก็บข้อมูลสถิติเชิงตัวเลขที่มีผลกระทบต่อ QCDS การเก็บข้อมูลได้กำหนดเกณฑ์และตัวชี้วัดดังนี้ และสามารถสรุปประเด็นปัญหาที่เกิดการสูญเสียดังตารางที่ 1

3.2.1ด้านคุณภาพ (Quality) คือ เก็บข้อมูลของเสียที่ทำให้ผลผลิตไม่ได้มาตรฐานที่กำหนด (Specification) โดยมีตัวชี้วัดเป็น ปริมาณของเสียใช้หน่วยวัดเป็น กิโลกรัม

3.2.2 ด้านต้นทุน (Cost) คือ เก็บข้อมูลการใช้ต้นทุนที่ไม่คุ้มค่า เสียต้นทุนแล้วสูญเปล่า โดยมีตัวชี้วัดเป็นต้นทุนที่เกิดการสูญเสีย หน่วยวัดเป็น บาท

3.2.3 ด้านการส่งมอบ (Delivery) คือ เก็บข้อมูลการสูญเสียที่จะส่งผลเสียต่อการส่งมอบ โดยมีตัวชี้วัดเป็น อัตราความสามารถในการจัดส่ง คือ ครั้งที่ส่งครบและครั้งที่ส่งตรงเวลา (Delivery in Full and On-Time; DIFOT Rate)

3.2.4 ด้านความปลอดภัย (Safety) คือ เก็บข้อมูลที่จะส่งผลเสียต่อสภาพการทำงาน ทำให้เกิดอันตรายจากการทำงาน โดยมีตัวชี้วัดเป็นจำนวนครั้งที่อุบัติเหตุเกิดขึ้น

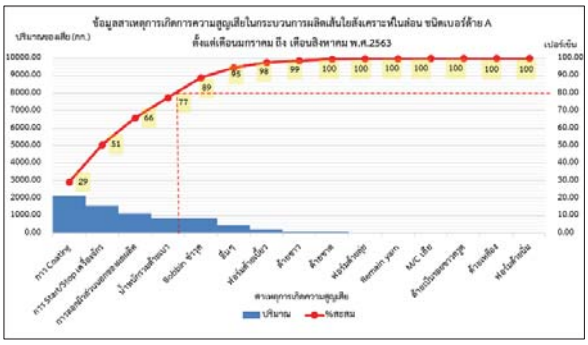
ตารางที่ 1 ข้อมูลการสูญเสียในกระบวนการผลิตที่จะมีผลกระทบต่อ QCDS

QCDS	ปัญหา การสูญเสียที่เกิดขึ้น	
Q (Quality)	การสูญเสียเนื่องจากการผลิต ตัวอย่างเช่น ของเสีย (Defect) หรืออาการที่ให้เกิดของเสีย	
	- การสูญเสียจากการเริ่มและหยุดเครื่องจักร (Start/Stop) เครื่องจักร	
	- การสูญเสียจากการทำความสะอาดผิวหน้า Spinneret (Coating)	- การสูญเสียจากด้ายขาว
	- การสูญเสียจากด้ายขาด	- การสูญเสียจากด้ายเป็นรอยขาวครูด
	- การสูญเสียจากการลอกผิวส่วนนอกของผลผลิต	- การสูญเสียจากเครื่องจักรเสีย
	- การสูญเสียจากน้ำหนักรวมด้ายเบา	- การสูญเสียจากการกรอด้าย
	- การสูญเสียจากหลอดบรรจุด้าย (Bobbin) ชำรุด	- การสูญเสียจากฟอร์มด้ายนิ่ม
	- การสูญเสียจากฟอร์มม้วนด้ายเบี้ยว	- การสูญเสียจากด้ายเหลือง
	- การสูญเสียจากฟอร์มม้วนด้ายลุ่ย	- อื่น ๆ (จุดขาว จุดดำ สกปรก ฯลฯ)
C (Cost)	การสูญเสียเนื่องจากหลอดบรรจุด้าย (Bobbin) ชำรุด	
D (Delivery)	การสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง (Transpiration) รถเข็นบรรจุภัณฑ์ (Forklift) ตักงานขึ้นรถไม่ระวัง ทำให้กล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์ขาด การสูญเสียเนื่องจากการรอคอย (Delay) พนักงานตรวจสอบ (Inspection) รอใบบาร์โค้ด เพื่อยิงบาร์โค้ดที่ใช้ในการบรรจุด้าย พนักงานตรวจสอบ (Inspection) ยิงบาร์โค้ดไม่ติด ตัวปืนยิงอ่านช้า	
S (Safety)	การสูญเสียเนื่องจากการได้รับบาดเจ็บในขณะปฏิบัติงาน	

3.3 การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและเลือกประเด็นเพื่อปรับปรุง

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลการสูญเสียที่เกิดขึ้นพบว่าเบอร์ด้าย A เป็นผลิตภัณฑ์หลักมีการผลิตต่อเนื่อง รวมทั้งมีการสูญเสียสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกลดการสูญเสียที่เบอร์ด้าย A เพื่อเป็นตัวแทนในการวิจัย

3.3.1 ด้านคุณภาพ (Quality) หลังการเก็บข้อมูลการสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ใช้แผนผังพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตแสดงประเภทและปริมาณการสูญเสียในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ไนลอนชนิดเบอร์ด้าย A

ผลลัพธ์จากแผนผังพาเรโต ตามหลักการ 80 : 20 พบว่ามีปัญหาที่ควรแก้ไขปรับปรุงก่อน คือ การสูญเสียจากการทำความสะอาดผิวหน้า Spinneret (Coating) การสูญเสียจากการเริ่มและหยุดเครื่องจักร (Start/Stop เครื่องจักร) การสูญเสียจากการลอกผิวส่วนนอกของผลผลิต และการสูญเสียจากน้ำหนักรวมด้ายเบา ตามลำดับ

3.3.2 ด้านต้นทุน (Cost) ปัจจุบันแผนกเสียจำนวนเงินในด้านหลอดที่ใช้บรรจุด้าย (Bobbin) เป็นจำนวนมากทั้งสูญเสียในเรื่องของของเสียและสูญเสียในเรื่อง Bobbin ที่เกิดการชำรุด โดยที่ค่าเสียหาย คือ ราคา Bobbin ต่อหลอด แสดงในหัวข้อที่ 4.2 และสาเหตุนี้เป็นลำดับที่ 5 จากการจัดลำดับในแผนผังพาเรโตของด้านคุณภาพ ในด้านต้นทุนจึงเลือกลดการสูญเสียในเรื่องหลอดบรรจุด้าย (Bobbin) ชำรุด เพื่อให้เกิดการใช้ต้นทุนให้คุ้มค่ามากที่สุด

3.3.3 ด้านการส่งมอบ (Delivery) จากการเก็บข้อมูลข้างต้น (ดังตารางที่ 1) เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นบางครั้งไม่แสดงปริมาณที่ชัดเจน และจากการเก็บข้อมูลอัตราความสามารถในการส่งมอบสินค้า (DIFOT Rate) ก่อนปรับปรุงเดือนมกราคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2563 พบว่าไม่เกิดปัญหาสามารถส่งได้ครบและทันในเวลาที่กำหนดหรือคิดเป็น DIFOT เฉลี่ย 100% โดยคิดจากมีคำสั่งซื้อสั่งทั้งหมด 72 คำสั่งซื้อ ส่งทันทั้งหมด 72 คำสั่งซื้อ และส่งครบทั้งหมด 72 คำสั่งซื้อ

3.3.4 ด้านความปลอดภัย (Safety) จากรายงานอุบัติเหตุพบว่าเกิดขึ้น 2 ครั้ง คือ อุบัติเหตุจากการยกถังบรรจุเม็ดพลาสติก (Wagon) และอุบัติเหตุจากการถูกสิ่งมีคมบาด ดังนั้น 2 เหตุการณ์ดังกล่าวอาจจะมีโอกาสในการเกิดความเสี่ยงในการทำงาน จึงใช้ข้อมูลนี้เป็นตัวตั้งต้นเพื่อช่วยในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ความเสี่ยง โดยลงพื้นที่ปฏิบัติงาน เพื่อศึกษาวิธีการปฏิบัติงานของพนักงานตรงกับหลัก Safety First หรือมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) หรือไม่ วิธีการปฏิบัติงานที่จะส่งผลให้เกิดความเสี่ยงมีอะไรบ้าง โดยเลือกแบ่งเก็บเป็น 2 ส่วน คือ

(1) การทำงานในส่วนของการผลิตเส้นด้ายเข้าหลอด คือ เกิดอันตรายจากพื้นที่การยกถังบรรจุเม็ดพลาสติก (Wagon) เนื่องจากต้องยกถังเพื่อเติมเม็ดพลาสติก (Chip) ลงถังเม็ดพลาสติด (Hopper) ยกขึ้นไปบนชั้น 2 ดังรูป 4 (a)

(2) การทำงานในส่วนงานตรวจสอบและบรรจุ คือ เกิดอันตรายจากกรีดด้ายโดยใช้สิ่งของมีคม คือ คัตเตอร์ เนื่องจากต้องกรีดด้ายออกจากเครื่องลอกด้าย (Rewind) จากกระบวนการลอกผิวนอกของผลผลิต ดังรูปที่ 5 (a)

3.4 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาในข้อ 3.3 ถูกนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แผนภูมิก้างปลา ในการวิเคราะห์หาสาเหตุจะเป็นการสัมภาษณ์และการระดมสมอง (Brainstorming) ระหว่างผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและผู้ทำวิจัย จากปัญหาการสูญเสียจากกระบวนการทำความสะอาดผิวหน้า Spinneret (Coating) ขั้นตอนการเริ่มเดินเครื่องจักร (Start) จากการวิเคราะห์สาเหตุ พบว่าเกิดกระบวนการทำงานหลายขั้นตอน และใช้เวลานาน จึงต้องใช้แผนภูมิกระบวนการไหลช่วยวิเคราะห์กระบวนการต่อเพื่อหากระบวนการทำงานที่ไม่จำเป็น และจากการวิเคราะห์สาเหตุการสูญเสียจากการลอกผิวส่วนนอกของผลผลิต และน้ำหนักรวมด้ายเบา เกิดขึ้นจากขั้นตอนการตัดด้าย ส่วนปัญหาการสูญเสียจากหลอดบรรจุด้าย (Bobbin) ชำรุด พบว่าเกิดขึ้นที่ขั้นตอนบรรจุด้าย

3.5 การเสนอวิธีการปรับปรุง

ในขั้นตอนนี้เป็นการเสนอวิธีการปรับปรุง โดยมีรายละเอียดดังนี้และผลดำเนินงานหลังปรับปรุงแสดงดังหัวข้อที่ 4

3.5.1 ศึกษากระบวนการทำงานโดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหลแล้วลดเวลา ระยะทางและขั้นตอนที่ไม่จำเป็น

3.5.2 นำทฤษฎี ECRS มาใช้ปรับปรุงกระบวนการ

3.5.3 จัดทำวิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction) ให้เหมาะสมและถูกต้องกับลักษณะงานเพื่อบังคับใช้เป็นมาตรฐาน

3.5.4 จัดสถานที่ปฏิบัติงานให้มีความปลอดภัยไม่เป็นอันตรายกับพนักงาน

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ด้านคุณภาพ (Quality)

4.1.1 ปัญหาการสูญเสียเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำความสะอาดผิวหน้า (Spinneret Coating) จากการศึกษากระบวนการ โดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหลและปรับปรุงกระบวนการ โดยกำจัดขั้นตอน (Eliminate) ที่ไม่จำเป็นและปรับการทำงานให้ง่ายขึ้น (Simplify) คือ ลดขั้นตอน ลดเวลาและระยะทาง

4.1.2 ปัญหาการสูญเสียจากการเริ่มเดินเครื่องจักร (Start เครื่องจักร) จากการศึกษากระบวนการ โดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหลและปรับปรุงกระบวนการ โดยกำจัดขั้นตอน (Eliminate) ที่ไม่จำเป็นและปรับการทำงานให้ง่ายขึ้น (Simplify) คือ ลดขั้นตอน ลดเวลาและระยะทาง

สำหรับขั้นตอนการทำงานที่ทำการปรับปรุงของปัญหาการสูญเสียเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำความสะอาดผิวหน้า (Spinneret Coating) ในหัวข้อ 4.1.1 และปัญหาการสูญเสียจากการเริ่มเดินเครื่องจักรในหัวข้อ 4.1.2 ได้มีการดำเนินการดังรายละเอียดต่อไปนี้

- การเตรียมความพร้อมก่อนปฏิบัติงาน (สวมถุงมือ แว่นตา)

  วิธีการปรับปรุง จัดให้พนักงานสวมอุปกรณ์ป้องกันก่อนปฏิบัติงาน
- การเข็นรถอุปกรณ์ในการทำงานออกไปเก็บ

  วิธีการปรับปรุง พนักงานสามารถเข็นไปจอดไว้บริเวณข้างไลน์การผลิต
- การเดินไปวัดขนาดเส้นด้าย (วัด Diameter)

  วิธีการปรับปรุง ย้ายเครื่องวัดขนาดมาวางที่โต๊ะที่อยู่ใกล้ไลน์การผลิต
- การเดินกลับไปที่จุดกรอด้าย (Winder)

  วิธีการปรับปรุง พนักงานสามารถหันกลับไปส่งสัญญาณบอกขนาดของเส้นด้าย ให้พนักงานอีกคนทราบ โดยไม่ต้องเดินกลับ
- รอพนักงานกะตัดด้ายเข้าหลอด

  วิธีการปรับปรุง เมื่อเสร็จขั้นตอนก่อนหน้า ให้พนักงานตัดเข้าหลอดทันที

หลังจากการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานดังกล่าวทำให้การสูญเสียของปัญหาการสูญเสียเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำความสะอาดผิวหน้า (Spinneret Coating) ในหัวข้อ 4.1.1 และปัญหาการสูญเสียจากการเริ่มเดินเครื่องจักรในหัวข้อ 4.1.2 ลดลง ดังรูปที่ 3

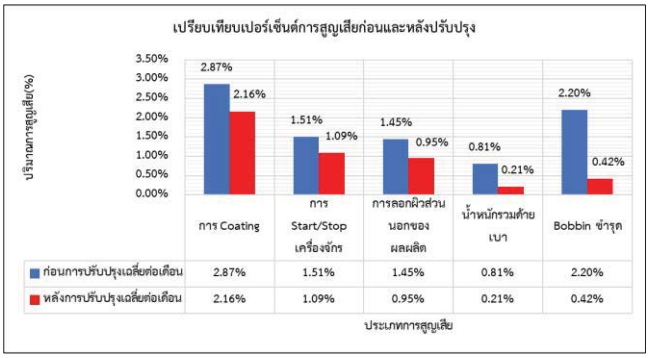
4.1.3 ปัญหาการสูญเสียจากการลอกผิวส่วนนอกของผลผลิต

4.1.4 ปัญหาการสูญเสียจากน้ำหนักรวมด้ายเบา

สำหรับการปรับปรุงปัญหาการสูญเสียจากการลอกผิวส่วนนอกของผลผลิตในหัวข้อ 4.1.3 และปัญหาการสูญเสียจากน้ำหนักรวมด้ายเบา 4.1.4 ทำโดยการจัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ในขั้นตอนการตัดด้ายและติดป้ายที่เครื่องจักรเพื่อย้ำเตือนพนักงานให้ปฏิบัติตาม ทำให้การสูญเสียของทั้ง 2 ปัญหาลดลง ดังรูปที่ 3

4.2 ด้านต้นทุน (Cost)

จากลดปริมาณการสูญเสียในด้านคุณภาพ(Quality) สามารถลดจำนวนเงินสูญเสียได้ 10,349 บาทต่อเดือน จากนั้นทำการลดการสูญเสียในเรื่องหลอดบรรจุด้าย (Bobbin) ชำรุดเพิ่ม โดยทำการปรับปรุงกระบวนการบรรจุด้ายเข้าสู่หลอด คือ (1) ปรับความตึงของเส้นด้ายในช่วงที่เส้นด้ายกำลังกรอเข้าสู่หลอด (2) จัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ในการคัดเลือกหลอดบรรจุด้าย รวมถึงการบันทึกจำนวนครั้งที่ใช้หลอดบรรจุด้าย หลังจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดการสูญเสียได้ดังรูปที่ 3 สามารถลดจำนวนเงินสูญเสียจากของเสียได้ 16,817 บาทต่อเดือนและลดจำนวนหลอดบรรจุด้ายที่ชำรุดได้ 74 หลอดต่อเดือน คิดเป็นเงินลดได้จากการสูญเสียหลอดบรรจุด้าย 12,128 บาทต่อเดือน รวมเป็นลดเงินสูญเสียเรื่องหลอดบรรจุด้าย (Bobbin) ชำรุดได้ 28,944 บาทต่อเดือน ดังนั้น สามารถลดจำนวนเงินสูญเสียได้ 39,293 บาทต่อเดือน



รูปที่ 3 แผนภูมิเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์
การสูญเสียก่อนและหลังการปรับปรุง

4.3 ด้านการส่งมอบ (Delivery)

เนื่องจากค่า DIFOT เท่ากับ 100% สะท้อนให้เห็นว่าบริษัทไม่มีปัญหาด้านการส่งมอบ โครงงานนี้จึงไม่ได้ทำการปรับปรุงในด้านนี้ แต่อย่างไรก็ตามจากการลดปริมาณการสูญเสียในด้านคุณภาพและด้านต้นทุน ส่งผลให้ด้านการส่งมอบ มีผลดีคือมีผลผลิตที่พร้อมขายมากขึ้น มีโอกาสในการขายเพิ่มขึ้น โดยคิดจากค่า %Yield เฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุง จากเดิม 92.12 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้น 92.82 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นเพิ่มขึ้น 0.70 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นมีผลผลิตพร้อมขายเพิ่มขึ้นคิดเป็นเพิ่มขึ้นหลังปรับปรุง 57 กิโลกรัมต่อเดือน

4.4 ด้านความปลอดภัย (Safety)

จากการลงพื้นที่ปฏิบัติงาน ตรวจสอบวิธีการปฏิบัติงาน พบว่ามีความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุขึ้นและจากผลการปรับปรุงโดยการจัดสภาพแวดล้อมของสถานที่ปฏิบัติงานจัดหาอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับงาน ทำให้สามารถลดความเสี่ยงลงได้และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงาน หรือแผนกอื่น ๆ ได้ โดยรายละเอียดการปรับปรุงของทั้ง 2 ปัญหามีดังนี้

4.4.1 อันตรายจากพื้นที่การยกถังบรรจุเม็ดพลาสติก ผลจากการปรับปรุงโดยการจัดหาราวกั้นที่สามารถกั้นได้ครอบคลุมและทำป้ายห้ามผ่าน ทำให้ไม่สามารถเดินผ่านได้และทราบได้ว่ากำลังมีการเติมเม็ดพลาสติกอยู่ ดังรูปที่ 4 (b)



รูปที่ 4 (a) รูปก่อน , (b) รูปหลังการปรับปรุง
การวางแนวกั้นและติดป้ายห้าม

4.4.2 อันตรายจากการกรีดด้ายโดยใช้คัตเตอร์ ปรับปรุงโดยออกแบบและเปลี่ยนวงล้อของเครื่องลอกด้ายให้เป็นแบบหุบเข้า-ออกได้ เพื่อให้สามารถถอดด้ายออกได้ง่ายไม่ต้องใช้คัตเตอร์กรีดเหมือนวงล้ออันก่อนการปรับปรุง ดังรูปที่ 5 (b)



รูปที่ 5 (a) รูปก่อน , (b) รูปหลังการปรับปรุง
ในการนำด้ายออกจากวงล้อของเครื่องลอกด้าย

5. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ไนลอนฟิลาเม้นท์ โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการผลิต และนำข้อมูลการสูญเสียที่จะส่งผลกระทบถึง QCDS มาวิเคราะห์หาสาเหตุและปรับปรุงปัญหาเพื่อให้การสูญเสียลดลง การสูญเสียที่เกิดขึ้นในด้านคุณภาพและด้านต้นทุน สามารถลดปริมาณการสูญเสียได้ จากเดิม 8.83 เปอร์เซ็นต์ต่อเดือน เหลือ 4.84 เปอร์เซ็นต์ต่อเดือน ลดลง 3.99 เปอร์เซ็นต์ต่อเดือน และสามารถลดจำนวนเงินสูญเสียได้จากการลดการสูญเสียที่เกิดขึ้น จากเดิม 130,435 บาทต่อเดือน เหลือ 91,142 บาทต่อเดือน ลดได้ 39,293 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็น 471,518 บาทต่อปี ด้านการส่งมอบ มีผลผลิตพร้อมขายเพิ่มขึ้นคิดเป็นเพิ่มขึ้นหลังปรับปรุง 57 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็นได้รายรับจากผลผลิตที่เพิ่มขึ้น 6,246 บาทต่อเดือนหรือคิดเป็น 74,952 บาทต่อปี และจากการปรับปรุงในด้านของความปลอดภัย ทำให้ความเสี่ยงหรือโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุขึ้นลดลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้การสนับสนุน และขอขอบคุณ ผศ.ดร. สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ และช่วยปรับแก้ไขจนกระทั่งบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, สถานการณ์อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทย เดือนกุมภาพันธ์ 2563, ข้อมูลจาก https://www.thaitextile.org/th/insign/detail.1713.1.0.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 มีนาคม 2565)

[2] บริษัท ไทยโทเรซินเทติคส์ จำกัด, เส้นด้ายไนลอนฟิลาเม้นท์, ข้อมูลจาก https://www.toray.co.th/tts/business/nylonfila.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 มีนาคม 2565)

[3] K. Ishikawa. What is Total Quality Control? The Japanese Way, Prentice-Hall, 1985.

[4] J. McConnel. The Seven Tools of TQC, The Delaware Group. 1989.

[5] สุพัฒตรา เกษราพงศ์. 2552. “การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตยาน้ำโดยการผสมผสานเครื่องมือพื้นฐานทางด้านคุณภาพเทคนิคกระบวนการจัดลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ และเทคนิคการปรับปรุงกระบวนการ.” ศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 1 ฉบับที่ 1: 36-46.

[6] D. Pavletic, M. Sokovic, G. Paliska. 2008. “Practical Application of Quality Tools”. International Journal for Quality Research, Vol. 2 (3): 199-205.

[7] B. Neyestani. “Seven Basic Tools of Quality Control: The Appropriate Techniques for Solving Quality Problems in the Organizations” . Online document https://doi.org/10.5281/zenodo.400832 on Mar 30, 2022

[8] Z. He, G. Staples, M. Ross, I. Court. 1996. “Fourteen Japanese Quality Tools in Software Process Improvement”. The TQM Magazine, Vol. 8 (4): 40-44.

[9] B. Ralph M. Motion and Time Study: Design and Measurement of Work, 7th ed., John Wiley and Sons Inc. 1980.

การศึกษาความพึงพอใจที่มีต่ออาหารธรรมดาของโรงพยาบาลตัวอย่าง

A Study of Regular Food Satisfaction in Sample Hospital

ดอม ลิ้มอุดมพร[1*] จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์[1] ประจวบ กล่อมจิตร[1] สิทธิชัย แซ่เหล่ม[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: limudomporn_d@silpakorn.edu[1*]

Dom Limudomporn[1*] Chanpen Anurattananon[1] Prachuab Klomjit[1] Sittichai Saelem[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: limudomporn_d@silpakorn.edu[1*]

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความพึงพอใจต่อคุณภาพของอาหารในโรงพยาบาลตัวอย่าง เพื่อให้เกิดการพัฒนาทางด้านอาหารของโรงพยาบาลตัวอย่างและให้ผู้ป่วยสามารถรับประทานอาหารได้มากขึ้น โดยมีรายการอาหารทั้งหมด 4 ชนิด คือ แกงเลียง ไข่ลูกเขย ต้มแซ่บซี่โครงหมู และผัดคะน้าหมูน้ำมันหอย โดยจัดทำแบบสอบถามและใช้การประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวัดสเกลแบบฮีโดนิกและการวัดสเกลความพอดีเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวัดสเกลแบบฮีโดนิก พบว่า ไข่ลูกเขยได้คะแนนสูงที่สุด ยกเว้นเพียงแค่ด้านกลิ่นที่ต้มแซ่บซี่โครงหมูจะได้คะแนนมากกว่า ในส่วนของผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวัดสเกลความพอดี พบว่า แกงเลียง ควรปรับปรุงลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นให้น้อยลง ส่วนต้มแซ่บซี่โครงหมู ควรปรับปรุงด้านลักษณะปรากฏให้น้อยลง และผัดผักคะน้าหมูน้ำมันหอย ควรปรับปรุงกลิ่นให้น้อยลง และปรับปรุงรสชาติให้เพิ่มขึ้น

คาสาคัญ: อาหารธรรมดา, สเกลแบบฮีโดนิก, สเกลวัดความพอดี

Abstract

The objectives of this research are studying sample hospital food satisfaction for sample hospital food development and increase patient appetites. There are 4 regular foods: Thai Spicy Mixed Vegetable Soup with Prawns, Fried Boiled Egg with Tamarind Sauce, Spicy Pork Rib Soup and Stir-Fried Kale with Pork in Oyster Sauce. By produced a questionnaire form, used Hedonic scale and Just about Right (JAR) scale as data collection tools. The result of hedonic scale method was found that fried boiled egg with tamarind sauce had the highest score, except for food odor part that spicy pork rib soup gained more score. The result of just about right scale method was found that appearance, color and odor of Thai Spicy Mixed Vegetable Soup with Prawns should be decreased, appearance of Spicy Pork Rib Soup should be decreased, appearance and taste of Stir-Fried Kale with Pork in Oyster Sauce should be decreased and increased sequentially.

Keywords: Regular Food, Hedonic Scale, Just About Right Scale

1. บทนำ

อาหารเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการดำรงชีวิต โดยอาหารจะให้พลังงานและสารอาหารที่สำคัญและจำเป็นสำหรับร่างกาย ช่วยบำรุงร่างกาย ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ สร้างภูมิคุ้มกันและต่อสู้กับโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ ได้ จากการสังเกตพบว่า ผู้ป่วยส่วนใหญ่รับประทานอาหารที่ทางโรงพยาบาลตัวอย่างจัดหามาให้ไม่หมด บางรายไม่ได้รับประทานอาหารของโรงพยาบาลและต้องการรับประทานอาหารที่ญาติจัดหามาให้เอง งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความพึงพอใจต่อคุณภาพอาหาร เพื่อให้เกิดการพัฒนาทางด้านอาหารของโรงพยาบาลตัวอย่างและช่วยให้ผู้ป่วยสามารถรับประทานอาหารได้มากขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation) [1] เป็นกฎเกณฑ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อวัดค่าวิเคราะห์ผลและสรุปผลจากปฏิกิริยาต่างๆ ที่ได้รับจากความรู้สึกของมนุษย์ต่อผลิตภัณฑ์ ในแง่การมองเห็น การได้รับกลิ่น รสชาติ การสัมผัส และการได้ยิน โดยลักษณะต่างๆ ทางด้านประสาทสัมผัสเหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคได้รับ

การทดสอบการยอมรับหรือการทดสอบระดับความพอใจของผู้บริโภค [2] สามารถทำได้หลายรูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของผู้บริโภค โดยการใช้สเกลแบบฮีโดนิก (hedonic scale) เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดซึ่งรู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งว่า degree of liking scale การใช้สเกลแบบฮีโดนิกนั้นจะอยู่บนหลักการที่ว่า ความชอบของผู้บริโภคนั้นสามารถถูกจัดจำแนกได้โดยค่าของการตอบสนอง (ความชอบและไม่ชอบ) โดยสเกลฮีโดนิกมีทั้งแบบตัวเลข (numerical hedonic scale) และแบบตัวหนังสือ (verbal hedonic scale) ซึ่งมีตัวเลขหลายระดับเช่น 3 จุด 5 จุด 7 จุด และ 9 จุด ส่วนสเกลวัดความพอดี (just about right scale) [3] เป็นสเกลที่ใช้วัดความต้องการของผู้บริโภคต่อระดับความเข้มของผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบทิศทางในการปรับปรุงหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยมีระดับในการทดสอบ เช่น อ่อนไป พอดี เข้มไป หรือแนวโน้มที่ต้องการให้ปรับปรุง หรือพัฒนาในคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ เช่น ปรับให้เพิ่มขึ้นมาก ปรับให้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย พอดี ปรับให้ลดลงเล็กน้อย ปรับให้ลดลงมาก อ้างอิงจาก โสมศิริ สมถวิล และสุจินดา ศรีวัฒนะ (2555) สามารถพิจารณาระดับความพอดีได้จากเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือร้อยละ 70 ถ้าค่าความพอดีมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 70 (cut-off point) ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงคุณลักษณะดังกล่าว แต่หากมีค่าไม่ถึง ให้พิจารณาค่า Net Effect ประกอบ ซึ่งค่า Net Effect หรือค่า Net Scores แสดงถึงขนาดและทิศทางของความแตกต่างระหว่างความพอดีตัวอย่าง ซึ่งหาได้จากผลต่างระหว่างผลรวมของร้อยละความรู้สึกที่เข้มไปกับผลรวมของร้อยละความรู้สึกที่อ่อนไป โดยในกรณีที่กำหนดว่า อยากให้อ่อนลงหรืออยากให้เข้มขึ้น เป็นต้น หากค่า Net Effect มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 อาจยังไม่ต้องทำการปรับปรุงในคุณลักษณะนั้นๆ แต่หากมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20 ให้พิจารณาปรับตามทิศทางของความรู้สึกที่มีค่ามากกว่า แต่ถ้าเป็นในกรณีที่กำหนดว่า อ่อนไปหรือเข้มไป เป็นต้น หากค่า Net Effect มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ -20 หรือมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20 ให้พิจารณาปรับตามทิศทางของความรู้สึกที่มีค่าน้อยกว่า ซึ่งการทดสอบการยอมรับหรือการทดสอบระดับความพอใจของผู้บริโภค นิยมนำมาใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความพึงพอใจต่อคุณภาพอาหารหรือการยอมรับที่มีต่ออาหารและการปรับปรุงหรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เช่น การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์โรตีกรอบจากแป้งกากถั่วเหลืองรสเครื่องแกงมัสมั่น [4] การศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ติ่มซำยี่ห้อ T-time ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร [5] การพัฒนาผลิตภัณฑ์ช็อคบอลดอกโสน [6] การพัฒนาผลิตภัณฑ์แหนมซี่โครงหมูอ่อนสำหรับกลุ่มส่งเสริมอาชีพสตรี เทศบาลเมืองต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ [7]

จากงานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดผสมธัญพืช [8] จำนวน 5 สูตร ได้แก่ สูตรผสมฟักทอง สูตรผสมเมล็ดเจีย สูตรผสมลูกเดือย สูตรผสมงาดำ และสูตรไม่ผสมธัญพืช มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดสูตรต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า ระดับความชอบในคุณลักษณะต่างๆ คือ สูตรไม่ผสมธัญพืชได้คะแนนด้านสีมากที่สุดคือ 6.81 สูตรผสมลูกเดือยได้คะแนนด้านกลิ่นรสมากที่สุดคือ 6.70 และสูตรผสมเมล็ดเจียได้คะแนนด้านรสหวาน ความข้น ธัญพืชที่ผสม และความชอบโดยรวมมากที่สุดคือ 6.80, 6.90, 6.90 และ 6.90 ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าความพอดี พบว่าทุกสูตรควรปรับปรุงดังนี้ สูตรผสมฟักทองควรปรับสีให้ลดลง และปรับกลิ่นรสให้เพิ่มขึ้น สูตรผสมลูกเดือยควรปรับสี กลิ่นรส รสหวาน และความข้นให้เพิ่มขึ้น สูตรผสมงาดำ ควรปรับรสหวานให้เพิ่มขึ้น สูตรไม่ผสมธัญพืช ควรปรับกลิ่นรส รสหวาน ความข้นให้เพิ่มขึ้น และสูตรผสมเมล็ดเจีย ควรปรับกลิ่นรสให้เพิ่มขึ้น

อีกหนึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวกับการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อไส้ขนมลูกชิดจากเศษเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกชิดเชื่อม [9] มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิด ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ผู้ตอบแบบสอบถามให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ไส้ขนมลูกชิด ในคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความข้นหนืด และความชอบโดยรวม จัดอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก และเมื่อพิจารณาคิดเห็นเกี่ยวกับระดับความชอบของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ พบว่า ด้านรสชาติมีมากที่สุดรองลงมาคือ ความชอบด้านกลิ่น ความชอบด้านความข้นหนืด ความชอบด้านสี และความชอบด้านลักษณะปรากฏ ในส่วนของทิศทางความพอดีของผลิตภัณฑ์ไส้ขนมลูกชิดพบว่า ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์ไส้ขนมลูกชิดมีคะแนนอยู่ในระดับพอดี โดยมีคะแนนทิศทางความพอดีของผลิตภัณฑ์ในทุกคุณลักษณะสูงกว่าร้อยละ 70 ขึ้นไป ส่วนความคิดเห็นต่อทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ขนมลูกชิดในด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์ไส้ขนมลูกชิดได้คะแนนร้อยละ 68 ซึ่งสามารถยอมรับได้ เมื่อพิจารณาจากค่า Net Effect แล้วมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุง

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

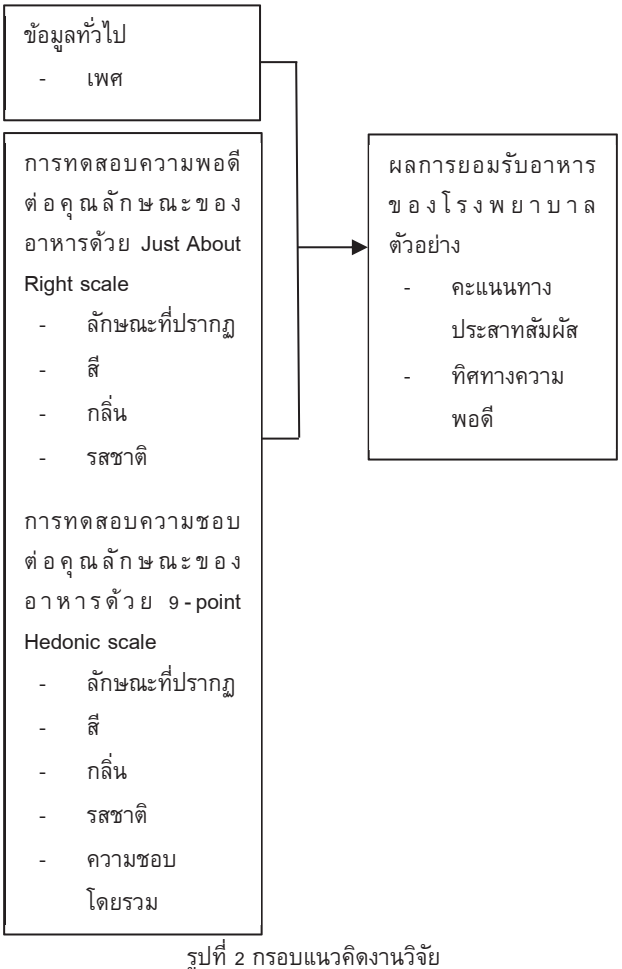
3.1 ขั้นตอนการท างาน

อาหารธรรมดาที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 4 ชนิด คือ แกงเลียงไข่ลูกเขย ต้มแซ่บซี่โครงหมู และผัดคะน้าหมูน้ำมันหอย ซึ่งเป็นอาหารที่ทางโรงพยาบาลตัวอย่างจัดเตรียมให้กับผู้ป่วยในวันนั้นๆ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 อาหารที่ใช้ในการทดสอบ

ผู้ศึกษาจะทำการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยให้กลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคทดสอบ เพื่อให้ทราบการยอมรับและความชอบโดยรวมของอาหารธรรมดาจากโรงพยาบาลตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดงานวิจัย

โดยตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ นักศึกษามหาวิทยาลัยศิลปากร ชั้นปีที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ สาเหตุที่เลือกนักศึกษาเป็นผู้ตอบแบบสอบถามเนื่องจากมีเรื่องของจริยธรรมแพทย์ ส่งผลให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลจากผู้ป่วยได้ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือแบบสอบถามการประเมินทางประสาทสัมผัสของอาหารธรรมดาโดยให้คะแนนแบบสเกลฮีโดนิก 9 ระดับ และให้คะแนนแบบสเกลวัดความพอดี 5 ระดับ โดยเกณฑ์การให้คะแนนแสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 เกณฑ์คะแนนของสเกลแบบฮีโดนิก 9 ระดับ

สเกลฮีโดนิก 9 ระดับ	
ระดับความชอบ	ระดับคะแนนที่ให้
ชอบมากที่สุด	9
ชอบมาก	8
ชอบปานกลาง	7
ชอบเล็กน้อย	6
เฉยๆ	5
ไม่ชอบเล็กน้อย	4
ไม่ชอบปานกลาง	3
ไม่ชอบมาก	2
ไม่ชอบมากที่สุด	1

ตารางที่ 2 เกณฑ์คะแนนของสเกลวัดความพอดี 5 ระดับ

สเกลวัดความพอดี 5 ระดับ	
ระดับความพอดี	ระดับคะแนนที่ให้
มากเกินไป	5
มาก	4
พอดี	3
น้อย	2
น้อยเกินไป	1

3.2 การแปรผลข้อมูล

สามารถจัดค่าเฉลี่ยการแบ่งระดับช่วงคะแนน โดยใช้สูตรคำนวณหาความกว้างของอันตรภาคชั้นด้วยสมการความกว้างของอันตรภาคชั้น โดยช่วงระดับการยอมรับในอาหารแบบฮีโดนิกหาได้จากสูตรดังนี้

$$\text{ความกว้างอันตรภาคชั้น} = \frac{\text{ค่าคะแนนสูงสุด} - \text{ค่าคะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนระดับช่วงคะแนน}} \quad (1)$$

$$= \frac{9-1}{9}$$

$$= 0.89$$

จากนั้นนำค่าที่ได้มาจัดระดับค่าคะแนนเฉลี่ยดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ช่วงระดับคะแนนความชอบเฉลี่ย

ระดับคะแนนการยอมรับอาหารแบบฮีโดนิก	
คะแนนเฉลี่ย	ระดับความชอบ
8.20 – 9.00	ชอบมากที่สุด
7.30 – 8.19	ชอบมาก
6.40 – 7.29	ชอบปานกลาง
5.50 – 6.39	ชอบเล็กน้อย
4.60 – 5.49	เฉยๆ
3.70 – 4.59	ไม่ชอบเล็กน้อย
2.80 – 3.69	ไม่ชอบปานกลาง
1.90 – 2.79	ไม่ชอบมาก
1.00 – 1.89	ไม่ชอบมากที่สุด

ในส่วนของทิศทางความพอดี ได้กำหนดค่าความพอดีไว้ที่ร้อยละ 70.00 หากค่าความพอดีมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 70.00 ไม่จำเป็นต้องพิจารณาค่า Net Effect แต่ถ้าค่าความพอดีน้อยกว่าร้อยละ 70.00 ให้พิจารณาจากค่า Net Effect หากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ -20 หรือมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20 ให้พิจารณาปรับตามทิศทางของความรู้สึกที่มีค่าน้อยกว่า

เมื่อรวบรวมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงบรรยายหรือข้อมูลเชิงพรรณนาเพื่อคำนวณหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีจำนวน 20 คน เป็นเพศชาย 2 คน คิดเป็นร้อยละ 10.00 และเป็นเพศหญิง 18 คน คิดเป็นร้อยละ 90.00 โดยเพศที่มีจำนวนมากที่สุดคือ เพศหญิง

4.1 การยอมรับและทิศทางความพอดีที่ได้จากแกงเลียง

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับการยอมรับที่ได้จากแกงเลียง

คุณลักษณะต่างๆ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการยอมรับ
ลักษณะปรากฏ	6.950	1.356	ชอบปานกลาง
สี	6.800	1.240	ชอบปานกลาง
กลิ่น	6.450	1.605	ชอบปานกลาง
รสชาติ	5.700	1.720	ชอบเล็กน้อย
ความชอบรวม	5.950	1.538	ชอบเล็กน้อย

จากตารางที่ 4 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามให้การยอมรับในระดับที่ต่างกันเล็กน้อย คือ ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ที่ 6.950, 6.800, 6.450 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนเฉลี่ยระหว่าง 6.400 - 7.290 จึงเป็นการยอมรับในระดับชอบปานกลาง ในส่วนของรสชาติและความชอบโดยรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ที่ 5.700 และ 5.950 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนเฉลี่ยระหว่าง 5.500-6.390 จึงเป็นการยอมรับในระดับชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 5 ทิศทางความพอดีที่ได้จากแกงเลียง

คุณลักษณะต่างๆ	จำนวนคน (ร้อยละ) ทิศทางความพอดีของแกงเลียง					Net Effect
	น้อยเกินไป	น้อย	พอดี	มาก	มากเกินไป	
ลักษณะปรากฏ	0 (0.00)	2 (10.00)	11 (55.00)	7 (35.00)	0 (0.00)	25.00
สี	0 (0.00)	2 (10.00)	11 (55.00)	6 (30.00)	1 (5.00)	25.00
กลิ่น	0 (0.00)	1 (5.00)	11 (55.00)	7 (35.00)	1 (5.00)	35.00
รสชาติ	1 (5.00)	5 (25.00)	9 (45.00)	2 (10.00)	3 (15.00)	-5.00

หมายเหตุ Net effect = ผลรวมร้อยละความมากและมากเกินไป – ผลรวมร้อยละความน้อยและน้อยเกินไป

จากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาค่าความพอดีจากคุณลักษณะต่างๆ พบว่า ทุกคุณลักษณะมีค่าความพอดีน้อยกว่าร้อยละ 70.00 เมื่อพิจารณาจากค่า Net Effect พบว่า ด้านรสชาติมีค่ามากกว่าร้อยละ -20.00 คือ -5.00 จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงด้านรสชาติ ส่วนด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี และด้านกลิ่น พบว่ามีค่ามากกว่าร้อยละ 20.00 คือ 25.00, 25.00, 35.00 ตามลำดับ จึงควรปรับลดลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นให้น้อยลง

4.2 การยอมรับและทิศทางความพอดีที่ได้จากไข่ลูกเขย

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับการยอมรับที่ได้จากไข่ลูกเขย

คุณลักษณะต่างๆ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการยอมรับ
ลักษณะปรากฏ	7.150	1.268	ชอบปานกลาง
สี	6.850	1.496	ชอบปานกลาง
กลิ่น	6.600	1.392	ชอบปานกลาง
รสชาติ	6.350	1.785	ชอบเล็กน้อย
ความชอบรวม	6.300	1.418	ชอบเล็กน้อย

จากตารางที่ 6 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามให้การยอมรับในระดับที่ต่างกันเล็กน้อย คือ ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ที่ 7.150, 6.850, 6.600 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนเฉลี่ยระหว่าง 6.400-7.290 จึงเป็นการยอมรับในระดับชอบปานกลาง ในส่วนของรสชาติและความชอบโดยรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ที่ 6.350

และ 6.300 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนเฉลี่ยระหว่าง 5.500-6.390 จึงเป็นการยอมรับในระดับชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 7 ทิศทางความพอดีที่ได้จากไข่ลูกเขย

คุณลักษณะต่างๆ	จำนวนคน (ร้อยละ) ทิศทางความพอดีของไข่ลูกเขย					Net Effect
	น้อยเกินไป	น้อย	พอดี	มาก	มากเกินไป	
ลักษณะปรากฏ	0 (0.00)	2 (10.00)	16 (80.00)	2 (10.00)	0 (0.00)	-
สี	0 (0.00)	1 (5.00)	14 (70.00)	5 (25.00)	0 (0.00)	-
กลิ่น	0 (0.00)	3 (15.00)	13 (65.00)	4 (20.00)	0 (0.00)	5.00
รสชาติ	0 (0.00)	6 (30.00)	10 (50.00)	4 (20.00)	0 (0.00)	-10.00

หมายเหตุ Net effect = ผลรวมร้อยละความมากและมากเกินไป – ผลรวมร้อยละความน้อยและน้อยเกินไป

จากตารางที่ 7 เมื่อพิจารณาค่าความพอดีจากคุณลักษณะต่างๆ พบว่า ด้านลักษณะปรากฏและด้านสี มีค่าความพอดีอยู่ที่ 80.00 และ 70.00 ตามลำดับ จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงด้านลักษณะปรากฏและด้านสี แต่ด้านกลิ่นและด้านรสชาติ มีค่าความพอดีน้อยกว่าร้อยละ 70.00 เมื่อพิจารณาจากค่า Net Effect พบว่า ด้านกลิ่นมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20.00 คือ 5.00 และด้านรสชาติ มีค่ามากกว่าร้อยละ -20.00 คือ -10.00 จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงด้านกลิ่นและด้านรสชาติ

4.3 การยอมรับและทิศทางความพอดีที่ได้จากต้มแซ่บซี่โครงหมู

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับการยอมรับที่ได้จากต้มแซ่บซี่โครงหมู

คุณลักษณะต่างๆ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการยอมรับ
ลักษณะปรากฏ	6.850	1.309	ชอบปานกลาง
สี	6.700	1.490	ชอบปานกลาง
กลิ่น	6.650	1.599	ชอบปานกลาง
รสชาติ	5.950	2.012	ชอบเล็กน้อย
ความชอบรวม	6.000	1.747	ชอบเล็กน้อย

จากตารางที่ 8 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามให้การยอมรับในระดับที่ต่างกันเล็กน้อย คือ ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ที่ 6.850, 6.700, 6.650 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนเฉลี่ยระหว่าง 6.400-7.290 จึงเป็นการยอมรับในระดับชอบปานกลาง ในส่วนของรสชาติและความชอบโดยรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ที่ 5.950 และ 6.000 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนเฉลี่ยระหว่าง 5.500-6.390 จึงเป็นการยอมรับในระดับชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 9 ทิศทางความพอดีที่ได้จากต้มแซ่บซี่โครงหมู

คุณลักษณะต่างๆ	จำนวนคน (ร้อยละ) ทิศทางความพอดีของต้มแซ่บซี่โครงหมู					Net Effect
	น้อยเกินไป	น้อย	พอดี	มาก	มากเกินไป	
ลักษณะปรากฏ	0 (0.00)	2 (10.00)	11 (55.00)	7 (35.00)	0 (0.00)	25.00
สี	1 (5.00)	3 (15.00)	13 (65.00)	3 (15.00)	0 (0.00)	-5.00
กลิ่น	0 (0.00)	2 (10.00)	13 (65.00)	3 (15.00)	2 (10.00)	15.00
รสชาติ	1 (5.00)	5 (25.00)	10 (50.00)	3 (15.00)	1 (5.00)	-10.00

หมายเหตุ Net effect = ผลรวมร้อยละความมากและมากเกินไป – ผลรวมร้อยละความน้อยและน้อยเกินไป

จากตารางที่ 9 เมื่อพิจารณาค่าความพอดีจากคุณลักษณะต่างๆ พบว่า ทุกคุณลักษณะมีค่าความพอดีน้อยกว่าร้อยละ 70.00 เมื่อพิจารณาจากค่า Net Effect พบว่า ด้านสีและด้านรสชาติมีค่ามากกว่าร้อยละ -20.00 คือ -5.00 และ -10.00 ตามลำดับ ส่วนด้านกลิ่นมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20.00 คือ 15.00 จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงด้านสี ด้านกลิ่นและด้านรสชาติ ส่วนด้านลักษณะปรากฏ พบว่ามีค่ามากกว่าร้อยละ 20.00 คือ 25.00 จึงควรปรับลดด้านลักษณะปรากฏให้น้อยลง

4.4 การยอมรับและทิศทางความพอดีที่ได้จากผัดคะน้าหมูน้ำมันหอย

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับการยอมรับที่ได้จากผัดคะน้าหมูน้ำมันหอย

คุณลักษณะต่างๆ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการยอมรับ
ลักษณะปรากฏ	6.800	1.322	ชอบปานกลาง
สี	6.850	1.268	ชอบปานกลาง
กลิ่น	6.550	1.959	ชอบปานกลาง
รสชาติ	5.450	1.791	เฉยๆ
ความชอบรวม	5.850	1.565	ชอบเล็กน้อย

จากตารางที่ 10 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามให้การยอมรับในระดับที่ต่างกันเล็กน้อย คือ ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ที่ 6.800, 6.850, 6.550 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนเฉลี่ยระหว่าง 6.400-7.290 จึงเป็นการยอมรับในระดับชอบปานกลาง ในส่วนของรสชาติ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ที่ 5.450 ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนเฉลี่ยระหว่าง 4.600-5.490 จึงไม่สามารถบอกได้ว่าอยู่ในระดับที่ชอบหรือไม่ชอบ และความชอบโดยรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ที่ 5.850 ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนเฉลี่ยระหว่าง 5.500-6.390 จึงเป็นการยอมรับในระดับชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 11 ทิศทางความพอดีที่ได้จากผัดคะน้าหมูน้ำมันหอย

คุณลักษณะต่างๆ	จำนวนคน (ร้อยละ) ทิศทางความพอดีของผัดคะน้าหมูน้ำมันหอย					Net Effect
	น้อยเกินไป	น้อย	พอดี	มาก	มากเกินไป	
ลักษณะปรากฏ	0 (0.00)	1 (5.00)	14 (70.00)	5 (25.00)	0 (0.00)	-
สี	0 (0.00)	2 (10.00)	14 (70.00)	4 (20.00)	0 (0.00)	-
กลิ่น	0 (0.00)	5 (25.00)	6 (30.00)	8 (40.00)	1 (5.00)	20.00
รสชาติ	1 (5.00)	9 (45.00)	6 (30.00)	4 (20.00)	0 (0.00)	-30.00

หมายเหตุ Net effect = ผลรวมร้อยละความมากและมากเกินไป – ผลรวมร้อยละความน้อยและน้อยเกินไป

จากตารางที่ 11 เมื่อพิจารณาค่าความพอดีจากคุณลักษณะต่างๆ พบว่า ด้านลักษณะปรากฏและด้านสี มีค่าความพอดีอยู่ที่ 70.00 และ 70.00 ตามลำดับ จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงด้านลักษณะปรากฏและด้านสี แต่ด้านกลิ่นและด้านรสชาติ มีค่าความพอดีน้อยกว่าร้อยละ 70.00 เมื่อพิจารณาจากค่า Net effect พบว่า ด้านกลิ่น มีค่าเท่ากับร้อยละ 20.00 และด้านรสชาติ มีค่าน้อยกว่าร้อยละ -20.00 คือ -30.00 จึงควรปรับลดกลิ่นให้ลดน้อยลง และปรับรสชาติให้เพิ่มขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความพึงพอใจต่อคุณภาพของอาหารธรรมดาทั้ง 4 ชนิดในโรงพยาบาลตัวอย่าง เพื่อให้เกิดการพัฒนาทางด้านอาหารของโรงพยาบาลตัวอย่าง โดยใช้แบบสอบถามและการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวัดสเกลแบบฮีโดนิกและการวัดสเกลความพอดี จากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวัดสเกลแบบฮีโดนิก พบว่า ในด้านลักษณะ ด้านสี ด้านรสชาติ และด้านความชอบโดยรวม ไข่ลูกเขยได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุด คือ 7.150, 6.850, 6.350 และ 6.300 ตามลำดับ ในด้านกลิ่น ต้มแซ่บซี่โครงหมู ได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุด คือ 6.650 ส่วนการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการวัดทิศทางความพอดีในคุณลักษณะต่างๆ ของอาหารแต่ละชนิด และพิจารณาค่า Net Effect พบว่า แกงเลียง ควรปรับลดด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี และด้านกลิ่นให้น้อยลง ส่วนไข่ลูกเขย ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี ด้านกลิ่น และด้านรสชาติแต่อย่างใด ต้มแซ่บซี่โครงหมูควรปรับลดด้านลักษณะปรากฏให้น้อยลง และผัดคะน้าหมูน้ำมันหอยควรปรับลดด้านกลิ่นให้ลดน้อยลง และควรปรับรสชาติให้เพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Institute of Food Technologists, Sensory evaluation guide for testing food and beverage products, Food Technology, November 1981, United States of America.

[2] ไพโรจน์ วิริยจารี, การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) (เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545).

[3] โสมศิริ สมถวิล และสุจินดา ศรีวัฒนะ, “การใช้สเกลความพอดีในการปรับสูตรไส้อั่ว,” ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, วันที่ 31 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2555, ณ กรุงเทพฯ, หน้า 167-174.

[4] ซาบีเนาะ มะเระ, วนิดา คำหอม, สุรารักษ์ แซ่จอง และฐิติมาพร หนูเนียม, “การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์โรตีกรอบจากแป้งกากถั่วเหลืองรสเครื่องแกงมัสมั่น,” ใน การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เครือข่ายสถาบันอุดมศึกษาภาคใต้ ครั้งที่ 5, วันที่ 6-7 กุมภาพันธ์ 2563, ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช, หน้า 1453-1463.

[5] วีรินทร์ กิจโอภาส, การศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ติ่มซำยี่ห้อ T-time ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร (ปริญญาการจัดการมหาบัณฑิต วิทยาลัยการจัดการมหาวิทยาลัยมหิดล, 2560).

[6] นพา ลีละศุภพงษ์, การพัฒนาผลิตภัณฑ์ช็อคบอลดอกโสน (งานวิจัยสาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา, 2556).

[7] ปาริชาติ ศงสนันทน์ และศิริลักษณ์ เจริญรัตน์, “การพัฒนาผลิตภัณฑ์แหนมซี่โครงหมูอ่อนสำหรับกลุ่มส่งเสริมอาชีพสตรีเทศบาลเมืองต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่,” วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต 1, 5 (มกราคม - เมษายน 2560): หน้า 163-173.

[8] รวมพร เลี่ยมแก้ว และเพ็ญขวัญ ชมปรีดา, “การทดสอบการยอมรับทางประสามสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดผสมธัญพืช,” วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1, 7 (มกราคม - มิถุนายน 2561): หน้า 82-91.

[9] วศินี ศุภพิมล, การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อไส้ขนมลูกชิดจากเศษเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกชิดเชื่อม (ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2558).

การศึกษาปัจจัยของอาหารอ่อนที่มีผลต่อประสาทสัมผัสด้านอาหารในโรงพยาบาลตัวอย่าง

A Study of Soft Diet Factors Affecting Food Sensory in the Sample Hospital

กมลวรรณ เอี่ยมมณีวงศ์[1*] กัลยา สบายจิตร์[1] จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์[1] ประจวบ กล่อมจิตร[1] สิทธิชัย แซ่เหล่ม[1]
[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: j_pen2000@outlook.com*

Kamonwan Eiammaneewong[1*], Kanlaya Sabaichit[1], Chanpen Anuratananon[1], Prachuab Klomjit[1], Sitichai Saelem[1]
[1] Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: j_pen2000@outlook.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยของอาหารอ่อนที่มีผลต่อประสาทสัมผัสด้านอาหารในโรงพยาบาลตัวอย่าง อาหารอ่อนที่ทางฝ่ายโภชนาการ โรงพยาบาลตัวอย่างเป็นผู้จัดทำ มีรายการอาหารอ่อนทั้ง 4 ชนิด 1.ผัดฟักทองใส่ไข่ 2.ไก่น้ำมันหอย 3.ผัดคะน้าหมูสับ 4.ปลาทูสดทอด ขั้นตอนในการดำเนินงานได้จัดทำรูปแบบสอบถามของอาหารอ่อนเป็นการประเมินทางประสาทสัมผัส ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติและความชอบโดยรวม ข้อมูลที่ได้จากการประเมินอาหารคือ ความพอดีและความชอบต่อคุณลักษณะของอาหารอ่อน นำมาวิเคราะห์ 2 ส่วน ส่วนแรกคือการวิเคราะห์เชิงพรรณนาหาทิศทางความพอดี และการยอมรับที่ได้จากอาหารอ่อน ส่วนที่สองการทดสอบสมมติฐาน การศึกษาได้วิเคราะห์ข้อมูลการวิเคราะห์เชิงพรรณนาหาทิศทางความพอดีและระดับการยอมรับ จากอาหารทั้งหมด 4 ชนิด 1.ผัดฟักทองใส่ไข่ควรปรับลดด้านลักษณะปรากฏและสีของอาหารอ่อนให้น้อยลง ส่วนกลิ่นและรสชาติอยู่ในระดับการยอมรับที่ชอบมาก 2.ไก่น้ำมันหอยมีความพอดีทางด้านอาหารแล้วและทั้งหมดมีระดับการยอมรับชอบปานกลาง 3.ผัดคะน้าหมูสับควรปรับลดด้านสีของอาหารอ่อนให้น้อยลง และระดับทั้งหมดอยู่ที่ชอบปานกลาง 4.ปลาทูสดทอดควรปรับลดสี กลิ่นและรสชาติของอาหารอ่อนให้น้อยลง ส่วนของสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม อยู่ในระดับชอบปานกลาง ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานทั้งหมด 4 ปัจจัย มีค่า P-Value เท่ากับ 0.681, 0.680, 0.863 และ 0.510 ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดมีค่ามากกว่า α ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทำให้ยอมรับ H_0และปฏิเสธ H_1 ทั้งหมด สรุปได้ว่าปัจจัยของอาหารอ่อนไม่มีความแตกต่างของประสาทสัมผัสด้านอาหาร

คำสำคัญ: อาหารอ่อน, การประเมินทางประสาทสัมผัส

Abstract

The objective of this article is to study of soft diet factors affecting food sensory in the sample hospital. Soft diets produced by the nutrition department of the sample hospital. There are 4 soft diet items 1.Stir Fried Pumpkin with Egg 2.Chicken Oyster Oil 3.Stir Fried Kale with Minced Pork 4.Fried Fresh Mackerel. The steps in the research, the researcher produced a questionnaire form of soft diets a sensory evaluation of the appearance of it, Color, scent, taste and overall preferences leading to analyze the two parts, the first being descriptive analysis of the direction of fit and acceptance obtained from soft diets. Part two hypothesis test the study analyzed the data Descriptive analysis of the direction of fit and acceptance level from all 4 foods 1. Stir-fried pumpkin with eggs should be reduced to the appearance and color of the soft diet, while the scent and taste are at a very favorable level of acceptance. 2. Chicken oyster oil is already food fit and all have moderate acceptance level like 3. Stir-fried kale with minced pork should reduce the color side of the soft diet to less, and the whole level is moderately liked 4. Fried fresh mackerel should be colored down. The scent and taste of soft diets is less. Color Sections overall, scent, taste and preference are moderately likeable. The results of the four-factor hypothesis test had P-Values of 0.681, 0.680, 0.863 and 0.510, respectively, all of which are greater than α at a significant level of 0.05, allowing H_0 to be accepted and rejected H_1 altogether. In conclusion, the factors of soft food do not have differences in the food senses.

Keywords: Soft Diet, Sensory Evaluation

1. บทนำ

ฝ่ายโภชนาการเป็นอีกหนึ่งหน่วยงานที่สำคัญต่อโรงพยาบาลตัวอย่าง จะดูแลด้านโภชนาการและโภชนบำบัด ด้วยการคัดเลือก และจัดสรรอาหารที่เหมาะสม และดีที่สุดสำหรับผู้ป่วย โดยจะผลิตและบริการอาหารให้แก่ผู้ป่วยให้ได้รับอาหารที่ถูกต้องตามคำสั่งการรักษา ถูกสุขลักษณะ มีคุณภาพ ปลอดภัย ทันเวลา และได้มาตรฐาน รวมทั้งให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำด้านโภชนาการและโภชนบำบัดแก่ผู้ป่วย ญาติผู้ป่วย และผู้สนใจทั่วไป ในการดำเนินการของโภชนาการใส่ใจรายละเอียดในอาหารแต่ละประเภท รวมถึงให้ความสำคัญกับการจัดสรรอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วย โดยจะผลิตและบริการอาหารให้แก่ผู้ป่วยให้ได้รับอาหารที่ถูกต้องตามคำสั่งการรักษา ในขั้นตอนการปรุงอาหารอ่อน โดยให้มีลักษณะอ่อนนิ่ม เพื่อให้เคี้ยวหรือกลืนได้ง่าย ไม่ต้องเคี้ยวมากและไม่มีกากหรือถึงมีก็น้อยมากและดีต่อระบบย่อยอาหาร ช่วยให้ระบบย่อยอาหารได้พักจากการทำงานหนักชั่วคราว อาหารจึงเป็นเรื่องสำคัญกับผู้ป่วย จากการวิจัยได้นำอาหารอ่อนจากโรงพยาบาลตัวอย่างมาศึกษาปัจจัยของอาหารอ่อนว่ามีผลต่อประสาทสัมผัสทางด้านของอาหาร ผู้ที่รับประทานอาหารอ่อนจะมีทิศทางความพอดีหรือความชอบต่อคุณลักษณะของอาหารอ่อน โดยใช้เครื่องมือต่างๆ และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ ว่าปัจจัยมีผลต่อประสาทสัมผัสของอาหารแตกต่างกันหรือไม่

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การยอมรับของผู้บริโภค

ไพโรจน์ วิริยจารี [1] กล่าวถึงวิธีการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคมี 2 ระดับได้แก่ การทดสอบการตอบสนองเบื้องต้น และการทดสอบการยอมรับแบบเจาะจงเฉพาะด้าน การค้นคว้าอิสระจะใช้การทดสอบการยอมรับ (acceptance test) โดยการใช้สเกลความพอใจ (hedonic scale) ซึ่งเป็นการทดสอบการตอบสนองเบื้องต้น ของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย การทดสอบการยอมรับ (acceptance) และการทดสอบความชอบกว่า (preference)

2.1.1 การทดสอบความชอบ

การเลือกตัวอย่างที่ชอบกว่าหรือ ตัวอย่างที่ยอมรับกว่า เป็นรูปแบบของการทดสอบการตอบสนองของผู้บริโภค (consumer response) เมื่อต้องการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างตั้งแต่ 2 ตัวอย่างขึ้นไป และลักษณะการใช้งานมักจะใช้กับ งานการควบคุมคุณภาพ การปรับปรุงคุณภาพมากกว่าการทำผลิตภัณฑ์ใหม่รูปแบบการทดสอบที่อาศัยหลักการทดสอบความชอบกว่า

2.1.2 การทดสอบความพึงพอใจ

การทดสอบระดับความพอใจของผู้บริโภคสามารถทำได้หลายๆ รูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะ เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดซึ่งรู้จักกัน ในอีกชื่อหนึ่งว่า degree of liking scale การใช้สเกลแบบฮีโดนิกนั้น สามารถถูกจัดจำแนกได้โดยค่าของการตอบสนอง (ความชอบและไม่ชอบ) ที่เกิดขึ้นสามารถใช้ สเกลแบบฮีโดนิก 9 จุด (9 –point hedonic scales)ได้ง่ายมากและการแปลผลก็กระทำ ได้ง่าย ได้รับการยอมรับในการประเมินอาหารเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ไม่ใช่อาหารอย่างแพร่หลาย สเกลแบบฮีโดนิกมีสเกลทั้งแบบตัวเลข (numerical hedonic scale) และแบบตัวหนังสือ (verbal hedonic scale) ซึ่งมีหลายระดับ เช่น 3 จุด 5 จุด 7 จุด และ 9 จุด

2.1.3 ทิศทางความพอดีของอาหาร

โสมศิริ สมถวิล และสุจินดา ศรีวัฒนะ [2] ได้ให้ตัวอย่างการใช้สเกลความพอดีในลักษณะนี้ในการแปลผลจาก JAR นั้น อาจพิจารณาได้จากระดับความพอดีที่ตั้งเกณฑ์ไว้เช่น ถ้าค่าความพอดีมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าเท่ากับ ร้อยละ 70 (cut-off point) ไม่ต้องปรับปรุงคุณลักษณะดังกล่าวแต่หากมีค่าไม่ถึงให้พิจารณาค่า net effect หากค่า net effect มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 อาจยังไม่ต้องทำการปรับปรุงในคุณลักษณะนั้นๆ แต่หากมีค่ามากกว่าร้อยละ 20 ให้พิจารณาปรับตามทิศทางของความรู้สึกที่มีค่ามากกว่า

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วศินี ศุภพิมล [3] การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อไส้ขนมลูกชิดจากเศษเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกชิดเชื่อม ผลวิจัยสรุปได้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ ในคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ไส้ขนมลูกชิดได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความข้นหนืด และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ประชากรที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ นักศึกษาจากมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ที่กำลังศึกษาอยู่ในปีการศึกษา 2564

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นนักศึกษาจากมหาวิทยาลัยศิลปากร กำลังศึกษาอยู่ในปีการศึกษา 2564 ซึ่งมีจำนวนนักศึกษาทั้งหมด 20 คน

3.2 เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัย

1. โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ โปรแกรมมินิแทบ (Minitab Statistical Software)

2. แบบสอบถามสร้างจาก Google Form ซึ่งประกอบไปด้วยแบบสอบถามย่อย 5 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 แบบสอบถามสถานภาพทั่วไป ได้แก่ เพศ อายุ

ตอนที่ 2 แบบสอบถามอาหารที่รับประทาน

ตอนที่ 3 แบบสอบถามความพอดีต่อคุณลักษณะของอาหารอ่อนได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม

ตอนที่ 4 คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะของอาหารอ่อน

ตอนที่ 5 ข้อเสนอแนะ

3.3 การกำหนดเกณฑ์คะแนน

ตางรางที่ 1 คะแนนความพอดีแบบ Just about right Scales (JAR)

ระดับ	เกณฑ์คะแนน
มากเกินไป	5
มาก	4
พอดี	3
น้อย	2
น้อยเกินไป	1

ตางรางที่ 2 คะแนนความชอบแบบ Hedonic Scales 9

ระดับ	เกณฑ์คะแนน
ชอบมากที่สุด	9
ชอบมาก	8
ชอบปานกลาง	7
ชอบเล็กน้อย	6
เฉยๆ	5
ไม่ชอบเล็กน้อย	4
ไม่ชอบปานกลาง	3
ไม่ชอบมาก	2
ไม่ชอบมากที่สุด	1

3.4 การแปรข้อมูล

การแปรข้อมูลสามารถใช้ข้อมูลคำนวณหาระดับการยอมรับด้วยสมการความกว้างของอันตรภาคชั้น โดยได้จาก

1. สมการความกว้างของอันตรภาคชั้นระดับการยอมรับ

$$\text{ความกว้างของอันตรภาคชั้น} = (\text{ค่าคะแนนสูงสุด} - \text{ค่าคะแนนต่ำสุด}) / \text{จำนวนช่วงคะแนน} \quad (1)$$
$$= (9\text{-}1)/9$$
$$= 0.89$$

2. นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาจัดระดับค่าคะแนนเฉลี่ยดังนี้

ตารางที่ 3 การจัดระดับคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณ

คะแนนเฉลี่ย	หมายถึง
8.20 - 9.00	ชอบมากที่สุด
7.30 - 8.19	ชอบมาก
6.40 - 7.29	ชอบปานกลาง
5.50 - 6.39	ชอบเล็กน้อย
4.60 - 5.49	เฉยๆ
3.70 - 4.59	ไม่ชอบเล็กน้อย
2.80 - 3.69	ไม่ชอบปานกลาง
1.90 - 2.79	ไม่ชอบมาก
1.00 - 1.89	ไม่ชอบมากที่สุด

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ศึกษาปัจจัยคุณลักษะและชนิดของอาหารอ่อน

2. เลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลองทดสอบ ซึ่งมีทั้งหมด 2 ประเภท ได้แก่

1. ตัวแปรอิสระ (Independent variable) หรืออาจเรียกว่าปัจจัยควบคุม (Controllable factors) เป็นตัวแปรที่อิสระไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่นๆ และมักเป็นตัวที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่ายากหรือไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งปัจจัยที่กำหนดคือชนิดของอาหารอ่อน

2. ตัวแปรตอบสนอง (Response variable) เป็นค่าสังเกตที่วัดในการทดลอง ได้แก่ ความพอดีต่อคุณลักษณะของอาหารอ่อน และคะแนนความชอบต่อคุณลักษณะของอาหารอ่อน

4. ผลการศึกษา

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา

จากแบบสอบถามสำหรับผู้ที่ได้รับประทานอาหารอ่อนทั้ง 4 ชนิด ได้มีผู้ที่ตอบแบบสอบถามจำนวนทั้งหมด 20 คน ซึ่งส่วนมากเป็นผู้หญิงจำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 90.00 และส่วนที่เหลือเป็นผู้ชายจำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 10.00 และได้กำหนดค่าความพอดีไว้ที่ร้อยละ 70.00 หากค่าความพอดีมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 70.00 ไม่จำเป็นต้องพิจารณาค่า Net effect แต่ถ้าค่าความพอดีน้อยกว่าร้อยละ 70.00 ให้พิจารณาจากค่า Net effect และหากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ -20.00 ปรับไปทิศทางความรู้สึกที่มีค่าที่มากกว่าหรือมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20.00 ให้ปรับไปทิศทางที่มีค่าที่น้อยกว่า

4.1.1 ทิศทางความพอดีและการยอมรับที่ได้จากอาหารอ่อนชนิดที่ 1 (ผัดฟักทองใส่ไข่)

ตารางที่ 4 ทิศทางความพอดีที่ได้จากอาหารอ่อนชนิดที่ 1

คุณลักษณะ	จำนวนคน (ร้อยละ) ทิศทางความพอดีของอาหารอ่อนชนิดที่ 1					Net effect
	น้อยเกินไป	น้อย	พอดี	มาก	มากเกินไป	
ลักษณะที่ปรากฏ	0 (0.00)	1 (5.00)	13 (65.00)	6 (30.00)	0 (0.00)	25.00
สี	0 (0.00)	1 (5.00)	12 (60.00)	7 (35.00)	0 (0.00)	30.00
กลิ่น	0 (0.00)	4 (20.00)	13 (65.00)	3 (15.00)	0 (0.00)	-5.00
รสชาติ	0 (0.00)	3 (15.00)	11 (55.00)	6 (30.00)	0 (0.00)	15.00

หมายเหตุ Net effect = ผลรวมร้อยละความมาก – ผลรวมร้อยละความน้อย

จากตารางที่ 4 พบว่า คุณลักษณะทั้งหมดของลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ มีค่า Net effect เท่ากับ 25, 30, -5 และ15 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ระดับการยอมรับที่ได้จากอาหารอ่อนชนิดที่ 1

คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการยอมรับ
ลักษณะปรากฏ	6.800	1.196	ชอบปานกลาง
สี	6.900	1.252	ชอบปานกลาง
กลิ่น	7.550	0.887	ชอบมาก
รสชาติ	7.300	1.720	ชอบมาก
ความชอบโดยรวม	7.050	1.356	ชอบปานกลาง

4.1.2 ทิศทางความพอดีและการยอมรับที่ได้จากอาหารอ่อนชนิดที่ 2 (ไก่น้ำมันหอย)

ตารางที่ 6 ทิศทางความพอดีที่ได้จากอาหารชนิดที่ 2

คุณลักษณะ	จำนวนคน (ร้อยละ)					Net effect
	ทิศทางความพอดีของอาหารอ่อนชนิดที่ 2					
	น้อยเกินไป	น้อย	พอดี	มาก	มากเกินไป	
ลักษณะที่ปรากฏ	0 (0.00)	6 (30.00)	14 (70.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	-
สี	0 (0.00)	1 (5.00)	15 (75.00)	4 (20.00)	0 (0.00)	-
กลิ่น	0 (0.00)	2 (15.00)	14 (70.00)	4 (20.00)	0 (0.00)	-
รสชาติ	0 (0.00)	6 (30.00)	12 (60.00)	2 (10.00)	0 (0.00)	-20.00

หมายเหตุ Net effect = ผลรวมร้อยละความมาก – ผลรวมร้อยละความน้อย

จากตารางที่ 6 พบว่า คุณลักษณะของลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น มีค่าความพอดีเท่ากับ 70, 75, 70 ตามลำดับและรสชาติมีค่า Net effect เท่ากับ -20

ตารางที่ 7 ระดับการยอมรับที่ได้จากอาหารอ่อนชนิดที่ 2

คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการยอมรับ
ลักษณะปรากฏ	6.900	1.294	ชอบปานกลาง
สี	6.950	1.234	ชอบปานกลาง
กลิ่น	7.250	1.333	ชอบปานกลาง
รสชาติ	7.050	1.504	ชอบปานกลาง
ความชอบโดยรวม	7.050	1.432	ชอบปานกลาง

4.1.3 ทิศทางความพอดีและการยอมรับที่ได้จากอาหารอ่อนชนิดที่ 3 (ผัดคะน้าหมูสับ)

ตารางที่ 8 ทิศทางความพอดีที่ได้จากอาหารอ่อนชนิดที่ 3

คุณลักษณะ	จำนวนคน (ร้อยละ)					Net effect
	ทิศทางความพอดีของอาหารอ่อนชนิดที่ 3					
	น้อยเกินไป	น้อย	พอดี	มาก	มากเกินไป	
ลักษณะที่ปรากฏ	0 (0.00)	3 (15.00)	11 (55.00)	5 (25.00)	1 (5.00)	15.00
สี	0 (0.00)	0 (0.00)	13 (65.00)	7 (35.00)	0 (0.00)	35.00
กลิ่น	0 (0.00)	0 (0.00)	14 (70.00)	6 (30.00)	0 (0.00)	-
รสชาติ	0 (0.00)	6 (30.00)	5 (25.00)	9 (45.00)	0 (0.00)	15.00

หมายเหตุ Net effect = ผลรวมร้อยละความมาก – ผลรวมร้อยละความน้อย

จากตารางที่ 8 พบว่า คุณลักษณะกลิ่นมีค่าความพอดีที่ 70 ส่วนของลักษณะปรากฏ สี และรสชาติ มีค่า Net effect เท่ากับ 15, 35 และ 15 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ระดับการยอมรับที่ได้จากอาหารอ่อนชนิดที่ 3

คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการยอมรับ
ลักษณะปรากฏ	6.750	1.209	ชอบปานกลาง
สี	7.250	1.164	ชอบปานกลาง
กลิ่น	7.150	1.182	ชอบปานกลาง
รสชาติ	6.850	1.663	ชอบปานกลาง
ความชอบโดยรวม	6.500	1.469	ชอบปานกลาง

4.1.4 ทิศทางความพอดีและการยอมรับที่ได้จากอาหารอ่อนชนิดที่ 4 (ปลาทูสดทอด)

ตารางที่ 10 ทิศทางความพอดีที่ได้จากอาหารอ่อนชนิดที่ 4

คุณลักษณะ	จำนวนคน (ร้อยละ)					Net effect
	ทิศทางความพอดีของอาหารอ่อนชนิดที่ 1					
	น้อยเกินไป	น้อย	พอดี	มาก	มากเกินไป	
ลักษณะที่ปรากฏ	0 (0.00)	4 (20.00)	11 (55.00)	5 (25.00)	0 (0.00)	5.00
สี	0 (0.00)	0 (0.00)	11 (55.00)	8 (40.00)	1 (5.00)	45.00
กลิ่น	0 (0.00)	0 (0.00)	11 (55.00)	4 (20.00)	5 (25.00)	45.00
รสชาติ	0 (0.00)	0 (0.00)	8 (40.00)	9 (45.00)	3 (15.00)	60.00

หมายเหตุ Net effect = ผลรวมร้อยละความมาก – ผลรวมร้อยละความน้อย

จากตารางที่ 10 พบว่า คุณลักษณะทั้งหมดของลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ มีค่า Net effect เท่ากับ 5, 45, 45 และ 60 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 ระดับการยอมรับที่ได้จากอาหารอ่อนชนิดที่ 4

คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการยอมรับ
ลักษณะปรากฏ	6.250	1.743	ชอบเล็กน้อย
สี	6.650	1.599	ชอบปานกลาง
กลิ่น	7.100	1.410	ชอบปานกลาง
รสชาติ	6.400	2.062	ชอบปานกลาง
ความชอบโดยรวม	6.500	1.732	ชอบปานกลาง

4.2 การทดสอบสมมติฐาน

จากข้อมูลที่ได้จากการให้เกณฑ์คะแนนแบบ Hedonic Scale 9 ระดับ นำมาวิเคราะห์ Nonparametrics ด้วยการทดสอบแบบครัสคัล วอลลิส มีค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยตั้งสมมติฐาน H_0: อาหารอ่อนทั้ง 4 ชนิดที่มีผลต่อคุณลักษณะไม่แตกต่างกันและ H_1 : อาหารอ่อนทั้ง 4 ชนิดที่มีผลต่อคุณลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งได้ผลดังนี้

4.2.1 ชนิดของอาหารที่แตกต่างกันมีผลต่อลักษณะอาหารที่ได้รับ

Descriptive Statistics

Soft Food	N	Median	Mean Rank	Z-Value
ไก่น้ำมันหอย	20	7	44.0	0.79
ปลาทูสดทอด	20	7	35.5	-1.12
ผัดคะน้าหมูสับ	20	7	40.3	-0.04
ผัดฟักทองใส่ไข่	20	7	42.2	0.37
Overall	80		40.5	

Test

Null hypothesis	H_0: All medians are equal		
Alternative hypothesis	H_1: At least one median is different		
Method	**DF**	**H-Value**	**P-Value**
Not adjusted for ties	3	1.51	0.681
Adjusted for ties	3	1.62	0.654

รูปที่ 1 ชนิดของอาหารที่มีผลต่อลักษณะของอาหารที่ได้รับ

จากรูปที่ 1 การทดสอบแบบครัสคัล วอลลิส ชนิดของอาหารทั้งหมด 4 ชนิดที่มีผลต่อลักษณะปรากฏ โดยที่ค่าไม่คิดเฉลี่ยของข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.681 ซึ่งยอมรับ H_0สรุปได้ว่าอาหารอ่อนทั้ง 4 ชนิดที่มีผลต่อลักษณะที่ปรากฏไม่แตกต่างกัน

4.2.2 ชนิดของอาหารที่แตกต่างกันมีผลต่อสีของอาหารที่ได้รับ

Descriptive Statistics

Soft Food	N	Median	Mean Rank	Z-Value
ไก่น้ำมันหอย	20	7.0	40.3	-0.04
ปลาทูสดทอด	20	7.0	36.6	-0.86
ผัดคะน้าหมูสับ	20	7.5	45.5	1.11
ผัดฟักทองใส่ไข่	20	7.0	39.5	-0.22
Overall	80		40.5	

Test

Null hypothesis	H_0: All medians are equal		
Alternative hypothesis	H_1: At least one median is different		
Method	**DF**	**H-Value**	**P-Value**
Not adjusted for ties	3	1.51	0.680
Adjusted for ties	3	1.61	0.657

รูปที่ 2 ชนิดของอาหารที่มีผลต่อสีของอาหารที่ได้รับ

จากรูปที่ 2 การทดสอบแบบครัสคัล วอลลิส ชนิดของอาหารทั้งหมด 4 ชนิดที่มีผลต่อสี โดยที่ค่าไม่คิดเฉลี่ยของข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.680 ซึ่งยอมรับ H_0สรุปได้ว่าอาหารอ่อนทั้ง 4 ชนิดที่มีผลต่อสีไม่แตกต่างกัน

4.2.3ชนิดของอาหารที่แตกต่างกันมีผลต่อกลิ่นของอาหารที่ได้รับ

Descriptive Statistics

Soft Food	N	Median	Mean Rank	Z-Value
ไก่น้ำมันหอย	20	7.5	40.6	0.03
ปลาทูสดทอด	20	8.0	38.8	-0.37
ผัดคะน้าหมูสับ	20	8.0	38.4	-0.46
ผัดฟักทองใส่ไข่	20	7.5	44.1	0.80
Overall	80		40.5	

Test

Null hypothesis	H_0: All medians are equal		
Alternative hypothesis	H_1: At least one median is different		
Method	**DF**	**H-Value**	**P-Value**
Not adjusted for ties	3	0.74	0.863
Adjusted for ties	3	0.81	0.846

รูปที่ 3 ชนิดของอาหารที่มีผลต่อกลิ่นของอาหารที่ได้รับ

จากรูปที่ 3 การทดสอบแบบครัสคัล วอลลิส ชนิดของอาหารทั้งหมด 4 ชนิดที่มีผลต่อกลิ่น โดยที่ค่าไม่คิดเฉลี่ยของข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.863 ซึ่งยอมรับ H_0สรุปได้ว่าอาหารอ่อนทั้ง 4 ชนิดที่มีผลต่อกลิ่นไม่แตกต่างกัน

4.2.4 ชนิดของอาหารที่แตกต่างกันมีผลต่อรสชาติอาหารที่ได้รับ

Descriptive Statistics

Soft Food	N	Median	Mean Rank	Z-Value
ไก่น้ำมันหอย	20	7	41.1	0.14
ปลาทูสดทอด	20	7	35.4	-1.13
ผัดคะน้าหมูสับ	20	7	39.1	-0.32
ผัดฟักทองใส่ไข่	20	8	46.4	1.30
Overall	80		40.5	

Test

Null hypothesis	H_0: All medians are equal		
Alternative hypothesis	H_1: At least one median is different		
Method	**DF**	**H-Value**	**P-Value**
Not adjusted for ties	3	2.31	0.510
Adjusted for ties	3	2.40	0.493

รูปที่ 4 ชนิดของอาหารที่มีผลต่อรสชาติของอาหารที่ได้รับ

จากรูปที่ 4 การทดสอบแบบครัสคัล วอลลิส ชนิดของอาหารทั้งหมด 4 ชนิดที่มีผลต่อรสชาติ โดยที่ค่าไม่คิดเฉลี่ยของข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.510 ซึ่งยอมรับ H_0 สรุปได้ว่าอาหารอ่อนทั้ง 4 ชนิดที่มีผลต่อรสชาติไม่แตกต่างกัน

5. สรุปผลการศึกษา

5.1 การวิเคราะห์เชิงพรรณนา

1. ผัดฟักทองใส่ไข่ควรปรับลดด้านลักษณะปรากฏ และสีของอาหารอ่อนให้น้อยลง แต่ลักษณะปรากฏ สีและความชอบโดยรวมมีระดับการยอมรับอยู่ที่ชอบปานกลาง ส่วนกลิ่นและรสชาติอยู่ในระดับการยอมรับอยู่ที่ชอบมาก

2. ไก่น้ำมันหอยควรปรับรสชาติให้มากขึ้นและคุณลักษณะทั้งหมดมีระดับการยอมรับอยู่ที่ชอบปานกลาง

3. ผัดคะน้าหมูสับควรปรับลดด้านสีของอาหารอ่อนให้น้อยลงและคุณลักษะการยอมรับทั้งหมดอยู่ที่ชอบปานกลาง

4. ปลาทูสดทอดควรปรับลดสี กลิ่นและรสชาติของอาหารอ่อนให้น้อยลงและลักษณะปรากฏอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยส่วนของสีกลิ่นรสชาติ และความชอบโดยรวม อยู่ในระดับความชอบปานกลาง

5.2 การทดสอบสมมติฐาน

จากการทดสอบสามารถวิเคราะห์ทางสถิติโดย Nonparametrics การทดสอบแบบ Kruskal-Wallis Test ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งหมด 4 ปัจจัย ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ มีค่า P-Value เท่ากับ 0.681, 0.680, 0.863 และ 0.510 ตามลำดับ

6. การอภิปรายผล

จากการศึกษาหาปัจจัยของอาหารอ่อนที่มีผลต่อประสาทสัมผัสด้านอาหาร ผลการวิจัยพบว่าการวิเคราะห์เชิงพรรณนาและการทดสอบตามสมมติฐานมีค่ามากกว่า α ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 สรุปได้ว่าปัจจัยของอาหารอ่อนไม่มีความแตกต่างของประสาทสัมผัสด้านอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากใช้วิธีสเกลแบบฮีโดนิก 9 จุด ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของ คุณวิศินี ศุภพิมล ที่พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ ในคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ไส้ขนมลูกชิดจากเศษเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกชิดเชื่อม

7. ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างให้มีความเหมาะสมต่อข้อมูลที่เก็บมากยิ่งขึ้น โดยใช้สูตรคำนวณขนาดประชากรเข้ามาช่วยเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

2. ควรมีการกำหนดกลุ่มตัวอย่างให้มีขอบเขตที่กว้างขึ้น เช่น กลุ่มนักศึกษามหาวิทยาลัยศิลปากร หรือผู้ป่วยภายในของโรงพยาบาลตัวอย่าง เป็นต้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

3. ควรกำหนดชนิดอาหารอ่อนให้มีขอบเขตที่ชัดเจนกว่านี้ เช่น ประเภทผัด, ต้ม, แกง หรือทอด เป็นต้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

4. ควรศึกษาหาข้อมูลอย่างละเอียด มีขอบเขตและทฤษฎีประกอบเป็นแนวทางการดำเนินงานวิจัยก่อนนำมาวิเคราะห์ เพื่อผลจากการวิเคราะห์มีความละเอียดมากขึ้น และเป็นแนวทางในการทำงานวิจัยต่อๆไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณยลชัย จงจิระศิริ อนุญาตและอำนวยความสะดวกในการเข้าไปเก็บข้อมูลสำหรับการทำวิจัยและคุณศิรดา กลิ่นชื่น ที่ให้ข้อมูลที่ เกี่ยวข้องของฝ่ายโภชนาการ เพื่อนำมาทำบทความนี้ และเป็นแนวทางในการทำงานวิจัยต่อๆไป

เอกสารอ้างอิง

[1] วิศินี ศุภพิมล. การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อไส้ขนมลูกชิดจากเศษเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกชิดเชื่อม.(ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาการจัดการอุตสาหการรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2558)

[2] ปิ่นรัตน์ นวชาตธำรง. (2561).การสร้างแบบฟอร์มออนไลน์ ด้วย Google Form. [ออนไลน์]. สามารถเข้าถึงได้จาก : งานพัฒนาระบบสารสนเทศ ศูนย์การเรียนการสอนผ่านเครือข่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ (kmutnb.ac.th) (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 กันยายน 2564)

[3] ปรัชญา พละพันธุ์ และสุทธิพันธุ์ แสนละเอียด. คู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติด้วย Minitab ฉบับมืออาชีพ.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : Stat Minitab Sample.pdf (serazu.com)

[4] อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา. การใช้โปรแกรมมินิแทบเพื่อออกแบบการทดลอง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : บทความวิชาการ-การใช้โปรแกรมมินิแทบเพื่อออกแบบการทดลอง-Dr.Joe_.pdf (bru.ac.th) (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 กันยายน 2564)

[5] การวิเคราะห์ความแปรปรวน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : การวิเคราะห์ค่าสถิติเบื้องต้น (udontech.ac.th) (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 กันยายน 2564)

[6] สุพัฒน์ สุกมลสันต์. (2560). การเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบรวมเพื่อการวิจัย[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : supitkc,default.groups.name.manager,3.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 กันยายน 2564)

[7] ปวีณา มีธง. (2545). ลักษณะสัมผัสของอาหาร.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.charpa.co.th/bulletin/food texture (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 กันยายน 2564)

[8] จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์. เอกสารประกอบการเรียนการสอนรายวิชาการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. (การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design).

Quality Plan's Parameters Visibility Application Development with Scrum Methodology of Agile

Siribhop Yooyongchuen[1*], Natt Leelawat[1,2], and Jing Tang[2,3]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
[2] Disaster and Risk Management Information Systems Research Unit, Chulalongkorn University
[3] International School of Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: 6370301921@student.chula.ac.th*

Abstract

A study company is an energy drink manufacturer located in Ayutthaya Province, Thailand. This company managed software projects with a waterfall methodology, which had the main problem in making user-hostile applications. Therefore, this study sets the purpose of proving the proposed hypothesis that the Scrum methodology is more suitable for software projects than the Waterfall method in project management and the premise of the combination of the Technology Acceptance Model (TAM) and the Theory of Plan Behavior (TPB). Therefore, the application was developed using the Scrum methodology. After the implementation, the questionnaire was developed, and the survey was conducted with the users. The analysis showed three statistically insignificant ways of the model with a confidence interval of 95 percent. In addition, there was the subjective norm to behavioral intention, planned behavior control to behavioral intention, and attitude towards behavioral intention. Then, the semi-structured interview session was held. Eighty-eight percent of samples believed that Scrum was suitable for software project management. Moreover, the findings show the advantages and disadvantages of Scrum. The most crucial benefit of Scrum was the flexibility of the project when user changed their requirements. At the same time, the biggest drawback was more workload when managing the software project by Scrum methodology.

Keywords: Scrum, Technology Acceptance Model, Theory of Planned Behavior

1. Introduction

Many companies in Thailand used to face the problem that the staff in the companies resist using the new technology. Despite the expensive software or programs, that investment will be wasted when no one uses them or use them with inefficiency. In addition, many companies have developed the software by using the Waterfall Model management. Although this method of management can specify the software delivered date clearly, there are many problems with using Waterfall Model with software development.

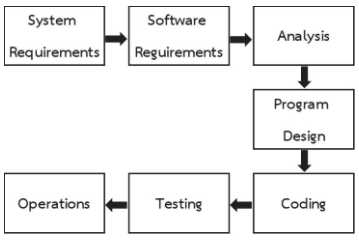


Figure 1 Steps of Waterfall Model [1].

The project management with Waterfall Model separated workflow that looks like the production line as shown in Figure 1. In addition, each step of work is clearly stated, so the customers or end-users can try to use the software after the project has been implemented already. If the users are not satisfied with this software, this project must be revised from the beginning of the project.

A studied company is an energy drink manufacturing located in Ayutthaya Province, Thailand used to have the same problems which this company used to invest the software for helping the staff for a million Thai Baht but the staff did not use that software because they feel hard to use it did not know the usefulness of this software.

This study was separated into two sections. First, this study had the hypothesis that the new technology used in the company must follow the Technology Acceptance Model and Theory of Planned Behavior by using the questionnaire.

Second, the team developed new software that users can input the data via mobile and store the data in the data center. These data will be shown in the Statistical Process Control dashboard and it will notify the users when the value was out of specification tolerance. The software project management followed the Scrum methodology. The hypothesis is proposed that the project management with Scrum methodology is likely to be better than the Waterfall in software project management. Thus, this study seeks to determine it by comparing Scrum and Waterfall methodologies by having a semi-structured interview session with the developer team and users.

2. Literature Review

There are many software development life cycle models. Still, Agile is very popular in software project management because the customer could see the project progress every partially incremented software delivery and feedback to the project management in that part of the software [2]. Hence, this strategy affected customer satisfaction in faster development and lower defect rates.

2.1 Scrum

There are many methodologies of Agile. This study selected the Scrum methodology which is widely used in software management projects [3]. The project management uses Scrum as a methodology of Agile to reduce the complexity of the problems, reduce the step of work processes, and be able to work with flexibility. Although the position in business was classified as the level of work, people in the team must help to do the project in Scrum methodology [4].

There are three leading positions in Scrum. First, the product owner has the primary responsibility of evaluating every process in the project and arranging the priorities of work. In addition, this position must assign each work task to everyone in the team. Second, a scrum master is a person who solves every problem in the project. That made the process flow without interruption and focused on working better. The last position was software developers. Everyone in the project team must work with self-management without leading anyone. Moreover, this team consists of all developer positions such as designer, programmer, and tester. So, one project team can do the project from the beginning date until the project ends.

The beginning step of Scrum was collecting the user requirements, but these requirements were not necessary to come out from the customers. They could add or remove some requirements at the end of a sprint. The Product Owner transformed the requirements of the customer into the User stories and arranged the priorities of tasks. This story described the requirement that is mentioned type of development, what technologies that customers need, and the benefits of this requirement. Then, the planning sprint meeting was organized at least 1 time per month. This meeting was made to plan what functions or products will be sent to the customer and how to make those functions or products. The next step was Sprint backlog. The team develops the product or software in the sprint phase. This sprint phase had a short daily meeting to update the progress and took some feedback from the team called Daily Scrum Meeting. The period of each sprint must not be more than 30 days. The iteration happened between the phase of backlog and sprint. Finally, the iteration was ended with the satisfaction of customers. A review of the sprint meeting will be organized after the sprint phase. The purpose of this meeting was to send the developed function or task and get feedback and more requirements from customers. The final step was Sprint Retrospective. This step was to send all functions and products of each sprint to the customers. If the customers were not satisfied with something, the product owner must re-do the Product Backlog and do every step again. The summary diagram is shown in Figure 2.

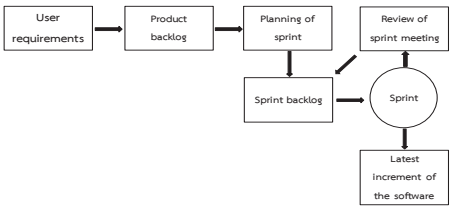


Figure 2 Steps of Scrum Methodology [5].

There were many advantages to Scrum. A big project could manage easily by this methodology. The efficiency of development was very high because Scrum Master could eliminate the problem of project duration. From the daily Scrum meeting, the team knew the progress and problem of development. In addition, the team always receives feedback from customers after the Sprint phase and improved that product or software until the customer was satisfied.

2.2 Technology Acceptance Model (TAM)

Many companies had the problem that the companies invested in the new technology to increase the work performance. Still, this investment had no return because the user did not use that technology [6]. Some companies either hire a new technology trainer to train their users or make the KPI of using the latest technology. However, some users still could not use this technology. The Technology Acceptance Model (TAM) was the primary theory that provides the users' understanding to accept or decline the technology.

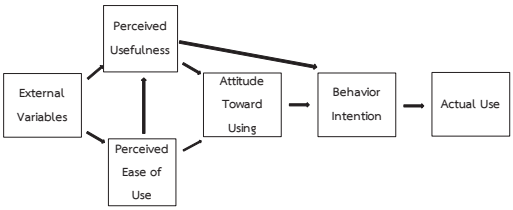


Figure 3 Technology Acceptance Model [7].

2.3 Theory of Planned Behavior (TPB)

Theory of Planned Behavior (TPB) mentions the behavior of humans was influenced by behavioral intention [8]. This intention consisted of three factors. There were attitude toward act or behavior, subjective norm, and perceived behavioral control. Especially perceived behavioral control directly affected the behavior of humans.

Therefore, this theory could be integrated with the TAM because they contain the common variables: attitude toward act or behavior and behavior intention.

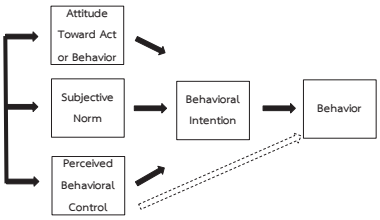


Figure 4 Theory of Planned Behavior [8].

3. Research Methodology

There were three main tasks of research methodology. Firstly, the application is developed using the project management by Scrum methodology. Then, an analysis of the combination of TAM and TPB is conducted. After that, users are requested to participate in the semi-structured interview as the last step.

3.1 Application Developing

Generally, users want the application to input the values of the quality plan's parameters on the tablets in front of each machine and show all parameters in terms of the statistical process control graph (SPC) on the dashboard. The product owner then transforms the user requirement into product backlogs, including electronic forms, data centers, SPC dashboards, and automatic notifications.

Electronic forms were used for replacing the paper-based records that machine operators wrote the value of each parameter. Therefore, the study designed the data storage or data center to store those values in real-time. After that, the values in the data center were shown in the dynamic dashboard illustrated those values in the SPC graph. However, if some parameters were upper or lower than the specification, the team designed some automated system that could automatically notify the quality team to hold the finished goods.

The planning of the sprint was depending on the satisfaction of the users. Therefore, each sprint had a workflow design, gap analysis, application development, system integration test, user acceptance test, and readiness review. The user acceptance test was conducted with the business project manager. If a business project manager would like to change, the team must sprint the same backlog until the business project manager feels satisfied. Finally, the team delivered the backlog on the production server.

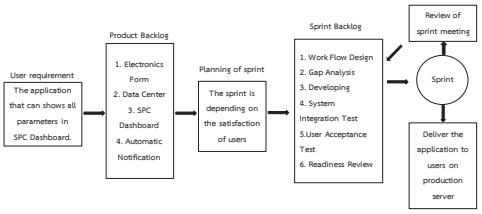


Figure 5 Application Development with Scrum Methodology Concept.

3.2 Combination of TAM and TPB

The developed questionnaire was used to survey and prove the hypothesis that the new technology usage in company must follow the Technology Acceptance Model and Theory of Planned Behavior. There were two departments of samples. The first ones were the machine operators who were responsible for inputting the machine parameters via electronic forms. Other ones are the quality assurance team who monitored the automatic dashboard. This questionnaire was adapted from Abu-Dalbough [9] and Marie Pierre Gagnon [10]. The adapted questionnaire with a 5-point Likert

scale was designed to receive the result of how strongly subjects agreed or disagreed with that statement. Each questionnaire consists of questions related to the perceived application benefits, perceived ease of use, the intention to use the application, the subjective norm for the application, the attitude to use the application, perceiving the behavior control, and the behavior of application usage. Those mentioned parameters were referred to the combination of the TAM and TPB.

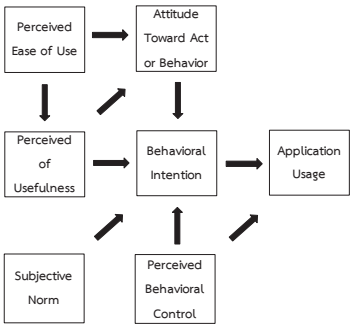


Figure 6 The Combination of TAM and TPB.

Scrum master sent the questionnaires to all staff in those two departments (i.e., machine operators and quality assurance team) for the survey. In total, there were 135 machine operators and 13 quality assurance team members who responded to the questionnaire survey.

3.3 Waterfall methodology vs. Scrum methodology

The comparison method was based on the semi-structured interviews with the users and the team project. There were nine users of the electronics form, three users of the dashboard, and five persons in the team who were interviewed. Those samples had an experience of software implementation with the Waterfall and Scrum methodologies.

4. Results

This study divides the result into two parts. The first part is the result of the questionnaire. Another one is the result of the semi-structured interviews about comparing Scrum and Waterfall methodologies.

4.1 Application Usage Questionnaire

The questionnaire with the complete answers was submitted in a total of 100 responses (67.57 percent response rate). The responses were from machine operators (88 persons) and the quality assurance team (12 persons). The analysis of the model consistency of new application usage in the factory was conducted using SmartPLS program version 3.3.7 as shown in Figure 6.

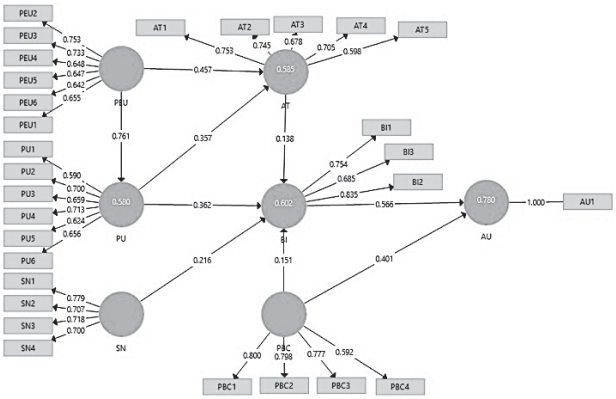


Figure 7 Confirmatory Factor Analysis Model.

At confidence interval 95 percent (alpha = 0.05), the *p*-value, which was less than 0.05, was significant. There were behavioral intention to application usage, planned behavior control to application usage, perceived ease of use to attitude towards, perceived ease of use to perceived usefulness, perceived usefulness to behavioral intention, and perceived of usefulness to behavioral intention.

4.2 Semi-Structured Interviews

Firstly, the interview started with comparing Scrum and Waterfall methodologies in project management. The samples agreed that Scrum was more suitable than the Waterfall project management for software-related projects because the users could give feedback in every sprint. However, due to changing users' requirements many times, two-fifth of the development team preferred the Waterfall project management. Therefore, 88 percent preferred Scrum project management for the software project.

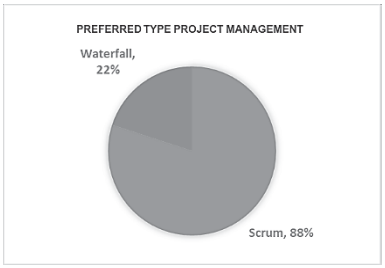


Figure 8 Samples who Preferred the Suitable Project Management for Software Project.

Eighty-three percent of the interviewees strongly agreed that getting feedback from the user in every sprint was necessary for

project management. The users could get suitable software or application. Most samples preferred to update progress meetings weekly rather than daily meetings. Seventy-six percent agreed to have an update progress meeting, while 53 percent agreed to have a daily Scrum meeting. Many people agreed to have the daily meeting because they would like to share their progress and the encountered problems while others feel bored to have the meeting every day. Because Scrum project management needs the cooperation of stakeholders, 76 percent believed that this type of project management could increase the collaboration between the development team and other departments.

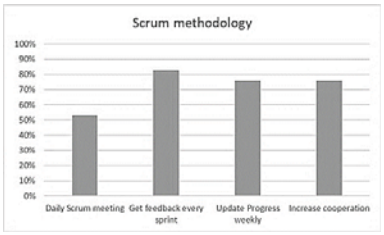


Figure 9 Samples who Agreed to each Methodology of Scrum.

There are many advantages of Scrum project management. This study mentioned four major advantages of Scrum. The first advantage was reducing each task or backlog. 88% of the interviewees agreed with this advantage. Speeding up the project was the second-ranked advantage. However, only 35% agreed to this advantage because the project was delayed from the changing of users' requirements and users' feedback. Finally, all samples agreed that Scrum was more flexible than Waterfall methodology when users changed their requirements because the team must develop the software or application until the users were satisfied. Therefore, 70% felt the interface of the application was friendlier when compared with the other application management of the Waterfall project management.

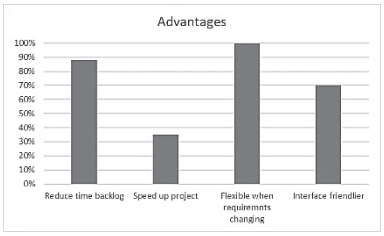


Figure 10 Samples who Agreed to the Advantage of Scrum.

From developing the application until users were satisfied, the stakeholder felt more pressure than the old-styled management approach. 65% of the samples felt more pressure when managing this project with Scrum. In addition, 17% believed that the project management by Scrum made more conflict between the team. 94% agreed that Scrum methodology increased more workload to the developing team and the users because users must review and give feedback in every sprint. 87% believed that Scrum project management made the project delay.

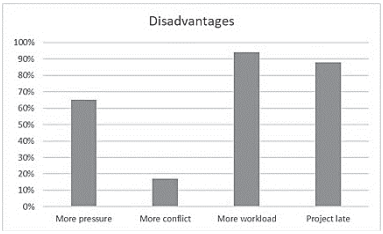


Figure 11 Percentage of Samples who Agreed to the Disadvantages of Scrum.

5. Conclusion

This study developed a new application in a study factory using Scrum methodology. After the project was delivered, the team proved the combination of the TAM and TPB using a questionnaire survey. The analysis showed three insignificant connections of the model. There were subjective norm to behavioral intention, planned behavior control to behavioral intention, and attitude towards behavioral intention, while the rest of the model was statistically significant.

To find the suitable software project management methodology, a semi-structured interview was conducted to compare the Scrum and Waterfall methodologies. All the users and some members of the developing team preferred Scrum to the other metrologies of software project management. The priority of Scrum's advantage was flexibility when the user changed their requirements, reducing the time of backlog, the friendlier interface, and speeding up the project, respectively. On the other hand, the pain of Scrum includes more workloads, affecting the time of the project, more pressures, and more conflict in the team and other departments, respectively.

References

[1] Chathmini Jayathilaka, Waterfall Methodology, Retrieved from https://medium.com/@chathmini96/waterfall-vs-agile-methodology-28001a9ca487, (30 July 2020)

[2] Tena Žužek, Adopting Agile Project Management Practices in Non-Software SMEs: A Case Study of a Slovenian Medium-Sized Manufacturing Company, MDPI, Vol.12.2, 2020

[3] Emily Finlay, Your Guide to Agile Project Management with Scrum, Retrieved from https://blog.mindmanager.com/blog/2021/04/06/agile-project-management-with-scrum, (1 September 2021)

[4] Anita Friis Sommer, Agile Product Development Governance – On Governing the Emerging Scrum/Stage-Gate Hybrids, IFIP Advances in Information and Communication Technology, Vol.1.2, 2011

[5] Eleni Zikopi, A case study research on Scrum Framework, 2019

[6] Sheetal Sharma, Agile Processes and Methodologies: A Conceptual Study, International Journal on Computer Science and Engineering, Vol.1.4, 2012

[7] Jade Miller, Digiral Library Adoption and the Technology Acceptance Model: A Cross-Country Analysis, EJISDC, Vol.1.3, 2010

[8] Icek Ajzen, The Theory of Planned Behavior, Organizational Behavior and Human Decision Processes, Vol.1.4, 1991

[9] Hussain Mohammad Abu-Dalbouh, A Questionnaire Approach Based on Technology Acceptance Model for Mobile Tracking on Patient Progress Applications, Journal of Computer Science 9, Vol.6.5, 2013

[10] Marie Pierre Gagnon, Using a Modified Technology Acceptance Model to Evaluate Healthcare Professionals' Adoption of a New Telemonitoring System, Telemedicine Journal and e-Health, Vol.1.1, 2012

Appendix

Research Items

Table 1 Adapted questions

Items	Adapted from
PEU 1,2,3,4,5,6 PU 1,2,3,4,5,6 BI 1,2,3 AU 1	Hussain Mohammad Abu-Dalbouh [9]
SN 1,2,3,4 AT1,2,3,4,5 PBC 1,2,3,4	Marie Pierre Gagnon [10]

Perceived Ease of Use (PEU)

PEU 1 The system can input easily.

PEU 2 The system can conduct the result easily.

PEU 3 The system can display directly and clearly.

PEU 4 The system can be evaluated quickly.

PEU 5 The system is easy to learn and easy for first using person.

PEU 6 The system is easy to export the data.

Perceived of Useful (PU)

PU 1 The system can show the information real time.

PU 2 The system has completely information and can use to analyze quickly.

PU 3 The system alert real time if the processing area have some problem.

PU 4 The system help to know the problem immediately.

PU 5 The system help to solve the problem in processing area immediately.

PU 6 The system has big data which can be useful in the future.

Subjective Norm (SN)

SN 1 The system is back bone of factory.

SN 2 Many departments must use this system.

SN 3 Have to use the information from this app.

SN 4 The most of information in factory is from this system.

Attitude of Usability (AT)

AT 1 I think I would like to use this system always.

AT 2 I think this system has many data.

AT 3 I think I can know the problem immediately if I use this system.

AT 4 I think this system can help me to solve the problem quickly.

AT 5 I think this system is easy to export the data.

Behavioral Intention to Use (BI)

BI 1 I intend to know the product information.

BI 2 I intend to know the problem and error in the process.

BI 3 I intend to solve the problem in process quickly.

Perceived Behavior Control (PBC)

PBC 1 This system is easy to use.

PBC 2 This system helps to know the problem and error in process quickly.

PBC 3 This system helps to solve the problem immediately.

PBC 4 This system has the truly and precisely data.

Application Usage (AU)

AU 1 I would like to use this application as a routine work.

การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกมาใช้ในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Feasibility Study of Piezoelectric Technology in Thammasat University

ไตรรัตนา วงค์คร้าย[1] อนินทยา คำกันยา[1*]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: trairattana.wong@dome.tu.ac.th*

Trairattana Wongkrye[1], Anintaya Khamkanya[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Thammasat School of Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University
E-mail: trairattana.wong@dome.tu.ac.th*

บทคัดย่อ

ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการในประเทศไทยนั้นโดยมากเป็นการผลิตจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน ซึ่งจะส่งผลให้ราคาค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างเลี่ยงไม่ได้ นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลยังก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอีกด้วยเช่นกัน ปัจจุบันจึงมีการวิจัยพัฒนาพลังงานทางเลือกที่หาได้จากธรรมชาติซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม รวมทั้งนี้ยังมีพลังงานทางเลือกอีกประเภทหนึ่งซึ่งกำลังเป็นที่สนใจ คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดจากการก้าวเดินของคนหรือพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric technology) ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจในต่างประเทศแต่ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ในการนำเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกของบริษัท PAVEGEN มาใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยกำหนดกรณีศึกษาคือพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต โดยการศึกษาเริ่มจากการสำรวจพื้นที่ในมหาวิทยาลัย และคัดเลือกจุดการติดตั้งที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการก้าวเดิน จากนั้นทำการออกแบบการวางระบบเพียโซอิเล็กทริกเพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้สูงสุด และทำการศึกษาข้อมูลจำนวนผู้สัญจรผ่านจุดติดตั้ง เพื่อนำไปคำนวณเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ จากการศึกษาพบว่า ชุดอุปกรณ์เพียโซอิเล็กชุดเริ่มแรก ต้องใช้เงินลงทุน 1,614,600 บาท มีอายุการใช้งาน 20 ปี ต้องการพื้นที่ติดตั้ง 8.14 ตารางเมตร คาดว่าจะผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ยปีละ 114,819 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นเงิน 595,535 บาท ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการเท่ากับ 3.27 ปี และมีอัตราผลตอบแทนในการลงทุน 34.75% ซึ่งนับว่าเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการผลิตไฟฟ้าที่สะอาดและยั่งยืน

คำสำคัญ: เทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริก, การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ, พลังงานทางเลือก, พลังงานสะอาด, พลังงานยั่งยืน

Abstract

Prices of fossil fuel, the main source of power generation in Thailand, have increased recently, leading to inevitably increasing electricity costs and augmented pollution problems. To resolve this issue, considerable research has been done and alternate energy source technology developed and introduced to the market. Piezoelectric technology is a dominant technology for harvesting energy created from human walking steps and then converted into electricity. A feasibility study projects and implementation of this technology were accomplished internationally. However, it is still limited in the domain of Thailand. Therefore, this paper aims to conduct the feasibility study of implementing the Piezoelectric system from PAVEGEN in Thammasat University, Rangsit Center. First, potential locations were explored for installing the system and designing the arrangement of piezoelectric pads to maximize energy harvested at the installation site. Pedestrian numbers and behavior at the selected location were observed to estimate the electricity generated annually. The investment cost for piezoelectric system starter kits lasting twenty years would be 1,614,600 baht. Area size required of the system installation is 8.12 m^2. The result from the feasibility study suggests that the estimated internal rate of return and payback period are 34.75% and 3.27 years, respectively. Thus, implementation of the Piezoelectric system at Thammasat University seems to be an attractive solution for producing clean and sustainable energy.

