





FACULTY OF ENGINEERING
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

IE NETWORK 2025

THE 43rd CONFERENCE OF INDUSTRIAL ENGINEER NETWORK 2025

"INTELLIGENT AND SUSTAINABLE INDUSTRY : CUTTING-EDGE TECHNOLOGIES FOR A RESILIENT FUTURE"

บทความฉบับสมบูรณ์
Proceedings

MAY 7-9, 2025

DEEVANA PLAZA KRABI AONANG, KRABI

THAILAND



จัดทำโดย

สมาคมข่ายงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ
และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์


HOYA
SURGICAL OPTICS
1994
HOYA เริ่มพัฒนาผลิตภัณฑ์เลนส์แก้วตาเทียมสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคต้อกระจกเพื่อขาย ในประเทศญี่ปุ่น
บริษัทแรกในโลก ที่ผลิตเลนส์แก้วตาเทียม โดยใช้วัสดุ PMMA เป็นเลนส์ชนิดแข็งสีเหลือง แบบ Single Piece ที่มีคุณสมบัติช่วยกรองแสงสีฟ้า
2003
วางขายผลิตภัณฑ์ AF-1 เลนส์แก้วตาเทียมสีใส ชนิดนิ่มพับได้ ที่มีคุณสมบัติช่วยกรองแสงสีฟ้า ในตลาดยุโรป
1987
2004
เริ่มมีการผลิตครั้งแรกในภูมิภาคเอเชีย แปซิฟิค ซึ่งเป็นโรงงานตั้งอยู่ใน ประเทศสิงคโปร์
Innovation
Timeline
2008
ได้รับการรับรองจาก FDA ในสหรัฐอเมริกา สำหรับเลนส์แก้วตาเทียม HOYA แบบ 3-piece
2016
เริ่มการผลิตภัณฑ์เลนส์แก้วตาเทียม ในไทย ภายใต้ HOYA LAMPHUN
2017
Hoya Surgical Optics ได้เปิดตัวโรงงานผลิต แห่งที่ 2 ในจังหวัดลำพูน ประเทศไทย หรือ "HOYA SURGICAL OPTICS THAILAND (HSOT)"
2018
เริ่มขยายกำลังการผลิต และเริ่มโอนย้าย Mold process มายัง ประเทศไทย
2019
เปิดศูนย์กระจายสินค้า GDC ที่ชลบุรี เริ่มการผลิต Mold production ในประเทศไทย
2020
ขยายกำลังการผลิตเพื่อจำหน่าย ในตลาดญี่ปุ่นเริ่ม Sterilize process และ Inhouse packaging
2022
เริ่มการผลิต Button Process ในประเทศไทย
2023
ได้รับการรับรองจาก FDA ในสหรัฐอเมริกา เพื่อวางขายเลนส์แก้วตาเทียมที่ผลิตจากโรงงานประเทศไทย ในตลาดอเมริกา
The Fastest Growing IOL Company in the World
โรคต้อกระจก เป็นสาเหตุของอาการตาบอดที่เกิดขึ้นทั่วโลก โดยการผ่าตัดต้อกระจกถือเป็นหนึ่งในการผ่าตัดดวงตาที่พบบ่อยมากที่สุดในโลก และคาดว่าจำนวนการผ่าตัดต้อกระจกทั่วโลก จะเพิ่มขึ้นเป็น 33.4 ล้านครั้งภายในปี 2024
ที่ HOYA Surgical Optics เราช่วยให้ศัลยแพทย์สามารถรักษาการมองเห็น และเพิ่มคุณภาพชีวิตให้กับผู้คนนับล้านที่ป่วยเป็นโรคต้อกระจกได้ เพื่อช่วยให้พวกเขาได้ใช้ชีวิตมองเห็นได้เหมือนเดิม
ผลิตภัณฑ์ของเรามีความสะดวกในการใช้งาน ความปลอดภัย และความน่าเชื่อถือ HOYA Surgical Optics เป็นหนึ่งผลิตภัณฑ์ของ HOYA Corporation ซึ่งเป็นบริษัทเทคโนโลยีระดับโลกที่ตั้งอยู่ในญี่ปุ่น มีประสบการณ์มากกว่า 80 ปี ในด้านการออกแบบ และนวัตกรรม Optic
HOYA Surgical Optics จึงเป็นบริษัทผลิตเลนส์แก้วตาเทียม (IOL) ที่เติบโตเร็วที่สุดในโลก
โดยเรามุ่งมั่นที่จะรักษาการมองเห็น และคุณภาพชีวิตของผู้คนนับล้านที่เป็นโรคต้อกระจก
Our Product
Intraocular lens : IOL คืออะไร ?
เลนส์แก้วตาเทียม
ใช้สำหรับรักษาโรคต้อกระจก
ปลูกถ่ายเข้าไปภายในดวงตาระหว่างการผ่าตัดต้อกระจก หลังจากทำการนำเลนส์ที่ขุ่นมัวออก
Injector
ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บรรจุเลนส์ และปลูกถ่ายเลนส์แก้วตาเทียม เข้าสู่ตาของผู้ป่วย ในขณะการผ่าตัด
Lens
ตัวเลนส์
Haptics
ส่วนขา
ทำหน้าที่ยึดเลนส์แก้วตาเทียม กับ Capsular bag ภายในดวงตา
CONTACT US
Address: 75/2 Moo 4 Tambol Banklang Muang Lamphun 51000 Thailand
Telephone: +66 53-582484
E : mail: i-hsot-hr@hoya.com
Visit us: www.hoyasurgicaloptics.com
ร่วมกันสร้างโลกใบใหม่ ให้กับผู้ป่วยต้อกระจก
Together, we make a world of difference in how patients see the world.

JORAKAY

“จระเข้” สร้างสรรค์นวัตกรรมงานก่อสร้างโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม และสังคมในทุกขั้นตอนตั้งแต่การพัฒนาสินค้า เลือกวัสดุ กระบวนการผลิต ไปจนถึงการลดของเสียตลอดวงจรของผลิตภัณฑ์ ภายใต้กรอบ “JORAKAY Sustainability Framework: 3P” เพื่อการดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืน

JORAKAY innovates in construction with care for the environment and society at every step – from product development and material selection to manufacturing and waste reduction – guided by the “JORAKAY Sustainability Framework: 3P” to ensure truly sustainable business.

JORAKAY GREEN PROCESS

สร้างงาน สร้างรายได้ และสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจพร้อม คำนึงถึงความยั่งยืนเพื่อให้ **"เราอยู่ได้"** อย่างยั่งยืน

Creates value, opportunity, and long-term impact, reinforcing our role as a **sustainable brand.**

JORAKAY GREEN PLANET

สร้างสิ่งแวดล้อมที่ดี โดยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในทุกกระบวนการทำงาน เพื่อให้ **"โลกอยู่ดี"**

Creates a better environment by reducing environmental impact in every process, working toward a **sustainable earth.**

JORAKAY GREEN PEOPLE

สร้างความสัมพันธ์ที่ดีกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย รวมถึงชุมชนและสังคมในการพัฒนาคนทุกกลุ่มเพื่อให้ **"สังคมมีสุข"**

Fosters bonds with stakeholders and communities, developing every group to achieve a **sustainable society.**

“จระเข้” ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผ่าน 5 กลยุทธ์ด้านความยั่งยืนเพื่ออนาคตที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ทั้ง 17 เป้าหมายขององค์การสหประชาชาติ

“JORAKAY” minimizes environmental impact through five sustainability strategies, aligned with all 17 UN Sustainable Development Goals (SDGs).



REDUCE CO_2

ลดการปล่อย CO_2 มากกว่า **18 ล้าน** $kgCO_2e$

REDUCE WASTE

ลดปริมาณขยะและของเสีย จัดการขยะ: recycle มากกว่า **160,000** kg.

REDUCE TOXIC MATERIALS

ลดกระบวนการ ที่ก่อให้เกิดสารพิษ ลดฝุ่น มากกว่า **3,900,000** kg.

CREATE SALE FROM JORAKAY GREEN PRODUCTS AND STANDARDS

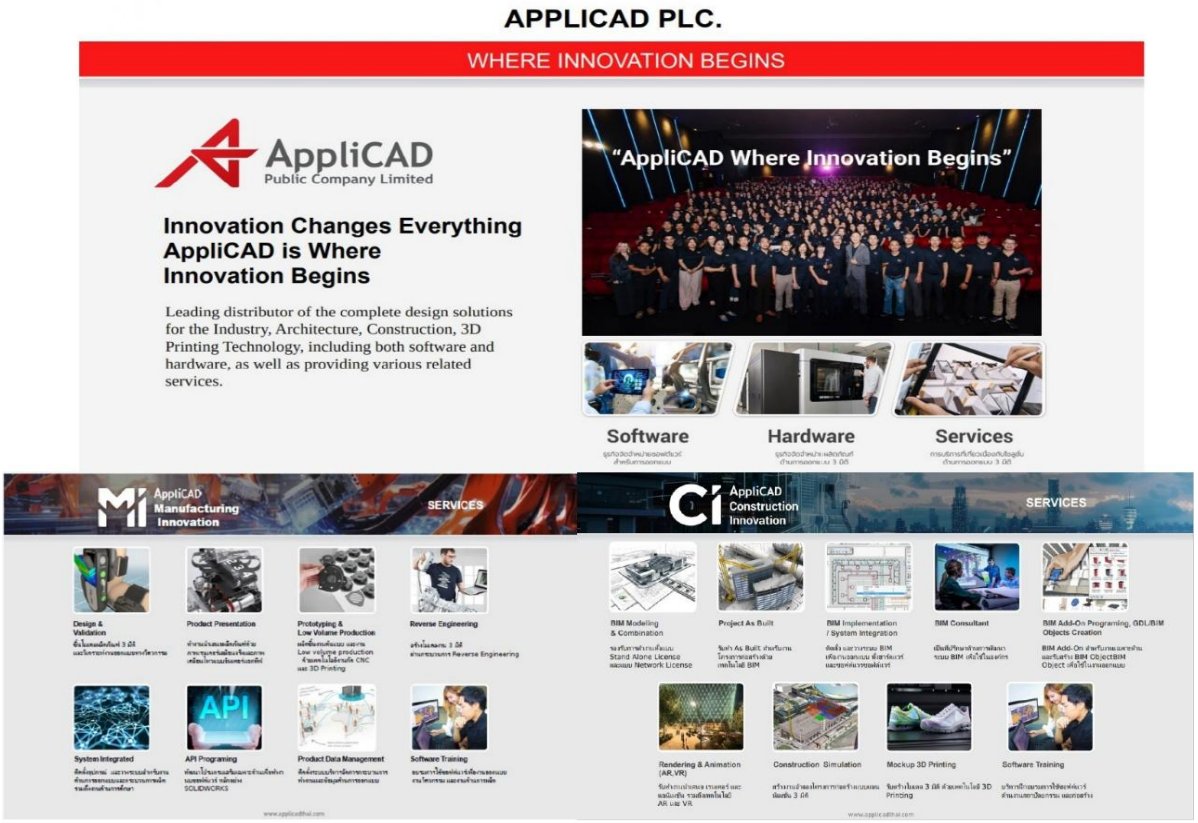
เพิ่มสัดส่วนยอดขายสินค้า ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มากกว่า **63%**

CREATE BETTER LIVING BY SUPPORTING EDUCATION, HEALTH, ENVIRONMENT ACTIVITIES

สนับสนุนกิจกรรมส่งเสริม คุณภาพชีวิต พร้อมพัฒนาทักษะ เยาวชน และคนในสังคม มากกว่า **20,000** คน

Build Today, Beyond Tomorrow

Jorakay Sustainability


APPLICAD PLC.
WHERE INNOVATION BEGINS
AppliCAD
Public Company Limited
Innovation Changes Everything
AppliCAD is Where
Innovation Begins
Leading distributor of the complete design solutions for the Industry, Architecture, Construction, 3D Printing Technology, including both software and hardware, as well as providing various related services.
"AppliCAD Where Innovation Begins"
Software
Hardware
Services
AppliCAD Manufacturing Innovation
SERVICES
Design & Validation
Product Presentation
Prototyping & Low Volume Production
Reverse Engineering
System Integrated
API Programing
Product Data Management
Software Training
AppliCAD Construction Innovation
SERVICES
BIM Modeling & Combination
Project As Built
BIM Implementation / System Integration
BIM Consultant
BIM Add-On Programing, GDL/BIM Objects Creation
Rendering & Animation (AR,VR)
Construction Simulation
Mockup 3D Printing
Software Training


SyncInnovation
บริษัท ซิงค์ อินโนเวชั่น จำกัด ก่อตั้งขึ้นด้วยเป้าหมายสำคัญในการเป็นผู้จัดจำหน่ายเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่มีคุณภาพสูง จากแบรนด์ชั้นนำระดับโลก เพื่อตอบสนองความต้องการที่หลากหลาย ตั้งแต่กลุ่มผู้ใช้งานทั่วไป นักออกแบบ นักวิจัย ไปจนถึงกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่ เพื่อใช้ในการผลิต
บริษัทฯ มุ่งมั่นคัดสรรเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ เพื่อนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดให้กับลูกค้าแต่ละกลุ่มการใช้งาน พร้อมบริการด้านการขายที่เป็นมืออาชีพ มีทีมงานที่เชี่ยวชาญคอยให้คำปรึกษา แนะนำการใช้งาน และดูแลหลังการขายอย่างครบวงจร เพื่อสร้างประสบการณ์ที่ดีและความเชื่อมั่นสูงสุดให้กับลูกค้า
บริษัทฯ ยังคงเดินหน้าพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้นเพื่อนำเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติใหม่เข้าสู่การผลิตในประเทศไทย


PRT
Siam Engineer
บริษัท พีอาร์ที สยามเอ็นจิเนียร์ จำกัด
45/8 หมู่1 ตำบลหน้าไม้ อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี 12140
โทรศัพท์ 02 149 9122, 092 502 2265 www.prtsiamengineer.com
มาตรฐาน ISO9001 & ISO14001
โรงงานสีเขียวระดับ 3
มาตรฐานผู้ผลิตชิ้นส่วนคุโบต้า
รับผลิตชิ้นส่วนโลหะทุกชนิด
ชิ้นส่วนโลหะ
รับผลิตแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปยาง
ยางพ่นปูน
รับผลิตขึ้นรูปยางตามแบบ
ยางรถปลูกมัน
high-Performance Rubber with Technology


Minitab Solution Center
A One Stop Shop for Analytics and Problem Solving in the Cloud
Minitab Statistical Software
Minitab Data Center
Minitab Brainstorm
Minitab Dashboard
Minitab AI
• ราคาย่อมเยาสำหรับภาคสถาบันการศึกษา
• สามารถอัพเกรดเวอร์ชั่นใหม่ได้ฟรี ตลอดอายุการใช้งาน
• มีบริการสนับสนุนทางเทคนิค และบริการอบรม
• สแกน QR-Code เพื่อลงทะเบียนรับโปรโมชั่นพิเศษ
Minitab AUTHORIZED PARTNER
SOLUTION CENTER
ติดต่อเรา บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด ตัวแทน Minitab ประเทศไทย
โทร 02-7486211 / เว็บไซต์ www.solutioncenterminitab.com





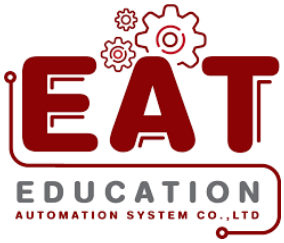
FlexSim
problem solved.®
FLEXSIM and the FLEXSIM logo are registered trademarks of FlexSim Software Products, Inc., an Autodesk, Inc. company.
DIGITAL TWIN
บริษัท ไออีไทยซอฟแวร์ จำกัด




ManA


ก ฟ ผ


FRONTLINE
ENGINEERING


EAT
EDUCATION
AUTOMATION SYSTEM CO.,LTD


APK
GREEN ENERGY




Research
and Innovation
กลุ่มงานสนับสนุนวิจัยและนวัตกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คำนำ

การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ (IE Network Conference) เป็นเวทีให้คณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ วิศวกร นิสิต และนักศึกษา จากทั้งภาครัฐและภาคเอกชน บุคคลทั่วไปในสาขาวิศวกรรมอุตสาหการและสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ประชุม แลกเปลี่ยนความรู้ประสบการณ์และงานวิจัย ร่วมนำเสนอบทความวิชาการ ผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์เพื่อให้เกิดความร่วมมือในการพัฒนาองค์ความรู้และเทคโนโลยี รวมถึงการถ่ายทอดและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอันส่งผลต่อการพัฒนาประเทศให้มีความก้าวหน้าในปี พ.ศ. 2568 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้รับเกียรติให้เป็นประธานจัดประชุมวิชาการเครือข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568 (IE NETWORK 2025) ระหว่างวันที่ 7 - 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2568 ณ โรงแรมดีวาน่า กระบี่ อ่าวนาง จังหวัดกระบี่ เพื่อเป็นการเฉลิมฉลองในโอกาสครบรอบ 50 ปี ของสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต ภายใต้แนวคิด “Intelligent and Sustainable Industry: Cutting-Edge Technologies for a Resilient Future” คณะกรรมการดำเนินงาน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568 มีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้เป็นส่วนร่วมในการสร้างเวทีที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมอุตสาหการ และเทคโนโลยีด้านการผลิตรวมถึงการถ่ายทอดและประยุกต์ใช้ ทางคณะกรรมการขอขอบพระคุณนักวิจัยนิสิต นักศึกษา คณาจารย์จากมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ผู้ให้การสนับสนุนและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ร่วมกันทำให้การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการในครั้งนี้สัมฤทธิ์ผลตามวัตถุประสงค์

คณะกรรมการดำเนินงาน
การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568
7 - 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

สารจากอธิการบดี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568
(IE Network 2025)
ระหว่างวันที่ 7 – 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2568
ณ โรงแรม ดีวาน่า พลาซ่า กระบี่ อ่าวนาง จังหวัดกระบี่



ในนามของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รู้สึกยินดีเป็นอย่างยิ่งที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต ได้รับมอบหมายให้เป็นเจ้าภาพการจัดประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการครั้งที่ 43 ประจำปีพุทธศักราช 2568 (IE Network 2025) เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการเฉลิมฉลองครบรอบ 50 ปีของสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การประชุมวิชาการ (IE Network 2025) ในครั้งนี้ จัดขึ้นภายใต้หัวข้อ “Intelligent and Sustainable Industry : Cutting-Edge Technologies for a Resilient Future” (อุตสาหกรรมอัจฉริยะและยั่งยืน: เทคโนโลยีล้ำสมัยเพื่อมุ่งสู่อนาคตที่ยืดหยุ่น) สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต เป็นสาขาหนึ่งที่มีส่วนสำคัญในการผลักดันและขับเคลื่อนพัฒนาองค์ความรู้สู่ภาคอุตสาหกรรมทั้งในด้านการสร้างนวัตกรรมใหม่การปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพในการดำเนินงานซึ่งล้วนส่งผลให้อุตสาหกรรมทุกภาคส่วนในประเทศไทยเกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและยั่งยืนต่อไป การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ เป็นการจัดการประชุมแลกเปลี่ยนความรู้ด้านวิศวกรรมอุตสาหการและสาขาอื่น ๆ เปิดโอกาสให้นักวิชาการ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา ตลอดจนบุคคลทั่วไปที่สนใจ ได้เข้าร่วมเพื่อพบปะแลกเปลี่ยน ร่วมนำเสนอบทความผลงานวิจัย เพื่อเผยแพร่สู่สาธารณชนให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ ๆ และเพิ่มประสบการณ์ทางด้านการวิจัย อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศ และก่อให้เกิดบทความทางวิชาการที่มีคุณภาพนำไปสู่การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานทางวิชาการในระดับชาติต่อไป

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ขอต้อนรับทุกท่านที่มาร่วมการประชุมในครั้งนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการในครั้งนี้จะเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมประชุมได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนความรู้ประสบการณ์และผลงานวิจัยเพื่อประโยชน์ในการเพิ่มพูนความรู้ส่งเสริมและพัฒนางานวิจัยที่มีคุณภาพเพื่อตอบสนองและพัฒนาประเทศชาติและสังคมต่อไป ขอให้การจัดประชุมในครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์ของการจัดงาน รวมถึงขอขอบคุณคณะกรรมการข่ายงานทุกท่านที่ร่วมแรงร่วมใจให้การจัดงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอบคุณครับ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัติ แก้วประดับ
อธิการบดี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สารจากคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568

(IE Network 2025)

ระหว่างวันที่ 7 – 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

ณ โรงแรม ดีวาน่า พลาซ่า กระบี่ อ่าวนาง จังหวัดกระบี่



ในนามของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รู้สึกเป็นเกียรติและมีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต ได้รับมอบหมายจากสมาคมข่ายงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ ให้เป็นเจ้าภาพการจัดประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568 โดยสมาคมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการนั้นเป็นองค์กรที่จัดตั้งขึ้นมาตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2525 เพื่อสร้างความร่วมมือด้านวิชาการ การแสดงผลงานความก้าวหน้าทางวิชาการ และแลกเปลี่ยนความรู้ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ภายใต้แนวคิด “Intelligent and Sustainable Industry : Cutting-Edge Technologies for a Resilient Future” (อุตสาหกรรมอัจฉริยะและยั่งยืน: เทคโนโลยีล้ำสมัยเพื่อมุ่งสู่อนาคตที่ยืดหยุ่น) เป็นแนวโน้มที่ได้รับความสนใจในกระแสสถานการณ์โลกในยุคปัจจุบัน ความรวดเร็วของการเปลี่ยนแปลงในทุกบริบททั้งภาคอุตสาหกรรม วัฒนธรรม รวมทั้งทางภาคการศึกษา การได้รับเกียรติให้เป็นผู้ดำเนินการจัดประชุมวิชาการ IE Network 2025 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภายใต้การดำเนินงานของสาขาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต จึงสะท้อนให้เห็นถึงความพร้อมทางด้านวิชาการและการมุ่งพัฒนางานวิจัยอย่างต่อเนื่องในสาขาอุตสาหการและการผลิตของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รวมถึงมหาวิทยาลัยต่างๆ ทั่วประเทศที่มาร่วมนำเสนอผลงานในครั้งนี้ การจัดการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการในครั้งนี้จึงเป็นโอกาสสำคัญที่ผู้ทรงคุณวุฒิ คณาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา ผู้สนับสนุนการประชุม วิศวกร ตลอดจนบุคคลทั่วไปที่สนใจ จะได้ร่วมปาฐกถา นำเสนออภิปราย พบปะแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน และนำเสนอบทความวิชาการด้านวิศวกรรมอุตสาหการและสาขาอื่น ๆ ที่จะนำไปสู่การสร้างประโยชน์ตามสายงาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มาเป็นเกียรติสำหรับการประชุมวิขาการครั้งนี้ รวมถึงผู้ร่วมนำเสนอบทความและผลงานวิจัย ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ วิทยากร และผู้ให้การสนับสนุนทุกท่าน รวมถึงคณะกรรมการจัดงานประชุมวิชาการที่ได้มีส่วนสำคัญยิ่งต่อการเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัย การร่วมใจการจัดงานประชุมวิชาการเป็นความร่วมมือเพื่อพัฒนางานวิจัยของไทยให้ก้าวหน้า รวมถึงการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ ที่จะนำไปสู่การสร้างเครือข่ายให้นักวิจัยได้ทำวิจัยร่วมกัน อันก่อให้เกิดการพัฒนางานวิจัยให้กว้างขวางยิ่งขึ้นกับการประชุมวิชาการ IE Network 2025 ต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิคม สุวรรณวร

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สารจากนายก
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568

(IE Network 2025)

ระหว่างวันที่ 7 – 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

ณ โรงแรม ดีวาน่า พลาซ่า กระบี่ อ่าวนาง จังหวัดกระบี่



ในนามของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ขอแสดงความยินดีและรู้สึกเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดย สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต ได้รับมอบหมายให้เป็นเจ้าภาพการจัดประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการครั้งที่ 43 ประจำปีพุทธศักราช 2568 (IE Network 2025) และขอแสดงความยินดีกับการเฉลิมฉลองครบรอบ 50 ปีของสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นสมาคมวิชาชีพด้านวิศวกรรมที่ดำเนินงาน เพื่อสังคมและสาธารณประโยชน์ โดยไม่แสวงหาผลกำไร มีวัตถุประสงค์ในการส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้ ประสบการณ์ทางด้านวิชาชีพตลอดจนมาตรฐานการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมและการรักษาจรรยาบรรณแห่งการปฏิบัติวิชาชีพ เพื่อให้วิศวกรไทยมีคุณภาพมาตรฐานทัดเทียมนานาอารยประเทศในการแข่งขันในเวทีโลก และเพื่อประโยชน์ต่อความปลอดภัยของสาธารณชน วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์มีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้ให้เกียรติเชิญเป็นเจ้าภาพร่วมจัดการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568 (IE Network 2025) ภายใต้แนวคิด “Intelligent and Sustainable Industry : Cutting-Edge Technologies for a Resilient Future” (อุตสาหกรรมอัจฉริยะและยั่งยืน : เทคโนโลยีล้ำสมัยเพื่อมุ่งสู่อนาคตที่ยืดหยุ่น) ด้วยมหาวิทยาลัยคือหนึ่งในเสาหลักที่ทำหน้าที่ผลิตบุคลากรทางด้านวิชาชีพวิศวกรรมให้มีคุณภาพ โดยการจัดงานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการครั้งนี้ จะเป็นเวทีให้นักวิชาการ นักวิจัย วิศวกร และนิสิตนักศึกษา ได้แสดงผลงานแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ความรู้ด้านวิศวกรรมอุตสาหการ และสร้างความร่วมมือระหว่างองค์กรต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณคณะกรรมการจัดงานการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน รวมทั้งผู้ให้การสนับสนุนการจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ IE Network 2025 ครั้งนี้เป็นอย่างดี วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ มีความยินดีสนับสนุนงานทางด้านวิศวกรรมแก่หน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและประชาชน รวมถึงเป็นศูนย์รวมความรู้ให้กับวิศวกรในโอกาสต่อ ๆ ไป

รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์ กาสลัก

นายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

สารจากนายก
สมาคมข่ายงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ

ประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568

(IE Network 2025)

ระหว่างวันที่ 7 – 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

ณ โรงแรม ดีวาน่า พลาซ่า กระบี่ อ่าวนาง จังหวัดกระบี่



ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการเริ่มขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ.2525 การประชุมครั้งนี้มีสถาบันสมาชิกประมาณ 50 แห่งในประเทศไทย วัตถุประสงค์ของการประชุมข่ายวิชาการงานวิศวกรรมอุตสาหการ คือ การเผยแพร่บทความวิจัย สำหรับ นักการศึกษา นักวิจัย และผู้ปฏิบัติงานด้านวิศวกรรมอุตสาหการเพื่อพัฒนาการปฏิบัติและความเข้าใจในแง่มุมที่ประยุกต์ใช้และทฤษฎี

ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการมีความก้าวหน้าขึ้นเป็นลำดับ กล่าวคือ เริ่มจัดทำวารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย (IENJ) ขึ้นในปี 2558 และก่อตั้งสมาคมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการขึ้นในปี 2568

ในปี พ.ศ. 2568 สมาคมฯ ได้จัดประชุมวิชาการ The 43rd IE Network 2025 Conference ขึ้นโดยมอบหมายให้สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จัดการประชุม ในวันที่ 7 - 9 พฤษภาคม 2568 ภายใต้หัวข้อ “Intelligent and Sustainable Industry : Cutting-Edge Technologies for a Resilient Future”

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิจากทางมหาวิทยาลัยต่างๆ ที่ได้เสียสละเวลาในการร่วมพิจารณาบทความรวมถึงผู้สนับสนุน และทุกท่านที่เกี่ยวข้อง ในครั้งนี้ หวังว่าเป็นอย่างยิ่งว่า การประชุมวิชาการฯ ในครั้งนี้จะสามารถตอบสนองและเป็นประโยชน์แก่ทุกท่านที่เข้าร่วมประชุมวิชาการไม่มากก็น้อย อันส่งผลให้ คณาจารย์ บุคลากรจากสถาบันการศึกษา และหน่วยงานต่างๆ เกิดความร่วมมือกันต่อไปในอนาคต

รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร

นายกสมาคมข่ายงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ

สารจากประธานการจัดงานประชุมวิชาการ ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการครั้งที่ 43 ประจำปี 2568

ประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568

(IE Network 2025)

ระหว่างวันที่ 7 – 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

ณ โรงแรม ดีวาน่า พลาซ่า กระบี่ อ่าวนาง จังหวัดกระบี่



กระผมมีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้ต้อนรับผู้เข้าร่วมการประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการครั้งที่ 43 ประจำปี 2568 (The 43rd Conference of Industrial Engineering Network 2025) ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 7 - 9 พฤษภาคม 2568 ณ โรงแรมดีวาน่า พลาซา จังหวัดกระบี่ การประชุมครั้งนี้ถือว่าเป็นครั้งแรกที่จัดในนาม “สมาคมข่ายงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ” โดยมอบหมายให้ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นผู้ดำเนินการจัดงาน และยังเป็นการร่วมเฉลิมฉลองในโอกาสที่สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครบรอบ 50 ปีในการก่อตั้ง

การประชุมวิชาการนี้ เป็นเวทีให้นักวิชาการ นักวิจัย นิสิตนักศึกษา วิศวกร และผู้ปฏิบัติงานในภาคอุตสาหกรรม ทั้งจากสถาบันการศึกษา หน่วยงานภาครัฐ เอกชน และรัฐวิสาหกิจ ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความวิชาการ ผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์และงานวิจัยในสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ และสาขาที่เกี่ยวข้อง

กระผมขอแสดงความขอบคุณผู้เขียนบทความทุกท่าน ที่ส่งผลงานเข้าร่วมการประชุมวิชาการในครั้งนี้ ผลงานที่ส่งเข้ามามีคุณภาพดีเยี่ยม ด้วยภายใต้กระบวนการทบทวนและคัดเลือกที่เป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อให้มั่นใจว่าบทความในการประชุมนี้ จะมีคุณค่าและสร้างประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการและอุตสาหกรรมของประเทศ

กระผมขอแสดงความขอบคุณต่อคณะกรรมการจัดงาน ผู้ประเมินบทความจากทุก ๆ สถาบันในการทุ่มเทอย่างเต็มกำลังความสามารถในการจัดงาน รวมทั้งหน่วยงานบริษัทเอกชน ภาครัฐ และรัฐวิสาหกิจ ในการสนับสนุนเพื่อให้บรรลุต่อความสำเร็จของงานครั้งนี้ ทุกสิ่งที่ได้กระผมกล่าวมา ทำให้สามารถจัดการประชุมวิชาการ ที่สร้างสรรค์และกระตุ้นให้เกิดผลสำเร็จในการแลกเปลี่ยนทางวิชาการและการสร้างเครือข่ายได้ดียิ่ง

ท้ายสุดนี้ กระผมหวังว่าการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการครั้งที่ 43 ประจำปี 2568 นี้จะเป็นแหล่งข้อมูลอันมีค่าสำหรับนักวิชาการ นักวิจัย นิสิตนักศึกษา วิศวกร และผู้ปฏิบัติงานในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้เกิดความก้าวหน้าอย่างเข้มแข็งในสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการของทุกท่าน

(รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล)

ประธานการจัดงานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568

เอกสารจัดงานการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568 (IE NETWORK 2025)

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



หลักการและเหตุผล

ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ เป็นองค์กรที่จัดตั้งขึ้นมาตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2525 เพื่อสร้างความร่วมมือด้านวิชาการ การแสดงผลงานความก้าวหน้าทางวิชาการ และแลกเปลี่ยนความรู้ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากคณาจารย์และบุคลากรจากสถาบันการศึกษาและหน่วยงานองค์กรต่าง ๆ เป็นประจำในทุกๆ ปี และให้ปี 2568 สมาคมข่ายงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ ได้จัดงานประชุมวิชาการขึ้น โดยมอบหมายให้ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นผู้ดำเนินการจัดงานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568 (IE Network 2025) ระหว่างวันที่ 7 - 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2568 ณ โรงแรม DEEVANA PLAZA จังหวัดกระบี่ เพื่อเป็นการเฉลิมฉลองในโอกาสครบรอบ 50 ปี ของสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต ภายใต้แนวคิด “Intelligent and Sustainable Industry: Cutting-Edge Technologies for a Resilient Future”

วัตถุประสงค์

1) เพื่อเป็นเวทีให้นักวิชาการ นักวิจัย นิสิตนักศึกษา วิศวกร และบุคคลทั่วไปในสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ และสาขาที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และรัฐวิสาหกิจ ได้ประชุมแลกเปลี่ยนความรู้ประสบการณ์และงานวิจัย รวมทั้งร่วมนำสนอบทความวิชาการ ผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์

2) เพื่อให้เกิดความร่วมมือในการพัฒนาองค์ความรู้และเทคโนโลยี และโอกาสในการตีพิมพ์งานวิจัยในวารสารนานาชาติ โดยได้รับความร่วมมือจาก Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT) ในการคัดเลือกบทความเข้าตีพิมพ์ในวารสารดังกล่าว อันเป็นการส่งเสริมการนำความรู้ทางวิชาการไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ อันจะนำไปสู่การพัฒนาในระดับชุมชน สังคม และประเทศต่อไป

สาขาวิชาในการประชุม

T1 Operations Research

T2 Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management

T3 Energy and Environmental Management

T4 Materials and Manufacturing Engineering

T5 Maintenance, Reliability and Quality Engineering

T6 Production and Operation Management

T7 Green and Sustainability in Industrial Engineering

T8 Supply Chain and Logistics

T9 AI applications, Smart Industries and Flexible Manufacturing Systems

T10 Others Related to Industrial Engineering, Information and Education

ค่าลงทะเบียน

นักศึกษา	อาจารย์และบุคคลทั่วไป
4,000 บาท	4,500 บาท
หมายเหตุ ลงทะเบียน 1 ท่าน สามารถส่งสูงสุดได้ 2 บทความ โดยบทความที่ 2 จะต้องเสียค่าส่งบทความจำนวน 500 บาท เพิ่มเติมจากค่าลงทะเบียนตามอัตราที่แจ้งข้างต้น	

กำหนดการในการส่งบทความ

ประกาศเชิญชวนนักวิจัย นักวิชาการ และบัณฑิตศึกษาส่งผลงานวิจัยเข้าร่วมการนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการ	1 สิงหาคม 2567
เริ่มเปิดรับบทความฉบับสมบูรณ์	1 ธันวาคม 2567 – 31 มกราคม 2568
พิจารณาบทความฉบับสมบูรณ์โดยผู้ทรงคุณวุฒิ	1 - 28 กุมภาพันธ์ 2568
ประกาศรายชื่อบทความที่ผ่านการพิจารณา	3 มีนาคม 2568
ประกาศรายชื่อบทความฉบับแก้ไขที่ผ่านการพิจารณา	17 เมษายน 2568
ลงทะเบียน	1 – 30 เมษายน 2568
วันประชุมนำเสนอผลงาน	7 – 9 พฤษภาคม 2568

รายนามคณะกรรมการจัดงาน
การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการครั้งที่ 43 ประจำปี 2568

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัติ แก้วประดับ	อธิการบดีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์ กาสลัก	นายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิคม สุวรรณวร	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์คำรณ พิทักษ์	ผู้อำนวยการอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคใต้
รองศาสตราจารย์ ดร. จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์	รองคณบดีฝ่ายวิจัยและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร. มนตรี กาญจนะเดชะ	รองคณบดีฝ่ายบริหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระยุทธ หลีวิจิตร	รองคณบดีฝ่ายองค์กรสัมพันธ์และกิจการพิเศษคณะวิศวกรรมศาสตร์

ประธานกรรมการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการครั้งที่ 43

รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล	หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิตมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กรรมการดำเนินการ

ศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ รัตนวิไล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วนัฐณพงษ์ คงแก้ว	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.กลางเดือน โพชนา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัญชนา สินธวาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลภัสร์ ทองแก้ว	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรัตน์ พึ่งชมภู	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิเชฐ ตระการชัยศิริ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.ดลยา บัวคำ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.สุริยา จิรสถิตสิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.สิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อาจารย์ลัคน์สิริ ตรีรานุรัตน์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อาจารย์ศิวศิษย์ วิทยศิลป์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวกนกอร โทบุรี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายกัลยา วรรณศิริ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวเกสินี พัฒนพิสุทธิ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางขัติยาภรณ์ เจริญวัฒน์อนันต์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายจิระ บุญทอง	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายจำนงค์ แก้วดี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายชัยยุทธ จูห้อง	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายทศพล แก้วสมทอง	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายธวัช วราไชย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางธัญญ์มุนินทร์ ปวินท์ธนาธร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายนเรศวร์ จินดาเพ็ชร์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายบุญสม อินทฤทธิ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายประโชติ ดำสองสี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางฝาติหม๊ะ โปติล่ะ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายพงษ์พันธ์ จันทราช	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวพรอำไพ โอชาพันธุ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวพรเพ็ญ วงศ์พจน์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางรจนา แก้วพิบูลย์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายวันชัย แซ่ลิ่ม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาววันทนา หนูมาก	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวสรินดา อรุณพันธ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายสมศักดิ์ จีนาพงษ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายอนุชา หะยี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายอรุณโรจน์ จอมผา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายเอกวุฒิ เอียดปู	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวอรวรรณศิริ หนูอุไร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กรรมการและเลขานุการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุกรี แดสา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฏฐ์ ลีละวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร. พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์
ดร. จิง ถาง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรินทร์ กลั่นเงิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันจิรา คงชื่นใจ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิราภรณ์ ประดับวงษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชฏฐา ชำนาญหล่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญสุดา พันฤทธิ์ดำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พัชรา ศรีพระบุ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประภาพรรณ เกษราพงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิรางค์ กลั่นคำสอน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชุติชูเดช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนพันธ์ คงทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิติกร พัตนพิบูล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศรส ใจจิตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อณจ ชัยมณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อธิวัฒน์ บุญมี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

รองศาสตราจารย์ ดร. นราภรณ์ เภาประเสริฐ
รองศาสตราจารย์ ดร. พาพิศ วงศ์ชัยสุวัฒน์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร. ชวิศ บุญมี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนิรุท ไชยจารุวณิช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทินกร ปงธิยา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร. วิบุญ แซ่ตั้ง
รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญชัย โขมพัตราภรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พร้อมพงษ์ ปานดี
ดร. สมพร เพียรสุขมณี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ศาสตราจารย์ ดร. อรรถกร เก่งพล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิรประภา มโนมัธย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชยธัช เผือกสามัญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นุชรินทร์ ทิพยวรรณากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรศยา ตันติวัฒนกูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐนารี สุขเสกสรร
รองศาสตราจารย์ ดร. สุนาริน จันทะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดาวรรณ ลี่ไพฑูรย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธัญวรรณ ชาญพานิชย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รองศาสตราจารย์ ดร. ชาตรี หอมเขียว
รองศาสตราจารย์ วรพงศ์ บุญช่วยแทน
รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ จันทรมณีย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ยงยุทธ ดุลยกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อภิชล ทองมั่ง กำเนิดว้ำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยณรงค์ ศรีวะบุตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐานวิทย์ แนมใส

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยณัฐ โตอ่อน

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

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

มหาวิทยาลัยนครพนม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต บุญขาว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี แสงสุริยันต์

มหาวิทยาลัยพะเยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คมกฤต เมฆสกุล

มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ดร. ธนัญญา วสุศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรพรรณ เลี่ยงโรคาพาธ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภชัญ ราษฎร์ศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตวงยศ สุภีกิตย์
ดร. นพกร ภู่ระย้า

มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนวรรณ อัศวไพบูลย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพียงจันทร์ โกญจนาท
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิลปชัย วัฒนเสย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลยุทธ บุญเซ่ง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีวรรณ ขำตรี

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ ดร. นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทวรรณ อ่ำเอี่ยม
ดร. วาสนา จันทร์ขำ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ดร. สมภพ แสงผึ้ง

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพัฒตรา ศรัญาณลักษณ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รองศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพคุณ แสงเขียว
ดร. ธรรมวิชช์ ประเสริฐ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ รัตนวิไล
รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล
รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี
รองศาสตราจารย์ ดร. สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์
รองศาสตราจารย์ ดร.กลางเดือน โพชนา
รองศาสตราจารย์ ดร. เสกสรร สุธรรมานนท์
รองศาสตราจารย์ ดร. วนัฐณพงษ์ คงแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลภัสร์ ทองแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัญชนา สินธวาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุกรี แดสา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิเชฐ ตระการชัยศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ พึ่งชมภู
ดร. สิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์
ดร. สุริยา จิรสถิตสิน
ดร. ดลยา บัวคำ

มหาวิทยาลัยอิสเทิร์นเอเชีย

ดร. จรุงรัตน์ พันธุ์สุวรรณ

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์ ดร. กสิณ รังสิกรรพุม
รองศาสตราจารย์ ดร. นุชสรา เกรียงกรกฎ
รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา เกรียงกรกฎ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณิศร ภูนิคม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติมา ศิลปษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นลิน เพียรทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ สินธุเชาวน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเจษฐ์ ก้อนจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถนัดกิจ ศรีโชค
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธารชุดา พันธ์นิกุล
ดร. ฐิติวรดา ศรีสุวรรณดี
ดร. จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

รองศาสตราจารย์ ธนินท์รัฐ สิทธิเวชธนาศิริ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร. จรสวรรณ โกยวานิช
รองศาสตราจารย์ ดร. ทศพล เกียรติเจริญผล
ว่าที่ ร.ต. ดร.คณัชญ์ อนุรักษ์ภราดร

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (นิด้า)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์

กำหนดการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568

ระหว่างวันที่ 7 - 9 พฤษภาคม 2568

ณ โรงแรมดีวาน่า พลาซ่า กระบี่ อ่าวนาง อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่

วันพุธที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

เวลา	รายละเอียด
15:00 – 17:00 น.	ลงทะเบียนเข้าร่วมประชุม และอัพโหลดไฟล์นำเสนอ

วันพฤหัสบดีที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

เวลา	รายละเอียด
07:30 – 09:00 น.	ลงทะเบียนเข้าร่วมประชุม และอัพโหลดไฟล์นำเสนอ (เพิ่มเติม)
09:00 – 09:15 น.	พิธีเปิดการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568 ณ ห้อง Hornbill Ballroom - กล่าวต้อนรับ โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัติ แก้วประดับ อธิการบดีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิคม สุวรรณวร คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร นายกสมาคมข่ายงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรม - กล่าวรายงาน โดยประธานจัดงานประชุมวิชาการ รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต - กล่าวเปิดงาน โดยประธานในพิธี ศาสตราจารย์ ดร. ศุภชัย ปทุมนากุล ปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (อว.)
09:15 – 10:00 น.	ปาฐกถาพิเศษ โดย ศาสตราจารย์ ดร. ศุภชัย ปทุมนากุล ปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม(อว.) ณ ห้อง Hornbill Ballroom

เวลา	รายละเอียด
10:00 – 10:45 น.	ปาฐกถาพิเศษ โดย รองศาสตราจารย์ ดร.คมกฤต เล็กสกุล รองผู้อำนวยการ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ณ ห้อง Hornbill Ballroom
10:45 – 11.00 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
11:00 – 12:00 น.	เสวนาพิเศษในหัวข้อ “The Role of Sustainability and Resilience in Industry Growth” ณ ห้อง Hornbill Ballroom วิทยากรร่วมเสวนาท่านที่ 1 คุณอดิศร ตันเองชวน ประธานสภาอุตสาหกรรมภาคใต้ วิทยากรร่วมเสวนาท่านที่ 2 คุณไกรลาภ โตทับเที่ยง ประธานเจ้าหน้าที่บริหารสายงานการผลิต บริษัท ผลิตภัณฑ์อาหารกว้างไพศาล จำกัด (มหาชน) วิทยากรร่วมเสวนาท่านที่ 3 คุณเฉลิมภพ แก่นจัน กรรมการบริหาร และผู้จัดการสายการผลิต บริษัทศรีตรังแอโกรอินดัสทรี จำกัด (มหาชน)
12:00 – 13:00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน ณ ห้องอาหาร Kingfisher
13:00 – 15:00 น.	นำเสนอบทความ (Session 1 - 3)
13:30 – 15:00 น.	ประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2568
15:00 – 15:15 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
15:15 – 17:00 น.	นำเสนอบทความ (Session 5 - 8)
18:00 – 21:00 น.	งานเลี้ยงรับรอง ณ ห้อง Hornbill Ballroom - กล่าวต้อนรับ แนะนำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ - รับชมการแสดง “มโนราห์” ศิลปะการแสดงพื้นเมืองภาคใต้ - พิธีมอบรางวัลบทความดีเด่น - พิธีมอบธงให้กับเจ้าภาพปีถัดไป และรับชมวีดิทัศน์ - รับชมการแสดง “ลิเกฮูลู” การละเล่นพื้นบ้านแถบจังหวัดชายแดนใต้ - กิจกรรมสันทนาการและรับประทานอาหารเย็น

วันศุกร์ที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

เวลา	รายละเอียด
07:00 – 08:00 น.	ลงทะเบียนเข้าร่วมประชุม และอัพโหลดไฟล์นำเสนอ (เพิ่มเติม)
08:00 – 10:00 น.	นำเสนอบทความ (Session 9 - 12)
10:00 – 10:15 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
10:15 – 12:00 น.	นำเสนอบทความ (Session 13 - 16)
12:00 – 13:00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน ณ ห้องอาหาร Kingfisher
13:00 – 14:15 น.	นำเสนอบทความ (Session 17 - 20)
14:15 – 14:30 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
14:30 – 15:30 น.	นำเสนอบทความ (Session 21 - 24)

กำหนดการนำเสนอผลงานทางวิชาการ

วันพฤหัสบดีที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

ชื่อห้อง	Hornbill Ballroom 1	Hornbill Ballroom 2	Broadbill meeting room	DKR meeting room
หัวข้อ	Session 1 (Oper. Res.)	Session 2 (Maint. & QE)	Session 3 (Inter 1)	Session 4
ประธาน	รศ.ดร.วนัฐณพงษ์ คงแก้ว	รศ.ดร.กลางเดือน โพชนา	รศ. ดร.สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์	
13:00 - 13:15	ID. 12	ID. 9	International Paper Workshop	ประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ
13:15 - 13:30	ID. 17	ID. 10		
13:30 - 13:45	ID. 39	ID. 25		
13:45 - 14:00	ID. 62	ID. 55		
14:00 - 14:15	ID. 66	ID. 64		
14:15 - 14:30	ID. 71	ID. 168		
14:30 - 14:45	ID. 84	ID. 169		
14:45 - 15:00	ID. 136	ID. 113		
15:00 - 15:15	พักรับประทานอาหารว่าง			
หัวข้อ	Session 5 (Sustain. & SCM)	Session 6 (Matl. & Manu. Eng.)	Session 7 (Prod. & Oper. Mgt.)	Session 8 (Prod. & Oper. Mgt.)
ประธาน	ผศ.ดร.อัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์	ดร.นพกร ภู่ระย้า	รศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์	ศ.ดร.อรรถกร เก่งพล
15:15 - 15:30	ID. 36	ID. 22	ID. 152	ID. 67
15:30 - 15:45	ID. 104	ID. 29	ID. 155	ID. 97
15:45 - 16:00	ID. 154	ID. 79	ID. 164	ID. 103
16:00 - 16:15		ID. 137	ID. 165	ID. 128
16:15 - 16:30			ID. 167	ID. 173
16:30 - 16:45			ID. 170	ID. 180
16:45 - 17:00			ID. 186	

วันศุกร์ที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

ชื่อห้อง	Hornbill Ballroom 1	Hornbill Ballroom 2	Broadbill meeting room	DKR meeting room
หัวข้อ	Session 9 (Oper. Res.)	Session 10 (Prod. & Oper. Mgt.)	Session 11 (Inter 2)	Session 12 (Prod. & Oper. Mgt.)
ประธาน	รศ.ดร.นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์	อ.ศิวศิษย์ วิทยศิลป์	ศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล	ผศ.อภิชล ทองมั่ง กำเนิดวั้	
8:00 - 8:15	ID. 13	ID. 7	International Paper Workshop	ID. 35
8:15 - 8:30	ID. 44	ID. 14		ID. 51
8:30 - 8:45	ID. 52	ID. 41		ID. 102
8:45 - 9:00	ID. 63	ID. 157		ID. 107
9:00 - 9:15	ID. 82	ID. 183		ID. 150
9:15 - 9:30	ID. 156	ID. 184		ID. 176
9:30 - 9:45	ID. 175	ID. 48		ID. 178
9:45 - 10:00				

10:00 - 10:15	พักรับประทานอาหารว่าง			
หัวข้อ	**Session 13 (SCM & Logistics)**	**Session 14 (Matl. & Manu. Eng.)**	**Session 15 (WS, Plant, Ergo., Safety)**	**Session 16 (Prod. & Oper. Mgt.)**
ประธาน	**ผศ.ดร.สิริรัตน์ พึ่งชมภู**	**ผศ.พิเชฐ ตระการชัยศิริ**	**ผศ.ดร.สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์**	**ดร.สิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์**
10:15 - 10:30	ID. 80	ID. 65	ID. 42	ID. 53
10:30 - 10:45	ID. 89	ID. 141	ID. 60	ID. 58
10:45 - 11:00	ID. 96	ID. 151	ID. 72	ID. 59
11:00 - 11:15	ID. 124	ID. 182	ID. 81	ID. 73
11:15 - 11:30	ID. 161		ID. 83	ID. 74
11:30 - 11:45	ID. 179		ID. 86	ID. 90
11:45 - 12:00			ID. 166	ID. 92
12:00 - 13:00	พักรับประทานอาหารเที่ยง			
หัวข้อ	**Session 17 (Prod. & Oper. Mgt.)**	**Session 18 (Prod. & Oper. Mgt.)**	**Session 19 (WS, Plant, Ergo., Safety)**	**Session 20 (Energy Mgt.)**
ประธาน	**ผศ.ดร.รัญชนา สินธวาลัย**	**ดร.สุริยา จิรสถิตสิน**	**ผศ.ดร.เชฎฐา ชำนาญหล่อ**	**อ.ลัดน์สิริ ตรีรานุรัตน์**
13:00 - 13:15	ID. 131	ID. 94	ID. 11	ID. 26
13:15 - 13:30	ID. 132	ID. 116	ID. 18	ID. 99
13:30 - 13:45	ID. 142	ID. 160	ID. 56	ID. 125
13:45 - 14:00	ID. 158	ID. 172		ID. 145
14:00 - 14:15	พักรับประทานอาหารว่าง			
14:15 - 14:30				
หัวข้อ	**Session 21 (AI & Smart FMS)**	**Session 22 (Others)**	**Session 23 (AI & Smart FMS)**	**Session 24 (AI & Smart FMS)**
ประธาน	**ผศ.ดร.จักรินทร์ กลั่นเงิน**	**รศ.วนิดา รัตนมณี**	**รศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร**	**ผศ.ดร.กุลภัสร์ ทองแก้ว**
14:30 - 14:45	ID. 28	ID. 45	ID. 146	ID. 88
14:45 - 15:00	ID. 61	ID. 163	ID. 147	ID. 106
15:00 - 15:15	ID. 148			

Track Abbrev.	**Track Name**
Oper. Res.	Operations Research
WS, Plant, Ergo., Safety	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management
Energy Mgt.	Energy and Environmental Management
Matl. & Manu. Eng.	Materials and Manufacturing Engineering
Maint. & QE	Maintenance, Reliability and Quality Engineering
Prod. & Oper. Mgt.	Production and Operation Management
Sustain. & SCM	Supply Chain and Logistics, Green and Sustainability in Industrial Engineering
AI & SIFMS	AI applications, Smart Industries and Flexible Manufacturing Systems
Others	Others Related to Industrial Engineering, Information and Education
Inter 1 & 2	International Paper (JAMT)

วิทยากรบรรยายพิเศษ



สารบัญ

	หน้า
คำนำ	1
สารจากอธิการบดี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2
สารจากคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	3
สารจากนายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์	4
สารจากนายกสมาคมข่ายงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ	5
สารจากประธานการจัดงานประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568	6
เอกสารจัดงานการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568	7
รายนามคณะกรรมการจัดงาน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการครั้งที่ 43 ประจำปี 2568	10
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568	12
กำหนดการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2568	17
กำหนดการนำเสนอผลงานทางวิชาการ	20
วิทยากรบรรยายพิเศษ	22

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
7	การเพิ่มร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์เครื่องครัวในกระบวนการพ่นสีด้านใน โดยการปรับปรุงสถานีงาน *สมเสียง จันทาสี, ฤภูวัลย์ จันทรสา, รัตนาวดี เปี่ยมสวัสดิ์*	ID7-1
9	การลดค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันชุดเครื่องสูบน้ำดับเพลิง *ศุภัทร ศิลาลอย, ภาณุเดช แสงสีดำ, ภัสสร อนุสนธิ์พรเพิ่ม, จิรวัฒน์ ณ พัทลุง, ศิริชัย สมแสน*	ID9-1
10	การเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัลของมาตรวิทยาเพื่อการยกระดับโครงสร้างพื้นฐานคุณภาพของประเทศ *นิติธร เคนโยธา, พิทยา จุพาเต่า, นฤสรณ์ แน่นหนา, สุนันติยา พาระนา, ไปรยา ทองเหลือง, นรินทร์ จันทวงศ์, จริยา บัวเจริญ*	ID10-1

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
11	การใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ในโรงงานผลิตวัตถุเจือปนอาหาร *จตุพล ลิ้มทุติเนตร, กนกวรรณ กิ่งผดุง*	ID11-1
12	การประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อการนับจำนวนอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีน *นฤสรณ์ แน่นหนา, เบญจรัตน์ งานสลุง, นรินทร์ จันทวงศ์, จริยา บัวเจริญ*	ID12-1
13	การคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรด้วยเทคนิคการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ *ศตพร ศรีธิพิงค์, วริษา นาคเขียว*	ID13-1
14	การวางแผนการจัดซื้อผ้าในโรงพยาบาลโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น *นฤพร อรัญดร, ดนุพล ทิพย์พงศ์, ศุภรัตน์ มุสิกานิต, นิติพัฒน์ เหล่ามงคลชัยศรี, สุริยันต์ จอมธนชัย*	ID14-1
17	การศึกษาปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าแห่งใหม่โดยประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ *จันจิรา คงชื่นใจ, ธัญวรรณ ชาญพานิชย์, ธนพันธ์ คงทอง*	ID17-1
18	การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด *ธนาวดี เพชรยศ, ฤฎูวัลย์ จันทรสา*	ID18-1
22	การนำน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วจากรถบรรทุกขนาดเล็ก กลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการชุบแข็ง: การเปรียบเทียบกับน้ำมันแร่ ที่มีต่อเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C *ณรงค์ เพชรชารี, อนิรุท ไชยจารุวณิช*	ID22-1
25	การเพิ่มอายุการใช้งานชิ้นส่วนระบบไฮดรอลิก โดยการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ *ประสพชัย เถาว์ประสาท, สิทธิชัย รัชยศโยธิน*	ID25-1
26	สมบัติของมอร์ตาร์ที่ใช้ผงเปลือกไข่จากไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อทดแทนทราย *ยุทธศักดิ์ ทองอยู่, กุลธิดา บรรจงศิริ, แววบุญ แย้มแสงสังข์*	ID26-1
28	การใช้ขั้นตอนวิธี CART เพื่อวิเคราะห์ทัศนคติและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้กัญชาทางการแพทย์ในกลุ่มนักเรียนวัยรุ่นตอนปลายในสถาบันการศึกษา *ตะวันฉาย โพธิ์หอม, ธีราพร ชาดิรา สุภาพันธุ์, จารุวรรณ ธณวิรุฬห์*	ID28-1
29	อิทธิพลของระยะป้อน ความเร็วรอบและรัศมีเม็ดมีด ต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนรีดร้อน *สุขอังคณา แถลงกัณฑ์, วิภาดา แย้มโกสุมภ์, กองพัน คุ้มไข่น้ำ, วีระสุนทร เคนกา*	ID29-1

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
35	การสร้างและประเมินประสิทธิภาพเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก สำหรับหัตถกรรมจักสาน ผลิตภัณฑ์กระจูด กรณีศึกษากลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส *ศอลีฮีน ยูโซะ, ปรุฬห์ มะยะเฉี่ยว, พลากร พรหมเมศร์, กรสิริณัฐ โรจนวรรณ์, อลิสา มะเซ็ง*	ID35-1
36	การวิเคราะห์พื้นที่เหมาะสมในการติดตั้งโซล่าร์เซลล์บนหลังคาของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย *วนิดา คำแท่ง, จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์*	ID36-1
39	การออกแบบการจัดวางสินค้าโดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ *สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี, ชารอน หมานเด*	ID39-1
41	การวางแผนกำลังคนในการผลิตส้มสายน้ำผึ้งบนพื้นฐานของความต้องการลูกค้าและฤดูกาลผลิต: กรณีศึกษาโรงแว็กซ์ส้มสายน้ำผึ้ง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ *ศิวัชญา พลพิพัฒนพงศ์, กรกฎ ใยบัวเทศ ทิพยาวงศ์*	ID41-1
42	การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชูโดยใช้เทคนิค ECRS *ณัฐมน พิไลวงศ์, สุภารัตน์ ค้างสันเทียะ, สถิตเทพ สังข์ทอง, สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์, วันชัย ริจิรวนิช*	ID42-1
44	การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าแบบลีน *ณราวดี สิทธิเดชธารง*	ID44-1
45	การศึกษาสภาวะเสถียรทางอุณหภูมิของเกจบล็อคภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ *วิศรุต คงสกุล*	ID45-1
48	Thermal degradation of nylon 6,6/carbon fibers for drone propeller use *Komkrisd Wongtimnoi, Sunuttha Wingson, Jadnipat Rattanasiha, Thitaporn Moolnoisu, Chaimongkol Buntham, Poramat Muangsuwan, Mingkhwan Werunarak, Pinyapat Pornsawatdecha, Laurent Mezeix, Arnon Lerdwongpaisan*	ID48-1
51	การออกแบบเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัดตามความต้องการของลูกค้า *พงษ์พัฒน์ ชัชวาลย์, พลากร พรหมเมศร์, ปรุฬห์ มะยะเฉี่ยว, ชลธิศา รัตนชู, นัตพงศ์ โชติพันธ์*	ID51-1

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
52	การปรับปรุงประสิทธิภาพคลังสินค้าด้วยการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บ กรณีศึกษาบริษัทฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก *ธนิดา สุนารักษ์, พิพัฒน์พงศ์ เทพมณี, ธนกฤต โชติภาวริศ, วิภาวรรณ ทองเนียม*	ID52-1
53	การเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์เพื่อหาเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการวางแผนการผลิตมอเตอร์และปั๊มน้ำ *เกษรินทร์ พูลทรัพย์, ชญาดา อบเทียน*	ID53-1
55	การปรับปรุงประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบปฏิบัติการของสายการผลิตขนมอบกรอบ *จันทร์ฑา นาควชิรตระกูล, กฤษดา ประสพชัยชนะ, สุนิสา คำสุข*	ID55-1
56	การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกอง: กรณีศึกษา *พัชรา ศรีพระบุ, เชฏฐา ชำนาญหล่อ*	ID56-1
58	การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิตของเครื่องเหลาก้านจาก โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชน เครื่องจักสานผลิตภัณฑ์ก้านจาก บ้านนายยอดทอง จังหวัดตรัง *มนัส แก้วกูล, ปรุฬห์ มะยะเฉี่ยว, กรสิริณัฐ โรจนวรรณ์, พลากร พรหมเมศร์, พรรณเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์, นัตพงศ์ โชติพันธ์*	ID58-1
59	การพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทย: การเปรียบเทียบเทคนิค SARIMAX และ Exponential Smoothing *พิเชฐ พุ่มเกษร, เริงทิวา ทิพยศักดิ์*	ID59-1
60	การเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์กับพนักงานในสำนักงาน 2 แห่ง *อโณทัย กล้าการขาย, อธิคม บุญซื่อ, ทรงวุฒิ ประกายวิเชียร, คมกฤต เมฆสกุล*	ID60-1
61	การจำแนกความสุกของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว *จักรินทร์ กลั่นเงิน, ประภาพรรณ เกษราพงศ์, ธนเดช จิตประสงค์, เอกกมล พันธุเขตต์การณ์*	ID61-1
62	การจัดการโครงการสำหรับการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหารโดยใช้วิธีเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่ *จักรพันธ์ ไทยเจริญ, สิรางค์ กลั่นคำสอน*	ID62-1

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
63	การประเมินผลแนวทางการแก้ไขปัญหาความปลอดภัยทางจราจรของถนนบริเวณสถานศึกษาโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้านการจราจรระดับจุลภาค *ยศ สหัสดี, ไพโรจน์ เร้าธนชลกุล*	ID63-1
64	แนวทางการใช้แดชบอร์ดนำเสนอค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรกรณีศึกษาบริษัทผลิตกระดาษคราฟท์ในจังหวัดปราจีนบุรี *วิมพ์วิภา ทิพย์สุข, ณัฐนารี สุขเสกสรรค์*	ID64-1
65	การศึกษากลไกการขึ้นรูปขยายรูเพื่อปรับปรุงความเที่ยงตรงทางด้านรูปร่าง *ตรินัยน์ วงษ์สุวรรณ, จิราพร ศรีประเสริฐ, วารุณี เปรมานนท์*	ID65-1
66	การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการเก็บรักษาอุณหภูมิในกระบวนการผลิตบิวทาไดอีน *อนุพงษ์ ขุนใหญ่, นัฏฐวิกา จันทร์ศรี*	ID66-1
67	MAN OVERBOARD FORECASTING USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES *Athakorn Kengpol, Chawantorn Chanchittakarn*	ID67-1
71	การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดเส้นทางรถรับส่งนักศึกษาและการเลือกตำแหน่งจุดจอด: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยนครพนม *รัตนาพร อุดมกัลย์, กานต์ มูลศรี, รชานันท์ บุทา*	ID71-1
72	การเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพากับโฟมพิมพ์เท้า *วรัญญา รัตนสุมาวงศ์, ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล*	ID72-1
73	การวิเคราะห์ความต้องการของผู้บริโภคต่อปัจจัยการให้บริการร้านค้าด้วยโมเดลของคาโน *สุวรรณี อยู่รักษา, ปิยะ รนต์ละออง, ภาษิต ทินนาม, ศุภพัชร พวงแก้ว, กิติศักดิ์ ฉิมกลิ่น*	ID73-1
74	การจัดสมดุลการผลิตและการออกแบบผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ *ศรัณย์กร เหมมงคลทรัพย์, วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ*	ID74-1
79	ปัญหา วิธีการ และความท้าทายในการทำความสะอาดข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ความถี่ในการให้บริการเครื่องมือวัดของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ *ฉัตรชาดนย์ สีน้ำเงิน, นิติธร เคนโยธา, นรินทร์ จันทวงศ์, จริยา บัวเจริญ*	ID79-1

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
80	สาเหตุและผลกระทบด้านต้นทุนที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าของรถหัวลากในการเข้ารับบริการที่ท่าเรือแหลมฉบัง *วรวุฒิ โป๊ะมา, ชลธิดา หลงพลอยพัด, ดารัตน์ เดชอำไพ, ชาตินักรบ แสงสว่าง, กมลทิพย์ เศษสี*	ID80-1
81	การวิเคราะห์การยศาสตร์โดยใช้กล้องวัดลึก *ปฏิภาณ แถวหมอ, เชิดพงษ์ ดีเลิศไพบูลย์*	ID81-1
82	การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางด้วยวิธีการจัดกลุ่มและวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่เพื่อลดต้นทุนการขนส่ง กรณีศึกษาบริษัทตัวอย่าง *อนวัช มนตรีวงค์, ชุกรี แดสา, นิกร ศิริวงศ์ไพศาล*	ID82-1
83	การออกแบบเว็บแอปปลิเคชันสำหรับการร้องเรียน/ร้องทุกข์ปัญหาไฟฟ้าส่องสว่างของแขวงทางหลวงชนบท โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ *นพรัตน์ กาญจนันท์, ชุกรี แดสา*	ID83-1
84	การจัดสมดุลสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง *เอกนรินทร์ แก้วกุลประภา, นัฏฐวิกา จันทร์ศรี*	ID84-1
86	การบูรณาการโปรแกรม 3 มิติ ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก และการยศาสตร์ เพื่อประเมินความเสี่ยงจากสภาพการยกของ *กิตติพงศ์ ศรีสวาท, ประจวบ กล่อมจิตร*	ID86-1
88	การพยากรณ์อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแผนกผลิตตาข่ายคลุมดอกไม้ โรงงานกรณีศึกษา *คัมภิรดา เทพพิทักษ์, โกวิทย์ พลหาญ*	ID88-1
89	การปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่มด้วยการจำลองสถานการณ์ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำดื่ม มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ *นัตพงศ์ โชติพันธ์, อดินันทร์ มาหามะ, รอยมี่ อูมา, กฤตธนา อดิศัยศักดา, พรรณเพ็ญ ถาวประสิทธิ์*	ID89-1
90	การประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางการส่งน้ำดื่ม *ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์, พัชรพร การดี, ธนกานต์ โพธิ์ชัย*	ID90-1
92	การออกแบบผังและวิเคราะห์กำลังการผลิตของโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติด้วยแบบจำลองสถานการณ์: กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มมหาวิทยาลัย *จักรกฤษณ์ เจริญรัมย์, พฤกษารัตน์ สิทธิพงค์, เจตวรา ต่างจิตร์*	ID92-1

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
94	การปรับปรุงกระบวนการควบรวมข้าวสารบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัม *พฤกษารัตน์ สิทธิพงค์, จักรกฤษณ์ เจริญรัมย์, สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์*	ID94-1
96	การออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวสำหรับสิ่งแวดล้อม โดยใช้สะพานมิตรภาพไทย-ลาว *ศิรินภา ห้วยทราย, ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, อรุณรัตน์ เศวตธรรม, ปวีณา คำพุกกะ, สุภัตราภรณ์ สายสมบูรณ์, ปดิวรดา ล้อมลาย, ไกรศักดิ์ ยงกุลวณิช, ธชาดา ปลื้มจันทร์*	ID96-1
97	Development of a Cost-Effective Rotary Torque Measurement System Using Incremental Encoders *Chaiyapruk Laohapanich, Chirdpong Deelertpaiboon*	ID97-1
99	การทดสอบการเผาไหม้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันสนในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ *วสุ สุขสุวรรณ, Dhinesh Balasubramaniana, มักตาร์ แวหะยี*	ID99-1
102	การพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ *สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, ธยา ภิรมย์, อภิชล ทองมั่ง กำเนิดว้ำ, ธวัชชัย ยาประจัน, ชนิดา จันอิ*	ID102-1
103	A comprehensive review of entertainment supply chain : The case study of thai seire *Jirayu Akkarawiboonkij, Manisra Baramechai*	ID103-1
104	การจัดการคลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 ของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า *ภูริพงษ์ ภักดีสุวรรณ, ศุภกร บุญเย็น, พีรดนย์ ชัยสมบูรณ์พันธ์, วชิระพงศ์ เกลี้ยงมน*	ID104-1
106	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อลดการสูญเสียในกระบวนการบรรจุน้ำผึ้ง *ปาริชาต ชื่นวัฒนกุล, อภิวัฒน์ มุตตามระ, อรุณ หล่อชัชวาลกุล*	ID106-1
107	Deep Reinforcement Learning for Door Opening with an In-House Robotic Manipulator Featuring a Prismatic Joint *Artit Narasetthakul, Jiraphan Inthiam*	ID107-1
113	Application of Genetic Algorithm in Integration of 2-Stage Hybrid Flow Shop Scheduling and Multi-Vehicle Multi-Trip Vehicle Routing Decisions *Ceria Farela Mada Tantrika, Krisanarach Nitisiri, Kanchana Sethanan*	ID113-1

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
116	การออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มประเทศอินโดจีน โดยมีจังหวัดอุบลราชธานีเป็นศูนย์กลาง *เมทินี ศรีสม, ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, ปวีณา คำพุกกะ, อรุณรัตน์ เศวตธรรม, สุภัตราภรณ์ สายสมบูรณ์, ปดิวรดา ล้อมลาย, ไกรศักดิ์ ยงกุลวณิช, ธชาดา ปลื้มจันทร์*	ID116-1
124	การพยากรณ์ปริมาณการเบิกใช้ยา : กรณีศึกษา ศูนย์บริการสาธารณสุขรักษาภิกษุอุทิศเทศบาลนครหาดใหญ่ *อภิชล ทองมั่ง กาเนิดว้ำ, จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล, ชาตรี หอมเขียว, วิทยา ศิริคุณ, เนติรัฐ พุ่มพวง, กรวิชญ์ เพชรวงค์*	ID124-1
125	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา สถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง *ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม, จงรักษ์ สมใจ, นพณัช พวงมาลี, นพนันต์ เมืองเหนือ*	ID125-1
128	การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการรีไซเคิลแบบย้อนกลับของขวดแก้วเบียร์ โดยการประยุกต์ใช้ เทคนิค ECRS และการจัดสมดุลสายการผลิต *จิราวุฒิ ปัดถาวะโร, อาลิตา สุขสะเกตุ, เพียงพอดี มะฮาด, ดีพอเพียง มะฮาด, มงคล กิตติญาณขจร*	ID128-1
131	การวิเคราะห์ความเสี่ยงการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการผลิตโครงสร้างยานยนต์ *ปวีนัส คูณกันหา, เพ็ญสุดา พันฤทธิ์ดำ*	ID131-1
132	การออกแบบสถานีการทำงานบรรจุแผ่นโฟมโพลีโอเลฟินของพนักงานแผนกลามิเนตโดยการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ *อรอุมา ชุมปัญญา, เพ็ญสุดา พันฤทธิ์ดำ*	ID132-1
136	การจัดตารางการทำงานซ่อมบำรุงรักษาของห้องปฏิบัติการทดลองด้านพอลิเมอร์โดยใช้เทคนิคหาค่าที่เหมาะสมที่สุด *ราตรี จุลวรรณ, เชฏฐา ชำนาญหล่อ, ศิริรัตน์ ชุติชูเดช*	ID136-1
137	การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปข้อต่อท่อส่งลมแบบข้องอ *ณัฏฐพัชร์ พงษ์วิมลพรรณ, พงศธร ลิ้มจุมจัง, จิราภรณ์ ประดับวงษ์*	ID137-1
141	การพัฒนามีดตัดหนังด้วยกระบวนการทางความร้อน *ปรวิทย์ เจียนดอน, ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว, ภูริพัส แสนพงษ์, ธีรวัฒน์ เหล่านภากุล*	ID141-1
142	การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตที่เหมาะสม กรณีศึกษาของกระบวนการตัดเหล็ก *บุษรินทร์ เจริญสมบัติ , เจษฎา จันทวงษ์โส ,พร้อมพงษ์ ปานดี ,สุริยพงศ์ นิลสังข์*	ID142-1

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
145	การศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่กรณีศึกษา *เพชราภรณ์ คุ้มเจริญวงษ์, ธนวัฒน์ ธรรมสนธิเจริญ1, รมิดายุ อยู่สุข*	ID145-1
146	การวิเคราะห์ภาระงานทางจิตใจของผู้ใช้สื่อการเรียนรู้ในงานการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและผลิตชิ้นงาน *ประจวบ กล่อมจิตร, กณภัทร พุ่มทอง, ตรัยฤทธิ์ บัวชุมสุข, กิตติพงศ์ ศรีสวาท*	ID146-1
147	การพัฒนาและวิเคราะห์ชุดการเรียนรู้ของหุ่นยนต์สำหรับการหยิบจับวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ *ประจวบ กล่อมจิตร, ชนิดา โต๊ะเงิน, มณฑิรา เผือกทอง, กิตติพงศ์ ศรีสวาท*	ID147-1
148	การพัฒนาระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับระบบการกรองน้ำแบบออสโมซิสป้อนกลับของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา *พฤษ์วิสาข์ บุญยอด, สุริยา จิรสถิตสิน, วนิดา รัตนมณี, ชุกรี แดสา*	ID148-1
150	Data Collection Method from Video Footage for Production Line Productivity Analysis using Vision-Based Tracking *Sitichai Srioon, Praewpran Prayadsab*	ID150-1
151	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมบัติทางไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-xCu-xNi สำหรับวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม *อภิสิทธิ์ ชื่นบาล, ศุภกฤต เอ่งฉ้วน, อนวัช ราตรี, ไพโรจน์ สังขไพฑูรย์, สุชาติ จันทรมณีย์*	ID151-1
152	Bus Routing Problem with Time Windows for Tourists (BRPTWT) *Wipoo Sovapark, Pisit Jarumaneeroj*	ID152-1
154	การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งมาใช้ใหม่ในระบบระบายความร้อน เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน *จีระวุฒิ จินตกวี, นัฏฐวิกา จันทร์ศรี*	ID154-1
155	Traveling Route with Limited Opening Stations in Healthcare System *Kanchala Sudtachat, Nitirut Phongsirimethi*	ID155-1
156	ตัวแบบในการแก้ปัญหาขนาดล็อตแบบพลวัตที่คิดค่าเสียโอกาส *แพรวพรรณ ประหยัดทรัพย์, นราภรณ์ เภาประเสริฐ, อนันต์ มุ่งวัฒนา, กฤษติยภัทร อนันตมี, ภูมิพัฒน์ ไชยสาร*	ID156-1

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
157	การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ร่วมกับระบบติดตามรถเข็น : กรณีศึกษาโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ *ธรรมศักดิ์ อิสโร, ชุกรี แดสา, ดลยา บัวคำ*	ID157-1
158	การศึกษานโยบายการจัดการพัสดุคงคลังประเภทชิ้นส่วนสำหรับผลิตเครื่องมือตรวจสอบคุณภาพ *บรรหาญ ลิลา, ธัญวรัตม์ พรไพศาลวิจิต, อดิศักดิ์ นาวเหนียว, วิศณุ บุญรอด*	ID158-1
160	การประยุกต์ใช้โมเดลของคาโนเพื่อศึกษาปัจจัยการออกแบบผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนม *โสภิดา ท้วมมี, ปิยะ รนต์ละออง, ศุภพัชร พวงแก้ว*	ID160-1
161	การศึกษาเวลามาตรฐานของระบบเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก: กรณีศึกษา ห้องจ่ายยาโรงพยาบาลเอกชนแห่งหนึ่ง *สหัสวรรษ มุสิกะ, สิริรัตน์ พึ่งชมภู, สิริรัตน์ สุวัชรชัยดิวงศ์*	ID161-1
163	การจำลองสถานการณ์เพื่อหาจำนวนสถานีรับและส่งมอบสินค้าของเครื่องจักรจัดเก็บและหยิบอัตโนมัติแบบคู่ *ชนิสา ชั้นประเสริฐ, โอพาร กิตติธีรพรชัย*	ID163-1
164	Developing a Conceptual Framework to Assess Export Readiness of Thai Processed Food Industry SMEs in the Chiang Mai Province *Xaythasone Malivanh, Phavika Mongkolkittaveepol*	ID164-1
165	การวิเคราะห์ความรู้สึกในการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ใช้บริการบริษัทหลักทรัพย์แห่งหนึ่ง ในประเทศไทย ด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง *ภาติยะ ไล้สวน, นันทชัย กานตานันทะ*	ID165-1
166	การลดเวลาการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊ม *เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร์, ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์, จิรวัฒน์ ณ พัทลุง, ฤทธิชัย สังฆทิพย์*	ID166-1
167	การพยากรณ์และวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพจิตของเยาวชนในสหรัฐอเมริกาด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง *นิธิพล เฮงวิวัฒนชัย, ดาริชา สุธีวงศ์*	ID167-1
168	การลดปริมาณของเสียในกระบวนการบรรจุครีมโดยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทเครื่องสำอาง *วรินทร์ เกียรตินุกูล, ชัชพล มงคลิก, ธนกฤต โชติภาวริศ, พิพัฒน์พงศ์ เทพมณี*	ID168-1

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
169	การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต กรณีศึกษา บริษัท ผลิตเครื่องสำอาง *พิพัฒน์พงศ์ เทพมณี, ชัชพล มงคลิก, ธนิดา สุนารักษ์, วรินทร์ เกียรตินุกูล*	ID169-1
170	Evacuation Plan Assessment Using Agent-Based Simulation: A Case of Mixed-Use Building in Bangkok, Thailand *Peerada Tangprasert, Natt Leelawat, Jing Tang*	ID170-1
172	การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มผ่านการเปลี่ยนแปลงสู่ระบบดิจิทัล: การพัฒนา Checklist E-Form ด้วย Power Apps *พนิดา สุระพร, อนินทยา คำกันยา*	ID172-1
173	Process Improvement of Motorcycle Wiring Harness Production Line *Sanya Yimsiri, Banhan Lila, Adisak Nowneow*	ID173-1
175	การเพิ่มประสิทธิภาพทางการขนส่งโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา : โรงผลิตน้ำดื่มตรามินิ จังหวัดนราธิวาส *ชญาดา เชี่ยวภาษา, นัตพงศ์ โชติพันธ์, รัชตา โชติพันธ์*	ID175-1
176	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางกรีนโลจิสติกส์ กรณีศึกษา : โรงถ่านแบนอร์ *โนรซาด๊ะห์ สามะ, นัตพงศ์ โชติพันธ์, ณัฐพร เทพพรหม*	ID176-1
178	การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทโซฟาสำหรับผู้สูงอายุ *อภิชล ทองมั่ง กาเนิดว้ำ, ธยา ภิรมย์, สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, ดาวิช สงชัย, ภัทรนันท์ สาเมาะ*	ID178-1
179	การพัฒนาวิธีการติดตามงานผลิตและปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อตัดสินใจในการวางแผนผลิต : กรณีศึกษาบริษัทผลิตน็อตสกรูแห่งหนึ่ง *อรรถวิชญ์ คำปวง, มัณยาภรณ์ ภูริปัญญาคุณ, ธีรภัทร์ อิ่มใจ*	ID179-1
180	Optimizing Buffing Weight Control in Manual Buffing: A Case Study *Wijitta Kaewpan, Sittichok Sinprasit, Kiatipat Srinak, Ramawadee Nampassa, Yanawit Mueangcharoen, Prasert Aengchuan*	ID180-1
182	ศึกษาผลกระทบของการเติมไทเทเนียมต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของเหล็กหล่อเหนียว *ศักดิ์สิทธิ์ โรจน์ฤทธากร, พิสิษฐ์ ศรีน้อย*	ID182-1

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
183	การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอาหารในร้านอาหารขนาดเล็ก โดยใช้ลีนซิกซ์ซิกม่า: กรณีศึกษาร้านแจ่วฮ้อนวัวน้อย *คณิศร ภูนิคม, ปฏิมาพร แก่นทอง, ณัฐชา พิกุลดก, นรินทร์พร นาถาบำรุง*	ID183-1
184	การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปจากวัตถุดิบภายในฟาร์มสเตย์ โดยใช้แนวคิด QFD และ Kansei Engineering *คณิศร ภูนิคม, นัชชา โอชา, เพชรน้ำหนึ่ง บุญทอง*	ID184-1
186	Improving Spare Parts Retrieval Process with ABC Classification: A Case Study in Automotive Warehouse *Korapin Jirapong, Nattida Tachaboon, Nattakitta Rueangjantee, Nattanan Saensri, Tinnakorn Phongthiya*	ID186-1

การเพิ่มร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์เครื่องครัวในกระบวนการพ่นสีด้านใน โดยการปรับปรุงสถานีงาน

Increasing the Percentage of Kitchenware Paint in the Interior Coating Process By Work Station Improvement

สมเสียง จันทาสี[1*] ฤภูวัลย์ จันทรสา[1] รัตนาวดี เปี่ยมสวัสดิ์[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: somsiang@eng.buu.ac.th*

Somsiang Chantasee[1*] Ruephuwan Chantrasa[1] Rattanawadee Peamsawat[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: somsiang@eng.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพิ่มร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์เครื่องครัวในกระบวนการพ่นสีด้านในโดยการปรับปรุงสถานีงานของสถานประกอบการแห่งหนึ่ง จากการศึกษาเบื้องต้นพบร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ของชั้นสีรองพื้น (Primer) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 20.21 ทำให้เกิดละอองสีออกจากผลิตภัณฑ์ (Overspray) มากเกินไป ส่งผลให้มีการแก้ไขงานที่เพิ่มขึ้น หรืออาจถึงขั้นเกิดงานเสียได้ โดยข้อกำหนดค่าร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ที่ห้องปฏิบัติการของสถานประกอบการกำหนดอยู่ที่ร้อยละ 70 ขึ้นไป จากการวิเคราะห์สาเหตุโดยใช้แผนผังเหตุและผล (Cause & Effect diagram) และการวิเคราะห์อย่างถึงแก่น (Why-Why Analysis) พบว่ามี 3 สาเหตุหลักในสถานีงาน คือ เพลาขับหยุดไม่ตรงตำแหน่ง, เพลาขับ (Spindle) ส่ายหรือแกว่งขณะพ่นสี และรูปแบบฟิกซ์เจอร์ไม่ตรงตำแหน่งที่แม่นยำ เมื่อแก้ไขปรับปรุงสถานีงานโดยเปลี่ยนเครื่องส่งสัญญาณ (Sensor) ชนิดใหม่, ติดตั้งเพลาขับให้ได้ตามมาตรฐาน และออกแบบฟิกซ์เจอร์แบบใหม่ พบว่าร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ของชั้นสีรองพื้นมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 34.16 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 13.95

คำสำคัญ: เปอร์เซ็นต์สีบนผลิตภัณฑ์ ละอองสีที่ออกจากผลิตภัณฑ์ เพลาขับ

Abstract

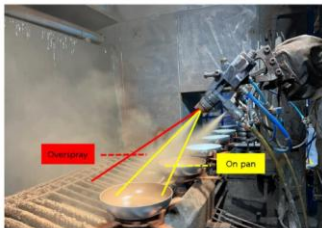
The objective of this research is to increase the percentage of kitchenware paint in the interior coating process by improving workstation operations in the case study company. From a preliminary study, it was found that the percentage of color on the product of the primer layer had an average of 20.21 %. This causes overspray producing more color mist, resulting in increased reworks or even scrap. The specification for the percentage of color on the product set by the company's laboratory is at least 70 percent. Applying Cause & Effect Diagram and Why-Why Analysis to identify root causes, it was found 3 main causes, including spindle stops incorrectly, spindle shakes or oscillates while painting, and fixtures were not positioned precisely. This research thus improves the work station by changing to a new model of sensor transmitter, installing the spindle according to standards. and designing new fixtures. It was found that the percentage of product paint of the primer layer had an average of 34.16 %, which increased from the previous 13.95 %.