Keywords: Piezoelectric technology, Feasibility study, Alternative energy, Clean energy, Sustainable energy

1. บทนำ

ในปัจจุบันหลายประเทศเริ่มมีการนำพลังงานที่สามารถหาจากธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มาใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า แนวทางหนึ่งที่กำลังเป็นที่สนใจของการผลิตไฟฟ้าแบบไม่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล คือ การแปลงพลังงานจากการเคลื่อนไหวของคนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากการเคลื่อนที่ของคนในแต่ละก้าวจะทำให้เกิดพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ซึ่งสามารถแปลงพลังงานการเคลื่อนไหวของคนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยการนำแผ่นเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric material) มาใช้ในการเปลี่ยนพลังงานจากการก้าวเดินของคนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาใช้เป็นพลังงานไฟฟ้างานได้ตามปกติ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการฝังเทคโนโลยีไว้ในพื้นเป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อใช้งานภายในอพาร์ทเม้นท์[1] พบว่าพื้นที่บริเวณทางเดินหลัก เป็นพื้นที่ที่มีการก้าวเดินสูงสุด ไฟฟ้าที่ได้จากการติดตั้งภายในอพาร์ทเม้นท์ สามารถให้พลังงานที่ใช้ได้กับอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าได้แก่ หลอดไฟแอลอีดี และเซ็นเซอร์ตรวจจับภายในบ้าน แต่ไม่คุ้มค่ากับการติดตั้งภายในห้องอาศัย และนอกจากนี้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานในระบบการขนส่งสาธารณะในเมือง[2] โดยศึกษาระบบการขนส่งภายในตัวเมืองและประยุกต์ใช้ในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน CTSM พบว่าในการผลิตพลังงานต้องอาศัยการสัญจรจำนวนมากของผู้คน และพบว่ามีความเป็นไปได้ในการติดตั้งในสถานีรถไฟใต้ดินเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ซึ่งผลการศึกษาจากงานวิจัยดังกล่าวสรุปไปในทิศทางเดียวกันว่า แผ่นเพียโซอิเล็กทริกสามารถนำมาสร้างพลังงานสะอาดเพื่อใช้งานได้ หากมีผู้ที่เดินผ่านแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ติดตั้งไว้เป็นจำนวนมาก

เนื่องจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์เป็นมหาวิทยาลัยที่มีการรณรงค์ในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมีการสร้างทางเท้าเพื่อให้นักศึกษาหรือบุคคลทั่วไปสามารถสัญจรได้ ส่งผลให้ให้มีผู้สัญจรบนทางเท้าจำนวนมาก จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้งาน ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงจัดทำเพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกของบริษัท PAVEGEN มาใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยขั้นตอนในการดำเนินงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียดแสดงตามหัวข้อที่ 2 ส่วนผลการศึกษาและข้อสรุปแสดงในหัวข้อที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

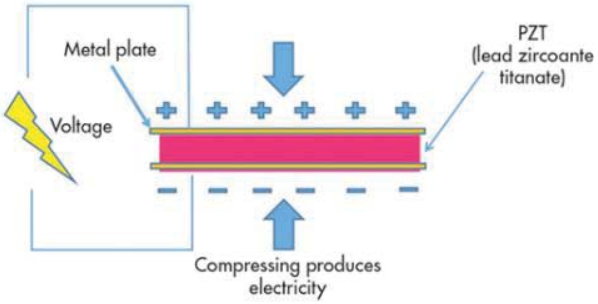
2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการศึกษาเริ่มต้นจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกและทฤษฎีการกำเนิดพลังงานไฟฟ้าของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยได้มีการศึกษาเทคโนโลยีตัวอย่างที่พัฒนาจากเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริก จากนั้นทำการสำรวจและคัดเลือกพื้นที่ติดตั้งชุดอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานและทำการออกแบบแนวทางการติดตั้งชุดอุปกรณ์ลำดับต่อมาได้ทำการศึกษาข้อมูลจำนวนผู้สัญจรในบริเวณที่ทำการศึกษา เพื่อให้ทราบจำนวนผู้สัญจรโดยเฉลี่ยต่อวัน และนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และการวิเคราะห์หาความคุ้มค่าในการติดตั้งเทคโนโลยีดังกล่าว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 เทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริก

2.1.1 ทฤษฎีการกำเนิดพลังงานไฟฟ้าของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

การสร้างพลังงานของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดขึ้นจากแรงกดลงบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริกทำให้เกิดแรงต้านภายใน หรือ ความเค้นทางกล (Mechanical stress) ซึ่งแรงต้านภายในทำให้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเกิดการไหลของขั้วประจุบวกประจุลบและแผ่นโลหะทั้งสองด้านสะสมประจุไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะถูกส่งต่อเข้าตัวขยายสัญญาณเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณแรงดันไฟฟ้า หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปที่อุปกรณ์แปลงสัญญาณจากกระไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสไฟฟ้าทางตรง และแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านการแปลงให้เป็นกระแสไฟฟ้าตรงจะถูกชาจเก็บในแบตเตอรี่ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การแปลงพลังงานทางตรงของเพียโซอิเล็กทริก [3]

2.1.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์เพียโซอิเล็กทริกในตลาด

ในปัจจุบันเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกได้ถูกนำไปใช้ในการผลิตแผ่นปูพื้นที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้ มีบริษัท PAVEGEN และบริษัท Sound power โดยบริษัท PAVEGEN เป็นบริษัทที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีจนได้เทคโนโลยีที่ให้การผลิตไฟฟ้าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและคงที่ในทุกการก้าวโดยประยุกต์เทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกและการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กโดยมีส่วนประกอบเป็นแผ่น PAVEGEN อุปกรณ์ Smart controller แบตเตอรี่สำหรับเก็บพลังงาน และหน้าจอแสดงผลพลังงานที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ มีการนำไปใช้งานจริงในหลากหลายประเทศ ในส่วนของบริษัท Soundpower ซึ่งเป็นบริษัทญี่ปุ่นที่มีการพัฒนาแผ่นปูพื้นผลิตพลังงานไฟฟ้า แต่ด้วยต้นทุนของโครงการเป็นในลักษณะการให้เช่าแผ่นปูพื้นอาจทำให้เกิดต้นทุนที่สูง ในการศึกษานี้จึงได้เลือกใช้เทคโนโลยีของบริษัท PAVEGEN สำหรับศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกมาใช้ภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บริษัท PAVEGEN เป็นบริษัทเทคโนโลยีของสหราชอาณาจักรที่เป็นผู้ผลิตเทคโนโลยีพื้นปูที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ก่อตั้งด้วย Lauren Kemball-Cook ที่ได้แรงบันดาลใจจากสภาวะวิกฤตทางอากาศจึงตั้งเป้าหมายทำการผลิตพลังงานสะอาด โดยผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วย

พลังงานที่เกิดจากการก้าวเดินของคน และสร้างแผ่นจลนศาสตร์ (Kinetic Floor) หรือแผ่น PAVEGEN ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สะอาดด้วยการประยุกต์เทคโนโลยี Piezoelectricity หรือ การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างวัสดุที่มีคุณสมบัติเพียโซอิเล็กทริกที่สามารถแปลงพลังงานจลน์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ เมื่อเหยียบลงบนแผ่น PAVEGEN จะส่งผลให้เกิดพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5 วัตต์ต่อการเหยียบหนึ่งครั้ง แผ่น PAVEGEN มีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปี และแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานประมาณ 5 ปี ทั้งนี้การเปรียบเทียบข้อมูลทางด้านรูปแบบ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ ราคาและอายุโครงการระหว่าง Soundpower และ PAVEGEN สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

2.2 การศึกษาข้อมูลในพื้นที่การติดตั้งชุดอุปกรณ์

2.2.1 การคัดเลือกและออกแบบพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์

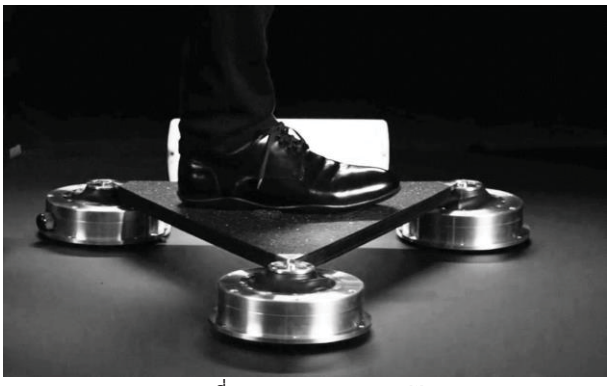
จากการสำรวจเพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ พบจุดติดตั้งที่เหมาะสมคือ บริเวณประตูเสริมเชียงราก 1 ที่เป็นประตูที่สร้างขึ้นเพิ่มเติมเพื่อให้นักศึกษาหรือบุคคลทั่วไปสามารถสัญจรผ่านเข้าออกมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์เชียงราก 1 ซึ่งติดกับบริเวณหอพัก ร้านค้า และศูนย์อาหารยู-สแควร์ และเป็นจุดที่มีสะพานลอยเชื่อมต่อกับหอพักฝั่งตรงข้ามมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จึงมีปริมาณนักศึกษาเดินผ่านเข้าออกประตูเสริมนี้เป็นจำนวนมากในแต่ละวัน และเป็นประตูที่มีการเดินผ่านมากที่สุดในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต โดยประตูเสริมบริเวณเชียงราก 1 เปิดให้สัญจรตั้งแต่เวลา 6.00-20.50 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ครอบคลุมสำหรับผู้สัญจรที่เข้าออกในมหาวิทยาลัย ชุดอุปกรณ์ PAVEGEN ที่ติดตั้งมีขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 4.07 เมตร โดยใช้พื้นที่ทั้งหมด 8.14 ตารางเมตร ซึ่งพื้นที่ติดตั้งมีการเทพื้นคอนกรีตไว้เรียบร้อยแล้วทำให้ไม่มีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงพื้นที่เพื่อติดตั้งระบบ ดังนั้นชุดแผ่น PAVEGEN จะถูกติดตั้งในรูปแบบตามที่แสดงในรูปที่ 3

2.2.2 การศึกษาข้อมูลจำนวนผู้สัญจรในพื้นที่

จากการสำรวจจำนวนผู้สัญจรที่สัญจรผ่านบริเวณประตูเสริมเชียงราก 1 โดยทำการสำรวจจำนวนผู้สัญจร ในวันจันทร์ที่ 10 มกราคม ถึงวันอาทิตย์ที่ 16 มกราคม 2565 ตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 20.50 น. (เวลาเปิดปิดของประตูเสริมเชียงราก 1 ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา) จากการใช้อุปกรณ์กล้องวงจรปิดที่สามารถเก็บข้อมูลทางออนไลน์โดยทำการติดตั้งในบริเวณป้อมยามเชียงราก 1 ที่ใกล้กับประตูเสริมเชียงราก 1 แสดงตามรูปที่ 4 โดยเมื่อศึกษาจำนวนของผู้สัญจรพบว่าในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีการเรียนการสอนออนไลน์ และการทำงานจากบ้าน ทำให้จำนวนผู้สัญจรมีเพียงร้อยละ 25 ของช่วงเวลาปกติ ดังนั้นข้อมูลจำนวนผู้สัญจรที่บันทึกได้จะถูกนำมาเทียบบัญญัติไตรยางค์เพิ่มเติมเพื่อประมาณค่าจำนวนผู้สัญจรเฉลี่ยของสถานการณ์ปกติ (ร้อยละ 100) ดังนั้นจึงสามารถประมาณการได้ว่าจะมีผู้สัญจรที่สัญจรผ่านประตูเสริมเชียงราก 1 เฉลี่ยเท่ากับ 6,291 คนต่อวัน ดังแสดงตามรูปที่ 5

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบของเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกของบริษัทผู้ผลิต [4], [5]

ที่	บริษัท	รูป	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	ราคา	อายุการใช้งาน
1	Soundpower		0.1- 0.3 วัตต์ต่อก้าว	ราคาเช่า 8,414.12 บาท ต่อแผ่นต่อสัปดาห์	20 ปี
2	PAVEGEN		5 วัตต์ต่อก้าว	เริ่มต้นโครงการที่ 1,614,600 บาท	20 ปี



รูปที่ 2 แผ่น PAVEGEN [6]



รูปที่ 3 พื้นที่ติดตั้งและรูปแบบการวางระบบ



รูปที่ 4 ตัวอย่างภาพที่บันทึกในระหว่างการสำรวจจำนวนผู้สัญจร

2.3 การประเมินพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

การเกิดพลังงานไฟฟ้าจากเทคโนโลยี PAVEGEN จะเกิดการเหยียบของผู้สัญจรที่เหยียบลงบนแผ่นปูพื้น เมื่อทราบจำนวนผู้สัญจรที่ผ่านเข้าออกบริเวณประตูเสริมเชียงราก 1 แล้วจึงต้องมีการวิเคราะห์การเดินร่วมด้วยเพื่อประมาณการเกิดจำนวนก้าวของผู้สัญจรซึ่งจะทำให้การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีความใกล้เคียงความเป็นจริงเพิ่มขึ้น

2.3.1 การวิเคราะห์การเดิน (Gait Analysis)

จากการศึกษาเกี่ยวกับการเดินของบุคคลและการวิ่งซึ่งสามารถเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและการประเมินการเคลื่อนไหวของร่างกายที่เกิดจากการเดินสามารถวัดได้ 2 แนวทางคือ

1) การวัดระยะระหว่างเท้า (Step Length) คือ การวัดระยะห่างระหว่างจุดของส้นเท้าข้างที่ก้าวออกไปข้างหน้า และจุดของส้นเท้าของก้าวที่อยู่ด้านหลังในการเดินปกติ โดยจุดของส้นเท้าที่วัดจะเป็นเท้าคนละข้าง ซึ่งจะนับเป็นหนึ่งก้าว แสดงดังรูปที่ 6

2) การวัดระยะความยาวก้าว (Stride Length) คือ การวัดระยะห่างระหว่าง จุดของส้นเท้าข้างที่อยู่ด้านหลัง เทียบกับจุดของส้นเท้าข้างเดิมที่ก้าวข้ามมาอยู่ด้านหน้าของเท้าอีกข้างหนึ่ง โดยจุดของส้นเท้าที่วัดจะเป็นส้นเท้าข้างเดียวกัน ซึ่งจะนับเป็นหนึ่งก้าว

เมื่อต้องการหาจำนวนครั้งของการเดิน (S, ครั้ง) ที่ได้จากการเดินผ่านพื้นที่ที่มีความยาวค่าหนึ่ง (L, เมตร) โดยในการวิเคราะห์จะกำหนดให้ค่าเฉลี่ยความยาวก้าว (S_L , เมตร) ของบุคคลมีค่าประมาณ 2.5 ฟุต หรือ 0.761 เมตร[7] จะสามารถคำนวณ S ได้ตามสมการที่ (1)

$$S = \frac{L \times 2}{S_L} \quad (1)$$

ในการศึกษานี้ กำหนดให้พื้นที่ติดตั้งระบบที่ประตูเสริมเชียงราก 1 ที่ออกแบบไว้มีความยาว 4.07 เมตร จากสมการ (1) จะได้ว่า หากมีผู้สัญจรเข้ามายังบริเวณพื้นที่ติดตั้งระบบจำนวน 1 คน จะมีจำนวนก้าวที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งคนในระบบที่ติดตั้งทั้งหมดประมาณ 10 ก้าว

2.3.2 พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

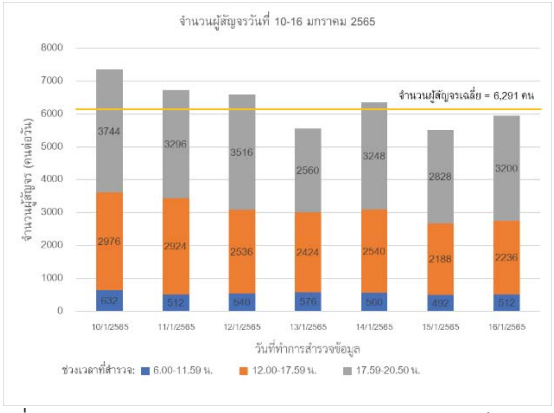
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (e_z , kWh) สามารถคำนวณได้จากผลคูณของจำนวนก้าวที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งคนในระบบที่ติดตั้ง (s, steps); จำนวนผู้สัญจรผ่านระบบที่ติดตั้งต่อช่วงเวลา (N, คน); พลังงานที่เกิดขึ้นจากการเดินหนึ่งครั้งบนแผ่นเพียโซอิเล็กทริก (e_s , Watt); และระยะเวลาที่ศึกษา (t, วัน) โดยแสดงได้ดังสมการที่ (2)

$$e_z = \frac{sNe_s t}{1{,}000} \quad (2)$$

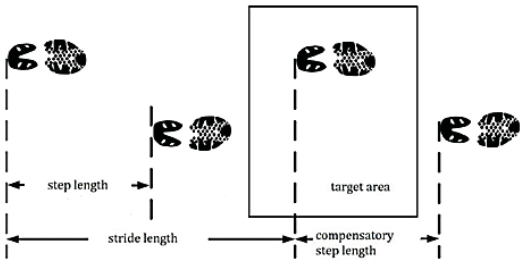
จากการศึกษาพบว่า จำนวนก้าวที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งคนในระบบที่ติดตั้ง คือ 10 ก้าวต่อคน พลังงานที่เกิดขึ้นจากการเดินหนึ่งครั้งบนแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเท่ากับ 5 วัตต์ต่อหนึ่งก้าว จำนวนผู้สัญจรเฉลี่ยต่อวันคือ 6,291 คน ดังนั้นเมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2) จะได้ว่า พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยจากผู้ที่สัญจรทั้งหมดที่สัญจรผ่านประตูเสริมเชียงราก 1 มีค่าเท่ากับ 314.6 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อหนึ่งวัน

2.4 การศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนเทคโนโลยี PAVEGEN

เพื่อให้ทราบถึงความคุ้มค่าในการติดตั้งเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานที่เกิดขึ้นจากการเดินของผู้สัญจร จึงได้ทำการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนในเทคโนโลยี อัตราผลตอบแทนและระยะเวลาในการคืนทุน โดยจะนำข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลผู้สัญจรและนำจำนวนของผู้สัญจรมาคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งเทคโนโลยี PAVEGEN โดยรูปตัวอย่างโครงการที่คาดว่าจะลงทุนแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 5 สรุปผลการสำรวจจำนวนผู้สัญจรผ่านประตูเสริมเชียงราก 1



รูปที่ 6 ระยะระหว่างเท้าและระยะความยาวก้าว [8]



รูปที่ 7 ตัวอย่างโครงการที่คาดว่าจะลงทุน

2.4.1 มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ

ในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ สามารถคำนวณตามสมการที่ 3

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{(B_t - C_t)}{(1+i)^t} \quad (3)$$

โดย

NPV	คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิจากของโครงการ
B_t	คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้
C_t	คือ ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาของโครงการในปีที่ t
n	คือ อายุของโครงการ
i	คือ อัตราลดค่า (Discount rate)

2.4.2 อัตราผลตอบแทนภายใน

$$0 = -CF_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (4)$$

โดย

IRR	คือ อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน
CF_0	คือ เงินลงทุนในโครงการ
CF_t	คือ กระแสเงินสดสุทธิในแต่ละปี
t	คือ อายุของโครงการ

2.4.3 ระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Period)

$$PP = \frac{CF_0}{CF_{avg}} \quad (5)$$

โดย

CF_0	คือ เงินลงทุนในโครงการ
$CF_{avg.}$	คือ กระแสเงินสดสุทธิเฉลี่ยในแต่ละปี

ในการคำนวณต้นทุนของพลังงานที่ประหยัดเป็นการคำนวณจากพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการโดยคิดจากค่าไฟฟ้าเท่ากับ 5 บาทต่อหน่วย (EC; Energy Charge, บาทต่อ kWh) ซึ่งเป็นค่าไฟฟ้าจากการประมาณการโดยเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบโดยรวมค่าดำเนินการและภาษี และอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานร้อยละ 0.4478 ตามเอกสารประชาสัมพันธ์ค่าไฟและค่า Ft พฤษภาคม-สิงหาคม 2560 ของคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน แสดงในตารางที่ 2

$$B_t = e_z \times EC \quad (6)$$

2.4.4 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

ในส่วนของการลงทุนในโครงการเทคโนโลยีของบริษัท PAVEGEN มีการนำต้นทุนของโครงการที่มาพร้อมหน้าจอแสดงข้อมูล (Data Screens) ที่ขนาด 5 ตารางเมตรโดยคิดจากราคาเริ่มต้นประมาณ 36,000 ปอนด์หรือ 1,614,600 บาท โดยอ้างอิงอัตราแลกเปลี่ยน ณ วันที่ 6 พฤศจิกายน 2564 (1 ปอนด์ เท่ากับ 44.85 บาท) โดยต้นทุนของโครงการดังกล่าว ทางบริษัท PAVEGEN มีการรวมค่าติดตั้งการขนย้าย และการซ่อมบำรุงในระยะ 5 ปีแรกของการติดตั้งและหลังจากนั้นคิดค่าซ่อมบำรุง ซึ่งคำนวณค่าใช้จ่ายต่อปีจากเปอร์เซ็นต์ของมูลค่าทรัพย์สินทดแทนโดยคิด 5 เปอร์เซ็นต์[9] เท่ากับ 80,730 บาทต่อปี

ตารางที่ 2 ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดและค่าใช้จ่ายในการของโครงการปีที่ 0-20

ปีที่	ค่าไฟฟ้าฐาน* (บาท/หน่วย)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh)	ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)
0	5.0000	-	-	1,614,600	-1,614,600
1	5.0000	114,819	574,093	0	543,633
2	5.0224	114,819	576,663	0	517,095
3	5.0449	114,819	579,246	0	491,851
4	5.0675	114,819	581,839	0	467,841
5	5.0675	114,819	581,839	0	443,018
6	5.0902	114,819	584,445	80,730	363,184
7	5.1129	114,819	587,062	80,730	345,701
8	5.1358	114,819	589,690	80,730	329,059
9	5.1588	114,819	592,331	80,730	313,217
10	5.1588	114,819	592,331	80,730	296,598
11	5.1819	114,819	594,983	80,730	282,318
12	5.2051	114,819	597,647	80,730	268,724
13	5.2285	114,819	600,323	80,730	255,783
14	5.2519	114,819	603,011	80,730	243,465
15	5.2754	114,819	605,711	80,730	231,740
16	5.2990	114,819	608,424	80,730	220,578
17	5.3227	114,819	611,148	80,730	209,953
18	5.3466	114,819	613,885	80,730	199,839
19	5.3705	114,819	616,633	80,730	190,212
20	5.3945	114,819	619,394	80,730	181,048
	รวม	2,296,371	11,910,699	2,825,550	4,780,257

หมายเหตุ:

* ค่าไฟฟ้าฐานคูณอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานร้อยละ 0.4478

3. การศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนเทคโนโลยี PAVEGEN

จากการศึกษาหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งเทคโนโลยี PAVGEN พบว่าบริเวณประตูเสริมเชียงราก 1 ซึ่งเป็นจุดที่มีการสัญจรทางเท้าเพื่อเข้าออกมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์มากที่สุดและการวิเคราะห์หามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ ในส่วนของอัตราลดค่าเท่ากับ 5.603% และเมื่อทำการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 4,780,257 บาท อัตราผลตอบแทนในการลงทุน เท่ากับ 34.75% และระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการเท่ากับ 3.27 ปี ในการลงทุนในเทคโนโลยี PAVEGEN นี้มีความคุ้มค่าในด้านของการเงินเนื่องจากสามารถคืนทุนได้ภายในช่วงของอายุการใช้งานของเทคโนโลยี โดยในการศึกษาได้ใช้ค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงสูงสุด และในการศึกษาดังกล่าวเป็นการประมาณการจำนวนผู้สัญจรที่คาดว่าจะเกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ดีการศึกษานี้เป็นเพียงศึกษาในด้านของพื้นที่และด้านการเงินซึ่งไม่ครอบคลุมในด้านของความเป็นไปได้ทั้งหมด ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของด้านการตลาดและด้านเทคนิค

นอกจากนี้ หากเกิดกรณีที่มีจำนวนผู้สัญจรลดลง ดังตารางที่ 3 โดยคำนวณที่ 25%, 50%, และ 75% โครงการจะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนและระยะเวลาในการคืนทุนเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 การประมาณพลังงานไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นในสถานการณ์ปกติ

เปอร์เซ็นต์จานวนผู้สัญจร (%)	จานวนผู้สัญจรที่ผ่านระบบที่ติดตั้ง (คนต่อวัน)	จานวนผู้สัญจรที่ผ่านระบบที่ติดตั้ง (คนต่อปี)	พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด (kWh)	ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ใน 20 ปี (บาท)
25	1,573	574,093	28,705	1,766,725
50	3,146	1,148,186	57,409	4,744,400
75	4,719	1,722,279	86,114	7,399,154
100	6,291	2,296,371	114,819	10,376,829

ตารางที่ 4 การประมาณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนและระยะเวลาคืนทุนที่อาจเกิดขึ้นในสถานการณ์ที่มีจำนวนผู้สัญจรลดลง

เปอร์เซ็นต์จานวนผู้สัญจร (%)	จำนวนผู้สัญจรที่ผ่านระบบที่ติดตั้ง (คนต่อปี)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิในปีที่ 20 (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)	ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
25	574,093	-475,482	1.03%	19.19
50	1,148,186	1,276,431	14.82%	7.15
75	1,722,279	3,028,344	25.18%	4.58
100	2,296,371	4,780,257	34.75%	3.27

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและออกแบบแนวทางการนำแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ผลจากการศึกษาพบว่า การลงทุนในโครงการนี้มีผลตอบแทนที่น่าสนใจทั้งทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม โดยปัจจัยที่สำคัญในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกคือจำนวนผู้สัญจรผ่านระบบ ดังนั้น ระบบจึงควรติดตั้งในบริเวณที่มีความหนาแน่นของการสัญจรสูง จึงจะเกิดความคุ้มค่าในการลงทุน นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาแนวทางการประยุกต์ทฤษฎีการวิเคราะห์การเดินมาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะเก็บเกี่ยวได้จากระบบ ซึ่งทำให้สามารถประมาณการพลังงานไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นจากระบบได้สมจริงกว่างานวิจัยอ้างอิง งานวิจัยในอนาคตอาจพิจารณาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของจำนวนแผ่นเพียโซอิเล็กทริกสำหรับเก็บเกี่ยวพลังงานที่จะใช้ติดตั้งในพื้นที่ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าที่สะอาดและยั่งยืน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] Elhalwagy, A. M., Ghoneem, M. Y. M., & Elhadidi, M. (2017). Feasibility study for using piezoelectric energy harvesting floor in buildings' interior spaces. Energy Procedia, 115, 114-126.

[2] Cabrera, M. A. S., & Barrientos, A. H. (2020). Feasibility Study for Using Energy- Harvesting Floor in Urban Public Transportation System: Case of Subway Stations. Journal of Electrical Power & Energy Systems, 4(1), 11-21.

[3] Carmen Emily Yang (2016). Direct Piezoelectric Effect [Digital image] . From https: / / www. electronicdesign. com/ power-management/ article/ 21801833/ what-is-the-piezoelectric-effect (วันที่สืบค้นข้อมูล **9** กันยายน 2564)

[4] Global Energy Harvest Co (2006). Vibration power generation. From https://www.soundpower.co.jp/work/vibration.html (วันที่สืบค้นข้อมูล **5** กันยายน 2564)

[5] Pavegen Systems Ltd. Pavegen Introduction Brochure. From https://www.pavegen.com/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 7 กันยายน 2564)

[6] Kim Megson (2016). UK company's energy-generating flooring launches in the US [Digital image] . From https: / / www. leisureopportunities. co. uk/ news/ Energy-generating-flooring-Pavegen-kinetic-energy-design-technology-renewable-energy/327022

[7] Kim, J. W., Jang, H. J., Hwang, D. H., & Park, C. (2004). A step, stride and heading determination for the pedestrian navigation system. Journal of Global Positioning Systems, 3(1-2), 273-279.

[8] Liu, L. W., Lee, Y. H., Lin, C. J., Li, K. W., & Chen, C. Y. (2013). Shoe sole tread designs and outcomes of slipping and falling on slippery floor surfaces. PLoS One, 8(7), e68989.

[9] Thomas, D. (2018, September). Advanced maintenance in manufacturing: costs and benefits. In Annual conference of the PHM society. September (pp. 24-27).

[10] จิรรัตน์ ธีระวราพฤกษ์. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.2555

[11] ศันศนีย์ รักไทยเจริญชีพ. วัสดุเพียโซอิเล็กทริก. สำนักเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการ ข้อมูลจาก https://www.dss.go.th/images/st-article/ct-10-2555-pieso.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล **31** สิงหาคม 2564)

[12] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. เอกสารประชาสัมพันธ์ค่าไฟและค่า Ft พฤษภาคม-สิงหาคม 2560 ข้อมูลจาก http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/News/26512017095154 เอกสารประชาสัมพันธ์ค่าไฟฟ้าและค่าFtพ.ค.-ส.ค.60.PDF (วันที่สืบค้นข้อมูล **7** กุมภาพันธ์ 2565)

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรม

Approaches to Improvement The Efficiency of Innovative Product Development Process

นิพนธ์ เทียมปาน
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: lekano.nipon@gmail.com

Nipon Tiempan
Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: lekano.nipon@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยสนับสนุนกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรม และสร้างข้อเสนอกระบวนการการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรมของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรมภายในบริษัทได้อย่างยั่งยืน โดยการเก็บข้อมูลโดยใช้วิธีการศึกษาเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ การรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ และด้วยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interview) จากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัท ที่เป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง โดยกรอบแนวคิดการประเมินผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ผู้บริหารของบริษัทกรณีศึกษาให้การสนับสนุนมุ่งเน้น การวางกลยุทธ์ให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ วัฒนธรรมสู่การเป็นองค์กรนวัตกรรม และการจัดให้มีรูปแบบการทำงานร่วมกันระหว่างสายงาน อีกทั้งการจัดสรรทรัพยากรให้เพียงพอ ผู้วิจัยพบช่องว่างในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรม คือ กระบวนการการใช้ความคิดสร้างสรรค์สู่การสร้างนวัตกรรม กระบวนการสร้างนวัตกรรม รวมถึงการจัดการนวัตกรรมที่มุ่งเน้นลูกค้าและตลาด ทางผู้วิจัยจึงนำเสนอกรอบการทำงานการสร้างผลิตภัณฑ์นวัตกรรมที่เรียกว่า “The Fugle Innovation Process” ที่เป็นกรอบการทำงานที่แสดงเห็นถึงกระบวนการทำงานตั้งแต่ การชี้บ่งแนวคิด การประเมินแนวคิด การพัฒนาแนวคิดสู่การทำให้เกิดขึ้นจริง และนำไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ บนพื้นฐานการพิจารณาบริบททั้งภายในและภายนอก รวมถึงการสนับสนุนจากทั้งในส่วนของกลยุทธ์ การจัดการความรู้ การจัดองค์กร และการส่งเสริมวัฒนธรรมองค์กรนวัตกรรม เพื่อสนับสนุนให้เกิดการดำเนินงานกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรมอย่างต่อเนื่องและยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: กระบวนการการพัฒนาผลิตภัณฑ์, ผลิตภัณฑ์นวัตกรรม, กระบวนการสร้างนวัตกรรม

Abstract

The objective of this research is to study the factors supporting the product innovation development process and to propose a proposal for an innovative product development process of a case study company for use as a guideline for sustainable development of innovative products within the company. This research employed both qualitative and quantitative methodology in which all data were collected from several sources including documents and in-depth interviews of the semi-structured from people involved in the company's product development process. A case study company that is a manufacturer of automotive parts. By the conceptual assessment framework, the researcher has studied and reviewed the relevant literature. The research result identified top managements emphasize driving factors including strategy of the product development process, innovation organization, cross-functional work, and sufficient resources. The researcher found a gap in the process of developing innovative products, Idea generation process, innovation process, and voice of customer focus. So researcher proposed the product innovation development framework name is “The Fugle Innovation Process”. A framework that illustrates the workflow from conceptualization concept evaluation Developing an idea into reality and leading to commercial use on the basis of considering both internal and external contexts including support from both the strategy Knowledge management, organization, and promotion of innovative corporate culture. To support the implementation of the process of continuous and sustainable development of innovative products.

Keywords: Product development process, Product innovation, Innovation process

การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการจัดตารางการเดินรถของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในสนามบินสุวรรณภูมิ

Timetable Simulation Modeling of Automated People Mover: A Case Study of Suvarnabhumi Airport in Thailand

ทักษพร ทองบุญเพียร[1] วเรศรา วีระวัฒน์[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
E-mail: waressara@gmail.com*

Taksaporn Thongboonpian[1] Waressara Weerawat[1*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University
E-mail: waressara@gmail.com*

บทคัดย่อ

ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติถูกนำมาใช้ในสนามบินสุวรรณภูมิเป็นครั้งแรกในประเทศไทย เพื่อให้ผู้โดยสารสามารถเดินทางเชื่อมต่อระหว่างอาคารได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติมีลักษณะการดำเนินงานคล้ายกับระบบขนส่งมวลชนทางรางทั่วไป แต่จะมีลักษณะเฉพาะ คือ เป็นล้อยางและเคลื่อนที่ไปบนรางคอนกรีต งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเดินรถของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในสนามบินสุวรรณภูมิ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แบบจำลองสถานการณ์ในการวิเคราะห์และประเมินความเป็นไปได้ในการเดินรถ รวมไปถึงวางแผนการเดินรถให้สอดคล้องกับจำนวนผู้โดยสารตามที่ได้มีการคาดการณ์ไว้ในแต่ละช่วงเวลา ภายใต้เส้นทางการให้บริการที่กำหนด ประกอบด้วยสองลูป เรียกว่าลูปสีแดงและลูปสีเขียว ผลจากแบบจำลองสถานการณ์ พบว่า ในช่วง Off-Peak และ Peak การเดินรถบนลูปเดียวสามารถรองรับผู้โดยสารได้เพียงพอ แต่ในช่วง Surged Peak ที่มีจำนวนผู้โดยสารปริมาณมาก ทำให้ต้องเดินรถที่ความถี่ค่อนข้างต่ำ การเดินรถบนลูปเดียวไม่สามารถทำได้ เนื่องจากความถี่ในการเดินรถถูกจำกัดด้วยช่วงที่เป็นคอขวดบริเวณทางเข้า-ออกของสถานี ดังนั้นจึงกำหนดให้เดินรถทั้งลูปสีแดงและลูปสีเขียว โดยปล่อยรถสลับกันในแต่ละลูป ทั้งนี้การใช้แบบจำลองสถานการณ์ยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันของปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเดินรถ ไม่ว่าจะเป็นความถี่ในการเดินรถ ระยะเวลาจอดที่สถานี รวมถึงข้อจำกัดทางโครงสร้างพื้นฐาน ดังนั้นการใช้แบบจำลองสถานการณ์จึงช่วยให้เห็นถึงภาพรวมของระบบที่ชัดเจนและแสดงให้เห็นถึงสิ่งที่อาจเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเดินรถได้ รวมทั้งสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ง่ายภายใต้โครงสร้างพื้นฐานเดียวกัน

คำสำคัญ: ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ, ตารางเดินรถ, แบบจำลองสถานการณ์, การขนส่งในสนามบิน, ผู้โดยสาร

Abstract

For the first time in Thailand, an Automated People Mover (APM) has been implemented at Suvarnabhumi Airport so that passengers can travel between buildings conveniently and quickly. APM operations are similar to metro rail operations, but with trains on rubber wheels using a guided rail system. This research is a study of the APM operations at Suvarnabhumi Airport. The objective is to use a simulation model to analyze and evaluate the feasibility of APM operations including planning the operations in accordance with the predicted number of passengers in each period. The planned service route consists of two loops, called the Red loop and the Green loop. As a result of the simulation, it was found that during off-peak and peak times, the APM operating on a single loop (Red loop or Green loop) can accommodate enough passengers. However, during surged peak with a large number of passengers, the APM needs to operate at low headway. Operating on a single loop is not possible because the headway is often limited by the bottleneck at the entry-exit of the station. Therefore, it is determined that the APM operates on the Red loop and Green loop with alternate departure times. In addition, using a simulation model can show relationships between factors that affect APM operations, such as operation headway, dwell time, rail infrastructure. Using simulation modelling can provide a clearer overview of the system and show any problems that may occur in the APM operations. It is easy to change parameters in the same infrastructure.

Keywords: Automated People Mover, Timetable, Simulation, Airport transit, Passengers

การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง

The Energy Cost Reduction of A Sample Beverage Factory

มงคล ภู่ทองคำ[1*] ธนาธร เกรอต[1] ทองแท่ง ทองลิ่ม[2] อาณัติ วัฒนสังสุทธิ์[3]

[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
[2]สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ราชบุรี
[3]บริษัท ไฮโครคาร์บอน โซลูชั่น (ประเทศไทย) จำกัด ทวีวัฒนา, กรุงเทพฯ 10170
E-mail: pootongkam_m@su.ac.th*

Mongkon Pootongkam[1*] ,Thanathorn Karot[1] ,Tongtang Tonglim[2] ,Arnat Watanasungsuit[3]

[1]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

[2]Industrial Technology Management, Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University, Ratchaburi
[3]Hydrocarbon Solutions (Thailand) Company Limited. Thawi Wattana District, Bangkok 10170
E-mail: pootongkam_m@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง โดยการศึกษาภาพรวมการใช้พลังงาน รวมถึงลักษณะการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตภายในโรงงาน และเรียงลำดับปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน จากนั้นทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของขั้นตอนการผลิตที่เหมาะสม ทั้งแนวทางที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุน และแนวทางที่ต้องใช้เงินลงทุน จากการศึกษาพบว่าโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างมีการใช้พลังงานอยู่ 2 ชนิด คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าร้อยละ 24.83 และสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงร้อยละ 75.17 ขั้นตอนการผลิตในส่วนงานสนับสนุนมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดถึงร้อยละ 86.88 ของการใช้พลังงานทั้งหมด การดำเนินงานตามแนวทางการลดค่าใช้จ่ายแบบที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุนสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 979,471.13 บาทต่อปี และแนวทางการลดค่าใช้จ่ายแบบที่ต้องใช้เงินลงทุน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 7,937,334.50 บาท สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมได้ 5,586,093.06 บาทต่อปี และมีระยะเวลาในการคืนทุน 1.42 ปี จากการดำเนินการตามแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 6,565,564.19 บาทต่อปี และมีระยะเวลาในการคืนทุนรวม 1.21 ปี แนวทางการใช้เครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงไม่เพียงแต่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน อีกทั้งยังช่วยตอบสนองความต้องการใช้น้ำเย็นที่ปริมาณสูงสุดของโรงงานได้อีกด้วย จากผลการดำเนินงานทั้งหมดสามารถการใช้พลังงานจำเพาะได้ร้อยละ 9.59 โดยที่สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะได้ร้อยละ 3.52

คำสำคัญ: พลังงาน, พลังงานไฟฟ้า, พลังงานความร้อน, พลังงานจำเพาะ

Abstract

This research aimed to reduce the energy cost of a sample beverage factory. It began with a study of an overview of energy consumption and the energy characteristics of the production process and arranged each production process's energy consumption within a sample beverage factory for analysis and offering a cost reduction method. The implementation has both non-investment and investment with finding a return on investment. In an overview of energy consumption study, a sample beverage factory uses electrical energy and thermal energy derived from fuel. The proportion of electricity consumption is 24.83%. The thermal energy consumption from the fuel is 75.17%. Process in the supporting section used energy 86.88% of total energy consumption. The implementation cost reduction non-investment can reduce energy costs by 979,471.13 baht per year. Implementing cost reduction with an investment of 7,937,334.50 baht can reduce energy costs by 5,586,093.06 baht per year and has a payback period of 1.42 years. They both implement can reduce energy costs by 6,565,564.19 baht per year and has a payback period of 1.21 years. Chiller high-efficiency can also reduce energy costs and support the demand for Chilled water at the maximum volume of the process. The overall implementation results can reduce Specific Energy Consumption by 9.59 and reduce the cost of Specific Energy Consumption by 3.52%

Keywords: Energy, Electrical energy, Thermal energy, Specific Energy Consumption

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการเติบโตของเศรษฐกิจไทย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มพร้อมดื่ม ซึ่งกำลังเป็นความต้องการอย่างมากในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส COVID-19 ที่กำลังแพร่ระบาดอยู่ทั่วโลก อีกทั้งในเรื่องของการบริโภคเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เช่น น้ำผักผลไม้ กาแฟออร์แกนิค ชาสมุนไพรออร์แกนิค กำลังเป็นที่นิยมของกลุ่มคนทั่วโลกที่ใส่ใจในเรื่องสุขภาพ[1] จึงทำให้ธุรกิจเครื่องดื่มเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง และทำให้มีจำนวนผู้ผลิตรายใหม่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงก่อให้เกิดการแข่งขันทางด้านคุณภาพและราคาของสินค้า ซึ่งมีส่วนสำคัญเป็นอย่างมากต่อการดำเนินธุรกิจ พลังงานเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการรองรับเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรมนำมาใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงาน เพื่อให้เกิดการผลิตที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ธุรกิจสามารถอยู่ได้ในสภาวะที่มีการแข่งขันทางด้านการตลาดสูง การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของกระบวนการผลิต และการใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นแนวคิดหนึ่งที่สถานประกอบการทั้งหลายให้ความสนใจและนำมาใช้ในปัจจุบัน ซึ่งนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายด้านการผลิตได้

โรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างกำลังประสบปัญหาเรื่องไม่ทราบต้นทุนทางด้านพลังงานในการผลิต และไม่มีการประเมินค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานที่เป็นระบบ อีกทั้งยังต้องนำต้นทุนทางด้านพลังงานที่ได้จากการประมาณค่าและไม่มีความถูกต้องชัดเจนมาคำนวณราคาขายของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ต้นทุนของผลิตภัณฑ์สูงกว่าคู่แข่ง การทราบถึงต้นทุนด้านพลังงานที่แท้จริงจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้โรงงานทราบถึงต้นทุนการผลิตที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ และนำไปสู่การจัดการพลังงานเชิงบูรณาการทั้งในแนวทางที่ต้องลงทุนและไม่ต้องลงทุนได้อย่างตรงจุดและมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงศักยภาพการใช้พลังงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ เพื่อนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง โดยการประยุกต์ศาสตร์ทางด้านการจัดการงานวิศวกรรม วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมพลังงาน รวมทั้งการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดจะถูกออกแบบให้ดำเนินอย่างเป็นระบบโดยนำเสนอแนวทางการลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน รวมทั้งการวิเคราะห์ผลการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์และแนวทางการเงินในแต่ละแนวทางตามแผนการดำเนินงาน

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

2.1 เพื่อวิเคราะห์ภาพรวมการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง

2.2 เพื่อนำเสนอแนวทางการประหยัดพลังงานทั้งในกรณีใช้เงินลงทุนและไม่ใช้เงินลงทุน

2.3 เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะลงอย่างน้อยร้อยละ 2

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุชาติ สุวรรณาพิสิทธิ์ (2548) การลดการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ทำการสำรวจและศึกษาสภาพการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบำรุงกำลัง เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการลดใช้พลังงาน จากการศึกษาสภาพการใช้พลังงานพบว่าโรงงานสามารถแบ่งการใช้พลังงานได้ 2 ประเภท คือ พลังงานไฟฟ้าคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 19 และพลังงานความร้อนคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 81 และมีดัชนีการใช้พลังงานรวม 1,840 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ มาตรการในการลดใช้พลังงานจะแบ่งเป็น 2 แนวทางด้วยกัน คือ 1. การลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ได้แก่ มาตรการลดการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นในตอนกลางคืน และมาตรการยกเลิกการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในกระบวนการปรับอากาศในช่วงเวลาซ่อมบำรุงเครื่องจักรในวันหยุด ซึ่งมาตรการเหล่านี้สามารถลดดัชนีการใช้พลังงานจาก 382.16 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ เหลือ 359.17 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ หรือลดลงร้อยละ 6.02 และ 2. การลดการใช้พลังงานความร้อน ได้แก่ มาตรการติดตั้งเครื่องควบคุมการเผาไหม้แบบอัตโนมัติ ซึ่งมาตรการนี้สามารถลดดัชนีการใช้พลังงานจาก 1,579.99 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ เหลือ 1,312.03 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ หรือลดลงร้อยละ 16.95 จากมาตรการการลดใช้พลังงานทั้งหมดสามารถลดดัชนีการใช้พลังงานรวมจาก 1,840 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ เหลือ 1,708 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ หรือลดลงร้อยละ 7.17 [2]

Wang (2014) ทบทวนเทคโนโลยีประหยัดพลังงานเพื่อการแปรรูปอาหารอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานแปรรูปอาหาร ศึกษามาตรการอนุรักษ์ในระบบสาธารณูปโภคของโรงงานแปรรูปอาหารและศึกษาเทคโนโลยีใหม่ที่ในการประหยัดพลังงาน จากการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานของโรงงานผลิตอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกาปี 2011 มีค่าใช้จ่ายสูงถึง 2,980 ล้านเหรียญดอลล่าสหรัฐ หรือคิดเป็นต้นทุนด้านพลังงาน 0.86 ถึง 2.42 เซนต่อหนึ่งดอลล่าของมูลค่าการส่งออก และจากการศึกษาภาพรวมของแหล่งพลังงานที่ใช้พบว่า อุตสาหกรมอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้แหล่งพลังงานที่มาจากก๊าซธรรมชาติ 52% พลังงานไฟฟ้า 21% ถ่านหิน 16% ก๊าซปิโตรเลียม 3% และอื่นๆ 8% และเมื่อแยกการใช้พลังงานในกระบวนการต่างๆ พบว่าใช้พลังงานในระบบการทำความร้อน 59% ระบบทำความเย็น 16% ระบบขับเคลื่อนมอตอร์ 12% ระบบปรับอากาศและแส่งสว่าง 8% และระบบอื่น 5% จากการศึกษามาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบสาธารณูปโภคพบว่ากิจกรรมการลดใช้พลังงานในระบบทำความร้อนนั้นก็มีหลายอย่าง เช่น การลดอุณหภูมิการปล่อยความร้อนออกจากปล่องหม้อไอน้ำ การลดการโบลว์ดาวน์ในหม้อไอน้ำ การซ่อมจุดรั่วของระบบท่อไอน้ำ และการหุ้มฉนวนกันความร้อนของระบบท่อไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ก็สามารถลดการใช้พลังงานความร้อนได้ประมาณ 20% ด้านการอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศ เช่น การใช้เครื่องอัดอากาศแบบมีอินเวอร์เตอร์ควบคุม การลดอุณหภูมิขาเข้า การซ่อมจุดรั่วไหลของท่อ และการลดแรงดันของเครื่องอัดอากาศ สามารถลดการใช้พลังงานได้ 20%-50% ส่วนทางด้านเทคโนโลยีใหม่ที่จะสามารถมาใช้ใน

การประหยัดพลังงานนั้นก็มีในเรื่องของการนำอุปกรณ์หรือระบบต่างๆ มาปรับปรุงใช้ในกระบวนการ เช่น ระบบปั๊มความร้อน และระบบท่อความร้อน เป็นต้น การใช้พลังงานที่ลดลงก็จะทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมลดลงด้วยเช่นกัน [3]

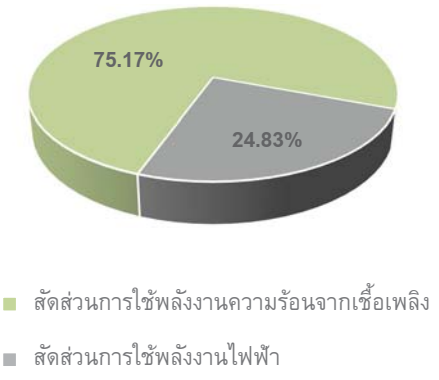
4. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในภาพรวมของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างโดยการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า จากใบเสร็จค่าไฟฟ้า และพลังงานความร้อนจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิง พร้อมทั้งตรวจวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตเพื่อคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (พลังงานจำเพาะ) ในแต่ละเดือน และเรียงลำดับปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตเพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของขั้นตอนการผลิตที่มีนัยสำคัญในการใช้พลังงานสูง และดำเนินการตามแนวทางการปรับปรุงที่เป็นได้ พร้อมทั้งหาผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน จากนั้นประเมินผลการดำเนินงานจากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะก่อนและหลังการปรับปรุง

5. ผลการดำเนินงาน

5.1 การใช้พลังงานในภาพรวมของโรงงาน

จากการตรวจวัดการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง พบว่าทางโรงงานมีการใช้พลังงานหลัก 2 รูปแบบคือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าร้อยละ 24.83 และสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงร้อยละ 75.17 ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าร้อยละ 58.91 และสัดส่วนค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานความร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงร้อยละ 41.09



รูปที่ 5.1 สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงาน



รูปที่ 5.2 สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน

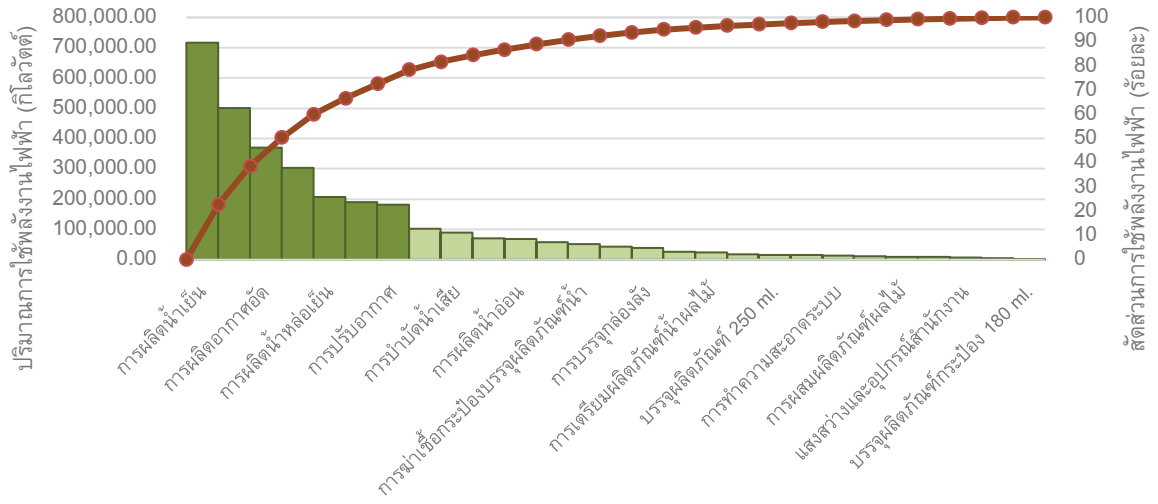
โดยมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยจะเท่ากับ 2.56 เมกะจูลต่อกิโลกรัม หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเท่ากับ 1.09 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 5-1 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะ ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

เดือนที	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะ (บาทต่อกิโลกรัม)
1	2.25	0.99
2	3.11	1.28
3	2.62	1.11
4	2.65	1.15
5	2.29	1.01
6	2.50	1.03
7	2.79	1.17
เฉลี่ย	2.56	1.09

5.2 การวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง พบว่ามีขั้นตอนการผลิตทั้งหมด 27 ขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าคือ ขั้นตอนการผลิตจะมีในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบผลไม้ การเตรียมน้ำปรุง การผสมผลิตภัณฑ์ผลไม้ การบรรจุผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋อง การฆ่าเชื้อกระป๋องบรรจุผลไม้ การเตรียมผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ การเตรียมผลิตภัณฑ์นม การผสมผลิตภัณฑ์น้ำ การพาสเจอร์ไรซ์ การบรรจุผลิตภัณฑ์กล่อง 1000 มิลลิลิตร การบรรจุผลิตภัณฑ์กล่อง 250 มิลลิลิตร การบรรจุผลิตภัณฑ์กระป๋อง 180 มิลลิลิตร การฆ่าเชื้อกระป๋องบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำ และการบรรจุลงกล่องลัง ในขณะเดียวกันยังมีขั้นตอนการผลิตในส่วนของงานสนับสนุนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ การผลิตน้ำเย็น ห้องเย็น การผลิตอากาศอัด การกรองน้ำขั้นต้น การผลิตน้ำหล่อเย็น การผลิตไอน้ำ การปรับอากาศ การผลิตน้ำ RO. การบำบัดน้ำเสีย การผลิตน้ำอ่อน แสงสว่างและอุปกรณ์สำนักงาน การทำความสะอาดระบบ และเครื่องมือช่าง และได้นำข้อมูล



รูปที่ 5.3 ลำดับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิต

การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัด ระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง มาจัดลำดับเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 5.3

เมื่อพิจารณาจากลำดับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิต พบว่าขั้นตอนการผลิตในส่วนงานสนับสนุนมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าร้อยละ 86.88 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด จากข้อมูลดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดที่จะลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของขั้นตอนการผลิตในส่วนงานสนับสนุน เพื่อให้เกิดการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้มากที่สุด รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับขั้นตอนการผลิตมากที่สุด

5.3 การดำเนินการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

5.3.1 แนวทางที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุน

การลดการโบลว์ดาวน์ของหม้อไอน้ำ [4]

ในการควบคุมคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำ ตามระเบียบวิธีปฏิบัติงานการเดินเครื่องหม้อไอน้ำ ของโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่าง จะต้องทำการโบลว์ดาวน์น้ำทิ้งวันละ 4 ครั้ง หรือทุก 6 ชั่วโมง เพื่อให้ค่าความเข้มข้นของสารละลาย (Total dissolved solids: TDS) อยู่ในค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549 [5] ซึ่งกำหนดเกณฑ์ควบคุมค่าความเข้มข้นของสารละลายอยู่ที่ระดับไม่เกิน 3500 ppm อันจะทำให้ส่งผลถึงความปลอดภัยต่อการใช้งานหม้อไอน้ำ จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำของหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง พบว่าค่า TDS ของหม้อไอน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1200 ppm แสดงตามตารางที่ 5-2 แสดงให้เห็นถึงจำนวนการโบลว์ดาวน์น้ำในหม้อไอน้ำทิ้งมากเกินไป ซึ่งทำให้สูญเสียน้ำและพลังงานความร้อนไปกับน้ำที่ปล่อยทิ้งไป

จึงดำเนินการปรับลดปริมาณการโบลว์ดาวน์น้ำในหม้อไอน้ำลง โดยทำการโบลว์ดาวน์วันละ 2 ครั้ง หรือทุก 12 ชั่วโมง ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารละลายของน้ำในหม้อไอน้ำให้มีค่าไม่เกิน 3500 ppm และจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำของหม้อไอน้ำหลังจากการโบลว์ดาวน์ พบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายของหม้อไอน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2500 ppm ซึ่งจากการตรวจสอบแนวทางการลดปริมาณการโบลว์ดาวน์ดังกล่าว สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 582,655.39 บาทต่อปี

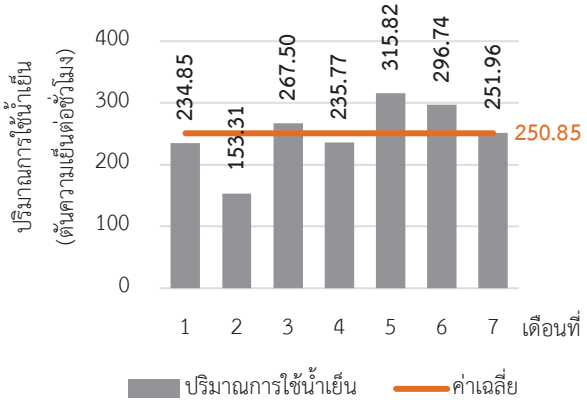
ตารางที่ 5-2 ความเข้มข้นของสารละลายน้ำสำหรับหม้อไอน้ำ

เดือนที่	ค่าความเข้มข้นของน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ (PPM)	ค่าความเข้มข้นของน้ำภายในหม้อไอน้ำก่อนการปรับปรุง (PPM)	ค่าความเข้มข้นของน้ำภายในหม้อไอน้ำหลังการปรับปรุง (PPM)
1	166.55	999.29	2,185.45
2	150.52	903.10	1,975.07
3	221.87	1,331.23	2,911.40
4	194.56	1,167.37	2,553.04
5	219.10	1,314.60	2,875.04
6	230.78	1,384.69	
7	216.62	1,299.73	
ค่าเฉลี่ย	200.00	1,200.00	2,500.00

5.3.2 แนวทางที่ต้องใช้เงินลงทุน

การใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง [6]

จากการตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น พบว่าเครื่องผลิตน้ำเย็นมีภาระการทำงาน 100% ตลอดเวลาที่มีขั้นตอนการผลิต จึงได้ทำการตรวจสอบปริมาณความต้องการน้ำเย็นสูงสุดในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตที่มีการใช้น้ำเย็น พบว่ามีปริมาณความต้องการน้ำเย็นสูงสุดเท่ากับ 523.88 ตันความเย็นต่อชั่วโมง และมีปริมาณการใช้น้ำเย็นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 250.85 ตันความเย็นต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 กราฟปริมาณการใช้น้ำเย็นเฉลี่ยระหว่างเดือนที่ 1 ถึง 7 ก่อนการปรับปรุง

และจากการตรวจสอบเครื่องผลิตน้ำเย็น พบว่าสามารถผลิตน้ำเย็นได้สูงสุด 245.64 ตันความเย็นต่อชั่วโมง ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณน้ำเย็นไม่เพียงพอต่อกระบวนการผลิต ในขณะเดียวกันได้ทำการวัดสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็น พบว่าเครื่องผลิตน้ำเย็นมีอัตราการใช้ไฟฟ้าเทียบกับปริมาณน้ำเย็นที่ผลิตได้เท่ากับ 0.94 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันความเย็น จากการศึกษาเทคโนโลยีเครื่องผลิตน้ำเย็น พบว่าในปัจจุบันมีการใช้เครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงกันอย่างแพร่หลาย โดยลักษณะของเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงจะมีการติดตั้งชุดอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน อีกทั้งยังมีอัตราการใช้ไฟฟ้าเทียบกับปริมาณน้ำเย็นที่ผลิตได้เท่ากับ 0.64 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันความเย็น ซึ่งน้อยกว่าเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

จึงดำเนินการติดตั้งเครื่องผลิตน้ำเย็นขนาด 302.5 ตันความเย็นต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้นจำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.5 เพื่อให้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการน้ำเย็นสูงสุด และเหมาะสมกับปริมาณความต้องการน้ำเย็นโดยเฉลี่ย ซึ่งการติดตั้งเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 4,740,100.00 บาท และมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเท่ากับ 99,314.19 บาทต่อปี ซึ่งเป็นมูลค่าการลงทุนที่สูง ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงในการลงทุนโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) โดยค่าตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) แสดงตามตารางที่ 5-2



รูปที่ 5.5 การติดตั้งเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง

จากการตรวจสอบแนวทางการใช้เครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 1,823,540.01 บาทต่อปี ดังนั้นจะมีระยะเวลาในการคืนทุน 2.75 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับร้อยละ 34.50

ตารางที่ 5-3 การคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) การใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ IRR	ข้อมูลการประมาณการ	ที่มาของข้อมูล
<u>รายจ่าย</u>		
ค่าเครื่องจักร (บาท)	3,199,300.00	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
ค่าการติดตั้ง (บาท)	1,540,800.00	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงประจำปี (บาทต่อปี)	99,314.19	ประเมินราคาจริงจากผู้รับเหมา
อายุการใช้งานของเครื่อง (ปี)	10	จากข้อมูลที่เคยใช้งานจริง
<u>รายรับ</u>		
ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ (บาทต่อปี)	1,823,540.01	ประเมินจากการคำนวณ
ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)	2.75	ประเมินจากการคำนวณ
อัตราผลตอบแทนภายใน (ร้อยละ)	34.50	ประเมินจากการคำนวณ

6. สรุป

โรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างมีการใช้พลังงานหลัก 2 รูปแบบ คือพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 24.83 ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด โดยมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานร้อยละ 58.91 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมด และพลังงานความร้อนที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 75.17 ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด โดยมีสัดส่วนค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานความร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงร้อยละ 41.09 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมด และมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยจะเท่ากับ 2.56 เมกะจูลต่อกิโลกรัม หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะเท่ากับ 1.09 บาทต่อกิโลกรัม ขั้นตอนการผลิตในส่วนงานสนับสนุนที่ประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตน้ำเย็น ห้องเย็น การผลิตอากาศอัด การกรองน้ำขั้นต้น การผลิตน้ำหล่อเย็น การผลิตไอน้ำ การปรับอากาศ การผลิตน้ำ RO. การบำบัดน้ำเสีย การผลิตน้ำอ่อน แสงสว่างและอุปกรณ์สำนักงาน การทำความสะอาดระบบ และเครื่องมือใช้ในการซ่อมบำรุง มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 86.88 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด และขั้นตอนการผลิตที่มีการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง คือขั้นตอนการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำ โดยหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง ใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง มีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุด คิดเป็นร้อย 98.13 ของพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงทั้งหมด และมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 บาทต่อกิโลกรัมไอน้ำ

แนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบ่งออกเป็น 2 แนวทางหลักด้วยกันคือ แนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุน มีการดำเนินการทั้งหมด 4 แนวทางด้วยกันคือ การลดการโบลว์ดาวน์ของหม้อไอน้ำ การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ การลดการใช้งานหอผึ่ง และการลดการรั่วไหลของระบบอากาศอัด โดยแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ไม่ต้องใช้เงินลงทุนสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมได้ 979,471.13 บาทต่อปี และแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ต้องใช้เงินลงทุน มีการดำเนินการทั้งหมด 4 แนวทางด้วยกันคือ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ การนำน้ำคอนเดนเสตกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ การหุ้มฉนวนท่อระบบส่งจ่ายไอน้ำ และการใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง โดยแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบที่ต้องใช้เงินลงทุนมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนรวม 7,937,334.50 บาท โดยที่สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมได้ 5,586,093.06 บาทต่อปี และมีระยะเวลาในการคืนทุน 1.42 ปี ดังนั้นโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมดได้ 6,565,564.19 บาทต่อปี และมีระยะเวลาในการคืนทุนรวม 1.21 ปี

นอกจากแนวทางการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ได้จากการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงงาน จะเห็นได้ว่าโรงงานผลิตเครื่องดื่มตัวอย่างให้ความสำคัญกับการหาแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นั่นคือแนวทางการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ และเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งและความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันได้การพัฒนาเรื่องคุณภาพและประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ในระบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้เป็นจำนวนมาก

เมื่อพิจารณาค่าการใช้พลังงานจำเพาะหลังการปรับปรุง พบว่ามีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 2.32 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ลดลงร้อยละ 9.59 ในขณะที่มีค่าการใช้จ่ายด้านพลังงานจำเพาะหลังการปรับปรุงเฉลี่ยเท่ากับ 1.05 ลดลงร้อยละ 3.52 ซึ่งค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดลงน้อยกว่าค่าการใช้พลังงานนั้น มีสาเหตุมาจากค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิงมีการปรับราคาเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยที่ราคาเฉลี่ยของกะลาปาล์มมีการปรับเพิ่มราคาจาก 3.69 บาทต่อกิโลกรัม เป็น 3.81 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.25 และราคาเฉลี่ยของน้ำมันเตาเกรดซีมีการปรับเพิ่มราคาจาก 10.72 บาทต่อลิตร เป็น 14.73 บาทต่อลิตร ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 37.41

เอกสารอ้างอิง

[1] พิชญ์สินี โพธิจิตติ. อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ธันวาคม 2563. หน่วยวิเคราะห์เศรษฐกิจภาคการผลิต ส่วนเศรษฐกิจรายสาขาศูนย์วิจัยธนาคารออมสิน. ข้อมูลจาก https://www.gsbresearch.or.th (วันที่สืบค้น 15 กรกฎาคม 2564)

[2] สุชาติ วรรณาพิสิทธิ์. “การลดการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

[3] Lijun Wang. “Energy efficiency technologies for sustainable food processing.” Energy Efficiency (2014) 7: 791-810

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2557), มาตรการด้านระบบผลิตและส่งจ่ายไอน้ำ, คู่มือกรณีตัวอย่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม, 6-26

[5] “ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549.” ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนพิเศษ 125 ง (4 ธันวาคม 2549)

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2557), มาตรการด้านระบบปรับอากาศ, คู่มือกรณีตัวอย่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม, 4-4

การออกแบบและพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ

Design and Development of Prototype of Exercise Equipment for the Elderly

ธนาวดี เพชรยศ[1*] ฤภูวัลย์ จันทรสา[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: thanawad@eng.buu.ac.th*

Thanawadee Pedyod[1*] Ruephuwan Chantrasa[1]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: thanawad@eng.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างอุปกรณ์ออกกำลังกายที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการและมีความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับผู้สูงอายุ โดยได้สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา ด้านกายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์ สำรวจความต้องการและสังเกตพฤติกรรมของผู้สูงอายุด้วยเครื่องมือของการคิดเชิงออกแบบ เพื่อนำข้อมูลมาสำรวจความต้องการและความพึงพอใจด้วยแบบสอบถามปลายปิด วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนาและประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ หาข้อกำหนดทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อความต้องการและความพึงพอใจ ทำให้ทราบข้อมูลที่สำคัญต่อการออกแบบอุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ ต่อมาได้ออกแบบแนวคิดทางเลือกผลิตภัณฑ์ จำนวน 5 แนวคิดด้วยเทคนิคตารางรวมแนวคิด และคัดเลือกแนวคิดที่เหมาะสมที่ดีที่สุดด้วยการให้ผู้สูงอายุจำนวน 30 คนเป็นผู้ประเมิน แนวคิดที่ 5 ได้รับการคัดเลือกให้เป็นแนวคิดหลักเพราะได้คะแนนเฉลี่ยมากที่สุด และนำข้อดีของแนวคิดแบบที่ 2 และแนวคิดที่ 3 ที่มีค่าเฉลี่ยสูงของแต่ละคุณลักษณะผลิตภัณฑ์มาพิจารณาร่วมกันเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบอย่างละเอียด จากนั้นได้สร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบของอุปกรณ์ออกกำลังกาย จากนั้นเปรียบเทียบคุณลักษณะทางคุณภาพกับผลที่ได้จากการสร้างอุปกรณ์ออกกำลังกาย พบว่า น้ำหนักและราคาของอุปกรณ์ออกกำลังกาย ไม่ผ่านค่าเป้าหมายของคุณลักษณะทางคุณภาพจากส่วน C ของบ้านคุณภาพที่ตั้งไว้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นสแตนเลสมีความทนทานต่อการใช้งานแต่มีราคาค่อนข้างแพงและอุปกรณ์ออกกำลังกายมีขนาดใหญ่เพื่อให้เหมาะสมกับสรีระของผู้ใช้งานจึงมีน้ำหนักมาก ส่วนนี้จึงไม่เป็นไปตามความต้องการของผู้สูงอายุ โดยรวมผลการประเมินสรุปว่า อุปกรณ์ออกกำลังกายสามารถตอบสนองความต้องการของผู้สูงอายุได้ ช่วยให้ผู้สูงอายุออกกำลังกายได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: อุปกรณ์ออกกำลังกาย, ผู้สูงอายุ, เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

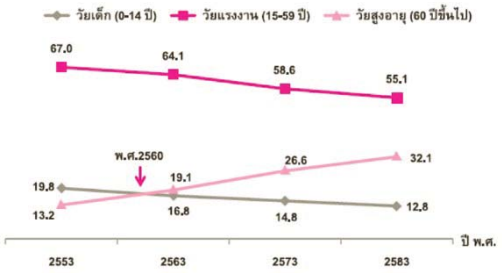
Abstract

The objective of this project is to create exercise equipment that meets the needs and is suitable for use by the elderly. By interviewing experts in exercise and sports science in human anatomy. Exploring the needs and observe behaviors of the elderly with Design Thinking. To bring the data to survey needs and satisfaction with a closed-ended questionnaire. Data were analyzed with descriptive statistics and applied Quality Function Deployment (QFD) technique. To identify product technical specifications that are critical to the needs and satisfaction. It makes known important information for the design of exercise equipment for the elderly. Later, 5 product alternative concepts were designed using Concept Combination Table technique. And select the best suitable idea by having 30 elderlys to evaluate. The Concept #5 is selected as getting the highest average score and bringing the advantages of Concept #2 and Concept #3 with high average values of each product feature are taken into account together to design a detailed prototype. Then creates a prototype product of exercise equipment. Then compares the quality characteristics with the results of building exercise equipment. It found that the weight and price of exercise equipment are not passed the target value of quality attributes from Section C of The House of Quality. Because the material used is stainless steel, it is durable to use, but expensive, exercise equipment is large to fit the user's body and therefore has a lot of weight. So this part does not meet the needs of the elderly. In conclusion, exercise equipment can meet the needs of the elderly. Helping the elderly to exercise more easily and effectively.

Keywords: Exercise Equipment, Elderly, QFD

1. บทนำ

ปัจจุบันผู้สูงอายุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากร้อยละ 13.2 ในพ.ศ.2553 เป็นร้อยละ 32.1 ในพ.ศ.2583 [1] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สัดส่วนของประชากรในวัยต่างๆ

ผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะได้รับคำแนะนำจากแพทย์ หรือเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับสุขภาพ เกี่ยวกับการออกกำลังกาย ทำให้มีการหันมาสนใจสุขภาพของตนเองมากขึ้น [2] การออกกำลังกายให้ถูกวิธีและมีประสิทธิภาพ ต้องมีอุปกรณ์ออกกำลังกายที่เหมาะสม ผู้จัดทำจึงออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ เพื่อช่วยให้ผู้สูงอายุมีสุขภาพที่ดีและมีความสุขในการใช้ชีวิต

2. วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ออกกำลังกายที่ตอบสนองต่อความต้องการและมีความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับผู้สูงอายุ

3. ขอบเขตของโครงงาน

3.1 กลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อยู่ในช่วงอายุ 60 ปีขึ้นไป

3.2 กลุ่มผู้สูงอายุที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาเป็นผู้สูงอายุที่มาใช้บริการที่ศูนย์ส่งเสริมฟื้นฟูสุขภาพผู้สูงอายุ สภากาชาดไทย ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี และกลุ่มผู้สูงอายุที่ทำกิจกรรมบริเวณสวนนันทนาการ มหาวิทยาลัยบูรพา

3.3 ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุโดยการประยุกต์เครื่องมือของการคิดเชิงออกแบบ เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ และการยศาสตร์ของผู้สูงอายุ

3.4 อุปกรณ์ออกกำลังกายที่ออกแบบขึ้นเน้นใช้งานง่ายและสะดวกสำหรับผู้สูงอายุ

4. ประโยชน์ของโครงงานที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ทราบปัญหาและอุปสรรคในการออกกำลังกายของผู้สูงอายุ

4.2 ได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ออกกำลังกายของผู้สูงอายุที่เหมาะสมในการใช้งานและตรงตามความต้องการของผู้สูงอายุ

4.3 สามารถประยุกต์กระบวนการวิจัยที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุรูปแบบอื่นต่อไป

5. แผนการดำเนินงาน

5.1 การศึกษาปัญหาและพฤติกรรมการออกกำลังกายของผู้สูงอายุ โดยประยุกต์ใช้ Design Thinking

5.2 การสำรวจและการวิเคราะห์ความต้องการและความพึงพอใจอุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ

5.3 การประยุกต์เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับอุปกรณ์ออกกำลังกาย

5.4 การออกแบบอุปกรณ์ออกกำลังกายต้นแบบ โดยใช้เทคนิค Concept Combination Table และเทคนิค Concept Screening

5.5 การสร้างต้นแบบอุปกรณ์ออกกำลังกาย ทดลองและประเมินผล

5.1.1 ผู้จัดทำได้สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ

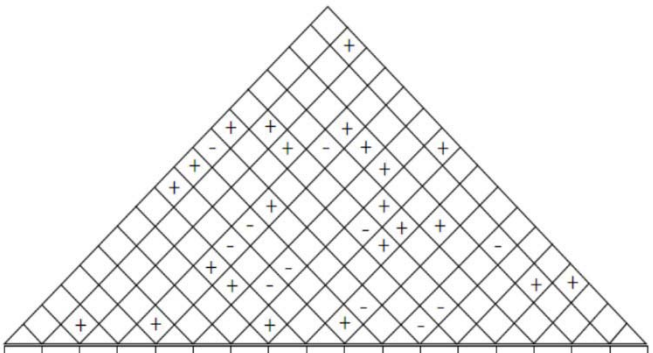
ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา คือ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา และผู้เชี่ยวชาญด้านกายวิภาคศาสตร์ คือ อาจารย์ประจำสาขาวิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา มีวัตถุประสงค์เพื่อขอข้อมูลในการออกกำลังกายและการใช้อุปกรณ์การออกกำลังกายของผู้สูงอายุ จากการถอดบทสนทนาการสัมภาษณ์ ผู้จัดทำได้วิเคราะห์คำตอบจากผู้สัมภาษณ์ และสรุปออกมาเป็นความต้องการใช้อุปกรณ์การออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ ได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลบางส่วนอยู่ในข้อ A-1 ถึงA-14 ในรูปที่ 2

5.1.2 การสังเกตและสัมภาษณ์การออกกำลังกายของผู้สูงอายุ

การสังเกตและสัมภาษณ์เป็นการเฝ้าดูสิ่งที่เกิดขึ้นอย่างใส่ใจและมีระเบียบวิธี เพื่อวิเคราะห์หรือหาความสัมพันธ์ของสิ่งที่เกิดขึ้นนั้นกับสิ่งอื่น [3] และสัมภาษณ์ข้อมูลในประเด็นที่ผู้วิจัยได้ศึกษา ผู้จัดทำเก็บข้อมูลโดยการสังเกตและสัมภาษณ์ กับกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุจำนวน 5 ราย และแปลงเป็นความต้องการสำหรับอุปกรณ์ออกกำลังกาย ได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลบางส่วนอยู่ในข้อ A-1ถึงA-14 ในรูปที่ 2

5.2.1 การสำรวจความต้องการอุปกรณ์ออกกำลังกายด้วยแบบสอบถามปลายเปิด

สถานที่ในการสัมภาษณ์แบบสอบถามปลายเปิด คือ ศูนย์ส่งเสริมฟื้นฟูสุขภาพผู้สูงอายุสภากาชาดไทย ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี และสวนนันทนาการ มหาวิทยาลัยบูรพา จากนั้นเลือกผู้สัมภาษณ์จากบุคลิกลักษณะที่เข้าเกณฑ์ผู้สูงอายุจำนวน 30 คน โดยดำเนินการสัมภาษณ์แบบตัวต่อตัว โดยใช้แบบสอบถามปลายเปิด ซึ่งแบบสอบถามที่ใช้ในการสำรวจประกอบด้วย ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ 1. ข้อมูลทั่วไปของผู้สูงอายุ 2. สุขภาพกายของผู้สูงอายุ 3. แบบประเมินพฤติกรรมการออกกำลังกายในผู้สูงอายุ และ 4. ความต้องการ



	คุณลักษณะเชิงเทคนิค	อุปกรณ์เสริมเพื่อป้องกันความปลอดภัยในการใช้งาน	ระดับความทึนของในความแข็งแรงของส่วนเปื้อนและร่างกาย	มีสิ่งกีดขวางในการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ	ความกว้าง ความยาว และความสูงของอุปกรณ์ออกกำลังกาย	น้ำหนักของอุปกรณ์ออกกำลังกาย	อุปกรณ์ออกกำลังกายพับเก็บได้	ระดับความทึนของในการใช้งานง่าย	ชีวิตงานในการใช้งาน	ระดับความแข็งแรงและทนทานของอุปกรณ์ออกกำลังกาย	การรับน้ำหนักของผู้ใช้งาน	ราคาอุปกรณ์ออกกำลังกาย	อุปกรณ์ออกกำลังกายมีการป้องกันการสั่นสะเทือน	จำนวนรูปแบบในการออกกำลังกาย	อุปกรณ์ออกกำลังกายปรับระดับได้	ระดับความง่ายของการดูแลรักษา	ระดับความสวยงามน่าใช้	ระดับความเหมาะสมของแรงที่ใช้ในการออกกำลังกาย	ระดับความสำคัญ	ระดับความยากง่าย	จุดอุดมการ	ข้อเสนอแนะในการปรับปรุง	คะแนนดิบ	คะแนนดิบปกติ
	ความต้องการของลูกค้า	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	B-1	B-2	B-4	B-5	B-7	B-8
A-1	อุปกรณ์ออกกำลังกายมีความปลอดภัย	9									1		9		1			1	4.88	4.10	5	1.22	5.93	9.29
A-2	อุปกรณ์ออกกำลังกายช่วยเพิ่มความแข็งแรงของร่างกาย		9											1				3	4.58	4.11	5	1.22	5.59	8.76
A-3	อุปกรณ์ออกกำลังกายช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของร่างกาย			9										1				3	4.40	3.89	5	1.29	5.68	8.87
A-4	อุปกรณ์ออกกำลังกายที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก				9	9	9												4.38	3.56	3	0.84	3.68	5.75
A-5	อุปกรณ์ออกกำลังกายที่ใช้งานได้ง่าย				1	1		9	3					1	3			3	4.73	3.99	4	1.00	4.75	7.42
A-6	อุปกรณ์ออกกำลังกายที่ใช้งานได้ทุกฤดูร้อนอ				3	3		1	9					9	3			1	4.32	3.07	3	0.86	3.72	5.81
A-7	อุปกรณ์ออกกำลังกายที่มีความแข็งแรงทนทาน	9			3	1				9	9								4.72	4.25	4	0.94	4.44	6.94
A-8	อุปกรณ์ออกกำลังกายมีราคาเหมาะสมหาซื้อได้ง่าย											9							4.49	3.94	3	0.76	3.41	5.33
A-9	อุปกรณ์ออกกำลังกายที่มีพื้นกันลื่น	9											9						4.54	3.53	5	1.42	6.45	10.07
A-10	อุปกรณ์ออกกำลังกายที่ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ		3	3					3					9	1				4.37	3.97	4	1.01	4.41	6.89
A-11	อุปกรณ์ออกกำลังกายที่สามารถปรับระดับได้				3			1	1						9				4.43	3.80	3	0.79	3.50	5.47
A-12	อุปกรณ์ออกกำลังกายที่ดูแลรักษาง่าย															9			4.53	4.23	3	0.71	3.22	5.03
A-13	อุปกรณ์ออกกำลังกายมีสีสันสวยงามและน่าสนใจ																9		3.86	3.73	3	0.80	3.09	4.83
A-14	อุปกรณ์ออกกำลังกายที่ออกแรงจะดับเบา							1										9	4.68	3.81	5	1.31	6.13	9.58
	NO.	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	รวม			รวม	64.02	100
	ค่าน้ำหนักคุณลักษณะทางเทคนิค	236.70	99.24	100.26	113.85	83.34	31.73	87.64	100.69	62.46	71.73	47.97	174.24	139.32	105.10	45.27	43.47	176.38	1739.85					
	ค่าน้ำหนักคุณลักษณะทางเทคนิคปกติ	13.60	5.70	5.78	6.54	4.80	2.97	5.04	5.79	3.59	4.12	2.76	10.01	8.01	6.04	2.60	2.50	10.14	100.00					
	ลำดับที่	1	9	8	5	11	14	10	7	13	12	15	3	4	6	16	17	2						

รูปที่ 2 บ้านคุณภาพ (House of quality)

อุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ โดยข้อคำถามในแบบสอบถามส่วนที่ 1-3 วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาในรูปความถี่และร้อยละ แบบสอบถามปลายเปิดในส่วนที่ 4 วิเคราะห์ด้วยการแปลงจากข้อมูลดิบให้เป็นความต้องการของผู้สูงอายุที่มีต่ออุปกรณ์ออกกำลังกาย

การจัดกลุ่มความต้องการของผู้สูงอายุที่มีต่ออุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ หลังจากวิเคราะห์ความต้องการที่มีต่ออุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุออกมาแล้ว พบว่ามีความหลากหลายเป็นอย่างมาก ผู้จัดทำจึงได้ใช้วิธีแผนภาพกลุ่มเชื่อมโยง เพื่อหาคำที่มีความหมายคล้ายคลึงหรือเหมือนกัน นำมาจัดให้เป็นกลุ่ม เป็นระบบ [4]

โดยการจัดกลุ่มความต้องการนี้อ้างอิงข้อมูลจากหัวข้อ 5.1.1 5.1.2 และ 5.2.1 โดยจัดกลุ่มความต้องการออกมาได้ทั้งสิ้น 14 กลุ่ม แสดงในส่วน A ดังรูปที่ 2

5.2.2 การสำรวจความต้องการและความพึงพอใจด้วยแบบสอบถามปลายปิด

แบบสอบถามปลายปิดประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม 2. ความสำคัญของอุปกรณ์ออกกำลังกายของผู้สูงอายุ และ 3. ความพึงพอใจในอุปกรณ์ออกกำลังกายที่มีผลต่อความต้องการใช้งาน

แบบสอบถามการสำรวจความต้องการนี้จะสร้างเป็นแบบสอบถามออนไลน์ด้วย Google Form เพื่อให้การรวบรวมข้อมูลมีความสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น การกำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำรวจ จะใช้วิธีของ Taro Yamane เพื่อหาจำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้งหมด โดยได้กำหนดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดระหว่างค่าจริงและค่าประมาณร้อยละ 10 โดยใช้สมการที่ (1)

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} \quad (1)$$

โดยที่ n = จำนวนขนาดตัวอย่างประชาชนที่ต้องการ

N = จำนวนประชากรผู้สูงอายุทั้งหมดในจังหวัดชลบุรี [5] มีจำนวนทั้งสิ้น 200,840 คน

e = ค่าความคลาดเคลื่อน (0.1)

เมื่อแทนค่าจะได้ $$n = \frac{200,840}{1+200,840\ (0.1)^2}$$

$$n = 99.950 \approx 100 \text{ คน}$$

จากการแทนค่าลงในสมการที่ (1) จะพบว่า จำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ เท่ากับ 100 คน โดยที่ยอมให้เกิดระหว่างค่าจริงและค่าประมาณร้อยละ 10 ตามวิธีของ Taro Yamane

ผู้จัดทำได้นำกลุ่มความต้องการทั้งหมดไปตั้งคำถามในแบบสอบถามปลายปิด โดยมีผู้เชี่ยวชาญ 3 คน (เป็นอาจารย์มหาวิทยาลัยบูรพา) ทำแบบประเมินความเที่ยงตรง (IOC) เพื่อตรวจสอบความความถูกต้องของแบบสอบถามปลายปิด โดยผลการประเมินถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน โดยมีผลการประเมิน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม, ส่วนที่ 2 ความสำคัญของอุปกรณ์ ออกกำลังกายของผู้สูงอายุ และส่วนที่ 3 ความพึงพอใจในอุปกรณ์ออกกำลังกายที่มีผลต่อความต้องการใช้งาน

ผลคะแนนจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ ผู้จัดทำคำนวณตามสูตร เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง ดังสมการที่ (2)

$$IOC = \frac{\Sigma R}{N} \quad (2)$$

โดยที่ IOC = ดัชนีความสอดคล้อง

ΣR = ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

N = จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ประเมิน

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลการประเมินส่วนที่ 2 ความสำคัญของอุปกรณ์ออกกำลังกายของผู้สูงอายุ

รายการข้อคำถาม	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่			คะแนนรวม	ค่า IOC	แปลผล
	1	2	3			
อุปกรณ์ออกกำลังกายมีความปลอดภัย	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
อุปกรณ์ออกกำลังกายช่วยเพิ่มความแข็งแรงของร่างกาย	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
...	...	...	...	...	...	...
อุปกรณ์ออกกำลังกายที่ออกแรงระดับเบา	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้

จากผลการประเมินส่วนที่ 1 ส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ค่าดัชนีสอดคล้อง IOC ของข้อคำถามทุกข้อมีค่ามากกว่า 0.5 ขึ้น ซึ่งให้ผลการประเมินในส่วนนี้ คือ ใช้ได้

จากผลการประเมินแบบสอบถามทั้งหมด ได้ถูกนำไปปรับปรุงแก้ไข ตามความเหมาะสม และสามารถนำไปสำรวจตามจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการเท่ากับ 100 คน

5.3 การประยุกต์เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับอุปกรณ์ออกกำลังกาย

การสำรวจความต้องการและความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา ด้วยแบบสอบถามปลายปิด สำรวจผู้สูงอายุในจังหวัดชลบุรีที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป จำนวน 108 คน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มา

วิเคราะห์ทางสถิติและประยุกต์ใช้เทคนิค QFD เพื่อค้นหาข้อกำหนดทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ ตารางการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพดังรูปที่ 2 มีการคำนวณดังนี้

ส่วน B-1 (ระดับความสำคัญ) และ B-2 (ระดับความพึงพอใจ)

ให้ผู้สูงอายุประเมินคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ เป็นการให้คะแนน 5 ระดับ คือ 5 คะแนน คือ ให้ความสำคัญ และความพึงพอใจมากที่สุด เรียงไปจนถึง 1 คะแนน คือ ให้ความสำคัญ และความพึงพอใจน้อยที่สุด

จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลที่แจกแจงความถี่ เช่น คุณลักษณะอุปกรณ์ออกกำลังกายที่มีระดับความสำคัญมากที่สุด คือ อุปกรณ์ออกกำลังกายมีความปลอดภัย คิดเป็นคะแนนเฉลี่ย 4.88

ส่วน B-4 (จุดมุ่งหมาย)

การกำหนดระดับคะแนนนี้จะพิจารณาจากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญจากการสัมภาษณ์ เช่น อุปกรณ์ออกกำลังกายมีความปลอดภัย มีระดับคะแนน 5 เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 2 ท่าน ได้กล่าวถึงคุณลักษณะในเรื่องนี้ว่า อุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุต้องคำนึงถึงความปลอดภัยมาเป็นอันดับแรก

B-5 อัตราส่วนการปรับปรุง

$$\text{อัตราส่วนการปรับปรุง} = \frac{\text{จุดมุ่งหมาย}}{\text{ผลการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์}} \quad (3)$$

อุปกรณ์ออกกำลังกายมีความปลอดภัย แทนค่าในสมการที่ (3)

$$\text{อัตราส่วนการปรับปรุง} = \frac{\text{จุดมุ่งหมาย}}{\text{ระดับความพึงพอใจของผู้สูงอายุ } (B-2)} = \frac{5}{4.10} = 1.22$$

B-7 คะแนนดิบ

คะแนนดิบ = ความสำคัญต่อลูกค้า x อัตราส่วนการปรับปรุง (4)

อุปกรณ์ออกกำลังกายมีความปลอดภัย แทนค่าในสมการที่ (4)

คะแนนดิบ = ความสำคัญ (B-1) × อัตราส่วนการปรับปรุง (B-5)

= 4.88 × 1.22 = 5.95

B-8 คะแนนดิบปกติ

$$\text{คะแนนดิบปกติ} = \frac{\text{คะแนนดิบ}}{\text{ผลรวมของคะแนนดิบทั้งหมด}} \quad (5)$$

อุปกรณ์ออกกำลังกายมีความปลอดภัย แทนค่าในสมการที่ (5)

$$\text{คะแนนดิบปกติ} = \frac{\text{คะแนนดิบ } (B-7)}{\text{ผลรวมของคะแนนดิบทั้งหมด}} \times 100\% = (5.95/64.02) \times 100\% = 9.29$$

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าข้อมูลที่ได้จากอัตราส่วนการปรับปรุงนั้น ความต้องการที่จะให้อุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุที่มีพื้นกันลื่น ถึง 1.42 และการคำนวณคะแนนดิบนั้นจะทำให้ทราบว่าข้อมูลคะแนนดิบปกติที่สูงที่สุดคือ อุปกรณ์ออกกำลังกายที่มีพื้นกันลื่น ถึง 10.07

คุณลักษณะเชิงเทคนิค ส่วน C

คุณลักษณะเชิงเทคนิค เป็นข้อกำหนดที่เกิดจากการแปลงความต้องการของลูกค้า ประกอบด้วยรายละเอียด ดังนี้

รายการเมตริก คือ ข้อความที่แสดงคุณลักษณะเชิงเทคนิค

หน่วยวัด คือ หน่วยวัดของคุณลักษณะเชิงเทคนิค อาจเป็นหน่วยวัดที่มีเครื่องมือที่ใช้วัดค่าได้ เช่น มิลลิเมตร หรือเป็นหน่วยวัดที่เป็นความรู้สึก (Subjective) ซึ่งจะใช้หน่วยวัดเป็นคะแนน 1-5

ทิศทางการปรับปรุง คือ ทิศทางในการปรับปรุงคุณลักษณะเชิงเทคนิคที่สอดคล้องกับความต้องการ ซึ่งจะนำเสนอด้วยสัญลักษณ์ต่อไปนี้

↑ หมายถึง ยิ่งมากยิ่งดี

↓ หมายถึง ยิ่งน้อยยิ่งดี

○ หมายถึง ค่าที่ระบุไว้

ค่าเป้าหมาย คือ ค่าเป้าหมายของคุณลักษณะเชิงเทคนิค ซึ่งเป็นค่าเป้าหมายในการออกแบบอุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ ได้จากการเปรียบเทียบอุปกรณ์ออกกำลังกายที่มีการจัดจำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน ในที่นี้มี 4 ผลิตภัณฑ์ที่นำมาเทียบเคียง

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับความต้องการเชิงเทคนิค ส่วน D

การกำหนดความสัมพันธ์จะใช้สัญลักษณ์สามอย่างคือ ตัวเลข 1 3 9 หมายถึง สัมพันธ์น้อย, สัมพันธ์ปานกลาง และสัมพันธ์มาก ตามลำดับ ได้จากการรวมกลุ่มระดมความคิดของทางผู้จัดทำ เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะทางคุณภาพ ซึ่งส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้

ความสัมพันธ์ร่วมกันของคุณลักษณะเชิงเทคนิคส่วน E

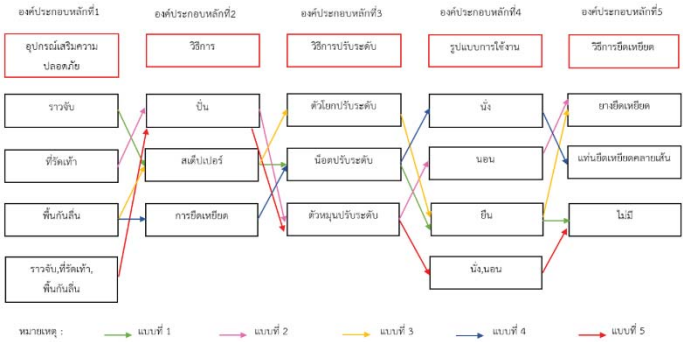
ผลกระทบเชิงบวกกำหนดด้วยเครื่องหมาย “ + ” และผลกระทบเชิงลบกำหนดด้วยเครื่องหมาย “ – ”

ส่วนเทคนิค F

ส่วนเทคนิคนี้เป็นการพิจารณาในการหาความสำคัญของคุณลักษณะเชิงเทคนิค ทำได้โดยนำตัวเลขที่แสดงความสัมพันธ์มาคูณกับคะแนนดิบของความต้องการที่ตรงกัน เมื่อคำนวณเรียบร้อยทุกช่อง แล้วให้นำคะแนนทั้งหมดมารวมกันภายใต้คุณลักษณะเชิงเทคนิคแต่ละชนิดแล้วใส่ในช่องค่าน้ำหนักคุณลักษณะเชิงเทคนิค ข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาต่อไป

สรุปได้ค่าน้ำหนักคุณลักษณะเชิงเทคนิคที่สูงสุดคือ อุปกรณ์เสริมเพื่อป้องกันความปลอดภัยในการใช้งาน ร้อยละ 13.60 รองลงมาคือ ระดับความเหมาะสมของแรงที่ใช้ในการออกกำลังกาย ร้อยละ 10.14 และอุปกรณ์ออกกำลังกายมีการป้องกันการลื่นล้ม ร้อยละ 10.01 ตามลำดับ

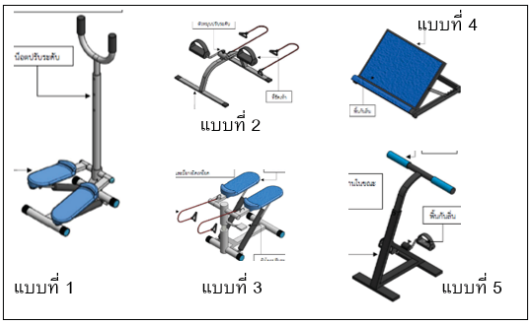
5.4 การออกแบบอุปกรณ์ออกกำลังกายต้นแบบ โดยใช้เทคนิค Concept Combination Table และเทคนิค Concept Screening



ผู้จัดทำได้ออกแบบแนวคิดทางเลือกผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 3 ได้อุปกรณ์ออกกำลังกาย 5 แบบ ดังรูปที่ 4

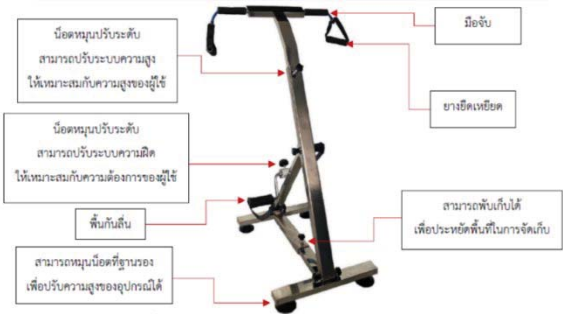
รูปที่ 3 การกำหนดแนวคิดทางเลือก

แนวคิดทางเลือกสัมพันธ์กับการออกแบบ ดังนี้ ตัวอย่างการอ่านแนวคิดแบบที่ 1 มีราวจับ ใช้วิธีสเต็ปเปอร์(แบบก้าวเหยียบ) มีน็อตปรับระดับและใช้งานในท่ายืน



รูปที่ 4 อุปกรณ์ออกกำลังกายที่ออกแบบ

5.5 การสร้างต้นแบบอุปกรณ์ออกกำลังกาย ทดลองและประเมินผล



รูปที่ 5 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

หลังจากได้แนวคิดแบบที่ 5 เป็นแนวคิดหลักและนำข้อดีของแนวคิดแบบที่ 2 และแนวคิดที่ 3 ที่มีค่าเฉลี่ยสูงของแต่ละคุณลักษณะผลิตภัณฑ์มาพิจารณาร่วมกันเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ดังรูปที่ 5 ต้นทุนรวม 2,982.75 บาท ตั้งราคาขายที่ 3,500 บาท

6. ผลการทดลอง

จากการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยละเอียด ทางผู้จัดทำได้สร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์และนำไปทดลองใช้งานโดยมีผู้ประเมินจำนวน 10 คน มีผลการประเมินการใช้งานดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานอุปกรณ์ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	ระดับความพึงพอใจ
A-5, A-7, A-12 A-14	มากที่สุด
A-1ถึงA-3 A6, A-9ถึงA-11	มาก
A-4 A-8, A-13	ปานกลาง

หมายเหตุ หมายเลขของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์มาจากการจัดกลุ่มความต้องการ แสดงในส่วน A ดังรูปที่ 2

เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพที่ผลิตขึ้นมาจริงกับค่าเป้าหมายของคุณลักษณะทางคุณภาพจากส่วน C ของบ้านคุณภาพที่ตั้งไว้ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบคุณลักษณะทางคุณภาพกับผลที่ได้จากการสร้างอุปกรณ์ออกกำลังกาย

คุณลักษณะทางคุณภาพ	ผลเปรียบเทียบ
C-1ถึงC-4 C-6ถึงC-10, C-12ถึงC-17	ผ่าน
C-5, C-11	ไม่ผ่าน

หมายเหตุ C-5 = น้ำหนักของอุปกรณ์ออกกำลังกาย
C-11 = ราคาอุปกรณ์ออกกำลังกาย

7. สรุปผล

จากผลการประเมิน แนวคิดที่ 5 ได้รับการคัดเลือกให้เป็นแนวคิดหลักเพราะได้คะแนนเฉลี่ยมากที่สุด และนำข้อดีของแนวคิดแบบที่ 2 และแนวคิดที่ 3 ที่มีค่าเฉลี่ยสูงของแต่ละคุณลักษณะผลิตภัณฑ์มาพิจารณาร่วมกันเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบอย่างละเอียด

แนวคิดที่ 5 ได้คะแนนเฉลี่ยมากที่สุด ตามคุณลักษณะผลิตภัณฑ์เรื่องอุปกรณ์ออกกำลังกายมีความปลอดภัย อุปกรณ์ออกกำลังกายช่วยเพิ่มความแข็งแรงของร่างกาย อุปกรณ์ออกกำลังกายที่มีความแข็งแรงทนทาน อุปกรณ์ออกกำลังกายมีราคาเหมาะสมหาซื้อได้ง่าย อุปกรณ์ออกกำลังกายที่สามารถปรับระดับได้ อุปกรณ์ออกกำลังกายมีสีสันสวยงามและน่าสนใจ และอุปกรณ์ออกกำลังกายที่ออกแรง

ระดับเบา โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.23 4.10, 4.03 3.70, 4.03 4.20 และ 4.07 ตามลำดับ

จุดเด่น : 1. มีราวจับ มีที่รัดเท้า มีพื้นกันลื่น
2. สามารถปั่นได้ทั้งขณะนั่งและนอน

จุดด้อย : 1. อุปกรณ์มีขนาดค่อนข้างใหญ่

ข้อดีของแนวคิดแบบที่ 2 ที่มีค่าเฉลี่ยสูง คือ คุณลักษณะผลิตภัณฑ์เรื่องอุปกรณ์ออกกำลังกายที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และอุปกรณ์ออกกำลังกายที่ใช้งานได้ทุกอิริยาบถ มีคะแนนมากที่สุดโดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 3.63 และ 3.53 ตามลำดับ

จุดเด่น : 1. สามารถออกกำลังกายแบบปั่นได้ในขณะนั่งและนอน
2. สามารถปั่นได้ทั้งแขนและขา

จุดด้อย : รูปแบบอุปกรณ์ออกกาลังกายไม่มีความน่าสนใจ

ข้อดีของแนวคิดแบบที่ 3 ที่มีค่าเฉลี่ยสูง คือ คุณลักษณะผลิตภัณฑ์เรื่องอุปกรณ์ออกกำลังกายช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของร่างกาย และอุปกรณ์ออกกำลังกายที่ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ มีคะแนนมากที่สุดโดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 3.90 และ 3.03 ตามลำดับ

จุดเด่น :
1. สามารถออกกำลังกายได้ทั้งแบบสเต็ปเปอร์และมียางยืดเหยียด
2. มีพื้นกันลื่น

จุดด้อย : 1. ไม่มีราวจับอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้

ผู้สูงอายุต้องการการออกกำลังกายลักษณะ ดังข้อ A-1ถึงA-14 ในรูปที่ 2 ซึ่งอุปกรณ์ที่ออกแบบมาใหม่แก้ไขปัญหาเดิม ดังนี้

1. เป็นอุปกรณ์ออกกำลังกายที่ออกแบบให้มีความปลอดภัย ดังนี้ มีอุปกรณ์เสริม คือ ราวจับ ที่รัดเท้า พื้นกันลื่น เพื่อช่วยในการออกกำลังกาย มีวิธีการออกกำลังกายด้วยการปั่น ซึ่งสามารถปรับระดับความฝืด ความสูงได้ด้วยตัวหมุนปรับระดับ สามารถใช้งานได้ในขณะนั่งและนอน

2. เป็นอุปกรณ์ออกกำลังกายที่สามารถออกแรงระดับเบา คือ ทำกิจกรรมที่มีค่าเฉลี่ยพลังงาน 2 - 2.8 แคลอรีต่อ กก. ต่อชม. [6]

3. เป็นอุปกรณ์ออกกำลังกายที่ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ในที่นี้ใช้ ได้ 3 รูปแบบ คือ นั่ง นอนและยืน

4. เป็นอุปกรณ์ออกกำลังกายที่ปรับระดับได้ 3 ระดับ คือ น็อตที่คอสามารถหมุนปรับระดับความสูงให้เหมาะกับผู้ใช้งาน น็อตหมุนปรับระดับตรงขาถีบสามารถปรับระดับความฝืดตามความต้องการของผู้ใช้งาน และน็อตที่ฐานรองเพื่อปรับระดับความสูงของอุปกรณ์

5. เป็นอุปกรณ์ออกกำลังกายที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ เพราะสามารถพับเก็บได้จึงประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ แต่มีน้ำหนักมาก อาจเคลื่อนย้ายไม่สะดวกนัก

การสำรวจความต้องการของผู้สูงอายุและการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ทำให้การออกแบบอุปกรณ์ออกกำลังกายสามารถตอบสนองความต้องการของผู้สูงอายุได้ ช่วยให้ผู้สูงอายุออกกำลังกายได้ถูกต้อง แต่มีข้อจำกัดในการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ออกกำลังกายและราคาที่เหมาะสม เนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นสแตนเลสมีความทนทานต่อการใช้งานแต่มีราคาค่อนข้างแพงและอุปกรณ์ออกกำลังกายมีขนาดใหญ่เพื่อให้เหมาะสมกับสรีระของผู้ใช้งาน ทำให้อุปกรณ์ ออกกำลังกายมีราคาค่อนข้างแพงและมีน้ำหนักมาก ในส่วนนี้จึงไม่เป็นไปตามความต้องการของผู้สูงอายุ โดยรวมผลการประเมินสรุปว่า อุปกรณ์ออกกำลังกายสามารถตอบสนองความต้องการของผู้สูงอายุได้ ช่วยให้ผู้สูงอายุออกกำลังกายได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] fopdev.or.th/สถารการณ์ผู้สูงอายุในป/

[2] มยุรี ถนอมสุข, การสร้างต้นแบบการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ อำเภอกำแพงแสน, รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์คณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2558

[3] กรแก้ว จันทภาษา, การสังเกต, ข้อมูลจาก https://home.kku.ac.th /korcha/obs1.html, 2549 (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 สิงหาคม 2563)

[4] วิฑูรย์ สิมะโชคดี, วิถีแห่ง TQM ตอน เครื่องมือเบื้องต้น, ข้อมูลจาก http://www.tpa.or.th/tpanews/upload/mag_content/29/ContentFile383.pdf, 2553 (วันที่สืบค้นข้อมูล 12 มิถุนายน 2563)

[5] กรมกิจการผู้สูงอายุ, ข้อมูลสถิติจำนวนผู้สูงอายุประเทศไทย ปี 2562 ด้วยระบบ POWER BI, ข้อมูลจาก http://www.dop.go.th /th/know/1/153, 2562 (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 มิถุนายน 2563)

[6] http://thaincd.com/document/file/download/powerpoint/6.การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ

[7] กรกมล ไพสิฐธนากร, QFD, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2551

[8] Haskell, W.L, Physical Activity, Fitness and Health, Journal of Aging and Physical Activity, pages 23-41 1994

การออกแบบและพัฒนา ระบบบริหารการแจ้งอุปกรณ์ชำรุด โครงการมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

Design and Development of Defective Equipment Reporting System for Automatic Meter Reading of PEA

ฐณตพงศ เพชรรัตน์[1*] ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล[2] พิชิต สุขเจริญพงษ์[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: tanatapong.p@ku.th[1*]

Tanatapong Pethcharut[1*] Ailada Treerattrakoon[2] Pichit Sukchareonpong[2]
[1] Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: tanatapong.p@ku.th[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและพัฒนาระบบบริหารการแจ้งคำร้องเพื่อขออุปกรณ์ทดแทนอุปกรณ์ชำรุด ของมิเตอร์และอุปกรณ์ประกอบในโครงการมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผ่านการศึกษาปรับปรุงกระบวนการทำงานในปัจจุบันซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการและความล่าช้าในการแจ้งข้อมูลผ่านเอกสารบันทึกราชการ โดยออกแบบและพัฒนาระบบบริหารการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดให้อยู่ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งมีความสามารถในการแจ้งรายละเอียดการขออุปกรณ์จากหน่วยงานต้นทางไปยังหน่วยงานผู้จัดสรรอุปกรณ์ และความสามารถในการบริหารสถานะใบงานการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดซึ่งดำเนินการผ่านผู้ใช้งานตามสิทธิของหน่วยงานที่ได้รับมอบหมาย เพื่อปรับลดขั้นตอนและระยะเวลาจากการจัดทำบันทึก โดยผลจากการออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งอุปกรณ์ชำรุด พร้อมการทดสอบและปรับใช้งานจริงกับขั้นตอนการดำเนินการเป็นระยะเวลา 4 เดือนพบว่า หลังการใช้งานระบบ ระยะเวลาการดำเนินการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดมีระยะเวลาเฉลี่ยที่ลดลงจาก 7.88 เหลือเพียง 3.29 คิดเป็นอัตราส่วนลดลง 58.25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนกระบวนการทำงานเดิม

คำสำคัญ: การจัดการคำร้อง, ระบบสารสนเทศ, การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

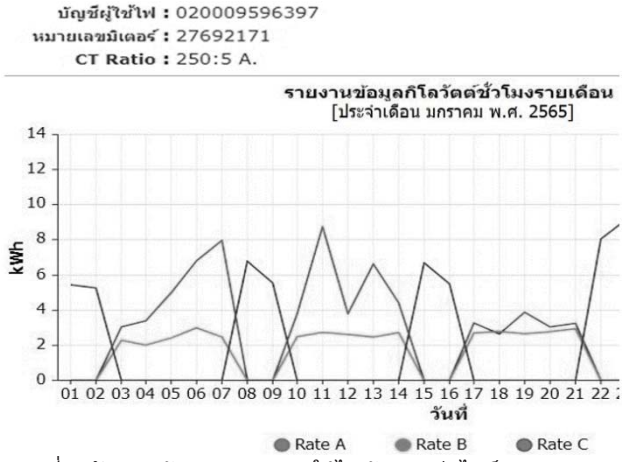
Abstract

The objective of this research was to design and develop an equipment replacement request management system for defective meters and accessories in the Automatic Meter Reading (AMR) project of the Provincial Electricity Authority (PEA). There was a delay in the existing work process, which involved submitting a request using government records. The purpose of this research was to design and develop a web application platform system. This system had functions for communicating device request information from the source unit to the device allocator and for reporting the request's status. The system had the potential to reduce the number of procedures and time required in comparison to a paper-based approach. After 4 months of being used, the average time required to report defective equipment decreased from 7.88 to 3.29 days, representing a reduction of 58.25 percent relative to the original process.

Keywords: Order Management, Information System, Web Application Development

1. บทนำ

โครงการมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ (Automatic Meter Reading : AMR) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นโครงการที่ติดตั้งให้กับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ จำนวนกว่า 95,000 ราย คิดเป็นอัตราส่วน 0.47 เปอร์เซ็นต์ของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ AMR คิดเป็นอัตราส่วน 56.46 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ถือได้ว่าเป็นกลุ่มผู้ใช้ที่มีความสำคัญต่อองค์กรเป็นอย่างมาก ระบบ AMR เป็นระบบที่ติดตั้งให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลหน่วยการใช้ไฟฟ้าประจำเดือนได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เจ้าหน้าที่ในการลงพื้นที่อ่านหน่วย และมีเว็บไซต์ให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถตรวจสอบข้อมูลหน่วยการใช้ไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง ผ่านบริการเว็บได้ [1] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าผ่านเว็บไซต์ระบบ AMR

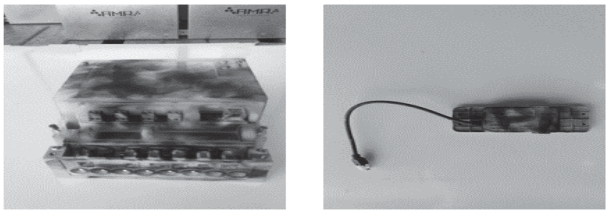
โดยรูปแบบการส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้า เริ่มจากมิเตอร์วัดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟเก็บไว้ภายในตัวเครื่อง แล้วส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์สื่อสารให้กับระบบทุก ๆ 15 นาที ข้อมูลที่ได้รับจะถูกรวบรวมและบันทึกในระบบฐานข้อมูลส่วนกลาง ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ประกอบของโครงการ AMR เพื่อใช้งานระบบ โดยประกอบไปด้วย มิเตอร์ อุปกรณ์สื่อสาร และตู้มิเตอร์ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 มิเตอร์และอุปกรณ์ประกอบโครงการ AMR

การบริหารจัดการคลัง ของอุปกรณ์ประกอบมิเตอร์ระบบ AMR ใช้การบริหารแบบศูนย์รวม โดยมีรอบของการจัดซื้อจัดจ้างอุปกรณ์ประกอบทั้งหมดตามวาระ และจัดเก็บอุปกรณ์ที่คลังพัสดุของการไฟฟ้าสำนักงานใหญ่ เมื่อมีผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความประสงค์จะติดตั้งใช้ระบบ AMR หรือมีความต้องการสับเปลี่ยนกรณ์อุปกรณ์ที่ชำรุด การไฟฟ้าสาขาย่อยจะจัดทำบันทึกเอกสารราชการระบุรายละเอียดของผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นข้อมูลในการขออุปกรณ์ส่งให้ตามกระบวนการถึงสำนักงานใหญ่ เพื่อดำเนินการตรวจสอบและอนุมัติ ก่อนจะจัดส่งอุปกรณ์ประกอบทั้งหมดให้กับการไฟฟ้าสาขาย่อยเพื่อนำไปติดตั้งให้กับผู้ใช้ไฟต่อไป

จากรูปแบบการบริหารจัดการอุปกรณ์คงคลังของมิเตอร์ระบบ AMR ซึ่งเป็นการจัดเก็บแบบรวมศูนย์ เมื่อมิเตอร์เกิดการชำรุดด้วยสาเหตุที่ระบบ AMR ไม่สามารถแจ้งเตือนได้ เช่น ฝาครอบมิเตอร์ขุ่นมัว ปุ่มกดชำรุด หรือ โมเด็มชำรุด ดังรูปที่ 3 เป็นต้น ทำให้การดำเนินงานจะต้องผ่านกระบวนการการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดจากการไฟฟ้าสาขาย่อย โดยกระบวนการดังกล่าวจะเป็นการร่างบันทึกเอกสารราชการ ซึ่งการส่งเอกสารผ่านหน่วยงานตามระเบียบ ต้องมีผู้เซ็นรับทราบตามตำแหน่งที่รับผิดชอบและจัดส่งผ่านระบบสารบรรณ เพื่อแจ้งให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องดำเนินการต่อไป เมื่อรวมเวลาที่ใช้ในขั้นตอนทั้งหมด ส่งผลให้เกิดการสูญเสียเวลาในการให้บริการต่อผู้ใช้ไฟฟ้าขึ้น



รูปที่ 3 ตัวอย่างมิเตอร์และอุปกรณ์ประกอบชำรุดที่ไม่เกิดการแจ้งเตือน

จากข้อมูลข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาหลักการบริหารและประเมินผลประโยชน์เพื่อออกแบบระบบ รวมถึงหลักการพัฒนาระบบสำหรับใช้ในการดำเนินการในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้กระบวนการทำงานและระยะเวลาที่ล่าช้าลดลง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกียวข้อง

การจัดลำดับความต้องการสินค้า (Order Priority Management) เป็นการจัดการสิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับความต้องการสินค้าในคลัง ตั้งแต่ขั้นตอนการรวบรวมปริมาณอุปสงค์ต่อสินค้า การควบคุมสินค้าคงเหลือให้มีปริมาณที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังคำนึงถึงระยะเวลาในการสั่ง และการนำส่งสินค้า โดยมีหลักเกณฑ์ระดับความสำคัญตามความเร่งด่วน เพื่อให้ตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ในการร้องขอสินค้า ซึ่งได้แบ่งหลักเกณฑ์ออกเป็น 4 เกณฑ์ ได้แก่

- ความต้องการเร่งด่วน (Critical Needs)
- ความต้องการตามลำดับทั่วไป (Major Needs)
- ความต้องการระดับที่สามารถชะลอได้ (Minor Needs)
- ความต้องการที่ไม่ตรงกับเงื่อนไข (Non Accepted)

ภายในงานวิจัยที่ศึกษาพบว่าการจัดลำดับความต้องการ สามารถบริหารเพื่อให้ระดับสินค้าคงคลังไม่กระทบต่อระดับการให้บริการได้ ตัวอย่างเช่น กรณีที่สินค้าในคลังไม่เพียงพอต่อคำร้อง การจัดการคำร้องจะบริการคำร้องที่มีความต้องการเร่งด่วนก่อนเป็นอันดับแรก [2]

การเปรียบเทียบระหว่างการพัฒนาระบบ กับการใช้ระบบบริหารสำเร็จรูป โดยวิเคราะห์ระบบปัจจุบันของบริษัทแห่งหนึ่ง ที่ปัจจุบันดำเนินการโดยทำการจดบันทึกข้อมูลด้วยตนเองโดยใช้ Excel Spreadsheets เป็นฐานข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูล ซึ่งมีข้อบกพร่องและข้อจำกัดหลายประการเกิดขึ้น เช่น การขาดหายของข้อมูลส่วนกลาง การรับรู้ของผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถเข้าถึงได้ ทั้งนี้เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพของการเก็บข้อมูล จึงมีความต้องการระบบการจัดการคลังสินค้าที่ตรงตามความต้องการและสามารถส่งมอบกระบวนการได้ดีขึ้น โดยทำการศึกษาและหาข้อมูลของระบบบริหารคลังสินค้าที่เป็นที่นิยมในท้องตลาดในปัจจุบัน เพื่อเปรียบเทียบเทคโนโลยีที่ใช้พัฒนาความสามารถในการนำมาปรับใช้กับกระบวนงาน และข้อดี/ข้อเสียของระบบ ตัวอย่างดังตารางที่ 1 [3]

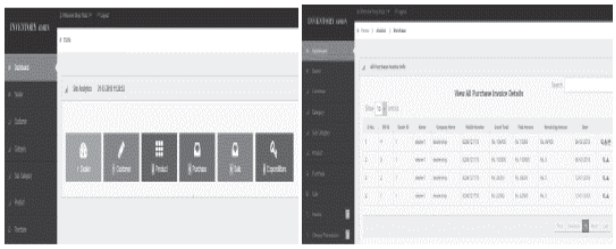
ตารางที่ 1 ตัวอย่างการเปรียบเทียบระบบการจัดการคลังสินค้าสำเร็จรูป

ระบบ	เทคโนโลยี	ข้อดี	ข้อเสีย
Vendor Management Systems	PHP, SQL	ผู้จัดจำหน่ายสามารถควบคุมการจัดการสินค้าคงคลังให้กับลูกค้าได้	ความสามารถของระบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้พัฒนา
ERP (Enterprise Resource Planning) Systems	.NET, C, C#, SQL, PHP, JAVA	ระบบรองรับ 1. การวางแผนต้นทุน และการพัฒนา 2. การตลาดและการขาย	1. มีราคาสูง 2. ปรับปรุงการทำงานของระบบได้ยาก

หมายเหตุ ข้อมูลข้างต้นเป็นบางส่วนจากงานวิจัยอ้างอิงเท่านั้น

การออกแบบฐานข้อมูลและสิทธิในการเข้าถึงข้อมูล (Database and Authorize Design) เป็นการศึกษาทดลองการสร้างระบบและออกแบบฐานข้อมูล โดยยึดตามข้อกำหนดว่า ระบบจะต้องรองรับการทำงานกับข้อมูลขนาดใหญ่ จำนวนข้อมูลทั้งหมดสามารถเรียงลำดับหมายเลขซีเรียลตามลำดับการเข้าก่อนออกก่อน และข้อมูลจะต้องมีความปลอดภัยในระดับสูง หลังจากวิเคราะห์โปรแกรมซอฟต์แวร์ที่มีอยู่อย่างเหมาะสมที่สุด ซอฟต์แวร์ที่ถูกเลือกในการวิจัยที่ศึกษาคือ Microsoft Visual Studio และ Express เพื่อพัฒนาระบบให้ผู้ดูแลคลังมีหน้าที่รับข้อมูล ทำงานร่วมกับวิศวกรผู้ตรวจสอบเพื่อจัดสรรอุปกรณ์ให้ตามความต้องการ รวมถึงการบริหารข้อมูลของอุปกรณ์คงคลังเพื่อทำการปรับปรุงความถูกต้องระหว่างข้อมูลบนระบบและอุปกรณ์จริง จากการประเมินข้อมูลทั้งหมดจึงได้ออกแบบระบบฐานข้อมูล และกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตารางฐานข้อมูลขึ้น [4]

การออกแบบและพัฒนาระบบบริหารจัดการคลัง (System Design and Development) ภายในงานวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบโดยอ้างอิงต้นแบบจาก Chadda RS (ระบบการจัดการสินค้าคงคลังในอินเดีย) โดยออกแบบให้มีโครงสร้างรองรับขั้นตอนตั้งแต่การสร้างคำสั่งซื้อ ออกรายงาน และทำการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันรุ่นทดลองในการจัดการสต็อกและเรียกเก็บเงินโดยใช้ระบบฐานข้อมูลแบบศูนย์กลาง ดังรูปที่ 4 โดยที่สามารถปรับปรุงได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานในอนาคต [5]



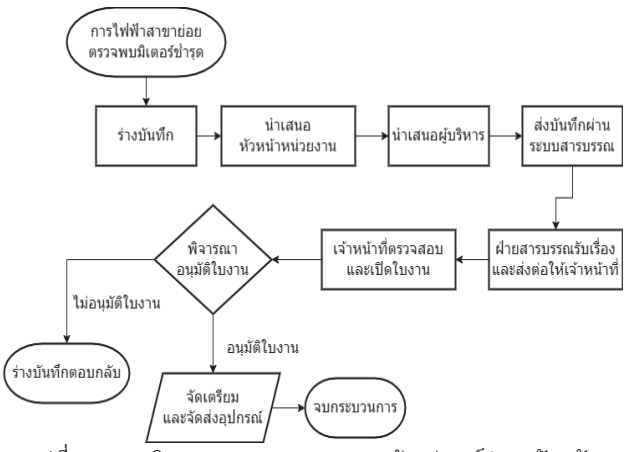
รูปที่ 4 ตัวอย่างการทดลองพัฒนาระบบแจ้งคำสั่งซื้ออุปกรณ์

การวัดประสิทธิภาพและประโยชน์จากระบบบริหารจัดการ (Benefit Analysis) ผู้วิจัยได้ศึกษาและกำหนดเกณฑ์การวัดผล โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงกระบวนการภายใน และผลประโยชน์ทางด้านการเงิน ภายในงานวิจัยที่ศึกษาพบว่า การนำระบบบริหารมาใช้งานภายในกระบวนการดำเนินงานจริง ช่วยให้กระบวนการภายในมีขั้นตอนและระยะเวลาที่ลดลง โดยได้ทำการเปรียบเทียบระยะเวลาของกระบวนการดำเนินงานเดิมกับระยะเวลาของกระบวนการหลังจากระบบมาใช้งาน พร้อมแสดงผลความสำเร็จของการนำระบบมาใช้งานจากเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ลดลง [6]

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 วิเคราะห์ปัญหา

จากรูปแบบการบริหารจัดการอุปกรณ์คงคลังของมิเตอร์ระบบ AMR ในปัจจุบัน เป็นการดำเนินงานการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดผ่านการทำเอกสารบันทึกราชการ ซึ่งต้องมีการเซ็นรับทราบโดยผู้บริหารเพื่อส่งเอกสารระหว่างหน่วยงานตามระเบียบ สามารถแสดงเป็นแผนภูมิ Flowchart ได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภูมิ Flowchart กระบวนการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดปัจจุบัน

จากการศึกษาข้อมูลการดำเนินงานระหว่างเดือน เมษายน ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2564 พบว่า การแจ้งอุปกรณ์ชำรุดมีค่าเฉลี่ยโดยประมาณอยู่ที่ 300 ใบงานต่อเดือน มีระยะเวลาเฉลี่ยต่อหนึ่งใบงานการแจ้งอุปกรณ์ชำรุด ดังตารางที่ 2

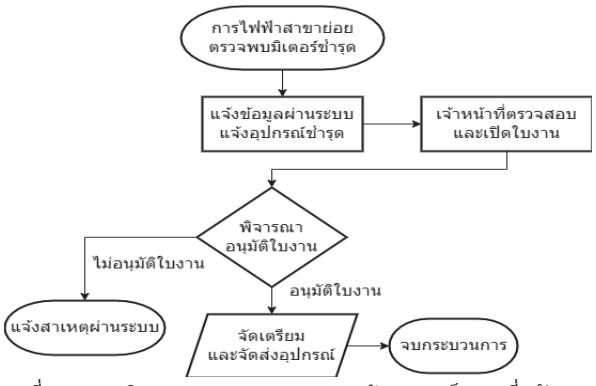
ตารางที่ 2 ระยะเวลาเฉลี่ยในกระบวนการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดระหว่างเดือน เมษายน ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2564

กระบวนการทำงาน	จำนวนงาน	ระยะเวลา (วัน)		
		ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
แจ้งอุปกรณ์ชำรุดก่อนปรับปรุง	696	0.04	29.33	7.88

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความล่าช้าที่เกิดขึ้นในส่วนของขั้นตอนการแจ้งอุปกรณ์ชำรุด ซึ่งหมายถึงระยะเวลาระหว่างที่การไฟฟ้าสาขาย่อยตรวจพบและจัดทำบันทึกแจ้งข้อมูล จนถึงเจ้าหน้าที่การไฟฟ้าสำนักงานใหญ่รับทราบและดำเนินการต่อ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.72 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่ล่าช้าต่อการให้บริการผู้ใช้ไฟฟ้า

3.2 ประชุมหาแนวทางแก้ไขปัญหา

จากการวิเคราะห์กระบวนการทำงานเดิม และปัญหาทั้งหมด งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นโดยการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาใช้งานเพื่อให้การบริหารจัดการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดให้ดีขึ้น โดยออกแบบและพัฒนาระบบในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน ให้สามารถรองรับการแจ้งขออุปกรณ์ทดแทนอุปกรณ์ที่ชำรุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดเวลาและขั้นตอนการปฏิบัติงาน โดยระบบที่พัฒนาจะทดแทนการดำเนินงานตั้งแต่การร่างเอกสารบันทึกไปจนถึงการส่งเอกสารผ่านระบบสารบรรณ และยังคงขั้นตอนการอนุมัติใบงานแบบออนไลน์จากผู้ดูแลคลังอุปกรณ์เพื่อเป็นไปตามระเบียบ ดังรูปที่ 6



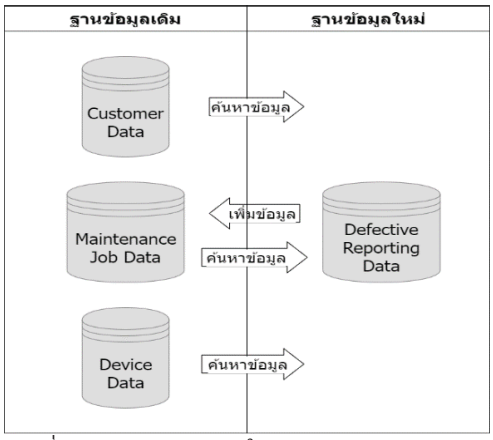
รูปที่ 6 แผนภูมิ Flowchart กระบวนการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดที่ปรับปรุงจากการใช้ระบบ

3.3 ออกแบบระบบ

เนื่องจากการพัฒนาระบบบริหารการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดจะเป็นการพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งมีระบบการเข้าใช้งานของผู้ใช้จำแนกเป็น 3 ประเภท คือ ผู้ดูแลระบบ ผู้อนุมัติใบงานการแจ้งชำรุด ผู้แจ้งใบงานการแจ้งชำรุด และจากการวิเคราะห์การปฏิบัติงานตามระเบียบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้าระดับเขต หรือ ระดับจุดรวมงานต้องสามารถกำกับและดูแลงานของการไฟฟ้าในสังกัด จึงเป็นที่มาของการออกแบบระดับสิทธิของผู้ใช้เป็น 4 ระดับ เรียงลำดับจากความสามารถของสิทธิ ได้เป็น

ระดับที่ 1 ผู้ดูแลระบบ
ระดับที่ 2 การไฟฟ้าสำนักงานใหญ่
ระดับที่ 3 การไฟฟ้าเขต หรือการไฟฟ้าจุดรวมงาน
ระดับที่ 4 การไฟฟ้าสาขาย่อย

เมื่อวิเคราะห์ระบบที่มีอยู่เดิมและขั้นตอนการดำเนินงานปัจจุบัน ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบฐานข้อมูลสำหรับระบบแจ้งอุปกรณ์ชำรุดให้มีความสัมพันธ์ของข้อมูลร่วมกับฐานข้อมูลของระบบที่มีอยู่เดิมดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนภาพแสดงการใช้ข้อมูลระหว่างฐานข้อมูล

โดยออกแบบขั้นตอนการปฏิบัติงานของการแจ้งอุปกรณ์ชำรุด ให้มีการป้อนข้อมูลโดยการค้นหาข้อมูลอ้างอิงจากฐานข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้า ข้อมูลของอุปกรณ์ และข้อมูลใบงานที่มีการสับเปลี่ยนอุปกรณ์กรณีมีการแจ้งจากหมายเลขมิเตอร์หรืออุปกรณ์เดียวกัน ทำการค้นหาเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการแจ้งอุปกรณ์ชำรุด ให้สามารตรวจสอบและแก้ไขได้ และเมื่อปฏิบัติขั้นตอนการดำเนินงานที่ผู้ใช้งานฝั่งปลายทางอนุมัติใบงานแจ้งอุปกรณ์ชำรุดแล้ว จะทำการส่งข้อมูลเพื่อสร้างใบงานในส่วนการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่อไป

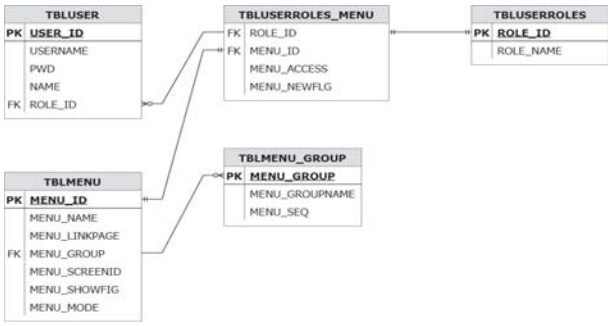
3.4 พัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบบริหารการแจ้งอุปกรณ์ชำรุด เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานตามวัตถุประสงค์ โดยแบ่งส่วนประกอบของการพัฒนาได้ดังนี้

3.4.1 พัฒนาระบบฐานข้อมูล

ใช้ภาษา SQL ในการพัฒนาและจัดการฐานข้อมูล โดยใช้โปรแกรม DBeaver เพื่อช่วยในการประมวลผลชุดคำสั่งฐานข้อมูล ในการพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อเป็นโครงสร้างของระบบต้องผ่านขั้นตอนการสร้าง

ฐานข้อมูล บันทึกข้อมูล ปรับปรุงแก้ไขข้อมูล สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตารางข้อมูล และในขั้นตอนการใช้งานจะดำเนินการโดยใช้ชุดคำสั่งของระบบเพื่อเรียกใช้งานข้อมูลด้วยเงื่อนไขต่อไป โดยมีตัวอย่างการสร้างความสัมพันธ์ฐานข้อมูลดังรูปที่ 8 [7-8]



รูปที่ 8 โครงสร้างระบบฐานข้อมูลส่วนการจัดการผู้ใช้งาน

3.4.2 พัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชัน

พัฒนาระบบแจ้งอุปกรณ์ชำรุดโดยการใช้ภาษา HTML และ CSS ในการพัฒนาให้ระบบทำงานในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio เป็นเครื่องมือช่วยในการเขียนคำสั่งการทำงานตามเงื่อนไขของระบบ โดยภาษาที่ใช้ในการพัฒนาระบบแจ้งอุปกรณ์ชำรุดคือ ภาษา C# รวมถึงมีชุดคำสั่งเสริมที่ใช้งาน ได้แก่ .NET Framework ซึ่งช่วยให้การพัฒนาระบบใช้ชุดคำสั่งที่มีการพัฒนาโดยนักพัฒนา เพื่อพัฒนาต่อยอดกับระบบแจ้งอุปกรณ์ชำรุดต่อไปได้ โดยในการวิจัยได้พัฒนาส่วนการทำงานของระบบ ดังนี้

ส่วนที่ 1 ส่วนการเข้าใช้งานระบบ เป็นส่วนการทำงานให้ผู้ใช้เข้าใช้งานระบบตามสิทธิของผู้ใช้ ดังรูปที่ 9

ส่วนที่ 2 ส่วนรายงานการแจ้งอุปกรณ์ชำรุด เป็นส่วนแสดงผลรายการแจ้งอุปกรณ์ชำรุด แสดงข้อมูลเบื้องต้นของใบงาน เช่น ชื่อผู้ใช้อุปกรณ์ที่ชำรุด สถานะใบงาน ดังรูปที่ 10

ส่วนที่ 3 ส่วนการค้นหาและแจ้งอุปกรณ์ชำรุด เป็นส่วนสำหรับการค้นหาข้อมูลการติดตั้งมิเตอร์ เพื่อเลือกรายการมิเตอร์ที่ต้องการแจ้งชำรุด ดังรูปที่ 11

ส่วนที่ 4 ส่วนการอนุมัติใบงานแจ้งอุปกรณ์ชำรุด เป็นส่วนสำหรับการกรอกรายละเอียดข้อมูลอุปกรณ์ชำรุด โดยผู้แจ้งสามารถกรอกสาเหตุ และความต้องการอุปกรณ์ เพื่อเป็นข้อมูลตัดสินใจแก่ผู้อนุมัติตามหลักการจัดการจัดการคำร้องได้ ดังรูปที่ 12

ส่วนที่ 5 ส่วนรายงานสรุปผล เป็นส่วนสำหรับแสดงผลสรุปโดยรวมของการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดในพื้นที่การดูแลของผู้ใช้งานระบบ ดังรูปที่ 13

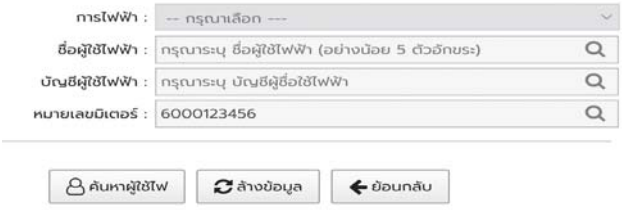


รูปที่ 9 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลเข้าใช้งานระบบ



เลขที่ใบแจ้งชำรุด	บัญชีผู้ใช้ไฟฟ้า	ชื่อผู้ใช้ไฟฟ้า	หมายเลขมิเตอร์	มิเตอร์ซีเรียล	วันที่แจ้งชำรุด	สถานะ
650210153224	020010275270	หจก.เสาเอกซีเมนต์	5900799422	216746582	21/01/2022 15:36:05	ใบแจ้งชำรุดใหม่
650210145432	020004886471	บริษัทซอยส์มินิสโตร์ จำกัด	5701547918	214440173	21/01/2022 14:51:46	อนุมัติ
650190100718	020005389366	สถานีสูบน้ำ P.9 เทศบาลนครเชียงใหม่	5701547919	214440174	19/01/2022 10:10:41	ใบแจ้งชำรุดใหม่
642480170017	020020141978	บริษัท คอมมอนแอเรีย จำกัด	27660348	211604698	05/09/2021 17:00:06	ใบแจ้งชำรุดใหม่

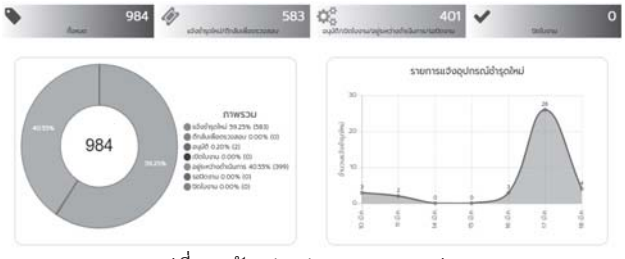
รูปที่ 10 ตัวอย่างหน้ารายงานการแจ้งอุปกรณ์ชำรุด



รูปที่ 11 ตัวอย่างการค้นหาข้อมูลอุปกรณ์ด้วยหมายเลขมิเตอร์



รูปที่ 12 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลแจ้งอุปกรณ์ชำรุด



รูปที่ 13 ตัวอย่างส่วนรายงานสรุปผล

3.5 ทดสอบระบบ

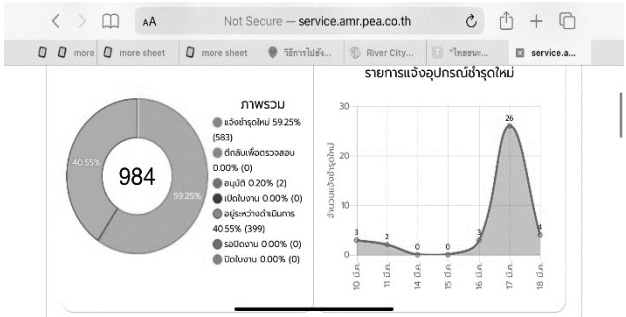
หลังจากเสร็จสิ้นการพัฒนาระบบบริหารการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดให้มีความสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์แล้ว เพื่อตรวจสอบให้ระบบมีประสิทธิภาพและความถูกต้องครบถ้วน ผู้วิจัยได้ทดสอบการทำงานของระบบในส่วนการทำงานขั้นตอนสำคัญต่าง ๆ ของระบบ เช่น การค้นหาข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า และบันทึกรายละเอียดข้อมูลการชำรุดเพื่อแจ้งอุปกรณ์ชำรุด เป็นต้น

จากการทดสอบระบบพบว่าระบบมีข้อจำกัดในการทำงาน ได้แก่ การแจ้งอุปกรณ์ชำรุดผ่านระบบสามารถทำได้เพียงครั้งละ 1 รายการต่อ 1 การดำเนินการเท่านั้น ส่งผลให้การดำเนินงานของการไฟฟ้าที่มีอุปกรณ์ชำรุดพร้อมกันหลายเครื่อง มีการทำงานที่ซ้ำซ้อนขึ้น

รวมถึงการใช้งานระบบผ่านอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนทั้งระบบ Android และ IOS จะแสดงผลผิดเพี้ยนจากการใช้งานระบบในคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 14 โดยจำเป็นต้องใช้งานระบบบนอุปกรณ์ในรูปแบบแนวนอนเพื่อให้การแสดงผลเป็นปกติ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 ตัวอย่างการแสดงผลบนอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนในแนวตั้ง



รูปที่ 15 ตัวอย่างการแสดงผลบนอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนในแนวนอน

3.6 การประเมินระบบ

เมื่อพัฒนาระบบบริหารการแจ้งอุปกรณ์ชำรุด พร้อมกับทดลองใช้งานระบบกับขั้นตอนการดำเนินงานจริง สามารถประเมินประสิทธิภาพในการลดขั้นตอน และระยะเวลาการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน โดยประเมินค่าจากระยะเวลาเฉลี่ยต่อใบงานที่ลดลงดังตารางที่ 3 เมื่ออ้างอิงจากข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหา สามารถเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยของกระบวนการเดิมกับกระบวนการใหม่ เพื่อหาผลลัพธ์ความเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาได้ ดังตารางที่ 4 [8, 9]

ตารางที่ 3 ระยะเวลาเฉลี่ยกระบวนการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดหลังปรับปรุงระหว่างเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565

กระบวนการทำงาน	จำนวนงาน	ระยะเวลา (วัน)		
		ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
แจ้งอุปกรณ์ชำรุดก่อนปรับปรุง	696	0.04	29.33	7.88
แจ้งอุปกรณ์ชำรุดหลังปรับปรุง	671	0.01	8.08	3.29

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยต่อใบงาน ก่อนและหลังใช้งานระบบ

กระบวนการทำงาน	ระยะเวลาเฉลี่ย (วัน)		ผลที่ได้ (เปอร์เซ็นต์)
	กระบวนการเดิม	กระบวนการใหม่	
แจ้งอุปกรณ์ชำรุด	7.88	3.29	ลดลง 58.25%

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาระบบบริหารการแจ้งอุปกรณ์ชำรุด โครงการมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อทดลองใช้งานระบบกับกระบวนการทำงานจริงเป็นระยะเวลา 4 เดือน ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 พบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถลดขั้นตอนการดำเนินงาน และระยะเวลาเฉลี่ยในการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดต่อหนึ่งใบงานจากเดิม 7.88 วัน เป็น 3.29 วัน คิดเป็น 58.25 เปอร์เซ็นต์

ถึงแม้ว่าระบบบริหารการแจ้งอุปกรณ์ชำรุดจะสามารถช่วยในการลดขั้นตอน และระยะเวลาการดำเนินงานได้ แต่ยังมีข้อจำกัดของระบบดังที่กล่าวในบทความข้างต้น จึงแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการพัฒนาระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพต่อไปได้

และจากการทดลองใช้งานระบบกับกระบวนการทำงานจริง พบว่ามีเจ้าหน้าที่ไม่เข้าใจรูปแบบการใช้งานระบบ ทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้น จึงเห็นควรให้มีการจัดการองค์ความรู้ และคู่มือการใช้งานแบบละเอียดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานให้มากขึ้นตามวัตถุประสงค์ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบคุณคณะอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้อันเป็นประโยชน์ รวมถึงการให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่อง จนสามารถทำวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบคุณหน่วยงานของผู้วิจัยที่สนับสนุนทุนการศึกษา ทรัพยากร และข้อมูลในการดำเนินการทดลอง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างสูง และทำให้การจัดทำวิจัยฉบับนี้ครบถ้วนสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] วุฒิชัย กำจรกิตติคุณ, ชัยพร เขมะภาตะพันธ์. 2559. การวิเคราะห์ความผิดปกติข้อมูลการใช้ไฟฟ้าด้วยนาอีฟเบย์. การประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 8

[2] J. Ang, H. A. Majid. 2009. The application of web- based inventory management system for small and medium enterprise (SME/SMI) : a case study for hardware and furniture industry in Malaysia. 3rd International Conference on Operations and Supply Chain Management. OSCM Malaysia

[3] K. Srivastava., D.K. Choubey, J. Kumar. 2020. Implementation of Inventory Management System. Proceedings of the International Conference on Innovative Computing & Communications (ICICC 2020). SSRN: 3563375

[4] A.M. Atieh., H. Kaylani, Y. Al-Abdallat, A. Qaderi, L. Ghoul, L. Jaradat and I. Hdairis. 2016. Performance improvement of inventory management system processes by an automated warehouse management system. 48th CIRP Conference on MANUFACTURING SYSTEMS - CIRP CMS 2015 Procedia CIRP: 568 – 572

[5] V. Shinde., A. Singh, K. Wayal, V. Vadhavinde. 2018. Web App Store for Inventory Management and Stock Report in Android App Using Centralized Database. International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM) Special Issue - iCreate April. ISSN : 2454-9150

[6] A. Ramaa., K. Subramanya, T. Rangaswamy. 2012. Impact of Warehouse Management System in a Supply Chain. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 54– No.1

[7] จีรเศรษฐ์ แพมงคล. 2556. การออกแบบระบบและพัฒนาระบบสารสนเทศการขอใช้บริการยานพาหนะกรณีศึกษา คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สารนิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

[8] ฐิติชญา มาลาทอง. 2560. การออกแบบและพัฒนาระบบให้ความช่วยเหลือผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[9] ปรางค์ชิต แสงเสวตร. 2560. ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์อินทราเน็ต กฟผ. การค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การบริหารโครงการวิศวกรรมเพื่อลดต้นทุนและเวลา กรณีศึกษาโรงงานยา

Project Management for Reducing Cost and Time: A Case Study of Pharmaceutical Plant

ธัญญลักษณ์ สุทธนะ[1*] ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล[2] พิชิต สุขเจริญพงษ์[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: tanyalak.sut@ku.th[*]

Tanyalak Sutthana[1*] Ailada Treerattrakoon[2] Pichit Sukchareonpong[2]
[1] Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: tanyalak.sut@ku.th[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการบริหารโครงการทางด้านวิศวกรรมของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อลดต้นทุนและระยะเวลาดำเนินโครงการ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวางแผนและการควบคุมการทำงานที่ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณ (Program Evaluation and Review Technique: PERT) ร่วมกับการวิเคราะห์เส้นทางวิกฤต (Critical Path Analysis) ด้วยโปรแกรม Microsoft Project เพื่อวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่โครงการจะดำเนินการแล้วเสร็จตามแผน ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel Add-in Crystal Ball และการวิเคราะห์สถานะโครงการด้วยเทคนิควิเคราะห์มูลค่าที่ได้รับ (Earned Value Analysis: EVA) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการดำเนินงานจริงกับแผนงานที่วางไว้ ร่วมกับการวิเคราะห์ผลกระทบด้านต้นทุนจากการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดการควบคุมบุคคลภายนอกก่อนเข้าบริษัทกรณีศึกษาในช่วงสถานการณ์การระบาดไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ผลจากการปรับปรุงกระบวนการโดยการจัดลำดับความสัมพันธ์และเร่งรัดกิจกรรมวิกฤตที่ไม่มีค่าใช้จ่าย รวมทั้งติดตามสถานะโครงการอย่างต่อเนื่อง พบว่าสามารถปรับลดเวลาลงได้ 18.89 วัน ค่าความเชื่อมั่นที่โครงการจะแล้วเสร็จตามแผนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 74.02 เป็นร้อยละ 98.53 และมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงน้อยกว่ามูลค่าผลงานที่ทำได้จริงจากราคางบประมาณงานก่อสร้าง 272,795 บาท คิดเป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการดำเนินงานด้านต้นทุนเท่ากับ 1.03

คำสำคัญ: การบริหารโครงการ, การจัดการโครงการ, เทคนิควิเคราะห์มูลค่าที่ได้รับ, เทคนิควิเคราะห์เส้นทางวิกฤต, เทคนิคการวางแผนและการควบคุมการทำงานที่ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณ

Abstract

The objective of this research was to improve engineering project management processes of case study to reduce project costs and a project duration. The program evaluation and review technique (PERT) and the critical path analysis (CPA) in Microsoft Project were applied to analyze the probability of project completion with Microsoft Excel Add-in Crystal Ball. The earned value analysis (EVA) was applied to analyze a project status to measure the amount of work actually performed on a project beyond the basic review of cost reports with the cost impact analysis of changes in contractor management during the COVID-19 pandemic. The result of engineering project management process improvement by rearranging critical activities, crashing critical activities and monitoring project status indicated that the project duration could be reduced by 18.89 days. The probability of project completion increased from 74.02 percent to 98.53 percent. The actual cost of work performed was less than the estimated cost of work performed from the construction budget of 272,795 baht. The cost performance index was 1.03.