Keywords: Percentage of product paint, Overspray, Spindle

1. บทนำ

กระบวนการพ่นสีเป็นกระบวนการสำคัญ โดยมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันสารตกค้างที่ติดอยู่กับผลิตภัณฑ์หลุดเข้าไปในอาหาร ป้องกันไม่ให้อาหารติดกับผลิตภัณฑ์ และสร้างความสวยงามให้กับผลิตภัณฑ์ แต่ในกระบวนการพ่นสีมักพบปัญหาหลังจากทำการพ่นสี เช่น สีไหล สีแตก สีเป็นเม็ด ความหนาไม่ได้ตามมาตรฐาน เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้ไม่สามารถพบได้ในกระบวนการตรวจสอบชิ้นงานก่อนพ่นสีหรือการเตรียมผิวชิ้นงาน แต่จะตรวจพบในขั้นตอนสุดท้ายในการตรวจสอบคุณภาพ จึงทำให้เกิดความสูญเสีย เช่น ต้นทุนแรงงาน และต้นทุนเครื่องจักร อีกทั้งเสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการแก้ไขที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน

สถานประกอบการตัวอย่างที่เลือกทำการศึกษาเป็นสถานประกอบการที่ออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องครัว มีรูปแบบของผลิตภัณฑ์เป็นกระทะและหม้อ จากการศึกษากระบวนการผลิตพบว่ากระบวนการพ่นสีมักพบปัญหามากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกระบวนการ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ต้องมีความละเอียดในการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด และถ้ามีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยก็จะส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ทันที จะตรวจพบในขั้นตอนสุดท้ายในการตรวจสอบคุณภาพ จึงไม่สามารถแก้ไขได้ทันทีส่งผลให้เกิดปัญหาความสูญเสียเป็นอย่างมาก สำหรับการดำเนินการครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นการปรับปรุงสถานีงานกระบวนการพ่นสีด้านใน จากการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่าเป็นปัญหาที่เกิดจากร้อยละสีบนผลิตภัณฑ์ (%On Pan) ต่ำกว่ามาตรฐาน โดยปกติทางห้องปฏิบัติการของสถานประกอบการได้มีการกำหนดค่าร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ที่ร้อยละ 70 ขึ้นไป แต่ในปัจจุบันพบว่าในกระบวนการพ่นสีด้านในมีค่าร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ต่ำกว่ามาตรฐาน ทำให้เกิดละอองสีที่ออกจากผลิตภัณฑ์ (Overspray) มากเกินไป ดังรูปที่ 1 ส่งผลให้มีการแก้ไขงานที่เพิ่มขึ้นหรืออาจถึงขั้นเกิดงานเสียได้



รูปที่ 1 การพ่นสีด้านในบนผลิตภัณฑ์

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจเพิ่มร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ในกระบวนการพ่นสีด้านในโดยการปรับปรุงสถานีงาน

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 ศึกษาสภาพกระบวนการผลิต

ผลิตภัณฑ์ใช้ปรุงอาหารของสถานประกอบการผลิตจากวัสดุอะลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิม ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ศึกษาดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระทะ

กระบวนการผลิตกระทะ มีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากกระบวนการขึ้นรูป (Stamping) ส่งชิ้นงานขึ้นรูปไปยังกระบวนการพ่นสี (Coating) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการคือ กระบวนการพ่นสีด้านนอก (Exterior coating) และ กระบวนการพ่นสีด้านใน (Interior coating) เมื่อทำการพ่นสีแล้วจะมีละอองสีที่เป็นส่วนเกินติดกับชิ้นงาน หรือกันของชิ้นงานเป็นรอยจากการจับ จึงต้องส่งไปยังกระบวนการถัดไปคือกระบวนการขัด (Polishing) จากนั้นจะส่งไปยังกระบวนการประกอบ (Assembly) เพื่อประกอบด้ามจับและหูของชิ้นงาน ตามรูปแบบความต้องการของลูกค้า เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบชิ้นส่วนครบถ้วน ต่อมาจะเข้าสู่กระบวนการบรรจุ (Packing) เพื่อรักษาสภาพเดิมของผลิตภัณฑ์จนกว่าจะถึงมือลูกค้า และสุดท้ายคือขนย้ายไปเก็บที่คลังสินค้า (Warehouse) เตรียมรอส่งให้กับลูกค้า โดยกระบวนการที่ทำการศึกษาและปรับปรุง คือ กระบวนการพ่นสีด้านใน (Interior coating) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สถานีงานพ่นสีด้านใน

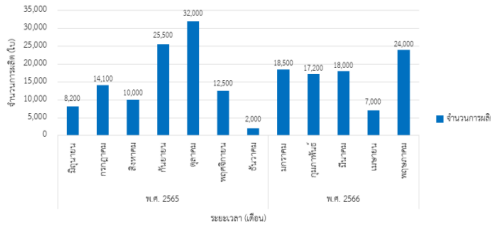
กระบวนการพ่นสีด้านในเริ่มต้นการทำงานตั้งแต่พนักงานปรับสลักที่เสียบอยู่บนฟิกซ์เจอร์ตามขนาดของผลิตภัณฑ์นั้น (โดยการเสียบสลักพนักงานอาศัยความชำนาญจากประสบการณ์) นำผลิตภัณฑ์วางลงบนฟิกซ์เจอร์ที่อยู่บนเพลาขับ สายพานลำเลียงจะเคลื่อนเพลาขับตามความเร็วและการหยุดของคำสั่งจากหน้าจอสั่งการโดยมีเซ็นเซอร์เป็นจุดกำหนดการหยุดของเพลาขับ เพื่อให้ตรงตำแหน่งของปืนพ่นสี แล้วทำการพ่นสีลงผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพ่นสีเรียบร้อยแล้ว เข้าเตาอบเป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการ ดังรูปที่ 4



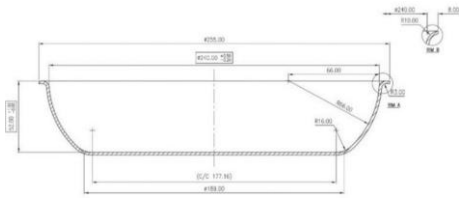
รูปที่ 4 ขั้นตอนกระบวนการพ่นสีด้านใน

2.2 ปัญหาที่พบในกระบวนการพ่นสีด้านใน

จากการรวบรวมข้อมูลยอดการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละรูปแบบจากความต้องการของลูกค้าตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2565 ถึงพฤษภาคม 2566 พบว่าผลิตภัณฑ์ BAG24IA (ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิตในแต่ละเดือนมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งรูปแบบผลิตภัณฑ์เป็นประเภทกระทะ โดยขนาดของผลิตภัณฑ์มีความกว้าง (ไม่รวมขอบ) 240 มิลลิเมตร ความสูง 52 มิลลิเมตร และความหนา 2.5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 ยอดการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง



รูปที่ 6 ขนาดและรูปแบบของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

กระบวนการพ่นสีด้านในใช้สี 2 แบบ คือ สีนอนสติ๊ก และสีเซรามิค จากการรวบรวมข้อมูลการผลิตตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม 2566 พบว่ารหัสสีเซรามิคมียอดความต้องการมากที่สุด

ข้อมูลร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ (%On Pan) มีขั้นตอนวิธีการเก็บข้อมูลร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์โดยคำนวณได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: หาน้ำหนักสีจริงในผลิตภัณฑ์

น้ำหนักสีจริงในผลิตภัณฑ์ = น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังพ่นสี – น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนพ่นสี

ขั้นตอนที่ 2: หาน้ำหนักสีที่ออกจากปืนพ่นสี 1 ครั้ง

น้ำหนักสีที่ออกจากปืนพ่นสี 1 ครั้ง = (น้ำหนักถุงรวมสี – น้ำหนักถุงสี (1.5 กรัม)) / 5

หมายเหตุ: น้ำหนักถุงรวมสี คือ ทำการพ่นสีลงถุงซิปล็อคจำนวน 5 ครั้ง จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักสีที่ออกจากปืน 1 ครั้ง

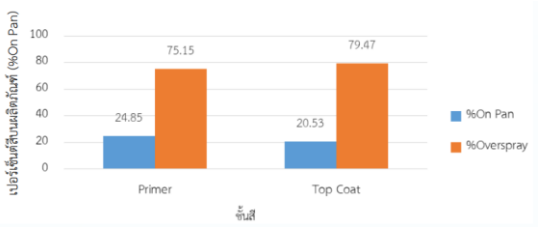
ขั้นตอนที่ 3: หาร้อยละสีที่ติดอยู่ในผลิตภัณฑ์ (%On Pan)

ร้อยละสีบนผลิตภัณฑ์ (%On Pan) = น้ำหนักสีจริงในผลิตภัณฑ์ / น้ำหนักสีที่ออกจากปืนพ่นสี 1 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 4 หาละอองสีที่ออกจากผลิตภัณฑ์ (%Overspray)

ละอองสีที่ออกจากผลิตภัณฑ์ (%Overspray) = 100–ร้อยละสีบนผลิตภัณฑ์ (%On Pan)

จากการศึกษาพบว่ามีการพ่นสี 2 ชั้น คือ ชั้นรองพื้น (Primer) และชั้นเคลือบผิว (Top coat) และได้ทำการรวบรวมข้อมูลร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ในกระบวนการพ่นสีด้านในของผลิตภัณฑ์ จากระบบรายงานประสิทธิภาพการพ่นสีของสถานประกอบการ แสดงดังรูปที่ 7



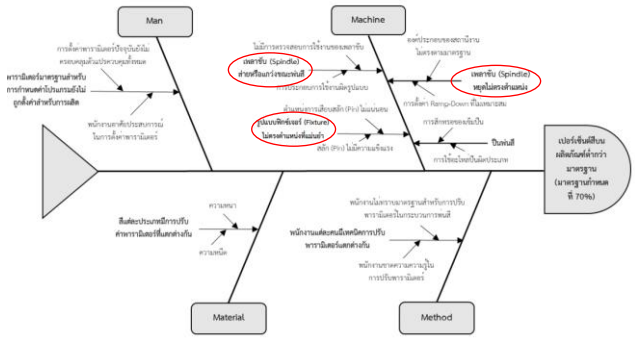
รูปที่ 7 ร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์

จากรูปที่ 7 แสดงข้อมูลร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ โดยชั้นสีรองพื้นและชั้นเคลือบผิว เมื่อเทียบกับร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ของห้องปฏิบัติการกำหนดมาตรฐานไว้ (ร้อยละ 70) ยังถือว่าต่ำกว่ามาตรฐานอยู่มาก จึงควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขให้ได้ร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ตรงตามมาตรฐานหรือเป้าหมายที่กำหนด(เพิ่มขึ้นร้อยละ 20)

2.3 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

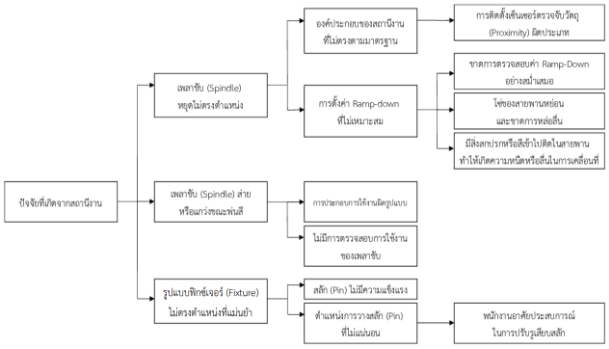
จากการศึกษากระบวนการพ่นสีด้านใน พบปัญหาคือ ร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ต่ำกว่ามาตรฐาน แผนกผลิตได้ประชุมกับแผนกที่เกี่ยวข้องวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนผังเหตุและผลได้ดังรูปที่ 8

จากรูปที่ 8 จะเห็นว่ามีหลากหลายสาเหตุที่ส่งผลกระทบทำให้เกิดร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ต่ำกว่ามาตรฐาน จากการประเมินระดับผลกระทบโดยแผนกที่มีส่วนเกี่ยวข้องแล้วนั้น ทางแผนกผลิตได้ทำการรวมกลุ่มของปัญหาที่มีความสอดคล้องและไปในทิศทางเดียวกัน ได้แก่ (1) เพลาขับหยุดไม่ตรงตำแหน่ง (2) เพลาขับส่ายหรือแกว่ง และ (3) รูปแบบฟิกซ์เจอร์ไม่ตรงตำแหน่งที่แม่นยำ



รูปที่ 8 แผนผังเหตุและผลแสดงสาเหตุของปัญหา

จากนั้นวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงโดยใช้เครื่องมือการวิเคราะห์อย่างถึงแก่น แสดงดังรูปที่ 9 และได้ข้อสรุปดังนี้



รูปที่ 9 Why-Why Analysis

1) เพลาขับหยุดไม่ตรงตำแหน่ง

สถานีงานจะใช้เซ็นเซอร์เป็นตัวส่งสัญญาณหยุดเพลาขับ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ตรงกับหุ่นยนต์ แล้วจึงพ่นสีออกมา เดิมเซ็นเซอร์ที่ใช้เป็นพร็อกซิมิตี้เซ็นเซอร์ชนิดเหนี่ยวนำ (Inductive proximity sensor) ประเภทหัวยื่น ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับ ดังรูปที่ 10 การที่จะทำให้เพลาขับหยุดตรงกับตำแหน่งเซ็นเซอร์แบบพอดีต้องมีการปรับช่วงเวลาขอบขาลง (Ramp-Down) ซึ่งการตั้งค่า Ramp-Down เป็นการปรับตั้งค่าที่ไม่ตายตัวและต้องมีการตรวจสอบปรับค่า Ramp-Down และการทำความสะอาดอยู่เป็นประจำ



รูปที่ 10 พร็อกซิมิตี้เซ็นเซอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ประเภทหัวยื่น

2) เพลาขับส่ายหรือแกว่งขณะพ่นสี

ปัจจุบันการประกอบใช้งานของเพลาขับ โดยนำเพลาขับสวมลงในฐานของเพลาขับและไม่ได้มีการยึดโดยสกรู ดังรูปที่ 11 ทำให้ขณะที่สายพานเคลื่อนที่หรือพ่นสีเพลาขับมีการส่ายหรือแกว่ง



รูปที่ 11 การประกอบการใช้งานเพลาขับในก่อนปรับปรุง

3) รูปแบบฟิกซ์เจอร์ไม่ตรงตำแหน่งที่แม่นยำ

สลักที่กำหนดตำแหน่งในฟิกซ์เจอร์เดิม สลักที่ใช้เป็นตะปูตอกเข้ากับท่อพลาสติกแล้วพันด้วยเทปกาว การพันไม่มีรอบกำหนดที่แน่ชัด ทำให้บางอันใหญ่และเล็กที่ไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 12 และรูปที่ 13 ส่งผลให้การเสียบบนฟิกเจอร์ใช้ระยะห่างของรูแต่ละแขนที่ไม่เท่ากัน

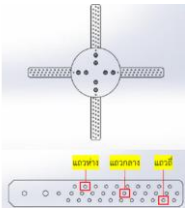




รูปที่ 12 สลักที่ใช้ปัจจุบัน รูปที่ 13 สลักที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ตำแหน่งการวางสลักที่ไม่แน่นอน รูปแบบฟิกซ์เจอร์ที่การพ่นสีด้านในใช้แบบการเสียบสลักมีทั้งหมด 4 แขน ดังรูปที่ 14 แต่ละแขนจะมีรูเป็นแถวยาวทั้งหมด 3 แถว แบบไล่ระดับ ซึ่งพนักงานจะมีชื่อเรียกแต่ละแถวดังนี้ แถวแรก (ต่ำสุด) เรียกว่า “แถวถี่” ส่วนแถวกลาง เรียกว่า “แถวกลาง” และแถวสาม (สูงสุด) เรียกว่า “แถวห่าง” ดังรูปที่ 15





รูปที่ 14 รูปแบบและลักษณะการเสียบสลักลงฟิกซ์เจอร์ รูปที่ 15 แบบภาพแบบเดิมพร้อมชื่อเรียกแถวของฟิกซ์เจอร์

เวลาพ่นสีแต่ละรุ่นพนักงานจะมีระยะการเสียบตามขนาด ดังรูปที่ 16 แต่ด้วยขนาดของสลักที่มีขนาดเล็ก-ใหญ่ไม่เท่ากัน ทำให้เวลาเสียบสลักของรุ่นนั้น ๆ บางฟิกซ์เจอร์จึงมีระยะการเสียบที่ไม่เท่ากัน



รูปที่ 16 พนักงานปรับระยะสลักตามขนาดของผลิตภัณฑ์

2.4 แนวทางการปรับปรุง

แนวทางการปรับปรุงสถานีงานสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปสาเหตุและแนวทางการปรับปรุงสถานีงาน

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไขปัญหา
1. เพลาขับหยุดไม่ตรงตำแหน่ง	เซนเซอร์ตรวจจับไม่ตรงประเภท	เปลี่ยนเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ
	การตั้งค่า Ramp-Down ที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากขาดการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ	จัดสร้างแบบฟอร์มตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของเพลาขับและทำการปรับค่า Ramp-Down ตามระยะเวลาการตรวจสอบที่กำหนด
	การตั้งค่า Ramp-Down ที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากโซ่ของสายพานหย่อนหรือขาดการหล่อลื่น	ปรับปรุงแบบฟอร์มรายการตรวจสอบและใบความรู้การตรวจสอบ (Checklist และ Knowledge of production) ในเรื่องการตรวจสอบเครื่องจักร 10 นาทีก่อนและหลังการทำงานโดยฝ่ายผลิต
	การตั้งค่า Ramp-Down ที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากมีสิ่งสกปรกหรือสีเข้าไปติดในสายพานทำให้เกิดความหนืดในการเคลื่อนที่	
2. เพลาขับส่ายหรือแกว่งขณะพ่นสี	การประกอบการใช้งานผิดรูปแบบ	แก้ไขการประกอบของเพลาขับ หรือเปลี่ยนเพลาขับใหม่ในกรณีที่ชำรุด
	ไม่มีการตรวจสอบการใช้งานของเพลาขับ	พิจารณาวิธีการตรวจสอบเพลาขับ พร้อมทั้งจัดทำแบบฟอร์มรายการตรวจสอบการใช้งานเพลาขับ
3. รูปแบบฟิกซ์เจอร์ไม่ตรงตำแหน่งที่แม่นยำ	สลักไม่แข็งแรง	ออกแบบฟิกซ์เจอร์แบบใหม่สามารถใช้งานได้กับทุกรุ่นชิ้นงาน
	ตำแหน่งการวางสลัก ที่ไม่แน่นอน เนื่องจากพนักงานอาศัยประสบการณ์ในการเปลี่ยนปรับรูเสียบสลัก	

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 การปรับปรุงเพลาขับหยุดไม่ตรงตำแหน่ง

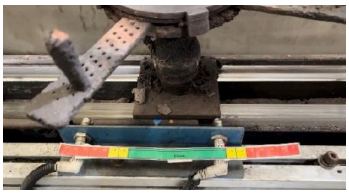
การปรับค่า Ramp-Down ให้มีความเสถียรและหยุดตรงตำแหน่ง กำหนดแถบวัดความคลาดเคลื่อนของเพลาขับ มีค่าความคลาดเคลื่อนเริ่มตั้งแต่ +/- 0 ถึง 7 เซนติเมตร โดยแถบสีเขียวตรงกลาง คือความกว้างของฐานเพลาขับที่อยู่ตรงตำแหน่งเซ็นเซอร์พอดี และทำการบันทึกค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้ลงแบบฟอร์ม ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 แถบวัดความคลาดเคลื่อนของเพลาขับ

นำแถบวัดติดตั้งที่เซ็นเซอร์ของสถานีงาน โดยขอบสีเขียวตรงกับเซ็นเซอร์ ดังรูปที่ 18 และแต่ละสีของแถบวัดมีความหมาย ดังนี้

- แถบสีเขียว คือ ขนาดความกว้างของเพลาขับ เท่ากับ 10 เซนติเมตร
- แถบสีเหลือง คือ เพลาขับออกจากตำแหน่ง +/- 1 ถึง 2 เซนติเมตร ให้ปรับค่า Ramp-Down ทันที
- แถบสีแดง คือ เพลาขับออกจากตำแหน่ง +/- มากกว่า 2 เซนติเมตร ให้แจ้งแผนกออโตเมชั่นตรวจสอบความผิดปกติ



รูปที่ 18 การวัดความคลาดเคลื่อนของเพลาขับ

3.1.1 เปลี่ยนเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ

เปลี่ยนประเภทของพร็อกซิมิตี้เซ็นเซอร์ชนิดเหนี่ยวนำ จากประเภทหัวยื่นเป็นประเภทหัวเรียบ ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 พร็อกซิมิตี้เซ็นเซอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ประเภทหัวเรียบ

3.1.2 จัดทำแบบฟอร์มตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของเพลาขับและทำการปรับค่า Ramp-Down

จากการตรวจสอบและทำการปรับค่า Ramp-Down ตามความถี่สายพานลำเลียงที่ทางช่างสีใช้งานเป็นประจำ ได้แก่ ความถี่ 8 เฮิร์ต, ความถี่ 10 เฮิร์ต และความถี่ 12 เฮิร์ต, เพลาขับจำนวน 76 ตัว เปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงได้ผลดังตารางที่ 2

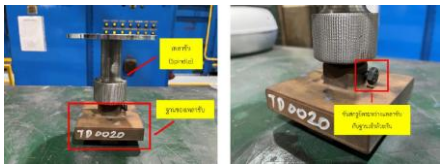
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความถี่สายพานก่อนและหลังปรับปรุง

ความเร็วสายพาน (เฮิร์ต)	ก่อนการปรับปรุง					หลังการปรับปรุง				
	Ramp-Down	ความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด (ซม.)	ความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด (ซม.)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวม (ซม.)	ประสิทธิภาพ (%)	Ramp-Down	ความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด (ซม.)	ความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด (ซม.)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวม (ซม.)	ประสิทธิภาพ (%)
8	47	0.00	-2.00	1.40	7.14	44	0.00	-0.50	0.10	92.86
10	35	0.00	-1.00	1.20	8.33	31	0.00	-0.50	0.10	91.67
12	26	0.00	-1.00	1.00	10.00	24	0.00	-0.50	0.10	90.00

จากตารางที่ 2 พบว่าหลังการปรับปรุงความถี่ 8 เฮิร์ต ให้ความแม่นยำมากที่สุดและประสิทธิภาพความแม่นยำเพิ่มขึ้นร้อยละ 85.72

3.2 การปรับปรุงเพลาขับส่ายหรือแกว่งขณะพ่นสี

3.2.1 แก้ไขการประกอบการใช้งานของเพลาขับ หรือเปลี่ยนเพลาขับใหม่ในกรณีที่ชำรุด ดังรูปที่ 20 และผลการปรับปรุงดังตารางที่ 3



รูปที่ 20 การประกอบการใช้งานเพลาขับที่ถูกต้อง

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการส่ายหรือแกว่งของเพลาขับในสถานีงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ลำดับที่	ก่อนปรับปรุง				หลังปรับปรุง			
	เพลา (มม.)	รูเพลา (มม.)	ความคลาดเคลื่อน (องศา)	ขันสกรูยึด	เพลา (มม.)	รูเพลา (มม.)	ความคลาดเคลื่อน (องศา)	ขันสกรูยึด
1	18.91	19.10	5.00	×	19.00	19.08	2.00	√
2	18.92	19.14	8.00	×	19.01	19.08	2.00	√
3	18.97	19.08	3.50	×	19.01	19.06	1.50	√
4	18.98	19.20	8.00	×	19.01	19.08	2.00	√
5	18.80	19.03	8.00	×	19.00	19.07	2.00	√
6	18.86	19.18	11.00	×	19.02	19.06	1.50	√
7	18.90	19.07	6.00	×	19.01	19.05	1.50	√
8	18.78	19.09	10.50	×	19.04	19.07	2.00	√
9	18.90	19.11	7.00	×	19.00	19.05	2.00	√
10	18.91	19.10	6.50	×	19.03	19.07	2.00	√
เฉลี่ย	18.89	19.11	7.35	×	19.01	19.07	1.85	√

จากตารางที่ 3 เปลี่ยนเพลาขับใหม่ทั้งหมดในสถานีงาน ดังรูปที่ 21 พบว่าความคลาดเคลื่อนหลังปรับปรุงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงมีความแตกต่างอยู่ที่ 5.5 องศา

จากการดำเนินการก่อนปรับปรุงใช้ผลิตภัณฑ์ทดสอบจำนวน 5 ใบ และหลังปรับปรุงใช้ผลิตภัณฑ์ทดสอบจำนวน 5 ใบ ได้ผลการทดสอบร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ดังตารางที่ 4



รูปที่ 21 เพลาขับที่ทำการเปลี่ยนชุดใหม่

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังปรับปรุง

ผลิตภัณฑ์ลำดับที่	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
	%On Pan	%Overspray	%On Pan	%Overspray
1	19.97	80.03	33.57	66.43
2	21.29	78.71	34.23	65.77
3	19.09	80.91	30.66	69.34
4	20.52	79.48	35.79	64.21
5	20.19	79.81	34.56	65.44
เฉลี่ย	20.21	79.79	34.16	66.24

3.3 การปรับปรุงรูปแบบฟิกซ์เจอร์ไม่ตรงตำแหน่งที่แม่นยำ

3.3.1 ออกแบบฟิกซ์เจอร์รูปแบบใหม่

ออกแบบฟิกซ์เจอร์แบบเอนกประสงค์ที่สามารถใช้งานได้ทุกรุ่นผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ขนาดเล็กที่สุด (14 เซนติเมตร) ถึงใหญ่ที่สุด (35 เซนติเมตร) ออกแบบแล้วแต่ยังไม่ได้ผลิตใช้งาน จึงไม่สามารถประเมินผลงานได้

4. สรุป

จากการดำเนินการศึกษาร้อยละของสีบนผลิตภัณฑ์ของชั้นสีรองพื้นก่อนปรับปรุงเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 20.21 พบว่ามีสาเหตุหลักในสถานีงาน คือ เพลาขับหยุดไม่ตรงตำแหน่ง, เพลาขับส่ายหรือแกว่งขณะพ่นสี และรูปแบบฟิกซ์เจอร์ไม่ตรงตำแหน่งที่แม่นยำ เมื่อดำเนินการปรับปรุงได้ร้อยละของสีเฉลี่ยที่ร้อยละ 34.16 เพิ่มขึ้นร้อยละ 13.95 ซึ่งร้อยละที่เพิ่มขึ้นนั้นยังไม่บรรลุตามเป้าหมายที่กำหนด (ร้อยละ 20) และสถานประกอบการมีแผนการปรับปรุงเพิ่มร้อยละสีฯ หลายส่วนที่ทำเพิ่มเติม เช่น หุ่นยนต์และปืนพ่นสี เป็นต้น

5. เอกสารอ้างอิง

[1] นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ และพิชญา วาดสูงเนิน. (2566). การลดของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบางในกระบวนการพ่นสีฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังคารถกระบะอเนกประสงค์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ. ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 :31-42.

[2] กิตติชัย อธิกุลรัตน์ และภัทรพงษ์ ภาคภูมิ (2560). การประยุกต์ระบบการผลิตแบบลีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต กรณีศึกษาบริษัท ยู.พี.เอส. อุตสาหกรรม จำกัด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีที่ 6 ฉบับที่ 3 :13-26.

[3] วัชรินทร์ สิทธิเจริญ. (2558). การออกแบบอุปกรณ์นำเจาะและจับงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

[4] ศุภชัย นาทะพันธ์. (2551). การควบคุมคุณภาพ (Quality Control). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[5] โอกุระ, ฮิโตชิ. (2545). เทคนิคการวิเคราะห์อย่างถึงแก่นเพื่อปรับปรุงสถานประกอบการ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

การลดค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันชุดเครื่องสูบน้ำดับเพลิง

Cost Reduction in Preventive Maintenance of Fire Pump Systems

ศุภัทร ศิลาลอย[1*] ภาณุเดช แสงสีดำ[2] ภัสสร อนุสนธิ์พรเพิ่ม[2] จิรวัฒน์ ณ พัทลุง[1] ศิริชัย สมแสน[1]
[1*]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
E-mail: supat_si@rmutto.ac.th *

Supat Silaloy[1*] Panudet Saengseedam[2] Patsorn Anusornpornerm[2] Chirawat na-Badalung[1] Sirichai Somsaen[1]
[1] Department of Industrial Engineering and Logistics, Faculty of Engineering and Inovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: supat_si@rmutto.ac.th *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ของชุดเครื่องสูบน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ โดยการประยุกต์ใช้หลักการบำรุงรักษาเน้นความเชื่อถือได้ (Reliability-Centered Maintenance: RCM) เพื่อให้การบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และยังคงรักษาความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ในระดับที่เหมาะสม การวิเคราะห์ตามหลัก RCM ช่วยให้สามารถระบุอุปกรณ์ที่มีความสำคัญเชิงวิกฤตในระดับ A ได้แก่ เครื่องสูบน้ำดับเพลิง, เครื่องยนต์ดีเซล และตู้ควบคุม ซึ่งต้องการการบำรุงรักษาที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การนำแนวคิดการบำรุงรักษาเน้นความเชื่อถือได้มาปรับใช้ สามารถลดต้นทุนในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันลงได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยปรับลดจำนวนครั้งของการบำรุงรักษาเชิงป้องกันลงเหลือเพียงร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบเดิม การปรับปรุงดังกล่าวไม่เพียงช่วยลดต้นทุน แต่ยังคงประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ในระดับที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติงาน
คำสำคัญ: การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน, การลดต้นทุน, การบำรุงรักษาเน้นความน่าเชื่อถือ

Abstract

This research aims to reduce costs associated with the preventive maintenance of automatic fire pump systems by applying the principles of Reliability-Centered Maintenance (RCM). The objective is to enhance the efficiency of preventive maintenance while maintaining an appropriate level of equipment reliability. The RCM analysis identifies critical equipment of Category A, including fire pumps, diesel engines, and control panels, which require optimal maintenance strategies. The study found that adopting the RCM approach significantly reduces preventive maintenance costs by decreasing the frequency of maintenance activities by 50% compared to the traditional preventive maintenance plan. This improvement not only lowers maintenance costs but also ensures the equipment's efficiency and reliability at a level suitable for operational requirements.
Keywords: Preventive Maintenance, Cost Reduction, Reliability Centered Maintenance

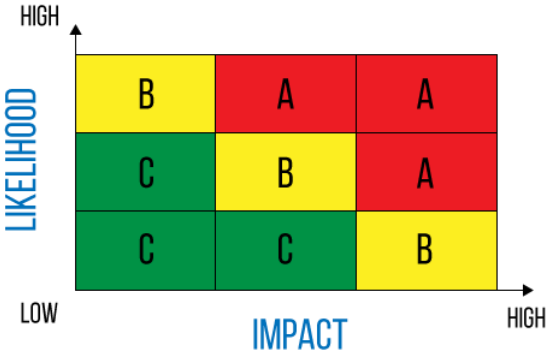
1. บทนำ

ในสภาวะการแข่งขันทางเศรษฐกิจที่เข้มข้นในปัจจุบัน องค์กรต่างๆ มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานเพื่อเพิ่มรายได้รวม โดยการบริหารจัดการค่าใช้จ่ายถือเป็นหนึ่งในกลยุทธ์สำคัญที่สามารถช่วยเพิ่มผลกำไรให้กับองค์กร การลดต้นทุนจึงกลายเป็นแนวทางพื้นฐานที่หลายภาคส่วนดำเนินการ โดยเฉพาะในกิจกรรมที่ไม่จำเป็นและไม่ได้สร้างรายได้ อย่างไรก็ตาม สำหรับอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยที่มีความสำคัญในการปกป้องชีวิตและทรัพย์สิน เช่น เครื่องสูบน้ำดับเพลิงในอาคาร จำเป็นต้องดำเนินการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้พร้อมใช้งานในสถานการณ์ฉุกเฉิน นับเป็นกิจกรรมที่ไม่สามารถละเว้นได้ ตัวอย่างเช่น โรงพยาบาลขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีความสูง 25 ชั้น และติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยอัตโนมัติด้วยน้ำ โดยใช้เครื่องสูบน้ำดับเพลิงที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซล มีความจำเป็นต้องดำเนินการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและทดสอบอุปกรณ์ตามข้อกำหนดทางกฎหมายปัจจุบัน หน่วยงานดำเนินการบำรุงรักษาและทดสอบระบบ 4 ครั้งต่อปี แต่ต้องการลดค่าใช้จ่ายในกิจกรรมนี้โดยยังคงปฏิบัติตามข้อบังคับและรักษาความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์ จึงได้เลือกใช้หลักการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เน้นความน่าเชื่อถือ (Reliability-Centered Maintenance: RCM) ร่วมกับการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการบำรุงรักษา (Maintenance Efficiency Index: MEI)

เครื่องสูบน้ำดับเพลิงอัตโนมัติที่ใช้ในระบบดับเพลิงด้วยน้ำมีการทำงานผ่านแรงดันในท่อ ซึ่งการติดตั้งและการบำรุงรักษาเป็นไปตามมาตรฐานสากล ในประเทศไทยมีข้อกำหนดตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ได้แก่ มาตรฐานหมายเลข 3002-51 และ 033011-19 ซึ่งพัฒนามาจากมาตรฐานของ National Fire Protection Association (NFPA) ได้แก่ NFPA 20: Standard for Installation of Stationary Pumps for Fire Protection และ NFPA 25: Standard for Inspection, Testing, and Maintenance of Water-based Fire Protection Systems ในอดีต มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำดับเพลิงในประเทศไทยอย่างกว้างขวาง เช่น งานวิจัยของอภิวัฒ์ ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาหลักการทำงาน การติดตั้ง และการบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำดับเพลิงตามแผนงานปกติ อย่างไรก็ตาม การวิจัยดังกล่าวเก็บข้อมูลจากการปฏิบัติงานจริงในระยะเวลาเพียง 4 เดือน และไม่ได้มีการนำหลักการ RCM มาใช้แต่อย่างใด ทั้งนี้ หลักการ RCM ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Nowlan และ Heap ซึ่งอธิบายว่าเป็นกระบวนการที่วิเคราะห์ความเหมาะสมของการบำรุงรักษาโดยพิจารณาจากความสำคัญของอุปกรณ์ หน้าที่การทำงาน และความเหมาะสมของงาน โดยเปลี่ยนมุมมองจากการบำรุงรักษาเครื่องจักรไปเป็นการรักษาหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์แทน ต่อมา วัฒนา และพงศกร ได้ให้คำจำกัดความเพิ่มเติมว่า การบำรุงรักษาทั่วไปคือกระบวนการที่มุ่งมั่นให้อุปกรณ์พร้อมใช้งานตามความต้องการในขณะที่ RCM นำปัจจัยด้านประสิทธิภาพค่าใช้จ่ายมาพิจารณาร่วมด้วย เพื่อให้ได้แผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสมที่สุด.

2. การดำเนินการวิธีวิจัย

เพื่อลดต้นทุนในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยยังคงรักษาความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ตามปกติ หลักการบำรุงรักษาเน้นความน่าเชื่อถือ (Reliability-Centered Maintenance: RCM) ได้ถูกนำมาใช้ร่วมกับเครื่องมือวิเคราะห์ เช่น Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) เพื่อประเมินความเสี่ยงของอุปกรณ์และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น โดยแบ่งความเสี่ยงของอุปกรณ์ออกเป็นลำดับชั้นต่างๆ อุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงสูงสุดถูกจัดอยู่ในระดับ Class A และลดหลั่นลงตามลำดับดังแสดงใน รูปที่ 1 จากการวิเคราะห์ พบว่าอุปกรณ์ที่จัดอยู่ในกลุ่ม Class A ได้แก่ เครื่องสูบน้ำดับเพลิง (Fire Pump) เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine Driver) ตู้ควบคุมชุดเครื่องสูบน้ำดับเพลิง (Fire Pump Controller) อุปกรณ์เหล่านี้ถือเป็นหัวใจสำคัญของระบบการสูบน้ำเพื่อดับเพลิง โดยมีชิ้นส่วนภายในที่มีจำนวนมากและต้นทุนสูง (ดังแสดงใน ตารางที่ 1 และ 2) ซึ่งประวัติการเปลี่ยนอะไหล่ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่าอุปกรณ์เหล่านี้เป็นส่วนที่มีการซ่อมบำรุงบ่อยที่สุด ขั้นตอนถัดไป คือ การวิเคราะห์และพยากรณ์ความเสียหายของอุปกรณ์ทั้ง 3 ชิ้น โดยใช้วิธี P-F Interval Analysis ซึ่งช่วยให้สามารถวางแผนการบำรุงรักษาได้อย่างแม่นยำ โดยดำเนินการบำรุงรักษาที่ 50% ของระยะเวลา P-F Interval เพื่อป้องกันความเสียหายก่อนที่จะเกิดขึ้นจนทำให้อุปกรณ์ไม่สามารถใช้งานได้ ผลการวิเคราะห์พบว่าอุปกรณ์ทั้ง 3 ชิ้นมีค่า P-F Interval เท่ากับ 12 เดือน และไม่มีประวัติความเสียหายมาก่อน ดังนั้น ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดำเนินการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน คือ ทุกๆ 6 เดือน และเพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์จะคงความพร้อมใช้งานสูงสุดในสถานการณ์ฉุกเฉิน ดังแสดงใน รูปที่ 2 การวางแผนเชิงกลยุทธ์ในลักษณะนี้ ไม่เพียงช่วยลดต้นทุนการบำรุงรักษา แต่ยังเพิ่มความมั่นใจในประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์สำคัญในระบบความปลอดภัย.



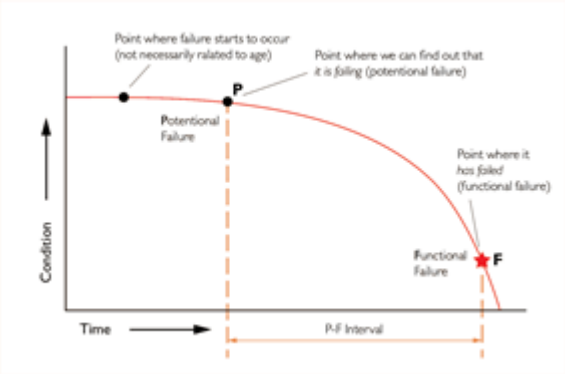
รูปที่ 1 การประเมินความเสี่ยงเป็นลำดับชั้น

ตารางที่ 1 จำนวนชิ้นส่วนของแต่ละลำดับชั้นอุปกรณ์

Equipment Name	Part List	Part Quantity
Fire Pump	48	139
Diesel Engine Driver	267	672
Fire Pump Controller	10	21

ตารางที่ 2 จำนวนซ่อมบำรุงของแต่ละลำดับชั้นอุปกรณ์

Equipment Class	Number of PM work
A	10
B	3
C	0
Total	13



รูปที่ 2 P-F Interval

จากนั้นใช้หลักการ Maintenance Efficiency Index (MEI) มาวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบของงานบำรุงรักษาก่อนและหลังปรับปรุง หลักการ MEI เป็นเครื่องชี้วัดความคุ้มค่าของการดำเนินการบำรุงรักษา ค่า MEI เป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างผลต่างของ ETBF (Estimate Time Between Failure) กับ ETBC (Estimate Time Between Consequence) โดยที่ ETBF with Zero Maintenance หมายถึง หากไม่มีการดำเนินการบำรุงรักษาอุปกรณ์ดังกล่าวแล้ว จะส่งผลให้เกิดความผิดปกติจนถึงขั้นเสียหาย จะมีระยะเวลานานเท่าใด และความเสียหายที่เกิดขึ้นคิดเป็นจำนวนเงินเท่าใด และ ETBC หมายถึง เมื่อมีการบำรุงรักษาอุปกรณ์ดังกล่าวแล้ว จะสามารถยืดอายุการใช้งานจากที่ได้ประมาณการ ETBF ไปได้อีกเท่าใด และผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเป็นจำนวนเท่าใด โดยคิดเฉลี่ยออกเป็นค่าความเสี่ยงภายหลังจากที่ได้มีการบำรุงรักษาที่เหลืออยู่ต่อปี กรณีที่ตัวเลขที่ได้ออกมามีค่ามากกว่า 1 (MEI > 1) แสดงว่ามีความคุ้มค่าที่จะดำเนินการบำรุงรักษาดังกล่าว โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากสถิติการดูแลรักษาชุดเครื่องสูบน้ำดับเพลิงและอุปกรณ์ที่เกี่ยวในระบบภายในพื้นที่ติดตั้งตลอด 5 ปี (พ.ศ.2557–2562) และนำมาเปรียบเทียบกับงานบำรุงรักษาบนพื้นฐานของหลักการ RCM

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับรายการบำรุงรักษาเชิงป้องกันชุดใหม่หลังปรับปรุงบนพื้นฐาน RCM และทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าแล้วนั้น พบว่าค่าความน่าเชื่อถือหรือค่า MEI นั้นมีมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3 และสามารถลดภาระงานบำรุงรักษาลงได้ 50% ดังแสดงในตารางที่ 4 กล่าวคือการลดจำนวนภาระงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันลงได้ สามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลงได้โดยไม่ส่งผลกระทบถึงความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ดังกล่าว โดยสามารภแสดงค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบภายหลังการปรับปรุงได้ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่า MEI ก่อน-หลัง ปรับปรุง

Equipment Name	MEI (Before)	MEI (After)
Fire Pump	40	80
Diesel Engine Driver	5.16	5.57
Fire Pump Controller	2.77	3.19

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบจำนวนภาระงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันต่อปีก่อนและหลังปรับปรุง

Equipment Name	Current PM Works	New PM work
Fire Pump	4	2
Diesel Engine Driver	4	2
Fire Pump Controller	4	2

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาต่อปีก่อนและหลังปรับปรุง

Equipment Name	Current PM Cost	New PM Cost
Fire Pump	18,000 ฿	9,000 ฿
Diesel Engine Driver	18,000 ฿	9,000 ฿
Fire Pump Controller	18,000 ฿	9,000 ฿
Total	54,000 ฿	27,000 ฿

4. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ภายหลังจากทำการปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยวิธี RCM พบว่าสามารถลดจำนวนภาระงานและค่าใช้จ่ายลงได้ 50% ต่อปี เมื่อเทียบกับแผนงานบำรุงรักษาเดิมในปัจจุบัน คิดเป็นมูลค่าจากการประหยัดค่าใช้จ่ายได้รวม 27,000 บาทต่อปี และสามารถปรับลดภาระงานบำรุงรักษาลงได้ 6 ครั้งต่อปี โดยที่อุปกรณ์ระดับวิกฤตทั้ง 3 ได้แก่ เครื่องสูบน้ำดับเพลิง, เครื่องยนต์ดีเซล และตู้ควบคุมชุดเครื่องสูบน้ำดับเพลิง ยังคงความน่าเชื่อในการทำงานไว้ได้ นอกจากนี้ ยังมีค่า MEI

ที่มากกว่า 1 คือ 80, 5.57 และ 3.19 ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้เพราะได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ และแนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนแนวคิดในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินงานอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] The Engineering Institute of Thailand. (2008). Standard for Fire Protection. EIT Standard 3002-51. (in Thai).

[2] The Engineering Institute of Thailand. (2019). Standard for Fire Protection System Testing and Maintenance. EIT Standard 033011-19. (in Thai).

[3] National Fire Protection Association, “Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection”, (2016).

[4] National Fire Protection Association, “Standard for the National Fire Protection Association. (2017). Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems (NFPA 25).

[5] Mobley, R. K. (2002). An Introduction to Predictive Maintenance. Butterworth-Heinemann

[6] N.F. Stanley, and H.F. Howard, “Reliability-Centered Maintenance”, National Technical Information Service, December (1987), U.S. Department of Commerce.

[7] Wattana C. (2010). Maintenance Management with RCM Concept. 1st Ed., SE-ED Publication, Bangkok. (in Thai).

[8] Pongsakorn A. (2011). Application of Reliability-Centered Maintenance in Petrochemical Industry. Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University. (in Thai).

[9] Garcia, L., & Dixit. (2014). A framework for key performance indicators for a holistic facility performance assessment. CIB Facilities Management Conference.

[10] Kosal D. (2004). Maintenance Management for Industry. M&G Co., Ltd., Bangkok. (in Thai).

[11] Smith, A. M. (2013). Reliability-Centered Maintenance. McGraw-Hill.

[12] Stanley, N. F., & Howard, H. F. (1987). Reliability-Centered Maintenance. U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service.

การเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัลของมาตรวิทยาเพื่อการยกระดับโครงสร้างพื้นฐานคุณภาพของประเทศ

Digital Transformation in Metrology for Enhancing the National Quality Infrastructure

นิติธร เคนโยธา[1*] พิทยา จุฬาเต่า[1] นฤสรณ์ แน่นหนา[1] สุนันติยา พาระนา[1] ไปรยา ทองเหลือง[1] นรินทร์ จันทวงศ์[1, 2] และ จริยา บัวเจริญ[1, 2]
[1] ศูนย์การเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัล สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ปทุมธานี ประเทศไทย
[2] ฝ่ายมาตรวิทยามิติ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ปทุมธานี ประเทศไทย
E-mail: nititornk@nimt.or.th*

Nititorn Kenyota[1*] Pithaya Julatao[1] Narueson Nanna[1] Sunantiya Parana[1] Praiya Thongluang[1] Narin Chanthawong[1, 2] and Jariya Buajarern[1, 2]
[1] Digital Transformation Center, National Institute of Metrology (Thailand), Pathum Thani, Thailand
[2] Dimensional Metrology Department, National Institute of Metrology (Thailand), Pathum Thani, Thailand
E-mail: nititornk@nimt.or.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอภาพรวมของการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัล (Digital Transformation; DT) ที่ดำเนินการโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) ประเทศไทย วัตถุประสงค์ของบทความนี้ คือ อธิบายและวิเคราะห์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัลในระบบมาตรวิทยาเพื่อการพัฒนาและเสนอแนวทางสำหรับการวิจัย อีกทั้งเพื่อการรองรับและยกระดับโครงสร้างพื้นฐานคุณภาพของประเทศแบบดิจิทัล (Digital National Quality Infrastructure; D-NQI) ในอนาคต ปัจจุบันเพื่อให้สามารถปรับตัวและนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ที่ มว. จึงมีแผนปฏิบัติการการเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัลออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) การเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัลของความสามารถด้านมาตรวิทยา และ (2) การเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัลของการบริการด้านมาตรวิทยา โดยทั้ง 2 ส่วนนี้ถือเป็นสิ่งสำคัญในการเสริมสร้างและเชื่อมโยงระหว่างระบบอนาล็อกและดิจิทัลเข้าด้วยกัน ซึ่งนำไปสู่การดิจิไทซ์ข้อมูลที่เป็นมาตรฐานอ้างอิงสำหรับกระบวนการวัด การเก็บข้อมูลการวัด การวิเคราะห์ข้อมูล และการออกใบรับรองการสอบเทียบ นอกจากนี้ ความก้าวหน้าเหล่านี้มีเป้าหมายชัดเจนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ และการเพิ่มผลผลิตของ มว. ในการสนับสนุนและขับเคลื่อนการเติบโตทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศ อีกทั้งเพื่อให้มั่นใจในคุณภาพชีวิต ความปลอดภัย และความน่าเชื่อถือในบริการมาตรวิทยาระหว่างประเทศในยุคดิจิทัล

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัล บริการด้านมาตรวิทยา ยุคดิจิทัล

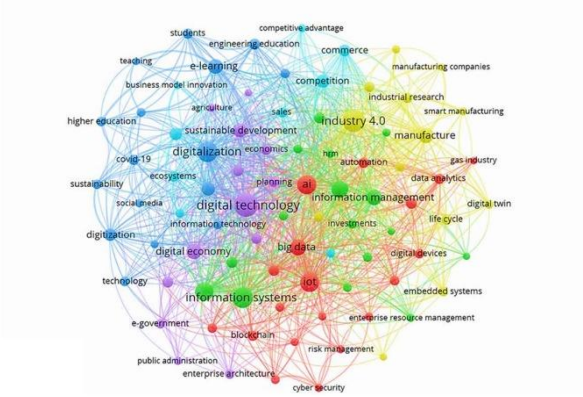
Abstract

This article presents an overview of the digital transformation (DT) initiatives undertaken by the National Institute of Metrology (NIMT) in Thailand. The objective is to describe and analyze the ongoing digital transformation within the metrological system, propose future research directions, and support the development of a Digital National Quality Infrastructure (D-NQI). To adapt to and adopt digital technologies effectively, NIMT has implemented a two-pronged digital transformation action plan: (1) the DT of metrological capabilities and (2) the DT of metrological services. These two components are critical for bridging analog and digital systems, enabling the digitization of reference-standard data, measurement processes, data collection, analysis, and calibration certificate issuance. These advancements aim to enhance the efficiency, reliability, and productivity of NIMT, thereby supporting national economic and industrial growth. Furthermore, they ensure quality of life, safety, and international reliability of metrological services in the digital era.

Keywords: digital transformation, metrological services, digital age

1. บทนำ

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมทั่วโลก อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมจำนวนมากยังคงใช้กระบวนการแบบอนาล็อกดั้งเดิมและไม่ได้ปรับตัวเข้าสู่ระบบดิจิทัลอย่างทันท่วงที ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพ ต้นทุนที่สูงขึ้น และความสามารถในการแข่งขันที่ลดลง อีกทั้งยังสะท้อนให้เห็นถึงอุปสรรคในการนำนวัตกรรมมาใช้ ขาดการใช้ข้อมูลเชิงลึกในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน และไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันในบริบทของอุตสาหกรรมสมัยใหม่ การเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัลจึงไม่ใช่เพียงแค่ทางเลือก แต่เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมสร้างศักยภาพในการแข่งขันและความยั่งยืน โดยการก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัลมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงจากการทำงานด้วยมือหรือแรงคนมาสู่การใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการดำเนินงานและบริหารงานนั้น สามารถช่วยสร้างความพร้อมขององค์กรในการปรับตัวและตอบสนองวิวัฒนาการของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว [1, 2] นอกจากนี้ การนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาปรับใช้ในกระบวนการดำเนินงาน โมเดลธุรกิจ และวัฒนธรรมองค์กร เพื่อสร้างคุณค่าใหม่ ปรับปรุงประสิทธิภาพ และตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคในยุคดิจิทัลอย่างยืดหยุ่นและรวดเร็ว เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัล (Digital Transformation; DT) [3, 4, 5] **รูปที่ 1** แสดงผลของแผนที่ไบโอเมตริกซ์ของเครือข่ายการเกิดร่วมของการเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัล โดยใน **รูปที่ 1** คำสำคัญจะถูกจัดกลุ่มเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้



รูปที่ 1 แผนที่ไบโอเมตริกซ์ของเครือข่ายการเกิดร่วมของการเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัล

- กลุ่มที่หนึ่ง (สีแดง) คำสำคัญในกลุ่มนี้เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่ เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) การติดต่อสื่อสาร (Internet of Things; IoT) เทคโนโลยีบล็อกเชนส์ ความปลอดภัยทางไซเบอร์และการบริหารความเสี่ยง

- กลุ่มที่สอง (สีเขียว) คำสำคัญในกลุ่มนี้เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการจัดการข้อมูลและการตัดสินใจ

- กลุ่มที่สาม (สีน้ำเงิน) คำสำคัญในกลุ่มนี้เกี่ยวข้องกับการดิจิทัลในด้านการศึกษา เช่น การเรียนรู้ออนไลน์ การศึกษาด้านวิศวกรรม การศึกษาระดับอุดมศึกษา นักศึกษา เป็นต้น

- กลุ่มที่สี่ (สีเหลือง) มุ่งเน้นที่หัวข้อด้านอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรม 4.0 (การจัดการอุตสาหกรรมและการปฏิวัติอุตสาหกรรม) และการผลิตอัจฉริยะ

- กลุ่มที่ห้า (สีม่วง) เน้นที่การวิจัยด้านการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม รวมถึงการบริหารจัดการภาครัฐ (การปกครองส่วนท้องถิ่นและรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์) การพัฒนาเศรษฐกิจ (เศรษฐกิจดิจิทัล เศรษฐกิจ การพัฒนาอย่างยั่งยืน) และการเกษตร

- กลุ่มที่หก (สีฟ้าอ่อน) มุ่งเน้นที่ปัจจัยทางธุรกิจ เช่น การค้า ความได้เปรียบในการแข่งขัน และระบบนิเวศ

จากการสำรวจหัวข้อต่าง ๆ เหล่านี้ สามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัล (DT) ได้กล่าวถึงการนำไปใช้ในหัวข้อต่าง ๆ มากมายในหลายระดับ โดยสามารถเห็นได้ชัดเจนว่า เส้นเชื่อมระหว่างโหนดของการเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัล (DT) และกลุ่มต่าง ๆ ถือเป็นเครื่องมือและปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อนเพื่อให้ได้มาซึ่งความได้เปรียบในการแข่งขันและสนับสนุนการเติบโตของอุตสาหกรรมใหม่ ๆ ผ่านการเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัลในอนาคต [5]

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) เป็นหน่วยงานของรัฐที่มีระบบบริหารงานเป็นอิสระอยู่ภายใต้การกำกับของกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (อว.) ที่สำคัญในการสนับสนุนการสอบเทียบหรือรักษามาตรฐานการวัดระดับชาติให้ตรงตามความต้องการระดับชาติและนานาชาติ เพื่อรองรับการเติบโตของอุตสาหกรรมใหม่และเทคโนโลยีแห่งอนาคต อย่างไรก็ตาม ระบบมาตรวิทยาแบบดั้งเดิมยังคงเผชิญกับข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะในกระบวนการสอบเทียบและการจัดการข้อมูลที่ใช้ระบบแมนนวลเป็นหลัก ซึ่งอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยของมนุษย์ (human error) และใช้เวลานาน ส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผลการวัด นอกจากนี้ การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลมักอาศัยเอกสารหรือระบบที่ขาดการบูรณาการ ทำให้การติดตามผลและการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ กลุ่มงานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัล (Digital transformation center; DT center) ภายใต้ มว. ได้มุ่งเน้นการดำเนินการตามแนวทางการเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัลโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัล โดยมีเป้าหมายที่จะยกระดับกระบวนการในการให้บริการสอบเทียบมาตรฐาน การทดสอบ การรับรองผลการสอบเทียบเป็นรูปแบบดิจิทัล และนำไปสู่ห้องปฏิบัติการอัตโนมัติสากล [1, 6] เพื่อสนับสนุนการเติบโตด้านเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศไปสู่การสร้างโครงสร้างพื้นฐานคุณภาพของประเทศแบบดิจิทัล (Digital National Quality Infrastructure; D-NQI) อีกทั้ง เพื่อสร้างความไว้วางใจในระบบนิเวศดิจิทัล สนับสนุนการสร้างนวัตกรรม และขับเคลื่อนการเติบโตทางเศรษฐกิจและการแข่งขันเพื่อความสำเร็จขององค์กร [7]

วัตถุประสงค์ของบทความนี้ ผู้เขียนต้องการนำเสนอการข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับสถานะปัจจุบันของการเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัลในระบบมาตรวิทยา เพื่อการพัฒนาและเสนอแนวทางสำหรับการวิจัย อีกทั้งเพื่อการรองรับและยกระดับโครงสร้างพื้นฐานคุณภาพของประเทศแบบดิจิทัล โดยผู้เขียนได้แบ่งการนำเสนอเนื้อหาในบทความนี้ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัลของความสามารถด้านมาตรวิทยา (DT of metrological capabilities) และส่วนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัลของการบริการด้านมาตรวิทยา (DT of metrological services) ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายและแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาสู่ยุคดิจิทัลของ มว. ในการสนับสนุนเพื่อยกระดับขององค์กรให้เข้าสู่ยุคการทำงานดิจิทัลอย่างมีประสิทธิภาพ [6, 8]

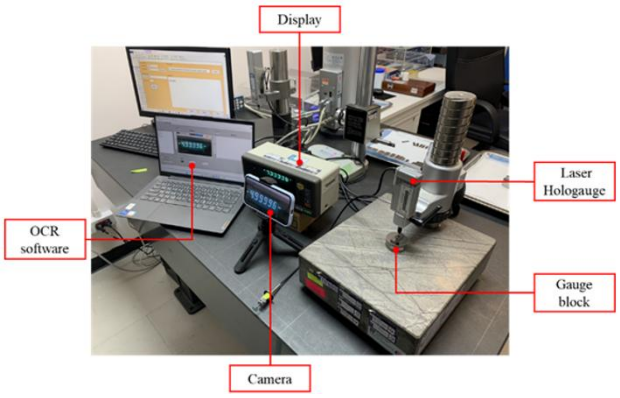
2. การเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัลในบริบทของ มว.

การเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัลในบริบทของกลุ่มงานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัลภายใต้ มว. ในหัวข้อที่ 2 นี้ผู้เขียนต้องการนำเสนอเพื่อให้มุมมองที่ครอบคลุมเกี่ยวกับสถานะปัจจุบันของการวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัล ซึ่งสามารถแบ่งกระบวนการทำงานออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1. การเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัลของความสามารถด้านมาตรวิทยา และ 2. การเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัลของการบริการด้านมาตรวิทยา

2.1 การเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัลของความสามารถด้านมาตรวิทยา

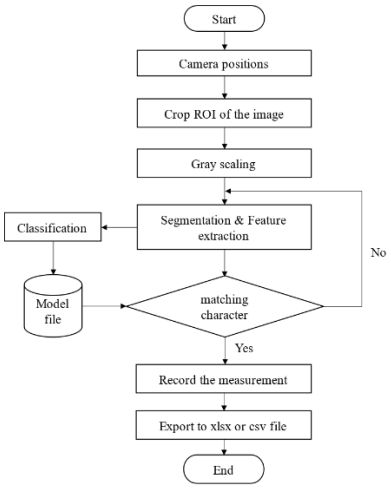
2.1.1 ระบบอัตโนมัติและเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

การผสมผสานระบบอัตโนมัติและเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เข้ากับกลยุทธ์การเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัลนำมาซึ่งประโยชน์มากมาย โดยการอัตโนมัติในการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล องค์กรสามารถได้รับข้อมูลเชิงลึกแบบเรียลไทม์ การดึงผลการวัดโดยอัตโนมัติผ่านสายข้อมูลเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลอัตโนมัติของ มว. อย่างไรก็ตาม ยังคงมีห้องปฏิบัติการสอบเทียบของ มว. บางส่วนยังคงใช้ระบบการสอบเทียบแบบแมนนวลหรือเครื่องมือวัดบางประเภทที่ไม่สามารถเชื่อมต่อผ่านสายข้อมูลได้ ดังนั้น ปัจจุบันกลุ่มงานวิจัย DT ของ มว. จึงได้มีการพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับกระบวนการสอบเทียบแบบดิจิทัลขึ้นมา โดยใช้เทคโนโลยีการรู้จำอักขระด้วยแสง (Optical Character Recognition; OCR) [9] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ที่สามารถแปลงข้อความให้เป็นรูปแบบที่เครื่องสามารถอ่านได้ [10, 11] เทคโนโลยีนี้ช่วยให้ข้อมูลแบบอนาล็อกสามารถถูกดิจิทัลและจัดเก็บ แก้ไข ค้นหา และแบ่งปันได้ในรูปแบบดิจิทัล **รูปที่ 2** แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี OCR กับเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการของ มว. ฝ่ายมาตรวิทยาเชิงกลในการเก็บข้อมูลผลการวัดแบบเรียลไทม์และบันทึกชุดข้อมูลจากการสอบเทียบ



รูปที่ 2 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี OCR กับเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการของ มว.

โดยการพัฒนาเทคโนโลยี OCR ที่ มว. ได้ร่วมมือกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) มุ่งเน้นที่การบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ (AI) ด้วยโมเดลซอฟแวร์ Sira core โดยการจับคู่รูปแบบ (Pattern Matching) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบภาพข้อความกับรูปแบบที่จัดเก็บไว้เพื่อการจดจำ และโมเดลการเรียนรู้ลึก (Deep Learning) ซึ่งใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น (Convolutional Neural Networks) เพื่อทำความเข้าใจและประมวลผลข้อความในลักษณะคล้ายกับการรับรู้ของมนุษย์ [12] สำหรับสร้างระบบที่ชาญฉลาดยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถจดจำฟอนต์และข้อความที่ซับซ้อนได้อย่างแม่นยำ ขอบเขตการใช้งานของ OCR ได้ขยายออกไปด้วยความก้าวหน้านี้ทำให้สามารถใช้งานได้กับเครื่องมือวัดที่หลากหลายและข้อมูลที่สามารถนำไปปฏิบัติได้ ช่วยปรับกระบวนการดิจิทัลในด้านมาตรวิทยาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยไดอะแกรมการทำงานของระบบ OCR ถูกแสดงไว้ใน **รูปที่ 3**



รูปที่ 3 แผนภาพไดอะแกรมของระบบ OCR

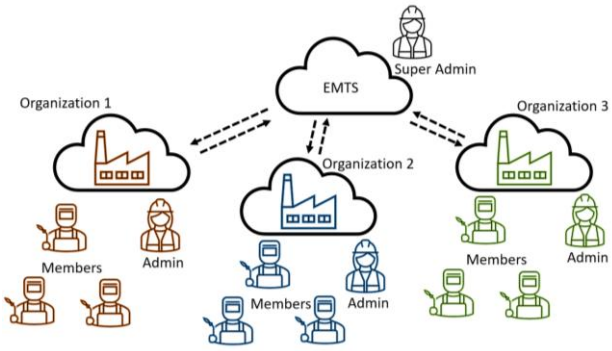
2.2 การเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัลของการบริการด้านมาตรวิทยา

2.2.1 โครงสร้างพื้นฐานคุณภาพของระบบคลาวด์มาตรวิทยา

เมื่อไม่นานนี้ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติของเยอรมนี (Physikalisch-Technische Bundesanstalt; PTB Germany) ได้ริเริ่มโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานคุณภาพแบบดิจิทัลและความสามารถด้านมาตรวิทยาของยุโรป ภายใต้แนวคิดของ European Metrology Cloud ซึ่งได้รับการเสนอให้ใช้งานเป็นแพลตฟอร์มหลักด้านมาตรวิทยาในแต่ละประเทศสมาชิกยุโรป ออกแบบมาเพื่อสนับสนุนและปรับปรุงกระบวนการกำกับดูแลโดยเชื่อมโยงโครงสร้างพื้นฐานและฐานข้อมูลที่มีอยู่ และจัดให้มีจุดติดต่อเดียวสำหรับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งหมด [13]

ปัจจุบัน กลุ่มงานวิจัย DT ของ มว. จึงได้ออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลภายใต้แนวคิดของ European Metrology Cloud จาก PTB เพื่อใช้เป็นแพลตฟอร์มกลางด้านมาตรวิทยาสำหรับกลุ่ม Asean Metrology ภายใต้กรอบนโยบายและแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาสู่ยุคดิจิทัลของ มว. ในการจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์วัดต่าง ๆ ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า ระบบจัดการและติดตามอุปกรณ์มาตรวิทยา (Equipment Management and Tracking System; EMTs) [14, 15] ซึ่งถูกสร้างขึ้นตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ซึ่งเป็นข้อกำหนดทั่วไปสำหรับความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ การเสริมสร้างตำแหน่งด้านนวัตกรรมที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน และความสามัคคี อีกทั้งยังช่วยสร้างโครงสร้างพื้นฐานคุณภาพดิจิทัลระดับชาติเพื่อสนับสนุนผู้ผลิตและอุตสาหกรรมและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งหมด [16, 17] ดังแสดงใน **รูปที่ 4**

ในมุมมองของประเทศไทย บทบาทของห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานแห่งชาติ (National Standards Calibration Laboratory) (มว.) มีความสำคัญมากขึ้นในการจัดตั้งและพัฒนาแนวคิดของระบบคลาวด์มาตรวิทยา และทำงานอย่างใกล้ชิดร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งหมดเพื่อจัดตั้งโครงสร้างพื้นฐานคุณภาพดิจิทัลแห่งชาติ การก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัลในปัจจุบัน มว. ในฐานะเป็นหนึ่งในองค์กรหลักที่มีบทบาทสำคัญโครงสร้างพื้นฐานคุณภาพของประเทศไทยในการพัฒนาระบบมาตรวิทยาแห่งชาติให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล ดังนั้น จึงมีแนวทางในการพัฒนาและผลักดันระบบคลาวด์มาตรวิทยา EMTs เพื่อรองรับความต้องการของโครงสร้างพื้นฐานคุณภาพของประเทศในองค์ประกอบทั้ง 4 องค์ประกอบ ได้แก่ การกำหนดมาตรฐาน การรับรอง การประเมินความสอดคล้อง และการเฝ้าระวังตลาด ในการใช้เป็นแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลมาตรฐานอ้างอิง จัดเก็บ และเรียกค้นข้อมูล การติดตามข้อมูล รวมถึงการตรวจสอบย้อนกลับทางมาตรวิทยา (Traceability) ได้ใน D-NQI [7]



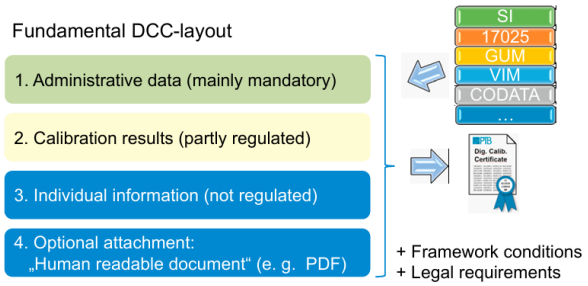
รูปที่ 4 ระบบคลาวด์มาตรวิทยา EMTs ที่พัฒนาโดย มว.

2.2.2 ใบรับรองผลการสอบเทียบแบบดิจิทัล (Digital Calibration Certificated; DCC)

โดยทั่วไป กระบวนการสอบเทียบที่ดำเนินการโดย มว. และห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะนำไปสู่ใบรับรองแบบกระดาษ ใบรับรองแบบกระดาษเหล่านี้จะถูกลงนามโดยเจ้าหน้าที่ที่ได้รับอนุญาตและโดยปกติจะพิมพ์บนกระดาษพิเศษ ใบรับรองเหล่านี้ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 [15] ซึ่งระบุสถานะการรับรองขององค์กรสอบเทียบที่เกี่ยวข้อง ใบรับรองจะถูกส่งไปให้ลูกค้า และข้อมูลการสอบเทียบบนใบรับรองจะถูกบันทึกลงในระบบประมวลผลโดยใช้เครื่องมือหรือสิ่งประดิษฐ์ที่ได้รับการสอบเทียบ การบันทึกข้อมูลการสอบเทียบด้วยตนเองเป็นขั้นตอนที่เสี่ยงต่อข้อผิดพลาด ใบรับรองการสอบเทียบแบบดิจิทัล (DCC) [18] เป็นความพยายามของ PTB ที่จะจัดเตรียมวิธีการรวมศูนย์ในการถ่ายโอนผลการสอบเทียบจากเครื่องจักร (ผู้มีอำนาจออกใบรับรอง) ไปยังเครื่องจักร (ผู้มีส่วนใดส่วนเสียหรือลูกค้าการสอบเทียบ) ในลักษณะที่สอดคล้องกัน ใบรับรองนี้ใช้รูปแบบการแลกเปลี่ยนที่ได้รับการอนุมัติในระดับสากลอย่าง XML (Extensible Markup Language-gauge) ช่วยให้ DCC สามารถตรวจสอบย้อนกลับทางมาตรวิทยาได้ และปรับปรุงกระบวนการผลิตและการตรวจสอบคุณภาพ นอกจากนี้ ยังช่วยให้มั่นใจได้ถึงคุณภาพและความน่าเชื่อถือของวงอุปกรณ์วัดในกระบวนการอุตสาหกรรม [18, 19]

ปัจจุบัน กลุ่มงานวิจัย DT ของ มว. มีแนวทางการพัฒนาโดยมีเป้าหมายในระยะยาว คือ การเปลี่ยนขั้นตอนการรับรองบนกระดาษทั้งหมดให้เป็นกระบวนการดิจิทัลอย่างสมบูรณ์ นำไปสู่ใบรับรองการสอบเทียบแบบดิจิทัลที่ใช้ XML ซึ่งสามารถส่งถึงลูกค้าได้อย่างปลอดภัยและทันที [20, 21] ส่วนประกอบการออกแบบของ DCC เป็นผลลัพธ์หลักของโครงการ SmartCom [22] ของ European Metrology Research Program (EMPIR) และเป็นไปตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 โดยใบรับรองการสอบเทียบแบบดิจิทัลนั้นจะสามารถอ่านด้วยเครื่องได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งยังสามารถตีความของข้อมูลการสอบเทียบได้โดยซอฟต์แวร์ และข้อมูลการสอบเทียบจะถูกโอนไปยังระบบที่เกี่ยวข้องโดยอัตโนมัติของระบบ SmartCom

ส่วนประกอบหลักของการออกแบบ DCC ของโครงการ SmartCom คือ ระบบหน่วย SI ในรูปแบบดิจิทัล [23] ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า D-SI รวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็น เพื่อให้สามารถแลกเปลี่ยนผลการวัดในรูปแบบดิจิทัลได้อย่างสอดประสาน ชัดเจน ปลอดภัย และประหยัดต้นทุน **รูปที่ 5** แสดงโครงสร้างหลักและการอ้างอิงอินพุตหลักของการออกแบบ DCC เอกสารอ้างอิง ซึ่งประกอบไปด้วยระบบหน่วย SI (ในรูปแบบ D-SI) มาตรฐาน ISO/IEC 17025 คู่มือการแสดงค่าความไม่แน่นอนในระบบการวัดมาตรฐาน (GUM) คำศัพท์เฉพาะระหว่างประเทศสำหรับระบบการวัดมาตรฐาน (VIM) [24, 25] และคณะกรรมการด้านข้อมูลของสภาวิทยาศาสตร์ระหว่างประเทศ (CODATA) [26]



รูปที่ 5 โครงสร้างหลักและคีย์ในการอ้างอิงสำหรับการออกแบบ DCC และพัฒนาของ มว.

อย่างไรก็ตาม แม้ว่า DCC จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล แต่การนำไปใช้ในวงกว้างยังเผชิญกับความท้าทายหลายประการ เช่น การบูรณาการระบบดิจิทัลเข้ากับโครงสร้างพื้นฐานเดิมของห้องปฏิบัติการ การปรับตัวของบุคลากรที่คุ้นเคยกับกระบวนการแบบกระดาษ และความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูลสอบเทียบ นอกจากนี้ มาตรฐานและข้อกำหนดทางกฎหมายที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศอาจเป็นอุปสรรคต่อการยอมรับ DCC ในระดับสากล ดังนั้น การแก้ไขปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การฝึกอบรมบุคลากร และความร่วมมือระหว่างหน่วยงานมาตรวิทยาเพื่อสร้างแนวทางที่เป็นมาตรฐานร่วมกัน

3. เป้าหมายการวิจัยในอนาคต

กลุ่มวิจัย DT ของ มว. ได้กำหนดเป้าหมายในอนาคตตามนโยบายและแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาสู่ยุคดิจิทัล สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ระยะ 5 ปี (2566-2570) เพื่อให้แน่ใจว่าค่าการวัดมีความสม่ำเสมอและสามารถตรวจสอบย้อนกลับทางมาตรวิทยาได้ในรูปแบบดิจิทัล สำหรับการให้บริการแก่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย จึงได้มีแผนการพัฒนากระบวนการขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัด (Calibration and Measurement Capability Quantity Surveyor; CMC QS) นั่นคือ ขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัดที่สามารถให้บริการแก่ลูกค้าได้ภายใต้สภาวะปกติ [27, 28] ซึ่งจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่ง ดังนี้

ก) ตามที่ระบุในขอบข่ายที่ได้รับการรับรองจากหน่วยรับรองที่ได้ลงนามการยอมรับร่วมจาก International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) หรือ

ข) ตามที่ได้ประกาศใน BIPM key comparison database (KCDB) ของ CIPM MRA

การระบุขอบข่ายการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการจะต้องประกอบด้วยค่าขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัดที่แสดงโดยผ่านปัจจัย ดังนี้

1) สาขาการสอบเทียบและการวัด

2) สิ่งที่ต้องการวัดหรือพารามิเตอร์

3) วิธีการสอบเทียบ วิธีหรือขั้นตอนการปฏิบัติ และประเภทของเครื่องมือ วัสดุที่ได้รับการสอบเทียบ

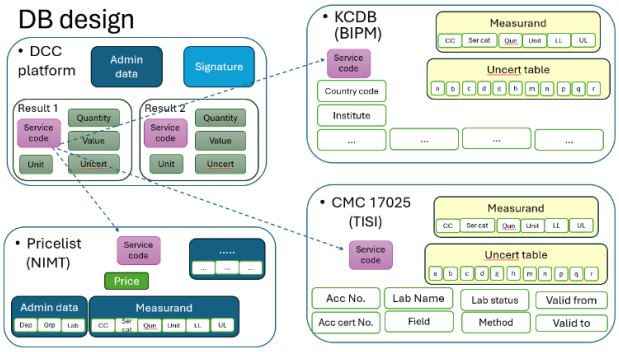
4) ช่วงการวัดและตัวแปรที่เพิ่มขึ้นมา (ถ้ามี) เช่น ความถี่ของค่าความต่างศักย์ที่ใช้

5) ค่าความไม่แน่นอนของการวัด

ดังนั้น แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่เกิดจากมาตรฐานที่ใช้ สภาพแวดล้อม วิธีการ ความสามารถในการทำซ้ำ และอุปกรณ์ที่ต้องสอบเทียบจะต้องลดลงให้เหลือน้อยที่สุด และเป็นไปตามแนวทางที่ให้ไว้ในเอกสารเชิงบรรทัดฐานที่ถูกต้อง เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับผู้มีส่วนใดส่วนเสียให้เป็นไปตามข้อกำหนด โดยเกณฑ์การยอมรับ CMC QS ในการเผยแพร่ CMC QS ใน KCDB และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) จะต้องปฏิบัติตามเกณฑ์ของการตรวจสอบย้อนกลับทางมาตรวิทยาของมาตรฐานแห่งชาติ ต่อไปนี้

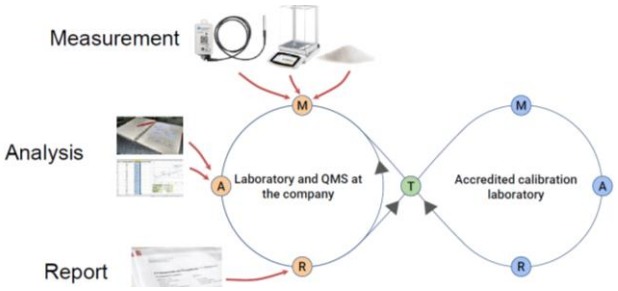
- ผ่านการรับรู้เบื้องต้นหรือการเป็นตัวแทนของหน่วยการวัดที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในกรณีนี้ความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับจะต้องประกาศไปสู่การรับรู้ SI ที่สามารถพิสูจน์ได้ของตัวเอง

- ผ่านสถาบันอื่นที่มี CMC QS ที่เกี่ยวข้องโดยมีความไม่แน่นอนที่เหมาะสมซึ่งตีพิมพ์ใน KCDB และ สมอ. หรือผ่านบริการสอบเทียบและการวัดที่นำเสนอโดย BIPM ซึ่งในกรณีนี้ จะต้องประกาศความสามารถในการสอบกลับผ่านห้องปฏิบัติการที่ให้บริการ [29] ดังแสดงใน **รูปที่ 6**



รูปที่ 6 โครงสร้างข้อมูลสำหรับ CMC QS ของ มว.

รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างข้อมูลสำหรับ CMC QS ที่ มว. พัฒนาร่วมกับ BIPM และ สมอ. เพื่อจัดเก็บและเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างองค์กร ซึ่งช่วยให้สามารถใช้และค้นหาข้อมูลได้อย่างสะดวก ปลอดภัย และเป็นไปตามมาตรฐานสากล [27] ดังนั้น การพัฒนาของกลุ่มวิจัย DT ของ มว. ในอนาคตไม่ใช่แค่การสร้างแพลตฟอร์มดิจิทัลเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการทำให้แน่ใจว่าข้อมูลภายในแพลตฟอร์มเหล่านี้ได้รับจัดการของข้อมูล การสื่อสาร และประสานงานกันอย่างเป็นระบบ อีกทั้งข้อมูลการสอบเทียบมาตรฐานจะต้องสามารถตรวจสอบย้อนกลับมายังห้องปฏิบัติการสอบเทียบเป็นระบบดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 7 กระบวนการและขั้นตอนการให้บริการมาตรวิทยาใน D-NQI

นอกจากนี้ กระบวนการและขั้นตอนการปฏิบัติงาน Digital Transformation สำหรับงานวิเคราะห์ ทดสอบ และสอบเทียบแสดงใน **รูปที่ 7** ประกอบด้วย

1) การทำให้เป็นอัตโนมัติ (Automation) ในกระบวนการวัดเชื่อมต่อเครื่องมือวัดเข้ากับซอฟแวร์เพื่อดึงและบันทึกข้อมูลผลการวัด (Measurement)

2) การวิเคราะห์ (Analysis) ผลการวัดและค่าความไม่แน่นอนในการวัดโดยใช้เทคโนโลยี AI หรือ Machine learning

3) การรายงาน (Report) ผลการวัดในรูปแบบ DCC ซึ่งเครื่องมือวัด หรือซอฟแวร์ของเครื่องมือวัดสามารถอ่าน และนำข้อมูลผลการวัดดังกล่าวไปใช้ในการชดเชย หรือทวนสอบความใช้ได้ของเครื่องมือวัดได้ หรือแสดงความสามารถในการสอบกลับได้ของการวัดไปยังห้องปฏิบัติการสอบเทียบลำดับต่อไป เป็นต้น

ดังนั้น การพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลของ มว. จึงไม่ได้มีไว้สำหรับการใช้งานภายในองค์กรเท่านั้น แต่ยังมีไว้สำหรับการทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยงาน NQI ด้วยและผู้มีส่วนใดส่วนเสียระดับสากลตามมาตรฐาน ISO 9001:2015 และมาตรฐาน ISO/IEC 17025 [2, 17] เพื่อให้เกิดการแปลงข้อมูลทางมาตรวิทยาเป็นดิจิทัลอย่างครอบคลุม ที่มุ่งหวังที่จะสร้าง D-NQI ในการอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติทางดิจิทัลที่ได้มาตรฐาน และปรับปรุงการประสานงานระหว่างหน่วยงาน NQI ทั้งหมดทั้งในระดับประเทศและระหว่างประเทศ

4. สรุป

จากบทความวิจัยนี้ ผู้เขียนชี้ให้เห็นถึงบทบาทสำคัญในความร่วมมือเชิงระบบและการสื่อสารข้อมูลต่อการพัฒนาวิทยาการมาตรวิทยา โดยการนำเอาแพลตฟอร์มดิจิทัลมาใช้งานช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทำงานในการเปลี่ยนแปลงสู่ดิจิทัลในอนาคตของกลุ่มวิจัย DT ของ มว. อาทิเช่น ระบบอัตโนมัติและเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ช่วยให้สามารถจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ การตัดสินใจอัตโนมัติ และเพิ่มความแม่นยำในกระบวนการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบคลาวด์มาตรวิทยา (EMTs) ช่วยให้สามารถจัดเก็บและเข้าถึงข้อมูลแบบเรียลไทม์ ใบรับรองผลการสอบเทียบแบบดิจิทัล (DCC) มุ่งเน้นการมาตรฐานและการดิจิทัลไลซ์ใบรับรองการสอบเทียบ ทำให้สามารถเข้าถึง แชร์ และตรวจสอบย้อนกลับของข้อมูลการสอบเทียบได้ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการรักษาความถูกต้องของการวัดและการปฏิบัติตามมาตรฐานสากล และกระบวนการขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัด (CMC QS) เพื่อรับรองคุณภาพของความสามารถในการสอบเทียบและการวัดให้คงอยู่ในระดับสูงอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับเป้าหมายขององค์กรในการส่งเสริมความเป็นเลิศและความน่าเชื่อถือ

ดังนั้น การใช้แพลตฟอร์มดิจิทัลเหล่านี้ช่วยให้การสื่อสารข้อมูลการสอบเทียบมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้เกิดกระบวนการทำงานที่เป็นระบบและสอดคล้องกับการเปลี่ยนผ่านสู่ยุคดิจิทัลได้อย่างราบรื่นและมั่นคง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปีงบประมาณ 2567 และสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.)

เอกสารอ้างอิง

[1] National Quality Infrastructure White Paper., (2019), National Institute of Metrology (Thailand).

[2] National Institute of Metrology (Thailand)., (2023). Five-year action plan (2023–2027) of the National Institute of Metrology, National Institute of Metrology Press, Thailand.

[3] T. Hess, C. Matt, A. Benlian and F. Wiesböck. 2016. “Options for Formulating a Digital Transformation Strategy”. MIS Q. Executive, Vol. 15(2): 123–139.

[4] C. Llopis-Albert, F. Rubio and F. Valero. 2021. “Impact of Digital Transformation on the Automotive Industry”. Technol. Forecast. Soc. Change, Vol. 162: 120343.

[5] L. Benavides, J. Tamayo Arias, M. Arango Serna, B. Branch and D. Burgos. 2020. “Digital Transformation in Higher Education Institutions: A Systematic Literature Review”. Sensors, Vol. 20(11): 3291.

[6] BIPM, VIM_JCGM_200_2012. Online document https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_200_2012.pdf/f0e1ad45-d337-bbeb-53a6-15fe649d0ff1 (accessed on 23 April 2021).

[7] J. Vrana. 2021. “Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0”. Springer Nature Link, Vol. 40(8): 1-17.

[8] V. Ramaswamy V and K. Ozcan. 2016. “Brand value co-creation in a digitalized world: An integrative framework and research implications”. Int. J. Res. Market, Vol. 33(1): 93-106.

[9] R. Goswami and O. P. Sharma. 2013. “A Review on Character Recognition Techniques”. Int. J. Comput. Appl, Vol. 83(7): 18-23.

[10] G. Grzeczka and M. Klebba. 2020. “Automated Calibration System for Digital Multimeters Not Equipped with a Communication Interface”. Sensors, Vol. 20: 3650.

[11] N. Nanna, N. Chanthawong and J. Buajarern. 2023. “Design and development of OCR software for remote measurement and calibration”. J. Phys.: Conf. Ser, Vol. 2653: 012012.

[12] T. Takatsuji, H. Watanabe and Y. Yamashita. 2019. “Blockchain technology to visualize the metrological traceability”. Precision Engineering, Vol. 58: 1–6.

[13] H. Siegfried, S. Shanna Schönhals, D. Lutz, E. Thomas and B. Reinhard. 2023. "The Digital Calibration Certificate (DCC) for an End-to-End Digital Quality Infrastructure for Industry 4.0". Sci, Vol. 5(1): 11.

[14] S. Parana, P. Thongluang, N. Chanthawong and J. Buajarern. 2023. “Analyzing the Conformance of DCC Prototype Architecture to Calibration Laboratory Expectations Report”. Proceeding of 3rd International DCC Conference, 471-479.

[15] E. Henriette, M. Feki and I. Boughzala. 2015. “The Shape of Digital Transformation: A Systematic Literature Review”. In: Information Systems in a Changing Economy and Society, 431.

[16] Miruna Lucretia Comeaga. 2022. “Digital transformation of the laboratories”. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 1268.

[17] Deutsche und Englische Fassung EN_ISO/IEC_17025:2017, Beuth Verlag GmbH. Online document https://www.beuth.de/de/-/-/278030106 (accessed on 24 September 2021).

[18] S. G. Hackel, F. Hartig, J. Hornig and T. Wiedenhofer. 2017. “The digital calibration certifcate”. PTB-Mitteilungen, Vol. 127: 75–81.

[19] DIN EN ISO/IEC 17025, 2000. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Standard. International Organization for Standardization. Geneva, CH.

[20] P. Thongluang, S. Parana, N. Chanthawong and J. Buajarern. 2023. “Generating DCC and Human-Friendly Readable Using Auto-Generated XML Schema”. Proceedings of 3rd International DCC-Conference, 203-212.

[21] P. Thongluang and J. Buajarern. 2024. “Improving DCC Conversion Process and Leveraging Thailand’s Government Platforms for Schema Validation and Accessibility“. Proceedings of 4th International DCC-Conference, 324-333.

[22] SmartCom, 2018. SmartCom - Communication and validation of smart data in IoT-networks. Online document https://www.ptb.de/empir2018/smartcom/project/.

[23] O. Alexander, E. Samuel, E. John, B. Thomas, B. Matthias, N. Rolf, H. Wiebke, B. Oksana and B. Clifford. 2022. “Digital Transformation in Metrology: Building a Metrological Service Ecosystem”. 3rd International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing, Procedia Computer Science, Vol. 200: 308–317.

[24] JCGM 100:2008, 2008. Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of uncertainty in Measuremen. Standard. GUM 1995 with minor corrections, first edition

[25] JCGM 200:2012, 2012. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms . Standard. VIM.

[26] CODATA, . Committee on Data of the International Science Council. Online document http://www.codata.org/.

[27] S. F. Beckert. 2018. “Critical analysis of Calibration and Measurement Capabilities (CMC) presented in accreditation scopes”. J. Phys.: Conf. Ser, Vol. 1065(2) 022002.

[28] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML 2012 JCGM 200 3rd Ed.

[29] J. L. Guasch, J. L. Racine, I. Sanchez and M. Diop. 2007. Quality Systems and Standards for a Competitive Edge; The World Bank: Washington, DC, USA.

การใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ในโรงงานผลิตวัตถุเจือปนอาหาร

Implementation of Failure mode and effects analysis (FMEA) in the food additive manufacturing factory

จตุพล ลิ้มทุติเนตร[1] กนกวรรณ กิ่งผดุง[1*]
[1]ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: kanokwan.kin18@gmail.com *

Jatuphon Limtutinat[1], Kanokwan Kingphadung[1]
[1]Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: kanokwan.kin18@gmail.com *

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตวัตถุเจือปนอาหาร เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดการความเสี่ยงและเพิ่มความปลอดภัยในกระบวนการ โดยเริ่มจากการวิเคราะห์แผนผังกระบวนการทุกกระบวนการ ได้แก่ การรับเข้า การผสม การแบ่งบรรจุ และการค้า รวมถึงการชี้บ่งขั้นตอนที่มีความเสี่ยง เพื่อลดปัญหาข้อร้องเรียนลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยอาหาร โดยผลการคำนวณค่าลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (RPN) ของแต่ละกระบวนการคือ กระบวนการรับเข้ามีค่า RPN ในช่วง 350-450 กระบวนการผสมและกระบวนการแบ่งบรรจุมีค่า RPN=140 และกระบวนการค้าไม่พบความเสี่ยงที่ต้องแก้ไข หลังจากการปรับปรุงแก้ไขตามมาตรการที่กำหนด เช่น การเพิ่มจำนวนตะแกรงให้เพียงพอต่อการใช้งาน การบำรุงรักษาหลังจากใช้งาน การเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของรูหรือขนาดของตะแกรงสัปดาห์ละครั้ง และการเพิ่มมาตรการในการตรวจสอบเกี่ยวกับขีดจำกัดระดับคุณภาพการยอมรับได้ (Acceptable Quality Limit; AQL) ส่งผลให้กระบวนการรับเข้ามีค่า RPN ลดลงเหลือน้อยกว่า 100 และกระบวนการผสมและกระบวนการแบ่งบรรจุมีค่า RPN ลดลงเหลือ 105 การวิเคราะห์กระบวนการผลิตวัตถุเจือปนด้วย FMEA แสดงให้เห็นความเสี่ยงอื่นนอกเหนือจากขั้นตอนที่ถูกระบุด้วย ISO22000 เช่น อันตรายทางชีวภาพ และกายภาพ ในขั้นตอนการรับเข้า ดังนั้นการใช้ FMEA ร่วมกับ ISO22000 จึงช่วยเพิ่มความแม่นยำในการระบุความเสี่ยง/ความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายหลังการปรับปรุงขั้นตอนที่ถูกระบุว่ามีความเสี่ยง ทำให้นำไปสู่มาตรการที่สามารถลดข้อร้องเรียนของลูกค้าและเพิ่มความปลอดภัยในผลิตภัณฑ์ได้

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ, วัตถุเจือปนอาหาร, ข้อร้องเรียนลูกค้า

Abstract

This study aims to apply Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) in the food additive manufacturing factory to improve risk management efficiency and enhance process safety. The analysis began by examining the process flow across all stages, including receiving, mixing, packaging, and trading, while identifying high-risk steps to reduce customer complaints related to food safety. The Risk Priority Number (RPN) values for each process were as follows: receiving process RPN values ranged from 350-450, mixing and packaging processes RPN = 140, and the trading process had no risks to be addressed. After implementing corrective measures such as increasing the number of sieves, regular maintenance, weekly sieve integrity checks, and adding Acceptable Quality Limit (AQL) inspections, the receiving process RPN decreased to less than 100, and the mixing and packaging processes RPN decreased to 105. The FMEA analysis revealed additional risks beyond those identified by ISO 22000, such as biological and physical hazards during the receiving stage. Therefore, combining FMEA with ISO 22000 enhances the accuracy in identifying potential risks or failures in the process effectively. Following the improvement of the identified high-risk steps, the study resulted in measures that reduced customer complaints and contributed to greater product safety.

Keywords: Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Food Additive, Customer Complaints

1. บทนำ

โรงงานผลิตวัตถุเจือปนอาหารแห่งหนึ่งซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดสมุทรสาครได้มีการประยุกต์ใช้ระบบมาตรฐานด้านความปลอดภัยของอาหาร (ISO 22000) เพื่อควบคุมให้อาหารมีความปลอดภัยและได้มาตราฐาน ปัจจุบันยังคงพบปัญหาข้อร้องเรียนลูกค้าด้านความปลอดภัยอาหาร จากข้อมูลช่วงเดือนมีนาคมถึงธันวาคม ปี พ.ศ. 2566 พบข้อร้องเรียนเกี่ยวกับอันตรายทางกายภาพ 5 ครั้ง อันตรายทางชีวภาพ 3 ครั้ง อันตรายทางเคมี 2 ครั้ง และไม่พบอันตรายทางสารก่อภูมิแพ้

อันตรายทางชีวภาพ เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ รา ไวรัส ที่ทำให้เกิดการเจ็บป่วยจากการบริโภคอาหาร [1] อันตรายทางเคมี เช่น สารกำจัดศัตรูพืช สารเคมีในกระบวนการผลิต สารโลหะหนัก [2] อันตรายทางกายภาพ เช่น เศษแก้ว พลาสติก หรือกระดาษ ที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต [3] อันตรายจากสารก่อภูมิแพ้ในอาหาร เช่น นม ไข่ ถั่วลิสง และธัญพืชบางชนิด สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาที่รุนแรงในผู้ที่มีอาการแพ้อาหาร [4] ความปลอดภัยอาหารมีบทบาทสำคัญในการสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภค จำเป็นต้องบริหารคุณภาพและความปลอดภัยโดยใช้การวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Hazard Analysis Critical Control Point; HACCP) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ ISO 22000 และเครื่องมือการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effects analysis; FMEA) เพื่อลดข้อร้องเรียนด้านความปลอดภัยของอาหาร โดยมีเป้าหมายของปี พ.ศ. 2567 คือไม่พบข้อร้องเรียนด้านความปลอดภัยอาหาร

FMEA จะช่วยวิเคราะห์กระบวนการผลิต เพื่อระบุความล้มเหลวหรือความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของอาหารในแต่ละขั้นตอน [5] โดยประเมินความเสี่ยงและจัดลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (Risk Priority Number; RPN) ได้แก่ ความรุนแรงของผลกระทบ (Severity; S) โอกาสในการเกิดอันตราย (Occurrence; O) และความสามารถในการตรวจจับ (Detectability; D)

งานวิจัยก่อนหน้าใช้ FMEA ในกระบวนการผลิตชีทจากนมวัว พบว่ากระบวนการรับน้ำนมดิบมีค่า RPN สูงที่สุด สามารถลดความเสี่ยงได้โดยกำหนดวิธีการปฏิบัติงานที่ดี มีมาตรฐานการทำงาน และใช้เครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Near Infrared Spectroscopy) รองลงมา คือ กระบวนการจัดเก็บและขนส่ง สามารถลดความเสี่ยงได้โดยปรับปรุงการจัดการในระหว่างการขนส่งและการจัดเก็บผลิตภัณฑ์เป็นระบบควบคุมอุณภูมิแบบอัตโนมัติ ที่มีการทำงานอย่างต่อเนื่องและรายงานผลทันทีเมื่อพบความผิดปกติ [6] มีการใช้ FMEA กับห่วงโซ่ความเย็นของอาหาร (Food Cold Chain) พบว่า กระบวนการจัดส่งมีค่า RPN สูงที่สุด เนื่องจากพนักงานขับรถไม่ได้บันทึกอุณหภูมิ สภาพการขับขี่ไม่ดี พนักงานส่งสินค้าล่าช้าทำให้สินค้ามีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงทำการปรับปรุงระบบการรายงานผลการบันทึกอุณหภูมิแบบทันทีทันใดและการจัดอบรมพนักงานเพื่อให้เข้าใจและดำเนินการตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน [7]

นอกจากนี้ FMEA ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น เม็ดมะม่วงหิมพานต์อบแห้ง เครื่องเทศพริกไทยแดง และเนื้อสัตว์ปีกแปรรูป ในการปรับปรุงคุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร [8-10] แต่ในปัจจุบันยังไม่พบการศึกษาที่ประยุกต์ใช้ FMEA ในกระบวนการผลิตวัตถุเจือปนอาหาร เพื่อค้นหาแนวทางการกำหนดวิธีการหรือมาตรการในการจัดการความล้มเหลวหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น สำหรับจัดทำแผนการจัดการความเสี่ยงในกระบวนการผลิตวัตถุเจือปนอาหาร เพื่อลดหรือกำจัดข้อร้องเรียนที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยอาหาร

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษากระบวนการผลิตวัตถุเจือปนอาหารของโรงงานกรณีศึกษา

2.2 คำนวณค่าลำดับความสำคัญของความเสี่ยง ดังสมการที่ 1

$$RPN = (S) \times (O) \times (D) \quad (1)$$

โดยใช้เกณฑ์ที่กำหนดในการประเมิน ดังตารางที่ 1 การประเมินความเสี่ยงมีผู้ประเมินจากฝ่ายที่เกี่ยวข้องและเป็นสมาชิกของทีมคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร 20 ท่าน ประกอบด้วย ฝ่ายระบบคุณภาพ 1 ท่าน ฝ่ายผลิต 3 ท่าน ฝ่ายควบคุมคุณภาพ 2 ท่าน ฝ่ายคลังสินค้า 3 ท่าน ฝ่ายจัดส่ง 2 ท่าน ฝ่ายวิจัยและพัฒนา 2 ท่าน ฝ่ายซ่อมบำรุง 2 ท่าน ฝ่ายวิชาการ 2 ท่าน ฝ่ายจัดซื้อ 2 ท่าน และฝ่ายพัฒนาธุรกิจใหม่ 1 ท่าน

2.3 วิเคราะห์สาเหตุของความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น โดยใช้แผนผังก้างปลา

2.4 กำหนดมาตรการการแก้ไขปรับปรุง

การคัดเลือกมาตรการแก้ไข จะใช้เกณฑ์การตัดสินใจ คือ ระยะเวลาในการดำเนินการ การลงทุน และความยาก-ง่ายในการดำเนินการ มีระดับคะแนน 1-3 ดังตารางที่ 2 จะร่วมระดมสมองหารือจากผู้เข้าร่วมประเมิน 20 ท่าน เพื่อค้นหามาตรการแก้ไขปัญหาที่เหมาะสม โดยจะพิจารณาแก้ไขปัญหาจากสาเหตุที่มีคะแนนรวมสูงที่สุดก่อน

2.5 ผลการประเมิน FMEA ของหลังการแก้ไขปรับปรุง

2.6 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

3. ผลการดำเนินการวิจัย

3.1 ผลการศึกษากระบวนการผลิตวัตถุเจือปนอาหาร

กระบวนการผลิตวัตถุเจือปนอาหาร (ดังรูปที่ 1) แบ่งเป็น 4 กระบวนการหลัก ดังนี้ กระบวนการรับเข้า การผสม การบรรจุ และการค้า ซึ่งกระบวนการรับเข้า คือ การรับวัตถุดิบ สินค้าสำเร็จรูป บรรจุภัณฑ์ และฉลาก ต้องผ่านการตรวจสอบด้านกายภาพ ลักษณะปรากฏของบรรจุภัณฑ์ จำนวนวัตถุดิบ วันที่ผลิตและวันหมดอายุ โดยมีเอกสารแสดงการรับรองผลการตรวจสอบ (Certificate of Analysis, COA) จากนั้นตรวจสอบความสะอาดของรถขนส่งก่อนนำเข้าพื้นที่จัดเก็บ สำหรับวัตถุดิบที่ถูกจัดเก็บแล้ว จะถูกเบิกเข้าสู่กระบวนการผสมวัตถุดิบต้องผ่านการตรวจสอบชนิด จำนวน วันที่ผลิต และหมายเลขของแบทช์ของวัตถุดิบ เพื่อให้มั่นใจว่าวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นไปตามสูตรและแผนการผลิตที่กำหนด และเทผ่านตะแกรงเพื่อป้องกันเศษสิ่งแปลกปลอมที่อาจปนมากับวัตถุดิบ จากนั้น

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมิน

ความรุนแรงของผลกระทบ	
10 ร้ายแรงที่สุด	ผลกระทบกับผู้บริโภคอย่างรุนแรง แพ้อย่างรุนแรง บาดเจ็บสาหัส ติดเชื้ออย่างรุนแรง อาจถึงขั้นเสียชีวิต และไม่สอดคล้องกับกฎระเบียบด้านความปลอดภัยอาหาร
9 สำคัญและร้ายแรง	ผลกระทบกับผู้บริโภคอย่างมาก บาดเจ็บ ติดเชื้อ อาจเสียชีวิต และมีความเสี่ยงต่อความไม่สอดคล้องกับ
8 ร้ายแรง	การปนเปื้อนสารเคมีและโลหะหนักเกินกำหนด ผู้บริโภคเกิดอาการเจ็บป่วยที่ต้องการการรักษาพยาบาลในระดับที่สำคัญ อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว แต่ไม่ถึงขั้นเสียชีวิต
7 สำคัญ	คุณภาพสินค้าลดลงอย่างรุนแรง สิ่งแปลกปลอมขนาด 7 - 25 มิลลิเมตร ผู้บริโภคเกิดอาการไม่สบายตัว เจ็บป่วย มีผลกระทบกับสุขภาพของผู้บริโภคต้องการการดูแลจากแพทย์ แต่ไม่ถึงขั้นเสียชีวิต
6 ปานกลาง	คุณภาพสินค้าลดลงปานกลาง ผู้บริโภคเกิดอาการไม่สบายตัว ปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมเล็กกว่า 7 มิลลิเมตร มีผลกระทบกับสุขภาพของผู้บริโภคที่สามารถจัดการได้โดยไม่ต้องการการรักษาพยาบาล
5 เล็กน้อย	กระบวนการได้รับผลกระทบ และจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา ผู้บริโภคเกิดความไม่พึงพอใจ คุณภาพสินค้าลดลง (เช่น สีเปลี่ยน) มีผลกระทบกับสุขภาพของผู้บริโภคเล็กน้อยที่สามารถจัดการได้
4 น้อย	กระบวนการได้รับผลกระทบน้อย และอาจไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษา ผู้บริโภครำคาญ คุณภาพสินค้าลดลง มีผลกระทบกับสุขภาพของผู้บริโภคเล็กน้อยที่สามารถจัดการได้
3 น้อยมาก	กระบวนการได้รับผลกระทบเล็กน้อย ไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษา ผู้บริโภครำคาญเล็กน้อย คุณภาพสินค้าลดลง ไม่มีผลกระทบกับสุขภาพของผู้บริโภค
2 น้อยมากที่สุด	สามารถแก้ไขได้ทันทีโดยไม่ทำให้เกิดปัญหาใหญ่ ลูกค้ายังคงพึงพอใจกับสินค้า สินค้ายังคงคุณภาพ ไม่มีผลกระทบกับสุขภาพของผู้บริโภค
1 ไม่มีผลกระทบ	ผู้บริโภคพึงพอใจกับสินค้า ไม่มีผลกระทบกับคุณภาพสินค้า ไม่มีผลกระทบกับสุขภาพของ
โอกาสในการเกิด	
10 แน่นอน ไม่มีข้อสงสัย	จำนวนความล้มเหลวสูงสุด, หนึ่งครั้งต่อวันหรือไม่ทราบ/ยังไม่ได้กำหนด
9 แทบจะมั่นใจแน่นอน	จำนวนความล้มเหลวสูงมาก, หนึ่งครั้งต่อสัปดาห์
8 น่าจะเป็นไปได้มาก	จำนวนความล้มเหลวสูง, หนึ่งครั้งในสองสัปดาห์
7 มีแนวโน้มที่จะเป็นไปได้	จำนวนความล้มเหลวค่อนข้างสูง, หนึ่งครั้งต่อเดือนหรือหนึ่งครั้งในสองเดือน
6 ค่อนข้างที่จะเป็นไปได้	จำนวนความล้มเหลวค่อนข้างสูงเล็กน้อย, หนึ่งครั้งในสามถึงห้าเดือน
5 อาจเป็นไปได้	จำนวนความล้มเหลวปานกลาง, หนึ่งครั้งในหกถึงสิบเอ็ดเดือน
4 ไม่น่าจะเป็นไปได้	จำนวนความล้มเหลวค่อนข้างต่ำ, หนึ่งครั้งต่อปี
3 น่าจะเป็นไปได้น้อยมาก	จำนวนความล้มเหลวต่ำ, หนึ่งครั้งในสองปี
2 แทบจะเป็นไปไม่ได้	จำนวนความล้มเหลวต่ำมาก, หนึ่งครั้งในสามปี
1 แน่นอนว่าเป็นไปไม่ได้	ไม่เคยเกิดความล้มเหลว
ความสามารถในการตรวจจับ	
10 เป็นไปไม่ได้อย่างแน่นอน	ไม่มีการกำหนดความถี่, ตรวจเฉพาะกิจ
9 เล็กน้อยมาก	ความถี่ที่กำหนดปีละครั้ง
8 เล็กน้อย	ความถี่ที่กำหนดปีละ 2 ครั้ง
7 ต่ำมาก	ความถี่ที่กำหนดระหว่างปี (เช่น ทุกๆ 3 / 4 เดือน)
6 ต่ำ	ความถี่ที่กำหนดระหว่างเดือน (ทุกๆ สัปดาห์ที่ 2 ของเดือน อย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง)
5 ปานกลาง	ความถี่ที่กำหนดระหว่างสัปดาห์ (ทุกๆวันที่ 2 ของสัปดาห์ อย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง)
4 ค่อนข้างสูง	ความถี่ที่กำหนดในตอนต้น และ/หรือ สิ้นสุดกระบวนการ อย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง
3 สูง	ความถี่ที่กำหนดในตอนต้น และ ระหว่าง และ สิ้นสุดกระบวนการ อย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง
2 สูงมาก	ความถี่ที่แน่นอนระหว่างกระบวนการ (ทุกๆ 30-60 นาที)
1 อย่างแน่นอน	ความถี่ทุก Lot ที่รับและจ่ายออก, ตลอดกระบวนการ

ตารางที่ 2 เกณฑ์การคัดเลือกมาตรการแก้ไขปัญหา

	ระดับคะแนน		
ปัจจัย	3	2	1
ระยะเวลาในการดำเนินการ	สามารถทำได้ทันทีหรือน้อยกว่า 1 เดือน	ใช้เวลาประมาณ 1-6 เดือน	ใช้เวลามากกว่า 6 เดือนขึ้นไป
การลงทุน	ไม่มีต้นทุนในการแก้ไข	ต้องการการลงทุนในบางทรัพยากร	ต้องการการลงทุนที่สูงมาก
ความยาก-ง่ายในการดำเนินการ	ดำเนินการได้ตรงไปตรงมาและไม่มีขั้นตอนที่ยุ่งยาก	มีขั้นตอนซับซ้อนบางส่วน แต่สามารถจัดการได้	ต้องการการวางแผนและการจัดการที่ละเอียด

เข้าสู่ขั้นตอนการปั่นผสมจนวัตถุดิบเป็นเนื้อเดียวกัน ตามความเร็วรอบและเวลาที่กำหนด และบรรจุสินค้าลงถุง บรรจุภัณฑ์ต้องผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง ความสมบูรณ์ ความสะอาด และติดฉลากอย่างถูกต้อง สินค้าทั้งหมดจะผ่านการชั่งน้ำหนักหลังบรรจุ เพื่อให้มั่นใจว่าสินค้ามีน้ำหนักตามมาตรฐานและความต้องการที่ลูกค้ากำหนด แล้วปิดผนึกด้วยเครื่องซีลร้อน และตรวจสอบการรั่วของบรรจุภัณฑ์หลังการปิดผนึกจากนั้นสินค้าทั้งหมดจะถูกบรรจุลงกล่อง

กระบวนการแบ่งบรรจุและการค้าสำหรับสินค้าสำเร็จรูป โดยกระบวนการค้า คือ การนำสินค้าที่รับเข้ามาไปขายต่อ โดยตรวจสอบชนิดสินค้าและจัดส่ง สำหรับกระบวนการแบ่งบรรจุต้องตรวจสอบชนิด จำนวน วันที่ผลิต และหมายเลขของแบทช์ของสินค้าสำเร็จรูป เพื่อให้มั่นใจว่าสินค้าตรงตามแผนการแบ่งบรรจุที่กำหนด และเทผ่านตะแกรงเพื่อป้องกันเศษสิ่งแปลกปลอมที่อาจปนมากับสินค้าสำเร็จรูป จากนั้นบรรจุสินค้าลงถุง ชั่งน้ำหนักหลังบรรจุ ปิดผนึก บรรจุลงกล่อง สำหรับสินค้าจากกระบวนผสมและแบ่งบรรจุจะถูกจัดเก็บตามพื้นที่ที่กำหนดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้ามระหว่างการจัดเก็บ สินค้าทั้งหมดจะถูกเตรียมและตรวจสอบความถูกต้องของประเภทสินค้า วันที่ผลิต วันที่หมดอายุ หมายเลขของแบทช์ จำนวน สภาพภายนอก ความสมบูรณ์ของสินค้าสำเร็จรูป และรายละเอียดลูกค้าก่อนนำขึ้นรถขนส่ง และขั้นตอนสุดท้ายการจัดส่ง ผู้ขับรถและตัวรถที่ใช้ในการจัดส่งสินค้าจะต้องถูกตรวจสอบสภาพความพร้อมใช้ ความสะอาด สุขลักษณะส่วนบุคคลของผู้ขับรถ และลำเลียงสินค้าสำเร็จรูปขึ้นรถพร้อมปิดล็อกตู้ขนส่งเพื่อให้มั่นใจว่าจะไม่เกิดการปนเปื้อนข้ามในขณะส่งสินค้าให้กับลูกค้า

3.2 ผลการคำนวณค่าลำดับความสำคัญของความเสี่ยง

ผลการประเมินความเสี่ยง จากผู้ประเมิน 20 ท่าน เป็นการประเมินแบบกลุ่มจากการประชุม แล้วลงมติเป็นคะแนนเสียงมากที่สุด ดังตารางที่ 3

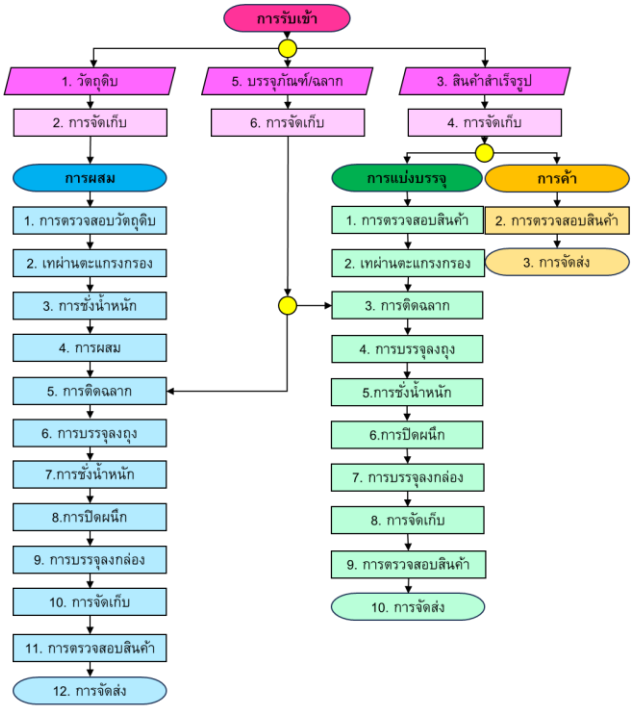
3.2.1 กระบวนการรับเข้า ในขั้นตอนการรับวัตถุดิบ พบว่าการปนปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในวัตถุดิบ (อันตรายทางชีวภาพ) สารเคมีและโลหะหนักที่ตกค้างในวัตถุดิบ (อันตรายทางเคมี) มีค่า RPN = 360 และการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมที่มากับวัตถุดิบ (อันตรายทางกายภาพ) มี

ค่า RPN = 350 ซึ่งสูงกว่า 100 ในขั้นตอนการรับสินค้าสำเร็จรูป พบว่า การปนปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในสินค้าสำเร็จรูป (อันตรายทางชีวภาพ) มีค่า RPN = 450 สารเคมีและโลหะหนักที่ตกค้างในสินค้าสำเร็จรูป (อันตรายทางเคมี) มีค่า RPN = 360 และการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมที่มากับสินค้าสำเร็จรูป (อันตรายทางกายภาพ) มีค่า RPN = 350

3.2.2 กระบวนการผสม ในขั้นตอนการเทผ่านตะแกรง พบว่าการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากวัตถุดิบ พนักงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ในพื้นที่การผลิต (อันตรายทางกายภาพ) มีค่า RPN = 140

3.2.3 กระบวนการแบ่งบรรจุ ในขั้นตอนการเทผ่านตะแกรง พบว่าการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากสินค้าสำเร็จรูป พนักงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ในพื้นที่การผลิต (อันตรายทางกายภาพ) มีค่า RPN = 140

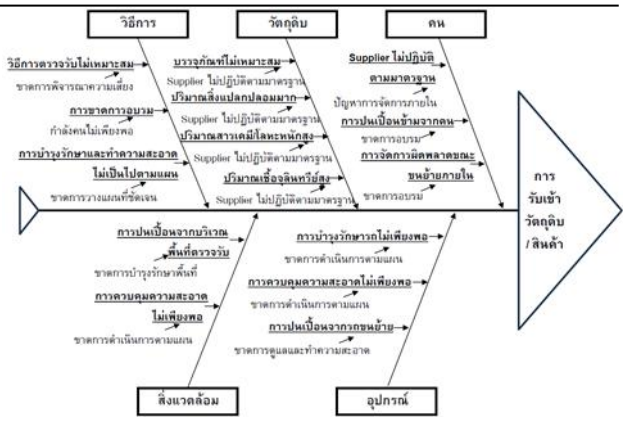
3.2.4 กระบวนการค้า ไม่พบขั้นตอนที่มีค่า RPN มากกว่า 100 จึงไม่ต้องมีการแก้ไขปรับปรุงในกระบวนการนี้



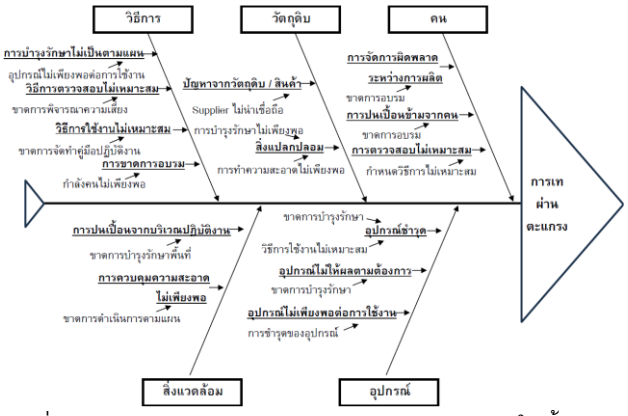
รูปที่ 1 แผนผังกระบวนการผลิตตั้งแต่ขั้นตอนการรับเข้า - การจัดส่ง

3.3 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น

จุดที่มีความเสี่ยงอันเป็นอันตราย ได้แก่ กระบวนการรับเข้าวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูป และกระบวนการผสมและแบ่งบรรจุในขั้นตอนการเทผ่านตะแกรง จึงนำแผนผังก้างปลามาใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุ เพื่อขจัดหรือลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้นให้ลดลง โดยหาแนวทางในการปรับปรุงและแก้ไข ให้ระดับของความเสี่ยงของอันตรายอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2 แผนผังก้างปลาของกระบวนการรับเข้าในขั้นตอนการรับเข้าวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูป



รูปที่ 3 แผนผังก้างปลาของกระบวนการผสมและแบ่งบรรจุในขั้นตอนการเทผ่านตะแกรง

จากรูปที่ 2 สามารถสรุปสาเหตุของปัญหาในกระบวนการรับเข้าวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูปได้ดังนี้ วิธีการตรวจรับไม่เหมาะสม เกิดจากวิธีการตรวจรับเป็นเพียงการตรวจสอบลักษณะปรากฏ ฉลาก ความสมบูรณ์ ความสะอาดของบรรจุภัณฑ์ และเอกสารรับรองการตรวจสอบเท่านั้น จึงไม่สามารถยืนยันการปนเปื้อนภายในได้ และขาดการยกระดับความเข้มงวดเมื่อเกิดปัญหา การปนเปื้อนมาจากผู้ขาย เกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิต การจัดเก็บ การขนส่ง และการควบคุมภายในของผู้ขาย ทำให้วัตถุดิบหรือสินค้าสำเร็จรูปเกิดการปนเปื้อน การควบคุมความสะอาดอุปกรณ์และพื้นที่ เกิดจากการกำหนดแผนงานที่ไม่ชัดเจน ทำให้การควบคุมความสะอาดไม่สามารถดำเนินการได้อย่างทั่วถึง และกำลังคนที่ใช้ปฏิบัติงานมีจำกัด ทำให้ไม่สามารถทำความสะอาดตามแผนที่กำหนดได้ และสุดท้ายคือการบำรุงรักษาอุปกรณ์และพื้นที่ เกิดจากการกำหนดแผนงานที่ไม่ชัดเจน และอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงานมีจำกัด ทำให้ไม่สามารถบำรุงรักษาตามแผนที่กำหนด

จากรูปที่ 3 สามารถสรุปสาเหตุของปัญหาในกระบวนการผสมและแบ่งบรรจุ ขั้นตอนการเทผ่านตะแกรงได้ดังนี้ อุปกรณ์ไม่เพียงพอ เกิด

จากเมื่อครบกำหนดส่งตรวจสอบและบำรุงรักษาโดยหน่วยงานภายนอกปีละ 1 ครั้ง ทำให้กรณีที่มีการผลิตเร่งด่วน หรือมีการผสมและแบ่งบรรจุพร้อมกัน จึงไม่มีอุปกรณ์สำหรับปฏิบัติงาน และไม่มีอุปกรณ์สำรอง ทำให้การบำรุงรักษาไม่เป็นไปตามแผน และไม่มีอุปกรณ์ทดแทนในกรณีที่เกิดการชำรุด วิธีการปฏิบัติงานไม่เหมาะสม เกิดจากขาดการจัดทำคู่มือวิธีการใช้อุปกรณ์ ทำให้เกิดการใช้งานที่ไม่ถูกต้อง และทำให้อุปกรณ์ให้ผลลัพธ์ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ การควบคุมความสะอาดอุปกรณ์และพื้นที่ เกิดจากกำลังคนที่ใช้ปฏิบัติงานมีจำกัด ทำให้ไม่สามารถทำความสะอาดตามแผนที่กำหนด และเกิดการปนเปื้อนระหว่างกระบวนการได้ และวิธีการตรวจสอบไม่เหมาะสม เกิดจากการกำหนดความถี่ในการตรวจสอบเดือนละ 1 ครั้ง เมื่อเกิดการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมระหว่างกระบวนการ ทำให้การรับรู้และตอบสนองต่อปัญหาล่าช้าเกินไป

ตารางที่ 3 ผลประเมิน FMEA ในกระบวนการผลิตวัตถุเจือปนอาหาร

ขั้นตอน	ประเภทอันตราย	ลักษณะอันตราย	สาเหตุ	S	O	D	RPN	การแก้ไข	S'	O'	D'	RPN'
กระบวนการรับเข้า												
1.การรับวัตถุดิบ	ชีวภาพ	การปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในวัตถุดิบ	วิธีการตรวจสอบไม่เพียงพอ	10	4	9	360	- เพิ่มการตรวจลักษณะวัตถุดิบ ตาม AQL - เพิ่มข้อตกลงเรื่องกฎหมายในการคัดเลือก - ตรวจวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์	10	3	3	90
	เคมี	สารเคมีและโลหะหนักที่ตกค้างในวัตถุดิบ	วิธีการตรวจสอบไม่เพียงพอ	8	5	9	360	- เพิ่มข้อตกลงเรื่องกฎหมายในการคัดเลือก - เพิ่มการตรวจวัตถุดิบที่ Spec เกินกฎหมายประเทศไทย	8	4	3	96
	กายภาพ	การปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมที่มากับวัตถุดิบ	วิธีการตรวจสอบไม่เพียงพอ	7	5	10	350	- เพิ่มข้อตกลงเรื่องการปนเปื้อนในการคัดเลือก - เพิ่มการตรวจลักษณะวัตถุดิบ ตาม AQL	7	4	3	84
3. การรับสินค้าสำเร็จรูป	ชีวภาพ	การปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในสินค้าสำเร็จรูป	วิธีการตรวจสอบไม่เพียงพอ	10	5	9	450	- เพิ่มการตรวจลักษณะวัตถุดิบ ตาม AQL - เพิ่มข้อตกลงเรื่องกฎหมายในการคัดเลือก - ตรวจวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์	10	3	3	90
	เคมี	สารเคมีและโลหะหนักที่ตกค้างในสินค้าสำเร็จรูป	วิธีการตรวจสอบไม่เพียงพอ	8	5	9	360	- เพิ่มข้อตกลงเรื่องกฎหมายในการคัดเลือก - เพิ่มการตรวจวัตถุดิบที่ Spec เกินกฎหมายประเทศไทย	8	4	3	96
	กายภาพ	การปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมที่มากับสินค้าสำเร็จรูป	วิธีการตรวจสอบไม่เพียงพอ	7	5	10	350	- เพิ่มข้อตกลงเรื่องการปนเปื้อนในการคัดเลือก - เพิ่มการตรวจลักษณะวัตถุดิบ ตาม AQL	7	4	3	84
กระบวนการผสม												
2. การเทผ่านตะแกรง	กายภาพ	การปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากวัตถุดิบ พนักงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ในพื้นที่การผลิต	อุปกรณ์ไม่เพียงพอกับการใช้งาน	7	5	4	140	- เพิ่มอุปกรณ์ให้เพียงพอต่อการใช้งาน และการบำรุงรักษา - เพิ่มความถี่การตรวจตะแกรงสัปดาห์ละครั้ง	7	5	3	105
กระบวนการแบ่งบรรจุ												
2. การเทผ่านตะแกรง	กายภาพ	การปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากวัตถุดิบ พนักงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ในพื้นที่การผลิต	อุปกรณ์ไม่เพียงพอกับการใช้งาน	7	5	4	140	- เพิ่มอุปกรณ์ให้เพียงพอต่อการใช้งาน และการบำรุงรักษา - เพิ่มความถี่การตรวจตะแกรงสัปดาห์ละครั้ง	7	5	3	105
กระบวนการค้า												
ไม่มีขั้นตอนที่ต้องแก้ไขปรับปรุง				-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4 การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาที่ต้องดำเนินการแก้ไข

ปัญหา	ระยะเวลา	การลงทุน	ความยากง่าย	คะแนนรวม
กระบวนการรับเข้า				
วิธีการตรวจรับไม่เหมาะสม	3	2	3	18
การปนเปื้อนมาจากผู้ขาย	2	2	2	8
การควบคุมความสะอาดอุปกรณ์และพื้นที่	3	2	2	12
การบำรุงรักษาอุปกรณ์และพื้นที่	3	2	2	12
กระบวนการผลิตและแบ่งบรรจุ				
อุปกรณ์ไม่เพียงพอ	3	2	3	18
วิธีการปฏิบัติงานไม่เหมาะสม	3	2	2	12
การควบคุมความสะอาดอุปกรณ์และพื้นที่	3	2	2	12
วิธีการตรวจสอบไม่เหมาะสม	3	2	3	18

จากตารางที่ 4 สรุปได้ว่าสาเหตุที่ต้องได้รับการแก้ไขปรับปรุงในขั้นตอนการรับเข้าวัตถุดิบหรือสินค้าสำเร็จรูปของกระบวนการรับเข้า คือ วิธีการตรวจรับไม่เหมาะสม ซึ่งมีคะแนนเท่ากับ 18 คะแนน ส่วนการควบคุมความสะอาดอุปกรณ์และพื้นที่ การบำรุงรักษาอุปกรณ์และพื้นที่ มีคะแนนเท่ากับ 12 คะแนน และการปนเปื้อนมาจากผู้ขาย มีคะแนนเท่ากับ 8 คะแนน สำหรับขั้นตอนการเทผ่านตะแกรงของกระบวนการผลิตและแบ่งบรรจุ คือ อุปกรณ์ไม่เพียงพอ และวิธีการตรวจสอบไม่เหมาะสม ซึ่งมีคะแนนเท่ากับ 18 คะแนน ส่วนวิธีการปฏิบัติงานไม่เหมาะสม และการควบคุมความสะอาดอุปกรณ์และพื้นที่ มีคะแนนเท่ากับ 12 คะแนน

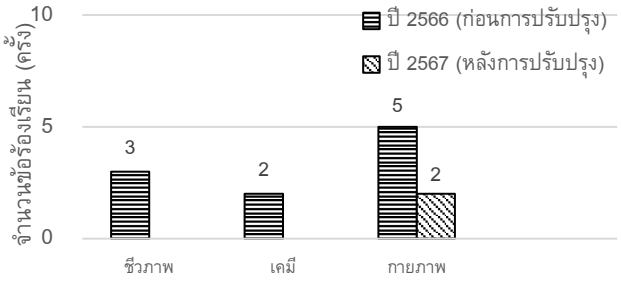
3.5 ผลการประเมิน FMEA หลังการแก้ไขปรับปรุง

ตามมาตรการที่กำหนด เช่น เพิ่มจำนวนตะแกรงให้เพียงพอต่อการใช้งาน มีการบำรุงรักษาหลังจากใช้งาน และเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของรูหรือขนาดของตะแกรงสัปดาห์ละครั้ง เพิ่มมาตรการในการตรวจสอบเกี่ยวกับขีดจำกัดระดับคุณภาพการยอมรับได้ (Acceptable Quality Limit; AQL) เป็นต้น ซึ่งจะนำมาตรการการแก้ไขปรับปรุงไปดำเนินการประยุกต์ใช้เป็นเวลา 6 เดือน (ดังตารางที่ 3) จะเห็นได้ว่า กระบวนการรับเข้า ในขั้นตอนการรับวัตถุดิบและการรับสินค้าสำเร็จรูป พบว่า การปนปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในวัตถุดิบ สารเคมีและโลหะหนักที่ตกค้างในวัตถุดิบ และการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมที่มากับ

วัตถุดิบ มีค่า RPN น้อยกว่า 100 และกระบวนการผสมและกระบวนการแบ่งบรรจุ ในขั้นตอนการเทผ่านตะแกรง พบว่าการปนเปื้อนสิ่งแปลกปลอมจากวัตถุดิบ/สินค้าสำเร็จรูป พนักงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ในพื้นที่การผลิต มีค่า RPN = 105

4. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

ปี พ.ศ. 2567 หลังจากใช้ FMEA ในกระบวนการผลิตวัตถุเจือปนอาหารช่วยลดปัญหาข้อร้องเรียนด้านความปลอดภัยของสินค้าได้ 80% เมื่อเทียบจากปี พ.ศ. 2566 (จากข้อร้องเรียน 10 ครั้ง เหลือ 2 ครั้ง ดังรูปที่ 4) จะเห็นได้ว่าการใช้ FMEA ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจัดการคุณภาพและความปลอดภัยของอุตสาหกรรมอาหาร [7-10] โดยสามารถกำหนดมาตรการในการแก้ไขปัญหาที่นอกเหนือจากการทำ ISO22000 เช่น ขั้นตอนการเทผ่านตะแกรง แต่ยังคงไม่สามารถลดข้อร้องด้านกายภาพให้หมดไปได้ ยังต้องทำการปรับปรุงมาตรการแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น เช่น การควบคุมและตรวจสอบซัพพลายเออร์ โดยกำหนดมาตรฐานคุณภาพสำหรับซัพพลายเออร์ และตรวจสอบการปฏิบัติตามกฎระเบียบ เช่น การตรวจสอบวัตถุดิบ การดำเนินการแก้ไข และการตรวจสอบเป็นระยะ [11] เพื่อลดหรือขจัดความเสี่ยงนี้ให้หมดไป เนื่องจากยังพบสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบขนาดเล็กกว่าตะแกรงที่ใช้ในกระบวนการ (1.4 mm.) จึงไม่สามารถควบคุมและตรวจจับได้



รูปที่ 4 จำนวนข้อร้องเรียนก่อน-หลังการแก้ไขปรับปรุง

เอกสารอ้างอิง

[1] Havelaar, A. H., Kirk, M. D., Torgerson, P. R., Gibb, H. J., Hald, T., Lake, R. J., Praet, N., Bellinger, D. C., de Silva, N. R., Gargouri, N., Speybroeck, N., Cawthorne, A., Mathers, C., Stein, C., Angulo, F. J., Devleesschauwer, B., & on behalf of World Health Organization Foodborne Disease Burden Epidemiology Reference, G. (2015). World Health Organization Global Estimates and Regional Comparisons of the Burden of Foodborne Disease in 2010. PLOS Medicine, 12(12) , e1001923. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001923

[2] Ahmad, M. F., Ahmad, F. A., Alsayegh, A. A., Zeyaullah, M., AlShahrani, A. M., Muzammil, K., Saati, A. A., Wahab, S., Elbendary, E. Y., Kambal, N., Abdelrahman, M. H., & Hussain, S. (2024). Pesticides impacts on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures. Heliyon, 10(7) , e29128. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29128

[3] Onyeaka, H., Jalata, D., & Mekonnen, S. (2023). Mitigating physical hazards in food processing: Risk assessment and preventive strategies. Food Science & Nutrition, 11. https://doi.org/10.1002/fsn3.3727

[4] Sicherer, S. H., & Sampson, H. A. (2018). Food allergy: A review and update on epidemiology, pathogenesis, diagnosis,prevention, and management. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 141(1) , 41- 58. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaci.2017.11.003

[5] Pop, C., Frunza, G., & Ciobanu, M. M. (2019). Study regarding application of the FMEA method within a food safety management system. Scientific Papers-Animal Science Series, 71(24), 189-196.

[6] Aleksic, B., Djekic, I., Miocinovic, J., Miloradovic, Z., Memisi, N., & Smigic, N. (2022). The application of Failure Mode Effects Analysis in the long supply chain–A case study of ultra filtrated milk cheese. Food control, 138, 109057.

[7] Wu, J.-Y., & Hsiao, H.-I. (2021). Food quality and safety risk diagnosis in the food cold chain through failure mode and effect analysis. Food control, 120, 107501.

[8] Rehman, H.-U., Aslam, F., Irfan, S. M., Ahmad, I., & Rashid, S. (2013) . Implementation of Quality Improvement Tools & Techniques in Conjugation With ISO 22000: A Case Study of Dry Roasted Cashew Nut Processing Plant. Sci. Int(Lahore), 25(3), 653-666.

[9] Ozilgen, S., Bucak, S., & Ozilgen, M. (2013). Improvement of the safety of the red pepper spice with FMEA and post processing EWMA quality control charts. Journal of food science and technology, 50, 466-476.

[10] Nikpay, A. A., Zaghi, D., Kohan, I. Z., & Tavakol, M. (2014). Using failure mode and effect analysis (FMEA) in the risk analysis of industrial poultry production for decreasing threats of poultry by analyzing points of failure. International Journal of Poultry Science, 13(12), 718-728.

[11] Onyeaka, H., Jalata, D. D., & Mekonnen, S. A. (2023). Mitigating physical hazards in food processing: Risk assessment and preventive strategies. Food Science & Nutrition, 11(12), 7515-7522. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.37

การประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อการนับจำนวนอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีน

The Application of Deep Learning for Counting Polystyrene Reference Particles

นฤสรณ์ แน่นหนา[1*] เบญจรัตน์ งานสลุง[2] นรินทร์ จันทวงศ์[1] จริยา บัวเจริญ[1]
[1]ศูนย์การเปลี่ยนแปลงด้านดิจิทัล ฝ่ายมาตรวิทยามิติ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
[2]กลุ่มงานมาตรวิทยานาโน ฝ่ายมาตรวิทยามิติ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
E-mail: naruesornn@nimt.or.th*

Naruesorn Nanna[1*], Benjarat Ngansulung[2], Narin Chanthawong[1], Jariya Buajarern[1]
[1]Digital Transformation Center, Dimensional Metrology Department, National Institute of Metrology (Thailand)
[2]Nanometrology Group, Dimensional Metrology Department, National Institute of Metrology (Thailand)
E-mail: naruesornn@nimt.or.th*

บทคัดย่อ

การวัดความเข้มข้นของอนุภาคมีความสำคัญอย่างยิ่งในการประยุกต์ใช้ทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประกันความแม่นยำของกระบวนการสอบเทียบ การพัฒนาวิธีการใหม่สำหรับการวัดอนุภาคอ้างอิงเปิดโอกาสให้มีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือที่ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยแก้ไขข้อจำกัดในวิธีการแบบเดิม การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบสำหรับการนับอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก โดยเน้นที่การเพิ่มทั้งความแม่นยำและความเร็วในการนับอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ระบบนี้ใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่นที่ได้รับการฝึกอบรมด้วยโมเดล YOLOv8 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับอนุภาคขนาดเล็ก YOLOv8 ถูกเลือกเนื่องจากประสิทธิภาพที่ล้ำสมัยในการตรวจจับวัตถุ ช่วยให้ระบุอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน ผลลัพธ์ของการประเมินประสิทธิภาพโมเดลสำหรับการนับจำนวนอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนพบว่ามีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ 3.22 และเปอร์เซ็นต์ข้อผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ 6.09 %

คำสำคัญ: การเรียนรู้เชิงลึก โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน โพลิสไตรีน

Abstract

The measurement of particle concentration is critical in various scientific and industrial applications, particularly in ensuring the accuracy of calibration processes. Developing new methods for reference particle measurement creates opportunities for improved accuracy and reliability, addressing the limitations of traditional approaches. This research aims to develop a system for counting polystyrene reference particles using deep learning technology, focusing on enhancing both accuracy and speed in detecting small particles. The system employs a convolutional neural network trained with the YOLOv8 model to optimize the detection of small particles. YOLOv8 was selected for its state-of-the-art performance in object detection, enabling efficient and precise identification of particles in complex environments. The evaluation results of the model's performance for counting polystyrene reference particles revealed a Mean Absolute Error (MAE) of 3.22 and a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 6.09%.

Keywords: Deep Learning, Convolutional Neural Network, Polystyrene

1. บทนำ

ปัจจุบันการวัดความเข้มข้นของจำนวนอนุภาคมักอาศัยมาตรฐานทางการค้าที่ผู้ผลิตเครื่องมือจัดหาให้ อย่างไรก็ตามมาตรฐานเหล่านี้ขาดการระบุความเชื่อมโยงทางมาตรวิทยา (Metrological Traceability) และการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty) ซึ่งอาจส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ในงานที่มีความสำคัญ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ การพัฒนาวิธีการวัดอ้างอิงที่ได้รับการยืนยันโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติจึงเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากนั้นยังมีการเสนอขั้นตอนการวัดอ้างอิงหลายขั้นตอนสำหรับการนับอนุภาค [1] เช่น เครื่องวัดอนุภาคแบบไหลผ่านด้วยแสง (Optical Flow Cytometer) เครื่องนับอนุภาคแบบอิมพีแดนซ์ (Impedance-Type Particle Counter) เครื่องนับอนุภาคด้วยแสง (Optical Particle Counter) เป็นต้น อนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีน (Polystyrene) ทรงกลมถูกใช้เป็นวัสดุสำหรับการทดสอบนำร่องนี้ การใช้อนุภาคสังเคราะห์จะทำให้มีเสถียรภาพ อีกทั้งยังทราบคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ อีกทั้งยังสามารถอธิบายความสามารถในการใช้อนุภาคเทียมในการประเมินความสามารถในการวัดของเครื่องวิเคราะห์อนุภาคได้ การมองหาเทคนิคการนับจำนวนอนุภาคใหม่ๆ จึงเป็นกระบวนการที่สำคัญในการพัฒนาวิธีการและขั้นตอนที่เหมาะสมเพื่อให้มีความถูกต้องและแม่นยำ

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นสาขาย่อยของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มศักยภาพของการนับอนุภาค [2] อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกโดยเฉพาะเครือข่ายประสาทเทียม เช่น โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks) ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งในกลุ่มของการนำหลักการหรือกลไกที่พบในธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในวิศวกรรม (Bio-inspired) โดยที่โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันจะจำลองการมองเห็นของมนุษย์ในรูปแบบของพื้นที่เล็กๆ และนำกลุ่มของพื้นที่เล็กๆ มาผสานกัน เพื่อวิเคราะห์วัตถุ [3] อีกทั้งการนำมาประยุกต์ใช้กับการนับอนุภาคยังสามารถเรียนรู้และปรับตัวให้เข้ากับประเภท ขนาด และความหนาแน่นของอนุภาคต่างๆ ทำให้ระบบการนับอนุภาคสามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างแม่นยำในการตรวจจับวัตถุ การรวมการเรียนรู้เชิงลึกโดยเฉพาะโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันเข้ากับเทคโนโลยีการนับอนุภาคไม่เพียงแต่ทำให้กระบวนการนับรวดเร็วขึ้นเท่านั้น แต่ยังทำให้สามารถปรับให้เข้ากับการกระจายของอนุภาคและเงื่อนไขการถ่ายภาพที่หลากหลายได้ดีขึ้นอีกด้วย ตัวอย่างของการนำโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันที่ประสบความสำเร็จอย่างโดดเด่นในงานต่างๆ เช่น การจำแนกภาพ การตรวจจับวัตถุ และการแบ่งส่วนภาพ เป็นต้น [4] ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในการนับอนุภาคโพลิสไตรีน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการสร้างต้นแบบระบบการนับจำนวนอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนที่ขับเคลื่อนด้วยการเรียนรู้เชิงลึก โดยมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในด้านความแม่นยำและความเร็วของการนับ เพื่อรองรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดด้านเวลาและทรัพยากรในกระบวนการสอบเทียบ ซึ่งปฏิบัติตามมาตรฐานสากล ISO/IEC 17025 สำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ [5] ในการพัฒนาและการนำระบบนี้ไปใช้

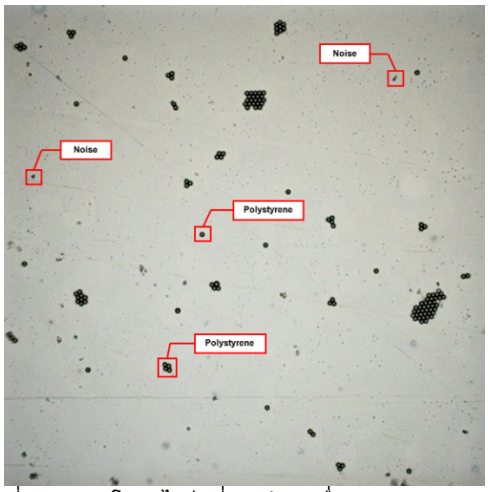
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 อนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีน

โพลิสไตรีน (C_8H_8) คือพอลิเมอร์ที่เกิดจากการโพลิเมอไรเซชันของสไตรีน ซึ่งนำมาผลิตเป็นอนุภาคทรงกลมสังเคราะห์ที่ผลิตจากโพลิเมอร์พอลิสไตรีน (Polystyrene Latex Microspheres) ที่มีขนาดสม่ำเสมอ (Monodisperse) สำหรับใช้ในงานสอบเทียบและวิเคราะห์ความเข้มข้นของอนุภาค [6] เช่น เครื่องนับอนุภาค และเครื่องวัดอนุภาคแบบไหลผ่านด้วยแสงเป็นต้น ตัวอย่างของคุณสมบัติอนุภาคโพลิสไตรีน ได้แก่ มีขนาดอนุภาค 5 μm และความเข้มข้น 0.5-1.5 × 10^6 g^{-1} และความเสถียรสูงในสารแขวนลอยน้ำ (Aqueous Suspension)

การสร้างอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนเริ่มจากการเตรียมสารแขวนลอยโดยใช้โพลิเมอร์โพลิสไตรีนในตัวกลางน้ำที่มีสารลดแรงตึงผิวเพื่อป้องกันการเกาะกลุ่ม อนุภาคถูกสร้างขึ้นผ่านกระบวนการโพลิเมอไรเซชันอย่างกระบวนการอีมัลชันพอลิเมอไรเซชัน (Emulsion Polymerization) โดยควบคุมอุณหภูมิและสภาวะการเกิดปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ขนาดที่สม่ำเสมอ หลังจากนั้นใช้เทคนิค Ultrasonication หรือการผสมแบบอื่นๆ เพื่อกระจายตัวอนุภาค พร้อมปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.5-1.5 × 10^6 g^{-1} ก่อนบรรจุในขวดปิดสนิท จากนั้นอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนจะถูกถ่ายด้วยเครื่อง LEXT™ OLS5100 3D Laser Scanning Microscope แสดงดังรูปที่ 1 เพื่อวิเคราะห์และนับจำนวนอนุภาค อย่างไรก็ตามยังมีสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่ในรูปภาพ เช่น อนุภาคฝุ่น และฟองอากาศ เป็นต้น ดังนั้นสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้จึงไม่ควรถูกวิเคราะห์สำหรับการนับอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีน



รูปที่ 1 อนุภาคโพลิสไตรีนที่ถ่ายด้วยเครื่อง Laser Scanning Microscope

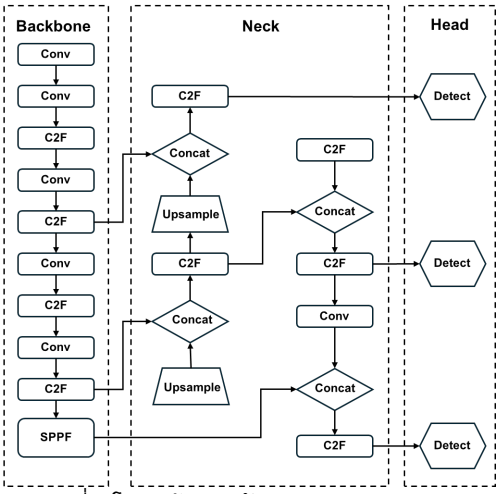
2.1.2 สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันเป็นสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม ที่ถูกออกแบบมาสำหรับการประมวลผลข้อมูลที่มีโครงสร้างเป็นรูปแบบ 2 มิติ เช่น ภาพหรือข้อมูลแบบตาราง โดยถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านการเรียนรู้เชิงลึก โดยเฉพาะงานที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) ในงาน

นี้เราใช้โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันในการวิเคราะห์และการนับจำนวนอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนผ่านรูปภาพ

YOLOv8 (You Only Look Once version 8) เป็นหนึ่งในโมเดลตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ตระกูล YOLO ซึ่งถูกพัฒนาให้เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร เช่น อุปกรณ์ Edge หรือ Embedded Systems โดยยังคงประสิทธิภาพที่ดีในด้านความแม่นยำและความเร็ว

YOLOv8 มีโครงสร้างที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก [7] ได้แก่ Backbone สำหรับการดึงฟีเจอร์สำคัญจากภาพด้วยเทคนิค CSPNet (Cross Stage Partial Network) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการซ้ำซ้อนของข้อมูลและลดขนาดภาพ (Down Sampling) และใช้ PANet (Path Aggregation Network) เพื่อรวมข้อมูลจากหลายระดับของฟีเจอร์ (Multi-Scale Feature Fusion) ทำให้สามารถตรวจจับวัตถุได้ดีขึ้นในหลากหลายขนาด และ Head ทำหน้าที่ทำนายกรอบสี่เหลี่ยมที่ใช้ระบุตำแหน่งของวัตถุในภาพ (Bounding Boxes) และค่าความมั่นใจ (Confidence Scores) ซึ่งรองรับการคาดการณ์ในหลายระดับความละเอียด โครงสร้างนี้ถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับการใช้งานหลากหลาย เช่น การตรวจจับวัตถุในภาพหรือวิดีโอที่มีขนาดเล็ก การตรวจสอบข้อบกพร่องในสายการผลิต การติดตามป้ายจราจรในระบบขับขี่อัตโนมัติ การตรวจสอบสุขภาพพืชในภาคเกษตรกรรม และการรักษาความปลอดภัยผ่านกล้องวงจรปิด โครงสร้าง YOLOv8 [8] แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของ YOLOv8

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Xing และคณะ (2018) [9] ได้ทำการศึกษาการใช้การเรียนรู้เชิงลึกในการวิเคราะห์ภาพจุลทรรศน์ โดยนำโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) มาใช้ในการตรวจจับและจำแนกอนุภาคในภาพจุลทรรศน์ ซึ่งช่วยให้สามารถแยกอนุภาคออกจากภาพพื้นหลังได้อย่างแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเทคนิคการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) สามารถลดความต้องการในการติดป้ายกำกับข้อมูล (Labeling) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานกับข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลจากการศึกษาพบว่า Deep Learning สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการนับจำนวนอนุภาค โดยสามารถใช้ CNN ในการคาดคะเนความหนาแน่นของอนุภาค

Chousangsuntorn และคณะ (2021) [10] ได้ทำการศึกษาแนวทางในการเพิ่มความแม่นยำของการจำแนกตัวอักษรในหมายเลขซีเรียลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้ concatenated deep learning models สำหรับการจำแนกประเภท โดยได้นำเทคนิค data augmentation มาใช้เพื่อเพิ่มความหลากหลายของข้อมูลฝึก ผลจากการศึกษาพบว่าสามารถช่วยให้โมเดลสามารถจัดการกับตัวอักษรที่มีรอยเปื้อนหรือซีดจางได้ดียิ่งขึ้น โดยสามารถอ่านตัวอักษรจากภาพที่มีสิ่งปนเปื้อนด้วยอัตราความสำเร็จ 98.4% และใช้เวลาประมวลผลน้อยกว่า 300 มิลลิวินาที ซึ่งเร็วกว่าการอ่านโดยมนุษย์ วิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการจำแนกตัวอักษรจากภาพที่มีคุณภาพต่ำหรือสภาพแวดล้อมที่มีแสงไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการนำไปใช้ที่ต้องการความแม่นยำสูง

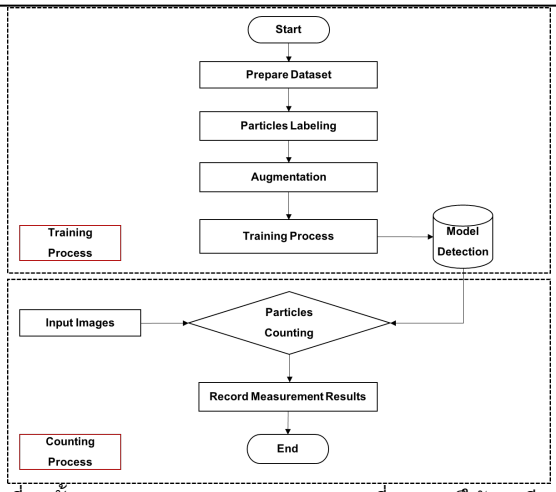
Khalili และ Smyth (2024) [11] ได้ทำการศึกษา SOD-YOLOv8 ซึ่งเป็นโมเดลที่ได้รับการปรับปรุงจาก YOLOv8 สำหรับการตรวจจับวัตถุขนาดเล็ก โดยเฉพาะในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็กในฉากที่มีความซับซ้อนสูง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการนับอนุภาคขนาดเล็ก จากผลการศึกษาพบว่า YOLOv8 และ SOD-YOLOv8 มีค่า Precision สูงที่สุดเมื่อเทียบกับโมเดลอื่นๆ โดย SOD-YOLOv8 มีค่า Precision 53.9% และ YOLOv8 มีค่าความแม่นยำ 55.8% ซึ่งสูงกว่า YOLO ในรุ่นดั้งเดิมและโมเดลอื่นๆ เช่น YOLOv3, YOLOv5s และ YOLOv7 อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็กที่ดีขึ้น

จากผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจึงได้ทำการนำการเรียนรู้เชิงลึกมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้โดยใช้เทคนิค data augmentation เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลที่มีคุณภาพต่ำหรือมีสิ่งรบกวน โดยแสดงให้เห็นว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถช่วยให้โมเดลสำหรับการนับอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนมีเงื่อนไขในการฝึกต่างๆ ซึ่งจะช่วยสร้างความแม่นยำในกระบวนการวัด นอกจากนั้น การนำ YOLOv8 มาประยุกต์ใช้ในการนับอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับอนุภาคขนาดเล็กที่อาจมีการซ้อนทับกันหรืออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน ด้วยค่า Precision ที่สูง ทำให้โมเดลสามารถลดข้อผิดพลาดจาก False Positives และช่วยให้นับอนุภาคได้อย่างแม่นยำขึ้น

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 กระบวนการทำงาน

ขั้นตอนกระบวนการทำงานของระบบที่ประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการนับอนุภาคโพลิสไตรีนตั้งแต่กระบวนการฝึกโมเดลไปถึงการนำไปใช้สำหรับการนับแสดงดังรูปที่ 3 ขั้นแรกเตรียมชุดข้อมูล (Dataset) สำหรับการฝึกด้วย YOLOv8 จากนั้นทำการระบุอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนด้วยการตีกรอบสี่เหลี่ยม จากนั้นทำการเสริมข้อมูล (Augmentation) เพื่อเพิ่มสภาวะการนับอนุภาค โดยข้อมูลจะถูกฝึกซึ่งจะได้ออกมาเป็นโมเดลสำหรับการนับอนุภาค จากนั้นภาพถ่ายที่ต้องการนับจำนวนอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนที่ต้องการนับจะถูกส่งเข้าระบบเพื่อการนับจำนวนและวิเคราะห์ต่อไป

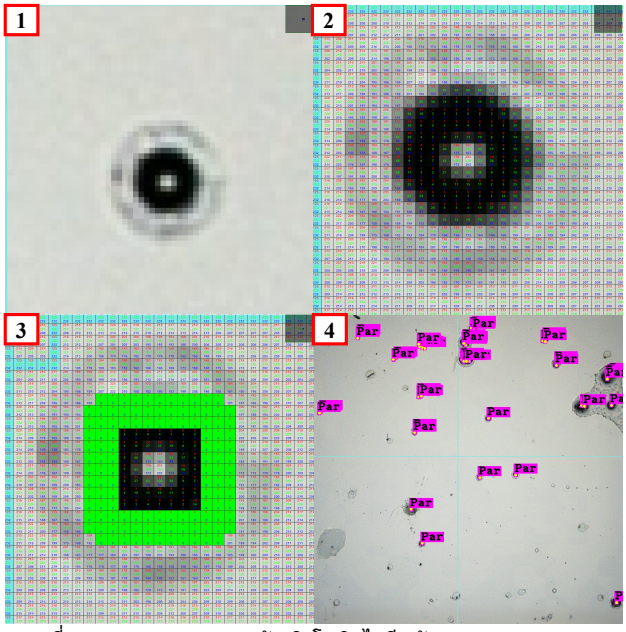


รูปที่ 3 ขั้นตอนกระบวนการทำงานของระบบที่ประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการนับอนุภาคโพลิสไตรีน

3.2 การฝึกโมเดล

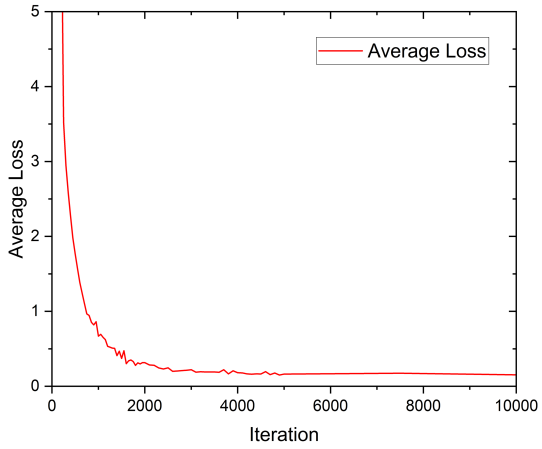
การศึกษาของเราใช้ชุดข้อมูลที่มีรูปภาพ 50 ภาพสำหรับการฝึกโมเดล โดยแต่ละภาพประกอบด้วยอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนที่มีจำนวนอนุภาคแบบสุ่มจากภาพถ่าย การฝึกอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนถูกระบุเพื่อแสดงถึงประเภทอนุภาคโพลิสไตรีนที่ต้องการนับจำนวน เราได้ทำการฝึกโมเดลบนคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งฮาร์ดแวร์ ได้แก่ หน่วยประมวลผลกลาง (CPU รุ่น Intel® Xeon® W-2223 @ 3.60GHz) หน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่ม (RAM 32.0 GB) และหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU รุ่น NVIDIA RTX A2000 12 GB)

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับการฝึกเริ่มต้นด้วยการทำการติดฉลากข้อมูลแบบแมนนวล (Manual Annotation) เพื่อระบุอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีน โดยทำการกำหนดกรอบสี่เหลี่ยมที่ใช้กำหนดขอบเขตของวัตถุที่ต้องการตรวจจับในภาพ (Bounding Box) รอบอนุภาคแต่ละอนุภาคในทุกชุดข้อมูลที่นำมาทำการฝึก โดยคุณลักษณะภาพของอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนคือจะมีตรงกลางของอนุภาคสีขาวเนื่องจากมีการสะท้อนแสงที่ตำแหน่งบนสุดของอนุภาคจากการบันทึกภาพด้วยเครื่อง Microscope และด้านข้างของอนุภาคจะเป็นวงกลมสีดำ เมื่อทำการขยายภาพจะทำการตีกรอบสี่เหลี่ยมโดยให้ตำแหน่งอยู่ที่จุดกึ่งกลางของอนุภาคโดยสามารถดูได้จากค่า RGB ในแต่ละ Pixel หากมีค่าที่สูงจะใช้เป็นจุดอ้างอิงในการกำหนดอนุภาค ตัวอย่างของการกำหนดกรอบสี่เหลี่ยมรอบอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การกำหนดอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนด้วยการกำหนดกรอบสี่เหลี่ยม

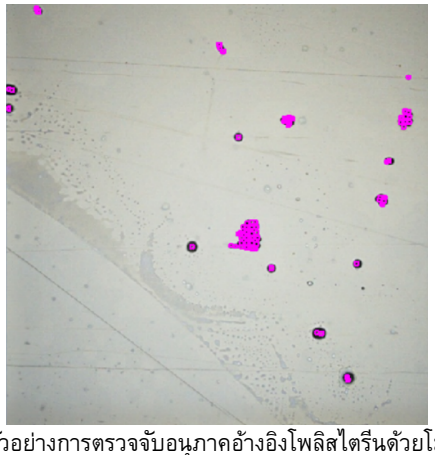
ชุดข้อมูลนี้ได้ทำการสุ่มเลือกภาพซึ่งได้มีการเพิ่มข้อมูล ซึ่งทำได้โดยการเสริมข้อมูลของภาพที่เป็นไปได้ต่าง ๆ ได้แก่ การหมุน (Rotation) การปรับคอนทราสต์ (Contrast) สัญญาณรบกวน (Noise) และการเบลอ (Blur) โดยเริ่มจากภาพต้นฉบับ ภาพต้นฉบับจะถูกหมุนในช่วง -10° ถึง 10° โดยเพิ่มทีละ 1° ต่อขั้น นอกจากนี้ยังใช้ฟิลเตอร์เบลอแบบเกาส์เซียน โดยเปลี่ยนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 1 ถึง 10 โดยเพิ่มทีละ 1 หน่วย เพื่อสร้างระดับความเบลอที่แตกต่างกัน จากนั้นระดับคอนทราสต์ยังถูกปรับโดยการปรับขนาดค่าพิกเซลทั้งหมดภายในช่วง 0.5 ถึง 1.5 โดยเพิ่มทีละ 0.1 หน่วย เพื่อสร้างสเปกตรัมของความแปรผันของคอนทราสต์ และสุดท้ายยังได้ทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5 โดยได้ทำการสร้างภาพจากเงื่อนไขดังกล่าวจำนวน 693,050 ภาพสำหรับการฝึก และในขั้นตอนการฝึกเราใช้ขนาดชุดข้อมูล (Batch Size) 32 และการแบ่งย่อยข้อมูล (Sub-division) 8 สำหรับโมเดลที่ฝึกด้วย YOLOv8 ผลลัพธ์ของการฝึกที่การทำซ้ำ (Iteration) ที่ 10,000 ครั้ง มีค่าการสูญเสียเฉลี่ย (Average Loss) ที่ 0.1533 แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการฝึกโมเดลสำหรับการนับอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนด้วย YOLOv8

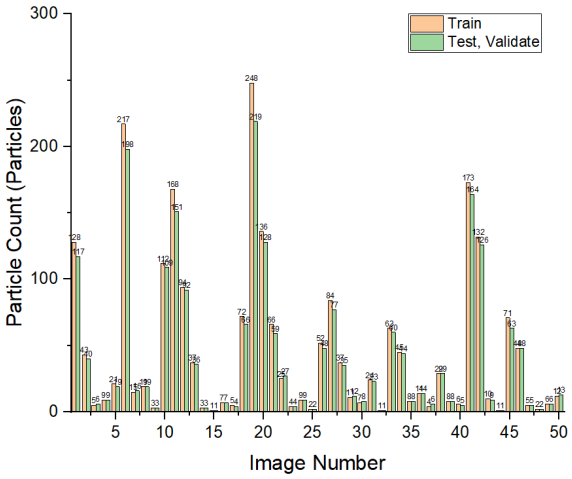
4. ผลการดำเนินงานวิจัย

โมเดลที่ถูกฝึกด้วย YOLOv8 ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์อนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนในกระบวนการนับจำนวนอนุภาคจากรูปภาพ ตัวอย่างผลการวิเคราะห์อนุภาคถูกระบุโดยกรอบสี่เหลี่ยมที่บ่งชี้ลักษณะเฉพาะของอนุภาคโพลิสไตรีนแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตัวอย่างการตรวจจับอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกที่ถูกฝึกเพื่อนับจำนวนอนุภาค

ผลการทดสอบด้วยการนำชุดข้อมูลมาทำการฝึกและทดสอบแสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลภาพจำนวน 50 ภาพ โดยแสดงจำนวนของกล่องสี่เหลี่ยมที่ได้รับการระบุจำนวนของอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนสำหรับขั้นตอนการฝึกและทดสอบ



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบจำนวนอนุภาพอ้างอิงจากชุดข้อมูลที่ได้รับการฝึกและทำนาย

4.1 การประเมินประสิทธิภาพโมเดล

การประเมินประสิทธิภาพโมเดลใช้สำหรับหรับหาความเหมาะสมต่อการนำโมเดลการนับจำนวนอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนไปใช้ เราใช้รูปภาพสำหรับการทดสอบจำนวน 50 ภาพสำหรับการประเมินประสิทธิภาพโมเดล โดยใช้ตัวแปรในการประเมิน ได้แก่ Precision, Recall, F1-score และ Mean Average Precision (mAP) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของโมเดลตรวจจับวัตถุ โดย Precision แสดงดังสมการที่ (1) เป็นความแม่นยำของการทำนายว่าจำนวนอนุภาคที่โมเดลตรวจจับได้เป็นอนุภาคจริงมากน้อยเพียงใด ในขณะที่ Recall แสดงดังสมการที่ (2) ใช้วัดความสามารถของโมเดลในการตรวจจับอนุภาคทั้งหมดที่มีอยู่จริง ส่วน F1-score แสดงดังสมการที่ (3) ใช้ประเมินสมดุลระหว่างความแม่นยำและความสามารถในการตรวจจับของโมเดล และ Mean Average Precision (mAP) แสดงดังสมการที่ (4) ใช้วัดผลลัพธ์โดยพิจารณาประสิทธิภาพโดยรวมของโมเดลในทุกระดับของค่า Confidence Score นอกจากนี้ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณยังประกอบด้วย True Positive (TP) ซึ่งหมายถึงจำนวนอนุภาคที่โมเดลตรวจจับได้ถูกต้อง, False Positive (FP) คือจำนวนอนุภาคที่โมเดลตรวจจับเกินจากค่าจริง และ False Negative (FN) คือจำนวนอนุภาคที่โมเดลพลาดไม่สามารถตรวจจับได้

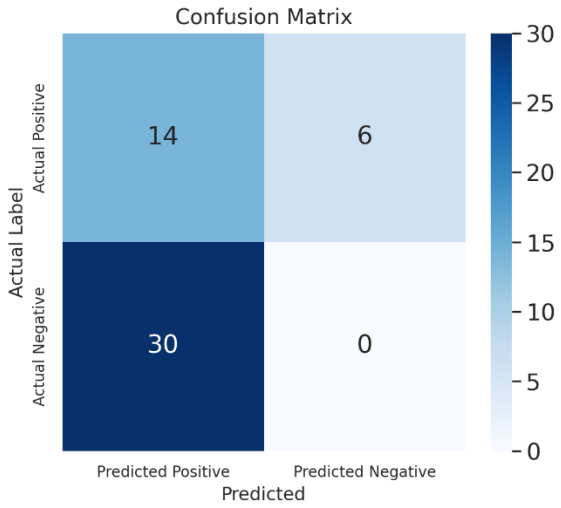
$$Precision = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

$$F1\ Score = \frac{Precision \times Recall}{Precision+Recall} \quad (3)$$

$$mAP \approx \frac{Precision+Recall}{2} \quad (4)$$

จากการประสิทธิภาพโมเดลตัวแปร Precision, Recall, F1 Score และ mAP โดยใช้ Confusion Matrix ในการวิเคราะห์ซึ่งแสดงดังรูปที่ 8 โดยค่าตัวแปรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 8 การวิเคราะห์ความถูกต้องของโมเดลด้วย Confusion Matrix

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์การประเมินประสิทธิภาพโมเดล

Precision	Recall	F1 Score	mAP
0.70	0.318	0.437	0.509

นอกจากนั้นได้ใช้ตัวแปรในการประเมิน ได้แก่ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error, MAE) คือ การวัดค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างค่าที่โมเดลทำนายกับค่าจริง แสดงดังสมการที่ (5) และเปอร์เซ็นต์ข้อผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) เพื่อใช้ดูความผิดพลาดในรูปเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับค่าจริง แสดงดังสมการที่ (6)

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|y_{pred,i} - y_{true,i}\right| \quad (5)$$

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_{pred,i}-y_{true,i}}{y_{true,i}}\right| \times 100 \quad (6)$$

โดยที่ $y_{pred,i}$ คือ ค่าที่โมเดลทำนายสำหรับตัวอย่างที่ i
$Y_{true,i}$ คือ ค่าจริงสำหรับตัวอย่างที่ i
n คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

จากการทดสอบประเมินประสิทธิภาพโมเดลจากภาพสำหรับทดสอบพบว่ามีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์อยู่ที่ 3.22 และเปอร์เซ็นต์ข้อผิดพลาดสัมบูรณ์ 6.09% โดยยังมีความผิดพลาดในการนับจำนวนอนุภาคอยู่โดยมีการนับสิ่งรบกวนหรือการนับจำนวนอนุภาคไม่ครบในบางรูปภาพ

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

โดยสรุปการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ระบบการนับจำนวนอนุภาคอ้างอิงโพลิสไตรีนโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในด้านความแม่นยำและความเร็วของการนับอนุภาคในกระบวนการสอบเทียบ โดยใช้ YOLOv8 ซึ่งเป็นโมเดลที่มีประสิทธิภาพในด้านการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กในกระบวนการฝึก จากการประเมินประสิทธิภาพโมเดล พบว่าระบบที่พัฒนามีความสามารถในการตรวจจับและนับจำนวนอนุภาคได้ โดยมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์และเปอร์เซ็นต์ข้อผิดพลาดสัมบูรณ์ที่สามารถรับได้ในบริบทของการทดสอบเริ่มต้น อย่างไรก็ตามยังมีข้อผิดพลาดบางประการ เช่น การตรวจจับสิ่งรบกวนหรือการนับอนุภาคไม่ครบถ้วนในบางภาพ ซึ่งเกิดจากการซ้อนทับของอนุภาค (Overlapping Particles) โดยอนุภาคที่อยู่ใกล้กันมากอาจถูกมองว่าเป็นวัตถุเดียว ทำให้การนับต่ำกว่าความเป็นจริง (False Negative) หรือบางกรณี โมเดลอาจแยกวัตถุเดียวออกเป็นสองวัตถุ ทำให้การนับสูงกว่าความเป็นจริง (False Positive) อีกปัจจัยก็คือความไม่สม่ำเสมอของแสงและเงา (Lighting and Shadows) โดยแสงไม่สม่ำเสมออาจทำให้อนุภาค และอีกปัจจัยก็คือคุณภาพของชุดข้อมูลที่ใช้ฝึก (Dataset Quality) หากชุดข้อมูลมีความหลากหลายน้อย โมเดลอาจไม่สามารถรับมือกับสภาวะที่แตกต่างจากข้อมูลฝึกได้ โดยแนวทางการปรับปรุงต้องมีการเพิ่มข้อมูลฝึกที่มีความหลากหลายมากขึ้น ควรใช้ชุดข้อมูลที่มีภาพอนุภาคในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น สภาพแสงต่างๆ ขนาดอนุภาคที่หลากหลาย และอนุภาคที่มีการซ้อนทับกัน อีกทั้งการใช้เทคนิค Data Augmentation เช่น การเพิ่ม noise ให้ภาพ, การเปลี่ยน contrast, การเพิ่มภาพที่มีอนุภาคทับซ้อนกันเพื่อให้โมเดลเรียนรู้จากสถานการณ์ที่ซับซ้อนให้มากขึ้น รวมไปถึงการปรับปรุงโครงสร้างของโมเดล [12] เช่น Backbone หรือ Feature Pyramid Network มีความ เพื่อการนำไปใช้จริง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

[1] Kuruma, Y., Sakaguchi, T., & Sakurai, H. 2021. “Primary standard for the number concentration of liquid-borne particles: extension of the diameter range from the micrometer to the sub-micrometer level and reduction of the measurement uncertainty”. Metrologia, Vol. 58 (4): 045007.

[2] Okunev, A. G., Mashukov, M. Y., Nartova, A. V., & Matveev, A. V. 2020. “Nanoparticle recognition on scanning probe microscopy images using computer vision and deep learning”. Nanomaterials, Vol. 10 (7): 1285.

[3] Phung, V. H., & Rhee, E. J. 2019. “A high-accuracy model average ensemble of convolutional neural networks for classification of cloud image patches on small datasets”. Applied Sciences, Vol. 9 (21): 4500.

[4] Amrish, Arya, S., & Kumar, S. 2024. “Convolutional neural network for human crowd analysis: a review”. Multimedia Tools and Applications, Vol. 83 (22): 62307-62331.

[5] International Organization for Standardization ISO/IEC 17025:2017 general requirements for the competence of testing and calibration laboratories, ISO, 2017.

[6] Ngansalung, B., Chanthawong, N., & Buajarern, J. 2023. “Enhancing particle size characterization performance through proficiency testing program: result and insights from inter-laboratory comparison”. Journal of Physics: Conference Series, Vol. 2653 (1): 012008.

[7] Su, J., Qin, Y., Jia, Z., & Liang, B. 2024. “MPE-YOLO: enhanced small target detection in aerial imaging”. Scientific Reports, Vol. 14 (1): 17799.

[8] Yao, G., Zhu, S., Zhang, L., & Qi, M. 2024. “Hp-yolov8: high-precision small object detection algorithm for remote sensing images”. Sensors, Vol. 24 (15): 4858.

[9] Xing, Fuyong, Yuanpu Xie, Hai Su, Fujun Liu, and Lin Yang. 2017. "Deep learning in microscopy image analysis: A survey". IEEE transactions on neural networks and learning systems Vol. 29 (10): 4550.

[10] Chousangsuntorn, C., Tongloy, T., Chuwongin, S., & Boonsang, S. 2021. “A deep learning system for recognizing and recovering contaminated slider serial numbers in hard disk manufacturing processes”. Sensors, Vol.21 (18): 6261.

[11] Khalili, B., & Smyth, A. W. 2024. “Sod-yolov8—enhancing yolov8 for small object detection in aerial imagery and traffic scenes”. Sensors, Vol.24 (19): 6209.

[12] Feng, F., Hu, Y., Li, W., & Yang, F. 2024. “Improved YOLOv8 algorithms for small object detection in aerial imagery”. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, Vol. 36 (6): 102113.

การคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรด้วยเทคนิคการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์

Selection of Herbal Material Suppliers Using Multi-Criteria Decision-Making Techniques

ศตพร ศรีธิพิงค์*, วริษา นาคเขียว
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: sataporn.srithiping@gmail.com*

Sataporn Srithiping*, Warisa Nakkiew
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
E-mail: sataporn.srithiping@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอกระบวนการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุหลักเกณฑ์การคัดเลือกผู้ส่งมอบที่สำคัญและคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรที่เหมาะสมกับสถานที่ผลิตกรณีศึกษาซึ่งเป็นโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์สมุนไพรต้นแบบที่อยู่ในระหว่างปรับปรุงกระบวนการดำเนินงานให้เป็นไปตามมาตรฐานหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิต การคัดเลือกหลักเกณฑ์มาจากการทบทวนวรรณกรรมและการสัมภาษณ์บุคลากรหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับสถานที่ผลิต เรียงตามลำดับความสำคัญ ได้แก่ เกณฑ์ด้านคุณภาพ, การรับรองมาตรฐาน, การส่งมอบ, ราคา และการบริการ งานวิจัยนี้ใช้การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ 2 รูปแบบ ได้แก่ การตัดสินใจที่ไม่มีการทดแทน นำมาใช้ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรเกณฑ์ด้านคุณภาพ และการตัดสินใจที่มีการทดแทน นำมาใช้กับเกณฑ์ด้านราคา, การส่งมอบ, การรับรองมาตรฐาน และการบริการ โดยเลือกวิธีที่มีความนิยมมาใช้ในการตัดสินใจ ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ วิธีการรวมถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย (Simple Additive Weighting: SAW), วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) และวิธีการ TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) โดยผลลัพธ์จากการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพร พบว่าเป็นผู้ส่งมอบแหล่งเดียวกันทั้งหมด แต่ผู้ส่งมอบในลำดับหลังจะแตกต่างกันออกไปเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าวิธีการตัดสินใจเหล่านี้อาจไม่ได้มีผลทำให้การคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรเปลี่ยนไป แต่ต้องคำนึงถึงการกำหนดหลักเกณฑ์ การเรียงลำดับความสำคัญของเกณฑ์ รวมถึงการให้ค่าน้ำหนักของเกณฑ์ที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับบริบทของสถานที่ผลิตนั้น ๆ

คำสำคัญ: การคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพร, เทคนิคการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์, วิธีการรวมถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย, วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น, TOPSIS

Abstract

This research presents the process of selecting herbal material suppliers with the objective of identifying criteria for significant suppliers and selecting suitable suppliers for a case study production site, which is herbal product pilot plant currently improving operations to comply with Good Manufacturing Practice (GMP) standards. The selection criteria were derived from a literature review and interviews of personnel or accomplices involved with the production site. Therefore, the important criteria ranking are quality, certification, delivery, price, and service. This research applied two models of multi-criteria decision-making (MCDM) methods that are non-compensatory decision-making for quality criteria, and compensatory decision-making for criteria such as price, delivery, certification, and service were chosen by three popular decision-making methods as Simple Additive Weighting (SAW), Analytic Hierarchy Process (AHP), and Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). The results of the herbal material suppliers selection indicated that the top-ranked supplier remained the same across all methods, while the rankings of subsequent suppliers varied slightly. This suggests that these decision-making methods may not significantly alter the selection of herbal material suppliers. However, it is necessary to consider the determination of criteria, the prioritization of these criteria, and attribute weighting, which must be appropriate according to the context of the production site.