Keywords: Project Management, Earned Value Analysis (EVA), Critical Path Analysis (CPA), Critical Path Method (CPM), Program Evaluation and Review Technique (PERT)

1. บทนำ

การบริหารโครงการหรือการจัดการโครงการ (Project Management) เป็นหลักการความรู้ในการวางแผนและการจัดการทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อให้โครงการบรรลุเป้าประสงค์ เป็นการจัดการความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา ต้นทุน และคุณภาพ ในทรัพยากรที่กำหนดและข้อจำกัดอื่น ๆ เพื่อให้ได้เป้าหมายตามต้องการ โดยโครงการจะมีเวลากำหนดวันเริ่มต้นและวันจบงานที่แน่นอน

โรงงานอุตสาหกรรมภาคการผลิตส่วนใหญ่มักจะมีการบริหารโครงการสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเดิมหรือการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องอยู่เสมอ จึงเกิดการจัดตั้งทีมบริหารโครงการ การรวมกันของสมาชิกเพื่อทำงานร่วมกันโดยทุกคนมีจุดมุ่งหมายเดียวกัน คือ ให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2563 ของโครงการทางด้านวิศวกรรมที่มีการลงทุนในแบบ Capital Expenditures (CAPEX) ของโรงงานกรณีศึกษา ประกอบธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์อุปโภคและเภสัชภัณฑ์ (ยา) พบว่ามีโครงการจำนวน 45 โครงการ จากทั้งหมด 80 โครงการ คิดเป็นสัดส่วน 56.25 เปอร์เซ็นต์ ที่เกิดความล่าช้าและหรือมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงมากกว่างบประมาณ ซึ่งมีโครงการที่เกิดความล่าช้าจำนวน 21 โครงการ คิดเป็นสัดส่วน 46.67 เปอร์เซ็นต์ โครงการที่มีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงมากกว่างบประมาณจำนวน 15 โครงการ คิดเป็นสัดส่วน 33.33 เปอร์เซ็นต์ และโครงการที่เกิดทั้งสองปัญหา 9 โครงการ คิดเป็นสัดส่วน 20.00 เปอร์เซ็นต์ โดยข้อมูล 5 โครงการ ที่เกิดปัญหามากที่สุดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูล 5 โครงการ ทางด้านวิศวกรรมของบริษัทกรณีศึกษาที่เกิดปัญหามากที่สุดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2563

ลำดับ	ชื่อโครงการ	งบประมาณ (บาท)	ค่าใช้จ่ายเกินงบประมาณ (บาท)	ผลการส่งมอบโครงการ	ล่าช้ากว่าแผน (เดือน)
1	โครงการ ก.	109,713,612.6	5,199,334.43 (4.74%)	ล่าช้ากว่าแผน	16
2	โครงการ ข.	218,310,895.00	10,904,609.77 (4.99%)	ล่าช้ากว่าแผน	18
3	โครงการ ค.	25,183,791.00	1,232,503.65 (4.89%)	ล่าช้ากว่าแผน	11
4	โครงการ ง.	12,829,563.38	24,405.87 (0.19%)	ล่าช้ากว่าแผน	11
5	โครงการ จ.	10,718,812.56	261,330.29 (2.44%)	ล่าช้ากว่าแผน	15

จากการวิเคราะห์โดยทีมบริหารโครงการพบว่า สาเหตุที่ทำให้ส่งมอบโครงการล้าช้ากว่าแผนและเกิดค่าใช้จ่ายเกินงบประมาณ เกิดจากการวางแผนโครงการไม่สอดคล้องกับเวลาการดำเนินงานจริงของแต่ละกิจกรรม ขาดการกำหนดความสัมพันธ์ของกิจกรรมอย่างละเอียด การเพิ่มและเปลี่ยนแปลงขอบเขตของโครงการ การประเมินงบประมาณของโครงการน้อยกว่าค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริง เนื่องจากการสำรวจหน้างานจริงไม่ครอบคลุม ไม่สามารถเข้าปฏิบัติงานในพื้นที่การผลิตได้ตามแผน เนื่องจากกิจกรรมก่อสร้างส่งผลกระทบต่อแผนการผลิตของบริษัท รวมถึงขาดการประเมินผลกระทบจากงานการก่อสร้างและควบคุมงาน

ดังนั้นจากปัญหาข้างต้นหากผู้บริหารโครงการมีการพิจารณาการวางแผน จัดลำดับงาน กำหนดความสัมพันธ์ของกิจกรรม การประเมินความเสี่ยงและคาดการณ์ปัญหา รวมทั้งกำหนดแนวทางปฏิบัติการบริหารโครงการจะทำให้สามารถส่งมอบโครงการได้ตามแผน หรือ เร็วกว่าแผน และหลีกเลี่ยงการใช้จ่ายเกินงบประมาณได้

2. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดการโครงการ (Project Management)

โครงการ (Project) คือ งานที่มีกำหนดการ หรือ ระยะเวลาแล้วเสร็จของงานที่แน่นอน เป็นงานที่มีจุดมุ่งหมายเดียวกัน [1] การจัดการโครงการเป็นการวางแผนและควบคุมทรัพยากรต่าง ๆ โดยคาดคะเนทิศทางและระยะเวลาของโครงการตั้งแต่เริ่มโครงการจนกระทั่งโครงการสำเร็จ เพื่อให้โครงการมีประสิทธิภาพและบรรลุเป้าประสงค์ของโครงการ

กระบวนการบริหารโครงการประกอบด้วย 5 ขั้นตอน [2] ดังนี้ ขั้นตอนเริ่มต้นโครงการ (Initiating) ขั้นตอนการวางแผน (Planning) ขั้นตอนการดำเนินงาน (Executing) ขั้นตอนการติดตามและการควบคุม (Monitoring and Controlling) และขั้นตอนปิดโครงการ (Closing) หรือขั้นตอนส่งมอบโครงการ ซึ่งในขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนที่ 4 มักทำควบคู่กันเพื่อตรวจสอบ ติดตามสถานะการดำเนินโครงการให้เป็นไปตามแผน

2.2 เทคนิควิเคราะห์เส้นทางวิกฤต (Critical Path Analysis: CPA) หรือ วิธีการหาเส้นทางวิกฤต (Critical Path Method: CPM)

การวิเคราะห์เส้นทางวิกฤตเป็นเทคนิคในการวางแผน กำหนดเวลาโครงการที่ซับซ้อน ควบคุมและประสานงานกิจกรรมต่าง ๆ ที่จำเป็นในการทำโครงการ วิเคราะห์กิจกรรมที่ส่งผลต่อความล่าช้าของโครงการ ติดตามสถานะการดำเนินการเพื่อควบคุมโครงการให้มีประสิทธิภาพและสามารถรักษากำหนดการได้ [3]

ปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยในการบริหารโครงการ ซึ่งสามารถวางแผน (Schedule) และคำนวณค่าใช้จ่าย (Cost) รวมถึงวิเคราะห์กิจกรรมวิกฤต ได้แก่ โปรแกรมไมโครซอฟท์โปรเจกต์ Microsoft Project ซึ่งจะช่วยให้ผู้จัดการโครงการสามารถป้อนข้อมูลที่สำคัญ เช่น ลำดับงาน ความสัมพันธ์ของโครงข่ายงาน เวลาทำงาน ทรัพยากรที่ต้องใช้ สามารถคำนวณวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดของแต่ละงาน รวมถึงแสดงข้อมูลของเส้นทางวิกฤต [4]

2.3 เทคนิคการวางแผนและควบคุมการทำงานที่ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณ (Program Evaluation and Review Technique: PERT)

PERT [5] เป็นเทคนิควิธีการวางแผนและควบคุมแผนซึ่งมีความซับซ้อน โดยแสดงถึงข่ายของงานที่ประกอบด้วยเหตุการณ์และกิจกรรมกับเวลาโดยประมาณ คือ เวลาที่คาดว่าจะทำกิจกรรมแล้วเสร็จได้เร็วที่สุด (Optimistic Time) เวลาที่คาดว่าจะทำกิจกรรมแล้วเสร็จได้ช้าที่สุด (Pessimistic Time) และเวลาที่เป็นไปได้มากที่สุดที่จะทำกิจกรรมแล้วเสร็จ (Most Likely Time) เพื่อคำนวณหาระยะเวลาคาดหวังของ

โครงการ (Expected Time: TE) สามารถคำนวณดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$TE = \frac{a+4m+b}{6} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 \quad (2)$$

โดยที่ TE คือ ระยะเวลาคาดหวัง (Expected Project Time)

σ^2 คือ ความแปรปรวนของระยะเวลาคาดหวัง

a คือ เวลาที่คาดว่าจะทำกิจกรรมแล้วเสร็จได้เร็วที่สุด (Optimistic Time)

b คือ เวลาที่คาดว่าจะทำกิจกรรมแล้วเสร็จได้ช้าที่สุด (Pessimistic Time)

m คือ เวลาที่เป็นไปได้มากที่สุดที่จะทำกิจกรรมแล้วเสร็จ (Most Likely Time)

เมื่อทราบเส้นทางวิกฤตแล้ว สามารถคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จจากสมการที่ (3)

$$Z = \frac{(D-\mu)}{\sqrt{\sigma^2}} \quad (3)$$

โดยที่ Z คือ ค่าความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จ

D คือ จำนวนวันที่โครงการจะแล้วเสร็จ

μ คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่คาดว่าจะแล้วเสร็จในเส้นทางวิกฤต

σ^2 คือ ความแปรปรวนของวันที่คาดว่าจะแล้วเสร็จในเส้นทางวิกฤต

2.4 การวิเคราะห์สถานะโครงการโดยการวิเคราะห์มูลค่าที่ได้รับ (Earned Value Analysis: EVA)

เป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลการดำเนินงานจริงกับแผนงานที่วางไว้ [6] โดยการวิเคราะห์สำหรับโครงการกรณีศึกษาจะเกี่ยวข้องกับ 3 ค่า ตามช่วงเวลาการดำเนินงานที่ต้องพิจารณา ดังนี้ ค่าความแตกต่างทางด้านต้นทุน (Cost Variance: CV) คือ ค่าความแตกต่างระหว่างต้นทุนตามงบประมาณของงานที่ดำเนินการแล้ว (Budgeted Cost of Work Performed: BCWP หรือ Earned Value) กับต้นทุนจริงของงานที่ดำเนินการแล้ว (Actual Cost of Work Performed: ACWP) [7] คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$CV = BCWP - ACWP \quad (4)$$

กรณี CV เป็น ศูนย์ คือ มูลค่าที่ได้รับเท่ากับต้นทุนที่ใช้ไป

CV เป็น ลบ คือ มูลค่าที่ได้รับน้อยกว่าต้นทุนที่ใช้ไป

CV เป็น บวก คือ มูลค่าที่ได้รับมากกว่าต้นทุนที่ใช้ไป

ค่าดัชนีประสิทธิภาพทางด้านต้นทุน (Cost Performance Index: CPI) เป็นดัชนีชี้วัดสถานะของค่าใช้จ่ายโครงการ คำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} \quad (5)$$

กรณี CPI เท่ากับ 1 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ คือ ต้นทุนเป็นไปตามแผนที่วางไว้

CPI น้อยกว่า 1 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ คือ เกิดค่าใช้จ่ายจริงมากกว่าแผนงานที่วางไว้

CPI มากกว่า 1 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ คือ เกิดค่าใช้จ่ายจริงน้อยกว่าแผนงานที่วางไว้

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เวลาและต้นทุนที่มากเกินไปในการจัดการโครงการ

การใช้เวลาและต้นทุนมากเกินไปมีสาเหตุหลัก คือ การประมาณการและวางแผนโครงการที่ไม่ถูกต้อง การขาดประสบการณ์ของทีมงานในโครงการนั้น ๆ ทั้งนี้อีกปัจจัยหนึ่งเกิดจากปรากฏการณ์ทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น เศรษฐกิจ การขาดแคลนวัตถุดิบ และการแข่งขันในตลาด [8]

2.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของโครงการ

ปัจจัยของความสำเร็จของโครงการสามารถจำแนกได้ ดังนี้ [9]

1. การวางแผนและนิยามโครงการ ควรมีเป้าหมายพร้อมเกณฑ์ความสำเร็จที่ตกลงไว้ ความเข้าใจในวัตถุประสงค์และผลลัพธ์ที่กำหนด

2. การวางแผนการจัดการความเสี่ยง เล็งเห็นถึงปัจจัยความเสี่ยงที่สามารถควบคุมได้ ปรับปรุงแผนการบริหารความเสี่ยงให้เหมาะสมสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันเสมอ

3. มีการจัดการขอบเขตที่กำหนด การวัดผลการปฏิบัติงานที่ชัดเจน

4. การประยุกต์ใช้ประสบการณ์ที่เรียนรู้จากโครงการก่อนหน้าและมีการปรับปรุงต่อเนื่องเพื่อบริหารจัดการโครงการถัดไป

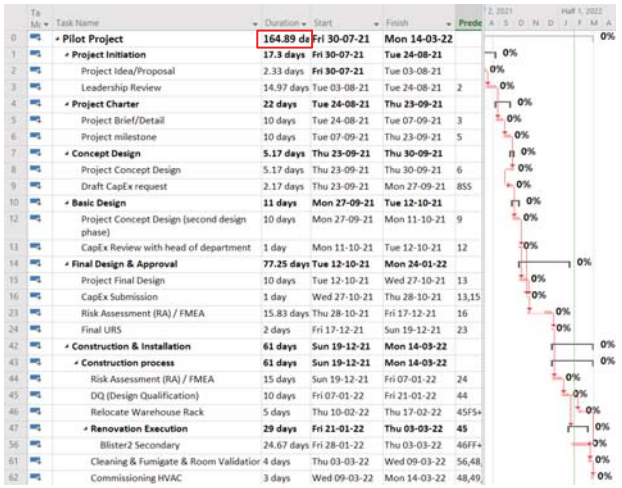
3. ขั้นตอนและผลการวิจัย

3.1 ศึกษาตารางงานโครงการ วิเคราะห์โครงสร้างการแบ่งงาน (Work Breakdown Structure: WBS) ลำดับขั้นตอนและกำหนดความสัมพันธ์ของกิจกรรมและระยะเวลาดำเนินงานของกิจกรรม 3 ประเภทตามหลักการ PERT เพื่อหาระยะเวลาคาดหวังของโครงการ (Expected Time: TE) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างรายละเอียดตารางงาน และระยะเวลาที่คาดว่าจะแล้วเสร็จในแต่ละกิจกรรม (Expected Time: TE)

Task No.	Description	Predecessors	Optimistic Time (Days)	Most Likely Time (Days)	Pessimistic Time (Days)	Expected Time (TE) (Days)
1	Project Initiation					
2	Project Idea/Proposal		1	2	5	2.33
3	Leadership Review	2	10	15	20	15.00
4	Project Charter					
5	Project Brief/Detail	3	5	10	15	10.00
6	Project milestone	5	5	10	15	10.00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
61	NFC Primary	46	20	25	30	25.00
62	Cleaning & Fumigate & Room Validation	56,48,49,50,51,52,53,54,55,57,58,59,60	3	4	5	4.00
63	Commissioning HVAC	48,49,50,51,52,53,54,55,57,58,59,60,61	2	3	4	3.00

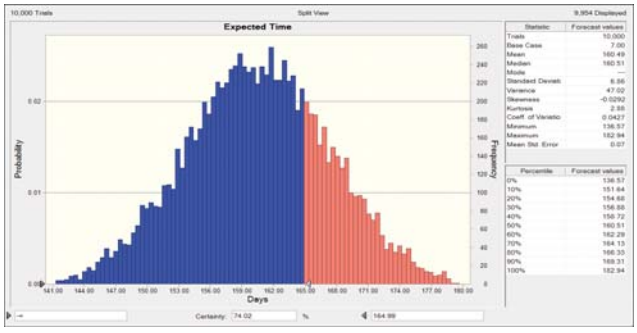
3.2 วิเคราะห์หาสายงานวิกฤตโดยประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft Project โดยระยะเวลาดำเนินโครงการ คือ 164.89 วัน (คิดเป็น 165 วัน) ได้ผลแสดงดังรูปที่ 1



	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
0	Pilot Project	164.89 days	Fri 30-07-21	Mon 14-03-22	
1	Project Initiation	17.3 days	Fri 30-07-21	Tue 24-08-21	
2	Project Idea/Proposal	2.33 days	Fri 30-07-21	Tue 03-08-21	
3	Leadership Review	14.97 days	Tue 03-08-21	Tue 24-08-21	2
4	Project Charter	22 days	Tue 24-08-21	Thu 23-09-21	
5	Project Brief/Detail	10 days	Tue 24-08-21	Tue 07-09-21	3
6	Project milestone	10 days	Tue 07-09-21	Thu 23-09-21	5
7	Concept Design	5.17 days	Thu 23-09-21	Thu 30-09-21	
8	Project Concept Design	5.17 days	Thu 23-09-21	Thu 30-09-21	6
9	Draft CapEx request	2.17 days	Thu 23-09-21	Mon 27-09-21	8SS
10	Basic Design	11 days	Mon 27-09-21	Tue 12-10-21	
12	Project Concept Design (second design phase)	10 days	Mon 27-09-21	Mon 11-10-21	9
13	CapEx Review with head of department	1 day	Mon 11-10-21	Tue 12-10-21	12
14	Final Design & Approval	77.25 days	Tue 12-10-21	Mon 24-01-22	
15	Project Final Design	10 days	Tue 12-10-21	Wed 27-10-21	13
16	CapEx Submission	1 day	Wed 27-10-21	Thu 28-10-21	13,15
23	Risk Assessment (RA) / FMEA	15.83 days	Thu 28-10-21	Fri 17-12-21	16
24	Final URS	2 days	Fri 17-12-21	Sun 19-12-21	23
42	Construction & Installation	61 days	Sun 19-12-21	Mon 14-03-22	
43	Construction process	61 days	Sun 19-12-21	Mon 14-03-22	
44	Risk Assessment (RA) / FMEA	15 days	Sun 19-12-21	Fri 07-01-22	24
45	DQ (Design Qualification)	10 days	Fri 07-01-22	Fri 21-01-22	44
46	Relocate Warehouse Rack	5 days	Thu 10-02-22	Thu 17-02-22	45FS+
47	Renovation Execution	29 days	Fri 21-01-22	Thu 03-03-22	45
56	Blister2 Secondary	24.67 days	Fri 28-01-22	Thu 03-03-22	46FF+
61	Cleaning & Fumigate & Room Validation	4 days	Thu 03-03-22	Wed 09-03-22	56,48
62	Commissioning HVAC	3 days	Wed 09-03-22	Mon 14-03-22	48,49

รูปที่ 1 เส้นทางวิกฤต

3.3 วิเคราะห์หาความน่าจะเป็นที่โครงการจะดำเนินการแล้วเสร็จตามแผน โดยการนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft Excel Add-in Crystal Ball ได้ผลแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่โครงการจะดำเนินการสำเร็จ

จากรูปที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์หาระยะเวลาที่โครงการจะแล้วเสร็จตามแผนที่ 165 วัน พบว่ามีค่าความเชื่อมั่นเพียงร้อยละ 74.02 โดยต้องใช้เวลา 182.94 วัน โครงการจึงจะแล้วเสร็จ 100 เปอร์เซ็นต์

3.4 วิเคราะห์หาระยะเวลาในการเร่งรัดโครงการ จากสมการที่ (6)

ระยะเวลาที่ต้องปรับลด = Tmax – Tplan (6)

= 182.94 – 165

= 17.94 วัน (คิดเป็น 18 วัน)

โดย Tmax คือ ระยะเวลาดำเนินโครงการที่มากที่สุดก่อนปรับปรุงแผนดำเนินงาน

Tplan คือ ระยะเวลาดำเนินโครงการตามแผน

3.5 พิจารณาเร่งรัดโครงการโดยเร่งรัดกิจกรรมในเส้นทางวิกฤต ซึ่งโครงการมีกิจกรรมวิกฤตทั้งหมด 18 กิจกรรม โดยพิจารณาจัดลำดับกิจกรรมวิกฤตที่สามารถทำควบคู่กับกิจกรรมอื่นได้ และปรับใช้ระยะเวลาดำเนินงานที่เสร็จเร็วที่สุด (Optimistic Time) โดยพิจารณากิจกรรมวิกฤตที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดกิจกรรมและสามารถทำได้ง่าย มีความซับซ้อนน้อยจำนวน 7 กิจกรรมวิกฤต รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะเวลาการดำเนินโครงการของกิจกรรมวิกฤตภายใต้การปรับปรุงใหม่

Task No.	Description	Old Predecessors	New Predecessors	Expected Time (TE) (Days)	Adjust Expected Time (Days)	Crash Cost (THB)
3	Leadership Review	2		15	10	
5	Project Brief/Detail	3		10	5	
6	Project Milestone	5		10	5	
12	Project Concept Design (Second Design Phase)	9		10	5	
15	Project Final Design	13		10	7	
22	Risk Assessment (RA/FMEA)	16		16	12	48,000
46	DQ (Design Qualification)	45FS	45SS	10	Re-organize Activity	

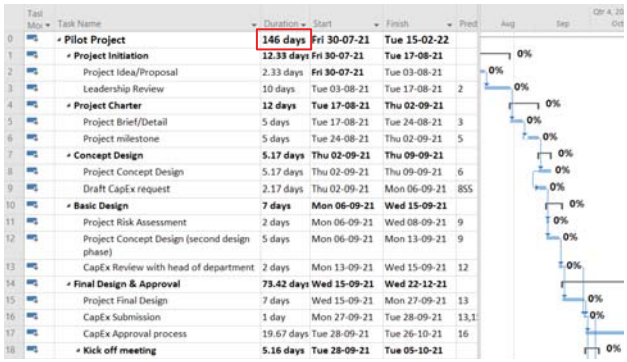
จากตารางที่ 3 ทำการเร่งรัดกิจกรรมที่ 3 Leadership Review กิจกรรมที่ 5 Project Brief/Detail กิจกรรมที่ 6 Project Milestone กิจกรรมที่ 12 Project Concept Design (Second Design Phase) และกิจกรรมที่ 15 Project Final Design ซึ่งเป็นงานเอกสารของโครงการที่จะต้องกำหนดรายละเอียด แสดงข้อมูลภาพรวมของโครงการ กำหนดการสำคัญ จัดทำข้อเสนอโครงการเต็มรูปแบบ และนำเสนอผู้บริหารภายในบริษัท จึงทำการลดขั้นตอนการทำงาน โดยจัดทำเอกสารอิเล็กทรอนิกส์และมีการประชุมออนไลน์กับผู้บริหารเบื้องต้นก่อน เพื่อรับฟังความต้องการของผู้บริหาร และทำการแก้ไขรายงานเสนอโครงการก่อนส่งอนุมัติอย่างเป็นทางการ ส่งผลให้สามารถอนุมัติได้เร็วขึ้นโดยไม่มีค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดกิจกรรม

กิจกรรมที่ 22 Risk Assessment (RA/FMEA) เป็นการประเมินความเสี่ยงและออกแบบโดยการชี้บ่งอันตรายแบบวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบทางด้านวิศวกรรมที่สามารถปรับปรุงได้ด้วยการเพิ่มกำลังคนจากแผนกอื่น ๆ ภายในบริษัทเป็นทีมในการดำเนินโครงการชั่วคราว เช่น แผนกควบคุมการผลิต แผนกวางแผนการผลิต แผนกประกันคุณภาพ แผนกความปลอดภัย และแผนกซ่อมบำรุง เป็นต้น เพื่อให้ได้มุมมองความเสี่ยงที่ครอบคลุมทุกด้านและแนวทางจัดการความเสี่ยงจากกระบวนการจากแผนกอื่น ๆ พบว่าสามารถเร่งรัดระยะเวลาได้ 4 วัน โดยมีค่าใช้จ่ายทางทฤษฎีเพิ่มขึ้น 48,000 บาท ซึ่งการเพิ่มกำลังคนภายในไม่เกิดการว่าจ้างเพิ่ม ทำให้ไม่เกิดค่าใช้จ่ายจริงในการบริหารโครงการ รวมถึงไม่เกิดต้นทุนด้านแรงงานทางตรงกับบัญชีของบริษัทกรณีศึกษาด้วย

กิจกรรมที่ 46 DQ (Design Qualification) เป็นงานเอกสารทางวิศวกรรมที่จะต้องกำหนดรายละเอียดจำเพาะการออกแบบของงานก่อสร้างและระบบห้องสะอาด โดยกิจกรรมนี้ก่อนการปรับปรุงจะทำหลังจากเสร็จสิ้นกิจกรรมที่ 45 การประเมินความเสี่ยง (Risk

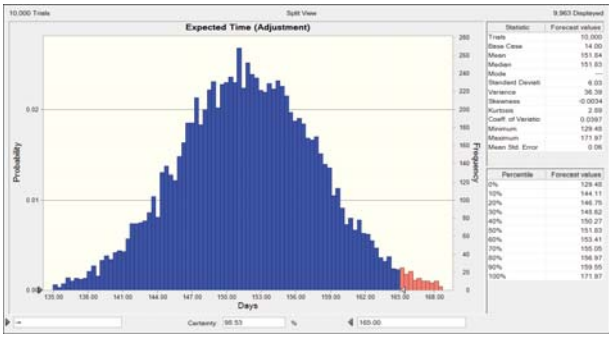
Assessment: RA) และการวิเคราะห์คุณลักษณะของความเสียหายและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) โดยพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของงาน พบว่าสองกิจกรรมนี้สามารถทำควบคู่กันได้ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์การประเมินความเสี่ยงเพื่อนำมากำหนดรายละเอียดจำเพาะการออกแบบให้ชัดเจน จึงทำการจัดลำดับกิจกรรมที่ 45 และ 46 ให้ทำควบคู่กัน เพื่อลดขั้นตอนการทำงานและสามารถสรุปการตรวจรับรองการออกแบบได้เร็วขึ้น โดยไม่มีค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดกิจกรรม

3.6 วิเคราะห์หาความน่าจะเป็นที่โครงการจะดำเนินการแล้วเสร็จตามแผนหลังการปรับปรุงระยะเวลาของกิจกรรมวิกฤต พบว่าสามารถปรับลดระยะเวลาโครงการจากเดิมลงได้ทั้งสิ้น 164.89 - 146 = 18.89 วัน แสดงดังรูปที่ 3 และค่าความเชื่อมั่นของแผนการดำเนินโครงการหลังปรับปรุงเพิ่มจากร้อยละ 74.02 เป็นร้อยละ 98.53 โดยไม่มีค่าใช้จ่ายจริงในการเร่งรัดกิจกรรม ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4



	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
0		Pilot Project	146 days	Fri 30-07-21	Tue 15-02-22	
1		Project Initiation	12.33 days	Fri 30-07-21	Tue 17-08-21	
2		Project Idea/Proposal	2.33 days	Fri 30-07-21	Tue 03-08-21	
3		Leadership Review	10 days	Tue 03-08-21	Tue 17-08-21	2
4		Project Charter	12 days	Tue 17-08-21	Thu 02-09-21	
5		Project Brief/Detail	5 days	Tue 17-08-21	Tue 24-08-21	3
6		Project milestone	5 days	Tue 24-08-21	Thu 02-09-21	5
7		Concept Design	5.17 days	Thu 02-09-21	Thu 09-09-21	
8		Project Concept Design	5.17 days	Thu 02-09-21	Thu 09-09-21	6
9		Draft CapEx request	2.17 days	Thu 02-09-21	Mon 06-09-21	8SS
10		Basic Design	7 days	Mon 06-09-21	Wed 15-09-21	
11		Project Risk Assessment	2 days	Mon 06-09-21	Wed 08-09-21	9
12		Project Concept Design (second design phase)	5 days	Mon 06-09-21	Mon 13-09-21	9
13		CapEx Review with head of department	2 days	Mon 13-09-21	Wed 15-09-21	12
14		Final Design & Approval	73.42 days	Wed 15-09-21	Wed 22-12-21	
15		Project Final Design	7 days	Wed 15-09-21	Mon 27-09-21	13
16		CapEx Submission	1 day	Mon 27-09-21	Tue 28-09-21	13,1
17		CapEx Approval process	19.67 days	Tue 28-09-21	Tue 26-10-21	16
18		Kick off meeting	5.16 days	Tue 28-09-21	Tue 05-10-21	

รูปที่ 3 ผลการปรับลดระยะเวลาโครงการหลังการปรับปรุงระยะเวลาของกิจกรรมวิกฤต



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่โครงการจะดำเนินการแล้วเสร็จตามแผนหลังการปรับปรุงระยะเวลาของกิจกรรมวิกฤต

3.7 วิเคราะห์มูลค่าที่ได้รับ Earned Value ของโครงการ โดยเปรียบเทียบระหว่างผลการดำเนินงานจริงกับแผนงานที่วางไว้ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ Earned Value ของโครงการ

Item	Description	Budgeted Cost of Work Scheduled: BCWS (THB)	Budgeted Cost of Work Performed: BCWP (THB)	Actual Cost of Work Performed: ACWP (THB)	CV = (BCWP – ACWP)	CPI (%) = BCWP/ ACWP
A	Sub-corridor at Strip Primary Pack	2,062,720.00	1,982,525.00	1,992,720.00	(10,195.00)	0.99
B	Leak Test Room	51,500.00	51,500.00	51,500.00	-	1.00
C	Strip 4 Primary	157,500.00	157,500.00	146,500.00	11,000.00	1.08
D	Separate Raw Materials Room from Corridor#3	2,047,320.00	2,047,320.00	2,020,190.00	27,130.00	1.01
E	Replace Airlock Sutteer to be Airlock Door.	608,000.00	608,000.00	602,700.00	5,300.00	1.01
F	Equipment Storage and Corridor	515,500.00	515,500.00	495,200.00	20,300.00	1.04
G	Blister1 Primary	663,440.00	572,440.00	638,440.00	(66,000.00)	0.90
H	New Storage Tank	1,011,050.00	1,011,050.00	897,050.00	114,000.00	1.13
I	Blister2 Secondary	816,850.00	735,165.00	620,165.00	115,000.00	1.19
J	Taisho1	23,600.00	23,600.00	23,600.00	-	1.00
K	Taisho2	35,600.00	35,600.00	35,600.00	-	1.00
L	Air Lock NFC	691,000.00	691,000.00	643,870.00	47,130.00	1.07
M	NFC Primary	1,233,230.00	1,233,230.00	1,176,100.00	57,130.00	1.05
	Total	9,917,310.00	9,664,430.00	9,343,635.00	320,795.00	1.03

ซึ่งการวิเคราะห์ Earned Value เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ ดังนี้

3.7.1 ได้ทราบว่าแผนการก่อสร้างรายการ A Sub-corridor at Strip Primary Pack มีมูลค่าตามแผนงาน 2,062,720 บาท แต่มีมูลค่างานที่ได้รับเพียง 1,982,525 บาท เนื่องจากไม่สามารถปล่อยน้ำเสียจากโครงการไปยังบ่อบำบัดน้ำเสียของบริษัทกรณีศึกษาได้ เพราะสมรรถนะของเครื่องสูบปัจจุบันไม่เพียงพอ จึงได้จัดประชุมกับฝ่ายสาธารณูปโภคและฝ่ายความปลอดภัย เพื่อเปลี่ยนเครื่องสูบสำรองที่มีสมรรถนะสูงขึ้นชั่วคราวจนกว่าโครงการจะแล้วเสร็จ ทำให้สามารถดำเนินงานต่อไปได้

3.7.2 การก่อสร้างรายการ G Blister1 Primary มีต้นทุนจริงของงานที่ดำเนินการแล้วมากกว่ามูลค่างานที่ได้รับ 66,000 บาท คิดเป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการดำเนินงานด้านต้นทุนเท่ากับ 0.90 เนื่องจากข้อกำหนดด้านความปลอดภัยได้ปรับเปลี่ยนให้พื้นที่ปฏิบัติงานเป็นพื้นที่อับอากาศ ต้องมีผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรมที่อับอากาศ จึงเกิดต้นทุนทั้งด้านแรงงานและอุปกรณ์สำหรับงานอับอากาศเพิ่มขึ้น แต่เนื่องด้วยเป็นข้อกำหนดด้านความปลอดภัยซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ ต้องเร่งดำเนินการเพื่อไม่ให้กระทบต่อแผนการดำเนินงานของโครงการ ทั้งนี้ได้จัดประชุมกับฝ่ายความปลอดภัยให้จัดทำเอกสารคู่มือมาตรฐานระบุพื้นที่อับอากาศทุกจุดภายในบริษัทกรณีศึกษา เพื่อเป็นมาตรฐานและป้องกันไม่ให้เกิดต้นทุนบานปลายกับโครงการในอนาคต

3.7.3 เนื่องจากโครงการนี้อยู่ในช่วงการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) บริษัทกรณีศึกษามีนโยบายควบคุมบุคคลภายนอกโดยต้องมีผลตรวจที่ไม่พบการติดเชื้อรับรองผลโดยพยาบาลวิชาชีพก่อนเข้าบริษัทกรณีศึกษา เดิมได้กำหนดให้ผลตรวจมีอายุ 7 วัน นับจากวันตรวจ จนกระทั่งสถาณการณ์การระบาดรุนแรงขึ้น จึงได้เปลี่ยนให้ผลตรวจมีอายุเพียง 4 วัน นับจากวันตรวจ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงกับต้นทุนของโครงการเนื่องจากลักษณะงานก่อสร้างเป็นงานต่อเนื่อง ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายการตรวจเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นข้อกำหนดทางด้านความปลอดภัย จึงไม่สามารถละเว้นได้ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ผลกระทบด้านต้นทุนจากการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนด แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการตรวจเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19)

ค่าใช้จ่ายในการตรวจเชื้อ COVID-19 ทุก 7 วัน	ค่าใช้จ่ายในการตรวจเชื้อ COVID-19 ทุก 4 วัน
1. ค่าเดินทาง 1,000 บาท x 4 ครั้ง เท่ากับ 4,000 บาทต่อเดือน	1. ค่าเดินทาง 1,000 บาท x 7 ครั้ง เท่ากับ 7,000 บาทต่อเดือน
2. ค่าอุปกรณ์ตรวจและโรงพยาบาล 2,500 บาทต่อคน x 4 ครั้ง เท่ากับ 10,000 บาทต่อคนต่อเดือน	2. ค่าอุปกรณ์ตรวจและโรงพยาบาล 2,500 บาทต่อคน x 7 ครั้ง เท่ากับ 17,500 บาทต่อคนต่อเดือน
สรุป ค่าใช้จ่ายรวมในการตรวจสำหรับ 10 คน คือ 104,000 บาทต่อเดือน	สรุป ค่าใช้จ่ายรวมในการตรวจสำหรับ 10 คน คือ 182,000 บาทต่อเดือน

จากตารางที่ 5 มีการประเมินจำนวนคน 10 คนต่อกิจกรรมหลักต่อเดือน พบว่าค่าใช้จ่ายจะเพิ่มขึ้น 182,000 - 104,000 = 78,000 บาทต่อเดือน ผู้วิจัยจึงได้ประชุมกับหัวหน้าแผนกและฝ่ายความปลอดภัยถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น จึงได้แนวทางการแก้ไข คือ จัดจ้างบริการห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ (Laboratory Service) ให้ทำการตรวจ ณ บริษัทกรณีศึกษา 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดเวลาการเดินทางไปตรวจ ณ โรงพยาบาล โดยค่าใช้จ่ายรวมของการตรวจสำหรับ 10 คน คือ 69,300 บาทต่อเดือน เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการจัดจ้างบริการห้องปฏิบัติการทางการแพทย์กับข้อกำหนดเดิมพบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายในแต่ละกิจกรรมหลักได้ 34,700 บาทต่อเดือน ทั้งนี้ได้ทำการบันทึกค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงในการจัดจ้างบริการห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าโครงการมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงน้อยกว่ามูลค่าผลงานที่ทำได้จริงจากราคางบประมาณงานก่อสร้าง 320,795 บาท

3.7.4 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงของโครงการซึ่งสามารถลดต้นทุนได้ 320,795 บาท กับค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดกิจกรรมวิกฤตทางทฤษฎีที่เพิ่มขึ้น 48,000 บาท พบว่าโครงการสามารถลดต้นทุนได้ 320,795 - 48,000 = 272,795 บาท

4. สรุป

จากการศึกษาค้นคว้าวิจัยครั้งนี้พบว่า การบริหารโครงการที่มีการวางแผนอย่างครอบคลุม กำหนดและควบคุมขอบเขตของโครงการให้ชัดเจน การจัดตารางงานอย่างละเอียด การจัดลำดับขั้นตอนและระบุความสัมพันธ์ของกิจกรรม การประเมินความเสี่ยงและคาดการณ์ปัญหา ปรับปรุงตารางงานโดยการเร่งรัดกิจกรรมวิกฤตและติดตามสถานะโครงการอยู่เสมอรวมถึงการวิเคราะห์สถานะโครงการด้วยเทคนิควิเคราะห์มูลค่าที่ได้รับร่วมกับการวิเคราะห์ผลกระทบด้านต้นทุนจากการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดการควบคุมบุคคลภายนอกในช่วงสถานการณ์การระบาด COVID-19 โดยจัดจ้างบริการห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ (Laboratory Service) ให้ทำการตรวจ ณ บริษัทกรณีศึกษา แทนการให้ผู้รับเหมาไปตรวจเองที่โรงพยาบาล เพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดเวลาการเดินทาง มีส่วนช่วยทำให้การดำเนินงานโครงการประสบผลสำเร็จ เนื่องจากมีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของแผนงานและมีดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพทางด้านต้นทุนที่ชัดเจน ทำให้ปรับลดระยะเวลาโครงการจากเดิมลงได้ทั้งสิ้น 18.89 วัน ความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จตามแผนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 74.02 เป็นร้อยละ 98.53 และมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงน้อยกว่ามูลค่าผลงานที่ทำได้จริงจากราคางบประมาณงานก่อสร้าง 272,795 บาท คิดเป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการดำเนินงานด้านต้นทุนเท่ากับ 1.03

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษา รวมถึงบริษัทกรณีศึกษาที่ให้ข้อมูลและสถานที่ในการเก็บข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] J.R. Meredith, S.J. Mantel. 2012. “Project Management: A Managerial Approach”. 8th Edition, John Wiley& Son.

[2] S.B. Valčić, M. Dimitrić and M. Dalsaso. 2016. “Effective Project Management Tools for Modern Organizational Structures”. Journal of Maritime & Transportation Science. Vol. 51 (1): 131-145.

[3] A. Kumar. and B.S. Chakraborty. 2016. “Application of critical path analysis in clinical trials”. Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research. Vol. 7 (1).

[4] T. Subramani, T.M. Karthick. 2018. “Study on Time and Resource Management in Construction Projects Using MS Project”. International Journal of Engineering & Technology. Vol. 7 (3.10): 23-26.

[5] มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, การวางแผนโครงการด้วยเทคนิค PERT/CPM, ข้อมูลจาก www.psru.ac.th/download/pm/PM/PERT-_CPM (วันที่สืบค้นข้อมูล 12 กันยายน 2563)

[6] K. Tochaiwat. 2016. “Construction Project Status Analysis by Earned Value Analysis”. Thammasat Engineering Journal. Vol. 69 (4). Issue July-December 2016.

[7] T. Phattanan. วัดประสิทธิภาพในการบริหารโครงการ ด้วย Earned Value Analysis, ข้อมูลจาก https://www.builk.com/th/วัดประสิทธิภาพโครงการ-eva/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กรกฎาคม 2564)

[8] S. Simushi. and J. Wium. 2020. “Time and Cost Overruns on Large Projects: Understanding the Root Cause” Journal of Construction in Developing Countries. 25 (1): 129-146.

[9] H. Taherdoost. and A. Keshavarzsaleh. 2016. “Critical Factors that Lead to Projects' Success/Failure in Global Marketplace”. 9th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2015, 8-9 October 2015, Tirgu-Mures, Romania.

การบริหารโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ กรณีศึกษาโรงงานผลิตโคมไฟยานยนต์

New Product Project Management: A Case Study of Automotive Lighting Manufacturer

ปภากานต์ ทาเอื้อ[1*] ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล[2] พิชิต สุขเจริญพงษ์[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: paphakarn.t@ku.th*

Paphakarn Tauea[1*] Ailada Treerattrakoon[2] Pichit Sukchareonpong[2]
[1]Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: paphakarn.t@ku.th*

บทคัดย่อ

การบริหารโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่โคมไฟยานยนต์อาจจะไม่สามารถดำเนินการให้แล้วเสร็จตามแผนงานที่ลูกค้ากำหนด เนื่องจากมีกิจกรรมต่อเนื่องกันเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังมีผู้เกี่ยวข้องหลายแผนก หากการวางแผนงานและการจัดตารางงานไม่เหมาะสมจะส่งผลให้โครงการเกิดความล่าช้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดตารางงานโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อลดระยะเวลาดำเนินโครงการ โดยการประยุกต์ใช้วิธีเส้นทางวิกฤต (Critical Path Method) ด้วยโปรแกรม Microsoft Project และวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของโครงการที่จะดำเนินการแล้วเสร็จด้วยโปรแกรม Microsoft Excel Add-in Crystal Ball ผลจากการปรับปรุงตารางงานและเร่งรัดกิจกรรมวิกฤต พบว่าการดำเนินการโครงการสามารถลดเวลาลงได้ 44 วัน และสามารถเพิ่มความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จตามกำหนดจากเดิม 0.07 เปอร์เซ็นต์ เป็น 96.02 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม ผลจากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) จำนวน 100,000 ครั้ง พบว่ากิจกรรมที่มีผลต่อระยะเวลาดำเนินโครงการนั้นสอดคล้องกับกิจกรรมวิกฤต

คำสำคัญ: การบริหารโครงการ, การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่, วิธีการเส้นทางวิกฤต, ความน่าจะเป็นที่โครงการแล้วเสร็จ, โคมไฟยานยนต์

Abstract

A new product project management of automotive lighting might not be able to be accomplished according to a customer's plan because there were many activities and many people from various departments involved. If planning and scheduling were improper, the project would be delayed. The objective of this research was to schedule activities of a new product project to reduce a project duration by using the critical path method in Microsoft Project. Then, the probability of the project completion was analyzed by using Microsoft Excel Add-in Crystal Ball. The result of improving schedules and crashing critical activities could reduce the project duration by 44 days and the probability of project completion within the schedule could be increased from 0.07 percent to 96.02 percent without an additional cost. The result from calculating the correlation coefficient 100,000 times indicated that the activities affecting a project duration were relevant to the critical activities.

Keywords: Project Management, New Product Development, Critical Path Method, The Probability of Project Completion, Automotive Lighting

1. บทนำ

โคมไฟยานยนต์เป็นโคมไฟส่องสว่างสำหรับยานยนต์ หน้าที่หลักคือสร้างความปลอดภัยและความมั่นใจในการขับขี่ โคมไฟยานยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา ผลิตภัณฑ์หลักจะเป็นโคมไฟสำหรับรถยนต์และรถจักรยานยนต์ โดยโคมไฟยานยนต์นี้สามารถแบ่งได้หลายประเภทไม่ว่าจะเป็นไฟหน้ารถ ไฟหลังรถ และไฟเบรค เป็นต้น โดยตัวอย่างโคมไฟหน้ารถยนต์ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ไฟหน้ารถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่โคมไฟในช่วงเดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2563 พบว่ามีงานทั้งสิ้น 143 โครงการ สามารถดำเนินงานได้ตามแผน 90 โครงการ และเกิดแผนงานล่าช้า 53 โครงการ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 37.06 เปอร์เซ็นต์ ของโครงการทั้งหมด

จากการพิจารณาโดยทีมงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ของบริษัทกรณีศึกษาพบว่า สาเหตุที่โครงการไม่สามารถดำเนินการแล้วเสร็จตามแผนงาน เกิดจากปัญหาช่วงการทดลองผลิตโคมไฟยานยนต์เริ่มตั้งแต่การวางแผนงาน การผลิตแม่พิมพ์ คุณภาพแม่พิมพ์ ความพร้อมของกระบวนการผลิต ความล่าช้าในการขออนุมัติผลิต

จากปัญหาข้างต้นหากผู้บริหารโครงการนำข้อมูลกิจกรรมโครงการมาประมวลผลเพื่อหาเส้นทางวิกฤต และค่าความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จ จะช่วยให้ผู้บริหารโครงการมองเห็นภาพรวมของโครงการสามารถติดตามสถานะการดำเนินโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพนำไปสู่ความสำเร็จของโครงการที่จะบริหารโครงการให้แล้วเสร็จตามแผนงานที่กำหนดไว้

2. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การบริหารโครงการ (Project Management) เป็นการนำเอาความรู้ความสามารถ อุปกรณ์และเทคนิคต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการโครงการ ให้ดำเนินไปอย่างราบรื่นและสามารถบรรลุถึงวัตถุประสงค์ และเป้าหมายของโครงการได้

โดยมีกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้ [1]

1) กระบวนการเริ่มต้น (Initiating Process)

2) กระบวนการวางแผน (Planning Process)

3) กระบวนการดำเนินงาน (Executing Process)

4) กระบวนการควบคุม (Controlling Process)

5) กระบวนการปิดงาน (Closing Process)

2.1 องค์ประกอบเพื่อให้โครงการประสบความสำเร็จ

แนวคิดจากสถาบันบริหารโครงการ (Project Management Institute) ควรจะพิจารณาองค์ประกอบดังต่อไปนี้ การจัดการแบบบูรณาการ การจัดการขอบเขต การจัดการเวลา การจัดการค่าใช้จ่าย การจัดการด้านคุณภาพ การจัดการด้านทรัพยากรบุคคล การจัดการการสื่อสาร การจัดการความเสี่ยง และการจัดการการจัดซื้อจัดจ้าง โดยองค์ประกอบทั้งหมดนี้จะเป็นกุญแจช่วยให้โครงการประสบความสำเร็จ สามารถพิจารณาแต่ละด้านอย่างรัดกุมและเฉพาะเจาะจงมากขึ้น [2]

2.2 เส้นทางวิกฤต (Critical Path)

เส้นทางวิกฤต คือ เส้นทางที่ใช้เวลาดำเนินกิจกรรมวิกฤตยาวที่สุดในโครงการ ถ้ามีการล่าช้าของกิจกรรมใดในเส้นทางวิกฤตจะทำให้โครงการล่าช้าไม่เสร็จตามกำหนด วิธีเส้นทางวิกฤตนี้เป็นหัวใจหลักอย่างหนึ่งของการวางแผน ซึ่งเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สำคัญในการวางแผนการจัดการโครงการ [3]

การคำนวณเส้นทางวิกฤตมีตัวแปรที่สำคัญ คือ [4]

1) ระยะเวลาเร็วที่สุดที่เริ่มต้นกิจกรรม

2) ระยะเวลาเร็วที่สุดที่กิจกรรมแล้วเสร็จ

3) ระยะเวลาช้าสุดที่เริ่มต้นกิจกรรม

4) ระยะเวลาช้าสุดที่กิจกรรมแล้วเสร็จ

5) ระยะเวลาเผื่อของโครงการ

เส้นทางวิกฤตจะคำนวณโดยการคำนวณไปข้างหน้า (Forward Pass Calculation) หาเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุดและเวลาสิ้นสุดของแต่ละกิจกรรม การคำนวณย้อนกลับ (Backward Pass Calculation) หาเวลาเริ่มต้นช้าที่สุดและเวลาสิ้นสุดของแต่ละกิจกรรม การคำนวณเวลาที่ล่าช้าได้ (Slack Time Calculation) หาเวลาที่สามารถเริ่มได้ช้าสุดโดยไม่มีผลกับโครงการ เมื่อคำนวณเสร็จสิ้นจะทราบเส้นทางวิกฤตของโครงการช่วยให้ผู้บริหารโครงการสามารถมองเห็นภาพรวมของโครงการ ความสามารถในการบริหารจัดการความเสี่ยง รวมถึงการพิจารณาเร่งรัดกิจกรรมต่อไป เพื่อให้โครงการแล้วเสร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

2.3 การประมาณเวลาของกิจกรรม (Activity Time Estimation)

การประเมินเวลาของกิจกรรมจะคำนึงถึง ปัจจัยความเสี่ยง โดยพิจารณาสภาพการณ์ออกเป็น 3 สภาพการณ์ ดังนี้ [1]

1) เวลาของกิจกรรมซึ่งจะเสร็จได้เร็วที่สุด (Optimistic Time)

2) เวลาของกิจกรรมซึ่งจะเสร็จได้โดยส่วนมาก (Most Likely Time)

3) เวลาของกิจกรรมซึ่งจะเสร็จได้ช้าที่สุด (Pessimistic Time)

ฉะนั้น จึงต้องใช้การระบุเวลาถึง 3 ครั้งในการคำนวณเวลาสิ้นสุดและความแปรปรวนแต่ละงาน โดยสามารถใช้ความน่าจะเป็นในการแจกแจงแบบเบต้า (Beta Probability Distribution) ในการคำนวณเวลากิจกรรม โดยคำนวณตามสมการที่ (1) และ (2)

$$TE = \frac{(a+4m+b)}{6} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = [\frac{b-a}{6}]^2 \quad (2)$$

โดยที่ TE คือ ระยะเวลาคาดหวัง (Expected Project Time)

σ^2 คือ ความแปรปรวนของระยะเวลาคาดหวัง

a คือ เวลาของกิจกรรมซึ่งจะเสร็จได้เร็วที่สุด (Optimistic Time)

b คือ เวลาของกิจกรรมซึ่งจะเสร็จได้ช้าที่สุด (Pessimistic Time)

m คือ เวลาของกิจกรรมซึ่งจะเสร็จได้โดยส่วนมาก (Most Likely Time)

เมื่อคำนวณเส้นทางวิกฤตของโครงการได้แล้วนั้นสามารถคำนวณหาความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จ [5] โดยคำนวณตามสมการที่ (3)

$$z = \frac{D-\mu}{\sqrt{\sigma^2}} \quad (3)$$

โดยที่ Z คือ ค่าความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จ

D คือ จำนวนวันที่โครงการจะแล้วเสร็จ

μ คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่คาดว่าจะแล้วเสร็จในเส้นทางวิกฤต

σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของวันที่คาดว่าจะแล้วเสร็จในเส้นทางวิกฤต

2.4 โปรแกรม Simulation Software Add-In Crystal Ball

เป็นโปรแกรมช่วยปรับปรุงการตัดสินใจ การควบรวมกิจกรรม และแก้ปัญหาความผันผวนของพารามิเตอร์ โดย Simulation Software Add-In Crystal Ball สามารถช่วยแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนและปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6]

2.5 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ที่อยู่ในรูปสมการถดถอยเชิงเดี่ยว โดยทราบว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรเหตุและตัวแปรใดเป็นตัวแปรผล โดยระดับความสัมพันธ์สามารถวัดได้จากค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) กล่าวคือ ถ้า X กับ Y เป็นตัวแปร 2 ตัว สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง X กับ Y เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ r ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (4) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้า r มีค่าใกล้ 1 แสดงว่า ตัวแปรสองตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันมากและมีทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่ามาก Y จะมีค่ามากด้วย ถ้า r มีค่าใกล้ -1 แสดงว่า ตัวแปรสองตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันมากเช่นกันแต่มีทิศทางตรงข้ามกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่ามาก Y จะมีค่าน้อย หรือ X มีค่าน้อย Y จะมีค่ามาก ถ้า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r จะเข้าใกล้ 0 [7]

$$r = \frac{\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i-\bar{x})^2\sum(y_i-\bar{y})^2}} \quad (4)$$

โดยที่ r คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

x_i คือ ค่าตัวแปร x ลำดับที่ i

y_i คือ ค่าตัวแปร y ลำดับที่ i

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร x

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร y

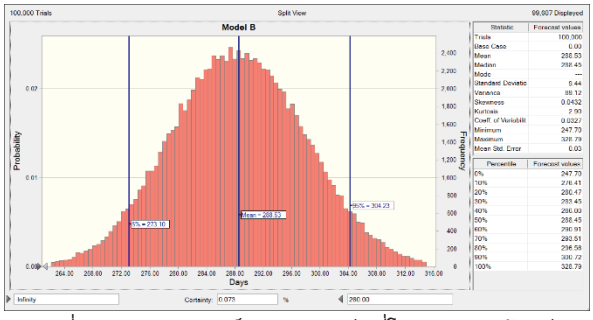
3. ขั้นตอนและผลการวิจัย

3.1 สำรวจข้อมูลของโครงการโดยรวบรวมข้อมูลเวลาของกิจกรรมซึ่งจะเสร็จได้เร็วที่สุด เวลาของกิจกรรมซึ่งจะเสร็จได้โดยส่วนมาก และเวลาของกิจกรรมซึ่งจะเสร็จได้ช้าที่สุด ของกิจกรรมแต่ละกิจกรรมตามตารางงานต้นแบบ รวมถึงคำนวณระยะเวลาคาดหวังของแต่ละกิจกรรม โดยคำนวณตามสมการที่ (1) ข้อมูลแต่ละกิจกรรมแสดงดังตารางที่ 1

3.2 วิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่โครงการจะดำเนินการแล้วเสร็จด้วยการแจกแจงแบบ Beta PERT โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Add-in Crystal Ball ซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลประเภทแผนงาน และการบริหารความเสี่ยง จากรูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์พบว่าความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาตามแผนงานที่ลูกค้ากำหนด 260 วัน มีค่าเท่ากับ 0.07 เปอร์เซ็นต์

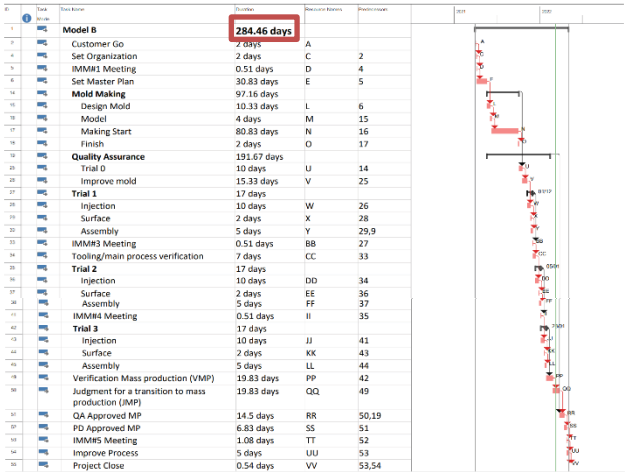
ตารางที่ 1 ตารางงานต้นแบบและข้อมูลเวลาเร็วที่สุด เวลาช้าที่สุด เวลาโดยส่วนมาก และเวลาคาดหวัง (หน่วย: วัน)

Task No.	Task Name	Description	Predecessors	Optimistic Time (Days)	Most Likely Time (Days)	Pessimistic Time (Days)	Expected Time (TE) (Days)
1		**Model B**					
2	A	Customer Go	NONE	1	2	3	2.00
3	B	Kick off	2	0.5	1	2	1.08
4	C	Set Organization	2	1	2	3	2.00
5	D	IMM#1 Meeting	4	0.25	0.5	0.8	0.51
6	E	Set Master Plan	5	20	30	45	30.83
7	F	Approve by PL	6	2	3	4	3.00
8	G	IMM#2 Meeting	7	0.5	1	2	1.08
9		**Procurement Process**					
10	H	Set Budget	4	7	14	21	14.00
11	I	Select Supplier	10	7	10	13	10.00
12	J	Issue PO.	11	3	5	7	5.00
13	K	Received Materials	12	60	90	120	90.00
14		**Mold Making**					0.00
15	L	Design Mold	2	7	10	15	10.33
16	M	Model	15	3	4	5	4.00
17	N	Making Start	16	70	80	95	80.83
18	O	Finish	17	1	2	3	2.00
19		**Quality Assurance**					
20	P	Drawing Spec	2	15	20	25	20.00
21	Q	Issue Test Plan	20	10	14	20	14.33
22	R	Request part for test	21	5	7	10	7.17
23	S	Test Process	22	120	140	160	140.00
24	T	Issue Test Report	23	7	10	14	10.17
25	U	Trial 0	14	6	10	14	10.00
26	V	Improve mold	25	7	15	25	15.33
27		**Trial 1**					
28	W	Injection	26	6	10	14	10.00
29	X	Surface	28	1	2	3	2.00
30	Y	Assembly	29,9	4	5	6	5.00
31	Z	Customer Co Check	30	0.5	1	2	1.08
32	AA	Delivery T1	31	1	2	3	2.00
33	BB	IMM#3 Meeting	27	0.25	0.5	0.8	0.51
34	CC	Tooling/main process verification	33	5	7	9	7.00
35		**Trial 2**					
36	DD	Injection	34	6	10	14	10.00
37	EE	Surface	36	1	2	3	2.00
38	FF	Assembly	37	4	5	6	5.00
39	GG	Customer Co Check	38	0.5	1	2	1.08
40	HH	Delivery T2	39	1	2	3	2.00
41	II	IMM#4 Meeting	35	0.25	0.5	0.8	0.51
42		**Trial 3**					
43	JJ	Injection	41	6	10	14	10.00
44	KK	Surface	43	1	2	3	2.00
45	LL	Assembly	44	4	5	6	5.00
46	MM	Customer Co Check	45	0.5	1	2	1.08
47	NN	Delivery T3	46	1	2	3	2.00
48	OO	Customer Approve	47	10	14	30	16.00
49	PP	Verification Mass production (VMP)	42	12	20	27	19.83
50	QQ	Judgment for a transition to mass production (JMP)	49	12	20	27	19.83
51	RR	QA Approved MP	50,19	10	14	21	14.50
52	SS	PD Approved MP	51	3	7	10	6.83
53	TT	IMM#5 Meeting	52	0.5	1	2	1.08
54	UU	Improve Process	53	4	5	6	5.00
55	VV	Project Close	53,54	0.25	0.5	1	0.54



รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จ

3.3 หาเส้นทางวิกฤตด้วยโปรแกรม Microsoft Project จากกิจกรรมทั้งหมดมี 48 กิจกรรม พบว่าเป็นกิจกรรมวิกฤต 29 กิจกรรม ระยะเวลาดำเนินโครงการ 284.46 วัน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เส้นทางวิกฤตของตารางงานต้นแบบ

3.4 คำนวณหาระยะเวลาดำเนินงานตลอดโครงการที่ต้องลดลง [8] โดยคำนวณตามสมการที่ (5)

$$TD = A - B \quad (5)$$

โดยที่ TD คือ ระยะเวลาดำเนินโครงการที่ต้องลดลง (Time Deduction)

A คือ ระยะเวลาดำเนินโครงการให้แล้วเสร็จภายใต้ความเชื่อมั่น 100 เปอร์เซ็นต์

B คือ ระยะเวลาดำเนินโครงการที่ลูกค้ากำหนด

แทนค่าในสมการที่ (5) ความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จที่ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 328.79 วัน และระยะเวลาดำเนินโครงการที่ลูกค้ากำหนดมีค่าเท่ากับ 260 วัน ระยะเวลาดำเนินโครงการที่ต้องลดลงเท่ากับ 328.79 – 260 = 68.79 วัน (คิดเป็น 69 วัน)

3.5 พิจารณาเร่งรัดกิจกรรมโดยการปรับลดระยะเวลาคาดหวัง (TE) ให้มีค่าใกล้เคียง หรือ เท่ากับระยะเวลาที่เสร็จเร็วที่สุด (Optimistic Time) โดยเลือกกิจกรรมที่ปรับปรุงวิธีการทำงานได้ง่าย และกิจกรรมทั้งหมดไม่เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการปรับปรุง โดยเส้นทางวิกฤตที่เร่งรัดได้มี 7 กิจกรรม แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะเวลากิจกรรมวิกฤตที่ปรับปรุงใหม่ (หน่วย: วัน)

Task No.	Task Name	Description	Expected Time (TE) (Days)	Optimistic Time (Days)
6	E	Set Master Plan	30.83	20
26	V	Improve mold	15.33	7
49	PP	Verification Mass production (VMP)	19.83	12
50	QQ	Judgment for a transition to mass production (JMP)	19.83	12
51	RR	QA Approved MP	14.50	10
52	SS	PD Approved MP	6.83	3
53	TT	IMM#5 Meeting	1.08	0.5

3.5.1 กิจกรรม E เป็นกิจกรรมเริ่มจัดทำแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่โคมไฟยานยนต์ โดยจะต้องรวบรวมแผนการจากแผนกต่าง ๆ ส่งมาที่แผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อรวบรวมข้อมูลทำเป็นแผนงานต้นแบบ ซึ่งมักพบปัญหาส่งเอกสารช้า ต้องรอเอกสารจากแผนกต่าง ๆ และ เอกสารไม่อิงตามสถานะปัจจุบัน

กิจกรรม RR และ SS เป็นกิจกรรมอนุมัติเริ่มผลิตจำนวนมาก โดยกิจกรรม RR เป็นการรับการอนุมัติจากแผนกรับประกันคุณภาพ และกิจกรรม SS เป็นการรับการอนุมัติจากแผนกการผลิต โดยจะต้องรอเอกสารรับประกันคุณภาพจากแผนกต่าง ๆ เพื่อส่งคำร้องขออนุมัติผลิตจำนวนมาก และจะพบปัญหาเช่นเดียวกันกับกิจกรรม E

การปรับปรุงวิธีการทำงาน จากเดิมที่จะต้องจัดส่งเอกสารและรอเอกสารจากแผนกต่าง ๆ เปลี่ยนเป็นสร้างไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ไว้ที่ส่วนกลาง จากนั้นให้แผนกต่าง ๆ อัพโหลดเอกสารแผนงานของแต่ละแผนก ส่งผลให้กิจกรรม E แผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ สามารถรวบรวมข้อมูลแผนงานเพื่อจัดทำแผนงานต้นแบบได้รวดเร็วโดยสามารถเร่งรัดเวลาจากเดิม 30.83 วัน เป็น 20 วัน และกิจกรรม RR และ SS สามารถลดเวลารวบรวมข้อมูลเพื่อส่งหนังสือขอรับรองอนุมัติผลิตจำนวนมาก จากนั้นแผนกรับประกันคุณภาพและแผนกการผลิตจะต้องลงนามเพื่อยืนยันการอนุมัติผลิตจำนวนมาก เปลี่ยนเป็นยืนยันแบบจดหมายอิเล็กทรอนิกส์โดยทั้ง 2 กิจกรรม สามารถเร่งรัดเวลาจากเดิม 14.50 วัน เป็น 10 วัน และ 6.83 วัน เป็น 3 วัน ตามลำดับ

3.5.2 กิจกรรม V เป็นกิจกรรมพัฒนาแม่พิมพ์ จากเดิมจะต้องส่งเอกสารปรับปรุงแม่พิมพ์ โดยจะมีแผนกที่เกี่ยวข้อง 3 แผนก คือ แผนกวิศวกร (ฉีดขึ้นรูปงานพลาสติก) แผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ และแผนกแม่พิมพ์ โดยจะต้องรอทั้ง 3 แผนก ส่งเอกสารปรับปรุงแม่พิมพ์ให้ครบจึงจะสามารถเริ่มกิจกรรมได้

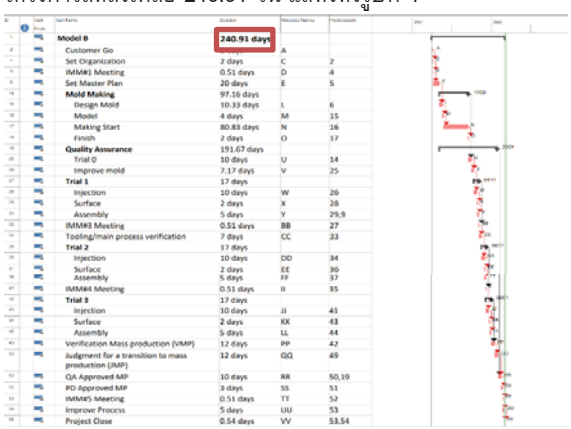
การปรับปรุงวิธีการทำงานให้ทั้ง 3 แผนก ประชุมร่วมกันเพื่อจัดทำเอกสารปรับปรุงแม่พิมพ์ และนำปัญหาในอดีตที่มีโครงสร้างโคมไฟยานยนต์คล้ายคลึงกับ Model ที่ดำเนินการอยู่ มาระดมสมองร่วมกันวิเคราะห์หาวิธีแก้ไขและป้องกันการเกิดปัญหาล่วงหน้า ทั้งนี้

ระหว่างกิจกรรมพัฒนาแม่พิมพ์ได้กำหนดให้แผนกแม่พิมพ์รายงานสถานการณ์พัฒนาแม่พิมพ์ทุก 3 วัน กับทีมงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อให้กิจกรรมพัฒนาแม่พิมพ์ดำเนินงานได้ตามแผนการที่วางไว้และไม่เกิดความล่าช้า ทำให้กิจกรรมพัฒนาแม่พิมพ์สามารถลดเวลาลงได้จากเดิม 15.33 วัน เป็น 7 วัน

3.5.3 กิจกรรม PP และ QQ เป็นกิจกรรมตรวจติดตามความคืบหน้าของโครงการ โดยจะมีทุกแผนกที่อยู่ในทีมงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่โคมไฟยานยนต์ รวมทั้งหมด 9 แผนก และมีผู้บริหารระดับสูงเข้าร่วมฟังรายงานสถานะปัจจุบันและปัญหาที่พบในการดำเนินโครงการ เพื่อตัดสินใจว่า โครงการสามารถเริ่มผลิตจำนวนมากได้หรือไม่ ซึ่งการตรวจสอบจะแบ่งเป็นการตรวจสอบเอกสารและกระบวนการผลิต

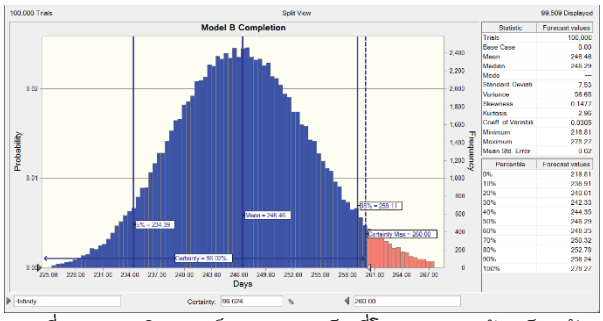
กิจกรรม TT จะเป็นกิจกรรมการประชุมครั้งสุดท้ายเพื่อรายงานปัญหา หากไม่พบปัญหาจะดำเนินการยกเลิกทีมงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งทั้ง 3 กิจกรรม จะพบปัญหาคล้ายกัน คือ มีเอกสารและข้อมูลจำนวนมากที่ต้องรายงานทำให้ใช้เวลานาน และไม่มีมาตรฐานของข้อมูลในการรายงาน

การปรับปรุงวิธีการทำงาน ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการรายงานเอกสารกิจกรรม PP QQ และ TT แผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จะกำหนดแบบฟอร์มเอกสารให้เป็นมาตรฐานให้กับทุกแผนก และส่งแบบฟอร์มเอกสารให้แต่ละแผนกทำการใส่ข้อมูลมาก่อน โดยจะมีเฉพาะหัวข้อที่จำเป็น เพื่อลดเวลารายงาน และการประชุม ซึ่งแบบฟอร์มนี้สามารถใช้กับโครงการรุ่นต่อไปได้ด้วย ในส่วนของกิจกรรม PP และ QQ ที่จะต้องไปตรวจสอบที่กระบวนการผลิตจริงเพิ่มด้วยนั้น พบปัญหามีผู้เกี่ยวข้องจำนวนมากที่เป็นผู้ตรวจสอบ ทำให้เกิดความล่าช้าในการตรวจสอบที่กระบวนการผลิตจริง แนวทางปฏิบัติถ่ายวีดีโอกระบวนผลิตและให้ผู้เกี่ยวข้องรายงานในที่ประชุมต่อผู้บริหารระดับสูง ทำให้สามารถลดเวลากิจกรรมนี้ได้ โดยสรุปกิจกรรม PP และ QQ สามารถลดเวลาลงได้จากเดิม 19.83 วัน เป็น 12 วัน และกิจกรรม TT สามารถลดเวลาลงได้จากเดิม 1.08 วัน เป็น 0.5 วัน กิจกรรมในเส้นทางวิกฤตหลังปรับปรุงทำให้การดำเนินการโครงการลดลงเหลือ 240.91 วัน แสดงดังรูปที่ 4



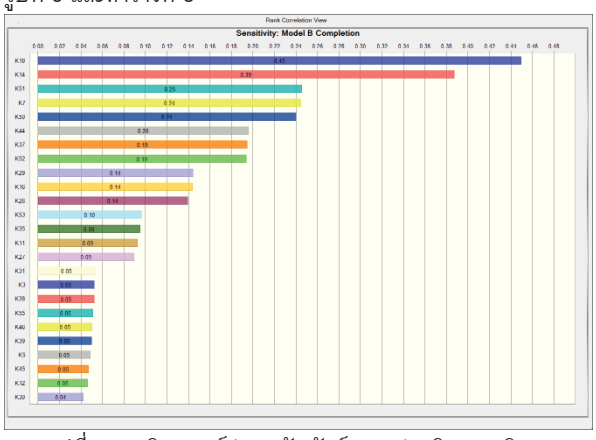
รูปที่ 4 เส้นทางวิกฤตหลังการปรับปรุงกิจกรรม

3.6 วิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่โครงการจะดำเนินการแล้วเสร็จตามตารางงานต้นแบบ หลังปรับลดระยะเวลาดำเนินการของกิจกรรมใน เส้นทางวิกฤต จากรูปที่ 5 พบว่าจากเดิม 0.07 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 96.02 เปอร์เซ็นต์ กิจกรรมในเส้นทางวิกฤตสามารถปรับลดระยะเวลาโครงการจากเดิมลงได้ทั้งสิ้น 43.55 (คิดเป็น 44 วัน) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณหาระยะเวลาที่ต้องลดลง เนื่องจากการเร่งรัดระยะเวลากิจกรรมในเส้นทางวิกฤตให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับระยะเวลาเร็วที่สุด (Optimistic Time) มากเกินไป จะทำให้ตารางงานแน่นจนเกินไป และอาจจะเกิดค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาเพื่อเร่งรัดกิจกรรมนั้น



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จหลังปรับปรุง

3.7 วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)เพื่อหากิจกรรมที่มีผลทำให้ระยะเวลาดำเนินโครงการเปลี่ยนไปโดยการทดสอบซ้ำจำนวน 100,000 ครั้ง ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel Software Add-in Crystal Ball พบว่า 25 กิจกรรมมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นบวกระหว่าง 0.04 – 0.45 แสดงดังรูปที่ 6 และตารางที่ 3



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมวิกฤต

พบ 22 กิจกรรม เป็นกิจกรรมวิกฤตซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Project โดยกิจกรรมที่มีค่าสูงที่สุด คือ กิจกรรมเริ่มผลิตแม่พิมพ์ (Mold Making Start) มีค่าสหสัมพันธ์ 0.45 กิจกรรมนี้เป็นกิจกรรมขั้นตอนต้นที่สำคัญของการดำเนินโครงการ หากขั้นตอนนี้มีการผิดพลาด จะทำให้โครงการ

หยุดชะงัก และไม่สามารถดำเนินกิจกรรมถัดไปได้ และมี 3 กิจกรรมที่ไม่ได้อยู่ในกิจกรรมวิกฤตมีค่าสหสัมพันธ์สูงถึง 0.39 โดยกิจกรรมรับวัตถุดิบ (Received Materials) จากผู้ผลิต เมื่อพิจารณากิจกรรมนี้ถึงแม้จะไม่ได้อยู่ในกิจกรรมวิกฤต แต่ก็มีความสำคัญเช่นกัน หากไม่มีวัตถุดิบก็จะไม่สามารถประกอบเป็นโคมไฟยานยนต์ได้ ผู้วิจัยจึงเห็นว่าหากต้องการให้โครงการมีระยะเวลาดำเนินโครงการที่ดีขึ้นควรจะพิจารณากิจกรรมนี้ด้วย นอกจากนี้ยังพบ 10 กิจกรรมวิกฤตที่ไม่ได้อยู่ใน 25 กิจกรรม เมื่อวิเคราะห์ 10 กิจกรรมโดยมากเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวกับการประชุมซึ่งใช้เวลาน้อย และกิจกรรมช่วงยุติโครงการซึ่งมีกิจกรรมต่อเนื่องน้อย จึงไม่ส่งผลต่อความน่าจะเป็นที่ทำให้ระยะเวลาดำเนินโครงการเปลี่ยนไป

ตารางที่ 3 กิจกรรมจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ลำดับที่	กิจกรรมที่เป็นกิจกรรมวิกฤต		ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
1	K18	Making Start	0.45
2	K51	Judgment for a transition to mass production (JMP)	0.25
3	K7	Set Master Plan	0.24
4	K50	Verification Mass production (VMP)	0.24
5	K44	Trial 3 Injection	0.20
6	K37	Trial 2 Injection	0.19
7	K52	QA Approved MP	0.19
8	K29	Trial 1 Injection	0.14
9	K16	Design Mold	0.14
10	K26	Trial 0 Injection	0.14
11	K53	PD Approved MP	0.10
12	K35	Tooling/main process verification	0.09
13	K27	Improve mold	0.09
14	K31	Trial 1 Assembly	0.05
15	K3	Customer Go	0.05
16	K38	Trial 2 Surface	0.05
17	K55	Improve Process	0.05
18	K46	Trial 3 Assembly	0.05
19	K39	Trial 2 Assembly	0.05
20	K5	Set Organization	0.05
21	K45	Trial 3 Surface	0.05
22	K30	Trial 1 Surface	0.04
	กิจกรรมที่ไม่เป็นกิจกรรมวิกฤต		
23	K14	Received Materials	0.39
24	K11	Set Budget	0.09
25	K12	Select Supplier	0.05

4. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

งานวิจัยฉบับนี้การเร่งรัดกิจกรรม แต่ละกิจกรรมไม่เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในโครงการ หากผู้ศึกษางานวิจัยฉบับนี้นำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ และโครงการที่ผู้ศึกษาดำเนินการนั้นเป็นโครงการที่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการเร่งรัดกิจกรรมเข้ามาเกี่ยวข้อง ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่าควรจะเร่งรัดกิจกรรมที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดก่อน และพิจารณาเร่งรัดกิจกรรมทีละส่วน เพื่อดูแนวโน้มในเส้นทางวิกฤตใหม่หลังจากการปรับปรุงแล้ว

5. สรุป

จากแผนงานต้นแบบเดิมก่อนปรับปรุงกิจกรรมจะใช้ระยะเวลาดำเนินโครงการ 284.46 วัน (รูปที่ 3) หลังการปรับปรุงพิจารณาเร่งรัดกิจกรรมในเส้นทางวิกฤตให้มีค่าใกล้เคียงกับระยะเวลาเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic Time) ทำให้การดำเนินการโครงการลดลงเหลือ 240.91 วัน (รูปที่ 4) โดยสามารถเร่งรัดระยะเวลาได้ 284.46 – 240.91 = 43.55 วัน (คิดเป็น 44 วัน) และวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่โครงการจะดำเนินการแล้วเสร็จตามแผนงานลูกค้า 260 วัน จากเดิม 0.07 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 96.02 เปอร์เซ็นต์ โดยการเร่งรัดกิจกรรมนี้ไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมตามแผนงานเดิม จากนั้นได้ทดสอบคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) จากชุดข้อมูล 100,000 ครั้ง กิจกรรมที่มีผลต่อระยะเวลาดำเนินโครงการนั้นสอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์เส้นทางวิกฤตด้วยโปรแกรม Microsoft Project

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุกท่าน งานวิจัยฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับคำแนะนำจากคณาจารย์ รวมถึงผู้บริหาร และเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนข้อมูลที่เกี่ยวข้องสำหรับศึกษาวิจัย อีกทั้งยังให้ข้อเสนอแนะ เพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

[1] สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน. การบริหารโครงการ : เครื่องมือ และเทคนิคในการบริหารโครงการ, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

[2] K. P Grant and J. S. Pennypacker. 2006. Project management maturity: an assessment of Project management capabilities among and between selected industries, pp. 59-68. In IEEE Transactions on Engineering Management: vol.53 no.1 Feb.

[3] M. Jun-jie and Q. Jian-xun . 24-26 Dec 2010. Study on Critical Path Method with Fixed Time Parameter in Network Planning Technology. Paper presented at the 2010 Third International Symposium on Information Science and Engineering.

[4] S. Zareei. 2018. Project scheduling for constructing biogas plant using critical path Method, 756-759. In Renewable and Sustainable Energy Reviews: 81.

[5] R. Jack Meredith and J. Samuel Mantel, Jr. Project management a managerial approach, 8th ed., John Wiley & Sons, Inc, 2012.

[6] H. Bao-cheng, Y. Shu-zhi, S. Hong-mei and W. Hai-gang. Using Monte Carlo Simulation with Crystal Ball to Improve Mergers & Acquisitions Decision, In 2010 International Conference on E-Business and E-Government: pp. 1592-1595.

[7] สรชัย พิศาลบุตร. สถิติเบื้องต้น, บริษัท ส. เอเชียเพรส (1989) จำกัด, 2557.

[8] S. Sangroungrai, P. Sukcharoenpong and S. Witchakul. 2018. Engineering, Procurement and Construction (EPC) Project Management for Reducing Cost and Time: A Case Study of Petrochemical Plant. International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR)@2018

การศึกษาอุตสาหกรรมศักยภาพในรายจังหวัดบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว ในพื้นที่ภาคเหนือของไทย

A study of potential industries in each province at the Thai-Laos border crossing in the northern region of Thailand

วรรณวนัช ฤดีจรัสวัลย์[1] ณัฐชยา เชี่ยวเอี่ยมวัฒนา[1] อัชฌานันท์ ศรีสม[1] อธิวัฒน์ บุญมี[1*] ชาตินักรบ แสงสว่าง[2]
[1]ภาควิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิทยาการเดินเรือและโลจิสติกส์ทางทะเล คณะพาณิชยนาวีนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: fengawbo@ku.ac.th*

Wanwanat Rudeejaraswan[1] Nachaya Chewiamwattana[1] Atchanan Srisom[1] Atiwat Boonmee[1*] Chatnugrob Sangsawang[2]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University
[2] Department of nautical science and maritime logistics, Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University
E-mail: fengawbo@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาและประเมินหาทางเลือกอุตสาหกรรมศักยภาพในรายจังหวัดบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาวในพื้นที่ภาคเหนือของไทย คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์จากข้อมูลปฐมภูมิ คือ ข้อมูลแบบสอบถาม การลงพื้นที่เก็บข้อมูล และข้อมูลทุติยภูมิ คือ การจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศไทย (TSIC) พิกัดศุลกากรระบบฮาร์โมไนซ์ (HS) ร่วมกับมูลค่าเงินทุนของอุตสาหกรรม และกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (Special Economic Zone: SEZ) จะได้อุตสาหกรรมศักยภาพ 3 อุตสาหกรรม ได้แก่ 1) กิจการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง 2) อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร และ 3) อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยาสูบ โดยใช้วิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) มาประเมินหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย ในการวิเคราะห์ผลของการวิจัยพบว่าจังหวัดเชียงรายมีทำเลที่ตั้งที่มีความเหมาะสมในการตั้งอุตสาหกรรมศักยภาพทั้ง 3 อุตสาหกรรม และจังหวัดพิษณุโลกมีความเหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร โดยมีคะแนนความสำคัญ 44.1%, 31.3%, 33.9% และ 25.5% ตามลำดับ

คำสำคัญ: อุตสาหกรรมศักยภาพ, ปัจจัยในการเลือกอุตสาหกรรม, กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

Abstract

This research aims to study and evaluate the options of the potential industries in the Thai- Laos connected area in northern Thailand. The researchers have gathered and analyzed primitive data including questionnaires and field study, secondary data including Thailand Standard Industrial Classification (TSIC), Harmonized System (HS) with Industry Capital Value and Targeted Industries in Border Special Economic Development Zones (SEZ). There are 3 potential industries: 1). Farming and Livestock, Hunting and other related industries 2). Food production and 3). Tobacco production. The study using Analytic Hierarchy Process (AHP), shows that Chiang Rai has the potential to host all three industries. And Phitsanulok has the potential to host food production with the score 44.1%, 31.3%, 33.9% and 25.5% respectively.

Keywords: Potential Industries, Industrial selection factors, Analytic Hierarchy Process

1. บทนำ

ภาคเหนือของประเทศไทยที่มีเขตชายแดนติดกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) หากพิจารณาในส่วนของการค้าชายแดนในพื้นที่ที่ติดกับ สปป.ลาว พบว่าสถิติของมูลค่าการค้าชายแดน ปี พ.ศ. 2564 (มกราคม-มีนาคม) มีสินค้าส่งออก 3 อันดับแรก คือ น้ำมันเชื้อเพลิง วัสดุอุปกรณ์ก่อสร้าง และน้ำตาลทราย สินค้านำเข้า 3 อันดับแรก คือ พลังงานไฟฟ้า โคกระบือมีชีวิต และผลิตภัณฑ์อื่น [1] จากข้อมูลสถิติพบว่าอัตราการเติบโตด้านการค้าชายแดนมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ในปัจจุบันพบว่าสัดส่วนการลงทุนภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่เขตภาคเหนือบริเวณจุดผ่านแดนมีไม่มากนัก และมีบทบาทน้อยเมื่อเทียบกับระดับประเทศ แต่ในปัจจุบันภาครัฐได้ให้ความสำคัญต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษ (Special Economic Zone : SEZ) ด้านการค้าชายแดน ส่งผลทำให้เกิดการกระจายความเจริญสู่ภูมิภาค ลดความเหลื่อมล้ำทางรายได้ ยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน ประกอบกับบริเวณพื้นที่ภาคเหนือ ได้เริ่มมีการขยายเส้นทางรถไฟรางคู่สายเด่นชัย-เชียงราย-เชียงของ ซึ่งเป็นเส้นทางคมนาคมที่เชื่อมต่อการเดินทางและการขนส่งในพื้นที่บริเวณพื้นที่ภาคเหนือโดยมีจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้าที่อำเภอเชียงของไปยังเมืองห้วยทราย แขวงบ่อแก้ว สปป.ลาว และจีนตอนใต้ที่เมือง คุนหมิง [2] ซึ่งอาจทำให้สามารถเชื่อมต่อ**โครงการรถไฟความเร็วสูงระหว่าง สปป.ลาว-จีน ที**จะช่วยส่งเสริมทางการค้า การท่องเที่ยว การลงทุน และยังช่วยลดต้นทุนการขนส่งสินค้าได้อีกด้วย

จากการขยายตัวด้านการค้าการลงทุนพื้นที่ในเขตชายแดน คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงแนวโน้มของโอกาสและศักยภาพในการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมบริเวณจุดผ่านแดนระหว่างไทยและ สปป.ลาว ในพื้นที่เขตภาคเหนือ ในด้านการเกษตร ด้านการอุตสาหกรรม ด้านการค้า และด้านการท่องเที่ยว เนื่องจากพื้นที่ภาคเหนือมีความได้เปรียบทางด้านทรัพยากรและด้านค่าแรงที่ต่ำ อีกทั้งยังมีความสะดวกในด้านพื้นที่ที่ติดกับ สปป.ลาว จากข้อมูลที่กล่าวมาคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพและคัดเลือกอุตสาหกรรมเป้าหมายที่เหมาะสมในเขตพื้นที่ภาคเหนือที่มีพื้นที่ติดกับบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว และวิเคราะห์ปัจจัยและจัดลำดับความสำคัญพื้นที่ที่เหมาะสมในการสนับสนุนภาคอุตสาหกรรม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) เป็นกระบวนการช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งอาศัยหลักการของการตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์ ถูกนำไปประยุกต์หลายรูปแบบ [3] เช่น การศึกษาพื้นที่ที่มีศักยภาพในการจัดตั้งโรงงานอุตสาหกรรมในเขตภาคเหนือที่มีชายแดนติดกับ สปป. ลาว โดยใช้หลักการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ภายใต้การพิจารณาปัจจัยที่สสำคัญ 6 ปัจจัย เช่น โครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภค ข้อมูลอุตสาหกรรม/สินค้ายุทธศาสตร์ของพื้นที่ สภาพเศรษฐกิจในพื้นที่ บทบาทและนโยบายของรัฐต่อพื้นที่ ความพร้อมบุคลากรและแรงงาน แหล่งทรัพยากร/วัตถุดิบ ซึ่งต้องกำหนดเกณฑ์ของเป้าหมายที่ต้องการศึกษาให้อยู่ในลักษณะเป็นลำดับชั้น ส่วนในระดับที่ต่ำลงมาจะเป็นเกณฑ์ย่อย (Sub-Criteria) ตามลำดับ จนถึงทางเลือก ซึ่งเป็นระดับต่ำสุดของการจัดลำดับชั้นการวิเคราะห์จะใช้หลักการเปรียบเทียบเป็นคู่ (Pair Wise Comparison) ของเกณฑ์ดังตารางที่ 1 ซึ่งค่าความสำคัญในการเปรียบเทียบแปลงมาเป็นตัวเลขระหว่าง 1/5 ถึง 5 โดยที่ A_{ij} คือ สมาชิกในแถวที่ i หลักที่ j ของเมตริกซ์หมายถึง ผลของการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัย A_i และ A_j กำหนดมาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบตั้งแต่ 1/5 ถึง 5 ดังแสดงในตารางที่ 2 หลังจากทราบผลการเปรียบเทียบในแต่ละคู่แล้วจึงคำนวณหาน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ออกมาเป็นตัวเลข เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละเกณฑ์อย่างชัดเจน [4]

ตารางที่ 1 ตารางแสดงเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบเป็นคู่

เกณฑ์ตัดสินใจ		ปัจจัย					
		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
ปัจจัย	A_1	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}
	A_2	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{24}	A_{25}	A_{26}
	A_3	A_{31}	A_{32}	A_{33}	A_{34}	A_{35}	A_{36}
	A_4	A_{41}	A_{42}	A_{43}	A_{44}	A_{45}	A_{46}
	A_5	A_{51}	A_{52}	A_{53}	A_{54}	A_{55}	A_{56}
	A_6	A_{61}	A_{62}	A_{63}	A_{64}	A_{65}	A_{66}

ตารางที่ 2 ความหมายของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่

ระดับความเข้มข้นของความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
5	สำคัญมากที่สุด	ปัจจัย A สำคัญมากกว่าปัจจัย B ที่สุด
3	สำคัญมาก	ปัจจัย A สำคัญมากกว่าปัจจัย B ปานกลาง
1	สำคัญเท่ากัน	ปัจจัย A สำคัญเทียบเท่าปัจจัย B
1/3	สำคัญน้อย	ปัจจัย A สำคัญน้อยกว่าปัจจัย B ปานกลาง
1/5	สำคัญน้อยที่สุด	ปัจจัย A สำคัญน้อยกว่าปัจจัย B ที่สุด
2 4 1/2 1/4	อยู่ระหว่างกลาง	อยู่ระหว่างระดับที่ได้อธิบายมาข้างต้น

ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เทคนิควิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ตัดสินใจ เช่นในงานวิจัยของ ณภัทร [5] ที่ได้มีการหาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้า โดยการวิเคราะห์ปัจจัยประกอบด้วย 5 ปัจจัยหลัก ซึ่งประกอบด้วย ปัจจัยด้านสภาพ แวดล้อม ปัจจัยด้านการขนส่ง ปัจจัยด้านลูกค้าและผู้ผลิต ปัจจัยด้านบุคลากร และปัจจัยด้านกฎระเบียบ โดยใช้เทคนิควิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) เพื่อคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยและวิเคราะห์ เปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งของคลังสินค้า หรือในการศึกษาของวรพจน์ [4] ที่ได้ดำเนินการศึกษาและประเมินทางเลือกของทำเลที่ตั้งของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากเหง้ามันสำปะหลังในจังหวัดพิษณุโลกใน 3 ทางเลือกโดยใช้วิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) มาประเมินหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย ซึ่งประกอบด้วย แหล่งวัตถุดิบ การขนส่ง ระบบสาธารณูปโภค แหล่งต้นกำลังและเชื้อเพลิง และแหล่งแรงงาน หรือในการศึกษาของ สกนธ์ [6] ที่ได้นำเสนอวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) มาใช้ในการตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังจากที่ดินใน 3 จังหวัด คือ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดกาฬสินธุ์ และจังหวัดระยอง ซึ่งใช้เกณฑ์เป็นชั้นปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยด้านการเงิน ประกอบด้วยปัจจัยย่อย 2 ตัวและปัจจัยที่ไม่ใช่ด้านการเงิน มีปัจจัยย่อย 6 ตัวโดยใช้แบบสอบถามที่มีหลักการเปรียบเทียบเชิงคู่ในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มบุคคลผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการตัดสินใจสร้างโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังทั้งทางตรงและทางอ้อม

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การลงพื้นที่สำรวจและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรม

คณะผู้วิจัยได้ทำการลงพื้นที่สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลในรายจังหวัดที่มีบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว ในพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งได้แก่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดพะเยา จังหวัดน่าน จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยมีการสัมภาษณ์เชิงลึกระหว่างหน่วยงานในประเทศ ภาคเอกชน หรือภาครัฐบาล เพื่อขอรายละเอียดข้อมูล และประเด็นที่น่าสนใจที่สำคัญในบริเวณพื้นที่ภาคเหนือที่มีชายแดนติดกับ สปป. ลาว ซึ่งในการลงพื้นที่สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลคณะผู้วิจัยได้มีการเลือกใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

1) แบบสำรวจ สภาพบริบททางสังคม เศรษฐกิจ และบริบททางด้านอื่น ๆ ในพื้นที่ชายแดนประเทศไทย - สปป.ลาว ในพื้นที่ภาคเหนือ เพื่อให้ทราบถึงสถานการณ์ และสภาพแวดล้อมทั่วไปของจังหวัดชายแดนในพื้นที่ประเทศไทย

2) แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งมีโครงสร้าง โดยเป็นการสัมภาษณ์เพื่อให้ทราบปัจจัยและองค์ประกอบสำคัญ รวมถึงปัญหาและอุปสรรคที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทางอุตสาหกรรม ซึ่งการวิเคราะห์ของแบบสอบถามชนิดนี้ทางคณะนักวิจัยจะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) มาช่วยในการสังเคราะห์ข้อมูล

3.2 การศึกษาวิเคราะห์ความเป็นมาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์จากข้อมูลปฐมภูมิ คือ ข้อมูลแบบสอบถาม การลงพื้นที่เก็บข้อมูล และข้อมูลทุติยภูมิ คือ การจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศไทย (TSIC) ร่วมกับพิกัดศุลกากรระบบฮาร์โมไนซ์ (HS) ร่วมมูลค่าเงินทุนของอุตสาหกรรมและกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (Special Economic Zone: SEZ) รวมถึงการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) และการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกพื้นที่อุตสาหกรรม

3.3 การรวบรวมและวิเคราะห์ฐานข้อมูล

หลังจากที่ได้ศึกษาข้อมูลขั้นทุติยภูมิ นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ โดยข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ได้แก่

3.3.1 นิยามของการจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศไทย (Thailand Standard Industrial Classification: TSIC)

คณะผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดเหนือที่มีพื้นที่ติดกับจุดผ่านแดนไทยลาว โดยรวบรวมข้อมูลการจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศไทย (TSIC) ปี 2552 พิจารณาจากTSIC- ID ประกอบด้วยตัวเลข TSIC 5 หลัก (ยึดตามมาตรฐานของประเทศ) ทำการเลือก TSIC หลักที่ 1 กับหลักที่ 2 คือ หมวดอุตสาหกรรมและอาคาร จากนั้นทำการวิเคราะห์ 10 อันดับแรกของอุตสาหกรรมภาคเหนือ และนำข้อมูลไปร่วมพิจารณากับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (SEZ) และมูลค่าสินค้านำเข้า-ส่งออกตาม HS

3.3.2 นิยามของพิกัดศุลกากร (Harmonized System: HS)

ทำการรวบรวมข้อมูล พิกัดศุลกากร HS CODEพิจารณาจากการจำแนกประเภทและระบุชนิดสินค้าด้วยรหัสตัวเลข 6 หลัก ทำการเลือก 2 หลักแรกซึ่งเป็นเลขลำดับของ “ตอน” มาวิเคราะห์มูลค่าสินค้านำเข้า-ส่งออก ปี 2561-2563 ที่มีมูลค่านำเข้า-ส่งออกสูงสุด 15 อันดับแรกของภาคเหนือ

3.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง TSIC, SEZ และ HS

พิจารณา TSIC จาก 10 อันดับแรกของอุตสาหกรรมภาคเหนือตามสัดส่วนปริมาณอุตสาหกรรม และทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (SEZ) เพื่อวิเคราะห์ว่าตรงกับกิจการที่ทางภาครัฐให้การสนับสนุน เพื่อจัดลำดับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีความสำคัญ และนำข้อมูล

มาวิเคราะห์มูลค่าสินค้านำเข้า-ส่งออก ปี 2561-2563 ตามระบบ HS ที่มีมูลค่านำเข้า-ส่งออกสูงสุด 15 อันดับแรกของภาคเหนือ เพื่อให้ได้กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีความสำคัญมากที่สุดที่คาดว่าจะทำการผลักดัน ได้แก่ TSIC 01 การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์การล่าสัตว์, TSIC 10 อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร ,TSIC 12 การผลิตผลิตภัณฑ์ยาสูบ

3.3.4 วิเคราะห์มูลค่าเงินทุนของอุตสาหกรรม

ทำการวิเคราะห์มูลค่าเงินทุนของอุตสาหกรรมแต่ละประเภทตามระบบ TSIC ที่มีสัดส่วนการลงทุนมากในพื้นที่รายจังหวัดและทั้งภูมิภาคเพื่อดูประสิทธิภาพการลงทุนที่ใช้สนับสนุนให้มีการลงทุนอุตสาหกรรมในพื้นที่นั้น

3.5 รวบรวมคัดเลือกและสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกพื้นที่ที่มีศักยภาพ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการลงพื้นที่และได้ข้อมูลจากแบบสอบถาม จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภาครัฐและภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องในพื้นที่เป้าหมายรวม 30 ท่าน (เช่น ตัวแทนจากสภาอุตสาหกรรมจังหวัด ผู้ประกอบการ รวมทั้งภาคประชาชนในพื้นที่) และการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจเลือกที่ตั้งของแหล่งอุตสาหกรรมและทำการตรวจสอบความน่าเชื่อของปัจจัยที่จะนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจโดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิกำหนดปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเลือกที่ตั้งของแหล่งอุตสาหกรรมและความน่าเชื่อถือซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีศักยภาพในการพัฒนาและช่วยส่งเสริมให้มีการลงทุนสร้างแหล่งอุตสาหกรรมที่เหมาะสมกับพื้นที่เป้าหมาย

3.6 วิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP)

เมื่อได้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจเลือกพื้นที่อุตสาหกรรมเป้าหมายและทางเลือกของจังหวัดที่มีศักยภาพแสดงตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์และทางเลือกในโครงสร้างลำดับชั้นสำหรับการเลือกจังหวัดที่มีศักยภาพในอุตสาหกรรม [4-6]

ตัวอย่างปัจจัยที่พิจารณา	จังหวัด
1. โครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภค 2. ข้อมูลอุตสาหกรรม/สินค้ายุทธศาสตร์ของพื้นที่ 3. สภาพเศรษฐกิจในพื้นที่ 4. บทบาทและนโยบายของรัฐต่อพื้นที่ 5. ความพร้อมบุคลากรและแรงงาน 6. แหล่งทรัพยากร/วัตถุดิบ	เชียงราย พะเยา น่าน อุตรดิตถ์ พิษณุโลก

จากนั้นสอบถามความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อให้ได้คะแนนความสำคัญของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมแต่ละประเภทดังรูปที่ 1

เกณฑ์	โครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภค	ข้อมูลอุตสาหกรรม/สินค้ายุทธศาสตร์ของพื้นที่	สภาพเศรษฐกิจในพื้นที่	บทบาทและนโยบายของรัฐต่อพื้นที่	ความพร้อมบุคลากรและแรงงาน	แหล่งทรัพยากร/วัตถุดิบ
โครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภค	1	2	2	2	3	5
ข้อมูลอุตสาหกรรม/สินค้ายุทธศาสตร์ของพื้นที่	0.5	1	2	1	3	3
สภาพเศรษฐกิจในพื้นที่	0.5	0.5	1	1	2	4
บทบาทและนโยบายของรัฐต่อพื้นที่	0.5	1	1	1	4	4
ความพร้อมบุคลากรและแรงงาน	0.33	0.33	0.5	0.25	1	2
แหล่งทรัพยากร/วัตถุดิบ	0.2	0.33	0.25	0.25	0.5	1

รูปที่ 1 การให้คะแนนความสำคัญของเกณฑ์

ทำการคำนวณหาค่า λmax เพื่อตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R.) = 0 ซึ่งน้อยกว่า 0.1 ดังนั้นค่าความสอดคล้องของการเปรียบเทียบอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ จากนั้นนำค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์มาประเมินทางเลือกในแต่ละเกณฑ์จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยและความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิจะได้คะแนนความสำคัญของทางเลือกแล้วตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลและทำการคำนวณคะแนนรวมของแต่ละทางเลือก

4. ผลการศึกษา

ผลการศึกษาที่ได้จากพิจารณา TSIC 10 อันดับแรกของอุตสาหกรรมภาคเหนือตามสัดส่วนปริมาณอุตสาหกรรม [7] และเปรียบเทียบกับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (SEZ) ทำให้ได้กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีความสำคัญ

การวิเคราะห์มูลค่าการนำเข้า-ส่งออกสินค้าตามระบบพิกัด HS (2 หลัก) ปี 2561-2563 กับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในพื้นที่ได้ผลดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3

TSIC	พิกัดศุลกากร 2 หลัก	สัดส่วนมูลค่านำเข้าสินค้าเงินบาท ปี 2561 (%)	สัดส่วนมูลค่านำเข้าสินค้าเงินบาท ปี 2562 (%)	สัดส่วนมูลค่านำเข้าสินค้าเงินบาท ปี 2563 (%)
01	07	9.53%	9.98%	11.57%
01	08	7.86%	10.29%	12.61%
01	06	1.54%	1.92%	1.95%
01	12	0.74%	0.58%	0.46%
01	09	0.18%	0.20%	0.13%
23	25	0.21%	0.28%	0.22%
08	76	0.20%	0.15%	
28	84	0.75%	0.85%	1.97%

รูปที่ 2 มูลค่าการนำเข้าสินค้าตามระบบพิกัด HS กับ TSIC

TSIC	พิกัดศุลกากร 2 หลัก	สัดส่วนมูลค่าส่งเข้าสินค้าเงินบาท ปี 2561 (%)	สัดส่วนมูลค่าส่งเข้าสินค้าเงินบาท ปี 2562 (%)	สัดส่วนมูลค่าส่งเข้าสินค้าเงินบาท ปี 2563 (%)
01	08	21.15%	42.47%	48.95%
01	01	10.70%	8.14%	5.40%
01	02	7.90%	3.81%	
01	10	3.25%	2.16%	3.15%
01	07	2.03%	1.35%	1.22%
01	20	1.64%	2.25%	2.46%
23	25	2.59%	2.87%	1.54%
28	84	1.77%	1.73%	3.98%
10	21	0.81%		
12	24		0.85%	1.24%

รูปที่ 3 มูลค่าการส่งออกสินค้าตามระบบพิกัด HS กับ TSIC

ความหมายคำอธิบาย				
%	TSIC	ความหมายของ TSIC	พิกัดศุลกากร	ความหมายพิกัดศุลกากร
23.60%	10	การผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร	21	ของปรุงแต่งเบ็ดเตล็ดที่บริโภคได้
	10	การผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร	17	น้ำตาลและขนมทำจากน้ำตาล
15.26%	23	การผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆที่ทำแร่โลหะ	25	ผลิตภัณฑ์แร่
12.81%	08	การทำเหมืองแร่และเหมืองหินอื่นๆ	76	อะลูมิเนียมและของทำด้วยอะลูมิเนียม
10.11%	01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	08	ผลไม้และลูกนัตที่บริโภคได้ เปลือกผลไม้จำพวกส้มหรือเปลือกแตง
	01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	07	พืชผักรวมทั้งรากและหัวบางชนิดที่บริโภคได้
	01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	06	ต้นไม้และพืชอื่นๆ ที่มีชีวิต หัว รากและสิ่งที่คล้ายกัน ดอกไม้และใบไม้ที่ใช้ประดับ
	01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	12	เมล็ดพืชและผลไม้ ที่มีน้ำมัน เมล็ดธัญพืช เมล็ดพืชและผลไม้เบ็ดเตล็ด พืชที่ใช้ในอุตสาหกรรม หรือใช้เป็นยาฟ่างและหญ้าแห้งที่ใช้เป็นอาหารสัตว์
	01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	10	ธัญพืช
	01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	09	กาแฟ ชา ชามาเต้และเครื่องเทศ
	01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	02	เนื้อสัตว์และส่วนเนื้อของสัตว์ที่บริโภคได้
	01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	20	ของปรุงแต่งทำจากพืชผัก ผลไม้ ลูกนัต หรือจากส่วนเนื้อของพืช
	01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	01	สัตว์มีชีวิต
3.64%	28	การผลิตเครื่องจักรและเครื่องมือ ซึ่งมิได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น	84	เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ บอยเลอร์ เครื่องจักร เครื่องใช้กลและส่วนประกอบของเครื่องดังกล่าว
2.82%	12	การผลิตผลิตภัณฑ์ยาสูบ	24	การผลิตผลิตยาสูบ

รูปที่ 4 ความหมายของ TSIC และคำอธิบายของพิกัด HS

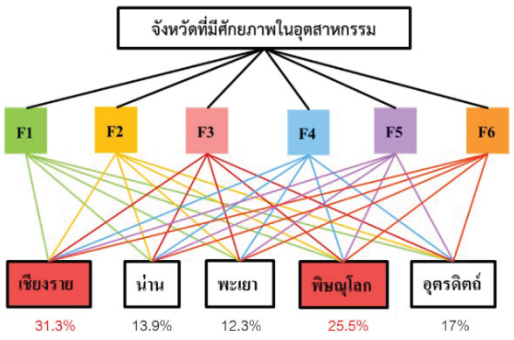
จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์มูลค่าเงินทุนของอุตสาหกรรมแต่ละประเภทตามระบบ TSIC ที่มีสัดส่วนการลงทุนมากในพื้นที่รายจังหวัดและทั้งภูมิภาคได้ผลดังรูปที่ 5

TSIC	ดุลการค้า	เงินทุน
01	12,899,145,921	6,560,050,049
08	53,470,192	991,635,866
10	476,449,496	15,418,991,261
12	391,647,621	1,067,720,000
23	781,192,515	4,340,890,154
28	498,191,825	438,273,684

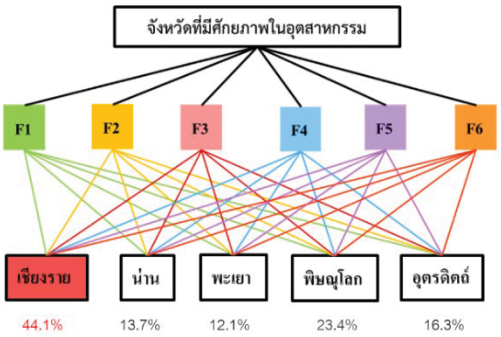
รูปที่ 5 มูลค่าดุลการค้าและเงินทุน

ซึ่งจากวิเคราะห์ข้อมูลจาก TSIC มูลค่าการนำเข้า-ส่งออกสินค้าตามระบบพิกัด HS และมูลค่าเงินทุนของอุตสาหกรรมแต่ละประเภท พบว่ากลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายที่ควรผลักดัน คือ TSIC 01 TSIC 10, TSIC 12 เพราะอุตสาหกรรมเหล่านี้จัดอยู่ใน 10 อันดับกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมากซึ่งมีความสอดคล้องกับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (SEZ) รวมถึงมีมูลค่านำเข้า-ส่งออกสูงทำให้เปรียบทางดุลการค้าและมีสัดส่วนการลงทุนอุตสาหกรรมในพื้นที่ปริมาณมาก

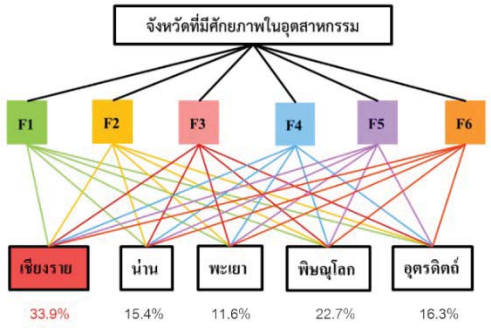
โดยในการวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) ของกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายได้แก่ TSIC 01 TSIC 10 และ TSIC 12 ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 6 รูปที่ 7 และรูปที่ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ AHP อุตสาหกรรม 01



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ AHP อุตสาหกรรม 10



รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ AHP อุตสาหกรรม 12

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจ พบว่าปัจจัยที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด คือ ปัจจัยด้านโครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภคมาก อันดับถัดมา คือ ข้อมูลอุตสาหกรรม/สินค้า ยุทธศาสตร์ของพื้นที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญ และอันดับสุดท้าย คือ แหล่งทรัพยากร/วัตถุดิบ

เมื่อทำการคำนวณและวิเคราะห์หาค่าความสอดคล้องของเกณฑ์ต่างๆ ในแต่ละทางเลือกที่มีเพื่อทำการคัดเลือกจังหวัดที่มีศักยภาพให้เหมาะกับอุตสาหกรรมเป้าหมาย ได้ค่าน้ำหนักความสำคัญที่คำนวณได้ดังนี้ อุตสาหกรรมการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดเชียงราย 44.1% เนื่องจากเป็นจังหวัดที่มีศักยภาพด้านภูมิศาสตร์ เป็นจังหวัดที่อยู่ในกลุ่มเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (SEZ) และมีโครงสร้างพื้นฐานเครือข่ายโลจิสติกส์จำนวนมากที่เอื้อต่อการกระจายสินค้าทางเกษตร เช่น มีท่าเรือพาณิชย์เชียงแสน ท่าเรือเชียงของ และสะพานมิตรภาพไทย-สปป.ลาวที่ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) ข้ามแม่น้ำโขงเชื่อมต่อเส้นทาง R3A (กรุงเทพ-คุนหมิง) ซึ่งจะทำให้สามารถรวบรวมสินค้าและส่งสินค้าไปยังสปป.ลาว และจีนได้สะดวก, อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดเชียงราย 31.3% และจังหวัดพิษณุโลก 25.5% พิษณุโลก เนื่องจากจังหวัดเชียงรายสามารถต่อยอดจากอุตสาหกรรมการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ ที่มีต้นสินค้าจากการเกษตรมาทำการแปรรูปสินค้าอุปโภคบริโภค ซึ่งสามารถทำเป็นศูนย์การกระจายสินค้าและการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบของภาคเหนือตอนบนจังหวัดพิษณุโลก เนื่องจากเป็นศูนย์กลางของภาคเหนือตอนล่างเชื่อมภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่งที่สำคัญอยู่ในแนวเส้นทาง North-South Economic Corridor (NSEC) และ East-West Economic Corridor (EWEC) สามารถเชื่อมต่อไปยังสปป.ลาว และจีน ซึ่งสามารถจัดทำเป็นศูนย์กลางการขนส่งและโลจิสติกส์ของภาคเหนือตอนล่าง อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยาสูบ จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดเชียงราย 33.9% เนื่องจากเป็นจังหวัดที่มีศักยภาพด้านภูมิศาสตร์ และมีโครงสร้างพื้นฐานที่มีพื้นที่เหมาะแก่การเพาะปลูกยาสูบเป็นอย่างมาก และจากข้อมูลประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรม (ประเทศไทย) หรือ TSIC พบว่าจังหวัดเชียงราย มีการโรงงานผลิตผลิตยาสูบมากเป็นอันดับหนึ่งของภาคเหนือในรายจังหวัดบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว และมีเส้นทางที่สามารถเชื่อมต่อไปยังสปป.ลาว และจีน ซึ่งทำให้ง่ายต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยาสูบ ซึ่งจากผลการศึกษาในครั้งนี้จะนำไปสู่การจัดทำแนวทางการส่งเสริมและข้อเสนอแนะเชิงนโยบายเพื่อสนับสนุนการวางยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในรายจังหวัดบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว ในพื้นที่ภาคเหนือของไทยต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2563 (เลขที่สัญญา วช.อว.(อ)(กบง)/599/2563) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญและภาคส่วนที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อมูลซึ่งเป็นประโยชน์แก่งานวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] กองความร่วมมือการค้าและการลงทุน กรมการค้าต่างประเทศ, การค้าชายแดนของไทย, ข้อมูลจาก https://www.dft.go.th/Portals/3/ภาพรวมชายแดนผ่านแดน%20มีนาคม%2064pdf.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 กรกฎาคม 2564)

[2] สิรีธร จารุธัญลักษณ์ และ อภิชญา จึงตระกูล, รถไฟจีน-ลาว โอกาสและความท้าทาย ที่ไทยต้องเตรียมพร้อม, ข้อมูลจาก https://www.bot.or.th/Thai/ResearchAndPublications/DocLib_/Article_17Sep2019.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 กรกฎาคม 2564)

[3] สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ. 2555. กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น Analytic Hierarchy Process: AHP, ข้อมูลจาก https://www.dti.or.th/download/150319174753_3ahp4.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 กันยายน 2564)

[4] วรพจน์ พันธุ์คง ธรินี มณีศรี และชาลิต มณีศรี. 2560. “การประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นสำหรับการประเมินทำเลที่ตั้งโรงงานผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล”. วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 34 ฉบับที่ 2: 37-43.

[5] ณภัทร ศรีนวล ,อดุลย์ นงภา, สิทธิโชค สินรัตน์, แววมยุรา คำสุข และพิมสหรา ยาคล้าย. 2559. “การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ปัจจัย ในการเลือกทำเลที่ตั้งของคลังสินค้า.” วารสารธุรกิจปริทัศน์, ปีที่ 8, ฉบับที่ 2: 75-90.

[6] สกนธ์ คล่องบุญจิต. 2561. “การเลือกทำเลที่ตั้งของโรงงานด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์.” วารสารรัชต์ภาคย์, ปีที่ 12 ฉบับที่ 25: 234-245.