Keywords: Selection of Herbal Material Suppliers, Multi-Criteria Decision-Making Techniques, Simple Additive Weighting, Analytic Hierarchy Process, Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution

1. บทนำ

จากประเด็นยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ. 2561 - 2580) ด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน [1] ภาครัฐได้ให้ความสำคัญต่อประเด็นปัญหาที่ส่งผลต่อโอกาสและการเติบโตของสมุนไพรหลากหลายประเด็น ซึ่งหนึ่งในนั้น คือ ปัญหาวัตถุดิบสมุนไพรที่ไม่ได้มาตรฐานและไม่มีคุณภาพ ดังนั้น การคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพร จึงเป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญสำหรับการบริหารคุณภาพและควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สมุนไพรให้เป็นไปตามมาตรฐานหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) กระทรวงสาธารณสุข [2] เพื่อให้ผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่ได้รับอนุญาตในประเทศไทยมีมาตรฐานการผลิตที่เป็นระบบ และนำไปสู่การยกระดับมาตรฐานที่สูงขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้หยิบยกโรงงานขนาดเล็กที่ได้รับใบอนุญาตสถานที่ผลิตผลิตภัณฑ์สมุนไพร (ประเภทยาแผนโบราณ) ตามกฎหมายแล้ว แต่ยังขาดกระบวนการบริหารจัดการในด้านการคัดเลือกวัตถุดิบสมุนไพร เข้ามาทำการศึกษาวิจัยเพื่อให้มีแนวทางการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรที่เหมาะสมจากการใช้เทคนิคการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์และช่วยลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการดำเนินงาน เช่น ปัญหาวัตถุดิบไม่มีคุณภาพหรือมาตรฐาน, ปัญหาการส่งมอบวัตถุดิบไม่ถูกต้องหรือไม่ครบถ้วน, ปัญหาความเหมาะสมของราคากับวัตถุดิบ เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการคัดเลือกวัตถุดิบสมุนไพรของสถานที่ผลิตอื่นต่อไป

งานวิจัยนี้ได้ให้คำนิยามของสมุนไพร คือ ผลิตผลธรรมชาติที่ได้จากพืช สัตว์ จุลชีพ หรือแร่ ที่ใช้ ผสม ปรุง หรือแปรสภาพ เป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพร [3] ซึ่งการนำสมุนไพรไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์สมุนไพร ควรจะต้องมีการประเมินคุณภาพสมุนไพร โดยมีกระบวนการตรวจสอบ ได้แก่ การตรวจสอบโดยใช้อวัยวะรับความรู้สึก (Organoleptic method), การตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microscopic method), การประเมินคุณภาพทางชีววิทยา (Biological method) และการประเมินคุณภาพทางเคมี (Chemical method) [4]

นอกจากโรงงานจะต้องคำนึงถึงการประเมินคุณภาพวัตถุดิบเป็นสิ่งสำคัญแล้ว ยังมีหลักเกณฑ์อื่นที่ส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจที่แตกต่างกันไป เพื่อให้เกิดความแม่นยำและเกิดประสิทธิภาพในการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพร งานวิจัยนี้จึงได้นำเทคนิคทางวิชาการและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการตัดสินใจมาใช้ในการแก้ไขปัญหา จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ปัจจัยสำคัญในการนำมาใช้พิจารณาประกอบการตัดสินใจคัดเลือกผู้ส่งมอบ คือ ข้อมูลหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบ ซึ่งจากผลการวิจัยหลักเกณฑ์ที่นิยมใช้ของนักวิชาการหลายท่าน จะประกอบไปด้วยราคา/ต้นทุน (Price/Cost), คุณภาพ (Quality), การขนส่ง/การส่งมอบ (Delivery) และการบริการ (Service) จากงานวิจัยในช่วงปี ค.ศ. 2005 – 2012 ที่ผ่านมา [5] ซึ่งสอดคล้องกับผลเปรียบเทียบการเลือกหลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาในสองช่วงเวลา ได้แก่ ปี ค.ศ. 1966 - 2001 และ ปีค.ศ. 2001 - 2010 ที่เล็งเห็นว่าเกณฑ์ด้านราคา/ต้นทุน, คุณภาพ และการขนส่ง/การส่งมอบ เป็นสิ่งสำคัญ [6] เช่นเดียวกับงานวิจัยที่เปรียบเทียบการเลือกหลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาในอดีต ระหว่างปี ค.ศ. 1966 – 1990 และปี ค.ศ. 1990 – 2001 [7] ที่ถึงแม้ปัจจุบันจะค้นพบหลักเกณฑ์ใหม่ ๆ ที่เข้ามามีผลต่อการตัดสินใจแต่ก็ยังไม่สามารถเทียบได้กับหลักเกณฑ์ที่กล่าวไว้ข้างต้น

การตัดสินใจ เป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเมื่อต้องเผชิญหน้ากับทางเลือกตั้งแต่ 2 ทางเลือกขึ้นไป และจำเป็นต้องเลือกหนึ่งสิ่งจากในหลายสิ่ง หรือสามารถเลือกได้มากกว่าหนึ่งสิ่งแล้วแต่กรณีเนื่องจากการตัดสินใจเป็นกระบวนการที่อยู่ในทุกการกระทำ [8] ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) ประเภทการตัดสินใจแบบหลายคุณลักษณะ (Multi-Attribute Decision Making: MADM) ซึ่งเป็นการประเมินโดยมีทางเลือกจำนวนจำกัด และเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่อง จำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การตัดสินใจที่ไม่มีการทดแทน (Noncompensatory Model) และการตัดสินใจที่มีการทดแทน (Compensatory Model) [9] จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ พบว่า วิธีการที่นิยมใช้กับกระบวนการตัดสินใจ 5 อันดับแรก ในงานวิจัยช่วงปี พ.ศ. 2543 – 2562 ประกอบไปด้วย วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP), การใช้เทคนิคร่วมกันมากกว่า 1 เทคนิค (Hybrid MCDM), การรวมผลการตัดสินใจจากการใช้เทคนิคหลายเทคนิคในการวิเคราะห์ (Aggregation Method), วิธีการ TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution), วิธีการ ELECTRE (Et Choice Translating Reality) [10] ส่วนเทคนิคที่นิยมนำมาใช้คัดเลือกผู้ส่งมอบในแต่ละอุตสาหกรรม อ้างอิงข้อมูลงานวิจัยในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2558 – 2560 พบว่า ส่วนใหญ่เป็นเทคนิค FAHP ร้อยละ 24 รองลงมาเป็น FTOPSIS ร้อยละ 17 และอื่น ๆ ตามลำดับ [11] ทั้งนี้ จากงานวิจัยการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยาหรือสมุนไพร มักจะเลือกใช้เทคนิค AHP หรือ TOPSIS ยกตัวอย่างงานวิจัย เช่น

Rashmi Kulshrestha และคณะ [12] ได้เลือกใช้เทคนิค AHP สำหรับการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบยาสมุนไพร เนื่องจากเป็นเทคนิคที่เหมาะกับเกณฑ์ที่ซับซ้อนหรือประเมินค่าได้ยาก ส่งผลให้การตัดสินใจเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบมีเหตุมีผลมากกว่าการที่ไม่ได้ใช้เครื่องมือหรือเทคนิคใดในการตัดสินใจ

Kaushik Nag และ Magdy Helal [13] ได้เลือกใช้เทคนิค FTOPSIS เพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผู้จัดจำหน่ายยา โดยผลลัพธ์ในการเลือกใช้เทคนิคนี้พบว่าเหมาะกับการตัดสินใจในสภาวะที่

ไม่แน่นอนหรือสภาวะที่ต้องการความยืดหยุ่นสูงอันเนื่องมาจากการมีผู้ส่งมอบหลากหลายพื้นที่

จากข้อมูลการศึกษาที่กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการตัดสินใจคัดเลือกผู้ส่งมอบ ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถแปลงข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น อารมณ์ ความรู้สึก ให้เป็นเชิงปริมาณที่สามารถวัดได้, วิธีการ TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) เป็นวิธีการที่มีความละเอียด โดยนำหลักการ ระยะห่างแบบยูคลิเดียน (Euclidean distance) เข้ามาใช้วัดความห่างของกลุ่มข้อมูลการตัดสินใจที่แตกต่างกัน และวิธีสุดท้าย ได้แก่ วิธีการรวมถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย (Simple Additive Weighting: SAW) เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นหรือการวิเคราะห์อย่างหยาบ [14] เข้ามาเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ใช้ในการตัดสินใจคัดเลือกผู้ส่งมอบ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการรวบรวมข้อมูลโดยสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) กับบุคคลที่ปฏิบัติงานในสถานที่ผลิตกรณีศึกษา, บุคคลที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการผลิตสมุนไพร และบุคคลที่มีความเชี่ยวชาญด้านสมุนไพร เช่น อาจารย์, นักวิทยาศาสตร์ เป็นต้น และระดมความคิดร่วมกันเพื่อพิจารณาความเหมาะสมของหลักเกณฑ์ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม และระบุเกณฑ์หลักและเกณฑ์ย่อยให้สอดคล้องกับการดำเนินงานของสถานที่ผลิต พร้อมพัฒนาหลักการให้คะแนนของเกณฑ์ สรุปเป็นข้อมูลได้ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 เกณฑ์ที่ใช้พิจารณาคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพร

เกณฑ์หลัก	เกณฑ์ย่อย	ที่มาของข้อมูล
คุณภาพ (Quality)	การตรวจสอบโดยใช้อวัยวะรับความรู้สึก (Q1)	การวัดผล/การทดสอบ
	การตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์และการประเมินคุณภาพทางชีววิทยา (Q2)	การวัดผล/การทดสอบ
	การประเมินคุณภาพทางเคมี (Q3)	การวัดผล/การทดสอบ
ราคา (Price)	ราคาสินค้า (P1)	ข้อมูลจริง
	ค่าขนส่งสินค้า (P2)	ข้อมูลจริง
การส่งมอบ (Delivery)	ปริมาณการสั่งซื้อขั้นต่ำ (D1)	ข้อมูลจริง
	ระยะเวลาในการส่งมอบ (D2)	ข้อมูลจริง
การรับรองมาตรฐาน (Certification)	มาตรฐานของสถานที่ผลิตหรือจำหน่าย (C)	สัมภาษณ์
การบริการ (Service)	ช่องทางการติดต่อ (S)	สัมภาษณ์

ตารางที่ 2 ข้อกำหนด/เกณฑ์การให้คะแนนของเกณฑ์ย่อยที่สำคัญ

เกณฑ์ย่อย	ข้อกำหนด/เกณฑ์การให้คะแนน
การประเมินคุณภาพทางเคมี (Q3)	**ข้อกำหนดของสมุนไพรตัวอย่าง** 1. ค่าปริมาณน้ำ (QC1) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 8 % w/w 2. ปริมาณสิ่งแปลกปลอม (QC2) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 % w/w 3. ปริมาณเถ้ารวม (QC3) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 % w/w 4. ปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล (QC4) มากกว่าหรือเท่ากับ 18 % w/w 5. ปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ (QC5) มากกว่าหรือเท่ากับ 22 % w/w 6. ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (QC6) มากกว่าหรือเท่ากับ 20 % w/w
ค่าขนส่งสินค้า (P2)	กรณีร้านค้าที่ต้องเดินทางไปซื้อด้วยตัวเองจะคำนวณจากระยะทางไปกลับจากสถานที่ผลิตคูณกับอัตราค่าน้ำมันรถ กิโลเมตรละ 4 บาท
มาตรฐานของสถานที่ผลิตหรือจำหน่าย (C)	**เกณฑ์การให้คะแนน** 1 คะแนน หมายถึง ไม่มีการรับรองมาตรฐานใด ๆ 2 คะแนน หมายถึง สถานที่ผลิตหรือจำหน่ายได้รับอนุญาตตามกฎหมาย 3 คะแนน หมายถึง สถานที่ผลิตหรือจำหน่ายได้รับมาตรฐานตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิต
ช่องทางการติดต่อ (S)	**เกณฑ์การให้คะแนน** 1 คะแนน หมายถึง มีช่องทางการติดต่อขั้นพื้นฐาน 2 คะแนน หมายถึง มีช่องทางการติดต่อขั้นพื้นฐานและสื่อสังคมออนไลน์ 3 คะแนน หมายถึง มีช่องทางการติดต่อขั้นพื้นฐาน สื่อสังคมออนไลน์และร้านค้าออนไลน์

2.2. ประยุกต์ใช้เทคนิคการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์

ผู้วิจัยได้นำวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์มาใช้ 2 รูปแบบ โดยการตัดสินใจที่ไม่มีการทดแทน จะนำมาใช้กับเกณฑ์คุณภาพโดยอ้างอิงข้อมูลตามตำรามาตรฐานยาสมุนไพรไทย (Thai Herbal Pharmacopoeia) ที่กระทรวงสาธารณสุขประกาศรับรองในราชกิจจานุเบกษา จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาใช้กับรูปแบบการตัดสินใจที่มีการทดแทนของเกณฑ์ด้านราคา, การส่งมอบ, การรับรองมาตรฐาน และการบริการ โดยใช้เทคนิคทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ วิธีการรวมถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย, วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น และวิธีการ TOPSIS จากนั้นจึงหาน้ำหนักของความสัมพันธ์แต่ละหลักเกณฑ์ และดำเนินการตามขั้นตอนของแต่ละเทคนิคนั้น

2.3. สรุปผลการตัดสินใจเพื่อให้ได้ทางเลือกที่ดีที่สุด

หากคำตอบของแต่ละทางเลือกแตกต่างกัน จะต้องมีการสรุปผลการตัดสินใจเพื่อให้ได้ทางเลือกที่ดีที่สุดผ่านการวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติ, Borda และ Copeland ซึ่งผลการวิเคราะห์จะเลือกค่ามากเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด กรณีที่ทางเลือกมีค่าเท่ากันอาจจะต้องพิจารณาเลือกทางเลือกใดทางเลือกหนึ่งจากการใช้หลักเกณฑ์อื่น ๆ ในการตัดสินใจต่อไป

3. ผลการวิจัย

3.1. ผลการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรโดยใช้การตัดสินใจที่ไม่มีการทดแทน

ทำการคัดเลือกผู้ส่งมอบที่ผ่านเกณฑ์ย่อยด้านคุณภาพในทุกคุณลักษณะ (Conjunctive constraint method) โดยจากผลการวิจัย

ดังตารางที่ 3 มีผู้ส่งมอบวัตถุดิบจำนวน 6 ราย ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 5 ราย โดยร้านที่ 1 ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพตามข้อกำหนด

ตารางที่ 3 ผลการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรในเบื้องต้นโดยใช้เกณฑ์คุณภาพ

ผู้ส่งมอบ	Q1	Q2	Q3					
			QC1	QC2	QC3	QC4	QC5	QC6
รายที่ 1	ผ่าน	ผ่าน	4.13 ± 0.01	0.01 ± 0.00	7.35 ± 0.07	17.63 ± 0.19	23.49 ± 0.28	17.98 ± 0.00
รายที่ 2	ผ่าน	ผ่าน	5.62 ± 0.01	0.04 ± 0.00	5.75 ± 0.11	18.69 ± 0.09	22.87 ± 0.30	20.99 ± 0.02
รายที่ 3	ผ่าน	ผ่าน	4.35 ± 0.02	0.01 ± 0.00	5.37 ± 0.07	19.56 ± 0.07	23.19 ± 0.62	21.98 ± 0.02
รายที่ 4	ผ่าน	ผ่าน	5.48 ± 0.02	0.06 ± 0.00	5.42 ± 0.04	18.12 ± 0.08	25.96 ± 0.11	24.99 ± 0.03
รายที่ 5	ผ่าน	ผ่าน	5.11 ± 0.03	0.04 ± 0.00	5.67 ± 0.09	18.53 ± 0.13	24.70 ± 0.06	20.98 ± 0.01
รายที่ 6	ผ่าน	ผ่าน	3.47 ± 0.03	0.01 ± 0.00	5.28 ± 0.12	18.73 ± 0.01	24.94 ± 0.40	22.48 ± 0.01

3.2. ผลการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรโดยใช้การตัดสินใจที่มีการทดแทน

นำผลการคัดเลือกผู้ส่งมอบที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพทั้ง 5 ราย มาพิจารณากับเกณฑ์ที่สามารถทดแทนกันได้ ประกอบไปด้วย ราคา, การส่งมอบ, การรับรองมาตรฐาน และการบริการ ซึ่งบุคคลที่ปฏิบัติงานในสถานที่ผลิต จำนวน 3 คน จะเป็นผู้กำหนดน้ำหนักร่วมกัน โดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ทีละคู่ (Pairwise comparison) ดังตารางที่ 4, 5 และ 6

ตารางที่ 4 ผลการประเมินเกณฑ์หลักของผู้เชี่ยวชาญและค่าน้ำหนักของความสัมพันธ์แต่ละหลักเกณฑ์

เกณฑ์หลัก	มัชฌิมเรขาคณิต	น้ำหนัก	ลำดับ
P	$(1 \times 1/3 \times 1/5 \times 3)^{1/4} = 0.6687$	0.1178	3
D	$(3 \times 1 \times 1/3 \times 5)^{1/4} = 1.4953$	0.2634	2
C	$(5 \times 3 \times 1 \times 7)^{1/4} = 3.2011$	0.5638	1
S	$(1/3 \times 1/5 \times 1/7 \times 1)^{1/4} = 0.3124$	0.0550	4
ผลรวม	**5.6776**	**1.0000**	

ตารางที่ 5 ผลการประเมินเกณฑ์ย่อยด้านราคาของผู้เชี่ยวชาญและค่าน้ำหนักของความสัมพันธ์

เกณฑ์ย่อย	มัชฌิมเรขาคณิต	น้ำหนัก	ลำดับ
P1	$(1 \times 7)^{1/2} = 2.6458$	0.1031	1
P2	$(1/7 \times 1)^{1/2} = 0.3780$	0.0147	2
ผลรวม	3.0237	0.1178	

ตารางที่ 6 ผลการประเมินเกณฑ์ย่อยด้านการขนส่งของผู้เชี่ยวชาญและค่าน้ำหนักของความสัมพันธ์

เกณฑ์ย่อย	มัชฌิมเรขาคณิต	น้ำหนัก	ลำดับ
D1	$(1 \times 1/3)^{1/2} = 0.5774$	0.0658	2
D2	$(3 \times 1)^{1/2} = 1.7321$	0.1975	1
ผลรวม	2.3094	0.2634	

ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคนิคการตัดสินใจที่มีการทดแทนทั้งหมด 3 วิธี ดังต่อไปนี้

3.2.1. วิธีการรวมถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย (Simple Additive Weighting: SAW)

วิธีการรวมถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย (Simple Additive Weighting: SAW) เริ่มจากปรับข้อมูลผู้ส่งมอบแต่ละรายให้อยู่ในรูปแบบค่ามาตรฐาน จากนั้นหาผลรวมของแต่ละทางเลือก โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4, 5 และ 6 ประกอบ ค่าที่มีผลรวมมากที่สุดจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า ผลรวมของผู้ส่งมอบรายที่ 5 มีค่ามากที่สุดดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่ามาตรฐานแต่ละเกณฑ์และค่าคะแนนรวมพร้อมลำดับของผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรแต่ละรายโดยวิธีการรวมถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย

ผู้ส่งมอบ	ค่ามาตรฐานของแต่ละเกณฑ์						ผลรวม	ลำดับ
	P1	P2	D1	D2	C	S		
รายที่ 2	0.8333	0.7422	1.0000	1.0000	0.6667	0.3333	0.7544	3
รายที่ 3	1.0000	0.8796	0.5000	1.0000	0.6667	0.3333	0.7407	4
รายที่ 4	0.3333	1.0000	0.4167	0.5000	1.0000	1.0000	0.7941	2
รายที่ 5	0.8621	1.0000	1.0000	0.5000	1.0000	1.0000	0.8870	**1**
รายที่ 6	0.6667	0.7422	1.0000	1.0000	0.6667	0.3333	0.7372	5
น้ำหนัก	0.1031	0.0147	0.0658	0.1975	0.5638	0.0550		

3.2.3. วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP)

วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) เริ่มจากการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละทางเลือก โดยเปรียบเทียบเป็นคู่ในรูปแบบเมทริกซ์ ดังตารางที่ 8 ถึงตารางที่ 13

ตารางที่ 8 การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบเป็นคู่ของเกณฑ์ราคาสินค้า (P1)

P1	รายที่ 2	รายที่ 3	รายที่ 4	รายที่ 5	รายที่ 6
รายที่ 2	1.0000	0.3333	9.0000	0.3333	3.0000
รายที่ 3	3.0000	1.0000	9.0000	3.0000	5.0000
รายที่ 4	0.1111	0.1111	1.0000	0.1111	0.1429
รายที่ 5	3.0000	0.3333	9.0000	1.0000	3.0000
รายที่ 6	0.3333	0.2000	7.0000	0.3333	1.0000
ค่าสัดส่วนความสอดคล้อง (CR)	0.0922	มีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลการวิเคราะห์ถือว่าสามารถยอมรับได้			

ตารางที่ 9 การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบเป็นคู่ของเกณฑ์ค่าขนส่งสินค้า (P2)

P2	รายที่ 2	รายที่ 3	รายที่ 4	รายที่ 5	รายที่ 6
รายที่ 2	1.0000	0.1429	0.1111	0.1111	1.0000
รายที่ 3	7.0000	1.0000	0.2000	0.2000	7.0000
รายที่ 4	9.0000	5.0000	1.0000	1.0000	9.0000
รายที่ 5	9.0000	5.0000	1.0000	1.0000	9.0000
รายที่ 6	1.0000	0.1429	0.1111	0.1111	1.0000
ค่าสัดส่วนความสอดคล้อง (CR)	0.0673	มีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลการวิเคราะห์ถือว่าสามารถยอมรับได้			

ตารางที่ 10 การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบเป็นคู่ของเกณฑ์ปริมาณการสั่งซื้อขั้นต่ำ (D1)

D1	รายที่ 2	รายที่ 3	รายที่ 4	รายที่ 5	รายที่ 6
รายที่ 2	1.0000	7.0000	9.0000	1.0000	1.0000
รายที่ 3	0.1429	1.0000	3.0000	0.1429	0.1429
รายที่ 4	0.1111	0.3333	1.0000	0.1111	0.1111
รายที่ 5	1.0000	7.0000	9.0000	1.0000	1.0000
รายที่ 6	1.0000	7.0000	9.0000	1.0000	1.0000
ค่าสัดส่วนความสอดคล้อง (CR)	0.0195	มีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลการวิเคราะห์ถือว่าสามารถยอมรับได้			

ตารางที่ 11 การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบเป็นคู่ของเกณฑ์ระยะเวลาในการส่งมอบ (D2)

D2	รายที่ 2	รายที่ 3	รายที่ 4	รายที่ 5	รายที่ 6
รายที่ 2	1.0000	1.0000	3.0000	3.0000	1.0000
รายที่ 3	1.0000	1.0000	3.0000	3.0000	1.0000
รายที่ 4	0.3333	0.3333	1.0000	1.0000	0.3333
รายที่ 5	0.3333	0.3333	1.0000	1.0000	0.3333
รายที่ 6	1.0000	1.0000	3.0000	3.0000	1.0000
ค่าสัดส่วนความสอดคล้อง (CR)	0.0000	มีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลการวิเคราะห์ถือว่าสามารถยอมรับได้			

ตารางที่ 12 การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบเป็นคู่ของเกณฑ์การรับรองมาตรฐาน (C)

C	รายที่ 2	รายที่ 3	รายที่ 4	รายที่ 5	รายที่ 6
รายที่ 2	1.0000	1.0000	0.3333	0.3333	1.0000
รายที่ 3	1.0000	1.0000	0.3333	0.3333	1.0000
รายที่ 4	3.0000	3.0000	1.0000	1.0000	3.0000
รายที่ 5	3.0000	3.0000	1.0000	1.0000	3.0000
รายที่ 6	1.0000	1.0000	0.3333	0.3333	1.0000
ค่าสัดส่วนความสอดคล้อง (CR)	0.0000	มีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลการวิเคราะห์ถือว่าสามารถยอมรับได้			

ตารางที่ 13 การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบเป็นคู่ของเกณฑ์การบริการ (S)

S	รายที่ 2	รายที่ 3	รายที่ 4	รายที่ 5	รายที่ 6
รายที่ 2	1.0000	1.0000	0.2000	0.2000	1.0000
รายที่ 3	1.0000	1.0000	0.2000	0.2000	1.0000
รายที่ 4	5.0000	5.0000	1.0000	1.0000	5.0000
รายที่ 5	5.0000	5.0000	1.0000	1.0000	5.0000
รายที่ 6	1.0000	1.0000	0.2000	0.2000	1.0000
ค่าสัดส่วนความสอดคล้อง (CR)	0.0000	มีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลการวิเคราะห์ถือว่าสามารถยอมรับได้			

จากนั้นหาผลรวมของผู้ส่งมอบแต่ละรายโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4, 5 และ 6 ประกอบเพื่อวิเคราะห์หาทางเลือกที่ดีที่สุดจากค่าผลรวมที่มากที่สุด ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า ผลรวมของผู้ส่งมอบรายที่ 5 มีค่ามากที่สุดดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่ามาตรฐานแต่ละเกณฑ์และค่าคะแนนรวมพร้อมลำดับของผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรแต่ละรายโดยวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

ผู้ส่งมอบ	ค่ามาตรฐานของแต่ละเกณฑ์						ผลรวม	ลำดับ
	P1	P2	D1	D2	C	S		
รายที่ 2	0.1690	0.0337	0.3065	0.2727	0.1111	0.0769	0.1588	4
รายที่ 3	0.4507	0.1370	0.0519	0.2727	0.1111	0.0769	0.1726	3
รายที่ 4	0.0246	0.3978	0.0287	0.0909	0.3333	0.3846	0.2373	2
รายที่ 5	0.2622	0.3978	0.3065	0.0909	0.3333	0.3846	0.2801	1
รายที่ 6	0.0935	0.0337	0.3065	0.2727	0.1111	0.0769	0.1511	5
น้ำหนัก	0.1031	0.0147	0.0658	0.1975	0.5638	0.0550		
ค่าสัดส่วนความสอดคล้อง (CR)			0.0433	มีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลการวิเคราะห์ถือว่าสามารถยอมรับได้				

3.2.4. วิธีการ TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution)

วิธีการ TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) เริ่มจากการปรับข้อมูลผู้ส่งมอบแต่ละรายให้อยู่ในรูปแบบค่ามาตรฐาน โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4, 5 และ 6 ประกอบ จากนั้นกำหนดทางเลือกในอุดมคติ (Positive ideal alternative) และทางเลือกที่แย่ที่สุด (Negative ideal alternative) ดังนี้

ทางเลือกในอุดมคติ:

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \ldots, v_j^*, \ldots, v_n^*\} \quad (1)$$

โดยที่

$$v_j^* = \{(max\ v_{ij} | j \in J), (min\ v_{ij} | j \in J') | i = 1,2,\ldots,m\}$$

ทางเลือกที่แย่ที่สุด:

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \ldots, v_j^-, \ldots, v_n^-\} \quad (2)$$

โดยที่

$$v_j^- = \{(min\ v_{ij} | j \in J), (max\ v_{ij} | j \in J') | i = 1,2,\ldots,m\}$$

จากนั้นคำนวณค่าที่ใกล้เคียงของแต่ละทางเลือกเทียบกับทางเลือกในอุดมคติก่อนนำไปเรียงลำดับ ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า ผลรวมของผู้ส่งมอบรายที่ 5 มีค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์มากที่สุดดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่ามาตรฐานแต่ละเกณฑ์ของผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรแต่ละราย และค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์และลำดับของผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรแต่ละรายโดยวิธีการ TOPSIS

ผู้ส่งมอบ	ค่ามาตรฐานของแต่ละเกณฑ์						ค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (C^*)	
	P1	P2	D1	D2	C	S	ค่าความใกล้เคียง	ลำดับ
รายที่ 2	0.0496	0.0056	0.0356	0.1056	0.2059	0.0120	0.3763	4
รายที่ 3	0.0596	0.0066	0.0178	0.1056	0.2059	0.0120	0.3816	3
รายที่ 4	0.0199	0.0075	0.0148	0.0528	0.3088	0.0360	0.6042	2
รายที่ 5	0.0514	0.0075	0.0356	0.0528	0.3088	0.0360	0.6775	1
รายที่ 6	0.0397	0.0056	0.0356	0.1056	0.2059	0.0120	0.3585	5
น้ำหนัก	0.1031	0.0147	0.0658	0.1975	0.5638	0.0550		

4. สรุปผล

จากผลการวิจัยของแต่ละวิธีการ ดังตารางที่ 16 พบว่า การคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรของวิธีการทั้ง 3 วิธี มีผลลัพธ์เดียวกัน คือ การเลือกผู้ส่งมอบรายที่ 5 แต่ในลำดับที่ 3 และ 4 จะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยวิธีการ SAW ผลรวมของผู้ส่งมอบลำดับที่ 1 จะมีค่าที่ห่างกับผู้ส่งมอบลำดับอื่นค่อนข้างมาก ส่วนวิธีการ AHP และ TOPSIS ผลรวมของผู้ส่งมอบลำดับที่ 2 และ 3 จะมีค่าที่ห่างกันมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นคู่ตามลำดับ

ตารางที่ 16 สรุปผลการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสมุนไพรของแต่ละวิธีการ

ผู้ส่งมอบ	ลำดับแต่ละวิธี		
	SAW	AHP	TOPSIS
รายที่ 2	3	4	4
รายที่ 3	4	3	3
รายที่ 4	2	2	2
รายที่ 5	**1**	**1**	**1**
รายที่ 6	5	5	5

5. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากสถานที่ผลิตกรณีศึกษาเป็นโรงงานขนาดเล็ก ทำให้งานวิจัยเกิดข้อจำกัดของข้อมูลในเชิงปริมาณและความหลากหลายของข้อมูล ซึ่งส่งผลต่อการกำหนดหลักเกณฑ์ การเรียงลำดับความสำคัญของเกณฑ์ รวมถึงการให้ค่าน้ำหนักของเกณฑ์ ที่อาจต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับบริบทของสถานที่ผลิตนั้น ๆ ทั้งนี้ ผู้ศึกษาสามารถนำวิธีการข้างต้นไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกวัตถุดิบสมุนไพรของสถานที่ผลิตอื่น ๆ เพื่อให้เป็นไปตามข้อกฎหมายหรือมาตรฐานที่กำหนด เช่น สถานที่ผลิตอาหารจากสมุนไพร สถานที่ผลิตเครื่องสำอาง เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณผู้บริหารและบุคลากรของสถานที่ผลิต ที่สนับสนุนข้อมูลและร่วมจัดทำข้อมูลในส่วนเกณฑ์ด้านคุณภาพที่ต้องดำเนินการวิจัยในห้องปฏิบัติการ รวมไปถึงคณาจารย์ที่ให้คำแนะนำในการจัดทำงานวิจัยข้างต้นนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 135 ตอนที่ 82 ก ประกาศ เรื่อง ยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ. 2561-2580), ข้อมูลจาก https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/A/082/T_0001.PDF (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 ธันวาคม 2567)

[2] กองผลิตภัณฑ์สมุนไพร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, คู่มือการดำเนินการสำหรับผู้ประกอบการที่มีกระบวนการผลิตซึ่งมีความเสี่ยงต่ำ, ข้อมูลจาก https://herbal.fda.moph.go.th/media.php?id=5115291017445457 92&name=12.2.2.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 ธันวาคม 2567)

[3] สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 136 ตอนที่ 56 ก พระราชบัญญัติผลิตภัณฑ์สมุนไพร พ.ศ. 2562, ข้อมูลจาก https://herbal.fda.moph.go.th/law-herbal/category/herbal-act/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 ธันวาคม 2567)

[4] สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 1, คู่มือการแปรรูปวัตถุดิบสมุนไพร ภายใต้โครงการ Lanna Health Hub 2013, บริษัท แท็พ เทคโนโลยี จำกัด, 2556

[5] K. Mukherjee 2014. “Supplier selection criteria and methods: past, present and future”. IJOR, Vol. 27 (1-2): 356-373.

[6] S. Thiruchelvam and J.E. Tookey. 2011. “EVOLVING TRENDS OF SUPPLIER SELECTION CRITERIA AND METHODS”. IJAME, Vol. 4: 437-454

[7] S. Hossein Cheraghi, M. Dadashzadeh and M. Subramanian. 2004. “Critical Success Factors For Supplier Selection: An Update”. JABR, Vol. 20 (2): 91-108.

[8] รศนา อัชชะกิจ. กระบวนการแก้ปัญหาและตัดสินใจเชิงวิทยาศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์จุฬาภรณ์ มหาวิทยาลัย, 2535.

[9] C.L. Hwang and K. Yoon. Multiple Attribute Decision Making Methods and Application. 1st ed., Springer-Verlag, 1981.

[10] F. Eltarabishi, O.H. Omar, I. Alsyouf and M. Bettayeb, Multi-Criteria Decision-Making Methods and Their Applications– A Literature Review, 10th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 10-12 March 2020, UAE

[11] V. Solomon. Multi-Criteria Methods and Techniques Applied to Supply Chain Management, IntechOpen, 2018.

[12] R. Kulshrestha, M. Kulshrestha, S. P. Bhatnagar and C. K. Katiyar. 2007. “Supplier Performance Evaluation and Selection in the Herbal Industry”. Supply Chain Forum: An International Journal, Vol. 8 (1): 46-55.

[13] K. Nag and M. Helal, A Fuzzy TOPSIS approach in multi-criteria decision making for supplier selection in a pharmaceutical distributor, 2016 IEEE International Conference on IEEM, 04-07 December 2016, Indonesia

[14] อภิรดี สรวิสูตร. 2559. “การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์: เปรียบเทียบแนวคิด และวิธีการระหว่าง SAW AHP และ TOPSIS (Multi-Criteria Decision Making: Comparison between SAW, AHP and TOPSIS Concept and Methods)”. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, ปีที่ 8, ฉบับที่ 2: 180-192.

การวางแผนการจัดซื้อผ้าในโรงพยาบาลโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น

Planning the Purchase of Textiles in a Hospital Using Linear Programming

นฤพร อรัญดร[1] ดนุพล ทิพย์พงศ์[2*] ศุภรัตน์ มุสิกานิต[1] นิติพัฒน์ เหล่ามงคลชัยศรี[3] สุริยันต์ จอมธนชัย[2]
[1]งานจ่ายผ้ากลาง โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[2]สาขาวิชาบริหารธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[3]งานนโยบายและแผน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: danuphon.t@psu.ac.th*

Naruporn Arandorn[1] Danuphon Tippong[2*] Suparat Musikanit[1] Nitipat Laomongkholchaisri[3] Suriyan Jomthanachai[2]
[1]Central Supply Laundry Department, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University
[2]Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences, Prince of Songkla University
[3]Policy and Planning Analysis Section, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University
E-mail: danuphon.t@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้พัฒนาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับวางแผนการจัดซื้อผ้า โดยมีวัตถุประสงค์คือกำหนดรูปแบบการจัดซื้อผ้าที่มีต้นทุนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดซื้อผ้ารูปแบบปัจจุบันและยังคงตอบสนองความต้องการในการใช้ผ้าได้ โดยตัวแบบครอบคลุมการจัดซื้อ 3 รูปแบบ ได้แก่ การจัดซื้อผ้าหลามาตัดเย็บ การจัดซื้อผ้าสำเร็จรูป และการจัดซื้อผ้าทั้งสองรูปแบบร่วมกัน กลุ่มตัวอย่างรายการผ้าสำหรับการศึกษานี้ได้จากการวิเคราะห์แบบ ABC Analysis จากรายการเบิกจ่ายผ้าในปีงบประมาณ 2566 และเลือกใช้รายการผ้าในหมวดหมู่ A จำนวน 11 รายการที่สามารถจัดซื้อได้ทั้งรูปแบบการจัดซื้อผ้าหลามาตัดเย็บและการจัดซื้อผ้าสำเร็จรูป ผลการศึกษาพบว่าการจัดซื้อผ้า 11 รายการมีรูปแบบการจัดซื้อผ้าอยู่ 2 รูปแบบ คือ การจัดซื้อผ้าหลามาตัดเย็บ และการจัดซื้อผ้าสำเร็จรูป ไม่มีรายการผ้าใดที่เหมาะกับการจัดซื้อผ้าทั้งสองรูปแบบร่วมกัน นอกจากนี้ตัวแบบดังกล่าวสามารถลดต้นทุนในการจัดซื้อผ้าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการจัดซื้อผ้ารูปแบบปัจจุบัน คิดเป็นร้อยละ 0.78 – 16.56 ของต้นทุนการจัดซื้อผ้ารูปแบบปัจจุบัน

คำสำคัญ: การจัดซื้อ การวิเคราะห์ABC โปรแกรมเชิงเส้น โรงพยาบาล ต้นทุนการจัดซื้อ

Abstract

This study develops a mathematical model by using linear programming for textile purchase planning. The aim is to identify the textile purchase plan that yields the lower total costs compared to the total costs obtained from the current purchase plan and still meets the demands. The model covers 3 textile purchase options that are a purchase of yard textile for own tailor, a purchase of finished goods, and a combination of both options. The study uses the data on textile usages recorded in 2023 for classifying textiles using ABC analysis and selects category A for sampling. There are 11 items that can be purchased by any purchase options. The results show that these 11 items should be purchased by either yard textile for own tailor or finished goods. None of them should be purchased by combined options. In addition, the model can reduce the total purchasing costs compared to the total costs obtained from the current purchase plan. The total costs decrease approximately 0.78% - 16.56% of current total costs.

Keywords: Purchasing, ABC analysis, Linear programming, Hospital, Total purchasing costs

การศึกษาปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าแห่งใหม่โดยประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

A Study of Factors in Selecting the Location for a New Warehouse Using the Analytic Hierarchy Process

จันจิรา คงชื่นใจ[1*] ธัญวรรณ ชาญพานิชย์[2] ธนพันธ์ คงทอง[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง
E-mail: janjira_k@eng.src.ku.ac.th*

Janjira Kongchuenjai[1*], Thanyawan Chanpanit[2], Thanapan Kongtong[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University
[2]Division of Industrial and Logistics Engineering Technology, Faculty of Engineering and Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB) Rayong Campus
E-mail: janjira_k@eng.src.ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าแห่งใหม่ในจังหวัดชลบุรีโดยประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ โดยพิจารณา 7 ปัจจัย ได้แก่ ระยะทาง ราคาที่ดิน ราคาค่าเช่าคลังสินค้า แรงงาน ใกล้กับสิ่งอำนวยความสะดวก ระยะทางของคลังสินค้ากับลูกค้าและตลาด และเส้นทางคมนาคม ทำการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าแห่งใหม่ในจังหวัดชลบุรี ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยความสำคัญกับปัจจัยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ อันดับแรกคือระยะทาง (0.30) ราคาที่ดิน (0.20) ราคาค่าเช่าคลังสินค้า (0.15) แรงงาน (0.12) ใกล้กับสิ่งอำนวยความสะดวก (0.09) ระยะทางของคลังสินค้ากับลูกค้าและตลาด (0.08) และเส้นทางคมนาคม (0.07) ผลจากการวิเคราะห์ทางเลือกในแต่ละปัจจัยสรุปที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดในการเป็นที่ตั้งคลังสินค้าแห่งใหม่คือ อำเภอศรีราชา โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญอยู่ที่ 0.35 รองลงมาคือ อำเภอเมืองชลบุรี (0.24) อำเภอพานทอง (0.17) อำเภอบ้านบึง (0.16) และอำเภอพนัสนิคม (0.11)
คำสำคัญ: ทำเลที่ตั้ง คลังสินค้า กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

Abstract

This research aims to study the factors influencing the selection of a new warehouse location in Chonburi Province by applying the Analytic Hierarchy Process (AHP). Seven factors were considered: distance, land price, warehouse rental price, labor availability, proximity to facilities, distance between the warehouse and customers/markets, and transportation routes. The study aimed to determine the optimal warehouse location within Chonburi Province. The results indicate that the weighted importance of the factors, ranked from highest to lowest, is as follows: distance (0.30), land price (0.20), warehouse rental price (0.15), labor availability (0.12), proximity to facilities (0.09), distance between the warehouse and customers/markets (0.08), and transportation routes (0.07). Based on the analysis of each factor, the most suitable location for the new warehouse is Si Racha District, with a weighted score of 0.35. The second most suitable location is Mueang Chonburi District (0.24), followed by Phan Thong District (0.17), Ban Bueng District (0.16), and Phanat Nikhom District (0.11).
Keywords: Location, warehouse, Analytic Hierarchy Process

1. บทนำ

โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก เป็นโครงการภายใต้แผนยุทธศาสตร์ ไทยแลนด์ 4.0 ที่มุ่งเน้นการพัฒนาเชิงพื้นที่ โดยเป็นการยกระดับพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่ ฉะเชิงเทรา ชลบุรีและระยองให้เป็นเขตเศรษฐกิจชั้นนำ เป็นประตูเชื่อมโยงเอเชีย (Gateway to Asia) ด้วยการพัฒนาอย่างเป็นระบบและสอดคล้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน ขับเคลื่อนเศรษฐกิจเพื่อรองรับการลงทุนอุตสาหกรรม ที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ทันสมัย สร้านวัตกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีเป้าหมายหลักในการเติมเต็มภาพรวมในการส่งเสริมการลงทุนซึ่งจะเป็นการยกระดับอุตสาหกรรมของประเทศ พัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขัน และทำให้เศรษฐกิจของไทยเติบโตได้ในระยะยาว ส่งผลให้อุตสาหกรรมในพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกมีแนวโน้มขยายตัวต่อเนื่อง การเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าซึ่งเป็นสถานที่ในการจัดเก็บสินค้ารวมถึงการเตรียมสินค้าเพื่อนำส่งไปยังลูกค้า จึงมีความสำคัญเพื่อทำให้การขนส่งสินค้าจากบริษัทไปยังลูกค้ามีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด [1]

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย [2] ภัทรวลัย ภัทรโกมล, เพชรไพลิน พุทธรักษา และกุลบัณฑิต แสงดี มีการศึกษาปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าและเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าที่เหมาะสม โดยผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้มีอำนาจในการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม จำนวน 5 ท่าน พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้งประกอบไปด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านการขนส่ง ปัจจัยด้านสาธารณูปโภคและความสะดวก ปัจจัยด้านแรงงาน ปัจจัยด้านราคา และปัจจัยด้านสถานที่ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการเลือกทำเลที่ตั้งอยู่ 4 คลัง ขอนแก่นคลังที่ 1 ขอนแก่นคลังที่ 2 ชัยภูมิคลังที่ 1 และชัยภูมิคลังที่ 2 พบว่าปัจจัยเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ลำดับที่ 1 ปัจจัยด้านราคา มีค่าร้อยละ 32.6 ลำดับที่ 2 ปัจจัยด้านการขนส่ง มีค่าร้อยละ 29.7 ลำดับที่ 3 ปัจจัยด้านสาธารณูปโภคและความสะดวก มีค่าร้อยละ 16.6 ลำดับที่ 4 ปัจจัยด้านแรงงานมีค่าร้อยละ 8.7 และลำดับที่ 5 ปัจจัยด้านสถานที่ มีค่าร้อยละ 12.7 และสามารถเลือกทำเลที่ตั้งลำดับที่ 1 ขอนแก่นคลังที่ 1 มีค่าร้อยละ 28.1 ลำดับที่ 2 ขอนแก่นคลังที่ 2 มีค่าร้อยละ 26.8 ลำดับที่ 3 ชัยภูมิคลังที่ 1 มีค่าร้อยละ 23.3 และลำดับที่ 4 ชัยภูมิคลังที่ 2 มีค่าร้อยละ 21.9 ดังนั้นคลังขอนแก่นที่ 1 จึงเป็นคลังสินค้าที่เหมาะสมที่สุดในการคัดเลือก งานวิจัย [3] นารีรัตน์ โพธิกุล มีการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้า งานวิจัยได้พิจารณาทางเลือกของที่ตั้งคลังสินค้าในพื้นที่ กทม. และปริมณฑล โดยพิจารณาปัจจัยดังนี้ เขตประกาศจำกัดเวลาห้ามรถบรรทุก ค่าขนส่ง ค่าแรง ศักยภาพในการขยายพื้นที่ ความพร้องของระบบขนส่ง ราคาที่ดิน ความไกล้ชิดลูกค้า ความพร้อมของระบบสาธารณูปโภค ปัจจัยด้านสังคมและชุมชน การวิจัยได้นำปัจจัยและทางเลือกมาพัฒนาเป็นโครงสร้างแผนภูมิลำดับชั้นตามกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ผลวิเคราะห์พบว่า ผู้ตัดสินใจให้ความสำคัญกับปัจจัยตามลำดับความสำคัญดังนี้ เขตประกาศจำกัดเวลาห้ามรถบรรทุก ค่าขนส่ง ศักยภาพในการขยายพื้นที่ ค่าแรง ราคาที่ดิน ความพร้อมของระบบขนส่ง ความไกล้ชิดลูกค้า ความพร้อมของระบบสาธารณูปโภค ปัจจัยด้านสังคมและชุมชน งานวิจัย [4] ธนวันต์ วงศ์พันธุ์เที่ยง และ ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์ มีการศึกษาการประยุกต์เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อเลือกที่ตั้งคลังสินค้าของบริษัทผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์แห่งหนึ่ง ผลจากการประยุกต์ใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลมากในการตัดสินใจเลือกที่ตั้งคลังสินค้า อันดับแรกคือ ต้นทุนค่าขนส่งที่มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักความสำคัญ 0.208 รองลงมาคือ ต้นทุนการดำเนินการที่มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักความสำคัญ 0.207 ความพร้อมของระบบสาธารณูปโภคมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักความสำคัญ 0.146 และผลจากการวิเคราะห์ทางเลือกในแต่ละปัจจัยสรุปที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดในการเป็นที่ตั้งคลังสินค้าแห่งใหม่คือ อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักความสำคัญอยู่ที่ 0.341 รองลงมาคือ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักความสำคัญอยู่ที่ 0.241 และถนนกิ่งแก้ว จังหวัดสมุทรปราการ มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักความสำคัญอยู่ที่ 0.202 ตามลำดับ

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อเลือกตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าใหม่ซึ่งขอบเขตการศึกษาในจังหวัดชลบุรีซึ่งเป็นจังหวัดที่อยู่ในกลุ่มระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกที่มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

ทำเลที่ตั้งคลังสินค้าและคลังสินค้า ทำเลที่ตั้งคลังสินค้าเป็นงานที่เกี่ยวข้องการเลือกสถานที่ตั้งของคลังสินค้าว่าควรจะเก็บสินค้าไว้ที่ไหน เป็นสถานที่ใช้ในการจัดเก็บวัตถุดิบ สินค้าสำเร็จรูป เพื่อสำรองไว้ใช้ในเวลาที่เหมาะสม เป็นส่วนหนึ่งของระบบการจัดจำหน่าย และการกระจายสินค้า ซึ่งเกี่ยวพันกับระบบของการผลิต และการขนส่ง หากมีการจัดการที่ดีมีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อการลดต้นทุน ทำกำไรและสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าได้ ซึ่งคลังสินค้าเป็นสถานที่ในการจัดเก็บสินค้ารวมถึงการเตรียมสินค้าเพื่อนำส่งไปยังลูกค้าประกอบด้วย การเก็บรักษา การจัดหมวดหมู่ การแบ่งแยกและการเตรียมผลิตภัณฑ์เพื่อการขนส่ง ซึ่งธุรกิจมีทางเลือกที่จะดำเนินงานโดยมีคลังสินค้าของตนเอง หรือไปใช้บริการของคลังสินค้าสาธารณะ [5]

กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น [6] เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการตัดสินใจ ซึ่งได้รับความนิยมมากและเป็นที่ยอมรับในระดับสากลอย่างแพร่หลาย โดยเป็นเทคนิคที่ใช้การแบ่งองค์ประกอบปัญหาออกเป็นส่วนๆในรูปของแผนภูมิลำดับชั้น โดยระดับชั้นที่ 1 เป็นชั้นบนสุดคือปัญหาหรือเป้าหมายโดยรวม ระดับชั้นที่ 2 เป็นระดับชั้นของเกณฑ์หลัก ระดับชั้นที่ 3 เป็นระดับชั้นของเกณฑ์รอง และระดับชั้นที่ 4 เป็นชั้นของทางเลือก มีการให้ค่าน้ำหนักแต่ละองค์ประกอบแล้วนำมาคำนวณค่าน้ำหนัก เพื่อนำไปสู่ค่าลำดับความสำคัญของแต่ละ

ทางเลือกว่าทางเลือกใดมีค่าสูงสุดแล้วนำมาประกอบการตัดสินใจ ซึ่งโครงสร้างเลียนแบบกระบวนการคิดของมนุษย์

การเปรียบเทียบเกณฑ์ต่างๆเป็นการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบเพื่อกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญระหว่างเกณฑ์เป็นคู่ โดยใช้ตัวเลขแทนค่าเพื่อนำไปสู่การคำนวณค่าคะแนนความสำคัญรวมของแต่ละทางเลือกดังตารางที่ 1 และสำหรับการแทนค่าน้ำหนักในการเปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละคู่ใช้เลข 1-9 แยกแยะความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบรายคู่

เกณฑ์ C C1, C2, C3, …, Cn		เกณฑ์ A1	A2	A3	…	A4
เกณฑ์	A1	1	‘a_{12}	‘a_{13}	…	‘a_{1n}
	A2	1/a_{12}	1	‘a_{23}		‘a_{2n}
	A3	1/a_{13}	1/a_{23}	1	…	‘a_{3n}
	…	…	…	…	…	…
	A4	1/a_{1n}	1/a_{2n}	1/a_{3n}	…	1

ตารางที่ 2 ความหมายของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่

ระดับน้ำหนักของความสำคัญ	ความหมาย
1	สำคัญเท่ากัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด
2, 4, 6, 8	อยู่ระหว่างระดับที่ได้อธิบายมาข้างต้น

ทำการเปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละคู่โดยการเปรียบเทียบทุกๆเกณฑ์ทั้งในแถวแนวนอนและแนวตั้ง คำนวณหาค่า Eigenvector ของเมตริกซ์ในแต่ละแถว (Normalized Matrix) โดยการหา Normalized ทำได้จากการหาค่าเฉลี่ยความสำคัญในแต่ละแถว คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) ดังสมการที่ 1

$$C.I. = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (1)$$

เปิดตารางค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่มแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.14	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56

คำนวณค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R.) คำนวณได้จากอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) กับดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) ดังสมการที่ 2

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (2)$$

สำหรับค่าของ C.R. ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.10 ถือว่ายอมรับได้ ถ้ามากกว่า 0.10 ถือว่ายอมรับไม่ได้ จะต้องทำการทบทวนการให้ค่าน้ำหนักคะแนนเปรียบเทียบในเกณฑ์นั้นใหม่ จนได้ค่า C.R. ที่สามารถยอมรับได้

3. วิธีการวิจัย

การกำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสม งานวิจัยนี้มีเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัย 7 เกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4 และมีทางเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าแห่งใหม่ 5 ทางเลือกในจังหวัดชลบุรีซึ่งมีอุตสาหกรรมขยายตัวมากตามแผนยุทธศาสตร์ไทยแลนด์ 4.0 ดังตารางที่ 5 โดยนำวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์มาใช้สำหรับการประเมินน้ำหนักของปัจจัยที่เกี่ยวข้องและการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้า

ตารางที่ 4 ปัจจัยในการเลือกที่ตั้งคลังสินค้าแห่งใหม่

ปัจจัยที่	ชื่อปัจจัย	ลักษณะของปัจจัย
1 (F1)	ระยะทาง	ระยะทางคมนาคมของแต่ละอำเภอไปยังตัวเมืองชลบุรี, ท่าเทียบเรือแหลมฉบัง, สนามบินนานาชาติอู่ตะเภา
2 (F2)	ราคาที่ดิน	ราคาที่ดินแต่ละอำเภอในจังหวัดชลบุรี
3 (F3)	ราคาค่าเช่าคลังสินค้า	รายได้จากการให้เช่าคลังสินค้าแต่ละอำเภอในจังหวัดชลบุรี
4 (F4)	แรงงาน	แรงงานที่เพียงพอ
5 (F5)	ใกล้กับสิ่งอำนวยความสะดวก	ความพร้อมของระบบติดต่อสื่อสาร การประสานงาน
6 (F6)	ระยะทางคลังสินค้ากับลูกค้าและตลาด	ความห่างไกลจากแหล่งอุตสาหกรรมการผลิต
7 (F7)	เส้นทางคมนาคม	ความพร้อมและความสะดวกของถนนและการจราจร

ตารางที่ 5 ทางเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าแห่งใหม่

ทางเลือก	ทำเลที่ตั้ง
ทางเลือกที่ 1 (S1)	อำเภอศรีราชา
ทางเลือกที่ 2 (S2)	อำเภอบ้านบึง
ทางเลือกที่ 3 (S3)	อำเภอพนัสนิคม
ทางเลือกที่ 4 (S4)	อำเภอพานทอง
ทางเลือกที่ 5 (S5)	อำเภอเมืองชลบุรี

เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญประกอบกิจการคลังสินค้าจำนวน 8 ท่าน โดยใช้แบบสอบถามซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามเปรียบเทียบระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้า และส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามเปรียบระดับความสำคัญของทางเลือก นำผลที่ได้จากแบบสอบถามในส่วนที่ 1 มาสร้างเมทริกซ์เพื่อคำนวณหาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย และหาค่า Eigenvector จากนั้นนำค่า Eigenvector ที่ได้มาหาค่าตามขั้นตอนของ Analysis Hierarchy Process เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล โดยถ้าค่าที่ได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 แสดงว่าปัจจัยมีความสอดคล้องกัน ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางเมทริกซ์แสดงการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยต่างๆเป็นรายคู่ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้า

เกณฑ์	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญ
F1	1	3	4	2	3	3	2	0.30
F2	1/3	1	2	3	3	3	2	0.20
F3	1/4	1/2	1	2	3	2	3	0.15
F4	1/2	1/3	1/2	1	2	2	2	0.12
F5	1/3	1/3	1/3	1/2	1	2	2	0.09
F6	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	3	0.08
F7	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	1	0.07

ผลการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัย พบว่าปัจจัยที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับมากสุดไปน้อยสุดได้ดังนี้ อับดับแรกคือ ระยะทาง (0.30) ราคาที่ดิน (0.20) ราคาค่าเช่าคลังสินค้า (0.15) แรงงาน (0.12) ใกล้กับสิ่งอำนวยความสะดวก (0.09) ระยะทางของคลังสินค้ากับลูกค้าและตลาด (0.08) และเส้นทางคมนาคม (0.07) โดยมีค่าการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R.) คือ 0.09

จากนั้นนำผลที่ได้จากแบบสอบถามส่วนที่ 2 มาสร้างเมทริกซ์ เพื่อคำนวณหาลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือกภายใต้ปัจจัยต่างๆเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าที่เหมาะสม โดยมีน้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยระยะทางดังตารางที่ 7 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยราคาที่ดินดังตารางที่ 8 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยราคาค่าเช่าคลังสินค้าแต่ละอำเภอดังตารางที่ 9 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยแรงงานดังตารางที่ 10 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยใกล้สิ่งอำนวยความสะดวกดังตารางที่ 11 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยระยะทางของคลังสินค้ากับลูกค้าและตลาดดังตารางที่ 12 และน้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยเส้นทางคมนาคมดังตารางที่ 13 ซึ่งในงานวิจัยคำนวณค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลพบว่ามากกว่า 0.1 จึงทำการทบทวนการให้ค่าน้ำหนักคะแนนเปรียบเทียบเกณฑ์ใหม่ จนได้ค่า C.R. ที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งในแต่ละปัจจัยและทางเลือกผู้ประเมินพิจารณาให้คะแนนน้ำหนักความสำคัญในระดับที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 6 - 13

ตารางที่ 7 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยระยะทาง

ทางเลือก	S1	S2	S3	S4	S5	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญ
S1	1	4	2	2	2	0.35
S2	1/4	1	2	1	1/4	0.12
S3	1/2	1/2	1	1	1/5	0.11
S4	1/4	1	1	1	1	0.14
S5	1/2	4	5	1	1	0.29

เรียงลำดับความสำคัญของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยระยะทางได้ดังนี้ อำเภอศรีราชา อำเภอเมืองชลบุรี อำเภอพานทอง อำเภอบ้านบึง และอำเภอพนัสนิคม โดยค่าการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R.) คือ 0.00

ตารางที่ 8 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยราคาที่ดิน

ทางเลือก	S1	S2	S3	S4	S5	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญ
S1	1	4	5	2	1	0.37
S2	1/4	1	2	1	1/3	0.13
S3	1/5	1/2	1	1	1	0.12
S4	1/2	1	1	1	1	0.15
S5	1	3	1	1	1	0.23

เรียงลำดับความสำคัญของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยราคาที่ดินได้ดังนี้ อำเภอศรีราชา อำเภอเมืองชลบุรี อำเภอพานทอง อำเภอบ้านบึง และอำเภอพนัสนิคม โดยค่าการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R.) คือ 0.090

ตารางที่ 9 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยราคาค่าเช่าคลังสินค้า

ทางเลือก	S1	S2	S3	S4	S5	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญ
S1	1	4	3	1	1	0.30
S2	1/4	1	2	/3	1	0.14
S3	1/3	1/2	1	1	1/2	0.12
S4	1	3	1	1	1	0.23
S5	1	1	2	1	1	0.21

เรียงลำดับความสำคัญของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยราคาค่าเช่าคลังสินค้าแต่ละอำเภอได้ดังนี้ อำเภอศรีราชา อำเภอพานทอง อำเภอเมืองชลบุรี อำเภอบ้านบึง และอำเภอพนัสนิคม โดยค่าการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R.) คือ 0.086

ตารางที่ 10 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยแรงงาน

ทางเลือก	S1	S2	S3	S4	S5	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญ
S1	1	4	2	3	1	0.37
S2	1/4	1	3	1	1/3	0.16
S3	1/2	1/3	1	1/3	1/4	0.08
S4	1/3	1	3	1	1	0.20
S5	1	3	4	1	1	0.30

เรียงลำดับความสำคัญของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยแรงงานได้ดังนี้ อำเภอศรีราชา อำเภอเมืองชลบุรี อำเภอพานทอง อำเภอบ้านบึง และอำเภอพนัสนิคม โดยค่าการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R.) คือ 0.088

ตารางที่ 11 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยใกล้สิ่งอำนวยความสะดวก

ทางเลือก	S1	S2	S3	S4	S5	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญ
S1	1	3	2	2	3	0.36
S2	1/3	1	2	1	2	0.18
S3	1/2	1/2	1	1/3	3	0.15
S4	1/2	1	3	1	1	0.20
S5	1/3	1/2	1/3	1	1	0.11

เรียงลำดับความสำคัญของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยใกล้สิ่งอำนวยความสะดวกได้ดังนี้ อำเภอศรีราชา อำเภอพานทอง อำเภอบ้านบึง อำเภอพนัสนิคม อำเภอเมืองชลบุรี และ โดยค่าการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R.) คือ 0.1

ตารางที่ 12 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยระยะทางของคลังสินค้ากับลูกค้าและตลาด

ทางเลือก	S1	S2	S3	S4	S5	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญ
S1	1	4	3	2	2	0.38
S2	1/4	1	3	1	1/2	0.15
S3	1/3	1/3	1	1/3	1/4	0.07
S4	1/2	1	3	1	1	0.19
S5	1/2	2	4	1	1	0.22

เรียงลำดับความสำคัญของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยระยะทางได้ดังนี้ อำเภอศรีราชา อำเภอเมืองชลบุรี อำเภอพานทอง อำเภอบ้านบึง อำเภอพนัสนิคม และ โดยค่าการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R.) คือ 0.042

ตารางที่ 13 น้ำหนักของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยเส้นทางคมนาคม

ทางเลือก	S1	S2	S3	S4	S5	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญ
S1	1	1	4	2	4	0.36
S2	1	1	2	1	1/2	0.19
S3	1/4	1/2	1	1/2	1/4	0.08
S4	1/2	1	2	1	1	0.17
S5	1/4	2	4	1	1	0.22

เรียงลำดับความสำคัญของทำเลที่ตั้งภายใต้ปัจจัยเส้นทางคมนาคมได้ดังนี้ อำเภอศรีราชา อำเภอเมืองชลบุรี อำเภอบ้านบึง อำเภอพานทอง อำเภอพนัสนิคม และ โดยค่าการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R.) คือ 0.083

ทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าที่เหมาะสม โดยการคำนวณจากค่าผลรวมของน้ำหนักเกณฑ์คูณกับค่าน้ำหนักทางเลือกภายใต้เกณฑ์นั้นๆ ซึ่งทางเลือกที่มีคะแนนรวมสูงสุดจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ได้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการตัดสินใจในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่คลังสินค้า

ทางเลือก	เกณฑ์ / น้ำหนักเกณฑ์							
	ระยะทาง / 0.30	ราคาที่ดิน / 0.20	ราคาค่าเช่าคลังสินค้า / 0.15	แรงงาน / 0.12	ใกล้สิ่งอำนวยความสะดวก / 0.09	ระยะทางถึงสินค้าคงคลังและตลาด / 0.08	เส้นทางคมนาคม / 0.07	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญ
ศรีราชา	0.35	0.37	0.30	0.37	0.36	0.38	0.36	0.35
บ้านบึง	0.12	0.13	0.14	0.16	0.18	0.15	0.19	0.14
พนัสนิคม	0.11	0.12	0.12	0.08	0.15	0.07	0.08	0.11
พานทอง	0.14	0.15	0.23	0.20	0.20	0.19	0.17	0.17
เมืองชลบุรี	0.29	0.23	0.21	0.30	0.11	0.22	0.22	0.24

จากตารางสรุปได้ว่าตำแหน่งที่เหมาะสมจะเป็นคลังสินค้าแห่งใหม่โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญมากสุดไปน้อยสุดได้ดังนี้ อำเภอศรีราชา (0.35) อำเภอเมืองชลบุรี (0.24) อำเภอพานทอง (0.17) อำเภอบ้านบึง (0.14) และอำเภอพนัสนิคม (0.11)

4. สรุปผลวิจัย

จากอุตสาหกรรมในพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกมีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ทำให้อุตสาหกรรมในจังหวัดชลบุรีต้องการเช่าคลังสินค้าเพื่อจัดเก็บสินค้าเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าแห่งใหม่ พบว่าปัจจัยที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดในการเลือกทำเลที่ตั้งคือ ระยะทาง ราคาที่ดิน ราคาค่าเช่าคลังสินค้า แรงงาน ใกล้

กับสิ่งอำนวยความสะดวก ระยะทางของคลังสินค้ากับลูกค้าและตลาด และเส้นทางคมนาคม โดยอำเภอศรีราชาเป็นตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาคืออำเภอเมืองชลบุรี อำเภอพานทอง อำเภอบ้านบึง และ อำเภอพนัสนิคมตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก. ร่างแผนภาพรวมเพื่อการพัฒนาเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก พ.ศ.2566-2570, พฤศจิกายน 2566.

[2] ภัทรวลัย ภัทรโกมล, เพชรไพลิน พุทธรักษา และกุลบัณฑิต แสงดี, การตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัท ABC จำกัด (in Thai), The 4th Conference on Logistics and Supply Chain 2021:CLS2021.

[3] นารีรัตน์ โพธิกุล. 2548. “การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการเลือกที่ตั้งคลังสินค้า.” วิทยานิพนธ์, สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] ธนวันต์ วงศ์พันธุ์เที่ยง และ ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์. 2554. “การศึกษาการเลือกที่ตั้งคลังสินค้าโดยใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์.” วิทยานิพนธ์, สาขาการจัดการโซ่อุปทานแบบบูรณาการ, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

[5] วิริยา บุญมาเลิศ. เอกสารประกอบการสอน การจัดการการกระจายสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า, วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, 2564.

[6] วิฑูรย์ ตันศิริมงคล. AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก, กราฟฟิค แอนด์ ปริ้นติ้ง เซ็นเตอร์, 2542.

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด

Design and Development of Beach Waste Collection Equipment

ธนาวดี เพชรยศ[1*] ฤภูวัลย์ จันทรสา[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ 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

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดให้มีความเหมาะสมต่อผู้ใช้งาน การดำเนินงานเริ่มต้นจากสำรวจข้อมูลความต้องการและสังเกตพฤติกรรมของพนักงานเก็บขยะชายหาดด้วยเครื่องมือการคิดเชิงออกแบบ จากนั้นสำรวจความต้องการของผู้คนทั่วไปต่ออุปกรณ์เก็บขยะชายหาดด้วยแบบสอบถามปลายเปิดได้ความต้องการจำนวน 13 ข้อ ซึ่งได้นำมาใช้เป็นข้อคำถามสำหรับแบบสอบถามปลายปิด เพื่อสำรวจความต้องการและความพึงพอใจของอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด ผลจากแบบสอบถามได้นำไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนาและประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) เพื่อบ่งชี้ข้อกำหนดทางเทคนิคที่สำคัญของอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด พบว่าคุณลักษณะเชิงเทคนิคที่มีอิทธิพลสูงสุด คือ น้ำหนักของอุปกรณ์เก็บขยะ ระดับความแข็งแรงของอุปกรณ์ และอุปกรณ์เก็บขยะพับเก็บได้ ขั้นต่อมาได้ออกแบบแนวคิดทางเลือกผลิตภัณฑ์จำนวน 4 แนวคิดด้วยเทคนิค Concept Combination Table และคัดเลือกแนวคิดที่เหมาะสมที่สุด ด้วยการให้พนักงานเก็บขยะชายหาดและผู้คนบริเวณหาดบางแสนจำนวน 10 คนเป็นผู้ประเมิน แนวคิดที่ได้รับการคัดเลือกจะนำมาออกแบบอย่างละเอียด ผลการประเมินพบว่าแนวคิดของอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดที่มีลักษณะ ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย มีความแข็งแรงทนทานและเก็บขยะได้ปริมาณมาก จากนั้นจึงได้สร้างต้นแบบอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดและทดลองและประเมินผลการใช้งาน ได้ผลสรุปคือระดับความพึงพอใจส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง สามารถเก็บขยะที่มีขนาดเล็กได้อย่างสะดวก แต่บริเวณพื้นที่การเก็บจำกัด
คำสำคัญ: เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ, อุปกรณ์เก็บขยะชายหาด, ขยะ

Abstract

The objective of this research was to design and develop user-optimized beach waste collection equipment. The methodology initiated with a user requirements analysis and behavioral observation of beach cleaning personnel using design thinking tools. Subsequently, a general public survey was conducted using open-ended questionnaires, identifying 13 distinct user requirements. These requirements were then transformed into closed-ended survey questions to systematically assess needs and satisfaction levels regarding beach waste collection equipment. The survey data underwent analysis using descriptive statistics and was integrated into the Quality Function Deployment (QFD) methodology to identify critical technical specifications. Three technical characteristics with the highest impact: equipment weight, structural durability level, and foldability for storage. Following this, four alternative product concepts were generated using a Concept Combination Table technique. The optimal concept selection process involved evaluation by a focus group of ten participants, comprising beach cleaning staff and visitors at Bangsaen Beach. The selected concept underwent detailed design development, emphasizing key attributes: environmental sustainability, mobility, structural robustness, and high waste collection capacity. A prototype was subsequently fabricated and subjected to user testing and performance evaluation. The assessment results indicated moderate satisfaction levels overall, with the prototype demonstrating efficacy in collecting small debris, but the storage area is limited.
Keywords: Quality Function Deployment (QFD), Beach Waste Collection Equipment, Waste

1. บทนำ

ขยะพลาสติก เป็นหนึ่งในสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย รวมทั้งปัญหาระดับภูมิภาคและระดับโลก หากไม่มีระบบจัดการขยะที่เพียงพอและไม่มีประสิทธิภาพ มีการคาดการณ์ได้ว่าทั่วโลกภายในอีก 20 ปีข้างหน้านี้ จะส่งผลทำให้มีขยะหลุดรอดออกสู่สิ่งแวดล้อมมากถึง 700 ล้านตัน [1] นายณรงค์ชัย คุณปลื้ม นายกเทศมนตรี เทศบาลเมืองแสนสุข จ.ชลบุรี กล่าวว่า ขยะตามแนวชายหาดบางแสนที่เกิดจากการท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี 2561 มีขยะเกิดขึ้นเฉลี่ยวันละ 7 ตัน ปี 2562 มีขยะเกิดขึ้นเฉลี่ยวันละ 12 ตัน ระหว่างเดือนเมษายน ถึงพฤษภาคม 2563 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการปิดชายหาดเนื่องจากสถานการณ์โควิด 19 ปริมาณขยะลดลงอย่างเห็นได้ชัด เหลือวันละประมาณ 2.6 ตัน แต่เมื่อกลับมาเปิดชายหาดอีกครั้ง ขยะกลับเพิ่มขึ้นกว่า 500% เฉลี่ยวันละ 14 ตัน ซึ่งมากกว่าปริมาณขยะเฉลี่ยต่อเดือนในปี 2562 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นขยะจากพื้นที่อื่นที่ถูกกระแสน้ำและลมทะเลพัดมาเกยตื้นที่ชายหาด [2] ดังนั้น การทำความสะอาดชายหาดเป็นทางเลือกที่ดี ในการช่วยกำจัดขยะพลาสติกที่จะถูกพัดลงสู่ทะเลอีกครั้ง แล้วย่อยสลายไปเป็นไมโครพลาสติก ยังช่วยรักษาชีวิตของสัตว์น้ำด้วยการลดจำนวนปริมาณขยะพลาสติกที่พวกมันจะกินเข้าไป และช่วยในด้านเศรษฐกิจการท่องเที่ยว นักท่องเที่ยวล้วนแล้วแต่ต้องการความสะอาดและความสวยงามของหาดทรายสำหรับการพักผ่อน[3],[4],[5] ด้วยเหตุผลข้างต้น กลุ่มโครงงานจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและพัฒนาที่เก็บขยะเพื่อมาช่วยกำจัดขยะ โดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment หรือ QFD) ซึ่งจะถ่ายทอดความต้องการของลูกค้าให้เป็นเป้าหมายต่างๆ ในขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ได้อย่างเป็นขั้นตอนและเป็นระบบกว่าแผนภาพกลุ่มเชื่อมโยง(Affinity Diagram) และแผนภาพต้นไม้(Tree Diagram) ดังนั้นเมื่อผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดแล้วจะตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เป็นอย่างดี และสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์เก็บขยะสำหรับประเภทอื่นต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ในการเก็บขยะริมชายหาดที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้และมีประสิทธิภาพในการใช้งาน

3. ขอบเขตของโครงงาน

3.1 มีการประยุกต์ใช้เครื่องมือ การคิดเชิงออกแบบ และเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

3.2 กลุ่มที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาเป็นพนักงานเก็บขยะบริเวณริมชายหาดบางแสน กลุ่มจิตอาสา และนักท่องเที่ยว

3.3 การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บขยะชายหาดจะสร้างขึ้นแล้วนำไปทดสอบและประเมินผล ซึ่งพนักงานเก็บขยะชายหาดและคนทั่วไปที่เก็บขยะสามารถใช้ร่วมกันได้

3.4 อุปกรณ์เก็บขยะชายหาดที่พัฒนาขึ้นใช้เก็บขยะได้บริเวณทรายที่แห้ง เก็บได้ขยะขนาด 0.8 ถึง 20 เซนติเมตร และเก็บขยะได้น้ำหนักน้อยกว่า 600 กรัม

4. แผนการดำเนินงาน

4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของขยะชายหาด และอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด

4.3 การศึกษาปัญหาการเก็บขยะและพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์เก็บขยะ

4.4 สำรวจความต้องการและความพึงพอใจอุปกรณ์เก็บขยะบริเวณริมชายหาด

4.5 การวิเคราะห์ความต้องการในการใช้อุปกรณ์เก็บขยะบริเวณริมชายหาด

4.6 การประยุกต์เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด

4.7 การออกแบบอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด

4.8 การสร้างต้นแบบอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด ทดสอบและประเมินผล

4.9 อภิปรายผล และสรุปผล

4.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของขยะชายหาดและอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด

4.2.1 การศึกษาขนาดของขยะชายหาด แบ่งเป็น 4 ขนาดคือ

1) ขยะทะเลขนาดเล็ก มีขนาดเล็กกว่า 2.5 เซนติเมตร เช่น กันบุหรี่

2) ขยะทะเลขนาดกลาง มีขนาด 2.5 – 10 เซนติเมตร เช่น ฝาขวดน้ำ ช้อนพลาสติก กระดาษทิชชู่

3) ขยะทะเลขนาดใหญ่ มีขนาดระหว่าง 10 เซนติเมตร ถึง 1 เมตร เช่น ช้อนพลาสติก ขวดพลาสติก รากไม้ หลอดพลาสติก แก้วน้ำ แมส ขวดแก้ว

4) ขยะทะเลขนาดใหญ่มาก มีขนาดที่ใหญ่กว่า 1 เมตรขึ้นไป เช่น ลำไม้ไผ่

4.2.2 การศึกษารูปทรงของขยะ

1) รูปวงกลม เช่น ฝาขวดน้ำ

2) รูปทรงกระบอก เช่น ขวดน้ำ แก้วพลาสติก หลอด

3) รูปทรงแบน เช่น ช้อน-ช้อมพลาสติก

4) รูปทรงอิสระ เช่น กระดาษทิชชู่ แมส

หลังจากผู้จัดได้ทำการสำรวจอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดแล้ว จึงได้ค้นคว้าข้อมูลทั่วไปของอุปกรณ์เก็บขยะจากสื่ออินเทอร์เน็ต ซึ่งมีข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุปกรณ์เก็บขยะจากสื่ออินเทอร์เน็ต

ลำดับ	รูปอุปกรณ์	รายละเอียด
1		ที่เก็บขยะด้ามอลูมิเนียม ขนาด 22x26x92 เซนติเมตร เป็นถุงเก็บขยะขนาดใหญ่
2		ไม้คีบขยะ ขนาด 8x59 เซนติเมตร ด้ามทำจากสแตนเลส ด้ามจับและมือหนีบเป็นพลาสติกแข็ง
3		ไม้คีบอเนกประสงค์ SPRING MAT012 ผลิตจากอะลูมิเนียมคุณภาพดี แข็งแรงทนทาน ด้ามจับเป็นแบบปืนกด เพื่อให้ง่าย และสะดวก ต่อการใช้งาน ขนาดยาว 74 เซนติเมตร
4		- คีบเหล็กดำ กว้าง 1.3 เซนติเมตร ยาว 37 เซนติเมตร ทำจากเหล็ก ราคา 25 บาท - คีบเหล็กสัม กว้าง 2.6 เซนติเมตร ยาว 37.5 เซนติเมตร ทำจากเหล็ก - คีบสแตนเลส กว้าง 1.3 เซนติเมตร ยาว 37 เซนติเมตร ทำจากสแตนเลส
5		คราดเหล็ก 22 ซี่ ด้ามไม้ ขนาด 44x150 เซนติเมตร

4.3 การศึกษาปัญหาการเก็บขยะและพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์เก็บขยะ

4.3.1 การสังเกตการใช้อุปกรณ์เก็บขยะของพนักงานเก็บขยะ

ผู้จัดทำได้ขออนุญาตและเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสังเกต ในวันอังคารที่ 27 กันยายน วันพุธที่ 28 กันยายน วันศุกร์ที่ 16 ธันวาคม พ.ศ. 2565 และวันเสาร์ที่ 7 มกราคม พ.ศ. 2566 ซึ่งได้บันทึกคำตอบลงในแบบฟอร์มบันทึกการสังเกตการใช้อุปกรณ์เก็บขยะของพนักงานเก็บขยะ ซึ่งมีตัวอย่างข้อมูลดังนี้

บันทึกการสังเกตการ : วันที่ 27 กันยายน 2565
ปริมาณขยะริมหาด : มีปริมาณขยะปานกลาง
อุปกรณ์ที่ใช้ : คราด ที่ตักขยะ เข่ง
เวลาในการเก็บ : 2 ชม.

วิธีการเก็บขยะ : พนักงานใช้คราดกวาดขยะให้เป็นกอง จากนั้นมีพนักงานใช้คราดกวาดขยะใส่ที่ตักแล้วเทใส่เข่ง เมื่อขยะใกล้เต็มเข่งจะมีพนักงานคอยลากเข่งไปเทที่ถังขยะ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพการเก็บขยะชายหาดในวันที่มีปริมาณขยะปานกลาง

4.3.2 การสัมภาษณ์พนักงานเก็บขยะ

ผู้จัดทำได้ขอสัมภาษณ์กับพนักงานเก็บขยะชายหาดในชายหาดบางแสนจำนวน 5 ราย และเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ ในวันอังคารที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2565 ซึ่งได้บันทึกคำตอบลงในแบบฟอร์มการศึกษาพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์เก็บขยะชายหาด

<u>แบบสำรวจปัญหาการใช้อุปกรณ์เก็บขยะ</u>

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป มีข้อมูล ชื่อ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการใช้อุปกรณ์เก็บขยะ

1. ท่านใช้อุปกรณ์ในการเก็บขยะหรือไม่ ใช้/ไม่ใช้
2. อุปกรณ์เก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบันเป็นอย่างไร ดีมาก,ดี,ปานกลาง,แย่,แย่มาก

ส่วนที่ 3 แบบประเมินพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์เก็บขยะ

คำตอบ ไม่เลย,เล็กน้อย,ปานกลาง,มาก,มากที่สุด

1. ท่านคิดว่าการเก็บขยะมีความสำคัญ
2. ท่านเก็บขยะ
3. ท่านใช้อุปกรณ์เก็บขยะ
4. ท่านชอบอุปกรณ์เก็บขยะปัจจุบัน
5. อุปกรณ์เก็บขยะปัจจุบันใช้งานยาก

ส่วนที่ 4 การศึกษาความต้องการการออกแบบอุปกรณ์เก็บขยะ

1. ท่านใช้อุปกรณ์เก็บขยะอย่างไรและใช้ที่ไหน
2. ท่านใช้อุปกรณ์เก็บขยะเวลาใด และบ่อยแค่ไหน
3. หากท่านต้องซื้ออุปกรณ์เก็บขยะ ท่านมีเกณฑ์ในการพิจารณาอะไรบ้าง
4. สิ่งที่ท่านชอบในอุปกรณ์เก็บขยะที่ใช้งานอยู่ คืออะไร และทำไม
5. สิ่งที่ท่านไม่ชอบในอุปกรณ์เก็บขยะที่ใช้งานอยู่ คืออะไร และทำไม
6. ท่านมีคำแนะนำในการปรับปรุงอุปกรณ์เก็บขยะ อย่างไรบ้าง

ตารางที่ 2 ตัวอย่างความต้องการจากการศึกษาพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์เก็บขยะชายหาด (ส่วนที่ 1-3)

คำตอบส่วนที่ 1	คำตอบส่วนที่ 2	คำตอบส่วนที่ 3
ชื่อ นก เพศหญิง อายุ 39 ปี 66 กก. ส่วนสูง 154 ซม.	- ใช้ - ดี	1) มากที่สุด 4)มากที่สุด 2) มากที่สุด 5) ไม่เลย 3) มากที่สุด

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการศึกษาความต้องการการออกแบบอุปกรณ์เก็บขยะ (ส่วนที่ 4)

คำถาม	คำตอบ	ความต้องการ
ข้อ 1	ใช้คราดกวาดขยะและเต้าเก็บขยะ เทใส่เข่ง ใช้ที่หาด	-
ข้อ 2	3 เวลา 2.30 น. 9.00 น. 13.00 น. ทุกวัน (หยุดอาทิตย์ละครั้ง)	-
ข้อ 3	ความยาวพอดีตัว	อุปกรณ์เก็บขยะชายหาดมีความยาวที่เหมาะสม
ข้อ 4	ใช้งานง่ายสะดวกเพราะอุปกรณ์ไม่ซับซ้อน	อุปกรณ์เก็บขยะชายหาดใช้งานง่าย มีน้ำหนักเบา ใช้นานๆ แล้วไม่รู้สึกเมื่อยมือ
ข้อ 5	ใช้นานๆแล้วเมื่อยเพราะเวลากวาดต้องเดินกวาดตลอด	อุปกรณ์เก็บขยะชายหาดใช้นานๆแล้วไม่รู้สึกเมื่อยมือ
ข้อ 6	เก็บขยะได้เยอะ ใช้เวลาเก็บน้อย ไม่เปลืองแรง	อุปกรณ์เก็บขยะชายหาดเก็บขยะได้เยอะ

4.4 สำรวจความต้องการและความพึงพอใจอุปกรณ์เก็บขยะบริเวณริมชายหาด

การสำรวจความต้องการอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดด้วยประกอบด้วย 5 ส่วน ดังนี้ 1. ข้อมูลทั่วไป 2. ข้อมูลแบบสอบถามปลายเปิด เกี่ยวกับการเก็บขยะ 3. แบบสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับการเก็บขยะชายหาด 4. การออกแบบอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด และ 5. ความคิดเห็นต่อความต้องการเกี่ยวกับอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด โดยจัดทำแบบฟอร์มสอบถาม 2 ลักษณะ คือ แบบกระดาษ (ลงพื้นที่ 20 คน) และ แบบGoogle Form (30 คน)

ขั้นตอนการสัมภาษณ์และสำรวจเก็บข้อมูล ดังนี้

1) เลือกสถานที่ทำการสัมภาษณ์คือ ชายหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี (แบบกระดาษ)

2) แชร์ลิงค์แบบฟอร์มการสำรวจผ่านแอพพลิเคชั่นไลน์และเฟสบุ๊ค (แบบGoogle Form)

โดยทำการสัมภาษณ์และแชร์ลิงค์เก็บข้อมูลในช่วงระยะเวลาระหว่างวันที่ 17-23 กันยายน 2565

จากแบบสอบถามปลายเปิดจำนวน 50 คน ผู้จัดทำได้แปลงข้อมูลดิบของแบบสอบถามปลายเปิดในส่วนที่ 5 มาเป็นความต้องการในเชิงบวกของบุคคลทั่วไปที่มีต่ออุปกรณ์เก็บขยะชายหาด (โดยคำถามประกอบด้วย 1. ถ้าท่านต้องซื้ออุปกรณ์เก็บขยะ ท่านมีเกณฑ์ในการพิจารณาอะไรบ้าง 2. ต้องการให้อุปกรณ์เก็บขยะมีลักษณะออกมาในรูปแบบใด และ 3.ข้อเสนอแนะในการออกแบบอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด)

การสำรวจความต้องการอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดด้วยแบบสอบถามปลายปิด ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้ 1.ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม 2. ความสำคัญของอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด และ 3. ความพึงพอใจในอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดที่มีผลต่อความต้องการใช้งาน โดยนำกลุ่มความต้องการของบุคคลทั่วไปและพนักงานเก็บขยะชายหาดที่มีต่ออุปกรณ์เก็บขยะชายหาด มาเป็นข้อคำถามในแบบสอบถาม คำถามแต่ละข้อจะให้ผู้ประเมิน 2 ด้าน คือ ความสำคัญและความพึงพอใจที่ได้รับ ด้วยคะแนน 5 ระดับ (มากที่สุดถึงน้อยที่สุด)

การหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง โดยการกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 90 ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับให้เกิดขึ้นได้ร้อยละ 10 เนื่องจากไม่ทราบจำนวนประชากรและไม่ทราบค่าสัดส่วนของประชากร จึงได้ใช้สูตรของคอแครน ดังสมการที่ 1

$$n = \frac{1.65^2}{4e^2} \quad (1)$$
$$= \frac{1.65^2}{4(0.1)^2}$$
$$n = 68.06 \approx 69 \text{ คน}$$

จากการแทนค่าลงในสมการที่ 1 พบว่า จำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ เท่ากับ 69 คน โดยประมาณที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 90 ตามสูตรคอแครน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น ทางผู้จัดทำจึงได้เก็บแบบสอบถามเพิ่มเป็น 80 คน

แบบประเมินความเที่ยงตรง (IOC) ผู้จัดทำได้นำแบบสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคำถามให้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ดังนี้ 1) ผศ. ดร. ฤภูวัลย์ จันทรสา คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2) ผศ. ดร. วรัตถา อุทยารัตน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ 3) ดร. บัญชา อริยะจรรยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ผลการประเมินส่วนที่ 2 และ 3 มีค่าดัชนีสอดคล้อง IOC ของข้อคำถามทุกข้อมากกว่า 0.5 ขึ้นไป ซึ่งให้ผลการประเมินในส่วนนี้ คือ ใช้ได้ โดยมีค่าค่าเฉลี่ย IOC เท่ากับ 1 สามารถนำไปสำรวจได้

4.5 การวิเคราะห์ความต้องการในการใช้อุปกรณ์เก็บขยะบริเวณริมชายหาด

จากแบบสอบถามปลายเปิด จัดกลุ่มความต้องการออกมาได้ทั้งสิ้น 12 กลุ่ม ในส่วน A ดังรูปที่ 2

4.6 การประยุกต์เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด

จากรูปที่ 2 [6],[7],[8] จะเห็นว่าข้อมูลที่ได้จากอัตราส่วนปรับปรุงนั้นจะเห็นว่าความต้องการที่จะให้อุปกรณ์เก็บขยะชายหาดมีรูปทรงและสีสันสวยงาม ถึง 1.29 การคำนวณคะแนนดิบนั้นจะทำให้ทราบว่าข้อมูลคะแนนดิบปกติที่สูงที่สุดคือ อุปกรณ์เก็บขยะชายหาดเก็บขยะได้ปริมาณมาก ถึง 9.15

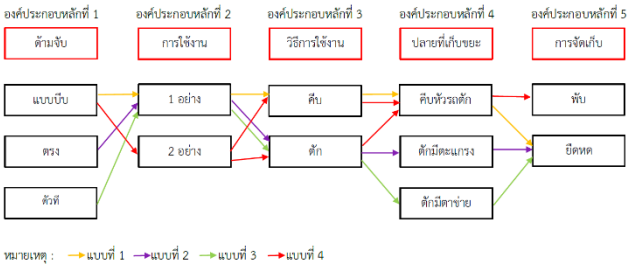
สรุปข้อมูลวิเคราะห์การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ทำให้ทราบว่าข้อมูลที่สำคัญต่อการออกแบบอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดสำหรับผู้ใช้อุปกรณ์เก็บขยะ จาก รูปที่ 2 สรุปได้ดังนี้ ค่าน้ำหนักคุณลักษณะเชิงเทคนิคที่สูงสุดคือ น้ำหนักของอุปกรณ์เก็บขยะ ร้อยละ 15.12 รองลงมาคือ ระดับความแข็งแรงของอุปกรณ์ ร้อยละ 10.64 และอุปกรณ์เก็บขยะพับเก็บได้ ร้อยละ 10.01 ตามลำดับ

4.7 การออกแบบอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด

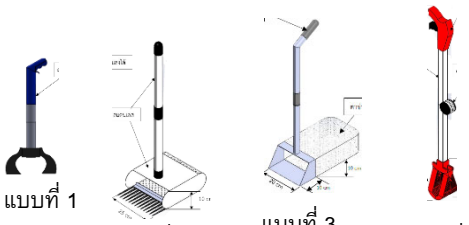
ขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลการวิเคราะห์ QFD มาใช้ประกอบในการออกแบบผลิตภัณฑ์

4.7.1 การริเริ่มสร้างแนวคิด

การกำหนดแนวคิดของผลิตภัณฑ์ทางเลือกได้ประยุกต์ ใช้ Concept Combination Table แสดงดังรูปที่ 3 โดยการจับคู่แต่ละองค์ประกอบหลัก เพื่อให้ได้แนวคิด 4 แนวคิด จากการใช้โปรแกรม Solidwork2018 ในการออกแบบ ได้ผลการออกแบบ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 การกำหนดแนวคิดทางเลือก



รูปที่ 4 แนวคิดผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบ

แบบที่ 1 : ออกแบบที่เก็บขยะชายหาดแบบคีบ เน้นเรื่องความสะดวกในการใช้งาน

แบบที่ 2 : ออกแบบที่เก็บขยะชายหาดแบบตัก เน้นเรื่องเก็บขยะปริมาณเยอะ รูปทรงสวยงาม ปรับระดับความยาวของด้ามได้

แบบที่ 3 : ออกแบบที่เก็บขยะชายหาดแบบตัก เน้นเรื่องน้ำหนักเบา พกพาสะดวก เคลื่อนย้ายง่าย

แบบที่ 4 : ออกแบบที่เก็บขยะชายหาดมีการทำงานแบบ 2 ฟังก์ชั่น คือ คีบและตัก เน้นเรื่องการใช้งาน เก็บขยะได้รวดเร็ว

4.7.2 การเลือกแนวคิด

ผู้ประเมินแบบสอบถาม จำนวน 20 คน ผู้จัดทำได้นำแนวคิดทั้ง 4 มาวิเคราะห์การตัดสินโดยการให้คะแนนแต่ละแนวคิด ซึ่งคะแนนที่ได้มาจากผลการประเมินแบบสอบถามเพื่อการวิจัยคัดเลือกผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และใช้การถ่วงน้ำหนักเพื่อแยกความแตกต่างในแต่ละแนวคิด การคำนวณประเมินแนวคิดผลิตภัณฑ์สรุปได้แนวคิดแบบที่ 2 มีค่าน้ำหนักโดยรวมมากที่สุด รองลงมาคือ แนวคิดแบบที่ 3 และแบบที่ 4 ตามลำดับ พนักงานเก็บขยะมีข้อเสนอแนะว่าอยากได้ที่ตักขยะขนาดใหญ่ และร่อนทรายออกไปได้ เพราะต้องเก็บขยะปริมาณเยอะและพื้นที่กว้าง จะได้ใส่ขยะได้เยอะและไม่หนักทรายจนเกินไป และมีข้อเสนอว่าให้ถอดตาข่ายด้านหลังออกได้ ไว้สำหรับนำขยะไปเททิ้ง

4.8 การสร้างต้นแบบอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด ทดสอบและประเมินผล

หลังจากได้แนวคิดแบบที่ 2 เป็นแนวคิดหลักและนำข้อดีของแนวคิดแบบที่ 3 (แนวคิดตาข่าย) และแบบที่ 4 (แนวคิดปากรถตัก โดยปลายของตะแกรงมีลักษณะโค้งงอขึ้น) ที่มีค่าเฉลี่ยสูงของแต่ละคุณลักษณะมาพิจารณาร่วมกันเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ทั้งนี้ผู้จัดทำได้ประมาณต้นทุนและราคาขาย ดังตารางที่ 4 ตั้งราคาขายที่ 550 บาท

ตารางที่ 4 การประมาณต้นทุนและราคาขาย

ลำดับ	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคา (บาท)
1	ฐาน	194	194.00
2	แผ่นเชื่อม	9.25 (2 หน่วย)	18.50
3	แผ่นยึด	9.25 (4 หน่วย)	37.00
4	ตะขอ	0.30 (6 หน่วย)	1.80
5	ตะแกรง	165	165.00
6	ตาข่าย	45.00	45.00
7	ด้ามจับเหล็กพลาสติก	57.00	57.00
ต้นทุนรวม			518.30
ราคาขาย			550

การประเมินความพึงพอใจของการใช้งานอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด

การประเมินโดยพนักงานเก็บขยะชายหาดและผู้ใช้อุปกรณ์เก็บขยะชายหาดจำนวน 10 คน ตามแบบสอบถามที่กลุ่มผู้จัดทำได้จัดเตรียมไว้ โดยให้คะแนน 5 ระดับ (ความพึงพอใจมากที่สุดถึงน้อยที่สุด) สรุปผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปผลการประเมินระดับความพึงพอใจของอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	ระดับความพึงพอใจ
A-6, A-9, A-11	มาก
A-2ถึงA-5, A-7ถึงA-8, A-10, A-12	ปานกลาง
A-1	น้อย

4.9 อภิปรายผล และสรุปผล

เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพที่ผลิตขึ้นมาจริงกับค่าเป้าหมายของคุณลักษณะทางคุณภาพจากส่วน C ของบ้านคุณภาพที่ตั้งไว้ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบคุณลักษณะทางคุณภาพกับผลที่ได้จากการสร้างอุปกรณ์เก็บขยะชายหาด

คุณลักษณะทางคุณภาพ	ผลเปรียบเทียบ
C-2, C10ถึงC-11, C-13	ไม่ผ่าน
C-1, C-3ถึงC-9, C-12, C14ถึงC-16	ผ่าน

จากผลการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เก็บขยะชายหาด พบว่าสามารถตอบสนองความต้องการของพนักงานเก็บขยะและคนทั่วไปได้ เก็บขยะที่มีขนาดเล็กได้อย่างสะดวก แต่มีข้อจำกัดในการเก็บขยะและความปลอดภัย เนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นสแตนเลสมีความแข็งแรงทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลแต่มีราคาค่อนข้างแพงและมีน้ำหนัก ทำให้อุปกรณ์เก็บขยะนี้มีขนาดที่เล็กแต่ก็มีน้ำหนักมาก สามารถเก็บขยะชายหาดได้บริเวณจำกัด และในส่วนของตะแกรงกรองทราย ทำจากแผ่นสแตนเลสแล้วเจาะรู ทำให้เมื่อตัดตามขนาดที่ต้องการแล้วจะทำให้ขอบมีความแหลม จึงไม่เป็นไปตามความต้องการของพนักงานเก็บขยะและคนทั่วไปได้

ข้อเสนอแนะ

1) การสอบถามพนักงานเก็บขยะและคนทั่วไปแล้ว พบว่าควรลดน้ำหนักของอุปกรณ์ให้มีน้ำหนักเบา เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น โดยการเปลี่ยนวัสดุเป็นพลาสติกแทน

2) สามารถปรับปรุงและพัฒนาอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดให้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้นโดยการเพิ่มฟังก์ชันมีระบบล้อที่สามารถช่วยในการที่ให้เคลื่อนที่สะดวกขึ้น

3) การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานจำเป็นต้องใช้เวลาในการออกแบบเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีผู้ใช้งานที่หลากหลาย ทำให้มีความต้องการหลากหลายตามไปด้วย

4) สามารถปรับปรุงและพัฒนาอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดให้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้นโดยการเพิ่มขนาดของตัวที่ใช้ตักขยะให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ปรับเปลี่ยนเนื้อวัสดุให้รองรับกับตัวขนาดที่สามารถใช้กับชายหาดทะเลได้และมีน้ำหนักเบา

5) สามารถปรับปรุงและพัฒนาอุปกรณ์เก็บขยะชายหาดให้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้นโดยการปรับเปลี่ยนตาข่ายให้สามารถจัดเก็บได้ง่ายขึ้น และมีรูปทรงที่เป็นโครง หรือปรับเปลี่ยนตาข่ายเป็นตะแกรงทั้งหมดทำให้ดูสมดุลมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ปาริชาติ บุญเอก, 2564

[2] ปริมาณขยะทะเลของเทศบาลเมืองแสนสุข จ.ชลบุรี ปี 2561 และ ปี 2562. https://gracz.co.th/blog/post/safe-food-healthy-living-bangsaen-ep9-th

[3] ฐานข้อมูลความรู้ทางทะเล. (2560). [ออนไลน์]. ขยะทะเล. [สืบค้นวันที่ 23 กรกฎาคม 2565]. จากhttp://www.mkh.in.th/index.php?option=com_content&view=article&id=309&Ite=&lang=th

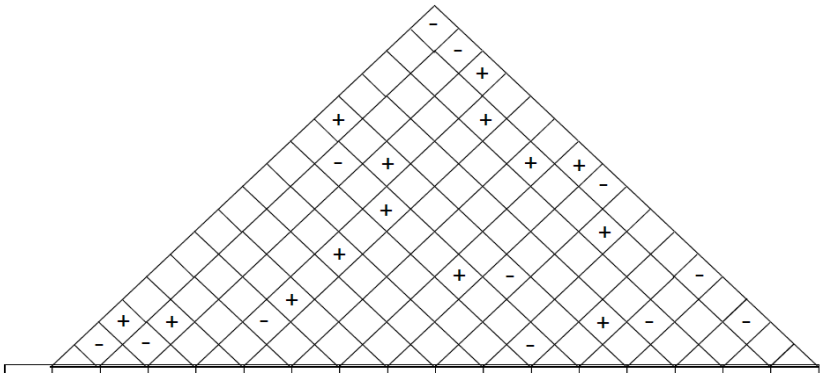
[4] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. (2534). [ออนไลน์]. การเก็บรวบรวมขยะมูลฝอย. [สืบค้นวันที่ 23 กรกฎาคม 2565]. จาก https://www.saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=15&chap=8&page=t15-8-infodetail05.html

[5] Gracz. (2020). [ออนไลน์]. กินอยู่ปลอดภัย EP.9 บางแสนกับสภาพแวดล้อมหลังโควิด 19.[สืบค้นวันที่ 9 ตุลาคม 2565]. จาก https://gracz.co.th/blog/post/safe-food-healthy-living-bangsaen-ep9-th

[6] ชาตรี หอมเขียว และสุรสิทธิ์ ระวังวงศ์. (2565). “การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ สำหรับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟา.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 : 1-11

[7] สโรชา ปานเคลือบ, ณัฏฐา ปรัชญสกุล และหฤทัย รองทอง. (2561). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ สำหรับดูแลแมว. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยบูรพา

[8] Beom Suk Jin and Yong Gu Ji. (2009). “Development of a Usability Evaluation Framework with Quality Function Deployment: From Customer Sensibility to Product Design.” Human Factors and Ergonomics in Manufacturing. 19 (2): 177-194



	ค่าเป้าหมาย	≥85 - ≤ 95	≤500	ได้	≥3	≥3	≥3	≥3	≥15	≤2	ไม่มี	≥4	≤3	ได้	≥2	≥3	≤3
	หน่วยวัด	เซนติเมตร	กรัม	ได้/ไม่ได้	คะแนน 1-5	คะแนน 1-5	คะแนน 1-5	คะแนน 1-5	เซนติเมตร	คะแนน 1-5	มี/ไม่มี	คะแนน 1-5	คะแนน 1-5	ได้/ไม่ได้	คะแนน 1-5	คะแนน 1-5	คะแนน 1-5
	ทิศทางการพัฒนา	↑	↓	○	↑	↑	↑	↑	↑	↓	○	↑	↓	○	↑	↑	↓
คุณลักษณะเชิงเทคนิค		ความแบนของอุปกรณ์เก็บขยะ	น้ำหนักของอุปกรณ์เก็บขยะ	ปรับความสูงของอุปกรณ์ได้	ระดับความแข็งแรงของอุปกรณ์	ระดับความสะดวกสบายในการใช้งาน	ระดับความเหมาะสมของราคา	ระดับความจับถนัดมือของอุปกรณ์	ขนาดของขยะที่อุปกรณ์เก็บได้	ระดับความเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม	ความคมของอุปกรณ์	ระดับความปลอดภัยในการใช้งาน	ระดับความเมื่อยล้า	อุปกรณ์เก็บขยะขายหาพับเก็บได้	ปริมาณขยะที่อุปกรณ์เก็บได้	ระดับความเหมาะสมของอายุการใช้งานของอุปกรณ์	ระดับการออกแรงใช้งานอุปกรณ์	ระดับความสำคัญ	ระดับความพึงพอใจ	จุดมุ่งหมาย	อัตราส่วนการปรับปรุง	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	B-1	B-2	B-4	B-5	B-7	B-8
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดมีขนาดและน้ำหนักเหมาะสม		3	9		1								9					4.61	4.23	4	0.95	4.38	8.30
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดมีความแข็งแรงทนทาน					9											3	1	4.65	4.15	4	0.96	4.46	8.45
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดมีรูปทรงและสีสันสวยงาม						9												3.48	3.10	4	1.29	4.49	8.51
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดมีราคาเหมาะสม							9											4.08	3.66	4	1.09	4.45	8.43
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดมีความสะดวกต่อการใช้งาน		3	3	1				3	3					9				4.63	4.30	4	0.93	4.31	8.17
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม										9								4.41	4.19	4	0.95	4.19	7.94
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดมีความปลอดภัยต่อการใช้งาน											9	9						4.71	4.29	4	0.93	4.38	8.30
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดไม่ส่งผลต่อความเมื่อยล้า เมื่อพักแล้วไม่หายเหนื่อย			3										9		3		3	4.30	4.24	4	0.94	4.04	7.66
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย		1	3	1										9				4.44	4.04	4	0.99	4.40	8.34
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดเก็บขยะได้ปริมาณมาก															9			4.20	3.48	4	1.15	4.83	9.15
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดมีอายุการใช้งานเหมาะสม					9											9		4.35	4.04	4	0.99	4.31	8.17
อุปกรณ์เก็บขยะขายหาดออกแรงน้อยในการใช้งาน			9														9	4.35	3.86	4	1.04	4.52	8.57
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	รวม			รวม	52.76	100
ค่าน้ำหนักคุณลักษณะทางเทคนิค		57.75	224.34	16.51	157.88	76.59	75.87	24.51	24.51	71.46	74.70	74.70	143.64	148.59	105.33	98.88	108.56	1483.82					
ค่าน้ำหนักคุณลักษณะทางเทคนิคปกติ		3.89	15.12	1.11	10.64	5.16	5.11	1.65	1.65	4.82	5.03	5.03	9.68	10.01	7.10	6.66	7.32	100					
ลำดับที่		13	1	16	2	8	9	14	14	12	10	10	4	3	6	7	5						

รูปที่ 2 บ้านคุณภาพ (House of quality)

การนำน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วจากรถบรรทุกขนาดเล็ก กลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการชุบแข็ง: การเปรียบเทียบกับน้ำมันแร่ ที่มีต่อเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C

Reuse of Used Engine Oil from Small Trucks in the Hardening Process: A Comparative Study with Mineral Oil on Medium Carbon Steel S45C.

ณรงค์ เพชรชารี อนิรุท ไชยจารุวณิช
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: narong.petcharee@cmu.ac.th anirut@eng.cmu.ac.th

Narong Petcharee Anirut Chaijaruwanich
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiangmai University
E-mail: narong.petcharee@cmu.ac.th anirut@eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

การชุบแข็งเป็นวิธีการสำคัญในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและคาร์บอนปานกลาง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการนำน้ำมันเครื่องยนต์เบนซินจากรถบรรทุกขนาดเล็กที่ใช้งานแล้ว 10,000 กิโลเมตร มาใช้ซ้ำ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดก่อนที่จะกำจัดทิ้ง โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันแร่ (mineral oil) ที่ใช้ทั่วไป โดยอบเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางไปที่อุณหภูมิ 860^{O}C เป็นระยะเวลานาน 45 นาที แล้วจึงนำออกมาชุบที่ภาชนะที่บรรจุสื่อที่ใช้ในการชุบทั้ง 2 ชนิด จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ในภาชนะเป็นเวลาอีก 1 ชั่วโมง จึงนำออกมาวางไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ทดสอบความแข็ง และทดสอบแรงดึง พบว่าโครงสร้างชิ้นงานที่ผ่านการชุบด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วคล้ายกับชิ้นงานที่ชุบด้วยน้ำมันแร่ โดยมีค่าเฉลี่ยของความแข็งที่ได้จากการชุบด้วยน้ำมันแร่และน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว คือ 58.0 และ 57.1 HRC ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกัน ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ยืดตัวเฉลี่ยของชิ้นงานที่ผ่านการชุบด้วยน้ำมันแร่กับการชุบด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว คือ 747 766 MPa และ 4.3% 4.6% ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี 2-sample t test สามารถสรุปได้ว่าน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้งานแล้วสามารถนำมาใช้ซ้ำ ด้วยการชุบแข็งได้ และให้ผลใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันแร่
คำสำคัญ: การชุบแข็ง, น้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว, ความแข็ง, ความแข็งแรงดึง, การใช้ซ้ำ.

Abstract

Hardening is a crucial method for improving the mechanical properties of low and medium carbon steels. This study aimed to investigate the reuse of benzine engine oil from small trucks that had been used for 10,000 kilometers, in order to maximize its utilization before disposal. The used engine oil was compared to commonly used mineral oil. Medium carbon steel was heated to 860°C for 45 minutes, followed by quenching in containers filled with the respective quenching media. The specimens were then left in the containers for 1 hour, cooled to room temperature, and subjected to microstructural examination, hardness testing, and tensile testing. The microstructures of the specimens quenched with used engine oil were similar to those quenched with mineral oil. The average hardness values obtained from quenching with mineral oil and used engine oil were 58.0 and 57.1 HRC, respectively, indicating close similarity. The average tensile strength and elongation percentages of specimens quenched with mineral oil and used engine oil were 747 MPa, 766 MPa, and 4.3%, 4.6%, respectively. Statistical analysis using the 2-sample t-test concluded that used engine oil can be reused for hardening, yielding results comparable to those obtained with mineral oil."
Keywords: Hardening, Used Engine Oil, Hardness, Tensile Strength, Reuse.

1. บทนำ

น้ำมันเครื่องยนต์เบนซินจากรถบรรทุกขนาดเล็ก (รถกระบะ) ที่ถูกใช้แล้วจนเสื่อมสภาพ แต่ละปีมีปริมาณเป็นจำนวนมาก ซึ่งน้ำมันเครื่องยนต์ที่เสื่อมสภาพเหล่านี้ จะประกอบด้วยสารอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอน สารตัวทำละลาย โลหะหนัก และอื่นๆ ซึ่งหากจัดการไม่ถูกวิธี จะมีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ทำลายระบบนิเวศในแหล่งน้ำ ทำให้พื้นดินเสียคุณค่าในการเพาะปลูก หรือแม้การสัมผัสก็จะทำให้ผิวหนังระคายเคือง จนอาจเกิดการติดเชื้อและแพ้ได้

เหล็กกล้า S45C เป็นเหล็กคาร์บอนปานกลาง JIS เกรด S45C (ส่วนผสม 0.42–0.48%wt C , 0.15–0.35%wt Si , 0.60–0.90%wt Mn) มีคุณสมบัติความแข็งประมาณ 20-25 HRC ซึ่งสามารถทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นได้ถึงระดับ 60 – 70 HRC ด้วยกระบวนการชุบแข็ง ซึ่งความแข็งที่เพิ่มขึ้นนั้น จะมีปัจจัยต่างๆ ของการชุบแข็งมาเกี่ยวข้อง เช่น ประเภทของสารที่ใช้ชุบ เช่น น้ำ, น้ำมัน, อากาศ เป็นต้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำน้ำมันเครื่องยนต์เบนซินของรถบรรทุกขนาดเล็กที่ใช้มาแล้ว 10,000 กิโลเมตรที่ผ่านการกรองตะกอนโลหะออก มาใช้ทดแทนน้ำมันแร่ (mineral oil) สำหรับงานชุบแข็งเหล็ก S45C เพื่อนำน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว มาใช้ซ้ำ ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่าก่อนที่จะทิ้ง และยังลดต้นทุนการชุบแข็งจากการซื้อน้ำมันแร่ที่มีราคาแพงกว่า โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เป็นชิ้นงานทดลอง เนื่องจากสามารถชุบแข็งได้ง่าย

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมการทดลอง

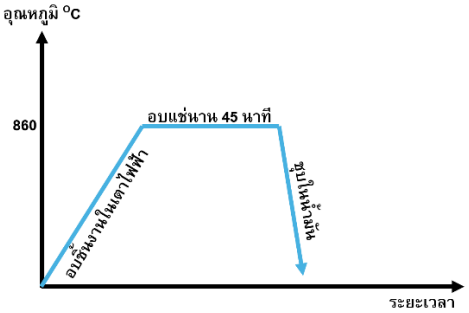
นำเหล็กเพลา S45C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยาว 1.0 เมตร มาตัดให้ได้ชิ้นงานยาวชิ้นละ 25 มิลลิเมตร จำนวน 20 ชิ้น เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบความแข็งด้วยเครื่องทดสอบแบบ Rockwell และเหล็กเพลา S45C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 1.0 เมตร มาตัดให้ได้ชิ้นงานยาวชิ้นละ 150 มิลลิเมตร จำนวน 10 ชิ้น เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบความแข็งแรงดึง โดยจะนำไปกลึงปอกผิวให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.0 มิลลิเมตร ความยาวเกจ 150 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 ชิ้นงานทดลอง ก่อนนำไปอบในเตาไฟฟ้า

2.2 ขั้นตอนการชุบแข็งชิ้นงาน

หลังจากการเตรียมชิ้นงานทดลอง จึงดำเนินการอบชุบแข็งชิ้นงานทดลองทั้ง 30 ชิ้น พร้อมกัน โดยใช้เตาอบไฟฟ้าเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่ 860^{O}C อบเป็นระยะเวลานาน 45 นาที แล้วจึงนำออกมาชุบที่ภาชนะที่บรรจุสื่อที่ใช้ในการชุบ 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันแร่ กับน้ำมันเครื่องรถยนต์ที่ใช้แล้ว จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ในภาชนะเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงนำออกมาวางไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 2 แผนภูมิอุณหภูมิและเวลาในการชุบแข็ง

2.3 การเตรียมชิ้นงานในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

นำชิ้นงานขัดด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย ตั้งแต่เบอร์ 400, 600, 800, 1000, 1200 และ 2000 ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการขัดด้วยผงอะลูมิน่าขนาด 3.0 ไมครอน แล้วกัดชิ้นงานด้วยกรดไนตริก (HNO_3) จำนวน 2.0 มิลลิลิตรกับเมทิลแอลกอฮอล์ 95 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 วินาที จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคโดยใช้กล้อง Optical Microscope

2.4 การทดสอบความแข็งแบบ Rockwell

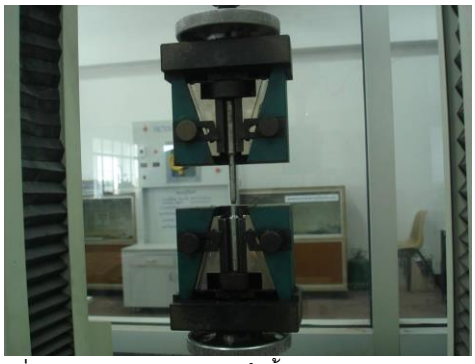
การทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงาน เริ่มจากการแบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 กลุ่มคือ ชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันแร่ กับชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อกเวล scale-C (Rockwell Hardness Test) ซึ่งใช้หัวกดเพชร กดด้วยน้ำหนักหลัก (major load) 150 กิโลกรัม เพราะเหมาะสมกับการทดสอบชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้า โดยจะกดชิ้นงานทดสอบชิ้นละ 5 จุด ให้ห่างกันมากกว่า 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด



รูปที่ 3 ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง บนชิ้นงานทดลอง

2.5 การทดสอบความแข็งแรงดึง

การทดสอบความแข็งแรงดึง เพื่อหาค่าความเค้นดึงสูงสุด (Maximum Strength) ที่ชิ้นทดลองจะทนได้ และเปอร์เซ็นต์ยืดตัวก่อนที่จะขาดออกจากกัน เริ่มจากการแบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 กลุ่มคือ ชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันแร่ กับชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง โดยตั้งค่าความเร็วในการทดสอบอยู่ที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาที แรงดึง 50,000 นิวตัน แล้วดึงชิ้นทดลองจนขาดออกจากกัน



รูปที่ 4 ทดสอบความแข็งแรงดึงชิ้นงาน จนขาดออกจากัน

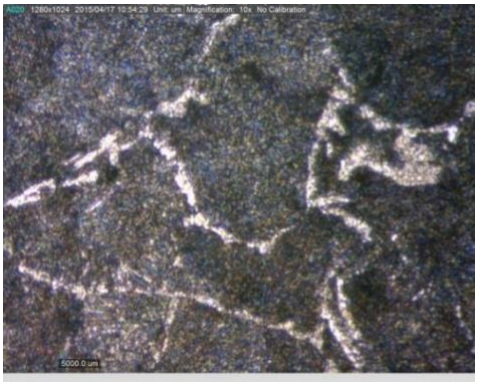
2.6 การทดสอบทางสถิติ

เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็ง ความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์ยืดตัวระหว่างชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันแร่กับน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว ใช้การทดสอบวิธี 2-sample t test โดยกำหนดสมมุติฐานว่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างเท่ากัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมมินิแทบ 18.0

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

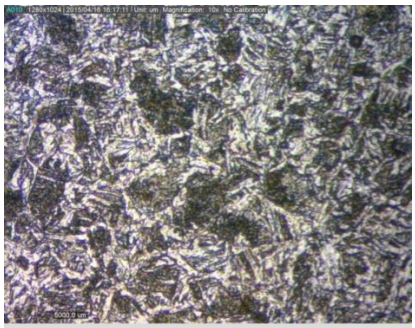
3.1 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานก่อนทำการชุบแข็ง จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20 เท่า พบว่ามีโครงสร้างของเพิร์ลไลต์ สีดำและเฟสเฟอร์ไรท์ที่มีสีขาว ซึ่งเป็นโครงสร้างของเหล็ก S45C (ดังรูปที่ 5)

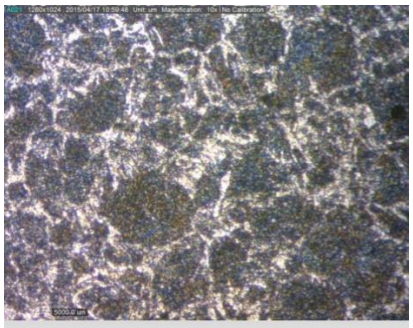


รูปที่ 5 โครงสร้างของชิ้นงาน ก่อนการชุบแข็ง

หลังทำการชุบด้วยน้ำมันแร่ พบว่าโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานจะปรากฏโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่มีสีขาวร่วมกับโครงสร้างเพิร์ลไลต์ ผสมกัน (ดังรูปที่ 6) ส่วนชิ้นงานที่ชุบด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว จะปรากฏโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ในที่มีสีขาว ร่วมกับโครงสร้างเพิร์ลไลต์ผสมกัน เหมือนกับการชุบด้วยน้ำมันแร่ โดยปริมาณของมาร์เทนไซต์ที่เกิดจากการชุบด้วยน้ำมันแร่ และการชุบด้วยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วใกล้เคียงกัน (ดังรูปที่ 7)



รูปที่ 6 โครงสร้างของชิ้นงาน หลังการชุบด้วยน้ำมันแร่



รูปที่ 7 โครงสร้างของชิ้นงาน หลังการชุบด้วยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว

3.2 ผลการทดสอบความแข็งแบบ Rockwell

เมื่อนำชิ้นทดลองที่ผ่านการชุบด้วยน้ำมันแร่และน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วไปทดสอบความแข็งแบบ Rockwell scale-C ได้ผลของความแข็งเฉลี่ยทั้ง 5 จุดกด ดังตารางที่ 1 และ 2 จะพบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งที่ได้จากการชุบด้วยน้ำมันแร่ และน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว คือ 58.0 และ 57.1 HRC ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 1 ค่าความแข็งของชิ้นทดลองที่ชุบด้วยน้ำมันแร่

ชิ้นทดลองที่	HRC เฉลี่ย	ชิ้นทดลองที่	HRC เฉลี่ย
1	56.9	6	60.6
2	56.7	7	57.7
3	56.2	8	58.7
4	59.3	9	58.3
5	57.4	10	58.7

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งของชิ้นทดลองที่ชุบด้วยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว

ชิ้นทดลองที่	HRC เฉลี่ย	ชิ้นทดลองที่	HRC เฉลี่ย
1	56.6	6	56.6
2	55.3	7	57.3
3	58.0	8	58.8
4	56.7	9	58.6
5	56.8	10	56.4

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบความแข็งของชิ้นทดสอบโดยใช้วิธี 2-sample t test กำหนดให้สมมุติฐานความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างเท่ากัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นทดสอบที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันแร่ และน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วไม่แตกต่างกัน เนื่องจากค่า p-value เท่ากับ 0.102 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นทดสอบโดยวิธี 2-sample t test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
น้ำมันชุบแข็งแร่	10	58.05	1.34	0.42
น้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว	10	57.11	1.08	0.34

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
0.940	(-0.201, 2.081)

T-Value	DF	P-Value
1.73	17	0.101

3.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึง

เมื่อนำชิ้นทดลองที่ผ่านการชุบด้วยน้ำมันแร่ และน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วไปทดสอบความแข็งแรงดึง ได้ผลดังตารางที่ 4 และ 5 จะพบว่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของชิ้นงานที่ผ่านการชุบด้วยน้ำมันแร่ และการชุบด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว คือ 747 MPa และ 766 MPa ตามลำดับ จะพบว่าการชุบด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วจะมีค่ามากกว่าเล็กน้อย เนื่องจากโครงสร้างของมาร์เทนไซต์ที่พบในปริมาณใกล้เคียงกันการชุบด้วยน้ำมันแร่

นอกจากนี้ค่าเปอร์เซ็นต์ยืดตัวเฉลี่ยของชิ้นงานที่ผ่านการชุบด้วยน้ำมันแร่ และการชุบด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว เท่ากับ 4.3% และ 4.6% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ปรากฏ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบของชิ้นทดลองที่ชุบด้วยน้ำมันแร่

ชิ้นทดลองที่	แรงดึง (N)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	ระยะยืด (mm)	เปอร์เซ็นต์ยืดตัว (%)
1	27,906	776	6.7	4.4
2	28,700	738	8.8	5.8
3	28,488	733	6.7	4.4
4	28,793	727	5.6	3.6
5	30,216	763	5.4	3.5
ค่าเฉลี่ย	28,821	747.4±21.1	6.6	4.34±0.92

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบของชิ้นทดลองที่ชุบด้วยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว

ชิ้นทดลองที่	แรงดึง (N)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	ระยะยืด (mm)	เปอร์เซ็นต์ยืดตัว (%)
1	29,695	750	8,1	5.3
2	28,130	731	6.8	4.5
3	32,711	826	6.5	4.3
4	28,566	721	7.5	4.9
5	31,128	801	5.9	3.9
ค่าเฉลี่ย	30,046	765.8±45.6	6.9	4.58±0.54

ตารางที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบโดยใช้วิธี 2-sample t test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าค่า p-value เท่ากับ 0.45 จึงสามารถสรุปผลได้ว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันแร่ และน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ความแปรปรวนของความแข็งแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับน้ำมันแร่

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบโดยวิธี 2-sample t test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
น้ำมันชุบแข็งแร่	5	747.4	21.1	9.4
น้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว	5	765.8	45.6	20

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
-18.4	(-70.2, 33.4)

T-Value	DF	P-Value
-0.82	5	0.437

ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ยืดตัวของชิ้นทดสอบโดยใช้วิธี 2-sample t test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 7 สามารถสรุปได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ยืดตัวเฉลี่ยของชิ้นทดสอบที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการชุบด้วยน้ำมันแร่ เนื่องจากค่า p-value มีค่า 0.629

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ยืดตัวของชิ้นทดสอบโดยวิธี 2-sample t test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
น้ำมันชุบแข็งแร่	5	4.340	0.921	0.41
น้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว	5	4.580	0.540	0.24

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
-0.240	(-1.341, 0.861)

T-Value	DF	P-Value
-0.50	6	0.629

4. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. ทั้งน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว และน้ำมันที่ใช้ชุบโลหะสามารถก่อให้เกิดมลพิษทางดิน น้ำ และอากาศได้หากจัดการไม่เหมาะสม เช่น การซึมลงดินและแหล่งน้ำใต้ดิน หรือการเผาที่ปล่อยสารพิษสู่บรรยากาศ แต่งานวิจัยนี้ มิได้ต้องการเปรียบเทียบความรุนแรงของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากน้ำมันทั้ง 2 ชนิด แต่หากเป็นการนำน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว นำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และลดต้นทุนการชุบแข็ง

2. ภายหลังจากการชุบแข็ง ด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว ควรมีการจัดเก็บในภาชนะที่ปิดสนิทและทนทาน เช่น ถังโลหะหรือพลาสติกที่ทนสารเคมี แล้วเก็บในพื้นที่ที่ปลอดภัย ห่างจากแหล่งน้ำหรือบริเวณที่มีโอกาสรั่วไหล เพื่อรอส่งไปยังศูนย์รีไซเคิลที่ได้รับอนุญาต ต่อไป

5. สรุปผล

1. ความแข็ง ความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์ยืดตัวของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้งานแล้วไม่แตกต่างกับการชุบด้วยน้ำมันแร่อย่างมีนัยสำคัญ โดยพบโครงสร้างของมาร์เทนไซต์ในชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันทั้ง 2 แบบ

2. น้ำมันเครื่องยนต์รถบรรทุขนาดเล็กที่ใช้งานแล้ว 10,000 กิโลเมตร สามารถนำมาใช้ซ้ำด้วยการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางได้ โดยให้ค่าความแข็ง และความแข็งแรงดึง ใกล้เคียงกับการชุบด้วยน้ำมันแร่ที่ใช้ทั่วไป ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

3. สื่อที่ใช้ในการชุบแข็งเหล็ก นอกจากการใช้น้ำมันแล้ว ยังมีการใช้น้ำเกลือ หรือน้ำ โดยจะมีอัตราการทำความเย็นที่สูงมากกว่าน้ำมัน ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งที่สูงมากกว่าน้ำมัน แต่ก็จะเปราะแตกง่ายกว่าเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน.2563. “การทดสอบความล้าของเหล็กกล้า S45C แบบหมุนดัดปลาย.” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[2] สุขอังคณา ลี, โชกุล วิริยาธะนาโชติ, วัชรินทร์ อระบุตร, จุฑารัตน์ สมสุข และเบญจาศ เบญจจรูญ, “การเปรียบเทียบความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางระหว่างการอบชุบ และการเชื่อมพอกผิวสำหรับงานต้านทานการเสียดสี”. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555, 17-19 ตุลาคม พ.ศ. 2555, ชะอำ เพชรบุรี.

[3] นายนฤดม ทาดี, นางวรรณา หอมจะบก, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, 2566. “ผลของกระบวนการทางความเย็นต่อสมบัติทางกลเหล็กกล้าเครื่องมือร้อน”. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 4, 202–206.

[4] S. Asrori and L. Agustriyana. 2018. “ANALISIS KEKERASAN BAJA S45C HASIL HARDENING DENGAN VARIASI MEDIA PENDINGIN”. Info Teknik. Vol. 19 (1): 43-54.

[5] M.A. Rizza, R. Monasari, Z.F. Emzain, A. Asrori and I.K. Nusantara. 2022. “Corrosion Prevention on S45C Using Hardening Method”. International Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology. Vol. 14 (2): 208-214.

[6] G. Golwa, D. Romahadi and G.A. Arwati. 2022. “Analysis of Characteristics of S45C Steel Changes Due to the Quenching and Tempering Process”, World Chemical Engineering Journal, Vol. 6 (2): 39-43.

[7] พงศ์ธร รักช้อน และศิรประภา ดีประดิษฐ์. 2562. “การพยากรณ์ค่าความเรียบผิวในกระบวนการกลึง S45C ด้วยแผนแบบผิวตอบสนอง.” วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2.

[8] สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์, เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร, มาวิน สุประดิษฐ ณ อยุธยา, กอบบุญ หล่อทองคำ, ธาชาย เหลืองวรานันท์ และปฐมา วิสุทธิพิทักษ์กุล, วัสดุศาสตร์และวิศวกรรมวัสดุพื้นฐาน. กรุงเทพ: ท้อป. 2548.

การเพิ่มอายุการใช้งานชิ้นส่วนระบบไฮดรอลิก โดยการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

The Life Extension of Hydraulic Component by Failure Mode and Effect Analysis

ประสพชัย เถาว์ประสาท และ สิทธิชัย รัชยศโยธิน*
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

Prasopchai Thaoprasat and Sitthichai Ruchayosyothin*
School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University Pak Kret District,
Nonthaburi Province 11120
*Corresponding E-mail: sitthichai.ruc@stou.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงประยุกต์นี้ใช้แนวคิดการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ(Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) เพื่อมุ่งเน้นการบำรุงรักษาเชิงรุกในระบบไฮดรอลิกขนาดอัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที ความดันใช้งานสูงสุด 40 บาร์ ที่เป็นต้นกำลังสำหรับเครื่องเจียรซีเอ็นซีให้เกิดประสิทธิผล เพื่อหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดจากการที่เครื่องจักรหยุดระหว่างเดินเครื่องอันเป็นผลมาจากการทำงานของระบบไฮดรอลิก ได้ผล การวิเคราะห์พบหมายเลขลำดับความสำคัญของความเสี่ยง(RPN) ที่สูงอันเป็นสาเหตุมาจากตัวกรองน้ำมันไฮดรอลิกอุดตันจากสิ่งสกปรก ส่งผลกระทบต่ออัตราและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร เมื่อทำการเปลี่ยนตัวกรองน้ำมันเสร็จสิ้นจึงยืนยันผลจากการตรวจวัดจำนวนอนุภาคตามระบบ ISO 4406 แล้วพยากรณ์จากตารางอายุการใช้งานของชิ้นส่วนในระบบไฮดรอลิกเพิ่มขึ้น 3 เท่า อันส่งผลต่อประสิทธิภาพทางการผลิตและผลิตภาพทางการลงทุนที่ดีขึ้น

คำสำคัญ: FMEA สิ่งเจือปนในไฮดรอลิก ISO4406

Abstract

This applied research employs the Failure Mode and Effect Analysis(FMEA) to concentrate on proactive maintenance in a hydraulic system that powers the CNC grinding machine for efficiency. The system has a maximum operating pressure of 40 bars and a discharge rate of 20 LPM. The analysis revealed a high-risk priority number(RPN) due to the hydraulic oil filter being clogged with grime, which affects the machine's performance and production availability, to prevent errors caused by machine stoppages due to hydraulic system failures. The permanent corrective actions have been implemented by filter replaced and confirmed by the ISO 4406 system, in which micro-particles have been counted, and measured by size. Therefore, the life extension of the hydraulic system components was predicted to triple, resulting in enhanced production efficiency and investment productivity.

Keywords: FMEA, Hydraulic contaminant, ISO4406

1. บทนำ

ระบบอุปกรณ์ไฮดรอลิกปัจจุบันได้รับการติดตั้งในเครื่องจักรอุตสาหกรรมทั้งขนาดกลางและขนาดใหญ่ ในการศึกษาของบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ไฮดรอลิกชั้นนำระบุว่าปัญหาของระบบไฮดรอลิกร้อยละ 70 - 80 ของการหมดอายุการใช้งานอุปกรณ์อันเนื่องมาจากมีสิ่งเจือปนในน้ำมัน [2, 3, 10] ดังนั้นวิธีดูแลรักษาระบบไฮดรอลิกที่ดีที่สุดคือ การดูแลให้น้ำมันมีความสะอาดและมีความเหมาะสมกับอุปกรณ์ของเครื่องจักรนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความเสียหายของเครื่องจักรในช่วงการเดินเครื่องทำงาน อันก่อให้เกิดความสูญเสียในกระบวนการผลิตที่ไม่จำเป็น

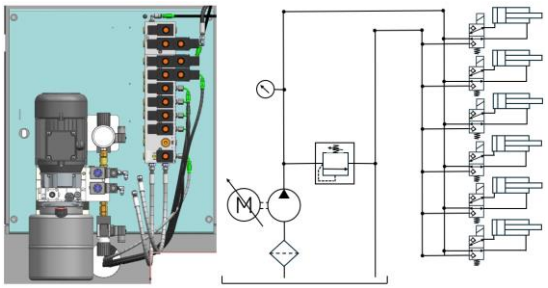
2. การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effects analysis: FMEA)

เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ มีมานานมากกว่า 40 ปีแล้วแต่อย่างไรก็ตามปลายทศวรรษที่ 20 เท่านั้นที่ ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ที่กำหนดไว้ใน QS-9000 และพัฒนาต่อเป็น ISO/ TS 16949 โดยกำหนดให้ซัพพลายเออร์ในอุตสาหกรรมยานยนต์ใช้ในการออกแบบกระบวนการเพื่อป้องกันความล้มเหลวก่อนที่จะเกิดขึ้น การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบเป็นวิธีการที่เป็นระบบในการระบุและป้องกันปัญหาของผลิตภัณฑ์และกระบวนการก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้น โดยมุ่งเน้นไปที่การป้องกันข้อบกพร่องเพิ่มความปลอดภัยและความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งได้ดำเนินการใช้ครั้งแรกในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศในช่วงกลางทศวรรษ 1960 โดยมุ่งเน้นเฉพาะประเด็นความปลอดภัย หลังจากนั้นอุตสาหกรรมยานยนต์ได้นำเทคนิคนี้มาปรับใช้เป็นเครื่องมือปรับปรุงคุณภาพที่สำคัญ เทคนิคนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในระบบซ่อมบำรุงเครื่องจักรเพื่อช่วยให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบและลดการเกิดความเสียหายจากการขัดข้องของเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1, 9]

3. การศึกษาข้อมูลและกระบวนการ

3.1 สภาพการทำงานของเครื่องจักร

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาบนเครื่องเจียรซีเอ็นซีขนาดกลาง เนื่องจากเป็นเครื่องจักรที่ต้องการความแม่นยำในการทำงานและปัญหาแรงดันน้ำมันตกส่งผลให้คุณภาพของชิ้นงานหลังเจียรลดลง โดยเครื่องจักรนี้ได้ติดตั้งระบบของไหลกำลังไฮดรอลิกขนาดอัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที ความดันใช้งานสูงสุด 40 บาร์ เป็นระบบอัดแรงดันแบบปั๊มเฟือง(Gear pump) ความจุถังน้ำมัน 3 ลิตรโดยตัวปั๊มทำหน้าที่ส่งแรงดันของเหลวไปยังตัวกระตุ้นไฮดรอลิกชนิดกระบอกสูบแบบ 2 ทิศทาง(Double acting cylinder) เพื่อสร้างการเคลื่อนไหวเชิงเส้นในเครื่องจักรทำหน้าที่ดึงและดันอุปกรณ์ไฮดรอลิกทำงาน ควบคุมการเปิดปิดของไหลด้วยวาล์วควบคุมทิศทางชนิดไฟฟ้าแบบ 3/2 วัฏจักรการทำงานเป็น 30 ครั้งต่อนาทีหรือ 288,000 ครั้งต่อเดือน รูปที่1 คือตัวอย่างระบบไฮดรอลิกสำหรับเครื่องจักรอุตสาหกรรมที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่1 ระบบไฮดรอลิกบนเครื่องจักรตัวอย่างกรณีศึกษา

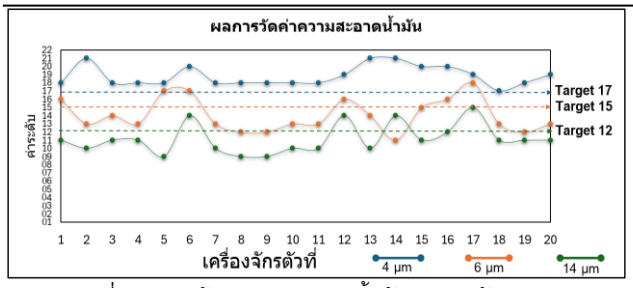
3.2 สภาพปัจจุบันของน้ำมันไฮดรอลิก

มาตรฐานที่ใช้เพื่อวิเคราะห์ความสะอาดของน้ำมันไฮดรอลิก คือ ISO 4406 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมไฮดรอลิกเพื่อวัดและระบุระดับความสะอาดของของเหลว ระดับสามตัวเลขหมายถึง 3 ขนาดอนุภาค(4μm/ 6μm/ 14μm) เพื่อบ่งบอกความสะอาดในของเหลว ตัวเลขระดับแสดงถึงจำนวนอนุภาคที่ปะปนในปริมาตรน้ำมัน 1 มิลลิลิตร ตารางที่1 เป็นตารางใช้อ้างอิงระดับความสะอาดของน้ำมันซึ่งได้ยกระดับมาบางส่วนที่เกี่ยวข้องในกรณีศึกษา [8]

ตารางที่1 ค่าตัวเลขใน ISO 4406

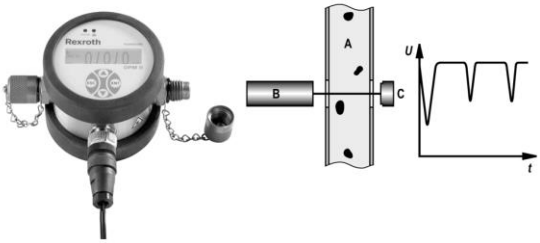
ระดับ	จำนวนอนุภาค (อนุภาค/ มล.)
12	20 ถึง 40
13	40 ถึง 80
14	80 ถึง 160
15	160 ถึง 320
16	320 ถึง 640
17	640 ถึง 1,300
18	1,300 ถึง 2,500
19	2,500 ถึง 5,000
20	5,000 ถึง 10,000
21	10,000 ถึง 20,000
21	20,000 ถึง 40,000

จากการศึกษาทดลองวัดค่าความสะอาดน้ำมันไฮดรอลิกบน 20 เครื่องจักรตัวอย่างพบว่าในน้ำมันมีจำนวนอนุภาคเจือปนมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยเกณฑ์ความสะอาดที่ต้องการคือ 17/15/12 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานความสะอาดที่กำหนดสำหรับอุปกรณ์กระตุ้นไฮดรอลิกประเภทกระบอกสูบ(Cylinders) และทำงานในสภาวะแรงดันต่ำกว่า 140 บาร์ อ้างอิงจาก ISO4406:1999 [7]



รูปที่2 ผลการวัดค่าความสะอาดน้ำมัน (ก่อนปรับปรุง)

สำหรับเครื่องมือที่ใช้นับอนุภาคในน้ำมันคือ Rexroth OPM II(Online particle monitor) เป็นเครื่องตรวจสอบอนุภาคแบบมองเห็น ซึ่งทำงานบนหลักการดับแสง เครื่องนี้ประกอบด้วยเซลล์วัดแบบลอยผ่าน(A) เลเซอร์(B) และโฟโตไดโอด(C) เลเซอร์จะแผ่รังสีผ่านเซลล์วัดและกระทบโฟโตไดโอด หากอนุภาคผ่านลำแสงเลเซอร์ ความเข้มของแสงที่สะท้อนจากโฟโตไดโอดจะลดลง ยิ่งอนุภาคมีขนาดใหญ่ แสงที่สะท้อนก็จะมีความเข้มข้นน้อยลง เครื่องมือนี้ได้รับการรับรองตามมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบเครื่องนับอนุภาคของเหลว ISO 11171:99 ความแม่นยำ +/- 1.0 ของเลขลำดับ



รูปที่3 เครื่องนับอนุภาค Rexroth OPM II

3.3 การวิเคราะห์ความรุนแรงของปัญหา

3.3.1 การวิเคราะห์ด้วยการคำนวนความเสี่ยง

การคำนวนความเสี่ยงของ FMEA นั้นจะดูที่ค่า RPN(Risk Priority Number) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์และจัดอันดับความสำคัญของความเสี่ยงในกระบวนการผลิตหรือระบบใดๆ โดยค่า RPN คำนวนจากสูตร

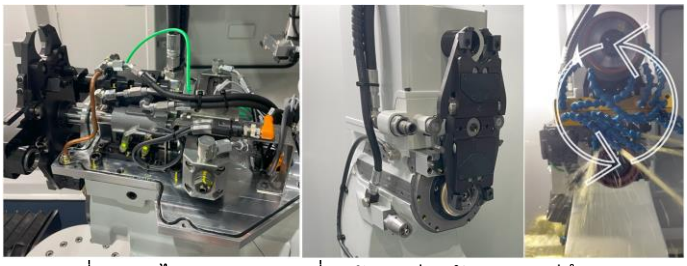
$$RPN = S \times O \times D$$

S(Severity) วัดระดับความรุนแรง โดยมุ่งเน้นระยะเวลา Machine breakdown อ้างอิงระดับความรุนแรงจากการระดมสมองและประกอบกับประวัติซ่อมบำรุงของหน่วยงานซึ่งมีผลกระทบเวลาหยุดเดินเครื่องเพื่อซ่อมแซม สามารถสรุปเป็นตารางประเมินความรุนแรงได้ดังนี้

ตารางที่2 นิยามคะแนนความรุนแรง

คะแนน	ระดับความรุนแรง	เวลาหยุดซ่อมแซม
5	สูงมาก	มากกว่า 1 วัน
4	สูง	1 วัน
3	ปานกลาง	4-5 ชั่วโมง
2	เล็กน้อย	2-3 ชั่วโมง
1	เล็กน้อยมาก	1 ชั่วโมง

O(Occurrence) โอกาสในการเกิดความเสียหายในระหว่างการเดินเครื่อง โดยเปรียบเทียบกับจำนวน stroke การทำงานของอุปกรณ์ทำงานในระบบไฮดรอลิก กระบอกสูบไฮดรอลิก(Cylinder stroke) คำนวนจากรอบชักการทำงานที่ก่อให้เกิดความเสียหาย(วัฏจักรการทำงานเป็น 30 ครั้งต่อนาทีหรือ 288,000 ครั้งต่อเดือน)



รูปที่4 ระบบไฮดรอลิกหมุนเปลี่ยนล้อหินเจียรตัวอย่างกรณีศึกษา

ตารางที่3 นิยามคะแนนโอกาส

คะแนน	ความถี่	คำอธิบาย
5	เกิดขึ้นบ่อยมาก	ความล้มเหลวเกิดขึ้นภายใน 14,400 รอบการทำงาน (ทุกวัน)
4	เกิดขึ้นค่อนข้างบ่อย	ความล้มเหลวเกิดขึ้นภายใน 72,000 รอบการทำงาน (ทุกสัปดาห์)
3	เกิดขึ้นบางครั้ง	ความล้มเหลวเกิดขึ้นภายใน 288,000 รอบการทำงาน (ทุกเดือน)
2	แทบจะไม่เกิดขึ้น	ความล้มเหลวเกิดขึ้นภายใน 864,000 รอบการทำงาน (ทุกไตรมาส)
1	แทบไม่มีโอกาสเกิดขึ้น	ความล้มเหลวไม่เคยเกิดขึ้นหรือ มีโอกาสต่ำมาก

D(Detection) หรือ ความสามารถในการตรวจจับข้อผิดพลาด เป็นการประเมินว่าเรามีโอกาสตรวจพบข้อผิดพลาดก่อนที่จะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานหรือระบบได้มากน้อยเพียงใด คะแนนยิ่งสูงความสามารถในการตรวจจับยิ่งต่ำ

ตารางที่4 นิยามคะแนนการตรวจจับ

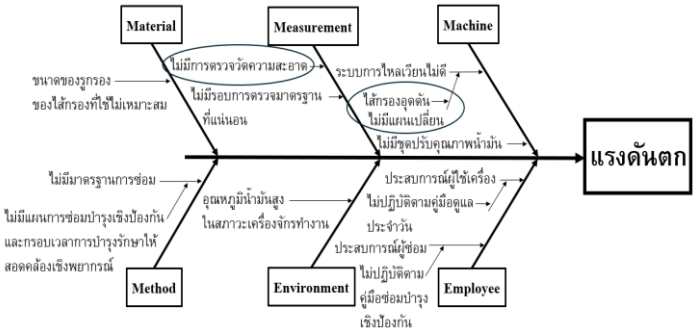
คะแนน	ความสามารถการตรวจจับ	คำอธิบาย
1	สูงมาก	มีการติดตั้งเซ็นเซอร์หรือสามารถตรวจจับได้ด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ
2	สูง	มีขั้นตอนการตรวจสอบโดยเฉพาะและกำหนดเป็นมาตรฐาน
3	ปานกลาง	ใช้การวินิจฉัยด้วยสายตาหรือฟังเสียงโดยผู้ปฏิบัติงาน
4	ต่ำ	ตรวจจับได้ยากหรือซับซ้อนในการตรวจสอบ
5	แทบเป็นไปไม่ได้	ไม่สามารถตรวจจับได้เลยจนกว่าระบบจะเสียหาย

ทำการประเมินข้อผิดพลาดที่ทำให้เครื่องจักรหยุดเดินเครื่องระหว่างการผลิต โดยนำข้อมูลใส่ในตารางเพื่อประเมินความเสี่ยงของ Severity, Occurrence และ Detection เพื่อให้ได้ค่าประเมินความเสี่ยง RPN สำหรับระดับคะแนนในแต่ละองค์ประกอบของตารางที่ 5 ได้กำหนดแนวทางมาตรวัดตาม Winyou Rinnanont [4]

ตารางที่5 ประเมินความเสี่ยง (ก่อนปรับปรุง)

ข้อผิดพลาด	S	สาเหตุ	O	จุดควบคุม	D	RPN
ความดันในระบบต่ำ	5	ระบบการไหลเวียนน้ำมันไม่ดี	4	ปัญหาแสดงจึงตรวจจับได้	4	80
ระบบไฮดรอลิกรั่ว	4	ซีลกันรั่วชำรุด	3	มีทดสอบด้วยแรงดัน	2	24
สายไฮดรอลิกหลุดจากข้อต่อ	3	จีบย้ำสายไม่ดี	2	มีทดสอบด้วยแรงดัน	2	12
มอเตอร์ปั๊มแรงดันไม่ขึ้น	4	น้ำมันในถังอยู่ระดับต่ำ	3	มีเซนเซอร์วัดระดับน้ำมันในถัง	1	12
ภาระการทำงานมอเตอร์สูง	4	ปรับตั้งแรงดันสูงเกินไป	1	โปรแกรมกำหนดแรงดันสูงสุดที่ 40 บาร์	1	4

จากตารางประเมินความเสี่ยงพบว่า ข้อบกพร่องความดันในระบบต่ำมีค่า RPN เท่ากับ 80 คะแนนซึ่งหมายถึงเป็นสภาวะที่มีความเสี่ยงสูงสุด ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์โดยใช้แผนผังสาเหตุและผล(Cause and Effect Diagram) เพื่อหารากเหง้าของปัญหา [5]



รูปที่5 แผนผังสาเหตุและผลปัญหาแรงดันตก

จากผลของการวิเคราะห์เพื่อหารากของปัญหา เนื่องจากตัวกรองไฮดรอลิก(Hydraulic oil filter) พบว่ามีการใช้ไปเรื่อยๆโดยไม่มีมาตรฐานความถี่ในการเปลี่ยนใหม่ ทำให้สภาพของตัวกรองไฮดรอลิกเสื่อมสภาพและอยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน



รูปที่6 ตัวกรองน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic oil filter)

3.4 การปรับปรุงกระบวนการ

สำหรับการปรับปรุงกระบวนการได้กำหนดปฏิบัติการแบบระยะสั้น (Temporary action) คือเปลี่ยนน้ำมันไฮดรอลิกใหม่ในเครื่องจักรและเปลี่ยนตัวกรองความละเอียด 5 µm เนื่องจากตัวกรองใหม่จะต้องใช้เวลานำ(Lead time) ในการสั่งซื้อ 6 สัปดาห์ สำหรับปฏิบัติการแก้ไขแบบถาวร(Permanent action) ได้ดำเนินการเปลี่ยนตัวกรองใหม่ที่ความละเอียด 3 µm และพัฒนาคู่มือซ่อมบำรุงโดยเพิ่มความถี่ในการเปลี่ยนตัวกรองทุก 3 เดือน และความถี่ในการตรวจความสะอาดน้ำมันไฮดรอลิกทุกเดือน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านความสามารถในการตรวจจับปัญหา

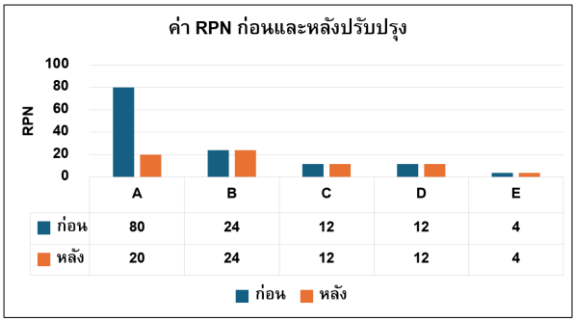
ตารางที่6 มาตรการปรับปรุงเพื่อลดความเสี่ยง

ประเภท	แนวทางแก้ไข
การแก้ไขระยะสั้น	เปลี่ยนน้ำมันในเครื่องทดสอบใหม่และวัดเพื่อควบคุมความสะอาดที่ระดับ 17/15/12
	เปลี่ยนตัวกรองใหม่เพื่อใช้ชั่วคราว ความละเอียดกรอง 5 µm.
การแก้ไขแบบถาวร	เปลี่ยนตัวกรองน้ำมันใหม่ที่ได้มาตรฐาน 3 µm.(สั่งซื้อใหม่จากต่างประเทศ)
	พัฒนาคู่มือซ่อมบำรุงโดยเพิ่มความถี่ในการเปลี่ยนตัวกรองทุก 3 เดือนและความถี่ในการตรวจวัดความสะอาดน้ำมันไฮดรอลิกทุกเดือน

ทำการประเมินความเสี่ยง RPN ใหม่หลังการปรับปรุง ผลคือปัญหาความดันในระบบต่ำค่า RPN ลดลงจากก่อนปรับปรุงคือ 80 คะแนน หลังจากทำการปรับปรุงคือ 20 คะแนน โดยคะแนนโอกาสหรือความถี่ที่เกิดปัญหา(O) ลดลงจาก 4 เป็น 2 เนื่องจากตัวกรองได้เพิ่มความถี่ให้เปลี่ยนทุก 3 เดือน คะแนนการตรวจจับ(D) ลดลงจาก 4 เป็น 2 เนื่องจากเพิ่มความถี่ในการตรวจนับอนุภาคเจือปนในน้ำมันทุกเดือน

ตารางที่7 ประเมินความเสี่ยง(หลังปรับปรุง)

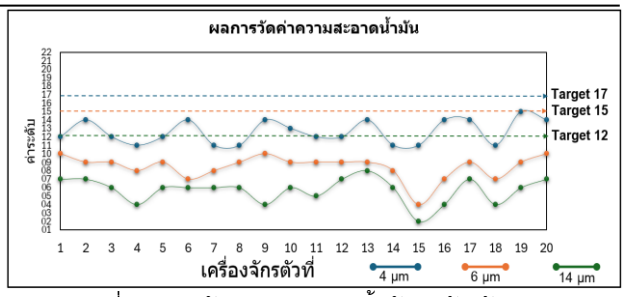
ข้อผิดพลาด	S	O	D	RPN
A ความดันในระบบต่ำ	5	2	2	20
B ระบบไฮดรอลิกรั่ว	4	3	2	24
C สายไฮดรอลิกหลุดจากข้อต่อ	3	2	2	12
D มอเตอร์ปั๊มแรงดันไม่ขึ้น	4	3	1	12
E ภาระการทำงานมอเตอร์สูง	4	1	1	4



รูปที่7 เปรียบเทียบค่า RPN ก่อนและหลังปรับปรุง

3.5 การประเมินผลหลังปรับปรุง

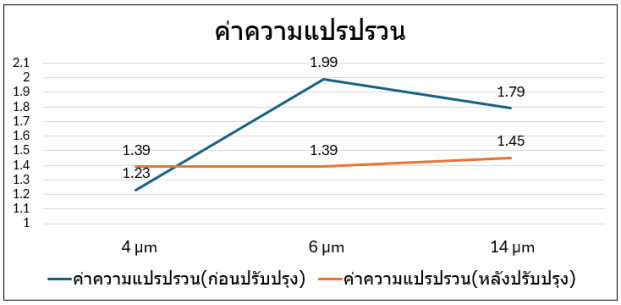
จากการดำเนินการปรับปรุงตามมาตรการเพื่อลดความเสี่ยงแล้ว ได้ทำการทดสอบการนับอนุภาคบนเครื่องจักรใหม่จำนวน 20 เครื่อง หลังเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันความละเอียด 3 µm ผลการตรวจนับอนุภาคในน้ำมันคือระดับความสะอาดผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทั้ง 20 เครื่องจักร



รูปที่8 ผลการวัดค่าความสะอาดน้ำมัน (หลังปรับปรุง)

ตารางที่8 ค่าเฉลี่ยของการวัดผล

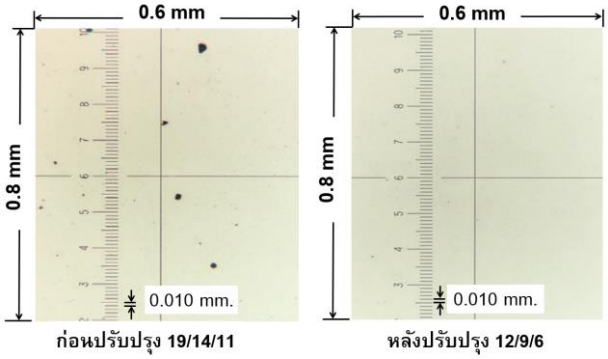
ค่าเฉลี่ยของการวัดผล	4 µm	6 µm	14 µm
ค่าเฉลี่ย(ก่อนปรับปรุง)	18.9	14.1	11.2
ค่าเฉลี่ย(หลังปรับปรุง)	12.4	8.5	5.7



รูปที่9 เปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของอนุภาคน้ำมัน

เปรียบเทียบอนุภาคน้ำมันตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยเลนส์กำลังขยาย 100 เท่า ผลคือเปรียบเทียบจากรูปถ่ายแล้วมีจำนวนอนุภาคของแข็งเจือปนปริมาณที่แตกต่างกันชัดเจน

โดยสภาพความสะอาดของน้ำมันก่อนปรับปรุงคือ 19/14/11 และสภาพความสะอาดของน้ำมันหลังปรับปรุงคือ 12/9/6



รูปที่10 เปรียบเทียบความสะอาดในน้ำมันก่อนและหลังปรับปรุง

เมื่ออ้างอิงถึงตาราง Life extension table ของ ISOCLEAN Chevron ที่พัฒนามาจาก Noria Corporation [6] วิเคราะห์เกี่ยวกับ

ปัจจัยการยืดอายุของอุปกรณ์ไฮดรอลิก เมื่อเปรียบเทียบระดับความสะอาดของเครื่องจักรที่ทำการศึกษาแล้ว ผลคือหลังจากปรับปรุงกระบวนการเสร็จสิ้นและน้ำมันอยู่ในระดับที่สะอาดแล้ว ของระบบไฮดรอลิกมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น 3 เท่าโดยเฉลี่ย โดยอ้างอิงจำนวนอนุภาคที่ใกล้เคียงกับผลการวิจัยนี้

ตารางที่8 การเพิ่มระดับความสะอาดของน้ำมันเพื่อยืดอายุของอุปกรณ์ไฮดรอลิก [7]

Hydraulic Component

Current ISO Code	Target ISO Code	Target ISO Code	Target ISO Code	Target ISO Code
	2 x Life	3 x Life	4 x Life	5 x Life
28/26/23	25/22/19	22/20/17	20/18/15	19/17/14
27/25/22	23/21/18	21/19/16	19/17/14	18/16/13
26/24/21	22/20/17	20/18/15	19/17/14	17/15/12
25/23/20	21/19/16	19/17/14	17/15/12	16/14/11
25/22/19	20/18/15	18/16/13	16/14/11	15/13/10
23/21/18	19/17/14	17/15/12	15/13/10	14/12/9
22/20/17	18/16/13	16/14/11	15/13/10	13/11/8
21/19/16	17/15/12	15/13/10	13/11/8	-
20/18/15	16/14/11	14/12/9	-	-
19/17/14	15/13/10	13/11/8	-	-
18/16/13	14/12/9		-	-
17/15/12	13/11/8		-	-

ก่อนปรับปรุง **หลังปรับปรุง**

หมายเหตุ ข้อมูลจาก precisionfiltration.com (เข้าถึงเมื่อ มกราคม 2025). ลิงก์ https://www.precisionfiltration.com/wp-content/uploads/2017/06/Target-ISO-Cleanliness-Codes.pdf

จากข้อมูลของฝ่ายบริการหลังการขาย เครื่องจักรที่ส่งมอบให้ลูกค้าจะมีต้นทุนซ่อมบำรุงที่เกี่ยวกับปัญหาอุปกรณ์ไฮดรอลิกเกิดขึ้นทุกปี โดยเฉลี่ยต้นทุนชิ้นส่วนไฮดรอลิกที่ต้องเปลี่ยนคือ 1,500 USD ต่อเครื่อง/ ต่อปี การบำรุงรักษาระบบไฮดรอลิกแบบ FMEA จะต้องทำการเปลี่ยนตัวกรองทุกๆ 3 เดือน โดยต้นทุนตัวกรองคือชิ้นละ 73.75 USD ต้นทุนตัวกรองต่อปีคือ 295 USD โดยอายุการใช้งานปีที่3 โดยมาตรฐานต้องทำการ overhaul ที่ต้นทุน 1,500 USD ดังนั้นหากพิจารณาแล้วภายในระยะเวลา 3 ปีจะสามารถลดต้นทุนการซ่อมบำรุงระบบไฮดรอลิกได้ 2,115 USD ซึ่งเป็นผลดีทางด้านการลงทุน

ตารางที่9 ต้นทุนการซ่อมแซมอุปกรณ์ไฮดรอลิกในระยะเวลา 3 ปี เปรียบเทียบระบบไฮดรอลิกที่บำรุงรักษาแบบเดิมและแบบใช้ FMEA

อายุเครื่องจักร	จำนวนครั้งของรอบชัก Cylinder stroke ทำงาน	ต้นทุนในการซ่อมแซมอุปกรณ์ไฮดรอลิก	
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1 ปี	3,456,000 ครั้ง	1,500 USD	295 USD
2 ปี	6,912,000 ครั้ง	1,500 USD	295 USD
3 ปี	10,368,000 ครั้ง	1,500 USD	1,795 USD
ต้นทุนการซ่อมบำรุง		**4,500 USD**	**2,385 USD**
Saving (USD)		**4,500 – 2,385 = 2,115 USD**	

4. สรุป

การใช้ประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร มีข้อดีหลายประการที่ช่วยให้การบำรุงรักษามีประสิทธิภาพและลดความเสี่ยงต่างๆ สามารถระบุปัญหาก่อนเกิดขึ้น ลดเวลาหยุดทำงานของเครื่องจักร ทำให้มีการวางแผนการซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม ซึ่งจากผลการวิจัยเชิงปฏิบัติการเกี่ยวกับระดับความสะอาดของน้ำมันไฮดรอลิกบนเครื่องเจียรซีเอ็นซีนี้ชี้ให้เห็นว่า การบำรุงรักษาความสะอาดของน้ำมันจะช่วยยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนในระบบไฮดรอลิกได้ 3 เท่าและยังสามารถลดต้นทุนการซ่อมบำรุงในอนาคตได้ บรรลุผลตามเป้าหมายของงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] วราธร ปัญญางาม. (2016). การจัดทำระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยเทคนิค FMEA กรณีศึกษากระบวนการแปรรูปเนื้อสัตว์ตัวอย่าง. *วิศวสารลาดกระบัง*, *33*(4), 24-31.

[2] ธนัช ศรีพนม. (2008). สิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำมันไฮดรอลิก. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*, *2*(2), 234-241.

[3] Singh, M., Lathkar, G. S., & Basu, S. K. (2012). Failure prevention of hydraulic system based on oil contamination. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, 93*, 269–274. https://doi.org/10.1007/s40032-012-0032-2

[4] Rinnanont, W., Bamrungwong, A., & Teerawongsakul, G. (2019). Advanced predictive and intelligent analysis methods for machine life extension. *Material PCIC Europe Paper No. PCIC Europe EUR19_12*. https://doi.org/10.23919/PCICEurope46863.2019.9011559

[5] นัธทวัฒน์ วิริยจิตตโสภณ, ชูตระกูล ศิริไพบูลย์, & สิทธิชัย รัชยศโยธิน. (2024). การเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรในกรรมวิธีท่อพลาสติกชนิดพอลิเอทีลีนความหนาแน่นสูง. *วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, 10*(2), 32-50.

[6] Chevron. (n.d.). *Managing particle contamination with Chevron*. Woodford Oil. Retrieved January 22, 2025, from https://www.scfuels.com/wp-content/uploads/2018/11/ISOCLEANWhitepaper.pdf

[7] Precision Filtration Products. (2017). *Target ISO cleanliness code and media selection for using*. Retrieved January 22, 2025, from https://www.precisionfiltration.com/wp-content/uploads/2017/06/Target-ISO-Cleanliness-Codes.pdf

[8] Precision Filtration Products. (2017). *Understanding ISO 4406 codes*. Retrieved November 20, 2024, from https://www.precisionfiltration.com/wp-content/uploads/2017/08/Understanding-ISO-Codes.pdf

[9] ฤดี นิยมรัตน์, เบญจลักษณ์ เมืองมีศรี, ไสว ศิริทองถาวร, สมเกียรติ กอบัวแก้ว, พงศ์ระพี แก้วไทฮะ, & ภูภัศ ปภาณ์ณภาภูมิษ์. (2024). การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในการบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อการผลิตหินเจียร. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, *6*(3).

[10] Nejc Novak, Ana Trajkovski, Mitjan Kalin, & Franc Majdic. (2023). Degradation of hydraulic system due to wear particles or medium test dust. *Applied Sciences, 13*(13), 7777. https://doi.org/10.3390/app13137777

สมบัติของมอร์ตาร์ที่ใช้ผงเปลือกไข่จากไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อทดแทนทราย

Properties of mortar with eggshell powder from grandparent broiler breeder as partial sands replacement

ยุทธศักดิ์ ทองอยู่[1], กุลธิดา บรรจงศิริ[2], แววบุญ แย้มแสงสังข์[3*]
นักศึกษาบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช[1]
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช[2]
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช[3]
E-mail: weawboon.yam@stou.ac.th*

Yootthasak Thongyoo[1], Kunthida Banjongsiri[2], Weawboon Yamsaengsung[3*]
Graduate Student, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University[1]
School of Health Science, Sukhothai Thammathirat Open University[2]
School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University[3]
E-mail: weawboon.yam@stou.ac.th*

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทยมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความต้องการใช้วัสดุก่อสร้างทั้งคอนกรีต และทรายเป็นจำนวนมาก ซึ่งกระบวนการผลิตวัสดุก่อสร้างดังกล่าวปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตมอร์ต้าจากของเสียในอุตสาหรรมการผลิตสัตว์ปีก โดยนำผงเปลือกไข่ไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อ ซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรม มาใช้ทดแทนทรายในการผลิตเป็นมอร์ต้า โดยศึกษากระบวนการเตรียมเปลือกไข่ที่เหมาะสม สมบัติของผงเปลือกไข่ สมบัติเชิงกลของมอร์ต้า และความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของมอร์ต้ากับสมบัติอื่นๆของวัสดุ การผลิตมอร์ต้าผสมเปลือกไข่ ทำโดยการนำผงเปลือกไข่มาแทนที่ทรายในสัดส่วน 10-100% แล้วศึกษาสมบัติในการขึ้นรูปที่เหมาะสมและสมบัติเชิงกลของมอร์ต้า ผลการศึกษาสมบัติของมอร์ต้าผสมเปลือกไข่ พบว่า สามารถนำเปลือกไข่มาทดแทนทรายในการผลิตเป็นมอร์ต้าได้ ที่ปริมาณการแทนที่ทรายไม่เกิน 10% โดยสมบัติของมอร์ต้าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สรุปได้ว่า มอร์ต้าผสมเปลือกไข่สามารถประยุกต์ใช้งานเป็นวัสดุก่อสร้างแบบที่รับแรงกดไม่มากนัก ช่วยลดของเสียจากอุตสาหกรรมได้ และนำไปสู่การผลิตวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืน เป็นแนวทางในการนำเปลือกไข่มาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

คำสำคัญ: เปลือกไข่, เปลือกไข่ไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อ, คุณสมบัติทางกล, คอนกรีต, มอร์ต้า

Abstract

Construction industry in Thailand is increasing thus contributing to more demand for concrete and sand as construction materials. Such building materials are produced in a way that releases a lot of carbon dioxide into the atmosphere. This study investigates the use of poultry industry waste in mortar production by replacing sand with eggshell powder from grandfather and grandmother breeds of broiler chickens. This paper includes a detailed study of the production process of eggshell powder, the properties of eggshell powder, eggshell mortar, and the relationship between different properties has been determined. Mortars are prepared by substituting 10-100% of the sand with eggshell powder in order to determine the suitability of eggshell powder as partial replacement by investigating both workability and mechanical properties of eggshell mortar. After examining the properties of eggshell powder mortar, it was found that adding eggshell powder to mortar in place of 10% of the sand did not significantly alter the material's strength. To conclude, eggshell powder is unsuitable for projects that require high compressive strength mortar but may be suitable for projects that require less compressive strength mortar. In mortar, substituting eggshell powder for sand can help reduce waste and support sustainability efforts. The study's conclusions and discussion focused on the environmentally responsible use of eggshell powder in building applications.

Keywords: Eggshell, Eggshells from grandfather and grandmother breeds of broiler chickens, Concrete, Mortars

1. บทนำ

โลกปัจจุบันเผชิญกับปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง โดยปัญหาดังกล่าว เกิดจากการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ทั้งจากภาคครัวเรือน เกษตรกรรม คมนาคม และภาคอุตสาหกรรม ประเทศไทยมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิประมาณ 0.03 องศาเซลเซียสต่อปี การเปลี่ยนแปลงนี้ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชีวิตเกือบทุกด้าน โดยเฉพาะด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ [1] และมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น

ในปี พ.ศ. 2566-2568 ประเทศไทยมีแนวโน้มการเจริญเติมโตในด้านธุรกิจก่อสร้างเป็นอย่างมาก ทำให้มีความต้องการใช้วัสดุก่อสร้างเพิ่มขึ้น จากการลงทุนก่อสร้างโดยรวมที่คาดว่าจะขยายตัว 4.5-5.0% ต่อปี โดยมีปัจจัยหนุนจากโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่โดยเฉพาะโครงการที่เชื่อมโยงกับพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) รวมถึงโครงการเมกะโปรเจกต์ต่าง ๆ ซึ่งจะนำไปสู่การขยายงานก่อสร้างในภาคเอกชนให้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะโครงการก่อสร้างที่อยู่อาศัยตามแนวรถไฟฟ้าและเส้นทางคมนาคมสายใหม่ๆ รวมถึงการก่อสร้างโรงงานและนิคมอุตสาหกรรมในพื้นที่เกี่ยวเนื่องกัน [2] ส่งผลให้จำเป็นต้องนำวัตถุดิบในการก่อสร้าง ได้แก่ ปูน ทราย ที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด นำมาใช้ในการก่อสร้างเป็นจำนวนมาก ซึ่งวัสดุเหล่านั้นเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป ดังนั้นหากสามารถสรรหาหรือใช้วัสดุอื่นที่สามารถทดแทนทรัพยากรเหล่านั้นได้ จะช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและลดการใช้พลังงานทั้งในการผลิตและขนส่งวัตถุดิบดังกล่าวได้

อุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย พบว่า มีเปลือกไข่ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยในปี 2562 มีการผลิตไข่ไก่มากถึง 51 ล้านฟอง [3] และมีแนวโน้มที่ต้องเพิ่มกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่องตามการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก ทำให้มีเปลือกไข่เหลือทิ้งเพิ่มมากขึ้น เปลือกไข่ไก่หากกำจัดอย่างไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเปลือกไข่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เป็นการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับของเหลือใช้ อีกทั้งหากสามารถนำเปลือกไข่มาใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีต โดยนำเปลือกไข่มาใช้ทดแทนทราย จะเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการปลดปล่อยคาร์บอนในกระบวนการผลิตคอนกรีตได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำเปลือกไข่มาใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกไข่ในสัดส่วนต่าง ๆ เพื่อหาปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมในการทดแทนทราย นำไปสู่การพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อ

ไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อ มีลักษณะภายนอกแตกต่างไปจากไก่ชนิดอื่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับไก่พันธุ์ไข่หรือไก่พื้นเมือง และยังมีความแตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่นอีกด้วย โดยไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อ จะมีขนาดใหญ่และมีสัดส่วนร่างกายที่แข็งแรงกว่า เนื่องจากมีการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและให้เนื้อมากขึ้น ไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อ มีศีรษะที่สั้น กะโหลกใหญ่ ตาโตกลม และมีขนแข็งแรง ลำตัวสั้นกว่าและกว้างกว่าไก่พันธุ์อื่น ไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อยังมีลักษณะของสีขนที่หลากหลาย ทั้งสีขาว สี น้ำตาล และสีผสมต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่มีการปรับปรุงเพื่อเน้นการให้ผลผลิตเนื้อเป็นสำคัญ โดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงความสวยงามของสีขน [4]

เปลือกไข่ไก่

โครงสร้างไข่ไก่ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ไข่ขาว (Egg-white), ไข่แดง (Egg yolk) และเปลือกไข่ (Eggshell) โดยเปลือกไข่มีสัดส่วนประมาณ 9-11% ของไข่ทั้งฟอง ส่วนไข่ขาวมีสัดส่วนประมาณ 60-63% และไข่แดงมีสัดส่วนโดยประมาณ 28-29% น้ำหนักของไข่แต่ละฟองจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพันธุ์และอายุของแม่ไก่ ไข่ของสัตว์ปีกแต่ละชนิดจะมีขนาดและน้ำหนักที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ตัวอย่างเช่น สายพันธุ์ อายุ สภาพแวดล้อม และการจัดการของการเลี้ยง น้ำหนักของไข่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป โดยทั่วไป ไข่จากสัตว์ปีกที่มีขนาดใหญ่จะมีน้ำหนักมากกว่าสัตว์ปีกที่มีขนาดเล็ก ตัวอย่างเช่น ไข่เป็ดจะมีน้ำหนักมากกว่าไข่ไก่ ไข่ไก่จะมีน้ำหนักมากกว่าไข่นกพิราบ โดยหน้าที่หลักของเปลือกไข่คือการป้องกันการกระทบกระเทือนจากภายนอกอีกทั้งยังเป็นการให้อากาศแก่ตัวอ่อน และช่วยในการรักษาความชื้นภายในไข่ นอกจากนี้แล้วเปลือกไข่ยังมีรูเล็ก ๆ อีกจำนวนมากเพื่อช่วยแลกเปลี่ยนอากาศและความชื้น [5] เปลือกไข่จากไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อมีความหนาและแข็งแรงสูงกว่าไข่ไก่ทั่วไป ทำให้เหมาะสมในการใช้ผลิตวัสดุก่อสร้าง โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตที่สูงกว่าไข่ไก่ทั่วไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อินทรีย์ (2560) ศึกษาการนำผงเปลือกไข่ไก่มาผสมอีพอกซีเรซิน พบว่า เปลือกไข่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตมากถึง 94% แมกนีเซียมคาร์บอเนต 1% แคลเซียมฟอสเฟต 1% และสารอินทรีย์ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ 4% ซึ่งแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารประกอบที่เสริมความแข็งแรงให้แก่เปลือกไข่ นอกจากนี้ยังมีโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการให้ความยืดหยุ่นและการยึดเกาะระหว่างชั้นของเปลือกไข่ จากองค์ประกอบดังกล่าว จึงทำให้เปลือกไข่มีคุณสมบัติที่เป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในงานซีเมนต์ [5]

ศักดิ์ดา (2555) ใช้เปลือกไข่ไก่เป็นส่วนผสมในการพัฒนาคอนกรีตมวลเบา โดยใช้เปลือกไข่ไก่เป็นมวลละเอียดแทนทรายในคอนกรีต ซึ่งช่วยให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาลง เปลือกไข่ที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ เปลือกไข่ A (ธรรมชาติ), B (ธรรมชาติที่ล้างน้ำ), C (เผาอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส), และ D (เผาอุณหภูมิ 800 องศา

เซลเซียส) ผลการทดลอง พบว่า เปลือกไข่ทุกชนิดช่วยลดความหนาแน่นของคอนกรีตลง และเพิ่มกำลังอัดประลัย โดยเฉพาะเปลือกไข่ D ที่มีความหนาแน่นต่ำและมีกำลังอัดประลัยสูงสุดถึง 506.4 kg/cm² [6]

Raji I (2015) ใช้เปลือกไข่เป็นวัสดุส่วนผสมละเอียดในการทำคอนกรีตเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพิ่มความยืดหยุ่นในการก่อสร้าง พบว่า เปลือกไข่สามารถนำมาใช้ทดแทนทรายในการผลิตคอนกรีตได้ ผลการทดลอง พบว่า คอนกรีตที่มีส่วนผสมจากเปลือกไข่มีความหนาแน่นและกำลังอัดประลัยลดลงอย่างต่อเนื่อง คอนกรีตที่ใช้เปลือกไข่สามารถใช้ในงานก่อสร้างที่รับน้ำหนักเบาๆ แต่ก็มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นคอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [7]

Ishak (2020) การเพิ่มขึ้นของประชากรส่งผลให้เกิดการริ่งก่อสร้างด้านโครงสร้างพื้นฐานอย่างรวดเร็วนำมาซึ่งความต้องการใช้คอนกรีตใน ปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรจากสิ่งแวดล้อมที่ต้องนำมาใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ งานวิจัยนี้นำเสนอทางเลือกใหม่โดยการใช้ผงเปลือกไข่เป็นวัสดุทดแทนในบางส่วน โดยเปลือกไข่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตสูงถึง 93.70% ซึ่งคล้ายคลึงกับองค์ประกอบในปูนซีเมนต์ โดยบดเปลือกไข่ให้ละเอียดและแทนที่ปูนซีเมนต์ได้ที่ 10-30% โดยสมบัติไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก [8]

จินตนา (2563) ได้ศึกษาผลของเปลือกไข่ต่อค่ากำลังการรับแรงอัดและสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์ โดยการนำเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมมาเผาที่อุณหภูมิสูง 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลจากการทดสอบ พบว่า เปลือกไข่ที่ผ่านการเผามีศักยภาพในการใช้เป็นส่วนผสมในมอร์ตาร์โดยทดแทนปูนซีเมนต์ เพื่อเป็นวัสดุทาง เลือกในงานก่อสร้าง [9]

Sugirtha (2023) ได้ศึกษาสมบัติของคอนกรีตที่ผสมผงเปลือกไข่ รวมถึงการใช้เทคนิคเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) เพื่อคาดการณ์กำลังอัดของคอนกรีตจากผงเปลือกไข่ ซึ่งช่วยลดต้นทุนการทดลองและเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิเคราะห์ พบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงเปลือกไข่ 5% จะช่วยเพิ่มความหนาแน่นอย่างมีนัยสำคัญสามารถเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุได้ แต่หากผสมผงเปลือกไข่เกินกว่า 5% จะทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง โดยโมเดล ANN แสดงความถูกต้องในการคาดการณ์กำลังคอนกรีตด้วยค่า R^2 เท่ากับ 0.96 เนื่องจากเปลือกไข่มีปริมาณแคลเซียมสูง จากการศึกษา พบว่า มีชั้นของแคลเซียมคาร์บอเนตจำนวนมาก ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายคลึงกับหินปูนช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุ โดยเปลือกไข่จึงถือเป็นแนวคิดใหม่ในงานวัสดุก่อสร้างที่ช่วยลดการใช้ทรัพยากรและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [10]

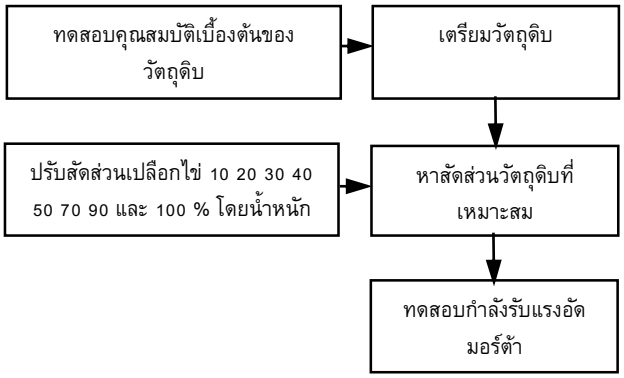
กฤษนนท์ (2561) ได้พัฒนาวัสดุก่อสร้างที่ผลิตจากเศษกระจกสีเขียวและเปลือกไข่เหลือใช้ เพื่อการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในงานอาคาร ด้วยการนำเศษกระจกและเปลือกไข่บดด้วยเครื่องบด (Ball mill) และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (ขนาด 75 ไมครอน) โดยมีสัดส่วนผสมของเปลือกไข่ในสัดส่วน 15 20 และ 25 % โดยน้ำหนักของวัสดุรวม เติมความชื้นในอัตรา 5 % ของน้ำหนักวัสดุรวมเพื่อช่วยในการยึดเกาะสำหรับการขึ้นรูป แล้วเทส่วนผสมลงในแบบทรงกระบอก แล้วจึงนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบ พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของเปลือกไข่เหลือใช้และเพิ่มอุณหภูมิในการเผาทำให้วัสดุก่อสร้างที่ผลิตจากเศษกระจกสีเขียวและเปลือกไข่มีประสิทธิภาพในการใช้งานลดลง ซึ่งการทดลองนี้สามารถเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้มาผลิตเป็นวัสดุผนังที่มีสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการทนไฟที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในอาคาร [11]

วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกไข่ในสัดส่วนต่าง ๆ เพื่อหาปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมในการทดแทนทราย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวิธีดำเนินการวิจัยแสดงดังนี้



รูปที่ 1 วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมและทดสอบสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้ทรายมาตรฐานและน้ำประปา ทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานสำหรับผลิตเป็นก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์ที่จะใช้ในการทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานมอร์ตาร์ผสมเปลือกไข่เริ่มจากรวบรวมวัสดุ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทราย และผงเปลือกไข่ที่บดละเอียด ชั่งวัสดุให้ได้อัตราส่วนการผสมผงเปลือกไข่แทนทรายตามรายละเอียดที่แสดงใน รูปที่ 1

เปลือกไข่ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) จากโรงฟักไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อ จังหวัดชัยภูมิ โรงฟักมีกระบวนการผลิตที่สะอาด มีมาตรฐานปราศจากการปนเปื้อนเชื้อโรค เปลือกไข่ที่ผ่านการคัดแยกจะแห้งเพราะผ่านการอบมาจากตู้ฟักไข่ จากนั้นนำมาถูกบด และร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 และ 200 เพื่อแยกสิ่งเจือปนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่และเป็นการคัดขนาดของมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดสอบมอร์ตาร์

วัดความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ เปลือกไข่ และทราย เริ่มจากการชั่งน้ำหนักวัสดุแห้ง แล้ววางในน้ำกลั่น หลังจากนั้นบันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและคำนวณความถ่วงจำเพาะของวัสดุ

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่โดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) เพื่อตรวจสอบธาตุองค์ประกอบในเปลือกไข่

ศึกษาสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาโครงสร้างผิวเปลือกไข่ระดับจุลภาค ใช้โหมดสัญญาณภาพจากการวัดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron Detector) ที่กำลังขยาย 300 เท่า ที่ 15 kV แรงดัน 0.1 ปัสกาล โดยนำชิ้นงานไปเคลือบด้วยทองก่อนนำมาทดสอบ

ทดสอบความต้องการน้ำในส่วนผสมของมอร์ตาร์

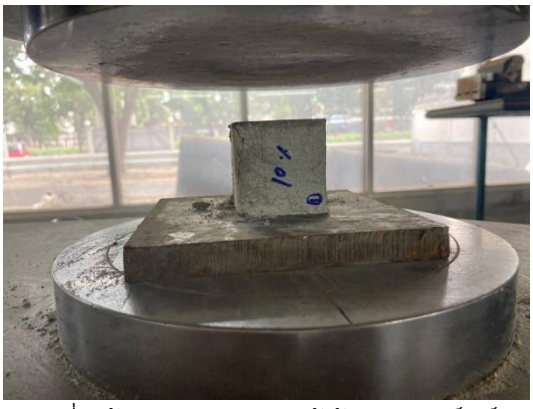
เป็นการทดสอบใช้โต๊ะการไหล (Flow Table) ทดสอบการไหลตัวของซีเมนต์มอร์ตาร์ ทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่นำไปทดสอบหาค่าการไหลแผ่ (Percent Flow)



รูปที่ 2 ทดสอบการไหลตามมาตรฐาน ASTM C230

การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า

ทดสอบการควบคุมการไหลตามมาตรฐาน ASTM C230 (110±5%) โดยปริมาณอัตราส่วนเปลือกไข่แทนที่ทราย 10, 20, 30, 40, 50, 70, 90 และ 100 % ใช้เครื่องทดสอบกำลังอัดเพื่อเปรียบเทียบกำลังอัดที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 3 ตัวอย่างก่อนทดสอบกำลังอัดทดสอบมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C109

4.ผลการดำเนินการวิจัย

สมบัติพื้นฐานของวัสดุ

ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C188-16 โดยปูนที่ทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 3.17 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะเปลือกไข่ จากบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) โรงฟักชัยภูมิ ตามมาตรฐาน ASTM C128 เปลือกไข่ที่ทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 2.27 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะทราย ตามมาตรฐาน ASTM C 128 โดยทรายที่นำมาทดสอบมีค่าเฉลี่ย 2.53

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ แสดงในตารางที่ 1 เปลือกไข่มีธาตุแคลเซียมออกไซด์ 95.4 %, แมกนีเซียมออกไซด์ 1.35 %, ฟอสเฟส 1.33 %, ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ 0.84%, โซเดียมออกไซด์ 0.35 %, โพแทสเซียม 0.26 %, คลอรีน 0.19 % และสารอินทรีย์อื่นๆ

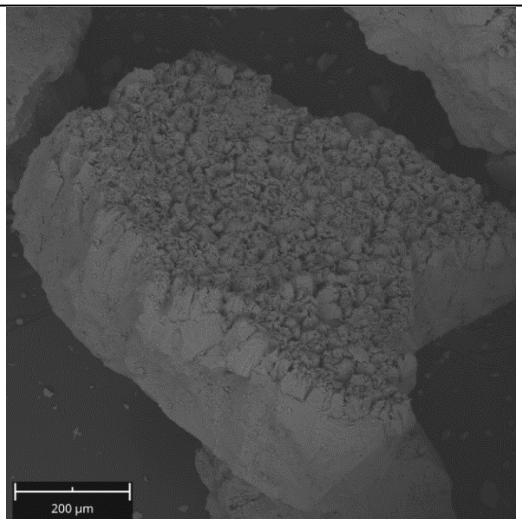
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

CaO	MgO	P_2O_5	SO_3	Na_2O	K_2O	Cl
95.4 %	1.35 %	1.33 %	0.84 %	0.35 %	0.26 %	0.19 %

SiO_2	SrO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CuO
0.05 %	0.04 %	0.03 %	0.03 %	0.01 %

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่โดยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy) พบว่า เปลือกไข่มีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ ยังพบธาตุอื่นๆ เช่น แมกนีเซียม ซิลิคอน และอะลูมิเนียม ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้สามารถช่วยเสริมให้วัสดุก่อสร้างที่พัฒนาจากเปลือกไข่มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sugirtha [10]

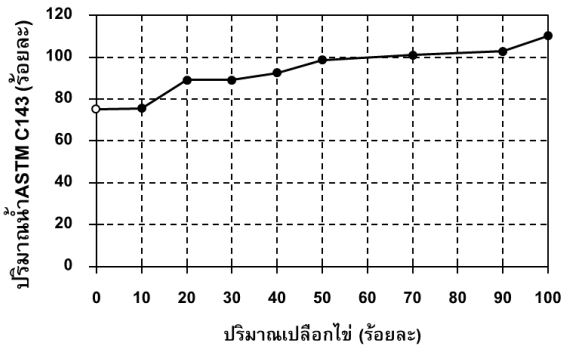
สัณฐานวิทยาของเปลือกจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 300 เท่า แสดงใน รูปที่ 4 พบว่า ผิวเปลือกไข่มีลักษณะเป็นชั้น ชั้นบนเป็นปุ่ม ๆ มีเปลือกประกอบกันขึ้นเป็นทรงรีและทรงกลม ที่มีช่องเปิดตรงกลางโดยช่องเปิดมีขนาดเล็ก ชั้นล่างของเปลือกไข่มีลักษณะหนาทึบกว่าด้านบน



รูปที่ 4 สัณฐานวิทยาของเปลือกไข่จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 300 เท่า

ความต้องการน้ำในส่วนผสมของมอร์ตาร์

ปริมาณความต้องการน้ำ ในส่วนผสมของมอร์ตาร์เพื่อควบคุมการไหลตามมาตรฐานที่มีผลกระทบต่อปริมาณเปลือกไข่ แสดงใน รูปที่ 5



รูปที่ 5 ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อควบคุมการไหลตามมาตรฐานที่มีผลกระทบต่อปริมาณเปลือกไข่

มอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกไข่มีค่าการไหลแผ่อยู่ในช่วง 110 พบว่า มอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกไข่มีความต้องการใช้น้ำร 75.00, 75.60, 89.05, 92.58, 98.73, 100.99, 102.78 และ 110.19 % ซึ่งมีความต้องการน้ำมากขึ้นกว่ามอร์ตาร์มาตรฐาน 0.80, 18.73, 23.44, 31.64, 34.65, 37.04 และ 46.92 % ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มความต้องการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีปริมาณเปลือกไข่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้มีกำลังอัดลดลงเนื่องจากมีน้ำผสมอยู่มากขึ้น และการที่มีปริมาณน้ำที่มากขึ้นก็จะทำให้คอนกรีตมีความพรุนมากขึ้นส่งผลให้ความคงทนต่อการกัดกร่อนลดลง

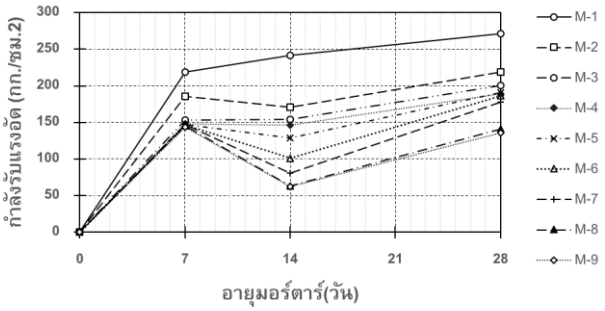
ผลการทดสอบกำลังอัด

การทดสอบการไหลและการทดสอบกำลังอัด แสดงในตารางที่ 2 และ รูปที่ 6 จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ พบว่า มอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ที่มีการผสมเปลือกไข่ กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มของมอร์ตาร์ในทุกส่วนผสม โดย M-1 แทนมอร์ตาร์ที่ไม่มีการใช้ผงเปลือกไข่ (ควบคุม) M2 ถึง M9 มอร์ตาร์ที่มีการผสมผงเปลือกไข่แทนทรายที่ 10, 20, 30, 40, 50, 70, 90, 100 % ตามลำดับ

ปริมาณซีเมนต์ผสมเข้าไปจะแปรผันตรงกับการพัฒนาของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่า กำลังอัดของมอร์ตาร์มาตรฐานมีค่าเท่ากับ 271.02 ส่วนกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกไข่ มีค่าเท่ากับ 218.42, 200.88, 188.79, 190.83, 186.07, 177.37, 141.22 และ 135.92 กก./ซม.^{2} ซึ่งลดลงตามลำดับ โดย พบว่า กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกไข่ทั้งหมดมีค่าต่ำกว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์มาตรฐานทุกอายุการทดสอบ การแทนที่ทรายด้วยเปลือกไข่ 10 % ให้กำลังอัดสูงสุด และช่วงอายุ 14 วันค่ากำลังแรงอัดจากมีค่าลดลงมาจากช่องว่างหรือเกิดโพรงอากาศขึ้นในมอร์ตาร์

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการไหลและการทดสอบกำลังอัด

ปริมาณเปลือกไข่ (%)	ปริมาณน้ำ (%)	การทดสอบกำลังอัด (วัน)		
		7 (กก./ซม.^{2})	14 (กก./ซม.^{2})	28 (กก./ซม.^{2})
0	75.00	219.10	241.39	271.02
10	75.60	185.80	170.57	218.42
20	89.05	153.31	154.26	200.88
30	89.05	148.15	146.65	188.79
40	92.58	147.33	128.98	190.83
50	98.73	147.06	101.12	186.07
70	100.99	146.79	80.46	177.37
90	102.78	145.29	63.34	141.22
100	110.19	144.07	62.39	135.92



รูปที่ 6 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ต่อการแทนที่ปริมาณเปลือกไข่

5.สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ศึกษาการใช้เปลือกไข่แทนที่ทราย ในการผลิตเป็นมอร์ตาร์ จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ด้วยเทคนิค XRF พบว่า เปลือกไข่ไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อมีแคลเซียมออกไซด์เป็นส่วนประกอบหลัก 95.4 % ทำให้เปลือกไข่ไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อสามารถพัฒนามาใช้แทนทรายในกระบวนการผลิตคอนกรีตได้ แต่ต้องทำให้มีขนาดเล็กตามความเหมาะสมกับงานคอนกรีต [10] การใช้เปลือกไข่ใช้ช่วยลดปริมาณของเสียจากอุตสาหกรรมสัตว์ปีก และส่งเสริมความยั่งยืนในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ยังสามารถเปิดโอกาสในการวิจัยเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลของมอร์ตาร์ในอนาคต การพัฒนาเทคนิคหรือส่วนผสมใหม่ๆ จะส่งผลดีต่อคุณภาพวัสดุและตอบโจทย์ด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

การศึกษาสัญฐานวิทยาของเปลือกไข่ด้วยเทคนิค SEM พบว่า ผิวของเปลือกไข่มีลักษณะเป็นชั้น โดยชั้นบนประกอบด้วยปุ่ม ๆ ที่สร้างเป็นรูปทรงรีและทรงกลม โครงสร้างจุลภาคมีลักษณะเป็นรูปร่างไม่สม่ำเสมอและการกระจายขนาดที่ไม่เท่ากัน ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์จะลดลงเมื่อใช้เปลือกไข่เป็นส่วนผสม อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อเพิ่มความละเอียดขององค์ประกอบรอง (Filler) โดยลักษณะรูปร่างของผงเปลือกไข่ ที่ไม่สม่ำเสมอจะส่งผลต่อความสามารถในการทำงานของคอนกรีตด้วย นอกจากนี้ การกระจายของอนุภาคที่เป็นลักษณะกลมจะให้การกระจายที่ดีขึ้นทั่วทั้งวัสดุ โดยช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของคอนกรีตที่ใช้ผงเปลือกไข่เป็นส่วนผสม

มอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกไข่มีค่าการไหลแผ่อยู่ในช่วง 110 พบว่า มอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกไข่มีความต้องการใช้น้ำมากขึ้นกว่ามอร์ตาร์มาตรฐาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raji [7]

การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ พบว่า กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มของมอร์ตาร์ในทุกส่วนผสม ปริมาณซีเมนต์ผสมเข้าไปจะแปรผันตรงกับการพัฒนาของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกไข่มีค่าลดลงตามลำดับ โดย พบว่า กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกไข่ทั้งหมดมีค่าต่ำกว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์มาตรฐานทุกอายุการทดสอบ เนื่องจากการผสมเปลือกไข่แทนที่ทรายเนื่องจากสารอินทรีย์จำนวนมากส่งผลเสียต่อคอนกรีตทำให้กำลังอัดประลัยลดลงเป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดลองของ ศักดิ์ดา [6] โดยกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกไข่มีค่าสูงสุดเมื่อมีปริมาณการแทนที่อยู่ที่ 10 % และลดลงเมื่อปริมาณเปลือกไข่เพิ่มขึ้น สอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดลองของ Paruthir [12] และ พบว่า การผสมเปลือกไข่ในงานซีเมนต์ที่ 10-15% จะรับแรงอัดที่สูงสุดและมีต้องการ ปริมาณน้ำน้อยที่สุด

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย พบว่า สามารถนำเปลือกไข่มาทดแทนทรายในงานซีเมนต์ได้ เนื่องจากเปลือกไข่มีส่วนประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต อีกทั้งเปลือกไข่มีลักษณะพื้นผิวไม่เรียบ เป็นปุ่มๆ ช่วยในการยึดเกาะระหว่างองค์ประกอบของวัสดุได้ แต่เปลือกไข่มีความแข็งแรงน้อยกว่าทราย วัสดุมอร์ต้าที่ได้ควรใช้กับงานที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมาก ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะในงานวิจัยของ Raji [7] นอกจากนี้เพราะเปลือกไข่มีความพรุนมากกว่าทรายทำให้การยึดเกาะไม่ดีเท่ากับทราย โดยปริมาณเปลือกไข่ที่แนะนำเพื่อใช้ทดแทนทรายคือ 10% ของ ปริมาณทรายที่ใช้ทั้งหมด การผสมเปลือกไข่ไก่ในมอร์ตาร์ 10% ผลลัพธ์กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แต่สนับสนุนความยั่งยืนและลดของเสียจากอุตสาหกรรมสัตว์ปีก วัสดุที่ได้เหมาะสำหรับงานที่ไม่รับน้ำหนักมาก ตัวอย่าง เช่น งานปูกระเบื้อง งานตกแต่งภายใน และยังมีศักยภาพสามารถศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลให้เพิ่มขึ้นได้

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต สามารถศึกษาการนำเปลือกไข่มาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ เช่น เขื่อนใต้ดิน ปะการังเทียม ผนังทนความร้อนหรือทนไฟ สามารถศึกษาผลกระทบระยะยาวของมอร์ตาร์ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ในสภาวะที่เป็นกรด ด่าง หรือภูมิอากาศที่แตกต่างกัน โดยมุ่งเน้นการใช้ผงเปลือกไข่จากไก่ปู่-ย่าพันธุ์เนื้อเป็นวัสดุทดแทน ซึ่งช่วยลดของเสียและการปล่อยคาร์บอน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกลทำให้ข้อมูลในงานวิจัยสร้างคุณค่าในการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้การสนับสนุนในการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

ขอขอบคุณ ผศ.จิรัฐิติ์ บรรจงศิริ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ที่สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการทดลอง รวมถึงคณาจารย์สาขาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) โรงฟักชัยภูมิ ขอขอบคุณ คุณจำรัส เพ็ชรตะคุ ที่เอื้อเฟื้อเปลือกไข่และข้อมูลสำหรับการวิจัย และให้การสนับสนุนด้านข้อมูลที่เป็นประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมอุตุนิยมวิทยา, เอกสารวิชาการแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและฝนบริเวณประเทศไทย, ข้อมูลจาก http://climate.tmd.go.th/content/file/2471 (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 มกราคม 2568)

[2] ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน), 2566, แนวโน้มธุรกิจและอุตสาหกรรมไทย. ข้อมูลจาก https://shorturl.at/3MG70 (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 มกราคม 2568)

[3] กรมปศุสัตว์, สถานการณ์ไก่ไข่และไข่ไก่ของประเทศไทย, ข้อมูลจาก https://shorturl.at/gqN9P (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 มกราคม 2568)

[4] C. Lubbers, and D. Banks. BREEDER signals. Roodbont Publishers, 2020.