[7] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2564. ข้อมูลโรงงาน. https://www.diw.go.th/webdiw/search-factory/

การศึกษาอุตสาหกรรมศักยภาพในรายจังหวัดบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย

A study of potential industries in each province at the Thai-Laos border crossing in the northeastern region of Thailand

ณัชชา นิลรัตน์[1] เบนจามิน เขียวแก้ว[1] วัลลภา ศรีบ้านแฮด[1] วรญา เนื่องมัจฉา[1*] สุรเชษฐ์ เถื่อนแก้วสิงห์[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
E-mail: fengwyn@ku.ac.th*

Nutcha Nilrat[1], Benjamin Keawkaew[1], Wanlapha Sribanhaet[1] Woraya Neungmatcha[1*], Surached Thuankaewsing[2]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus
E-mail: fengwyn@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพและคัดเลือกอุตสาหกรรมเป้าหมายจากการวิเคราะห์ปัจจัยและจัดลำดับความสำคัญพื้นที่ที่เหมาะสมในรายจังหวัดบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาวในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย คณะผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิจากแบบสอบถามและการสัมภาษณ์เชิงลึก ข้อมูลทุติยภูมิทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้จากการคีบค้นจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องรวมถึงการทบทวนวรรณกรรมจากงานวิจัยที่ผ่านมา ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมได้ถูกรวบรวมเพื่อนำมาวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) ในแต่ละอุตสาหกรรม จากการศึกษาพบว่าอุตสาหกรรมที่ 1 การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดนครพนม (22.12%) จังหวัดหนองคาย (20.82%) อุตสาหกรรมที่ 2 การผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย (20.21%) จังหวัดมุกดาหาร (20.01%) และจังหวัดอุบลราชธานี (19.97%) และอุตสาหกรรมที่ 3 การผลิตผลิตภัณฑ์ยางและพลาสติก จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย (20.7%) จังหวัดมุกดาหาร (19.98%)
คาสาคัญ: อุตสาหกรรมศักยภาพ ปัจจัยในการเลือกอุตสาหกรรม กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

Abstract

This research aims to analyze potential and select target industries from factor analysis and prioritize suitable areas in each province at the Thai-Laos border crossing in the Northeastern region of Thailand. The researchers collected primary data from questionnaires and in-depth interviews. Secondary data, both quantitative and qualitative, were obtained from research from relevant authorities and literature reviews of past research. Factors influencing the selection of suitable sites were collected for analysis of target areas with a hierarchical analysis process (AHP) in each industry. The results of this study show that the potential provinces of the first industry crop and animal production hunting is Nakhon phanom (22.12%) Nong Khai (20.82%), the potential provinces of the second industry production of food products is Nong Khai (20.21%) Mukdahan (20.01%) and Ubon Ratchathani (19.97%), and the potential provinces of the third industry manufacture of rubber and plastics products is Nong Khai (20.7%) Mukdahan (19.98%).
Keywords: Potential industries, Industrial selection factors, Analytical hierarchy process (AHP)

1. บทนำ

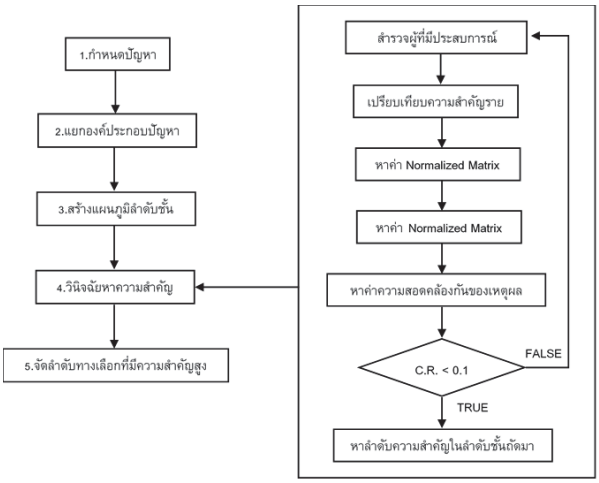
ปัจจุบันนิคมอุตสาหกรรมในประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกเป็นส่วนใหญ่ โดยในปี 2562 นิคมอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีจำนวนทั้งสิ้น 59 แห่ง กระจายอยู่ใน 16 จังหวัด โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีสัดส่วนนิคมอุตสาหกรรมเพียง 3% ซึ่งที่ผ่านมายังไม่ได้รับความสนใจจากนักลงทุนมากนัก สาเหตุสำคัญมาจากความไม่สะดวกในการขนส่ง อย่างไรก็ตามความคืบหน้าของโครงการคมนาคมขนส่งทางถนนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เชื่อมต่อกับประเทศเวียดนามและจีนอาจดึงดูดความสนใจของนักลงทุนมากขึ้นในอนาคต [1] และยังมีนโยบายส่งเสริมการลงทุนในเขตพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษ (Special Economic Zone: SEZ) เพื่อให้เกิดการกระจายความเจริญสู่ภูมิภาค [2]

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยและ สปป.ลาว มีความสัมพันธ์ที่ดีต่อกันทั้งในด้านเศรษฐกิจ วัฒนธรรม การท่องเที่ยว การคมนาคม และการค้าการลงทุน โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยมีพรมแดนติดต่อกับ สปป.ลาว ทั้งทางบกและทางน้ำถึง 7 จังหวัด คือ จังหวัดนครพนม จังหวัดบึงกาฬ จังหวัดมุกดาหาร จังหวัดเลย จังหวัดหนองคาย จังหวัดอุบลราชธานีและจังหวัดอำนาจเจริญ ซึ่งในปี 2559 ได้มีโครงการก่อสร้างรถไฟลาว-จีน (ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์) โดยแบ่งเป็นสองประเภท คือ รถไฟขนส่งสินค้าและรถไฟสำหรับผู้โดยสาร [3] ซึ่งจะช่วยส่งเสริมทางการค้า การท่องเที่ยวและการลงทุน ลดต้นทุนการขนส่งสินค้าทั้งค่าโดยสารและระยะเวลาในการเดินทาง [4] ดังนั้นจากโอกาสและศักยภาพที่ได้กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาพื้นที่ดังกล่าวเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพและคัดเลือกอุตสาหกรรมเป้าหมาย วิเคราะห์หาปัจจัยและจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ที่เหมาะสมในบริเวณจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีพื้นที่ติดกับบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์กระบวนการเชิงลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) [5] เป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการตัดสินใจซึ่งได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับกันในระดับสากลอย่างแพร่หลาย โดยเป็นเทคนิคที่ใช้การแบ่งองค์ประกอบของปัญหาออกเป็นส่วนๆ ในรูปของแผนภูมิตามลำดับชั้นจากนั้นกำหนดค่าน้ำหนักของแต่ละองค์ประกอบผ่านการสำรวจจากผู้ที่มีประสบการณ์หรือมีส่วนเกี่ยวข้องในการตัดสินใจเพื่อนำไปสู่การคำนวนค่าลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือกว่าทางเลือกใดมีค่าสูงที่สุดซึ่งมีโครงสร้างเลียนแบบกระบวนการคิดของมนุษย์ดังนั้นเทคนิคนี้จึงเหมาะสำหรับทั้งการตัดสินใจรายบุคคลและเป็นกลุ่ม [6] โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ AHP นั้นแสดงในรูปที่ 1

ซึ่งที่ผ่านมาเทคนิค AHP ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ตัดสินใจเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม เช่นในงานศึกษาของ ประภาศรี [7] ที่ได้ประยุกต์ใช้วิธีการของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ในการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานที่เหมาะสมสำหรับบริษัทผลิตบรรจุภัณฑ์โดยเก็บข้อมูลน้ำหนักของปัจจัยและเปรียบเทียบแต่ละทำเลที่ตั้งจากผู้บริหารบริษัทผลิตบรรจุภัณฑ์ด้วยแบบสอบถามและใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Expert Choice ซึ่งพบว่าผู้ตัดสินใจให้ความสำคัญกับปัจจัยค่าขนส่งเป็นอันดับแรกและนิคมอุตสาหกรรมนวนครเป็นทำเลที่ตั้งโรงงานที่เหมาะสมที่สุด หรือในงานศึกษาของสกนธ์ [8] ที่ได้นำเสนอวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) ในการตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังจากที่ดินใน 3 จังหวัด คือ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดกาฬสินธุ์ และจังหวัดระยองโดยใช้แบบสอบถามที่มีหลักการเปรียบเทียบเชิงคู่ในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มบุคคลผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการตัดสินใจสร้างโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง ผลการคำนวณพบว่าที่ดินในจังหวัดนครราชสีมาเป็นทำเลที่เหมาะสมต่อการสร้างโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง



รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ AHP

โดยในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่เหมาะสมพบว่าการประยุกต์ใช้เครื่องมือแบบสอบถามเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพิ่มเติม เช่น ในงานศึกษาของศิรัตน์ [9] ที่ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกที่ตั้งโรงงานในเขตพื้นที่อุตสาหกรรมของผู้ประกอบการในจังหวัดฉะเชิงเทราและจังหวัดปราจีนบุรีเครื่องมือในการวิจัยคือแบบสอบถามและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยผลการวิจัยสรุปว่าปัจจัยที่มีผลในการตัดสินใจเลือกที่ตั้งโรงงานเรียงลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ ด้านสภาพแวดล้อม นโยบายของภาครัฐและท้องถิ่น ด้านพลังงาน ด้านแรงงาน ด้านตลาด ด้านด้านการขนส่งและด้านวัตถุดิบ ตามลำดับ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน ข้อมูลขั้นพื้นฐาน และลงพื้นที่เก็บข้อมูล

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลขั้นพื้นฐานของจังหวัดที่ทำการศึกษา ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปของจุดผ่านแดนบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว มูลค่าการค้าชายแดนไทย-ลาว เส้นทางการไหลของสินค้าผ่านจุดผ่านแดนไทย-ลาว และนโยบายการส่งเสริมพื้นที่เขตเศรษฐกิจพิเศษชายแดนของภาครัฐ (Special Economic Zone: SEZ) ในพื้นที่ จากนั้นทำการลงพื้นที่สำรวจความคิดเห็นจากการสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตการลงทุนภาคอุตสาหกรรมในบริเวณจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีพื้นที่ติดกับบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว โดยในการศึกษาครั้งนี้มีเครื่องมือในการศึกษา ดังต่อไปนี้

1) แบบสำรวจสภาพบริบททางสังคม เศรษฐกิจ และบริบททางด้านอื่นๆ ในพื้นที่ชายแดนประเทศไทย-สปป.ลาว

2) แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งมีโครงสร้าง เพื่อให้ทราบปัจจัย และองค์ประกอบสำคัญ รวมถึงปัญหาและอุปสรรคที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทางอุตสาหกรรม ซึ่งการวิเคราะห์ของแบบสอบถามชนิดนี้ทางคณะนักวิจัยจะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) มาช่วยในการสังเคราะห์ข้อมูล

3.2 ศึกษาทบทวนข้อมูลขั้นปฐมภูมิและทุติยภูมิ

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลขั้นปฐมภูมิเชิงคุณภาพ ได้แก่ แบบสอบถาม บันทึกการประชุมและสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลขั้นทุติยภูมิเชิงคุณภาพ ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีพื้นที่ติดกับบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว ข้อมูลประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรม (ประเทศไทย) ปี 2552 (TSIC2009) กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (Special Economic Zone: SEZ) และข้อมูลขั้นทุติยภูมิเชิงปริมาณ ได้แก่ มูลค่าการนำเข้า-ส่งออกสินค้าตามระบบ HS และมูลค่าเงินทุนของอุตสาหกรรม รวมถึงการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) และการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกพื้นที่อุตสาหกรรม

3.3 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษาข้อมูลขั้นทุติยภูมิ คณะผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการศึกษามาเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ โดยข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ในหัวข้อนี้ ได้แก่

3.3.1 วิเคราะห์ TSIC และ SEZ

ดำเนินการรวบรวมประเภทอุตสาหกรรมตามระบบ TSIC ทั้งหมดที่มีในจังหวัดที่ทำการศึกษา เพื่อวิเคราะห์ดูปริมาณและทำการจัดลำดับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีความสำคัญมากจากทั้งส่วนภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อดูกระจายตัวของแหล่งอุตสาหกรรมว่าอยู่ในพื้นที่บริเวณใด จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (SEZ) เพื่อวิเคราะห์ว่าตรงกับกิจการที่ทางภาครัฐให้การสนับสนุนหรือไม่จึงจะได้กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีความสำคัญมากที่สุด

3.4.2 วิเคราะห์มูลค่าการนำเข้า-ส่งออกสินค้าตามระบบ HS

ทำการวิเคราะห์มูลค่าการนำเข้า-ส่งออกสินค้าตามระบบ HS เพื่อวิเคราะห์หากลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมาย โดยเริ่มจากจัดลำดับมูลค่าการนำเข้า-ส่งออก ปี 2561-2563 ที่มีมูลค่าสูงที่สุด 15 ลำดับแรก ตามระบบพิกัดศุลกากร 2 หลัก และทำการเปรียบเทียบความสอดคล้องกับข้อมูล TSIC ที่ได้วิเคราะห์ 10 ลำดับอุตสาหกรรมแรกในพื้นที่จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีพื้นที่ติดกับบริเวณจุดผ่านแดนไทย-ลาว จากนั้นวิเคราะห์โดยขยายจากพิกัดศุลกากร 2 หลักเป็น 8 หลักเพื่อจัดลำดับมูลค่าสินค้า 5 ลำดับแรก

3.3.3 วิเคราะห์มูลค่าเงินทุนของอุตสาหกรรม

ดำเนินการวิเคราะห์มูลค่าเงินทุนของอุตสาหกรรมแต่ละประเภทตามระบบ TSIC ที่มีสัดส่วนการลงทุนมากในพื้นที่รายจังหวัดและทั้งภูมิภาคเพื่อดูประสิทธิภาพการลงทุนที่ใช้สนับสนุนให้มีการลงทุนอุตสาหกรรมในพื้นที่นั้น

3.4 รวบรวมและสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม

จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามและการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลกระทบกับการตัดสินใจเลือกที่ตั้งของแหล่งอุตสาหกรรมแสดงดังรูปที่ 2

เกณฑ์ที่พิจารณา	ทางเลือก
1. โครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภค	1. นครพนม
2. ข้อมูลอุตสาหกรรม/สินค้ายุทธศาสตร์ของพื้นที่	2. บึงกาฬ
3. สภาพเศรษฐกิจในพื้นที่	3. มุกดาหาร
4. บทบาทและนโยบายของรัฐต่อพื้นที่	4. เลย
5. ความพร้อมบุคลากรและแรงงาน	5. หนองคาย
6. แหล่งทรัพยากร/วัตถุดิบ	6. อุบลราชธานี
	7. อำนาจเจริญ

รูปที่ 2 เกณฑ์และทางเลือกในโครงสร้างลำดับชั้นสำหรับการเลือกจังหวัดที่มีศักยภาพในอุตสาหกรรม

ที่มา: จากการทบทวนวรรณกรรมและความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ

จากนั้นได้ทำการตรวจสอบความน่าเชื่อของปัจจัยที่จะนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจโดยการสอบถามความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเลือกที่ตั้งของแหล่งอุตสาหกรรมซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีศักยภาพในการพัฒนาและช่วยส่งเสริมให้มีการลงทุนสร้างแหล่งอุตสาหกรรมที่เหมาะสมกับพื้นที่อุตสาหกรรมเป้าหมาย

3.5 วิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP)

เมื่อได้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจเลือกพื้นที่อุตสาหกรรมเป้าหมายและทางเลือกของจังหวัดที่มีศักยภาพจากนั้นสอบถามความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อให้ได้คะแนนความสำคัญของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมแต่ละประเภทดังรูปที่ 3

เกณฑ์การตัดสินใจ	โครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภค	ข้อมูลอุตสาหกรรม/สินค้ายุทธศาสตร์ของพื้นที่	สภาพเศรษฐกิจในพื้นที่	บทบาทและนโยบายของรัฐต่อพื้นที่	ความพร้อมบุคลากรและแรงงาน	แหล่งทรัพยากร/วัตถุดิบ	ค่าความสำคัญ
โครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภค	1	2	2	2	3	5	31.03%
ข้อมูลอุตสาหกรรม/สินค้ายุทธศาสตร์ของพื้นที่	1/2	1	2	1	3	3	20.28%
สภาพเศรษฐกิจในพื้นที่	1/2	1/2	1	1	2	4	15.84%
บทบาทและนโยบายของรัฐต่อพื้นที่	1/2	1	1	1	4	4	19.92%
ความพร้อมบุคลากรและแรงงาน	1/3	1/3	1/2	1/4	1	2	7.89%
แหล่งทรัพยากร/วัตถุดิบ	1/5	1/3	1/4	1/4	1/2	1	5.04%

รูปที่ 3 คะแนนความสำคัญของเกณฑ์

หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่า λ_{max} เพื่อตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล C.R = 0 ซึ่งน้อยกว่า 0.1 ดังนั้นความสอดคล้องของการเปรียบเทียบอยู่ในค่าที่ยอมรับได้แล้วนำค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์มาประเมินทางเลือกในแต่ละเกณฑ์จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยและความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิจะได้คะแนนความสำคัญของทางเลือกแล้วตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลและทำการคำนวณคะแนนรวมของแต่ละทางเลือก

4. ผลการศึกษา

ผลการศึกษาที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล TSIC ตามสัดส่วนปริมาณอุตสาหกรรมในพื้นที่ 10 ลำดับแรกสามารถนำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (SEZ) ได้ดังรูปที่ 4

อันดับ	TSIC	ประเภท	%	ประเภทกลุ่มอุตสาหกรรมตาม SEZ
1	10	การผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร	26.20%	กลุ่มอุตสาหกรรมการเกษตร ประมง และกิจการที่เกี่ยวข้อง
2	23	การผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ทำจากแร่อโลหะ	16.60%	กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์
3	08	การทำเหมืองแร่และเหมืองหินอื่นๆ	12.63%	
4	16	การผลิตไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้และไม้ก๊อก (ยกเว้นเฟอร์นิเจอร์) การผลิตสิ่งของจากฟางและวัสดุถักสานอื่นๆ	7.77%	กลุ่มอุตสาหกรรมการเกษตร ประมง และกิจการที่เกี่ยวข้อง
5	33	การซ่อมและการติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์	7.05%	กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องจักรและชิ้นส่วน
6	22	การผลิตผลิตภัณฑ์ยางและพลาสติก	6.46%	
7	25	การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะประดิษฐ์ (ยกเว้นเครื่องจักรและอุปกรณ์)	5.10%	กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องจักรและชิ้นส่วน
8	01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	3.56%	กลุ่มอุตสาหกรรมการเกษตร ประมง และกิจการที่เกี่ยวข้อง
9	19	การผลิตถ่านโค้กและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม	3.02%	
10	35	ไฟฟ้า ก๊าซ ไอน้ำ และระบบปรับอากาศ	2.43%	กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 4 ผลการเปรียบเทียบ TSIC และ SEZ

ทำให้ได้กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีความสำคัญ ได้แก่ TSIC 10, TSIC 23, TSIC 08, TSIC 16, TSIC 33, TSIC 22, TSIC 25, TSIC 01, TSIC 19 และTSIC 35 ตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่า TSIC 10 มีจำนวนมากที่สุดเนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีการลงทุนมากที่สุดเป็น 4 ใน 7 ของจังหวัดที่มีศักยภาพและเพราะพื้นที่ส่วนใหญ่มีสินค้าเกษตรเป็นข้าวกับมันสำปะหลัง

จากนั้นวิเคราะห์มูลค่าการนำเข้า-ส่งออกสินค้าตามระบบพิกัด HS (2 หลัก) ปี 2561-2563 โดยจัดลำดับมูลค่าจากมากไปน้อย15 ลำดับแรก แล้วทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในพื้นที่มีการจัดลำดับไว้ในข้างต้น 10 ลำดับแรก จะเห็นได้ว่ามูลค่าการนำเข้าสินค้าของ TSIC 01, TSIC 22 และ TSIC 23 มีสัดส่วนค่อนข้างน้อยและมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปีเล็กน้อย สำหรับ TSIC 19 มูลค่านำเข้าสินค้ามีสัดส่วนสูงเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ ดังตารางที่ 1 ในส่วนของมูลค่าการส่งออกสินค้าของ TSIC 10 และ TSIC 22 สัดส่วนมูลค่าการส่งออกค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ TSIC 19 สัดส่วนมูลค่าการส่งออกค่อนข้างมากและ TSIC 01 (พิกัด HS 08) มีสัดส่วนมูลค่าการส่งออกมากที่สุดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 มูลค่าการนำเข้าสินค้าตามระบบพิกัด HS กับ TSIC

TSIC	พิกัด	สัดส่วนมูลค่านำเข้าสินค้า เงินบาท		
		ปี 2651	ปี 2652	ปี 2653
01	07	2.01%	2.00%	2.85%
19	27	14.6%	14.72%	18.85%
22	39	1.46%	1.59%	1.47%
23	25	1.53%	1.93%	1.21%

ตารางที่ 2 มูลค่าการส่งออกสินค้าตามระบบพิกัด HS กับ TSIC

TSIC	พิกัด	สัดส่วนมูลค่าส่งออกสินค้า เงินบาท		
		ปี 2651	ปี 2652	ปี 2653
01	01		1.81%	3.41%
01	08	13.44%	16.52%	13.6%
10	17	0.75%	1.01%	
10	19	1.43%	1.32%	1.36%
10	21	1.11%	1.04%	1.15%
19	27	9.33%	8.28%	6.13%
22	39	1.81%	1.63%	1.67%
22	40	0.80%		0.98%

TSIC	ความหมาย	พิกัด HS 2 หลัก	คาอธิบาย
01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	01	สัตว์มีชีวิต
01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	07	พืชผักรวมทั้งรากและหัวบางชนิดที่บริ ภคได้
01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	08	ผลไม้และลูกนัตที่บริ ภคได้ เปลือกผลไม้จาพวกส้มหรือเปลือกแตง
10	การผลิตผลิตภัณ ์อาหาร	17	น้าตาลและขนมที่ทาจากน้าตาล
10	การผลิตผลิตภัณ ์อาหาร	19	ของที่ปรุงแต่ง จากธัญพืช แป้ง สตาร์ช หรือนม ผลิตภัณ ์อาหารจาพวกเพสทรี
10	การผลิตผลิตภัณ ์อาหาร	21	ของปรุงแต่งเบ็ดเตล็ดที่บริ ภคได้
19	การผลิต ่าน ค้กและผลิตภัณ ์ที่ได้จากการกลั่น ปิ ตรเลียม	27	เชื้อเพลิงที่ได้จากแร่ น้ามันแร่และผลิตภัณ ์ที่ได้จากการกลั่น สิ่งดังกล่าว สารบิทูมินัส ไขที่ได้จากแร่
22	การผลิตผลิตภัณ ์ยางและพลาสติก	39	พลาสติกและของที่ทาด้วยพลาสติก
22	การผลิตผลิตภัณ ์ยางและพลาสติก	40	ยางและของทาด้วยยาง
23	การผลิตผลิตภัณ ์อื่น ที่ทาจากแร่อ ลหะ	25	ผลิตภัณ ์แร่

รูปที่ 5 ความหมายของ TSIC และคำอธิบายของพิกัด HS

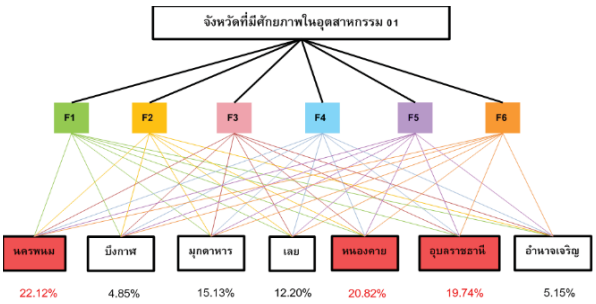
จากนั้นนำมูลค่าการนำเข้า ส่งออกสินค้าตามระบบพิกัด HS มาคำนวณเป็นดุลการค้าแล้ววิเคราะห์คู่กับมูลค่าเงินทุนของอุตสาหกรรมแต่ละประเภทตามระบบ TSIC ที่มีสัดส่วนการลงทุนมากในพื้นที่รายจังหวัดและทั้งภูมิภาคเพื่อคัดเลือกอุตสาหกรรมเป้าหมายได้ผลดังรูปที่ 6

TSIC	ความหมาย	ดุลการค้า	เงินทุน
01	การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้อง	฿38,046,133,966	฿2,318,222,000
10	การผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร	฿7,786,355,219	฿28,641,188,041
22	การผลิตผลิตภัณฑ์ยางและพลาสติก	฿3,506,983,044	฿9,799,890,903
23	การผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ทำจากแร่อโลหะ	-฿2,419,918,915	฿3,511,773,317
19	การผลิตถ่านโค้กและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม	-฿5,611,251,595	฿1,045,618,900

รูปที่ 6 มูลค่าดุลการค้าและเงินทุน

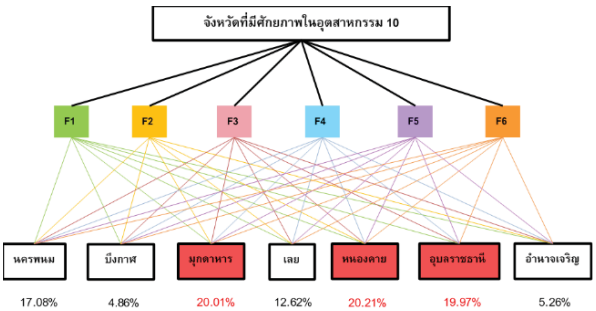
จากผลการวิเคราะห์พบว่ามีกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายที่ควรผลักดัน คือ TSIC 01, TSIC 10 และ TSIC 22 เพราะอุตสาหกรรมเหล่านี้จัดอยู่ใน 10 อันดับกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมากซึ่งมีความสอดคล้องกับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายในเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (SEZ) รวมถึงมีมูลค่านำเข้า-ส่งออกสูง ทำให้เปรียบทางดุลการค้าและมีสัดส่วนการลงทุนอุตสาหกรรมในพื้นที่ปริมาณมาก

หลังจากนั้นวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายได้ผลดังรูปที่ 7-9



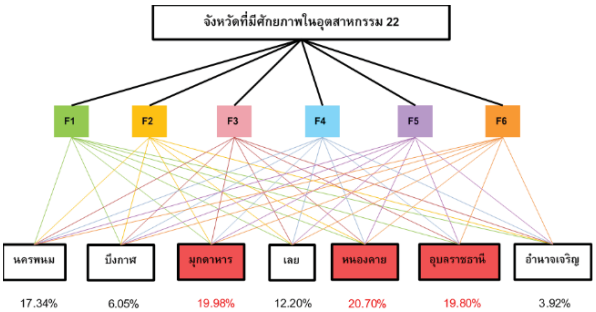
รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ AHP อุตสาหกรรม 01

ผลการวิเคราะห์ AHP อุตสาหกรรม 01 พบว่าอุตสาหกรรมการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดนครพนม 22.12% จังหวัดหนองคาย 20.82% และจังหวัดอุบลราชธานี 19.74%



รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ AHP อุตสาหกรรม 10

ผลการวิเคราะห์ AHP อุตสาหกรรม 10 พบว่าอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย 20.21% จังหวัดมุกดาหาร 20.01% และจังหวัดอุบลราชธานี 19.97%



รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์ AHP อุตสาหกรรม 22

ผลการวิเคราะห์ AHP อุตสาหกรรม 22 พบว่าอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยางและพลาสติก จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย 20.70% จังหวัดมุกดาหาร 19.98% และจังหวัดอุบลราชธานี 19.80%

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจทำให้เห็นว่าการเลือกพื้นที่อุตสาหกรรมเป้าหมายนั้นให้ค่าน้ำหนักความสำคัญไปที่ปัจจัยด้านโครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภคมากที่สุดเป็นอันดับที่หนึ่ง ข้อมูลอุตสาหกรรม/สินค้ายุทธศาสตร์ของพื้นที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญอันดับที่สอง และอันดับที่สามคือแหล่งทรัพยากร/วัตถุดิบ

จากการคำนวณและวิเคราะห์หาค่าความสอดคล้องของเกณฑ์ต่างๆในแต่ละทางเลือกที่มี เพื่อทำการคัดเลือกจังหวัดที่มีศักยภาพให้เหมาะกับอุตสาหกรรมเป้าหมายได้ค่าน้ำหนักความสำคัญที่คำนวณได้ดังนี้ อุตสาหกรรมการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ การล่าสัตว์ จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดนครพนม 22.12% และจังหวัดหนองคาย 20.82% เพราะเป็นจังหวัดที่อยู่ในกลุ่มเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดน (SEZ) ที่ส่งเสริมการทำเกษตรกรรม มีโครงสร้างพื้นฐาน เครือข่ายโลจิสติกส์จำนวนมากที่เอื้อต่อการกระจายสินค้าทางเกษตร และเพราะอยู่ในส่วนของอีสานตอนบนที่สามารถส่งออกไปประเทศจีนได้ส่วนจังหวัดอุบลราชธานีไม่ได้นำมาพิจารณาต่อเพราะถึงแม้จะมีพื้นที่ขนาดใหญ่วัตถุดิบมากแต่โครงสร้างด้านการขนส่งทางรถไฟมีน้อยและยังไม่มีสะพานเชื่อมกับลาว อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย 20.21% เพราะมีอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารจำนวนมากเป็นจุดที่เหมาะในการรวบรวมสินค้าในอนาคตยังเชื่อมต่อกับรถไฟลาว-จีน จังหวัดมุกดาหาร 20.01% เป็นทางผ่านที่มีศักยภาพมีเส้นทางเชื่อมโยงไปลาว กัมพูชา เวียดนาม และจังหวัดอุบลราชธานี 19.97% เพราะมีจำนวนอุตสาหกรรมประเภทอยู่มากแล้วจึงง่ายที่จะพัฒนาต่อ อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยางและพลาสติก จังหวัดที่มีศักยภาพ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย 20.70% เพราะอยู่ใกล้กับแหล่งปลูกยางพาราในจังหวัดบึงกาฬ และจังหวัดมุกดาหาร 19.98% เป็นทางผ่านของสินค้าประเภทเคมีภัณฑ์ที่ใช้ทำพลาสติกแต่ในจังหวัดอุบลราชธานี มีโครงสร้างพื้นฐานน้อยจึงไม่นำมาพิจารณาต่อ จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษาจะนำไปสู่การจัดทำแนวทางการส่งเสริมและข้อเสนอแนะเชิงนโยบายเพื่อสนับสนุนการวางยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพที่จุดผ่านแดนไทย-สปป.ลาว ได้ต่อไปในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2563 (เลขที่สัญญา วช.อว.(อ)(กบง)/599/2563) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญและภาคส่วนที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อมูลซึ่งเป็นประโยชน์แก่งานวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] พุทธชาด ลุนคำ, แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมปี 2563-2565: ธุรกิจนิคมอุตสาหกรรม, ข้อมูลจาก https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Real- Estate/Industrial-Estate/IO/Industry-Outlook-Industrial-Estat (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 กรกฎาคม 2564)

[2] สำนักงานยุทธศาสตร์และการวางแผนพัฒนาพื้นที่ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจ, นโยบายพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษชายแดน, ข้อมูลจาก https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 กรกฎาคม 2564)

[3] ใกล้รุ่ง พรอนันต์. 2563. รายงานโครงการย่อยที่ 3 การศึกษาผลกระทบด้านโลจิสติกส์ เศรษฐกิจ การท่องเที่ยวและความมั่นคงจากโครงการก่อสร้างรถไฟลาว-จีน (ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์) ในพื้นที่จังหวัดหนองคายจังหวัดนครพนมและจังหวัดมุกดาหาร. วิทยาลัยโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน มหาวิทยาลัยนเรศวร ร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.).

[4] สิรีธร จารุธัญลักษณ์ และ อภิชญา จึงตระกูล, รถไฟจีน-ลาว โอกาสและความท้าทายที่ไทยต้องเตรียมพร้อม, ข้อมูลจาก https://www.bot.or.th/Thai/ResearchAndPublications/articles/Pages/Default.aspx (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 กรกฎาคม 2564)

[5] T. Saaty L. 2008. Relative Measurementand its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors–The Analytic Hierarchy /Network Process". RACSAM. Vol.102(2): 251–318.

[6] สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น การวิเคราะห์ตามลำดับชั้นAnalysis Hierarchy Process: AHP. ข้อมูลจาก http://www.dti.or.th/page_bx.php?cid=24&cno=4187 (วันที่สืบค้นข้อมูล 8 มกราคม 2564)

[7] ประภาศรี สวัสดิ์อำไพรักษ์. 2542. การเลือกตำแหน่งของโรงงานโดยใช้การตัดสินใจหลายเกณฑ์: กรณีศึกษาบริษัทบรรจุผลิตภัณฑ์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] สกนธ์ คล่องบุญจิต. 2561. “การเลือกทำเลที่ตั้งของโรงงานด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ Plant Location Decision with Analytic Hierarchy Process.” วารสารรัชต์ภาคย์, ปีที่ 12, ฉบับที่ 25: 234-245.

[9] ศิรัตน์ แจ้งรักษ์สกุล. 2552. ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกที่ตั้งโรงงานในเขตพื้นที่อุตสาหกรรมของผู้ประกอบการ: กรณีศึกษาจังหวัดฉะเชิงเทราและปราจีนบุรี. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

การคัดเลือกคุณลักษณะในการจำแนกประเภทศักยภาพเชิงพาณิชย์ของโครงการวิจัยและพัฒนา โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์

ณฐนน ยิ่งสมัคร[1] ปิยพัชร ถาวรวิสิทธิ์[2] วิมลิน เหล่าศิริถาวร[1*]
[1] ภาควิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[2] โรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
E-mail: wimalin@hotmail.com*

Natanon Yingsamak[1] Piyapatchara Thawornwisit[2] Wimalin Laosiritaworn[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
[2] Mae Moh Power Plant, Electricity Generating Authority of Thailand
E-mail: wimalin@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกคุณลักษณะของโครงการวิจัยและพัฒนาที่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ต่อศักยภาพในการต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์โดยการสร้างความสัมพันธ์และวิเคราะห์หาแนวโน้มของข้อมูลด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในโครงการนี้ คือ โครงการวิจัยและพัฒนาของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่มีการลงทุนระหว่างปี 2551 – 2564 จำนวน 56 โครงการ และใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านการส่งเสริมนวัตกรรมจำนวน 2 คนให้ความเห็นในการจำแนกประเภทศักยภาพเชิงพาณิชย์ การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะและศักยภาพเชิงพาณิชย์ใช้การพิจารณาแดชบอร์ดที่เกิดจากการสร้างข้อมูลสารสนเทศด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ โดยพิจารณาแยกทีละคุณลักษณะเพื่อหาความสัมพันธ์ที่มีลักษณะการเกาะกลุ่มของข้อมูลในคลาสเดียวกัน ผลการศึกษาพบคุณลักษณะของโครงการวิจัยและพัฒนาที่มีความสัมพันธ์ต่อศักยภาพเชิงพาณิชย์และตัดสินใจเลือกจำนวน 6 คุณลักษณะได้แก่ ความสามารถในการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญา ประเภทของการนำไปใช้ประโยชน์ ความสามารถในการใช้งานจริงอย่างต่อเนื่อง การต่อยอดจากโครงการเดิม และ ขนาดของการลงทุน ซึ่งการพิจารณาคุณลักษณะดังกล่าวเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองในการจำแนกประเภทต่อไป

คำสำคัญ: การคัดเลือกคุณลักษณะ, โครงการวิจัยและพัฒนา, ศักยภาพเชิงพาณิชย์, บิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์

Abstract

The objective of this research is to select the attributes of research and development projects that relate to their commercialization potential by creating relationships and analyzing data trends with Business Intelligence. The sample are fifty six research and development projects of Mae Moh Power Plant that have been invested between 2008 to 2021. Comments from two innovation promotion experts were used to classify commercialization potential of each project. Dashboards of relationships generating with Business Intelligence are used for correlation analysis between attributes and Commercialization Potential by considering each attribute individually to find a relationship that has a clustering pattern of data in the same class. The result showed six attributes that impact commercialization potential which are Patentability, Type of Utilization, Continuous use, Continuous Project and Size of Investment. The selected attributes will be used to create a classification model in next research.

Keywords: Attributes Selection, Research and Development Project, Commercialization Potential, Business Intelligence

1. บทนำ

ปัจจุบันการสร้างนวัตกรรมถือว่ามีความสำคัญต่อการพัฒนาองค์กรเป็นอย่างมากเพื่อรองรับการเปลี่ยนอย่างรวดเร็วของสถานการณ์ทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ซึ่งมีนโยบายมุ่งเน้นการสร้างนวัตกรรมด้วยการลงทุนด้านการวิจัยและพัฒนาในหลายๆ ด้านเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า รวมถึงพัฒนาแนวทางการอยู่ร่วมกับชุมชนอย่างกลมกลืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยหนึ่งแนวทางสำคัญในการบริหารจัดการนวัตกรรมองค์กรคือการแสวงหาโครงการหรือเทคโนโลยีที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์สูงเพื่อพัฒนาต่อยอดหรือผลักดันให้เป็นนวัตกรรมที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเหมาะสมภายใต้สภาพแวดล้อมทางธุรกิจที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องและคาดเดาไม่ได้

Reza Bandarian [1] ได้กล่าวถึงความสำคัญของการกำหนดศักยภาพเชิงพาณิชย์ของเทคโนโลยีว่าเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการกลยุทธ์เชิงพาณิชย์ที่จะทำให้ธุรกิจขององค์กรประสบความสำเร็จได้โดยต้องเริ่มจากการประเมินตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นของกระบวนการสร้างเทคโนโลยีหรือนวัตกรรม ในข้อสรุปของการศึกษาได้กล่าวถึงแนวทางการกำหนดคุณลักษณะของเทคโนโลยีว่าคุณลักษณะไม่ควรถูกกำหนดโดยการพิจารณาด้านเทคนิคเพียงอย่างเดียว โดยคุณลักษณะที่เป็นปัจจัยด้านการเงิน กฎหมาย กฎระเบียบ ตลาด หรือปัจจัยอื่นๆ ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ไม่ใช่ปัจจัยทางเทคนิค (Non Technical Factor) เมื่อนำมาพิจารณาร่วมด้วยจะส่งผลต่อการประเมินศักยภาพเชิงพาณิชย์ได้ถูกต้องมากขึ้น เช่นเดียวกับ Mard M. [2] Mard M. [3] Tipping J. [4] ได้กล่าวถึงการประเมินปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพเชิงพาณิชย์ของเทคโนโลยีไว้ว่ามูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีมักจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ที่ไม่ใช่ปัจจัยด้านเทคนิค และจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเทคโนโลยีถูกนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์สู่ตลาดแล้วเท่านั้น จากบทความนี้แสดงให้เห็นว่าในการประเมินเทคโนโลยีจะทราบผลกระทบของปัจจัยที่ไม่ใช่ปัจจัยด้านเทคนิคได้ก็ต่อเมื่อเทคโนโลยีนั้นถูกปล่อยสู่ตลาดแล้วซึ่งในทางปฏิบัติอาจจะทำได้โดยการทดลองตลาด (Customer Validation) โดยผลการทดลองตลาดสามารถนำมาเป็นหนึ่งในคุณลักษณะเพื่อใช้ในการประเมินศักยภาพเชิงพาณิชย์ได้

แม้หลายบทความได้นำเสนอการใช้คุณลักษณะที่ไม่ใช่ปัจจัยทางเทคนิคซึ่งมุ่งเน้นด้านการตอบสนองความต้องการของลูกค้าและความต้องการตลาดมาใช้ในการประเมินศักยภาพเชิงพาณิชย์เป็นหลัก อย่างไรก็ตามพบว่าการพิจารณาปัจจัยทางด้านเทคนิคยังคงจำเป็นต่อการประเมินศักยภาพเชิงพาณิชย์ พบว่ามีหลายองค์กรด้านงานวิจัยและพัฒนาได้นำหลักการประเมินด้วย Technology Readiness Level หรือ TRL ซึ่งเป็นหนึ่งในการประเมินทางเทคนิคที่มีการใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลกมาเป็นเกณฑ์หลักในการประเมินศักยภาพเชิงพาณิชย์ของเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนา โดยเกณฑ์ดังกล่าวสามารถบ่งชี้ระดับความพร้อมและเสถียรภาพของเทคโนโลยีตามบริบทการใช้งานโดยเทคโนโลยีที่มี TRL อยู่ในเกณฑ์สูงเท่านั้นที่จะถูกนำเสนอเข้าสู่ตลาด อย่างไรก็ตามในทางสังคมมีการประเมินเทคโนโลยีในลักษณะเดียวกันด้วย Societal Readiness Level หรือ SRL

ด้วยแนวโน้มทางธุรกิจที่มุ่งเน้นการขับเคลื่อนองค์กรด้วยข้อมูลทำให้กรรมวิธีการเข้าถึงข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลที่มีมหาศาลจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ หนึ่งในเทคโนโลยีที่เป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลในปัจจุบันคือบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถสร้างรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้และเหมาะสมกับมุมมองทางธุรกิจขององค์กรนั้นๆ ด้วยปัจจัยทางธุรกิจที่มีมากและเปิดกว้างทำให้แนวทางการดำเนินธุรกิจในปัจจุบันมีความเป็นไปได้มากขึ้น ท่ามกลางข้อมูลที่มีอย่างมหาศาลจากระบบสารสนเทศน์ที่พัฒนาอย่างรวดเร็ว บิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์จึงมีบทบาทสำคัญที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการขับเคลื่อนทิศทางขององค์กรในด้านต่างๆ รวมถึงการนำมาใช้ในการจัดการความท้าทายด้านศักยภาพเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์และบริการขององค์กรในอนาคต

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของโครงการวิจัยและพัฒนาของโรงไฟฟ้าแม่เมาะซึ่งเป็นโครงการที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจการผลิตกระแสไฟฟ้ารวมถึงการวิจัยด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนเครื่องมือในการการประเมินศักยภาพเชิงพาณิชย์ของโครงการวิจัยและพัฒนา ทำให้เกิดข้อจำกัดในการตัดสินใจลงทุน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดศึกษาการคัดเลือกคุณลักษณะของโครงการวิจัยและพัฒนาที่มีผลต่อศักยภาพเชิงพาณิชย์ด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ โดยพิจารณาทั้งคุณลักษณะอาจจะมีผลต่อศักยภาพเชิงพาณิชย์ทั้งคุณลักษณะทางด้านเทคนิคและคุณลักษณะที่ไม่ใช่ด้านเทคนิคร่วมกัน ซึ่งผลการคัดเลือกคุณลักษณะดังกล่าวสามารถนำไปสร้างแบบจำลองในการจำแนกประเภทศักยภาพเชิงพาณิชย์เพื่อตอบโจทย์องค์กรต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้มีการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ศักยภาพเชิงพาณิชย์ (Commercialization Potential)

Reza Bandarian [1] ได้กล่าวถึงคำจำกัดความและความสำคัญของศักยภาพเชิงพาณิชย์ไว้ว่า ศักยภาพเชิงพาณิชย์คือโอกาสในการนำเทคโนโลยีที่มีไปใช้ในเชิงการค้าและสร้างมูลค่า ทุกเทคโนโลยีใหม่ที่จะเข้าถึงตลาดได้นั้นจะต้องสามารถเติบโตและพัฒนาได้ในสภาพแวดล้อมทางธุรกิจที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องและคาดเดาไม่ได้ ดังนั้นการกำหนดศักยภาพเชิงพาณิชย์ของเทคโนโลยีจึงเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการกลยุทธ์เชิงพาณิชย์ที่ประสบความสำเร็จ อย่างไรก็ตามศักยภาพเชิงพาณิชย์นั้นอาจตีความได้หลายความหมายทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริบทขององค์กรและสถานการณ์ทางด้านธุรกิจขององค์กร ณ เวลานั้น กสิณ บุญปาล [5] ได้ศึกษาคำนิยามของศักยภาพเชิงพาณิชย์จากบทความต่างๆ พบว่าความหมายของศักยภาพเชิงพาณิชย์นั้นขึ้นอยู่กับบริบทการนำไปปรับใช้ในแต่ละองค์กร รวมถึงบทบาทของผู้ให้คำนิยาม

แต่อย่างไรก็ตามสังเกตได้ว่าผู้ให้คำนิยามแต่ละท่านนั้นได้ให้ความหมายที่คล้ายคลึงกันโดยศักยภาพเชิงพาณิชย์คือโอกาสในการขับเคลื่อนเทคโนโลยีจากแนวความคิดผ่านกระบวนการสร้างและพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือบริการออกสู่ตลาดเพื่อตอบสนองต่อต้องการที่แท้จริงของผู้บริโภคเป็นสำคัญ

2.2 บิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ (Business Intelligence)

บิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ คือเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลของข้อมูลทางธุรกิจในอดีตหรือปัจจุบันและแสดงผลของการรายงานในรูปแบบต่างๆ ที่เหมาะสมกับมุมมองทางธุรกิจขององค์กรนั้นๆ หากกล่าวถึงความสำคัญของบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ต่อการวิเคราะห์ข้อมูลในปัจจุบัน Deanne Larson [8] ได้กล่าวถึงแนวโน้มด้านการพัฒนาเทคโนโลยีด้านระบบสารสนเทศน์ที่พัฒนาอย่างก้าวกระโดดได้แก่ การพัฒนาด้านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตและการพัฒนาของสมาร์ทดีไวซ์ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นตัวเร่งให้กระแสของข้อมูลเกิดขึ้นและเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบต่อประเภทและขนาดของข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในปัจจุบันและคาดการณ์ว่าจะมีบทบาทเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในอนาคต

บิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ได้ถูกพบว่ามีการประยุกต์ใช้ในธุรกิจการผลิตและจำหน่ายกระแสไฟฟ้าโดย พีระพงษ์ พิพัฒน์เจษฎากุล [9] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้บิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์เพื่อสนับสนุนงานจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พบว่าสามารถนำมาทดแทนการทำงานรูปแบบเดิมได้เป็นอย่างดีและสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้าได้ในระดับสูง สามารถสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารช่วยลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นในธุรกิจขององค์กร

2.3 ระดับความพร้อมของเทคโนโลยี

Technology Readiness Level หรือ TRL เป็นการบ่งชี้ระดับความพร้อมและเสถียรภาพของเทคโนโลยีตามบริบทการใช้งาน โดย ชัชชาลี รักษ์ตานนท์ชัย [6] ได้ให้ความหมายและความสำคัญของ TRL ว่าเป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการงานวิจัยและพัฒนาที่นำมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างความเข้าใจร่วมกันระหว่างนักพัฒนาเทคโนโลยีกับผู้ที่จะนำเทคโนโลยีไปถ่ายทอดสู่ลูกค้า และสามารถเปรียบเทียบความพร้อมและเสถียรภาพของเทคโนโลยีระหว่างเทคโนโลยีที่แตกต่างกันได้ โดยสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ หรือ สวทช. [7] ได้แบ่ง TRL ออกเป็น 9 ขั้น โดยอธิบายโดยสังเขปดังนี้

TRL ขั้นที่ 1-3 คือช่วงเทคโนโลยีที่เป็นองค์ความรู้และงานวิจัยพื้นฐาน

(1) Basic principles observed and reported

(2) Concept and/or application formulated

(3) Concept demonstrated analytically or experimentally

TRL ขั้นที่ 4-5 คือช่วงเทคโนโลยีที่เป็นต้นแบบในห้องปฏิบัติการ

(4) Key elements demonstrated in laboratory environments

(5) Key elements demonstrated in relevant environments

TRL ขั้นที่ 6-7 คือช่วงเทคโนโลยีที่เป็นต้นแบบภาคสนาม

(6) Representative of the deliverable demonstrated in relevant environments

(7) Final development version of the deliverable demonstrated in operational

TRL ขั้นที่ 8-9 คือเทคโนโลยีผ่านการทดสอบและพร้อมส่งมอบสู่ลูกค้า

(8) Actual deliverable qualified through test and demonstration

(9) Operational use of deliverable

Societal Readiness Level หรือ SRL เป็นการบ่งชี้ระดับความพร้อมและเสถียรภาพที่คล้ายกับ TRL แต่เป็นด้านสังคมโดยใช้ประเมินองค์ความรู้ กระบวนการ การแก้ปัญหา สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมทางด้านสังคม เพื่อสร้างความเข้าใจร่วมกันในการบริหารจัดการโครงการทางด้านสังคมซึ่งมี 9 ระดับเช่นเดียวกับ TRL

3. วิธีดำเนินโครงการวิจัย

ในการศึกษานี้มีการดำเนินการ 4 ขั้นตอนโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 สำรวจและรวบรวมข้อมูล

สำรวจบริบททางด้านธุรกิจของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย รวมถึงนโยบายในการพัฒนานวัตกรรมของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เพื่อใช้ประกอบการพิจารณากำหนดคุณลักษณะที่อาจเกี่ยวข้องกับศักยภาพเชิงพาณิชย์ จากนั้นสำรวจและรวบรวมรายละเอียดของโครงการวิจัยและพัฒนาของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2550 – 2564 ด้วยการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยฯ ทั้งหมด

3.2 กำหนดคุณลักษณะที่คาดว่าจะเกี่ยวข้อง

การกำหนดคุณลักษณะในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นคุณลักษณะที่คาดว่ามีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับศักยภาพเชิงพาณิชย์โดยครอบคลุมทั้งคุณลักษณะที่เป็นปัจจัยด้านเทคนิคและคุณลักษณะที่ไม่เป็นปัจจัยด้านเทคนิค ซึ่งคุณลักษณะทั้งหมดที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องและทางเลือก (Alternative) ของคุณลักษณะได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับศักยภาพเชิงพาณิชย์ของโครงการวิจัยและพัฒนาโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

Attribute	Technical / Non-Technical	Alternative
(1) Completed Date **(Timing)**	Non-Technical	0 - 5 Year(s)
		5 - 10 Years
(2) Patentability **(Law-Technology)**	Both	IP Available
		IP Unavailable
(3) Type of Utilization	Non-Technical	Application
		Study

(Market/Customer)		CSR
(4) Continuous use **(Market/Customer)**	Non-Technical	Yes
		No
(5) Continuous Project **(Policy)**	Non-Technical	Yes
		No
(6) Size of Investment **(Economic)**	Non-Technical	Small
		Medium
		Large
(7) TRL / SRL	Technical	Level 1 - 9
(8) Researcher Rank **(Customer)**	Non-Technical	S
		A
		B

โดยคุณลักษณะที่นำมาศึกษาสามารถอธิบายโดยสังเขปดังนี้
(1) Completed Date หมายถึง วันที่ที่โครงการดำเนินการแล้วเสร็จ
(2) Patentability หมายถึง ความสามารถในการขอรับสิทธิบัตร
(3) Type of Utilization หมายถึง ประเภทของการใช้ประโยชน์
(4) Continuous use หมายถึง มีการใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง
(5) Continuous Project หมายถึง มีความต่อเนื่องจากโครงการเดิม
(6) Size of Investment หมายถึง ขนาดการลงทุน
(7) TRL / SRL หมายถึง ความพร้อมของเทคโนโลยีตามเกณฑ์
(8) Researcher Rank หมายถึง ความสามารถของหน่วยงานผู้วิจัย

3.3 การตัดสินใจระบุศักยภาพเชิงพาณิชย์โดยผู้เชี่ยวชาญด้านงานวิจัยและพัฒนา

สำหรับประเภทของศักยภาพเชิงพาณิชย์ในการศึกษานี้ได้กำหนดให้เป็นคลาส (Class) ของโครงการวิจัยและพัฒนาโรงไฟฟ้าแม่เมาะซึ่งประกอบไปด้วย 3 คลาสคำตอบและได้กำหนดสีที่เป็นตัวแทนของแต่ละคลาสสำหรับแสดงผลในการรายงานเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตความสัมพันธ์ของข้อมูลซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประเภทของศักยภาพเชิงพาณิชย์ของโครงการวิจัยและพัฒนาโรงไฟฟ้าแม่เมาะและการกำหนดสีที่เป็นตัวแทน

คลาส	สีตัวแทนคลาส
(1) งานวิจัยที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์สูง	สีเขียว
(2) งานวิจัยที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ปานกลาง	สีน้ำเงิน
(3) งานวิจัยที่มีศักยภาพด้านอื่น	สีเหลือง

ในการพิจารณาเพื่อจำแนกคลาสของกลุ่มตัวอย่างและรับรองความถูกต้องของข้อมูล จะดำเนินการร่วมกันระหว่างผู้เชี่ยวชาญด้านงานวิจัยและพัฒนาจำนวนสองท่านและคณะผู้วิจัย

3.4 สร้างรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลากหลายมิติด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์

นำข้อมูลที่ได้รับการรับรองความถูกต้องไปสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ โดยในการศึกษานี้ใช้โปรแกรม Power BI เป็นโปรแกรมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งรูปแบบแดชบอร์ด (Dashboard) ต้องออกแบบให้เหมาะสมกับแนวทางการวิเคราะห์และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

3.5 คัดเลือกคุณลักษณะจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล

การคัดเลือกคุณลักษณะของงานวิจัยและพัฒนาฯ ทำได้โดยการตรวจหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Power BI ซึ่งประกอบไปด้วยทางเลือกของทุกคุณลักษณะอย่างครบถ้วนรวมทั้งหมด 27 ทางเลือกจาก 8 คุณลักษณะ โดยในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลจะทำการตรวจสอบทีละคุณลักษณะจนครบทุกทางเลือก

คุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับศักยภาพเชิงพาณิชย์นั้นสามารถสังเกตุได้จากการเกาะกลุ่มของคลาสศักยภาพเดียวกันที่ทางเลือกของคุณลักษณะใดๆ โดยในงานวิจัยนี้จะออกแบบแดชบอร์ดให้สามารถสังเกตุจากสีของกลุ่มข้อมูลที่แสดงในแต่ละทางเลือกของคุณลักษณะ หากพบทางเลือกใดๆ ของคุณลักษณะอย่างน้อย 1 ทางเลือกที่สามารถคัดแยกข้อมูลให้ออกมาอยู่ในลักษณะของข้อมูลที่มีสีเดียวกันทั้งหมดหรือมีสีอื่นปะปนมาในปริมาณเล็กน้อยในหน้าแดชบอร์ด บ่งบอกถึงคุณลักษณะนั้นมีแนวโน้มความสามารถในการคัดแยกคลาสหรือคุณลักษณะนั้นมีความสัมพันธ์กับศักยภาพเชิงพาณิชย์

4. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

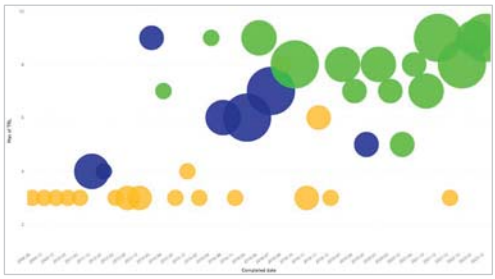
จากการศึกษาและสำรวจบริบททางด้านธุรกิจของโรงไฟฟ้าแม่เมาะพบว่าโรงไฟฟ้าแม่เมาะประกอบกิจการด้านการผลิตไฟฟ้ามีภารกิจเพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศโดยเฉพาะภาคเหนือเป็นหลัก ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของธุรกิจจึงได้แก่ หน่วยงานด้านระบบส่งกระแสไฟฟ้า ประชาชนผู้ใช้ไฟฟ้า รวมถึงชุมชนรอบโรงไฟฟ้า และด้วยทรัพยากรถ่านหินของประเทศไทยที่เหลือไม่มากทำให้มีข้อจำกัดด้านระยะเวลา ส่งผลให้มีความต้องการในการใช้เทคโนโลยีที่สามารถใช้งานได้จริงในระยะเวลาอันสั้นเพื่อให้ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุนเร็วที่สุด จากบริบทองค์กรดังกล่าวสามารถระบุคุณลักษณะที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับศักยภาพเชิงพาณิชย์แสดงไว้ในตารางที่ 1

ผลการรวบรวมข้อมูลโครงการวิจัยและพัฒนาของโรงไฟฟ้าแม่เมาะระหว่างปี พ.ศ. 2550 – 2564 พบโครงการวิจัยและพัฒนาทั้งหมดจำนวน 56 โครงการ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านงานวิจัยและพัฒนาสองท่านได้คัดแยกประเภทศักยภาพเชิงพาณิชย์โครงการวิจัยและพัฒนาทั้งหมดสรุปไว้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการระบุศักยภาพเชิงพาณิชย์โครงการวิจัยและพัฒนาโรงไฟฟ้าแม่เมาะโดยผู้เชี่ยวชาญ

คลาส	จำนวน (โครงการ)
(1) งานวิจัยที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์สูง	15
(2) งานวิจัยที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ปานกลาง	11
(3) งานวิจัยที่มีศักยภาพด้านอื่น	30
รวม	**56**

จากนั้น นำข้อมูลที่สมบูรณ์แล้วไปสร้างรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลากหลายมิติด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ซึ่งได้กำหนดรูปแบบตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยจากการสำรวจความต้องการพบว่ารูปแบบที่ง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์ด้านนโยบายในการตัดสินใจลงทุนคือการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง TRL หรือ SRL และช่วงเวลาที่โครงการดำเนินการแล้วเสร็จ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แดชบอร์ดข้อมูลด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์จากข้อมูลโครงการวิจัยและพัฒนาทั้งหมดจำนวน 56 โครงการ

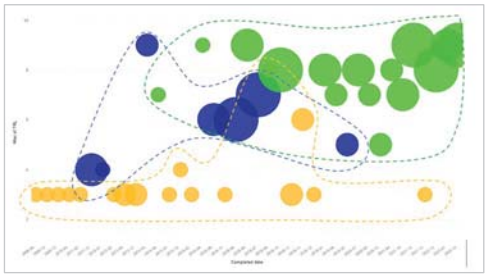
จากรูปที่ 1 แสดงแดชบอร์ดข้อมูลงานวิจัยและพัฒนาโรงไฟฟ้าแม่เมาะซึ่งในแดชบอร์ดประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

(1) แกนตั้ง เป็นแกนของระดับ Technology/Societal Readiness Level (TRL/SRL) ตั้งแต่ระดับต่ำสุดที่ระดับ 1 จนถึงระดับสูงสุดที่ระดับ 9

(2) แกนนอน เป็นแกนของเวลาตามวันที่ที่โครงการดำเนินงานแล้วเสร็จ

(3) ชุดข้อมูล ใช้การแสดงผลของข้อมูลบนกราฟแบบกระจัดกระจาย โดยขนาดของวงกลมข้อมูลแสดงถึงปริมาณงบประมาณที่ลงทุน ขนาดเล็กแสดงถึงการลงทุนด้วยงบประมาณน้อย ขนาดใหญ่แสดงถึงการลงทุนด้วยงบประมาณสูง สีของจุดข้อมูลเป็นตัวแทนที่แสดงคลาสของข้อมูล ตามที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 2

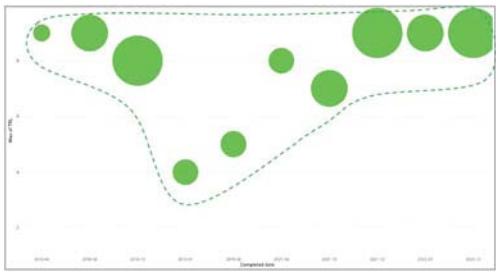
ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะและศักยภาพเชิงพาณิชย์ของโครงการวิจัยและพัฒนาของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยการตรวจสอบการแสดงผลแดชบอร์ดของบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ที่ละคุณลักษณะรวมทั้งหมด 8 คุณลักษณะและตรวจสอบจนครบทุกทางเลือกของแต่ละคุณลักษณะรวมแล้วต้องสร้างแดชบอร์ดทั้งหมด 26 แดชบอร์ดโดยอธิบายผลการตรวจสอบได้ดังนี้



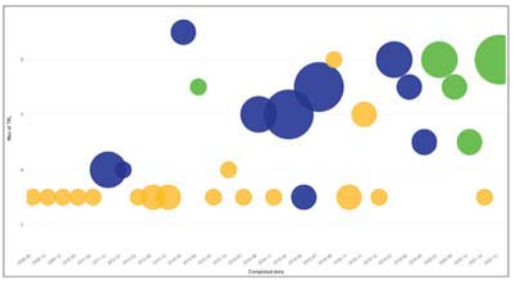
รูปที่ 2 แดชบอร์ดสำหรับพิจารณาคุณลักษณะ Completed Date และ TRL/SRL

รูปที่ 2 เป็นตัวอย่างการพิจารณาคุณลักษณะ Completed Date และ TRL/SRL โดยข้อมูลคลาสเดียวกันจะมีสีเดียวกันและได้จัดกลุ่มไว้ด้วยเส้นประเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกต เมื่อสังเกตุแกนนอนซึ่งเป็นแกนของเวลาพบว่าการกระจายตัวของแต่ละคลาสกระจายตัวอยู่ทุกช่วงเวลาในแนวแกนนอน แสดงให้เห็นว่าคุณลักษณะ Completed Date ไม่พบความสัมพันธ์กับศักยภาพเชิงพาณิชย์

ในลักษณะเดียวกันเมื่อพิจารณาแกนตั้งซึ่งเป็นแกนของระดับ TRL/SRL หากพิจารณาแยกแต่ละระดับตามแกนตั้งจะพบคลาสมากกว่า 1 คลาส แสดงให้เห็นว่าคุณลักษณะ TRL/SRL ไม่พบความสัมพันธ์กับศักยภาพเชิงพาณิชย์เช่นเดียวกัน



รูปที่ 3 แดชบอร์ดสำหรับพิจารณาคุณลักษณะ Patentability ทางเลือก Yes



รูปที่ 4 แดชบอร์ดสำหรับพิจารณาคุณลักษณะ Patentability ทางเลือก No

รูปที่ 3 และรูปที่ 4 เป็นตัวอย่างการพิจารณาคุณลักษณะ Patentability โดยเมื่อพิจารณาทางเลือก Yes ตามรูปที่ 3 พบการเกาะกลุ่มของข้อมูลคลาสศักยภาพเชิงพาณิชย์สูงซึ่งแทนด้วยสีเขียวซึ่งในกรณีนี้พบว่ามีข้อมูลสีเขียวทั้งหมดบ่งชี้ได้ว่าคุณลักษณะ Patentability

ทางเลือก Yes พบความสัมพันธ์กับคลาสศักยภาพเชิงพาณิชย์สูง แต่หากพิจารณาที่ทางเลือก No ตามรูปที่ 4 พบการกระจายตัวของข้อมูลทั้ง 3 คลาส บ่งชี้ได้ว่าทางเลือก No ไม่พบความสัมพันธ์ต่อศักยภาพเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตามหากพบความสัมพันธ์ที่ทางเลือกใดทางเลือกหนึ่งก็สามารถบ่งชี้ได้ว่าคุณลักษณะนั้นมีแนวโน้มที่สามารถคัดแยกศักยภาพเชิงพาณิชย์ โดยในกรณีนี้สามารถสรุปได้ว่าคุณลักษณะ Patentability มีแนวโน้มที่สามารถคัดแยกศักยภาพเชิงพาณิชย์ได้

ทั้งนี้คุณลักษณะอื่นๆ ที่เหลือได้ใช้แนวทางการพิจารณาในรูปแบบเดียวกัน ซึ่งผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ของคุณลักษณะและศักยภาพเชิงพาณิชย์ของโครงการวิจัยและพัฒนาของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยตรวจสอบทั้ง 8 คุณลักษณะพบว่ามีคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับศักยภาพเชิงพาณิชย์จำนวน 6 คุณลักษณะดังผลสรุปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะตามทางเลือกที่กำหนดและศักยภาพเชิงพาณิชย์ของโครงการฯ

คุณลักษณะ	ศักยภาพเชิงพาณิชย์ที่ตรวจพบ
(1) Completed Date	ไม่พบความสัมพันธ์
(2) Patentability	พบ High Potential ที่ทางเลือก Yes
(3) Type of Utilization	พบ Other Potential ที่ทางเลือก Study
(4) Continuous use	พบ High Potential ที่ทางเลือก Yes
(5) Continuous Project	พบ High Potential ที่ทางเลือก Yes
(6) Size of Investment	พบ Other Potential ที่ทางเลือก Small
(7) TRL / SRL	ไม่พบความสัมพันธ์
(8) Researcher Rank	พบ High Potential ที่ทางเลือก S

ซึ่งคุณลักษณะของโครงการวิจัยและพัฒนาทั้ง 6 คุณลักษณะได้แก่ Patentability, Type of Utilization, Continuous use, Continuous Project และ Size of Investment ที่มีแนวโน้มความสามารถในการคัดแยกหรือจำแนกประเภทโครงการวิจัยและพัฒนาตามศักยภาพเชิงพาณิชย์สามารถจัดกลุ่มคุณลักษณะตามความสามารถในการคัดแยกศักยภาพเชิงพาณิชย์ซึ่งเป็นคลาสต่างๆ ได้ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปคุณลักษณะที่มีแนวโน้มความสามารถในการคัดแยกศักยภาพเชิงพาณิชย์แยกตามคลาส

คลาส	คุณลักษณะทีมีแนวโน้มความสามารถในการคัดแยก
(1) High Potential	Patentability, Continuous use, Continuous Project, Researcher Rank
(2) Medium Potential	ตรวจไม่พบคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์
(3) Other Potential	Type of Utilization, Size of Investment

5. สรุปผล

การคัดเลือกคุณลักษณะของโครงการวิจัยและพัฒนาจากการสร้างและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ในการวิจัยครั้งนี้พบว่าการศึกษาบริบทขององค์กรในขั้นตอนแรกช่วยสร้างความเข้าใจในธุรกิจและสามารถจำกัดขอบเขตของปัจจัยที่อาจจะเป็นคุณลักษณะของศักยภาพเชิงพาณิชย์ได้เป็นอย่างดี โดยสามารถจำกัดและระบุคุณลักษณะที่อาจเกี่ยวข้องกับศักยภาพเชิงพาณิชย์ของโครงการวิจัยและพัฒนาได้จำนวน 8 คุณลักษณะ ได้แก่ Completed Date, Patentability, Type of Utilization, Continuous use, Continuous Project, Size of Invest และ TRL/SRL

การสร้างข้อมูลด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ทำให้เห็นมุมมองคุณลักษณะที่ต้องการศึกษาได้ครบทุกมิติซึ่งสามารถตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างมิติของคุณลักษณที่ทางเลือกต่างๆ กับมิติของศักยภาพเชิงพาณิชย์ซึ่งเป็นคลาสโดยข้อมูลจะถูกทำให้อยู่ในรูปแบบของแดชบอร์ดที่สามารถออกแบบให้เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลและสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ประโยชน์จากข้อมูล ด้วยการพิจารณาข้อมูลด้วยบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ดังกล่าวสามารถตรวจพบคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับศักยภาพเชิงพาณิชย์ได้จำนวน 6 คุณลักษณะจากทั้งหมด 8 คุณลักษณะ ได้แก่ Patentability, Type of Utilization, Continuous use, Continuous Project และ Size of Investment โดยพบความสัมพันธ์ในลักษณะของการเกาะกลุ่มของคลาสเดียวกันที่ทางเลือกของคุณลักษณะต่างๆ ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่าคุณลักษณะนั้นๆ มีแนวโน้มความสามารถในการคัดแยกหรือจำแนกประเภทได้ ข้อสังเกตหนึ่งจากผลการศึกษาคือ TRL/SRL ซึ่งเป็นตัวแทนของคุณลักษณะด้านเทคนิคไม่พบความสัมพันธ์กับศักยภาพเชิงพาณิชย์ แต่กลับพบความสัมพันธ์ในคุณลักษณะที่ไม่ใช่ปัจจัยทางเทคนิคซึ่งเชื่อมโยงถึงความต้องการของลูกค้า บ่งชี้ว่าปัจจัยที่ไม่ใช่ปัจจัยทางเทคนิคเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อศักยภาพเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์หรือบริการ อาจกล่าวได้ว่าหากมีแรงกระตุ้นจากความต้องการของลูกค้าแล้ว สิ่งที่องค์กรต้องทำคือทำเทคโนโลยีให้พร้อมต่อการตอบสนองความต้องการนั้น ทั้งนี้ขอบเขตของข้อสังเกตดังกล่าวครอบคลุมเฉพาะโครงการวิจัยและพัฒนาของโรงไฟฟ้าแม่เมาะเท่านั้น

ประโยชน์ของงานวิจัยนี้คือได้คุณลักษณะที่สำคัญซึ่งจะถูกนำไปสร้างแบบจำลองในการจำแนกประเภทที่สามารถระบุศักยภาพเชิงพาณิชย์ของโครงการวิจัยและพัฒนาเป็นเครื่องมือช่วยผู้บริหารในการพิจารณาการให้ทุนวิจัยและพัฒนาของโครงการใหม่ในอนาคต อีกทั้งแดชบอร์ดที่สร้างจากบิสซิเนสอินเทลลิเจนซ์ถูกออกแบบให้แสดงโครงการที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์สูงและมีความพร้อมของเทคโนโลยีสูงควบคู่กันเพื่อตัดสินใจลงทุนในโครงการที่ดีที่สุดและพัฒนาเป็นนวัตกรรมขององค์กรต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวอันเป็นที่รักที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจในการศึกษาเสมอมา และขอขอบคุณการ

ไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ช่วยสนับสนุนทุนวิจัยทั้งหมดของโครงการ

เอกสารอ้างอิง

[1] R. Bandarian. 2007. “Evaluation of Commercial Potential of a new Technology at the Early Stage of Development With Fuzzy Logic”. J. Technol. Manag. Innov. 2007, Volume 2 Issue 4.

[2] Mard, M. 2000a. “Financial factors : cost approach to valuing intellectual property”. Licensing Journal, 27–28.

[3] Mard, M. 2000b. “Financial factors : income approach to valuing intellectual property”. Licensing Journal, 27–30.

[4] Tipping, J., Zeffren, E., Fusfeld, A. 1995. “Assessing the value of your technology”, Research Technology Management, Volume 38, Issue 5, 22–39.

[5] กสิณ บุญปาล. 2561. “เกณฑ์การประเมินความพร้อมงานวิจัยสู่การต่อยอดเชิงพาณิชย์”. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). วิทยาลัยนวัตกรรม. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

[6] ชัชชาลี รักษ์ตานนท์ชัย. 2553. “ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีสู่อุตสาหกรรม”. งาน NSTDA Knowledge Sharing ครั้งที่ 54. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). ปทุมธานี.

[7] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2562. “การใช้ประโยชน์งานวิจัย”. แผนงานการติดตามและประเมินผลการนำโครงการวิจัยไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม. https://i4biz.nrct.go.th

[8] Larson, D., Chang, V. 2016. “A review and future direction of agile, business intelligence, analytics and data science. International Journal of Information Management”, Volume 36, Issue 5, 700-710.

[9] พีระพงษ์ พิพัฒน์เจษฎากุล. 2562. “การพัฒนาระบบธุรกิจอัจฉริยะเพื่อสนับสนุนงานจำหน่ายไฟฟ้า”. วารสารโครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ. ฉบับที่ 2 48-56.

การประยุกต์ใช้ Chatbot สนับสนุนหน่วยงานการศึกษา กรณีศึกษาโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา

Application of Chatbot in Academic Institution Assistance Service Case Study of Kasetsart University Laboratory School Center for Educational Research and Development

ศุกลภัทร ภิสัชเพ็ญ[1*] กนกวรรณ มิ่งขวัญ[1]
[1]โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: sukollapat.pis@gmail.com*

Sukollapat Pisuchpen[1*] Kanokwan Mingkwan[1]
[1]Kasetsart University Laboratory School Center for Educational Research and Development, Faculty of Education, Kasetsart University
E-mail: sukollapat.pis@gmail.com*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการเพื่อสร้างโปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE (LINE CHAT BOT) สำหรับการตอบคำถามเบื้องต้นที่พบบ่อยให้กับโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา การนำ LINE CHAT BOT มาใช้ตอบคำถามเบื้องต้นที่พบบ่อยเป็นการช่วยเหลือผู้ใช้งานให้ได้รับข้อมูลพื้นฐานด้วยความรวดเร็วและสะดวกสบาย รวมทั้งเป็นการลดการทำงานซ้ำซ้อนของเจ้าหน้าที่ในการตอบคำถามซ้ำๆ ทั้งนี้โครงการยังได้ทำการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานโปรแกรม LINE CHAT BOT นี้ ส่วนที่มาของชุดคำตอบของโปรแกรม LINE CHAT BOT มาจากการสำรวจข้อมูลคำถามที่พบบ่อยจากสี่หน่วยงานของทางโรงเรียน ได้แก่ หน่วยงานการเงิน, หน่วยประชาสัมพันธ์, หน่วยงานคอมพิวเตอร์เครือข่ายและหน่วยงานทะเบียน โดยนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์และสร้างโปรแกรม LINE CHAT BOT จากนั้นทำการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานโปรแกรม LINE CHAT BOT จากผู้ใช้งานโปรแกรม 42 คน โดยทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลจากสถิติ จากการศึกษาพบว่าโปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE สามารถอำนวยความสะดวกและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี มีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งแสดงจากผลจากการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งได้ผลรวมค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในทุกด้านที่ร้อยละ 86.66 ที่ระดับพึงพอใจมาก เห็นได้ว่าโปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE สามารถใช้เป็นอีกหนึ่งช่องทางการสื่อสารสำหรับผู้ใช้งานที่ต้องการสอบถามคำถามเบื้องต้นกับองค์กร ซึ่งสามารถใช้งานได้จริงและผู้ใช้โปรแกรมมีความพึงพอใจ

คำสำคัญ: การพัฒนาระบบ, โปรแกรมไลน์, ซอฟแวร์หุ่นยนต์, วิเคราะห์ผลทางสถิติ, ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

Abstract

The purpose of this study is to develop a LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE (LINE CHAT BOT) to handle the frequently asked question (FAQ) for Kasetsart University Laboratory School Center for Educational Research and Development. The use of LINE CHAT BOT to respond to basic questions or frequently asked question from user can enhance the experience of user and reduce administrative officers' work. The satisfaction survey also has been conducted to measure the level of satisfaction and feedback from LINE Chat BOT user. The set of frequently asked question (FAQ) data were gathered from the school's four divisions, namely finance division, public relation division, computer network division and registrar division. The data were then analyzed and implemented in LINE CHAT BOT application. The satisfaction survey was then conducted on 42 users. The survey results were then analyzed. Statistical means and percentages were calculated. The results show that LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE program could provide help and satisfy users' needs efficiently and effectively as per the preset objectives. The overall average score from the questionnaire is 86.66% (highly satisfied). To conclude, LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE program can be served as an additional channel for user to retrieve the quick information with ease. It's practical and user is satisfied.

Keywords: System Development, Line Program, Chatbot, Satisfaction Survey, Customer Satisfaction

1. บทนำ

เนื่องจากการสื่อสารเป็นพื้นฐานขั้นแรกของการอยู่รวมกันเป็นสังคม เริ่มจากการพูดคุยหรือการเขียน การสื่อสารมีการพัฒนามาเรื่อยๆ สู่เทคโนโลยีการสื่อสาร ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารมี Messaging Application เข้ามามีส่วนร่วมกับการสื่อสารในชีวิตประจำวันมากขึ้น การสนธนาอาจจะไม่ได้แค่คุยกับคนเพียงอย่างเดียว จะมี Chatbot มาเป็นคู่สนทนาที่สามารถตอบโต้กับผู้ใช้ได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึงผ่านแอปพลิเคชันต่างๆ เช่น โปรแกรม WhatsApp, Line Application, Facebook Messenger ซึ่งการนำ Chatbot เข้ามาใช้งาน ทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสื่อสารออนไลน์ ทำให้ Chatbot เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทในการสื่อสารของมนุษย์มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในปัจจุบัน Chatbot ได้ถูกนำเอาไปประยุกต์ใช้ด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันอย่างแพร่หลาย อาทิ การซื้อ ขายสินค้าออนไลน์ในรูปแบบของการสนทนากับ Chatbot ของร้านค้า และการให้บริการข้อมูลกับลูกค้าบนช่องทางออนไลน์ในรูปแบบของการสนทนาผ่าน Chatbot ส่งผลให้การใช้เทคโนโลยี Chatbot เติบโตอย่างต่อเนื่อง

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า คุณสมบัติสำคัญของ Chatbot ที่เป็นประโยชน์ต่อธุรกิจนั้น มีหลายประการ ทำให้ผู้วิจัยมองเห็นข้อดีในการจัดทำ Chatbot และตัดสินใจเลือกช่องทาง LINE Application เป็นการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้บริการของโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา ดังนั้นหากโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษาสามารถนำเอา Chatbot ไปประยุกต์ใช้งานจะช่วยลดเวลาบุคลากรในการตอบคำถามเบื้องต้นที่พบบ่อยของผู้ใช้บริการ และช่วยลดเวลาในการหาข้อมูลของผู้ใช้บริการ เนื่องจากปัจจุบันทางโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษามีเพียงช่องทาง Facebook ของโรงเรียนที่ติดต่อทางออนไลน์กับผู้ใช้บริการ และเนื่องด้วย Facebook ของโรงเรียนมีหลายไอคอน บางครั้งผู้ใช้บริการต้องใช้เวลาค้นหา ซึ่งหากทางโรงเรียนสามารถเพิ่มช่องทางติดต่อทางออนไลน์กับผู้ใช้บริการให้มีหลายช่องทางขึ้น เช่น ทางไลน์ Chatbot โปรแกรมไลน์ Chatbot นี้จะช่วยลดเวลาในการหาข้อมูลของผู้ใช้บริการ เพราะโปรแกรมไลน์ Chatbot สามารถใช้คีย์เวิร์ดในการตั้งคำถาม โปรแกรมสามารถเชื่อมต่อกับ Facebook ของโรงเรียนได้โดยดึงหน้าที่ผู้ใช้บริการต้องการข้อมูลขึ้นมา ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสร้างโปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE สำหรับตอบคำถามเบื้องต้น ที่พบบ่อย ไว้ให้กับโรงเรียน เพื่อเป็นประโยชน์กับทางโรงเรียนและผู้ใช้บริการ และเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับ LINE CHAT BOT และแอปพลิเคชันสามารถนำไปพัฒนาต่อได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chatbot คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่ง ที่มีไว้สื่อสารโดยการสนทนากับมนุษย์ เพื่อประโยชน์ไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง ซึ่งมีอยู่ 2 แบบหลักๆคือแบบที่ถูกกำหนดด้วยกฎต่างๆ (Based on rules) และแบบที่มีปัญญาประดิษฐ์ AI (Artificial Intelligence) คือใช้ Machine learning เข้ามาเป็นตัวช่วยในเรื่องของธุรกิจได้อย่างดี โดยหลายๆธุรกิจเริ่มเข้ามาศึกษาว่าจะนำเทคโนโลยีที่ชาญฉลาดนี้มาปรับใช้กับธุรกิจของตนเอง Chatbot เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยนักพัฒนาโปรแกรมตามความต้องการของหน่วยงาน เพื่อจำลองบทสนทนาของมนุษย์ ให้สามารถพูดคุยหรือสื่อสารกับมนุษย์ผ่านทางเสียงหรือข้อความแบบทันทีทันใด สามารถตอบคำถาม ให้ข้อมูล ให้ความช่วยเหลือ ให้ความบันเทิง ในที่นี้อาจเรียก Chatbot สั้นๆ ง่าย ด้วยคำว่า “บอท” บอท มีการพัฒนาขึ้นมา 2 แบบ [4] คือ RULE-BASED BOT ซึ่งถูกกำหนดด้วยกฎต่างๆ ด้วยคำสำคัญ (Keywords) และ AI BOT (ปัญญาประดิษฐ์) โดย RULE-BASED BOT นั้น จะทำงานตามกฎและคีย์เวิร์ดที่ถูกกำหนดไว้ ถ้าหากคำถามไม่ตรงกับที่กำหนดไว้ บอทจะให้คำตอบตามที่ผู้พัฒนากำหนดไว้ เช่น “คำถามไม่ถูกต้อง” เป็นต้น ส่วน AI BOT นั้น จะใช้ Machine Learning ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของศาสตร์ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และ เข้ามาช่วยให้ ดังนั้น บอท จะเรียนรู้จากคำถามและคำตอบส่วนใหญ่ ซึ่งนั่นทำให้เป็นลักษณะเด่นที่สำคัญของบอทประเภทนี้คือ ฉลาดและเข้าใจภาษาของมนุษย์มากขึ้น

ชลณัฏฐ์ พูนชัฏกาญจน์ [1] ได้นำเสนอบทความเรื่อง เสริมศักยภาพองค์กรด้านการใช้เทคโนโลยี Chatbot และยังเป็นผู้ก่อตั้ง Chatbot Thailand ได้กล่าวสรุปถึง Chatbot ซึ่งอาจเป็นเรื่องใหม่สำหรับประเทศไทย แต่ในต่างประเทศ เช่น อเมริกา หรือญี่ปุ่น มีการใช้งานกันแล้วอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ Chatbot ยังสามารถสร้างฟอร์ม Template ต่างๆ ได้ ตามที่เราต้องการ อย่างร้านค้าที่ต้องเจอคำถามซ้ำๆ หรือขอดูรูปสินค้าเดิมๆ ซึ่งตรงนี้เราสามารถสอน Chatbot ให้เรียนรู้และจับคำเหล่านี้ พร้อมตอบให้ได้ทันที Chatbot จะเป็นจุดเริ่มต้นในการใช้ AI ที่ทุกคนสามารถเข้าถึงกันได้ และมีความเชื่อว่าในอีก 3-5 ปี ข้างหน้าประเทศไทยจะนำ AI เข้าไปอยู่ในทุกอุตสาหกรรม หรือองค์กร เพื่อให้ผู้ใช้งานมีแหล่งข้อมูลเป็นของตัวเอง และตอบสนองการใช้งานต่อผู้ใช้งานมากขึ้น

ศศิธร ทองนวล และ เจนจิรา ธนะศิรังกูล [3] รายงานสหกิจศึกษา เรื่องกรณีศึกษา: ระบบ Chatbot ในแอพพลิเคชั่น LINE สำหรับพนักงานในโรงแรมแชงกรี – ลา กรุงเทพฯ) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความล่าช้าและความผิดพลาดในการแจ้งเตือนกิจกรรมอบรมพนักงานภายในแผนกบุคคลของโรงแรมแชงกรี – ลา กรุงเทพฯ โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูลแสดงความพึงพอใจของพนักงานในแผนกบุคคล จำนวน 4 คน ผลการประเมินความพึงพอใจหลังจากการทดลองใช้ระบบหุ่นยนต์สนทนาโต้ตอบอัตโนมัติพบว่า ความพึงพอใจด้านลักษณะทางกายภาพและด้านการตอบรับวัตถุประสงค์ของการอบรม

มหาวิทยาลัยรังสิตได้ใช้กระบบ Application LINE [2] ติดต่อกับนิสิตในช่วงลงทะเบียน ช่วงดูผลการเรียน หรือเข้าดูตารางเรียนในช่วงเปิดเทอม มหาวิทยาลัยรังสิตได้สร้างบัญชี LINE ขึ้นเพื่อจะใช้เป็นช่องทางในการตอบโต้ และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ผ่านระบบอัตโนมัติ

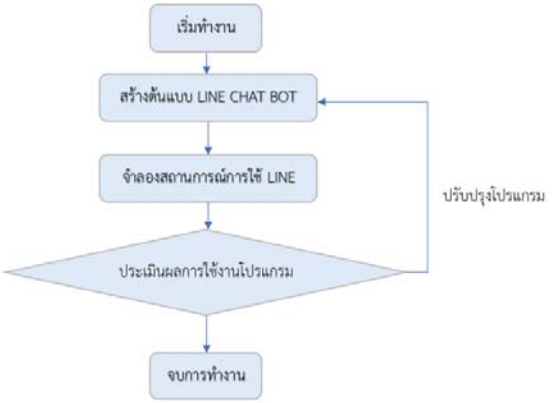
จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า คุณสมบัติสำคัญของ Chatbot ที่เป็นประโยชน์ต่อธุรกิจนั้น ไม่ว่าจะเป็น เรื่องของการบริการที่เราสามารถควบคุมคุณภาพของการบริการได้ สามารถให้บริการลูกค้าได้ตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้ผู้จัดทำมองเห็นข้อดีในการจัดทำ Chatbot และตัดสินใจเลือกช่องทาง LINE เป็นการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้บริการของโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ สร้างโปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE สำหรับตอบคำถามเบื้องต้นที่พบบ่อย ให้กับโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา และสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานโปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE โดยมีขอบเขตการศึกษา กลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานโปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE ได้แก่ อาจารย์ ผู้ปกครอง และนักเรียน และข้อมูลที่ใช้ศึกษาจากหน่วยงาน 4 หน่วยงานหลัก คือ งานการเงิน งานประชาสัมพันธ์ งานคอมพิวเตอร์เครือข่าย งานทะเบียน โดยจัดทำแบบสำรวจข้อมูลการตอบคำถามที่พบบ่อย คัดเลือกคำถามที่ไม่ผันแปรตามสถานการณ์ภายนอก หากเป็นคำถามที่ไม่มีในฐานข้อมูล โปรแกรมจะให้เบอร์ติดต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้ผู้ใช้บริการ

3.1 ศึกษาและสำรวจความต้องการข้อมูลการตอบคำถาม

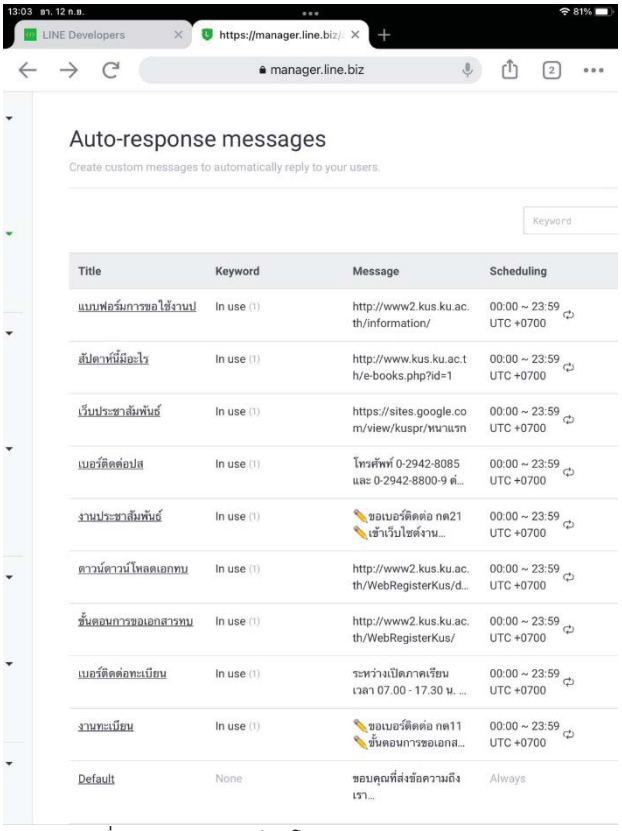
สร้างแบบสำรวจสำรวจข้อมูลคำถามที่พบบ่อย โดยใช้ Google form หรือกรอกข้อมูลออนไลน์ผ่าน QR Code และจากข้อมูลจากแบบสำรวจ สี่หน่วยงานหลัก คือ งานการเงิน งานประชาสัมพันธ์ งานคอมพิวเตอร์เครือข่าย งานทะเบียน จะถูกนำมาคัดเลือกคำถามที่นำมาพิจารณาสำหรับตอบคำถามที่พบบ่อยแบบอัตโนมัติในโปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE ต้องเป็นคำถามที่ไม่ผันแปรตามสถานการณ์ภายนอก จากนั้นนำคำถามที่อยู่ในหมวดเดียวกัน หรือคำถามที่มีคำตอบเดียวกันจัดไว้ด้วยกันจากนั้นออกแบบโปรแกรม เพื่อสร้างโปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE มีขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

3.2 สร้างโปรแกรม

เนื่องจากปัจจุบัน LINE Developers ได้รับความนิยมในการใช้สร้าง LINE CHAT BOT เพราะ LINE Developers มีความสามารถในการประมวลผลในรูปแบบที่กำหนด (RULE-BASED) ซึ่งโปรแกรมประยุกต์ไลน์ (LINE application) โดยบริษัท ไลน์คอร์ปอเรชัน (LINE Corporation) โปรแกรมประยุกต์นี้เป็นโปรแกรมที่ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) แมคโอเอส (macOS) ไอโอเอส (iOS) และแอนดรอยด์(Android) ใช้สำหรับส่งข้อความ รูปภาพ วิดีโอ และข้อความ เสียงผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยในปัจจุบันนักพัฒนาซอฟต์แวร์สามารถพัฒนาโปรแกรมสนทนาอัตโนมัติบนโปรแกรมประยุกต์ไลน์ได้ง่ายและสะดวก เนื่องจากโปรแกรมประยุกต์ไลน์รองรับเทคโนโลยีโปรแกรมสนทนาอัตโนมัติแบบเต็ม รูปแบบสามารถใช้กับโปรแกรมประยุกต์ ที่มีชื่อว่าแมสเซจจิงเอพีไอ (Messaging API) เชื่อมต่อกับส่วนต่อประสานของ โปรแกรมสนทนาอัตโนมัติได้ทันทีรวมทั้งยังมีการแจกจ่ายชุดพัฒนาซอฟต์แวร์ซึ่งรองรับภาษาโปรแกรมที่หลากหลายและ ทันสมัยให้กับนักพัฒนาซอฟต์แวร์อีกด้วย ผู้จัดทำโครงการการศึกษาความรอบรู้เฉพาะเรื่องสร้างแอปพลิเคชันมือถือด้วยเครื่องมือ LINE Developers ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการเขียนโปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE เพื่อตอบคำถามด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ

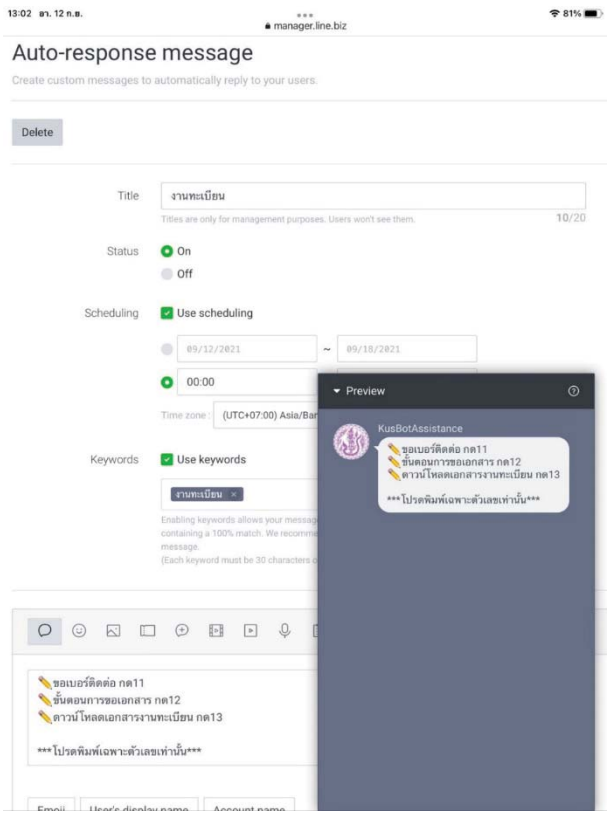


รูปที่ 2 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรม LINE CHAT BOT

โดยการประมวลผลโปรแกรมมีขั้นตอน ดังนี้

1. ส่งคำขอเป็นเพื่อน: เมื่อผู้ใช้บริการต้องการสอบถามข้อมูล ผู้ใช้บริการจะส่งคำขอเป็นเพื่อน โดยขั้นตอนการลงทะเบียนสมาชิก ให้ลงทะเบียนด้วย QR Code
2. ประมวลผลและตอบรับ: เมื่อมีการส่งคำขอเป็นเพื่อนจากผู้ใช้บริการผ่านโปรแกรมประยุกต์ไลน์แล้วนั้น จะทำการประมวลผลและตอบรับการเป็นเพื่อน โดยผู้ใช้บริการจะได้รับข้อความการตอบรับการเป็นเพื่อน
3. ส่งคำถาม: เมื่อผู้ใช้บริการมีคำถามหรือข้อสงสัย ผู้ใช้บริการสามารถส่งข้อความถามผ่านทางโปรแกรมประยุกต์ไลน์ ได้ตลอด 24 ชั่วโมง
4. ประมวลผลและตอบกลับ: เมื่อข้อความที่ผู้ใช้บริการส่งเข้ามาได้ผ่านโปรแกรมประยุกต์ไลน์แล้ว

โปรแกรมจะประมวลผลหาคำตอบที่ตรงกับคำถามมากที่สุดเพื่อทำการส่งคำตอบกลับคืนสู่ผู้ใช้บริการโดยผ่านโปรแกรมประยุกต์ไลน์

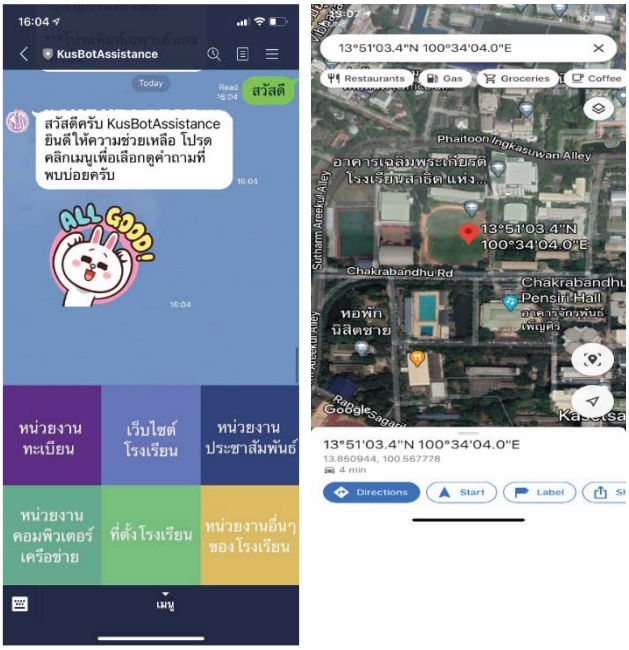


รูปที่ 3 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรม LINE CHAT BOT

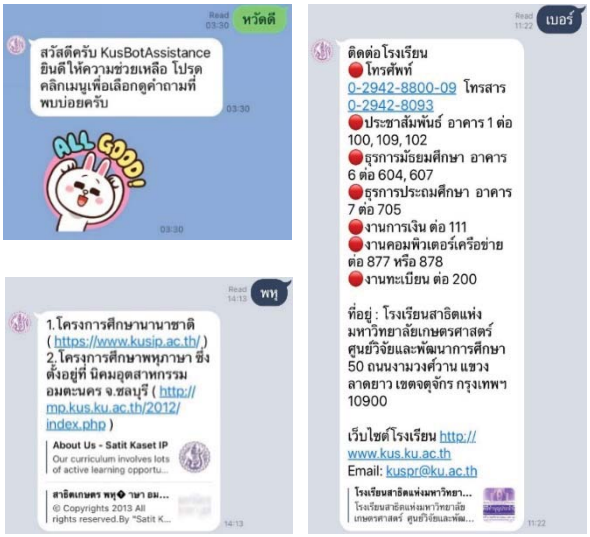
3.3 หน้าต่างแสดงผลโปรแกรม LINE CHAT BOT

ริชเมนู คือ เมนูลัดที่ใช้สำหรับ เชื่อมโยงไปยังเว็บไซต์ หรือข้อมูล ใส่คูปอง บัตรสะสมแต้ม โปรโมชั่นการ ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยได้ออกแบบ ริชเมนู เพื่อเพิ่มช่องทางในการตอบคำถามที่พบบ่อยจากแต่ละหน่วยงาน ซึ่งในริชเมนู นี้สามารถใส่ Action ต่างๆ ได้สูงสุดถึง 6 Action โดยจะมีเทมเพลตให้เลือกใช้ตามความต้องการ ผู้วิจัยจึงสร้าง 6 Action คือ หน่วยทะเบียน เว็บไซต์โรงเรียน หน่วยงานประชาสัมพันธ์ หน่วยงานคอมพิวเตอร์เครือข่าย ที่ตั้งโรงเรียน หน่วยงานอื่น

โดยผู้ใช้งานสามารถกดที่ ริชเมนู เพื่อเข้าสู่เมนูลัด ตัวอย่างเช่น กดริชเมนูเว็บไซต์โรงเรียน จะปรากฏผลเป็นหน้าจอเว็บไซต์โรงเรียน หรือกดริชเมนูที่ตั้งโรงเรียนจะปรากฏผลเป็นgoogle map เพื่อเชื่อมโยงไปยังที่ตั้งโรงเรียนดังรูปที่ 4



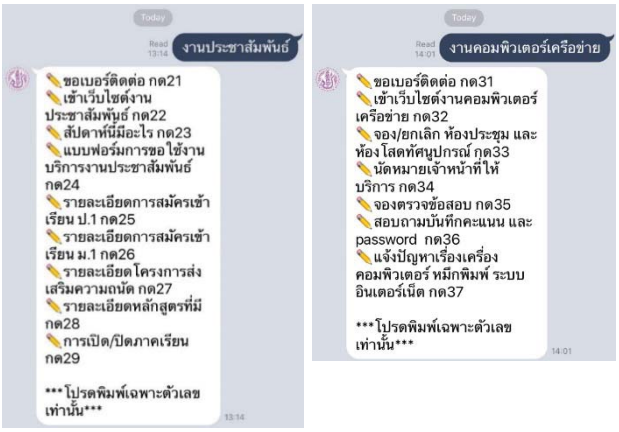
รูปที่ 4 แสดงผลตอบรับการทักทาย **และ**แสดงที่ตั้งโรงเรียน



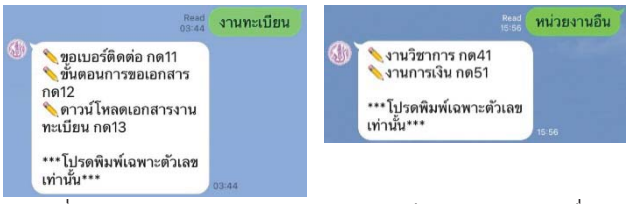
รูปที่ 5 แสดงผลตอบกลับ การทักทาย พหุภาษา และการขอเบอร์

และกรณีผู้ใช้ตั้งคำถามที่โปรแกรมไม่สามารถตอบได้ ระบบจะตอบกลับด้วยเบอร์ติดต่อ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังใส่คำถามสั้นๆ เพื่ออำนวยความสะดวกผู้ใช้งาน เช่น การกล่าวคำทักทาย หวัดดี สวัสดี ดีจ้า ซึ่งสื่อถึง

การกล่าวคำทักทาย โปรแกรมจะแสดงผลดังรูปที่ 5 หรือบางกรณีผู้ใช้พิมพ์คำว่า พหุ หรือ อินเตอร์ ซึ่งสื่อถึงโครงการพหุภาษา หรือ โครงการนานาชาติ โปรแกรมจะแสดงผลดังดังรูปที่ 5 เป็นต้น โดยรูปที่ 6 แสดงข้อความคำถามหน่วยงานประชาสัมพันธ์ และหน่วยงานคอมพิวเตอร์เครือข่าย และ รูปที่ 7 แสดงข้อความคำถามหน่วยงานทะเบียนและหน่วยงานอื่น จากตัวอย่างคำถามที่พบบ่อยในหน่วยงานประชาสัมพันธ์ โปรแกรมสามารถตอบคำถามได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 6 แสดงข้อความคำถามหน่วยงานประชาสัมพันธ์ และหน่วยงานคอมพิวเตอร์เครือข่าย



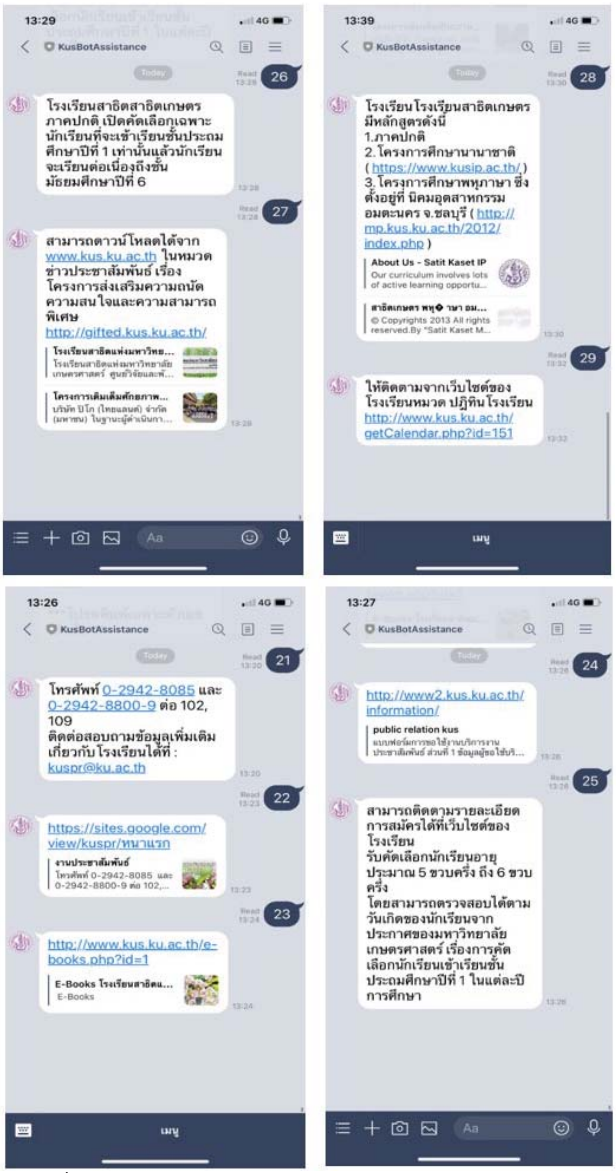
รูปที่ 7 แสดงข้อความคำถามหน่วยงานทะเบียนและหน่วยงานอื่น

3.4 การประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานโปรแกรม

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ โดยผู้ศึกษาใช้แบบสอบถามแบ่งเป็น 4 ด้าน ดังนี้

1. ความพึงพอใจด้านการออกแบบระบบ
2. ความพึงพอใจด้านสามารถใช้เป็นอีกช่องทางในการเผยแพร่ข่าวสารของโรงเรียนได้
3. ความพึงพอใจด้านการตอบคำถามที่ต้องการได้
4. ความพึงพอใจด้านการช่วยลดเวลาหาข้อมูลเบื้องต้นของผู้ใช้บริการได้

การประเมิน ความพึงพอใจด้านการออกแบบระบบ ความพึงพอใจด้านประสิทธิภาพของระบบ โดยใช้หลักเกณฑ์ 5 ระดับแทน 5 ความหมาย ได้แก่ พึงพอใจมากที่สุด พึงพอใจมาก พึงพอใจปานกลาง พึงพอใจน้อย และ ต้องปรับปรุง ส่วนเกณฑ์การแปลความหมายเพื่อจัดระดับคะแนนมีดังนี้



รูปที่ 8 แสดงข้อความคำถามหน่วยงานหน่วยงานประชาสัมพันธ์

- คะแนน 1 หมายถึง ต้องปรับปรุง ออกแบบใช้งานยุ่งยาก ไม่ช่วยแก้ปัญหาตามวัตถุประสงค์
- คะแนน 2 หมายถึง พึงพอใจน้อย ออกแบบใช้งานยุ่งยาก แต่ช่วยแก้ปัญหาตามวัตถุประสงค์ได้บ้าง
- คะแนน 3 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง พอใช้งานได้ ช่วยลดเวลาหาข้อมูลได้
- คะแนน 4 หมายถึง พึงพอใจมาก ออกแบบใช้งานง่าย ช่วยลดเวลาหาข้อมูลได้ พบข้อมูลที่ต้องการถามบ้าง ช่วยแก้ปัญหาตามวัตถุประสงค์
- คะแนน 5 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด ออกแบบใช้งานง่ายสะดวก ช่วยลดเวลาหาข้อมูลได้เป็นอย่างดี ช่วยแก้ปัญหาตามวัตถุประสงค์ได้เป็นอย่างดี ส่วนใหญ่พบข้อมูลที่ต้องการถาม

3.4 การประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานโปรแกรม

การประเมินความพึงพอใจใช้กลุ่มตัวอย่างมากกว่า 30 ข้อมูล คิดตามสัดส่วนของประชากรที่คาดว่าจะใช้บริการ LINE CHAT BOT โดยงานวิจัยนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามความพึงพอใจของระบบตอบคำถามด้วยโปรแกรม สนทนาอัตโนมัติ จำนวน 42 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างนี้ได้รับความร่วมมือจากตัวแทนผู้ปกครองระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษา อาจารย์ และนักเรียนระดับมัธยมปลาย ที่เป็นกลุ่มอาสาสมัครทดลองใช้ระบบจริง จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ได้จึงเป็นตัวแทนของประชากร คือ อาจารย์จำนวน 6 คนคิดเป็น 14.3 % ผู้ปกครองจำนวน 28 คนคิดเป็น 66.7 % และนักเรียนจำนวน 8 คนคิดเป็น 19 % ซึ่งอาสาสมัครต้องใช้เวลาในการทดลองใช้ระบบก่อนทำแบบสอบถามความพึงพอใจ ด้วยข้อจำกัดด้านเวลาในการทดลองใช้งาน งานวิจัยนี้จึงใช้อาสาสมัคร 42 คนเป็นตัวแทนของประชากร เพื่อทำการประเมินความพึงพอใจทั้ง 4 ด้าน

จากตารางที่ 1 สรุปว่าความพึงพอใจด้านการออกแบบระบบมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.29 หมายถึง พึงพอใจมาก ความพึงพอใจด้านสามารถใช้เป็นอีกช่องทางในการเผยแพร่ข่าวสารของโรงเรียนมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.39 หมายถึง พึงพอใจมาก ความพึงพอใจด้านการตอบคำถามที่ต้องการได้มีค่าเฉลี่ยเป็น 4.17 หมายถึง พึงพอใจมาก ความพึงพอใจด้านการช่วยลดเวลาหาข้อมูลเบื้องต้นของผู้ใช้บริการมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.48 หมายถึง พึงพอใจมากเกือบมากที่สุด ซึ่งโดยรวมค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในทุกด้านอยู่ที่ 4.33 หมายถึง พึงพอใจมาก จากผลผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบแสดงว่าโปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE สามารถใช้งานได้จริง

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบสามารถ

ข้อมูล	จำนวน 42 คน	ด้านการออกแบบระบบ	ด้านใช้เป็นอีกช่องทางในการเผยแพร่ข่าวสาร	ด้านตอบคำถามที่ต้องการได้	ด้านการลดเวลาในการหาข้อมูลเบื้องต้น
นักเรียน	8	4.75	4.63	4.50	4.88
ผู้ปกครอง	28	4.11	4.32	4.11	4.36
อาจารย์	6	4.50	4.33	4.00	4.50
ค่าเฉลี่ย		4.29	4.39	4.17	4.48
% ความพึงพอใจแต่ละด้าน		85.80	87.80	83.40	89.60
ค่าเฉลี่ยรวม		4.33			
% ความพึงพอใจรวม		86.66			

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาพบว่า โปรแกรม LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE สามารถอำนวยความสะดวกและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และจากสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานโปรแกรม ด้วยวิธีการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลทางสถิติเป็นร้อยละผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้ระบบจำนวน 42 คน พบว่าในด้านความพึงพอใจโดยรวมของระบบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ระดับพึงพอใจมาก โดยมีเปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจในทุกด้านอยู่ที่ 86.66 % และพบว่าโปรแกรมสนทนาอัตโนมัติมีเปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจสามารถตอบคำถามได้ที่ต้องการได้เป็น 83.40 % และเปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจด้านการลดเวลาในการหาข้อมูลเบื้องต้นเป็น 89.60 % เห็นได้ว่าโปรแกรม LINE CHAT BOT สามารถใช้เป็นช่องทางสื่อสารสำหรับผู้ใช้บริการได้ระดับที่น่าพอใจ โดยจากผลการประเมินความพึงพอใจ ผู้ทดลองใช้งานระบบ LINE CHAT BOT KUS ASSISTANCE เสนอแนะให้ทางโรงเรียนมี LINE CHAT BOT ไว้ใช้งานในอนาคต เพื่อเป็นช่องทางสื่อสารสำหรับผู้ใช้บริการเพื่อให้เข้าถึงข้อมูลของโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากผู้ใช้งานส่วนใหญ่จะโทรหาหน่วยงานประชาสัมพันธ์ก่อนเพื่อสอบถามเบอร์หน่วยงานอื่น ดังนั้น หากมี LINE CHAT BOT ช่วยเพิ่มช่องทางให้ข้อมูลแก่ผู้ใช้บริการ ปัญหาการโทรถามเบอร์จากหน่วยงานประชาสัมพันธ์ก็จะลดลง โดยข้อเสนอแนะที่ได้รับจากแบบสอบถามเพื่อปรับปรุงโปรแกรมในอนาคต คือ ควรพัฒนาระบบการตอบคำถามให้สามารถเชื่อมโยงไปยังข้อมูลความรู้อื่นๆ เพื่อการตอบกลับและเป็นการให้ ความรู้ที่หลากหลายของโปรแกรมสนทนาอัตโนมัติ ควรพัฒนาฟังก์ชันอื่นๆ นอกจากการตอบคำถามของโปรแกรมสนทนาอัตโนมัติเพียงอย่างเดียว เช่น แจ้งข่าวประชาสัมพันธ์ ทำให้ตรวจสอบเรื่องค่าเทอม เข้าถึงสมุดพก หรือมีระบบการเตือนการชำระค่าเทอมได้ และพัฒนาบริการอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น หน่วยงานอื่นๆ นอกเหนือจากสี่หน่วยงานที่ระบุข้างต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ชลณัฏฐ์ พูนชัฏกาญจน์. 2560. เสริมศักยภาพองค์กร ด้วยการใช้เทคโนโลยี Chatbot. (Online). https://www.digitalagemag.com/แชทบอท-แก้ปัญหา-การขาดคนทำงาน-สำหรับ-smes.,17 กันยายน 2563.

[2] มหาวิทยาลัยรังสิต. 2562. ม.รังสิต มหาวิทยาลัยแห่งแรกในประเทศไทย เปิดตัว RSU CONNEC แชทบอทบนแอปพลิเคชั่น LINE เสิร์ฟเกรดก่อนใครเพียงคลิกผ่านมือถือ. (Online). https://www2.rsu.ac.th/sarnrangsit-online-detail/rsuconnect., 17 กันยายน 2563.

[3] ศศิธร ทองนวล และ เจนจิรา ธนะศิรังกูล. 2561. รายงานวิชาสหกิจศึกษา ภาควิชาการโรงแรมและการท่องเที่ยว เรื่อง กรณีศึกษา: ระบบ Chatbot ในแอพพลิเคชั่น LINE สำหรับพนักงานในโรงแรมแชงกรี – ลา กรุงเทพฯ. คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม.

[4] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2563. Chatbot กับบริการในโลกอนาคต.(Online). https://www.ops.go.th/main/index.php/knowledge-base/article-pr/793-chatbot-future., 17 กันยายน 2563.

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก : กรณีศึกษากองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหการสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก

Economic Analysis of Lighting Replacement for Reduce Greenhouse Gas Emissions : Case Study of The Explosive Division, Ordnance Industries Centre, Ordnance Corps

การุณย์ ชัยวณิชย์[1] กิตติชัย ช้างน้อย[1] สงขลา ไพศาลสุขะกุล[1] ธีรวัต กุลสุวรรณ[1] กิตติศักดิ์ พิมพ์ขัน[1*] เขมชาติ ขนุนทอง[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ กองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
E-mail: pimkunkittisak@gmail.com*

Karun Chaivanich[1] Kittichai Changnoi[1] Songkhla Paisansukhakul[1] Teerawat Kulsuwan[1] Kittisak Phimkan[1*] Khemchat Kanunthong[1]
[1]Department of Industrial Engineering, The Ordnance Engineering, Chulachomklao Royal Military Academy
E-mail: pimkunkittisak@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานโดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษากองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหการสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก หลังจากได้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างและประเภทหลอดไฟพบว่ามีการใช้หลอดไฟทั้งหมด 577 ชุด เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ทั้งหมด เมื่อคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน(Baseline Scenario) พบว่ามีค่าเท่ากับ 143,736.50 บาท, 22.10 tCO_2eq ต่อปี ตามลำดับ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟที่ใช้เพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า เกิดการสูญเปล่าน้อยที่สุดจากการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมโดยการเลือกใช้หลอด LED (Light emitting Diode) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาสำหรับการให้แสงสว่างทดแทนการใช้หลอดฟลูออเรสเซ็นต์ ในการดำเนินโครงการ(Project Scenario) จะเป็นการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 เป็นหลอด LED ทั้ง 577 ชุด ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปีจากการดำเนินโครงการมีค่าเท่ากับ 56,153.32 บาท, 8.65 tCO_2eq ต่อปี ตามลำดับ สามารถลดค่าไฟฟ้าที่ใช้ลงได้ 87,583.18 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 60.93 และสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 13.45 tCO_2eq คิดเป็นร้อยละ 60.86 เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการดำเนินโครงการมีค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR), ระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 1,139,076.02 บาท, 73.43%, 1.46 ปี ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการดำเนินโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก, กรณีฐาน, การดำเนินโครงการ, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

Abstract

The purpose of this research aimed to study energy efficiency by modified lighting equipment to reduced greenhouse gas emissions case study of The explosive division, ordnance industries centre, ordnance corps. Data were collected on the electrical energy consumption of lighting devices and lamp types. It was found that all of 577 lamps were fluorescence T8 types, when calculated the electricity cost and the amount of greenhouse gas emissions from the baseline scenario per year, there were 143,736.50 baht and 22.10 tCO_2eq respectively. So, all of T8 fluorescence types were changed to improve the efficiency of energy usage that achieved through the used of appropriate technology by choosing LED (Light Emitting Diode) lamps; a technology developed for lighting instead of fluorescent lamps. In this project, all 577 sets of T8 fluorescent lamps were replaced with LED lamps. The result found that electricity cost and greenhouse gas emissions from the project were 56,153.32 baht and 8.65 tCO_2eq, respectively. It was reduced the electricity cost by 87,583.18 baht, or 60.93%, can reduced the amount of greenhouse gas emissions by 13.45 tCO_2eq, or 60.86%. Moreover, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback Period (PB) were used to analyzed economic value of project, there were 1,139,076.02 bath 73.43% and 1.46 year respectively. Therefore, it can be concluded that this project was worthy and efficient for investment.

Keywords: Green House Gas, Baseline Scenario, Project Scenario, Carbon Dioxide, Economic Analysis

1. บทนำ

การศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกเริ่มหลังจากการค้นพบในช่วงกลางทศวรรษที่ 18 ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กักเก็บความร้อนและรักษาความอบอุ่นของโลกไว้ต่อมาในต้นศตวรรษที่ 20 เริ่มมีงานวิจัยที่บ่งชี้ว่ามนุษย์เป็นผู้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาและเป็นสาเหตุทำให้อุณหภูมิโลกเพิ่มสูงขึ้น [1] การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามกรอบอนุสัญญาของสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (United Nation Framework Convention on Climate Change Convention on Climate Change: UNFCCC) [2] เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของอากาศซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม อันทำให้ส่วนประกอบของบรรยากาศโลก เปลี่ยนแปลงไปนอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติในช่วงเวลาเดียวกัน จากปัญหาภาวะโลกร้อน (Global Warming) [3] ส่งผลกระทบให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศอันเนื่องมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ทำให้มีการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศมากขึ้น จากสถานการณ์ดังกล่าวทำให้หลายประเทศรวมทั้งชุมชนและองค์กรในภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลกเริ่มตื่นตัวและปฏิบัติการเพื่อหยุดการร้อนขึ้นของโลก ดังนั้นการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงเป็นหน้าที่ของผู้เกี่ยวข้องทุกภาคส่วนที่จะร่วมกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศ

ในปัจจุบัน การใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละปี รวมทั้งจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น และด้วยการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สิ่งอุปกรณ์ไฟฟ้า[4] การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน จะมีส่วนช่วยในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคต เพื่อเป็นการตอบสนองนโยบายของรัฐบาล ภายใต้สนธิสัญญาโตเกียว (Kyoto Protocol) ภายในปี พ.ศ. 2573 ประเทศไทยจะต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ 20 – 25 เปอร์เซ็นต์[5] งานวิจัยเรื่องนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานโดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้กรณีศึกษากองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหการสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศอันเป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนองค์ประกอบของบรรยากาศโลกโดยตรงหรือโดยอ้อม และที่เพิ่มเติมจากความแปรปรวนของสภาวะอากาศตามธรรมชาติที่สังเกตได้ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝนฤดูกาล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่จะต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่สิ่งมีชีวิตนั้นอาศัยอยู่ ภาวะโลกร้อนนี้มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตเนื่องจากอุณหภูมิโดยรวมสูงขึ้นทำให้ฤดูกาลต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไป สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้ก็จะค่อย ๆ ตายลงและอาจสูญพันธุ์ไปในที่สุด [6]

2.2 ภาวะโลกร้อน

ภาวะโลกร้อน หมายถึง การที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศบนโลกสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นอากาศบริเวณใกล้ผิวโลกและน้ำในมหาสมุทร ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมาอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นถึง 0.74 ถึง 0.18 องศาเซลเซียส และจากแบบจำลองการคาดคะเนภูมิอากาศพบว่าในปี พ.ศ. 2544 – 2643 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะเพิ่มขึ้นถึง 1.1 ถึง 6.4 องศาเซลเซียสสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเพราะก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการเผาผลาญถ่านหินและเชื้อเพลิง รวมไปถึงสารเคมีที่มีส่วนผสมของก๊าซเรือนกระจกที่มนุษย์ใช้ และอื่นๆ อีกมากมาย [7]

2.3 ปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก

กิจกรรมของมนุษย์ในปัจจุบันก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas, GHG) ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกและสภาวะโลกร้อน ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีโอกาสสูง ถึง 8.5 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดข้อตกลงปารีส(Paris Agreement) จากการประชุม COP 21 ที่เป็นตราสารกฎหมาย ที่รับรองภายใต้กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติ(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) ที่ตั้งเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกต่ำกว่า 2 องศา[8] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ในฐานะหน่วยงานภาครัฐภายใต้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้พิจารณาทิศทางสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการกำหนดทิศทางของประเทศในการจัดทำกรอบยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) เพื่อเป็นเป้าหมายการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนตามหลักธรรมาภิบาล โดยเป้าหมายที่สำคัญคือการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [9]

2.4 ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน (T-VER-METH-EE-01)

การลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน เป็นโครงการที่มีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเดิมเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างใหม่ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยค่าความเข้มของแสงสว่างเป็นไปตามข้อกำหนดหรือมาตรฐานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง[12] ระเบียบวิธีการลดก๊าซ

เรือนกระจกภาคสมัครใจ T-VER-METH-EE-01 สำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Improvement for Lightings) มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 ข้อมูลกรณีฐาน (Baseline Scenario)

กรณีที่โครงการมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเดิมเป็นอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าแสงสว่างใหม่ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น ให้ใช้สภาพเดิมของโครงการก่อนที่จะมีการปรับเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเป็นข้อมูลกรณีฐานการคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกรณีฐาน (Baseline Scenario)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน พิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง โดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมก่อนการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$\mathrm{BE}_y = \mathrm{BE}_{EL,y} \quad (1)$$

โดยที่

BE_y คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (tCO_2eq /year)

$\mathrm{BE}_{EL,y}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2563 (tCO_2eq /year)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\mathrm{BE}_{EL,y} = \left(\sum\left(\mathrm{N}_{BL,i} \times P_{BL,i} \times H_{PJ,i,y}\right) \times 10^{-6}\right) \times EF_{Elec} \quad (2)$$

โดยที่

$\mathrm{BE}_{EL,y}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (tCO_2eq /year)

EF_{Elec} คือ ค่าสัมประสิทธิการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (tCO_2eq /MWh)

$\mathrm{N}_{BL,i,y}$ คือ จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในกรณีฐาน

$P_{BL,i,y}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในกรณีฐาน (W/set)

$H_{PJ,i,y}$ คือ จำนวนชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในการดำเนินโครงการในกลุ่ม T8 ในปี 2563 (hour/year)

2.4.2 การคำณวนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการพิจารณาการดำเนินโครงการ (Project Scenario)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการพิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ติดตั้งใหม่ โดยการตรวจวัดหรือคำนวณจากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมหลังการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 และ 4

$$PE_y = PE_{EL,y} \quad (3)$$

โดยที่

PE_y คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากการดำเนินโครงการ (tCO_2eq /year))

$PE_{EL,y}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินโครงการ (tCO_2eq /year)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\mathrm{PE}_{EL,y} = \left(\sum\left(\mathrm{N}_{PJ,i,y} \times P_{pj,i,y} \times H_{PJ,i,y}\right) \times 10^{-6}\right) \times EF_{Elec} \quad (4)$$

โดยที่

$\mathrm{PE}_{EL,y}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินโครงการ (tCO_2eq /year)

EF_{Elec} คือ ค่าสัมประสิทธิการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (tCO_2eq/MWh)

$\mathrm{N}_{PJ,i,y}$ คือจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

$P_{pj,i,y}$ คือค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

$H_{PJ,i,y}$ คือจำนวนชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในการดำเนินโครงการ (hour/year)

2.4.3 การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Reduction)

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการ สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 5

$$ER_y = BE_y - PE_y \quad (5)$$

โดยที่

ER_y คือ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี 2563 (tCO2e/year)

BE_y คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในปี 2563 (tCO2e/year)

PE_y คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ ในปี 2563 (tCO2e/year)

2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

2.5.1. วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (The net present value method)

วิธีนี้จะคำนวณหาผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับในอนาคตตามอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ หรือต้นทุนเงินทุนกับต้นทุนเงินทุนเริ่มแรก สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 6[13]

$$NPV = \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}\right) - I \quad (6)$$

โดยที่

NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

I คือ เงินจ่ายลงทุนครั้งแรก

C_t คือ กระแสเงินสดได้รับ

t คือ ปีที่ 1 ถึงปีที่ n

n คือ จำนวนงวดดอกเบี้ย/จำนวนปี

r คือ อัตราดอกเบี้ย/อัตราผลตอบแทน

2.5.2. ระยะคืนทุน (Payback Period)

เกณฑ์ระยะคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่คำนึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงานเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ นั่นคือทำการพิจารณาจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 7 [13]

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลต่างค่าไฟฟ้าสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (7)$$

2.5.3. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน คือ อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุน ซึ่งเป็นอัตราคิดลด(Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 8[13]

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{(B_t - C_t)}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (8)$$

โดยที่

B_t คือ ผลตอบแทนของโครงการในปี ที่ t

C_t คือ ต้นทุนของโครงการในปี ที่ t

n คือ อายุของโครงการ

t คือ ปีของโครงการ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 (ฐิติกร หมายมั่น ,สมบัติ ทีฆทรัพย์ ,อดิกร เสรีพัฒนานนท์ และบัณฑิต รัตนไตร,2561) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชียตามแนวทางของ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย เท่ากับ 5553. 17 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2eq) [12]

3.2 (นันทญา เขียวแสวง ,จินตนา อมรสงวนสิน และ วรางคณา ศรนิล,2555) ศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบยั่งยืนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กรณีศึกษา สำนักงานเขตบางแค ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสำนักงานเขตบางแคเท่ากับ 4224.91 tCO_2eq ต่อปี การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 306.31 tCO_2eq ต่อปี[13]

3.3 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2557) การใช้หลอดประหยัดพลังงานชนิดหลอด LED โดยการปรับเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 วัตต์ ไปเป็นหลอด LED ขนาด 18 วัตต์ ซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานลงได้มาก หลอด LED ที่นำมาเปลี่ยนจะให้ค่าความสว่างใกล้เคียงกับหลอด T8 เดิม และสามารถประกอบลงในชุดโคมเดิมได้ รวมทั้งหลอดแอลอีดีมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดชนิดเดิมมากจึงมีความคุ้มค่าในการลงทุนมีระยะเวลาการคืนทุน ประมาณ 2 - 4 ปี [14]

3.4 (ไพบูลย์ ศรีอนันท์, 2561) ได้ศึกษาแนวทางการใช้หลอดไฟ LEDและศึกษาความเป็นไปได้ในการนำหลอดไฟ LED มาใช้ในสถานศึกษา กรณีศึกษาอาคารเกษมจาติกวิณิช มหาวิทยาลัยบูรพา พบว่าจะมีต้นทุนในการปรับเปลี่ยนตั้งแต่ 379,590.00 บาท ถึง 2,376,260.00 บาท และจากการศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนทั้ง 4 เงื่อนไขพบว่า หลอดไฟ LED สามารถลดหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าลงจากเดิมได้ 54.03 % ถึง 81.42 % และค่าบริการการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างภายในอาคารเรียนกรณีศึกษาลดลงตั้งแต่ 114,047.60 บาท ถึง 172,166.25 บาท[15]

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยมี 4 ขั้นตอน ดังนี้

4.1 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1.1 ประวัติความเป็นมาของพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา

กองโรงงานวัตถุระเบิดฯ เป็นหน่วยงานของกรมสรรพาวุธทหารบก ก่อกำเนิดขึ้นจากความจำเป็นของทางราชการที่ได้เล็งเห็นว่าวัตถุระเบิดนั้นต่างกับสิ่งอุปกรณ์อื่นๆ ทั้งในเรื่องของการจัดเก็บ การใช้ประโยชน์ การดูแลรักษา มีที่ตั้งอยู่ที่ พื้นที่ริมฝั่งแม่น้ำป่าสัก ตำบลบ้านเกาะ อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในเนื้อที่ 181 ไร่ 2 งาน 40 ตารางวา

4.1.2 อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในอาคาร

กองโรงงานวัตถุระเบิดฯ มีอาคารทั้งหมด 6 อาคาร ประกอบด้วยอาคาร บก.รง.วรบ.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ., อาคาร ผสล.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ.,อาคารโรงงานซ่อม,อาคารโรงทหาร,อาคารโรงเลี้ยง, อาคารโรงนอนทหารจุ 120 คน โดยทั้ง 6 อาคารใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 แบบมาตรฐาน (Standard Batten Type) ทั้งหมด มีจำนวนดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 แต่ละอาคาร

	บริเวณที่ติดตั้ง	จำนวน (set)
1	อาคาร บก.รง.วรบ.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ.	65
2	อาคาร ผสล.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ.	18
3	อาคารโรงงานซ่อม	76
4	โรงทหาร	134
5	อาคารโรงเลี้ยง	20
6	อาคารโรงนอนทหารจุ 120 คน	264
รวม		577

4.2 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

4.2.1 ข้อมูลกรณีฐาน (Baseline Scenario)

เป็นข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 สำหรับกรณีฐานจะใช้ข้อมูลสภาพเดิมของโครงการก่อนที่จะมีการปรับเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างใหม่ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น โดยคำนวณจากกำลังไฟฟ้า จำนวนชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 วัตต์ จำนวนรวมทั้งสิ้น 577 หลอด โดยมีการเก็บข้อมูลจริงจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 6 อาคาร แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชั่วโมงการใช้งานหลอดไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละอาคาร

	บริเวณที่ตั้ง	ชั่วโมง/วัน	วัน/ปี	ชั่วโมง/ปี
1	อาคาร บก.รง.วรบ.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ.	8	239	1,912
2	อาคาร ผสล.กวรบ.ศอ.สพ.ทบ.	8	239	1912
3	อาคารโรงงานซ่อม	8	200	1600
4	โรงทหาร	6	239	1434
5	อาคารโรงเลี้ยง	6	239	1434
6	อาคารโรงนอนทหารจุ 120 คน	6	239	1434

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน พิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง โดยคำนวณจากค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง จำนวนชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2563 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ.2563 จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในแต่ละอาคารแสดงดังตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 0.5664 tco_2/MWh[16] โดยใน 1 ชุดของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 มีค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด 36 วัตต์ และค่ากำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ 10 วัตต์ รวมหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 1 ชุด มีค่ากำลังไฟฟ้า 46 วัตต์ เมื่อคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมดโดยใช้สมการที่ 1 จากนั้นจึงได้คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานโดยใช้สมการที่ 5 ค่าของตัวแปรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (Baseline Scenario)

พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
EF_{Elec}	0.5664	tCO_2/MWh
$N_{BL,i,j}$	577	Set
$P_{BL,i,j}$	46	W/set
$H_{PJ,i,j}$	ค่าในตารางที่ 2	Hour/year

จากการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในปี 2563 ของกองโรงงานวัตถุระเบิดฯ พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 22.10 tCO_2eq/ปี

4.2.2 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (Project Scenario)

พิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ติดตั้งใหม่โดยเปลี่ยนเป็นหลอดไฟ LED(Light emitting Diode) ชนิดโคมไฟฟ้าแบบเปลือย หลอด LED TUBE T8 ขนาด 6x120 ซม. แบบมาตรฐาน (Standard Batten Type) การคำนวณจากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมหลังการดำเนินโครงการ โดยค่าของตัวแปรแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (Project Scenario)

พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
EF_{Elec}	0.5664	tCO_2/MWh
$N_{BL,i,j}$	577	Set
$P_{BL,i,j}$	18	W/set
$H_{PJ,i,j}$	ค่าในตารางที่ 2	Hour/year

จากการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ ของกองโรงงานวัตถุระเบิดฯ พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 8.65 tCO_2eq/ปี

4.2.3 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ

การคำนวณผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการโดยใช้สมการที่ 8 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะลดได้จากการดำเนินโครงการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 เป็นหลอดไฟแบบ LED เท่ากับ 13.45 tCO_2eq/ปี

ตารางที่ 5 ข้อมูลปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tCO_2eq/ปี)

พารามิเตอร์	ค่า
ER_y	8.65
BE_y	22.10
PE_y	13.45

4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการดำเนินโครงการ (Project Scenario)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะคำนวณมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (Net Present Value : NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR), ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) เพื่อให้ทราบถึงความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ การคำนวณกำหนดให้ค่าของตัวแปรต่างๆ มีรายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ตัวแปร	รายละเอียด
I	เงินจ่ายลงทุนครั้งแรกประกอบด้วยค่าวัสดุคือชุดหลอดไฟ LED ขนาด 6x120 ซม. ราคา 590 บาทต่อชุด ค่าแรงในการติดตั้งหลอดไฟ LED 115 บาทต่อชุด, หลอดไฟฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 6x120 ซม. ราคา 360 บาทต่อชุด ค่าแรงในการติดตั้งหลอดไฟฟลูออเรสเซ็นต์ 115 บาทต่อชุด[17] อายุการใช้งานของหลอดฟลูออร์เรสเซนต์ T8 และหลอดไฟ LED เท่ากับ 8,000 และ 30,000 ตามลำดับ[18]
C_t	กระแสเงินสดได้รับคิดจากค่าบริการไฟฟ้าที่ประหยัด และค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหลอดไฟที่น้อยลงเนื่องจากอายุการใช้งานของหลอดพิ่มขึ้น

n	จำนวนงวดดอกเบี้ย/จำนวนปี คำนวณโดยใช้อายุโครงการ 20 ปี โดยเป็นอายุการใช้งานของหลอด LED ที่เป็นกลุ่มที่มีอายุการใช้งานนานที่สุด (เปิดใช้ 6 ชั่วโมงต่อวัน, เปิดใช้ปีละ 239 วัน)
r	อัตราดอกเบี้ย/อัตราผลตอบแทน กำหนดให้เท่ากับร้อยละ 7
Ft	ค่า Ft ในการคำนวณค่าไฟฟ้าผันแปรเท่ากับ 1.39 สตางค์ต่อหน่วย[19]

ในการคำนวณค่าไฟฟ้าคำนวณจากอัตราค่าบริการไฟฟ้าประเภท 6 ส่วนราชการและองค์การที่ไม่แสวงหาผลกำไรเมื่อคำนวณค่า NPV, IRR, PB โดยใช้ตัวแปรข้างต้นได้ผลการคำนวณเท่ากับ 1,139,076.02 บาท, 73.43%, 1.46 ปี ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการลงทุนเกิดความคุ้มค่าในการลงทุนและจะคืนทุนในเวลา 1.46 ปี

5. อภิปรายผล

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษากองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหการสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก โดยการเปลี่ยนหลอดไฟภายในอาคาร 6 อาคาร จากเดิมหลอดฟลูออเรสเซน T8 จำนวน 577 ชุด เปลี่ยนเป็นหลอดไฟ LED (Light emitting Diode) จำนวน 577 ชุด ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน(Baseline Scenario) พบว่ามีค่าเท่ากับ 143,736.50 บาท, 22.10 tCO2eq ต่อปี ตามลำดับ ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปีจากการดำเนินโครงการมีค่าเท่ากับ 56,153.32 บาท, 8.65 tCO2eq ต่อปี ตามลำดับ สามารถลดค่าไฟฟ้าที่ใช้ลงได้ 87,583.18 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 60.93 และสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 13.45 tCO2eq คิดเป็นร้อยละ 60.86 เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการดำเนินโครงการมีค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR), ระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 1,139,076.02 บาท, 73.43%, 1.46 ปี ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการดำเนินโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ[20] ซึ่งได้สรุปว่าการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์เป็นหลอด LED 18 วัตต์ มีระยะการคืนทุนที่ 12.25 – 22.32 เดือน และงานวิจัยของ[21] ซึ่งได้สรุปว่าการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์เป็นหลอด LED 18 วัตต์มีระยะการคืนทุนที่ 1.1 ปี

เอกสารอ้างอิง

[1] กรองจิต กิติกาศ และผกามาศ ถิ่นพังงา. (2553). งานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.