[5] อินทรีย์ ศรีสุข. 2560. “การศึกษาผงเปลือกไข่ไก่ผสมในอีพอกซีเรซิน”. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[6] ศักดิ์ดา ปิฎก. 2555. “การใช้เปลือกเป็นส่วนผสมในการพัฒนาคอนกรีตมวลเบา”. รายงานการค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[7] S.A. Raji, and A.T. Samuel. 2015. “Egg shell as a fine aggregate in concrete for sustainable construction”. International Journal of Scientific & Technology Research, Vol. 4 (9): 8-13.

[8] M. Y. Ishak, and M. N. Zamani. 2020. “Eggshell as the partial replacement of Portland cement in the production of concrete”. IOP Conf. Ser: Mater. Sci. Eng, Vol. 849(1):012034

[9] จินตนา พวงสันเที๊ยะ และ ชลิตา โตสนั่น. 2020. “ผลของเปลือกไข่ต่อค่ารับแรงดันและสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์” วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ปีที่ 5, ฉบับที่ 2: (July–December 2020)

[10] M.S. Sugirtha, and K. Sargunan. 2019. “A review on impact of chicken egg shell powder on strength characteristics of cement concrete”. IRJMT, Vol.1 (6): 405-410.

[11] กฤษนนท์ ศรีพนม. 2561. “การพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่ผลิตจากเศษกระจกและเปลือกไข่เพื่อการประยุกต์ใช้ในงานอาคาร”. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[12] S. Paruthi, A.H. Khan, A. Kumar, F. Kumar, M.A. Hasan, H. M. Magbool, and M.S. Manzar. 2023. “Sustainable cement replacement using waste eggshells: A review on mechanical properties of eggshell concrete and strength prediction using artificial neural network”. Case Studies in Construction Materials, 18, e02160

การใช้ขั้นตอนวิธี CART เพื่อวิเคราะห์ทัศนคติและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้กัญชาทางการแพทย์ในกลุ่มนักเรียนวัยรุ่นตอนปลายในสถาบันการศึกษา

Utilizing the CART Algorithm to Analyze Attitudes and Influencing Factors of Medical Cannabis Use Among Late Adolescent Students in Educational Institutions

ตะวันฉาย โพธิ์หอม[1*] ธีราพร ซาดิรา สุภาพันธุ์[2] จารุวรรณ ธณวิรุฬห์[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]สาขาวิชาปฏิบัติเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
E-mail: tawanchai.p@ubu.ac.th *

Tawanchai Phohom[1*], Teeraporn Sadira Supapaan[2], Charuwan Thanawiroon[2]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University
[2]Division of Pharmacy Practice, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Ubon Ratchathani University
E-mail: tawanchai.p@ubu.ac.th *

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรู้ ประสบการณ์ และความเต็มใจที่จะลองกัญชา และสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้กัญชาทางการแพทย์และกัญชาในอาหาร รวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามจากนักเรียนวัยรุ่นตอนปลายในสถาบันการศึกษา ใช้อัลกอริทึม CART ในการค้นหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกัน ร่วมกับสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การศึกษาครั้งนี้มีผู้เข้าร่วม 252 คน ร้อยละ 49.2 มีความรู้เกี่ยวกับกัญชาในระดับต่ำ (0-8 คะแนน) และร้อยละ 62.3% มีความรู้ด้านสุขภาพเกี่ยวกับกัญชาในระดับปานกลาง (45-60 คะแนน) ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการมีประสบการณ์การใช้กัญชา ได้แก่ ช่วงอายุ โดยอายุระหว่าง 15-17 ปีมีประสบการณ์ใช้กัญชาน้อยช่วงอายุอื่น ปัจจัยที่มีโอกาสรองลงมาที่จะมีประสบการณ์การใช้กัญชา ได้แก่ รายได้ของนักเรียนที่มาจากผู้ปกครอง และสถานศึกษาประเภทสายอาชีพ ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการปฏิเสธการใช้กัญชา ได้แก่ การทราบถึงข้อมูลที่ถูกต้องของการใช้กัญชาทางการแพทย์และทราบสถานะทางการแพ้ยาของผู้เข้าร่วม จากผลการวิเคราะห์ผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่เชื่อว่ากัญชามีทั้งข้อดีและข้อเสีย แต่หากสามารถกำหนดแนวทางการให้ความรู้ การฝึกอบรม และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับกฎหมายที่เกี่ยวข้องเพื่อเพิ่มพูนความรู้และการคิดวิเคราะห์ของกลุ่มนักเรียนที่มีความเสี่ยง จะช่วยเฝ้าระวังและส่งเสริมการใช้กัญชาทางการแพทย์อย่างเหมาะสมต่อไป

คำสำคัญ: การเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ อัลกอริทึม CART เภสัชกรรมทางไกล กัญชา วัยรุ่น

Abstract

This study aimed to explore the factors influencing knowledge, experience, and willingness to try cannabis among late adolescent students. Additionally, it sought to examine their views on medical cannabis use and cannabis in food. Data were collected via a questionnaire administered to students in educational institutions. The Classification and Regression Trees (CART) algorithm was used to analyze relationships between key factors, supplemented by descriptive statistics, including frequencies, means, percentages, and standard deviations. A total of 252 participants took part in the study. Of these, 49.2% had low knowledge about cannabis (scoring 0–8 points), while 62.3% had moderate knowledge regarding its health implications (scoring 45–60 points). Key factors influencing cannabis use experience included age, with the 15–17-year-old group reporting less use compared to older participants. Additionally, factors such as parental income and the type of vocational school were associated with a lower likelihood of cannabis use experience. Notably, factors that influenced the refusal to use cannabis included awareness of accurate information on medical cannabis and knowledge of personal allergy status. The analysis revealed that most participants recognized both the potential benefits and risks of cannabis. The findings suggest that implementing educational guidelines and activities focused on cannabis laws, knowledge dissemination, and training could significantly improve students' understanding and critical thinking regarding cannabis. These efforts would help promote the responsible

use of medical cannabis in the future, especially among at-risk students.

Keywords: Decision tree learning CART Algorithm Tele-pharmacy Cannabis Adolescence

1. บทนำ

กัญชาเป็นยาเสพติดที่ได้รับความนิยมมากที่สุดทั่วโลก โดยปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในทางการแพทย์และไม่ใช่ทางการแพทย์ ประมาณการว่ามีคนมากกว่า 200 ล้านคนใช้กัญชาในปีที่ผ่านมา การเปิดเสรีนโยบายกัญชาในเขตอำนาจศาลหลายแห่ง ทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับการสัมผัสโดยไม่ได้ตั้งใจ โดยเฉพาะในกลุ่มประชากรเด็ก [1] หลังจากการประกาศของกระทรวงสาธารณสุขเกี่ยวกับข้อกำหนดของยาเสพติดประเภท 5 B.E. 2565 ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 9 มิถุนายน 2565 ส่วนต่างๆ ของต้นกัญชา รวมถึงดอก เปลือก ลำต้น เส้นใย กิ่ง ราก ใบ (ไม่ว่าจะสดหรือแห้ง) สารตกค้างจากการสกัดกัญชาหรือเรซินกัญชา ได้รับการยกเว้นไม่ให้จัดเป็นยาเสพติดให้โทษประเภท 5 ก่อนหน้านี้ กัญชาใช้ได้เฉพาะเพื่อวัตถุประสงค์ทางการแพทย์เท่านั้น เว้นแต่สารสกัดจากส่วนใดส่วนหนึ่งของต้นกัญชาหรือกัญชงจะมีสารที่ออกฤทธิ์ Tetrahydrocannabinol (THC) มากกว่า 0.2% โดยน้ำหนัก ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 427) พ.ศ. 2564 ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2535 2522 เรื่อง ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของกัญชาหรือส่วนต่างๆ ของป่าน ให้ส่วนต่างๆ ของกัญชาและป่านที่ได้รับการยกเว้นจากยาเสพติดประเภท 5 สามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารได้ ยกเว้น (1) อาหารสำหรับทารกและเด็ก (2) นมดัดแปลงสำหรับทารกและเด็กเล็ก (3) อาหารเสริมสำหรับทารกและเด็กเล็ก (4) เครื่องดื่มที่มีคาเฟอีน และ (5) อาหารอื่นๆ ตามที่รัฐมนตรีกำหนด ปริมาณ THC จากอาหารที่มีส่วนผสมของกัญชาหรือป่านต้องไม่เกิน 1.6 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค และสารที่ออกฤทธิ์ Cannabidiol (CBD) ต้องไม่เกิน 1.41 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค โดยไม่เกินสองหน่วยบริโภคต่อวัน อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคเกิดความสับสนเนื่องจากคำจำกัดความของหน่วยบริโภคและหน่วยบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน ซึ่งอาจนำไปสู่การบริโภคมากเกินไปและความเสี่ยงต่อสุขภาพ ไม่มีแนวทางปฏิบัติในการจำหน่ายอาหารพร้อมรับประทานที่ผสมกัญชา หรือบทลงโทษสำหรับการไม่ปฏิบัติตาม ทำให้เกิดช่องว่างด้านกฎระเบียบและการขาดการติดตามตรวจสอบผลข้างเคียง [2]

กระทรวงสาธารณสุขสนับสนุนการใช้กัญชาเพื่อการแพทย์เท่านั้น ไม่ใช้เพื่อการสูบ เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ หรือในทางที่ผิด อย่างไรก็ตามพบว่าคนไทยที่มีอายุมากกว่า 20 กว่า 7.5 ล้านคนมีการใช้กัญชาในปัจจุบัน [3] ดังนั้นการส่งเสริมการใช้กัญชาเพื่อการแพทย์และสุขภาพ โดยให้ความรู้ประชาชนเกี่ยวกับประโยชน์ ความเสี่ยง และการใช้ที่เหมาะสม ผสมผสานแนวทางปฏิบัติทางการแพทย์ทั้งแบบสมัยใหม่และแบบดั้งเดิม การบังคับใช้กฎระเบียบ รวมถึงกฎหมายการสูบบุหรี่ในที่สาธารณะและข้อจำกัดด้านอายุจึงมีความสำคัญ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความรู้เกี่ยวกับการใช้กัญชาทางการแพทย์ในกลุ่มวัยรุ่นจึงมีสำคัญทั้งเป็นการเฝ้าระวังและป้องกันการใช้ในทางที่ผิด อีกทั้งการนำไปสู่การมีส่วนร่วมในการปรับปรุงกฎหมายเพื่อสนับสนุนการใช้ทางการแพทย์ เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีความสำคัญ การวิเคราะห์นอกเหนือจากข้อมูลทางสถิติที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของปัจจัยโดยเฉพาะข้อมูลจากแบบสำรวจได้แก่ การเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree learning) ซึ่งมีขั้นตอนวิธีที่หลากหลาย สำหรับข้อมูลประเภทการสำรวจ ขั้นตอนวิธี CART เป็นขั้นตอนวิธีที่ได้รับการยอมรับในความน่าเชื่อถือและการแปลผล [4] มีการใช้ขั้นตอนวิธี CART ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการวินิจฉัยทางการแพทย์โดยการเรียนรู้รูปแบบผ่านข้อมูลที่รวบรวมเกี่ยวกับโรคตับอักเสบและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางการแพทย์อัจฉริยะเพื่อช่วยเหลือแพทย์ [5] ในงานวิจัยนี้ใช้การเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจโดยทำการเปรียบเทียบขั้นตอนวิธี C4.5 ขั้นตอนวิธี ID3 และขั้นตอนวิธี CART เพื่อจำแนกโรคเหล่านี้และเปรียบเทียบประสิทธิภาพ อัตราการแก้ไขระหว่างโรคเหล่านี้ พบว่าโมเดลที่ได้มาจาก CART ให้แบบจำลองที่มีความแม่นยำในการจำแนกที่ดีกว่าขั้นตอนวิธี C4.5 และ ขั้นตอนวิธี ID3 นอกจากนี้ยังมีการนำ ขั้นตอนวิธี CART วิเคราะห์ข้อมูลที่หลากหลายเช่น การวิเคราะห์ข้อมูลของระบบวิชาออนไลน์ (Massive Open Online Courses: MOOC) เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์การแพทย์ในมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด เพื่อค้นหาปัจจัยและความสำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลการทดสอบ การศึกษาพบว่าจำนวนคำถามทั้งหมด คะแนนการบ้าน และจำนวนแบบทดสอบสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการคาดการณ์ประสิทธิภาพได้ โดยแบบจำลองแผนผังการตัดสินใจที่สร้างขึ้นโดยขั้นตอนวิธี CART มีความแม่นยำถึง 90% [6]

นอกจากการค้นหารูปแบบหรือการจำแนกประเภทของข้อมูลได้มีการศึกษาการกำหนดวิธีการนำเสนองหลักสูตรโดยใช้ขั้นตอนวิธี CART กับข้อมูลของภาควิชาคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมสารสนเทศ มหาวิทยาลัย Qom Pun เพื่อกำหนดแนวทางการนำเสนอหลักสูตรของมหาวิทยาลัย [7] นอกจากนี้มีการศึกษาการประยุกต์ใช้ ขั้นตอนวิธี CART ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมการเกษตรโดยใช้ช่วยตัดสินใจว่าจะใช้ปุ๋ยและปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสม จากข้อมูลเวลาและสถานที่ ข้อมูลเกี่ยวกับพืชผล รวมถึงข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ในการสร้างระบบการแนะนำข้อมูลการตัดสินใจให้กับผู้ใช้โดยอัตโนมัติและชาญฉลาด มีการใช้งานและรับรองความตรงเวลาของข้อมูลและประสิทธิภาพการจัดการที่สูง [8]

2. กระบวนการวิจัย

กระบวนการบวนการวิจัยเริ่มจากการกำหนดจำนวนและกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นกำหนดเครื่องมืองานวิจัย รวมถึงการวิเคราะห์และสรุปผลโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ประชากรที่ศึกษา

ประชากรการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและอาชีวศึกษาในจังหวัดอุบลราชธานี กรณีศึกษาขนาดตัวอย่างกำหนดโดยใช้สูตรของโคแครน (Cochran Formula) ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$n_0 = \frac{Z^2 \cdot P \cdot (1-P)}{e^2}$$

โดยที่:

n_0 = ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

p = สัดส่วนของประชากรที่สนใจ

e = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

Z = ค่า Z ที่ระดับความเชื่อมั่น

การศึกษานี้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ที่ 5% และระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (Z = 1.96) โดยถือว่าสัดส่วนประชากรไม่ทราบค่า (p=0.5) จึงคำนวณขนาดตัวอย่างได้ดังนี้:

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot (1-0.5)}{(0.05)^2}$$

$$n_0 = \frac{3.8416 \cdot 0.25}{0.0025}$$

$$n_0 = \frac{0.9604}{0.0025} = 384.16$$

ดังนั้นขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้คือ 384.16 หรือประมาณเป็น 385

2.2 การสำรวจข้อมูล

การสำรวจข้อมูลดำเนินการผ่านการติดต่อผู้อำนวยการโรงเรียนเพื่อขออนุญาตแจกแบบสอบถามผ่านรหัส QR เพื่อกรอกผ่าน Google Forms ผู้เข้าร่วมสามารถถอนตัวจากการศึกษาได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องอธิบาย และข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บไว้เป็นความลับซึ่งสามารถเข้าถึงได้เฉพาะนักวิจัยเท่านั้น ผลการศึกษานำเสนอโดยรวมโดยไม่มีผลกระทบต่อผู้เข้าร่วม สำหรับผู้เยาว์ที่ศึกษาในชั้นมัธยมปลายมีการจัดทำแผ่นข้อมูลผู้เข้าร่วมเพื่อให้ผู้เข้าร่วมสามารถเข้าร่วมได้โดยไม่ต้องลงนามยินยอม แบบสอบถามไม่ได้รวบรวมชื่อหรืออีเมลเพื่อให้แน่ใจว่ามีความเป็นส่วนตัว โดยได้รับการตอบแบบสำรวจจำนวน 255 คน

2.3 เครื่องมือวิจัย

2.3.1 แบบสอบถาม

เครื่องมือวิจัยเป็นแบบสอบถามที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1: ข้อมูลทั่วไป ส่วนนี้มีคำถามปลายปิด 6 ข้อเกี่ยวกับเพศ อายุ สถาบัน และรายได้ต่อเดือน

ส่วนที่ 2: ความรู้เกี่ยวกับกัญชาทางการแพทย์และกัญชาในอาหาร ส่วนนี้มีคำถามปลายปิด 15 ข้อใน 4 โดเมน: ข้อบ่งชี้ของกัญชาทางการแพทย์ ผลข้างเคียง ประเด็นทางกฎหมาย และการใช้กัญชาในอาหาร คะแนนมีตั้งแต่ 0-15 แบ่งเป็น:

<60% (0-8 คะแนน): ความรู้ต่ำ

60-80% (9-12 คะแนน): ความรู้ปานกลาง

80% (13-15 คะแนน): ความรู้สูง

ส่วนที่ 3: ความรู้ด้านสุขภาพในการใช้กัญชา ส่วนนี้มีคำถามแบบมาตราส่วนลิเคิร์ต 15 ข้อใน 5 โดเมน: การเข้าถึงข้อมูลและบริการด้านสุขภาพ ความเข้าใจข้อมูล การประเมินข้อมูล การสื่อสารและการสนับสนุนทางสังคม และการจัดการสุขภาพตนเอง แบบสอบถามได้รับการปรับจากแบบวัดความรู้ด้านสุขภาพของไทย [9] โดยให้คะแนนตั้งแต่ 1 (น้อยที่สุด) ถึง 5 (มากที่สุด) โดยมีคะแนนรวม 75 คะแนน แบ่งเป็น

<60% (1-44 คะแนน): ความรู้ด้านสุขภาพต่ำ

60-80% (45-60 คะแนน): ความรู้ด้านสุขภาพปานกลาง

80% (61-75 คะแนน): ความรู้ด้านสุขภาพสูง

โดยมีการพิจารณาทางจริยธรรมของการศึกษานี้และได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (เลขที่ UBU – REC – 167/2566)

2.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ

แบบสอบถามได้รับการตรวจสอบความถูกต้องผ่านโครงการนำร่องโดย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งเกี่ยวข้องกับการตรวจสอบความถูกต้องจากผู้เชี่ยวชาญ (IOC ยอมรับ > 0.5) และการทดสอบความน่าเชื่อถือโดยใช้ค่าอัลฟ่าของครอนบาค (Cronbach's alpha) (>0.7 ถือว่ายอมรับได้) มีการศึกษานำร่องโดยใช้แบบสอบถามดังกล่าวกับผู้เข้าร่วม 30 คน ได้ค่าอัลฟ่าของครอนบาคที่ 0.702 ซึ่งบ่งชี้ความน่าเชื่อถือ.

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.1 การวิเคราะห์สถิติ

การวิเคราะห์โดยสถิติ ได้แก่ ความถี่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วม ความรู้เกี่ยวกับกัญชาทางการแพทย์ การใช้กัญชาในอาหาร และระดับความรู้ด้านสุขภาพ สถิติเชิงอนุมานโดยเฉพาะการทดสอบไคสแควร์ ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของกลุ่มตัวอย่างกับความรู้ด้านสุขภาพในการใช้กัญชาทางการแพทย์ ความรู้ด้านสุขภาพในการใช้กัญชาในอาหาร ประสบการณ์การใช้กัญชาในกลุ่มวัยรุ่นตอนปลาย และความเต็มใจที่จะลองกัญชาในกลุ่มวัยรุ่นตอนปลาย กำหนดระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการวิเคราะห์ทั้งหมด

2.4.2 การวิเคราะห์ CART Algorithm

CART เป็นคำย่อของ **C**lassification **A**nd **R**egression **T**rees โดยความหมายแสดงถึงความสามารถทั้งการจำแนกประเภทและการพยากรณ์ CART Algorithm เป็นวิธีการหนึ่งของ Machine Learning ที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่อาจมีจำนวนจำกัดและสามารถทำความเข้าใจผลการดำเนินงานได้ง่าย Algorithm นี้ทำงานโดยแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นชุดย่อยที่เล็กลงตามคุณลักษณะที่ลดของการ

วัดความไม่บริสุทธิ์ (Impurity) เช่น Gini impurity สำหรับการจำแนกประเภท หรือ Mean Squared Error (MSE) สำหรับการพยากรณ์ โดยการคำนวณ Gini impurity ใช้สมการ

$$Gini = 1 - \sum_{i=1}^{k} P_i^2$$

โดย Pi คือความน่าจะเป็นที่องค์ประกอบจะถูกจัดประเภทเป็นคลาส

สำหรับการพยากรณ์ CART ใช้ Mean Squared Error (MSE) เพื่อประเมินการแยก(Split) แนวคิดคือการลดความแปรปรวนของตัวแปรเป้าหมายภายในโหนดย่อยให้เหลือน้อยที่สุด โดยการคำนวณใช้สมการ

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y})^2$$

โดย y_i คือ ค่าจริงของตัวแปรเป้าหมายกลุ่ม i $\hat{y}$ คือค่าเฉลี่ยของค่าเป้าหมายสำหรับชุดข้อมูล N คือจำนวนกลุ่มในชุดข้อมูล

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.1.1 ข้อมูลทั่วไป

ผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่เป็นผู้หญิง (68.3%) มีผู้ชายเป็นสัดส่วนน้อย (30.2%) และมีบางคนที่ไม่ระบุเพศ (1.6%) อายุของผู้เข้าร่วมอยู่ระหว่างน้อยกว่า 15 ปีถึงมากกว่า 17 ปี โดยกลุ่มอายุที่ใหญ่ที่สุดคืออายุมากกว่า 17 ปี (35.7%) นักเรียนส่วนใหญ่เรียนในหลักสูตรการศึกษาทั่วไป (79.0%) ส่วนที่เหลือเรียนในหลักสูตรการศึกษาสายอาชีพ (21.0%) แหล่งรายได้หลักของผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่คือผู้ปกครอง (84.5%) โดยกลุ่มคนส่วนน้อยมีรายได้ของตนเอง (15.5%) รายได้ต่อเดือนแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่มีรายได้น้อยกว่า 3,000 บาท (34.5%) เกี่ยวกับประสบการณ์การใช้กัญชา ผู้เข้าร่วม 13.5% เคยใช้กัญชา โดย 4.4% เคยใช้กัญชาเพื่อการแพทย์ในรูปแบบต่างๆ เช่น สารสกัด การเตรียมแบบไทยดั้งเดิม หรือน้ำมัน ผู้ใช้กัญชาร้อยละ 12.3 บริโภคอาหารหรือเครื่องดื่มที่ผสมกัญชา และร้อยละ 2.4 ใช้กัญชาเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ โดยส่วนใหญ่ใช้ผ่านการสูบบุหรี่ ผู้ใช้ร้อยละ 3.2 รายงานผลข้างเคียง ได้แก่ ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ หัวใจเต้นเร็ว และหัวใจล้มเหลว ผู้ใช้ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 86.5) ไม่เคยใช้กัญชา และในจำนวนนี้ ร้อยละ 7.9 แสดงความเต็มใจที่จะลอง ในขณะที่ร้อยละ 78.6 ไม่ต้องการลองเนื่องจากความเสี่ยงต่อสุขภาพ ความกังวลทางกฎหมาย หรือผู้ปกครองไม่เห็นด้วย นอกจากนี้ ผู้ใช้ร้อยละ 39.3 เคยใช้สารอื่นๆ โดยส่วนใหญ่เป็นแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 23.8)

3.1.2 ความรู้เกี่ยวกับกัญชาทางการแพทย์และกัญชาในอาหาร

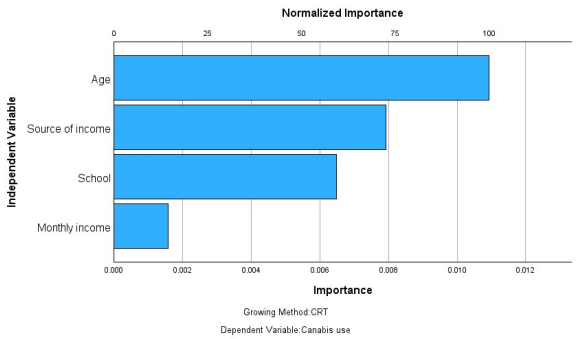
ผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่ (49.2%) มีความรู้ในระดับต่ำ ในขณะที่ 31.0% มีความรู้ในระดับปานกลาง และ 19.8% มีความรู้ในระดับสูง ผู้เข้าร่วมมีความรู้ปานกลางเกี่ยวกับผลเสียจากการใช้กัญชาทางการแพทย์ (63.1%) ในขณะที่ความรู้ในด้านอื่นๆ เช่น ข้อบ่งชี้และแนวทางการใช้กัญชาทางการแพทย์ (58.8%) กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับกัญชา (54.76%) และการใช้กัญชาในอาหาร (45.8%) อยู่ในระดับต่ำโดยทั่วไป โดยรวมแล้วคะแนนความรู้ทั้งหมดจัดอยู่ในประเภทต่ำ (54.5%)

3.1.3 ความรู้ด้านสุขภาพในการใช้กัญชา

ผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่มีความรู้ด้านสุขภาพในระดับปานกลาง (62.3%) รองลงมาคือระดับต่ำ (21.8%) และระดับสูง (15.9%) ผู้เข้าร่วมมีความรู้ด้านสุขภาพในระดับปานกลางในทุกด้าน รวมถึงการเข้าถึงข้อมูลและบริการด้านสุขภาพ (67.1%) การเข้าใจข้อมูลและบริการด้านสุขภาพ (68.62%) การประเมินข้อมูลและบริการด้านสุขภาพ (65.9%) การสื่อสารและการสนับสนุนทางสังคม (62.9%) และการจัดการตนเอง (65.2%) คะแนนความรู้ด้านสุขภาพโดยรวมโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 66.0% ซึ่งจัดอยู่ในประเภทปานกลาง

3.2 การวิเคราะห์โดย CART Algorithm

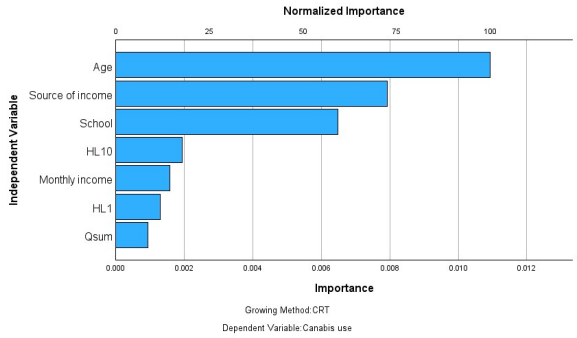
เมื่อกำหนดให้ตัวแปรที่สนใจได้แก่ การมีประสบการณ์การใช้กัญชา โดยกำหนดค่า Gini gain น้อยกว่า 0.25 พบว่าสำหรับข้อมูลพื้นฐานได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้ และความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้กัญชา ปัจจัยด้านอายุ (Age) มีผลมากที่สุดต่อการมีประสบการณ์การใช้กัญชา ปัจจัยรองลงมาได้แก่ แหล่งรายได้ สถานศึกษา และจำนวนรายได้ต่อเดือน โดยการแสดงค่า Normalized Importance ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดง Normalized Importance ของปัจจัยของข้อมูลพื้นฐาน

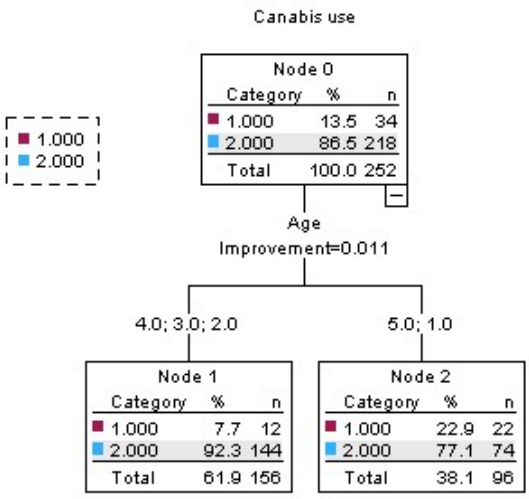
เมื่อนำข้อมูลพื้นฐาน ร่วมกับความรู้เกี่ยวกับกัญชาทางการแพทย์และกัญชาในอาหารและความรู้ด้านสุขภาพในการใช้กัญชามาทำการวิเคราะห์โดยกำหนดค่า Gini gain น้อยที่สุดเพื่อความน่าจะเป็นที่ผิดพลาดของการ Split โดยค่า 0.25 มีค่าความผิดพลาดที่ต่ำและยอมรับได้ จากผลการคำนวณพบว่า ปัจจัยด้านอายุ (Age) ยังเป็น

ปัจจัยที่สำคัญต่อการมีประสบการณ์การใช้กัญชา ปัจจัยรองลงมาได้แก่ แหล่งรายได้ สถานศึกษา ปฏิบัติตามคำแนะนำเกี่ยวกับกัญชาทางการแพทย์ จำนวนรายได้ต่อเดือน มีความสนใจเกี่ยวกับสุขภาพ และผลการตอบคำถามความรู้ด้านสุขภาพ โดยการแสดงค่า Normalized Importance ซึ่งแสดงลำดับของปัจจัยที่มีผลต่อปัจจัยที่สนใจ ตามรูปที่ 2



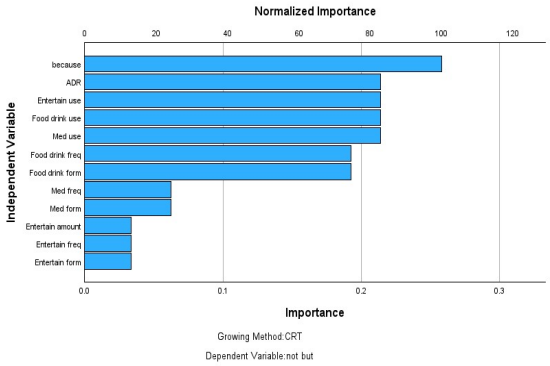
รูปที่ 2 แสดง Normalized Importance ของปัจจัยของข้อมูลพื้นฐานรวมกับความรู้เกี่ยวกับกัญชาทางการแพทย์และกัญชาในอาหารและความรู้ด้านสุขภาพในการใช้กัญชา

จากการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree) ที่แสดงถึงการ split ในแตละ Node ดังรูปที่ 3



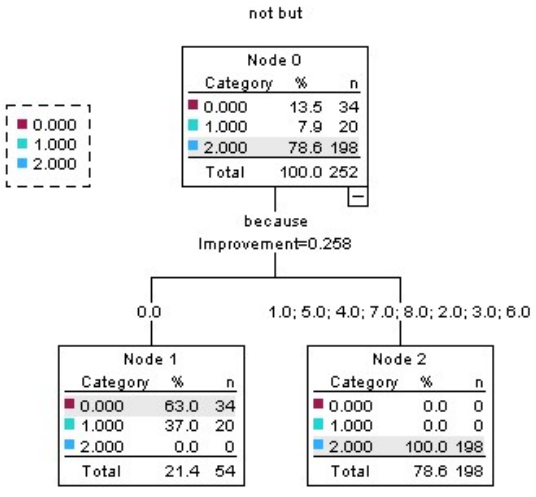
รูปที่ 3 ต้นไม้การตัดสินใจของตัวแปรที่สนใจได้แก่ การมีประสบการณ์การใช้กัญชา

เมื่อทำการวิเคราะห์เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยการกำหนดให้ตัวแปรที่สนใจได้แก่ การปฏิเสธการใช้กัญชา โดยกำหนดค่า Gini gain น้อยที่สุดเพื่อความน่าจะเป็นที่ผิดพลาดของการ Split โดยค่า 0.26 มีค่าความผิดพลาดที่ต่ำและยอมรับได้ จากผลการคำนวณพบว่าสำหรับข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้ ร่วมกับความรู้เกี่ยวกับกัญชาทางการแพทย์และกัญชาในอาหารและความรู้ด้านสุขภาพในการใช้กัญชา พบว่าปัจจัยที่มีผลมากที่สุดได้แก่ เหตุผล (Because) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์รองลงมาได้แก่ มีอาการแพ้ยา (ADR: Adverse Drug Reaction) ความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้ (Use) และ ความถี่ในการใช้ (Freq) อายุโดยการแสดงค่า Normalized Importance ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดง Normalized Importance ของปัจจัยของข้อมูลพื้นฐานรวมกับความรู้เกี่ยวกับกัญชาทางการแพทย์

จากการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree) ที่แสดงถึงการ split ในแต่ละ Node ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ต้นไม้การตัดสินใจของตัวแปรที่สนใจได้แก่ การปฏิเสธการใช้กัญชา

4. สรุป

ผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่เป็นผู้หญิง (68.3%) ซึ่งสะท้อนถึงแนวโน้มทั่วไปในการเข้าร่วมการสำรวจ โดยผู้หญิงมักจะตอบแบบสำรวจมากกว่าผู้ชาย การกระจายตามอายุแสดงให้เห็นว่ามีสัดส่วนนักเรียนที่มีอายุมากกว่า 17 ปีอย่างมีนัยสำคัญ (35.7%) โดยนักเรียนส่วนใหญ่ลงทะเบียนเรียนในหลักสูตรการศึกษาทั่วไป (79.0%) แหล่งรายได้หลักของผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่คือผู้ปกครอง (84.5%) โดยกลุ่มน้อยมีรายได้ของตนเอง (15.5%) ข้อมูลประชากรนี้เน้นถึงภูมิหลังทางเศรษฐกิจและสังคมและเส้นทางการศึกษาของผู้เข้าร่วม ซึ่งอาจส่งผลต่อความรู้และการรับรู้เกี่ยวกับกัญชาของพวกเขา

ความรู้เกี่ยวกับกัญชาทางการแพทย์และกัญชาในอาหาร โดยรวมแล้ว การศึกษาเผยให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมเกือบครึ่งหนึ่ง (49.2%) มีความรู้เกี่ยวกับกัญชาทางการแพทย์และกัญชาในอาหารต่ำ ซึ่งบ่งชี้ถึงช่องว่างความรู้ที่สำคัญในหมู่นักเรียน ซึ่งอาจเกิดจากทรัพยากรทางการศึกษาที่จำกัดหรือการได้รับข้อมูลเกี่ยวกับกัญชา ที่น่าสนใจคือ นักศึกษาจำนวนมาก (31.0%) มีความรู้ในระดับปานกลาง และกลุ่มที่เล็กกว่า (19.8%) มีความรู้ในระดับสูง ซึ่งบ่งชี้ถึงความหลากหลายในการเข้าถึงและการมีส่วนร่วมกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกัญชา เมื่อแบ่งความรู้ตามหมวดหมู่ พบว่าความรู้ในระดับสูงสุดอยู่ที่ผลเสียของการใช้กัญชาทางการแพทย์ (63.10%) ในขณะที่ด้านอื่นๆ เช่น ข้อบ่งชี้ในการใช้ แง่มุมทางกฎหมาย และกัญชาในอาหาร แสดงให้เห็นถึงระดับความรู้ที่ต่ำกว่า ซึ่งอาจมาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นในทันทีและรับรู้ได้ของการใช้กัญชาซึ่งมักถูกพูดถึงหรือพบเห็นในสื่อและการอภิปรายทางสังคมมากกว่า ในขณะที่ความรู้ทางกฎหมายและความรู้ทางการแพทย์เฉพาะทางอาจเข้าถึงได้น้อยกว่าสำหรับนักศึกษา

ความรู้ด้านสุขภาพเกี่ยวกับการใช้กัญชาโดยทั่วไปอยู่ในระดับปานกลางในหมู่ผู้เข้าร่วม (62.3%) ซึ่งบ่งชี้ว่าแม้ว่านักศึกษาจะมีความเข้าใจที่เหมาะสมเกี่ยวกับข้อมูลด้านสุขภาพและบริการที่เกี่ยวข้องกับกัญชา แต่ยังคงมีช่องว่างที่สำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไข ระดับความรู้ด้านการอ่านเขียนที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ความสามารถในการสื่อสารข้อมูลเกี่ยวกับกัญชาให้ผู้อื่นทราบ ซึ่งบ่งชี้ถึงความจำเป็นในการปรับปรุงทักษะการสื่อสารและระบบสนับสนุนในโรงเรียนเพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถสื่อสารและแบ่งปันข้อมูลด้านสุขภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาความสัมพันธ์ทั้งที่แยกข้อมูลเฉพาะข้อมูลทั่วไปในการวิเคราะห์และรวมข้อมูลความรู้เกี่ยวกับกัญชาพบว่าปัจจัยสามอันดับตรงกันโดยความสัมพันธ์ที่สำคัญมากที่สุดได้แก่ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของประชากรมีความสัมพันธ์กับการมีประสบการณ์การใช้กัญชา โดยหากอายุผู้เข้าร่วมระหว่าง 15-17 ปีจะพบว่าส่วนน้อยมีประสบการณ์การใช้กัญชา แต่หากอายุผู้เข้าร่วมน้อยกว่า 15 ปี หรือมากกว่า17 ปีจะพบว่าส่วนมากมีประสบการณ์การใช้กัญชา ปัจจัยรองลงมาที่มีความสัมพันธ์ได้แก่ แหล่งที่มาของรายได้ หากมีรายได้จากผู้ปกครองส่วนใหญ่จะมีประสบการณ์การใช้กัญชา ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ถัดลงมาได้แก่ สถานศึกษา โดยหากเป็นสถานศึกษาสายอาชีพจะมีมีประสบการณ์การใช้กัญชามากกว่าสายสามัญ

เมื่อทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการปฏิเสธการใช้กัญชาโดยหาความสัมพันธ์จากข้อมูลทั่วไปและข้อมูลความรู้เกี่ยวกับกัญชาพบว่าปัจจัยสามอันดับแรกที่มีความสัมพันธ์ที่สำคัญมากที่สุดได้แก่ ผู้เข้าร่วมสามารถระบุสาเหตุของการปฏิเสธการใช้กัญชา แสดงให้เห็นว่าหากผู้เข้าร่วมมีความเข้าใจต่อการใช้กัญชาจะสามารถเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสม ปัจจัยต่อมาได้แก่ การมีอาการแพ้ยา ซึ่งผู้เข้าร่วมในกลุ่มนี้รู้สถานะของสุขภาพของตนจึงทำให้มีความสัมพันธ์กับการปฏิเสธการใช้กัญชา ปัจจัยรองลงมาได้แก่ วัตถุประสงค์การมีประสบการณ์การใช้กัญชาเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ โดยพบว่าผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่ที่ปฏิเสธการใช้กัญชาเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ จะปฏิเสธการใช้กัญชาเช่นกัน จากการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมากำหนดกลุ่มเป้าหมายของการเฝ้าระวังและวิธีการให้ข้อมูลเพื่อให้เกิดประโยชน์จากการใช้กัญชาทางการแพทย์อย่างถูกต้อง

การศึกษานี้เผชิญกับข้อจำกัดเนื่องจากขนาดตัวอย่างที่รวบรวมได้ไม่ตรงตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ แม้ว่าจะมีการส่งคำเตือนเพื่อเพิ่มอัตราการตอบสนอง แต่ก็ไม่ได้จำนวนการตอบสนองที่ต้องการ ดังนั้นการใช้อัลกอริทึม CART จึงช่วยส่งเสริมการค้นหาสารสนเทศที่สำคัญและทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งการกำหนดรูปแบบและแนวทางการให้ความรู้เพื่อให้การใช้กัญชาเพื่อการแพทย์มีประโยชน์แก่ประเทศไทยต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้อำนวยการสถานศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสำรวจข้อมูลและคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีในการสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] A Gaudet L, Hogue K, Scott SD, et al., “Acute pediatric cannabis intoxication: A scoping review”, Journal of Child Health Care 28(1): 196-214, 2022

[2] รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล, อรภา สกุลพาณิชย์ และยุวดี วงษ์กระจ่าง, การใช้กัญชา-กัญชง เป็นอาหาร, คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, จัดพิมพ์และเผยแพร่โดยศูนย์วิชาการคุ้มครองผู้บริโภคด้านสุขภาพ (คคส.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[3] Jirawan Jayuphan, Sawitri Assanangkornchai, Wit Wichaidit, “Cannabis Use Behaviors and Related Harms among Adults in Thailand by Sex Assigned at Birth and Age Groups”, Journal of Health Science and Medical Research, Vol 43, No 1 (2025)

[4] Junqi Sun, Nianzu Jiang, Guang Sun, Wenbin Huang, “Analysis of CART Algorithms in Data Mining” 2nd International Conference on Machine Learning, Cloud Computing and

Intelligent Mining (MLCCIM), 25-29 July 2023, Jiuzhaigou, China.

[5] G. Sathyadevi, “Application of CART algorithm in hepatitis disease diagnosis”, 2011 International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), 03-05 June 2011, Chennai, India.

[6] Bing Xiao, Meiping Liang, Junliang Ma, “The Application of CART Algorithm in Analyzing Relationship of MOOC Learning Behavior and Grades”, International Conference on Sensor Networks and Signal Processing (SNSP), 2018.

[7] Zeynab Bakhshayeshian, Mehdi Khalili, “An suggested method to university courses presentation based on cart algorithm to pun universities”, 2nd International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI), 2015.

[8] Hui Yan, Haiyan Hu, Ping Yu, “A Study on Push Technology of Intelligent Agriculture Service Information Based on CART Algorithm”, International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS), 2019.

[9] Ungsinun Intarakamhang, Julaporn Khammungkul, Piya Boocha, “General health literacy scale for Thais and comparison between age groups”, Heliyon, Vol.8 (5), 2022.

อิทธิพลของระยะป้อน ความเร็วรอบและรัศมีเม็ดมีด ต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนรีดร้อน

Effects of feed spindle speed and tools radius on surface roughness of the hot-rolled carbon steel

สุขอังคณา แถลงกัณฑ์[1*] วิภาดา แย้มโกสุมภ์[1] กองพัน คุ้มไข่น้ำ[1] วีระสุนทร เคนกา[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
E-mail: sukangkana@kku.ac.th*

Sukangkana Talangkun[1*], Wipada Yeankosum[1], Kongphan Kumkainum[1] Weerasunthorn Kenka[1]
[1]Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
[2]Smart Industry Research, Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
E-mail: ienetwork2025@gmail.com *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะป้อน ความเร็วตัด และรัศมีเม็ดมีดตัด ต่อความหยาบผิวในงานกลึงของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง การตัดเป็นการกลึงด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี เครื่องมือตัดที่ใช้เป็นมีดเล็บคาร์ไบด์ การตัดแบ่งออกเป็นการตัดหยาบด้วยมีดเล็บอลูมินาเคลือบคาร์ไบด์เพื่อให้ได้ขนาดใกล้กับขนาดชิ้นงานสำเร็จ จากนั้นทำการกลึงละเอียด มีสภาวะการตัดดังนี้ ระยะป้อน 0.04-0.1 mm/rev ความเร็วรอบต่าง ๆ และรัศมีเม็ดมีดตัด 0.2-1.2 mm ผลการทดลองพบว่า เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 ค่าความหยาบผิว Ra มีค่าลดลงเมื่อค่าความเร็วรอบสูงขึ้น ส่วนเหล็กกล้า S45C ซึ่งมีความแข็งสูงกว่าพบว่า ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิตมีค่าลดลงเล็กน้อย อิทธิพลของระยะป้อนต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SS400 และ S45C ความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต และค่าความหยาบผิวสูงสุด มีค่าสูงขึ้นมีความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลกับระยะป้อน และความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต และค่าความหยาบผิวสูงสุด มีค่าลดลงเมื่อรัศมีเม็ดมีดเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กับรัศมีเม็ดมีดแบบโพลิโนเมียล ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการปรับความเร็วของแกนหมุนและอัตราป้อนให้เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการบรรลุผิวสำเร็จที่ต้องการในกระบวนการตัดเฉือน การศึกษาวิจัยเพิ่มเติมอาจสำรวจปฏิสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์เหล่านี้เพื่อ เพิ่มประสิทธิภาพการตัดเฉือนโดยรวมและคุณภาพพื้นผิวของเหล็กเกรดต่าง ๆ

คำสำคัญ: การกลึง, ความเร็วรอบ, ระยะป้อน, ความหยาบผิว, เหล็กกล้าคาร์บอน

Abstract

This research aimed to study the influence of feed, cutting speed, and insert radius on surface roughness in low and medium-carbon steel. The turning operation was performed using a CNC lathe machine. The cutting tool used was coated carbide cutters. The cutting was divided into rough cutting with alumina-coated carbide cutters to obtain a size close to the finished workpiece size and then finished turning with carbide tools with feeds ranging from 0.04 to 0.1 mm/rev, different spindle speeds, and insert radii ranging from 0.2 to 1.2 mm. The experimental results showed that the arithmetic mean deviation of roughness profile (Ra) of low carbon steel SS400 slightly decreased with increasing spindle speed, while the Ra of S45C steel, which has higher hardness, slightly reduced. The result of the Total height of roughness profile (Rt) also has a similar trend with Ra. The influence of feed on surface roughness of SS400 and S45C steel. The increasing surface roughness Ra and Rt have a polynomial relationship with the feed, and the decreasing surface roughness Ra and Rt have a polynomial relationship with the insert radius. The findings suggest that optimizing both spindle speed and feed rate is crucial for achieving desirable surface finishes in machining operations. Further investigations could explore the interactions between these parameters to enhance the overall machining efficiency and surface quality of different steel grades.

Keywords: turning process, spindle speed, feed, surface roughness, carbon steels

1. บทนำ

กระบวนการตัดเฉือนที่เสียเศษ เช่น การกลึง มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตเป็นอย่างมาก คุณภาพผิวของชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิ ชนิดของวัสดุที่ถูกตัดเฉือน ชนิดของเครื่องมือตัด สภาวะการตัด ในงานกลึงมีปัจจัยซึ่งได้แก่ ความเร็วรอบ ความลึกการตัด ระยะป้อน และรัศมีมีดตัด ตลอดจนการหล่อเย็นและแต่ละเครื่องมือตัดจะแตกต่างกันออกไป เนื่องจากเครื่องมือตัดจะมีความแข็งแรงที่ต่างกัน และวัสดุที่แตกต่างกันจะมีสมบัติเชิงกล ความแข็งและโครงสร้างจุลภาคที่ต่างกันจึงส่งผลต่อความต้านทานแรงเฉือนในการตัด

ความหยาบผิว หมายถึง ขนาดความขรุขระของผิว เป็นดัชนีสำคัญที่บ่งชี้คุณภาพของผิวงานหลังการตัดเฉือน ความหยาบผิวมีผลต่ออายุการใช้งานของชิ้นงาน ความต้านทานการล้า ความต้านทานการกัดกร่อนและความต้านทานการคืบ หากผิวงานไม่เรียบจะส่งผลถึงความต้านทานการแตกร้าวจากการสะสมความเค้นที่ผิว และยังส่งผลต่อต้นทุนกรผลิตอีกด้วย หากค่าความหยาบผิวถูกต้อง ชิ้นงานจะมีค่าความเผื่อที่เหมาะสม จะช่วยลดเวลาในการประกอบ และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ค่าความหยาบผิวที่นิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมและการเขียนแบบ คือ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean deviation of roughness profile) ใช้สัญลักษณ์ Ra เป็นค่าที่นิยมใช้เพื่อเปรียบเทียบความหยาบผิวเป็นค่าที่วัดพื้นที่โปรไฟล์จากการวัดโดยการแบ่งออกเป็นส่วนย่อยหารด้วยความยาวการวัดของแต่ละช่วงแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ทำให้ทราบความหยาบผิวในภาพรวม และค่าความหยาบผิวสูงสุด (Total height of roughness profile) ใช้สัญลักษณ์ Rt เป็นค่าที่บ่งชี้ความขรุขระของผิว โดยจะวัดจากยอดที่สูงที่สุดถึงจุดหรือร่องที่ต่ำที่สุด

รัศมีเม็ดมีดเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความหยาบผิว ซึ่งรัศมีเม็ดมีดบ่งชี้มุมส่วนปลายคมตัด โดยทั่วไปเมื่อต้องการตัดหยาบ ความเร็วตัดสูงหรือความลึกมาก ควรใช้รัศมีเม็ดมีดสูง นั่นคือมีความโค้งมนเพื่อให้ความแข็งแรง ส่วนการตัดละเอียดนิยมใช้อัตราป้อนต่ำความลึกต่ำเพื่อให้ผิวงานให้มีความเรียบสูงสามารถเลือกใช้มีดที่มีรัศมีน้อยหรือปลายแหลมกว่าได้ Bartarya and Choudhury (2012) ได้เสนอแนะว่าสำหรับกลึงที่ผลิตด้วยคาร์บอนไนไตร์ด (CBN) ที่ใช้ในการกลึงแบบแข็ง การเตรียมรัศมีขอบของเครื่องมือตัดถือเป็นสิ่งสำคัญสำหรับทั้งประสิทธิภาพของเครื่องมือและคุณภาพของชิ้นส่วนที่ผ่านการกลึง [1] Zhao *et al.* (2017) ได้ให้คำแนะนำว่า การเปลี่ยนแปลงของรัศมีเม็ดมีดอาจส่งผลต่อการก่อตัวของเศษ ความหนาของเศษขั้นต่ำ แรงตัด การสึกหรอของเครื่องมือ และอายุการใช้งานของเครื่องมือ และอาจส่งผลต่อเสถียรภาพของกระบวนการและคุณภาพของกระบวนการด้วย ดังนั้นจำเป็นต้องประเมินรัศมีขอบก่อนดำเนินการทดลองเพื่อให้แน่ใจว่ารัศมีขอบมีความสม่ำเสมอและมีเสถียรภาพของกระบวนการ [2] Singh และ Venkateswara Rao, (2007) ศึกษาผลกระทบของรูปทรงของเครื่องมือ (มุมคายที่มีประสิทธิภาพและรัศมีปลายแหลม) และสภาวะการตัด (ความเร็วตัดและอัตราป้อน) ต่อความหยาบของพื้นผิวระหว่างการกลึงเหล็ก AISI 52100 (58 HRC) ที่มีชิ้นส่วนเซรามิกผสม ผู้เขียนใช้วิธีพื้นผิวผลตอบ(Response surface methodology, RSM) และอัลกอริทึมทั่วไป (Generic Algorithms) เพื่อสร้างฟังก์ชันการถดถอยบนความหยาบของพื้นผิวและปรับกระบวนการตัดให้เหมาะสมที่สุด ผลลัพธ์ระบุว่าความหยาบของพื้นผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมคายเชิงลบที่มีประสิทธิภาพ อัตราการป้อนเพิ่มขึ้น และเมื่อรัศมีปลายแหลมและความเร็วตัดเพิ่มขึ้น ความหยาบของพื้นผิวจะลดลง [3] และในงานวิจัยของ Devendra Singh et al (2016) พบว่าจากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของความหยาบของพื้นผิวพบว่ารัศมีจมูกเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด รองลงมาคือฟีด กราฟพื้นผิว 3 มิติของ Response Surface Methodology แสดงให้เห็นว่ารัศมีจมูกส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความหยาบของพื้นผิว [4]

การตัดเฉือนเหล็กกล้าในอุตสาหกรรมมีความสำคัญต่อต้นทุนและเวลาในกระบวนการผลิต เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตามมาตรฐาน JIS ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ เหล็กกล้า SS400 ย่อมาจาก steel structure 400 โดยค่า 400 หมายความถึง ค่าความต้านทานแรงดึง 400 เมกะปาสกาล มีค่าความแข็งประมาณ 160 HB มีปริมาณคาร์บอนไม่เกินร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก สามารถใช้ได้ทั้งงานโครงสร้างและงานตกแต่ง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างทั่วไป มีคุณสมบัติในการเชื่อมที่ดี ใช้ในการก่อสร้าง หรือใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เหล็กกล้า S45C เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง โดย C แทนธาตุคาร์บอน และ 45 คือปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ร้อยละ 0.45 โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน JIS เหล็ก S45C มีคาร์บอนระหว่างร้อยละ 0.42-0.48 ใกล้เคียงกับเกรด AISI1050 มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 195-240 HB มีสมบัติที่เด่น คือ สามารถชุบแข็งได้ง่าย ทนทานการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับ ทำชิ้นส่วนหรือโครงสร้างของแม่พิมพ์ และงานทั่วไป ในกระบวนการผลิตเหล็กกล้าทั้งสองมักต้องกระบวนการตัดเฉือน โดยเฉพาะงานชิ้นส่วนเพลาที่ต้องการคุณภาพผิวที่มีคุณภาพ ผิวเรียบตามขนาดชิ้นงานตามแบบ นอกจากจะต้องตัดเฉือนให้ได้ขนาดตามแบบแล้วผู้ปฏิบัติงานยังจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับสัญลักษณ์ความหยาบผิว โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นงานที่ต้องมีการสวมอัด เช่น แพลา และชิ้นส่วนต่าง ๆ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง Abbas A T et al. (2016) ได้ทำการทดสอบอิทธิพลของปัจจัยการกัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงต่อความหยาบผิว พบว่าค่า Ra ขึ้นกับความเร็วรอบ ความลึกการตัด และอัตราป้อน โดยที่ค่าอัตราป้อนจะมีผลกระทบมากที่สุด ตามด้วยความลึกการตัด ส่วนค่า Rt ปัจจัยด้วยอัตราป้อนจะมีผลมากที่สุดตามมาด้วยความลึกการกัด [5] Rangmanath et al. (2014) ได้ใช้เทคนิคพื้นผิวผลตอบ (response surface methodology, RSM) ในการศึกษาปัจจัยสภาวะงานกลึงเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึง พบว่า การเพิ่มความเร็วตัดและลดระยะป้อน จะทำให้ค่าความหยาบผิวลดลง [6] Yasir M. et al. (2016) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความเร็วตัดและระยะป้อนต่อความหยาบผิวของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L ด้วยการกัด

โดยใช้เครื่องมือตัดชนิดทังสเตนคาร์ไบด์ โดยใช้เทคนิคพื้นผิวผลตอบ (response surface methodology, RSM) เนื่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316Lใช้ในงานด้านการแพทย์ ดังนั้น ความหยาบผิวจึงเป็นปัจจัยสำคัญ ผลการวิจัยพบว่า ย่านความเร็วตัด 80-120 เมตรต่อนาที ไม่มีผลต่อความหยาบผิว ในขณะที่ระยะป้อนย่าน 0.1-0.14 มิลลิเมตรต่อรอบส่งผลให้ความหยาบผิวเฉลี่ย Ra มีค่าสูงขึ้น [7] ในงานวิจัยของ Kumar N.S. et al.(2012) ได้ทำการทดสอบปัจจัยการกลึงต่อเหล็กเจือ พบว่าความหยาบผิวขึ้นกับความเร็วรอบและอัตราป้อน ความหยาบผิวมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราป้อนและความเร็วรอบต่ำ [8] จะเห็นได้ว่า ในสภาวะการตัดที่ต่างกัน ค่าความหยาบผิวจะมีค่าขึ้นกับสภาวะการตัดและชนิดของชิ้นงาน ในงานวิจัยของ Surya (2024) การใช้เครื่องมือคาร์ไบด์เคลือบทำให้สามารถกลึงเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316 L ได้ อัตราการตัด 100, 150 และ 200 ม./นาที 0.10, 0.15 และ 0.20 มม./รอบ และ 0.2, 04 และ 0.6 มม. ตามลำดับ ถูกนำมาใช้เพื่อปรับอัตราป้อนและความลึกของการตัด RSM ถูกนำมาใช้ในกระบวนการออกแบบการทดลอง ตามผลการศึกษา ANOVA พบว่าอัตราป้อนมีความสัมพันธ์กับแรงตัดและความหยาบของพื้นผิว ในขณะที่ความเร็วในการตัดมีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานและอายุการใช้งานของเครื่องมือ [9]

ดังนั้นบทความนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของระยะป้อน ความเร็วตัด และรัศมีเม็ดมีดตัด ต่อความหยาบผิวในงานกลึงละเอียดของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เครื่องมือตัดที่ใช้เป็นมีดเล็บคาร์ไบด์ ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้จะเป็นข้อมูลในการตัดสินในเลือกสภาวะการตัดที่เหมาะสมในการกลึง

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

เพลาเหล็กกล้าคาร์บอนรีดร้อนเกรด SS400 เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เทียบเท่า AISI1020 องค์ประกอบทางเคมี <0.2C, <1.4Mn และเหล็กกล้า S45C เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางองค์ประกอบทางเคมี 0.42-0.48C 0.5-0.8Mn 0.17-0.37Si), 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm เม็ดมีดที่ใช้สำหรับกลึงหยาบเป็นเม็ดมีดคาร์ไบด์เคลือบด้วยอะลูมินา รูปร่างข้าวหลามตัด รัศมีเม็ดมีด 0.4 mm (DNMG150408-TMT9125) ส่วนเม็ดมีดกลึงละเอียด เป็นเม็ดมีดคาร์ไบด์ (carbide) รูปร่างข้าวหลามตัด รัศมี 0.2 mm (VNMG160402-FPMC6015)

2.2 การกลึง

2.2.1 การศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและระยะป้อน

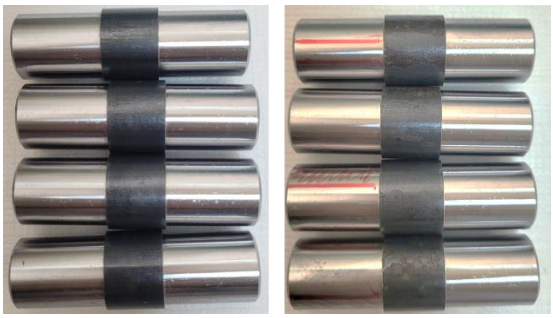
ชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm ทุกชิ้นตัดเป็นท่อนยาว 10 cm นำไปกลึงหยาบลดขนาดเหลือ 24 mm และกลึงละเอียดให้เหลือเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 mm ด้วยเครื่อง CNC turning machine (HAAS ST20, USA) ด้วยสภาวะการตัด ดังตารางที่ 1 และ 2 การตัดทุกชิ้นงานใช้สารหล่อเย็นโดยมีส่วนผสมน้ำมันหล่อเย็นร้อยละ 10 ชิ้นงานที่ผ่านการกลึงละเอียดแล้วเป็นดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะการตัด ของเหล็กกล้า SS400

สภาวะการตัด	ความลึกตัด (mm)	รัศมีเม็ดมีด (mm)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะป้อน (mm/rev)
หยาบ	0.4	0.4	1969	0.24
ละเอียด	0.2	0.2	1989, 2264, 2538	0.04, 0.07, 0.1

ตารางที่ 2 สภาวะการตัด ของเหล็กกล้า S45C

สภาวะการตัด	ความลึกตัด (mm)	รัศมีเม็ดมีด (mm)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะป้อน (mm/rev)
หยาบ	0.4	0.4	1969	0.24
ละเอียด	0.2	0.2	3,114, 3,543 3,972	0.04, 0.07, 0.1



(a) (b)

รูปที่ 1 ชิ้นงานหลังการกลึงเหล็กกล้า (a) SS400 (b) S45C สำหรับศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบและระยะป้อน

2.2.2 การศึกษาอิทธิพลของรัศมีเม็ดมีด

ชิ้นงาน SS400 เส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm ทุกชิ้นตัดเป็นท่อนยาว 10 cm นำไปกลึงหยาบลดขนาดเหลือ 38 mm และกลึงละเอียดให้เหลือเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 mm ดังแสดงในรูปที่ 2 สภาวะการตัดละเอียดด้วยความเร็วรอบ 2610 rpm (ความเร็วตัด 295 m/min) ระยะป้อน 0.1 mm/rev และความลึกการตัด 0.2 mm คงที่ รัศมีเม็ดมีด 0.2, 0.4, 0.8 และ1.2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 ชิ้นงานเหล็กกล้าที่ใช้ทดสอบอิทธิพลของรัศมีเม็ดมีด



รูปที่ 3 เม็ดมีดที่ใช้ในการทดลอง จากซ้ายไปขวา เรียงค่ารัศมีเรียงจากน้อยมาก

2.2.3 การวัดค่าความหยาบผิว

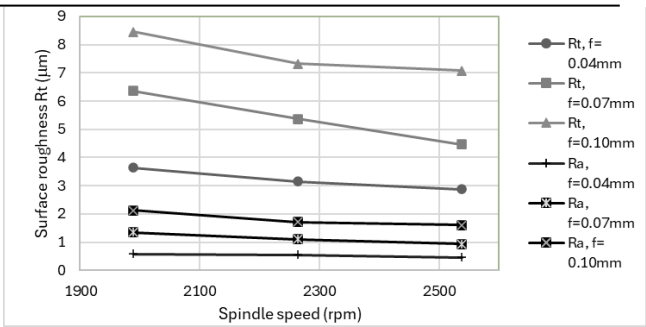
นำชิ้นงานไปวัดค่าความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวแบบหัวลาก roughness tester (SR400 Starrett, UK) สภาวะการทดสอบความยาว 4 มิลลิเมตร จากนั้น บันทึกค่า Ra และ Rt ตามมาตรฐาน ASME B46.1 ทำการทดสอบ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

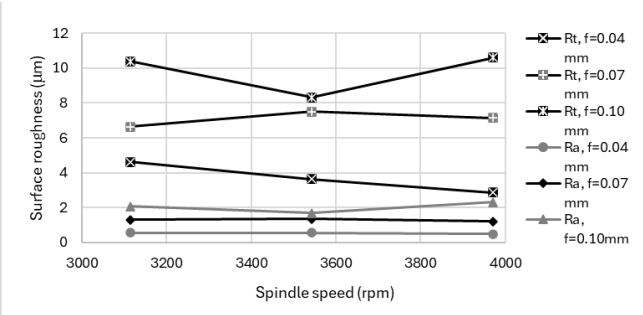
3.1 อิทธิพลของความเร็วรอบต่อความหยาบผิว

กราฟอิทธิพลของความเร็วรอบและระยะป้อนของเหล็กกล้า SS400 และ S45C แสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ จากรูปที่ 4 อิทธิพลของความเร็วรอบของเหล็กกล้า SS400 และจะเห็นว่า ค่าความหยาบผิวมีค่าลดลงเมื่อค่าความเร็วรอบสูงขึ้น ค่า Ra จะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ค่า Rt จะลดลงมากกว่า และพบว่า เมื่อระยะป้อนสูงความหยาบผิวจะลดลงมากเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น

ส่วนเหล็กกล้า S45C ซึ่งมีความแข็งสูงกว่าเนื่องจากมีเฟสเพริลไลต์ในปริมาณสูงกว่า ผลการทดลองพบว่า ค่า Ra มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ส่วนค่า Rt เมื่อ ระยะป้อนต่ำ 0.04 mm/rev ความหยาบผิวมีค่าสัมพันธ์กับทั้งความเร็วรอบและระยะป้อน เมื่อระยะป้อนสูงขึ้นเป็น 0.07 ความหยาบผิวมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น



รูปที่ 4 อิทธิพลของความเร็วรอบต่อความหยาบผิว Ra และ Rt ของเหล็ก SS400

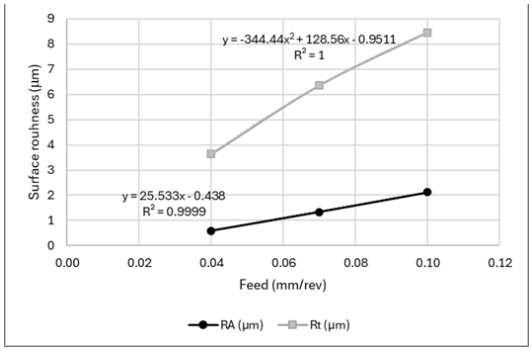


รูปที่ 5 อิทธิพลของความเร็วรอบต่อความหยาบผิว Ra และ Rt ของเหล็ก S45C

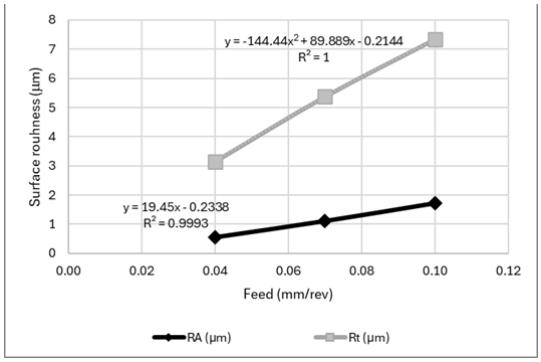
3.2 อิทธิพลของระยะป้อนต่อความหยาบผิว

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของระยะป้อนต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SS400 อิทธิพลของระยะป้อนต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SS400 พบว่า ค่าความหยาบผิว Ra และ Rt ของเหล็ก SS400 สูงขึ้นเมื่อค่าระยะป้อนมีค่าสูงขึ้นสอดคล้องกับผลวิจัยของ Kumar et al., (2012) [8] โดยที่ค่า Ra มีค่าเพิ่มขึ้นและมีความสัมพันธ์กับระยะป้อนแบบเส้นตรง ส่วนค่า Rt มีค่าสูงขึ้นและมีความสัมพันธ์กับระยะป้อนแบบโพลิโนเมียล

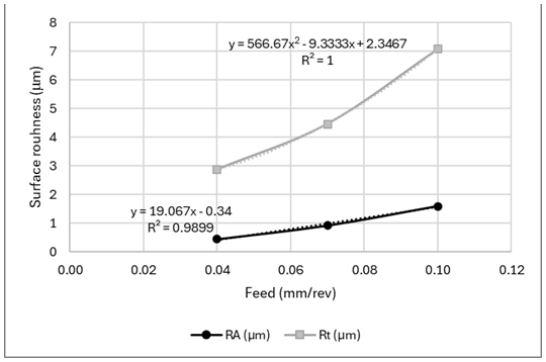
ส่วนเหล็ก S45C อิทธิพลของระยะป้อนต่อความหยาบผิวแสดงในรูปที่ 5 จากผลการทดลองพบว่าทั้งค่า Ra และ Rt มีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะป้อนสูงขึ้น ความหยาบผิวมีความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลกับระยะป้อน ที่ความเร็วรอบต่างกัน ส่งผลให้สมการความสัมพันธ์ต่างกัน ทั้งนี้ค่า ระยะจะส่งผลต่อ Rt สูงกว่าค่า Ra ทั้งนี้เนื่องจากค่า Ra เป็นค่าเฉลี่ยนของระยะย่อย ส่วนค่า Rt เป็นระยะจากจุดยอดถึงจุดต่ำสุด ซึ่งจะมีความแตกต่างกันมากกว่า ค่า Rt ของระยะป้อนที่ 0.1 มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นอาจเนื่องมาจากเนื้อวัสดุหรือจากการสั่นสะเทือนในการกลึง



(a)

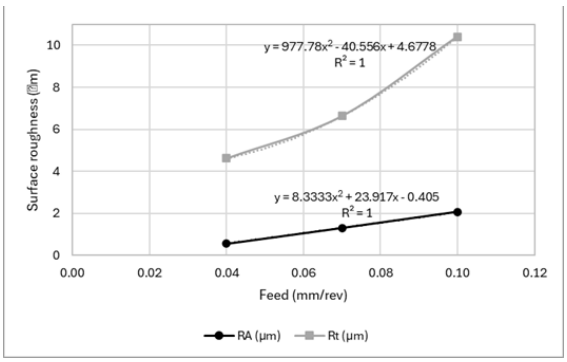


(b)

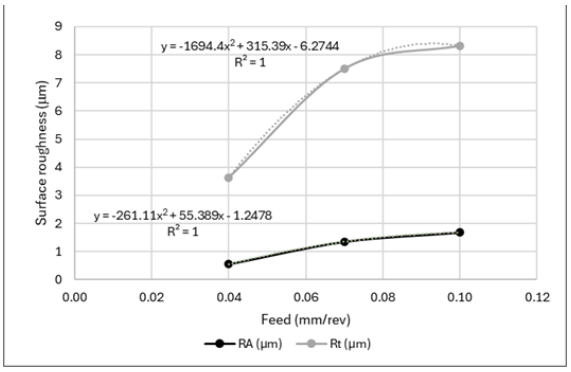


(c)

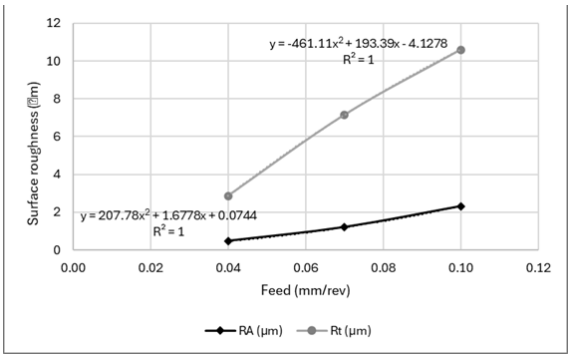
รูปที่ 6 อิทธิพลของระยะป้อนต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SS400 ณ ความเร็วรอบ (a) 1989 rpm (b) 2264 rpm (c) 2538 rpm



(a)



(b)



(c)

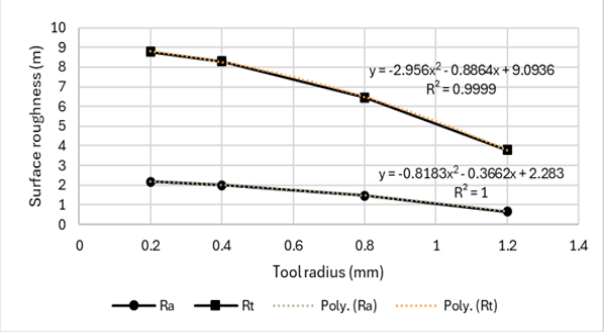
รูปที่ 7 อิทธิพลของระยะป้อนต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า S45C ณ ความเร็วรอบ (a) 3114 rpm (b) 3543 rpm (c) 3972 rpm

จากรูปที่ 6 และรูปที่ 7 แสดงอิทธิพลของระยะป้อนต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SS400 และเหล็กกล้า S45C เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น พบว่าทั้งค่าRa และ ค่าRt มีค่าเพิ่มขึ้นและมีความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของความเร็วรอบและระยะป้อนทั้งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 และเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C ในรูปที่ 6 และ รูปที่ 7 จะพบว่า ความเร็วรอบจะส่งผลต่อความหยาบผิว

มากกว่า ซึ่งจากผลการทดลองยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Yasir et al (2016) ที่ได้ทำการกัดเหล็กกล้าไร้สนิม 316L และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเร็วตัดและระยะป้อน ได้เสนอว่าระยะป้อนมีอิทธิพลต่อความหยาบผิวมากกว่าอิทธิพลของความเร็วตัด [7]

3.3 อิทธิพลของรัศมีเม็ดมีดต่อความหยาบผิว

อิทธิพลของรัศมีเม็ดมีดต่อค่าความหยาบผิวของเหล็กกล้า SS400 แสดงดังรูปที่ 8 จะเห็นว่า ค่าความหยาบผิว Rt มีค่าลดลงมากเมื่อรัศมีเม็ดมีดเพิ่มขึ้น ส่วนค่า Ra มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย โดยทั้งสองค่ามีความสัมพันธ์กับรัศมีเม็ดมีดแบบโพลิโนเมียล สภาวะการตัดที่กำหนดความเร็วรอบ 2610 rpm (ความเร็วตัด 195 m/min) ระยะป้อน 0.1 mm/rev และความลึกการตัด 0.2 mm ถือได้ว่ามีความเร็วตัดสูง อัตราป้อนสูง ความลึกต่ำ เหมาะกับการกลึงละเอียด ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อรัศมีเม็ดมีดสูงขึ้น มีดจะมีความแข็งแรงสูงขึ้น ในการตัดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ จึงควรเลือกเม็ดมีดที่มีความโค้งมนสูง รัศมีเม็ดมีด 1.2 mm ในการตัด จะทำให้ได้ผิวที่ละเอียดกว่าเม็ดมีดแหลม แต่หากการตัดที่ระยะป้อนต่ำกว่า 0.1 mm/rev อาจพิจารณาเม็ดมีดที่รัศมีต่ำกว่าได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh และ Venkateswara Rao (2007) ที่พบว่าความหยาบผิวต่ำสุดที่ได้จากการตัดในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้จากการใช้รัศมีเม็ด1.2 mm



รูปที่ 8 อิทธิพลของรัศมีเม็ดมีดต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SS400

4. สรุป

จากการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้า SS400 และ S45C ด้วยคาร์ไบด์ โดยมีสภาวะการตัด ระยะป้อน 0.04-0.1 mm/rev ความเร็วรอบต่าง ๆ และรัศมีเม็ดมีดตัด 0.2-1.2 mm สามารถสรุปผลได้ดังนี้ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 ค่าความหยาบผิว Ra มีค่าลดลงเมื่อค่าความเร็วรอบสูงขึ้น ส่วนเหล็กกล้า S45C ซึ่งมีความแข็งสูงกว่าพบว่า ค่า Ra มีค่าลดลงเล็กน้อย อิทธิพลของระยะป้อนต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้า SS400 และ S45C ความหยาบผิว Ra และ Rt มีค่าสูงขึ้นมีความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลกับระยะป้อน ระยะป้อนมีผลกับค่า Rt มากกว่าค่า Ra ระยะป้อนส่งผลต่อค่าความหยาบผิวมากขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ค่าความหยาบผิว Ra และ Rt มีค่าลดลงเมื่อรัศมีเม็ดมีดเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กับรัศมีเม็ดมีดแบบโพลิโนเมียล คำแนะนำการเลือกใช้ตัวแปรการตัดที่เหมาะสมสำหรับเหล็กกล้า SS400 ด้วยเม็ดมีดคาร์ไบด์ ควรใช้เม็ดมีดรัศมีใหญ่ ความเร็วรอบสูงกว่า 2500 rpm ระยะป้อนไม่เกิน 0.04 mm ส่วน S45C ซึ่งมีความแข็งกว่า ควรใช้เม็ดมีดรัศมี 1.2 mm ความเร็วรอบสูงกว่า 3500 rpm ระยะป้อนไม่เกิน 0.04 mm

5. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยที่สามารถทำต่อยอดในอนาคต อาจศึกษาอิทธิพลของการตัดในสภาวะกลึงแห้ง สภาวะการอบชุบ และวัสดุอื่นๆ เช่น อลูมิเนียมเจือเพิ่มขึ้นในอนาคตและใช้เม็ดมีดแบบอื่นๆ เพื่อให้สามารถเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสม

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในการให้ความอนุเคราะห์เครื่องกลึง CNC และอุปกรณ์และวัสดุในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Bartarya G, Choudhury SK (2012) State of the art in hard turning[J]. Int J Mach Tools Manuf 53(1):1–14

[2] T. Zhao, J.M. Zhou,, V. Bushlya, *et al.* Effect of cutting edge radius on surface roughness and tool wear in hard turning of AISI 52100 steel. *Int J Adv Manuf Technol* **91**, 3611–3618 (2017). https://doi.org/10.1007/s00170-017-0065-z

[3] D., Singh, P., Venkateswara Rao, Optimization of tool geometry and cutting parameters for hard turning. *Mater Manuf Process* 2007; 22(1): 15–21.

[4] D., Singh, V., Chadha and Singari R. M., 2016, Effect of nose radius on surface roughness during CNC turning using response surface methodology, International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering (IJMECH), 5(2): 31-45

[5] A. T. Abbas, A. E. Ragab, E. A., Al Bahkali, & E. A. El Danaf, 2016. Optimizing Cutting Conditions for Minimum Surface Roughness in Face Milling of High Strength Steel Using Carbide Inserts. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2016*(1), 7372132. https://doi.org/10.1155/2016/7372132

[6] M. S. Ranganath, Vipin, Harshit, 2014, Optimization of Process Parameters in Turning Operation Using Response Surface Methodology: A Review, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 4(10). https://doi.org/10.1155/2016/7372132

[7] M. Yasir, T. L. Ginta, B. Ariwahjoedi, A.U. Alkali, and M. Danish, 2016, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 11(4):2496-2500.

[8] N.S. Kumar, A. Shetty, A. Shetty, K. Ananth, H Shetty, 2012, Effect of spindle speed and feed rate on surface roughness of carbon steels in CNC turning, Procedia Engineering, 38: 691-697.

[9] M. Surya, 2024, Optimization of machining parameters while turning AISI316 stainless steel using response surface methodology. *Sci Rep* **14**, 30083, https://doi.org/10.1038/s41598-024-78657-z

การสร้างและประเมินประสิทธิภาพเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก สำหรับหัตถกรรมจักสานผลิตภัณฑ์กระจูด กรณีศึกษากลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส

Fabrication and Performance Evaluation of a Rope Twisting Machine from Sedge Plants for Handicraft Krajood Products The Case Study of The Krajood Ban Thon Product Group Narathiwat Province.

ศอลีฮีน ยูโซะ[1*] ปรุพห์ มะยะเฉี่ยว[2] พลากร พรหมเมศร์[3] กรสิริณัฐ โรจนวรรณ์[4] อลิสา มะเซ็ง[5]
[1]นักศึกษาปริญญาโท สาขาการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[4]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[5]กองพัฒนานักศึกษา สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
E-mail: 6691203008@pnu.ac.th*

Sholiheen Yusoh[1*], Paroon Mayachearw[2], Palakorn Prommet[3], Kornsirinut Rothjanawan[4], Alisa Mahseng[5]
[1]Master's degree student Technology and Innovation Management, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
[3]Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
[4]Major of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
[5] Division of Student Fair of Princess of Naradhiwas University
E-mail: 6691203008@pnu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก สำหรับหัตถกรรมจักสานผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส แก้ปัญหาการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกแบบดั้งเดิม ที่ยังขาดประสิทธิภาพและความปลอดภัยในฟั่น ทำการออกแบบเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากกกต้น กกซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ โครงสร้างเครื่อง ชุดหัวฟั่นเกลียวเชือก ระบบส่งกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ และตะขอจับยึดท้ายเครื่อง ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องที่ความเร็วรอบชุดฟั่นเกลียว 3 ระดับ คือ 160 , 260 , 360 รอบ/นาที ผลการทดสอบพบว่า สภาวะการทำงานของเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกที่เหมาะสมของความเร็วรอบชุดฟั่นเกลียวที่ 260 รอบ/นาที ทำการประเมินประสิทธิภาพการทำงานที่เหมาะสมของเครื่อง โดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส ได้ประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$ = 4.46 , S.D.= 0.51) เครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกหลังทำงาน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0288 kWh คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.120 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.6 เดือน และจุดคุ้มทุนเมื่อสามารถฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก 1,251 เส้นต่อปี ทำการเปรียบเทียบกับการทำงานของแรงงานคนฟั่นด้วยมือสามารถฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกได้เร็วกว่า 8.5 เท่าของการฟั่นด้วยมือแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ : เครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก, อัตราสิ้นเปลืองกระแสไฟ, ประเมินประสิทธิภาพเครื่อง

Abstract

This research aims to Fabrication a rope twisting machine from sedge plants for handicrafts of the Ban Thon Krajood product group in Narathiwat Province. The machine addresses the inefficiency and safety concerns of the traditional rope twisting method. The designed machine consists of key components, including the machine frame, a rope twisting head, a power transmission system using a 12V DC electric motor, and a rear hook for securing the material. The machine was tested at three different twisting speeds 160, 260, and 360 RPM. The results showed that the optimal operating speed for the rope twisting machine was 260 RPM. The optimal performance of the machine was evaluated by experts and users from the Ban Thon Krajood product group in Narathiwat Province and was rated at a good level of efficiency. ($\bar{x}$ = 4.46, S.D. = 0.51). After operating for one hour, the machine consumed 0.0288 kWh of electricity, which equates to an electricity cost of 0.120 THB. The payback period was estimated at 0.6 months, with the breakeven point occurring when 1,251 ropes were twisted annually. Compared to manual twisting by Traditional hand, the machine was found to be 8.5 times faster.

Keywords : Rope Twisting Machine From Reed, Power Consumption Rate, Machine Efficiency Evaluation

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์กระจูดจักสานถือเป็นสินค้าขึ้นชื่อของประเทศไทย ได้รับความนิยมทั้งในประเทศและต่างประเทศ ปัจจุบันได้รับการพัฒนารูปแบบและคุณภาพจนกลายเป็นสินค้า OTOP ระดับห้าดาว โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์กระจูดจากจังหวัดนราธิวาส ที่ริเริ่มการผลิตเชิงพาณิชย์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 โดยกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม [1] เพื่อสร้างอาชีพและสืบสานภูมิปัญญาท้องถิ่น กลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอนได้ใช้ทักษะการสานกระจูดมาจัดทำผลิตภัณฑ์หลากหลาย ทั้งกระเป๋า หมวก เสื่อ แผ่น รองจาน แก้วน้ำ และเป็นของตกแต่งต่างๆ อย่างไรก็ตาม การฟั่นเกลียวเชือกกกสำหรับใช้ทำเป็นหูจับกระเป๋าของผลิตภัณฑ์กระจูด ถือเป็นส่วนประกอบสำคัญของผลิตภัณฑ์กระจูดยังใช้วิธีดั้งเดิมด้วยมือ ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องเวลาและความปลอดภัย ทำให้ต้องพึ่งพาการสั่งซื้อเชือกกกจากภายนอก ซึ่งมีปัญหาเรื่องความล่าช้าและต้นทุนที่เพิ่มขึ้น เครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากกกแบบพื้นบ้านที่ใช้อยู่ในบางพื้นที่ยังขาดมาตรฐานด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพ

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก เพื่อทดแทนการใช้แรงงานคน มีความปลอดภัยในกระบวนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และสอดคล้องกับความต้องการของตลาดในปัจจุบัน โดยจะผสมผสานภูมิปัญญาดั้งเดิมเข้ากับเทคโนโลยีสมัยใหม่ เพื่อสร้างนวัตกรรมที่เหมาะสมสำหรับใช้งานในชุมชนและต่อยอดการผลิตผลิตภัณฑ์กระจูดจักสานให้มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการฟั่นเกลียวเชือกแบบดั้งเดิม

การฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกส่วนใหญ่ยังคงอาศัยแรงงานคน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาและแรงงานอย่างมาก ต้องการแรงงานที่มีทักษะความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน การขาดแคลนแรงงานที่เชี่ยวชาญหรือขาดการถ่ายทอดความรู้จากรุ่นสู่รุ่น ส่งผลให้กระบวนการผลิตช้าลง การฝึกอบรมแรงงานคนให้มีทักษะและความเข้าใจในกระบวนการผลิตเป็นสิ่งสำคัญในการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก โดยขั้นตอนในการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกโดยใช้แรงงานคนแบบดั้งเดิมมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำต้นกกที่ผ่านการตากแดดมาตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีความยาวเท่ากัน หากต้องการเชือกเกลียวที่มีความยาวที่กำหนดจะต้องเผื่อความยาวของเส้นกกเพราะหลังจากฟั่นเกลียวเชือกเส้นเชือกจะสั้นลงกว่าเดิม

ขั้นตอนที่ 2 ผูกเส้นกกเข้าด้วยกัน และผูกปมที่ปลายด้านหนึ่งเพื่อยึดเข้าด้วยกัน จากนั้นแบ่งพวงออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กันจะเป็นรูปตัววีที่ติดอยู่ที่ปม

ขั้นตอนที่ 3 ฟั่นเส้นกกโดยการบิดทั้งสองส่วน จับหนึ่งส่วนในแต่ละมือและเริ่มบิดเกลียวทั้งหมดในทิศทางเดียวกันให้แน่นและเท่าๆ กัน ในขณะที่บิดไปเรื่อยๆ ทั้งสองเส้นจะเริ่มพันกันเป็นเชือก

ขั้นตอนที่ 4 มัดเส้นเชือกกกเมื่อบิดเกลียวเข้าด้วยกัน เส้นเชือกกกที่ได้จะมีความยาวประมาณ 80-100 เซนติเมตรและมีความโตขนาดเส้นรอบวง 3-10 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นกกที่นำมาบิดเกลียว แล้วให้ผูกปมอีกอันที่ปลายเชือกเพื่อไม่ให้เชือกกกคลายออกจากกัน แสดงดังรูปที่ 1

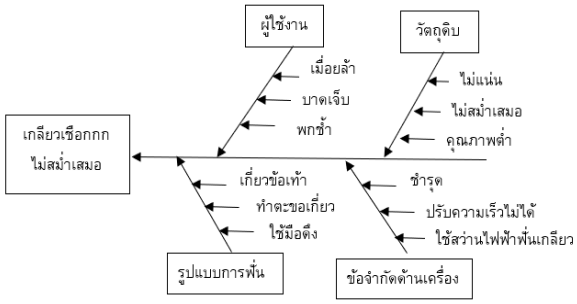


รูปที่ 1 การฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกโดยใช้แรงงานคนแบบดั้งเดิม

2.2 การวิเคราะห์ปัญหาการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก

การวิจัยนี้ใช้ข้อมูลกระบวนการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกของกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส เป็นข้อมูลสำหรับศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกแบบดั้งเดิมของกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส และกลุ่มกระจูดบ้านยวนนก อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช

พบว่ามีปัญหาอยู่ 4 ประเด็นหลัก ดังนี้ 1. ผู้ใช้งานยังคงใช้แรงงานคนแบบดั่งเดิมในการฟั่นเกลียว หลังจากฟั่นเกลียวเสร็จมีอาการเมื่อยล้า บาดเจ็บนิ้วมือ และมีรอยพกช้ำจากการฟั่นเกลียว 2. รูปแบบการฟั่นเกลียวแบบดั้งเดิมโดยนำเชือกกกไปเกี่ยวกับข้อเท้าแทนการใช้ตะขอเกี่ยวแล้วใช้มือดึงให้ตึงถึงจะทำการฟั่นเกลียว 3. วัตถุดิบ เส้นเชือกกกที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ เกลียวไม่แน่น และไม่ได้คุณภาพตามที่กลุ่มต้องการ 4.ข้อจำกัดด้านเครื่อง เครื่องที่ใช้สำหรับฟั่นเกลียวเชือกแบบภูมิปัญญาชาวบ้านที่ยังขาดความปลอดภัย ชำรุด ปรับความเร็วรอบไม่ได้ แต่สามารถใช้งานได้ และยังมีการใช้สว่านไฟฟ้าช่วยในการฟั่นเกลียว แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์ปัญหาการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก

2.3 หลักการออกแบบเชิงวิศวกรรม

โดยนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในด้านการออกแบบของเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก จะมีขั้นตอนในการแก้ไขปัญหา 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1.ระบุปัญหากระบวนการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก 2.รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3.ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4.วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5.ทดสอบประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือ 6.นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน [2] แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงถึงขั้นตอนหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรม

2.4 การออกแบบตามหลักการยศาสตร์

หลักการออกแบบตามหลักการยศาสตร์เน้นการออกแบบที่เหมาะสมกับสรีระและความสามารถของมนุษย์ เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายและลดความเครียดในการทำงาน โดยการจัดตำแหน่งเครื่องมือและอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับผู้ใช้ ลดแรงกดดันและภาระที่ไม่จำเป็น และสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ [8]

2.5 หลักสถิติในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง

การหาค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถามในแบบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกของผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มผู้ใช้งาน หาค่า IOC [3] ได้จากสูตร ดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (1)$$

IOC = แทนดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถามกับเครื่องที่สร้างขึ้น

$\sum R$ = แทนผลรวมคะแนนของผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มผู้ใช้งานทั้งหมด

N = แทนจำนวนของผู้เชี่ยวชาญกลุ่มผู้ใช้งานทั้งหมด

ข้อที่มีค่า IOC ผ่านเกณฑ์หรือใช้ได้โดยทั่วไปคือต้องมีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

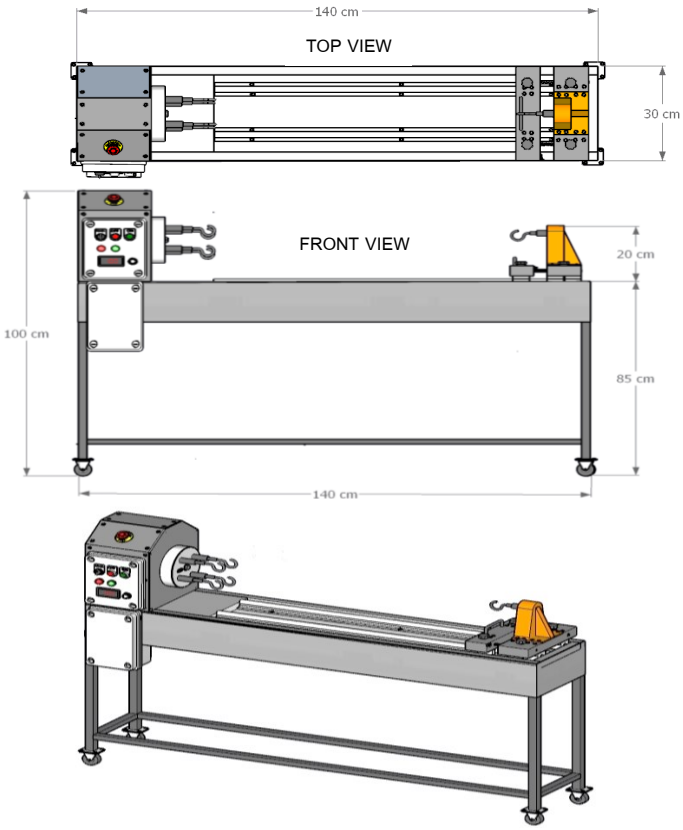
ดลหทัย ชูเมฆา [4] ทำการสร้างและทดสอบเครื่องฟั่นเชือกกล้วย มีการออกแบบและสร้างเครื่องแล้วนำไปทำการทดสอบหาสภาวการณ์ทำงานที่เหมาะสมของเครื่องที่มีความแตกต่างของความเร็วรอบชุดฟั่น 3 ระดับ ได้แก่ 1,100 1,300 และ 1,500 รอบต่อนาที มีส่วนประกอบได้แก่ โครงเครื่อง ชุดฟั่นเชือกกล้วย ระบบส่งกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้า ผลการศึกษาพบว่าที่ความเร็วรอบชุดฟั่น 1,500 รอบต่อนาทีได้ประสิทธิภาพ ทั้งนี้เครื่องสามารถทำงานได้มากกว่าแรงงานคน 8 เส้นต่อชั่วโมง ประมาณ 4.6 เท่า

นุทิศ เอี่ยมใส [7] ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการออกแบบสิ่งประดิษฐ์เครื่องฟั่นเชือกทำเกลียวเชือกขนาดเล็ก เพื่อใช้ในงานหัตถกรรมชุมชน พบว่าความต้องการคุณลักษณะเครื่องฟั่นเชือกโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ได้แก่ ใช้ทุนแรงงานคน ราคาประหยัด บำรุงรักษาง่าย และมีระบบการทำงานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน จากการทดสอบประสิทธิภาพ พบว่าคุณภาพการทำงานของเครื่องฟั่นเชือกกับการใช้แรงงานคนฟั่นหญ้าแฝก ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 1.18 ชั่วโมง มีอัตราการฟั่น 0.77 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในขณะที่การใช้แรงงานคนฟั่นใช้เวลาโดยเฉลี่ย 3.28 ชั่วโมง มีอัตราการฟั่น 0.29 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็น 2.66 เท่าของแรงงานคน

3. การดำเนินการวิจัย

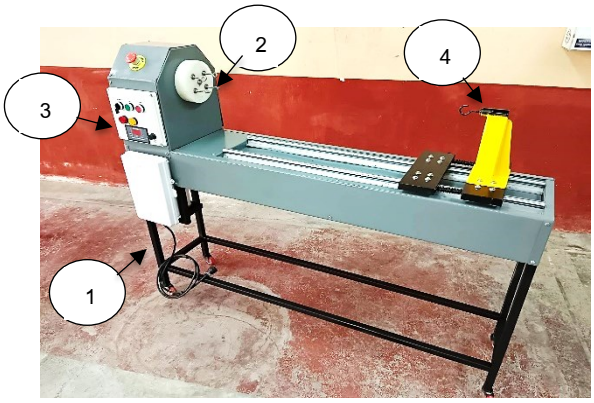
3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก

ผู้วิจัยได้ทำการลงพื้นเก็บข้อมูลสภาพปัญหาของกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส เพื่อนำข้อมูลมาแก้ปัญหาให้กับกลุ่มให้มีปลอดภัย เหมาะสม ขนาดรูปร่างและสะดวกในการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกขณะใช้งานจริง การออกแบบเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ โครงสร้างเครื่อง ระบบควบคุมมอเตอร์เครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก หัวฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก ตะขอจับยึดท้ายเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยล้อ 4 ล้อ และมีปุ่มกดควบคุมการทำงานฉุกเฉิน โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ทำการประเมินแบบ ซึ่งมาจากสถานประกอบ สถาบันอาชีวศึกษา และกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน และดำเนินการสร้างเครื่องโดยปรึกษาผู้เชี่ยวชาญในด้านการสร้างเครื่องจักร เพื่อให้กระบวนการสร้างเครื่องมีความถูกต้องเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานจริง แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงแบบเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก

ลักษณะของเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกที่สร้างเสร็จสมบูรณ์และนำไปใช้ประโยชน์กับกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน ตำบลโคกเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส มีส่วนประกอบดังนี้ 1) โครงสร้างเครื่อง 2) หัวฟั่นเกลียวเชือก 3) ระบบควบคุมมอเตอร์ 4) ตะขอจับยึดท้ายเครื่อง แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก

3.2 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก ทดสอบหาสภาวการณ์ทำงานของเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก เครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกใช้มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ เป็นชุดส่งกำลังซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบ 160 , 260 , 360 รอบต่อนาที ซึ่งได้มาจากความเร็วรอบของมอเตอร์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด [4] แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสภาวะการทำงานของเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก

ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบ/นาที)	ขนาดความโตของเกลียวเชือกจากต้นกกที่ต้องการ (มิลลิเมตร)
160	3
	8
260	3
	8
360	3
	8

การทดสอบสภาวะการทำงานหาความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก มีเงื่อนไขการทดสอบ 6 เงื่อนไข โดยแต่ละเงื่อนไขจะสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ (Systematic Sampling) จำนวน 20 ตัวอย่าง [9] ดังนี้

เงื่อนไขที่ 1 ความเร็วรอบที่ 160 รอบต่อนาที ต้องการขนาดความโตของเกลียวเชือกจากต้นกก 3 มิลลิเมตร จำนวน 20 ตัวอย่าง

เงื่อนไขที่ 2 ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที ต้องการขนาดความโตของเกลียวเชือกจากต้นกก 8 มิลลิเมตร จำนวน 20 ตัวอย่าง

เงื่อนไขที่ 3 ความเร็วรอบที่ 260 รอบต่อนาที ต้องการขนาดความโตของเกลียวเชือกจากต้นกก 3 มิลลิเมตร จำนวน 20 ตัวอย่าง

เงื่อนไขที่ 4 ความเร็วรอบที่ 260 รอบต่อนาที ต้องการขนาดความโตของเกลียวเชือกจากต้นกก 8 มิลลิเมตร จำนวน 20 ตัวอย่าง

เงื่อนไขที่ 5 ความเร็วรอบที่ 360 รอบต่อนาที ต้องการขนาดความโตของเกลียวเชือกจากต้นกก 3 มิลลิเมตร จำนวน 20 ตัวอย่าง

เงื่อนไขที่ 6 ความเร็วรอบที่ 360 รอบต่อนาที ต้องการขนาดความโตของเกลียวเชือกจากต้นกก 8 มิลลิเมตร จำนวน 20 ตัวอย่าง

3.3 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า(kW)

ผู้วิจัยได้คำนวณการวัดกำลังไฟฟ้าเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก ใช้มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ เป็นตัวส่งกำลังไฟฟ้า และเครื่องทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถคำนวณค่าไฟฟ้าได้ดังนี้ [5]

คำนวณกำลังไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ (kW)

$$P(kW) = \frac{P(w)}{1000} \quad (2)$$

$$P = \frac{28.8}{1000} = 0.0288 \text{ kW}$$

คำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 ชั่วโมง (kW)

พลังงานไฟฟ้า (E) คำนวณได้จาก

E = P(kW) × เวลา(h)

E = 0.0288kW × 1h = 0.0288 kWh

คำนวณค่าไฟฟ้า

ค่าไฟฟ้าคิดจากราคาต่อหน่วย (4.15 บาท/หน่วย) อ้างอิงจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ค่าไฟฟ้า = E × ราคาต่อหน่วย

ค่าไฟฟ้า = 0.0288 × 4.15 = 0.120 บาท

มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ ที่มีกำลังไฟฟ้า 28.8 วัตต์ หากทำงานต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง จะใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.120 บาท และเครื่องใช้งานวันละ 6 ชั่วโมง สัปดาห์ละ 5 วัน ดังนั้นเครื่องใช้งานต่อปีเท่ากับ 186.44 บาท/ปี

3.4 คำนวณค่าเสื่อมราคา

ราคาเครื่อง 15,000 บาท

อายุการใช้งาน 5 ปี อ้างอิงมาตรฐานทางบัญชีและภาษี กำหนดอายุการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตไว้ที่ 5 ปีขึ้นไป ตามประกาศอธิบดีกรมสรรพากรเกี่ยวกับภาษีเงินได้

$$\text{ค่าเสื่อมราคาต่อปี} = \frac{\text{มูลค่าต้นทุน} - \text{มูลค่าซาก}}{\text{อายุการใช้งาน}}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคาต่อปี} = \frac{15{,}000 - 0}{5} = 3{,}000 \text{ บาท/ปี}$$

ดังนั้น ค่าเสื่อมราคาต่อปี = 3,000 บาท/ปี

หากต้องการคำนวณค่าเสื่อมราคารายเดือน

$$\frac{3{,}000}{12} = 250 \text{ บาท/เดือน}$$

3.5 จุดคุ้มทุน (Break Even Point)

จุดคุ้มทุนหมายถึงจำนวนเส้นกกที่ต้องผลิตและขายเพื่อให้รายได้เท่ากับต้นทุนทั้งหมด โดยพิจารณาจากต้นทุนคงที่ ต้นทุนผันแปรต่อเส้น และราคาขายต่อเส้น [6] ดังนี้

$$\text{จุดคุ้มทุน (จำนวนเส้น)} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่รวม}}{\text{ราคาขายต่อหน่วย - ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย}} \quad (4)$$

ต้นทุนคงที่รวม (Fixed Cost, FC)

ค่าเสื่อมราคา = 3,000 บาท/ปี

ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา = 750 บาท/ปี

รวมต้นทุนคงที่ = 3,000 + 750 = 3,750 บาท/ปี

ราคาขายต่อเส้น = 5 บาท/เส้น

ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (ค่าวัตถุดิบ) = 2 บาท/เส้น

ค่าไฟฟ้า = 186.44 บาท/ปี

เครื่องจักรผลิตได้ = 60 เส้น/ชั่วโมง

ชั่วโมงทำงานต่อปี = 1,560 ชั่วโมง

จำนวนเส้นที่ผลิตต่อปี = 60 × 1,560 = 93,600 เส้น/ปี

ค่าไฟต่อเส้น $\frac{186.44}{93,600}$ = 0.002 บาท/เส้น

รวมต้นทุนแปรผันต่อเส้น = 2 + 0.002 = 2.002 บาท/เส้น

ราคาขาย = 5 บาท/เส้น

คำนวณจุดคุ้มทุน (จำนวนเส้นที่ต้องผลิตและขายให้ได้เพื่อให้คุ้มทุน)

$$\text{BEP} = \frac{3,750}{5 - 2.002} = \frac{3,750}{2.998} = 1,250.83 \text{ เส้น/ปี}$$

จุดคุ้มทุน = 1,251 เส้น/ปี หมายความว่า ต้องผลิตและขายให้ได้อย่างน้อย 1,251 เส้นต่อปีเพื่อให้ธุรกิจไม่ขาดทุน

สรุปค่าตัวแปรต่าง ๆดังรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงปัจจัยที่ใช้ในวิธีคิดระยะเวลาคืนทุน

ปัจจัย	ค่า
ราคาเครื่อง	15,000 บาท
ค่าเสื่ยมราคาต่อปี	3,000 บาท
อายุการใช้งาน	5 ปี
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา 5 %	750 บาท
ความสามารถในการทำงาน	60 เส้น/ชั่วโมง
ระยะเวลาการทำงาน	1,560 ชั่วโมง/ปี
การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง	0.120 บาท
ต้นทุนค่าไฟฟ้าต่อปี	186.44 บาท
รายได้ต่อปี	280,613 บาท
กำไรต่อเส้น	2.998 บาท

3.6 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุน คือระยะเวลาที่ใช้ในการคืนเงินลงทุนทั้งหมดจากผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับ [6]

ต้นทุนค่าวัตถุดิบต่อปี = 2.002 บาท/เส้น x 93,600 เส้น/ปี

= 187,387.2 บาท/ปี

จำนวนเส้นที่ผลิตได้ต่อปี = 60 เส้น/ชั่วโมง × 1,560 ชั่วโมง/ปี

= 93,600 เส้น/ปี

กำไรสุทธิรายปีหลังหักต้นทุน = 2.998 บาท/เส้น × 93,600 เส้น/ปี

= 280,612.8บาท/ปี

เงินลงทุนเริ่มต้น = 15,000 บาท

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น}}{\text{กำไรสุทธิรายปี}} \quad (3)$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{15,000}{280,612.8} = 0.0535 \text{ ปี}$$

0.0535 x 12 = 0.642 เดือน ≈ 0.6 เดือน หรือ 18 วัน

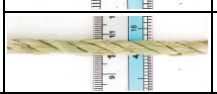
ดังนั้นการลงทุนในเครื่องจักรนี้จะคืนทุนได้ภายในประมาณ 0.6 เดือน

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

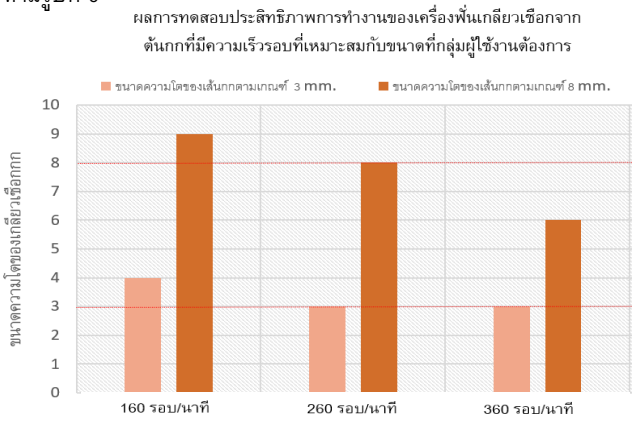
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก

ที่ความเร็วรอบ 160, 260, 360 รอบต่อนาที ความเร็วรอบที่มีผลต่อการทดลอง พบว่าอัตราการทำงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแปรผันตามความเร็วรอบของมอเตอร์ มีผลทำให้ได้คุณภาพของเส้นเกลียวเชือกจากต้นกกมีความสม่ำเสมอและความแน่นหนามากที่สุด ตรงกับความต้องการของกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดจักสานบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกที่มีความเร็วรอบเหมาะสม และได้เกลียวเชือกจากต้นกกที่มีความสม่ำเสมอสวยงามตามความต้องการของกลุ่ม

ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบ/นาที)	ความหนาแน่นของเชือกกกและเกลียวมีความสม่ำเสมอสวยงาม	ความโตเชือกที่ได้ (มิลลิเมตร)
160		Ø 4 มม.
		Ø 9 มม.
260		Ø 3 มม.
		Ø 8 มม.
360		Ø 3 มม.
		Ø 6 มม.

จากตารางที่ 3 พิจารณาความเร็วรอบเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกที่ 160 รอบต่อนาที พบว่าเกลียวเชือกกกที่ฟั่นเกลียวมีขนาดความโตอยู่ที่ 4 , 9 มิลลิเมตร และเมื่อพิจารณาความเร็วรอบที่ 260 รอบต่อนาที พบว่าเกลียวเชือกกกที่ฟั่นเกลียวมีขนาดความโตอยู่ที่ 3 , 8 มิลลิเมตร และเมื่อพิจารณาความเร็วรอบที่ 360 รอบต่อนาที พบเกลียวเชือกกกที่ฟั่นเกลียวแบบ 2 เส้นมีขนาดความโตอยู่ที่ 3 , 6 มิลลิเมตร จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าเกลียวที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันด้วยความเร็วรอบ เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นมากเกินไปจะทำให้เส้นเชือกเกลียวขาด และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบต่ำไปจะทำให้เส้นเชือกเกลียวไม่สม่ำเสมอและไม่มีความหนาแน่น จากการทดสอบตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก พบว่าการใช้ความเร็วรอบที่ 260 รอบต่อนาที มีผลทำให้เกลียวเชือกกกที่ฟั่นเกลียวมีขนาดความโตอยู่ที่ 3 , 8 มิลลิเมตร ซึ่งตรงกับความต้องการของกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดจักสานบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส มากที่สุด ดังแสดงตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟผลการทดสอบเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก

4.2 ผลการวิเคราะห์การประเมินประสิทธิภาพของผู้เชี่ยวชาญ

ผลคะแนนการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบการสร้างเครื่องและผู้ใช้งานกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส พบว่า ด้านโครงสร้าง ประเด็นการออกแบบมีความมั่นคงแข็งแรง มีค่าเท่ากับ 4.71 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.49 ด้านการใช้งาน สามารถฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกได้เร็วกว่าแบบดั้งเดิม มีค่า $\bar{x}$ เท่ากับ 4.86 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.38 ในประเด็นของด้านการบำรุงรักษาสามารถทำได้ไม่ยุ่งยาก มีค่า $\bar{x}$ เท่ากับ 4.86 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.38 และด้านคุณภาพในประเด็นความสม่ำเสมอและความแน่นหนาของเกลียวเชือก มีค่า $\bar{x}$ เท่ากับ 4.71 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.49 ส่วนองค์ประกอบด้านอื่น ๆ ได้แสดงผลการวิจัยดังตารางที่ 4

ตารางที่4 ผลการวิเคราะห์การประเมินประสิทธิภาพของผู้เชี่ยวชาญ

หัวข้อประเมิน	ระดับความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของเครื่อง		
	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1.โครงสร้างเครื่อง			
1.1 การออกแบบมีความมั่นคงแข็งแรง	4.71	0.49	ดีมาก
1.2 ที่จับยึดเส้นกกมีความเหมาะสม	4.29	0.76	ดี
1.3 ชุดฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกมีความเหมาะสม	4.57	0.54	ดีมาก
1.4 การจัดวางส่วนประกอบที่เหมาะสมกับการทำงาน	4.00	0.57	ดี
1.5 การใช้วัสดุในการสร้างเครื่องหาง่ายตามท้องตลาด	4.43	0.54	ดี
2.ด้านการใช้งาน			
2.1 ขนาดและรูปทรงเครื่องมีความเหมาะสม	4.71	0.49	ดีมาก
2.2 ความปลอดภัยในการใช้งาน	4.57	0.54	ดีมาก
2.3 ระบบการทำงานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน	3.57	0.54	ดี
2.4 สามารถฟั่นเกลียวเชือกกกได้เร็วกว่าแบบดั้งเดิม	4.86	0.38	ดีมาก
2.5 การเคลื่อนย้ายได้สะดวก	4.14	0.38	ดี
3.ด้านการบำรุงรักษา			
3.1 การบำรุงรักษาสามารถทำได้ไม่ยุ่งยาก	4.86	0.38	ดีมาก
3.2 ชิ้นส่วนอุปกรณ์หาได้ง่าย	4.43	0.54	ดี
4.ด้านคุณภาพ			
4.1 ความสม่ำเสมอและความแน่นหนาของเกลียวเชือก	4.71	0.49	ดีมาก
4.2 การลดของเสียหรือข้อผิดพลาดในกระบวนการผลิต	4.57	0.54	ดี
รวมเฉลี่ย	4.46	0.51	ดี

4.3 เปรียบเทียบการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกระหว่างเครื่องฟั่นเกลียวเชือกกับแรงงานคน

จะคำนวณจำนวนเส้นที่สามารถทำได้ต่อชั่วโมงของแต่ละฝ่ายและหาสัดส่วนเพื่อทราบว่าเครื่องทำงานได้เร็วกว่าแรงงานคนกี่เท่า

เครื่องจักรสามารถฟั่นเกลียวได้ 60 เส้น/ชั่วโมง

ค่าวัตถุดิบ+ค่าไฟฟ้าต่อชั่วโมง = 2 บาทต่อเส้น + 0.120 บาท x 60 เส้น = 127.2 คิดเป็นต้นทุน 127.2 บาท

แรงงานคนใช้เวลาในการฟั่นเกลียว 8.5 นาที/เส้น

ค่าวัตถุดิบ 2 บาท x 60 เส้น = 120 คิดเป็นต้นทุน 120 บาท

จำนวนเส้นที่ฟั่นได้ต่อชั่วโมง $\frac{60 \text{ นาที}}{8.5 \text{ นาที/เส้น}} = 7.06 \approx 7$ เส้น/ชั่วโมง

เปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ความเร็วของเครื่องจักรเทียบกับแรงงานคน

$$= \frac{\text{ความสามารถของเครื่องจักร}}{\text{ความสามารถของแรงงานคน}} \quad (5)$$

$= \frac{60}{7.06}$ = 8.5 เท่าของแรงงานคน

เครื่องฟั่นเกลียวเชือกสามารถทำงานได้เร็วกว่าแรงงานคนประมาณ 8.5 เท่า

5. สรุปผลการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก เพื่อนำไปใช้ในการทำหูจับกระเป๋าผลิตภัณฑ์กระจูดจักสาน สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดจักสานบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส จากการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก สามารถฟั่นเกลียวเชือกได้อย่างสม่ำเสมอและมีความหนาแน่น โดยเส้นเชือกกกที่ฟั่นมีขนาดความโตอยู่ที่ 3 และ 8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 260 รอบต่อนาที ซึ่งได้เส้นเชือกเกลียวตรงตามความต้องการของกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน จึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ นุทิศ เอี่ยมใส [7] ที่ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการออกแบบเครื่องฟั่นเชือกทำเกลียวเชือกขนาดเล็ก เพื่อใช้ในงานหัตถกรรมชุมชน ซึ่งมีหลายปัจจัยที่เป็นส่วนสำคัญในการออกแบบเครื่องให้ตอบโจทย์กับผู้ใช้งาน เช่น สามารถใช้ทุ่นแรงงานคน ราคาประหยัด บำรุงรักษาง่าย และมีระบบการทำงานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ดลหทัย ชูเมฆา และคณะ [4] ที่ได้ทำการสร้างและทดสอบเครื่องฟั่นเชือกกล้วย โดยมีการออกแบบและสร้างเครื่องแล้วนำไปทำการทดสอบหาสภาวการณ์ทำงานที่เหมาะสมของเครื่อง เพื่อทดแทนการใช้แรงงานคน เป็นการลดต้นทุนในการผลิต และมีความปลอดภัยตามหลักวิศวกรรม เครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกใช้มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ ที่มีกำลังไฟฟ้า 28.8 วัตต์ หากทำงานต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง จะใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0288 หน่วย (kWh) คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.120 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.6 เดือน และจุดคุ้มทุนประมาณ 1,251 เส้นต่อปี เพื่อให้ธุรกิจไม่ขาดทุน เปรียบเทียบการฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกระหว่างเครื่องฟั่นเกลียวเชือกกับแรงงานคน สามารถทำงานได้เร็วกว่าแรงงานคนประมาณ 8.5 เท่า

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกที่เหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้งานฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกสำหรับหัตถกรรมจักสานผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน เพื่อนำไปใช้ทำเป็นหูจับกระเป๋ากระจูดแบบต่างๆ ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของต้นกกที่มีอยู่ในบริบทของพื้นที่นี้ ซึ่งมีขนาดความยาวของต้นกกอยู่ที่ 80 - 100 เซนติเมตร โดยการใช้หลักการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้ในการออกแบบ ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ และดำเนินการสร้างเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกสำหรับนำไปใช้งานจริงเพื่อแก้ปัญหากับกลุ่มหัตถกรรมจักสานผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน จังหวัดนราธิวาส

ข้อเสนอแนะเพื่อทำการศึกษาหรือวิจัยต่อไป ควรพัฒนาต่อยอดข้อจำกัดของเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก ให้สามารถใช้ฟั่นเกลียวกับวัสดุอื่นๆ ได้ และเพิ่มขนาดความยาวของเครื่องในกรณีวัสดุนั้นๆ มีความยาวมากกว่าเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกกนี้ตามบริบทแต่ละพื้นที่

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยอย่างดี ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญที่ทำการประเมินเครื่องฟั่นเกลียวเชือกจากต้นกก ตลอดจนกลุ่มหัตถกรรมจักสานผลิตภัณฑ์กระจูดบ้านทอน ต.โคกเคียน จังหวัดนราธิวาส และกลุ่มกระจูดบ้านยวนนก อ.หัวไทร จ.นครศรีธรรมราชที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณวิทยาลัยเทคนิคปัตตานี ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, https://www.gcc.go.th/?p=1445 (วันที่สืบค้นข้อมูล 2 ธันวาคม 2567)

[2] กรวิชญ์ โสภา. 2566. การพัฒนาชุดกิจกรรมกระบวนการคิดเชิงออกแบบ (DESIGN THINKING) เพื่อพัฒนาความสามารถด้านการออกแบบเชิงวิศวกรรม. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

[3] สุรพงษ์ คงสัตย์ และธีรชาติ ธรรมวงค์. 2551. การหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC). สำนักงานเกษตรอำเภอจังหวัดนราธิวาส.

[4] ดลหทัย ชูเมฆา, สถาพร วีระสุนทร และอภิรมย์ ชูเมฆา. 2567. การสร้างและทดสอบเครื่องฟั่นเชือกกล้วย.วารสารวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการเกษตร : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 55(1), 31-34.

[5] นภัทร ภักดีสุวรรณ. 2564. การวิเคราะห์การคำนวณพิกัดอัตราค่าไฟฟ้าฐานในโครงสร้างพิกัดอัตราค่าไฟฟ้าของประเทศไทย. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] กิตติมา งามวิไลกร. 2559. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ระยะคืนทุน และการผ่อนชำระเงินกู้ ของเครื่องผลิตก้อนเห็ดอัตโนมัติเกษตรสกล 1 สำหรับวิสาหกิจชุมชน.วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, ปีที่8 ฉบับพิเศษ, 252-261.

[7] นุทิศ เอี่ยมใส. 2558 .ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการออกแบบสิ่งประดิษฐ์เครื่องฟั่นเชือกทำเกลียวเชือกขนาดเล็ก เพื่อใช้ในงานหัตถกรรมชุมชนกลุ่มผลิตภัณฑ์หญ้าแฝก บ้านโคกโปรง อำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

[8] จารุตม์ คุณานพดล. 2567. การออกแบบเก้าอี้การยศาสตร์ คาโนโมเดลและการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม.วารสารรามคำแหง มหาวิทยาลัยรามคำแหง, ปีที่7 ฉบับที่1.

[9] บุญชม ศรีสะอาด. การวิจัยเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 5 สำนักพิมพ์สุวีริยาสาส์น. 2545.

การวิเคราะห์พื้นที่เหมาะสมในการติดตั้งโซล่าร์เซลล์บนหลังคาของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย

Suitable Location Analysis for Solar Rooftop Installation of Industry in Thailand

วนิดา คำแท่ง[1*], จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์[2]
[1*,2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: wawa.wanida04@gmail.com[1*], jeerapat.n@chula.ac.th[2]

Wanida Komtang[1*], Jeerapat Ngaoprasertwong[2]
[1*,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: wawa.wanida04@gmail.com[1*], jeerapat.n@chula.ac.th[2]

บทคัดย่อ

โซล่าร์เซลล์ (Solar cell) เป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทางเลือกที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแสงอาทิตย์ที่มีศักยภาพสูง ให้มาอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า โดยโซล่าร์เซลล์สามารถแบ่งตามขนาดออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ โรงงานพลังงานไฟฟ้า (Solar Farm) และโซล่าร์เซลล์บนหลังคา (Solar Rooftop) เนื่องจากมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในการดำรงชีวิตตลอดจนการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี ไม่ว่าจะเป็นภาคครัวเรือน ภาคเกษตรกรรม และภาคอุตสาหกรรม เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิต ความเป็นอยู่และอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน งานวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์หาปัจจัยในการเลือกพื้นที่ติดตั้งระบบโซล่าร์เซลล์บนหลังคาที่เหมาะสมของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ความคลุมเครือ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: Fuzzy AHP) ซึ่งสามารถจัดการปัญหาที่มีความซับซ้อนได้อย่างเป็นระบบ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเทคนิค ด้านเศรษฐกิจ ด้านสรีรวิทยา และด้านการเมือง มีค่าน้ำหนักสัมพัทธ์จากมากไปน้อย เท่ากับ 0.44, 0.24, 0.20 และ 0.12 ตามลำดับ ในส่วนของค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของปัจจัยย่อยที่มีค่าสูงสุด 5 อันดับ ได้แก่ ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ ประสบการณ์ผู้ติดตั้ง พื้นที่การติดตั้ง นโยบายและการสนับสนุนของรัฐบาล เท่ากับ 0.3292, 0.1612, 0.1093, 0.0832 และ 0.0760 ตามลำดับ ผลลัพธ์นี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์และเลือกพื้นที่ติดตั้งที่เหมาะสม รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพและความคุ้มทุนในการติดตั้งโซล่าร์เซลล์บนหลังคาของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย
คำสำคัญ: โซล่าร์เซลล์บนหลังคา, การตัดสินใจโดยใช้หลายหลักเกณฑ์, กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ความคลุมเครือ (ฟัซซีเอเอชพี)

Abstract

Solar cells are one of the renewable and alternative energy sources developed to convert high-potential sunlight into electrical energy. Solar cells can be categorized into two main types based on their size: solar farms and solar rooftops. Due to the increasing demand for electricity in human life, as well as for driving the economy, society, and technology whether in households, agriculture, or industry to improve quality of life, living standards, and facilitate daily activities. This research aims to analyze the factors involved in selecting suitable locations for installing rooftop solar systems in the industrial sector in Thailand. The Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP) was used for this analysis, as it can systematically address complex problems. The study results show that the four main factors technical, economic, physiology and political have relative weights in the following order: 0.44, 0.24, 0.20, and 0.12, respectively. As for the relative weights of the sub-factors, the top five highest weights are: solar radiation data (0.3292), air temperature (0.1612), installer experience (0.1093), installation area (0.0832), and government policies and support (0.0760). These findings can be developed into a model for analyzing and selecting suitable installation sites, as well as improving the efficiency and break-even of installing rooftop solar systems in the industrial sector of Thailand.
Keywords: Solar Rooftop, Multi-Criteria Decision Making (MCDM), Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP)

1. บทนำ

การใช้ไฟฟ้าแต่ละภาคส่วนของประเทศไทยในช่วงเดือน ม.ค.-ก.ย. ของปี พ.ศ. 2567 รวมทั้งสิ้น 163,311 กิกะวัตต์ชั่วโมง เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.1 จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสภาพอากาศที่ร้อน โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรม มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าร้อยละ 41 ของภาคส่วนทั้งหมด ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.8 จากช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2566 [1] ทำให้ภาคอุตสาหกรรมหันมานิยมติดตั้งโซล่าร์เซลล์บนหลังคากันมากขึ้น เพราะว่าเป็นการติดตั้งที่มีอุปกรณ์ขนาดเล็ก วิธีการติดตั้ง การขออนุญาต ตลอดจนการดูแลบำรุงและรักษามีความสะดวกกว่าโซล่าร์ฟาร์ม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์หาปัจจัยในการเลือกพื้นที่ติดตั้งระบบโซล่าร์เซลล์บนหลังคาที่เหมาะสมของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย เพื่อให้มีความคุ้มค่าและเกิดประโยชน์ต่อผู้ลงทุนมากที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โซล่าร์เซลล์บนหลังคา (Solar Rooftop)

โซล่าร์เซลล์บนหลังคา คือระบบที่เปลี่ยนแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้แผงโซล่าร์เซลล์ติดตั้งบนหลังคาบ้านเรือน ที่พักอาศัย ตามอาคาร สำนักงานหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เมื่อแผงโซล่าร์เซลล์รับพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว พลังงานจะเปลี่ยนมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หลังจากนั้นจะถูกส่งไปยังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เพื่อเปลี่ยนมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ก่อนถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งถ้าหากมีการผลิตไฟฟ้าที่มากเกินการใช้งานสามารถที่จะจำหน่ายให้กับหน่วยงานของรัฐได้ [2]

2.2 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP)

เอเอชพี คือกระบวนการหนึ่งในการตัดสินใจโดยใช้หลายหลักเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) ถูกคิดค้นโดย ดร.โทมัส สาตตี้ (Dr. Thomas Saaty) เพื่อตัดสินใจในสถานการณ์ที่ซับซ้อน โดยใช้หลักการเปรียบเทียบปัจจัยเป็นคู่ ๆ และจัดลำดับค่าความสำคัญมาเปรียบเทียบอยู่ในช่วงตั้งแต่สำคัญเท่ากันจนถึงสำคัญอย่างยิ่ง หรือตั้งแต่ระดับ 1 ถึง 9 หลังจากเปรียบเทียบผลของแต่ละคู่แล้วจะสามารถนำไปคำนวณหาน้ำหนักของแต่ละปัจจัยได้ เพื่อวิเคราะห์หาความสำคัญและคำนวณหาค่าความสอดคล้องกันของปัจจัย (Consistency Ratio: C.R) [3] โดยถ้าอัตราส่วนความสอดคล้อง ที่ได้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ คือมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.10 และในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราส่วนของความสอดคล้อง มีค่ามากกว่า 0.10 หมายความว่าผลของการทำการประเมินและวิเคราะห์ปัจจัยนั้นยอมรับไม่ได้ ขาดความสอดคล้อง ควรทำการทบทวนหรือปรับปรุงการประเมินผลใหม่ [4]

2.3 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

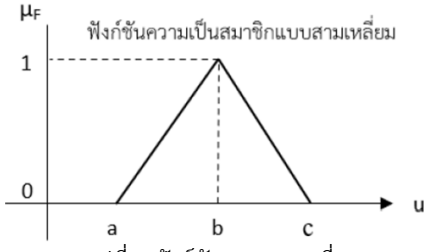
ฟัซซีเซต คือเครื่องมือทางคณิตศาสตร์สื่อถึงความไม่แน่นอน (Uncertainty) คิดค้นโดย ลอตฟี่ อาเลียสเกอร์ ซาเดห์ (Lotfi Aliasker Zadeh) ในทฤษฎีเซตปกติจะสามารถแยกได้ว่าตัวแปรใดเป็นหรือไม่เป็นสมาชิกของเซตนั้น ๆ แต่มีหลายปัญหาที่ไม่สามารถแยกหรือกำหนดได้อย่างชัดเจนว่าเป็นจริงหรือเท็จ ปัญหาเหล่านี้มีความยุ่งยากและมีโครงสร้างที่ไม่ชัดเจน ทำให้ยากในการตัดสินใจแก้ปัญหาโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นจึงมีการนำทฤษฎีฟัซซีเซตมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าน้ำหนักของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกิดจากการตัดสินใจของมนุษย์ กำหนดให้เอกภพสัมพัทธ์ (U) คือเซตที่มีสมาชิกเป็นสมาชิกทั้งหมดของขอบเขตที่ทำการพิจารณาแทนโดย $\{u\}$ และ u แทนสมาชิกหรือองค์ประกอบใดๆ ของ U ส่วนฟัซซีเซต F ในเอกภพสัมพัทธ์ U จะแสดงคุณสมบัติ โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function: μF) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 [4] คือ $u_F : U \rightarrow [0,1]$ โดยแสดงความสัมพันธ์ได้โดยใช้สมการที่ (1)

$$F = \{(u, \mu F(u)) | u \in U, \mu F(u): U \rightarrow [0,1]\} \quad (1)$$

โดยทั่วไปมี 2 วิธีในการนิยามฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับฟัซซีเซต คือ เชิงตัวเลขและเชิงฟังก์ชัน โดยอัตราฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามารถคำนวณได้โดยตรงจากการวิเคราะห์จากสูตรของฟังก์ชันที่นิยมใช้ ได้แก่ ฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Number) และฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Fuzzy Number) [4] สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบได้โดยใช้สมการที่ (2)

$$T = (u; a, b, c) \begin{cases} 0 & \text{ถ้า } u < a \\ \frac{(u-a)}{(b-a)} & \text{ถ้า } a \le u \le b \\ \frac{(c-u)}{(c-b)} & \text{ถ้า } b \le u \le c \\ 0 & \text{ถ้า } u > c \end{cases} \quad (2)$$

โดยมีตัวแปรคือ a, b, c ที่ใช้ควบคุมรูปร่างของฟังก์ชัน ดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ฟังก์ชันแบบสามเหลี่ยม

2.4 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ความคลุมเครือ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: Fuzzy AHP)

เอเอชพี คือกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ความคลุมเครือที่นำกระบวนการ AHP และ Fuzzy set มาวิเคราะห์จัดการข้อมูลที่มีความซับซ้อนและมีความคลุมเครือ โดยคงรูปแบบการเปรียบเทียบระดับความสำคัญเชิงคู่ปัจจัยของ AHP และใช้ Fuzzy set ในการแปลงระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบซึ่งเป็นภาษาพูดให้เป็นตัวเลขฟัซซีแทนตัวเลขทั่วไป และนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณเพื่อทำให้สามารถตัดสินใจได้ใกล้เคียงกับความคิดที่คลุมเครือของมนุษย์ได้มากขึ้น [4]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการประเมินหาพื้นที่เหมาะสมในการติดตั้งโซล่าร์เซลล์บนหลังคาสำหรับภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ความคลุมเครือยังมีผู้วิจัยไม่มากนัก งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการหาปัจจัยเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกพื้นที่ติดตั้งระบบโซล่าร์เซลล์บนหลังคาที่เหมาะสมของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยการนำปัจจัยในการประเมินโซล่าร์ฟาร์มที่มีความคล้ายคลึงกันมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยต่อไปอ้างอิงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง	ประเภท	กระบวนการ		
		1	2	3
[5]	โซล่าร์ฟาร์ม	AHP	TOPSIS	-
[6]	โซล่าร์ฟาร์ม	GIS	AHP	-
[7]	โซล่าร์ฟาร์ม	DEA	G-AHP	G-TOPSIS
[8]	โซล่าร์ฟาร์ม	GIS	AHP	-
[9]	โซล่าร์ฟาร์ม	GIS	AHP	-
[10]	โซล่าร์ฟาร์ม	AHP	-	-
[11]	โซล่าร์ฟาร์ม	DEA	CRITIC-TOPSIS	
[12]	โซล่าร์เซลล์บนหลังคา	AHP	-	-

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทำการคัดเลือกปัจจัยที่มีค่าน้ำหนักมากที่สุด 5 อันดับแรกและสรุปผลไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยย่อยจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5 อันดับแรก

เอกสารอ้างอิง / ปัจจัย	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ / แหล่งกำเนิดรังสีแสงอาทิตย์/อัตราการแผ่รังสีแสงอาทิตย์	0.091 (3rd)	0.358 (1st)		0.350 (1st)		0.369 (1st)	0.800 (3rd)	
อุณหภูมิอากาศ				0.240 (2nd)			0.822 (1st)	
การครอบครองที่ดิน	0.144 (1st)		0.090 (4th)					
ใกล้สายส่ง/ระยะทางถึงสายส่ง		0.086 (3rd)				0.182 (3rd)		
ความชัน				0.160 (3rd)		0.104 (4th)		
ลักษณะพื้นที่/พื้นที่ใช้งาน				0.100 (4th)		0.236 (2nd)		
การเข้าถึงโครงข่ายสายส่งสัญญาณ	0.072 (5th)		0.086 (5th)					
นโยบายของรัฐบาลและกฎหมาย			0.101 (1st)					0.168 (3rd)
เอ้าพุตพลังงาน					0.225 (1st)			
การเข้าถึงถนนและทางรถไฟ	0.1307 (2nd)							
พื้นที่ที่จำเป็นสำหรับการจัดตั้ง		0.229 (2nd)						
ความต้องการใช้ไฟฟ้า			0.096 (2nd)					
ระยะเวลาแสงแดด							0.822 (2nd)	
ใกล้เครือข่าย					0.170 (2nd)			
กลไกการสนับสนุน			0.094 (3rd)					
ตัวป้อนพลังงานสำรอง					0.125 (3rd)			
การตั้งถิ่นฐานใหม่และการฟื้นฟูสมรรถภาพ	0.083 (4th)							
ระยะห่างถึงพื้นที่ชุ่ม		0.042 (4th)						
ระยะห่างถึงสนามบิน		0.042 (4th)						
ความเร็วลมและการตกตะกอน							0.80 (4th)	
ความชื้นและความกดอากาศ							0.80 (4th)	
ใกล้โครงข่ายสายส่งสัญญาณ					0.088 (4th)			
ระยะทางถึงพื้นที่อยู่อาศัย						0.104 (5th)		
ระยะห่างจากสถานีย่อย					0.087 (5th)			
ระยะห่างจากสายส่ง				0.070 (5th)				
คุณภาพและการบริการ								0.203 (1st)
ราคา								0.173 (2nd)
ประสบการณ์								0.105 (4th)
อัตราค่าไฟฟ้า								0.101 (5th)

ขั้นตอนที่ 2 สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในการประเมินคัดเลือกปัจจัยจากตารางที่ 2 ที่ได้จากบทความและวิเคราะห์หาปัจจัยเพิ่มเติมที่จะมาจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่าปัจจัยหลักทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเทคนิค ด้านสรีรวิทยา ด้านการเมืองและด้านเศรษฐกิจ ในส่วนของปัจจัยย่อยทั้ง 10 ปัจจัย สอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 7 ท่าน พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นด้วยในการนำปัจจัยมาทำการวิเคราะห์หาพื้นที่เหมาะสมในการติดตั้งโซล่าร์เซลล์ ผู้วิจัยจึงนำปัจจัยเหล่านี้มาทำการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการ Fuzzy AHP ในงานวิจัยนี้เพื่อหาพื้นที่เหมาะสมในการติดตั้งโซล่าร์เซลล์ของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คำจำกัดความของปัจจัยย่อย

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย	คำจำกัดความ
1. ด้านเทคนิค (TA)	ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ (TA1)	ข้อมูลทรัพยากรพลังงานแสงอาทิตย์หรือแสงแดด
	ประสบการณ์ผู้ติดตั้ง (TA2)	ความรู้ความสามารถและความน่าเชื่อถือของผู้ติดตั้ง
2. ด้านสรีรวิทยา (PHA)	อุณหภูมิอากาศ (PHA1)	การศึกษาสภาพอากาศของพื้นที่เนื่องจากอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา เช่น ปี ฤดูกาล เดือน

ตารางที่ 3 คำจำกัดความของปัจจัยย่อย (ต่อ)

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย	คำจำกัดความ
(PHA) ต่อ	พื้นที่การติดตั้ง (PHA2)	พื้นที่ในการติดตั้งระบบโซล่าร์เซลล์
3. ด้านการเมือง (PA)	กฎหมาย (PA1)	ความสะดวกในการขออนุญาตต่อเจ้าหน้าที่หรือองค์กรของรัฐ
	นโยบายและการสนับสนุนของรัฐบาล (PA2)	กลไกนโยบายของภาครัฐและการสนับสนุนของภาครัฐบาล
4. ด้านเศรษฐกิจ (EA)	ความต้องการใช้ไฟฟ้า (EA1)	ความต้องการการใช้ไฟฟ้าของผู้ลงทุน
	คุณภาพและการบริการ (EA2)	คุณภาพและการบริการของผู้ติดตั้ง
	ราคา (EA3)	ราคาในการติดตั้งโซล่าร์เซลล์
	การบำรุงรักษา (EA4)	การบำรุงรักษาตลอดการบริการหลังการขาย

หมายเหตุ การบำรุงรักษา (EA4) เป็นปัจจัยเพิ่มเติมจากผู้เชี่ยวชาญ

3.2 วิธีการตามกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ความคลุมเครือ

การวิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อนและคลุมเครือโดยกระบวนการ Fuzzy AHP เป็นการประยุกต์ระหว่างกระบวนการ AHP และ Fuzzy set โดยการเปลี่ยนแปลงตัวเลขในช่วง 1 ถึง 9 ให้อยู่ในรูปตัวเลขฟัซซี [13] งานวิจัยนี้ใช้สเกลแปลงภาษาพูดมาเป็นตัวเลขฟัซซี ดังตารางที่ 4 แต่แบบสอบถามในงานวิจัยนี้ได้ลดจำนวนสเกลเป็น 1 5 9 เนื่องจากปัจจัยของการวิเคราะห์เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพ หากใช้ระดับการให้ความสำคัญหลายระดับมากเกินไป อาจทำให้การประเมินเชิงคุณภาพไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน โดยใช้ตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยม (1,1,3) แทน (1,1,1) หากระดับความสำคัญของปัจจัยเท่ากัน เพื่อลดจำนวนคำถามที่ต้องสอบถามผู้เชี่ยวชาญ [14] โดยรูปแบบตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยมจะเป็น (l, m, u) เมื่อ m คือค่ากลางของ $\mu M(x)$ และ l, u เป็นค่าขอบเขตล่างและขอบเขตบนตามกฎ [4] การบวก การลบ การคูณ และอินเวอร์สโดยใช้สมการที่ (3) ถึง (6)

การบวกกันของ Triangular Fuzzy Number คือ

$$(l_1,m_1,u_1) \oplus (l_2,m_2,u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (3)$$

การลบกันของ Triangular Fuzzy Number คือ

$$(l_1,m_1,u_1) \ominus (l_2,m_2,u_2) = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad (4)$$

การคูณกันของ Triangular Fuzzy Number คือ

$$(l_1,m_1,u_1) \otimes (l_2,m_2,u_2) = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (5)$$

การหาอินเวอร์สของ Triangular Fuzzy Number คือ

$$(l_1,m_1,u_1)^{-1} = (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1) \quad (6)$$

ตารางที่ 4 สเกลแปลงภาษาพูดมาเป็นตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยม

ตัวเลขทั่วไป	คะแนนความสำคัญ FAHP	ตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยม	ระดับการให้ความสำคัญ
1	$\tilde{1}$	(1,1,3)	เท่ากัน
3	$\tilde{3}$	(1,3,5)	มากกว่าพอประมาณ
5	$\tilde{5}$	(3,5,7)	มากกว่ามากชัดเจนปานกลาง
7	$\tilde{7}$	(5,7,9)	มากกว่ามากชัดเจนมาก
9	$\tilde{9}$	(7,9,9)	มากกว่ามากชัดเจนมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 1 สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์ตัดสินใจในการเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละปัจจัยและสร้างเมทริกซ์ฟัซซี (Fuzzy Matrix Construction) โดยใช้สมการที่ (7) เพื่อใช้ค่าในการเปรียบเทียบแต่ละเกณฑ์ โดยที่ $\tilde{r_{ij}} = (l_i, m_i, u_i)$

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \tilde{r_{11}}\tilde{r_{12}} & \cdots & \tilde{r_{1n}} \\ \tilde{r_{21}}\tilde{r_{22}} & \cdots & \tilde{r}_{2n} \\ \vdots \quad \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{r}_{n1}\tilde{r}_{n2} & \cdots & \tilde{r_{nn}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าผู้เชี่ยวชาญตัดสินใจว่าปัจจัย A สำคัญมากกว่าชัดเจนกับปัจจัย B ปานกลาง จะใช้ตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยม (3,5,7) ในทางกลับกันหากเทียบ B สำคัญมากกว่าชัดเจนกับปัจจัย A ปานกลาง จะใช้ตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยม (1/7,1/5,1/3) โดยเปรียบเทียบสเกลจากตารางที่ 4 ตัวอย่างการแปลงตัวเลขทั่วไปให้อยู่ในรูปตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยมดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการแปลงตัวเลขทั่วไปจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญของปัจจัยหลักให้อยู่ในรูปตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยม

ปัจจัยหลัก	TA			PHA			PA			EA		
TA	1	1	3	3	5	7	3	5	7	1/7	1/5	1/3
PHA	1/7	1/5	1/3	1	1	3	1	1	3	1/7	1/5	1/3
PA	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1	1	1	3	1/9	1/9	1/7
EA	3	5	7	3	5	7	7	9	9	1	1	3

ขั้นตอนที่ 2 หากมีผู้เชี่ยวชาญประเมินมากกว่า 1 คนขึ้นไปต้องทำการรวมผลการตัดสินใจโดยคำนวณค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตเรียกว่า Geometric Mean ($\widetilde{R_l}$) โดยใช้สมการที่ (8) ค่าแสดงในตารางที่ 6 [14]

$$\widetilde{R_l} = (\prod_{j=1}^{n} \tilde{r_{lj}})^{\frac{1}{n}} \quad (8)$$

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของปัจจัยหลัก Geometric Mean ($\widetilde{R_l}$)

ปัจจัยหลัก	TA			PHA			PA			EA		
TA	1	1	3	1.81	2.36	3.82	2.47	3.73	4.87	1.60	2.36	3.15
PHA	0.36	0.42	0.76	1	1	3	2.19	3.16	5.49	0.70	1.00	1.68
PA	0.22	0.32	0.51	0.23	0.27	0.49	1	1	3	0.70	0.79	1.77
EA	0.45	0.63	1.09	0.49	0.67	0.96	1.04	1.26	2.79	1	1	3

ขั้นตอนที่ 3 ทำการแปลงค่าตัวเลขจากตัวเลขฟัซซี ให้กลายเป็นตัวเลขปกติ ซึ่งเรียกว่า Defuzzification โดยใช้สมการที่ 9 จะได้ค่าแสดงไว้ในตารางที่ (7) [4]

$$M_i = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3} \quad (9)$$

ขั้นตอนที่ 4 ทำการหาค่าปลดตรรกศาสตร์คลุมเครือ M_i จะได้ค่า W_i โดยใช้สมการที่ (10) จะได้ค่าแสดงไว้ในตารางที่ 7 [4]

$$W_i = \frac{Mi}{\sum_{i=1}^{w} Mi} \quad (10)$$

ตารางที่ 7 ค่าปลดตรรกศาสตร์คลุมเครือ (M_i) และค่าถ่วงน้ำหนักบรรทัดฐาน (W_i)

ปัจจัย	M_i	W_i	ลำดับ
TA	0.55	0.44	1
TA1	1.03	0.75	1
TA2	0.34	0.25	2
PHA	0.31	0.24	2
PHA1	0.92	0.66	1
PHA2	0.48	0.34	2
PA	0.15	0.12	4
PA1	0.51	0.37	2
PA2	0.86	0.63	1
EA	0.25	0.2	3
EA1	0.42	0.38	1
EA2	0.29	0.26	3
EA3	0.39	0.35	2
EA4	0.25	0.22	4

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการวิเคราะห์ปัจจัยในการเลือกพื้นที่ติดตั้งระบบโซล่าร์เซลล์บนหลังคาที่เหมาะสมของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยด้วยกระบวนการ Fuzzy AHP พบว่าปัจจัยหลักด้านเทคนิคส่งผลต่อการเลือกพื้นที่การติดตั้งมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ด้านสรีรวิทยา ด้านเศรษฐกิจ และด้านการเมือง โดยมีค่าน้ำหนักสัมพัทธ์เท่ากับ 0.44, 0.24, 0.20 และ 0.12 ตามลำดับ ซึ่งถ้าพิจารณาแยกเป็นแต่ละปัจจัยย่อยพบว่า ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ (0.3292) เป็นปัจจัยย่อยที่ส่งผลต่อการเลือกพื้นที่การติดตั้งโซล่าร์เซลล์มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (0.1612), ประสบการณ์ผู้ติดตั้ง (0.1093), พื้นที่การติดตั้ง (0.0832), นโยบายและการสนับสนุนของรัฐบาล (0.0760), ความต้องการใช้ไฟฟ้า (0.0754), ราคา (0.0693), คุณภาพและการบริการ (0.0512), กฎหมาย (0.0451) และการบำรุงรักษา (0.0436) ตามลำดับ ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 8

5. ผลการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการ Fuzzy AHP และกระบวนการ AHP

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์การใช้กระบวน Fuzzy AHP เทียบกับกระบวนการ AHP พบว่าค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของแต่ละปัจจัยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่กระบวนการ Fuzzy AHP สามารถวิเคราะห์จัดการข้อมูลที่มีความซับซ้อนและมีความคลุมเครือของผู้เชี่ยวชาญได้ดีกว่า เนื่องจากใช้ Fuzzy set มาวิเคราะห์ทำให้สามารถตัดสินใจได้ใกล้เคียงกับความคิดที่คลุมเครือของมนุษย์ได้มากขึ้น ผลค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของแต่ละปัจจัยแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของแต่ละปัจจัย

ปัจจัยย่อย	Fuzzy AHP	AHP	ลำดับ
	ค่าน้ำหนักสัมพัทธ์	ค่าน้ำหนักสัมพัทธ์	
TA1	0.3292	0.3183	1
PHA1	0.1612	0.1590	2
TA2	0.1093	0.1427	3
PHA2	0.0832	0.0798	4
PA2	0.076	0.0709	5
EA1	0.0754	0.0627	6
EA3	0.0693	0.0592	7
EA2	0.0512	0.0342	8
PA1	0.0451	0.0412	9
EA4	0.0436	0.0320	10

6. สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาการเลือกพื้นที่ติดตั้งโซล่าร์เซลล์บนหลังคาสำหรับภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยโดยใช้กระบวนการ Fuzzy AHP พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจมี 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเทคนิค ด้านเศรษฐกิจ ด้านสรีรวิทยา และด้านการเมือง โดยด้านเทคนิคมีค่าน้ำหนักสัมพัทธ์สูงสุดที่ 0.44 สะท้อนถึงความสำคัญของข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์และประสบการณ์ผู้ติดตั้งที่ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของระบบ ในขณะที่ด้านเศรษฐกิจมีค่าน้ำหนัก 0.24 โดยเน้นที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าและราคาในการติดตั้ง ด้านสรีรวิทยาซึ่งมีค่าน้ำหนัก 0.20 ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิอากาศและความเหมาะสมของพื้นที่ ด้านการเมืองที่มีค่าน้ำหนัก 0.12 แม้จะมีความสำคัญน้อยที่สุด แต่กฎหมายและนโยบายการสนับสนุนยังคงเป็นปัจจัยที่ควรคำนึงถึง เนื่องด้วยปัจจัยทางด้านการเมืองมีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจโดยตรง เช่น หากรัฐบาลมีการส่งเสริมการลดหย่อนภาษีและการขายไฟคืนให้แก่ภาครัฐ ก็จะทำให้ราคาและต้นทุนในการติดตั้งลดลง อาจจะเป็นหนึ่งในแรงจูงใจสำหรับการติดตั้งโซล่าร์เซลล์ ซึ่งพบว่าค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของปัจจัยที่วิเคราะห์เลือกพื้นที่ติดตั้งโซล่าร์เซลล์บนหลังคาสำหรับภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของประเทศที่อยู่ในทวีปเอเชีย เนื่องด้วยลักษณะพื้นที่ ภูมิประเทศ อุณหภูมิ อากาศ ระยะเวลาของช่วงกลางคืนและกลางวันคล้ายคลึงกัน ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าปัจจัยด้านเทคนิคส่วนข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากสุดในการเลือกพื้นที่การติดตั้งโซล่าร์เซลล์ของประเทศแถบทวีปเอเชีย ส่วนประเทศแถบทวีปยุโรปพบว่าปัจจัยด้านสรีรวิทยาในส่วนอุณหภูมิ

อากาศ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุด เนื่องด้วยทวีปยุโรปมีอุณหภูมิและอากาศที่แตกต่างกัน ตลอดจนระยะเวลาของช่วงกลางวันและกลางคืนแปรปรวน จึงต้องคำนึงปัจจัยด้านสรีรวิทยาอย่างมากสำหรับการติดตั้งระบบโซล่าร์เซลล์ หลังจากได้ปัจจัยที่มีน้ำหนักสูงสุด 2 ลำดับแรก ได้แก่ ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ (TA1) และอุณหภูมิอากาศ (PHA1) ทั้งสองปัจจัยมีค่าน้ำหนักสัมพัทธ์รวมกันเกือบ 50% ของน้ำหนักทั้งหมด ทางผู้วิจัยจึงได้นำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโซล่าร์เซลล์บนหลังคาของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย พบว่าภูมิภาคที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยในการตัดสินใจเลือกพื้นที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโซล่าร์เซลล์ในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการช่วยลดความไม่แน่นอนในการตัดสินใจ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์นี้มีข้อจำกัดบางประการ เช่น การประเมินต้องอาศัยความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญเพียง 7 ท่าน ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมมุมมองที่หลากหลาย อีกทั้งการประยุกต์ใช้ผลการศึกษานี้ในภูมิภาคอื่นอาจต้องปรับเปลี่ยนตามบริบทที่แตกต่างกันเพื่อพัฒนาคุณภาพของงานวิจัยในอนาคต ควรเพิ่มจำนวนผู้เชี่ยวชาญหรือเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากผู้เกี่ยวข้องที่หลากหลาย เช่น ผู้ประกอบการหรือผู้ให้บริการติดตั้งโซล่าร์เซลล์ นอกจากนี้ ควรพิจารณาใช้เครื่องมืออื่น เช่น GIS หรือการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ร่วมกับกระบวนการ Fuzzy AHP เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ อีกทั้งควรศึกษาผลกระทบจากนโยบายของภาครัฐเพิ่มเติม เช่น การลดภาษีนำเข้าหรือการสนับสนุนเงินทุน ซึ่งจะช่วยให้ผลลัพธ์สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น และเพิ่มศักยภาพในการนำไปใช้งานจริงในระดับประเทศและระดับนานาชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] การใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยรายไตรมาส 9 เดือนแรกของปี 2567, ข้อมูลจากจากรายงานสถานการณ์พลังงาน ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสาร สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, (วันที่สืบค้นวันที่ 19 มกราคม 2568)

[2] เฉลิมพล สัตยาวุฒิพงศ์. โซล่าร์เซลล์ 101, พิมพ์ครั้งที่ 1/2564, โรงพิมพ์บริษัท โปรวิชั่น จำกัด.

[3] วรางคณา ประชาเกษม และฑาทิพย์ ลีลาธนาพิพัฒน์. 2564. “การประยุกต์ใช้ทฤษฎี AHP ในการเลือกใช้รูปแบบเฟอร์นิเจอร์ กรณีศึกษา: ร้านสะดวกซื้อ.” วารสารบริหารธุรกิจอุตสาหกรรม, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1: 1-27.

[4] ธนิตเชษฐ์ ดวงโสมา, สุทธิชัย เจริญกิจ, และพลกฤษณ์ ค้าขาย, การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้เทคนิคฟัซซีเอเอชพีสำหรับการประเมินความปลอดภัยในงานก่อสร้าง, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28, วันที่ 24-26 พฤษภาคม 2566 ภูเก็ต, ประเทศไทย.

[5] S. Sindhu, V. Nehra and S. Luthra. 2017. “Investigation of feasibility study of solar farms deployment Using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 73 (2017): 496–511

[6] S. Ali, J. Taweekun, K.Techato, J. Waewsak and S. Gyawali. 2019. “GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand”. Renewable Energy, Vol.132 (2019): 1360-1372

[7] C.N. Wang,T.T Dang, N.A.T. Nguyen, and J.W. Wang. 2020. “A combined Data Envelopment Analysis (DEA) and Grey Based Multiple Criteria Decision Making (G-MCDM) for solar PV power plants site selection: A case study in Vietnam”. Energy Reports, Vol. 8 (2022): 1124–1142

[8] R. Islam, T. Aziz, M. Alauddin and Z. Kader.2024. “Site suitability assessment for solar power plants in Bangladesh: A GIS-based analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approach”. Renewable Energy, Vol. 220 (2024): 119595.

[9] N. Shriki, R. Rabinovici, K. Yahav and O. Rubin. 2023. “Prioritizing suitable locations for national-scale solar PV installations: Israel’s site suitability analysis as a case study”. Renewable Energy, Vol. 205 (2023): 105–124.

[10] A. Demir, A.E. Dinçer and K. Yılmaz. 2024. “A Novel Procedure for the AHP Method for the Site Selection of Solar PV Farms”. International Journal of Energy Research, Vol. 2024, Article ID 5535398, 15 pages.

[11] M.K. Saraji, D. Streimikiene and V. Suresh. 2024. “A novel two-stage multicriteria decision-making approach for selecting solar farm sites: A case study”. Journal of Cleaner Production Vol. 444 (2024): 141198.

[12] จุฑาพัฒน์ ธิโสภา และศุภชาต เอี่ยมรัตนกูล. 2562. “ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์สำหรับบ้านอยู่อาศัย โดยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น.”วารสารสหวิทยาการวิจัย ฉบับบัณฑิตศึกษา I ปีที่ 8 ฉบับที่ 2: 1-10.

[13] G. Akkaya, B. Turanoglu and S. Oztas. 2015. “A ninte grated fuzzy AHP and fuzzy MOORA approach to the problem of industrial engineering sector choosing”. Expert Systems with Applications Vol. 42 (2015): 9565–9573

[14] จิรยุ พุดพวง, การตัดสินใจหลายเกณฑ์แบบไฮบริดเพื่อหาคู่ค้าพันธมิตรเชิงกลยุทธ์ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2566)

การออกแบบการจัดวางสินค้าโดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์

Design product placement using simulation techniques

สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี[1*] ชารอน หมานเด[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: supaporn.s@eng.kmutnb.ac.th*

Supaporn Suwannarongsri[1*] Charon Manday[1]
[1]Department of Material Handing and Logistics Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

E-mail: supaporn.s@eng.kmutnb.ac.th *

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับแก้ปัญหาการจัดวางสินค้าใน จากการศึกษาสภาพปัญหาภายในคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา โดยการจัดทำแบบสอบถามเพื่อสอบถามปัญหาภายในคลังสินค้าจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องภายในคลังสินค้า พบปัญหาพื้นที่จัดเก็บสินค้ามีไม่เพียงพอ, การค้นหาสินค้าใช้เวลานาน, ปริมาณสินค้าที่มีอยู่จริงในคลังสินค้ากับในระบบไม่เท่ากัน และสินค้ามีการเสื่อมสภาพจากการจัดเก็บ จากปัญหาดังกล่าวได้ประยุกต์ใช้หลักการ Why-Why Analysis เพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางแก้ไขปัญหา พบว่าควรมีการจำลองสถานการณ์การจัดวางสินค้าโดยออกแบบรูปแบบการจัดวางจำนวน 3 รูปแบบที่ครอบคลุมเงื่อนไขที่เป็นไปได้ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 จัดวางตามการเคลื่อนไหว (FSN Analysis), รูปแบบที่ 2 จัดวางแบบกลุ่ม (Group) และรูปแบบที่ 3 จัดวางแบบผสม (Mix) ทำการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Tecnomatix-Plant Simulation หลังการประยุกต์ใช้พบว่า การจัดวางรูปแบบที่ 1 FSN Analysis ใช้ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าน้อยที่สุด 121.94 วินาที ลดลงจากเดิม 111.39 วินาที คิดเป็นร้อยละ 47.7 การจัดวางรูปแบบที่ 2 Group ใช้ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าน้อยที่สุด 127.33 วินาที ลดลงจากเดิม 106 วินาที คิดเป็นร้อยละ 45.4 การจัดวางรูปแบบที่ 3 Mix ใช้ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าน้อยที่สุด 127.48 วินาที ลดลงจากเดิม 105.85 วินาที คิดเป็นร้อยละ 45.3 เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดวางรูปแบบเดิม

คำสำคัญ: คลังสินค้า, การจัดวางสินค้า, การจำลองสถานการณ์

Abstract

This article presents the application of a computer program for solving product placement problems in from studying the problem conditions within the warehouse of the case study company. By creating a questionnaire to inquire about problems within the warehouse from stakeholders within the warehouse. Found problems with insufficient product storage space, searching for products taking a long time, and the actual quantity of products in the warehouse and in the system not being the same and the product has deteriorated from storage. From the above problems, Why-Why Analysis principles were applied to analyze and find solutions. It was found that product placement situations should be simulated by designing three layouts that cover possible conditions, namely Model 1 FSN Analysis, Model 2 Group, and Model 3 Mix. Simulate the situation with a computer program. Tecnomatix-Plant Simulation after application found that Layout 1: F SN Analysis takes the least amount of time to disburse goods, 121.94 seconds, reduced from the original 111.39 seconds, accounting for 47.7 percent. Layout 2 Group used the least amount of time to issue goods, 127.33 seconds, a decrease from the original 106 seconds, accounting for 45.4 percent. Layout 3 Mix used the least amount of time to issue goods, 127.48 seconds decreased from the original 105.85 seconds, accounting for 45.3 percent.

Keywords: Warehouse, Product placement, Simulation

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กโทรนิกส์มีแนวโน้มเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการพัฒนาเครื่องใช้ไฟฟ้ารุ่นใหม่ที่ให้ความสำคัญด้านสุขภาพ รวมถึงความสามารถในการเชื่อมโยงการทำงานผ่านอินเตอร์เน็ตตามกระแสความนิยมของผู้บริโภครุ่นใหม่ นอกจากนี้การเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายผ่านการทำตลาดสินค้าออนไลน์ ทำให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงข้อมูลและตัดสินใจซื้อได้สะดวกมากขึ้น การขยายตัวของชุมชนเมืองที่หนุนความต้องการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภทเพิ่มมากขึ้น เช่น ร้านสะดวกซัก (เครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าหยอดเหรียญ) ที่ขยายสาขามากขึ้น นอกจากนี้ภาวะโลกร้อนช่วยหนุนความต้องการเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งไทยยังมีอัตราการถือครองเครื่องปรับอากาศค่อนข้างต่ำเพียงร้อยละ 8 ของจำนวนครัวเรือนทั้งหมด เนื่องจากแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นในการผลิตอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กโทรนิกส์ และเพื่อให้การส่งมอบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น การจัดเก็บสินค้าคงคลังจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ทันต่อการส่งออกสินค้าทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นการบริหารจัดการคลังสินค้า ทั้งในด้านของพื้นที่และการจัดวางสินค้าจึงเป็นสิ่งสำคัญส่วนหนึ่งที่คลังสินค้าต้องคำนึงถึง หากมีการบริหารจัดการระบบคลังสินค้าที่เป็นระบบจะทำให้ลดระยะเวลาในการขนย้ายสินค้าและง่ายต่อการตรวจนับจำนวนสินค้าคงคลังจริง จากกรณีศึกษาคลังสินค้าของบริษัทผลิตและประกอบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กโทรนิกส์ ด้านการจัดเก็บวัตถุดิบ พบปัญหาภายในคลังสินค้าคือ พื้นที่จัดเก็บสินค้ามีไม่เพียงพอ, การค้นหาสินค้าใช้เวลานาน, สินค้าที่มีอยู่จริงในคลังสินค้ากับสินค้าในระบบมีปริมาณไม่เท่ากัน และสินค้ามีการเสื่อมสภาพจากการจัดเก็บ จึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคลังสินค้าบริษัทกรณีศึกษาต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC Tools)

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ [1] เป็นเครื่องมือทางวิศวกรรมที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพของกระบวนการผลิตซึ่งจะถูกนำมาช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหาทั่วไปในอุตสาหกรรม มีการสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหานำมาสู่การค้นหาและวิเคราะห์หาข้อเท็จจริงและสาเหตุหลักของปัญหาเพื่อให้สามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้องและถูกจุด ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพที่สำคัญมี 7 ชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ใบตรวจสอบ, แผนผังพาเรโต, แผนภูมิกราฟ, กราฟเส้น, แผนผังการกระจาย, แผนภูมิฮิสโตแกรม, แผนภูมิควบคุม

2.1.2 หลักการจับเวลา

Frederick Winslow Taylor เป็นผู้ริเริ่มนำพิกามาใช้ในการจับเวลาในการทำงาน โดยมีการแตกกระบวนการทำงานออกเป็นงานย่อย ๆ และศึกษาเวลาแต่ละงานย่อย กล่าวได้ว่าการศึกษาเวลา คือ เทคนิคของการวัดผลงานเพื่อหาเวลาและอัตราการทำงาน ซึ่งการคำนวณหาจำนวนรอบในการจับเวลาแต่ละครั้งมีงานย่อยอื่นซ้อนอยู่ [2] การจับเวลาเพียงครั้งเดียวไม่เพียงพอจะใช้เป็นข้อมูลในการคำนวนมาตราฐานที่มีความน่าเชื่อถือโดยวิธีการหาจำนวนรอบที่เหมาะสม สามารถหาได้จากวิธีการเปิดตาราง Maytag

2.1.3 ทฤษฎีการจัดการคลังสินค้า

คลังสินค้าเป็นจุดเชื่อมต่อที่สำคัญระหว่างหน่วยงานต่างๆ ที่อยู่ในระบบโลจิสติกส์ ระบบการจัดเก็บวัสดุและสินค้าภายในคลังสินค้าเครื่องมือที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายวัสดุและสินค้า การจัดวางสินค้าตามการเคลื่อนไหว (Fast Moving) เป็นวิธีการวิเคราะห์และจัดแบ่งกลุ่มตามความถี่ของการใช้งานของสินค้า การจัดวางสินค้าแบบกลุ่ม (Group) เป็นรูปแบบการจัดสินค้าแบบตามประเภทสินค้า และการจัดวางสินค้าแบบผสม (Mixed) เป็นการจัดวางสินค้าผสมกันระหว่างการจัดวางสินค้าตามการเคลื่อนไหว (Fast Moving) กับแบบกลุ่ม (Group) [3]

2.1.4 การจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) คือกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบ การทำงานจริง (Real system) เพื่อเรียนรู้พฤติกรรมของกระบวนการและเพื่อประเมินผลของการประยุกต์ใช้วิธีการ (Strategies) ต่างๆในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Tecnomatix-Plant Simulation ซึ่งสามารถสร้างโมเดลการจำลองสถานการณ์เพื่อที่จะเลือกรูปแบบการจัดวางสินค้าก่อนลงมือปฏิบัติจริงจะช่วยลดความเสี่ยงในส่วนที่กระทบกับการทำงานจริงได้ [4]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า ของบริษัทจำหน่ายก๊าซอุตสาหกรรม [5] ทำการใช้การจำลองสถานการณ์ (Simulation) โดยวิเคราะห์สินค้าด้วย FSN Analysis เพื่อจัดกลุ่มตามอัตราการหมุนเวียน และปรับเปลี่ยนตำแหน่งเก็บสินค้าให้เหมาะสม นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบ 2 วิธีการหยิบสินค้า ได้แก่ Discrete Order Picking และ Batch Picking ผลการศึกษาพบว่าการใช้ Batch Picking ร่วมกับการจัดวางสินค้าใหม่ช่วยลด ระยะเวลาหยิบสินค้าเฉลี่ยลง ร้อยละ 25.62 และลดระยะทางรวมร้อยละ 77.72 ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดส่งและลดต้นทุนของบริษัท

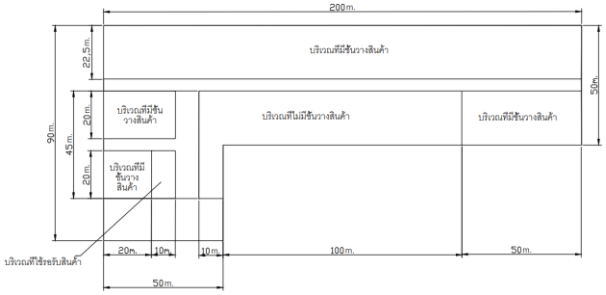
จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้ทำการวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักการ Why-Why Analysis ในการวิเคราะห์ปัญหา พบแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยการออกแบบรูปแบบการจัดวางสินค้าในคลังสินค้าใหม่เพื่อเปรียบเทียบกับการจัดวางรูปแบบเดิม โดยการออกแบบรูปแบบการจัดวางจำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 จัดวางตามการเคลื่อนไหว (FSN), รูปแบบที่ 2 จัดวางตามกลุ่ม (Group) และรูปแบบที่ 3 จัดวางแบบผสมระหว่างการเคลื่อนไหวกับกลุ่ม (Mix (Group and FSN Analysis) โดยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Tecnomatix-Plant Simulation

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหา นำมาวิเคราะห์และหาแนวทางแก้ไข โดยพบว่าการปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าบริษัทกรณีศึกษาสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ จึงได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Tecnomatix Plant Simulation มาสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดวางสินค้า จากการพิจารณารูปแบบการจัดวางที่เป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้งานจริงพบว่ามี 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1.จัดวางสินค้าตามการเคลื่อนไหว รูปแบบที่ 2.จัดวางสินค้าตามกลุ่ม รูปแบบที่ 3.จัดวางสินค้าแบบผสม มีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 ศึกษาสภาพปัญหาของคลังสินค้า

จากการศึกษาสภาพพื้นที่ของบริษัทกรณีศึกษา พบกระบวนการทำงานของคลังสินค้า ประกอบด้วย จุดรับสินค้า, จุดพักสินค้า, พื้นที่จัดเก็บ และจุดจ่ายสินค้า แสดงดังรูปที่ 1



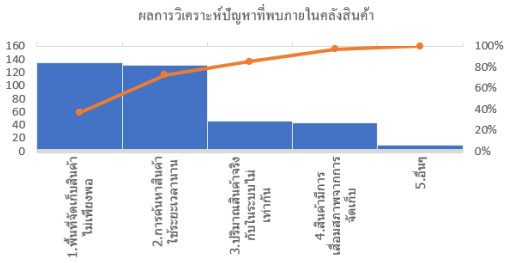
รูปที่ 1 แผนผังคลังสินค้าบริษัทกรณีศึกษา

จากการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องภายในคลังสินค้าถึงปัญหาที่พบในระบบคลัง แล้วนำมาทำแบบสอบถามเพื่อหาความถี่ของปัญหาที่เกิดขึ้นจากผู้ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย หัวหน้าคลังสินค้า ผู้ดูแลระบบจัดการคลังสินค้า และพนักงานภายในคลังสินค้า จำนวน 32 คน โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ.2566 พบความถี่ของการเกิดปัญหาดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความถี่ของการเกิดปัญหาภายในคลังสินค้า

ปัญหาภายในคลังสินค้า	ความถี่ (ครั้ง)
สินค้ามีการเสื่อมสภาพจากการจัดเก็บ	44
การค้นหาสินค้าใช้ระยะเวลานาน	131
พื้นที่จัดเก็บสินค้าไม่เพียงพอ	135
ปริมาณสินค้าจริงกับในระบบไม่เท่ากัน	46
อื่นๆ	10

จากความถี่ของปัญหาที่พบได้ประยุกต์ใช้หลักการของพาเรโต เพื่อเลือกปัญหาที่จะนำมาแก้ไข ผลการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปัญหาที่พบภายในคลังสินค้า

จากการวิเคราะห์พบปัญหาที่ต้องทำการปรับปรุงแก้ไข คือการค้นหาสินค้าใช้ระยะเวลานาน เนื่องมากจากการจัดวางสินค้าที่ยังไม่เป็นระบบจากรูปแบบการจัดเก็บแบบเดิม ซึ่งจะวิเคราะห์และหาแนวทางแก้ไขในหัวข้อต่อไป

3.2 ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาแนวทางการแก้ไข

ได้ทำการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาจากทฤษฎี Why-Why Analysis แสดงผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ทฤษฎี Why – Why Analysis

ปัญหา	ทำไม 1	ทำไม 2	ทำไม 3	แนวทางการแก้ไขปัญหา	ประโยชน์ที่จะได้รับ
พื้นที่จัดเก็บสินค้าไม่เพียงพอ	บริเวณที่ทำการศึกษาไม่มีชั้นวางสินค้า	การจัดวางสินค้าไม่เป็นระเบียบ	ไม่มีตำแหน่งการจัดวางสินค้าที่ชัดเจนใน บริเวณที่ทำการศึกษา	บริษัทได้ทำการจัดซื้อชั้นวางสินค้าเพิ่ม	1.สามารถจัดเก็บสินค้าได้มากยิ่งขึ้น 2.ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า
ความยากต่อการค้นหาสินค้าที่ส่งผลต่อเวลา	ต้องจัดสินค้าก่อนที่จะนำออกมายังจุดจ่ายสินค้าทุกครั้ง	ไม่มีการบอกตำแหน่งในใบเบิกสินค้าในบริเวณที่ไม่มีชั้นวางสินค้า		ทำการปรับปรุงผังคลังสินค้าและการจัดวางสินค้าโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์	1.สามารถกำหนดการจัดวางสินค้าให้เป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น 2.ง่ายต่อการค้นหาสินค้า
		จัดวางสินค้าไม่เป็นระบบในบริเวณที่ไม่มีชั้นวาง	บริเวณที่จัดวางสินค้าแบบไม่มีชั้นวางจะจัดวางแบบตรงไหนมีพื้นที่ว่างก็จะวางตรงนั้น		

จากผลการวิเคราะห์พบแนวทางแก้ไขปัญหาโดยการใช้สร้างแบบจำลองสถานการณ์จากโปรแกรม Texnometic Plant Simulation โดยการสร้างแบบจำลองการจัดวางสินค้า 3 รูปแบบ ได้แก่ 1.จัดวางสินค้าตามการเคลื่อนไหว, 2.จัดวางสินค้าตามกลุ่ม และ 3.จัดวางสินค้าแบบผสม โดยเริ่มทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาการเบิกจ่ายสินค้าของคลังสินค้าบริเวณพื้นที่ที่ไม่มีชั้นวางสินค้าเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง จากการพิจารณาหากลุ่มตัวอย่างโดยการใช้หลักการ Maytag พบว่าต้องมีการเก็บกลุ่มตัวอย่างจำนวน 296 ตัวอย่าง ข้อมูลระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3 หลังจากได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างแล้ว จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป 4

ตารางที่ 3 ระยะเวลาการเบิกจ่ายสินค้าบริเวณที่ไม่มีชั้นวางสินค้า

วัน/เดือน/ปี	Part Number	เวลาที่จับได้แต่ละใบเบิก (วินาที)	จำนวนพาเลท	วินาทีต่อพาเลท
22/5/2023	1003508605	281	1	281
	1114290401	1188	4	297
	1003519401	284	1	284
	1140003001	321	1	321
23/5/2023	1002115201	374	3	125
	1117772002	290	1	290
	1140009701	240	1	240
	1140009901	240	1	240
	1202900206	240	1	240
	1204400102	480	2	240
	1114111001TD	884	4	221
	1076040303	320	1	320