[2] สำนักวิชาการพลังงานภาค 2 กระทรวงพลังงาน. (2553). ก๊าซเรือนกระจก. ข้อมูลจาก :http:// www.region2.m-energy.go.th/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มิถุนายน 2564)

[3] ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร. แผนปฏิบัติการว่า ด้วยการลดปัญหาภาวะโลกร้อนของกรุงเทพมหานครพ.ศ.2550-2555. สืบค้นจาก : http://www.bma.go.th/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มิถุนายน 2564)

[4] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน),"แผนปฏิบัติการองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561 - 2580)" ,

[5] วรวิทย์ ลีลาวรรณ และ ธนากร เมียงอารมณ์. (2562). แนวทางในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก. วารสารวิจัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 11-23

[6] สุภาวดี สาระวัน. (2562). การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ. ข้อมูลจาก :https://www.scimath.org/article-chemistry/item/10620-climate-change. (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2564)

[7] พนิตานันท์ สุวรรณบลนุกูล. (2561). ภาวะโลกร้อน (ออนไลน์). ข้อมูลจาก : https://www.ay-sci.go.th/aynew/20181231-2/. (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2564)

[8] องค์การบริหารจัดการ ก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน). (2560). การคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า.

[9] กลไกลดก๊าซเรือนกระจก. (2564). โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย. ข้อมูลจาก http://ghgreduction.tgo.or.th/about. (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2564)

[10] กลไกลดก๊าซเรือนกระจก. (2564). ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน. ข้อมูลจาก : http://ghgreduction.tgo.or.th/tver-method/tver-methodology(วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2564)

[11] กนกวรรณ จันทร์เจริญชัย (2555) การเตรียมและการประเมินโครงการ ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 16) กรุงเทพมหานคร:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[12] ฐิติกร หมายมั่น , สมบัติ ทีฆทรัพย์ , อติกร เสรีพัฒนานนท์ และ บัณฑิต รัตนไตร. (2561). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย. ปีที่ 12 ฉบับที่ 2. 195-209.

[13] นันทญา เขียวแสวง ,จินตนา อมรสงวนสิน และ วรางคณา ศรนิล. (2555). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบยั่งยืนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กรณีศึกษา สำนักงานเขตบางแค. สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

[14] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2557). คู่มือกรณีตัวอย่างมาตราการอนุรักษ์พลังงาน ในโรงงานควบคุม และอาคารควบคุม.

[15] ไพบูลย์ ศรีอนันต์, (2561). การศึกษาความเป็ นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED ในสถานศึกษากรณีศึกษา อาคารเกษม จาติกวนิช

มหาวิทยาลัยบูรพา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

[16] สำนักวิเคราะห์และติดตามประเมินผล องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2560). ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยสำหรับโครงการและกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก.

[17] สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2565). บัญชีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน พ.ศ, 2565,

[18] เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์. (2560). การศึกษาความคุ้มค่าของการทดแทนหลอดแอลอีดีสำหรับห้องเรียน. วารสารวิชาการการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1 . 47-53.

[19] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2564). ค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft). ข้อมูลจาก : https://www.pea.co.th/ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้า/ArtMID/606/ArticleID/148090/ค่า-Ft-ประจำเดือน-มกราคม-เมษายน-2565 (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2564)

[20] ชลิญญา สุดา. (2564). แนวทางการลดต้นทุนการจัดการฟาร์มสัตว์น้ำขนาดเล็กโดยการทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยหลอดชนิดแอลอีดี. แก่นเกษตร, 49 (suppl. 1) ,172-178

[21] จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร. (2555). การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและผลตอบแทนของการเปลี่ยนหลอดอินแคนเดสเซนต์เป็นหลอดแอลอีดี (LED) กรณีศึกษาห้องประชุมอรพิม โรงแรมสีมาธานี. การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7. 390-397.

การประยุกต์ใช้ FMEA วิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรและอุปกรณ์เพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากการทำงาน : กรณีศึกษาโรงงานผลิตรางสไลด์เครื่องใช้ไฟฟ้า

Application of FMEA to analyze the risk of damaged machinery and equipment for prevention of any accident in a factory: case study of electrical components factory

ธนัชพร สุรธรรม[1*] นราภรณ์ เภาประเสริฐ[2]
[1]สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: tanatporn.sur@ku.th*

Tanatporn Suratham[1*] Naraphorn Paoprasert[2]
[1]Department of Safety Engineering, Faculty of Engineering , Kasetsart University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: tanatporn.sur@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือการประเมินความเสี่ยง คือ การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของการชำรุดของเครื่องจักรและจัดลำดับความเสี่ยงการชำรุดของเครื่องจักร เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมมีเครื่องจักรอยู่หลายชนิด และมีการผลิตอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้เกิดการชำรุดของเครื่องจักรไปตามอายุการใช้งานและอาจจะเกิดจากการทำงานไม่ถูกของพนักงานทำให้เกิดการชำรุดเสียหาย ผลจากการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ ทางผู้วิจัยได้จัดลำดับความเสี่ยงจากค่าระดับความเสี่ยง (RPN) ที่ได้จากการคำนวณจากค่าความรุนแรง (S) โอกาสการเกิดอุบัติเหตุ (O) การตรวจจับ (D) โดยคำนวณจำนวนเครื่องจักร 6 ชนิด รวม 26 ความชำรุด พบว่ามี 7 เหตุการณ์ มีความเสี่ยงสูงที่ยอมรับไม่ได้และมีผลกระทบร้ายแรงอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุจากการทำงานกับเครื่องจักรเพื่อจัดทำแผนในการแก้ไข บทความวิจัยนี้ได้มีการเสนอมาตรการในการแก้ไขและปรับปรุงเครื่องจักร อุปกรณ์ เพื่อให้สอดคล้องและเหมาะสมกับสภาพเครื่องจักรในโรงงาน และเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการทำงาน

คำสำคัญ: FMEA , การป้องกันอุบัติเหตุ, เครื่องจักร , ค่าระดับความเสี่ยง

Abstract

This research study applied the Failure Mode & Effects Analysis (FMEA) to identify root causes of machine failures and to prioritize those failures. Since in a factory, there are many types of machines continuous production, machines may fail due to their lifetime limits or fail due to human errors. Thus results from the Failure Mode & Effects Analysis (FMEA) method showed failure rankings from risk priority numbers (RPNs) from analyzing 6 types of machines. The Risk Priority Number (RPNs) were calculated from an assessment of severity (S), occurrence (O) and detection (D). A total of 26 failures were found 7 of which were unacceptable high risks and serious consequences that may cause accidents at work may cause employees to die. This study also provided suggestions of measures to prevent accidents from working with machines. This research article proposes measures to correct and improve machinery and equipment to be consistent and appropriate with the conditions of the machinery in the factory and to suit the behavior.

Keywords: FMEA, Prevention, Machine, RPN

1. บทนำ

เครื่องจักรเป็นเครื่องมือที่สำคัญและมีประโยชน์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถึงแม้จะมีประโยชน์มากมาย แต่หากเกิดการชำรุดโดยขาดการซ่อมบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง หรือขาดการซ่อมแซม การดูแลเครื่องจักรโดยผู้เชี่ยวชาญแล้วนั้นแล้วก็จะเกิดโทษอย่างมหันต์เช่นกัน นั้นคือการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานกับเครื่องจักร อาจร้ายแรงถึงขั้นทำให้พนักงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องถึงขั้นเสียชีวิต ดังนั้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าการประเมินความเสี่ยงในการเสียหายของเครื่องจักร เพื่อจัดลำดับความเสี่ยงและดำเนินการหามาตรการแก้ไขปัญหาอย่างจริงจัง เพื่อลดความสูญเสียไม่ว่าจะเป็นความสูญเสียทางตรงหรือทางอ้อมก็ตาม

เทคนิคการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงด้านต่างๆ เช่น เพื่อให้ระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรมีความสอดคล้องกับสภาพการทำงานจริง พบว่าสามารถสร้างระบบการบำรุงรักษาที่ไม่มีความเสี่ยงในระดับสูง และลดความเสี่ยงในระดับปานกลางได้ [6] และเทคนิคที่เน้นวิเคราะห์หารูปแบบปัญหาความผิดพลาดและความล้มเหลวของการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ เทคนิคนี้ยังเป็นหนึ่งในหกวิธีที่มีอยู่ในรายการการประเมินความเสี่ยงของกรมโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย [2]

จากสถิติข้อมูลการเสียหายของเครื่องจักรของโรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2563 – 2564 จะเห็นได้ว่าเครื่องจักรที่มีความถี่ในการเสียหายสูงสุดคือ เครื่องพับเหล็ก แต่ทางผู้วิจัยเห็นว่าเครื่องจักร ไม่ว่าจะเป็น เครื่องพับเหล็ก , เครื่องใส่ลูกบอล , เครื่องปั๊มขึ้นรูปชิ้นงาน , เครื่องล้างชิ้นงาน , เครื่องเชื่อมชิ้นงาน ,เครื่องย้ำแบริ่ง มีโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุจากการชำรุดของเครื่องจักรได้ตลอดเวลาในการปฏิบัติงาน ผู้ทำการวิจัยจึงดำเนินการประเมินความเสี่ยงทั้ง 6 ชนิด เพื่อหาแนวทางการแก้ไข เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน ลดการสูญเสียทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเลือกวิธีการประเมินความเสี่ยงด้วย วิธีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบซึ่งเป็นการประเมินความเสี่ยงเชิงรุก มีเป้าหมายหลักในการกำจัดสาเหตุของความล้มเหลวและเพิ่มโอกาสการตรวจพบก่อนที่จะเกิดความเสียหาย และเกิดอุบัติเหตุ/โรคจากการทำงาน

ตารางที่ 1 สรุปสถิติความเสียหายของเครื่องจักร ปี 2563 - 2564

ปี / ประเภทเครื่องจักร	2563	2564
เครื่องย้ำแบริ่ง	1	1
เครื่องล้างชิ้นงาน	3	2
เครื่องเชื่อมชิ้นงาน	3	2
เครื่องใส่บอล	1	3
เครื่องปั๊มขึ้นรูป	3	5
เครื่องพับเหล็ก	4	5
รวม	15	18

ตารางที่ 2 สรุปสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน ปี 2563 - 2564

ปี / ประเภทเครื่องจักร	2563	2564
เครื่องย้ำแบริ่ง	1	1
เครื่องล้างชิ้นงาน	1	5
เครื่องเชื่อมชิ้นงาน	2	5
เครื่องใส่บอล	1	4
เครื่องปั๊มขึ้นรูป	0	1
เครื่องพับเหล็ก	5	7
รวม	10	23

2. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA)

การประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis : FMEA) ซึ่งเป็นการตรวจสอบชิ้นส่วนเครื่องจักร ว่าผิดพลาดในส่วนของเครื่องจักร อุปกรณ์ส่วนใดและคาดการณ์ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นตามมา จากนั้นนำค่าระดับความเสี่ยง (RPN) มาจัดลำดับความสำคัญเพื่อนำมาหามาตรการในการแก้ปัญหาเพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

เทคนิคการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบเป็นเทคนิคที่นิยมในการวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมที่ระบุข้อบกพร่องที่เป็นไปได้และคาดการณ์ผลกระทบที่อาจจะเกิดจากข้อบกพร่อง ซึ่งสามารถใช้ในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องตั้งแต่ การออกแบบการผลิต ด้านคุณภาพสินค้า รวมไปถึงกระบวนการผลิต สามารถทราบถึงสาเหตุของข้อบกพร่องได้ และจัดลำดับความเสี่ยงได้อย่างชัดเจน วิธีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบมีจุดมุ่งหมาย คือ เป็นการประเมินถึงแนวโน้มของข้อบกพร่อง (potential failure) ของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ เครื่องจักรและผลกระทบ (effects) จากนั้นคิดหาแนวทางมาตรการในการป้องกันไม่ให้เกิดข้อผิดพลาด การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการเริ่มจากการพิจารณาเครื่องจักรแต่ละเครื่อง หมายถึง กระบวนการทำงานของเครื่องจักรและรวมไปถึงการทำงานของคน จะพิจารณาจากผลกระทบต่อการหยุดงานเพื่อซ่อมเครื่องจักรและผลกระทบต่อการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน การคาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากข้อบกพร่องด้วยวิธีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบนั้น จะจัดลำดับความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่องที่สำคัญ โดยคำนวณจาก 3 เกณฑ์ คือ ความรุนแรง (Severity : S) โอกาส (Occurrence : O) และความสามารถในการตรวจจับ (Detect : D) การวิเคราะห์หาสาเหตุความบกพร่องและผลกระทบนั้นต้องอาศัยประสบการณ์จากหัวหน้างาน พนักงาน ช่างซ่อมบำรุงเครื่องจักร และผู้มีความรู้ด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับเครื่องจักร เพื่อ ให้สามารถวิเคราะห์ความ

เสี่ยงได้อย่างครอบคลุมและรู้สาเหตุของข้อบกพร่องได้อย่างแท้จริง [3,4]

3. ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลทั่วไปของกระบวนการและศึกษาหน้าที่ของเครื่องจักร

การวิจัยนี้ได้ดำเนินการที่โรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยมี

เครื่องจักรทั้งหมด

1.เครื่องพับเหล็ก ทำหน้าที่พับเหล็กให้เป็นรูปทรงตามต้องการ

2.เครื่องปั๊มขึ้นรูปชิ้นงานทำหน้าที่ขึ้นรูปแผ่นเหล็กให้เป็นรางสไลด์

3. เครื่องใส่ลูกบอล ทำหน้าที่ใส่ลูกบอลลงบนชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงาน สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้

4. เครื่องเชื่อมชิ้นงาน ทำหน้าที่เชื่อมชิ้นงานด้านในและด้านนอกเข้าด้วยกันโดยสร้างความร้อนจากการผ่านกระแสไฟฟ้าผ่าน

โลหะที่มีความต้านทานไฟฟ้า

5. เครื่องล้างชิ้นงาน ทำหน้าที่ล้างคราบน้ำมันบน ชิ้นงานโดยใช้สารเคมีในการล้างคราบน้ำมันในอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

6. เครื่องย้ำแบริ่ง ทำหน้าที่ ย้ำแบริ่งลงในตะแกรงเพื่อยึดชิ้นงานเข้าด้วยกันกับรางสไลด์

ผู้ทำการวิจัยได้จัดตั้งทีมเพื่อดำเนินการประเมินความเสี่ยงข้อบกพร่องของเครื่องจักร และผลกระทบ ซึ่งในทีมประกอบไปด้วยวิศวกรที่มีความชำนาญเกี่ยวกับเครื่องจักร , หัวหน้าช่างซ่อมบำรุง, หัวหน้าฝ่ายผลิต,พนักงานปฏิบัติงานกับเครื่องจักร ซึ่งได้มีการประชุมและร่วมกันศึกษาวิธีการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ทุกท่านมีความรู้ความเข้าใจในการประเมินความเสี่ยงและการให้คะแนนความเสี่ยงเป็นอย่างดี และได้ทำการตั้งเกณฑ์ในการให้คะแนนร่วมกัน เนื่องด้วยกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อนมากจึงสรุปการให้เกณฑ์คะแนน 1-5 เพื่อความสะดวกต่อการประเมินค่าความเสี่ยงและจัดลำดับความสำคัญ

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

โดยในขั้นตอนนี้จะกำหนดเกณฑ์ประเมินความเสี่ยงให้สอดคล้องกับลักษณะการผลิตที่จะนำมาใช้เป็นมาตรฐาน โดยในที่นี้ได้กำหนดนิยามในแต่ละเกณฑ์ ดังนี้

3.2.1 การประเมินค่าความรุนแรง (S) ประเมินจากผลกระทบที่ตามมาที่ส่งผลกระทบต่อคน สิ่งแวดล้อม ทรัพย์สิน โดยมีนิยามคะแนนความรุนแรง แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์การให้คะแนนในปัจจัยด้านความรุนแรงของปัญหา (Severity)

ประเภทผลกระทบของความรุนแรง			ระดับคะแนน
คน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน	
พนักงานได้รับบาดเจ็บถึงขั้นตายทุพลภาพ	เวลาในการฟื้นฟูมากกว่า 5 ปี ส่งผลกระทบโดยกว้าง	สูญเสียทั้งระบบและทำลายระบบใกล้เคียง	5
พนักงานได้รับบาดเจ็บถึงขั้นหยุดงานเกิน 7 วัน	เวลาในการฟื้นฟู 2 ปี – 5 ปี	สูญเสียส่วนที่สำคัญของระบบ การทำงานต้องหยุดมากกว่า 1 เดือน	4
พนักงานได้รับบาดเจ็บถึงขั้นหยุดงานเกิน 3 วันแต่ไม่เกิน 7 วัน	เวลาในการฟื้นฟูน้อยกว่า 2 ปี	เกิดความเสียหายต่อระบบ การทำงานต้องหยุดมากกว่า 1 อาทิตย์	3
พนักงานได้รับบาดเจ็บถึงขั้นหยุดงานไม่เกิน 3 วัน	เวลาในการฟื้นฟูน้อยกว่า 1 เดือน	เกิดความเสียหายเล็กน้อยการทำงานติดขัด	2
บาดเจ็บเล็กน้อยปฐมพยาบาล	ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก	เกิดความเสียหายต่อระบบน้อยมาก	1

3.2.2 โอกาสในการเกิด (O) ประเมินจากโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดอุบัติเหตุ หรือความเสียหาย โดยมีนิยามคะแนนโอกาสในการเกิดปัญหา แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เกณฑ์การให้คะแนนในปัจจัยด้านโอกาสในการเกิดปัญหา (Occurrence)

ปัจจัยด้านโอกาสในการเกิดปัญหา	ระดับคะแนน
มีโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุได้สูงมากเนื่องจากไม่มีระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรและไม่มีการตรวจเช็คก่อนเริ่มงาน	5
มีโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุได้สูงเนื่องจากมีระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรแต่มีไม่ครอบคลุมความเสี่ยงและไม่มีการตรวจเช็คก่อนเริ่มงานและไม่มีการซ่อมบำรุงรักษา	4
มีโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุได้ปานกลางเนื่องจากมีระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรครอบคลุมความเสี่ยงและมีการตรวจเช็คก่อนเริ่มงานแต่ไม่มีการซ่อมบำรุงรักษา	3
มีโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุได้เล็กน้อยเนื่องจากมีระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรและมีการตรวจเช็คก่อนเริ่มงาน	2
ไม่มีโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากมีระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรและมีการตรวจเช็คอย่างสม่ำเสมอก่อนเริ่มงาน มีการซ่อมบำรุงรักษา	1

หมายเหตุ : ดัดแปลงมากจาก กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2543 [2]

3.3.3 การตรวจจับ (D) ประเมินจากความสามารถในการตรวจจับความผิดปกติของเครื่องจัก โดยมีนิยามคะแนนการตรวจจับ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์การให้คะแนนในปัจจัยด้านความสามารถในการตรวจจับ (Detection)

ปัจจัยด้านความสามารถในการตรวจจับ	ระดับคะแนน
ตรวจพบความผิดปกติเมื่อเกิดความเสียหาย/เกิดอุบัติเหตุ	5
ตรวจพบความผิดปกติจากการตรวจตามแผนการตรวจสอบโดยหน่วยงานอื่นที่ไม่ใช่หน่วยงานผลิต	4
ตรวจจับความผิดปกติโดยหัวหน้างานการผลิต	3
ตรวจจับความผิดปกติโดยพนักงานประจำเครื่อง	2
ออกแบบให้ควบคุมความผิดปกติได้ด้วยการมองหรือติดตั้งสัญญาณเตือนความผิดปกติ	1

3.3 ขั้นตอนการประเมินคะแนน RPN ดังนี้

3.3.1 จากนั้นประเมินผลกระทบและระดับความรุนแรงของลักษณะความเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากข้อบกพร่องหรือความเสียหายดังกล่าว โดยอ้างอิงจากตารางที่ 3 เช่น ระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรไม่ครอบคลุมความเสี่ยง เช่น ไม่มีการ์ดครอบ ไม่มีเซนเซอร์เครื่องจักร พนักงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักรเสี่ยงอวัยวะถูกหนีบจนได้รับบาดเจ็บหรือถึงขั้นเสียชีวิตได้ ทำให้สูญเสียทั้งระบบจะต้องหยุดการทำงาน จะได้ค่าความรุนแรง = 5

3.3.2 ประเมินโอกาสที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุ โดยอ้างอิงจากตารางที่ 4 เช่น ระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรไม่ครอบคลุมความเสี่ยง จากการวิเคราะห์พบว่ามีโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุได้สูงมากเนื่องจากไม่มีระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรและไม่มีการตรวจเช็คก่อนเริ่มงาน จึงได้ โอกาสในการเกิด = 5

3.3.3 ประเมินความสามารถในการตรวจจับ ประเมินจากการตรวจสอบหาความผิดปกติของเครื่องจักร โดยอ้างอิงจากตารางที่ 5 เช่น ระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรไม่ครอบคลุมความเสี่ยง จากการวิเคราะห์พบว่ามีโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุจากสอบถามพบว่าตรวจจับความผิดปกติโดยหัวหน้าสายการผลิต ดังนั้นเมื่อประเมินโอกาตามนิยามในตารางที่ 5 จึงได้ ความสามารถในการตรวจจับ = 3

จากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้มาคำนวณ โดยใช้สูตร ความรุนแรง (S) X โอกาสในการในการเกิด (O) X การตรวจจับ (D) เพื่อหาค่าระดับความเสี่ยง (RPN) ตารางการคำนวณอ้างอิงจากตารางที่ 7 ตัวอย่างการหาค่าระดับความเสี่ยง (RPN) ของเครื่องจักร ซึ่งเป็นเพียงตัวอย่างในการหาค่าระดับความเสี่ยงของเครื่องพับเหล็กเท่านั้น หากมีผู้สนใจต้องการดูผลการหาค่าระดับความเสี่ยงที่ครอบคลุมเครื่องจักรทั้ง 6 ชนิด สามารถดูตารางการหาค่าระดับความเสี่ยงเพิ่มเติมได้ที่คิวอาร์โค้ด (QR Code) ในภาคผนวก หลังจากนั้นนำมาจัดระดับความเสี่ยงอันตราย โดยอ้างอิงระดับความเสี่ยงจากตารางที่ 6 การจัดระดับความเสี่ยงอันตราย จะได้ผลระดับความเสี่ยงเพื่อจัดระดับความเสี่ยงและนำเสนอแนะมาตรการในการแก้ไขเพื่อป้องกันอันตราย

ตารางที่ 6 การจัดระดับความเสี่ยงอันตราย

ระดับความเสี่ยง	ค่าระดับความเสี่ยง (RPN)	ความหมาย
เล็กน้อย	1-10	ความเสี่ยงเล็กน้อย ไม่ต้องดำเนินการ
ยอมรับได้	11-20	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ต้องมีแผนการตรวจสอบเครื่องจักรโดยช่างซ่อมบำรุงทุก 6 เดือน
ปานกลาง	21-30	ความเสี่ยงปานกลาง ต้องมีการทำทะเบียนเสี่ยง และทำแผนกิจกรรมเพื่อดำเนินการลดความ
สูง	31-40	ความเสี่ยงระดับสูงต้อง มีการทำทะเบียนความเสี่ยง และทำแผนกิจกรรมเพื่อดำเนินการลดความ
ยอมรับไม่ได้	>40	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ให้กับหน่วยงานในระดับ ความเสี่ยงอันตรายที่ยอมรับไม่ได้จัดทำทะเบียน ควบคุมความเสี่ยง แผนกิจกรรมเพื่อลดความเสี่ยง และต้องดำเนินการปรับปรุงแก้ไขโดยทันที

หมายเหตุ : ดัดแปลงมากจาก กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2543 [2]

ตารางที่ 7 ตัวอย่างการหาค่าระดับความเสี่ยง (RPN) เครื่องจักร

ลำดับความล้มเหลว	ผลกระทบจากความผิดพลาด	S	O	D	ค่า RPN	ระดับความเสี่ยงอันตราย
เครื่องพับเหล็ก						
1	อวัยวะของพนักงานอาจจะถูกลูกกลิ้งหนีบหรือดึงเข้าไปทำให้สูญเสียอวัยวะหรือเสียชีวิตได้	5	5	3	75	สูง
2	ทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจร/พนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่อาจจะได้รับบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูดอาจถึงขั้นเกิดแผลไหม้ระดับรุนแรงได้	4	2	2	16	ยอมรับได้

3	ทำให้เครื่องจักรหยุดการทำงานหรือทำงานผิดปกติ/ทำให้พื้นที่ทำงานมีน้ำมันนองพื้น พนักงานอาจจะเหยียบลื่นล้มได้	3	3	2	18	ยอมรับได้
4	ทำให้เครื่องจักรไม่สามารถทำงานได้ พนักงานอาจจะพยายามดันชิ้นงานเข้าเครื่องจักรได้รับบาดเจ็บที่มือ	4	3	2	24	ปานกลาง
5	พนักงานอาจจะถูกเครื่องจักรหนีบมือหรือแขนจนได้รับบาด	4	2	3	24	ปานกลาง
6	สายลมที่ขาดอาจจะเหวี่ยงมาตีพนักงานได้รับบาดเจ็บ	2	2	2	8	เล็กน้อย

โดยทางผู้วิจัยได้กำหนดสีในการจัดระดับความเสี่ยงอันตราย อ้างอิงจากตารางที่ 6 การจัดระดับความเสี่ยงอันตราย ไว้ดังนี้

1. สีเขียวเข้ม คือ ความเสี่ยงเล็กน้อย ไม่ต้องดำเนินการ
2. สีเขียวอ่อน คือ ความเสี่ยงยอมรับได้ แต่ต้องมี แผนการตรวจสอบเครื่องจักรโดยช่างซ่อมบำรุงทุก 6 เดือน
3. สีเหลือง คือ ได้ ความเสี่ยงปานกลาง ต้องมีการทำทะเบียนความเสี่ยงและทำแผนกิจกรรมเพื่อดำเนินการลดความเสี่ยง
4. สีส้ม คือ ความเสี่ยงสูง มีการทำทะเบียนความเสี่ยงและทำแผนกิจกรรมเพื่อดำเนินการลดความเสี่ยง
5. สีแดง ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ให้หน่วยงานที่มีระดับความเสี่ยงอันตรายที่ยอมรับไม่ได้ จัดทำทะเบียนควบคุมความเสี่ยง แผนกิจกรรมเพื่อลดความ

เสี่ยงและต้องดำเนินการปรับปรุงแก้ไขโดยทันที

4. การกำหนดมาตรการการดำเนินการแก้ไข

4.1วิธีการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของเครื่องจักร

การป้องกันอันตรายจากการทำงาน จะต้องดำเนินการดังนี้

1.เครื่องจักรที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต้องมีระบบหรือวิธีการป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วเข้าตัวพนักงานหรือเครื่องจักรและต้องต่อสายดิน 2. เครื่องจักรที่ใช้พลังงานไฟฟ้า สายไฟฟ้าที่ต่อเข้าเครื่องจักรต้องเดินมาจากที่สูง กรณีเดินสายไฟฟ้าบนพื้นดินหรือฝังดินต้องใช้ท่อร้อยสายไฟฟ้าที่แข็งแรงและปลอดภัย 3. เครื่องจักรชนิดอัตโนมัติต้องมีสี เครื่องหมาย เปิด-ปิด ที่สวิตช์อัตโนมัติ 4. เครื่องจักรที่มีการถ่ายทอดพลังงานโดยใช้เพลาสายพานรอกเครื่องอุปกรณ์ล้อตุนกำลังต้องมีตะแกรงหรือที่ครอบปิดคลุมส่วนที่หมุนได้ 5. ต้องมีปุ่มหยุดฉุกเฉินหรืออุปกรณ์ที่สามารถหยุดการทำงานของสายพานได้ทันทีติดตั้งไว้ตำแหน่งที่เหมาะสม 6.เครื่องปั๊มโลหะที่ใช้มือป้อนวัสดุให้ใช้สวิตช์แบบต้องกดพร้อมกันทั้งสองมือ เครื่องจึงจะทำงานและสวิตช์ต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร 7. มีการตรวจเช็คเครื่องจักรก่อนเริ่มงานทุกครั้ง [3] ซึ่งทางผู้วิจัยได้กำหนดมาตรการและแนวทางในการแก้ไขเพื่อป้องกันอุบัติเหตุและความเสียหาย โดยสามารถดูได้ที่ ตารางที่ 8 ตัวอย่างมาตรการและแนวทางในการแก้ไขเพื่อป้องกันอุบัติเหตุและความเสียหาย เป็นเพียงตัวอย่างแนวทางการแก้ไขของเครื่องพับเหล็กหาก หากมีผู้สนใจต้องการดูผลการหาค่าระดับความเสี่ยงที่ครอบคลุมเครื่องจักร 6 ชนิด สามารถดูตารางการหาค่าระดับความเสี่ยงเพิ่มเติมได้ที่คิวอาร์โค้ด (QR Code) ในภาคผนวก

ตารางที่ 8 ตัวอย่างมาตรการและแนวทางในการแก้ไขเพื่อป้องกันอุบัติเหตุและความเสียหาย

ลำดับความล้มเหลว	ลักษณะข้อบกพร่อง	แนวทางในการป้องกันอุบัติเหตุและความเสียหาย
เครื่องพับเหล็ก		
1	เครื่องพับเหล็กไม่มีมาตรฐานด้านความปลอดภัย/ระบบความปลอดภัยที่ครอบคลุม	1. ติดตั้งการ์ดครอบบริเวณจุดอันตรายโดยคำนึงถึงความปลอดภัย ไม่กีดขวางการทำงานของพนักงาน 2. ติดตั้งเซ็นเซอร์หากอวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายเข้าใกล้จุดเสี่ยงหรือมีการถอดการ์ดครอบออกเครื่องจักรจะไม่ทำงานจนกว่าจะดำเนินการติดตั้งการ์ดครอบไว้ที่เดิม 3. ติดตั้งปุ่มกด 2 มือกด พร้อมกัน มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นเพื่อป้องกันพนักงานเผลอวางมือในเครื่องจักร

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและวิจัยพบว่าความเสี่ยงของเครื่องจักรทั้ง 6 ชนิด มี 26 ความชำรุด พบว่ามี 7 เหตุการณ์ ที่มีค่าระดับความเสี่ยงสูงยอมรับไม่ได้ (ค่าระดับความเสี่ยง = 5) และอาจจะส่งผลกระทบที่ร้ายแรงต่อผู้ปฏิบัติงาน คือ เครื่องพับเหล็ก ,เครื่องปั๊มขึ้นรูปชิ้นงาน, เครื่องไส่บอล, เครื่องเชื่อมชิ้นงาน, เครื่องล้างชิ้นงาน,เครื่องย้ำแบริ่ง จะต้องดำเนินการตามมาตรการความปลอดภัยเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุที่ตามมา โดยผู้วิจัยได้เสนอแนวทางในระดับความเสี่ยงอันตรายในระดับที่ยอมรับไม่ได้เนื่องจาก

เป็นระดับที่มีผลกระทบที่รุนแรง และเป็นระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ เพื่อดำเนินการแก้ไขให้เหมาะสมกับลักษณะการทำงานของเครื่องจักรและลักษณะการปฏิบัติงาน

ความเสียหายในโรงงานพบว่าสาเหตุหลักๆที่ทำให้เครื่องจักรเสียหาย มีดังต่อไปนี้

1. ขาดการซ่อมบำรุงรักษาจากผู้เชี่ยวชาญจึงทำให้อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรชำรุดและไม่ได้รับการแก้ไข

2. พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการตรวจเครื่องจักรก่อนเริ่มงาน

3.การติดตั้งอุปกรณ์ ชิ้นส่วนเครื่องจักรไม่ถูกหลักความปลอดภัย

4. ไม่มีระบบความปลอดภัยของเครื่องจักร หรือมีระบบความปลอดภัยแต่ไม่เหมาะสมหรือไม่เพียงพอที่จะป้องกันความเสี่ยงได้

ดังนั้นเจ้าของโรงงานหรือผู้รับผิดชอบจึงควรดำเนินการตรวจสอบความปลอดภัยและการบำรุงรักษาเชิงป้องกันทั้งระบบและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการทำงานรวมทั้งมีการติดตั้งระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรให้ครอบคลุมความเสี่ยงเพื่อลดอุบัติเหตุจากการทำงานของพนักงาน ลดเวลาการหยุดการทำงานของเครื่องจักรได้ ควรมีการจัดทำแผนการซ่อมบำรุงที่สามารถลดการหยุดการทำงานของเครื่องจักร หากเครื่องจักรชำรุดควรมีการสำรองชิ้นส่วนเครื่องจักรตามความเหมาะสมเพื่อจะได้เปลี่ยนอะไหล่ทันทีหากชิ้นส่วนนั้น ชำรุด โดยไม่ต้องรอเวลา และเพื่อป้องกันไม่ให้พนักงานที่ปฏิบัติงานเกิดอุบัติเหตุ และก่อนดำเนินการซื้อเครื่องจักรทุกครั้งควรมีการกำหนดระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรว่าในแต่ละเครื่องจักรควรมีระบบความปลอดภัยอะไรบ้างเพื่อป้องกันความเสี่ยงให้ครอบคลุมและดำเนินการตรวจเช็คเครื่องจักรนั้นก่อนให้พนักงานเริ่มงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติชัย อธิกุลรัตน์. 2564. <กิตติชัย อธิกุลรัตน์ และทีม--การประยุกต์รูปแบบความล้มเหลวและการวิเคราะห์ผลกระทบเพื่อลดของเสียกระบวนการผลิตเสาไฟฟ้า-2021.Pdf>.

[2] กระทรวงโรงงานอุตสาหกรรม 2543. ระเบียบกระทรวงโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหาร จัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543.

[3] กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. 2564. กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานกับเครื่องจักร ปั้นจั่นและหม้อน้ำ พ.ศ. 2564.

[4] คณะกรรมการความปลอดภัย ควบคุมสมาคมอุตสาหกรรมอุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้าประเทศญี่ปุ่น. 2553. คู่มือความปลอดภัยในสถานประกอบการ.

[5] สันติสุข สมรฤทธิ์. 2560. <สันติสุข สมรฤทธิ์ การประเมินความเสี่ยงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองติดตั้งบริเวณคลังน้ำมัน.Pdf>. Master Degree, Kasetsart university.

[6] วราธร ปัญญางาม. 2559. <วราธร ปัญญางาม การปรับปรุงระบบซ่อมบำรุง Fmea กรณีกระบวนการแปรรูปเนื้อสัตว์.Pdf>. Ladkrabang Engineering Journal. 33.

[7] Yonas Mitiku Degu and R. Srinivasa Moorthy. 2014. Implementation of Machinery Mode and Effect Analysis in Amhara Pipe Factory.

[8] กระทรวงโรงงานอุตสาหกรรม. 2542. <ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน.Pdf>.

[9] กระทรวงโรงงานอุตสาหกรรม. 2543. <ระเบียบกระทรวงโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543.

[10] สุพัฒน์ วงศ์จิรัฐกาล. 2556. <สุพัฒน์ วงศ์จิรัฐกาลและทีม การปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของโรงงานผลิตเพลารถยนต์--สุพัฒน์ วงศ์จิรัฐติการ.Pdf>. The Journal of KMUTNBH.

[11] บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์. 2564. <บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์และทีม—การบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน กรณีศึกษาโรงงานผลิตเบาะ.Pdf>. Sau Journal of science & Technology.

[12] Mahdi Bahrami, คณะ. 2012. Innovation and Improvements in Project Implementation and Management; Using Fmea Technique. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 41(418-425.

[13] Ferenc Bognár และ Petra Benedek. 2021. Case Study on a Potential Application of Failure Mode and Effects Analysis in Assessing Compliance Risks. Risks. 9(9):

โครงสร้างข้อมูลในระบบรางภายใต้บริบทระบบรถไฟฟ้ากรุงเทพมหานครฯ

Rail Data Structure in the Context of the Bangkok Rail Transit System

ลลิตพรรณ สมิติวัณฑ์กุล[1] วเรศรา วีระวัฒน์[1*]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
E-mail: waressara@gmail.com*

Lalitphan Samitiwantikul[1] Waressara Weerawat[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University
E-mail: waressara@gmail.com*

บทคัดย่อ

ระบบรถไฟฟ้าในเมืองมีลักษณะเป็นโครงข่ายที่ครอบคลุมพื้นที่การเดินทางภายในเมืองเพื่อนำพาผู้โดยสารให้ไปถึงที่หมายในเวลาอันรวดเร็ว ในขณะเดียวกันปริมาณข้อมูลที่เกิดขึ้นในระบบก็เกิดขึ้นมากตามขนาดของโครงข่าย เช่น ข้อมูลสถานี ข้อมูลการเดินทางของผู้โดยสาร จึงทำให้การวิเคราะห์การดำเนินงานทางด้านระบบรางตลอดทั้งโครงข่าย เช่น การวิเคราะห์ลักษณะการเดินทาง ค่าโดยสาร และเวลาเดินทาง เกิดความยุ่งยากในการรวบรวมข้อมูลที่มีที่มาและโครงสร้างข้อมูลที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบรางทั้งโครงข่ายจึงต้องการการบริหารจัดการข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ การบริหารจัดการข้อมูลในระบบรางมีส่วนสำคัญในการดำเนินงานเพื่อพัฒนาคุณภาพการให้บริการและการวางแผนกำหนดนโยบาย แต่ในบริบทการดำเนินงานทางด้านระบบรถไฟฟ้ากรุงเทพฯในปัจจุบันยังมีลักษณะบริหารจัดการแบบแยกสายการเดินรถ ทำให้ข้อมูลที่เกี่ยวเนื่องกับระบบรถไฟฟ้าถูกจัดเก็บแยกและมีลักษณะโครงสร้างข้อมูลแตกต่างไปอย่างน้อย 4 แบบตามจำนวนผู้ให้บริการเดินรถไฟฟ้าในปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงรวบรวมและออกแบบโครงสร้างข้อมูลพื้นฐานเพื่อจัดเก็บข้อมูลร่วมกันของทั้งโครงข่ายรถไฟฟ้า และประยุกต์ใช้ข้อมูลจากโครงสร้างที่ออกแบบด้วยการแสดงแผนภาพของภาพรวมการดำเนินงานและการเดินทางในระบบรถไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Data visualization โดยให้ผลลัพธ์เป็นโครงสร้างข้อมูลที่สำคัญประกอบด้วย โครงสร้างข้อมูลสถานี โครงสร้างข้อมูลตารางเวลาเดินรถ โครงสร้างข้อมูลค่าโดยสาร โครงสร้างข้อมูลหน่วยงานที่รับผิดชอบและสายการเดินรถ โครงสร้างข้อมูลการใช้งานของผู้โดยสาร ด้วยการออกแบบโครงสร้างข้อมูลที่ดี ข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ จึงมีความสอดคล้องกัน ลักษณะการเดินทางของผู้โดยสารพร้อมกับข้อมูลพื้นฐานสามารถแสดงเป็นแผนภาพเพื่อสร้างความเข้าใจที่ชัดเจนและการเปรียบเทียบที่ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การประยุกต์ใช้ข้อมูลในระบบราง, โครงสร้างข้อมูลในระบบราง, การนำเสนอแผนภาพข้อมูล

Abstract

A network of urban rail transit systems covers areas of a city to carry passengers to their destinations more efficiently. The amount of data generated in the system increases as the network grows. Analysis of rail operations throughout the network, such as passenger behavior analytics, is difficult when collecting from different data sources and with different data structures. Analyzing data in the entire metro network requires efficient data management. Rail data management plays an important role in the improvement of service quality and policy planning. At present in the contexts of operating the Bangkok mass transit system are still a separate management context. This shows that the data in the urban rail transit system needs to be designed differently and stored separately. With the number of Bangkok rail operators, the data structure has at least four different structures. This research aims to collect and design a basic data structure for the entire Bangkok mass transit network. The data has been applied by displaying diagrams of the overall transit experience and passenger flow in the mass transit system with a data visualization program. The results are key data structures which include station data structure, timetable data structure, fare data structure, operator and line data structure, passenger usage data structure. With good structure design, the data from different sources can be synchronized. The characteristics of passenger flow, together with common basic information, can be graphically represented for better understanding and comparison.

Keywords: Rail data application, Rail data structure, Data visualization

1. บทนำ

ระบบรถไฟฟ้าในเมือง (Metro transit) เป็นระบบขนส่งหลักที่ขนส่งผู้โดยสารปริมาณมากได้ในเวลาที่รวดเร็ว มีส่วนสำคัญโดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่นอย่างเช่นในช่วงเวลาเร่งด่วนที่ผู้โดยสารต้องการความตรงต่อเวลาของการเดินทาง และด้วยลักษณะเฉพาะของระบบรถไฟฟ้าในเมืองมีการเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายทำให้การเดินทางระหว่างพื้นที่ในเมืองจึงเป็นไปได้อย่างสะดวกสบาย ในขณะเดียวกัน ข้อมูลสนับสนุนการเดินทางในระบบรางจึงมีความสำคัญต่อการวางแผนการเดินทางของผู้โดยสาร [1] ช่วยให้เกิดการวางแผนการเดินทางให้เหมาะสมต่อความต้องการ ข้อมูลสนับสนุนการเดินทางยังมักถูกนำมาใช้ในการชี้วัดประสิทธิภาพของระบบขนส่งทางรางไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์การเข้าถึงระบบขนส่ง การเชื่อมต่อ ความถี่ของการให้บริการ [2] นำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลการเดินทางของผู้โดยสารเพื่อศึกษาและเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางในเมือง [3] ข้อมูลสนับสนุนการเดินทางในระบบรางจึงเป็นข้อมูลพื้นฐานตั้งต้นที่สำคัญต่อการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบโครงข่ายรถไฟฟ้า

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การบริหารจัดการระบบรถไฟฟ้าในกรุงเทพมีลักษณะของการบริหารจัดการแบบแยกส่วนแยกสาย ทำให้สายการเดินรถตลอดทั้งโครงข่ายมีผู้บริหารโครงการและผู้ให้บริการเดินรถที่หลากหลายและยังมีข้อกำหนดการดำเนินงานแตกต่างกันไปตามลักษณะของสัญญาสัมปทาน ด้วยเหตุนี้ข้อมูลพื้นฐานในระบบราง เช่น ชื่อ-รหัสสถานี ตารางเวลาเดินรถ ชื่อสายการเดินรถ ถูกกำหนดและจัดเก็บตามหน่วยงานที่เป็นเจ้าของโครงการสายนั้น ๆ ด้วยข้อมูลพื้นฐานที่กระจัดกระจายจึงส่งผลต่อขั้นตอนการดำเนินงานวิเคราะห์ข้อมูลโดยภาพรวมของโครงข่ายระบบรถไฟฟ้างานวิจัยนี้จึงต้องการรวบรวมข้อมูล และพัฒนาโครงสร้างข้อมูลพื้นฐานในระบบรถไฟฟ้ากรุงเทพฯให้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลทั้งโครงข่าย ในส่วนที่ 2 กล่าวถึงการประยุกต์ใช้ข้อมูลในระบบรางและโครงสร้างข้อมูลในระบบรถไฟฟ้ากรุงเทพฯ ในส่วนที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงาน ในส่วนที่ 4 กล่าวถึงผลลัพธ์หลังจากพัฒนาโครงสร้างข้อมูล และพัฒนา Data visualization พร้อมการวิเคราะห์ผล ส่วนที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

2. การประยุกต์ใช้ข้อมูลในระบบรางและโครงสร้างข้อมูลระบบรถไฟฟ้ากรุงเทพฯ

ระบบขนส่งทางรางในเมืองมีลักษณะของการขนส่งผู้โดยสารเดินทางระหว่างพื้นที่ในระยะไกลได้อย่างรวดเร็วและมีลักษณะเป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อกันและกัน ณ สถานีแลกเปลี่ยน การวางแผนการเดินทางของผู้โดยสารจึงต้องประยุกต์ใช้ข้อมูลจากทั้งโครงข่าย เพื่อคำนวณเส้นทางการเดินทางภายในโครงข่ายที่ดีสุด เช่น เส้นทางที่มีเวลาเดินทางที่น้อยที่สุด เส้นทางที่มีราคาค่าโดยสารที่ถูกที่สุด การอาศัยข้อมูลระหว่างสายการเดินรถที่แตกต่างร่วมกันจะทำให้เกิดการใช้ประโยชน์เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลแบบข้ามสาย

The General Transit Feed Specification (GTFS) เป็นโครงสร้างข้อมูลพื้นฐานสำหรับการส่งต่อข้อมูลการเดินทางจากหน่วยงานที่รับผิดชอบสายการเดินทางนั้น ๆ ให้แก่ผู้พัฒนาแอปพลิเคชันทางด้านการสนับสนุนข้อมูลการเดินทางแก่ผู้โดยสาร โดยมีหลักการการออกแบบให้ครอบคลุมข้อมูลที่ใช้สำหรับวางแผนการเดินทางเท่านั้น GTFS ประกอบไปด้วยองค์ประกอบของข้อมูล หน่วยงานที่ให้บริการ เส้นทางการเดินรถ เที่ยวที่ให้บริการ วันที่ให้บริการ ชื่อ-รหัสสถานี ตำแหน่งจุดจอดระบบขนส่ง เวลาที่หยุดจอด เป็นองค์ประกอบหลัก และยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ส่งเสริมการให้ข้อมูลแก่ผู้โดยสาร ซึ่งตำแหน่งจุดจอดของระบบขนส่งมักถูกนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับข้อมูลปริมาณการเดินทางของผู้โดยสาร [1,2] นอกจากนั้นยังนำไปใช้วิเคราะห์ร่วมกับคุณภาพการให้บริการการเดินทางที่มีจุดร่วมกัน จุดจอดหรือสถานีรับส่งผู้โดยสารจึงเป็นข้อมูลที่สำคัญในการเชื่อมต่อข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่างระบบหรือระหว่างสายการเดินรถที่แตกต่างกัน การมีชื่อหรือรหัสสถานี ณ สถานีแลกเปลี่ยนที่เป็นชื่อเดียวจะช่วยให้การเชื่อมต่อข้อมูลมีความสะดวก

Transport for London (TfL) มีการให้บริการข้อมูลเพื่อวางแผนการเดินทางต่อผู้โดยสารและให้บริการข้อมูลแก่ผู้พัฒนาแอปพลิเคชันการเดินทางภายนอก ด้วยระบบ Application Programming Interface (API) [4] โดยทั่วไปข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการเดินทางแก่ผู้โดยสารประกอบด้วย ชื่อ-ตำแหน่งที่ตั้งของสถานี สิ่งอำนวยความสะดวก การเชื่อมต่อไปยังระบบขนส่งอื่น ตารางเวลาเดินรถ ราคาค่าโดยสาร TfL มีโครงสร้างข้อมูล National Public Transport Access Nodes (NaPTAN) ที่เป็นรหัสสำหรับการระบุสถานีการเดินทางในระบบขนส่งสาธารณะร่วมกันทุกระบบขนส่ง [5] ที่ประกอบด้วยข้อมูลชื่อจุดจอด ตำแหน่ง Latitude-Longitude สถานที่ใกล้เคียง และอื่น ๆ และยังมี National Location Code (NLC) ที่เป็นรหัสสำหรับการระบุสถานีของโครงข่ายรถไฟ และรถไฟฟ้าทั้งสหราชอาณาจักร รหัส NLC ถูกใช้ในการเป็นจุดอ้างอิงเพื่อสนับสนุนข้อมูลการเดินทางแก่ผู้โดยสาร และยังเป็นจุดอ้างอิงของระบบการออกตั๋วเดินทางในระบบรถไฟและรถไฟฟ้า [6] ซึ่งรหัสร่วมเหล่านี้มีเอกลักษณ์เฉพาะโดยที่จะไม่ซ้ำกับสถานที่อื่น ๆ แม้จะเป็นสถานีร่วม เช่น สถานี Acton Town เป็นสถานีแลกเปลี่ยนระหว่างสายการเดินรถ District และ Piccadilly มีกำหนดรหัสทั้งรูปแบบ NLC 500 และรูปแบบรหัส NaPTAN 940GZZLUACT ข้อมูลการเดินทางของผู้โดยสารที่สำคัญต่อการวางแผนในระบบขนส่งจึงเชื่อมต่อกันทั้งโครงข่ายการเดินทางในระบบขนส่งสาธารณะ ด้วยรหัสสถานีร่วมระหว่างสายการเดินทาง งานวิจัย [7] ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลการเดินทางทั้งโครงข่ายของระบบขนส่งสาธารณะและโครงสร้างของรหัสสถานีร่วม NaPTAN พัฒนาระบบเพื่อช่วยวางแผนการเดินทางได้แบบครอบคลุมทุกระบบขนส่งสาธารณะ ในการวางแผนระบบขนส่งมีการประยุกต์ใช้ข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้ร่วมกับปริมาณการเดินทางในระบบขนส่งรถไฟฟ้าเพื่อมาศึกษาลักษณะพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารที่เดินทาง

ข้ามสายการเดินรถ [8-10] และนำไปสู่การพัฒนานโยบายที่จะมาสนับสนุนการเดินทางให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การศึกษาภาพรวมการเดินทางทั้งโครงข่ายจึงเป็นผลลัพธ์หนึ่งของการประยุกต์ใช้ข้อมูลแบบข้ามสายการเดินรถและนำไปสู่การเข้าใจการเดินทางของผู้โดยสารในเมือง

โครงข่ายระบบรถไฟฟ้ากรุงเทพฯในปัจจุบันประกอบไปด้วย 8 สาย ประกอบด้วย รถไฟฟ้าในเมืองสายสีเขียวอ่อน สายสีเขียวเข้ม สายสีน้ำเงิน สายสีม่วง สายสีทอง รถไฟฟ้าสายเชื่อมต่อท่าอากาศยาน รถไฟฟ้าชานเมืองสายสีแดงเข้ม และรถไฟฟ้าชานเมืองสายสีแดงอ่อน และสายการเดินรถที่กำลังจะเปิดให้บริการในปี 2022 อีก 2 สาย คือ รถไฟฟ้าในเมืองสายสีเหลือง และสายสีชมพู อีกทั้งยังมีสายการเดินรถที่กำลังถูกวางแผนโครงการอย่างต่อเนื่อง [11] แต่ด้วยโครงสร้างการบริหารจัดการระบบรถไฟฟ้ากรุงเทพฯทำให้ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญถูกออกแบบและจัดเก็บแยกตามหน่วยงานที่รับผิดชอบในสายการเดินรถนั้น ๆ โครงสร้างข้อมูลที่สำคัญประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ข้อมูลพื้นฐานในระบบรถไฟฟ้า และ ข้อมูลการเดินทางของผู้โดยสาร ไม่ได้ถูกออกแบบมาในรูปแบบเดียวกัน เช่น รหัสของสถานีสายสีเขียวและ รหัสสถานีของสายสีน้ำเงิน ตัวอักษรหน้าไม่ได้ถูกกำหนดให้เป็นในความหมายเดียวกัน เช่น BLXX และ NXX นอกจากนั้นชื่อและรหัสสถานีของสถานีที่สามารถเปลี่ยนถ่ายผู้โดยสารไปยังสายการเดินรถอื่นได้ ไม่มีชื่อหรือรหัสที่สามารถระบุได้ว่าเป็นสถานีที่แลกเปลี่ยนร่วมกันทำให้ไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลการเชื่อมต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในส่วนของข้อมูลการเดินทางของผู้โดยสารที่สำคัญ ด้วยระบบการบริหารจัดการที่แยกส่วนทำให้ระบบ Automatic Fare Collection ถูกแยกออกจากกัน การรวบรวมข้อมูลการใช้งานจากทุกสายการเดินรถจะทำให้สามารถเห็นภาพรวมการเคลื่อนไหวของผู้โดยสารในระบบรถไฟฟ้า การใช้สถานีเวลาที่เดินทาง ซึ่งทั้งหมดจะสะท้อนการเดินทางด้วยระบบรถไฟฟ้าในปัจจุบัน การวางแผนทางด้านนโยบายจึงไม่สามารถที่จะขาดข้อมูลภาพรวมลักษณะการใช้งานของระบบขนส่งหลัก [12] ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้งานของผู้โดยสารที่ร่วมกับข้อมูลพื้นฐานที่ของเวลาเดินทาง ราคาค่าโดยสาร จะช่วยให้นักวิเคราะห์นโยบายสามารถวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากระบบที่มีอยู่เดิมต่อผู้โดยสารได้ ข้อมูลในระบบรางกรุงเทพฯจึงต้องถูกดำเนินงานบริหารจัดการข้อมูลให้เป็นระบบเพื่อสนับสนุนให้การประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อผู้โดยสารและผู้วางแผนระบบขนส่ง ทั้งในแง่ของการวิเคราะห์ข้อมูลและอัปเดตข้อมูลให้ทันสมัยได้ง่าย

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบไปด้วย

3.1 รวบรวมข้อมูลพื้นฐานในระบบรถไฟฟ้ากรุงเทพฯ และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลที่รวบรวม ประกอบด้วย สถานีและสายการเดินรถ และองค์ประกอบย่อยของข้อมูลประกอบด้วย ชื่อ-รหัส และตำแหน่งสถานี ชื่อสายการเดินรถ ชื่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ปริมาณการใช้บริการหรือปริมาณการเดินทางของผู้โดยสาร ตารางเวลาเดินรถ เวลาเดินทางระหว่างสถานี และค่าโดยสาร โดยข้อมูลชื่อและรหัสสถานีได้รวบรวมจาก Bangkok Mass Transit Map [13] ตำแหน่งของสถานีได้รวบรวมจาก Google Map ในส่วนตารางเวลาเดินรถ เวลาเดินทาง และค่าโดยสาร ได้รวบรวมจาก เว็บไซต์ของหน่วยงานที่ให้บริการการเดินรถ [14-16] และข้อมูลปริมาณการเดินทางของผู้โดยสารได้รับการสนับสนุนข้อมูลจากหน่วยงานที่ให้บริการเดินรถเช่นเดียวกัน ข้อมูลที่รวบรวมเป็นข้อมูลที่มีลักษณะคงที่ (Static data) ในเบื้องต้นจึงเก็บรวบรวมเป็นไฟล์ประเภท .xls แต่ถึงอย่างไรข้อมูลที่ได้รับมาจากแต่ละหน่วยงานมีลักษณะโครงสร้างข้อมูลที่แตกต่างกัน เช่น .xlsx .txt .csv .pdf ในบางผู้ให้บริการใช้ชื่อย่อสถานีเป็นการบ่งบอกถึงสถานีแทนการใช้รหัส จึงทำให้การทำความสะอาดข้อมูลต้องมีการประยุกต์ใช้ Microsoft Excel Macro ในการจัดการข้อมูลให้อยู่ในโครงสร้างเดียวกัน

3.2 ออกแบบโครงสร้างข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลทั้งโครงข่าย

โครงสร้างข้อมูลประกอบไปด้วย 5 ส่วน คือ โครงสร้างข้อมูลสถานี (Station) โครงสร้างข้อมูลตารางเวลาเดินรถ (Timetable) โครงสร้างข้อมูลค่าโดยสาร (Fare) โครงสร้างข้อมูลหน่วยงานที่รับผิดชอบและสายการเดินรถ (Operator/Owner/Line) และโครงสร้างข้อมูลการใช้งานของผู้โดยสาร (Passenger usage) ซึ่งข้อมูลที่สำคัญคือ ปริมาณการใช้งานสถานี และ ปริมาณการเดินทางรายสถานีต้นทาง-ปลายทาง (Origin-Destination) ในโครงสร้างแต่ละส่วนประกอบด้วย Data attribute ที่เป็นองค์ประกอบย่อย เช่น รหัส ชื่อ เวลา การออกแบบกำหนดให้ในทุกโครงสร้างที่มี Data attribute ร่วมกันต้องใช้โครงสร้างเดียวกัน เช่น รหัสสถานีที่ใช้ในโครงสร้างข้อมูลการใช้งานของผู้โดยสารใช้โครงสร้างเดียวกันกับในโครงสร้างข้อมูลสถานี

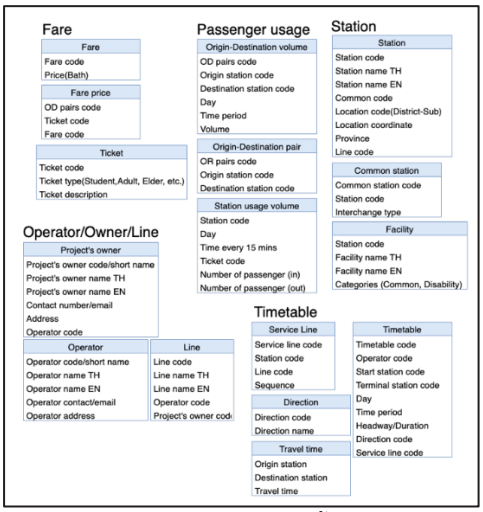
3.3 ออกแบบแผนภาพที่ได้จากการประยุกต์ใช้ข้อมูลทั้งโครงข่าย

ในมุมนักวางแผนระบบขนส่งต้องอาศัยข้อมูลการใช้งานระบบขนส่งของผู้โดยสารโดยภาพรวม เพื่อนำไปใช้ในการพยากรณ์แนวโน้มการใช้งานในอนาคต ในขณะเดียวกันข้อมูลที่เกิดขึ้นในระบบเช่น เวลาเดินทาง ก็เป็นข้อมูลที่ชี้วัดถึงประสิทธิภาพการให้บริการ จึงได้ออกแบบแผนภาพแสดงปริมาณการเดินทางผู้โดยสารขาออกและการแสดงเวลาเดินทางทั้งโครงข่าย การแสดงปริมาณผู้โดยสารขาออกโดยกำหนดให้สถานีต้นทางเป็นสถานีร่วมกันระหว่างสายการเดินรถที่แตกต่างเพื่อที่จะให้เกิดการแสดงผลของข้อมูลให้ได้มากที่สุด โดยข้อมูลในส่วนนี้อาศัยข้อมูลปริมาณผู้โดยสารแบบ Origin-Destination (OD) ข้อมูลชื่อ รหัสสถานีและพิกัดทางภูมิศาสตร์

การแสดงแผนภาพนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะสังเกตพฤติกรรมการเดินทางในพื้นที่กรุงเทพฯโดยภาพรวมร่วมกับเวลาที่ใช้เดินทางจากต้นทางไปยังปลายทางที่แสดงผลซึ่งเวลาเดินทางเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่ชี้วัดคุณภาพการเดินทางของระบบขนส่งสาธารณะ แผนภาพภาพรวมของระบบโครงข่ายรถไฟฟ้าใช้โปรแกรม Data visualization ที่สามารถรองรับการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ได้

4. ผลลัพธ์ และการวิเคราะห์ผล

โครงสร้างข้อมูลในส่วนสถานีถูกออกแบบให้สามารถจัดเก็บชื่อสถานี รหัสสถานี ตำแหน่งสถานี รหัสสายการเดินรถ พร้อมกับสิ่งอำนวยความสะดวกในสถานีที่เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการเดินทางของผู้โดยสาร ในส่วนสถานีเปลี่ยนสายการเดินรถในปัจจุบัน เช่น สถานีอโศก-สุขุมวิท สถานีมักกะสัน-เพชรบุรี ยังไม่มีโครงสร้างข้อมูลร่วมกันเพื่อบ่งชี้เป็นสถานีที่ผู้โดยสารสามารถเปลี่ยนเส้นทางได้ ดังนั้นเพื่อให้โครงสร้างสามารถเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างสายการเดินรถทั้งในส่วนการวางแผนการเดินทางทั้งโครงข่ายและการวางแผนระบบขนส่งทางราง จึงต้องมีการกำหนดรหัสสถานีร่วมเพิ่ม เพื่อเป็นข้อมูลบ่งชี้ถึงการแลกเปลี่ยนการเดินทาง และเชื่อมต่อข้อมูลการเดินทางระหว่างสายการเดินรถ การออกแบบรหัสสถานีร่วมต้องกำหนดให้รหัสมีลักษณะเฉพาะ โครงสร้างข้อมูลสำหรับตารางเวลาเดินรถประกอบด้วย รหัสของตารางเวลาเดินรถ สายที่ให้บริการและรหัสสถานีที่หยุดจอด วัน-เวลาที่ให้บริการ ทิศทาง รหัสสายการเดินรถ เวลาเดินทางระหว่างสถานีโดยระบุรหัสสถานีต้นทางและสถานีปลายทาง โครงสร้างข้อมูลสำหรับค่าโดยสาร ประกอบด้วย ค่าโดยสารพร้อมรหัสของค่าโดยสารเพื่อที่จะสามารถเชื่อมกับรหัสของประเภทตั๋วและรหัสสถานีต้นทาง-ปลายทาง ตั๋วโดยสารยังมีการระบุถึงประเภทของตั๋วและคำอธิบายของตั๋วโดยสารแต่ละประเภท โครงสร้างข้อมูลของสายการเดินรถและผู้ให้บริการประกอบด้วย ชื่อ-รหัสสายการเดินรถพร้อมกับรหัสของหน่วยงานที่ให้บริการสายการเดินรถนั้น ๆ โดยสายการเดินรถไฟฟ้าในกรุงเทพฯปัจจุบันยังไม่มีหน่วยงานเดินรถร่วมกันบนเส้นทางเดียวกัน หน่วยงานที่ให้บริการต้องถูกระบุข้อมูลที่อยู่และช่องทางการติดต่อ นอกจากหน่วยงานที่ให้บริการยังมีข้อมูลหน่วยงานที่เป็นเจ้าของโครงการสายการเดินรถนั้น ๆ ในส่วนโครงสร้างข้อมูลการใช้งานของผู้โดยสาร ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักคือ ข้อมูลการเดินทางแบบสถานีต้น-ปลายทาง ประกอบด้วย รหัสสถานีต้นทาง-ปลายทาง วัน-เวลาของข้อมูล และข้อมูลการเดินทางรายสถานีเข้า-ออก วัน-เวลาของข้อมูล และรหัสสถานีนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบของโครงสร้างข้อมูลพื้นฐานในระบบรถไฟฟ้า

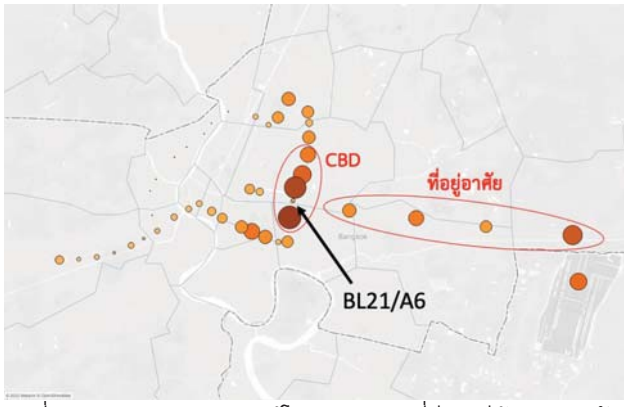
รหัสสถานีร่วม หรือ Common station code ถูกระบุเป็น Data attribute ในส่วนของโครงสร้างข้อมูลสถานี และรหัสสถานีร่วมเองก็มีการเก็บข้อมูลในตัวเองเพื่ออธิบายลักษณะความแตกต่างระหว่างรหัสจากผลลัพธ์การออกแบบรหัสสถานีร่วมเป็นดังตารางที่ 1 รหัสสถานีร่วมช่วยให้การระบุสถานีที่สามารถเปลี่ยนสายการเดินรถได้ แต่ถึงอย่างไรต้องมีการกำหนดลักษณะเฉพาะลงในรหัสเพื่อเห็นถึงความแตกต่างของสถานี โดยกำหนดให้ รหัสสองตัวหน้าเป็นหมายเลขสถานีเปลี่ยนถ่าย และรหัสสองตัวหลังแสดงถึงประเภทของการเปลี่ยนถ่ายที่สามารถมีได้ 3 กรณีคือ 10 01 และ 11 ที่หมายถึง สถานีที่ผู้โดยสารเปลี่ยนชานชาลา สถานีที่ผู้โดยสารต้องเดินเปลี่ยนสถานี และสถานีที่ผู้โดยสารเปลี่ยนสายภายในสถานีเดียวกัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการสถานีแลกเปลี่ยนในกรุงเทพฯ

ตารางที่ 1 รหัสสถานีร่วม (Common station code)

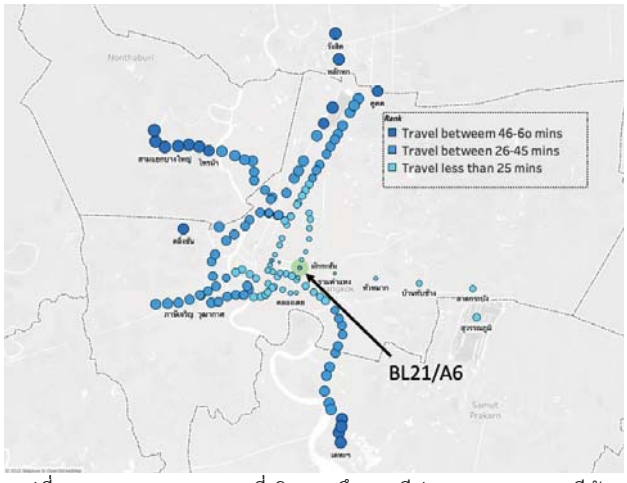
รหัสสถานีร่วม (Common station code)	รหัสสถานี (Station code)	ลำดับสถานีร่วม (Sequence)	ประเภทเปลี่ยนถ่าย (Interchange type)
0110	CEN	01	10
0201	E4/BL22	02	01
0301	E15/Y23	03	01
0401	N2/A8/RE04	04	01
0501	N8/BL13	05	01
0601	N9/BL14	06	01
0701	S2/BL26	07	01
0801	S7/G1	08	01
0901	S12/BL34	09	01
1010	BL01	10	10
1110	PP16/BL10	11	10
1201	BL11	12	01
1211	RN01/RS01/RW01/RE01/A9	12	11
1301	BL15/Y1	13	01
1401	BL21/A6	14	01
1501	PP15/RW02	15	01

หลังจากกำหนดรหัสสถานีร่วม ข้อมูล OD ของสองสายการเดินรถที่มีสถานีร่วมกันจึงสามารถแสดงผลได้พร้อมกันในแผนภาพ Data visualization ดังรูปที่ 2 ที่กำหนดให้ใช้รหัสสถานีร่วม 1401 คือ สถานีร่วมระหว่างสถานีมักกะสัน (A6) สาย ARL และสถานีเพชรบุรี (BL21) สายสีน้ำเงิน ขนาดของวงกลมและสีที่แตกต่างแสดงถึงปริมาณผู้โดยสารขาออกที่สถานนั้น ๆ โดยยิ่งขนาดวงกลมใหญ่และสีเข้มขึ้นหมายถึงปริมาณผู้โดยสารขาออกมากขึ้น ผู้โดยสารเข้าสู่สถานีร่วมที่เป็นสถานที่ในบริเวณเดียวกันและเดินทางออกไปยังสถานีที่ตั้งอยู่ในเขตต่าง ๆ ของกรุงเทพฯ จากรูปปริมาณผู้โดยสารขาออกส่วนใหญ่อยู่

ในย่าน Central Business Area (CBA) และย่านที่อยู่อาศัยของกรุงเทพฯ ข้อมูลพื้นฐานเรื่องเวลาเดินทางที่อยู่ในโครงสร้างข้อมูลตารางเวลาเดินรถถูกนำมาแสดงผลดังในรูปที่ 3 จากรูปได้แสดงเวลาที่ใช้เดินทางไปยังสถานีต่าง ๆ จากสถานีต้นทางที่กำหนดคือสถานีร่วมมักกะสัน-เพชรบุรี โดยวงกลมขนาดใหญ่หมายถึงเวลาเดินทางที่ใช้มากขึ้น สถานีที่ยิ่งอยู่ห่างจากสถานีต้นทางจะยิ่งแสดงขนาดใหญ่ สีของวงกลมมี 3 สีแบ่งตามช่วงระยะเวลาที่ใช้เดินทางประกอบด้วย สีฟ้าแสดงเวลาที่ใช้เดินทางน้อยกว่า 25 นาที สีน้ำเงิน แสดงเวลาที่ใช้เดินทางระหว่าง 26-45 นาที และสีน้ำเงินเข้มแสดงเวลาที่ใช้เดินทางระหว่าง 46-60 นาที เวลาเดินทางที่แสดงเป็นผลรวมของเวลาเดินทางที่น้อยที่สุดที่ไปยังสถานีปลายทางนั้น ๆ กับเวลาที่ผู้โดยสารต้องเดินเท้าเปลี่ยนถ่ายสถานี เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 2 และ 3 พบว่าผู้โดยสารที่ขึ้นจากสถานีร่วมมักกะสัน-เพชรบุรี ส่วนใหญ่ใช้เวลาเดินทางน้อยกว่า 25 นาทีและมีบางส่วนที่ใช้เวลาเดินทางประมาณ 26-45 นาทีเพื่อเดินทางไปยังสถานีปลายทางในสาย ARL หรือสายสีน้ำเงิน



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงจำนวนผู้โดยสารขาออกที่มีสถานีต้นทางร่วมกันสถานีมักกะสัน(A6)สายARL และสถานีเพชรบุรี(BL21)สายสีน้ำเงิน



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงเวลาที่เดินทางถึงสถานีปลายทางจากสถานีต้นทางร่วมสถานีมักกะสัน(A6)-สถานีเพชรบุรี(BL21)

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การออกแบบโครงสร้างข้อมูลพื้นฐานร่วมกันในระบบรางกรุงเทพฯ สรุปผลได้ดังนี้ 1.การบริการจัดการข้อมูลทำให้มีความพร้อมต่อการเก็บรวบรวมข้อมูล แก้ไขข้อมูล แล้วนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลแบบข้ามสายการเดินรถ 2.การออกแบบรหัสสถานีร่วมมีส่วนช่วยให้เห็นลักษณะการเดินทางแบบข้ามเขตในกรุงเทพฯได้ในมุมมองที่กว้างขึ้น แต่ถึงอย่างไรข้อมูล OD เป็นเพียงข้อมูลที่เกิดขึ้นภายในสายการเดินรถนั้น ๆ ซึ่งยังไม่ได้สะท้อนถึงสถานีต้นทาง-ปลายทางที่แท้จริงที่ผู้โดยสารเดินทาง จากผลลัพธ์ในเบื้องต้นพบว่าโครงสร้างทั้งหมดมีส่วนประกอบของสถานีที่เป็นองค์ประกอบหลัก สถานีจึงควรถูกกำหนดและแก้ไขอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อที่จะไม่กระทบต่อข้อมูลในส่วนอื่น ๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่สนับสนุนทุนการศึกษาระดับปริญญาโท ภายใต้ทุนสนับสนุนศิษย์เก่า

เอกสารอ้างอิง

[1] Antrim A, Barbeau SJ. The many uses of GTFS data–opening the door to transit and multimodal applications. Location-Aware Information Systems Laboratory at the University of South Florida. 2013.

[2] Lu K, Liu J, Zhou X, Han B. A Review of Big Data Applications in Urban Transit Systems. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020.

[3] Antunes H, Figueiras P, Costa R, Teixeira J, Jardim-Gonçalves R. Big data analytics for extracting mobility patterns in a large urban center. 2019.

[4] Transport for London. Our open data. [cite 2021.Available from: https://tfl.gov.uk/info-for/open-data-users/our-open-data?intcmp=3671#on-this-page-9.]

[5] Department for Transport. National Public Transport Access Nodes (NaPTAN) [12 June 2014]. 2014 [Available from: https: / / data. gov. uk/ dataset/ ff93ffc1- 6656- 47d8- 9155-85ea0b8f2251/national-public-transport-access-nodes-naptan.]

[6] National Location Code: Wikipedia, The Free Encyclopedia.; 2020 [updated 8/08/2020 17:26 (UTC)]. [Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/National_Location_Code.]

[7] HrnČíř J. Improving a collaborative travel planning application: Citeseer; 2011.

[8] Fu X, Gu Y. Impact of a new metro line: Analysis of metro passenger flow and travel time based on smart card data. Journal of advanced transportation. 2018.

[9] Taboada GL, Han L. Exploratory Data Analysis and Data Envelopment Analysis of Urban Rail Transit. Electronics. 2020;9(8):1270.

[10] Sun Y, Shi J, Schonfeld PM. Identifying passenger flow characteristics and evaluating travel time reliability by visualizing AFC data: a case study of Shanghai Metro. Public Transport. 2016;8(3):341-63.

[11] Mass Rapid Transit Master Plan in Bangkok Metropolitan Region: Wikipedia, The Free Encyclopedia.; 2020 [updated 24/02/2020 12:53 UTC. [Available from: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mass_Rapid_Transit_Master_Plan_in_Bangkok_Metropolitan_Region&oldid=942400295.]

[12] Giraud A, Trépanier M, Morency C, Légaré F. Data fusion of APC, smart card and GTFS to visualize public transit use. CIRRELT, Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise. 2016.

[13] CLARE. Bangkok Mass Transit Map 2022 [updated 3 March 2022]; cited 2022. [Available from: https://www.eg.mahidol.ac.th/dept/clare/en/component/content/article/14-research/bangkok-metro-enhancement/104-bangkok-mass-trasit.html?Itemid=141.]

[14] Bangkok Mass Transit System. 2022 [Available from: https://www.bts.co.th.]

[15] Bangkok Expressway and Metro Public Company Limited. 2022 [Available from: https://metro.bemplc.co.th.]

[16] Airport Rail Link. 2022 [Available from: https://metro.bemplc.co.th.]

การพัฒนาระบบธุรกิจอัจฉริยะเพื่อสนับสนุนการควบคุมคุณภาพการผลิต

Development of Business Intelligence system to support production quality control

มนิศรา นิรันดร[1*] คเณศ พันธุ์สวาสดิ์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: NIRANDORN_M@su.ac.th*

Manisara Nirandorn[1*] Kanate Puntusavase[1]
[1] Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: NIRANDORN_M@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำธุรกิจอัจฉริยะมาจัดการกับข้อมูลได้และสามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาในรูปของแดชบอร์ด โดยกลุ่มตัวอย่างข้อมูลเป็นชุดข้อมูลการทดสอบสารระเหยและข้อมูลออเดอร์การทำงานและลูกค้า ที่ถูกเก็บรวบรวมตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 มาผ่านกระบวนการอีทีแอล จากนั้นจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบตารางไฟล์เอกซ์เซลและถูกโหลดเข้าโปรแกรม ไมโครซอฟท์ พาวเวอร์ บีไอ เพื่อใช้ในวิเคราะห์และประมวลผลออกมาเพื่อนำเสนอข้อมูลในรูปแบบแดชบอร์ด สำหรับสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง โดยระบบสามารถปรับปรุงการแสดงภาพให้ดีขึ้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบธุรกิจอัจฉริยะ, กระบวนการอีทีแอล, แดชบอร์ด

Abstract

This research aims to bring business intelligence to manage data and analyze data in the form of dashboards. The data sample is a Volatile test data and works order data and customer data collected from January 2021 to December 2021 with the ETL process. Then the data is stored as a table Excel file and loaded into the program Microsoft Power BI for use in analyzing and processing to present data in a dashboard format. For supporting the decision making of executives and stakeholders. In conclusion, The system can improve the display of images better, that to be used in the analysis to meet the needs of users effectively.

Keywords: Business Intelligence system, ETL process, Dashboard

1. บทนำ

บริษัทที่จะรักษามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ได้ต้องทำการควบคุมคุณภาพซึ่งเป็นกระบวนการที่บริษัททำให้แน่ใจว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีมาตรฐานหรือควรปรับปรุง การควบคุมคุณภาพทำได้โดยการฝึกอบรมบุคลากร การสร้างเกณฑ์มาตรฐานสำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการทดสอบผลิตภัณฑ์

การทดสอบคุณภาพเกี่ยวข้องกับแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต พนักงานมักจะเริ่มต้นด้วยการทดสอบวัตถุดิบ สุ่มตัวอย่างจากสายการผลิต และทดสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การทดสอบในขั้นตอนต่าง ๆ ของการผลิตจะช่วยระบุตำแหน่งที่เกิดปัญหาในการผลิตและขั้นตอนการแก้ไขที่จำเป็นสำหรับการป้องกัน นอกจากนี้การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการควบคุมคุณภาพสามารถส่งเสริมการรักษามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ในอนาคตได้ซึ่งในการทำงานปัจจุบันมีการอิงข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลของลูกค้า ข้อมูลทางสถิติ และข้อมูลทั้งหมดกระจัดกระจายไปตามแหล่งข้อมูลต่าง ๆ โดยใช้เครื่องมือการจัดเก็บที่หลากหลายซึ่งข้อมูลทั้งหมดควรอยู่ในโครงสร้างที่รวมกัน และข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ควรได้รับการจัดการที่ดีและการปรับปรุงให้ดีขึ้น เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้และนำเสนอต่อฝ่ายบริหาร ดังนั้นการใช้นำแดชบอร์ดเข้ามาใช้ช่วยทำให้บริษัทสามารถนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ประมวลผลแล้วมานำเสนอในรูปแบบที่ง่ายต่อการเข้าใจ เช่น กราฟ พร้อมคำอธิบาย ไปจนถึงภาพการกระจายของข้อมูล เพื่อง่ายต่อการนำเสนอต่อฝ่ายต่าง ๆ และช่วยในการตัดสินใจ และวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือสามารถนำระบบธุรกิจอัจฉริยะมาจัดการกับข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาในรูปของแดชบอร์ดเพื่อให้ง่ายต่อการตัดสินใจ

2. ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ธุรกิจอัจฉริยะ

ธุรกิจอัจฉริยะเป็นเครื่องมือทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศที่ผู้ใช้สามารถนำไปประมวลผล วิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากที่มาจากแหล่งข้อมูลหลายแหล่งที่มีทั้งรูปแบบ โครงสร้างข้อมูล ที่มีความแตกต่างกัน เพื่อให้เป็นสารสนเทศในรูปแบบที่ผู้ใช้ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1]

ธุรกิจอัจฉริยะเป็นเครื่องมือสนับสนุนการบริหาร การตัดสินใจได้ทุกหน้าที่งานไม่ว่าจะเป็นฝ่าย การตลาด การเงิน การผลิต ฯลฯ และตอบสนองบุคลากรทุกระดับในองค์กร เครื่องมือ ของ ธุรกิจอัจฉริยะมีตั้งแต่ระดับปฏิบัติการไปจนถึงระดับวางแผนกลยุทธ์ [1]

ดังนั้นธุรกิจอัจฉริยะเป็นการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศร่วมกับกระบวนการจัดการข้อมูลภายในและภายนอกองค์กรโดยนำข้อมูลนั้นมาทำการวิเคราะห์แล้วทำการนำเสนอในรูปแบบที่เข้าใจง่ายด้วยมุมมองที่หลากหลายเพื่อให้ผู้บริหารสามารถใช้ในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ และองค์ประกอบของบีไอประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1) อีทีแอล(ETL) 2) คลังข้อมูล 3) ชุดคำสั่งงานเพื่อการวิเคราะห์

2.1.1 อีทีแอล (ETL) เป็นชุดเครื่องมือที่ประกอบไปด้วยชุดเครื่องมือในการคัดแยก (Extract), เปลี่ยนแปลง (Transform) และบรรจุในที่จัดเก็บ (Load) เนื่องจากข้อมูลในแหล่งข้อมูลมีจำนวนมากสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้ใช้จะจึงความต้องการข้อมูลบางอย่างที่ไม่ใช่ข้อมูลทั้งหมด เครื่องมือชุดนี้จะช่วยทำหน้าที่คัดแยกข้อมูลเฉพาะที่ต้องการจากทุกแหล่งข้อมูลมารวมกัน ดังนั้นเครื่องมืออีทีแอล จะทำการทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing) เพื่อให้ข้อมูลมีความสอดคล้องกันทั้งหมดก่อนจะนำบรรจุลงที่เก็บที่คลังข้อมูล (Data Warehouse) [1]

2.1.2 คลังข้อมูล (Data Warehouse) เป็นที่จัดเก็บข้อมูลนำมาจากแหล่งข้อมูลภายในองค์กร ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกนำมาจัดเตรียม ให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมจะทำงานเชิงวิเคราะห์ (Analytical Data) ตามที่ผู้บริหารต้องการได้ [1] ซึ่งกระบวนการออกแบบคลังข้อมูลประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ 1) การเก็บความต้องการจากผู้ใช้งาน 2) การออกแบบโครงสร้างข้อมูล 3) ตารางมิติ และ 4) ตารางข้อเท็จจริง [2]

2.1.3 ชุดคำสั่งงานเพื่อการวิเคราะห์ คือ ชุดคำสั่งงานในการจัดทำรายงาน รายงานที่นำเสนอมักจะเป็นผลการดำเนินงานตามตัวบ่งชี้การดำเนินงานต่าง ๆ ของหน่วยงาน หรือการติดตาม ค่าเป้าหมายของการดำเนินงานที่สำคัญ การนำเสนอรายงานมักจะอยู่ในรูปแบบของกราฟเพื่อทำให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายผ่านแดชบอร์ด [1]

2.2 ไมโครซอฟท์ พาวเวอร์ บีไอ (Microsoft Power BI)

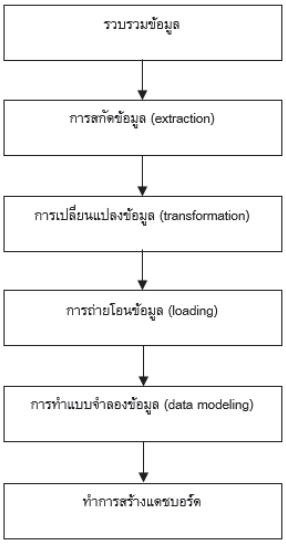
คือโปรแกรมที่ใช้ช่วยวิเคราะห์ สรุปผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว แสดงผลในรูปแบบของทำให้มองเห็นเป็นกราฟต่าง ๆ Power BI จะช่วยทำให้สามารถนำข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ มาวิเคราะห์และนำเสนอได้ในรูปแบบของ (Dashboard) รีพอร์ต (report) โดยผ่านกราฟและตัวเลขที่มีความหมาย เพื่อที่เราจะได้ค้นพบข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์เพื่อนำไปพัฒนาธุรกิจต่อไป ประกอบด้วยมุมมอง 3 มุมมอง คือ 1) Report View เป็นมุมมองที่จะใช้ในการแสดงผลรายงาน โดยมีเครื่องมือต่าง ๆ 2) Data View เป็นมุมมองที่จะใช้ในการแสดงข้อมูลที่ได้ Get Data โดยจะแสดงผลในรูปแบบตารางซึ่งจะอ่านได้อย่างเดียว 3) Model View เป็นมุมมองที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ [3]

2.3 ฐานข้อมูล (Database) คือ กลุ่มของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันนำมาเก็บรวบรวมเข้าไว้ด้วยกันอย่างมีระบบและต้องตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งานขององค์กรอีกด้วย ซึ่งข้อมูลส่วนนี้จะมีส่วนที่สัมพันธ์กันและเป็นที่ต้องการนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปในภายหลัง และข้อมูลนั้นอาจจะเกี่ยวข้องกับบุคคล สิ่งของ สถานที่ หรือเหตุการณ์ต่าง ๆ หรืออาจได้มาจากการสังเกตการนับหรือการวัดก็ได้รวมทั้งข้อมูลที่เป็นตัวเลข ข้อความและรูปภาพต่าง ๆ ก็สามารถนำมาจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลได้และที่สำคัญข้อมูลทุกอย่างต้องมีความสัมพันธ์กันอีกด้วย [4]

2.4 Data Visualization เป็นการแสดงข้อมูลหรือผลลัพธ์ต่าง ๆ ในระหว่างคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้งานในรูปแบบของภาพ แผนภาพ และกราฟ โดยผู้ใช้สามารถจดจำข้อมูลผ่านการมองได้มากกว่า ซึ่งกล่าวก็คือ Data Visualization เป็นการนำข้อมูลมาสร้างมโนภาพของสิ่งต่าง ๆ ต่อมาได้กลายเป็นการนำภาพมาใช้กับการนำเสนอหรือนำมาเป็นกรอบความคิดซึ่งได้นำไปช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารได้อีกด้วย [5]

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินการศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อนำธุรกิจอัจฉริยะมาจัดการกับข้อมูลได้และสามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาในรูปของแดชบอร์ดเพื่อช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลและง่ายต่อการนำไปใช้งานต่อไป โดยการนำเอาเครื่องมือในการสนับสนุนการวิเคราะห์คือ Microsoft Power BI มาใช้ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลและใช้ในสร้างระบบธุรกิจอัจฉริยะวิเคราะห์ข้อมูลภาพรวมสำหรับผู้บริหารให้สามารถเรียกดูข้อมูลต่าง ๆ ได้ตามที่ต้องการ มีขั้นตอนดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบการระเหยและข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้มาจาก 2 แหล่งข้อมูล คือ 1) ข้อมูลการทดสอบการระเหยในไฟล์ Excel 2) ข้อมูลข้อมูลออเดอร์งานและข้อมูลลูกค้าในรูปแบบเอกสาร ซึ่งข้อมูลทั้ง 2 เป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564

3.1.1 ตัวอย่างข้อมูลการทดสอบการระเหย ได้แก่ วันที่ในการทดสอบ Batch No. ผลิตภัณฑ์ % Volatile ผลการทดสอบ หมายเลขเตาอบ หมายเลขถาด เวลาที่ใช้ในการอบ กะการทำงานของพนักงานและวัสดุที่ใช้

3.1.2 ตัวอย่างข้อมูลลูกค้าและข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ได้แก่ วันที่แพ็คสินค้า ลูกค้า Work Order Batch No. คำอธิบายสินค้า จำนวนสินค้า (ชิ้น/กล่อง) และขนาดล็อต (กล่อง)

3.2 การจัดการข้อมูลดิบ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการจัดการข้อมูลดิบเพื่อคัดกรอง เปลี่ยนแปลง และทำให้ข้อมูลมีความครบถ้วนก่อนจัดเก็บในคลังข้อมูล โดยใช้กระบวนการอีทีแอล มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การสกัดข้อมูล (extraction) การสกัดข้อมูลเป็นขั้นตอนการกรองข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และกำจัดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้แบ่งวิธีการสกัดข้อมูลเป็น 2 ส่วน คือ

1) การสกัดข้อมูลการทดสอบการระเหย

การสกัดข้อมูลการทดสอบการระเหยในไฟล์ Excel แบบเดิมที่มีการแยกไฟล์ตามวันที่ซึ่งแต่ละไฟล์มีความผิดปกติของข้อมูลจึงต้องทำความสะอาดข้อมูลก่อนและแก้ไขข้อมูลใหม่ก่อนที่จะมีการนำมาใช้ต่อ

จากข้อมูลในรูปที่ 2 พบว่าข้อมูลมีความผิดปกติที่ข้อมูลที่ Weight “c” ครั้งที่ 2 คือการไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลจึงต้องทำความสะอาดชุดข้อมูลให้ครบถ้วนสมบูรณ์ก่อน โดยพิจารณาสำหรับการแก้ไขข้อมูล ในที่นี่ทำการกำจัดชุดข้อมูลออก

Batch No.	Product	Weight "A"	Weight "B"	Weight "C"	% of Weight Difference	% of Volatile	Result	Oven No.
18111223	SN4 Newborn	44.4094	54.2598	54.2360	0.2416	0.261	PASS	1/1
		46.2486	56.0707	56.0431	0.2810			
18111223	SN4 Newborn	45.0639	55.0243	55.0000	0.2440	0.239	PASS	1/1
		47.5339	57.4587	57.4355	0.2338			
18311223	SN4 Newborn	42.5660	52.3718	52.3536	0.1856	0.198	PASS	1/1
		45.8908	55.7453	55.7246	0.2101			
18311223	SN4 Newborn	43.7213	53.5680	53.5516	0.1666	0.184	PASS	1/1
		48.0302	58.0124	57.9923	0.2014			
18311223	SN4 Newborn	47.2142	57.1936	57.1691	0.2455	0.236	PASS	1/1
		46.9394	56.7650	56.7427	0.2270			
18311223	SN4 Newborn	45.0914	55.0674	[illegible]	0.2115	284.210	FAIL	1/1
		45.9847	55.8061		568.2092			

รูปที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลที่ไม่ครบถ้วน

จากข้อมูลในรูปที่ 3 พบว่าข้อมูล Batch No. ที่ 3 และ 4 ไม่สอดคล้องกัน ซึ่งปกติในชุดข้อมูลต้องตรงกันจึงต้องทำความสะอาดชุดข้อมูล โดยพิจารณาแก้ไขข้อมูลโดยการสอบถามผู้ที่เกี่ยวข้องและแก้ไขข้อมูลให้ถูกต้อง

Batch No.	Product	Weight "A"	Weight "B"	Weight "C"	% of Weight Difference	% of Volatile	Result	Oven No.
		46.5688	57.6278	57.5899	0.3427	0.392	FAIL	1/2
17310819	Evenflo ultra w/n 'S'	49.9972	61.4633	61.4128	0.4404			
		47.2194	58.5413	58.5019	0.3480	0.311	PASS	1/2
17310819	Evenflo ultra w/n 'S'	46.4826	57.9865	57.9549	0.2747			
		44.7288	56.2565	56.2322	0.2108	0.239	PASS	1/2
17310810	Evenflo ultra w/n 'S'	45.9907	57.3302	57.2999	0.2672			
		43.6528	55.0276	54.9998	0.2444	0.244	PASS	1/2
17310816	Evenflo ultra w/n 'S'	45.8092	57.1184	57.0909	0.2432			
		43.4077	54.7491	54.7240	0.2213	0.228	PASS	1/2
17210811	Evenflo ultra w/n 'S'	45.8897	57.2336	57.2069	0.2354			
		45.1006	56.6073	56.5766	0.2668	0.251	PASS	1/2
17210811	Evenflo ultra w/n 'S'	46.9480	58.2616	58.2349	0.2360			

รูปที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลที่ผิดปกติ

จากข้อมูลในรูปที่ 4 ด้านซ้ายก่อนกระบวนการอีทีแอล พบว่าข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุดเดียวกันมีการเก็บข้อมูลที่ไม่ตรงกัน เช่น การพิมพ์ผิด การเว้นวรรคที่ไม่ต้องกัน จึงต้องทำความสะอาดชุดข้อมูลแก้ไขข้อมูลให้ในชุดเดียวกันดังด้านขวา ให้ถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์ก่อน

Product
Breast shield no logo "M"
Breast shield no logo "M"
Breast shield no logo "M"
Breast shield no logo "M"
Breast shield no logo "M"
Breast shield no logo "M"
SN4 Newborn "S"
SN4 Newborn "S"
SN4 Newborn "S"
SN4 Newborn "S"
SN4 Newborn "S"
Proflow stdnext "S"
Proflow stdnext "S"
Proflow stdnext "S"
Proflow stdnext "S"
Proflow stdnext "S"
Proflow stdnext "S"

Product
Breast shield no logo
Breast shield no logo
Breast shield no logo
Breast shield no logo
Breast shield no logo
Breast shield no logo
SN4 New born
SN4 New born
SN4 New born
SN4 New born
SN4 New born
SN4 New born
Proflow std neck
Proflow std neck
Proflow std neck
Proflow std neck
Proflow std neck
Proflow std neck

รูปที่ 4 ตัวอย่างข้อมูล Product

2) ข้อมูลออเดอร์งานและข้อมูลลูกค้า

การสกัดข้อมูลออเดอร์งานและข้อมูลลูกค้า ซึ่งมีการจัดเก็บเป็นรูปแบบรายงานเอกสารตั้งแต่มกราคม 2564 - ธันวาคม 2564 ทำให้การเรียกใช้ข้อมูลมีความยุ่งยากและซับซ้อน และมีการทำความสะอาดข้อมูลให้ถูกต้องครบถ้วนก่อน

3.2.2 การเปลี่ยนแปลงข้อมูล (transformation) ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใช้สำหรับการเปลี่ยนชนิดของข้อมูลและทำให้ข้อมูลควบถ้วนก่อนจัดเก็บเข้าคลังข้อมูล ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล 2 ส่วน คือ

1) ข้อมูลการทดสอบการระเหย

จากข้อมูลในรูปที่ 5 พบว่าข้อมูล Weight A, Weight B, Weight C, % Difference Weight ทางซ้ายมือยังมีข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกันจึงนำมาจัดเรียง Attribute ใหม่ โดยการสลับทิศทางตำแหน่งของการแสดงข้อมูล

Weight "A"	Weight "B"	Weight "C"	% of Weight Difference
43.6477	53.4233	53.3899	0.3417
46.8576	56.6177	56.5809	0.3770
43.4486	53.2656	53.2284	0.3789
46.4967	56.2924	56.2634	0.2960
43.5704	61.4282	61.3750	0.2979
46.4810	64.3125	64.2543	0.3264
43.6210	61.1680	61.1182	0.2838
45.5162	63.0761	63.0286	0.2705
45.1146	54.8742	54.8393	0.3576
49.9986	59.7373	59.7046	0.3358
43.5513	53.3875	53.3573	0.3070
46.8014	56.5132	56.4827	0.3141

Weight A/1	Weight A/2	Weight B/1	Weight B/2	Weight C/1	Weight C/2	% Difference Weight/	% Difference Weight/
43.6471	46.4948	55.4941	58.3312	55.4621	58.2896	0.2701	0.3515
43.6199	46.7920	55.3942	58.5942	55.3628	58.5588	0.2667	0.2999
43.5701	46.8587	55.2996	58.6623	55.2733	58.6279	0.2242	0.2914
45.1143	46.9259	56.9105	58.6890	56.8826	58.6566	0.2365	0.2754
43.5511	45.5157	55.3861	57.3064	55.3603	57.2808	0.2180	0.2171
43.4553	46.4892	55.2156	58.3150	55.1910	58.2847	0.2092	0.2562
43.6462	46.4953	53.2831	55.9982	53.2551	55.9668	0.2905	0.3304
43.6186	46.7964	53.1464	56.3357	53.1143	56.3063	0.3369	0.3082
43.5692	46.8571	53.2589	56.4325	53.2232	56.3962	0.3684	0.3791
45.1112	46.9229	54.6857	56.5512	54.6454	56.5062	0.4209	0.4674

รูปที่ 5 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงข้อมูลการสลับทิศทางตำแหน่ง

จากข้อมูลในรูปที่ 6 เป็นตัวอย่างของข้อมูลที่มีการทำเปลี่ยนแปลงข้อมูล โดยการแปลงข้อมูลด้วยการเปลี่ยนข้อมูลจาก 1/1 เป็น 1 1/2 เป็น 2 1/3 เป็น 3 1/4 เป็น 4 1/5 เป็น 5

Oven No.
1/1
1/1
1/1
1/1
1/1
1/1
1/4
1/4
1/4
1/4
1/4
1/4

Oven No.
1
1
1
1
1
1
4
4
4
4
4
4

รูปที่ 6 ตัวอย่างการแปลข้อมูล

การสร้างตารางใหม่สำหรับตรวจสอบข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้ข้อมูลมีความสมบูรณ์ที่สุด 3 ตาราง คือ 1) ตาราง Oven เพิ่มและเพิ่ม Attribute Description 2) ตาราง Group Shift ได้เพิ่ม Attribute เวลาทำงานและจำนวนคนทำงานแผนกอบ 3) ตาราง Material ซึ่งประกอบด้วย 2 Attribute คือ Batch Materialและ Material เพื่ออธิบายวัสดุที่ใช้

2) ข้อมูลออเดอร์งานและข้อมูลลูกค้า จากเดิมที่มีการเก็บในรูปแบบเอกสารได้มีการออกแบบตาราง 2 ตาราง คือ ตารางออเดอร์งานประกอบด้วย 5 Attribute คือ DD/MM/YY, Work order, Batch No., Quantity, Lot size และตารางข้อมูลลูกค้า ประกอบด้วย 5 Attribute คือ Work order, Customer, Oz., ml, Description

3.2.3 การถ่ายโอนข้อมูล (loading)

การถ่ายโอนข้อมูลจากตาราง Excel สกุล xls นำเข้าโปรแกรม Microsoft Power BI Desktop ด้วยวิธีการ import เข้าและจัดเก็บในระบบ Data warehouse เลือกตารางข้อมูลที่ผ่านการสกัดและเปลี่ยนแปลงแล้วจำนวนทั้งหมด 6 ตาราง ประกอบด้วย ตารางมิติจำนวน 5 ตาราง และตารางข้อเท็จจริง จำนวน 1 ตาราง มีขั้นตอนดังนี้

1) เปิดโปรแกรม Microsoft Power BI Desktop เพื่อเตรียมพร้อมในการนำข้อมูลเข้า

2) กดนำเข้าข้อมูลจาก Excel

3) จากขั้นตอนที่ 2) หลังจากนั้นเลือกตารางที่ต้องการนำเข้าแล้วกดปุ่มโหลดเพื่อโหลดข้อมูลเข้าโปรแกรม Microsoft Power BI Desktop

3.3 การทำแบบจำลองข้อมูล (data modeling)

เป็นขั้นตอนการบูรณาการข้อมูลที่ผ่านการรวบรวมและผ่านการเตรียมข้อมูลเพื่อกำหนดมิติข้อมูลสำหรับการนำไปใช้วิเคราะห์ผล โดยการนำโครงสร้างคลังข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้ประกอบด้วยตารางมิติและตารางข้อเท็จจริง ดังนี้

3.3.1 ตารางมิติ (Dimension table) คือ ตารางมิติสำหรับการพัฒนาระบบคลังข้อมูลประกอบด้วยตารางมิติ จำนวน 5 ตาราง ซึ่งแสดงตารางมิติทั้งหมดที่จัดเก็บข้อมูล

1) ตารางมิติเตาอบ (Oven) จัดเก็บข้อมูลคำอธิบายเกี่ยวกับเตาอบ ภายในตารางมิติประกอบด้วย Oven No. และ Description of oven

2) ตารางมิติกลุ่มการทำงาน (Group Shift) จัดเก็บข้อมูลกลุ่มการทำงานซึ่งมีทั้งหมด 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A, กลุ่ม B และกลุ่ม C ภายในตารางมิติประกอบด้วย Group Shift เวลาการทำงาน และจำนวนคนทำงานแผนกอบ

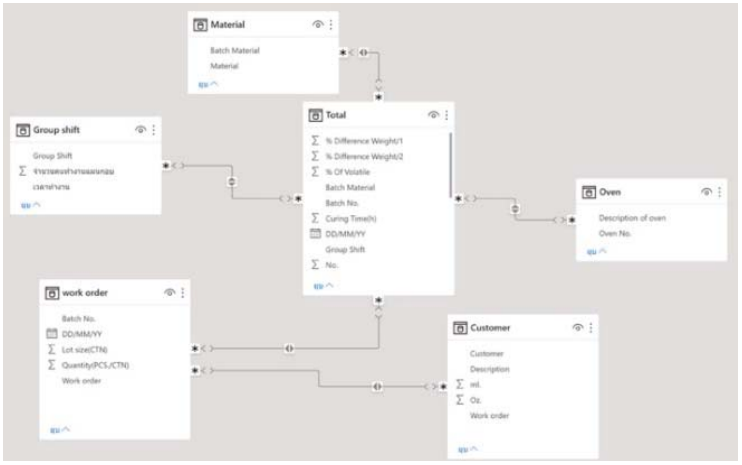
3) ตารางมิติวัสดุ (Material) จัดเก็บข้อมูลด้านวัสดุที่ใช้ในการผลิตสินค้า ภายในตารางมิติประกอบด้วย Batch Material และ Material

4) ตารางมิติออเดอร์การทำงาน (Work order) จัดเก็บข้อมูลด้านออเดอร์การทำงาน ชุดกลุ่มข้อมูล Batch จำนวนสินค้าต่อกล่อง ขนาดล็อตของลูกค้า ซึ่งภายในตารางมิติประกอบด้วย DD/MM/YY, Work order, Batch No., Quantity(PCS./CTN), Lot size (CTN)

5) ตารางมิติลูกค้า (Customer) จัดเก็บข้อมูลด้านลูกค้าและคำอธิบายเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ภายในตารางมิติประกอบด้วย Work order, Customer, Oz., ml., Description

3.3.2 ตารางข้อเท็จจริง (Fact table) คือ ตารางข้อเท็จจริงเป็นตารางสำหรับเก็บรหัสมิติของตารางมิติที่เกี่ยวข้อง ตารางข้อเท็จจริงนี้ได้มีการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ผลต่างของค่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์ค่า Volatile ของผลิตภัณฑ์ ผลประเมินค่า Volatile อีกทั้งยังมีข้อมูลด้านเลขเตาอบ ข้อมูลด้านถาดที่ใส่ผลิตภัณฑ์ ข้อมูลด้านอุณหภูมิที่ใช้ ข้อมูลด้านเวลาที่ใช้อบ ข้อมูลด้านกลุ่มการทำงาน และเลขชุดของวัสดุที่ใช้

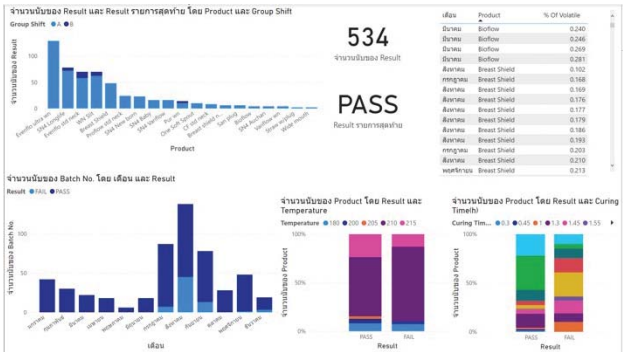
การทำแบบจำลองข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วยตารางมิติ จำนวน 5 ตาราง และตารางข้อเท็จจริง จำนวน 1 ตาราง ซึ่งได้เชื่อมโยงลักษณะโครงสร้างระบบคลังข้อมูลแบบ Snowflake schema ในส่วน Model View ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 data model view

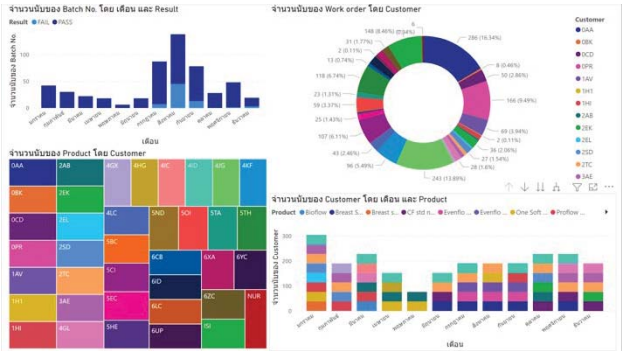
4. ผลการวิจัย

จากการรวบรวมข้อมูลและจัดการกับข้อมูลดิบด้วยกระบวนการอีทีแอล (ETL process) และออกแบบแดชบอร์ดเพื่อนำเสนอข้อมูลเพื่อง่ายต่อการตัดสินใจ ดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9



รูปที่ 8 แดชบอร์ดเกี่ยวกับผลการทดสอบสารระเหย

จากรูปที่ 8 จะแสดงภาพรวมของเสีย โดยมีกราฟแท่งที่แสดงจำนวนผลลัพธ์ของจำนวนกะการทำงานในแต่ละผลิตภัณฑ์ กราฟแท่งที่แสดงจำนวน Batch No.ของผลลัพธ์ในแต่ละเดือน การ์ดแสดงเลขจำนวนของเสีย ตารางผลิตภัณฑ์ในแต่ละเดือนแสดงค่า % Of Volatile กราฟจำนวนผลิตภัณฑ์ของอุณหภูมิที่มีผลต่อผลลัพธ์ และกราฟจำนวนผลิตภัณฑ์ของเวลาอบที่มีผลต่อผลลัพธ์



รูปที่ 9 แดชบอร์ดเกี่ยวกับออเดอร์และลูกค้า

จากรูปที่ 9 จะแสดงกราฟแท่งจำนวน Batch No.ของผลลัพธ์ในแต่ละเดือน กราฟผลิตภัณฑ์ที่มีการสั่งซื้อจากลูกค้า กราฟจำนวนของ Work order ในแต่ละลูกค้า และกราฟแท่งจำนวนของลูกค้าแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละเดือน

5. สรุปและอภิปราย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการจัดการข้อมูลดิบและนำเสนอข้อมูลด้วยการรวบรวมข้อมูลดิบและผ่านกระบวนการอีทีแอล (ETL process) จากนั้นถูกจัดเก็บข้อมูลลงโปรแกรม Microsoft Power BI Desktop และเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างตารางสำหรับออกแบบแดชบอร์ด เพื่อนำเสนอข้อมูลในรูปแบบภาพ ซึ่งสรุปได้ว่าสามารถนำระบบธุรกิจอัจฉริยะมาจัดการกับข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาในรูปของแดชบอร์ดเพื่อให้ง่ายต่อการตัดสินใจได้

6. ข้อเสนอแนะ

จากการรวบรวมข้อมูลและจัดการกับข้อมูลพบว่า ข้อมูลตัวอย่างจำนวนมากมีการเว้นช่องว่างของข้อมูลและการพิมพ์ชื่อผลิตภัณฑ์ผิด บ่งบอกถึงปัญหาในการเก็บในการข้อมูล ดังนั้นควรตรวจสอบข้อมูลก่อนทำการจัดเก็บเพื่อลดระยะเวลาการทำความสะอาดข้อมูล ในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการออกแบบการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ให้ข้อมูลบริษัทที่ให้ข้อมูลและพนักงานในแผนกทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ศรีสมรัก อินทุจันทร์ยง. 2556. “Business Intelligence กับการบริหารวางแผนและตัดสินใจ”. วารสารบริหารธุรกิจ, ปีที่ 36, ฉบับที่ 137: 3-7.

[2] ธนาภรณ์ ปานรังศรี. 2561. การจัดการข้อมูลภัยพิบัติด้วยระบบธุรกิจอัจฉริยะ : กรณีศึกษาผลกระทบระดับความรุนแรงจากภัยแล้ง อุทกภัย และดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต(วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). สงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[3] 9EXPERT. 2562. Power BI Desktop คืออะไร. ข้อมูลจาก https://www.9experttraining.com/articles/power-bi-desktop-คืออะไร (สืบค้น 14 มกราคม 2565)

[4] สุรชาติ วรกุลรังสรรค์. 2561. ระบบธุรกิจอัจฉริยะเพื่อการสนับสนุนการตัดสินใจถึงสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษ(วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

[5] ธีรภัทร ปิยาพันธ์. 2561. การพัฒนาระบบคลังข้อมูลร่วมกับการแสดงผลเชิงแผนที่เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ(วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

การเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างแดชบอร์ด

Data preparation for dashboard creation

เจนิสตา ตันยะไพบูลย์[1*] คเณศ พันธุ์สวาสดิ์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: wannapa@su.ac.th*

Janista Tanyapaiboon[1*] Kanate Puntusavase[1]
[1] Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: TANYAPAIBOON_J@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการเตรียมข้อมูลที่ใช้สำหรับการสร้างแดชบอร์ด การเตรียมข้อมูลจะใช้ตัวอย่างข้อมูลแจ้งซ่อมมาทำการนำเสนอการเตรียมข้อมูลประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การทำความสะอาดข้อมูล การจัดรูปแบบ/การแปลงข้อมูลใหม่และการสร้างแบบจำลองข้อมูล จากนั้นทำการสร้างแดชบอร์ดโดยนำเสนอข้อมูลในรูปแบบภาพ ตัวเลขและแผนภูมิต่างๆซึ่งแดชบอร์ดนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เห็นภาพรวมข้อมูลเพื่อให้ผู้บริหารสามารถกำหนดทิศทางในการตัดสินใจได้ง่ายขึ้น จากการประเมินความพึงพอใจของระบบโดยผู้บริหารจำนวน 5 คน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.98 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.51 ซึ่งสรุปได้ว่าจากการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างแดชบอร์ดในงานวิจัยนี้ใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การเตรียมข้อมูล, แดชบอร์ด, การสร้างภาพข้อมูล, ระบบธุรกิจอัจฉริยะ

Abstract

This research aims to present the data preparation used for creating dashboards. Data preparation uses a sample repair report to be presented data preparation consists of 3 steps: data cleaning. New data formatting/transformation and data modeling Then create a dashboard by presenting the data in a visual format, numbers and charts on this dashboard are an essential part of providing an overview of the data to make it easier for managers to direct decision-making. In the evaluation of system satisfaction assessment by 5 executives, that was 3.98 and the standard deviation was 0.51. In conclusion, the preparation of data for use in creating dashboards in this study can support the decision-making of the management very well.

Keywords: Data preparation, Dashboard, Data visualization, Business intelligence

1. บทนำ

ปัจจุบันองค์กรมีการจัดเก็บข้อมูลปริมาณมาก แต่รูปแบบข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบที่ต่างกันตามความถนัดการใช้งานภายในองค์กร ทำให้การจะนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์หรือประมวลผลค่อนข้างยุ่งยากและไม่มีประสิทธิเนื่องจากชุดข้อมูลไม่ได้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

บริษัทกรณีศึกษาได้ประกอบธุรกิจเกี่ยวกับการให้บริการขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จ ทำให้เรื่องข้อมูลการแจ้งซ่อมบำรุงรถที่ให้บริการเป็นหนึ่งในเรื่องที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการวางแผนและการตัดสินใจเชิงธุรกิจของผู้บริหาร แต่เนื่องจากชุดข้อมูลไม่อยู่ในรูปที่พร้อมต่อการนำไปใช้งานเนื่องจากรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลในองค์กร จึงต้องมีการเตรียมข้อมูล มาช่วยในการจัดการและสร้างรูปแบบของข้อมูลให้พร้อมต่อการนำไปใช้งานเพื่อช่วยในการวิเคราะห์หรือประมวลผล โดยการเตรียมข้อมูลเป็นขั้นตอนที่ถือว่าใช้ระยะเวลามากก่อนที่จะสามารถนำข้อมูลไปใช้งานได้ จากการสำรวจพบว่านักวิเคราะห์ข้อมูลใช้เวลา 70-80% ในการเตรียมข้อมูลในขณะที่ อีก 20-30% คือเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะเห็นได้ว่าการเตรียมข้อมูลมีความสำคัญอย่างมากต่อการวิเคราะห์หรือประประมลผลข้อมูล

จากความสำคัญดังกล่าวงานวิจัยนี้มุ่งจะนำเสนอขั้นตอนการเตรียมข้อมูล โดยใช้ข้อมูลการซ่อมบำรุงบริษัทกรณีศึกษาและทำการนำเสนอผลข้อมูลที่ได้จากการเตรียมข้อมูลในรูปแบบแดชบอร์ด เพื่อสนับสนุนการวางแผนและการตัดสินใจของผู้บริหารในเรื่องของงานซ่อมบำรุงของบริษัทกรณีศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกียวข้อง

2.1 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

เป็นการจัดการกับข้อมูลดิบหรือข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบที่ต่างกันเพื่อให้ได้ชุดข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบที่พร้อมต่อการวิเคราะห์ การเตรียมข้อมูลถือเป็นขั้นตอนแรกและเป็นขั้นตอนสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ไม่เกิดข้อผิดพลาดที่อาจส่งผลต่อการตัดสินใจต่อองค์กร สามารถจำแนกขั้นตอนการเตรียมข้อมูลได้ ดังนี้

2.1.1 การทำความสะอาดข้อมูล (Data cleaning) [1]

ขั้นตอนนี้จะเกี่ยวข้องกับการตรวจสอบและแก้ไขข้อมูล ให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่สมบูรณ์ โดนขั้นตอนนี้ถือเป็นขั้นตอนแรกของการเตรียมข้อมูล โดยในการทำความสะอาดของข้อมูลจะต้องมีการตรวจสอบข้อมูลว่ามีข้อผิดพลาดอะไรเกิดขึ้นกับข้อมูล จากนั้นทำการปรับปรุงข้อมูล โดยอาจใช้วิธีการแก้ไขข้อมูล (Correcting data) แทนที่ด้วยข้อมูลใหม่หรือทำการลบข้อมูลดังกล่างทิ้ง เป็นต้น

2.1.2 การจัดรูปแบบ/การแปลงข้อมูลใหม่ (Data transformation)

ขั้นตอนนี้จะเป็นการจัดรูปแบบข้อมูลจากชุดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการหรือเรียกว่าเป็นรูปแบบที่เป็นมาตรฐานเพื่อให้ง่ายในการประมวลและวิเคราะห์ข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น การทำข้อมูลในเป็นมาตรฐาน (Normalization data) [2] [3] เป็นกระบวนการเพื่อลดปัญหาการซ้ำซ้อนของข้อมูล โดยใช้วิธีการปรับโครงสร้างตาราง กำหนดแอตทริบิวต์ (Attribute) ให้กับแต่ละ เอนทิตี (Entity) เพื่อให้ได้โครงสร้างตารางที่สามารถควบคุมความซ้ำซ้อนและหลีกเลี่ยงความผิดปกติของข้อมูล โดยให้อยู่ในรูปแบบที่เรียกว่า Normal Form ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.3 การสร้างแบบจำลองข้อมูล (Data modeling)

จากการจัดเก็บข้อมูลของระบบสารสนเทศซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งข้อมูลมีความละเอียดทำให้ผู้ออกแบบ ผู้ใช้งานระบบมีมุมมองในข้อมูลชุดเดียวกันแตกต่างกันทำให้เกิดข้อผิดพลาด ไม่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานนั้นๆได้ จากปัญหาดังกล่าวจึงมีการสร้างแบบจำลองข้อมูลเพื่อเป็นสื่อกลางให้เข้าใจตรงกันระหว่างผู้ออกแบบและผู้ใช้งาน [4]

แบบจำลองข้อมูลเป็นแนวคิดของการอธิบายข้อมูลโดยจะแสดงโครงสร้าง ความสัมพันธ์และความหมายของข้อมูล อีกทั้งยังบังคับในเรื่องของความสอดคล้องกันของข้อมูล

2.2 ธุรกิจอัจฉริยะ (Business Intelligence)

เป็นเทคโนโลยีที่ทำการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่มีความหลากหลายจากระบบการทำงานขององค์กร มาทำการจัดการข้อมูลและจัดเก็บอย่างเป็นรูปแบบ เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์แสดงความสัมพันธ์ ภาพรวมการทำงาน อีกทั้งยังช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในองค์กรโดยสามารถนำเสนอในรูปแบบต่างๆ [5] เช่น รายงาน (Report), ตาราง (Table), แดชบอร์ด (Dashboard)

2.3 การนำเสนอภาพข้อมูล (Data visualization)

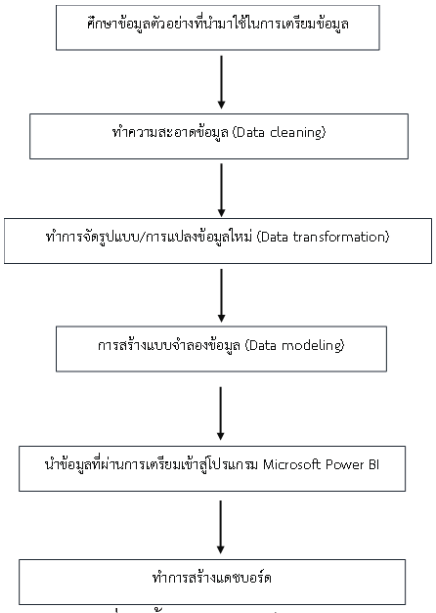
เป็นการนำเสนอข้อมูลจากการกสรุปหรือวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปแผนภาพ แผนภูมิหรือกราฟ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจข้อมูลง่ายและสามารถตัดสินใจได้เร็ว เช่น นำเสนอข้อมูลในรูปแบบกราฟแท่ง เป็นต้น

2.4 ไมโครซอฟต์พาวเวอร์บีไอ (Microsoft Power BI)

เป็นหนึ่งในชุดเครื่องมือและการบริการซอฟต์แวร์ของบริษัทไมโครซอฟต์ ที่จะทำการเปลี่ยนข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอข้อมูลเชิงลึกเป็นรูปแบบภาพสมจริงที่มีการเชื่อมโยงกัน เพื่อช่วยในการแสดงผลการวิเคราะห์และการตัดสินใจในองค์กรได้อย่างรวมเร็วมากยิ่งขึ้น[6] โดยโปรแกรมไมโครซอฟต์พาวเวอร์บีไอ (Microsoft Power BI) สามารถรวบรวมข้อมูลจากหลากหลายแหล่งข้อมูล เช่น Excel, MySQL เป็นต้น มาเชื่องโยงภายใต้ระบบเดียวกัน อีกทั้งยังสร้างรายงานในรูปแบบรายงานอย่างแดชบอร์ด (Dashboard) เพื่อช่วยเพิ่มมุมมองให้กับผู้ใช้งาน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการนำเสนอขั้นเตรียมข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการสร้างและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในรูปแบบแดชบอร์ด โดยผู้วิจัยวางแผนการดำเนินงานดังรูป 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล

3.1 ศึกษาข้อมูลตัวอย่าง

จากการศึกษาข้อมูลตัวอย่างพบว่าเป็นข้อมูลการแจ้งซ่อมรถโม่ของบริษัท มีข้อมูลทั้งสิ้น 11,574 ข้อมูล ถูกแบ่งออกเป็น 5 ตารางได้แก่ 1. ตาราง Command 2. ตาราง Man 3. ตาราง Plant 4. ตาราง Truck 5. ตาราง Code

3.2 การทำความสะอาดข้อมูล (Data cleaning)

1.) ทำความสะอาดตาราง Command

จากข้อมูลดังรูป 2 จะแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ยังไม่ได้ทำความสะอาดของตาราง Command โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปตารางประกอบไปด้วย 35 แอตทริบิวต์ ซึ่งข้อมูลมีการขาดหาย มีข้อมูลที่ทำการยกเลิกไปและยังไม่ถูกลบออกนอกจากนี้ยังมีข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกันในแต่ละแอตทริบิวต์และไม่จำเป็นต่อการใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 2 ข้อมูลที่ยังไม่ได้ทำความสะอาดตาราง Command

ในการทำความสะอาดข้อมูลตาราง Command จะทำการเติมข้อมูลในส่วนที่ขาดหายและทำการลบข้อมูลที่ถูกยกเลิก นอกจากนี้ข้อมูลที่ไม่สามารถใช้การได้หรือซ้ำซ้อนกันผู้จัดทำได้มีการสอบถามผู้ใช้งานข้อมูลและทำการแก้ไขโดยการลบข้อมูลในแอตทริบิวต์นั้นๆ ซึ่งมีแอตทริบิวต์ที่ถูกลบจากความซ้ำซ้อนทั้งหมด 5 แอตทริบิวต์

2.)ทำความสะอาดตาราง Man

จากข้อมูลดังรูป 3 จะแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ยังไม่ได้ทำความสะอาดของตาราง Man โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปตารางประกอบไปด้วย 7 แอตทริบิวต์ ซึ่งข้อมูลที่ไม่จำเป็นต่อการใช้งานและมีข้อมูลของพนักงานที่มีการลาออกไปแล้ว จึงทำความสะอาดโดยการลบข้อมูลออก โดยจะเหลือข้อมูล 4 แอตทริบิวต์

A	B	C	D	E	F	G
สถานะ	แผนก	รหัสช่าง	ชื่อช่าง	คะแนนงานซ่อม.สะสมรายวันชั่วโมงทำงานต่อวัน		
*	ไฮโดรลิค	M001	สมหรง	0	0	7.5
*	เครื่อง	M002	สมเกียรติ์	0	2	7.5
*	เครื่อง	M004	สมบัติ์	0	1	7.5
*	เครื่อง	M005	ฉุดม	0	0	7.5
*	เชื่อม	M015	โชคชัย	0	0	7.5
*	สี	M007	ลูงวุฒิ	0	2	7.5
*	สี	M008	เก่	0	1	7.5
*	ยาง	M009	กรช	0	0.5	7.5
*	เชื่อม	M010	อ้วน	0	1.5	7.5
*	เชื่อม	M011	หนอน	0	0	7.5
*	เชื่อม	M012	แดง	0	0	7.5
*	ไฟ	M013	หนุ่ม	0	1	7.5
*	ไฮโดรลิค	M014	ทรัศศักดิ์	0	3	7.5
*	ยาง	M016	เจ	0	0	7.5
*	ทั่วไป	M017	อาทิตย์	0	0	7.5
*	เครื่อง	M019	สมยศ	0	0	7.5
*	หัวหน้าคนข	M020	ดอย	0	0	7.5
<end>	<end>	<end>	<end>	<end>	<end>	<end>
*	เครื่อง	M003	สมชาย	0	0	ออก
*	เครื่อง	M006	เปรื่อง	0	0	ออก
*	เชื่อม	I001	สอง	0	0	ออก
*	เชื่อม	I002	ปาย	0	0	ออก
*	เชื่อม	I003	เต้	0	0	ออก
*	ทั่วไป	M018	เกียรติศักดิ์	0	0	ออก

รูปที่ 3 ข้อมูลที่ยังไม่ได้ทำความสะอาดตาราง Man

3.) ทำความสะอาดตาราง Plant

จากข้อมูลดังรูป 4 จะแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ยังไม่ได้ทำความสะอาดของตาราง Plant โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปตารางประกอบไปด้วย 4 แอตทริบิวต์ ซึ่งข้อมูลที่ไม่จำเป็นต่อการใช้งานและมีข้อมูลที่ไม่ใช้งานแล้ว จึงทำความสะอาดโดยการลบข้อมูลออก โดยจะเหลือข้อมูล 3 แอตทริบิวต์

A	B	C	D
	รหัสแพล้น	ชื่อแพล้น	บริษัท
*	MH	มหาสวัสดิ์	ACP
*	LK	ลาดกระบัง	ACP
*	SK3	สุขาภิบาล	ACP
*	VT	วงแหวนใต้1	ACP
*	KP	กัลปพฤกษ์	ACP
*	R9	พระราม9	ACP
*	SV	ศูนย์วิจัย	JCP
*	JK	เจ้าคุณทหาร	JCP
*	ST	สาธุประดิษฐ์	JCP
*	TC	ตลิ่งชัน	JCP
*	R3/2	พระราม3/2	TPI
*	RB	รามคำแหง	TPI
*	KT	คลองตัน	TPI
*	หน้างาน	หน้างาน	รวม

รูปที่ 4 ข้อมูลที่ยังไม่ได้ทำความสะอาดตาราง Plant

4.) ทำความสะอาดตาราง Truck

จากข้อมูลดังรูป 5 จะแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ยังไม่ได้ทำความสะอาดของตาราง Truck โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปตารางประกอบไปด้วย 7 แอตทริบิวต์ ซึ่งข้อมูลมีการขาดหาย มีข้อมูลซ้ำซ้อนและมีข้อมูลที่ไม่จำเป็นต่อการใช้งาน จึงทำความสะอาดโดยการลบข้อมูลออกและทำการเติมข้อมูลในส่วนที่ขาดหายโดยจะเหลือข้อมูล 4 แอตทริบิวต์

A	B	C	D	E	F	G
เลขรถ	รถโม่	พนักงานขับรถ*	เบอร์โทร*	plant	สถานะ	รายละเอียดอื่นๆ
608	85-7064	ทุศล	099999999	ชาเทียม	วิ่งงาน	
631	85-5223	สมชาย	099999999	สุขาภิบาล	วิ่งงาน	
639	85-5772	ประสิทธิ์	099999999	ถัลปพลุกษ์	วิ่งงาน	
605	85-7049	สมศักดิ์	0999999999	พระ ราม9	วิ่งงาน	
100	79-5502	ไม่มีคนขับ	0999999999	ซ่อม	ซ่อมนาน	
909	79-5503		0999999999	อู่บางพลู้ใหม่แพรก	วิ่งงาน	
911	79-5504	สมพาน	0999999999	สุขาภิบาล	รอทำสี	
903	79-5368	ว่าง	0999999999	อู่บางพลู้ใหม่แพรก	วิ่งงาน	
904	79-5505	พิฐวุฒิ	0999999999	สุขาภิบาล	วิ่งงาน	
961	76-8206	สมพาน	0999999999	สุขาภิบาล	วิ่งงาน	
120	77-3087	ไม่มีคนขับ	0999999999	ซ่อม	ซ่อมนาน	
123	77-3084	ไม่มีคนขับ	0999999999	ซ่อม	ซ่อมนาน	ไม่ต่อประกัน
202	77-3079	ไม่มีคนขับ	0999999999	บางนา	วิ่งงาน	
425	85-7063	บุญรอด	0999999999	หัวหมาก	วิ่งงาน	spare @RB
426	85-7051	ไม่มีคนขับ	0999999999	พระ ราม3/2	วิ่งงาน	
427	71-4132	ว่าง	0999999999	อู่บางพลู้ใหม่แพรก	วิ่งงาน	

รูปที่ 5 ข้อมูลที่ยังไม่ได้ทำความสะอาดตาราง Truck

3.3 การจัดรูปแบบ/การแปลงข้อมูลใหม่ (Data transformation)

การเปลี่ยนรูปแบบข้อมูล ซึ่งจะใช้วิธี Normalization ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1.) First Normal Form

เป็นขั้นตอนในการกำจัดกลุ่มซ้ำของข้อมูลและทำการกำหนดคีย์หลัก (Primary key) จากข้อมูลบริษัทตัวอย่างในตาราง Command จะมีข้อมูลที่อยู่ในแอตทริบิวต์ ‘เบอร์รถ’ ที่มีข้อมูลตั้งแต่ 2 ข้อมูลขึ้นไปในเซลล์เดียว ดังรูป 2 จึงต้องทำการกำจัดค่าที่ซ้อนกันของข้อมูลออกไป



รูปที่ 6 แสดงข้อมูลที่มีลักษณะเป็นกลุ่มซ้ำ

จากนั้นทำการกำหนดคีย์หลักให้แก่ทั้ง 5 ตาราง ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

ตาราง Commamd มีการกำหนด Primary key ให้อยู่ในรูปแบบ Composite primary ได้แก่ เลขที่ใบแจ้งซ่อม เบอร์รถ รหัสงาน สถานที่ซ่อม ช่าง

ตาราง Man ทำการกำหนด ช่าง เป็น Primary key

ตาราง Plant ทำการกำหนด สถานที่ซ่อม เป็น Primary key

ตาราง Truck ทำการกำหนด เบอร์รถ เป็น Primary key

ตาราง Code ทำการกำหนด รหัสงาน เป็น Primary key

2.) Second Normal Form

จะทำการนำข้อมูลที่ผ่านขั้นตอน 1NF มาใช้ในการจัดรูปแบบ และกำจัดชุดข้อมูลที่มีการขึ้นแก่กันระหว่างแอตทริบิวต์หนึ่งที่ไม่ใช่ Primary key กับแอตทริบิวต์ที่เป็นหนึ่งใน Primary key เรียกว่าข้อมูลที่มีลักษณะเป็น Partial dependency ในการกำจัดจะทำได้โดยการสร้างตารางใหม่ในการจัดเก็บข้อมูลแอตทริบิวต์ที่เป็นหนึ่งใน Primary key ดังกล่าว แต่จากข้อมูลตัวอย่างได้มีการแยกตารางข้อมูลที่มีลักษณะเป็น Partial dependency แล้ว

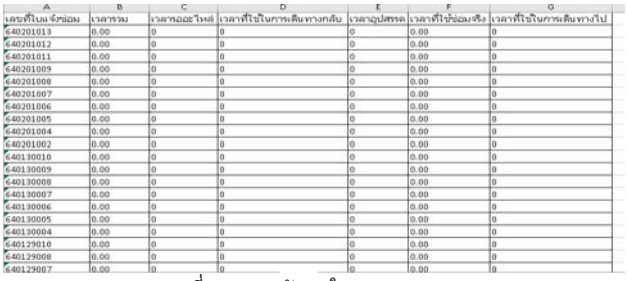
3.) Third Normal Form

จะทำการนำข้อมูลที่ผ่านขั้นตอน 2NF มาใช้ในการจัดรูปแบบและกำจัดชุดข้อมูลที่มีการขึ้นแก่กันระหว่างแอตทริบิวต์หนึ่งที่ไม่ใช่ Primary key เรียกว่าเป็นการขึ้นแก่กันด้วยแอตทริบิวต์ด้วยกันเอง เป็นข้อมูลที่มีลักษณะเป็น Transitive dependency จากข้อมูลในตาราง Command พบว่ามีแอตทริบิวต์ที่มีลักษณะดังกล่าวได้แก่

1.) เวลารวม กับ เวลารออะไหล่, เวลาที่ใช้ในการเดินทางกลับ เวลาอุปสรรค, เวลาที่ใช้ซ่อมจริง, เวลาที่ใช้ในการเดินทางไป

2.) สถานะ กับ วันที่แจกงาน, วันที่ซ่อมเสร็จตามระบบ, วันที่ซ่อมจริง, วันที่ซ่อมเสร็จจริง

จึงต้องทำการกำหนดตารางใหม่ได้แก่ ตาราง Time, ตาราง Finish และกำหนดแอตทริบิวต์ในตาราง ดังรูป 7 และรูป 8



A	B	C	D	E	F	G
เลขที่ใบแจ้งซ่อม	เวลารวม	เวลารออะไหล่	เวลาที่ใช้ในการเดินทางกลับ	เวลาอุปสรรค	เวลาที่ใช้ซ่อมจริง	เวลาที่ใช้ในการเดินทางไป
640201013	0.00	0	0	0	0.00	0
640201012	0.00	0	0	0	0.00	0
640201011	0.00	0	0	0	0.00	0
640201009	0.00	0	0	0	0.00	0
640201008	0.00	0	0	0	0.00	0
640201007	0.00	0	0	0	0.00	0
640201006	0.00	0	0	0	0.00	0
640201005	0.00	0	0	0	0.00	0
640201004	0.00	0	0	0	0.00	0
640201002	0.00	0	0	0	0.00	0
640130010	0.00	0	0	0	0.00	0
640130009	0.00	0	0	0	0.00	0
640130008	0.00	0	0	0	0.00	0
640130007	0.00	0	0	0	0.00	0
640130006	0.00	0	0	0	0.00	0
640130005	0.00	0	0	0	0.00	0
640130004	0.00	0	0	0	0.00	0
640129010	0.00	0	0	0	0.00	0
640129008	0.00	0	0	0	0.00	0
640129007	0.00	0	0	0	0.00	0

รูปที่ 7 แสดงข้อมูลในตาราง Time

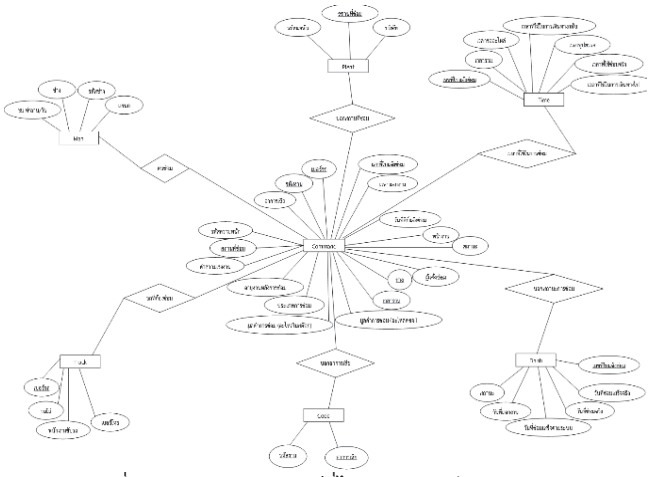


A	B	C	D	E	F
เลขที่ใบแจ้งซ่อม	สถานะ	วันที่แจกงาน	วันที่ซ่อมเสร็จตามระบบ	วันที่เริ่มซ่อมจริง	วันที่ซ่อมเสร็จจริง
640201013	INPROGRESS	2/1/2021 13:30	2/1/2021 14:30	Blank	Blank
640201012	INPROGRESS	2/1/2021 13:30	2/1/2021 14:00	Blank	Blank
640201011	INPROGRESS	2/1/2021 13:30	2/1/2021 14:00	Blank	Blank
640201009	INPROGRESS	2/1/2021 8:46	2/1/2021 9:16	Blank	Blank
640201008	INPROGRESS	2/1/2021 8:46	2/1/2021 10:46	Blank	Blank
640201007	INPROGRESS	2/1/2021 8:46	2/1/2021 9:46	Blank	Blank
640201006	INPROGRESS	2/1/2021 8:10	2/1/2021 9:10	Blank	Blank
640201005	INPROGRESS	2/1/2021 8:07	2/1/2021 9:07	Blank	Blank
640201004	INPROGRESS	2/1/2021 8:07	2/1/2021 10:07	Blank	Blank
640201002	INPROGRESS	2/1/2021 8:07	2/1/2021 8:37	Blank	Blank
640130010	INPROGRESS	1/30/2021 10:07	1/30/2021 10:37	Blank	Blank
640130009	INPROGRESS	1/30/2021 10:07	1/30/2021 11:07	Blank	Blank
640130008	INPROGRESS	1/30/2021 10:07	1/30/2021 11:07	Blank	Blank
640130007	INPROGRESS	1/30/2021 8:42	1/30/2021 8:42	Blank	Blank
640130006	INPROGRESS	1/30/2021 8:18	1/30/2021 9:18	Blank	Blank
640130005	INPROGRESS	1/30/2021 8:18	1/30/2021 9:18	Blank	Blank
640130004	INPROGRESS	1/30/2021 8:18	1/30/2021 8:48	Blank	Blank
640129010	INPROGRESS	1/29/2021 13:11	1/29/2021 14:11	Blank	Blank
640129008	INPROGRESS	1/29/2021 10:40	1/29/2021 11:10	Blank	Blank
640129007	INPROGRESS	1/29/2021 8:37	1/29/2021 9:37	Blank	Blank

รูปที่ 8 แสดงข้อมูลในตาราง Finish

3.4 การสร้างแบบจำลองข้อมูล (Data modeling)

จะอธิบายรายละเอียดในการจัดเก็บข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล เพื่อให้ผู้ใช้งานและผู้ออกแบบระบบเข้าใจตรงกัน ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากข้อมูลตัวอย่างสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูป 9



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการเตรียมข้อมูล

3.5 การสร้างแดชบอร์ด

จะเป็นการนำข้อมูลที่ผ่านการจัดการข้อมูลในรูปตารางบนโปรแกรม Microsoft Excel และนำเข้าโปรแกรม Microsoft Power BI Desktop เพื่อใช้ในการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบแดชบอร์ดโดยทำการสร้างข้อมูลในรูปแบบภาพ

3.6 การประเมินผลงานวิจัย

การประเมินผลความพึงพอใจจากแบบสอบถามสำหรับการประเมินเพื่อประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานจากการนำเสนอขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างแดชบอร์ด พิจารณาจากคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มทดลองโดยต้องมีคะแนนเฉลี่ยในระบบดีขึ้นไป โดยใช้ค่าระดับคะแนน 5 ระดับ ได้แก่ ระดับมากที่สุดน้ำหนักคะแนนเป็น 5, ระดับมากน้ำหนักคะแนนเป็น 4 ระดับปานกลางน้ำหนักคะแนนเป็น 3 ระดับน้อยน้ำหนักคะแนนเป็น 2 ระดับน้อยที่สุดน้ำหนักคะแนนเป็น 1 และแบ่งช่วงคะแนนเกณฑ์การวัดประมาณค่า ดังนี้ ระดับคะแนนเฉลี่ย 4.00 – 5.00 หมายถึงค่าคะแนนมากที่สุด ระดับคะแนนเฉลี่ย 3.00 – 3.99 หมายถึงค่าคะแนนมาก ระดับคะแนนเฉลี่ย 2.00 – 2.99 หมายถึงค่าคะแนนปานกลาง ระดับคะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.99 หมายถึงค่าคะแนนน้อย ระดับคะแนนเฉลี่ย 0.00 – 0.99 หมายถึงค่าคะแนนน้อยที่สุด

4. ผลการวิจัย

จากการเตรียมข้อมูล โดยการนำข้อมูลตัวอย่างมาผ่านขั้นตอนการเตรียมข้อมูลจะได้ข้อมูลที่จะใช้ในการสร้างแดชบอร์ดดังนี้

1.) ตาราง Command มีการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด 19 แอตทริบิวต์ ได้แก่ 1.เลขที่ใบแจ้งซ่อม 2.เวลาแจกงาน 3.วันที่คีย์แจ้งซ่อม 4.เบอร์รถ 5.รหัสงาน 6.อาการเสีย 7.สถานที่ซ่อม 8.รหัสความหนัก 9.ค่าความเร่งของงาน 10.ผู้แจ้งซ่อม 11.หน้างาน 12.ช่าง 13.สถานะ 14.จำนวนชั่วโมงที่หยุดงาน 15.อายุงานหลังการซ่อม (เดือนโดยประมาณ) 16.ประเภทการซ่อม 17.มูลค่าการซ่อม(อะไหล่ในสต๊อก) 18.มูลค่าการซ่อม(อะไหล่คชจ.) 19.เวลารวม

2.) ตาราง Man มีการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด 4 แอตทริบิวต์ ได้แก่ 1.แผนก 2.รหัสช่าง 3.ช่าง 4.ชั่วโมงทำงานต่อวัน

3.) ตาราง Plant มีการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 แอตทริบิวต์ ได้แก่ 1.รหัสแพลัน 2.สถานที่ซ่อม 3.บริษัท

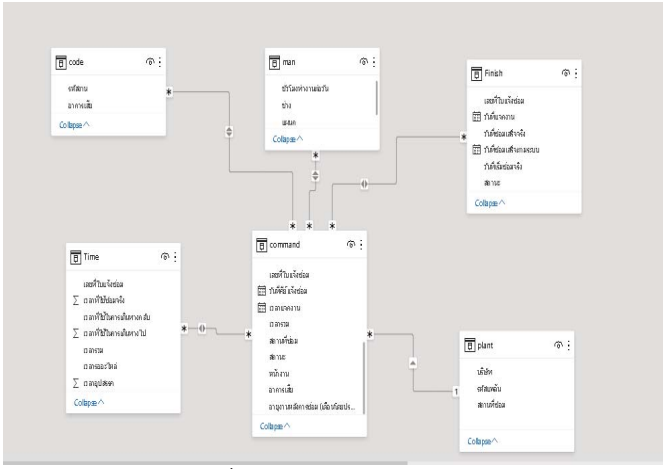
4.) ตาราง Truck มีการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด 4 แอตทริบิวต์ ได้แก่ 1.เลขรถ 2.รถโม่ 3.พนักงานขับรถ 4.เบอร์โทร

5.) ตาราง Code มีการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด 2 แอตทริบิวต์ ได้แก่ 1.รหัสงาน 2.อาการเสีย

6.) ตาราง Time มีการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด 7 แอตทริบิวต์ ได้แก่ 1.เลขที่ใบแจ้งซ่อม 2.เวลารวม 3.เวลารออะไหล่ 4.เวลาที่ใช้ในการเดินทางกลับ 5.เวลาอุปสรรค 6.เวลาที่ใช้ซ่อมจริง 7.เวลาที่ใช้ในการเดินทางไป

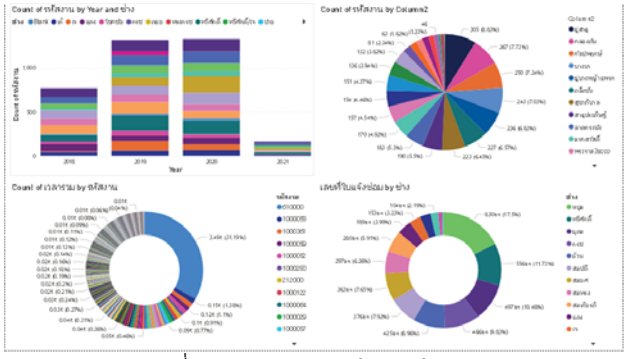
7.) ตาราง Finish มีการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด 6 แอตทริบิวต์ ได้แก่ 1.เลขที่ใบแจ้งซ่อม 2.สถานะ 3.วันที่แจกงาน 4.วันที่ซ่อมเสร็จตามระบบ 5.วันที่เริ่มซ่อมจริง 6.วันที่ซ่อมเสร็จจริง

เมื่อนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม Microsoft Power BI จะสามารถแสดง Data Model View ได้ดังรูป 10



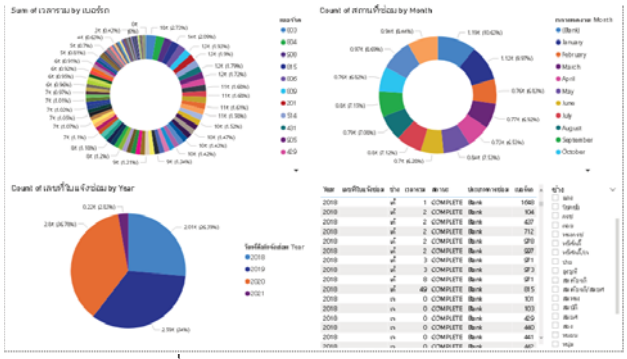
รูปที่ 10 Data Model View

และจากนำข้อมูลตัวอย่างมาผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างและนำเสนอข้อมูลในรูปแบบแดชบอร์ด สามารถแสดงข้อมูลได้ดังรูป 11 และรูป 12



รูปที่ 11 แสดงภาพรวมข้อมูลแจ้งซ่อม

จากรูปที่ 11 จะแสดงภาพรวมของข้อมูลแจ้งซ่อม โดยจะมีกราฟแท่งที่แสดงจำนวนงานที่เสียในแต่ละปีและบอกชื่อช่างที่เป็นผู้ซ่อม และมีกราฟวงกลมที่จะแสดงข้อมูล 1.เวลาที่ใช้ทั้งหมดในแต่ละงานที่เสีย เพื่อดูภาพรวมงานซ่อมว่าเหตุอะไรที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด 2.สถานที่ที่เกิดอาการเสียว่ามีเหตุเกิดที่ไหนมากที่สุด 3.ช่างที่ได้รับงานซ่อมเพื่อแสดงปริมาณงานที่ช่างได้รับ



รูปที่ 12 แสดงข้อมูลการทำงานของช่าง

จากรูปที่ 12 จะแสดงภาพรวมการทำงานของช่าง โดยจะมีกราฟวงกลมที่แสดงข้อมูล ดังนี้ 1.เวลาที่ช่างใช้ในการซ่อมรถ 2.ในแต่ละเดือนช่างแต่ละคนไปซ่อมสถานที่ไหนบ้าง 3.แสดงงานทั้งหมดที่ช่างทำในแต่ละปีที่ผ่านมา และมีรายงานที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติม

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนการเตรียมข้อมูลและนำเสนอข้อมูลในรูปแบบแดชบอร์ด โดยการนำข้อมูลการแจ้งซ่อมบำรุงมาทำการเตรียมข้อมูลผ่านกระบวนการทำความสะอาดข้อมูล การเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลและการสร้างแบบจำลองข้อมูล จากนั้นทำการสร้างแดชบอร์ดจากข้อมูลที่ผ่านการเตรียมข้อมูลเพื่อนำเสนอข้อมูลในรูปแบบภาพ บนโปรแกรม Microsoft Power BI Desktop และทดสอบประสิทธิภาพโดยการทำแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้งานผู้บริหารจำนวน 5 คน ผลค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.98 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.51 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจากการเตรียมข้อมูลสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปนำเสนอในรูปแบบแดชบอร์ดเพื่อแสดงผลข้อมูลและสนับสนุนการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

จากการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการสร้างแดชบอร์ดและนำเสนอข้อมูลที่ผ่านการเตรียมข้อมูลแล้ว พบว่าข้อมูลตัวอย่างในการเตรียมข้อมูลมีข้อมูลที่เป็นลักษณะช่องว่าง (Missing value) จำนวนมากเป็นการบอกถึงปัญหาการเก็บจัดข้อมูล เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดปัญหาควรมีการตรวจสอบข้อมูลที่จัดเก็บและทำความสะอาดข้อมูลเป็นประจำเพื่อลดระยะเวลาในการเตรียมข้อมูล ทั้งนี้ในงานวิจัยครั้งต่อไปควรมีการตรียมข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้นเพื่อรองรับข้อมูลที่มีมากขึ้นในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ดีโอเค จำกัด ที่ให้การสนับสนุนได้ด้านข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างในการเตรียมข้อมูลของงานวิจัยเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

[1] การเตรียมข้อมูล (Data Preprocessing), ข้อมูลจาก https://csit.nu.ac.th/kraisak/ds/ds/chapter02/Chapter02.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 8 ธันวาคม 2564)

[2] โกเมศ อัมพวัน. นอร์มัลไลเซชัน, ข้อมูลจาก https://staff.informatics.buu.ac.th/~komate/886301/DB-Chpater-6.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 8 ธันวาคม 2564)

[3] ภาสกร ปาละกูล. 2552. “โปรแกรมระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยราชพฤกษ์(รายงานผลการวิจัย)”. มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์

[4] แบบจำลองฐานข้อมูล (Database Models), ข้อมูลจาก https://www.ict.up.ac.th/worrakits/Database.files/charpter3.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 ธันวาคม 2564)

[5] ธนาภรณ์ ปานรังศรี. (2561). “การจัดการข้อมูลภัยพิบัติด้วยระบบธุรกิจอัจฉริยะ : กรณีศึกษาผลกระทบระดับความรุนแรงจากภัยแล้ง อุทกภัย และดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). สงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สืบค้นจาก https://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/306032

[6] ปัทมา เที่ยงสมบุญ. (2561). “การพัฒนาระบบธุรกิจอัจฉริยะเพื่อสนับสนุนการพยากรณ์ และการตัดสินใจของผู้บริหาร กรณีศึกษากลุ่มโรงพยาบาล” (ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยศรีปทุม. สืบค้นจาก http://dspace.spu.ac.th/handle/123456789/5775

การคาดการณ์เวลาเดินทางบนท้องถนนระหว่างพิกัดสองจุดในกรุงเทพมหานคร ด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง

Road Travel Time Prediction Between Two Coordinates in Bangkok Using Machine Learning Approaches

ปวริศ เวชวรรณกิจกุล[1*] พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: pawaris.wach@gmail.com

Pawaris Wachwanakijkul[1*] Pisit Jarumaneeroj[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand
E-mail: pawaris.wach@gmail.com

บทคัดย่อ

ระยะเวลาเดินทางบนท้องถนนในกรุงเทพมหานครนั้นมีความไม่แน่นอน เนื่องจากความแออัดของการจราจร อย่างไรก็ดี ข้อมูลดังกล่าวกลับมีความสำคัญในการจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อธุรกิจ ซึ่งส่วนใหญ่มักใช้ค่าประมาณการณ์ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของแผนงานดังกล่าวลดต่ำลง ด้วยเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาตัวแบบการคาดการณ์ระยะเวลาเดินทางบนท้องถนนในกรุงเทพมหานคด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง โดยอ้างอิงจากข้อมูลที่ทุกคนสามารถเข้าถึงได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ทำให้ผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้พัฒนาหรือบูรณาการร่วมกับแผนงานเดิมได้ เริ่มต้น ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูล Mobile Probe จาก iTIC foundation จากนั้นจึงแปลงข้อมูลดังกล่าวออกเป็น Origin-Destination Pairs แล้วคัดเลือกเฉพาะชุดข้อมูลที่มีพิกัดอยู่ภายในเขตกรุงเทพมหานครไปใช้สร้างต้นแบบการเรียนรู้ของเครื่องผ่านอัลกอริทึมแบบต่างๆ จนได้อัลกอริทึมที่สามารถสร้างต้นแบบที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดได้ ผู้วัจัยพบว่า จากอัลกอริทึมต่างๆ Xgboost ถือเป็นอัลกอริทึมที่สามารถสร้างต้นแบบที่มีศักยภาพสูงที่สุด ในขณะที่ Xgboost LGBM และ CatBoost มีแนวโน้มที่ดีในการนำไปพัฒนาต่อ เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการสร้างต้นแบบน้อย หากแต่ให้ประสิทธิภาพสูงใน 5 อันดับแรกของอัลกอริทึมที่ทำการศึกษาทั้งหมด

คำสำคัญ: เวลาเดินทางบนท้องถนน, การคาดการณ์, วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง, กรุงเทพมหานคร

Abstract

While road travel time in Bangkok is uncertain, due largely to traffic congestion, accurate travel time is, however, important for both businesses and research – especially for vehicle route planning that normally adopts estimates that may be far different from their real values. To properly predict road travel time in Bangkok with less data restrictions, several machine learning approaches have been herein explored, based solely on publicly available data so that users can further extend or combine this prediction module with others for their own proposes at the least cost. In doing so, we first collect data from iTIC foundation and later transform such a data set into Origin-Destination Pairs, excluding those outside Bangkok area. Various machine learning approaches are then applied, where Xgboost is found to be the most accurate algorithm providing the least RMSE. We also find that, among these many algorithms, Xgboost, LGBM, CatBoost have good potential to be further investigated – as their computational times are relatively low, but with comparatively high efficiency.

Keywords: Road Travel Time, Prediction, Machine learning, Bangkok

การพัฒนาห้องผ่าตัดความดันลบในสถานการณ์ฉุกเฉินจากการระบาดของโควิด-19 ด้วยแนวคิดวิศวกรรมคุณค่า

The Negative Pressure Chamber Operating Room Development under Emergency Situation of Corona Virus 2019 Pandemic using Value Engineering Concept

ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล[1] เทพฤทธิ์ ทองชุบ[1] ชวลิต มณีศรี[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมระบบเครื่องกลและนวัตกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: chawalit.ma@spu.ac.th*

Chonlathis Eiamworawutthikul[1] Taperit Tongshoob[1] Chawalit Manisri[1*]
[1]Department of Mechanical System and Innovative Industrial Engineering, School of Engineering, Sripatum University
E-mail: chawalit.ma@spu.ac.th*

บทคัดย่อ

สภาวะการระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) ในประเทศไทย ในช่วงเริ่มต้นของปี พ.ศ. 2563 สร้างความตระหนกแก่สังคมและส่งผลกระทบต่อการงดให้บริการผ่าตัดของโรงพยาบาลต่างๆจำนวนมาก เนื่องจากห้องผ่าตัดเดิมเป็นแบบความดันบวก ซึ่งหากผู้รับการผ่าตัดมีเชื้อ Covid-19 อาจส่งผลให้เกิดการฟุ้งกระจายของเชื้อโรคสู่พื้นที่ต่างๆ ภายในอาคารโรงพยาบาลได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาแนวทางการปรับปรุงห้องผ่าตัดที่มีอยู่เดิมให้เป็นแบบความดันลบตามลักษณะของห้องแยกเชื้อเพื่อป้องกันการแพร่เชื้อสู่ภายนอก และในขณะเดียวกันสามารถป้องกันอากาศปนเปื้อนจากภายนอกเข้าสู่ห้องผ่าตัดได้ บทความนี้อธิบายประสบการณ์การพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมห้องผ่าตัดความดันลบ สำหรับใช้ในสถานการณ์ฉุกเฉินจากการระบาดของโควิด-19 เพื่อกลุ่มโรงพยาบาลขนาดกลางในภูมิภาคต่างๆของประเทศ จากการทำงานร่วมกันของทีมวิศวกรรม บุคลากรทางการแพทย์ ผู้บริการของโรงพยาบาล และหน่วยงานของกรมการแพทย์ ด้วยแนวคิดวิศวกรรมคุณค่า ทำให้สามารถเพิ่มคุณค่าของการให้บริการผ่าตัดแก่ประชาชนในสถานการณ์ฉุกเฉินได้ โดยคงหน้าที่ในการการรักษาภาวะอากาศสะอาดของห้องผ่าตัด ลดต้นทุน ลดเวลาการดำเนินงาน ลดการพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ตลอดจนคลายความกังวลและอุปสรรคต่างๆ ให้กับทีมแพทย์และโรงพยาบาล จนเป็นผลสำเร็จในการเผยแพร่แนวทางการปรับปรุงห้องผ่าตัดความดันลบให้กับโรงพยาบาลต่างๆ สามารถนำไปจัดทำได้โดยสะดวก

คำสำคัญ: ห้องผ่าตัด, ห้องความดันลบ, โควิด-19, วิศวกรรมคุณค่า

Abstract

During the early period of Corona 2019 Virus (Covid-19) pandemic in 2020, most hospitals ceased their surgery services due to the fear of disease spreading outside the operating room (OR), if the patient was infected with the virus. This is because the typical OR is operated with positive pressure air condition forcing the leaky air to flow out from the OR and preventing outside contaminated air to flow in. Accordingly, there was an urgent need to modify the existing Positive Pressure OR to be incorporated with a negative pressurized zone (as of the AIIR concept) to prevent disease from an infected patient to spread out, while maintaining overall positive pressurized condition of the OR. This paper describes an experience in the development of a modified negative pressure OR for emergency used by regional middle size public hospitals in Thailand during Covid-19 pandemic. The project was carried out with collaboration among engineering team, health-care personals, hospital executives, staffs from the Department of Medical Service Ministry of Public Health. The Value Engineering (VE) concept was employed to continue the service of OR during the intensive pandemic situation. The mission was achieved by maintaining the function of OR's clean air condition, while reducing costs and implementation time, minimizing dependency on specific specialists, as well as other anxiety pain-points experienced by physicians and hospital administration. Through couple of prototypes implemented, the outcome of the project yields a standard guideline for modification of existing OR with Negative Pressure Chamber, which has been widely distributed for regional hospitals to utilize.

Keywords: Medical Operating Room, Negative Pressure Room, Covid-19, Value Engineering

1. บทนำ

เป็นช่วงเริ่มต้นของสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส โคโรนา 2019 หรือโควิด-19 ในประเทศไทย สังคมเกิดความตระหนกต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น มีการงดกิจกรรมและการให้บริการต่างๆ เพื่อลดความเสี่ยงในการติดต่อของเชื้อโรค รวมถึงการใช้งานห้องผ่าตัด (Operating Room, OR) ของโรงพยาบาล เนื่องจากห้องผ่าตัด โดยปกติมีระบบการควบคุมสภาวะแรงดันอากาศภายในห้องมีค่าสูงกว่าพื้นที่รอบข้าง (Positive Pressure OR) เพื่อป้องกันสิ่งปนเปื้อนจากภายนอกเข้าสู่ห้อง ที่เป็นความเสี่ยงต่อการติดเชื้อแก่ผู้ป่วยขณะได้รับการผ่าตัด อย่างไรก็ตามหากผู้ได้รับการผ่าตัดมีภาวะเชื้อโควิด-19 เชื้อโรคจากคนไข้ อาจแพร่สู่พื้นที่ต่าง ๆ ในอาคารโรงพยาบาลได้

ถึงแม้จะสามารถปรับสภาวะอากาศภายในห้องผ่าตัดที่เป็นอยู่ ให้มีสภาวะความดันลบ (Negative Pressure) ในลักษณะของห้องแยกเชื้อ (Airborne Infection Isolation Room, AIIR) หากจะมีความเสี่ยงสูงต่อการติดเชื้อของคนไข้ระหว่างการผ่าตัดจากสิ่งปนเปื้อนที่ไหลเข้าสู่ภายในห้อง ซึ่งเป็นเหตุที่ได้มีรายงานเกิดขึ้นในโรงพยาบาลบางแห่ง ดังนั้นโดยเกณฑ์ปฏิบัติจะต้องมีการออกแบบห้องผ่าตัดและติดตั้งระบบปรับอากาศใหม่เพื่อการทำงานแบบความดันลบโดยเฉพาะ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูงถึง 3-4 ล้านบาทต่อห้อง และใช้ระยะเวลาหลายเดือนในการก่อสร้าง

ผู้วิจัยได้รับการติดต่อประสานงานจาก สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี (โรงพยาบาลเด็ก) เพื่อร่วมการปรับปรุงห้องผ่าตัดเดิม ให้สามารถบริการฉุกเฉินแก่คนไข้ได้ภายในระยะเวลาอันสั้น และงบประมาณที่จำกัด

2. ข้อมูลและกำหนดคำถามในการแก้ปัญหา

หลักการการควบคุมสภาวะอากาศของห้องผ่าตัดปกติและห้องแยกเชื้อ ถูกนำมาพิจารณาในการแก้ปัญหา เพื่อชี้ให้เห็นถึงเกณฑ์และข้อจำกัด สำหรับการกำหนดโจทย์ในการออกแบบปรับปรุง

2.1 หลักการระบบห้องอากาศสะอาดในโรงพยาบาล

การควบคุมอากาศสะอาดในโรงพยาบาล สามารถทำได้โดยการ

- กรองหมุนเวียนด้วยไส้กรองประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Particulate Air Filter หรือ HEPA Filter)
- เติมอากาศจากภายนอก (Outdoor Air หรือ Fresh Air) เพื่อเจือจางเชื้อโรคและการระบายอากาศ
- ควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจาก แหล่งปนเปื้อนต่ำไปสู่สูง จากการควบคุมระดับความดันอากาศระหว่างพื้นที่

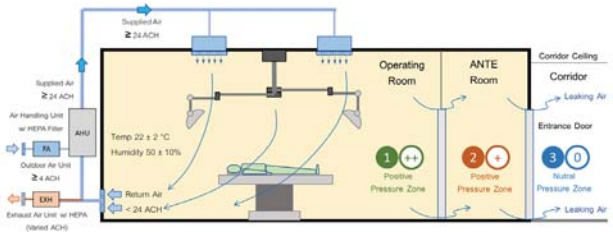
ซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับการออกแบบห้องสะอาดเพื่อการป้องกันการฟุ้งกระจายของเชื้อโรคและสิ่งปนเปื้อน “เข้าสู่” หรือ “ออกจาก” พื้นที่ควบคุม ในรูปแบบ ห้องผ่าตัดและห้องแยกเชื้อ ดังนี้

2.1.1 หลักการทำงานของการปรับอากาศห้องผ่าตัด

การออกแบบระบบอากาศสะอาดสำหรับ OR ตามมาตรฐานสากล [1 2] ดังแสดงในรูปที่ 1 มีเป้าหมายในการป้องกันเชื้อโรค ไม่ให้ไหลเข้าสู่ห้อง ที่ส่งผลต่อการติดเชื้อแก่คนไข้ระหว่างการผ่าตัด โดยการควบคุมให้ห้องมีระดับความดันสูงกว่าบริเวณรอบข้าง (Positive Pressure) อย่างน้อย +2.5 Pa จากการเติมอากาศภายนอก (Fresh Air) ในอัตราที่สูงกว่า การดูดอากาศออก (Exhaust) เล็กน้อย

OR อาจมีห้องพักคอย (ANTE Room) ขั้นกลางระหว่างห้องผ่าตัดและทางเดินด้านนอก สำหรับการเตรียมตัวของทีมแพทย์ก่อนเข้าห้องผ่าตัด ดังนั้นจะมีการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศรั่วไหล ตามระดับความดัน สูงไปต่ำ จาก OR ไป ANTE Room ไป บริเวณทางเดิน

มีระบบการปรับอุณหภูมิ ความชื้น และกรองอากาศด้วยไส้กรองประสิทธิภาพสูง (HEPA Filter) โดยการหมุนเวียนอากาศที่อัตราอย่างน้อย 20 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (Air Change per Hour, ACH) และมีอัตรานำอากาศเข้าอย่างน้อย 4 ACH รวมถึงควบคุมทิศทางการไหลจากด้านบนลงล่างไปสู่ช่องดูดระบายอากาศด้านศีรษะคนไข้ เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของละอองฝอย (Aerosol)



รูปที่ 1 ระบบปรับอากาศสะอาดห้องผ่าตัดมาตรฐาน

การรักษาแรงดันในห้องผ่าตัดมาตรฐานให้เป็นบวกนั้นเหมาะสมต่อสถานการณ์ปกติ แต่หากในสถานการณ์ความเสี่ยงที่คนไข้ติดเชื้อเข้ารับการผ่าตัด แรงดันอากาศภายในห้องอาจจะนำพาเชื้อโรคออกสู่ภายนอกไปยังพื้นที่อื่นภายในอาคารได้

2.1.2 หลักการระบบห้องแยกเชื้อ

ห้องแยกเชื้อ (AIIR) ถูกออกแบบ เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของเชื้อโรคที่เกิดจากคนไข้ไหลออกสู่ภายนอก โดยการควบคุมระดับความดันภายในห้องต่ำกว่าบริเวณรอบข้างอย่างน้อย -2.5 Pa โดยมีการระบายอากาศออกสู่ภายนอก ในอัตราที่สูงกว่าการเติมอากาศเข้าเล็กน้อย [1 2] ซึ่งระบบการกรองและการทำความเย็น เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับห้องผ่าตัด หากแต่ทิศทางการจ่ายอากาศเข้าสู่ห้องจากฝ้าเพดาน ให้มีการไหลจากปลายเตียงไปยังหัวเตียง โดยมีช่องระบายอากาศติดตั้งที่บริเวณระดับศีรษะคนไข้

การปรับปรุงห้องผ่าตัดสำหรับผู้ติดเชื้อ โดยใช้หลักความดันลบตามแนวทาง AIIR จะมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อต่อคนไข้จากสิ่งปนเปื้อนที่ไหลเข้ามา สู่บาดแผลระหว่างการผ่าตัดได้

2.1.3 การพัฒนาห้องผ่าตัดและห้องแยกเชื้อในสถานการณ์การระบาดของโควิด-19

การแพร่ระบาด Covid-19 ทำให้ผู้เชี่ยวชาญทางวิศวกรรมได้ร่วมทำงานกับหน่วยงานสาธารณะสุข เพื่อหาแนวทางดัดแปลงการใช้งานพื้นที่ที่มีอยู่เพื่อรองรับผู้ป่วยติดเชื้อ เช่นการทำ Chamber ฉุกเฉินสำหรับห้อง ER และ ห้อง ICU [3] ที่สามารถจัดสร้างได้สะดวกรวดเร็ว

การจัดทำแบบมาตรฐานสำหรับการจัดสร้างห้อง AIIR และห้องเฝ้าอาการ (Cohort Ward) [4] ตลอดจนเทคนิคการออกแบบและใช้งานห้อง AIIR ได้อย่างถูกต้องมีประสิทธิภาพ [5] การแลกเปลี่ยนองค์ความรู้จากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ [6] ในลักษณะการแพร่ระบาดของเชื้อโรค เพื่อวิศวกรและนักประดิษฐ์ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบจัดทำนวัตกรรมเพื่อสนับสนุนการทำงานทางด้านสาธารณะสุขได้อย่างถูกต้อง โดยองค์ความรู้ต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้ถูกรวบรวมไว้เพื่อเป็นแหล่งอ้างอิงได้ต่อไป [7]

การระดมความคิดเห็นผ่านสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย ในการกำหนดหลักทางการออกแบบและจัดสร้างห้องผ่าตัดความดันลบ [8] อย่างไรก็ตามแนวทางที่แนะนำเป็นการจัดสร้างห้องขึ้นใหม่ ไม่สามารถปรับปรุงจากห้องและระบบเดิมได้

2.2 ประเด็นการปรับปรุงห้องผ่าตัดในสถานการณ์ฉุกเฉิน

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปประเด็นสำคัญและเงื่อนไขในการปรับปรุง OR ไว้ดังนี้

1) หลักการควบคุมความดันบวกของ OR เดิมและความดันลบของ AIIR ไม่สามารถเลือกนำมาใช้ได้โดยตรงอย่างใดอย่างหนึ่ง

2) แนวทางสำหรับห้องผ่าตัดความดันลบ เป็นการสร้างเฉพาะขึ้นใหม่ ซึ่งโรงพยาบาลส่วนใหญ่มีข้อจำกัดคือ

- ไม่มีงบประมาณ สำหรับการจัดสร้างห้องผ่าตัดใหม่ที่มีราคาสูง
- พื้นที่จำกัด ไม่สามารถจัดสร้างห้องผ่าตัดใหม่ได้หลายห้อง
- ห้องผ่าตัดเดิม มีอายุการใช้งานนาน มีการรั่วไหลสูง
- ระบบอากาศสะอาดที่ใช้อยู่ เสื่อมสภาพหรือทำงานไม่เหมาะสม
- มีเวลาจำกัด เพื่อเปิดให้บริการแก่คนไข้ที่เพิ่มจำนวนขึ้น
- ความกังวลของบุคลากรทางการแพทย์ และความรู้ความเข้าใจของระบบการทำอากาศสะอาดภายในห้องผ่าตัด

ดังนั้นสามารถกำหนดโจทย์ปัญหา (Problem Statement) ได้ว่า “จะทำอย่างไรให้สามารถปรับปรุงห้องผ่าตัดเดิมที่มีอยู่ สำหรับโรงพยาบาลรัฐขนาดกลางในภูมิภาค ให้สามารถรองรับการผ่าตัดผู้ป่วยติดเชื้อที่เพิ่มสูงขึ้นได้ในเวลาที่รวดเร็ว (1-2 เดือน) สะดวกในการจัดทำและบำรุงรักษาด้วยงบประมาณที่จำกัด (1-2 แสนบาท)

3. แนวทางการดำเนินการ

หลักวิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering, VE) เน้นการคงหน้าที่การทำงาน (Function) โดยลดต้นทุน (Cost) [9] ตามความสัมพันธ์ ในรูปที่ 2 เป็นสิ่งที่ตรงกับ Problem Statement ที่กำหนดข้างต้น โดยการส่งเสริมคุณค่าของการให้บริการห้องผ่าตัดในภาวะฉุกเฉิน โดยคงหน้าที่ (Function) การป้องกันการแพร่เชื้อของห้องผ่าตัดไว้ และ ลดต้นทุน ทั้งเงินลงทุน และรวมถึง Pain Point ของผู้ใช้ทั้ง ด้านเวลา การใช้งาน เงื่อนไขทางเทคนิค และความกังวลของแพทย์พยาบาลผู้ใช้ห้องเช่นเดียวกับ การประยุกต์ใช้หลักวิศวกรรมคุณค่าในหลายๆ กรณีศึกษา เช่น การเพิ่มผลผลิตผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจาน [10] และการประยุกต์ใช้กับการพัฒนาสื่อการสอนด้านระบบราง [11] เป็นต้น โดยมีขั้นดำเนินงาน ดังรูปที่ 3 ดังนี้



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ตามหลักวิศวกรรมคุณค่า



รูปที่ 3 ขั้นตอนหลักในการดำเนินงานตามแนวคิดวิศวกรรมคุณค่า

สำรวจสภาพปัจจุบัน

เป็นการรวบรวมข้อมูลองค์ความรู้ และข้อจำกัดต่างๆ รวมถึงกระบวนการทำงานของผู้ใช้ (แพทย์และพยาบาล) การสำรวจสภาพทางกายภาพและสมรรถนะทางวิศวกรรมของระบบการใช้งานที่มีอยู่

วิเคราะห์หน้าที่ประโยชน์

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาให้ตรงกับวัตถุประสงค์ โดยแก้ไขประเด็นข้อจำกัดต่างๆ ซึ่งเป็นต้นทุน โดยยึดหน้าที่ของ OR เป็นที่ตั้ง

ออกแบบทางเลือกในการปรับปรุง

ออกแบบทางเลือกที่ยังคงหน้าที่ของห้องผ่าตัด คือสามารถป้องกันอากาศสกปรกจากภายนอกเข้าและป้องกันเชื้อโรคจากคนไข้ออกสู่ภายนอกไปพร้อมกัน โดยยึดตามหลักวิศวกรรมและการมีส่วนร่วมจากผู้ใช้งาน เพื่อทำความเข้าใจการทำงานและข้อกังวลที่เป็นอยู่ ตลอดจนการจัดทำต้นแบบ ทดสอบแนวคิด รับข้อเสนอแนะและปรับปรุง

เสนอดำเนินการปรับปรุง

สรุปผลที่ได้เพื่อการเผยแพร่และขยายผลการใช้งาน โดยการร่วมมือกับหน่วยงานรับที่รับผิดชอบ (กรมการแพทย์) จัดทำเป็นแนวทางสำหรับโรงพยาบาลรัฐขนาดกลางในภูมิภาคต่างๆ

4. ผลการดำเนินการ

หลังจากที่ได้รับการติดต่อจากผู้บริหารของสถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี (โรงพยาบาลเด็ก) ในเดือนมีนาคม 2563 ซึ่งขณะนั้นโรงพยาบาลได้งดการให้บริการผ่าตัดทั้งหมด ผู้วิจัยได้ประสานวิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบระบบอากาศสะอาดสำหรับห้องผ่าตัด เข้าทำงานร่วมกับทีมแพทย์ พยาบาล และฝ่ายวิศวกรรม ตลอดจนผู้บริหาร เพื่อพัฒนาวิธีการปรับปรุงห้องผ่าตัดความดันลบ โดยได้พัฒนาต้นแบบ ทดสอบใช้งาน ตามลำดับดังนี้

4.1 การพัฒนาต้นแบบขั้นต้น (แบบห้องคู่)

การตรวจสอบห้องผ่าตัดเดิมที่ใช้ในการปรับปรุงเป็นห้องผ่าตัดที่มีอายุการใช้งานมามากกว่า 20 ปี มีขนาด 5.8 x 6.4 เมตร และฝ้าสูง 3.0

เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยเมื่อทดสอบใช้งานพบว่า ไม่สามารถทำระดับความดันบวกได้ตามเกณฑ์ เนื่องจากมีช่องรั่วไหลบริเวณขอบประตู และฝ้าจำนวนมาก รวมถึงการทำความเข้าใจในส่วนของกระบวนการปฏิบัติการผ่าตัด ในขั้นการเปลี่ยนเครื่องแต่งตัว (PPE) การเตรียมพร้อมของทีมแพทย์ การนำคนไข้เข้าห้อง การผ่าตัด การถอดเปลี่ยนชุด PPE และนำคนไข้ออก

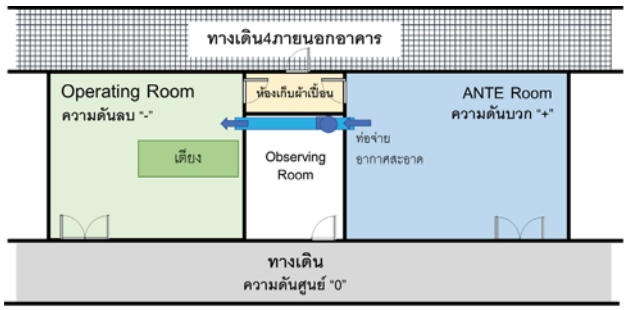


(a) (b)

รูปที่ 4 ห้องผ่าตัด (a) ขณะซ่อมแซม (b) การใช้งานหลังการปรับปรุง

จากการพิจารณาเห็นว่า สามารถปรับปรุงสมรรถนะของระบบอากาศสะอาดเดิมที่มีอยู่ได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากสภาพห้องที่มีรอยรั่วไหลจำนวนมาก โดยเฉพาะจากส่วนฝ้าเพดานที่เป็นรอยต่อของหัวจ่ายลมและโคมไฟต่างๆ จึงตัดสินใจที่จะให้มีการใช้ห้องผ่าตัดที่ติดกัน (ขนาด 8.8 x 6.4 เมตร และฝ้าสูง 3.0 เมตร) ทำหน้าที่ห้อง ANTE โดยมีระดับความดันเป็นบวก สร้างอากาศเย็นที่สะอาดจ่ายสู่ห้องผ่าตัดหลักความดันลบ เพื่อชดเชยการระบายอากาศและลดการรั่วไหล

ลักษณะผังและการเชื่อมต่อระหว่างห้องผ่าตัดและห้อง ANTE ตามแสดงในรูปที่ 5 โดยทีมแพทย์เข้าเตรียมตัวในห้อง ANTE และปรับห้องเก็บผ้าเปื้อนเดิมเป็นทางเชื่อมเข้ามายังห้องผ่าตัด ซึ่งหลังการปรับปรุงพบว่า สามารถสร้างความดันลบในห้องผ่าตัดหลักได้ต่ำกว่า -2.5 Pa เมื่อเทียบกับทางเดิน โดยจ่ายอากาศสะอาดอุณหภูมิต่ำมาจากห้อง ANTE และสามารถเปิดการใช้งานได้



รูปที่ 5 ลักษณะผังแปลนห้องผ่าตัดทำงานคู่กับห้อง ANTE ดัดแปลง

อย่างไรก็ตาม คณะทำงานยังมีความกังวล เกี่ยวกับการรั่วไหลของอากาศจากฝ้าเพดาน จากรอยปริระหว่างขอบแผ่นฝ้าและอุปกรณ์ต่างๆ จึงแนะนำให้มุ่งเน้นการตรวจสอบและผนึก (Seal) รอยรั่วอย่างละเอียด รวมถึงการอบโอโซนฆ่าเชื้อโรคเหนือช่องฝ้า ก่อนการผ่าตัดทุกๆครั้ง

4.2 การพัฒนาต้นแบบ แบบ Negative Pressure Chamber

หลังจากเริ่มใช้งานต้นแบบห้องผ่าตัดความดันลบแบบห้องคู่ ทางสภาบันฯ มีความจำเป็นในการจัดทำห้องผ่าตัดความดันลบเพิ่มเติมอย่างเร่งด่วนภายใน 1 เดือน เพื่อรองรับการผ่าตัดของโรงพยาบาลในเครือข่าย คณะทำงานจึงได้ทบทวนถึงข้อจำกัดต่างๆ ประกอบด้วย

- โรงพยาบาลส่วนใหญ่ ไม่มีห้องผ่าตัดหลายห้อง หรือมีการจัดวางผังที่สามารถเชื่อมต่อได้ตามลักษณะต้นแบบห้องคู่
- มีความซับซ้อน ในการสมดุลระดับความดันลมระหว่าง 2 ห้อง
- พื้นที่รวมมีขนาดใหญ่ โอกาสในการรั่วไหลมีสูง ควบคุมได้ยาก

ดังนั้นจึงพิจารณาการปรับปรุงอีกครั้ง ตากหลักวิศวกรรมคุณค่าโดยคงหน้าที่หลัก (Function) ของห้องผ่าตัดดังนี้

- ทีมแพทย์และพยาบาลสามารถทำงานได้
- ควบคุมพื้นที่บริเวณผ่าตัด ให้มีความดันเป็นลบ เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของเชื้อโรคจากคนไข้
- รักษาระดับความดันในห้องผ่าตัดให้เป็นบวก เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกจากอากาศภายนอกเข้าติดเชื้อคนไข้ขณะผ่าตัด
- มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำ สามารถปรับปรุงได้รวดเร็วทันเหตุการณ์
- ดูแลรักษาได้โดยง่าย ลดการพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน
- เหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะฉุกเฉินในโรงพยาบาลภูมิภาค

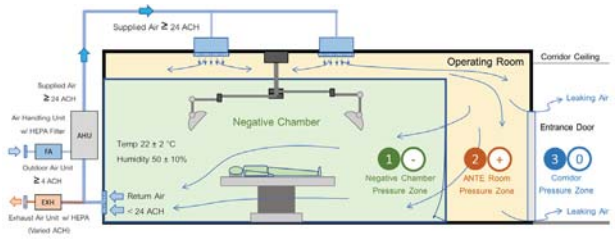
คณะทำงานจึงได้นำเสนอแนวคิดในการจัดทำส่วนความดันลบ (Negative Pressure Chamber) ให้ซ้อนอยู่ภายในห้องผ่าตัดที่โดยรวมยังคงระดับความดันบวก (Positive Pressure) ดังรูปที่ 6

แนวคิดนี้สามารถใช้ระบบปรับอากาศและระบายอากาศที่มีอยู่เดิมได้ โดยการสร้าง Negative Pressure Chamber ให้ชิดผนังด้านหัวเตียงครอบห้องดูดระบายอากาศที่ผนัง ซึ่งแรงดูดอากาศจะสร้างสภาวะความดันลบเมื่อเทียบกับความดันในห้องผ่าตัดนอก Chamber ป้องกันการฟุ้งกระจายของเชื้อจากคนไข้

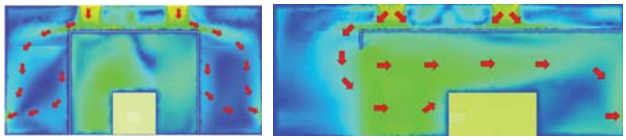
พื้นที่ Chamber มีขนาดไม่น้อยกว่า 6.0 x 3.0 เมตร สูงต่ำกว่าระดับฝ้าเพดานอย่างน้อย 30 เซนติเมตร เพื่อให้อากาศสะอาดอุณหภูมิต่ำจากหัวจ่ายสามารถสร้างสภาวะความดันบวกภายในห้องผ่าตัดรอบๆ Chamber เสมือนเป็น Air-Lock Zone ป้องกันการรั่วไหลของอากาศสกปรกจากภายนอกเข้ามาตามขอบประตูและโดยเฉพาะจากรอยปริของฝ้าเพดาน โดยมวลอากาศไหลเวียน อ้อมมาสู่ทางเข้าของ Chamber ที่ด้านปลายเตียง และผ่านคนไข้จากปลายเท้าไปสู่ศีรษะ เข้าสู่ช่องดูดอากาศที่ผนัง ดังแสดงในรูปที่ 6(a) และ 6(b)

เนื่องจากห้องผ่าตัดยังคงใช้ระบบอากาศสะอาดที่มีอยู่เดิม จึงมีเพียงการลงทุนสร้าง Negative Pressure Chamber ที่ประมาณ 30,000 – 50,000 บาท จากโครงอลูมิเนียมและผนังพลาสติกใส ซึ่งช่างท้องถิ่นในภูมิภาคสามารถจัดสร้างขึ้นได้ และใช้เวลาติดตั้งไม่เกิน 1 สัปดาห์ โดยต้นแบบได้ถูกจัดสร้างขึ้นภายในห้องผ่าตัดขนาด 8.8 x 6.4 เมตร

ดังแสดงรูปที่ 7 และสามารถเปิดให้บริการการผ่าตัดได้ รวมถึงเป็นแนวทางสำหรับโรงพยาบาลเครือข่ายนำไปจัดสร้างต่อไป



(a) ตำแหน่ง Chamber และ ทิศทางการไหลของอากาศ



(c) แบบ CFD จำลองการไหลของอากาศ

รูปที่ 6 แนวคิด Negative Pressure Chamber ในห้องผ่าตัด



รูปที่ 7 Negative Chamber ในห้องผ่าตัดฉุกเฉิน
สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี (โรงพยาบาลเด็ก)

อย่างไรก็ตาม แนวคิดนี้มีข้อจำกัด คือ

1. สามารถทำได้เฉพาะห้องผ่าตัดที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมักเป็นห้องผ่าตัดที่จัดสร้างมานานกว่า 20 ปี ที่จะสามารถจัดทำ Negative Pressure Chamber สำหรับการทำงานของแพทย์และพยาบาลได้

2. ความกังวลของทีมแพทย์ ที่ไม่คุ้นเคยต่อลักษณะห้องผ่าตัดที่เปลี่ยนไป และมีขนาดที่เล็กแคบลง ดังนั้นจึงได้ร่วมกับทีมแพทย์ ในการทดสอบการใช้พื้นที่ โดยการจำลองสถานการณ์การผ่าตัด การวางเครื่องมือ ภายในกรอบพื้นที่ของ Chamber เพื่อให้แพทย์ทุกๆ ท่าน มั่นใจในการปฏิบัติการ และเห็นชอบร่วมกัน ก่อนการดำเนินการ

4.3 การขยายผล

กรมการแพทย์ได้ประสานนำต้นแบบห้องผ่าตัดความดันลบแบบ Negative Pressure Chamber ที่ได้จัดทำขึ้นไปจัดสร้างสำหรับโรงพยาบาลสายบุรี จังหวัดปัตตานี ซึ่งเป็นโรงพยาบาลท้องถิ่นขนาดกลาง ประสบปัญหาในการงดให้บริการการผ่าตัดในช่วงการระบาด ให้แล้วเสร็จภายใน 2 สัปดาห์ โดยหัวหน้าช่างที่มีประสบการณ์จากสถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี ได้เดินทางไปยังโรงพยาบาลสายบุรี เพื่อดำเนินการควบคุมการจัดสร้าง โดยช่างผู้รับเหมาท้องถิ่นจนกระทั่งแล้วเสร็จ ดังรูปที่ 8 ภายในเวลาที่กำหนด ด้วยงบประมาณ 50,000 บาท สำหรับโครงสร้าง Negative Pressure Chamber และ ชุดกรองอากาศ HEPA เสริมจากระบบเดิมอีกประมาณ 150,000 บาท



รูปที่ 8 Negative Chamber ในห้องผ่าตัดฉุกเฉิน
ณ โรงพยาบาลสายบุรี จังหวัดปัตตานี

หลังจากประสบความสำเร็จในการจัดทำต้นแบบ ณ โรงพยาบาลทั้ง 2 แห่ง กรมการแพทย์ได้ประสานการสนับสนุนจาก กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ เข้าตรวจสอบการทำงานของระบบ และจัดตั้งคณะทำงาน ร่วมหลายหน่วยงานในการพัฒนาแนวทาง (Guideline) สำหรับโรงพยาบาลทั่วประเทศ ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงห้องผ่าตัด ให้สามารถใช้งานในภาวะฉุกเฉินจากการระบาดของโควิด-19 ได้ โดยกรมการแพทย์ ได้สรุปผลเผยแพร่เป็นเอกสารและวิดีโอ ผ่านช่องทางสื่อต่างๆ [12,13]

5. สรุป

การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (Covid-19) ในช่วงเริ่มต้น ส่งผลให้โรงพยาบาลจำนวนมากต้องงดการให้บริการการผ่าตัด เนื่องจากห้องผ่าตัดที่มีอยู่เดิม ถูกออกแบบให้มีสภาวะแรงดันบวก (Positive Pressure) ซึ่งอาจทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อ Covid-19 จากคนไข้สู่บริเวณอื่นๆภายในอาคารได้ การจัดสร้างห้องผ่าตัดความดันลบสำหรับคนไข้ติดเชื้อ มีงบประมาณที่สูงถึง 3-4 ล้านบาท และใช้เวลาหลายเดือนในการก่อสร้าง ดังนั้นจำเป็นต้องปรับปรุงห้องผ่าตัดที่มีอยู่เดิม ให้สามารถป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อไวรัสจาก

คนไข้ออกสู่ภายนอก และขณะเดียวกันป้องกันอากาศสกปรกจากภายนอกไหลเข้าสู่ห้องผ่าตัดที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อของคนไข้

การออกแบบปรับปรุงห้องผ่าตัดบนพื้นฐานแนวคิดของ วิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering) ให้มีคุณค่าเพิ่มสูงขึ้นสำหรับการให้บริการในภาวะฉุกเฉินของการระบาด โดยยึดหน้าที่หลักของระบบอากาศสะอาดของห้องผ่าตัด และลดต้นทุน (Cost) ทางด้านงบประมาณ เวลา การพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ตลอดจนความกังวลและอุปสรรคต่างๆที่เป็น Pain Points ของทีมแพทย์และโรงพยาบาลขนาดกลาง ในภูมิภาคต่างๆของประเทศ

ต้นแบบนวัตกรรมห้องผ่าตัดความดันลบ แบบ Negative Pressure Chamber ได้ถูกติดตั้งใช้งานที่ โรงพยาบาลสถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี จังหวัดกรุงเทพ และ โรงพยาบาลสายบุรี จังหวัดปัตตานี โดยการประสานงานและผลักดันของกรมการแพทย์ ได้จัดทำเป็นเอกสารและวิดีโอแพร่ สำหรับโรงพยาบาลในภูมิภาคต่างๆ นำไปปรับปรุงห้องผ่าตัดที่มีอยู่เดิม ได้ด้วยตนเองจากช่างผู้รับเหมาท้องถิ่น สามารถลดการใช้งบประมาณจาก 3 – 4 ล้านบาท เหลือไม่เกิน 200,000 บาท (หากไม่จำเป็นต้องปรับปรุงระบบกรองอากาศสะอาด จะใช้งบประมาณเพียง 50,000 เท่านั้น) และลดระยะเวลาในการปรับปรุงห้องผ่าตัดในสภาวะฉุกเฉินจากหลายเดือนเหลือเพียง 2 สัปดาห์ ทำให้แข่งขันกับเวลาและงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้บริหาร บุคลากรทางการแพทย์ และทีมวิศวกรรมของ โรงพยาบาลสถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี ในการร่วมพัฒนาต้นแบบ นวัตกรรมห้องผ่าตัดความดันลบในครั้งนี้ และ ผู้บริหารเจ้าหน้าที่ของกรมการแพทย์ ในการการผลักดันการกำหนดแนวทางการดำเนินการจัดทำและเผยแพร่เพื่อโรงพยาบาลในภูมิภาคต่างๆของประเทศสามารถนำไปใช้ประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

[1] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., “ASHRAE Standard 170-2017: Ventilation of Health Care Facilities”, ISSN 1041-2336, 2017.

[2] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. “ ASHRAE Manual: HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics” 2nd ed., ISBN 978-1-936504-39-8, 2013.

[3] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), “คู่มือผู้ใช้ ตู้ความดันลบ Negative Pressure Cabinet”, https://bit.ly/3tf3Dqw , 2563.

[4] กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ และ สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, “แนวทางการจัดทำ Modified AIIR สำหรับผู้ป่วยโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในสถานการณ์ฉุกเฉิน”, https://bit.ly/3CJVbml , 2563.

[5] ตุลย์ มณีวัฒนา, “Design Concept ที่สำคัญ 14 ประการของห้องแยกโรค (AIIR)” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, https://youtu.be/wBFZoNnxjmM, 2563.

[6] ขจรศักดิ์ ศิลปโภชากุล, “Covid-19 Innovative Course for Innovator” หน่วยโรคติดเชื้อ ภาควิชาอายุรศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, การบรรยายสด https://bit.ly/3uiRlgv , 2563

[7] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม, “AIIR and Negative Pressure Room for COVID-19 Thailand”, Facebook Page, https://bit.ly/3tcL9XR, พศ. 2563

[8] สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, “เสวนาออนไลน์ แนวทางการปรับปรุงห้องผ่าตัดสำหรับผู้ป่วย Covid-19”, https://bit.ly/3CHYZop , 2563

[9] อัมพิกา ไกรฤทธิ์. วิศวกรรมคุณค่า เทคนิคการลดต้นทุนอย่างมีระบบ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.

[10] ธนิน ศรีวะรมย์, ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์ และชวลิต มณีศรี. “การเพิ่มผลผลิตผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานด้วยการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพและวิศวกรรมคุณค่า”. วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 6 มกราคม – ธันวาคม 2557, 57–67.

[11] ชวลิต มณีศรี, ปิยะภัทร แสงงาม, อาทิตย์ ตัณฑ์ธนศิวะกุล และเสมา พัฒน์ฉิม. “การพัฒนาสื่อการสอนสำหรับการควบคุมประแจสับรางไฟฟ้าด้วยหลักวิศวกรรมคุณค่า.” รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 15. , 18 ธันวาคม 2563 มหาวิทยาลัยศรีปทุม. หน้า 1255 - 1264.

[12] กรมการแพทย์, “แนวทางการปรับปรุงห้องผ่าตัดความดันลบ (Modify Negative Pressure Operation Room) สำหรับผู้ป่วยโรคติดเชื้อไวรัสโคโรน่า (โควิด-19) ในสถานการณ์ฉุกเฉิน”, https://bit.ly/3CHYZop , 2564.

[13] กรมการแพทย์, “การปรับปรุงห้องผ่าตัดแบบชั่วคราวหรือกึ่งถาวรในสถานการณ์ COVID 2019 – Modified Negative Pressure Room”, https://bit.ly/2Rxjpgd , 2564.

เครื่องมือในการเลือกเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับชาวนา

Farm Machinery Selection Tools for Rice Farmers

ณภาภรณ์ เต็มภักดี[1] ธนกฤต โชติถาวรศักดิ์[1] จุฑา พิชิตลำค๊ญ[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: juta.p@ku.th*

Naphaphorn Temphakdee[1] Thanakrit Chottawornsak[1] Juta Pichitlamken[1*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: juta.p@ku.th*

บทคัดย่อ

เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจที่ถดถอยของประเทศไทย และราคาผลผลิตเกษตรมีแนวโน้มปรับตัวลงในแต่ละปี โดยเฉพาะข้าวเปลือก ส่งผลให้ชาวนาในประเทศไทยเผชิญกับความยากลำบาก เทคโนโลยี และคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการช่วยเหลือชาวนาเกี่ยวกับการตัดสินใจเลือกซื้อจักรกลเกษตรที่เหมาะสมแก่ตนเอง ผ่านการคำนวณถึงจุดคุ้มทุนให้ชาวนา เนื่องจากเป็นตัวแปรสำคัญต่อต้นทุนในการทำการเกษตร โดยใช้ข้อมูลของชาวนาในจังหวัดนครราชสีมาเป็นข้อมูลอ้างอิง ประกอบด้วย พื้นที่ที่ชาวนาปลูกข้าวหน่วยเป็นไร่ และขนาดรถแทรกเตอร์ที่ชาวนาต้องการเลือกซื้อ โดยจำแนกเป็น 3 ขนาด คือ เล็ก กลาง และใหญ่ ซึ่งจะทำให้ชาวนาตระหนักถึงภาระของตนเองชัดเจนขึ้น สามารถวางแผนในการเพาะปลูกหลังจากซื้อจักรกลเกษตรได้ดีขึ้น ส่งผลให้หนี้สินลดลง การเงินในภาคเกษตรดีขึ้น การดำเนินโครงงานด้วยการเก็บข้อมูลจากชาวนาโดยวิธีสัมภาษณ์รายบุคคลผ่านทางโทรศัพท์ เพื่อสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับการเพาะปลูกข้าว เช่น ขนาดที่ดิน และอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันของรถแทรกเตอร์ จากนั้นนำข้อมูลเก็บรวบรวมมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกซ์เซล (Microsoft Excel) โดยใช้วิธีการคำนวณดอกเบี้ยแบบเงินต้นคงที่ (Flat Rate) และทฤษฎีจุดคุ้มทุน (Break Even Point Analysis) จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดที่วิเคราะห์มาทำให้อยู่ในรูปที่ชาวนาสามารถใช้งานได้โดยง่ายด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิกฟอร์แอปพลิเคชัน (Visual Basic for Applications) เพื่อพัฒนาเครื่องมือช่วยคำนวณผลลัพธ์ต่าง ๆ สำหรับชาวนา ได้แก่ ต้นทุนรวมรายได้ และกำไรจากการเพาะปลูกข้าว รวมถึงขนาดพื้นที่ที่ชาวนาต้องรับจ้างเพิ่มเพื่อให้ถึงจุดคุ้มทุนในแต่ละปี ซึ่งเห็นได้ชัดว่ารายได้จากการเพาะปลูกของชาวนาจัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำเมื่อเทียบกับค่าแรงขั้นต่ำ และค่าครองชีพของประเทศไทยอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งดอกเบี้ยที่ต้องชำระในการเช่าซื้อเครื่องจักรกลเกษตรคิดเป็นสัดส่วนที่สูงของต้นทุนรวม ดังนั้น ทางผู้จัดทำฯ จึงพัฒนาเครื่องมือช่วยคำนวณทั้งหมด 2 รูปแบบ คือ คำนวณค่าแรงของชาวนา และไม่คำนวณค่าแรงของชาวนา

คำสำคัญ: เครื่องจักรกลเกษตร, ชาวนา, การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

Abstract

As the recession hits Thailand, prices of farm products tends to drop every year, particularly unmilled rice, farmers face economic difficulties. Technologies and computers can play an important role in helping rice farmers to determine appropriate farm machinery because it is a significant cost. We perform the breakeven analysis by utilizing actual farmer's data in Nakon Ratchasima, consisting of rice planting areas and the size of the tractors. They come in 3 sizes: small, medium, large. This tool can help farmers realize their burden more concretely and better plan their capability of planting after purchasing farm machinery. At the end, it can lead to fewer debts and lessen the financial burdens in the agricultural sector. Farmers were interviewed through direct phone calls to ask about their rice cultivation, e.g., land sizes and fuel consumption of tractor. The collected data was analyzed with the Microsoft Excel program. We calculated interest rates in the flat-rate method and analyze cost by finding a break-even point. We developed a VBA (Visual Basic for Applications) tool to calculate the financial outputs for farmers: the total cost of rice cultivation, the revenue of rice cultivaltion and the size of areas that the farmers have to work increasing in order to achieve a break-even point each year. It is obviously shown that the revenue of farming is significantly lower than Thailand's minimum wage and living expenses. Moreover, interest payment from rent-buy farm machinery is a high proportion of total cost. Thus, our tool provides two versions: with or without farmers' own labor costs.

Keywords: Farm machinery, Rice Farmers, Break-even analysis

1.บทนำ

ภาคเกษตรมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ และสังคมของประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ยังคงยึดอาชีพเกษตรกรเป็นอาชีพหลัก นับเป็นรากฐานที่สำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ โดยข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2564) สภาพเศรษฐกิจชะลอตัวอย่างต่อเนื่อง เกษตรกรเป็นหนี้มากขึ้น แต่ผลผลิตของข้าวในไตรมาสที่ 1 กลับเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 14.46 เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา คาดว่าเนื่องด้วยปริมาณฝนที่ตกเพิ่มขึ้นในช่วงครึ่งหลังของปี พ.ศ. 2563 ทำให้มีปริมาณน้ำเพียงพอต่อการเพาะปลูก รวมถึงราคาสินค้าพืชหลายชนิดปรับตัวเพิ่มขึ้น จูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่เพาะปลูก [1] นอกจากนี้ ประเทศไทยจะก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ หรือมีสัดส่วนผู้สูงอายุในช่วง 60 ปีขึ้นไปถึงร้อยละ 20 ของจำนวนประชากรทั้งหมด ทำให้ขาดแคลนแรงงาน ค่าแรงสูงขึ้น เกษตรกรจึงต้องการเครื่องช่วยทุ่นแรงในการทำงาน จากสาเหตุเหล่านี้ทำให้เกษตรกรตัดสินใจซื้อเครื่องจักรกลเกษตรมากขึ้น ดังนั้น การตัดสินใจซื้อเครื่องจักรกลเกษตร เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้หนี้สินครัวเรือนเกษตรสูงขึ้น เนื่องจากเกษตรกรเลือกซื้อเครื่องจักรกลเกษตรที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งานของตน ไม่ก่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน จนทำให้ไม่สามารถชำระค่างวดได้ โดนยึดทรัพย์สินและโดนปรับจากสัญญาเช่าซื้อไปในที่สุด ด้วยเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมานี้ ผู้จัดทำฯ จึงได้พัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์ทางเลือกประกอบการตัดสินใจของเกษตรกร ในการเลือกซื้อเครื่องจักรกลเกษตรให้มีความคุ้มค่า และเหมาะสมกับตนเองมากที่สุด โดยใช้ต้นทุนรวมต่อการปลูกข้าว 1 ไร่เป็นเกณฑ์ ทางเลือกที่คุ้มค่าที่สุดจะนำมาแสดงเป็นผลลัพธ์ให้ชาวนาสำหรับการเลือกซื้อรถแทรกเตอร์ที่เหมาะสมต่อไป

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 ศึกษาข้อมูลในการปลูกข้าว

ข้าวเป็นธัญพืชสำคัญในด้านโภชนาการและเป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ การปลูกข้าวในแต่ละพื้นที่นั้นจะมีความแตกต่างกัน เนื่องด้วยปัจจัยหลาย ๆ ด้าน เช่น สภาพของพื้นที่ภูมิอากาศ และปริมาณน้ำสำหรับการทำนา สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การปลูกข้าวนาปี และการปลูกข้าวนาปรัง [2] โดยชาวนาในจังหวัดนครราชสีมานิยมปลูกข้าวนาปีมากกว่าข้าวนาปรัง อ้างอิงจากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตร และสหกรณ์ พบว่ามีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวนาปี 3,558,809 ไร่ แต่มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังเพียง 29,597 ไร่ [3]

2.2 ศึกษาข้อมูลและราคาของเครื่องจักรกลเกษตร

ในปัจจุบันงานทางด้านการเกษตรกรรมจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องจักรกลเข้ามาร่วมในการทำงาน แต่เครื่องจักรกลเกษตรในโครงงานนี้ ผู้จัดทำฯ เลือกพิจารณาเพียงรถแทรกเตอร์เท่านั้น ซึ่งจะจำแนกรถแทรกเตอร์เป็น 3 ขนาด คือ เล็ก กลาง และใหญ่ ซึ่งรถแทรกเตอร์นับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการเกษตรกรรม ทั้งนี้ เพราะแทรกเตอร์มีขีดความสามารถในการทำงานได้อย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันแทรกเตอร์ได้ถูกออกแบบให้สามารถใช้งานได้หลายประเภท เช่น ใช้เป็นเครื่องต้นกำลังในการฉุดลากเครื่องมือในการเตรียมดิน ถ่ายทอดกำลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ให้แก่เครื่องมือ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ เป็นต้น

2.3 สัมภาษณ์เชิงลึกเกษตรกร

สัมภาษณ์เชิงลึกเกษตรกรในจังหวัดนครราชสีมาที่เพาะปลูกข้าว และเป็นเจ้าของรถแทรกเตอร์ในปี พ.ศ. 2563 จำนวน 108 ราย ผ่านทางโทรศัพท์ โดยสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับการเพาะปลูกข้าว เช่น ขนาดที่ดินในการเพาะปลูกข้าว อัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน และการทำงานของแทรกเตอร์ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนเกี่ยวกับเครื่องจักรกลเกษตร โดยร้อยละ 42 ของชาวนาที่สัมภาษณ์ครอบครองพื้นที่ระหว่าง 4 ถึง 21 ไร่

2.4 เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด

เก็บรวบรวมข้อมูลต้นทุนในการเพาะปลูกข้าวทั้งหมด โดยสามารถจำแนกต้นทุน ดังนี้ ต้นทุนวัตถุดิบ ได้แก่ ค่าเมล็ดพันธุ์ข้าว ค่าปุ๋ย ต้นทุนเครื่องจักรกลเกษตร ได้แก่ ค่าน้ำมัน ค่าบำรุงรักษา ค่าแรงของคนขับแทรกเตอร์ ค่าดอกเบี้ย และต้นทุนอื่น ๆ ได้แก่ ค่าจ้างหว่านเมล็ด ค่าจ้างในการพ่นยา ค่าจ้างในการเก็บเกี่ยว จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อหาต้นทุนที่กล่าวข้างต้นในหน่วยบาทต่อไร่

2.5 วิเคราะห์ต้นทุนรวม

ในการวิเคราะห์ต้นทุนรวม ผู้จัดทำฯ ได้แบ่งต้นทุนออกเป็น 2 ประเภท คือ ต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร เมื่อนำต้นทุนทั้งหมดที่กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.4 มาจำแนก สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณต้นทุนรวม และต้นทุนต่อไร่ของรถแต่ละขนาดขนาดพื้นที่ 21 ไร่ ดังตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ต้นทุนรวมของการทำนาโดยใช้รถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ขนาดพื้นที่ 21 ไร่

ขนาดพื้นที่	21	ไร่	
ขนาดรถ	ต้นทุนในการเพาะปลูกข้าว		
รถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	**ต้นทุนผันแปร**		
	ค่าเมล็ดพันธุ์	13,300.56	บาท
	ค่าปุ๋ย	18,438.00	บาท
	ค่าจ้างในการหว่านเมล็ด	1,050.00	บาท
	ค่าจ้างในการพ่นยา	10,500.00	บาท
	ค่าจ้างในการเก็บเกี่ยว	11,550.00	บาท
	ค่าน้ำมัน	306.39	บาท
	ค่าบำรุงรักษา	110.46	บาท
	ค่าแรงของคนขับ	345.45	บาท
	ต้นทุนคงที่		
	ยอดชำระรายปี	127,807.14	บาท
ต้นทุนรวม		**183,408.00**	**บาท**
ต้นทุนต่อไร่		**8,733.71**	**บาท**

ตารางที่ 2 ต้นทุนรวมของการทำนาโดยใช้รถแทรกเตอร์ขนาดกลาง ขนาดพื้นที่ 21 ไร่

ขนาดพื้นที่	21	ไร่	
ขนาดรถ	ต้นทุนในการเพาะปลูกข้าว		
รถแทรกเตอร์ขนาดกลาง	**ต้นทุนผันแปร**		
	ค่าเมล็ดพันธุ์	13,300.56	บาท
	ค่าปุ๋ย	18,438.00	บาท
	ค่าจ้างในการหว่านเมล็ด	1,050.00	บาท
	ค่าจ้างในการพ่นยา	10,500.00	บาท
	ค่าจ้างในการเก็บเกี่ยว	11,550.00	บาท
	ค่าน้ำมัน	296.10	บาท
	ค่าบำรุงรักษา	81.90	บาท
	ค่าแรงของคนขับ	221.55	บาท
	ต้นทุนคงที่		
	ยอดชำระรายปี	160,860.71	บาท
	ต้นทุนรวม	**216,298.82**	**บาท**

ขนาดพื้นที่	21	ไร่	
ขนาดรถ	ต้นทุนในการเพาะปลูกข้าว		
รถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่	**ต้นทุนผันแปร**		
	ค่าเมล็ดพันธุ์	13,300.56	บาท
	ค่าปุ๋ย	18,438.00	บาท
	ค่าจ้างในการหว่านเมล็ด	1,050.00	บาท
	ค่าจ้างในการพ่นยา	10,500.00	บาท
	ค่าจ้างในการเก็บเกี่ยว	11,550.00	บาท
	ค่าน้ำมัน	295.26	บาท
	ค่าบำรุงรักษา	80.43	บาท
	ค่าแรงของคนขับ	174.93	บาท
	ต้นทุนคงที่		
	ยอดชำระรายปี	293,075.00	บาท
ต้นทุนรวม		**348,464.18**	**บาท**
ต้นทุนต่อไร่		**16,593.53**	**บาท**

2.6 สรุปผลการดำเนินงาน

อาศัยทฤษฎีจุดคุ้มทุน (Break Even Point Analysis) ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเพื่อให้ชาวนาทราบถึงภาระหน้าที่ที่จะเกิดขึ้นจากการเลือกซื้อแทรกเตอร์ คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \text{ขนาดพื้นที่ที่เกษตรกรต้องรับจ้างเพิ่ม} = \frac{\text{คงเหลือ}}{\left[\frac{\text{ต้นทุนแทรกเตอร์ผันแปร}}{\text{จำนวนไร่ที่เพาะปลูก}}\right] - \text{รายได้จากการรับจ้างต่อไร่}} \quad (1)$$

ประกอบกับทฤษฎี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเลือกให้เกษตรกร กรณีเกษตรกรต้องการคำนวณมูลค่าซาก เพื่อให้การวิเคราะห์มีความละเอียดยิ่งขึ้น โดยข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ มูลค่าซากของรถแทรกเตอร์แต่ละคันไม่เท่ากัน ทางผู้จัดทำฯ ได้ใช้การประมาณค่าเฉลี่ยจากการสืบค้นทางอินเตอร์เน็ต กำหนดให้มูลค่าซากใช้อัตราเงินเฟ้อร้อยละ 40 ของราคาเครื่องจักรรวมดอกเบี้ยจากการผ่อนชำระ

$$\text{มูลค่าปัจจุบัน ณ ปัจจุบัน} = \frac{\text{จำนวนเงินที่จะได้รับในวันสิ้นปีที่ } n}{(1 + \text{อัตราเงินเฟ้อ})^n} \quad (2)$$

3. ผลการดำเนินงาน

จากการวิเคราะห์ต้นทุนรวม แสดงให้เห็นว่าต้นทุนที่เป็นปัจจัยสำคัญ คือ ยอดชำระรายปีของแทรกเตอร์ที่ต้องใช้ในการเช่าซื้อ นอกจากนี้ ทางผู้จัดทำฯ ได้สังเกตถึงปัญหาที่เกษตรกรเผชิญจากราคาข้าวที่ปรับตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทุก ส่งผลให้การคำนวณรายรับของเกษตรไม่สอดคล้องกับรายจ่าย เนื่องจากพบว่าเกษตรกรมีรายจ่ายมากกว่ารายได้เมื่อทำการวิเคราะห์ต้นทุนต่อไร่ ทางผู้จัดทำฯ จึงได้เปลี่ยนรูปแบบในการคำนวณเป็นคำนวณจุดคุ้มทุนแบบรวมค่าแรงเกษตรกร กล่าวคือ ค่าแรงเกษตรกรทั้งหมดจะถูกนำมาคำนวณเป็นต้นทุนทั้งหมด คำนวณจุดคุ้มทุนแบบไม่รวมค่าแรงเกษตรกร กล่าวคือ ค่าแรงเกษตรกรทั้งหมดจะไม่ถูกนำมาคำนวณเป็นต้นทุน ยกเว้นค่าจ้างในการเก็บเกี่ยวผลผลิต เนื่องจากเกษตรกรจำเป็นต้องจ้างรถเกี่ยวนวดข้าวพร้อมคนขับในการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ทันต่อช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิต และการคำนวณจุดคุ้มทุนแบบรวมค่าแรงเกษตรกรและคำนวณมูลค่าซากของแทรกเตอร์ในปีสุดท้ายของการผ่อนชำระ กล่าวคือ ค่าแรงเกษตรกรทั้งหมดจะถูกนำมาคำนวณเป็นต้นทุนทั้งหมด มูลค่าซากในปีสุดท้ายของการผ่อนชำระ จะถูกเทียบมาเป็นมูลค่าปัจจุบัน ณ ปัจจุบัน อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 1.2 โดยใช้แนวคิดให้เกษตรกรทราบถึงภาระหน้าที่ที่จะเกิดขึ้นจากการเลือกซื้อแทรกเตอร์ ผ่านเครื่องมือวิเคราะห์จุดคุ้มทุน โดยทำการวิเคราะห์ในหลายมิติ เพื่อให้โครงงานมีความละเอียดและครอบคลุมมากขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรเห็นภาพถึงภาระหน้าที่ของตน สามารถตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นจำนวนพื้นที่ที่เกษตรกรจำเป็นต้องรับจ้างเพิ่มเติมจากที่ตนเพาะปลูก หน่วยเป็นไร่ต่อปี เพื่อความสะดวกต่อการสื่อสารกับเกษตรกรโดยตรง

3.1 วิเคราะห์จุดคุ้มทุน

ข้อมูลผลผลิตจากการเพาะปลูกของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พบว่าผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกเฉลี่ยต่อปีมีค่าเท่ากับ 417.40 กิโลกรัมต่อไร่ [4] และมีราคาข้าวเฉลี่ยต่อปีมีค่าเท่ากับ 12.13 บาทต่อกิโลกรัม [5] สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณจุดคุ้มทุนแบบรวมค่าแรงเกษตรกร ไม่รวมค่าแรงเกษตรเมื่อใช้รถแทรกเตอร์แต่ละขนาด โดยเกษตรกรมีพื้นที่ขนาด 21 ไร่ และการคำนวณจุดคุ้มทุนแบบรวมค่าแรงเกษตรกรและคำนวณมูลค่าซาก ดังตารางที่ 4 ตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 จุดคุ้มทุนแบบรวมค่าแรงเกษตรกรเมื่อใช้รถแทรกเตอร์แต่ละขนาด และมีพื้นที่ 21 ไร่

รายการ	ขนาดแทรกเตอร์ (คำนวณค่าแรงเกษตรกร)		
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
จำนวนไร่ที่เพาะปลูก (ไร่)	**21**	**21**	**21**
ต้นทุนวัตถุดิบและค่าแรง			
ค่าเมล็ดพันธุ์ (บาท)	13,300.56	13,300.56	13,300.56
ค่าปุ๋ย (บาท)	18,438.00	18,438.00	18,438.00
ค่าจ้างในการหว่านเมล็ด (บาท)	1,050.00	1,050.00	1,050.00
ค่าจ้างในการพ่นยา (บาท)	10,500.00	10,500.00	10,500.00
ค่าจ้างในการเก็บเกี่ยว (บาท)	11,550.00	11,550.00	11,550.00
ต้นทุนแทรกเตอร์ผันแปร			
ค่าน้ำมัน (บาท)	306.39	296.10	295.26
ค่าบำรุงรักษา (บาท)	110.46	81.90	80.43
ค่าแรงของคนขับ (บาท)	345.45	221.55	174.93
ต้นทุนแทรกเตอร์คงที่			
ยอดชำระรายปี (บาท)	127,807.14	160,860.71	293,075.00
ต้นทุนรวมของการเพาะปลูก (บาท)	**183,408.00**	**216,298.82**	**348,464.18**
ผลผลิตของการเพาะปลูก (กิโลกรัม)	8,765.40	8,765.40	8,765.40
ราคาข้าวเปลือกเฉลี่ย (บาทต่อกิโลกรัม)	12.13	12.13	12.13
รายได้เบื้องต้นจากการเพาะปลูก (บาท)	**106,324.30**	**106,324.30**	**106,324.30**
คงเหลือ	**-77,083.70**	**-109,974.52**	**-242,139.88**
รายได้จากการรับจ้าง (บาทต่อไร่)	500.00	500.00	500.00
ขนาดพื้นที่ที่เกษตรกรต้องรับจ้างเพิ่ม (ไร่ต่อปี)	**167**	**234**	**512**

ตารางที่ 5 จุดคุ้มทุนแบบไม่รวมค่าแรงเกษตรกรเมื่อใช้รถแทรกเตอร์แต่ละขนาด และมีพื้นที่ 21 ไร่

รายการ	ขนาดแทรกเตอร์ (ไม่คำนวณค่าแรงเกษตรกร)		
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
จำนวนไร่ที่เพาะปลูก (ไร่)	**21**	**21**	**21**
ต้นทุนวัตถุดิบและค่าแรง			
ค่าเมล็ดพันธุ์ (บาท)	13,300.56	13,300.56	13,300.56
ค่าปุ๋ย (บาท)	18,438.00	18,438.00	18,438.00
ค่าจ้างในการหว่านเมล็ด (บาท)	0.00	0.00	0.00
ค่าจ้างในการพ่นยา (บาท)	0.00	0.00	0.00
ค่าจ้างในการเก็บเกี่ยว (บาท)	11,550.00	11,550.00	11,550.00
ต้นทุนแทรกเตอร์ผันแปร			
ค่าน้ำมัน (บาท)	306.39	296.10	295.26
ค่าบำรุงรักษา (บาท)	110.46	81.90	80.43
ค่าแรงของคนขับ (บาท)	0.00	0.00	0.00
ต้นทุนแทรกเตอร์คงที่			
ยอดชำระรายปี (บาท)	127,807.14	160,860.71	293,075.00
ต้นทุนรวมของการเพาะปลูก (บาท)	**171,512.55**	**204,527.27**	**336,739.25**
ผลผลิตของการเพาะปลูก (กิโลกรัม)	8,765.40	8,765.40	8,765.40
ราคาข้าวเปลือกเฉลี่ย (บาทต่อกิโลกรัม)	12.13	12.13	12.13
รายได้เบื้องต้นจากการเพาะปลูก (บาท)	**106,324.30**	**106,324.30**	**106,324.30**
คงเหลือ	**-65,188.25**	**-98,202.97**	**-230,414.95**
รายได้จากการรับจ้าง (บาทต่อไร่)	500.00	500.00	500.00
ขนาดพื้นที่ที่เกษตรกรต้องรับจ้างเพิ่ม (ไร่ต่อปี)	**136**	**204**	**478**

ตารางที่ 6 จุดคุ้มทุนแบบรวมค่าแรงเกษตรกรและคำนวณมูลค่าซาก

รายการ	มูลค่าก่อนปรับ	มูลค่าปัจจุบัน ณ ปัจจุบัน
รายได้จากการขายผลผลิต ปีที่ 1 (บาท)	106,289.24	105,028.89
รายได้จากการขายผลผลิต ปีที่ 2 (บาท)	106,289.24	103,783.49
รายได้จากการขายผลผลิต ปีที่ 3 (บาท)	106,289.24	102,552.86
รายได้จากการขายผลผลิต ปีที่ 4 (บาท)	106,289.24	101,336.82
รายได้จากการขายผลผลิต ปีที่ 5 (บาท)	106,289.24	100,135.19
รายได้จากการขายผลผลิต ปีที่ 6 (บาท)	106,289.24	98,947.82
รายได้จากการขายผลผลิต ปีที่ 7 (บาท)	106,289.24	97,774.53
ผลรวมรายได้จากการขายผลผลิต (บาท)	**744,024.68**	**709,559.60**
ยอดชำระรายปี ปีที่ 1 (บาท)	127,807.14	126,291.64
ยอดชำระรายปี ปีที่ 2 (บาท)	127,807.14	124,794.11
ยอดชำระรายปี ปีที่ 3 (บาท)	127,807.14	123,314.34
ยอดชำระรายปี ปีที่ 4 (บาท)	127,807.14	121,852.11
ยอดชำระรายปี ปีที่ 5 (บาท)	127,807.14	120,407.23
ยอดชำระรายปี ปีที่ 6 (บาท)	127,807.14	118,979.47
ยอดชำระรายปี ปีที่ 7 (บาท)	127,807.14	117,568.65
ผลรวมยอดชำระรายปี (บาท)	**894,649.98**	**853,207.55**
ต้นทุนแทรกเตอร์ผันแปรกับต้นทุนวัตถุดิบและค่าแรง ปีที่ 1 (บาท)	55,600.86	54,941.56
ต้นทุนแทรกเตอร์ผันแปรกับต้นทุนวัตถุดิบและค่าแรง ปีที่ 2 (บาท)	55,600.86	54,290.08
ต้นทุนแทรกเตอร์ผันแปรกับต้นทุนวัตถุดิบและค่าแรง ปีที่ 3 (บาท)	55,600.86	53,646.32
ต้นทุนแทรกเตอร์ผันแปรกับต้นทุนวัตถุดิบและค่าแรง ปีที่ 4 (บาท)	55,600.86	53,010.20
ต้นทุนแทรกเตอร์ผันแปรกับต้นทุนวัตถุดิบและค่าแรง ปีที่ 5 (บาท)	55,600.86	52,381.62
ต้นทุนแทรกเตอร์ผันแปรกับต้นทุนวัตถุดิบและค่าแรง ปีที่ 6 (บาท)	55,600.86	51,760.50
ต้นทุนแทรกเตอร์ผันแปรกับต้นทุนวัตถุดิบและค่าแรง ปีที่ 7 (บาท)	55,600.86	51,146.74
ผลรวมต้นทุนแทรกเตอร์ผันแปรกับต้นทุนวัตถุดิบและค่าแรง (บาท)	**389,206.02**	**371,177.02**
มูลค่าซาก (บาท)	**357,859.99**	**329,192.22**
ผลรวมของรายได้ทั้งหมดระยะเวลา 7 ปี (บาท)	1,101,884.67	1,038,751.82
ผลรวมของรายจ่ายทั้งหมดระยะเวลา 7 ปี (บาท)	1,283,856.00	1,224,384.58
คงเหลือ (บาท)	**-181,971.33**	**-185,632.76**
ขนาดพื้นที่ที่เกษตรกรต้องรับจ้างเพิ่มระยะเวลา 7 ปี (ไร่)	**364**	**372**
ขนาดพื้นที่ที่เกษตรกรต้องรับจ้างเพิ่ม (ไร่/ปี)	**52**	**53**

สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณขนาดพื้นที่ที่เกษตรกรต้องรับจ้างเพิ่มเมื่อคำนวณค่าแรงเกษตรกร และมีพื้นที่ 21 ไร่ โดยใช้สมการที่ 1 ดังนี้

$$\text{ขนาดพื้นที่ที่ต้องรับจ้างเพิ่ม} = \frac{-77083.70}{\left[\frac{306.39+110.46+345.45}{21}\right]-500}$$

ขนาดพื้นที่ที่ต้องรับจ้างเพิ่ม = 167 ไร่

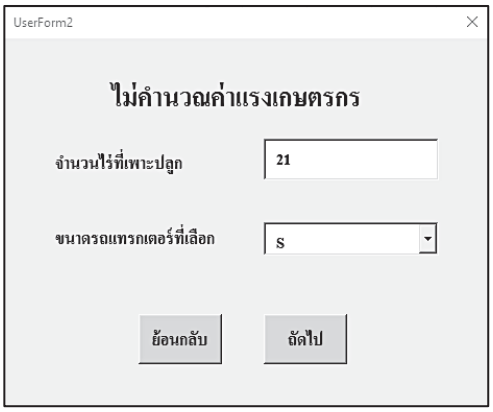
และสามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณมูลค่าปัจจุบันของรายได้จากการขายผลผลิตในปีที่ 1 โดยใช้สมการที่ 2 ได้ดังนี้

$$\text{มูลค่าปัจจุบัน ณ ปัจจุบัน} = \frac{106{,}289.24}{(1+0.012)^1}$$

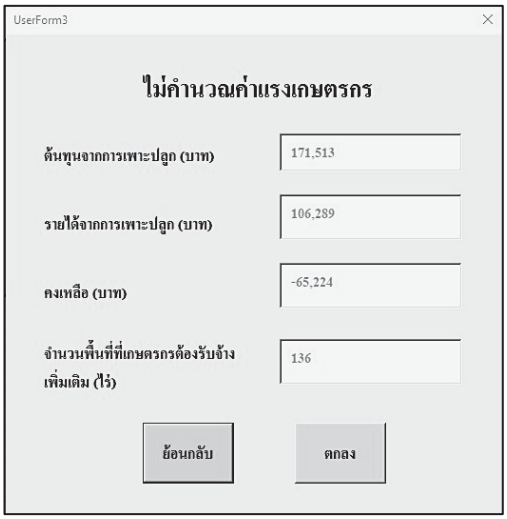
มูลค่าปัจจุบัน ณ ปัจจุบัน = 105,028.89 บาท

3.2 เครื่องมือแสดงผล

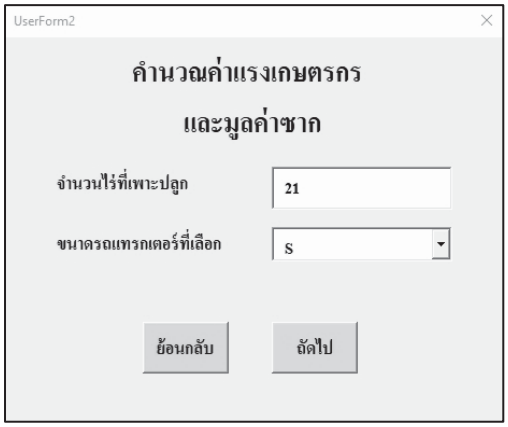
หลังจากนำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมมาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกซ์เซลเรียบร้อยแล้ว ทางผู้จัดทำฯ ได้นำข้อมูลทั้งหมดที่วิเคราะห์มาทำให้อยู่ในรูปแบบเครื่องมือแสดงผลที่เกษตรกรสามารถใช้งานได้ง่าย และสะดวกมากขึ้น ด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิกฟอร์ แอปพลิเคชัน สามารถแสดงตัวอย่างเครื่องมือแสดงผล ในรูปแบบการคำนวณจุดคุ้มทุนไม่รวมค่าแรงเกษตรกร ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 และการคำนวณจุดคุ้มทุนแบบรวมค่าแรงเกษตรกรและคำนวณมูลค่าซาก ดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ตามลำดับ



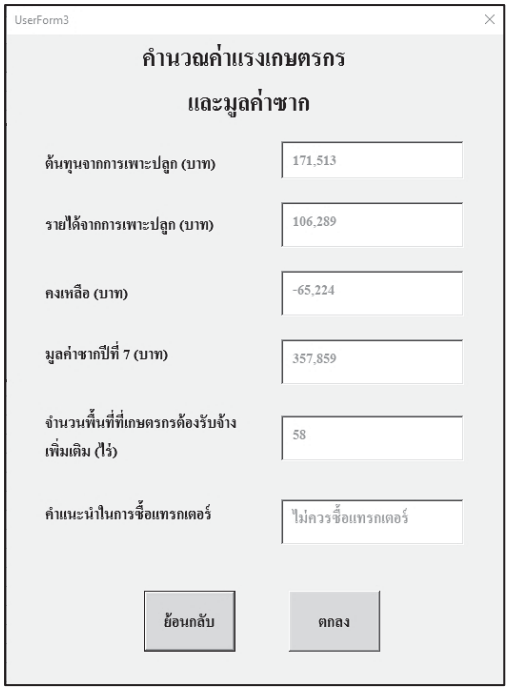
รูปที่ 1 ส่วนกรอกข้อมูลคำนวณจุดคุ้มทุนแบบไม่รวมค่าแรงเกษตรกร



รูปที่ 2 ส่วนแสดงผลคำนวณจุดคุ้มทุนแบบไม่รวมค่าแรงเกษตรกร



รูปที่ 3 ส่วนกรอกข้อมูลคำนวณจุดคุ้มทุนแบบรวมค่าแรงเกษตรกรและคำนวณมูลค่าซาก



รูปที่ 4 ส่วนแสดงผลคำนวณจุดคุ้มทุนแบบรวมค่าแรงเกษตรกรและคำนวณมูลค่าซาก

4. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

รายได้ของชาวนาในหน่วยบาทต่อปี จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำเมื่อเทียบกับค่าแรง และค่าครองชีพของประเทศไทย อีกทั้งจำนวนดอกเบี้ยที่ต้องจ่ายในการเช่าซื้อเครื่องจักรกลเกษตรตลอดระยะเวลา 7 ปีมีมูลค่าสูง ส่งผลให้หนี้สินครัวเรือนเกษตรมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ดังนั้น การพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยให้ชาวนาสามารถทราบถึงภาระหน้าที่ของตนที่จะเกิดขึ้นจากการเลือกซื้อแทรกเตอร์ จะทำให้ชาวนาเกิดการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่คุ้มค่า และเหมาะสมกับปัจจัยต่าง ๆ ที่ตนมีมากที่สุด ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่สามารถช่วยลดภาระหนี้สินของชาวนาได้

ข้อเสนอแนะในเรื่องการพัฒนาโปรแกรม ควรรับฟังข้อเสนอแนะ ปัญหา และข้อบกพร่องจากชาวนาที่ได้ทดลองใช้โปรแกรม เพื่อนำมาพัฒนาการดำเนินงานให้ดีขึ้น รวมถึงในอนาคตข้อมูลค่าน้ำมัน ค่าซ่อมบำรุง ต้นทุนวัตถุดิบ และค่าแรงต่าง ๆ อาจมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุง และแก้ไขโปรแกรมให้มีความสอดคล้องกับข้อมูล ณ เวลานั้น นอกจากนี้ ชาวนาควรกรอกข้อมูลที่ตรงกับปัจจัยที่ตนมีมากที่สุด เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมกับตนมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รศ.ดร. จุฑา พิชิตลำเค็ญ อาจารย์ที่ปรึกษา ในการ

ให้คำปรึกษา ตลอดจนการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคุณภูเบศ โชติถาวรศักดิ์ กรรมการผู้จัดการ บริษัท ทองไทยวัฒนา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์ในโครงงานฉบับนี้ รวมถึงการให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการดำเนินโครงงาน ส่งผลให้ผู้จัดทำฯ มีความเข้าใจในตัวข้อมูลมากขึ้น

ขอขอบพระคุณกรรมการผู้ประเมินบทความทุกท่าน สำหรับคำแนะนำที่ช่วยให้บทความมีเนื้อหาที่น่าสนใจมากขึ้น

ขอขอบพระคุณครอบครัวอันเป็นที่รัก อาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ตลอดจนเพื่อนนิสิตผู้เป็นกัลยาณมิตรทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้าน เป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ ทางผู้จัดทำฯ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับทุนสนับสนุนในการทำโครงงานครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรปี 2563 และแนวโน้มปี 2564 ข้อมูลจาก https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/bappdata/files (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 ตุลาคม 2564)

[2] กรมการข้าว, องค์ความรู้เกี่ยวกับข้าว, ข้อมูลจาก http://webold.ricethailand.go.th/rkb3/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 ตุลาคม 2564)

[3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, เนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร, ข้อมูลจาก https://www.oae.go.th/view/1/การใช้ที่ดิน/TH-TH (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 ตุลาคม 2564)

[4] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ตารางแสดงรายละเอียดข้าวนาปี, ข้อมูลจาก https://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดข้าวนาปี/TH-TH (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2564)

[5] สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล, ราคาข้าวเปลือกเจ้าหอมมะลิ 105, ข้อมูลจาก https://data.go.th/dataset/bea3c466-228a-4cad- 897f- ee8fc22db2b8/ resource/ 837adaba- e602- 4692-b873-f76dc3ae9d8f/download/xx.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 ธันวาคม 2564)

ปัจจัยที่สัมพันธ์กับการปฏิบัติตามพระราชบัญญัติความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 ของผู้ประกอบการในจังหวัดพัทลุง

Factors relate in Compliance with the Safety, Occupational Health and Environment at Work Act 2011 of Entrepreneurs in Phatthalung Province

อติกานต์ จุลนันโท[1,2] สุริยา จิรสถิตสิน[1*] กลางเดือน โพชนา[1] องุ่น สังขพงศ์[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[2]สำนักงานสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานจังหวัดพัทลุง
E-mail: suriya.j@psu.ac.th*

Atikan Junnunto[1,2] Suriya Jirasatitsin[1] Klangduen Pochana[1] Angoon Sungkhapong[1]
[1] Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
[2] Office of Labour Protection and Welfare Phatthalung
E-mail: suriya.j@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยของการปฏิบัติตามกฎหมายพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 ของผู้ประกอบการ สำหรับพื้นที่เขตจังหวัดพัทลุง ซึ่งขอบเขตงานวิจัยมีกลุ่มเป้าหมาย 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) สถานประกอบกิจการกลุ่มเสี่ยงมีจำนวน 37 แห่ง และ 2) สถานประกอบกิจการต้นแบบ จำนวน 22 แห่ง โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่าปัจจัยด้านโครงสร้างและการบริหารจัดการในส่วนของประเภท ขนาด และประการณ์การถูกดำเนินคดีของสถานประกอบกิจการมีผลต่อการดำเนินการตามกฎหมายความปลอดภัย ในส่วนของปัจจัยส่วนบุคคลพบว่า อายุ และประสบการณ์การฝึกอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยของนายจ้างมีผลต่อการดำเนินการตามกฎหมายความปลอดภัย และในส่วนของปัจจัยการรับรู้เรื่องการจัดการความปลอดภัยก็มีผลต่อการดำเนินการตามกฎหมายความปลอดภัยเช่นเดียวกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากการลงพื้นที่เข้าตรวจเยี่ยมกลุ่มเป้าหมายสามารถวิเคราะห์สาเหตุหลักของการไม่ปฏิบัติตามกฎหมายความปลอดภัยได้แก่ 1. ผู้ปฏิบัติงานขาดความรู้ 2. สถานประกอบกิจการไม่มีระบบการควบคุม 3. ไม่มีการจัดสรรงบประมาณเพื่องานความปลอดภัย และ 4. ขาดการกำกับดูแลจากหน่วยงานภาครัฐ ดังนั้นกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน ควรมีนโยบายส่งเสริมให้ผู้ประกอบการปฏิบัติตามกฎหมายความปลอดภัยให้มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: พรบ.ความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน, การปฏิบัติตามกฎหมาย, ผู้ประกอบการ

Abstract

The objective of this research is to study the factors of compliance with the occupational safety, health, environment at work act 2011 of the entrepreneurs in Phatthalung province. The research scope focuses on two target groups: Group 1: 37 risky establishments and Group 2: 20 prototype establishments. The data was collected by a questionnaire and analyzed by a statistical program. The analysis at the significant level of 0.05 showed that the structural and management factors in the part of the type, size, the litigation experience of the establishment affected the safety law implementation. The personal factors in the part of age, education level, employer's safety training experience affected the implementation of the safety law. In the perceive of safety management, affected the implementation. From the visiting of the target establishments, the main causes of the noncompliance with law were 1) Lack of the law knowledge, 2) No control systems of law compliance, 3) No budget allocation for the safety, 4) Lack of the governance from the public sector. Therefore, the Department of Labour Protection and Welfare should establish promotion policies to support the entrepreneurs in more actions to the act.

Keywords: Safety, Occupational Health and Environment at Work Act, Compliance, Entrepreneurs

การศึกษาผลกระทบของไวรัสโควิด-19 เพื่อบริหารความเสี่ยง และหามาตรการรองรับความเสี่ยงที่เหมาะสม

The Study of Covid-19 Consequences Analysis for Evaluate Risk Management and Risk Precaution Protocol

ประจวบ กล่อมจิตร[1*] ฐาปนี เริ่มประชาธิปไตย[2] ณศินา บุญศรี[3]
[1,2,3] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: klomjit_p@su.ac.th*

Prachuab Klomjit[1*] Thapanee Rermprachatipatai[2] Nasina Boonsri[3]
Department of Industrial Engineering and Management Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: klomjit_p@su.ac.th*

บทคัดย่อ

ไวรัสโควิด-19 เป็นโรคอุบัติใหม่ที่เริ่มระบาดทั่วโลกในเดือนธันวาคม พ.ศ.2562 โดยได้รับรายงานครั้งแรกจากนครอู่ฮั่น มณฑลหูเป่ย สาธารณรัฐประชาชนจีน พบผู้ป่วยจำนวนมากมีอาการไข้ สูง ไอแห้ง อ่อนเพลีย และมีอาการปอดอักเสบ การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ดังกล่าวส่งผลกระทบเป็นอย่างมาก มีการสั่งปิดสถานที่เป็นการชั่วคราว เช่น ห้างสรรพสินค้า การระงับการให้บริการของสถานบริการต่าง ๆ ทั้งในกรุงเทพฯ และปริมณฑล และในอีกหลายพื้นที่ การงดกิจกรรม อาทิ การแข่งขันกีฬา งานบันเทิง เป็นต้น ซึ่งส่งผลกับการดำเนินชีวิตของประชาชน ได้ส่งผลกระทบทุกมิติทั้งทางสังคมและเศรษฐกิจเป็นวงกว้างอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงต้องมีการบริหารความเสี่ยงเพื่อรองรับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 ที่เกิดขึ้นและอาจจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยความเสี่ยงนี้จะถูกวัดด้วยผลกระทบที่ได้รับ หรือความน่าจะเป็นของเหตุการณ์จึงต้องมีการวางแผนการบริหารและจัดการความเสี่ยง และหาแผนการรองรับที่ดีที่สุด เพื่อช่วยเป็นแนวทางในการตัดสินใจ การแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ทั้งยังลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้น จากสถานการณ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้น คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดการสร้างฉากทัศน์ (Scenario) ในการจำลองสถานการณ์ในกรณีต่าง ๆ ทั้งสถานการณ์ Base case, Worst case และ Best case Scenario เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับการบริหารความเสี่ยง โดยประเมินระดับความเสี่ยงจากการประเมินโอกาสและความรุนแรง R = I x P ซึ่งจะประเมินทั้งหมด 5 ด้าน ได้แก่ ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านสุขอนามัย ด้านมาตรการควบคุม ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อทำการบริหารความเสี่ยง จัดลำดับความเสี่ยง และเพื่อหามาตรการและแนวทางในการป้องกันและรับมือกับความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ : ไวรัสโควิด-19, ฉากทัศน์, บริหารความเสี่ยง

Abstract

Covid-19 virus It is a new disease that began to spread around the world in December 2019. It was first reported from Wuhan, Hubei Province, China. Many patients were found to have high fevers, dry coughs, fatigue and pneumonia. The spread of the Covid-19 virus has a huge impact temporary closures of places such as department stores have been ordered. Suspension of services of various service establishments in Bangkok and its vicinity and in many areas, suspension of activities such as sports competitions, entertainment events, etc., which affects the way of life of the people has clearly affected all dimensions, both social and economic. Therefore, there must be risk management to cope with the situation of the Covid-19 virus that may occur and may occur in the future. Risks are measured by their impact or the likelihood of an event. Therefore, risk management planning and management are required and find the best protocol to guide decisions and solving various problems and also reducing the damage that may occur in the future, therefore, from such a situation that arises, the concept of creating a scene (Scenario) to simulate the situation in various cases, whether it is a base case, worst case and best case to apply to risk management It assesses the level of risk by assessing the likelihood and severity R = I x P, which assesses all 5 areas, namely environmental, hygiene in terms of control measures, economic, social and environmental for risk management prioritize risk and to find measures and guidelines to prevent and cope with risks that may arise in the future.

Keywords: Covid-19, Scenario and Risk management

1. บทนำ

สถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ส่งผลกระทบเป็นลูกโซ่ไปทั้งระบบ ไม่ว่าจะเป็นภาวะแรงงานตกงาน รายได้ของครัวเรือนที่ลดลงท่ามกลางภาระค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น การซื้อสินค้าเพื่ออุปโภคบริโภค การปฏิสัมพันธ์ของคน และการเข้ารับบริการทางการแพทย์ จึงต้องมีการวางแผนการบริหารความเสี่ยงและหาแผนรองรับที่ดีที่สุด เพื่อช่วยเป็นแนวทางในการตัดสินใจ การแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ทั้งยังลดความเสียหายที่เกิดขึ้นและอาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

ดังนั้น จากสถานการณ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้น คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดการสร้างฉากทัศน์ (Scenario) ในการจำลองสถานการณ์ในกรณีต่าง ๆ ทั้งสถานการณ์ Base case, Worst case และ Best case Scenario เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับการบริหารความเสี่ยงและการมาตรการรองรับความเสี่ยงที่เหมาะสม

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากไวรัสโควิด-19 เพื่อนำไปสร้างฉากทัศน์จำลองสถานการณ์ในกรณีต่าง ๆ ในระดับครัวเรือนและระดับองค์กร

2. เพื่อนำหลักการบริหารความเสี่ยงมาประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19

3. เพื่อเสนอมาตรการรองรับความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 ที่เหมาะสม

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ระบาดวิทยาของโรคไวรัสโควิด-19

ไวรัสโควิด 19 เป็นตระกูลของไวรัสที่ก่อเกิดให้อาการป่วยตั้งแต่โรคไข้หวัดธรรมดาไปจนถึงโรคที่มีความรุนแรงมาก เช่น โรคระบบทางเดินหายใจตะวันออกกลาง(MERS-CoV) เป็นต้น ซึ่งเป็นสายพันธุ์ใหม่ที่ไม่เคยพบมาก่อนในมนุษย์ก่อให้เกิดอาการป่วยระบบทางเดินหายใจในคน และสามารถแพร่เชื้อจากคนสู่คนได้ โดยเชื้อไวรัสนี้พบครั้งแรกในการระบาดในเมืองอู่ฮั่น มณฑลหูเป่ย์ สาธารณรัฐประชาชนจีน ในช่วงปลายปี 2019

อาการของไวรัสโควิด-19 จะแสดงอาการระบบทางเดินหายใจ มีไข้ ไอ หายใจถี่ หายใจลำบาก ในกรณี ที่อาการรุนแรงมากอาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อน เช่น ปอดบวม ปอดอักเสบ ไตวาย หรืออาจเสียชีวิต

การป้องกันตนเองจากไวรัสโควิด-19 หลีกเลี่ยงการสัมผัสใกล้ชิดผู้มีอาการป่วย รักษาระยะห่างอย่างน้อย 1 เมตร หลีกเลี่ยงการสัมผัสบริเวณตา จมูก และปาก โดยที่ยังไม่ได้ล้างมือ ควรล้างมือบ่อย ๆ ด้วยน้ำสบู่ หรือน้ำยาแอลกอฮอล์ล้างมือ 70% และถ้าหากมีไข้ ไอ หายใจลำบาก ให้ไปพบแพทย์ทันที เมื่อมีอาการป่วยควรป้องกันการแพร่กระจายเชื้อสู่ผู้อื่น โดยควรพักอยู่ที่บ้าน ปิดปากและจมูกด้วยทิชชูทุกครั้งที่ไอหรือจาม และทิ้งทิชชูลงถังขยะ ทำความสะอาด และทำลายเชื้อตามวัสดุสิ่งของ และผิวสัมผัสต่าง ๆ

3.2 ฉากทัศน์การจำลองเหตุการณ์ (Scenario)

ฉากทัศน์เป็นมโนภาพที่ถูกกำหนดขึ้นโดยผ่านกระบวนการวิเคราะห์และสังเคราะห์ ข้อมูลและหลักฐานเชิงประจักษ์อย่างรอบคอบ ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ จนเกิดเป็นมโนภาพที่สะท้อนให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างปัจจัยเกื้อหนุนและปัจจัยความท้าทายต่ออนาคตอย่างชัดเจน

ขั้นตอนการสร้างและวิเคราะห์ฉากทัศน์การจำลองเหตุการณ์ (Scenario) ซึ่งมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) กำหนดหัวข้อหรือประเด็นคำถาม
2) เลือกขอบเขตเวลา
3) วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพล
4) กำหนดทางเลือก
5) สร้างเข็มทิศฉากทัศน์แห่งอนาคต
6) สร้างเรื่องเล่า
7) วิพากษ์ผลลัพธ์ที่อาจจะเกิดขึ้นในแต่ละฉากทัศน์

3.3 หลักการบริหารความเสี่ยง

การบริหารความเสี่ยง เป็นกระบวนการที่สำคัญในการระบุหาความเสี่ยงที่เกิดขึ้นภายในองค์กร หลักการบริหารความเสี่ยงประกอบด้วย การระบุความเสี่ยง การประเมินความเสี่ยง และการเลือกกลยุทธ์เพื่อจัดการความเสี่ยง การบริหารความเสี่ยงอย่างถูกต้องทำให้บุคลากรภายในองค์กรสามารถวางแผนดำเนินงาน เพื่อลดความเสี่ยงและป้องกันความเสี่ยงที่จะทำให้องค์กรเกิดผลกระทบในด้านต่าง ๆ

กระบวนการบริหารความเสี่ยง การบริหารความเสี่ยงต้องดำเนินการอย่างเป็นระบบโดยมี ขั้นตอนดังนี้

1) การกำหนดวัตถุประสงค์ (Objective Setting)
2) การระบุปัจจัยเสี่ยง (Identification Risk)
3) การประเมินปัจจัยเสี่ยง (Risk Assessment)
4) การตอบสนองความเสี่ยง (Risk Response)
5) การควบคุมดูแล (Risk Control)
6) การติดตามประเมินผล (Evaluation Monitoring)

3.4 เครื่องมือที่ใช้ประเมินความเสี่ยง

1) Job Analysis เป็นแนวคิดที่ใช้ในการระบุปัจจัยเสี่ยงโดยพิจารณาจากรายละเอียดงานอย่างละเอียด

2) Checklist เป็นวิธีใช้ในการชี้บ่งอันตราย โดยการนำแบบตรวจไปใช้ในการตรวจสอบการดำเนินงานในกิจกรรมต่างๆ

3) Cause and Effect Analysis เป็นแผนผังที่แสดงสมมติฐานของความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบ ระหว่างสาเหตุหลายๆ สาเหตุที่ส่งผลต่อปัญหาหนึ่งปัญหา

4) การระดมความคิด (Brainstorming) เป็นการแสดงความคิดเห็นจากบุคลากรหลายๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

5) การสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ (Expert Interviews)

6) Fault Tree Analysis การใช้หลักการเขียนโครงร่างแสดงความสัมพันธ์เพื่อหาสาเหตุและผลที่เกิดขึ้นโดยกำหนดให้ส่วนบนสุดของโครงร่างเป็นความผิดพลาดหรืออุบัติเหตุที่สนใจ

7) Event Tree Analysis เป็นเทคนิคชี้บ่งอันตรายเพื่อวิเคราะห์และประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อเนื่อง

8) What-if Analysis เป็นกระบวนการในการศึกษาวิเคราะห์ และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายในการดำเนินงานต่างๆ โดยการใช้คำถาม “จะเกิดอะไรขึ้น...ถ้า...” และหาคำตอบในคำถาม

9) Hazard and Operability Study (HAZOP) เป็นเทคนิคการศึกษาวิเคราะห์ และทบทวนเพื่อบ่งชี้อันตรายและค้นหาปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินการในกิจกรรมต่าง ๆ

10) Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) เป็นเทคนิคการบ่งชี้อันตรายในการวิเคราะห์ในรูปแบบความล้มเหลวและผลที่เกิดขึ้น

4. วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากไวรัสโควิด-19 และใช้แนวคิดการสร้างฉากทัศน์ (Scenario) ในการจำลองสถานการณ์ในกรณีต่าง ๆ ทั้งสถานการณ์ Base case, Worst case และ Best case Scenario เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับการบริหารความเสี่ยง และการหามาตรการรองรับความเสี่ยงที่เหมาะสม

4.1 วิเคราะห์สภาพปัจจุบันของปัญหาไวรัสโควิด-19

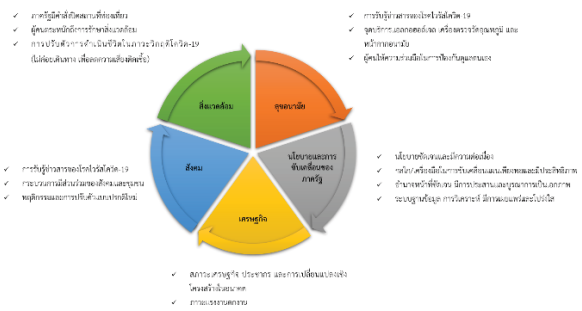
จากสถานการณ์ภาวะโรคระบาด COVID-19 มีนโยบายยับยั้งและแก้ไข ตั้งแต่การปิดเมืองหรือการปิดพื้นที่ที่เป็นแหล่งรวมตัวของคนจำนวนมาก การงดการเคลื่อนย้ายคนทั้งในและระหว่างประเทศ ซึ่งรวมไปถึงการห้ามนักท่องเที่ยวจากต่างประเทศเดินทางเข้ามาในประเทศไทย ฯลฯ ได้ส่งผลกระทบหลากหลายลักษณะ อาทิ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมด้านสุขภาพ ประชาชนลดการออกนอกบ้าน การชะลอตัวของเศรษฐกิจ อัตราการว่างงานเพิ่มสูงขึ้น การศึกษาของเด็กและเยาวชนต้องปรับให้เข้ากับการรักษาระยะห่างทางสังคม จึงมีการปิดสถานศึกษาไปขณะหนึ่งและการปรับการจัดการเรียนการสอนใหม่ให้เหมาะสมกับสภาพบริบทของผู้เรียน

4.2 กระบวนการวิเคราะห์ฉากทัศน์

จากการรวบรวมข้อมูลจากสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 คณะผู้จัดทำจะทำการสร้างฉากทัศน์ โดยแบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณี Base case, Worst case และ Best case Scenario เพื่อจำลองสถานการณ์ให้เข้าใจชัดเจนมากขึ้น ซึ่งการคาดการณ์นี้เป็นเพียงการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนพื้นฐานของข้อมูลธรรมชาติของโรคและระบาดวิทยาที่มีในปัจจุบัน

1) วิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อน

ในการคัดเลือกปัจจัยเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลกระทบต่อฉากทัศน์มีสิ่งที่ต้องพิจารณา 2 ประการ คือ ปัจจัยนั้นมีอิทธิพลต่อฉากทัศน์มากน้อยเพียงใด และความเป็นไปได้ที่ปัจจัยนั้นจะเกิดขึ้น ซึ่งคณะผู้จัดทำวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 ดังนี้



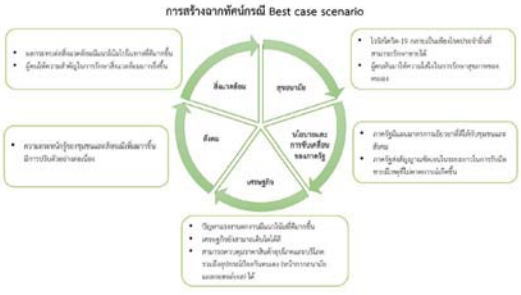
รูปที่ 1 การวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนในภาวะวิกฤติโควิด-19

2) เขียนเรื่องราวของฉากทัศน์

การเขียนเรื่องราวของฉากทัศน์จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ฉากทัศน์และมองอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งคณะผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 และการวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนที่ได้มาเขียนเรื่องราวของฉากทัศน์ได้ดังนี้



รูปที่ 3 การสร้างฉากทัศน์กรณี Base case scenario



รูปที่ 4 การสร้างฉากทัศน์กรณี Best case scenario



รูปที่ 5 การสร้างฉากทัศน์กรณี Worst case scenario

4.3 การบริหารความเสี่ยง

1) การระบุความเสี่ยงและประเมินระดับความเสี่ยง

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการสร้างฉากทัศน์ คณะผู้จัดทำจะนำมาประมวลผลโดยใช้หลักการบริหารความเสี่ยงและเครื่องมือประเมินความเสี่ยงผลที่อาจจะเกิดขึ้น จากนั้นนำไปประเมินระดับของความเสี่ยง จากสูตร

$$R = I \times P$$

โดยที่ R = ความเสี่ยง

I = ผลกระทบ

P= โอกาสที่จะเกิดขึ้น

คณะผู้จัดทำมีการดำเนินการระบุความเสี่ยงและประเมินระดับความเสี่ยง ดังนี้

ตารางที่ 1 การระบุและประเมินระดับความเสี่ยงกรณี Base case

การประเมินความเสี่ยง	ปัจจัยความเสี่ยง	โอกาส	ผลกระทบ	ระดับความเสี่ยง	ลำดับความเสี่ยง
1. ด้านสุขอนามัย	1. ไม่มีความรู้ความเข้าใจในการป้องกันและรับมือกับไวรัสโควิด-19	5	3	15	ลำดับที่ 4
	2. ไม่มีความทั่วถึงจุดให้บริการการตรวจวัดอุณหภูมิ แอลกอฮอล์เจล	5	3	15	ลำดับที่ 4
	3. ไวรัสโควิด-19 เกิดการกลายพันธุ์	3	3	9	ลำดับที่ 3
	4. การรับวัคซีนและยาต้านไวรัสโควิด-19 ที่ไม่มีคุณภาพอย่างทั่วถึง	5	3	15	ลำดับที่ 4
2. ด้านมาตรการควบคุม	1. มาตรการและนโยบายไม่มีความครอบคลุม	5	4	20	ลำดับที่ 4
	2. ไม่มีแผนมาตรการในระยะยาวที่รับมือกับไวรัสโควิด-19	5	5	25	ลำดับที่ 4
3. ด้านเศรษฐกิจ	1. ไม่สามารถดำเนินกิจการได้ตามปกติ	2	3	6	ลำดับที่ 2
	2. เกิดปัญหาแรงงานตกงาน	2	3	6	ลำดับที่ 2
	3. ไม่สามารถควบคุมราคาสินค้าอุปโภคและบริโภค	4	4	16	ลำดับที่ 4
4. ด้านสังคม	1. ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 เช่น การเรียนออนไลน์ การ Work from home	5	4	20	ลำดับที่ 4
	2. ไม่กล้าออกไปใช้ชีวิตนอกบ้านเพราะเกิดความวิตกกังวลเกี่ยวกับไวรัสโควิด-19	2	5	10	ลำดับที่ 3
5. ด้านสิ่งแวดล้อม	1. ขยะติดเชื้อมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น	4	4	16	ลำดับที่ 4
	2. การใช้อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยและการกำจัดอย่างไม่มีประสิทธิภาพ	4	4	16	ลำดับที่ 4
	3. ขยะมูลฝอยของชุมชนเพิ่มขึ้น	3	2	6	ลำดับที่ 2

ตารางที่ 2 การระบุและประเมินระดับความเสี่ยง กรณี Best case

การประเมินความเสี่ยง	ปัจจัยความเสี่ยง	โอกาส	ผลกระทบ	ระดับความเสี่ยง	ลำดับความเสี่ยง
1. ด้านสุขอนามัย	1. ไม่มีความรู้ความเข้าใจในการป้องกันและรับมือกับไวรัสโควิด-19	1	3	3	ลำดับที่ 1
	2. ไม่มีความทั่วถึงจุดให้บริการการตรวจวัดอุณหภูมิ แอลกอฮอล์เจล	1	3	3	ลำดับที่ 1
	3. สามารถรักษาไวรัสโควิด-19 ด้วยการทำ Home Isolation ได้	5	1	5	ลำดับที่ 2
	4. การรับวัคซีนและยาต้านไวรัสโควิด-19 ที่มีคุณภาพอย่างทั่วถึง	5	1	5	ลำดับที่ 2
2. ด้านมาตรการควบคุม	1. มาตรการและนโยบายไม่มีความครอบคลุม	1	3	3	ลำดับที่ 1
	2. ไม่มีแผนมาตรการในระยะยาวที่รับมือกับไวรัสโควิด-19	1	3	3	ลำดับที่ 1
3. ด้านเศรษฐกิจ	1. ไม่สามารถดำเนินกิจการได้ตามปกติ	1	5	5	ลำดับที่ 2
	2. ปัญหาแรงงานตกงาน	1	5	5	ลำดับที่ 2
	3. ไม่สามารถควบคุมราคาสินค้าอุปโภคและบริโภค	1	5	5	ลำดับที่ 2
4. ด้านสังคม	1. ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 เช่น การเรียนออนไลน์ การ Work from home	1	5	5	ลำดับที่ 2
	2. ไม่กล้าออกไปใช้ชีวิตนอกบ้านแบบปกติและมีความวิตกกังวลเกี่ยวกับไวรัสโควิด-19	1	5	5	ลำดับที่ 2
5. ด้านสิ่งแวดล้อม	1. ผู้คนให้ความสำคัญกับการรักษาสิ่งแวดล้อม	5	1	5	ลำดับที่ 2
	2. การใช้อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยและการกำจัดอย่างไม่มีประสิทธิภาพ	1	3	3	ลำดับที่ 1

ตารางที่ 3 การระบุและประเมินระดับความเสี่ยง กรณี Worst case

การประเมินความเสี่ยง	ปัจจัยความเสี่ยง	โอกาส	ผลกระทบ	ระดับความเสี่ยง	ลำดับความเสี่ยง
1. ด้านสุขอนามัย	1. ไวรัสโควิด-19 เกิดการกลายพันธุ์	5	5	25	ลำดับที่ 4
	2. วัคซีนและยาต้านไวรัส ไม่สามารถป้องกันไวรัสโควิด-19 ได้	5	5	25	ลำดับที่ 4
	3. อุปกรณ์และสถานบริการการเข้ารักษาไม่เพียงพอต่อความต้องการ	5	5	25	ลำดับที่ 4
2. ด้านมาตรการควบคุม	1. ภาครัฐไม่สามารถควบคุมสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 ได้	5	5	25	ลำดับที่ 4
	2. นโยบายของภาครัฐไม่ชัดเจน	5	5	25	ลำดับที่ 4
	3. ภาครัฐไม่มีแผนรองรับระยะยาวสำหรับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 ที่เกิดขึ้น	5	5	25	ลำดับที่ 4
3. ด้านเศรษฐกิจ	1. ไม่สามารถดำเนินกิจการได้ตามปกติ	5	5	25	ลำดับที่ 4
	2. ปัญหาแรงงานตกงาน	5	5	25	ลำดับที่ 4
	3. ไม่สามารถควบคุมราคาสินค้าอุปโภคและบริโภคได้	5	5	25	ลำดับที่ 4
4. ด้านสังคม	1. ผู้คนมีความวิตกกังวลเกี่ยวกับสถานการณ์และโรคไวรัสโควิด-19 ที่เหตุผลไม่สามารถใช้ชีวิตตามปกติได้	5	5	25	ลำดับที่ 4
	2. เกิดปัญหาทางสังคม เช่น เกิดการจลาจล ปัญหาอาชญากรรม	5	5	25	ลำดับที่ 4
5. ด้านสิ่งแวดล้อม	1. สภาพแวดล้อมเต็มไปด้วยขยะติดเชื้อและขยะมูลฝอย	5	5	25	ลำดับที่ 4
	2. เชื้อไวรัสโควิด-19แพร่กระจายไปในอากาศ	5	5	25	ลำดับที่ 4

2) การกำหนดแผนลดความเสี่ยง และแผนควบคุมความเสี่ยง

คณะผู้จัดทำมีการดำเนินการประเมินระดับความเสี่ยงและจัดลำดับความเสี่ยง โดยความเสี่ยงที่อยู่ลำดับที่ 2 (ปานกลาง) ขึ้นไป จะต้องมีการกำหนดแผนลดและควบคุมความเสี่ยง ดังนี้

ตารางที่ 4 แผนลดความเสี่ยงสถานการณ์ไวรัสโควิด-19

ปัจจัยเสี่ยง	มาตรการ/กิจกรรมการดำเนินงานเพื่อลดความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลาดำเนินการ
ด้านสุขอนามัย 1. ไม่มีความรู้ความเข้าใจในการป้องกันและรับมือกับไวรัสโควิด-19 2. ไม่มีความเข้าใจในการใช้งานอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล 3. ไวรัสโควิด-19 มีโอกาสกลายพันธุ์ 4. การรับวัคซีนและยาสำหรับไวรัสโควิด-19 ที่มีคุณภาพอย่างทั่วถึง	1. แนวทางปฏิบัติเพื่อการป้องกันโรคโควิด-19 สำหรับประชาชนทั่วไปและกลุ่มเสี่ยงตามประกาศของกรมควบคุมโรค https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/file/int_protection/int_protection_030566.pdf 2. จัดให้มีจุดบริการล้างมือด้วยสบู่และน้ำ หรือแอลกอฮอล์อย่างเพียงพอ และจัดวาง ในบริเวณที่เหมาะสมให้ง่ายต่อการหา 3. ระบบสแกน ในทุกจุด มีความเข้มข้นตามกฎหมายกำหนด สังเกต และรับมือกับความเสี่ยงได้ดี 4. มีการรับรองการเข้าถึงและความเท่าเทียมในการรับวัคซีน การรักษา และการติดตามข้อมูลเกี่ยวกับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19	หน่วยงานสาธารณสุขในพื้นที่ชุมชน	ตุลาคม พ.ศ. 2564 – เมษายน พ.ศ. 2565
ด้านมาตรการควบคุม 1. มาตรการและนโยบายไม่มีความครอบคลุม 2. เกิดปัญหาแรงงานตกงาน 3. ไม่สามารถควบคุมราคาสินค้าอุปโภคและบริโภค	1. ด้านการบริหารจัดการของภาครัฐได้ออกประกาศสถานการณ์ฉุกเฉินเป็นการเฉพาะในช่วงของวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2564 เป็นต้นไป http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2564/E/133/T_0001.PDF 2. ต้องการให้มีหัวหน้ากฎหมายควบคุมพิเศษและเจ้าหน้าที่มาช่วยควบคุม	หน่วยงานของภาครัฐที่ควบคุมดูแลด้านมาตรการในชุมชน	ตุลาคม พ.ศ. 2564 – เมษายน พ.ศ. 2565
ด้านเศรษฐกิจ 1. ไม่สามารถดำเนินกิจการได้ตามปกติ 2. เกิดปัญหาแรงงานตกงาน 3. ไม่สามารถควบคุมราคาสินค้าอุปโภคและบริโภค	1. ควรส่งเสริมสร้างและดูแลและระบบสนับสนุนให้แรงงานที่ตกงานกลับไปพัฒนาศรษฐกิจชุมชน โดยเป็นระบบที่มีความเห็นพ้องและเห็นได้ชัดยิ่ง 2. จัดหาตลาด (ตลาดท้องถิ่น ตลาดออนไลน์) เพื่อสร้างรายได้และส่งเสริมการสร้างอาชีพ	หน่วยงานส่งเสริมการจัดหางานและส่งเสริมการประกอบอาชีพ	ตุลาคม พ.ศ. 2564 – เมษายน พ.ศ. 2565
ด้านสังคม 1. ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 เช่น การเรียนออนไลน์ การ Work from home 2. ไม่กล้าออกไปใช้ชีวิตนอกบ้านเพราะเกิดความวิตกกังวลเกี่ยวกับไวรัสโควิด-19	1. มีการคัดกรองความเสี่ยงในการเดินทางและการเข้าใช้บริการสถานที่สาธารณะ เป็นประจำการตรวจหาเชื้อไวรัส โควิด-19 2. การจัดการเรียนการสอนมีการประยุกต์การเรียนออนไลน์เข้ามาปรับใช้เพื่อดำเนินการเรียนการสอนต่อไปภายใต้การแพร่ระบาดโรคโควิด-19 3. ด้านการปฏิบัติงานให้ดำเนินงานตามมาตรการที่องค์กรได้กำหนด (ปรับเปลี่ยนรูปแบบการสื่อสารเป็นออนไลน์) 4. ทำความสะอาดพื้นที่บ่อยพื้นที่ทั่วไป 5. การให้ความรู้การอยู่กับไวรัสโควิด-19 หรือ การสร้างแรงจูงใจให้ผู้คนออกออกไปใช้ชีวิตข้างนอก เช่น การจัดนิทรรศการ	องค์กรบ้านครองส่วนท้องถิ่น	ตุลาคม พ.ศ. 2564 – เมษายน พ.ศ. 2565
ด้านสิ่งแวดล้อม 1. ขยะสิ่งเสื่อมโทรมเพิ่มมากขึ้น 2. การใช้อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยและการทำเพื่อลดผ่านมือสัมผัสน้อยที่สุด 3. ขยะมูลฝอยของชุมชนเพิ่มขึ้น	1. มุ่งสร้างระบบการคุ้มครองทางสังคมที่สำคัญ คือ ระบบการขึ้นทะเบียนและรักษาการรถรณรงค์ 2. ส่งเสริมและให้ความรู้ในด้านการกำจัดและคัดแยกขยะประเภทโดยแหล่งของสิ่งเสื่อ 3. จัดให้มีการแจกจ่ายขยะมูลฝอยอย่างเพียงพอ มีการวิเคราะห์และแยกมูลฝอยและสารประกอบ ออกจากกัน และรวบรวมไปกำจัดอย่างถูกสุขลักษณะทุกวัน	1. หน่วยงานสาธารณสุขในพื้นที่ชุมชน 2. องค์กรบ้านครองส่วนท้องถิ่น	ตุลาคม พ.ศ. 2564 – เมษายน พ.ศ. 2565

ตารางที่ 5 แผนควบคุมความเสี่ยงของสถานการณ์ไวรัสโควิด-19

ปัจจัยเสี่ยง	มาตรการ/กิจกรรมมาการดำเนินงานเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่จัดควบคุม
ด้านสุขอนามัย 1. สามารถจัดหาวัคซีนโควิด-19 ด้วยการทำ Home Isolation ได้ 2. การรับวัคซีนและยาสำหรับไวรัสโควิด-19 ที่มีคุณภาพอย่างทั่วถึง	1. มีหน่วยงานรับของในการรองรับผู้ป่วยที่มีอิทธิการอิจฉา ผู้ป่วยที่ทำงานแบบ Home Isolation จากผู้เชี่ยวชาญ 2. มีการรับของการเข้าถึงและความเท่าเทียมในการรับวัคซีน การรักษา และการติดตามข้อมูลเกี่ยวกับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19	หน่วยงานสาธารณสุขในพื้นที่ชุมชน	1. ควรจัดระบบงานพร้อมของหน่วยงานที่เข้ามารับของในการของรับผู้ป่วยที่มีอิทธิการรักษาผู้ป่วยที่มีอาการแบบ Home Isolation 2. ควรจัดระบบงานพร้อมของการติดเชื้อและวัคซีน จากผู้ป่วยโรคโควิด-19 จากหน่วยงาน	1. ระบบของหน่วยงานมีความพร้อมการให้บริการจากเจ้าที่การรักษา 2. เอกสารข้อมูลที่เกี่ยวกับความพร้อมของวัคซีนและยาสำหรับไวรัสโควิด-19
ด้านมาตรการควบคุม 1. มาตรการและนโยบายไม่มีความครอบคลุม 2. ไม่เป็นผลมาตรการกับระบบการรับวัคซีนโควิด-19	1. ด้านการบริหารจัดการของภาครัฐได้ออกประกาศสถานการณ์ฉุกเฉินเป็นการเฉพาะในช่วงของวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2564 เป็นต้นไป http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2564/E/133/T_0001.PDF 2. ต้องการให้มีหัวหน้ากฎหมายควบคุมพิเศษและเจ้าหน้าที่มาช่วยควบคุม	หน่วยงานของภาครัฐที่ควบคุมดูแลด้านมาตรการในชุมชน	1. มาตรการและนโยบายที่ได้ใช้ในการจัดการในสถานการณ์ไวรัสโควิด-19	1. เอกสารข้อมูลของ ด้านการบริหารจัดการของภาครัฐในสถานการณ์และระบบควบคุมไวรัสโควิด-19
ด้านเศรษฐกิจ 1. ไม่สามารถดำเนินกิจการได้ตามปกติ 2. ปัญหาแรงงานตกงาน 3. ไม่สามารถควบคุมราคาสินค้าอุปโภคและบริโภค	1. มีหน่วยงานด้านช่วยเหลือเรื่องการกับผู้เชี่ยวชาญปัญหาจากการที่มีสามารถดำเนินกิจการได้ตามปกติ 2. มีการมีสถานที่และพัฒนาและสร้างผู้ที่ตนโดยเร็วอย่างที่สามารถ	หน่วยงานส่งเสริมการจัดหางานและส่งเสริมการประกอบอาชีพ	1. ควรจัดระบบมีหน่วยงานที่เข้ามาช่วยเหลือกับผู้ที่ประสบปัญหาจากการที่มีสามารถดำเนินกิจการได้ตามปกติ 2. หน่วยงานที่เข้ามาดูแลเกี่ยวกับการรักษาอาชีพ	1. ความเหมาะที่ดำเนินการเข้ามาช่วยเหลือจากหน่วยงาน 2. ความเหมาะที่ดูแลมีการเข้าที่ทำงาน
ด้านสังคม 1. ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 เช่น การเรียนออนไลน์ การ Work from home 2. ไม่กล้าออกไปใช้ชีวิตนอกบ้านเพราะเกิดความวิตกกังวลเกี่ยวกับไวรัสโควิด-19	1. มีข้างความรู้เข้าใจเกี่ยวกับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 และการรักษาและการติดตามข้อมูลเกี่ยวกับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 2. มีที่ต่อให้ความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 และการมีที่ชีวิตกับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19	องค์กรบ้านครองส่วนท้องถิ่น	1. ควรจัดระบบความพร้อมของหน่วยงานที่ให้ทันสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 2. หน่วยงานที่เข้ามาดูแลเกี่ยวกับเรื่องให้ความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19 และการมีที่ชีวิตกับสถานการณ์ไวรัสโควิด-19	1. จำนวนผู้เข้าใช้งานในระบบที่เป็นออนไลน์ 2. การนำเสนอข้อมูลที่ดูแล้วสามารถ
ด้านสิ่งแวดล้อม 1. ขยะมูลฝอยของชุมชนเพิ่มขึ้น 2. ผู้คนมีความสำคัญกับการรักษาสิ่งแวดล้อม	1. มีหน่วยงานด้านช่วยเหลือส่งเสริมและให้ความรู้ในด้านการที่และคัดแยกขยะและสารประกอบ ออกจากกัน และรวบรวมไปกำจัดอย่างถูกสุขลักษณะทุกวัน	1. หน่วยงานสาธารณสุขในพื้นที่ชุมชน 2. องค์กรบ้านครองส่วนท้องถิ่น	1. ควรจัดระบบความพร้อมของหน่วยงานที่เข้ามาช่วยเหลือส่งเสริมการรักษาสิ่งแวดล้อม	1. เอกสารและผู้ดูแลของหน่วยงานที่เข้ามาช่วยเหลือส่งเสริมการรักษาสิ่งแวดล้อม

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาผลกระทบของโควิดเพื่อนำมาสร้างฉากทัศน์ ซึ่งสามารถจำลองฉากทัศน์ได้เป็น 3 กรณี ได้แก่ Base case, Worst case และ Best case Scenario นอกจากนี้ยังแบ่งฉากทัศน์ได้เป็น 5 ด้าน คือ ด้านสุขอนามัย ด้านมาตรการควบคุม ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้เห็นภาพฉากทัศน์แห่งอนาคตที่อาจจะเกิดขึ้นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ผลของฉากทัศน์ที่ฉายออกมาเมื่อนำมาทำการบริหารความเสี่ยงที่เกิดขึ้น โดยระบุความเสี่ยงออกเป็น 5 ด้าน เช่นเดียวกับฉากทัศน์ จากนั้นประเมินระดับความเสี่ยง จึงทำให้ได้ระดับความเสี่ยงที่เกิดขึ้น เมื่อจัดอันดับจะพบว่าระดับความเสี่ยงตั้งแต่อันดับที่ 2 (ปานกลาง) ต้องดำเนินการจัดการความเสี่ยง โดยกำหนดแผนลดความเสี่ยงและแผนควบคุมความเสี่ยงขึ้นมา เพื่อใช้เป็นมาตรการและแนวทางในการป้องกันและรับมือกับความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตอย่างเหมาะสมที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความรู้ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่าง ๆ จากอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ ประสาทวิชาความรู้ตั้งแต่ต้นจนถึงปัจจุบัน รวมถึงบุคคลท่านอื่น ๆ ที่มิได้กล่าวถึงที่ให้ความช่วยเหลือที่และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ระหว่างการทำบทความทางวิชาการเป็นอย่างดี ขอขอบคุณคณะทำงานที่ช่วยในการระดมสมองเพื่อทำให้บทความทางวิชาการสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมโรค. (2564). แนวทางการเฝ้าระวังโรค COVID-19. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2565, จาก : https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/

[2] กรมควบคุมโรค. (2564). โรคติดเชื้อไวรัส COVID-19. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2565, จาก : https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/

[3] กองโรคติดต่อทั่วไป (2564). แนวทางการเฝ้าระวัง ป้องกัน และควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโควิด-19 โดย กองโรคติดต่อทั่วไป กรมควบคุมโรค

[4] ข่าวไทยพีบีเอส. (2564). คาดการณ์ระบาด COVID-19 ประเทศไทย. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2565, จาก : https://news.thaipbs.or.th/content/289799

[5] กฤษฎา บุญชัย. (2563). การประเมินความเสียหาย ผลกระทบและการปรับตัวของชุมชนท้องถิ่นต่อภาวะโรคระบาด COVID-19 โดย มูลนิธิชุมชนท้องถิ่นพัฒนา

[6] ณัฐพล คนซื่อ, นิศากร สมสุข. (2560). การประเมินความเสี่ยงและแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงสำหรับการปฏิบัติงานพื้นที่ลานจอดอากาศยาน. หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะการบิน มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

[7] ประจวบ กล่อมจิตร. (2564). การบริหารความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม โดย วิศวกรรมอุตสาหการ วสท. (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์)

[8] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์. (2564). แผนบริหารความเสี่ยงการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

[9] วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์. (2557). ตัวอย่างการพัฒนาภาพอนาคตด้านพลังงาน. สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[10] สุรัยยา หมานมานะ, โสภณ เอี่ยมศิริถาวร, สุมนมาลย์ อุทยมกุล. (2563). โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19). วารสารสถาบันบำราศนราดูร. ปีที่ 14; ฉบับที่ 2.

การวิเคราะห์อายุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยพิจารณาทั้งด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

พิชญา เรขะรุจิ[1*] กฤษ วงษ์เกษม[2] รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ[2]
[1] สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: pitchaya.rek@ku.th*

Pitchaya Rekharuchi[1*] Kris Wonggasem[2] Roongrat Pisuchpen[2]
[1] Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: pitchaya.rek@ku.th*

บทคัดย่อ

พาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์หลักในสถานีไฟฟ้าแรงสูงและเป็นจุดผ่านหนึ่งของการส่งพลังงานไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานมากกว่า 25 ปี เพื่อลดความเสี่ยงจากการเสียค่าใช้จ่ายมากเกินความจำเป็นกับการบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่มีอายุมากหรือมีความเสียหายบ่อยครั้ง งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางการพิจารณาอายุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยให้อายุที่มีต้นทุนรวมเทียบเท่ารายปีที่ต่ำที่สุดเป็นอายุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์ ต้นทุนรวมเทียบเท่ารายปี ประกอบด้วย ต้นทุนอุปกรณ์ ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ต้นทุนการบำรุงเชิงแก้ไข ต้นทุนความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ โดยมีการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติในการประเมินต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขและต้นทุนความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ จากการคำนวณต้นทุนเทียบเท่ารายปีของอุปกรณ์กรณีศึกษาพบว่า มีต้นทุนรวมเทียบเท่ารายปีต่ำที่สุดที่อายุ 39 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนเทียบเท่ารายปีเมื่ออุปกรณ์อายุ 30 ปี ซึ่งเป็นอายุที่อุปกรณ์จะถูกเปลี่ยนจากการพิจารณาด้วยวิธีปัจจุบัน พบว่าที่อายุ 39 ปี มีต้นทุนเทียบเท่ารายปีต่ำกว่า 3,879.65 บาท
คำสำคัญ: การเปลี่ยนทดแทน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, เศรษฐศาสตร์

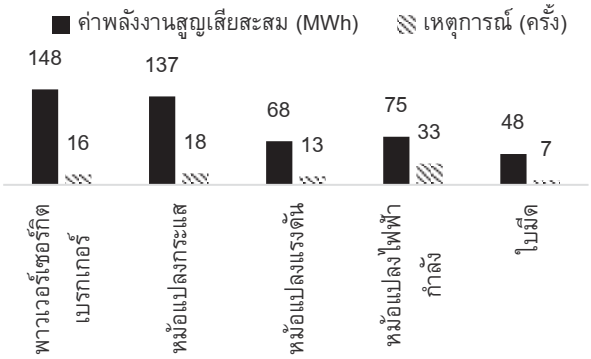
Abstract

Power circuit breaker (PCB) is the main equipment in high-voltage substations and is a part of the transmission points of electrical energy. Most of power circuit breakers have been used in the power system more than 25 years. In order to reduce the risk of overcharging maintenance cost for old equipment or equipment with high failure, this research presents an approach for age analysis of power circuit breaker for optimal replacement. The age with the lowest total annual equivalent cost is considered as age for optimal replacement. The total annual equivalent cost consists of capital cost, preventive maintenance cost, corrective maintenance cost and outage cost. Statistical analysis was performed to assess corrective maintenance cost and outage cost. The annual equivalent cost of sample of PCB was calculated. It was found that the lowest total annual equivalent cost was at 39 years of age. In comparison with the result of the present method (PCB should be replaced at 30 years of age), the total annual equivalent cost at 39 years of age is 3,876.08 baht lower.
Keywords: Replacement, Circuit breaker, Economic

1. บทนำ

ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตามการขยายตัวของเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี นอกจากการผลิตและจัดหาพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการแล้ว การส่งพลังงานไฟฟ้าไปถึงผู้ใช้ไฟฟ้าปลายทางอย่างมีเสถียรภาพ และการคงไว้ซึ่งความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน

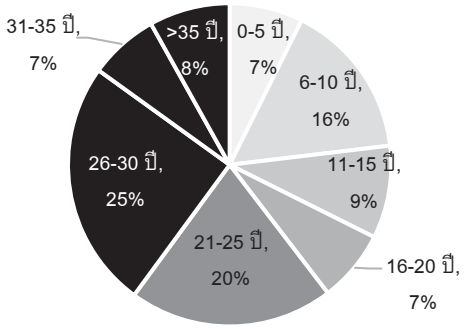
โดยจุดผ่านหนึ่งของการส่งพลังงานไฟฟ้า คือ สถานีไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งทำหน้าที่ในการปรับลดระดับแรงดัน ก่อนส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังระบบจำหน่ายและผู้ใช้ไฟฟ้าปลายทางต่อไป ในสถานีไฟฟ้าแรงสูงประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายประเภท โดยหนึ่งในอุปกรณ์หลักของสถานีไฟฟ้าแรงสูง คือ พาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งทำหน้าที่ตัดกระแสไฟฟ้าในสภาวะปกติและกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงในกรณีที่เกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้า โดยต้องสามารถตัดกระแสได้ในเวลาที่เหมาะสม ก่อนที่จะเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าอันตรายต่อคน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการส่งพลังงานไฟฟ้า ทำให้เกิดไฟฟ้าดับได้ จากการเปรียบเทียบค่าพลังงานสูญเสียสะสมจากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเนื่องจากอุปกรณ์หลักในสถานีไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 - 2563 แสดงดังรูปที่ 1 โดยพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่าพลังงานสูญเสียสะสมจากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอุปกรณ์หลักอื่น



รูปที่ 1 ค่าพลังงานสูญเสียสะสมจากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเนื่องจากอุปกรณ์หลักในสถานีไฟฟ้าแรงสูง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 – 2563

ปัจจุบันมีพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ใช้งานอยู่ในสถานีไฟฟ้าแรงสูง กฟผ. ประมาณ 4,200 ตัว (133 ยี่ห้อ/รุ่น) แบ่งตามช่วงอายุการใช้งานแสดงดังรูปที่ 2

จากอุปกรณ์ที่มีจำนวนมากและอุปกรณ์ส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานมากกว่า 25 ปี เพื่อบริหารจัดการอุปกรณ์ดังกล่าวให้มีสภาพพร้อมใช้งานอยู่เสมอ โดยลดความเสี่ยงที่อุปกรณ์จะเกิดความเสียหายเมื่อใช้งานอยู่ในระบบ จึงต้องมีจัดทำแผนงานเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์ซึ่งเป็นแผนงานระยะยาว โดยต้องดำเนินการคัดเลือกอุปกรณ์ด้วยการประเมินคะแนนและจัดตั้งงบประมาณล่วงหน้า 2 ปี



รูปที่ 2 จำนวนพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แบ่งตามช่วงอายุการใช้งาน

จากขั้นตอนการจัดทำแผนงาน การคัดเลือกอุปกรณ์ การจัดซื้อจนกระทั่งการติดตั้งอุปกรณ์ อุปกรณ์มีช่วงเวลารอการติดตั้งนับจากวันที่คัดเลือกอุปกรณ์เข้าแผนงาน 3-7 ปี หากสามารถประเมินอายุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ล่วงหน้า และมีการพิจารณาความเหมาะสมในการเปลี่ยนทดแทนทั้งด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ จะช่วยลดความเสี่ยงจากการเสียค่าใช้จ่ายมากเกินความจำเป็นกับอุปกรณ์ที่มีอายุมากหรืออุปกรณ์ที่มีความเสียหายซ้ำซาก ส่งผลให้การบริหารจัดการต้นทุนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอายุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนอุปกรณ์จากอายุที่มีต้นทุนเทียบเท่ารายปีต่ำที่สุด โดยพิจารณาจากข้อมูลสถิติความเสียหายของอุปกรณ์และองค์ประกอบต้นทุนที่เกี่ยวข้อง

2. ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแจกแจงทางสถิติ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ ส่วนใหญ่จะใช้กราฟเส้นโค้งรูปอ่างน้ำ แสดงถึงรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ ซึ่งการแจกแจงแบบไวบูลล์ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องด้วยสามารถแสดงถึงความเสียหายได้ทุกรูปแบบบนกราฟเส้นโค้งรูปอ่างน้ำ [1] การแจกแจงแบบไวบูลล์มีฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: $F(t)$) ซึ่งแทนความน่าจะเป็นของความเสียหายที่เวลา t ใด ๆ และฟังก์ชันความน่าเชื่อถือ (Reliability Function: $R(t)$) แสดงดังสมการที่ (1) และสมการที่ (2) ตามลำดับ

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (1)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (2)$$

โดยที่ β คือพารามิเตอร์แสดงรูปร่าง และ η คือพารามิเตอร์แสดงขนาด

ใช้การแจกแจงปัวส์ซองในการหาความน่าจะเป็นที่พาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์จะตัดกระแสลัดวงจรถึงจำนวนครั้งสูงสุดที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ประมาณว่าในแต่ละปีจำนวนครั้งในการตัดกระแสลัดวงจรคงที่ ให้ X แทนตัวแปรสุ่มแบบไม่ต่อเนื่องแสดงถึงจำนวนครั้งที่ตัดกระแสลัดวงจรในช่วงเวลาที่สนใจ [2] ฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นแสดงดังสมการที่ (3) โดยที่ x = 0, 1 2,... และ λ คือค่าเฉลี่ยของ x (λ > 0)

$$p(x) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^{x}}{x!} \quad (3)$$

2.2 การประเมินความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์

ในระบบไฟฟ้ากำลัง ความเสี่ยงจะถูกเชื่อมโยงกับการคำนวณความน่าเชื่อถือ เนื่องจากมองว่ามีผลกระทบในลักษณะเดียวกัน การประเมินความเสี่ยงมีหลายวิธี แต่มีจุดที่เหมือนกันคือ จะให้คำจำกัดความของความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ความเสียหาย $Risk(E)$ [2] แสดงดังสมการที่ (4)

$$Risk(E) = p(E) \times c(E) \quad (4)$$

โดยที่ $p(E)$ คือความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ความเสียหายของอุปกรณ์ และ $c(E)$ คือผลที่ตามมาของเหตุการณ์ เช่น ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ความเสียหายนั้น ๆ

ใช้หลักการ Fault Tree Analysis (FTA) ในการประเมินความน่าเชื่อถือของพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ หากมีหนึ่งองค์ประกอบย่อยเกิดความเสียหาย พาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ก็จะเกิดความเสียหายด้วย ดังนั้นองค์ประกอบย่อยมีลักษณะการต่อแบบอนุกรม [3] สำหรับระบบที่มีลักษณะองค์ประกอบย่อยต่อแบบอนุกรม คำนวณความน่าจะเป็นที่ระบบจะเกิดความเสียหายได้ดังสมการที่ (5)

$$P = 1 - \prod_{j=1}^{J}(1 - P_j) \quad (5)$$

โดยที่ P คือความน่าจะเป็นที่ระบบเกิดความเสียหาย P_j คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายขององค์ประกอบย่อย j และ J คือจำนวนองค์ประกอบย่อย

2.3 การประเมินตนทุนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้าน เศรษฐศาสตร์

การประเมินอายุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนหม้อแปลงกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาจากต้นทุนเฉลี่ยรายปีที่ต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนที่นำมาพิจารณา ประกอบด้วย ต้นทุนเริ่มต้น ต้นทุนการบำรุงรักษา ต้นทุนที่เกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหาย ในส่วนของต้นทุนที่เกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหายจะคำนวณได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นสะสมของความเสียหายซึ่งใช้การแจกแจงแบบไวบูลล์ กับต้นทุนที่เกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์เสียหาย [4]

การหาต้นทุนความเสียหายที่คาดว่าจะได้รับ จากหลักการพื้นฐานของการประเมินความน่าเชื่อถือได้ของระบบเชิงเศรษฐศาสตร์ คุณค่าของอุปกรณ์ในระบบไม่ได้ขึ้นอยู่กับสถานะของตัวอุปกรณ์เอง แต่ขึ้นกับผลกระทบของอุปกรณ์ที่เกิดขึ้น หากไม่มีอุปกรณ์นั้นอยู่ในระบบ ดังนั้นคุณค่าของอุปกรณ์จะถูกวัดด้วยการคิดต้นทุนความเสียหายที่เกิดจากความไม่พร้อมใช้งาน หรืออาจจะกล่าวได้ว่าหากความเสียหายของอุปกรณ์ไม่ได้ส่งผลกระทบที่รุนแรงต่อระบบ อุปกรณ์นั้นก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องถูกเปลี่ยนทันที ในกรณีที่ความเสียหายอุปกรณ์ส่งผลกระทบมาก การเปลี่ยนอุปกรณ์ควรที่จะต้องถูกพิจารณาโดยเร็ว [5]

2.4 การประเมินความเหมาะสมในการเปลี่ยนทดแทน

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังโดยพิจารณาวงจรชีวิตทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อใช้เป็นทางเลือกในการพิจารณาการเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์ดังกล่าว โดยวงจรชีวิตทางเศรษฐศาสตร์ ถูกให้คำนิยามในรูปแบบของการทำให้มูลค่าเทียบเท่ารายปีของต้นทุนรวมอุปกรณ์ต่ำที่สุด [6] แสดงดังสมการที่ (6)

$$min\, AEC(i) = CR(i) + OC(i) \quad (6)$$

โดยที่ $AEC(i)$ คือมูลค่าเทียบเท่ารายปีของต้นทุนรวม $CR(i)$ คือมูลค่าเทียบเท่ารายปีของต้นทุนของทรัพย์สิน $OC(i)$ คือมูลค่าเทียบเท่ารายปีต้นทุนการดำเนินงาน และ i คืออัตราดอกเบี้ย

$CR(i)$ ประกอบด้วยต้นทุนอุปกรณ์และมูลค่าซาก ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (7) เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเป็นอุปกรณ์ที่มีวงจรชีวิตที่ยาวนาน มูลค่าซากจะไม่ถูกนำมาพิจารณา

$$CR(i) = I(A/P, i, N) - S_N(A/F, i, N) \quad (7)$$

โดยที่ I คือต้นทุนอุปกรณ์ S_N คือมูลค่าซากของอุปกรณ์ และ N คือปีที่อุปกรณ์ยังคงใช้งานอยู่ A/P คือการแปลงมูลค่าปัจจุบัน (P) เป็นมูลค่าเทียบเท่ารายปี (A) และ A/F คือการแปลงมูลค่าอนาคต (F) เป็นมูลค่าเทียบเท่ารายปี (A)

$OC(i)$ ประกอบด้วยต้นทุนการดำเนินงานและต้นทุนการบำรุงรักษา ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (8)

$$OC(i) = (\sum_{n=1}^{N} OC_n(P/F,\ i, N))(A/P, i, N) \quad (8)$$

โดยที่ P/F คือการแปลงมูลค่าอนาคต (F) เป็นมูลค่าปัจจุบัน (P)

ทั้งนี้ $(A/P, i, N)$, $(A/F, i, N)$ และ $(P/F, i, N)$ คำนวณได้ดังสมการที่ (9) - (11)

$$(A/P,i,N) = P\left(\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N-1}\right) \quad (9)$$

$$(A/F,i,N) = F\left(\frac{i}{(1+i)^N-1}\right) \quad (10)$$

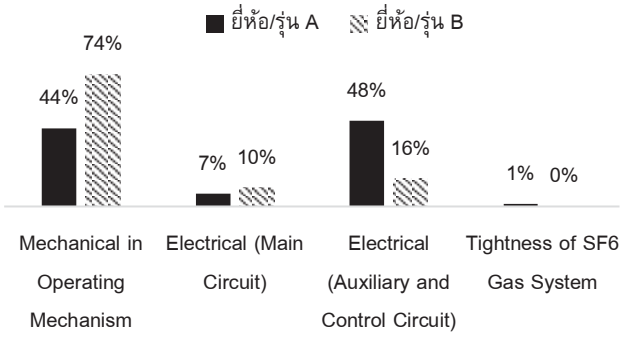
$$(P/F,i,N) = F(1+i)^{-N} \quad (11)$$

3. ขั้นตอนและผลงานวิจัย

3.1 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหาย

จากการรวบรวมข้อมูลเหตุการณ์ความเสียหายของพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2563 มีเหตุการณ์ทั้งสิ้น 4,679 เหตุการณ์ ประกอบด้วยความเสียหายประเภท Major Failure ซึ่งเป็นความเสียหายที่ส่งผลให้อุปกรณ์ไม่สามารถทำหน้าที่หลักได้ จำนวน 2,018 เหตุการณ์ และ Minor Failure ซึ่งเป็นความเสียหายของส่วนประกอบย่อย อุปกรณ์ยังสามารถทำหน้าที่หลักได้ และไม่จำเป็นต้องทำการแก้ไขโดยเร่งด่วน จำนวน 2,661 เหตุการณ์

เนื่องด้วยพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ติดตั้งใช้งานในระบบส่งประกอบด้วยหลายยี่ห้อ/รุ่น ซึ่งมีการออกแบบทางไฟฟ้าและทางกลที่แตกต่างกัน อาจส่งผลให้มีต้นกำเนิดของเหตุการณ์ความเสียหายที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรมีการจัดกลุ่มของข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์



รูปที่ 3 สัดส่วนต้นกำเนิดความเสียหายของเหตุการณ์ Major Failure ของ 2 ยี่ห้อ/รุ่น

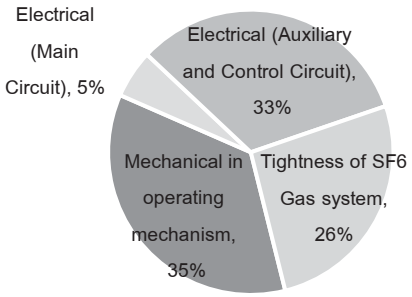
จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นเหตุการณ์ Major Failure ของพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ 2 ยี่ห้อ/รุ่น ซึ่งมีสัดส่วนของต้นกำเนิดความเสียหายแต่ละส่วนที่แตกต่างกัน

งานวิจัยนี้เลือกพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ 1 ตัว สำหรับกรณีศึกษาในการพิจารณาหาอายุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนทดแทน ซึ่งมีข้อมูลเหตุการณ์ความเสียหายในระดับยี่ห้อ/รุ่น แบ่งตามต้นกำเนิดแสดงดังรูปที่ 4 และข้อมูลเหตุการณ์ความเสียหายเฉพาะเหตุการณ์ Major Failure แสดงดังรูปที่ 5

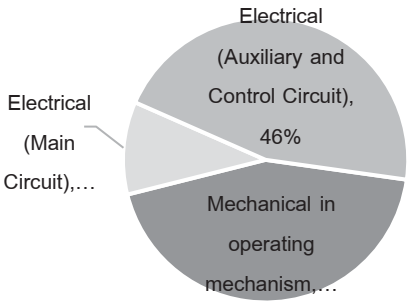
จากข้อมูลเหตุการณ์ความเสียหายดังกล่าว เหตุการณ์ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากส่วนของ Electrical (Main Circuit) มีสัดส่วนที่น้อย เมื่อเทียบกับส่วนอื่น ๆ ดังนั้นจึงไม่วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในส่วนของ Electrical (Main Circuit) ดังกล่าว

ทั้งนี้ได้ใช้การแจกแจงแบบไวบูลล์กับข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละต้นกำเนิด และสรุปค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงแบบไวบูลล์แสดงดังตารางที่ 1 โดยอายุการใช้งานในส่วนของ Mechanical in Operating Mechanism จะถูกมองในรูปแบบของจำนวนครั้งการใช้งาน

ในส่วนของการพิจารณาจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ตัดกระแสลัดวงจรจากข้อมูลสถิติการเกิดลัดวงจรที่สายส่งที่พาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ กรณีศึกษาใช้งานอยู่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 – 2563 พบข้อมูลการลัดวงจร ที่สายส่งดังกล่าวจำนวน 6 เหตุการณ์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย (λ) 0.6 เหตุการณ์ต่อปี และมีจำนวนครั้งการตัดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่บริษัทผู้ผลิตยอมรับได้ โดยที่อุปกรณ์ไม่ต้องทำการบำรุงรักษาคือ 40 ครั้ง



รูปที่ 4 เหตุการณ์ความเสียหายแบ่งตามต้นกำเนิดของยี่ห้อ/รุ่น กรณีศึกษา



รูปที่ 5 เหตุการณ์ความเสียหาย Major Failure แบ่งตามต้นกำเนิดของยี่ห้อ/รุ่น กรณีศึกษา

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ของแต่ละต้นกำเนิดความเสียหาย

ต้นกำเนิดความเสียหาย	Failure Data	Censored Data	β	η
Mechanical in Operating Mechanism	35 25*	159 163*	1.06 1.13*	4,301.64 5,124.41*
Electrical (Auxiliary and Control Circuit)	37 26*	155 162*	2.25 2.05*	53.37 68.02*

Tightness of SF6 Gas System	28	161	2.89	51.83

หมายเหตุ *พิจารณาแยกเฉพาะเหตุการณ์ Major Failure เพื่อนำไปคำนวณต้นทุนความเสียหายที่เกิดจากไฟฟ้าดับ

ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปคำนวณความน่าจะเป็นที่พาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดกระแสลัดวงจรเกินจำนวนครั้งสูงสุดที่ยอมรับได้ในช่วงเวลาปีที่สนใจ โดยใช้การแจกแจงปัวส์ซอง จากนั้นจะถูกนำไปคำนวณต้นทุนในส่วนของการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขต่อไป

3.2 การพิจารณาต้นทุน

3.2.1 ต้นทุนอุปกรณ์

พิจารณาจากราคาของพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์และค่าติดตั้ง โดยคำนวณต้นทุนดังกล่าวให้อยู่ในรูปต้นทุนเทียบเท่ารายปีได้ตามสมการที่ (12)

$$CC_A = CC \times \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N-1} \quad (12)$$

โดยที่ CC_A คือต้นทุนอุปกรณ์เทียบเท่ารายปี CC คือราคาของพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์และค่าติดตั้ง i คืออัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ และ N คือช่วงเวลาที่สนใจ (ปี)

3.2.2 ต้นทุนการบำรุงรักษา

ต้นทุนการบำรุงรักษาแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันจะสอดคล้องกับวาระการบำรุงรักษาที่หน่วยงานกำหนด โดยต้นทุนต่องานคิดจากต้นทุนเฉลี่ยจากประวัติงานบำรุงรักษา ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเทียบเท่ารายปีคำนวณได้ดังสมการที่ (13)

$$PMC_A = \sum_{n=1}^{N} \left(\frac{PMC_n}{(1+i)^n}\right) \times \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N-1} \quad (13)$$

โดยที่ PMC_A คือต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเทียบเท่ารายปี และ PMC_n คือต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันในปีที่ n

ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขจะสอดคล้องกับความน่าจะเป็นสะสมของความเสียหายรายปีแยกตามต้นกำเนิดความเสียหาย โดยต้นทุนต่องานคิดจากต้นทุนเฉลี่ยจากประวัติงานบำรุงรักษาแยกตามต้นกำเนิดความเสียหาย โดยต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขเทียบเท่ารายปีคำนวณได้ตามสมการที่ (14)

$$CMC_A = CMC_N \times F(N) \times \frac{i}{(1+i)^N-1} \quad (14)$$

โดยที่ CMC_A คือต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขเทียบเท่ารายปี CMC_N คือต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขในปีที่ N และ $F(N)$ คือความน่าจะเป็นสะสมที่จะเกิดความเสียหายในปีที่ N

ดังนั้นต้นทุนงานบำรุงรักษาเทียบเท่ารายปี ณ ช่วงเวลา N ปีใดๆที่สนใจ จะคำนวณได้ตามสมการที่ (15)

$$MC_A = PMC_A + CMC_A \quad (15)$$

โดยที่ MC_A คือต้นทุนการบำรุงรักษาเทียบเท่ารายปี

3.2.3 ต้นทุนความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ

การพิจารณาต้นทุนความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับประกอบด้วย ต้นทุนความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟฟ้า และต้นทุนจากการสูญเสียรายได้เนื่องจากหน่วยงานไม่สามารถจ่ายไฟให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้ ซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ (16)

$$OC_N = (IER + TAR) \times kW \times Hr \times F_{OUT}(N) \quad (16)$$

โดยที่ OC_N คือต้นทุนความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับในปีที่ N IER คือ อัตราค่าความเสียหายต่อพลังงานเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง) TAR คืออัตราค่าไฟฟ้าขายส่ง (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง) kW คือกำลังไฟฟ้าที่คาดว่าจะไม่สามารถจ่ายให้ผู้ใช้ไฟได้ (กิโลวัตต์) Hr คือช่วงเวลาที่คาดว่าจะเกิดไฟฟ้าดับ และ $F_{OUT}(N)$ คือ ความน่าจะเป็นสะสมที่จะเกิดไฟฟ้าดับเนื่องจากพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ในปีที่ N (พิจารณาจากเหตุการณ์ประเภท Major Failure)

อัตราค่าความเสียหายต่อพลังงานเมื่อเกิดไฟฟ้าดับจะใช้ที่คำนวณแยกตามพื้นที่ เนื่องจากสามารถสะท้อนถึงข้อมูลสถิติการเกิดไฟฟ้าดับและสัดส่วนปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละพื้นที่ [7] ในส่วนของอัตราค่าไฟฟ้าขายส่งจะใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราค่าไฟฟ้าในช่วง Peak และ Off-Peak โดยอ้างอิงข้อมูลจาก [8] และพิจารณาอัตราการใช้ไฟที่เพิ่มขึ้นโดยอ้างอิงข้อมูลจาก [9]

ในส่วนของช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับจะพิจารณาจากช่วงเวลาเฉลี่ยของเหตุการณ์ไฟฟ้าดับที่เกิดจากความเสียหายของพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งรวบรวมจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 - 2563 มีทั้งสิ้น 16 เหตุการณ์ ช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับเฉลี่ยต่อเหตุการณ์คือ 0.2 ชั่วโมง

ทั้งนี้คำนวณต้นทุนเทียบเท่ารายปีได้ตามสมการที่ (17)

$$OC_A = OC_N \times \frac{i}{(1+i)^N-1} \quad (17)$$

โดยที่ OC_A คือต้นทุนความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับเทียบเท่ารายปี

3.2.4 ต้นทุนรวมเทียบเท่ารายปี

ต้นทุนรวมเทียบเท่ารายปีจะคำนวณได้ตามสมการที่ (18)

$$TC_A = CC_A + MC_A + OC_A \quad (18)$$

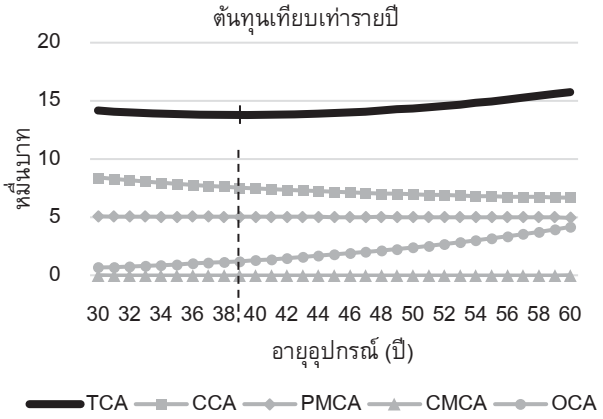
โดยที่ TC_A คือต้นทุนรวมเทียบเท่ารายปี

ทั้งนี้พิจารณาอายุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์ในปีที่มีต้นทุนรวมเทียบเท่ารายปีต่ำที่สุด

3.3 ข้อมูลกรณีศึกษาและผลงานวิจัย

พาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับกรณีศึกษามีอายุ 30 ปี จำนวนครั้งในการใช้งานเฉลี่ย 9 ครั้งต่อปี และมีจำนวนครั้งตัดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่ยอมรับได้ 40 ครั้ง ใช้งานกับสายส่งระดับแรงดัน 115 kV โดยกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งผ่านสายส่งดังกล่าว จะถูกจ่ายไปยังพื้นที่เขตเทศบาลตำบล ในส่วนของภาคกลางตอนบน ซึ่งมีอัตราการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.8 % ต่อปี จากการคำนวณต้นทุนรวมเทียบเท่ารายปีจนถึงปีที่อุปกรณ์มีอายุ 60 ปี แสดงดังรูปที่ 7 พบว่าอุปกรณ์มีต้นทุนรวมเทียบเท่ารายปีต่ำที่สุด 136,772.19 บาท ที่อายุ 39 ปี หากพิจารณาองค์ประกอบต้นทุนในแต่ละส่วนพบว่า CC_A มีสัดส่วนในต้นทุนรวมมากที่สุด รองลงมาคือ PMC_A ซึ่งมีค่าเทียบเท่ารายปีในแต่ละปีใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าจะมีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันหลากหลายงานที่ต่างวาระกัน OC_A มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการใช้ไฟที่เพิ่มขึ้น และในส่วนของ CMC_A มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับต้นทุนในส่วนอื่น ๆ เนื่องจากต้นทุนดังกล่าวขึ้นอยู่กับสถิติความเสียหายและสถิติการตัดกระแสลัดวงจรที่เคยเกิดขึ้น

กรณีที่ใช้วิธีการคัดเลือกอุปกรณ์เพื่อเข้าแผนงานเปลี่ยนทดแทนในปัจจุบัน อุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนที่อายุ 30 ปี ซึ่งมีต้นทุนเทียบเท่ารายปี 140,651.84 บาท ดังนั้นการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่อายุ 39 ปี มีต้นทุนเทียบเท่ารายปีต่ำกว่า 3,879.65 บาท



รูปที่ 7 ผลการคำนวณต้นทุนรวมเทียบเท่ารายปี

4. สรุป

จากการประเมินอายุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนทดแทนพาวเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยการพิจารณาต้นทุนอุปกรณ์ ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขที่คาดว่าจะเกิดขึ้น โดยพิจารณาจากสถิติความเสียหายและจำนวนครั้งในการตัดกระแสลัดวงจรที่ยอมรับได้ของ ยี่ห้อ/รุ่น นั้น ๆ รวมถึงต้นทุนความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับซึ่งสะท้อนถึงความสำคัญของอุปกรณ์ที่มีต่อระบบไฟฟ้า และพิจารณาอายุที่มีต้นทุนรวมเทียบเท่ารายปีต่ำที่สุดในการวางแผนงานเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์ จะทำให้การบริหารจัดการต้นทุนรวมของอุปกรณ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และผู้เกี่ยวข้องที่ทำงานในหน่วยงานกรณีศึกษาทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้อันเป็นประโยชน์ ตลอดจนให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] J. Suntaranurak, T. Suwanasri and C. Suwanasri. 2020. Lifetime estimation of switching devices using weibull distribution analysis. The 17th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunica-
tions and Information Technology (ECTI-CON). Thailand.

[2] D. Stevanovic, A. D. Janjic and D. S. Tasic. 2019. Replacement strategy of medium- voltage circuit breakers based on the segmented risk estimation. Electrical Engineering 101 (2): 527-536.

[3] Z. Guo, Y. Yang, H. Liu, Y. Wang and L. Zhou. 2016. Reliable life calculation of circuit breaker based on fta and reliability function. IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE). China.

[4] B. Cahyono, T. Takahashi, T. Okamoto, Suwarno and N. Hariyanto. 2012. Analysis of economical service period for power transformers. IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy 2012. Bali, Indonesia.

[5] W. Li, J. Zhou, J. Lu and W. Yan. 2007. A probabilistic analysis approach to making decision on retirement of aged equipment in transmission systems. IEEE Transactions on Power Delivery 22 (3): 1891-1896.

[6] Lee, S.H., A.K. Lee and J.O. Kim. 2012. Determining economic life cycle for power transformer based on life cycle cost analysis. 2012 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC). San Diego, CA, USA.

[7] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2556. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาอัตราความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ (outage cost). 498.

[8] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. อัตราค่าไฟฟ้าขายส่งให้ กฟน. และ กฟภ. ข้อมูลจาก https://www.egat.co.th/home/wp-content/uploads/2021/07/20200807-Wholesale-Rate_MEA

PEA_Nov2015_rebase-Ft-0.0212_Additional-16Jul2020.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 มีนาคม 2564)

[9] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561-2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1. 68.

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างสายการผลิตติ่มซำ กรณีศึกษา บริษัทอาหารสำเร็จรูปแช่แข็งแปดริ้วจังหวัดฉะเชิงเทรา

Feasibility Analysis on the Investment of Dim Sum Production Line : A Case Study of Padriew Frozen Ready Meal Factory in Chachoengsao

ปานเกศ สดแจ่มศรี[1*] ศันสนีย์ สุภาภา[2] พัชราภรณ์ ญาณภิรัต[2]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: pankes.sod@ku.th*

Pankes Sodjamsri[1*] Sansanee Supapa[2] Patcharaporn Yanpirat[3]
[1] Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: pankes.sod@ku.th*

บทคัดย่อ

จากผลการศึกษาด้านตลาดธุรกิจอาหารพร้อมรับประทานแช่แข็งในประเทศในโดยเฉพาะติ่มซำพบว่า ในปี พ.ศ. 2564 มีมูลค่าตลาดกว่า 3.8 พันล้านบาท และยังมีแนวโน้มเติบโตขึ้นต่อเนื่องที่อัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 8.3 ต่อปี การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการตลาด เทคนิค และเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนเพิ่มสายการผลิตติ่มซำที่มีคุณภาพระดับพรีเมี่ยมในโรงงานกรณีศึกษาซึ่งผลิตอาหารสำเร็จรูปแช่แข็งอยู่แล้วที่พื้นที่ว่างของอาคารผลิตเดิม จากการวิเคราะห์ SWOT พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีโอกาสและช่องทางการตลาดคือขนมจีบและซาลาเปาที่มีคุณภาพพรีเมี่ยมและจำหน่ายในราคาสแตนดาร์ด ที่กำลังการผลิต ซาลาเปาจำนวนปีละ 32,000 ชิ้นและขนมจีบจำนวนปีละ 64,000 ชิ้น และจำหน่ายผ่านพ่อค้าคนกลางและร้านสะดวกซื้อ การศึกษาด้านเทคนิคได้วางรูปแบบและจัดสมดุลของสายการผลิตติ่มซำในด้านทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตเช่นเครื่องจักรอุปกรณ์ แรงงาน วัตถุดิบ และสาธารณูปโภค รวมทั้งการออกแบบผังโรงงานให้เหมาะสมและสอดคล้องกับสายการผลิตเดิม ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนในส่วนเพิ่ม มีการประมาณการค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพิ่ม 53.73 ล้านบาท ที่ระยะเวลาโครงการ 10 ปี และอัตราผลการตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำของบริษัทกรณีศึกษาที่พึงพอใจร้อยละ 15 พบว่าโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 37.53 ล้านบาท และมีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการมีค่าร้อยละ 31.59 ซึ่งมากกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่บริษัทกรณีศึกษากำหนดไว้ ดังนั้นโครงการการลงทุนสายการผลิตติ่มซำคุณภาพพรีเมียมจึงมีความเป็นไปได้ในการตัดสินใจในการลงทุน
คำสำคัญ: การผลิตติ่มซำ, การวิเคราะห์การลงทุนเพิ่ม, การศึกษาความเป็นไปได้

Abstract

As for the demand of frozen dim sum in Thailand, in 2021 the market value was at 3.8 billion baht and at the increase of 8.3 percent per year. The purpose of this study was to investigate feasibility in marketing, technical, economic on the investment of new dim sum production line at the available area of the existing frozen ready meal factory. According to the of SWOT analysis, it was found that there was the opportunity for expanding of new production line for premium grade steamed stuff bun and dumpling at the capacity of 32,000 and 64,000 unit respectively and at standard grade price. The marketing channel was designed through the retail and convenience stores. The new dim sum production line was formed with the line balancing of machine, raw materials, man power, utility needed. As for the incremental investment analysis, the investment cost was estimated at 53.73 million baht, over 10-year of analysis period and 15 percent of minimum return on investment of the company, it was found that the net present value of the incremental cash flow was at 37.53 million baht and has a payback period of 5 years. The internal rate of return of the project was at 31.59 percent, which is higher than the minimum rate of return. Therefore, the investment of premium quality dim sum production line was feasible.
Keywords: Dim sum Production, Incremental Analysis, Feasibility Analysis

1. บทนำ

การดำเนินชีวิตของคนรุ่นใหม่ในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงจากอดีตที่ผ่านมาค่อนข้างมาก กล่าวคือ นิยมอาศัยในห้องพักใกล้ที่ทำงานซึ่งไม่สะดวกในการประกอบอาหาร และใช้ชีวิตด้วยความเร่งรีบต้องการความรวดเร็วและสะดวกสบาย อาหารสำเร็จรูปจึงสามารถสนองตอบต่อวิถีชีวิตของคนรุ่นใหม่ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอาหารแช่แข็งซึ่งมีความได้เปรียบในด้านอายุการเก็บรักษา และในปัจจุบันผู้บริโภคต่างคุ้นเคยกับอาหารแช่แข็งและยอมรับในเรื่องคุณภาพมาตรฐาน ประกอบกับการขยายสาขาของร้านสะดวกซื้อทำให้อาหารแช่แข็งสามารถหาซื้อได้ง่าย

โรงงานกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับอาหารพร้อมรับประทานแช่แข็ง เช่น ข้าวกล่องพร้อมทาน และกลุ่มอาหารแปรรูปอื่น ๆ แช่แข็ง ได้แก่ เกี๊ยวซ่าหมู เป็นต้น เพื่อให้ธุรกิจอาหารสำเร็จรูปแช่แข็งยังขยายตัวได้อย่างต่อเนื่อง โรงงานยังคงต้องปรับตัวจากการแข่งขันที่รุนแรงมากขึ้นทั้งจากผู้ประกอบการรายเดิมและรายใหม่ โรงงานจึงได้เห็นโอกาสในกลุ่มสินค้าอาหารแปรรูปอื่น ๆ แช่แข็ง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาหารว่างประเภทต่าง ๆ ที่ผู้บริโภคชาวไทยนิยมรับประทานอย่างขนมจีบ ซาลาเปา เป็นต้น ซึ่งตลาดนี้สูงถึงร้อยละ 80 ของมูลค่าตลาดอาหารแปรรูปอื่น ๆ แช่แข็งทั้งหมด ในการขยายธุรกิจในส่วนของอาหารแช่แข็ง เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้าที่มีเพิ่มขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการในการลงทุนสร้างสายการผลิตติ่มซำ ที่โรงงานอาหารสำเร็จรูปแปดริ้วจังหวัดฉะเชิงเทรา เพื่อประกอบการตัดสินใจในการลงทุนต่อไป

2. วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการตลาด เทคนิค และเศรษฐศาสตร์การเงินในการลงทุนเพิ่มสายการผลิตติ่มซำในโรงงานกรณีศึกษาซึ่งผลิตอาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง และเพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจลงทุน

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การวิเคราะห์ด้านการตลาดของโครงการ

สินค้าของโครงการมีรูปแบบและคุณภาพอย่างไรและเป็นสินค้าที่สอดคล้องตามความต้องการของลูกค้าหรือกลุ่มเป้าหมายหรือไม่ เป็นการพิจารณาทางด้านอุปสงค์และอุปทานนำมาเปรียบเทียบกันหากอุปสงค์มากกว่าอุปทานแสดงให้เห็นว่าโครงการมีความเป็นไปได้ด้านการตลาดในการลงทุน ทั้งนี้การพิจารณาทางด้านอุปสงค์จะรวบรวมข้อมูลปริมาณความต้องการซื้อสินค้าอดีต ปัจจุบันและประมาณการแนวโน้มอุปสงค์ในอนาคต ราคาขายของสินค้ากำหนดโดยขึ้นกับสภาพการแข่งขัน โครงสร้างตลาดของสินค้าและการวางแผนการจัดจำหน่ายและการตลาดเพื่อให้มั่นใจได้ว่าสินค้าเป็นที่ต้องการของตลาด ซึ่งแสดงว่าโครงการจะมีรายได้หรือมีผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุน [1]

3.2 การวิเคราะห์ด้านเทคนิคและวิศวกรรมของโครงการ

ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค ได้แก่ กระบวนการผลิตโดยเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กระบวนการมีประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด สถานที่ตั้งโครงการจะเกี่ยวข้องกับค่าขนส่ง ดังนั้นควรเลือกสถานที่ตั้งที่ทำให้โครงการเสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดรวมถึงความสะดวกในการขนส่งของวัตถุดิบ แรงงาน และปัจจัยทางด้านตลาด รวมทั้งกฎระเบียบคุณภาพของสิ่งแวดล้อม

3.3 การวิเคราะห์ทางด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์

เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของโครงการ (Project Cost) และผลตอบแทนจากโครงการ รวมถึงการวางแผนงบการเงินต่าง ๆ ในระยะการดำเนินงานตามโครงการ เช่น งบกระแสเงินสด เป็นต้น เพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการที่เป็นเกณฑ์ช่วยในการตัดสินใจลงทุนของผู้มีอำนาจตัดสินใจว่าโครงการมีอัตราตอบแทนในการลงทุนแค่ไหน และมีประโยชน์ในการเสนอโครงการเพื่อขอกู้จากแหล่งเงินทุนต่าง ๆ ด้วย

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) คือผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้คิดลดเพื่อสะท้อนมูลค่าเงินตามเวลาจากจุดเริ่มต้นของโครงการ เพื่อประเมินโครงการว่าให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่ หากโครงการมี NPV ค่าเป็นบวก ก็จะน่าลงทุน หาก NPV มีค่าเป็นลบก็ไม่ควรดำเนินการลงทุน [2]
- อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) คือผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนตลอดอายุโครงการ หรือทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ หาก IRR มีค่าสูงกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ผู้ลงทุนพึงพอใจ (MARR) แสดงถึงว่าการลงทุนให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับเงินลงทุนที่จ่ายออกไป
- ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เป็นระยะเวลาจะได้เงินที่ลงทุนคืนจากกำไรสุทธิสะสม ยิ่งระยะเวลาคืนทุนสั้นเท่าใดโครงการก็ดูน่าสนใจยิ่งขึ้น
- การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เป็นการทดสอบผลตอบแทนของโครงการเมื่อปัจจัยของโครงการเปลี่ยนไปจากที่ได้ประมาณการไว้ โดยกำหนดให้ตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งตัวแปรเปลี่ยนไป แล้วจึงพิจารณางบกระแสเงินสดว่ายังมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ เพื่อใช้ประเมินความเป็นไปได้ของโครงการเปลี่ยนไป [4]

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Koon Fung Lam et al [3] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของการผลิตกรดซัคซินิกจากการหมักเศษเบเกอรี่ เนื่องจากการฝังกลบอาจทำให้เกิดการสร้างก๊าซมีเทนที่เป็นพิษ โดยได้มีการประมาณเงินลงทุน 2 ส่วนได้แก่ เงินลงทุนทางตรงคือค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้ออุปกรณ์และการติดตั้งอาคาร ที่ดิน และเงินลงทุนทางอ้อม เช่น ค่าก่อสร้าง ต้นทุนการผลิตและความสามารถในการทำกำไรของโรงงานที่จะสร้าง แล้วคำนวณ NPV โดยเพิ่มอัตราคิดลด พบว่าอัตราคิดลดที่สูงขึ้นส่งผลให้ NPV โดยรวมลดลง และเมื่อ

NPV กลายเป็นศูนย์ที่อัตราคิดลดนั้นจะเรียกอีกอย่างว่า อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และตัวแปรทางเศรษฐกิจเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าโครงการมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ธัชณนท์ [5] ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหาร ควรปรับปรุงพัฒนากระบวนการให้มีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตสินค้าและการแข่งขัน โดยลดจำนวนสินค้าที่ผลิตไม่ทันตาม เวลาความต้องการของลูกค้า (Takt Time) ลดปัญหาคอขวด และลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต โดยใช้หลักการศึกษาการทำงานและหลักการจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) เริ่มจากการทำการศึกษากระบวนการผลิตลงพื้นที่เก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิต จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาเวลาในการทำงาน (Cycle Time) ให้พอดีหรือต่ำกว่าเวลาความต้องการของลูกค้า ใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและจัดสรรพื้นที่ให้เหมาะสมให้กับแต่ละกระบวนการทำงาน จากนั้นทำการจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดปัญหาคอขวดในกระบวนการผลิต

Zhen-yu Zhao [6] ในการเผชิญกับโอกาสใหม่ในการพัฒนาและความท้าทายต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ SWOT ประเมินสภาพแวดล้อมของอุตสาหกรรมการผลิต แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง SWOT เป็นตัวย่อ 4 ปัจจัย ได้แก่ จุดแข็ง (S) จุดอ่อน (W) เป็นปัจจัยภายในที่แสดงถึงสภาพแวดล้อมในของอุตสาหกรรมที่ควบคุมได้ และโอกาส (O) และอุปสรรค (T) ปัจจัยภายนอก อุตสาหกรรมไม่มีการควบคุมโดยตรงแต่สามารถตอบสนองต่อความได้เปรียบของตนเองได้ การวิเคราะห์ SWOT เป็นวิธีการที่ช่วยให้อุตสาหกรรมสามารถวางแผนโดยใช้จุดแข็งเพื่อฉวยโอกาสและเพื่อป้องกันหรือหลีกเลี่ยงจุดอ่อน

4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) การศึกษาด้านการตลาด โดยการรวบรวมข้อมูลกลุ่มสินค้าติ่มซำแต่ละประเภทผู้ผลิต ตลาด และความต้องการ ในปัจจุบัน และการพยากรณ์แนวโน้มการเติบโตของธุรกิจติ่มซำในอนาคต และการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางธุรกิจของโรงงานจาก SWOT Analysis เพื่อกำหนดกลยุทธ์การตลาด

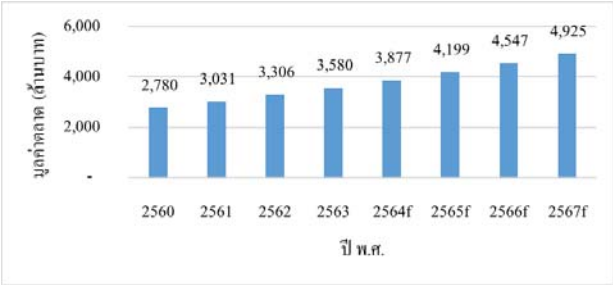
2) การศึกษาด้านเทคนิค ได้แก่ การจัดสมดุลในสายการผลิต เพื่อจัดสรรทรัพยากรที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิตที่ต้องการในการจัดตั้งในโรงงาน เพื่อให้กระบวนการมีการผลิตต่อเนื่องและการวางรูปแบบของสายการผลิต โดยคำนวณทรัพยากรที่ต้องการในสายการผลิต ได้แก่ เครื่องจักร แรงงาน วัตถุดิบและพลังงาน

3) การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ โดยจัดทำงบกระแสเงินสด เพื่อวางแผนทางด้านการเงินสำหรับการวิเคราะห์โครงการตามดัชนีชี้วัด ได้แก่ NPV IRR และระยะเวลาคืนทุน และวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อการตัดสินใจ

5. ผลการวิจัย

5.1 การวิเคราะห์ด้านการตลาดของสินค้าติ่มซำ

การพยากรณ์แนวโน้มการเติบโตของธุรกิจติ่มซำในปี พ.ศ. 2564 คาดว่าธุรกิจติ่มซำแช่แข็งในประเทศจะมีมูลค่ากว่า 3.8 พันล้านบาท [7] โดยขยายตัวตามโครงสร้างประชากรที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของผู้บริโภคที่มีชีวิตเร่งรีบ การขยายสาขาของร้านค้าปลีกและร้านสะดวกซื้อ จนไปถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ของผู้ประกอบการ ที่จะส่งผลให้ธุรกิจขยายตัวมากขึ้น ทั้งนี้แนวโน้มปี พ.ศ. 2564 – 2567 คาดว่ามูลค่าตลาดจะยังคงเติบโตขึ้นต่อเนื่องโดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 8.3 ต่อปี ดังรูปที่ 1



หมายเหตุ f เป็นตัวเลขพยากรณ์มูลค่าตลาด

รูปที่ 1 พยากรณ์มูลค่าตลาดสินค้าติ่มซำแช่แข็งในประเทศไทย (ล้านบาท)

ช่องทางการจัดจำหน่ายของสินค้าติ่มซำมี 2 รูปแบบ คือ กลุ่มธุรกิจกับธุรกิจ (B2B) หรือช่องทางค้าส่ง และช่องทางค้าปลีก (B2C) ซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 60 ถือเป็นตลาดที่ค่อนข้างใหญ่ขายให้กับ ผู้บริโภคทั่วไป (End User) เช่นการขายสินค้าในร้านสะดวกซื้อ ห้าง ซุปเปอร์มาร์เก็ตต่างๆ หรือร้านค้าออนไลน์ ที่ต้องมีการคำนึงถึงในเรื่องการสร้างแบรนด์ ทำโฆษณา ประชาสัมพันธ์ให้ผู้บริโภครับรู้และเลือกซื้อโดยตรง และแบบ B2B ที่มีสัดส่วนตลาดร้อยละ 40 คือกลุ่มธุรกิจบริการอาหาร (Food Service) เช่น โรงแรม ร้านอาหาร ที่ในปัจจุบันลูกค้ากลุ่มนี้จะนิยมซื้อสินค้าอาหารแช่แข็งในรูปแบบพร้อมปรุงหรือพร้อมทาน เพราะสะดวกต่อการใช้งาน ง่ายต่อการควบคุมต้นทุน

การวิเคราะห์ SWOT จากข้อมูลสภาพแวดล้อมภายนอกและภายในของบริษัทกรณีศึกษา ตลอดจนการรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นของผู้ดำเนินโครงการ จำนวน 6 คน ประกอบด้วย ผู้จัดการฝ่ายการตลาด 1 คน ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ 2 คน ผู้จัดการฝ่ายผลิต 1 คนและผู้จัดการฝ่ายขาย 2 คน เพื่อไปกำหนดกลยุทธ์และแนวทางการดำเนินงานต่อไปมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

จากผลการวิเคราะห์ด้านการตลาดพบว่าร้อยละ 80 เป็นสินค้าประเภทติ่มซำ และส่วนใหญ่เป็นสินค้าประเภทซาลาเปา และขนมจีบ โดยสินค้าที่วางจำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบัน พบว่า หากใช้ราคาเป็นเกณฑ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือ ตลาดแมส สแตนดาร์ด และพรีเมี่ยม ซึ่งผู้ประกอบการแต่ละรายจะกำหนดตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ตนเองอย่างชัดเจนอยู่ในตลาดระดับใด ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ SWOT

รายการ	ผลการศึกษา/แนวทางแก้ไข
จุดแข็ง	โรงงานมีบริษัทในเครือผลิตเนื้อสัตว์ทำให้ได้วัตถุดิบดีมีคุณภาพและต้นทุนต่ำ การร่วมมือกันระหว่างฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์และการตลาด ในการพัฒนาสินค้าให้มีเอกลักษณ์แตกต่างจากของคู่แข่งและมีช่องทางการจัดจำหน่ายที่ครอบคลุม
จุดอ่อน	แบรนด์และสินค้ายังไม่เป็นที่รู้จัก เนื่องจากเป็นธุรกิจใหม่อาจทำให้มีค่าใช้จ่ายในการตลาดสูง โดยจะเน้นการทำ Digital Marketing เนื่องจากสามารถกำหนดค่าใช้จ่ายการดำเนินงานให้ตรงกับเป้าหมายได้
โอกาสทางธุรกิจ	การเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้บริโภคที่มีการดำเนินชีวิตที่เร่งรีบและขยายตัวของร้านค้าปลีกสมัยใหม่
อุปสรรคภายนอก	สภาวะผันทวนของต้นทุนการผลิตต่าง ๆ รวมไปถึงนโยบายของภาครัฐในการปรับขึ้นค่าแรงงาน ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า โดยบริษัทกรณีศึกษาต้องดำเนินการจัดหาคู่ค้าที่หลากหลาย เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงและเพิ่มอำนาจการต่อรอง

โรงงานกรณีศึกษามีวัตถุประสงค์ที่จะผลิตซาลาเปา และขนมจีบ ที่กำลังการผลิต ซาลาเปาจำนวนปีละ 32,000 ชิ้นและขนมจีบจำนวนปีละ 64,000 ชิ้น ให้มีคุณภาพพรีเมี่ยมระดับเชฟมาจำหน่ายในราคาที่เข้าถึงได้ง่ายหรืออยู่ในตลาดสแตนดาร์ด ดังนั้นจึงกำหนดราคาให้สูงกว่าตลาดสแตนดาร์ดเล็กน้อยเพื่อแสดงให้ตลาดเห็นความแตกต่างของสินค้าและยอมที่จะเพิ่มเงินเพื่อซื้อจึงกำหนดราคาตลาดดังนี้ ขนมจีบขนาด 25 กรัมต่อชิ้น ขายในราคา 14 บาทต่อชิ้น และซาลาเปาขนาด 80 กรัมต่อชิ้น ขายในราคา 25 บาทต่อชิ้น

ตารางที่ 2 ราคาขายและขนาดของสินค้าติ่มซำตามประเภทของตลาด

สินค้า	ผู้ผลิต	ตลาด	ขนาด (กรัม)	ราคา (บาท)
ขนมจีบ	ภัตตาคารทั่วไป	พรีเมี่ยม	45	45
	บจก. วราภรณ์	สแตนดาร์ด	25	13
	บจก. ซีพีแรม	แมส	16	5
ซาลาเปา	ภัตตาคารทั่วไป	พรีเมี่ยม	65	38
	บจก. วราภรณ์	สแตนดาร์ด	80	24
	บจก. ซีพีแรม	แมส	85	18

ช่องทางการจัดจำหน่ายของสินค้าติ่มซำมี 2 รูปแบบ คือ กลุ่มธุรกิจกับธุรกิจ (B2B) หรือช่องทางค้าส่ง และกลุ่มธุรกิจกับลูกค้า (B2C) หรือช่องทางค้าปลีก ซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 60 ถือเป็นตลาดที่ค่อนข้างใหญ่ขายให้กับ ผู้บริโภคทั่วไป (End User) เช่นการขายสินค้าในร้านสะดวกซื้อ ห้าง ซุปเปอร์มาร์เก็ตต่างๆ หรือร้านค้าออนไลน์ ที่ต้องมีการคำนึงถึงในเรื่องการสร้างแบรนด์ ทำโฆษณา ประชาสัมพันธ์ให้ผู้บริโภครับรู้และเลือกซื้อโดยตรง และแบบ B2B ที่มีสัดส่วนตลาดร้อยละ 40 คือกลุ่มธุรกิจบริการอาหาร (Food Service) เช่น โรงแรม ร้านอาหาร ที่ในปัจจุบันลูกค้ากลุ่มนี้จะนิยมซื้อสินค้าอาหารแช่แข็งในรูปแบบพร้อมปรุงหรือพร้อมทาน เพราะสะดวกต่อการใช้งาน ง่ายต่อการควบคุมต้นทุน

5.2 การวางรูปแบบด้านเทคนิคของสายการผลิตซาลาเปาและขนมจีบ

การศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตขนมจีบจะเห็นว่ามีกระบวนการที่คล้ายกับขั้นตอนการผลิตซาลาเปา แสดงดังตารางที่ 3 โดยพบว่ามีขั้นตอนการแช่แข็งใช้เวลาในกระบวนการผลิตมากกว่าขั้นตอนอื่น ๆ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาคอขวด และจำกัดจำนวนล็อตที่สามารถผลิตได้ต่อวัน เนื่องจากเครื่องแช่แข็งมีขนาดค่อนข้างใหญ่ จึงทำให้ไม่สามารถเพิ่มเครื่องแช่แข็งได้ เพราะมีพื้นที่ที่ใช้ในการผลิตมีจำกัด ดังนั้นโรงงานจึงทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตอื่น ๆ จากตารางที่ 3 ได้แก่ การรวมขั้นตอนผสมแป้งและผสมไส้ของทั้งขนมจีบและซาลาเปาโดยการแยกพนักงาน เครื่องจักร เครื่องมือและพื้นที่ผลิตออกจากกัน จะทำให้เวลารวมในการกระบวนการผลิตลดลง 30 นาที และการกำจัดคนงานที่มากเกินความจำเป็นในขั้นตอนการบรรจุลงกล่อง ซึ่งใช้เวลาการทำงานน้อยอาจจะทำให้พนักงานว่างงานจึงเสนอแนวทางการปรับลดคน เพื่อให้เวลาการทำงานเพิ่มขึ้นเป็น 30 นาที

ตารางที่ 3 ขั้นตอนการผลิตซาลาเปาและขนมจีบ

ขั้นตอนการผลิต	ซาลาเปา		ขนมจีบ	
	เวลา (นาที)	จำนวนคน	เวลา (นาที)	จำนวนคน
1. ผสมไส้	40	1	30	1
2. ผสมแป้ง	30	0	30	0
3. ขึ้นรูป	40	1	40	1
4. พักแป้ง	60	0		
5. ทำให้สุก	40	0	40	0
6. แช่แข็ง	90	0	90	0
7. บรรจุถุง	30	0	30	0
8. บรรจุ	15	2	15	2
รวม	345	4	275	4

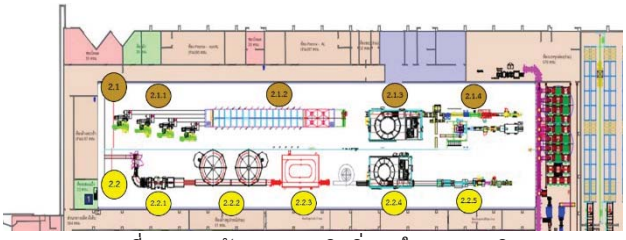
โดยการศึกษานี้ได้มีการเลือกกระบวนการที่ใช้เวลาในการผลิตสูงที่สุด เพื่อนำมาใช้ในการจัดสมดุลของกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและคำนวณประสิทธิภาพของสายการผลิต (Line Efficiency) หลังการปรับปรุงกระบวนการดังสมการ (1)

$$\%Line\ Efficiency = \frac{\text{เวลาการทำงาน } x\ 100}{\text{เวลาสูงสุด } x \text{ จำนวนขั้นตอน}} \quad (1)$$

กระบวนการผลิตซาลาเปาและขนมจีบมีประสิทธิภาพของสายการผลิตเท่ากับร้อยละ 52.38 และ 48.15 ตามลำดับ ซึ่งค่อนข้าง

น้อยเนื่องจากความสามารถสูงสุดของขั้นตอนการแช่แข็งทั้งของซาลาเปาและขนมจีบที่มีการใช้เวลาในกระบวนการผลิตมากกว่าขั้นตอนอื่น ๆ และจากการศึกษายังไม่มีเทคนิคที่สามารถมาลดเวลามาตรฐานของเวลาของกระบวนการแช่แข็งลงได้

การออกแบบแผนผังโรงงานในอาคารผลิตที่มีพื้นที่ว่าง 2,043 ตารางเมตร โดยสามารถออกแบบสายการผลิตซาลาเปา และขนมจีบได้ดังรูปที่ 2 เป็นการวางผังของโรงงานตามชนิดตามผลิตภัณฑ์ โดยเรียงลำดับเครื่องจักรตามขั้นตอนการผลิตสินค้า โดยแยกสายการผลิตสินค้าซาลาเปาและขนมจีบออกจากกันอย่างชัดเจน ซึ่งเหมาะสำหรับการผลิตสินค้าชนิดเดียวหรือน้อยชนิด ซึ่งมีข้อดีคือ จะไม่มีการขนย้ายสินค้าย้อนทางเดินหรือข้ามระหว่างฝั่งสินค้าดิบและสินค้าสุกเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสินค้า



รูปที่ 2 แผนผังสายการผลิตติ่มซำในอาคารผลิต

(หน่วย : ล้านบาท)

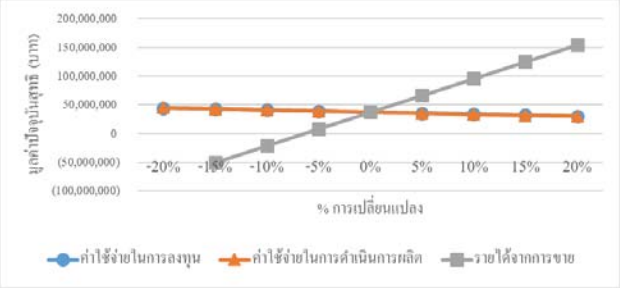
รายการ	ปีที่											มูลค่าซาก
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
งบกำไรสุทธิ												
1. เงินสดรับ												
รายได้จากการขายขนมจีบและซาลาเปา		86.40	129.60	129.60	172.80	172.80	172.80	172.80	172.80	172.80	172.80	
2. เงินสดจ่าย												
ค่าวัตถุดิบ		62.26	93.38	93.38	124.51	124.51	124.51	124.51	124.51	124.51	124.51	
เงินทุนหมุนเวียน		2.00										
ค่าเสื่อมราคา		4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	10.22
ดอกเบี้ยเงินกู้		1.04	0.83	0.62	0.42	0.21						
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน		9.22	9.22	9.22	9.22	9.22	9.22	9.22	9.22	9.22	9.22	
ค่าใช้จ่ายขาย		9.50	9.07	9.07	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	
รวมค่าใช้จ่าย		88.12	116.61	116.40	150.34	150.13	149.93	149.93	149.93	149.93	149.93	
รายได้สุทธิก่อนภาษีเงินได้		-1.72	13.00	13.20	22.46	22.67	22.88	22.88	22.88	22.88	22.88	
ภาษีเงินได้ ร้อยละ 20		-0.34	2.60	2.64	4.49	4.53	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	
รายได้สุทธิหลังหักภาษีเงินได้		-1.37	10.40	10.56	17.97	18.13	18.30	18.30	18.30	18.30	18.30	
งบกระแสเงินสด												
รายได้สุทธิหลังหักภาษีเงินได้		-1.37	10.40	10.56	17.97	18.13	18.30	18.30	18.30	18.30	18.30	
ค่าเสื่อมราคา		4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	10.22
ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพิ่ม	-35.73											
คืนเงินต้น		3.20	3.20	3.20	3.20	3.20						
กระแสเงินสดสุทธิ	-35.73	-0.47	11.30	11.46	18.87	19.04	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	10.22

รูปที่ 3 ข้อมูลงบกระแสเงินสดของโครงการ

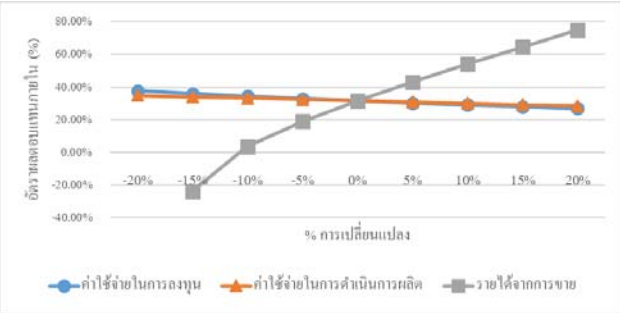
5.3 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และความไวในการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่าง ๆ ของโครงการ

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินในการลงทุนสายการผลิตซาลาเปา และขนมจีบ ที่ได้ออกแบบในเบื้องต้น มีการประมาณการค่าใช้จ่ายในการลงทุน 53.73 ล้านบาท โดยกำหนดระยะเวลาโครงการที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน 10 ปี จากงบกระแสเงินสดในส่วนเพิ่มของโครงการ ดังรูปที่ 3 บริษัทกรณีศึกษากำหนดจะใช้เงินในส่วนของเจ้าของจำนวนร้อยละ 70 ของเงินลงทุนและใช้เงินจากการกู้ยืมธนาคารอีกร้อยละ 30 ของเงินลงทุน ที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 6.5 ต่อปี พบว่ากระแสเงินสดในส่วนเพิ่มมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับเป็นบวก 37.53 ล้านบาท มีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการมีค่าร้อยละ 31.59

การวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของทั้ง 3 ปัจจัย แสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีความไวต่อโครงการมากที่สุดคือ รายได้จากการขายขนมจีบและซาลาเปา ซึ่งถ้าลดลงต่ำกว่า 5% จะทำให้โครงการไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนแต่จากสภาวะปัจจุบันที่อาหารสำเร็จรูปแช่แข็งสามารถตอบโจทย์พฤติกรรมการบริโภคได้ดี ทำให้ตลาดอาหารแช่แข็งนั้นเติบโตซึ่งจะเป็นผลดีของโครงการที่รายได้เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตที่ช่วงการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ -20 ถึง +20 เปอร์เซ็นต์ยังทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก



รูปที่ 4 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยโครงการต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ



รูปที่ 5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยโครงการต่ออัตราผลตอบแทนภายใน

6. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาด้านการตลาดของติ่มซำในประเทศพบว่าตลาดยังคงเติบโตขึ้นต่อเนื่องโดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 8.3 ต่อปี จากการเพิ่มขึ้นของผู้บริโภคที่มีชีวิตเร่งรีบและการขยายสาขาของร้านค้าปลีกและร้านสะดวกซื้อที่จะส่งผลให้ธุรกิจขยายตัวมากขึ้น ซึ่งบริษัทกรณีศึกษาจะพัฒนาผลิตภัณฑ์ซาลาเปา และขนมจีบ ที่มีเอกลักษณ์ที่ต่างจากตลาดในด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสที่เป็นระดับพรีเมี่ยมระดับเชฟ มาจำหน่ายในตลาดในราคาที่เข้าถึงได้ง่ายเพื่อให้ผู้บริโภคทั่วไปสามารถหาซื้อง่าย ควบคู่กับการสร้างแบรนด์ใหม่ที่ทันสมัย

การศึกษาด้านเทคนิคกระบวนการผลิตซาลาเปา และขนมจีบ ในการจัดสมดุลสายการผลิตให้กับกระบวนการการผลิตขนมจีบและซาลาเปา โดยการรวมขั้นตอนการผสมแป้งและผสมไส้โดยการเพิ่มเครื่องจักรเพื่อใช้แยกกันและการกำจัดคนงานที่มากเกินในขั้นตอนการบรรจุลงกล่อง ทำให้สามารถลดเวลาในการกระบวนการผลิตลงได้ และลดค่าใช้จ่ายแรงงาน แล้วจึงวางผังของโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์ โดยเรียงเครื่องจักรไปตามขั้นตอนการผลิต

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินของโครงการ พบว่ามีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 37.53 ล้านบาท มีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการร้อยละ 31.59 ซึ่งมากกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่บริษัทกรณีศึกษากำหนดไว้ และ โดยอยู่ในข้อกำหนดของบริษัทกรณีศึกษาที่โครงการใหม่ที่จะขออนุมัติจะต้องมีระยะเวลาการคืนทุนไม่เกิน 6 ปี และผลการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ไม่แน่นอนของโครงการได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตและรายได้จากการขายขนมจีบและซาลาเปา ในช่วงการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ -20 ถึง +20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่มีความไวต่อโครงการมากที่สุดคือ รายได้จากการขายขนมจีบและซาลาเปา ซึ่งถ้าลดลงต่ำกว่า 5% จะทำให้โครงการไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนซึ่งมีความเป็นไปได้น้อย เนื่องจากการระบาดของไวรัสโควิด-19 ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ปี 2563 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปแช่แข็งที่ขายในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษามีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 10-15 เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์วิถีชีวิตใหม่ทำให้บริษัทกรณีศึกษาจึงเล็งเห็นโอกาสและมีแผนจะขยายธุรกิจในส่วนของอาหารแช่แข็ง ในขณะเดียวกันค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตไม่มีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุนในช่วงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ดังนั้นโครงการการลงทุนสร้างสายการผลิตติ่มซำจึงมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการตัดสินการลงทุน

7. ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษานี้พิจารณาแหล่งเงินทุนทั้งจากส่วนของเจ้าของและส่วนที่กู้ยืมมา เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน ครั้งถัดไปควรพิจารณาแหล่งเงินทุนที่มาจากการกู้ทั้งหมดเพิ่มเติม เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับกลุ่มธุรกิจเดียวกันหรือใกล้เคียงที่มีฐานะทางการเงินแตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] ฐาปนา ฉิ่นไพศาล และอัจฉรา ชีวะตระกูลกิจ. การบริหารโครงการและการศึกษาความเป็นไปได้, กรุงเทพฯ : ธีระฟิล์มและไซเท็กซ์; 2544.

[2] Renata V, Pedro I.C. Techno-economic evaluation of obtaining Brazilian ginseng extracts in potential production scenarios. Food and Bioproducts Processing. 2017; 101: 45–55.

[3] Koon L, Cho L, Carol Sze K. Economic feasibility of a pilot-scale fermentative succinic acid production from bakery wastes. Food and Bioproducts Processing. 2014; 92: 282–290.

[4] บันเทิง มาแสง. การวางแผนและการจัดการโครงการทางการเกษตร, ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตร คณะเศรษฐศาสตร์ กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549.

[5] ธัชณนนท์ แดนเขตม ธนภัทร แซ่ลี้ และชาณิดา พิทยานนท์, การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตปลาแซมอนแช่แข็ง,เอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2560; 23-26 กรกฎาคม 2561; โรงแรมสุนีย์แกรนด์โฮเต็ลแอนด์คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์. อุบลราชธานี; 2561. หน้า 31-38.

[6] Zhen-yu Zhao. Assessment of the biomass power generation industry in China. Renewable Energy. 2012; 37: 53–60.

[7] Euromonitor International. Ready Meals in Thailand [Internet]. 2019 Retrieved on 08 August 2021 from http://www.euromonitor.com

การประยุกต์ใช้วิศวกรรมคุณค่าและการวิเคราะห์คุณค่าในการลดต้นทุน กรณีศึกษาอุตสาหกรรมประกอบยูนิตทำฟัน

Application of Value Engineering and Value Analysis techniques in Cost Reduction: Case study of Dental Patient Chairs.

บัณฑิต พรมศร[1*] อดิศักดิ์ นาวเหนียว[1]
[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: 62920271@go.buu.ac.th*

Bundid Promson[1*] Adisak Nowneow[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: 62920271@go.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าและการวิเคราะห์คุณค่าในการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตยูนิตทำฟัน (Dental Patients Chairs) ลงอย่างน้อย 10% เพื่อตอบสนองต่อนโยบายของผู้บริหาร โดยมุ่งเน้นไปที่การลดต้นทุนวัสดุที่มีสัดส่วนสูงถึง 44.58% ของต้นทุนรวมของชิ้นส่วนทั้งหมด โดยใช้วิธีการระดมความคิด (Brainstorming) ผสมผสานการวิเคราะห์โดยอ้างอิงหลักการทางวิศวกรรม ผลกระทบด้านต้นทุนและปัจจัยที่จะส่งผลต่อลูกค้ามาทำการคัดกรองแนวคิดทั้งหมด จนได้แนวคิดที่เป็นไปได้ทั้งหมด 4 แนวคิด ภายใต้เป้าหมายและขอบเขตระยะเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้องน้อยกว่า 7 เดือน และมีค่าใช้จ่ายในการพัฒนาไม่เกิน 50,000 บาท รวมทั้งจากการวิเคราะห์น้ำหนักหน้าที่ของฟังก์ชั่นและเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ทำให้ได้แนวทางที่ปรับปรุงได้จริง 2 แนวทาง คือ 1. เปลี่ยนผู้ผลิตชิ้นส่วนจากซื้อต่างประเทศมาซื้อชิ้นส่วนที่ผู้ผลิตชิ้นส่วนภายในประเทศ และ 2. เปลี่ยนวัสดุ และ การออกแบบของชิ้นส่วน สามารถลดต้นทุนวัสดุได้ 10.16 %

คำสำคัญ: วิศวกรรมคุณค่าและการวิเคราะห์คุณค่า, การลดต้นทุน, ยูนิตทำฟัน

Abstract

This research is the application of value engineering techniques and value analysis to reduce costs in the Dental Patients Chairs unit manufacturing process at least 10% to respond to the policies of the management. The project aimed at reducing material costs which contributed to 44.58% of an overall unit cost of all parts. Brainstorming combines analysis based on engineering principles, cost impact and factors that will affect customers to screen all concepts. Until all 4 possible ideas were obtained. Under the goals and scope, the product development period must be less than 7 months and development cost of not more than 50,000 baht. Including from analyzing the functional weight and comparative analysis of the pros and cons, there are two approaches that can actually be improved: 1. Change supplier from foreign purchase to domestic purchase, 2. Change the material and design of the parts, can reduce the cost of materials by 10.16 %.

Keywords: Value Engineering and Value Analysis Technique, Cost Reduction, Dental Patient Chairs.

1. บทนำ

สืบเนื่องจากสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบัน ณ บริษัทที่เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายยูนิตทำฟัน (Dental Patients Chairs) แห่งหนึ่งซึ่งได้รับผลกระทบจากการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ทางอ้อม จากการชะลอตัวทางเศรษฐกิจ, การขาดกำลังซื้อ และราคาน้ำมันที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้ผลิตไม่สามารถขายผลิตภัณฑ์ได้ในราคาที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ และผู้บริโภคเลือกซื้อผลิตภัณฑ์จากบริษัทคู่แข่งรายอื่นที่มีราคาขายถูก [1]

จากแนวคิดหลักในการเพิ่มผลกำไรทางธุรกิจและอุตสาหกรรม 2 วิธี คือ การเพิ่มราคาขายให้สูงขึ้นและการลดต้นทุนให้ต่ำลง แต่เนื่องจากสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบัน การเพิ่มราคาขายให้สูงขึ้นนั้นเป็นไปได้ยาก ทำให้การเพิ่มผลกำไรทางธุรกิจจากการลดต้นทุนจึงเป็นเป้าหมายหลัก ซึ่งวิธีการลดต้นทุนโดยใช้หลักการวิศวกรรมอุตสาหกรรมมีหลายวิธี เช่น การลดต้นทุนจากการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Motion Analysis), การวิเคราะห์ระบบการผลิต (Manufacturing Analysis), การทำมาตรฐาน (Standardizations) การลดต้นทุนของเสียจากกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพ (Quality Control) หรือการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์คุณค่าและวิศวกรรมคุณค่า (Value Analysis and Value Engineering (VA/VE)) [2,3]

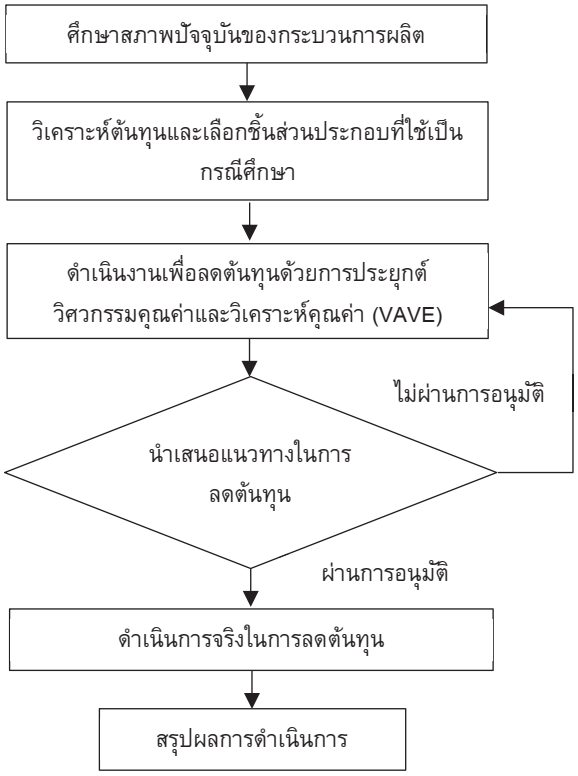
การวิเคราะห์คุณค่าและวิศวกรรมคุณค่า เป็นวิธีที่ใช้ในการลดต้นทุนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะสามารถประยุกต์ใช้กับลักษณะงานหลากหลาย ตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์ ปรับปรุงกระบวนการผลิต ปรับปรุงวิธีการทำงานที่ดีขึ้น ลดการใช้วัสดุลง หรือการปรับปรุงงานด้านบริหาร โดยมุ่งหมายที่จะลดต้นทุนลง ขณะเดียวกันยังรักษาประสิทธิภาพหรือแม้กระทั่งเพิ่มประสิทธิภาพของงานได้ด้วย [4]

การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์คุณค่าและวิศวกรรมคุณค่ากับการลดต้นทุนการผลิตของตู้แอร์รถยนต์โดยใช้แผนงาน 7 ขั้นตอนของ Arthur E. Mudge โดยแนวคิดที่ได้เป็นการเปลี่ยนวิธีการผสมเม็ดพลาสติกจากผู้ผลิตเม็ดพลาสติกมาเป็นที่ผู้ฉีดขึ้นรูปเม็ดพลาสติกผลการทดสอบการทนความร้อนและการสั่นสะเทือนไม่แตกต่างจากวิธีการผลิตแบบเดิม ดังนั้น แนวคิดใหม่นี้จึงสามารถนำมาใช้แทนวิธีการผลิตแบบเดิมได้ [5] และการลดต้นทุนชิ้นส่วนในระบบปรับอากาศรถยนต์ โดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า โดยชิ้นส่วนสำคัญที่ถูกคัดเลือกในการลดต้นทุน คือ ตู้แอร์และท่อแอร์ จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณค่าและหน้าที่ พบว่าหน้าที่หลักที่ควรปรับปรุงเพื่อลดต้นทุน ซึ่งหลังการปรับปรุงพบว่า ทุกแนวความคิดผ่านการทดสอบตามข้อกำหนดทั้งเรื่องการประกอบและคุณภาพ [6]

จากประสิทธิภาพของการวิเคราะห์คุณค่าและวิศวกรรมคุณค่า ผู้วิจัยจึงสนใจนำการวิเคราะห์คุณค่าและวิศวกรรมคุณค่า มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยูนิตทำฟันที่มีต้นทุนของวัสดุที่เพิ่มสูงขึ้นจากสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบัน เช่น เหล็กทุกชนิด โฟมพลาสติก และผ้าคลุมเบาะ เป็นต้น [7] โดยการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การลดต้นทุนชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ยูนิตทำฟันที่มีต้นทุนสูงที่สุดเท่านั้น

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังแสดงไว้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิต

เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการผลิตตั้งแต่ผลิตชิ้นส่วนจนถึงกระบวนการประกอบเสร็จพร้อมใช้งาน การควบคุม และค่าที่ใช้ควบคุมในกระบวนการผลิตของยูนิตทำฟันโดยศึกษาจากแผนภูมิแสดงการไหลของกระบวนการผลิต (Process Flow Chart), การวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), แผนภูมิควบคุม (Control Plan) และ การเข้าไปทดลองปฏิบัติจริงในสายการผลิต

2.2 วิเคราะห์ต้นทุนและเลือกชิ้นส่วนที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

เพื่อให้ทราบถึงต้นทุนของชิ้นส่วนใดมีต้นทุนสูงที่สุดใน Unit ที่มีต้นทุนสูงที่สุดและเลือกใช้เป็นกรณีศึกษาโดยทำการศึกษาจากโครงสร้างราคาขาย (Cost Breakdown) ของยูนิตทำฟันในแต่ละยูนิต (Unit)

2.3 ดำเนินงานเพื่อลดต้นทุนด้วยการประยุกต์วิศวกรรมคุณค่าและการวิเคราะห์คุณค่า

เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนโดยเทคนิควิศวกรรมคุณค่าและการวิเคราะห์คุณค่า ไปประยุกต์ใช้ โดยทำการเลือกวิธีการที่ดีที่สุดโดยแนวทางการแก้ไขมีดังนี้

2.3.1 แผนงานวิศวกรรมคุณค่า 7 ขั้นตอน ของ Arthur E. Mudge [8]

2.3.2 โครงสร้างราคาขายของกระบอกสูบจากผู้ส่งมอบชิ้นส่วน (Supplier)

2.3.3 การเปรียบเทียบโดยการทดสอบความทนทาน (Durability Test) ของกระบอกสูบ

2.4 นำข้อมูลที่เสนอที่ผ่านการอนุมัติจากผู้บริหารไปดำเนินการ

เพื่อให้ทราบถึงข้อเสนอที่ได้นำเสนอไปนั้นสามารถที่จะลดต้นทุนได้จริงโดยดำเนินการลดต้นทุนจากโครงสร้างราคาขายของยูนิตทำฟันในแต่ละยูนิต

2.5 ดำเนินการจริงในการลดต้นทุน

เพื่อให้ทราบถึงข้อเสนอที่ได้นำเสนอไปนั้นสามารถที่จะลดต้นทุนได้จริงโดยดำเนินการลดต้นทุนจากโครงสร้างราคาขายของยูนิตทำฟันในแต่ละยูนิต

2.6 สรุปผลของการดำเนินการวิจัย

การสรุปผลของการดำเนินการวิจัย จากการเปรียบเทียบข้อมูลต้นทุนก่อนและหลังการดำเนินการ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ สูตรการคิดต้นทุนจากเทคนิคของวิศวกรรมคุณค่าและการวิเคราะห์คุณค่า

3. การดำเนินงานการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิต

สถานประกอบการกรณีศึกษา ก่อตั้งเมื่อปี พ.ศ.2532 ดำเนินธุรกิจประเภทอุตสาหกรรมการแพทย์ ผลิตและจำหน่ายอุปกรณ์ทางการแพทย์ ประเภทยูนิตทำฟัน ภายใต้นโยบายสำคัญของสถานประกอบการ คือ ตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ดีที่สุด ทั้งด้านคุณภาพที่ดี ราคาขายที่ถูก และส่งมอบได้ตามเวลาที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งชิ้นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ ดำเนินการผลิตภายในสถานประกอบการและสั่งซื้อนำเข้าจากผู้ส่งมอบชิ้นส่วน

สถานประกอบการดำเนินการผลิตและจำหน่ายยูนิตทำฟัน 2 รุ่น ได้แก่ รุ่น A และรุ่น B โดยทั้งสองรุ่น มีชิ้นส่วนประกอบหลักหรือสถานประกอบเรียกว่า “ยูนิต” แบ่งเป็น 5 ยูนิต ซึ่งยูนิตหลักของทั้งสองรุ่น แตกต่างกัน จากการเลือกใช้วัสดุและรายละเอียดย่อย แสดงยูนิตหลักดังรูปที่ 2

3.1.1 TABLE ASM UNIT

3.1.2 LIGHT SET ASM UNIT

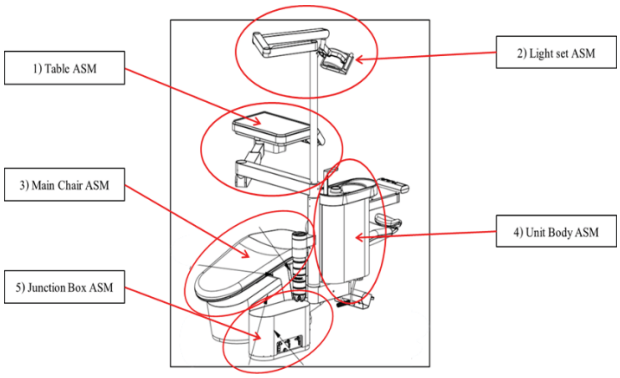
3.1.3 MAIN CHAIR ASM UNIT

3.1.4 UNIT BODY ASM UNIT

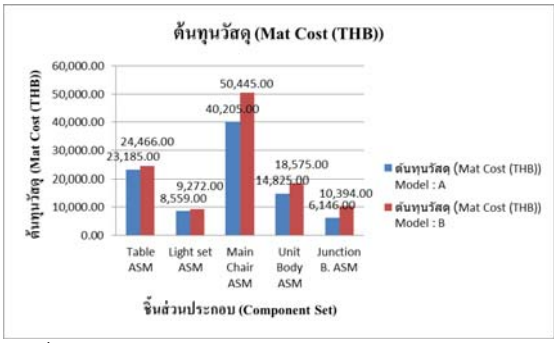
3.1.5 JUNCTION BOX ASM UNIT

3. 2 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนและเลือกชิ้นส่วนที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

การวิเคราะห์ต้นทุนยูนิตหลักระหว่างยูนิตทำฟันรุ่น A กับรุ่น B พบยูนิตทำฟันรุ่น B มีต้นทุนวัสดุสูงกว่ายูนิตทำฟันรุ่น A แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ยูนิตหลักของยูนิตทำฟัน



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบต้นทุนวัสดุยูนิตทำฟันรุ่น A และรุ่น B

ยูนิตทำฟันรุ่น B มีต้นทุนวัสดุยูนิตหลัก ลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ 1) MAIN CHAIR ASM UNIT ต้นทุนวัสดุ 50,445 บาท 2) TABLE ASM UNIT ต้นทุนวัสดุ 24,466 บาท 3) UNIT BODY ASM UNIT ต้นทุนวัสดุ 18,575 บาท 4) JUNCTION BOX ASM UNIT ต้นทุนวัสดุ 10,394 บาท และ 5) LIGHT SET ASM UNIT ต้นทุนวัสดุ 9,272 บาท

ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิตยูนิตทำฟัน ลงอย่างน้อย 10% งานวิจัยมุ่งลดต้นทุนยูนิตทำฟันรุ่น B ยูนิต MAIN CHAIR ASM UNIT ซึ่ง

3.3 ผลการดำเนินงานเพื่อลดต้นทุนด้วยการประยุกต์วิศวกรรมคุณค่าและการวิเคราะห์คุณค่า

การประยุกต์วิศวกรรมคุณค่าและการวิเคราะห์คุณค่า ดำเนินงานตามแผนงานวิศวกรรมคุณค่า 7 ขั้นตอน แสดงรายละเอียด ดังนี้

3.3.1 การประยุกต์ขั้นรวบรวมข้อมูล (Information phase)

ดำเนินการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเชิงลึกของยูนิต MAIN CHAIR ASM UNIT ด้านต้นทุนวัสดุและประเมินวัสดุจากผู้บริหาร เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา สำหรับลดต้นทุนวัสดุ ด้วยวิศวกรรมคุณค่าและการวิเคราะห์คุณค่า พบชิ้นส่วนประกอบยูนิต มีต้นทุนวัสดุสูงสุด 4 ชิ้นส่วน ดังนี้ ต้นทุนวัสดุสูงสุด คือ BACK CYLINDER ราคา3,580 บาท อันดับสอง คือ LIFT CYLINDER ราคา 2,885 บาท และอันดับสุดท้าย คือ GEAR C และ GEAR D ซึ่งมีต้นทุนวัสดุเท่ากัน คิดเป็นราคา 360 บาท ดังแสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ต้นทุนวัสดุชิ้นส่วนประกอบยูนิต

รายการ	หมายเลขชิ้นส่วน	ชื่อชิ้นส่วน	จำนวน (ชิ้น)	ราคาต่อชิ้น (บาท)
1	C055007	GEAR C	1	360
2	C055008	GEAR D	1	360
3	C165001	LIFT CYLINDER	1	2,885
4	C17504	BACK CYLINDER	1	3,580
รวม			4	7,155

3.3.2 การประยุกต์ขั้นการวิเคราะห์หน้าที่ (Function phase)

การวิเคราะห์หน้าที่ ประกอบไปด้วย 2 เทคนิคหลัก ๆ คือ 1) กำหนดฟังก์ชัน (Define the Function) คือ การกำหนดหน้าที่การทำงานของแต่ละชิ้นส่วนเพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาปรับปรุง โดยกำหนด Function เป็นกริยา (Verb) และนาม (Noun) 2) ประเมินความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน (Evaluate function relationships) เป็นการจำแนกประเภทของ Function ออกเป็น Function หลัก และเป็น Function รอง (Secondary)

พิจารณาตารางที่ 2 ทีมงานที่มีความชำนาญและมีประสบการณ์ด้านการผลิตและประกอบ MAIN CHAIR ASM UNIT ช่วยกันสรุปหน้าที่หลักของ MAIN CHAIR ASM UNIT และหน้าที่หลักของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ โดยผู้วิจัยจะเลือกหน้าที่หลักของที่เหมือนกันรวมกลุ่มกันและทำการใช้ตัวอักษรแทนหน้าที่หลักของในแต่ละชิ้นส่วนประกอบ ดังนี้

1. หน้าที่ขับชิ้นส่วนใช้ตัวอักษร A
2. หน้าที่ส่งกำลัง ใช้ตัวอักษร B
3. หน้าที่ยึดชิ้นส่วน ใช้ตัวอักษร C
4. หน้าที่ควบคุมทิศทาง ใช้ตัวอักษร D
5. หน้าที่รองรับน้ำหนัก ใช้ตัวอักษร E

การเปรียบเทียบและให้น้ำหนักของหน้าที่

การเปรียบเทียบน้ำหนักและหน้าที่มีหลักการคือ เปรียบเทียบโดยใช้การเปรียบเทียบหน้าที่หนึ่งกับอีกหน้าที่หนึ่งและทำการให้คะแนนว่าหน้าที่ที่สำคัญมากกว่ากันในแต่ละขั้นจนกว่าจะทำจนครบและทำการรวบรวมออกเป็นคะแนนโดยที่คะแนน (น้ำหนักการประเมิน) น้ำหนักความสำคัญของหน้าที่ได้มาจากทีมงานในการศึกษาดำเนินงานในการลดต้นทุน [9] จากรูปที่ 4 โดยที่ระดับความแตกต่างของน้ำหนักการประเมินสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

1. ระดับความแตกต่างของความสำคัญน้อย เท่ากับ 1 คะแนน
2. ระดับความแตกต่างของความสำคัญปานกลาง เท่ากับ 2 คะแนน
3. ระดับความแตกต่างของความสำคัญปานมาก เท่ากับ 3 คะแนน

ตารางที่ 2 นิยามคำกริยาและคำนาม รวมถึงระบุหน้าที่หลักและหน้าที่รองของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ

หมายเลขชิ้นส่วน	ชื่อชิ้นส่วน	หน้าที่		ระดับของหน้าที่		น้ำหนัก
		กริยา	นาม	หน้าที่หลัก	หน้าที่รอง	
C055007	GEAR C	ขับ	ชิ้นส่วน		√	360
		ส่ง	กำลัง	√		
C055008	GEAR D	ขับ	ชิ้นส่วน		√	360
		ส่ง	กำลัง	√		
C165001	LIFT CYLINDER	ยึด	ชิ้นส่วน		√	2,885
		ควบคุม	ทิศทาง	√		
		รองรับ	น้ำหนัก		√	
C17504	BACK CYLINDER	ยึด	ชิ้นส่วน		√	3,580
		ควบคุม	ทิศทาง	√		
		รองรับ	น้ำหนัก		√	

	B	C	D	E
A	B2	A1	D2	E2
B		B3	D2	B2
C			D3	E2
D				D3
E				

รูปที่ 4 น้ำหนักการประเมิน

หลังจากนั้นทำการสรุปการประเมินผลเชิงเลขตามน้ำหนักการประเมินทำได้ดังต่อไปนี้

อักษร A ให้ตำแหน่ง = ผลรวมการประเมินหน้าที่ของ A เมื่อเปรียบเทียบกับ B, C, D และ E

= A1

= 1

สามารถสรุปได้ว่า A มีค่าน้ำหนักจากการประเมินเชิงเลขเท่ากับ 1 จากนั้นทำการเรียงหน้าที่หลักที่มีน้ำหนักจากมากไปหาน้อย เพื่อใช้เป็นหลักการพิจารณาในการออกแบบโดยสามารถสรุปการประเมินเชิงเลขได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินเชิงน้ำหนักความสำคัญของหน้าที่

อักษร	หน้าที่		น้ำหนัก	อันดับ
	คำกริยา	คำนาม		
A	ขับ	ชิ้นส่วน	1	4
B	ส่ง	กำลัง	7	2
C	ยึด	ชิ้นส่วน	0	5
D	ควบคุม	ทิศทาง	10	1
E	รองรับ	น้ำหนัก	4	3

เมื่อทำการเรียงหน้าที่หลักที่มีน้ำหนักมากไปน้อยแล้วได้ทำการคำนวณคุณค่า (Value) ตามตารางที่ 3 แล้วนำไปสร้างกราฟประเมินเชิงเลข เพื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของฟังก์ชั่น (F) และค่า Value

การวิเคราะห์น้ำหนักหน้าที่ของฟังก์ชั่น (F) และต้นทุน (C) พบว่าผลของคุณค่า (V) มีทั้งค่ามากกว่าและน้อยกว่า 1 ตามหลักการของวิศวกรรมคุณค่า (Value engineering) ค่า Value ที่มากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่า หน้าที่และต้นทุนมีความสมเหตุสมผล แต่ถ้าค่า V น้อย จะส่งต่อต้นทุนที่เพิ่มขึ้นมากกว่าฟังก์ชั่น (คุณค่า) ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นชิ้นส่วนที่ผ่านการวิเคราะห์และได้ค่า V น้อย ควรมาปรับปรุง แต่จากเป้าหมายของบริษัทที่สูง ทางผู้วิจัยจึงกำหนดเกณฑ์ในการเลือกค่า Value ที่ต่ำกว่า 2 มาทำการปรับปรุงโดยจัดกลุ่มหน้าที่และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปปรับปรุงในขั้นตอนถัดไป

จากตารางที่ 5 สรุปการวิเคราะห์น้ำหนักหน้าที่ของฟังก์ชั่น (F) และต้นทุน (C) พบว่า Value ที่ต่ำกว่า 2 คือ หน้าที่ รองรับน้ำหนัก และ ขับชิ้นส่วน เพราะฉะนั้นผู้ทำการวิจัยจึงได้นำเสนอการสร้างสรรค์ความคิดอยู่ 4 ชิ้นส่วน

3.3.3 การประยุกต์ขั้นตอนสร้างสรรค์ความคิด (Creation Phase)

โดยเสนอหลากหลายแนวคิดต่อคณะผู้บริหาร ผู้จัดการแผนก Cost Down และหัวแผนกที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการลดต้นทุน เพื่อขอความมือศึกษาหาแนวคิดร่วมกัน (Brainstorming) รวมไปถึงขอคำปรึกษาด้านเทคนิคกับบริษัทผู้ส่งมอบชิ้นส่วนและวิเคราะห์ผลโดยอ้างอิงหลักการทางวิศวกรรม ผลกระทบด้านต้นทุนและปัจจัยที่จะส่งผลต่อลูกค้ามาทำการคัดกรองแนวคิดทั้งหมด จนได้แนวคิดที่เป็นไปได้ทั้งหมด 4 แนวคิด

หลังจากแนวคิดที่ได้ผ่านการพิจารณาจากหัวแผนกที่มีส่วนเกี่ยวข้องและได้รับการอนุมัติจากผู้บริหารในการลดต้นทุนจะนำไปประเมินผลความคิดในขั้นตอนถัดไป ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เสนอความคิดในหน้าที่คือรองรับน้ำหนักและขับชิ้นส่วนไว้ 2 แนวทางด้วยกัน สำหรับนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียต่าง ๆ ดังตารางที่ 6

1. เปลี่ยนผู้ส่งมอบชิ้นส่วน จากการซื้อต่างประเทศมาดำเนินการซื้อภายในประเทศ (ข้อจำกัด คือ ผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบต้องเป็นผู้ผลิตที่ผลิตให้ยูนิตทำฟันรุ่น A)

2. เปลี่ยนวัสดุและการออกแบบชิ้นส่วนประกอบใหม่

ตารางที่ 4 ประเมินเชิงเลข

อักษร	ชื่อชิ้นส่วน	หน้าที่		คะแนนน้ำหนัก	% น้ำหนักฟังก์ชั่น (F)	ต้นทุนราคา(บาท)	% ต้นทุน (C)	Value V = F/ C
		คำกริยา	คำนาม					
D	LIFT CYLINDE	ควบคุม	ทิศทาง	10	0.45	961.67	0.13	3.40
	BACK CYLINDER					1193.34	0.17	2.74
B	GEAR C	ส่ง	กำลัง	7	0.32	180	0.03	12.70
	GEAR D					180	0.03	12.70
E	LIFT CYLINDER	รองรับ	น้ำหนัก	4	0.18	961.67	0.13	1.36

	BACK CYLINDER					1193.34	0.17	1.09
A	GEAR C	ปืน	ทองเหลือง	1	0.05	180	0.03	1.81
	GEAR D					180	0.03	1.81
C	LIFT CYLINDER	ยึด	ทองเหลือง	0	0	961.67	0.13	0
	BACK CYLINDER					1193.34	0.17	0
รวม				22	100%	7,185	100%	37.62

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์น้ำหนักหน้าที่ของฟังก์ชั่น

อักษร	ชื่อชิ้นส่วน	หน้าที่	Value V = F/ C	หมายเหตุ
D	LIFT CYLINDER	ควบคุมทิศทาง	3.40	ค่า Value มากกว่า 2
	BACK CYLINDER		2.74	ค่า Value มากกว่า 2
B	GEAR C	ส่งกำลัง	12.70	ค่า Value มากกว่า 2
	GEAR D		12.70	ค่า Value มากกว่า 2
E	LIFT CYLINDER	รองรับน้ำหนัก	1.36	ทำการปรับปรุง
	BACK CYLINDER		1.09	ทำการปรับปรุง
A	GEAR C	ขับชิ้นส่วน	1.81	ทำการปรับปรุง
	GEAR D		1.81	ทำการปรับปรุง
C	LIFT CYLINDER	ยึดชิ้นส่วน	0	-
	BACK CYLINDER		0	-

3.3.4 การประยุกต์ขั้นตอนประเมินผลความคิด (Evaluate Phase)

นำรายละเอียดทุกปัจจัยมาทำการประเมินผลเพื่อให้ได้ตามเป้าหมายของโครงการ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

จากเป้าหมายและขอบเขตของโครงการทุกแนวคิดใช้เวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 6 เดือน และมีค่าใช้จ่ายในการพัฒนาไม่เกิน 20,000 บาท ดังตารางที่ 7

VI model หรือคุณค่าทางวิศวกรรมคุณค่าคือ การใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ในการผลิตผลิตภัณฑ์ หรือการให้บริการ ตามเวลาที่กำหนด และได้คุณภาพตามมาตรฐาน หรือการวิเคราะห์หน้าที่การทำงานของสิ่งของหรือกระบวนการที่สนใจแล้วประเมินหาทางเลือกที่มีต้นทุนต่ำลงแต่ต้องไม่กระทบถึงคุณสมบัติในการทำงาน (Performance) ความน่าเชื่อถือ (Reliability) คุณภาพ (Quality) และที่สำคัญคือ ความปลอดภัย (Safety) เพื่อให้ได้มาซึ่งหน้าที่การทำงานที่คุ้มค่า (Worth) โดยสามารถแสดงในรูปของดัชนีของความคุ้มค่า VI = (ต้นทุนปัจจุบัน / ต้นทุนของทางเลือก) หรือ (Cost / Worth) การหาค่า VI และผลต่างต้นทุนดังตารางที่ 8

ดำเนินการวิเคราะห์มูลค่าของปัจจัยในการประเมินโดยใช้การประเมินตามแบบ Evaluation Matrix (ดังรูปที่ 6) โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณามีหัวข้อคือ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของแต่ละแนวคิด

ลำดับ	ชื่อชิ้นส่วนที่วิเคราะห์	ข้อดี	ต้นทุนที่ลดลง/ชิ้น (บาท)	ข้อเสียและข้อจำกัดของการนำไปใช้งาน	หมายเหตุ
1	LIFT CYLINDER	ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี	180	ต้องมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตในการขึ้นรูปชิ้นงาน	
2	BACK CYLINDER		380		

ลำดับ	ชิ้นส่วนที่วิเคราะห์	วิธีการปรับปรุง	ต้นทุนที่ลดลงชิ้น (บาท)	ข้อดี	ข้อเสีย
3	GEAR C	ปรับเปลี่ยนวัสดุ และ Design ของชิ้นส่วน	200	1) ลดขั้นตอนในการผลิตของผู้ผลิตชิ้นส่วน 2) ลดขั้นตอนในการผลิตของผู้ประกอบชิ้นส่วน	ความแข็งแรงลดลง
4	GEAR D		200		

รูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ : ยูนิตทำฟันเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกนำไปใช้งานให้กับผู้บริโภค 2 ผู้บริโภค คือ ทันตแพทย์ และ คนไข้ที่เข้ารับการรักษา จึงจำเป็นต้องออกแบบให้มีทำงานที่ Smooth ให้เข้ากับรูปแบบในการรักษาและเป็นที่พึงพอใจต่อผู้เข้ารับการรักษา สามารถแบ่งระดับตัวเลขการประเมินได้ดังนี้คือ

5 = ความรู้สึกในการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นมาก

4 = ความรู้สึกในการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นเล็กน้อย

3 = ไม่ส่งผลกระทบต่อความรู้สึกในการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์

2 = ส่งผลกระทบต่อความรู้สึกในการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์แต่ลูกค้าไม่สามารถสังเกตเห็นได้

1 = ส่งผลกระทบต่อความรู้สึกในการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์และลูกค้าสามารถสังเกตเห็นได้

ตารางที่ 7 ค่าใช้จ่ายในการพัฒนา

ชิ้นส่วน	ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาแม่พิมพ์ (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการพัฒนา		ค่าใช้จ่ายในการทดสอบ	ค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นส่วนต้นแบบ (ชิ้น/บาท)
		เครื่องมือ(Tooling)	การทดสอบ		
LIFT CYLINDER BACK CYLINDER	560 (380+380)	5,900	0	5,900	4 เดือน
GEAR C GEAR D	400 (200+200)	7,000	0	7,000	6 เดือน

ตารางที่ 8 การหาค่า VI และผลต่างต้นทุน

รายละเอียด	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4
ต้นทุนปัจจุบัน C แบบปัจจุบัน	2,885	3,580	360	360
ต้นทุนใหม่ W	2,700	3,200	173.28	218.26
VI = C/W	1.07	1.12	1.8	1.8
ผลต่าง C-W	185	380	200	200

พิจารณาตารางที่ 8 พบว่าแบบการลดต้นทุนแบบที่ 2 มีส่วนต่างต้นทุนมากสุด, รองลงมาคือ แบบที่ 3 4 และ แบบที่ 1 โดยคิดเป็นส่วนต่างต้นทุน 380, 200, 185 บาท ตามลำดับ

พิจารณาตารางที่ 9 การประเมินผลการออกแบบ MATRIX พบว่าแบบที่ 2 มีผลรวมคะแนนสูงที่สุด คิดเป็น 73 คะแนน ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนผลิตภัณฑ์ยูนิตทำฟัน จึงมุ่งเน้นเปลี่ยนวัสดุและการออกแบบชิ้นส่วนใหม่ ตามแนวทางของแบบที่ 2

ตารางที่ 9 การประเมินผลการออกแบบ MATRIX

แบบที่	น้ำหนัก (1-5)	ควบคุมทิศทาง	ส่งกำลัง	รองรับน้ำหนัก	ขับชิ้นส่วน	ยึดชิ้นส่วน	TOTAL	RANK
		กำหนดคุณค่า						
		10	7	4	1	0		
1	1-5	4	3	2	1	1	69	2
2	1-5	4	3	3	1	1	73	1
3	1-5	3	4	1	3	0	61	3
4	1-5	3	4	1	3	0	61	4

3.3.6 การประยุกต์ขั้นตอนทดสอบพิสูจน์ (Investigation Phase)

การสรุปการวิเคราะห์น้ำหนักหน้าที่จึงได้ทราบถึงชิ้นส่วนที่จะนำมาทำการพัฒนาปรับปรุงและลดต้นทุนการผลิต จากนั้นจึงเข้ามาสู่ขั้นตอนการทดสอบและพิสูจน์เพื่อเป็นการยืนยันการประกอบและคุณภาพเมื่อนำไปประกอบเข้ากับยูนิตทำฟันแล้วจะไม่ทำให้เกิดปัญหาในด้านคุณภาพและด้านอื่นๆ ตามมาโดยมีขั้นตอนดำเนินการดังต่อไปนี้

1. การยืนยันโดยการประกอบชิ้นส่วนเข้ากับยูนิตทำฟัน
2. ตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงานทดสอบ
3. ทดลองประกอบชิ้นงานทดสอบเข้ากับยูนิตทำฟัน
4. ตรวจสอบผลการทดลอง
5. การทดสอบตามข้อกำหนด (Test Requirements)

ทดสอบตามมาตรฐาน ISO13485 ซึ่งมาตรฐาน ISO13485 เป็นระบบมาตรฐานการจัดการด้านคุณภาพซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบพัฒนา, การผลิต และ การขาย เครื่องมือทางการแพทย์

ผลการทดสอบและพิสูจน์นั้นผ่านทั้งการทดสอบประกอบกับยูนิตทำฟันและการทดสอบตามข้อกำหนด ดังนั้นแนวคิดทั้งหมดนี้จึงจะถูกนำไปดำเนินการใช้งานจริง (Implement) สำหรับชิ้นส่วนที่จะทำการปรับปรุงและติดตามผลในขั้นตอนต่อไป

3.3.7 การประยุกต์ขั้นตอนเสนอแนะ (Recommendation Phase)

การเสนอแนวคิดที่มีการเปลี่ยนแปลง และข้อพิสูจน์ที่ได้จากข้อมูลการทดลอง ต้นทุนก่อนทำ และหลังจากทำ โดยมีการชี้แจงรายละเอียดข้อมูลอย่างมีเหตุผล พร้อมทั้งทำการอธิบายด้วยตัวอย่างชิ้นงานเพื่อเตรียมข้อมูลสนับสนุนทั้งหมดนำเสนอไปยังคณะผู้บิหารเพื่อขอรับการอนุมัติในการดำเนินการโครงการ โดยนำเสนอในรูปแบบเอกสาร เสนอแนะปรับปรุงต้นทุนโดยใช้แบบฟอร์มนำเสนอการลดต้นทุน (Cost Reduction Proposal Sheet

4. ดำเนินการจริงในการลดต้นทุน

ขั้นตอนสุดท้ายในการนำแนวคิดแบบใหม่ที่ได้มาจากกระบวนการ VA ผ่านการพิจารณาจากหัวแผนกที่มีส่วนเกี่ยวข้องและได้รับการอนุมัติจากผู้บริหารในการลดต้นทุนไปทำการผลิตจริงในกระบวนการผลิต โดยต้องมีเตรียมการรวมถึงปรับปรุงกระบวนการภายใน ด้านเครื่องมือ ระบบการผลิตเอกสารต่างๆ ทั้งในส่วนของผู้ส่งมอบชิ้นส่วน เพื่อรองรับแนวคิดแบบใหม่

5. สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 ผลการดำเนินงาน

การนำเทคนิควิเคราะห์คุณค่า (Value Analysis) มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนโดยเริ่มโครงการตั้งแต่เดือนสิงหาคม ปีพ.ศ. 2560 ไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2561 รวมระยะเวลาโครงการทั้งหมด 7 เดือน สามารถลดต้นทุนโดยคิดเป็นมูลค่าที่ประหยัดได้ประมาณ 273,600.00 บาทต่อปี (245 วัน) ใช้เงินลงทุนในการพัฒนาโครงการ 7,000 บาทซึ่งไม่เกิน 100,000 บาท ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

ชิ้นส่วนที่ถูกพิจารณาให้ผ่านกระบวนการลดต้นทุนมานั้น ยังคงสามารถรักษาประสิทธิภาพการทำงานเหมือนก่อนการพัฒนาปรับปรุงโดยผ่านการทดสอบและพิสูจน์ทั้งการทดสอบประกอบกับยูนิตทำฟันและการทดสอบตามข้อกำหนด

5.2 อภิปรายผล

1. การประยุกต์ในขั้นตอนวิเคราะห์นั้นเป็นการวิเคราะห์หาหน้าที่หลักของชิ้นส่วนนั้นๆ ได้มุ่งเน้นไปในด้านฟังก์ชั่นการทำงานของชิ้นส่วน เป็นหน้าที่ที่สำคัญลำดับแรกว่าจะสามารถนำไปพิจารณาลดต้นทุนได้ ต้องอาศัยหลายๆฝ่าย ได้แก่ผู้มีประสบการณ์เฉพาะทาง รวมไปถึงขอคำปรึกษาเฉพาะทางในด้านเทคนิคกับบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน เพื่อให้ทราบถึงหน้าที่การทำงานของชิ้นส่วนประกอบและคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาผลิตชิ้นส่วนประกอบ

2. ขั้นตอนสร้างสรรค์ความคิด ถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นขั้นตอนการระดมความคิด เพื่อขอความมือในการศึกษาหาแนวคิดร่วมกันจากผู้มีประสบการณ์ รวมไปถึงขคำปรึกษาเฉพาะทางในด้านเทคนิคกับบริษัทผู้ส่งมอบชิ้นส่วน เพื่อให้ได้แนวทางที่ถูกต้องและเป็นไปตามมาตรฐาน ISO13485 เป็นระบบมาตรฐานการจัดการด้านคุณภาพซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบพัฒนา, การผลิต และการขาย เครื่องมือทางการแพทย์

3. ขั้นตอนประเมินผลความคิด พบว่าวิธีการณ์และเกณฑ์การเปรียบเทียบน้ำหนักของหน้าที่ยังไม่สามารถครอบคลุมสำหรับโครงการนี้ เนื่องด้วยเกณฑ์การการให้คะแนนนั้นต้องใช้ความรู้สึกมาให้คะแนน ซึ่งความรู้สึกของแต่ล่ะบุคคลที่แตกต่างกัน ทำให้ผลการประเมินออกมานั้น ไม่สามารถตอบโจทย์ความต้องการของบุคคลที่หลากหลายได้ครบคลุมทั้งหมด

4. ขั้นตอนทดสอบพิสูจน์ เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะเป็นการยืนยันถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วน ปัญหาที่พบคือ ชิ้นส่วนที่ผลิตจากผู้ส่งมอบชิ้นส่วนในแต่ล่ะรอบการผลิต มีคุณภาพที่ไม่เหมือนกันเกินจำนวนจากเกณฑ์การสุ่มตรวจเช็ค ดังนั้นหน่วยงานคุณภาพได้มีการปรับจำนวนจากเกณฑ์การสุ่มตรวจได้เหมาะสมกับชิ้นส่วนประกอบนั้นๆได้เป็นอย่างดี

5. สรุปผลการลดต้นทุนของการวิจัย เป็นผลจากการประมาณการ การลดต้นทุน เพราะเนื่องจากใช้ข้อมูลการพยากรณ์การผลิตในแต่ละเดือน ดังนั้นผลการผลิตจริงของแต่ละเดือนจะคลาดเคลื่อนประมาณ

1 % ของการพยากรณ์การผลิต ซึ่งส่งผลให้ผลการลดต้นทุนมีการเปลี่ยนแปลงไป เมื่อถึงเวลาในการผลิตจริง

6. ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนเริ่มดำเนินงานโครงการนี้ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ เช่น ระยะเวลาการดำเนินงาน, วัสดุที่จะนำมาทำการเปลี่ยนแปลง, กระบวนการผลิตชิ้นส่วน และผลตอบแทนความคุ้มค่า

2. การออกแบบก่อนการเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนประกอบต้องดำเนินงานการศึกษาด้านการออกแบบสำหรับการผลิตและการประกอบ (DFM/DFA) ให้เห็นความเป็นไปได้ก่อนเสมอ

3. หลังจากการเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนประกอบชิ้นใดๆ แล้วนั้นจะต้องทำการทดสอบคุณภาพ เพื่อยืนยันระดับคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 13485 เป็นระบบมาตรฐานการจัดการด้านคุณภาพซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบพัฒน, การผลิต และ การขาย เครื่องมือทางการแพทย์

เอกสารอ้างอิง

[1] D. Chumtakhob. 2020. “เศรษฐกิจพอเพียงทางเลือกทางรอดฝ่าวิกฤตโควิด-19.” วารสารสังคมวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 2 ฉบับที่ 3:11 – 22.

[2] จิรภา แสนเกษม. การวิจัยทางธุรกิจ, โรงพิมพ์พิทักษ์อักษร, 2545.

[3] อดิศักดิ์ นาวเหนียว. การประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าและการวิเคราะห์คุณค่าในการลดต้นทุน กรณีศึกษาอุตสาหกรรมประกอบเบาะรถยนต์, วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2550.

[4] L. D. Miles. Techniques of value analysis and engineering, Miles Value Foundation, 2015.

[5] วุฒิพันธ์ พานิชพงษ์. การลดต้นทุนตู้แอร์รถยนต์โดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า, วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2559.

[6] อรวรรณ สุขวานนท์. การลดต้นทุนโดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า กรณีศึกษา ชิ้นส่วนของระบบปรับอากาศรถยนต์, วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลยับูรพา, 2560.

[7] ธนันธร มหาพรประจักษ์, เงินเฟ้อจะกลับมาหลังโควิดคลี่คลาย?, ข้อมูลจาก https://www.bot.or.th/Thai/ResearchAndPublications/articles/Pages/Article_2Apr2021.aspx (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 มีนาคม 2565)

[8] A. E. Mudge. Value Engineering, A Systematic Approach, Mc Graw-Hill, 1971.

[9] อัมพิกา ไกรฤทธ์. วิศวกรรมคุณค่า = Value engineering, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

การคัดเลือกอุปกรณ์สำหรับการทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟสำหรับกระบวนการพ่นสี อุตสาหกรรมยานยนต์ด้วยวิธีการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์

Equipment Selection For Fire Tube Boiler Replacement in Painting Process, An Automotive Industrial Using Analysis Hierarchy Process

กิตจาภรณ์ แก่นสุข[1] ศันสนีย์ สุภาภา[2] คธายุทธ กำมะโน[2*]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: katayut.k@ku.ac.th*

Kitjaphorn Kaensuk[1] Sansanee Supapa[2] Katayut Kamano[2*]
[1]Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: katayut.k@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเทคนิคของทางเลือกในการทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟสำหรับกระบวนการพ่นสี อุตสาหกรรมยานยนต์ให้เพียงพอต่อการผลิตในปัจจุบันและสามารถรองรับกำลังการผลิตสูงสุดของโรงงานประกอบรถยนต์ที่ 30 JPH ด้วยวิธีกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ หลักเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการประเมินได้มีปรับปรุงจากการทบทวนวรรณกรรมให้มีความเหมาะสมกับเครื่องจักรที่จะทำการพิจารณา ซึ่งผู้เชี่ยวชาญที่ร่วมทำการประเมินเป็นผู้ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมยานยนต์ทั้งส่วนงานวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม ซ่อมบำรุง แผนกพ่นสีตัวถัง และวิศวกรรมพ่นสีตัวถัง งานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 หลักเกณฑ์หลัก และ 9 หลักเกณฑ์รอง ซึ่งหลักเกณฑ์หลักที่มีผลต่อการพิจารณาเลือกทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟมากที่สุดคือ ด้านประสิทธิภาพ และหลักเกณฑ์รองคือ ความปลอดภัยส่วนบุคคล ด้วยวิธีการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ถูกดำเนินการด้วยการเปรียบเทียบสำหรับการตัดสินใจเป็นรายคู่ (Pairwise comparison) และตรวจสอบซ้ำด้วยการคำนวณค่าความสอดคล้องกันเหตุผล (Consistency Ratio) ทำให้สามารถลดความลำเอียงสำหรับการประเมินได้ ผลจากการประเมินพบว่า หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้าเป็นระบบที่ดีที่สุดสำหรับด้านประสิทธิภาพ ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและพลังงาน ปั๊มความร้อนเป็นระบบที่ดีสุด และในด้านความปลอดภัยระบบที่ดีที่สุดคือ เครื่องควบคุมความชื้น เมื่อนำผลทั้งหมดมาถ่วงน้ำหนักแต่ละหลักเกณฑ์แล้ว ระบบที่ดีที่สุดสำหรับทดแทนคือ ปั๊มความร้อน

คำสำคัญ: การวิเคราะห์เชิงเทคนิค, หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ, วิธีการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์

Abstract

The objective of this research is to analyze the technical possibility of alternative option, replaced a fire tube boiler for painting processes in an automotive industrial. Currently, in order to support the maximum production capacity in an automotive industrial at 30 JPH. The criteria applied in the assessment have been updated from the literature review appropriately to the considered machinery with the Analysis Hierarchy Process (AHP) method. The experts who participated in the assessment are working in the automotive industry, including energy and environmental engineering, maintenance, body painting production, body painting engineering. This research consists of 4 main criteria and 9 minor criteria. The main criteria which affect the consideration of choosing the fire tube boiler replacement the most is an efficiency, the minor criteria is a personal safety. With an Analysis Hierarchy process is performed with pairwise comparisons and re-validated by Consistency Ratio, bias from assessments can be reduced. The results of the assessment showed electric boiler have highest efficiency. In terms of environment and energy impact, heat pump is the best but in terms of security the best system is dehumidifier. From the results are weighted for each criteria, the most effective system for replacement is the heat pump.

Keywords: Technical analysis, Fire tube boiler, Analysis Hierarchy Process (AHP)

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์เป็นหนึ่งอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่มีความต้องการพลังงานสูงในการผลิตรถยนต์แต่ละประเภท โรงงานประกอบรถยนต์จะประกอบด้วยแผนกขึ้นรูปโลหะ (Press Shop) แผนกเชื่อมตัวถัง (Body Shop) แผนกพ่นสีตัวถังและกันชน (Paint Shop) และการประกอบและตกแต่งขั้นสุดท้าย (Trim & Chassis & Final Shop) รวมถึงโรงประกอบเครื่องยนต์ (Powertrain) ที่เป็นส่วนหนึ่งในการประกอบและจัดส่งเครื่องยนต์เข้าสู่กระบวนการประกอบและตกแต่งขั้นสุดท้าย เพื่อให้รถที่ถูกผลิตออกมามีความสมบูรณ์แบบ ผ่านการตรวจสอบคุณภาพทั้งภายนอกและส่วนประกอบภายในรถยนต์ จึงส่งมอบผลิตภัณฑ์ต่อไปยังลูกค้า

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์จะใช้พลังงานไฟฟ้า แก๊ส และน้ำประปาในกระบวนการถึง 44 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ภายในโรงงานประกอบรถยนต์ ในกระบวนการพ่นสีพลังงานส่วนใหญ่เกิดจากระบบการทำความร้อน การระบายอากาศและการทำความเย็น (Heating, Ventilation and Air Conditioning: HVAC)[1] เพราะกระบวนการพ่นสีรถยนต์นั้น จำเป็นต้องควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อให้เป็นไปมาตรฐานของกระบวนการผลิต โดยระบบถูกควบคุมโดยการให้ความร้อนด้วยหม้อไอน้ำ (Boiler) และความชื้นโดยใช้ไอน้ำเป็นแหล่งความร้อน ประกอบกับระบบทำความเย็นจากเครื่องทำความเย็น (Chiller) และเครื่องส่งลมเย็น (AHU) รวมถึงการระบายอากาศผ่านพัดลมระบายอากาศ (Exhaust fan) ทั้ง 4 ส่วนนี้จะช่วยทำหน้าที่ควบคุมปริมาณและคุณภาพอากาศให้เหมาะสม

เมื่อพิจารณาสภาพปัจจุบันของส่วนประกอบทั้ง 4 แล้วพบว่า หม้อไอน้ำสำหรับกระบวนการพ่นสี มีอายุการใช้งาน 25 ปี มีชิ้นส่วนต่าง ๆ ในหม้อไอน้ำเสื่อมสภาพจากการใช้งานเป็นจำนวนมาก เพื่อรักษาสภาพ และคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ จึงมีการซ่อมบำรุงหม้อไอน้ำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมอุปกรณ์เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ปีงบประมาณ พ.ศ.2561 – ปัจจุบัน นอกเหนือจากค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบที่สูงกว่าเครื่องจักรประเภทอื่นแล้ว ระบบการทำความร้อนจากหม้อไอน้ำ (Boiler) เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยการเผาไหม้เชื้อเพลิง แล้วถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นให้กับน้ำในภาชนะอัดความดัน เพื่อกำเนิดไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิที่กำหนด หม้อไอน้ำสำหรับกระบวนการพ่นสีเป็นประเภทหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ขนาด 12,000 kg/h มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ต่าง ๆ ในระบบ รวมถึงการใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) ในการเผาไหม้ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับหม้อไอน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตในแต่ละเดือน ถึงแม้จะใช้พลังงานงานไฟฟ้าไม่สูงเท่าไรนัก แต่ค่าพลังงานที่ใช้ในก๊าซหุงต้มสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ของค่าก๊าซหุงต้มทั้งหมดที่ใช้ภายในโรงงานประกอบรถยนต์ ซึ่งส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเรื่องการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนที่กำลังเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ไม่เพียงแต่ประเทศไทยเท่านั้น ทั่วโลกยังให้ความสำคัญและเร่งด่วนที่ทั่วโลกทำแผนเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) องค์กรพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency, IEA) กล่าวว่าไม่ควรขายหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงฟอสซิลใหม่ตั้งแต่ปี 2568 หากโลกต้องการปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ภายในกลางศตวรรษนี้ ซึ่งโรงงานประกอบรถยนต์มีการวางแผนลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไอออกไซด์เป็นศูนย์เช่นเดียวกับองค์กรพลังงานระหว่างประเทศจึงเป็นเหตุและปัจจัยที่ทำให้บริษัทกรณีศึกษาตัดสินใจพิจารณาเครื่องจักรสำหรับทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟเครื่องปัจจุบัน

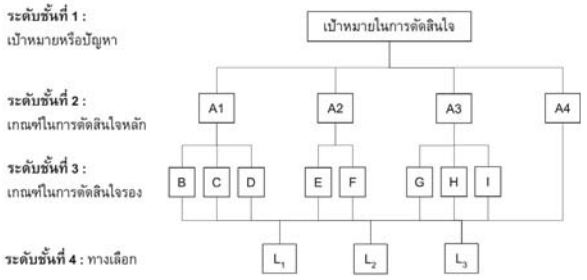
การพิจารณาเครื่องจักรสำหรับทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟที่มีการใช้พลังงานจากก๊าซหุงต้มและไฟฟ้า เพื่อพิจารณาเครื่องจักรสำหรับทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ และทางเลือกในการปรับปรุงระบบทำความร้อนโดยไม่จำกัดชนิดของอุปกรณ์ทำความร้อนสำหรับกระบวนการพ่นสี ซึ่งมีความสามารถทำความร้อนและรักษาเงื่อนไขการปฏิบัติงานในห้องพ่นสี ด้วยอุณหภูมิในห้องพ่นสี 26-28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 82-87 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วลมระหว่าง 0.3-0.5 mm/s เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือในระบบการทำความร้อน (Heating) รวมทั้งพลังงานที่ใช้ในระบบ จากคุณสมบัติดังกล่าวเครื่องจักรที่ผ่านการพิจารณาเบื้องต้นมีทั้งสิ้น 3 ทางเลือก ดังนี้ หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้า, ปั๊มความร้อน และเครื่องควบคุมความชื้น ด้วยวิธีการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process : AHP) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด (Best Alternatives) พัฒนาขึ้นโดย Saaty ในปีค.ศ. 1970 [2] โดยมีผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับสายงานข้างต้นร่วมพิจารณาทางเลือกสำหรับการทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟจำนวน 10 ท่าน

2. งานวิจัยที่เกียวข้อง

กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า AHP เป็นการตัดสินใจเป็นจำนวนมากอยู่ในลักษณะสิ่งที่เป็นนามธรรม ซึ่งจำเป็นต้องมีตัวชี้วัดที่เป็นรูปธรรม โดยการวัดนั้นต้องได้รับการประเมินด้วยว่าสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ของผู้มีอำนาจตัดสินใจได้ดีเพียงใด กระบวนการลำดับชั้นของการวิเคราะห์ (AHP) เป็นทฤษฎีการวัดผ่านการเปรียบเทียบแบบคู่และอาศัยการตัดสินของผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้ได้มาตราส่วนที่มีลำดับความสำคัญ ตัวชี้วัดเหล่านี้ใช้ประเมินสิ่งที่จับต้องไม่ได้ในแง่สัมพัทธ์ การเปรียบเทียบจะทำโดยใช้ระดับของการตัดสินแบบสัมบูรณ์ การตัดสินอาจไม่สอดคล้องกัน วิธีวัดความไม่สอดคล้องกันจึงเป็นส่วนที่นำมาปรับปรุงการตัดสินใจ กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process) มีกระบวนการอยู่ 4 ขั้นตอน [3] ดังนี้

1. กำหนดปัญหาและกำหนดประเภทของความรู้ที่ต้องการ
2. จัดโครงสร้างลำดับชั้นการตัดสินใจจากด้านบนโดยมีเป้าหมายของการตัดสินใจ จากนั้นวัตถุประสงค์จากมุมมองกว้าง ๆ ผ่านระดับกลาง (หลักเกณฑ์ที่ตามมาจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบส่วนหลัง) ไปจนถึงระดับต่ำสุด (ซึ่งมักจะเป็นชุดของทางเลือก) ดังแสดงในรูปที่ 1
3. สร้างชุดของเมทริกซ์เปรียบเทียบแบบคู่ โดยใช้มาตราส่วนในการวัดที่ถูกคิดค้นโดย Thomas Saaty แสดงดังตารางที่ 1 โดยที่มาตร

ส่วน 1 ถึง 9 เหมาะสมกับเหตุผลและสะท้อนถึงระดับที่มนุษย์สามารถแยกแยะความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ได้ง่าย เมื่อปัจจัยแต่ละอันเปรียบเทียบกับตัวเอง ในตารางเมทริกซ์ ค่าที่ได้จะเท่ากับ 1 นั่นหมายความว่าปัจจัยทั้งสองส่งผลกระทบอย่างเท่าเทียมกันต่อวัตถุประสงค์



รูปที่ 1 แผนภูมิการลำดับชั้นของกระบวนการ AHP

ตารางที่ 1 ระดับความเข้มข้นของความสำคัญสำหรับการเปรียบเทียบแบบคู่

ระดับความเข้มข้นของความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	มีความสำคัญเท่ากัน	ทั้ง 2 กิจกรรมส่งผลกระทบอย่างเท่าเทียมกันต่อวัตถุประสงค์
2	มีความสำคัญเล็กน้อย	
3	มีความสำคัญกว่าปานกลาง	ประสบการณ์และการตัดสินใจสนับสนุนกิจกรรมหนึ่งมากกว่าอีกกิจกรรมอื่นระดับปานกลาง
4	มีความสำคัญกว่าปานกลางเพิ่ม	
5	มีความสำคัญกว่ามาก	ประสบการณ์และการตัดสินใจสนับสนุนกิจกรรมหนึ่งมากกว่าอีกกิจกรรมอื่นระดับมาก
6	มีความสำคัญกว่ามากขึ้น	
7	มีความสำคัญกว่าค่อนข้างมาก	กิจกรรมหนึ่งมีความสำคัญกว่ากิจกรรมอื่นระดับมากที่สุด
8	มีความสำคัญกว่ามาก	
9	มีความสำคัญกว่ามากเป็นอย่างยิ่ง	มีหลักฐานสนับสนุนกิจกรรมหนึ่งว่าสำคัญมากกว่ากิจกรรมอื่น มีความเป็นไปได้สูงที่สุด

จากตารางที่ 1 ผู้ประเมินหลักเกณฑ์สามารถนำระดับความเข้มข้นของความสำคัญนี้ ไปประเมินการเปรียบเทียบคู่ในแต่ละหลักเกณฑ์และทางเลือก

4. ใช้ลำดับความสำคัญที่ได้รับจากการเปรียบเทียบเพื่อชั่งน้ำหนักลำดับความสำคัญในระดับด้านล่างทันที ทำสิ่งนี้กับทุกองค์ประกอบ จากนั้นสำหรับแต่ละองค์ประกอบในระดับด้านล่าง ให้เพิ่มค่าที่ชั่งน้ำหนักและรับลำดับความสำคัญโดยรวมหรือระดับสากล ดำเนินการตามกระบวนการชั่งน้ำหนักและเพิ่มต่อไปจนกว่าจะถึงลำดับความสำคัญขั้นสุดท้ายของทางเลือกที่ระดับล่างสุด

ตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR) ดังสมการต่อไปนี้

$$r_i = \sum_i a_{ij} \tag{1}$$

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_i r_i} \tag{2}$$

คำนวณหาค่า $\lambda_{\max}$ เป็นค่าที่คำนวณได้จากการนำเอาผลรวมของค่าวินิจฉัยของแต่ละเกณฑ์ในแต่ละแถว มาคูณด้วยผลรวมค่าเฉลี่ยในแนวนอนแต่ละแถว แล้วนำเอาผลคูณที่ได้มารวมกัน ดังสมการที่ 3 ผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับจำนวนทั้งหมดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ โดยถ้าการวินิจฉัยในเกณฑ์นั้นมีความสอดคล้องกันอย่างสมบูรณ์ จะทำให้ค่า $\lambda_{\max} = n$

$$\lambda_{\max} = \sum_i \left(r_i \times s_i \right) \tag{3}$$

คำนวณค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) หาได้ดังสมการที่ 4

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \tag{4}$$

คำนวณค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: C. R.) คำนวณได้จากอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่า ดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I) ที่คำนวณได้จากตารางเมทริกซ์กับค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) ที่ดูได้จากตารางที่ 2 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{5}$$

กำหนดให้ r_i คือ ผลรวมในแนวนอน

s_i คือ ผลรวมในแนวตั้ง

a_{ij} คือ คะแนนของหลักเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่

w_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละหลักเกณฑ์

n คือ จำนวนหลักเกณฑ์

RI คือ ดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index) ดังตารางที่ 2

โดยที่ i, j คือ 1 2 3 4,...,n

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

อัตราส่วนความสอดคลองของข้อมูล (CR) ที่ยอมรับได้ มีค่าไม่เกิน 0.1 หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ ถ้าค่า CR ที่คำนวณแล้วมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับอัตราส่วนความสอดคล้องกันทางทฤษฎี แสดงว่าการเปรียบเทียบแบบคู่มีความสอดคล้องกันของเหตุผล เป็นที่ยอมรับได้ แต่ถ้าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผล มีมากกว่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันทางทฤษฎี แสดงว่าการเปรียบเทียบแบบคู่ไม่มีความสอดคล้องกันของเหตุผลจนไม่สามารถจะยอมรับได้ ดังนั้นจึงต้องทบทวนการจัดลำดับความสำคัญของการเปรียบเทียบแบบคู่ใหม่อีกครั้ง [4]

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

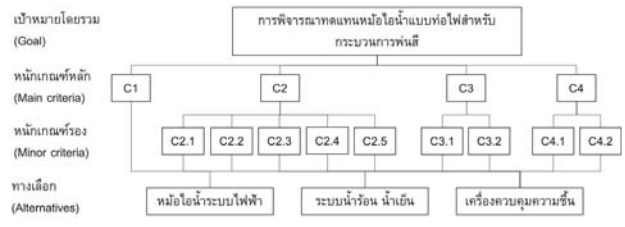
งานวิจัยนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ เพื่อคัดเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาทดแทนหม้อต้มไอน้ำ โดยเมื่อพิจารณาทางเลือกที่เป็นไปได้เบื้องต้น พบว่า หม้อไอน้ำ ระบบน้ำร้อนเย็น และเครื่องควบคุมความชื้น เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นอุปกรณ์มาทดแทนหม้อต้มไอน้ำแบบท่อไฟในระบบพ่นสีตัวถังรถยนต์แบบเดิม ซึ่งวิธีการดำเนินการวิจัยจะเป็นไปตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 กำหนดหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ

การกำหนดหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของการตัดสินใจ ในงานวิจัยนี้ปัจจัยถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

3.1.1 หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจหลัก ประกอบด้วย 4 หลักเกณฑ์ดังนี้ หลักเกณฑ์ด้านประสิทธิภาพ (C1) หลักเกณฑ์ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (C2) หลักเกณฑ์ด้านการใช้พลังงาน (C3) และหลักเกณฑ์ด้านความปลอดภัย (C4)

3.1.2 และหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจรอง ประกอบด้วย 9 หลักเกณฑ์ดังนี้ ผลกระทบทางด้านอากาศ (C2.1) ผลกระทบต่อแหล่งน้ำ (C2.2) ผลกระทบทางด้านเสียง (C2.3) ผลกระทบทางด้านกลิ่น (C2.4) การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (C2.5) ราคาค่าไฟฟ้า (C3.1) กำลังไฟฟ้า (C3.1) ความปลอดภัยส่วนบุคคล (C4.1) และความปลอดภัยในพื้นที่ทำงาน (C4.2) หลักเกณฑ์ข้างต้นอ้างอิงจากการทบทวนวรรณกรรม [5][6][7][8] ซึ่งสามารถนำมาสร้างแผนภูมิลำดับชั้นของกระบวนการ AHP ดังภาพที่ 2 สำหรับการพิจารณาเลือกเครื่องจักรทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ และแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3



รูปที่ 2 แผนภูมิการลำดับชั้นของกระบวนการ AHP สำหรับการพิจารณาเลือกเครื่องจักรทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

ตารางที่ 3 รายละเอียดของหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจ

หลักเกณฑ์		รายละเอียดของหลักเกณฑ์
C1 ประสิทธิภาพ		เครื่องจักรที่เลือกสามารถทำงานเพื่อให้ได้รับความร้อน (Output) สำหรับการควบคุมความชื้นมากที่สุด โดยการใช้ทรัพยากร (Input) น้อยที่สุด
C2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม		
	C2.1 ผลกระทบทางด้านอากาศ	สารเคมีที่อาจฟุ้งกระจายหรือสารระเหยที่อาจเข้าสู่บรรยากาศได้
	C2.2 ผลกระทบต่อแหล่งน้ำ	สารเคมีที่อาจส่งผลต่อระบบนิเวศน์ในน้ำ
	C2.3 ผลกระทบทางเสียง	ระดับเสียงของเครื่องจักรขณะเดินเครื่อง
	C2.4 ผลกระทบทางด้านกลิ่น	กลิ่นไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นระหว่างเดินเครื่องหรือหยุดเดินเครื่องส่งผลกระทบต่อผู้คน
	C2. 5 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอกไดออกไซด์จากการเดินเครื่อง
C3 การใช้พลังงาน		
	C3.1 ราคาค่าไฟฟ้า	ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเดินเครื่อง
	C3.2 กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในเวลา ๑ นาที มีหน่วยเป็นวัตต์ (w) หรือจูลต่อวินาที
C4 ความปลอดภัย		
	C4.1 ความปลอดภัยส่วนบุคคล	อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคลสำหรับงานเฉพาะทาง
	C4.2 ความปลอดภัยในพื้นที่ทำงาน	สภาพเครื่องจักรเอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย

3.2 ค่าถ่วงน้ำหนักของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินทางเลือก

ตารางที่ 4 ค่าถ่วงน้ำหนักของผู้ร่วมประเมินทางเลือก

ผู้ร่วมประเมินทางเลือก	ค่าถ่วงน้ำหนัก
ผู้ช่วยผู้จัดการทั่วไปแผนกซ่อมบำรุง	0.2188
ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง ห้องพ่นสีตังถังรถยนต์	0.1375
วิศวกรแผนกซ่อมบำรุง ห้องพ่นสีตังถังรถยนต์	0.0188
หัวหน้าวิศวกร แผนกพลังงานและสิ่งแวดล้อม	0.0438
หัวหน้างานทั่วไป แผนกพลังงานและสิ่งแวดล้อม	0.1063
หัวหน้างาน แผนกพลังงานและสิ่งแวดล้อม	0.1125
ผู้จัดการแผนกพ่นสีตัวถัง	0.0750
หัวหน้างานทั่วไป แผนกพ่นสีตัวถัง	0.1875
ผู้จัดการแผนกวิศวกรรมพ่นสีตัวถัง	0.0625
หัวหน้าวิศวกร แผนกวิศวกรรมพ่นสีตัวถัง	0.0375
ผลรวมค่าถ่วงน้ำหนัก	1.0000

ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับผู้เชี่ยวชาญเป็นอัตราส่วนแทนอายุการทำงานในบริษัทกรณีศึกษาโดยผู้ประเมินที่มีอายุงานมากจะมีค่าน้ำหนักที่มากตามและผู้ประเมินที่มีอายุงานน้อยก็จะมีค่าน้ำหนักน้อยลงมาตามลำดับ โดยผู้ประเมินที่มีอายุงานมากที่สุดคือ ผู้ช่วยผู้จัดการทั่วไปแผนกซ่อมบำรุง มีอายุงาน 35 ปี และมีค่าน้ำหนัก 0.2188 โดยจะเรียงน้ำหนักเช่นนี้ไปเป็นลำดับจนถึงผู้ประเมินที่มีอายุน้อยที่สุดคือวิศวกรแผนกซ่อมบำรุงห้องพ่นสีตังถังรถยนต์ มีอายุงาน 3 ปี โดยมีค่าน้ำหนัก 0.0188 และเมื่อรวมค่าน้ำหนักของผู้ร่วมประเมินทุกคนแล้วจะมีค่าน้ำหนักรวมเท่ากับ 1 ดังตารางที่ 4 จำนวนทั้งสิ้น 10 ท่าน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญนั้นปฏิบัติงานในส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับระบบหม้อไอน้ำและกระบวนการพ่นสีตัวถัง อุตสาหกรรมยานยนต์เป็นตามหัวข้อ

ผู้ร่วมประเมินทางเลือก และแสดงรายละเอียดค่าถ่วงน้ำหนักของผู้ประเมินแต่ละท่านทางขวาของตาราง

5. ผลการดำเนินงาน

จากตารางค่าถ่วงน้ำหนักของผู้ร่วมประเมินทางเลือกในตารางที่ 5 นำคะแนนแต่ละหลักเกณฑ์ของผู้ร่วมประเมินคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อสร้างตารางเมทริกซ์ที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบหลักเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ (Pairwise comparison) ของแต่ละหลักเกณฑ์ จึงได้ค่าถ่วงน้ำหลักของแต่ละหลักเกณฑ์ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์

หลักเกณฑ์หลัก	ค่าน้ำหนัก	หลักเกณฑ์รอง	ค่าน้ำหนักหลักเกณฑ์รอง
C1	0.4617	-	0.4617
C2	0.0610	C2.1	0.0079
		C2.2	0.0185
		C2.3	0.0182
		C2.4	0.0052
		C2.5	0.0113
C3	0.1203	C3.1	0.0501
		C3.2	0.0702
C4	0.3570	C4.1	0.2212
		C4.2	0.1358
	1.0000		1.0000

จากตารางที่ 5 จะพบว่าผู้ร่วมประเมินให้ค่าน้ำหนักความสำคัญกับหลักเกณฑ์ด้านประสิทธิภาพ (C1) มีค่าน้ำหนัก 0.4617 ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักสูงสุดในส่วนของหลักเกณฑ์หลัก อันดับที่สองหลักเกณฑ์ด้านความปลอดภัย (C4) มีค่าน้ำหนัก 0.3570 อันดับที่สามหลักเกณฑ์ด้านพลังงาน (C3) มีค่าน้ำหนัก 0.1203 และอันดับสุดท้ายคือหลักเกณฑ์ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (C2) มีค่าน้ำหนัก 0.0610 ส่วนของหลักเกณฑ์รองด้านความปลอดภัยส่วนบุคคล (C4.1) มีค่าน้ำหนักสูงสุดที่ 0.2212 อันดับที่สองด้านความปลอดภัยในพื้นที่ทำงาน (C4.2) มีค่าน้ำหนัก 0.1358 อันดับที่สามกำลังไฟฟ้า (C3.2) มีค่าน้ำหนัก 0.0702 อันดับที่สี่ค่าไฟฟ้า (C3.1) มีค่าน้ำหนัก 0.0501 อันดับที่ห้าผลกระทบต่อแหล่งน้ำ (C2.2) มีค่าน้ำหนัก 0.0185 อันดับที่หกผลกระทบทางด้านเสียง (C2.3) มีค่าน้ำหนัก 0.0182 อันดับที่เจ็ดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (C2.5) มีค่าน้ำหนัก 0.0113 อันดับที่แปดผลกระทบทางอากาศ (C2.1) มีค่าน้ำหนัก 0.0079 และอันดับสุดท้ายคือ ผลกระทบทางด้านกลิ่น (C2.4) มีค่าน้ำหนัก 0.0052

ทางเลือกสำหรับการพิจารณาทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟประกอบด้วย 3 ทางเลือกดังนี้ หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้า, ปั๊มความร้อน และเครื่องควบคุมความชื้น เครื่องจักรทั้ง 3 ประเภท ได้ผ่านการพิจารณาคุณสมบัติเบื้องต้นในด้านการทำความร้อน อีกทั้งยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบการทำความร้อน การระบายอากาศ และการทำความเย็น (HVAC) ที่มีอยู่ เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องพ่นสีให้เป็นไปตามมาตรฐานสำหรับการควบคุมคุณภาพสีขณะพ่นตัวถังรถยนต์ ทางเลือกทั้ง 3 ประเภทถูกนำมาสร้างตารางเมตริกซ์ที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบทางเลือกสำหรับการตัดสินใจเป็นรายคู่ (Pairwise comparison) ของแต่ละทางเลือก จึงได้ค่าถ่วงน้ำหลักของแต่ละทางเลือกดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละทางเลือก

เกณฑ์หลัก	ค่าน้ำหนัก	เกณฑ์รอง	ค่าน้ำหนักเกณฑ์รอง	ค่าน้ำหนัก		
				หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้า	ปั๊มความร้อน	เครื่องควบคุมความชื้น
C1	0.4617		0.4617	0.4651	0.4170	0.1179
C2	0.061	C2.1	0.0079	0.2600	0.3318	0.4082
		C2.2	0.0185	0.2957	0.2304	0.4739
		C2.3	0.0182	0.2691	0.4196	0.3113
		C2.4	0.0052	0.3227	0.2742	0.4031
		C2.5	0.0113	0.0916	0.6074	0.3010
C3	0.1203	C3.1	0.0501	0.1429	0.5685	0.2886
		C3.2	0.0702	0.1551	0.5668	0.2782
C4	0.357	C4.1	0.2212	0.0738	0.3569	0.5693
		C4.2	0.1358	0.1506	0.3114	0.5380

ค่าถ่วงน้ำหนักในมุมมองด้านประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำระบบไฟฟ้า, ปั๊มความร้อน และเครื่องควบคุมความชื้น มีค่า 0.4651 0.4170 และ 0.1179 ตามลำดับ

ค่าถ่วงน้ำหนักในมุมมองด้านผลกระทบทางอากาศ หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้ามีค่าน้ำหนัก 0.26 ปั๊มความร้อน มีค่าน้ำหนัก 0.3318 และเครื่องควบคุมความชื้น มีค่าน้ำหนัก 0.4082

ค่าถ่วงน้ำหนักในด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วย มุมมองด้านผลกระทบต่อแหล่งน้ำ หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้ามีค่าน้ำหนัก 0.2957ปั๊มความร้อน มีค่าน้ำหนัก 0.2304 และเครื่องควบคุมความชื้น มีค่าน้ำหนัก 0.4739 มุมมองด้านผลกระทบทางเสียง หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้ามีค่าน้ำหนัก 0.2691 ปั๊มความร้อน มีค่าน้ำหนัก 0.4196 และเครื่องควบคุมความชื้น มีค่าน้ำหนัก 0.3113 มุมมองด้านผลกระทบทางกลิ่น หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้ามีค่าน้ำหนัก 0.3227 ปั๊มความร้อน มีค่าน้ำหนัก 0.2742 และเครื่องควบคุมความชื้น มีค่าน้ำหนัก 0.4031 มุมมองด้านการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้ามีค่าน้ำหนัก 0.0916 ปั๊มความร้อน มีค่าน้ำหนัก 0.6074 และเครื่องควบคุมความชื้น มีค่าน้ำหนัก 0.3010

ค่าถ่วงน้ำหนักในด้านการใช้พลังงาน ประกอบด้วย มุมมองด้านราคาค่าไฟฟ้า หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้ามีค่าน้ำหนัก 0.1429 ปั๊มความร้อน มีค่าน้ำหนัก 0.5685 และเครื่องควบคุมความชื้น มีค่าน้ำหนัก 0.2886 มุมมองด้านกำลังไฟฟ้า หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้ามีค่าน้ำหนัก 0.1551 ปั๊มความร้อน มีค่าน้ำหนัก 0.5668 และเครื่องควบคุมความชื้น มีค่าน้ำหนัก 0.2782

ค่าถ่วงน้ำหนักในมุมมองด้านความปลอดภัย ประกอบด้วย มุมมองด้านความปลอดภัยส่วนบุคคล หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้า มีค่าน้ำหนัก

0.0738 ปั๊มความร้อน มีค่าน้ำหนัก 0.3569 และเครื่องควบคุมความชื้น มีค่าน้ำหนัก 0.5693 และมุมมองด้านความปลอดภัยในพื้นที่ทำงาน หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้ามีค่าน้ำหนัก 0.1506 ปั๊มความร้อน มีค่าน้ำหนัก 0.3114 และเครื่องควบคุมความชื้น มีค่าน้ำหนัก 0.5380 จากการหาค่าถ่วงน้ำหนักของหลักเกณฑ์และทางเลือกสามารถนำค่าดังกล่าวมาคูณเพื่อให้คะแนนแต่ละทางเลือก ซึ่งผลการให้คะแนนแต่ละทางเลือกพบว่า ทางเลือกที่ 2 ปั๊มความร้อน ได้คะแนนสูงสุดที่ 0.2454 อันดับที่สองหม้อไอน้ำระบบไฟฟ้า 0.2310 และอันดับสุดท้ายเครื่องควบคุมความชื้น 0.1310 ดังผลในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการประเมินทางเลือกสำหรับทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

หลักเกณฑ์หลัก	หลักเกณฑ์รอง	คะแนน		
		หม้อไอน้ำระบบไฟฟ้า	ปั๊มความร้อน	เครื่องควบคุมความชื้น
C1		0.2148	0.1925	0.0544
C2	C2.1	0.0001	0.0002	0.0002
	C2.2	0.0003	0.0003	0.0005
	C2.3	0.0003	0.0005	0.0003
	C2.4	0.0001	0.0001	0.0001
	C2.5	0.0001	0.0004	0.0002
C3	C3.1	0.0009	0.0034	0.0017
	C3.2	0.0013	0.0048	0.0023
C4	C4.1	0.0058	0.0282	0.0449
	C4.2	0.0073	0.0151	0.0261
ผลประเมิน		0.2310	0.2454	0.1310

5. สรุป

จากผลการวิจัยพบว่า ผู้เชี่ยวชาญภายในบริษัทเล็งเห็นความสำคัญด้านประสิทธิภาพของเครื่องจักรเป็นหลัก เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญที่ควบคุมคุณภาพของสีขณะพ่นตัวถังรถยนต์ให้เป็นไปตามมาตรฐาน สีที่ติดไปกับตัวถังรถยนต์จึงเป็นสีที่สวยงาม ลดข้อบกพร่องภายหลังจากการอบสี สร้างความพึงพอใจให้แกลูกค้า อีกทั้งยังให้ความสำคัญด้านความปลอดภัยอยู่อันดับต้น ๆ พนักงานผู้ปฏิบัติงานและพื้นที่ปฏิบัติงานควรอยู่ในสภาพที่ปลอดภัยและพร้อมสำหรับการปฏิบัติงานตลอด การพิจารณาถึงอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลสำหรับงานเฉพาะทางและการจัดสรรพื้นที่ให้มีความปลอดภัยในขณะปฏิบัติจึงเป็นอีกหลักเกณฑ์สำคัญในการพิจารณา เพื่อลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้ขณะปฏิบัติงาน

ด้านประสิทธิภาพหม้อไอน้ำระบบไฟฟ้าเป็นระบบให้ประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างความร้อนที่สามารถทำได้จากหม้อไอน้ำระบบไฟฟ้า (Output) ต่อทรัพยากรที่จ่ายเข้าระบบ (Input)

ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปั๊มความร้อนและเครื่องควบคุมความชื้น ส่งผลกระทบน้อยกว่าหม้อไอน้ำแบบไฟฟ้า ทั้งในผลกระทบด้านอากาศ น้ำ เสียง และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้านพลังงาน ปั๊มความร้อนใช้กำลังไฟฟ้าสำหรับเดินเครื่องจักรน้อยกว่าทางเลือกอื่นจึงทำให้ค่าไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานปั๊มความร้อนดีกว่าอีกสองทางเลือก ด้านความปลอดภัย เครื่องควบคุมความชื้น เป็นระบบที่ถูกประเมินให้มีความปลอดภัยมากที่สุด เป็นระบบที่มีการใช้เคมีเกี่ยวข้องต่ำสุด และไม่มีอุณหภูมิของน้ำที่อาจเกิดอันตรายต่อบุคคลได้

เมื่อพิจารณาคะแนนการประเมินทางเลือกทุกหลักเกณฑ์แล้วพบว่าปั๊มความร้อนเป็นระบบที่เหมาะสมที่สุดในการทดแทนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟมากที่สุดทั้งในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพลังงาน ด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัยแม้ว่าจะไม่ใช่ปั๊มความร้อนเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด คะแนนการประเมินของระบบอยู่ในระดับรองจากอันดับหนึ่งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

[1] L.Feng, L.Mears, Analysis of HVAC energy in automotive paint shop, Proceedings of the ASME 2015 International Manufacturing Science and Engineering Conference, 8-12 Jun 2015, North Carolina, USA

[2] วราวุธ วุฒิวณิชย์, การตัดสินใจโดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น, ข้อมูลจาก http://irre.ku.ac.th/pubart/pdf/53-AHP-paper.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 มกราคม 2565)

[3] T. L. Saaty. 2008. “Decision making with the analytic hierarchy process. International journal of services sciences”, Int. J. Services Sciences, Vol. 1(1): 83-98.

[4] นันทกานต์ ก้านทองคำ. 2549. การคัดเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ลำดับที่3 โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา

[5] H. Musbah, G. Ali, H. H. Aly and T. Little. 2022. “Energy management using multi-criteria decision making and machine learning classification algorithms for intelligent system.” Electric Power Systems Research, Vol. 203 107645.

[6] S. Hasnain, M. Ali, K. J. Akhter, B. Ahmed and N. Abbas. 2020. “ Selection of an industrial boiler for a soda- ash production plant using analytical hierarchy process and TOPSIS approaches.” Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 19, 100636.

[7] L. Zhu, Z. Zhao, Z. Y. Wang, Q. Huang, Y. Sun, D. Bi. 2021. “Weighting of toilet assessment scheme in China implementing analytic hierarchy process. ” Journal of Environmental Management, Vol. 283 111992.

[8] จิตรา รู้กิจการพานิช และนุชนาถ สุขสมัย. 2563. “การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นสำหรับการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนและเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะ.” วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 31 ฉบับที่ 1: 155-17

การออกแบบและพัฒนาเครื่องสไลด์เนย กรณีศึกษาสถานประกอบการบัตเตอร์เค้กขนาดเล็ก

DESIGN AND DEVERLOPMENT OF A BUTTER SLICE MACHINE A CASE STUDY OF A SMALL BUTTER CAKE BUSINESS

ชาญชัย พลตรี[1*] ฤภูวัลย์ จันทรสา[1] อดิศักดิ์ นาวเหนียว[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: charncha@eng.buu.ac.th*

Charnchai Phontri[1*] Ruephuwan Chantrasa[2] Adisak Nowneow[3]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: charncha@eng.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยจึงมุ่งเน้นออกแบบและพัฒนาเครื่องสไลด์เนยต้นแบบสำหรับสถานประกอบการขนาดเล็ก ขั้นตอนดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการสำรวจความต้องการเครื่องสไลด์เนยด้วยการสัมภาษณ์โดยตรงและใช้แบบสอบถามออนไลน์จากสถานประกอบการและกลุ่มสถานประกอบการผู้ผลิตบัตเตอร์เค้ก จากนั้นได้วิเคราะห์ข้อมูลความต้องการเครื่องสไลด์เนยตามหลักเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ผลการวิเคราะห์พบว่าขนาดโครงสร้างเครื่องที่เหมาะมีขนาด 49x39x54 ลูกบาศก์เซนติเมตร ชุดมีดตัดกำหนดให้ใช้จำนวนใบมีด 2 ใบ ใช้มอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนการตัดที่ความเร็วรอบ 725 รอบต่อนาที และลำดับต่อมา คือ การสร้างเครื่องต้นแบบ ทดสอบการทำงาน และประเมินผลเชิงคุณภาพ พบว่าเครื่องสไลด์สามารถลดเวลาการทำงานลงเหลือ 25.10 วินาทีต่อรอบการผลิต คิดเป็นประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น 78.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของสถานประกอบการทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณการผลิต

คำสำคัญ: เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ, เครื่องสไลด์เนย, บัตเตอร์เค้ก

Abstract

This research aims to design and develop a butter slice machine for a small butter cake business. The research step began with user need survey both directly interview and online questionnaire from enterprises and butter cake producers. After that the Quality Function Deployment (QFD) technique was employed to analyze the user needs into forms of machine technical requirement. The analysis had pointed suitable machine design parameters that having structure size of 49x39x54 cm^3 with 2 blades cutting machine and a driving motor with cutting speed at 725 cycle per minute. The last steps of this research consisted of building a prototype, testing and evaluation of the prototype. The testing results with 200 grams of butter indicated that using the butter slider machine, the slice processing time was reduced from 116.40 seconds per cycle to 25.10 seconds per cycle, which is 78.43% decreasing. In conclusion, the butter slider machine had met the objectives of the small butter cake business both qualitative and quantitative.

Keywords: The Quality Function Deployment (QFD), The butter slider machine, Butter cake

1. บทนำ

สถานการณ์ปัจจุบันผู้บริโภคเบเกอรี่ มีแนวโน้มเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเกิดจากพฤติกรรมผู้บริโภคในเขตเมือง มีชีวิตเร่งรีบและต้องการความสะดวกสบาย ด้านการรับประทานอาหารว่าง เมื่อคิดเป็นปริมาณการผลิต มีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 5.8-6.5% ต่อปี โดยปี 2557 ประเทศไทย พบอัตราการผลิตเบเกอรี่สูงกว่า 176,000 ตัน การศึกษาด้านสภาวะการแข่งขันนอกจากแบรนด์ใหญ่ ได้แก่ ฟาร์มเฮ้าส์ เอสแอนด์พี และซีพี แล้วการแข่งขันในตลาดร้านกาแฟและร้านเบเกอรี่ขนาดเล็กตามชุมชนเมือง มีอัตราการเติบโตสูงเช่นกัน คิดอัตราการเติบโต 99% ต่อปี และคาดว่าจะมีอัตราเติบโตอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ตลาดการค้าในเบเกอรี่ สามารถดำเนินการเข้าและออกค่อนข้างง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคโซเชียลมีเดียครอบคลุมอย่างกว้างขวาง ทำให้การเรียนรู้วิธีทำและการบริหารช่องทางจัดจำหน่ายเบเกอรี่เป็นไปด้วยความง่าย สะดวก และรวดเร็วมากยิ่งขึ้น “บัตเตอร์เค้ก” เป็นขนมอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากตัวเนื้อเค้กมีส่วนผสมของเนยเป็นหลัก ซึ่งส่งผลให้เนื้อเค้กมีกลิ่นหอม เนื้อเค้กเนียนนุ่ม จากเนย น่ารับประทาน ซึ่งการทำต้องอาศัยความพิถีพิถันในการทำบัตเตอร์เค้ก [1]

การผลิตบัตเตอร์เค้ก สำหรับผู้ประกอบการรายเล็ก มักประสบปัญหาด้านการผลิต เนื่องจากขาดเครื่องมืออุปกรณ์ เพื่อช่วยและสนับสนุนการผลิตที่เหมาะสมตรงตามความต้องการของผู้ประกอบการ โดยเฉพาะขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหลัก คือ เนยสด ซึ่งต้องดำเนินการหั่นหรือสไลด์เนยเป็นชิ้นบางและเล็ก ก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตในขั้นตอนต่อไป ซึ่งขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่ใช้แรงงานจากพนักงานเป็นหลัก ส่งผลให้เกิดความล้าช้าในกระบวนการผลิต โดยใช้เวลาสไลด์เนยสดประมาณ 116.40 วินาทีต่อรอบการผลิต ดังนั้นงานวิจัยจึงมุ่งเน้นออกแบบและพัฒนาเครื่องสไลด์เนยต้นแบบสำหรับสถานประกอบการขนาดเล็ก เพื่อแก้ปัญหาข้างต้น

2. การดำเนินการวิจัย

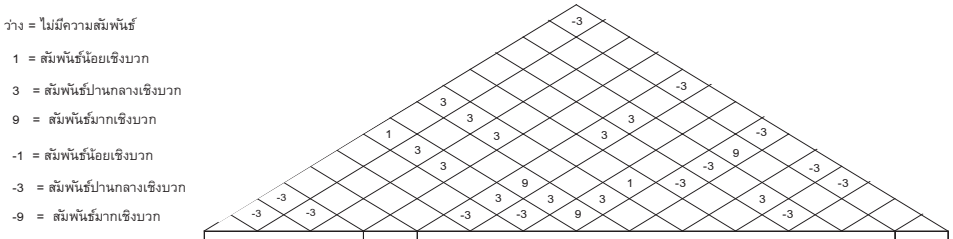
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยมีรายละเอียด โดยเริ่มต้นด้วยการสำรวจและการเก็บข้อมูลความต้องการ พร้อมกำหนดกลุ่มเป้าหมาย คือ สถานประกอบการบ้านอาจารย์ชาญ Coffee & Bakery จังหวัดชลบุรี เป็นสถานประกอบการกรณีศึกษา และดำเนินการสำรวจความต้องการ ด้วยแบบสำรวจ ผ่านระบบออนไลน์ในกลุ่มผู้สนใจทำบัตเตอร์เค้ก สำหรับการสำรวจสถานประกอบการกรณีศึกษา ดำเนินการสำรวจ ด้วยการลงพื้นที่ จากการสัมภาษณ์และสังเกตการเพื่อเก็บข้อมูลพื้นฐานและสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ จากแบบฟอร์มคำถามปลายเปิด ซึ่งคำถามแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปและข้อมูลความต้องการเครื่องสไลด์เนย ลำดับขั้นตอนต่อมา คือ การวิเคราะห์ผลการสำรวจ เพื่อแปลงเป็นความต้องการ ตามหลักการเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ซึ่งสามารถจัดความต้องการและกลุ่มความต้องการ โดยแบ่งเป็นความต้องการทั้งหมด 12 ข้อ และจัดกลุ่มความต้องการ 4 กลุ่ม จากข้อมูลความต้องการนี้นำไปดำเนินการจัดทำเป็นแบบฟอร์มประเมินให้ความสำคัญของความต้องการของผู้ใช้เครื่องสไลด์เนย โดยกำหนดค่าคะแนนประเมิน ด้วยสเกล 1 ถึง 5 จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ดังระบุในช่อง B1 สำหรับส่วน B6 คือ จุดขาย ผลการประเมิน จากกลุ่มผู้ออกแบบ โดยมีค่าน้ำหนักความสำคัญที่ใช้ในการประเมิน 3 ระดับ คือ 1 = ไม่ใช่จุดขาย 1.2 = เป็นจุดขายปานกลาง และ 1.5 = จุดขาย ส่วน B7 คือ คะแนนดิบ ดำเนินการ จากการคำนวณ โดยนำส่วน B1*B6 และส่วนสุดท้ายคือ B8 คะแนนดิบปกติ [2-3] ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมเนย การผสมเนย และการเทบัตเตอร์ลงบนพิมพ์

ตารางที่ 1 สรุปคะแนนการประเมิน

กลุ่มความต้องการ	ความต้องการ	B1	B6	B7	B8
โครงสร้างเครื่อง	เครื่องมีขนาดเล็ก	3.90	1.2	4.68	0.068
	เครื่องทำจากวัสดุที่ไม่เกิดสนิม	4.77	1.0	4.77	0.070
	เครื่องมีน้ำหนักเบา	4.23	1.5	6.35	0.093
	โครงสร้างเครื่องคงทน	4.58	1.0	4.58	0.067
การใช้งาน	ใช้งานง่าย	4.56	1.5	6.84	0.100
	ทำความสะอาดได้ง่าย	4.60	1.5	6.90	0.101
	มีความปลอดภัยในการใช้งาน	4.67	1.0	4.67	0.068
การทำงานของเครื่อง	เครื่องสามารถปรับตั้งใบมีดได้	4.21	1.5	6.32	0.092
	สามารถเตรียมวัตถุดิบได้รวดเร็ว	4.30	1.5	6.45	0.094
	เครื่องสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องนาน	4.42	1.2	5.30	0.077
	ใบมีดคงทน	4.58	1.0	4.58	0.067
ราคา	ราคาเหมาะสมกับตัวเครื่อง	4.70	1.5	7.05	0.103



		สมรรถนะของเครื่อง			ระบบควบคุม	โครงสร้างเครื่อง									ราคา				
	ค่าเป้าหมาย	≥ 200	≥ 4	N/A	ทำงานง่าย	≤ 15	มี	สามารถปรับเปลี่ยนในบริเวณได้	ถอดประกอบได้ง่าย	Stainless Steel 304	Stainless Steel 304	30 x 34 x 34	≤ 12	Stainless Steel 304	≤ 4500				
	ทิศทางเพื่อการพัฒนา	↑	↑	↑	↓	↓	○	○	○	○	○	○	↓	○	↓				
	หน่วยวัด	กรัม / นาที	ชั่วโมง / ครั้ง	ชั่วโมง	ขั้นตอน	นาที	มิ	รูปแบบ	รูปแบบ	ชนิดของวัสดุ	ชนิดของวัสดุ	ลูกบาศก์เซนติเมตร	กิโลกรัม	ชนิดของวัสดุ	บาท				
	คุณลักษณะทางคุณภาพ / ความต้องการของลูกค้า	อัตราเร็วในการตัดเฉือนวัสดุ	ระยะเวลาในการทำงานต่อเนื่องของเครื่อง	อายุการใช้งานของใบมีด	มีระบบควบคุมการทำงานง่าย	ถอดประกอบได้ง่าย	มีอุปกรณ์ป้องกันขณะทำงาน	สามารถปรับเปลี่ยนในบริเวณได้	ลักษณะการประกอบโครงสร้างของเครื่อง	วัสดุยึดจับ	วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างเครื่อง	ขนาดของตัวเครื่อง	น้ำหนักของเครื่อง	วัสดุที่ใช้ทำส่วนประกอบของเครื่อง	ราคาเหมาะสมกับตัวเครื่อง	ความต้องการของลูกค้า	จุดขาย	คะแนนดิบ	คะแนนดิบปกติ
โครงสร้างเครื่อง	เครื่องมีขนาดเล็ก								3			9	9	3		3.9	1.2	4.68	0.068
	เครื่องทำจากวัสดุที่ไม่เกิดสนิม										9		9		3	4.77	1	4.77	0.070
	เครื่องมีน้ำหนักเบา										9	3	3	3		4.23	1.5	6.345	0.093
	โครงสร้างเครื่องคงทน										9		9		3	4.58	1	4.58	0.067
การใช้งาน	ใช้งานง่าย				9	3										4.56	1.5	6.84	0.100
	ทำความสะอาดง่าย					9			3	1	1		3			4.6	1.5	6.9	0.101
	มีความปลอดภัยในการใช้งาน		1	1	1		9		3	1			1			4.67	1	4.67	0.068
การทำงานของเครื่อง	เครื่องสามารถปรับตั้งใบมีดได้					3		9								4.21	1.5	6.315	0.092
	สามารถเตรียมวัตถุดิบได้รวดเร็ว	9														4.3	1.5	6.45	0.094
	เครื่องสามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง		9	9												4.42	1.2	5.304	0.077
	ใบมีดคงทน									9						4.58	1	4.58	0.067
ราคา	ราคาเหมะสมกับตัวเครื่อง		3	3									3		9	4.7	1.5	7.05	0.103
																	รวม	68.484	1
	ค่าอิทธิพล	0.848	1.074	1.074	0.967	1.483	0.614	0.830	0.712	0.771	2.163	0.893	2.801	0.483	1.336	รวมค่าอิทธิพล			16.049
	ค่าอิทธิพลปกติ	0.053	0.067	0.067	0.060	0.092	0.038	0.052	0.044	0.048	0.135	0.056	0.175	0.030	0.083	รวมค่าอิทธิพลปกติ			1.000
	ลำดับความสัมพันธ์ของค่าอิทธิพล	8	5	5	6	3	12	9	11	10	2	7	1	13	4				

รูปที่ 2 บ้านคุณภาพของเครื่องเครื่องสไลด์เนย

3.ผลการวิจัย

รายละเอียดผลการวิจัยดัง แสดงดังหัวข้อย่อยดังนี้

3.1 บ้านคุณภาพ

ผลการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ [3-5] ส่งผลให้สามารถสร้างบ้านคุณภาพของเครื่องสไลด์เนย โดยบ้านคุณภาพ [3] ประกอบด้วย 6 ส่วน ได้แก่ A) ความต้องการของลูกค้า B) ลำดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้า C) คุณลักษณะทางคุณภาพ D) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วน A กับ C E) ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพ และ F) แสดงความสำคัญของคุณลักษณะทางคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งข้อมูลวิเคราะห์จากบ้านคุณภาพจะแสดงรายละเอียดคุณลักษณะทางคุณภาพ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องในลำดับต่อไป

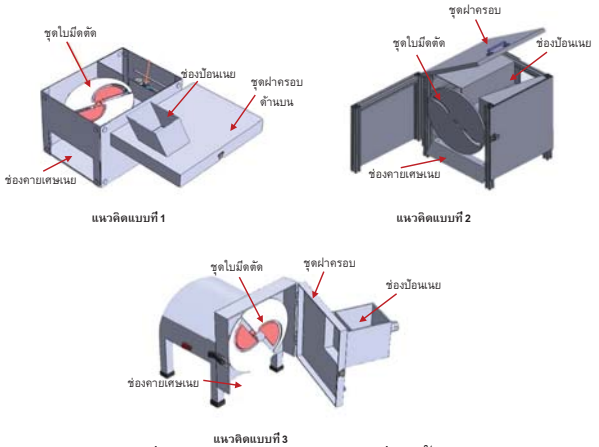
3.2 การออกแบบเครื่องสไลด์เนย

ขั้นตอนนี้ คือ ขั้นตอนการออกแบบแนวคิด สำหรับสร้างเครื่องสไลด์เนย ซึ่งประกอบด้วยแนวคิดทั้งหมด 3 แนวคิด โดยการออกแบบแนวคิด สำหรับงานวิจัย ดำเนินการจากพิจารณาบ้าน

คุณภาพ พบลำดับความสำคัญของคุณลักษณะทางคุณภาพสูงสุด 5 อันดับ จากการพิจารณาค่าอิทธิพลปกติ ตามลำดับดังนี้ น้ำหนักของเครื่อง วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างเครื่อง ถอดประกอบได้ง่าย ราคาเหมาะสมกับตัวเครื่อง และระยะเวลาในการทำงานต่อเนื่องของตัวเครื่อง ซึ่งคุณลักษณะทางคุณภาพนี้ กำหนดให้เป็นแนวทางการออกแบบแนวคิด สรุปได้ดังแสดงตารางที่ 2 และร่างแบบแนวคิด ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 2 สรุปแนวคิดในการออกแบบ

การออกแบบ	แนวคิดที่ 1	แนวคิดที่ 2	แนวคิดที่ 3
ลักษณะการติดตั้งชุดใบมีดตัด	แนวตั้ง	แนวนอน	แนวนอน
ลักษณะการตัดเฉือนของใบมีดตัด	หมุนตัด	หมุนตัด	หมุนตัด
ตำแหน่งช่องป้อนวัตถุดิบ	ด้านบนแนวดิ่ง	ด้านบนแนวนอน	ด้านบนแนวนอน
ลักษณะการป้อนวัตถุดิบ	ป้อนชิ้นงานแนวดิ่งเข้าหาใบมีด	ป้อนชิ้นงานแนวนอนจากด้านหลังเข้าหาใบมีด	ป้อนชิ้นงานแนวนอนจากด้านหน้าเข้าหาใบมีด
ตำแหน่งของช่องระบายเศษเนย	ด้านล่าง	ด้านล่าง	ด้านล่าง



รูปที่ 3 แบบร่างแนวคิดของเครื่องทั้ง 3 แบบ

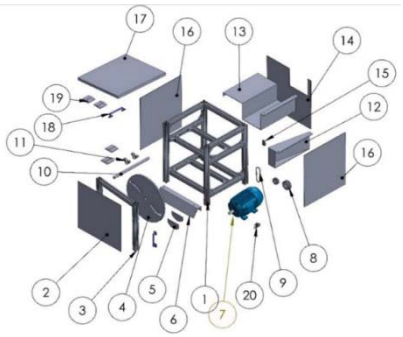
หลังจากนั้นนำแนวคิดทั้ง 3 แบบ ดำเนินการคัดเลือกแบบ โดยเลือกคุณลักษณะทางคุณภาพ 5 หัวข้อข้างต้น ซึ่งมีผลคะแนนค่าอิทธิพลสูงลำดับต้นๆ และเป็นปัจจัยในการประเมินความแตกต่างของแต่ละแบบ กำหนดเกณฑ์การให้คะแนน 1-5 โดยคะแนน 1 คือ ต่ำสุด และ 5 คือ สูงสุด [3-5] หลังจากนั้นนำค่าคะแนนประเมินแต่ละแบบนำมาคูณกับค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย และสุดท้ายรวมผลคะแนนแต่ละปัจจัย งานวิจัยเลือกแบบแนวความคิดคะแนนสูงสุด คือ แนวคิดที่ 2 เพื่อออกแบบรายละเอียดและสร้างเครื่องในลำดับถัดไป คะแนนการคัดเลือกแบบ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปการประเมินคัดเลือกแนวคิดในการออกแบบ

ลำดับที่	คุณลักษณะทางคุณภาพ	ค่าอิทธิพล	ค่าน้ำหนัก	แนวคิดที่ 1	แนวคิดที่ 2	แนวคิดที่ 3
1	น้ำหนักของเครื่อง	2.801	0.316	3	3	4
				0.949	0.949	1.265
2	วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างเครื่อง	2.163	0.244	4	4	3
				0.977	0.977	0.733
3	ถอดประกอบได้ง่าย	1.483	0.167	3	4	3
				0.502	0.670	0.502
4	ราคาเหมาะสมกับตัวเครื่อง	1.336	0.151	3	4	3
				0.453	0.603	0.453
5	ระยะเวลาในการทำงานต่อเนื่องของเครื่อง	1.074	0.121	4	4	4
				0.485	0.485	0.485
รวม		8.858	1	3.365	3.684	3.437

3.3 การสร้างเครื่องสไลด์เนย

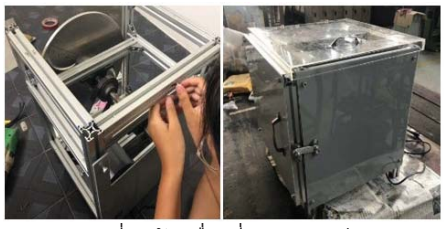
งานวิจัยเลือกแบบแนวความคิดที่ 2 เพื่อสร้างเครื่องสไลด์เนย เริ่มดำเนินการ จากการออกแบบรายละเอียดส่วนต่างๆ ของเครื่อง จากนั้นวางแผนการผลิตชิ้นส่วนประกอบ ลำดับต่อมา คือ การจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ สำหรับสร้างเครื่อง และการสร้างเครื่องต้นแบบ เป็นขั้นตอนสุดท้าย ชิ้นส่วนประกอบเครื่องสไลด์เนยมีทั้งหมด 20 ชิ้นส่วนประกอบ แสดงดังรูปที่ 4 และตารางที่ 4 โดยชิ้นส่วนประกอบหลักเลือกใช้อลูมิเนียมโปรไฟล์ สำหรับชิ้นส่วนประกอบโครงสร้างเครื่อง มีขนาด 49x39x54 ลูกบาศก์เซนติเมตร และช่องป้อนเนยเลือกใช้สแตนเลสชนิด SUS304 ขนาด 17x32 เซนติเมตร ระบบการขับเคลื่อนเ ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า AC 220 โวลต์ กำลัง 1/3 HP ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที การทดรอบใช้พูเลย์สายพาน ทดรอบ 1:2 รอบ ความเร็วรอบที่ได้ 725 รอบต่อนาที เครื่องสไลด์เนยต้นแบบ แสดงดังรูปที่ 5 โดยงบประมาณสร้างเครื่องคิดเป็น 13,947 บาท



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่อง

ตารางที่ 4 รายละเอียดชิ้นส่วนประกอบเครื่องสไลด์เนย

หมายเลข	ชื่อชิ้นส่วน	จำนวน	รายละเอียดวัสดุ
1	โครงสร้างเครื่อง	1	อลูมิเนียมโปรไฟล์
2	ฝาด้านหน้าเครื่อง	1	แผ่นอะคริลิค หนา 3 mm.
3	โครงฝาด้านหน้า	1	อลูมิเนียมโปรไฟล์
4	แผ่นชุดยึดใบมีดตัด	1	อลูมิเนียม
5	ใบมีดตัด	2	สแตนเลส เกรด SUS304
6	ฝาครอบคายเศษ	1	สแตนเลส เกรด SUS304
7	มอเตอร์	1	-
8	พูลเลย์	2	เหล็กหล่อ
9	สายพาน	1	-
10	เพลา	1	สแตนเลส
11	แบริ่ง	2	-
12	ที่กั้นเนย	1	แผ่นอะคริลิค หนา 3 mm.
13	ช่องใส่เนย	1	สแตนเลส เกรด SUS304
14	แผ่นปิดด้านหลังเครื่อง	1	แผ่นอะคริลิค หนา 3 mm.
15	สวิตซ์เปิด-ปิด	1	-
16	แผ่นปิดด้านข้างเครื่อง	2	แผ่นอะคริลิค หนา 3 mm.
17	แผ่นปิดด้านบนเครื่อง	1	แผ่นอะคริลิค หนา 3 mm.
18	ที่จับประตู	2	อลูมิเนียม
19	บานพับ	4	อลูมิเนียม
20	ตัวล็อคฝาปิด	1	สแตนเลส



รูปที่ 5 ตัวเครื่องที่ประกอบเสร็จ

3.4 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่อง

การทดลองการทำงานของเครื่อง กำหนดเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง ดังนี้ 1) เครื่องสไลด์เนยต้นแบบ 2) ใบบันทึกข้อมูล 3) นาฬิกาจับเวลา 4) วัตถุดิเนยสดน้ำหนัก 200 กรัม. (± 20 กรัม) 5) ภาชนะรองรับชิ้นงาน และ 6) เครื่องชั่งน้ำหนัก ดำเนินการสไลด์ด้วยความเร็วรอบ 725 รอบต่อนาที พร้อมจับเวลาการทำงานของเครื่อง และบันทึกเวลา ดำเนินการทดสอบ 10 รอบ แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 5 และรูปที่ 6



รูปที่ 6 เนยสดก่อนและหลังสไลด์

ตารางที่ 5 สรุปผลการทดลอง

ครั้งที่	น้ำหนักเนย (กรัม)	ระยะเวลาที่ใช้ (วินาที)
1	210	24
2	215	26
3	200	25
4	200	23
5	212	27
6	200	24
7	216	25
8	218	28
9	210	25
10	200	24
เวลาเฉลี่ย		25.1

4. สรุป

การประเมินผลเครื่องสไลด์เนยต้นแบบ แบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประเมินผลเชิงคุณภาพและการประเมินผลเชิงปริมาณ แสดงผลการประเมินเชิงคุณภาพ ด้วยแบบสอบถาม พบความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง และประเมินเชิงปริมาณการผลิต ด้วยเนยสดน้ำหนัก 200 กรัม พบว่าเครื่องสไลด์สามารถลดเวลาการทำงานลงเหลือ 25.10 วินาทีต่อรอบการผลิต คิดเป็นประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น 78.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของสถานประกอบการทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณการผลิต

5. อภิปรายผล

การประเมินผลเชิงคุณภาพ พบความพึงพอใจ ระดับปานกลาง มีสาเหตุจากปัจจัย 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) ขนาดของตัวเครื่องและวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างเครื่อง และ 2) ถอดประกอบได้ง่าย ซึ่งแสดงรายละเอียด ดังนี้

- ขนาดของตัวเครื่อง มีขนาดไม่สอดคล้องตามค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ เนื่องจากข้อจำกัดของวัสดุที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดโดยมีขนาดใหญ่และราคาวัสดุเป้าหมายมีราคาแพง
- ถอดประกอบได้ง่าย สถานประกอบการต้องการระยะเวลาการถอดและประกอบเครื่องสั้น ซึ่งเครื่องต้นแบบมีข้อจำกัด ด้านใบมีดมีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้การถอดและประกอบ เพื่อทำความสะอาดค่อนข้างยาก และต้องระวังเศษเนยที่ติดกับใบมีด หากละลายเป็นคราบมัน จะส่งผลต่อการถอดและประกอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] ประเวศวุฒิ ไรวา, อุตสาหากรรมเบเกอรี่ไทย ปี 2559 จาก http: / / fic. nfi. or. th/ foodindustry_ceo_view. php?smid= 1126 (สืบค้นวันที่ 15 สิงหาคม 2563)

[2] ชาญชัย พลตรี และฤภูวัลย์ จันทรสา 2555. “การประยุกต์เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพในการออกแบบและพัฒนาเครื่องหั่นทุเรียนต้นแบบ”. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2555, 17-19 ตุลาคม 2555, ชะอำ เพชรบุรี.

[3] มณฑลี ศาสนนันทน์. การออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อการสร้างสรรค์นวัตกรรม และวิศวกรรมย้อนรอย, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2550.

[4] Charnchai Phontri and Ruephuwan Chantrasa. 2019. “Innovation development of durian stick processing machine for transferring knowledge to foundation community”. APST Vol. 24 (4): APST-24-04-01

[5] Terninko, J. 1997. Step- by- Step QFD Customer- Driven Product Design. St.Lucie Press, Second Edition.

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีน้ำที่กระตุ้นด้วยพลาสมาร่วมกับยูวีซี

Changes in the Physicochemical Properties of Water from the Application of Plasma-activated Water Technology in Combination with UV-C

สร้อยทอง ลุงปาน[1*] วัสสนัย วรรธนัจฉริยา[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: Soithong_lu@cmu.ac.th *

Soithong Lungparn[1*] Wassanai Wattanutchariya[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Chiang Mai University
E-mail: Soithong_lu@cmu.ac.th *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไม่ใช้ความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร ระหว่างเทคโนโลยีน้ำกระตุ้นพลาสมา (Plasma-activated water, PAW) และ ยูวี (UV-C)) เพื่อวัตถุประสงค์ในการพิสูจน์ว่าการฉายยูวีซีร่วมกับการกระตุ้นพลาสมาในน้ำสามารถส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงเคมีกายภาพที่ประกอบด้วยค่าความเป็นกรด (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าศักยภาพการเกิดปฏิกิริยาการรับและการสูญเสียอิเล็กตรอน (ORP) และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของน้ำซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อหรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอาหาร โดยการทดลองแบ่งเป็น การกระตุ้นพลาสมาในน้ำเพียงอย่างเดียว (PAW) เทียบกับการกระตุ้นพลาสมาร่วมกับการฉายยูวีซี (PAW-UV) ซึ่งใช้เวลากระตุ้นน้ำที่ 10 และ 20 นาที และวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย One-way ANOVA พร้อมกับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Tukey จากผลการทดลองพบว่าการกระตุ้นน้ำพลาสมาที่เวลาเดียวกันสามารถวัดค่า pH, EC, ORP และ H_2O_2 ของเงื่อนไขการทดลอง PAW10 และ PAW-UV10 ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.53 215 µS/cm, 135.13 mV และ 4.83 ppm ตามด้วย 7.44 223 µS/cm, 158.93 mV และ 5.13 ppm ส่วนค่า pH, EC, ORP และ H_2O_2 ของเงื่อนไขการทดลอง PAW20 มีค่าเท่ากับ 7.45, 225 µS/cm, 148.53 mV, 5.88 ppm และ PAW-UV20 มีค่าเท่ากับ 7.15, 245 µS/cm, 162.77 mV และ 6.00 ppm โดยการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่มากที่สุดในน้ำนั้นเกิดจากเงื่อนไขการทดลองการกระตุ้นพลาสมาร่วมกับยูวีซี และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ายูวีซีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH, EC และ ORP ที่ช่วยส่งเสริมการเพิ่มปริมาณ H_2O_2 อย่างมีนัยสำคัญ คือทำให้ค่า pH ลดลง ค่า EC และ ORP เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: เทคโนโลยีไม่ใช้ความร้อน, น้ำกระตุ้นพลาสมา, ยูวีซี, คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Abstract

This research studies the application of non-thermal technology in the food industry between Plasma-activated water (PAW) and UV-C. For the purpose of proving that UVC irradiation combined with PAW can affect the physicochemical properties of pH, EC, ORP, hydrogen peroxide (H_2O_2), which can be employed for disinfection or decontamination of food. The experiments were divided into PAW alone versus PAW with UV-C exposure (PAW-UV), in which the exposure time was set at 10 and 20 min. Statistical evaluation was performed by ANOVA and Tukey comparison test. The results showed that at 10 min irradiation time, the measurements of pH, EC, ORP, H_2O_2 of the PAW10 are 7.53 215 µS/cm, 135.13 mV, 4.83 ppm, while PAW-UV10 are 7.44 223 µS/cm, 158.93 mV and 5.13 ppm, respectively. In the meantime, pH, EC, ORP, H_2O_2 of PAW20 were 7.45, 225 µS/cm, 148.53 mV, 5.88 ppm, while PAW-UV20 were 7.15, 245 µS/cm, 162.77 mV, 6.00 ppm, respectively. The greatest change in physicochemical values in water was caused by plasma activation experiments with UV-C. The results of statistical analysis revealed that UV-C affects the changes in pH, EC, ORP that significantly promote the H_2O_2 content increase, i.e., a decrease in pH, an increase in EC, an ORP.

Keywords: Non-thermal technologies, Plasma-activated water, UV-C, Physicochemical properties, Hydrogen peroxide (H_2O_2)

1. บทนำ

พลาสมาอุณหภูมิต่ำ หรือ cold plasma เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในอาหาร การเกษตร และเชิงการแพทย์ โดยเฉพราะพลาสมาอุณหภูมิต่ำที่เป็นลักษณะน้ำกระตุ้นพลาสมา (Plasma-activated water, PAW) อันเกิดจากการกระตุ้นพลาสมาในน้ำ โดย PAW นั้น สามารถกำจัดสิ่งที่ปนเปื้อนมากับอาหาร ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เช่น การกำจัดสารตกค้างยาฆ่าแมลงในผักผลไม้ รวมถึงการยับยั้งเชื้อก่อโรคในอาหาร เนื่องจากว่า PAW มีลักษณะคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ประกอบด้วยค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าศักยภาพการเกิดปฏิกิริยาการรับ-สูญเสียอิเล็กตรอน (ORP) ซึ่งส่งเสริมต่อการเกิดอนุมูลอิสระในน้ำคือ ไฮดรอกซิล (OH•) หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่เป็นตัวแปรสำคัญในการทำลายหรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับวัตถุดิบหรืออาหารขณะแช่น้ำหรือล้างน้ำ

และยูวีซี เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในขั้นตอนการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอาหาร โดยทั่วไปแล้วยูวีซีเมื่อถูกฉายในน้ำ จะส่งเสริมต่อการแตกตัวของน้ำให้เป็นไอออน ซึ่งสัมพันธ์ต่อการเพิ่มปริมาณของ H_2O_2 ในน้ำ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสมาร่วมกับการฉายรังสียูวีซี ในการผลิตน้ำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการลดการปนเปื้อนในอุตสาหกรรมอาหาร พร้อมหาเงื่อนไขการทดลองที่ดีสุดจากผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเคมีกายภาพที่สอดคล้องต่อการนำน้ำไปประยุกต์ใช้ในอนาคต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกียวข้อง

2.1 น้ำกระตุ้นพลาสมา

น้ำกระตุ้นพลาสมา หรือ Plasma-activated water, PAW เป็นการนำพลาสมาไปกระตุ้นในน้ำ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ OH• และ H_2O_2 ในกลุ่มของ ROS [1-4] PAW นั้นมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ โดยเฉพาะการเกิดขึ้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในน้ำ ซึ่ง H_2O_2 นี้ มีความสำคัญต่อการทำปฏิกิริยาในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอาหารและยังยั้งเชื้อก่อโรค เนื่องจากการกระตุ้นพลาสมาในน้ำจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระกลุ่ม ROS หรือ ไฮดรอกซิล (OH•) เมื่อจับตัวกันจะกลายเป็น H_2O_2 และสามารถเปลี่ยนกลับมาเป็น OH• ในน้ำได้เหมือนเดิม เนื่องจาก OH• หรือ H_2O_2 เป็นอนุมูลอิสระที่มีความไวต่อการจับกับสิ่งปนเปื้อนในน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างเคมีและชีวะส่งผลให้สาร หรือสิ่งปนเปื้อนนั้น ไม่สามารถคงสภาพลักษณะเดิมได้ จึงเกิดการสลายตัวหลุดออกจากผิววัตถุดิบที่ถูกแช่ใน PAW โดยคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ส่งเสริมต่อการเกิดหรือเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ H_2O_2 ได้ดีคือ มีความเป็นกรดในน้ำหรือค่าพีเอช (pH) ต่ำ ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) และ ค่าศักยภาพการเกิดปฏิกิริยาการรับและการสูญเสียอิเล็กตรอน (oxidation-reduction potential, ORP) สูง

2.2 ค่าคุณสมบัติเคมีกายภาพของน้ำกระตุ้นพลาสมา

pH หรือความเป็นกรด-ด่าง บ่งบอกถึงปริมาณของไฮโดรเจน (H) ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ในน้ำมีสภาวะความเป็นกรดมากขึ้น EC หรือค่าการนำไฟฟ้า บ่งบอกถึงศักยภาพการนำไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับอนุมูลอิสระ ROS หรือไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้น [5, 6] อันเกิดการแตกตัวเป็นประจุของอนุมูลอิสระที่เคลื่อนที่อยู่ในน้ำ [7] ซึ่งสัมพันธ์ต่อการเกิด OH• ในน้ำ และค่า ORP หรือศักยภาพการเกิดปฏิกิริยาการรับ-สูญเสียอิเล็กตรอน บ่งบอกถึงศักยภาพการทำปฏิกิริยาเคมีสิ่งที่ปนเปื้อนในน้ำจากการออกซิไดซ์-รีดิวซ์ หมายถึงการทำลายลักษณะโครงสร้างของสิ่งปนเปื้อนในน้ำทั้งลักษณะที่เป็นโครงสร้างทางเคมีและชีวภาพ [8]

2.3 การฉายรังสียูวีซี

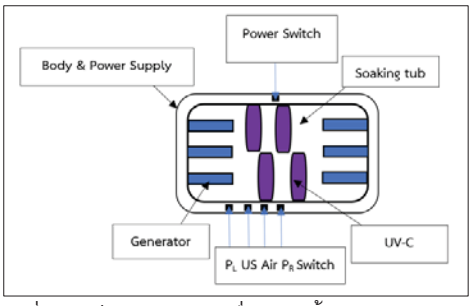
จากงานวิจัยในอดีตได้ทำการพิสูจน์เกี่ยวกับ ยูวี หรือ UV-C สามารถช่วยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH, EC และ ORP ที่ส่งเสริมต่อการเพิ่มปริมาณ H_2O_2 เมื่อทำงานร่วมกับการกระตุ้นพลาสมาในน้ำ จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระกลุ่ม RNS ร่วมกับ ROS ซึ่ง RNS จะทำหน้าที่เป็นอนุมูลอิสระที่ไวต่อแสงทางอ้อมเมื่อถูกรังสียูวีขณะกระตุ้นพลาสมาในน้ำจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระ OH• เพิ่มขึ้น การที่ PAW มีปริมาณ ของ H_2O_2 ที่เพิ่มขึ้น จะช่วยในเรื่องของการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับอาหาร หรือพืชผลทางการเกษตรได้ดียิ่งขึ้น [7, 8]

3. วัสดุและขั้นตอนในการทำวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาเงื่อนไขการทดลองที่ดีที่สุดในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีน้ำกระตุ้นพลาสมา ร่วมกับการฉายรังสียูวีซี โดยวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ค่า pH, EC ORP และ H_2O_2 ที่เกิดขึ้นในน้ำที่ผ่านการกระตุ้นพลาสมา โดยมีอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.1 เครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา

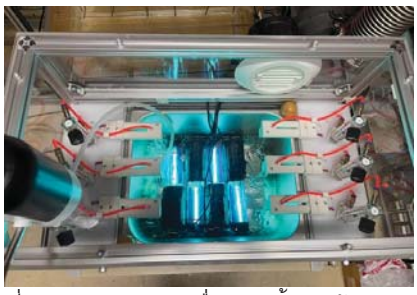
เป็นเครื่องที่ได้รับการพัฒนาโดยนักวิจัยของศูนย์วิจัยด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร่วมกับศูนย์วิจัยฟิสิกส์พลาสมาและลำอนุภาค คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีส่วนประกอบตัวเครื่องที่ประกอบไปด้วยระบบที่สำคัญคือ แหล่งกำเนิดพลังงานสูง (HV Power Supply), หัวกระตุ้นพลาสมา (Plasma Discard) 6 หัว ตัวถังใส่น้ำสำหรับการกระตุ้นน้ำพลาสมา ระบบยูวีซี พัดลมดูดอากาศ และวงจรควบคุม แสดงองค์ประกอบดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบของเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา

3.1.1 ระบบการทำงานของเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา

เมื่อเปิดระบบเครื่อง และทำการเปิดสวิตช์ให้พัดลมดูดอากาศจากภายนอกเข้าสู่ระบบการไหลอากาศในเครื่องสำหรับการสร้างพลาสมา โดยอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที ทำการเติมน้ำประปาลงไปในตัวถังของเครื่องให้ท่วมหัวกระตุ้นพลาสมา จากนั้นเปิดสวิตช์ที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับหัวกระตุ้นพลาสมา ซึ่งจะปล่อยกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดพลังงานสูงเข้าสู่หัวกระตุ้นพลาสมาทั้ง 6 หัว โดยลำแสงพลาสมาที่ถูกปล่อยในน้ำ จะกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ OH• สามารถวัดได้โดยการวัดค่า OES ซึ่งจะแสดงค่าการเกิด OH• ที่ความยาวคลื่น 309 นาโนเมตร [4 9, 10] ส่วนระบบยูวีซีจะทำการติดตั้งไว้บริเวณส่วนกลางของเครื่อง โดยมีสวิตช์ควบคุมเพื่อเปิดปิดได้ตามรูปแบบการทดลองที่ต้องการ ภาพของเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาพร้อมระบบยูวีซีแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การทำงานของเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา

3.2 การออกแบบการทดลอง

การทดลองเกี่ยวกับการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำกระตุ้นพลาสมา ประกอบด้วย การกระตุ้นพลาสมาในน้ำเพียงอย่างเดียว (PAW) และการกระตุ้นพลาสมาร่วมกับการฉายยูวีซีในน้ำ (PAW-UV) โดยกำหนดให้ใช้ระยะเวลากระตุ้นที่ 10 และ 20 นาที ซึ่งจะมีเงื่อนไขการทดลองทั้งสิ้น 4 รูปแบบประกอบด้วย PAW10, PAW20, PAW-UV10 และ PAW-UV20 โดยแต่ละรูปแบบการทดลองจะมีการทำการทดลองซ้ำทั้งสิ้น 3 ซ้ำ รวมเป็นจำนวนการทดลองทั้งหมด 12 การทดลอง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางการออกแบบการทดลองการวัดค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำกระตุ้นพลาสมา

เงื่อนไขการทดลอง	เวลา (นาที)	pH	EC (µS/cm)	ORP (mV)	H_2O_2 (ppm)
PAW	10				
	20				
PAW-UV	10				
	20				

3.3 การวัดค่า OES, pH, EC, ORP และ H_2O_2

3.3.1 การวัดการเกิดไฮดรอกซิล (OH•) ด้วยออปติคอลอีมิชันสเปกโทรสโกปี (Optical Emission Spectroscopy, OES)

เป็นการวัดค่า OES เพื่อดูการเกิดอนุมูลอิสระ OH• ที่ความยาวคลื่น 309 นาโนเมตร ซึ่งวัดด้วยเครื่องมือ Exemplar LS (BWTEX) เพื่อวัดแสงพลาสมาที่ถูกปล่อยในน้ำ และจะแสดงผลเป็นค่าการเปล่งแสงกับค่าความยาวคลื่น

3.3.2 การวัดค่า pH, EC, ORP

เป็นการวัดค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ในส่วนของ pH, EC, ORP สามารถใช้เครื่องวัดแบบตั้งโต๊ะ (Benchtop pH/ORP/Ion Meter, Horiba) ซึ่งมีหัววัด 2 แบบและสามารถเปลี่ยนโหมดตามการวัด pH และ ORP ได้ ขั้นตอนการวัดคือ นำน้ำที่ถูกกระตุ้นแล้วใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และน้ำหัววัดของ pH และ ORP จุ่มลงในน้ำปรับโหมดตามการวัดค่า และอ่านค่าบนหน้าจอ ส่วน EC สามารถวัดด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC33-Horiba-LAQUAtwin) โดยนำน้ำที่ผ่านการกระตุ้นมาหยดใส่ในช่องตัวเครื่องแล้วปิดฝาและอ่านค่าบนหน้าจอ

3.3.3 การวัดค่า H_2O_2

การวัด H_2O_2 จะใช้เครื่อง Spectroquamt Hydrogen peroxide Test โดยมีขั้นตอนการทดสอบคือ ปิเปตต์สาร H_2O_2-1 ลงในหลอดทดลอง 0.50 มิลลิลิตร ตามด้วยใส่ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกระตุ้นพลาสมา 8.0 มิลลิลิตร และตามด้วยสาร H_2O_2-2 0.50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำตัวอย่างผสมใส่ในคิวเวทท์ขนาด 3.5 มิลลิลิตร เข้าเครื่องวัดสเปกโทรสโกปี แล้วนำหลอดการตั้งค่าของ H_2O_2 ใส่ลงไปในช่องอ่านคิวอาร์โคดของเครื่องเครื่องวัดสเปกโทรสโกปี แล้วกดสตาร์ทเพื่ออ่านค่าบนหน้าจอเครื่อง

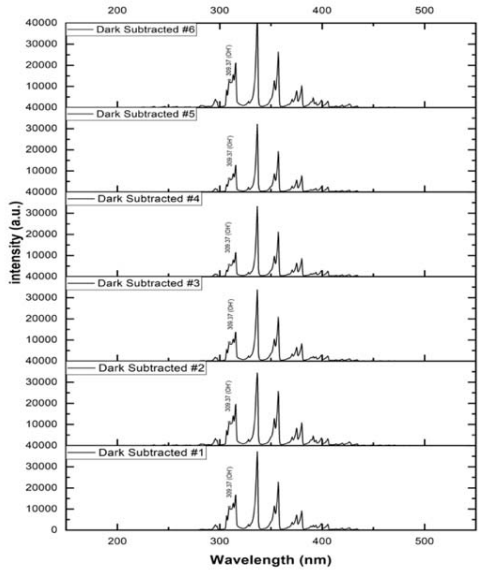
3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการทดลองในส่วนของค่า pH, EC , ORP และ H_2O_2 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และค่าเปรียบเทียบกลุ่มค่าเฉลี่ยแบบ ทูคีย์ (Tukey) โดยทำการทดลองวัดค่า pH, EC , ORP และ H_2O_2 ที่ 3 ซ้ำต่อหนึ่งเงื่อนไขการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab เวอร์ชั่น 19

4. ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการวัดการเกิดไฮดรอกซิล (OH•) ด้วย OES

ในการสร้างน้ำกระตุ้นพลาสมาด้วยระบบไฟแบ็คเจนเนอเรเตอร์ (flyback generators) ได้ทำการวัดค่า OES ที่แสดงถึงการปล่อยอนุมูลอิสระ OH• ของแสงพลาสมาที่ความยาวคลื่นที่ช่วง 307 ถึง 309 ทั้ง 6 หัว แสดงดังรูปที่ 3 ที่มีลักษณะของกราฟใกล้เคียงกัน ผลการวัดนี้แสดงว่าระหว่างการกระตุ้นพลาสมาในน้ำมีการปล่อยอนุมูลอิสระ OH•



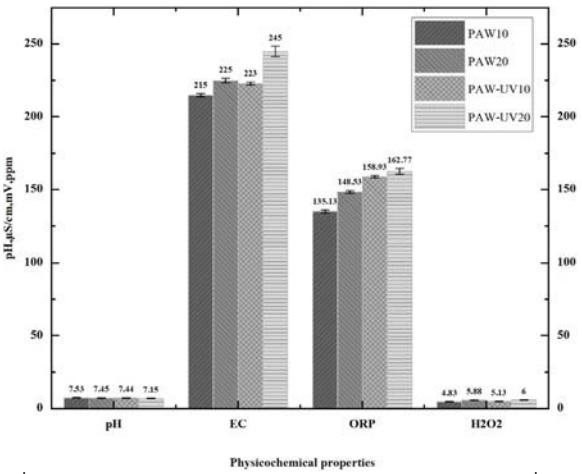
รูปที่ 3 ผลการวัด OES แสดงการเกิด OH• ช่วงความยาวคลื่น 309 นาโนเมตร

4.1.2 ผลการทดลองการวัดค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

ผลการวัดค่า pH, EC (µS/cm), ORP (mV) และ H_2O_2 (ppm) แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 4 สำหรับการทดลองการกระตุ้นพลาสมาในน้ำเพียงอย่างเดียวและการทดลองการกระตุ้นพลาสมาร่วมกับการฉายยูวีซีในน้ำ ซึ่งค่า pH, EC, ORP และ H_2O_2 เริ่มต้นก่อนการกระตุ้นพลาสมาเท่ากับ 7.86, 210 µS/cm, 201mV และ 0 ppm ตามลำดับ จากนั้นทำการกระตุ้นพลาสมา (PAW) 10 นาที สามารถวัดค่า pH, EC, ORP และ H_2O_2 ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.53 215 µS/cm, 135.13 mV และ 4.83 ppm ตามลำดับ และที่ 20 นาที เท่ากับ 7.45, 225 µS/cm, 148.53 mV, 5.88 ตามลำดับ แต่เมื่อกระตุ้นพลาสมาในน้ำร่วมกับการฉายยูวีซี (PAW-UV) ที่ 10 นาที สามารถวัดค่า pH, EC, ORP และ H_2O_2 ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.44 223 µS/cm, 158.93 mV และ 5.13 ppm ตามลำดับ และที่ 20 นาที ค่า pH, EC, ORP และ H_2O_2 เท่ากับ 7.15, 245 µS/cm, 162.77 mV และ 6.00 ppm ตามลำดับ จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการกระตุ้นที่เวลาเดียวกัน การเพิ่มการฉายรังสียูวีซีร่วมกับการกระตุ้นพลาสมาในน้ำ ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ H_2O_2 ได้ อย่างไรก็ตามการที่จะพิสูจน์ว่ายูวีซีมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณ H_2O_2 นั้นต้องนำผลการทดลองนี้ไปวิเคราะห์ทางสถิติว่าปริมาณของ H_2O_2 มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2 การวัดค่า pH, EC ORP และ H_2O_2 ของน้ำกระตุ้นพลาสมา (PAW) และ พลาสมาร่วมกับยูวีซี (PAW-UV)

เงื่อนไขการทดลอง	เวลาการกระตุ้น (นาที)	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ			
		pH	EC (µS/cm)	ORP (mV)	H_2O_2 (ppm)
Tap Water	-	7.86	201	130.56	-
PAW	10	7.53	215	135.13	4.83
	20	7.45	225	148.53	5.88
PAW-UV	10	7.44	223	158.93	5.13
	20	7.15	245	162.77	6.00



รูปที่ 4 กราฟแสดงผลการวัดค่า pH, EC, ORP และ H_2O_2 ในเงื่อนไขการทดลองระหว่าง PAW กับ PAW-UV

4.2 การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติของการทดลองคุณสมบัติทางเคมีกายภาพในน้ำพลาสมา

เมื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วย One-way ANOVA และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey พบว่า การฉายรังสียูวีซีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่า pH, EC, ORP และ H_2O_2 จากการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey

เงื่อนไขการทดลอง	เวลา (นาที)	pH*	EC* (µS/cm)	ORP* (mV)	H_2O_2* (ppm)
PAW	10	7.53 ± 0.01^a	215 ± 1.00^c	135.13 ± 1.08^d	4.83 ± 0.08^c

	20	7.45 ± 0.02^{b}	225 ± 1.53^{b}	148.53 ± 0.90^{c}	5.88 ± 0.03^{a}
PAW-UV	10	7.44 ± 0.03^{b}	223 ± 1.00^{b}	158.93 ± 0.70^{b}	5.13 ± 0.04^{b}
	20	7.17 ± 0.02^{c}	245 ± 3.61^{a}	162.77 ± 1.89^{a}	6.00 ± 0.02^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ระบุ a, b, c และ d แสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากการทดสอบทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% หรือ $p < 0.05$ โดยมีสัญลักษณ์ * แสดงถึงผลตอบที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และ ns แสดงถึงผลตอบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH

จากการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ พบว่าในส่วนของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดหรือค่า pH เมื่อเปรียบเทียบเงื่อนไขการทดลอง PAW และ PAW-UV ที่ระยะเวลาการกระตุ้นพลาสมาเดียวกันที่ 10 นาที พบว่าค่าเฉลี่ยของทั้งสองเงื่อนไขการทดลองคือ PAW10 และ PAW-UV10 ถูกจัดกลุ่มเป็น a และ b ตามลำดับ และที่ 20 นาที ค่าเฉลี่ยของทั้งสองเงื่อนไขการทดลองคือ PAW20 และ PAW-UV20 ถูกจัดกลุ่มเป็น b และ c ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลาการกระตุ้นพลาสมาในน้ำเวลาเดียวกันค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการฉายยูวีซีในน้ำระหว่างกระตุ้นพลาสมา ส่งผลให้ค่า pH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการกระตุ้นพลาสมาในน้ำเพียงอย่างเดียว ซึ่งหมายความว่าในน้ำพลาสมามีความเป็นกรดมากขึ้นบ่งบอกถึงปริมาณไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น และไฮโดรเจนคือธาตุที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ OH• หรือ H_2O_2 [7, 8]

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของค่า EC

การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า หรือ EC เมื่อเปรียบเทียบเงื่อนไขการทดลอง PAW และ PAW-UV ที่ระยะเวลาการกระตุ้นพลาสมาเดียวกันที่ 10 นาที ค่าเฉลี่ยของทั้งสองเงื่อนไขการทดลองคือ PAW10 และ PAW-UV10 ถูกจัดกลุ่มเป็น c และ b ตามลำดับ และที่ 20 นาที ค่าเฉลี่ยของทั้งสองเงื่อนไขการทดลองคือ PAW20 และ PAW-UV20 ถูกจัดกลุ่มเป็น b และ a ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลาการกระตุ้นพลาสมาในน้ำเวลาเดียวกัน ค่า EC มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้เนื่องมาจากการฉายยูวีซีในน้ำระหว่างกระตุ้นพลาสมา ส่งผลให้ค่า EC เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการกระตุ้นพลาสมาในน้ำเพียงอย่างเดียว ซึ่งหมายความว่าในน้ำพลาสมามีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้นบ่งบอกถึงปริมาณไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไอออนขั้วบวก และสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเจนในน้ำทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น H_2O_2 [7, 8]

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงของค่า ORP

การเปลี่ยนแปลงของค่า ORP ที่ระยะเวลาการกระตุ้นพลาสมาในน้ำที่เวลาเดียวกันหรือแตกต่างกัน พบว่าทั้ง 4 เงื่อนไขการทดลองคือ PAW10, PAW20, PAW-UV10 และ PAW-UV20 มีค่าเฉลี่ยของ ORP ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยค่าเฉลี่ยดังกล่าวถูกจัดกลุ่มให้เป็นกลุ่ม d, c, b และ a ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า ORP มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงของค่า ORP ที่เกิดขึ้นนี้ เนื่องมาจากการฉายยูวีซีในน้ำระหว่างกระตุ้นพลาสมา ส่งผลให้ค่า ORP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการกระตุ้นพลาสมาในน้ำเพียงอย่างเดียว ซึ่งหมายความว่าระหว่างการทำปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวกับการออกซิไดซ์-รีดิวซ์ เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนหรืออิเล็กตรอนได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งส่งเสริมต่อการเกิด H_2O_2 ในน้ำพลาสมาเพิ่มขึ้น [7, 8]

4.2.4 การเปลี่ยนแปลงของค่า H_2O_2

การวิเคราะห์การเกิดปริมาณความเข้มข้นของ H_2O_2 ที่สัมพันธ์กับค่า pH, EC และ ORP โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณ ROS หรือ H_2O_2 ขึ้นกับค่า pH ต่ำ ซึ่งค่า pH ที่ต่ำนั้น บ่งบอกถึงปริมาณไฮโดรเจนที่อยู่ในน้ำ ค่าความเป็นกรดในน้ำที่ลดลงจะแสดงถึงปริมาณไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้น และ ไฮโดรเจน มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าในน้ำรวมถึงการรับและสูญเสียอิเล็กตรอน ค่า EC และ ORP สูง เมื่อพิจารณาปริมาณของ H_2O_2 ในเงื่อนไขการทดลอง PAW และ PAW-UV ที่ระยะเวลาการกระตุ้นพลาสมาเดียวกัน ที่ 10 นาที ค่าเฉลี่ยของทั้งสองเงื่อนไขการทดลองคือ PAW10 และ PAW-UV10 ถูกจัดกลุ่มเป็น c และ a ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลาการกระตุ้นพลาสมาในน้ำเวลา 10 นาที ค่า H_2O_2 มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงของค่า H_2O_2 ที่เกิดขึ้นนี้ เนื่องมาจากการฉายยูวีซีในน้ำระหว่างกระตุ้นพลาสมา ส่งผลให้ค่า H_2O_2 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการกระตุ้นพลาสมาในน้ำเพียงอย่างเดียว และที่ 20 นาที ค่าเฉลี่ยของทั้งสองเงื่อนไขการทดลองคือ PAW20 และ PAW-UV20 ถูกจัดกลุ่มเป็น a ซึ่งหมายความว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า H_2O_2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการเพิ่มยูวีซีเข้ามาช่วยในระหว่างการกระตุ้นพลาสมาในน้ำ ยังคงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพในทิศทางที่ส่งเสริมต่อการเกิดปริมาณ H_2O_2 [7, 8]

4.3 การอภิปรายผลการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

การอภิปรายผลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำกระตุ้นพลาสมาและยูวีซีในงานวิจัยนี้ โดยใช้น้ำประปาซึ่งหากเป็นการกระตุ้นด้วยพลาสมาเพียงอย่างเดียวที่ระยะเวลา 20 นาที ค่า pH, EC, ORP จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.45, 148.53 และ 225 ตามลำดับ เนื่องจากน้ำประปาเป็นน้ำที่ประกอบไปด้วยแร่ธาตุต่างโดยเฉพาะโลหะ Fe ซึ่งไม่ได้มีความบริสุทธิ์เท่ากับ DI หรือน้ำกลั่น เมื่อกระตุ้นพลาสมาในน้ำประปา จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเฟนตัน (Fenton reaction) ระหว่าง H_2O_2 กับ เกลือโลหะ Fe^{2+} ดังสมการที่ 1 กล่าวคือ

เมื่อน้ำประปาเกิดการแตกตัวด้วยแสงหรือรังสี จะทำให้ได้ $OH^{\bullet}$ ในน้ำบางส่วนซึ่ง $OH^{\bullet}$ เป็นอนุมูลอิสระที่มีความความสามารถสูง ไปจับกับ Fe^{2+} ต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ [11] จึงส่งผลต่อค่า pH, EC และ ORP แต่เมื่อกระตุ้นพลาสมาด้วยน้ำประปาร่วมกับยูวีซี ที่ 20 นาที ทำให้ค่า pH, EC และ ORP เท่ากับ 7.15, 162.77 และ 245 ตามลำดับ คือค่า pH ลดลง ค่า EC และ ORP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากยูวีซีและยูวีโฟตอนที่เกิดจากการกระตุ้นพลาสมา เป็นตัวส่งเสริมทำให้เกิดอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิแดนซ์ ระดับที่ 2 (secondary oxidants) ที่มีความเป็นกรดสูง เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ (superoxide) ไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$) ดังเช่นในสมาการที่ 2 อย่างไรก็ตามค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ยังอยู่ในช่วงที่ส่งผลต่อปริมาณการเพิ่ม H_2O_2 ที่สามารถนำไปวิจัยต่อยอดเกี่ยวกับการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอาหารหรือวัตถุดิบทางการเกษตรได้ [7, 8, 12]

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \longrightarrow Fe^{2+} + 2OH^{\bullet} \quad (1)$$

$$H_2O + h\nu \longrightarrow H_2O^{+\bullet} + e^{-} \quad (2)$$

5. สรุป

จากผลการดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงเคมีกายภาพของน้ำจากการกระตุ้นด้วยพลาสมาและยูวีซี พร้อมทั้งหาปัจจัยการทดลองที่ดีที่สุดที่ส่งเสริมต่อประสิทธิภาพต่อการนำไปใช้ลดการปนเปื้อนหรือยับยังเชื้อก่อโรคในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งพบว่าเมื่อฉายรังสียูวีร่วมกับการกระตุ้นพลาสมาส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณ H_2O_2 อย่างมีนัยสำคัญ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพในน้ำพลาสมาที่ประกอบไปด้วยค่า pH, EC และ ORP อย่างมีนัยสำคัญที่ โดยการกระตุ้นน้ำพลาสมาร่วมกับการฉายยูวีสามารถทำให้ค่า pH ในน้ำต่ำ ทำให้ค่า EC และ ORP สูง โดยมีเงื่อนไขการทดลองที่ดีที่สุด คือสามารถทำให้เกิดปริมาณ H_2O_2 ในน้ำพลาสมาได้มากที่สุดคือ การกระตุ้นพลาสมาร่วมกับการฉายยูวีที่ 20 นาที (PAW-UV20) ทำให้ได้ปริมาณ H_2O_2 เท่ากับ 6.00 ppm เมื่อเทียบกับเงื่อนไขการทดลองการกระตุ้นพลาสมามาในน้ำเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 5.88 ppm นอกจากนั้นการเปรียบเทียบเชิงสถิติด้วย One-way ANOVA (Tukey comparison test) ของคุณสมบัติเชิงเคมีกายภาพทั้งค่า pH EC และ ORP ก็ยังยืนยันผลความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการกระตุ้นด้วยพลาสมาเพียงอย่างเดียวและพลาสมาร่วมกับการฉายรังสียูวีซี โดยผลงานครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพลาสมา โดยจะนำไปสู่การยืนยันผลด้วยการทดสอบการลดสารปนเปื้อนหรือการยับยั้งเชื้อก่อโรคในอนาคต ก่อนมีการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Royintarat, T., et al., Chemical-free and synergistic interaction of ultrasound combined with plasma-activated water (PAW) to enhance microbial inactivation in chicken meat and skin. Scientific reports, 2020. 10(1): p. 1-14.

[2] Xu, Y., et al., Effect of plasma activated water on the postharvest quality of button mushrooms, Agaricus bisporus. Food Chemistry, 2016. 197: p. 436-444.

[3] Ma, R., et al., Non-thermal plasma-activated water inactivation of food-borne pathogen on fresh produce. Journal of hazardous materials, 2015. 300: p. 643-651.

[4] Phan, K.T.K., et al., Non-thermal plasma for elimination of pesticide residues in mango. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018. 48: p. 164-171.

[5] Bhilwadikar, T., et al., Decontamination of Microorganisms and Pesticides from Fresh Fruits and Vegetables: A Comprehensive Review from Common Household Processes to Modern Techniques. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2019. 18.

[6] Wang, Q. and D. Salvi, Recent progress in the application of plasma-activated water (PAW) for food decontamination. Current Opinion in Food Science, 2021. 42: p. 51-60.

[7] Thirumdas, R., et al., Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture. Trends in Food Science & Technology, 2018. 77: p. 21-31.

[8] Zhou, R., et al., Cold atmospheric plasma activated water as a prospective disinfectant: The crucial role of peroxynitrite. Green Chemistry, 2019. 20.

[9] Royintarat, T., et al., Mechanism and optimization of non-thermal plasma-activated water for bacterial inactivation by underwater plasma jet and delivery of reactive species underwater by cylindrical DBD plasma. Current Applied Physics, 2019. 19(9): p. 1006-1014.

[10] Thirumdas, R., C. Sarangapani, U.S. Annapure, Cold plasma: a novel non-thermal technology for food processing. Food biophysics, 2015. 10(1): p. 1-11.

[11] Ghaly, M.Y., et al., Photochemical oxidation of p-chlorophenol by UV/H2O2 and photo-Fenton process. A comparative study. waste management, 2001. 21(1): p. 41-47.

[12] Fridman, A., Plasma chemistry. 2008: Cambridge university pres

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

เปิดรับสมัคร

รับสมัครในภาคการศึกษาต้น และภาคการศึกษาปลาย ของทุกปี

ปริญญาโท

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม (วศ.ม)
แผน ก แบบ ก 1 (วิทยานิพนธ์)
มีค่าเทียบเท่า 36 หน่วยกิต
แผน ก แบบ ก 2 (วิทยานิพนธ์
และมีรายวิชาที่ต้องศึกษาเพิ่มเติม)
ไม่น้อยกว่า 36 หน่วยกิต

การสมัครและการสอบคัดเลือก

- โครงการปกติ รับเข้าศึกษา 5 คน
- โครงการพิเศษรับเข้าศึกษา 25 คน
- สอบสัมภาษณ์

ปริญญาเอก

หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม (ปร.ด.)
แบบ 2.1 (วิทยานิพนธ์ และมีรายวิชา
ที่ต้องศึกษาเพิ่มเติม)
ไม่น้อยกว่า 57 หน่วยกิต

การสมัครและการสอบคัดเลือก

- โครงการปกติ รับเข้าศึกษา 2 คน
- มีผลสอบภาษาอังกฤษเทียบเคียงได้
ตามเกณฑ์ CEFR ไม่ต่ำกว่าระดับ A2
- สอบสัมภาษณ์

รายละเอียดการรับสมัคร
www.graduate.su.ac.th

Department of
Industrial Engineering
and Management



สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ (ชั้น
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปา
โทรศัพท์ 0-3421-9362 โทรสาร 0-3421-9362

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม

หลักสูตรที่เปิดการเรียนการสอน

1. ปริญญาตรี 4 ปี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
   - สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
2. ปริญญาตรี 2 ปี (ต่อเนื่อง) อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
   - สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม
3. ปริญญาโท อุตสาหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
   - สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม



สนใจสมัครได้ที่

WWW.GRAD.ADMISSION.KMUTNB.AC.TH (ปริญญาโท)
WWW.ADMISSION.KMUTNB.AC.TH (ปริญญาตรี)

0-2555-2000 ต่อ 2405-2417

GRAD@GRAD.KMUTNB.AC.TH

FITM

เอสซีจี บริษัทยั่งยืนระดับโลก 18 ปีต่อเนื่อง จาก DJSI

ทุ่มเท เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีและโลกที่ยั่งยืน
มุ่งสู่องค์กรก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ในปี 2593



Member of
Dow Jones Sustainability Indices
Powered by the S&P Global CSA

รายละเอียดเพิ่มเติม
www.scg.com

เอสซีจี ได้รับการประเมินและจัดอันดับในดัชนีความยั่งยืน Dow Jones Sustainability Indices หรือ DJSI ให้เป็นบริษัทยั่งยืนระดับโลก ประเภท DJSI World และ DJSI Emerging Markets ในสาขาอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง (Construction Materials) ในปี 2564 ต่อเนื่องเป็นปีที่ 18 โดยเอสซีจี เป็นองค์กรแรกในอาเซียนที่ได้รับเลือกให้เป็นสมาชิกตั้งแต่ปี 2547

เอสซีจี มุ่งมั่นพัฒนาคุณภาพชีวิตที่ดีในวันนี้ และส่งต่อโลกใบนี้ที่ดียิ่งขึ้นให้คนรุ่นต่อไป เพื่อบรรลุเป้าหมายความยั่งยืนของโลก ด้วยการดำเนินธุรกิจไปพร้อมกับกลยุทธ์ ESG (Environmental, Social, Governance) อย่างสมดุล ตามคำมั่นสัญญา "Passion for Better"

SCG

Minitab®

Powerful statistical software everyone can use

Download your free 30-day trial today:

Get Started

SOLUTION CENTER

Minitab AUTHORIZED PARTNER

MINITAB REPRESENTATIVE IN THAILAND

Solution Center Co., Ltd.

17th A.P.Nakarintr Bldg., 88 Soi Lasalle 58, Bangna Tai
Bangna Bangkok 10260 Thailand

www.SolutionCenterMinitab.com

minitab.thailand minitab thailand @scm-minitab

Data Analysis

Minitab®

Powerful statistical software everyone can use

Data Transformation

Minitab Connect™

Data access, automation, and governance for comprehensive insights

Predictive Modeling

SPM®

Machine learning and predictive analytics software

Online Stat Training

Quality Trainer®

Master statistics and Minitab anywhere with online training

Visual Business Tools

Minitab Workspace®

Visual tools to ensure process and product excellence

Project Ideation & Execution

Minitab Engage™

Start, track, manage, and execute innovation and improvement initiatives

Minitab®, Minitab Workspace and the Minitab® logo are registered trademarks of Minitab, LLC in the United States and other countries. See minitab.com/legal/trademarks for more information.

©2021, Minitab, LLC. All Rights Reserved.



Collaborative robotics portfolio
Built to work together

Easy to operate, safe, and offering fast, precise, and repeatable performance, ABB's family of cobots help you expand your production horizons. Whatever you need, we're here to support you along every single step of your automation journey.
abb.com/robotics

ABB



ISN 978-974-641-807-2