4. ผลการดำเนินงาน

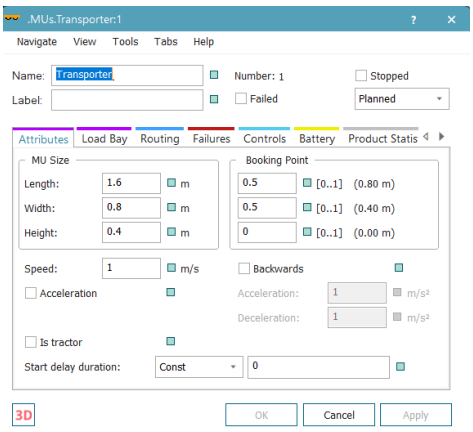
การเบิกจ่ายสินค้าก่อนการปรับปรุง เป็นการจัดวางสินค้าบนพื้นไม่มีการระบุตำแหน่งการจัดวางสินค้าที่ชัดเจนเนื่องจากบริเวณพื้นที่จัดเก็บเดิมไม่มีชั้นวางสินค้า การพิจาณาจัดวางสินค้ารูปแบบเดิมจะจัดวางตามประสบการณ์ของพนักงานในคลังสินค้า โดยเลือกวางสินค้าบริเวณพื้นที่ว่าง อีกทั้งยังไม่มีการบอกตำแหน่งในการจัดวางสินค้าที่ชัดเจนส่งผลต่อระยะเวลาในการค้นหาสินค้า จากข้อมูลระยะเวลาการเบิกจ่ายสินค้าในตารางที่ 4 พบว่าระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้ารูปแบบเดิมใช้เวลาเฉลี่ย 233.03 วินาที สูงกว่าเกินมาตราฐาน โดยบริษัทกรณีศึกษามีการกำหนดระยะเวลาการเบิกจ่ายสินค้าอยู่ที่ 150 วินาที

ตารางที่ 4 ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าก่อนการปรับปรุง

รหัสสินค้าที่ใส่ในโปรแกรม	PART NUMBER	จำนวนพาเลท	เวลาทั้งหมด (วินาที)	เวลาต่อ1พาเลท (วินาที ต่อ 1 พาเลท)
C152	1114298901	6	2430	405.00
C154	1114299001	10	3320	332.00
C18	1109601006	35	7162	204.63
C181	1114660402TD	11	1331	121.00
C183	1114660403TD	15	4110	274.00
C248	1140003001	3	948	316.00
C28	1110000805	21	6615	315.00
C298	1140012101	4	189	47.25
C302	1140012301	7	994	142.00
C315	1140018001	8	1435	179.38
C320	1140091801	3	200	66.67
C322	1140092501	5	205	41.00
C387	1141003101	2	344	172.00
C39	1111501201U	5	1050	210.00
C51	1111503011	10	2550	255.00
C61	1112301004	45	13185	293.00
C630	1003515201	6	1492	248.67
C65	1112301012	11	2728	248.00
C7	1108901504G	13	2730	210.00
C72	1114111001TD	19	7486	394.00
C8	1109401002	30	7828	260.93
C81	1114216101	3	646	215.33
C83	1114218001	20	6640	332.00
			เวลาเฉลี่ย	233.03

4.1 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์

หลังการออกแบบการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าแล้วได้ทำการศึกษาและประยุกต์ใช้โปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation เพื่อจำลองสถานการณ์และหาระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าทั้ง 3 รูปแบบ ดังที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อให้การไหลของงานถูกต้องตามกระบวนการจริง การกำหนดค่าของโปรแกรมจะเป็นค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 และค่ามาตรฐานต่างๆ ตามที่กฎหมายกำหนด กำหนดการเคลื่อนที่ของรถโฟล์คลิฟท์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เกิน 5 กิโลเมตร เมตรต่อชั่วโมง หรือ 1.3888 เมตรต่อวินาที แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3. การกำหนดค่าในโปรแกรม

หลังจากกำหนดค่าเรียบร้อย ได้ทำการสร้างตัวแบบจำลองสถานการณ์แสดงรายละเอียดของแบบจำลองดังนี้

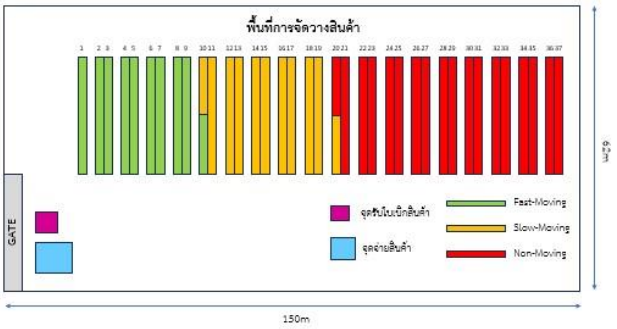
4.1.2. รูปแบบการจัดวางสินค้า

4.1.2.1 การจัดวางสินค้ารูปแบบที่ 1: Fast moving (FSN Analysis) โดยการจัดกลุ่มโดยให้สินค้าที่มีอัตราการใช้งานสะสมร้อยละ 80 เป็นกลุ่ม F มีจำนวน 132 Part number สินค้าที่มีอัตราการใช้งานสะสมร้อยละ 15 เป็นกลุ่ม S มีจำนวน 231 Part number และให้สินค้าที่มีอัตราการใช้งานสะสมร้อยละ 5 เป็นกลุ่ม N มีจำนวน 457 Part number แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ประเภทของสินค้าในแต่ละกลุ่มรูปแบบ Fast moving

การจัดวางแบบ Fast moving	จำนวนรายการ
F	132
S	231
N	457

จากการจัดวางสินค้ารูปแบบที่ 1 ได้ประยุกต์ใช้ในการจัดตำแหน่งการจัดวางสินค้าให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมโดยจัดสินค้าที่มีอัตราการรับสินค้าเข้าและจ่ายสินค้าออกเรียงจากสูงไปต่ำ ผลการจัดตำแหน่งสินค้าแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตำแหน่งการจัดวางสินค้ารูปแบบที่ 1

การจำลองการเบิกจ่ายสินค้ารูปแบบที่ 1 จะได้ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าตาม Part Number และจำนวนพาเลท ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้ารูปแบบที่ 1 : Fast moving

PROGRAM	PART NUMBER	จำนวนพาเลท	เวลาทั้งหมด (วินาที)	เวลาต่อ1พาเลท (วินาที ต่อ 1 พาเลท)
C152	1114298901	6	848	141.33
C154	1114299001	10	1466	146.60
C18	1109601006	35	3398	97.09
C181	1114660402TD	11	1350	122.73
C183	1114660403TD	15	1536	102.40
C248	1140003001	3	440	146.67
C28	1110000805	21	590	28.10
C298	1140012101	4	706	176.50
C302	1140012301	7	1063	151.86
C315	1140018001	8	988	123.50
C320	1140091801	3	545	181.67
C322	1140092501	5	831	166.20
C387	1141003101	2	293	146.50
C39	1111501201U	5	782	156.40
C51	1111503011	10	1360	136.00
C61	1112301004	49	7794	159.06
C630	1003515201	6	848	141.33
C65	1112301012	11	1398	127.09
C7	1108901504G	13	1417	109.00
C72	1114111001TD	19	2147	113.00
C8	1109401002	30	3338	111.27
C81	1114216101	3	529	176.33
C83	1114218001	20	2426	121.30
			เวลาเฉลี่ย	121.94

ผลจากการจำลองรูปแบบที่ 1 ใช้ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าทั้งหมด 23 Part Number จำนวน 296 พาเลท ใช้เวลาเฉลี่ย 121.94 วินาทีต่อ 1 พาเลท

4.1.2.2 การจัดวางสินค้ารูปแบบที่ 2: Group

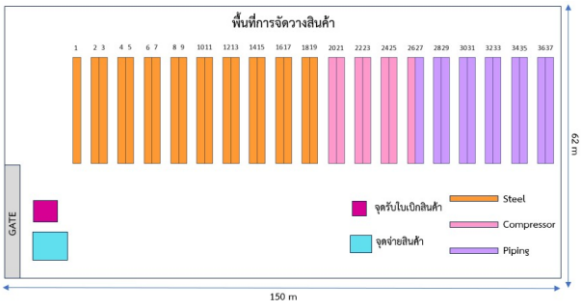
จากข้อมูลบริเวณที่ต้องการปรับปรุงมีกลุ่มสินค้าทั้งหมด 3 กลุ่ม โดยทำการจัดกลุ่มสินค้าจากการรับสินค้าและจ่ายสินค้าออก โดยเรียงกลุ่มสินค้าจากมากไปน้อย พบว่ากลุ่มที่มีการรับและจ่ายสินค้าออกมากที่สุดคือ Steel มีจำนวน 404 Part number กลุ่มรองลงมาคือ Compressor มีจำนวน 174 Part number และกลุ่มสุดท้ายคือ Piping มีจำนวน 242 Part number แสดงดังตารางที่ 7

จากการจัดวางสินค้ารูปแบบที่ 2 ได้นำมาจัดตำแหน่งการจัดวางสินค้าให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ผลการจัดตำแหน่งสินค้า แสดงดังรูปที่ 5

ตารางที่ 7 จำนวนของสินค้าในแต่ละกลุ่มของรูปแบบ Group

การจัดวางแบบ Group	จำนวนรายการ
Steel	404
Compressor	174
Piping	242

จากการจัดวางสินค้ารูปแบบที่ 2 ได้นำมาจัดตำแหน่งการจัดวางสินค้าให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ผลการจัดตำแหน่งสินค้า แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งการจัดวางสินค้ารูปแบบที่ 2

การจำลองการเบิกจ่ายสินค้ารูปแบบที่ 2 จะได้ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าตาม Part Number และจำนวนพาเลท ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้ารูปแบบที่ 2 : Group

PROGRAM	PART NUMBER	จำนวนพาเลท	เวลาทั้งหมด (วินาที)	เวลาต่อ1พาเลท (วินาที ต่อ 1 พาเลท)
C152	1114298901	6	2048	341.33
C154	1114299001	10	137	13.70
C18	1109601006	35	5157	147.34
C181	1114660402TD	11	1511	137.36
C183	1114660403TD	15	1991	132.73
C248	1140003001	3	560	186.67
C28	1110000805	21	2001	95.29
C298	1140012101	4	651	162.75
C302	1140012301	7	1170	167.14
C315	1140018001	8	1297	162.13
C320	1140091801	3	647	215.67
C322	1140092501	5	882	176.40
C387	1141003101	2	326	163.00
C39	1111501201U	5	591	118.20
C51	1111503011	10	1214	121.40
C61	1112301004	45	1925	42.78
C630	1003515201	6	1457	242.83
C65	1112301012	11	4858	441.64
C7	1108901504G	13	2525	194.23
C72	1114111001TD	19	2488	130.95
C8	1109401002	30	1654	55.13
C81	1114216101	3	678	226.00
C83	1114218001	20	1922	96.10
			เวลาเฉลี่ย	127.33

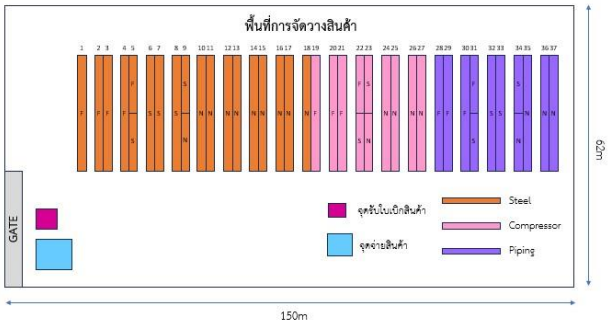
ผลจากการจำลองรูปแบบที่ 2 ทำการเบิกจ่ายสินค้าทั้งหมด 23 Part Number มี 296 พาเลท ใช้เวลาเฉลี่ย 127.33 วินาทีต่อ 1 พาเลท

4.1.2.3 การจัดวางสินค้ารูปแบบที่ 3: Mix (Group และ Fast moving) จากการแบ่งกลุ่มสินค้าแบบ Group พบว่ากลุ่มที่มีการรับและจ่ายสินค้าออกมากที่สุดคือ Steel รองลงมาคือ Compressor และ Piping โดยกำหนดให้เป็น FSN Analysis เมื่อมีอัตราการใช้งานสะสมร้อยละ 80, 15 และ 5 เป็นกลุ่ม F, S, N ตามลำดับแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 จำนวนและประเภทสินค้าในรูปแบบ Mix

Group \ Fast moving	F	S	N
Steel	66	104	234
Compressor	29	28	117
Piping	87	65	90

การจัดวางสินค้ารูปแบบที่ 3 นำมาจัดตำแหน่งการจัดวางสินค้าให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ผลการจัดตำแหน่งสินค้าแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตำแหน่งการจัดวางสินค้ารูปแบบที่ 3

ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าในรูปแบบที่ 3 แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้ารูปแบบที่ 3: Mix

PROGRAM	PART NUMBER	จำนวนพาเลท	เวลาทั้งหมด (วินาที)	เวลาต่อ1พาเลท (วินาที ต่อ 1 พาเลท)
C152	1114298901	6	678	113.00
C154	1114299001	10	1214	121.40
C18	1109601006	35	3400	97.14
C181	1114660402TD	11	1772	161.09
C183	1114660403TD	15	1740	116.00
C248	1140003001	3	453	151.00
C28	1110000805	21	2532	120.57
C298	1140012101	4	537	134.25
C302	1140012301	7	941	134.43
C315	1140018001	8	820	102.50
C320	1140091801	3	398	132.67
C322	1140092501	5	614	122.80
C387	1141003101	2	216	108.00
C39	1111501201U	5	630	126.00
C51	1111503011	10	1025	102.50
C61	1112301004	45	7890	175.33
C630	1003515201	6	1396	232.67
C65	1112301012	11	1042	94.73
C7	1108901504G	13	1421	109.31
C72	1114111001TD	19	2464	129.68
C8	1109401002	30	5353	178.43
C81	1114216101	3	371	123.67
C83	1114218001	20	827	41.35
			เวลาเฉลี่ย	127.48

ผลจากการจำลองรูปแบบที่ 3 โดยทำการเบิกจ่ายสินค้าทั้งหมด 23 Part Number 296 พาเลท ใช้เวลาเฉลี่ย 127.48 วินาทีต่อ 1 พาเลท

5.สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษา และวิเคราะห์ปัญหาการดำเนินงานภายในคลังสินค้าบริษัทกรณีศึกษา พบว่าสาเหตุของปัญหาคือการค้นหาสินค้าใช้ระยะเวลานาน สาเหตุเกิดจากปัจจุบันการจัดวางสินค้ามีการจัดวางบนพื้นซึ่งไม่มีการระบุตำแหน่งที่ชัดเจนทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว หลังการประยุกต์ใช้โปรแกรม Tecnomatix - Plant Simulation สร้างแบบจำลองการจัดวางสินค้าจำนวน 3 รูปแบบ และนำผลการจำลองเปรียบเทียบกับการจัดวางรูปแบบเดิม พบว่าการจัดวางรูปแบบที่ 1 ใช้เวลาเฉลี่ย 121.94 วินาทีต่อ 1 พาเลท ลดลงร้อยละ 47.7 รูปแบบที่ 2 ใช้เวลาเฉลี่ย 127.33 วินาทีต่อ 1 พาเลท ลดลงร้อยละ 45.4 และรูปแบบที่ 3 ใช้เวลาเฉลี่ย 127.48 วินาทีต่อ 1 พาเลท ลดลงร้อยละ 45.3 ทำให้ประสิทธิภาพของระบบคลังสินค้าเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฐพล กำจรจิระพันธ์ และรวินกานต์ ศรีนนท์.2556. “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บสินค้าและวัตถุดิบกรณีศึกษา บริษัท AA Steel (ประเทศไทย) จำกัด.” บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

[2] ธิญาดา ใจไหมคร้าม.2558. “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษาคลังสินค้า 2 ราษฎร์บูรณะกรุงเทพมหานครองค์การคลังสินค้า.” วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

[3] ชยุตม์ บรรเทิงจิตร.2561. “การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ในการออกแบบผังคลังสินค้าเพื่อลดเวลาในการขนถ่ายวัสดุ.” วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง.

[4] ชวลี ไชยชนะและธัญญาเรศ บางสินธุ.2562. “พัฒนาการวางผังคลังสินค้าคอนกรีตสำเร็จรูปโดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์.” ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] ปิยะวัฒน์ ปรีดาวัฒน์, วริยา ปานปรุง และวลัยลักษณ์ อัตธีรวงศ์, 2022,”การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าโดยการจำลองสถานการณ์ กรณีศึกษา บริษัทจำหน่ายก๊าซอุตสาหกรรม”, Journal of Applied statistics and Information Technology Vol.7 (2): 26-47.

[6] นิภาพร ศรีทุมมาและเพ็ญนภา สุพรมอินทร์.2562. “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษาบริษัท สหรุ่งเรืองขนส่ง (2520) จำกัด สาขาจังหวัดเลย.” ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.

[7] นราธิป คลับคล้าย, สินชัย สุกาญจนะ, สหรัฐ พวงน้อย และคณะ. 2562. “การปรับปรุงคลังสินค้าแ ละระบบการจัดเก็บสินค้า กรณีศึกษาบริษัทผลิตสายไฟ.” ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[8] เบญจวรรณ เชื้อเจ็ดตน.2561. “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังวัตถุดิบในโรงงานไม้ กรณีศึกษา บริษัทเชียงใหม่สุขสวัสดิ์อุตสาหกรรม จำกัด.” ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[9] ประสพพร ศรีสุข.2561. “การพัฒนาระบบการจัดการการสั่งซื้อวัตถุดิบไม้ธรรมชาติในโรงงานไม้แปรรูป กรณีศึกษา บริษัทเชียงใหม่สุขสวัสดิ์อุตสาหกรรม จำกัด.” ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[10] วิฑูรย์ พิมพ์สวัสดิ์.2557. “การวิเคราะห์ความสามารถของคลังสินค้าด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ กรณีศึกษาคลังสินค้าอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร.” ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

การวางแผนกำลังคนในการผลิตส้มสายน้ำผึ้งบนพื้นฐานของความต้องการลูกค้าและฤดูกาลผลิต: กรณีศึกษาโรงแว็กซ์ส้มสายน้ำผึ้ง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่

Manpower Capacity Planning based on Variable Demand and Seasonal: A Case Study of Tangerine Sorting Plant in Fang District, Chiang Mai Province

ศิวัชญา พลพิพัฒนพงศ์* กรกฎ ใยบัวเทศ ทิพยาวงศ์
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: Siwatchaya.ph@gmail.com*, Korrakot@eng.cmu.ac.th

Siwatchaya Pholpipattanaphong*, Korrakot Yaibuathat Tippayawong
[1] Program of Industrial Management, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
E-mail: Siwatchaya.ph@gmail.com*, Korrakot@eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวางแผนกำลังคนในการผลิตส้มสายน้ำผึ้งและจัดทำมาตรฐานการตัดสินใจในการวางแผนกำลังคนขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยว คาดการณ์ความต้องการของลูกค้าโดยการพยากรณ์ผลผลิตทางการเกษตร 3 วิธี โดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) พบว่าวิธีอนุกรมเวลาแยกตัวประกอบแบบทวีคูณ เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์อุปสงค์รายเดือน (MAPE 16%) ส่วนวิธีอนุกรมเวลาแยกตัวประกอบแบบบวกเพิ่ม เหมาะสมที่สุดสำหรับอุปสงค์รายวัน (MAPE 11.8%) ในช่วงวันตรุษจีน (Special Event) ในส่วนของการวางแผนกำลังคนในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ใช้การวิเคราะห์แผนผังกระบวนการไหลและทฤษฎี Maytag เพื่อหาจำนวนการจับเวลาแล้วจึงคำนวณเวลาเฉลี่ย, เวลาเผื่อตามมาตรฐาน ตามวิธีขององค์การแรงงานระหว่างประเทศ อัตราความเร็ว ในการคำนวณความต้องการกำลังคนจากอุปสงค์กำลังคน นำเสนอผ่านอินโฟกราฟิก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การจัดทำมาตรฐานการตัดสินใจการวางแผนกำลังคนในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรกำลังคนให้เหมาะสมกับความต้องการของลูกค้าที่มีความผันผวน และช่วยลดปัญหาการขาดแคลนหรือการใช้กำลังคนเกินความจำเป็น โดยการปรับปรุงสามารถเพิ่มอรรถประโยชน์ของการผลิตได้สูงสุดถึง 23.13%

คำสำคัญ: การวางแผนกำลังคน, ฤดูกาล, หลังการเก็บเกี่ยว, ความต้องการลูกค้า, การพยากรณ์

Abstract

This study focuses on manpower planning for tangerine processing post-harvest, taking into account customer demand and seasonal factors. The best models identified are Time Series Decomposition, Multiplicative (MAPE: 16%) for monthly demand, and Time Series Decomposition, Additive (MAPE: 11.8%) for daily demand before the Chinese New Year (Special Event). The study applies process flowcharts and Maytag's time study theory, along with standard time calculations based on the Westinghouse method and International Labour Organization (ILO) standards, to determine workforce requirements based on demand. The findings show that establishing decision-making standards for workforce planning in the post-harvest process can improve efficiency in workforce allocation, enabling better alignment with fluctuating demand and addressing manpower imbalances. This approach ensures a more responsive strategy for managing demand variability. The results indicate that workforce utilization can be optimized to a maximum of 23.13%.

Keywords: Manpower capacity planning, Seasonal, Post-harvest, Variable demand, Forecast

1. บทนำ

อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นศูนย์กลางการเพาะปลูกส้มสายน้ำผึ้งถึงร้อยละ 95 ของประเทศไทย [1] ผลิตมากที่สุดในช่วงเดือนมกราคม สิ้นสุดประมาณเดือนพฤษภาคมของปีถัดไป [2] ราคาในช่วงเทศกาลจะปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นประมาณร้อยละ 14-17 เมื่อเทียบกับราคาส้มช่วงปกติ เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าปี รวมถึงสร้างประโยชน์สูงสุด เกษตรกรจำเป็นต้องวางแผนการผลิตอย่างรอบคอบตั้งแต่การปลูก การเก็บเกี่ยว จนถึงขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเตรียมส่งไปยังลูกค้า ในรูปแบบการซื้อ-ขายส่ง (Wholesale) อีกทั้งส้มสายน้ำผึ้งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่ให้ผลผลิตตามฤดูกาล มีข้อจำกัดในการผลิตจากการศึกษาที่ต้องคำนึงถึงทั้งสิ้น 4 ด้าน ได้แก่ เวลา, สถานที่, เครื่องจักรในการผลิต และกำลังคน ผู้วิจัยได้เล็งเห็นโอกาสในการพัฒนาปรับปรุง ของด้านเวลาและกำลังคน เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สามารถยืดหยุ่น เพื่อตอบสนองตามความต้องการของลูกค้าที่ผันผวนในแต่ละวัน ซึ่งก่อนนี้ไม่มีหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนการวางแผนกำลังคนใช้การคาดเดา จึงเป็นการวางแผนที่ไม่แน่นอนพิจารณาตามรายบุคคล อีกทั้งผู้วางแผนมีพื้นฐานความเข้าใจและความสามารถที่แตกต่างกัน ที่อาจส่งผลกระทบไปยังลูกค้า ในด้านคุณภาพสินค้า ไม่สามารถส่งมอบสินค้าได้ตามเวลาและปริมาณที่กำหนด อาจส่งผลให้ผู้ผลิตสูญเสียความเชื่อมั่นจากลูกค้าได้ จึงได้นำการวิเคราะห์เพื่อจัดทำเป็นมาตรฐานแผนภาพการจัดสรรกำลังคนในการผลิตขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยวส้มสายน้ำผึ้ง เพื่อให้พนักงานทุกคน ทั้งผู้วางแผนและผู้ปฏิบัติงาน สามารถสร้างผลลัพธ์ในการทำงานและตัดสินใจวางแผนก่อนการผลิตบนมาตรฐานเดียวกันได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อวางแผนกำลังคนในการผลิตส้มสายน้ำผึ้งจากความต้องการของลูกค้า

2) เพื่อจัดทำมาตรฐานการตัดสินใจในการวางแผนกำลังคนในการผลิตส้มสายน้ำผึ้งขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยว

1.3 ขอบเขตการศึกษา

เก็บข้อมูลจากโรงแว็กซ์ส้มสายน้ำผึ้งแห่งหนึ่ง ในอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ตัวแปรในการศึกษาได้แก่ เวลาในการผลิตแต่ละขั้นตอนตามความต้องการของลูกค้า และกำลังคนที่ใช้ในการผลิต

1) เก็บข้อมูลความต้องการของลูกค้ารายเดือนและข้อมูลรายวันในช่วงเหตุการณ์พิเศษ (Special Event) 10 วันก่อนตรุษจีน ช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2563-2565

2) ใช้การพยากรณ์ 3 วิธี โดยพิจารณาจากกราฟข้อมูลดิบที่มีรูปแบบเป็นอนุกรมเวลา (Time series patterns) เนื่องจาก เป็นผลผลิตการเกษตรตามฤดูกาลที่มีการเกิดขึ้นของแนวโน้ม (Trend), ฤดูกาล (Seasonal) และวัฏจักร (Cyclic) การพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีเอกซ์โพเนนเชียลปรับเรียบ (Exponential Smoothing),วิธีปรับให้เรียบแบบวินเทอร์ (Winter's Method) และวิธีอนุกรมเวลาแยกตัวประกอบ (Time Series Decomposition)

3) วิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานด้วยการศึกษาเวลา (Time study)

4) วางแผนการทำงานโดยใช้ความสามารถในการผลิต (Capacity) และความต้องการกำลังคน (Manpower)

5) หาประสิทธิภาพของการพยากรณ์ และการวางแผนกำลังคนด้วยวิธีทางสถิติ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพยากรณ์

การเลือกค่าการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าที่เหมาะสมที่สุด เริ่มจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ จากข้อมูลย้อนหลัง เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า ด้วยการใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบฤดูกาล (Seasonal) เชิงสถิติ 3 วิธี แล้วจึงเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลโดยพิจารณาค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด [3]

2.2 การจัดสรรกำลังคน

ศึกษาการทำงานจากการหาความสามารถในการผลิต ช่วยให้ทราบถึงการวางแผน เวลาในการทำงาน เป้าหมายหรือแม้กระทั่งการล่วงเวลาที่อาจเกิดขึ้น ความยืดหยุ่นขององค์กรกำหนดได้ตามขอบเขตที่องค์กรสามารถปรับการใช้กำลังคนและวิธีการอื่น ๆ ให้เข้ากับความต้องการที่เปลี่ยนแปลง [4]

2.2.1 การศึกษาวิธีการทำงาน

การศึกษาวิธีการทำงานจากการบันทึก และวิเคราะห์วิธีการทำงานขององค์กรที่กำลังทำอยู่ เพื่อเสนอวิธีการทำงานแบบใหม่อย่างมีระบบและประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการทำงานให้มีประสิทธิภาพประสิทธิผล

2.2.2 การคำนวณครั้งในการจับเวลา [5]

การศึกษาการจับเวลาเพียงครั้งเดียวย่อมไม่เพียงพอในการใช้เป็นฐานในการคำนวณเวลามาตรฐานที่มีความน่าเชื่อถือ ต้องอาศัยข้อมูลเบื้องต้นจำนวนหนึ่งในการหาค่าประมาณการของค่าตัวแทน หนึ่งในวิธีการหาจำนวนครั้งที่เหมาะสม คือ ทฤษฎี Maytag [6]

2.3 การหาเวลามาตรฐาน (Standard Time)

2.3.1 อัตราความเร็วปกติ (Rating Factor)

ใช้วิธีจากระบบ Westinghouse โดยพิจารณาปัจจัย 4 ประการ ได้แก่ ทักษะ (Skill), ความพยายาม (Effort), ความสม่ำเสมอ (Consistency) และสภาวะในการทำงาน (Condition) [7]

2.3.2 การหาเวลามาตรฐานในการทำงาน [8]

เวลาปกติ (Normal Time)

= เวลาเฉลี่ย x อัตราความเร็วปกติ (1)

เวลามาตรฐาน (Standard Time)

= เวลาปกติ + (เวลาปกติ x % เวลาเผื่อ) (2)

2.3.3. กำหนดเวลาเผื่อ

ถึงแม้ว่าได้พยายามจัดวิธีการทำงานให้ดีที่สุดแล้วก็ตามแต่คนงานก็ยังเกิดความเมื่อยล้าและความเครียดขึ้นมาได้ ในการศึกษานี้จะใช้ตามแบบ ILO สำหรับกรณีต่าง ๆ

2.3.4 วิธีการหาอัตราจำนวนคน [9]

การคำนวณกำลังการผลิตต่อชั่วโมง (Unit per Hour)
กำลังการผลิตต่อชั่วโมง (60 นาที หรือ 3,600 วินาที)

= 3,600 / Standard Time (3)

การคำนวณอัตราจำนวนอุปสงค์กำลังคนคนต่อสินค้า (Manpower)

= เวลาที่ใช้ทำงานตามภาระ/ เวลาทำงานของพนักงาน (4)

3.ขั้นตอนการดำเนินงาน

(1) การศึกษาปัญหาการผลิต
ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตส้มสายน้ำผึ้งหลังการเก็บเกี่ยวที่โรงแว็กซ์ อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ผ่านการสังเกตและสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้อง
(2) เลือกประเด็นปัญหาที่จะปรับปรุง
เลือกปัญหาที่มีผลกระทบต่อลูกค้าและสามารถแก้ไขได้โดยไม่ต้องลงทุนเพิ่ม
(3) ศึกษาทฤษฎีและเอกสารวิจัย
ทบทวนทฤษฎีเกี่ยวกับการพยากรณ์และการวางแผนกำลังคนเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต
(4) การเก็บข้อมูล
- ข้อมูลพยากรณ์ความต้องการลูกค้าโดยใช้ข้อมูลยอดขายย้อนหลัง 3 ปี
- ข้อมูลการวางแผนกำลังคนโดยการสังเกตขั้นตอนการทำงานและจับเวลา
(5) การพยากรณ์ความต้องการลูกค้า
ใช้โปรแกรม Minitab และวิธีพยากรณ์ 3 แบบ ได้แก่ Exponential Smoothing, Winter's Method, และ Time Series Decomposition เพื่อประเมินความแม่นยำ
(6) การวางแผนกำลังคน
การศึกษาเวลาในการทำงานและการประเมินความสามารถในการผลิตเพื่อลงตัวกับความต้องการของลูกค้า โดยคำนึงถึงความผันผวนของความต้องการลูกค้าและจัดสรรกำลังคนในการผลิต

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การพยากรณ์เพื่อวางแผนผลิต

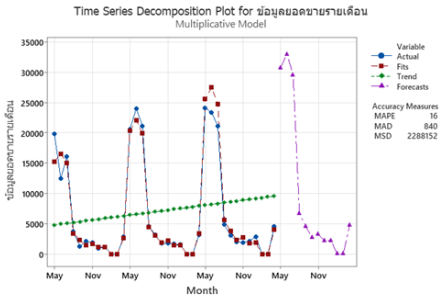
4.1.1 การพยากรณ์รายเดือน

ผลการพยากรณ์รายเดือนเชิงปริมาณ (Quantitative Forecast) วิธี Time Series Decomposition, Multiplicative ถือเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ความต้องการลูกค้ารายเดือนพิจารณาจากค่า MAPE ดังตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์รายเดือน

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์รายเดือน

ลำดับ	การพยากรณ์	รูปแบบ	MAPE (%)
1	Exponential Smoothing	Single	70
2		Double	94
3	Winter's Method	Multiplicative	41
4	Time Series Decomposition	Multiplicative	16

เดือนที่มีอุปสงค์มากที่สุดสามอันดับแรก ได้แก่เดือน กุมภาพันธ์ มกราคม และมีนาคม ซึ่งมียอดขาย 32,995 ตะกร้า, 30,711 ตะกร้า และ 29,594 ตะกร้า ตามลำดับ วิเคราะห์ได้จากค่าดัชนีฤดูกาล (Seasonal Index) แสดงแนวโน้มรายเดือนในปีถัดไปที่เพิ่มขึ้น ดังสมการ คือ Yt = 4,662 + 136 x t รูปที่ 1 ผลลัพธ์การพยากรณ์รายเดือนด้วยวิธี Time Series Decomposition, Multiplicative แสดงโดย Minitab



รูปที่ 1 ผลลัพธ์การพยากรณ์รายเดือนด้วยวิธี Time Series Decomposition, Multiplicative แสดงโดย Minitab

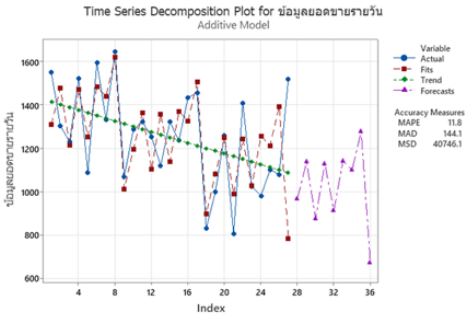
4.1.2 การพยากรณ์รายวัน

วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ชุดข้อมูลยอดขายรายวันพิจารณาจากค่า MAPE ดังตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์รายวัน ได้แก่ Time Series Decomposition, Additive (MAPE 11.8%)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์รายวัน

ลำดับ	การพยากรณ์	รูปแบบ	MAPE (%)
1	Exponential Smoothing	Single	15.8
2		Double	15
3	Winter's Method	Multiplicative	12.3
4		Additive	12.5
5	Time Series Decomposition	Multiplicative	12.4
6		Additive	11.8

อุปสงค์ ก่อนตรุษจีนในระยะเวลา 10 วันมีแนวโน้มลดลงในปีถัดไป ดังสมการ คือ Yt = 1414.5 - 11.77 x t โดยสองวันก่อนวันตรุษจีน ถือเป็นวันที่มีอุปสงค์ มากที่สุดวิเคราะห์ได้จากค่าดัชนีฤดูกาล ที่ 293 ซึ่งถือเป็นวันที่มีปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สุดในรอบ 10 วันก่อนวันตรุษจีนรูปที่ 2 ผลลัพธ์การพยากรณ์รายวันด้วยวิธี Time series Decomposition, Additive แสดงโดย Minitab



รูปที่ 2 ผลลัพธ์การพยากรณ์รายวันด้วยวิธี Time series Decomposition, Additive แสดงโดย Minitab

หลังจากการทดลอง ได้ทำการหาประสิทธิภาพการพยากรณ์ ทั้งรายวันและรายเดือน ด้วยวิธี F-Test: Two-Sample for Variances และ t-Test: Two-Sample Assuming Equal/Unequal Variances พบว่าค่าของ p - Value > α = 0.05 แสดงว่า ค่าการพยากรณ์และค่าที่เกิดขึ้นจริง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 5 (α = 0.05) หรือการพยากรณ์มีความถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95%-Confidential Level) การพยากรณ์นี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ในการคาดการณ์และสามารถเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการวางแผนการผลิตและแผนกำลังคนต่อไป

4.2 การศึกษาเวลาขั้นตอนการทำงาน

ปริมาณและเวลาตามความต้องการลูกค้า (Purchase Order Lead Time) ที่ผันผวนและกระทันหัน ส่งผลให้บ่อยครั้งไม่สามารถตอบสนองความต้องการจากลูกค้า เนื่องจากขาดแผนงานและการคาดการณ์กรอบเวลา การศึกษาจะเริ่มจากการสังเกตขั้นตอนการทำงาน 10 ขั้นตอน ได้แก่ 1.ขั้นตอนรับวัตถุดิบ, 2.จัดเก็บรอผลิต 3.เทส้มบนฐาน, 4.ลำเลียงขึ้น, 5.ล้าง/เป่า, 6.คัดผล, 7.ร่อนเบอร์, 8.ใส่ตะกร้า, 9.จัดเรียงรอขนส่ง และ10.ขนส่งสินค้า จากนั้นจัดทำแผนภาพกระบวนการไหล (Flowchart) เพื่อสร้างความเข้าใจในลำดับขั้นตอนการทำงาน แล้วจึงจับเวลาโดยตรงด้วยการเลือกพนักงานที่มีสุขภาพดีและมีทักษะเฉลี่ยเป็นงานที่ทำประจำ (Regular Element) ใช้วิธีจับเวลาแบบจับซ้ำ (Repetitive Timing) จับเวลา 10 ครั้งเฉพาะขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการใช้กำลังคน ได้แก่ขั้นตอนที่ 1, 3, 6, 8, 9, 10 หาจำนวนครั้งในการจับเวลาโดยใช้ทฤษฎี Maytag และพิสัย (Range) แล้วจึงคำนวณหาเวลาเฉลี่ยในการทำงาน

เมื่อหาเวลาเฉลี่ยของการทำงานแล้วจึงทำการประเมินอัตราความเร็วปกติระบบ Westinghouse ร่วมกับหัวหน้างาน และพนักงานผู้ปฏิบัติงาน โดยประเมินจากการเปรียบเทียบการทำงานของพนักงานที่อยู่ในระดับการทำงานปกติ และความเร็วปกติ (Normal Pace) เพื่อคำนึงถึงปริมาณงานที่ชดเชยส่วนของเวลาที่สูญเสียไปอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ไม่ก่อให้เกิดงาน โดยในที่นี้จะใช้ 12 ปัจจัยในการกำหนดเวลาเผื่อของแต่ละขั้นตอนในกระบวน การผลิตส้มสายน้ำผึ้งขั้นตอนหลังเก็บเกี่ยวตามแบบ ILO โดย ลำดับที่ 1 และ 2 จะเป็นเวลาเผื่อที่คงที่ (Constant Allowances) ที่จะต้องเกิดขึ้นกับทุกคนทุกขั้นตอน ลำดับที่ 3 ถึง 12 เป็นเวลาเผื่อที่แปรผัน (Variable Allowances) ตามภาระงาน สรุปได้ดังตารางที่ 3 ผลการหาเวลามาตรฐานในการทำงาน

ตารางที่ 3 ผลการหาเวลามาตรฐานในการทำงาน

ขั้นตอนการผลิต	เวลาเฉลี่ย	อัตราเร็ว (RF)	เวลาปกติ (NT)	เวลาเผื่อ (A)	เวลามาตรฐาน (วินาที/หน่วย)
1.รับเข้าวัตถุดิบ	11.19	1.14	12.76	40%	17.86
3.เทส้มบนฐาน	14.57	1.13	16.47	41%	23.22
6.คัดผล	2.33	1.13	2.63	23%	3.24
8.ใส่ตระกล้า	35.55	1.03	36.61	38%	50.52
9.จัดเรียงรอขนส่ง	17.79	1.06	18.86	40%	26.40
10.ขนส่งสินค้า	12.08	1.15	13.89	40%	19.45

กำลังคน (Man) เป็นทรัพยากรที่สำคัญในองค์กร หากกำลังคนไม่เพียงพอ จะเกิดภาวะงานหนักเกินไป (Work Overload) หรือหากกำลังเกินอาจส่งผลกระทบไปยังต้นทุน เพื่อให้การคำนวณสะดวกแม่นยำ จึงใช้วิธีเทียบหน่วย (Factor-label method) แปลงหน่วยการผลิต จาก ผล กิโลกรัม หรือพาเลทให้เป็นหน่วยเดียวกันได้แก่หน่วยตะกร้า

4.3 การวางแผนกำลังคน

การวางแผนกำลังคนจะทำการหาอุปสงค์กำลังคนโดยใช้กรอบเวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมง จนถึงสูงสุดที่เวลาทำงาน 8 ชั่วโมง และ ปริมาณสินค้าตั้งแต่ 50 ถึง 1,700 ตะกร้า ซึ่งอยู่ในกรอบปริมาณความต้องการของลูกค้าตามการพยากรณ์ และไม่มีการทำงานล่วงเวลา

ตัวอย่าง: การหาอุปสงค์กำลังคน ขั้นตอนที่ 1 รับเข้าวัตถุดิบ ที่การสั่งซื้อ 50 ตะกร้า

อุปสงค์กำลังคน = (50 x 17.86) / 3,600
= 0.25

อุปสงค์กำลังคน ของขั้นตอนที่ 1 รับเข้าวัตถุดิบ ภายในเวลากำหนด 1 ชั่วโมงจะต้องใช้พนักงาน 0.25 คน หรือกล่าวได้ว่า ขั้นตอนดังกล่าวจะใช้พนักงาน 1 คน เพื่อให้งานสำเร็จตามเวลาและไม่ล่าช้าไปกว่าขั้นตอนอื่น ในกรณีศึกษาเป็นการทำงานร่วมกันของคนและเครื่องจักรบนสายพาน ใช้ปริมาณของเสียคงที่ 3 % หลังการคำนวณพบว่า สามารถวางแผนกำลังคนในการผลิตส้มสายน้ำผึ้งได้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า แต่ยังพบปัญหาการรอคอยงานและการทำงานหนักเกินไปในบางขั้นตอน แสดงถึงประสิทธิภาพและการใช้ทรัพยากรที่ไม่คุ้มค่า เพื่อลดปัญหานี้ จึงมีการวิเคราะห์ค่าการใช้อรรถประโยชน์ (Utilization) [10] เพื่อระบุปัญหาและระบุโอกาสในการปรับปรุงการจัดการกำลังคนให้เกิดความคุ้มค่า สูงสุดดังสมการ

$$\%\text{Utilization} = \frac{\text{เวลามาตรฐาน x จำนวนชิ้นงาน X 100}}{\text{เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด}} \quad (5)$$

4.4 การประยุกต์ใช้

ปรับปรุงการวางแผนกำลังคนให้เหมาะสมกับปริมาณงานด้วยหลักการปรับปรุงลดความสูญเปล่า ECRS การปรับปรุงนี้จะใช้การรวมงานเข้าด้วยกัน (Combine) ควบคุมการรวมขั้นตอนจาก Takt timeได้ผลลัพท์สรุปค่าการใช้อรรถประโยชน์ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงแสดงได้ดังตารางที่ 4 สรุปค่าการหาอรรถประโยชน์ก่อนการปรับปรุงจากการคำนวณและหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 4 สรุปค่าการหาอรรถประโยชน์ก่อนการปรับปรุงจากการคำนวณและหลังการปรับปรุง

ปริมาณความต้องการของลูกค้า (ตะกร้า)	กรอบเวลาทำงาน (วินาที)	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง		ส่วนต่าง	
		พนักงานรวม (คน)	% Utilization	พนักงานรวม (คน)	% Utilization	พนักงานลดลง (คน)	% Utilization
50	3,600	6	30.57	4	45.85	-2	15.28
100		7	49.43	6	59.89	-1	10.45
150		8	68.30	7	81.06	-1	12.75
200		11	62.42	10	70.49	-1	8.07
250	7,200	7	61.79	6	74.86	-1	13.07
300		8	68.30	7	81.06	-1	12.75
350		9	70.28	8	81.68	-1	11.40
400		11	62.42	10	70.49	-1	8.07
450	10,800	8	68.30	7	81.06	-1	12.75
500		9	66.94	7	90.07	-2	23.13
550		9	73.63	9	76.86	0	3.23
600		11	62.42	10	70.49	-1	8.07
650	14,400	9	65.26	7	87.81	-2	22.55
700		9	70.28	8	81.68	-1	11.40
750		11	58.52	10	66.08	-1	7.57
800		11	62.42	10	70.49	-1	8.07

ตารางที่ 2 แสดงก่อนและหลังการรวมขั้นตอนจาก 6 เป็น 4 ขั้นตอน พบว่าค่าการใช้ Utilization เพิ่มขึ้นในทุกปริมาณความต้องการของลูกค้าและกรอบเวลาผลิต เฉลี่ยที่ร้อยละ 11.41 และสามารถเพิ่มการใช้อรรถประโยชน์ได้สูงสุดที่ร้อยละ 23.13 แสดงถึงการรอคอยงานในภาพรวมลดลง ในด้านการลดจำนวนพนักงาน สามารถปรับลดได้ในบางปริมาณความต้องการของลูกค้าและกรอบเวลา โดยหากค่า Utilization ของการหากำลังคนเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.17 – 3.23 จะลดการรอคอยงานและเกิดความสมดุลของการผลิตมากขึ้น (Line Balancing) แต่ไม่สามารถลดพนักงานได้ หากเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.57 – 13.07 สามารถลดพนักงานลงได้ 1 คน และหากเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.42 – 23.13 สามารถลดพนักงานได้ถึง 2 คน นอกจากนี้ หากสามารถเพิ่มการใช้อรรถประโยชน์ในการปรับปรุงกระบวนการได้มากขึ้น จะส่งผลให้การทำงานและบริหารการวางแผนกำลังคนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

4.5 จัดทำมาตรฐานการผลิต ส่วนของผู้วางแผน

จัดทำแผนโดยการเทียบตารางแทนการอนุมานเพื่อการตัดสินใจบนมาตรฐานเดียวกันด้วยวิธีเทียบค่าเพื่อประเมินความสามารถในการผลิต ตัวอย่างการเทียบที่ 1: หากลูกค้าสั่งซื้อ ที่ 600 ตะกร้า จะใช้เวลาในการผลิต 2 ชั่วโมง ไม่เกิน 3 ชั่วโมง ใช้พนักงานรวมทั้งสิ้น 10 คน (4 ขั้นตอน) ตัวอย่างการเทียบที่ 2: หากมีเวลาในการผลิตก่อนส่งมอบจำกัด ที่ 2 ชั่วโมง สามารถผลิตได้มากที่สุด 400 ตะกร้า ด้วยพนักงานทั้งสิ้น 10 คน ดังตารางที่ 5 กำลังคนตามตามความต้องการของลูกค้า

ตารางที่ 5 กำลังคนตามตามความต้องการของลูกค้า

เวลาทำงาน (ชั่วโมง)	ปริมาณการสั่งซื้อ (ตะกร้า)	1. รับเข้าวัตถุดิบ และ 3. เตรียมฐาน (คน)	6. คัดผล (คน)	8. ใส่ตะกร้า (คน)	9. จัดเตรียมรอขนส่ง และ 10. ขนส่งสินค้า (คน)
≤ 1	50	1	1	1	1
	100	2	1	2	2
	150	2	1	3	1
	200	3	2	3	2
1 < X ≤ 2	250	2	1	2	1
	300	2	1	3	1
	350	2	1	3	2
	400	3	2	3	2
2 < X ≤ 3	450	2	1	3	1
	500	2	1	3	1
	550	3	1	3	2
	600	3	2	3	2
3 < X ≤ 4	650	2	1	3	1
	700	2	1	3	2
	750	3	2	3	2
	800	3	2	3	2
	850	3	2	3	2
4 < X ≤ 5	900	3	1	3	2
	950	3	2	3	2
	1,000	3	2	3	2
	1,050	3	2	3	2
5 < X ≤ 6	1,100	3	1	3	2
	1,150	3	2	3	2
	1,200	3	2	3	2
	1,250	3	2	3	2
6 < X ≤ 7	1,300	3	1	3	2
	1,350	3	2	3	2
	1,400	3	2	3	2
	1,450	3	2	3	2
	1,500	3	2	4	2
7 < X ≤ 8	1,550	3	2	3	2
	1,600	3	2	3	2
	1,650	3	2	3	2
	1,700	3	2	3	2

4.6 จัดทำมาตรฐานการผลิต ส่วนของผู้ปฏิบัติงาน

การวางแผนกำลังคนก่อนเริ่มผลิตในกรณีศึกษา มีพนักงานปฏิบัติการที่มีความหลากหลายทางเชื้อชาติและภาษา การสื่อสารที่ไม่ชัดเจนระหว่างผู้วางแผนและผู้ปฏิบัติงาน ทำให้เกิดความล่าช้าหรือความผิดพลาดในการเตรียมการผลิต จึงใช้อินโฟกราฟิก (Infographics) ในการสื่อสารให้พนักงานเข้าใจหน้าที่และขั้นตอนงานได้ง่ายผ่านรูปภาพ ข้อความสั้นๆ และตัวเลขดัง รูปที่ 3 Template แผนผลิตการแว็กซ์สัมสายน้ำผึ้ง



รูปที่ 3 Template แผนผลิตการแว็กซ์สัมสายน้ำผึ้ง

4.7 การหาประสิทธิภาพของการวางแผนกำลังคนประยุกต์ใช้

ใช้วิธีทางสถิติ F-Test: Two-Sample for Variances พบว่าค่าของ p-value = 1.12 > α = 0.05 แสดงว่าการวางแผนกำลังคนจากการคำนวณกับการประยุกต์ปรับปรุงการทำงาน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ วิธีดังกล่าวมีความถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แล้วจึงหาค่าจาก t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances พบว่าค่าของ p-value = 0.002 < α = 0.05 แสดงผลที่ปฏิเสธสมมติฐานศูนย์ (Null hypothesis) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจึงศึกษาหาระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอื่น ๆ ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation analysis) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์มากที่สุด ได้แก่ ความต้องการของลูกค้าและกรอบเวลาผลิต มีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ที่สูงถึง 0.992 แสดงให้เห็นว่าถ้าจำนวนการสั่งซื้อเพิ่มขึ้น จำนวนกรอบเวลาในการทำงาน จะเพิ่มขึ้นตาม ทั้งนี้การวางแผนกำลังคนในการผลิตส้มสายน้ำผึ้งต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ประกอบ เพื่อความแม่นยำยิ่งขึ้น เช่น สภาพอากาศและปริมาณน้ำฝนที่มีความไม่แน่นอน ของเสียจากการผลิต (Yield losses) ที่อาจส่งผลต่อผลผลิตและความต้องการของลูกค้า โดยเฉพาะในบริบทของผลผลิตทางการเกษตรที่ต้องเผชิญกับความท้าทายจากปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้อยู่เสมอ

5. สรุปผล

การหาค่าพยากรณ์ที่เหมาะสมนี้ทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จะนำไปสู่การวางแผนการผลิตและวางแผนกำลังคน สามารถวางแผนกำลังคนในกระบวนการผลิตส้มสายน้ำผึ้งให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าในแต่ละช่วงเวลาพิจารณาจาก Utilization การคำนวณความต้องการกำลังคนในการวางแผนการผลิตขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยวช่วยให้โรงแว็กซ์สามารถจัดการกำลังคนได้อย่างเหมาะสมตามความต้องการที่ผันผวนของลูกค้า เพิ่มความสามารถในการประเมินเวลาและปริมาณการส่งมอบสินค้า และประสิทธิภาพในการวิเคราะห์การวางแผน โดยใช้มาตรฐานการตัดสินใจในการวางแผนกำลังคนตามปริมาณการสั่งซื้อหรือเวลาที่ลูกค้าต้องการ มาตรฐานนี้ทำให้การจัดการกำลังคนเป็นระบบและชัดเจน สามารถปรับกำลังคนได้ตามปริมาณงานและกรอบเวลา รวมถึงการพิจารณาการรับคำสั่งซื้อตามความต้องการของลูกค้า (Customer Requirement) อย่างเหมาะสม การวางแผนกำลังคนที่ยืดหยุ่นช่วยเพิ่มความคล่องตัว (Enhance agility) ในการตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่มีความผันผวน และสามารถสร้างความพึงพอใจและความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างผู้ผลิตและลูกค้า

6. กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้บริหารและเกษตรกร จากโรงงานผลิตขั้นตอนหลังเก็บเกี่ยว กรณีศึกษาโรงแว็กซ์สัมสายน้ำผึ้ง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ได้ให้ความสะดวกในการดำเนินการค้นคว้านี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

เอกสารอ้างอิง

[1] ธวัชชัย รัตน์ชเลศ และภาวินี จันทร์วิจิตร, 2551. “การใช้ความสมดุลธาตุอาหารเพื่อปรับปรุงผลผลิตและคุณภาพของส้มสายน้ำผึ้ง: 1. ระบบการผลิตในจังหวัดเชียงใหม่.” วารสารเกษตร, ปีที่ 1, ฉบับที่ 24: 59-69.

[2] นงลักษณ์ ตั้งใจ. “ช่องทางการจัดจำหน่ายส้มสายน้ำผึ้งของเกษตรกร ในพื้นที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2561.

[3] R. Kumar, "MAD over MAPE? Or which forecast accuracy metrics to use?" Online document https://towardsdatascience.com/mad-over-mape-a86a8d831447 accessed on Oct. 25, 2024.

[4] A. Delarue, S. Gryp, and G. Van Hootegem, 2006. "The quest for a balanced manpower capacity: different flexibility strategies examined," Enterprise and Work Innovation Studies, Vol. 2, (2): 69-86.

[5] วุฒิพร ศรีไพโรจน์. “การปรับปรุงกระบวนการผลิตและกำลังคนต่อสายการผลิตเพื่อลดต้นทุนแรงงาน,” วิทยานิพนธ์ปริญญา

มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2559.

[6] ปิยะ รนต์ละออง, ณัฐพล บุญรักษ์, และ วรพนธ์ ชีววรนนท์ตรี. 2561. “การศึกษาเวลาและการเคลื่อนไหวกรณีศึกษากระบวนการทดสอบความดันระยะสั้นของท่อพีวีซีแข็ง (ท่อปลายเรียบ),” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1: 26-38, 2561.

[7] จุลลดา จุลพันธ์ และ ฐปณุจวสุนธราสุข. 2553. “การศึกษาประสิทธิภาพด้านเวลาของช่างในกระบวนการเปลี่ยนเครื่องยนต์,” วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต, ปีที่ 26, ฉบับที่ 2: 46-54, 2553.

[8] A. S. Gusmon and H. Arry, 2019. "Time study analysis to find normal time workforce scheduling ILO standard time: Case study of parking pay station Bandung electronic center," Global Business & Management Research: An International Journal, vol. 11(1): 1-8.

[9] ลลิตภัทร อภิโชคดลสุข. “การคำนวณหาอัตรากำลังคนในกระบวนการ PACKING กรณีศึกษา บริษัท ซิกม่าแอนด์ฮาร์ท จำกัด,” โครงงานสหกิจศึกษา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2559.

[10] ชานนท์ แสงเทียรมงคล. “การเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตโดยการลดความสูญเปล่าและสมดุลการผลิตด้วยแบบจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์,” มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2558

การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชูโดยใช้เทคนิค ECRS

Process Improvement of Tissue Paper Garland Production Process Using ECRS Technique

ณัฐมน พิไลวงศ์[1*] สุภารัตน์ ค้างสันเทียะ[2] สถิตเทพ สังข์ทอง[1] สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์[1] วันชัย ริจิรวนิช[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
E-mail: nattamonpilaiwong@gmail.com*

Nattamon Pilaiwong[1*], Suparat Khangsantia[2] Sathitthep Sangthong[1], Sirichai Jirawongnuson[1], Vanchai Rijiravanich[1]
[1]Department of Logistics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: nattamonpilaiwong@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความสูญเปล่าและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนผลิตการพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู จากกรณีศึกษาพบว่า กระบวนการมีทั้งหมด 10 กระบวนการ ผู้วิจัยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) ศึกษาขั้นตอนในแต่ละกระบวนการผลิต พบปัญหาในกระบวนการผึ่งแห้งของพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู นำมาสู่การวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิตด้วยการวิเคราะห์ความสูญเปล่า (7 wastes) พบว่ามีปัญหาจากขั้นตอนการทำงานมากเกินไป วิธีการทำงานซับซ้อน และเวลาที่ใช้ในการทำงานมากเกินไป ผู้ศึกษาใช้เทคนิคการปรับปรุงงาน (ECRS) มาประยุกต์ใช้ออกแบบวิธีการแก้ไขคือ การสร้างเครื่องมือ/อุปกรณ์ช่วยในการผึ่งแห้งของพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู โดยการออกแบบเครื่องมือการทำงานจริง ผลลัพธ์ที่ได้จากการนำเครื่องมือไปทดลองใช้พบว่า เครื่องเป่าลมเย็น สามารถเพิ่มกำลังการผลิตจากเดิม 10 ถาดต่อวัน เป็น 12 ถาดต่อวัน คิดเป็น 20% ของกำลังการผลิต และผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ได้ใช้เครื่องอยู่ในระดับดี ส่วนผลที่ได้จากการทดลองใช้เครื่องเป่าลมเย็น พบว่า ก่อนปรับปรุง กระบวนการพวงมาลัยจากกระดาษทิชชูในขั้นตอนการผึ่งแห้ง ใช้ระยะเวลารอคอยนานเกิดจากจุดคอขวด ใช้เวลา 120 นาที หลังการปรับปรุงโดยใช้เครื่องเป่าลมเย็น พบว่าลดระยะเวลาในขั้นตอนการผึ่งแห้ง ใช้เวลา 105 นาที ทำให้รอบเวลาในการผลิตดีขึ้น 12.5% ลดความสูญเปล่าจากการรอคอย

คำสำคัญ: การปรับปรุง ความสูญเปล่า รอบเวลาการผลิต

Abstract

This research aims to reduce waste and improve the production efficiency of garlands made from tissue paper. A case study revealed that the production process consists of 10 steps. The researcher utilized a Flow Process Chart to analyze each stage of the production process and identified issues in the drying process of tissue paper garlands. A waste analysis based on the 7 Wastes method was conducted, highlighting problems such as excessive work steps, complex work methods, and long processing times. To address these issues, the researcher applied the ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify) technique to design an improvement solution by developing a drying aid tool. The designed air blower was tested in real production. The results showed that the air blower increased production capacity from 10 trays per day to 12 trays per day, representing a 20% increase. Additionally, a satisfaction assessment from the local community enterprise that used the tool indicated a high level of satisfaction. Before implementing the air blower, the drying step was a bottleneck in the production process, requiring a waiting time of 120 minutes. After implementing the improvement, the drying time was reduced to 105 minutes, improving cycle time by 12.5% and reducing waste caused by waiting

Keywords: improvement, wastes, cycle time

1. บทนำ

การพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากเป็นขั้นตอนสำคัญในการยกระดับประเทศให้มีรายได้สูงและการกระจายรายได้ที่ทั่วถึง โดยการส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชนท้องถิ่นให้แข็งแกร่งและมีศักยภาพในการแข่งขัน ซึ่งจะช่วยยกระดับมาตรฐานการครองชีพและความเป็นอยู่ของประชาชนในชุมชน ในปี 2566 รายได้จากวิสาหกิจชุมชนรายย่อย (Micro-Enterprises) มีมูลค่า 109,903 ล้านบาท เพิ่มขึ้นเพียง 0.55% เมื่อเทียบกับปี 2563 ซึ่งต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ที่ 4% ต่อปี สาเหตุหลักมาจากผลกระทบจากโควิด-19, เศรษฐกิจโลกชะลอตัว, และการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมโลก

โดยปัจจุบันการผลิตประเภทสิ่งประดิษฐ์จากกระดาษทิชชูเป็นกิจกรรมที่ได้รับความนิยมทั้งในแง่ของงานอดิเรก และการผลิตเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะการผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชูเป็นงานหัตถกรรมที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย ซึ่งกระบวนการผลิตโดยเฉพาะขั้นตอนการรอคอยใช้เวลานานและส่งผลให้กำลังการผลิตต่ำ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยการศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู โดยมีวัตถุประสงค์คือการลดเวลาในการผลิตคอขวดและเพิ่มอัตราการผลิต นอกจากนี้ มีการทดลองใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มความเร็วและความแม่นยำในการผลิต ซึ่งการศึกษานี้มีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมหัตถกรรม โดยการนำเทคนิคและเทคโนโลยีสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้กับแบบดั้งเดิม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดความสูญเปล่าและเพิ่มประสิทธิภาพ ที่นำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ชุมชนในท้องถิ่น มีการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตรองเท้า มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตของกระบวนการผลิตและกำหนดเวลามาตรฐานของแต่ละแผนก จากการศึกษาพบว่าสาเหตุของความสูญเปล่าและเวลาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเดิม มาจากการตรวจสอบวัตถุดิบแบบผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตหรือเครื่องเครื่องจักร ผังโรงงานและวิธีปฏิบัติงาน [1] การลดความสูญเปล่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตไม้กวาดทางมะพร้าว [2] งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อหาหลักการและแนวทางในการนำไปปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการบรรจุขนมอบกรอบ โดยมุ่งเน้นที่การลดความสูญเปล่า และสร้างทางเลือกที่เหมาะสมในการปรับปรุง [3] ในกระบวนการผลิตมีความสูญเปล่าเกิดขึ้นมากมาย เป็นเหตุให้ต้นทุนการผลิตสูงเกินความจำเป็นรวมไปถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการผลิตต่ำใช้เวลาในการผลิตนาน สินค้าคุณภาพต่ำ [4] ในกระบวนการผลิตเพื่อให้การดำเนินงานหรือการปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลักการ ECRS ประกอบด้วย

1) การกำจัด (Eliminate) เป็นการกำจัดความสูญเปล่าที่ไม่จำเป็น หรือไม่มีประโยชน์ทั้ง 7 ประการออก ได้แก่ การผลิตมากเกินไป การรอคอย การเคลื่อนที่ การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ การมีสินค้าคงคลังมากเกินไป การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น และของเสีย

2) การรวมกัน (Combine) เป็นการลดขั้นตอนของกระบวนการทำงานที่ไม่จำเป็นลง เช่น จากเดิมมี 7 ขั้นตอน หลังจากปรับปรุงลดเหลือ 5 ขั้นตอน เป็นวิธีการที่ช่วยประหยัดเวลา ลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน ช่วยให้รอบเวลาในการผลิตเร็วขึ้น ลดการเคลื่อนที่ระหว่างขั้นตอนการทำงาน

3) การจัดเรียงใหม่ (Rearrange) หากพบว่าขั้นตอนหรือวิธีการทำงานแบบเดิม มีความสูญเปล่าเกิดขึ้น เช่น เกิดระยะทางในการเคลื่อนที่ระหว่างสถานีงานมากเกินไป หรือการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ปฏิบัติงานไม่เหมาะสม อาจต้องมีการจัดเรียงลำดับงานใหม่ หรือมีการเคลื่อนย้ายจุดวางเครื่องมืออุปกรณ์ เพื่อให้ลดระยะทางการเคลื่อนที่หรือลดการเคลื่อนไหวของผู้ปฏิบัติงาน

4) การทำให้ง่าย (Simplify) เป็นการปรับปรุงวิธีการทำงานให้เกิดความสะดวกต่อผู้ปฏิบัติงานให้มากขึ้นกว่าเดิมอาจเป็นการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงาน หรือสร้างอุปกรณ์เครื่องมือ Jig/Fixture เพื่อช่วยให้การทำงานง่าย และสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น [5] เนื่องจากในกระบวนการผลิตแบบเดิมใช้ภูมิปัญญาแบบชาวบ้าน พบว่ามีขั้นตอนในกระบวนการผลิตมากเกินไป เกิดความเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นของพนักงาน ผู้วิจัยออกแบบเครื่องมือและวิธีการทำงานใหม่อาศัยหลักการ ECRS ในขั้นตอนการทำ ให้ง่าย Simplify สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานจากเดิมได้ 41.46% หรือในกรณีการศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาหวดนึ่งข้าวเหนียวอัตโนมัติของชุมชนจักสานบ้านหนองขอน [6] ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตเครื่องนุ่งห่มด้วยหลักความสูญเสีย 7 ประการ พบว่าแผนกเย็บที่ 4 ของสายการผลิตที่ 27 มีประสิทธิภาพการผลิตที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่บริษัทกำหนด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยวิเคราะห์ปัญหาด้วยหลักความสูญเสีย 7 ประการ จากนั้นจึงนำหลักการขจัดความสูญเปล่า (ECRS) การศึกษาการทำงาน (Work Study) และการออกแบบการยศาสตร์ (Ergonomic) มาแก้ไขปรับปรุงวิธีการทำงานให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น จากผลการปรับปรุงทำให้สามารถลดเวลาการทำงานจาก 1,792 วินาที/ตัว เหลือ 1,653 วินาที/ตัว ส่งผลให้มีประสิทธิภาพด้านเวลาเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.76 เพิ่มผลผลิตจาก 2,267 ตัว/สายการผลิตเป็น 2,496 ตัว/สายการผลิต ทำให้มีประสิทธิภาพด้านผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.17 และลดของเสียจาก 35 ตัว เหลือ 16 ตัวคิดเป็นร้อยละ 54.30 [7] อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เปรียบเทียบก่อนและหลังผลการวิจัยพบว่าสามารถลดการเคลื่อนไหวของพนักงานในสายการผลิตคาลิปเปอร์เบรก จากเดิม 50 วินาที ลดลง เหลือ 47 วินาที คิดเป็นร้อยละ 6 และสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตจาก 122 ชิ้นต่อชั่วโมงต่อเดือน เป็น 130 ชิ้นต่อชั่วโมงต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 6.15 [8] การปรับปรุงขั้นตอนการทำงานโดยใช้หลักการ ECRS แล้วจัดทำเป็นมาตรฐานการทำงาน (Work Instruction) หลังจากการปรับปรุง พบว่าขั้นตอนการเตรียมการผลิตกระบวนการปั๊มขึ้นรูปส่วนโค้งนูนลดลงจาก

15 ขั้นตอน เหลือ 11 ขั้นตอน ระยะทางในการเคลื่อนที่จากเดิม 35 เมตร ลดลงเหลือ 12 เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 65.70 และเวลาที่ใช้ในการเตรียมการผลิตจากเดิม 20 นาที ลดลงเหลือ 7 นาที คิดเป็นร้อยละ 65 [9] งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดเวลาสูญเสียจากการเตรียมและล้างสายการผลิตโดยใช้เทคนิค ECRS และ SMED มาปรับปรุงวิธีการทำงานร่วมกับการใช้เทคนิคการจัดตารางการทำงานในการจัดลำดับงานและมอบหมายงานโดยใช้ 2 หลักเกณฑ์ คือ ค่าเวลาควบคุมงาน (ACTIM) และพื้นที่การทำงาน หลังจากนำแนวทางการปรับปรุงไปประยุกต์ใช้ พบว่าเวลาเตรียมสายการผลิตเฉลี่ยลดลงจาก 41.32 นาที เป็น 16.39 นาที หรือลดลงร้อยละ 60.33 และเวลาล้างสายการผลิตเฉลี่ยลดลงจาก 60.06 นาที เป็น 33.67 นาที หรือลดลงร้อยละ 43.94 ทำให้เวลาสูญเสียลดลงเหลือร้อยละ 17.86 ของเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด หรือลดลงร้อยละ 36.50 นอกจากนี้จำนวนพนักงานลดลงจาก 7 คน เป็น 6 คน และการใช้ประโยชน์ของพนักงานเฉลี่ยในการเตรียมและล้างสายการผลิตเพิ่มขึ้น[10] ส่วนงานวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต กรณีศึกษากระบวนการผลิตก่อนเชื้อเห็ด ทำการวิเคราะห์หาแนวทางลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตก่อนเชื้อเห็ด โดยการจัดเรียงงานใหม่ กำจัดงานที่ไม่จำเป็นออก และทำให้งานที่มีทำได้ง่ายขึ้นโดยใช้หลักการ ECRS ทำให้เวลาสูญเปล่า ในขั้นตอนการทำงานลดลง 8.53 วินาที/ก่อน หรือคิดเป็น 15.68 % [11] การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตเทียนเวียนหัวกรณีศึกษา ธุรกิจโรงหล่อเทียนมงคล ใช้ ECRS ในการลดขั้นตอนการตัดกันเทียนทำให้เกิดความสูญเปล่า โดยใช้อุปกรณ์จุ่มไส้เทียนทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในกิจกรรมการจุ่มไส้เทียนลดลงจาก 765 วินาทีต่อรอบการผลิตเป็น 134.6 วินาทีต่อรอบการผลิต (ร้อยละ 82.41) และอุปกรณ์ตัดกันเทียนถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาทำให้ตัดกันเทียนได้เพิ่มขึ้นจากประมาณ 6-7 เส้นเป็น 20 เส้น อีกทั้งยังใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตในการวิเคราะห์สาเหตุ [12]

จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าเทคนิค ECRS เป็นมีเป้าหมายเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงาน กำจัดงานที่ไม่เกิดประโยชน์และไม่สร้างคุณค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ต้องการส่งมอบให้ลูกค้า ทั้งลูกค้าภายในและลูกค้าภายนอก เป็นหลักการที่นำมาใช้บริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล ปรับปรุงวิธีการทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานให้ดีขึ้น และต้องมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีการทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน

จากชุมชนกรณีศึกษากลุ่มวิสาหกิจชุมชนประดิดประดอยจากกระดาษทิชชู ตั้งอยู่ 389/7 แขวงพานถม เขตพระนคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยคณะผู้ศึกษาได้จัดเรียงลำดับกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) โดยในการลงพื้นที่เก็บข้อมูล การผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการบันทึกแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต

สัญลักษณ์	ชื่อ	จำนวนกิจกรรม
○	การปฏิบัติงาน	10
D	การรอคอย	1
⇨	การเคลื่อนที่	2
□	การตรวจสอบ	1
▽	การจัดเก็บ	1
รวมทั้งสิ้น		15

จากผลการบันทึกแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตจากทั้งหมด 15 ขั้นตอน คือ 1. เตรียมอุปกรณ์ในการทำพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู 2. ตัดกระดาษทิชชู 3. พับกระดาษทิชชูกับไม้จิ้มฟันให้เป็นดอกมะลิ 4. พันฟลอร่าเทป 5. ทากาวที่กลีบดอกมะลิ 6. รอกาวที่กลีบดอกมะลิแห้ง 7. นำกลีบดอกมะลิปักที่แผ่นโฟม 8. ปักที่แผ่นโฟมเพื่อผึ่งให้แห้ง 9. ทำดอกมะลิซ้ำจนครบวง 10. ทำอุบะ และช่อดอกจากกระดาษทิชชู 11. ประกอบช่อดอก 12.ประกอบพวงมาลัย 13. ประกอบอุบะเข้าด้วยกัน 14. บรรจุใส่กล่องบรรจุภัณฑ์ 15. จัดเก็บที่ชั้นวาง รวมระยะทางทั้งหมด 50 เมตร และระยะเวลารวม 369 นาที พบว่าเป็นกิจกรรมการปฏิบัติงานมากที่สุดคือ 10 กิจกรรม ซึ่งคิดเป็น 66.67% ของขั้นตอนทั้งหมด โดยผู้ศึกษาได้สนใจศึกษาวิธีการปรับปรุงกิจกรรมผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู เพื่อลดเวลาการรอคอยในกระบวนการผลิต เนื่องจากกิจกรรมการผึ่งแห้งส่งผลต่อความล่าช้าต่อกิจกรรมถัดไป จากการจัดเวลา 30 รอบตัวอย่างได้เวลารวมของขั้นตอนกระบวนการผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชูเท่ากับ 369 นาที ต่อ 10 ถาด และกิจกรรมผึ่งแห้งของกระดาษทิชชู เวลารวมเท่ากับ 120 นาที ต่อ 10 ถาด

3.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

3.2.1 หลักการวิเคราะห์ 5W1H

การวิเคราะห์ 5W1H เพื่อให้ทราบต้นเหตุของปัญหาและนำไปสู่การพัฒนาวิธีการทำงานที่ดีกว่า ดังนี้

การวิเคราะห์ 5W1H กระบวนการผึ่งแห้ง

What: การผึ่งแห้ง

Who: พนักงานผึ่งแห้ง 2 คน

Where: ห้องปฏิบัติงาน

Why: ต้องการดอกมะลิจากกระดาษทิชชูไปประกอบช่อพวงมาลัย

How: เป็นขั้นตอนการผึ่งแห้งโดยใช้ระยะเวลานาน ทำให้เกิดการรอคอยในกระบวนการผลิต

ผู้ศึกษาได้ทำการบันทึกข้อมูลกิจกรรมผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู พบว่า ขั้นตอนการผึ่งแห้งใช้เวลานาน ใช้หลักการวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis โดยถามต่อจากหลักการ 5W1H

จากการวิเคราะห์กิจกรรมผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู พบว่า ชาวบ้านในชุมชนผึ่งแห้งดอกมะลิจากกระดาษทิชชู ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยกระบวนการเดิมก่อนการปรับปรุงต้องรอคอยในขั้นตอนการผึ่งแห้ง ทำให้เสียเวลา และเกิดจุดคอขวดของกระบวนการผลิต

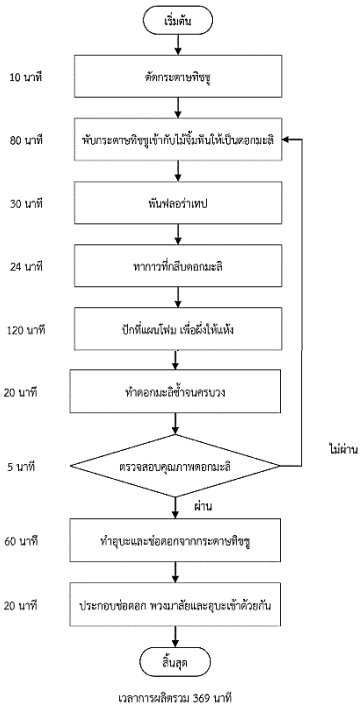
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ Why-Why Analysis กิจกรรมผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู

ปัญหา	Why	Why	Why	Why
การผึ่งแห้งใช้เวลานาน	มีหลายขั้นตอนย่อย	ไม่มีอุปกรณ์ช่วยในการวางผึ่งแห้ง	มีพื้นที่ในการผึ่งแห้งจำกัด	กระบวนการผึ่งแห้งมีดอกมะลิรอผึ่งแห้งจำนวนมาก

จากการวิเคราะห์กิจกรรมผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู พบว่า การผึ่งแห้งนั้นใช้เวลานาน ต้องผึ่งแห้งและหาพื้นที่วางถาดของกระดาษทิชชู ดังแสดงในรูปที่ 1 จากสภาพการทำงานเดิม พบว่า มีพื้นที่จำกัดในการวางผึ่งแห้งของกระบวนการผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู กิจกรรมผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู ทำ ให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย และความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่งหรือขนย้ายจากกระบวนการถัดไป ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เครื่องเป่าลมเย็น และเพิ่มจำนวนพื้นที่จากชั้นวางกระดาษทิชชู เพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 1 ผังกระบวนการผลิตพวงมาลัยดอกมะลิ (ก่อนการปรับปรุง)

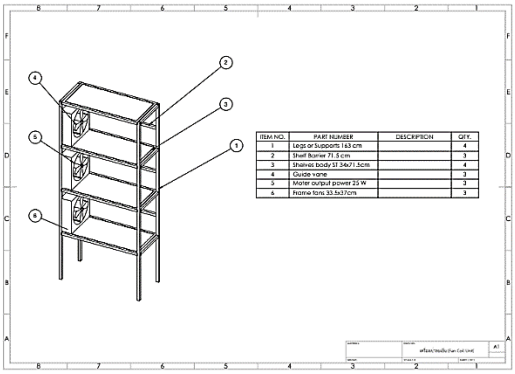
ขั้นตอนการวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตจากสถานประกอบการจริงเป็นวิธีการและเวลาการทำงานของพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู ปัญหาและอุปสรรคการผลิตที่เกิดคอขวด (Bottleneck Process) ผึ่งลมหรือตากแห้งรอคอยเป็นระยะเวลานาน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการเกิดการรอคอยและจุดคอขวด ผึ่งลมหรือตากแห้ง

3.4 ออกแบบวิธีการปรับปรุง

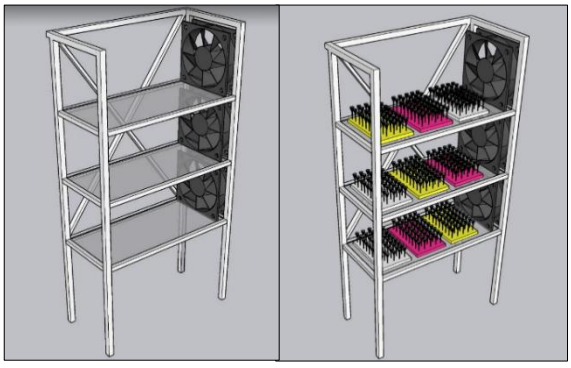
ผู้ศึกษาออกแบบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในกระบวนการผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู โดยอาศัยหลักการและเทคนิค ECRS โดยใช้แนวคิดในการลดความสูญเปล่าในการดำเนินงานคือ การทำให้ง่ายขึ้น เป็นแนวคิดมุ่งเน้นการปรับปรุงวิธีการทำงานที่ซับซ้อนให้ง่ายต่อการทำงานมากขึ้น โดยมีการปรับปรุงของการเพิ่มพื้นที่ในการจัดเรียงหรือเพิ่มจำนวนชั้นวาง เพื่อให้สามารถตากแห้งได้ในปริมาณมากขึ้นในเวลาเดียวกัน มีผลสำคัญต่อการลดระยะเวลาในการผลิต ไม่เกิดการรอคอยหรือตำแหน่งคอขวดในการทำดอกมะลิให้แห้ง ทำให้พนักงานผลิตสินค้าได้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งเพิ่มคุณภาพ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความพึงพอใจของลูกค้าและยอดขายในตลาด จำเป็นต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยออกแบบเครื่องเป่าลมเย็นดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การออกแบบเครื่องเป่าลมเย็น

การออกแบบลักษณะอุปกรณ์มีขนาด 34 X 71.5 X 163 เซนติเมตร นอกจากนี้การออกแบบมีการปรับระดับเร็วได้ตามต้องการ โดยเครื่องเป่าลมเย็นมีช่องลมออกกว้างพอสำหรับกระจายลมได้ดี และมีตะแกรงด้านหน้าเพื่อใช้วางกระดาษทิชชูตามหลักการการผึ่งแห้งที่ชาวบ้านต้องการ

ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องเป่าลมเย็น ในการผลิต 6,500 บาท เนื่องจากมีมอเตอร์ใช้สำหรับเป่าลม 3 ตัว ทำให้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายสูงขึ้น



รูปที่ 4 เครื่องเป่าลมเย็นตามแบบที่กำหนด



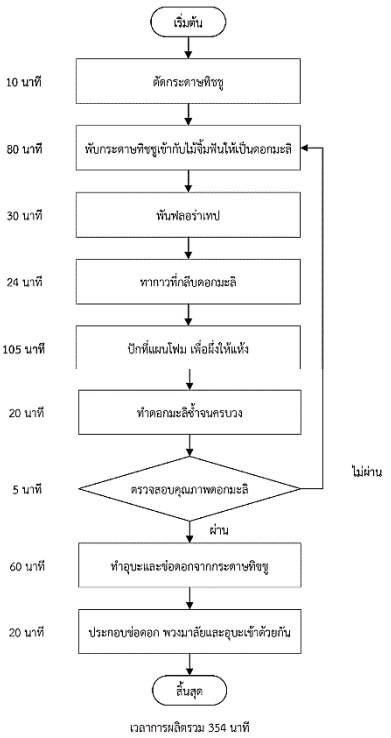
รูปที่ 5 เครื่องเป่าลมเย็น

จากการออกแบบและพัฒนาเครื่องเป่าลมเย็น นำมาสู่การทดลองโดยการนำเครื่องเป่าลมเย็นที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้กับกระบวนการผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชูจริงที่นำมาใช้ในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนประดิดประดอยจากกระดาษทิชชู ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การผึ่งแห้งด้วยเครื่องเป่าลมเย็นที่ออกแบบใหม่

หลังการปรับปรุงมีขั้นตอนการดำเนินงานสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 7 ผังกระบวนการผลิตพวงมาลัยดอกมะลิ (หลังการปรับปรุง)

ผลิตภัณฑ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนประดิดประดอยจากกระดาษทิชชู จากการสร้างอุปกรณ์/เครื่องมือ เพื่อช่วยปรับปรุงวิธีการทำงานให้ดีขึ้น รวมไปถึงการจัดสมดุลสายผลิตเพื่อให้กระบวนการผลิตมีความต่อเนื่อง สร้างความชำนาญให้แก่พนักงานในแต่ละขั้นตอนการผลิต เพิ่มกำลังการผลิตให้มากขึ้นกว่าเดิม สร้างรายได้ให้ชุมชนในท้องถิ่นเพิ่มมากขึ้นจากยอดขายที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลิตภัณฑ์พวงมาลัยจากกระดาษทิชชู

3.5 ผลการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องมือจากการศึกษาข้อมูลเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้เหมาะสมที่สุดโดยใช้หลักการพื้นฐานคือ แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) แผนภูมิ Why-why Analysis และเทคนิคการปรับปรุงงาน (ECRS) มาใช้ในการศึกษา พบว่ากิจกรรมผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู ก่อนปรับปรุงชาวบ้านในชุมชนผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู เพื่อเตรียมไปรอผึ่งแห้งโดยวางที่โต๊ะ เสร็จแล้วรอแห้ง และนำประกอบช่อดอกพวงมาลัย และอุบะเข้าด้วยกัน พบว่า กระบวนการเดิมก่อนปรับปรุงทำให้เสียเวลา และเกิดความเมื่อยล้าจากการเคลื่อนไหวมากเกินไปของพนักงาน ตารางที่ 3 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงวิธีการผึ่งแห้ง พบว่า เครื่องเป่าลมเย็นที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาสามารถเพิ่มกำลังการผลิตจากเดิม 10 ถาดต่อวันเป็น 12 ถาดต่อวัน คิดเป็น 20% ของกำลังการผลิต และสามารถลดการสูญเสียของกระบวนการผลิตพวงมาลัยดอกมะลิจากกระดาษทิชชู โดยใช้เวลานานก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 369 นาที ซึ่งการปรับปรุงวิธีการผึ่งแห้งพบว่า ใช้เวลา 354 นาที ในกระบวนการผลิตประสิทธิภาพในการปรับปรุงกระบวนการดีขึ้นจากเดิม 12.5% ทำให้ลดความสูญเปล่าจากการรอคอย พนักงานมีเวลาไปทำงานในกระบวนการผลิตอื่นได้

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อนและหลังการปรับปรุงผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู

รายการ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
รอบเวลาการผลิต (นาที)	369	354
กำลังการผลิต (ถาด)	10	12

4. สรุปผล

จากการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานในกระบวนการผลิตพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู กรณีศึกษา กลุ่มวิสาหกิจชุมชนประดิดประดอยจากกระดาษทิชชู จังหวัดกรุงเทพมหานคร พบว่าได้มีการปรับปรุงกิจกรรมการผึ่งแห้งของพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู โดยในกิจกรรมการผึ่งแห้งเมื่อนำวิธีการทำงานแบบใหม่ลงไปปรับใช้กับสถานประกอบการจริง พบว่า เครื่องเป่าลมเย็นที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาและออกแบบใหม่ สามารถลดระยะเวลาการรอคอยจากจุดคอขวด และก่อนการปรับปรุงมีกำลังการผลิตได้ กำลังการผลิตพวงมาลัยจากดอกมะลิเพิ่มขึ้น 20% และลดการสูญเสียของพวงมาลัยจากดอกมะลิ 12.5% จากทฤษฎีความสูญเปล่า 7 ประการ พบว่าวิธีการทำงานหลังปรับปรุงสามารถลดความสูญเปล่าประเภท “ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย (Delay)” โดยความสูญเปล่าประเภทนี้เกิดจาก จุดคอขวด (bottleneck) คือ การผึ่งแห้งของพวงมาลัยจากกระดาษทิชชู ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดความล่าช้าของการสร้างผลผลิต หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป หลังจากออกแบบเครื่องเป่าลมเย็น พบว่า ก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตพวงมาลัยจาก

กระดาษทิชชู ใช้เวลา 120 นาที หลังการปรับปรุง โดยใช้เครื่องเป่าลมเย็นที่มีต้นทุนในการพัฒนา 6,500 บาท พบว่า ใช้เวลา 105 นาที พบว่าเวลาในการผึ่งแห้งดีขึ้นกว่าเดิม 12.5% ลดความสูญเปล่าจากการรอคอย ทำให้พนักงานมีเวลาไปทำงานหรือกิจกรรมอย่างอื่นได้ ในส่วนของกำลังการผลิตพวงมาลัยจากดอกมะลิเพิ่มขึ้น 20% คิดเป็นเงิน 22,464 บาทต่อปี และใช้ระยะเวลาคืนทุน 0.2893 ปี หรือ 3 เดือน 14 วัน ซึ่งนอกจากนี้ยังช่วยลดรอบเวลาในการผลิต (Cycle Time) ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ วิสาหกิจชุมชนประดิดประดอยจากกระดาษทิชชู ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สุวรรณภูมิ วิเทษกักดี. (2565). การศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มผลผลิตของกระบวนการผลิตและกำหนดเวลามาตรฐาน. กรุงเทพฯ: อินเตอร์เนชั่นแนล เลทเธอร์ แฟชั่น.

[2] คลอเคลีย วจนะวิชากร. การลดความสูญเปล่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตไม้กวาดทางมะพร้าว กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนบ้านบุ่งหวาย จังหวัด อุบลราชธานี. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 2563, 13(1): 141-152.

[3] เฉลิมเกล้า ไทยศรีสุทธิ์. (2563). การนำแนวคิดแบบลีนมาประยุกต์ใช้ในการให้บริการโดยมีเครื่องหมาย ในการจัดกระบวนการทางธุรกิจ.

[4] สมเกียรติ นินถึก. ระบบการผลิตแบบโตโยต้า (ความสูญเปล่า 7 ประการ). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2559.

[5] คลอเคลีย วจนะวิชากร. การลดความสูญเปล่าเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพกระบวนการผลิตไม้กวาดทางมะพร้าว กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชนบ้านบุ่งหวาย จังหวัด อุบลราชธานี. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 2563, 13(1): 141-152.

[6] คลอเคลีย วจนะวิชากร, เชษฐ์ ศรีไมตรี, ปานจิต ศรีสวัสดิ์. แนวทางการแก้ปัญหาการผลิตหวดนึ่งข้าวเหนียวอัตโนมัติ กลุ่มจักสานชุมชนบ้านหนองขอน อุบลราชธานี.วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 2559, 9(1): 48-60.

[7] ธยา ภิรมย์ และ พันธ์ยศ วรเชฐวราวัตร์. การศึกษาความเมื่อยล้าจากการนั่งทำงานของพนักงานเย็บ ในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2555, เพชรบุรี, 2555.

[8] นิติศักดิ์ ศรีวัฒนา, ศุภชัย แสงบัวท้าว และพิศาล คำยา. 2567”การปรับปรุงกระบวนการผลิตคาลิปเปอร์เบรกด้วยการศึกษาเวลาและการเคลื่อนไหว กรณีศึกษา บริษัท แอดวิคส แมนูแฟคเจอริ่ง (ไทยแลนด์) จำกัด.” วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 2 ฉบับที่ 1.

[9] ธารชุดา พันธ์นิกุล, ดวงพร สังฆะมณี, และปรีดาภรณ์ งามสง่า. 2557 “การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ กรณีศึกษา: โรงงานประกอบรถจักรยาน.” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2557, สมุทรปราการ, ประเทศไทย, 30-31 ตุลาคม.

[10] ดาริกา อวะภาค ศุภชัย ภิสัชเพ็ญ และ มณฑิรา เอียดเสน. 2554. “การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิตไอศกรีมแท่ง.” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49, สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (น. 199-207). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

[11] มงคล กิตติญาณขจร, นภัสสร โพธิสิงห์, ธนวัตร พัดเพ็ง. “การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการเพื่อ ปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต: กรณีศึกษากระบวนการผลิตก้อนเชื้อเห็ด”. Kasem Bundit Engineering Journal. 2019; 9 (2):71 - 89.

[12] กนกวรรณ สุภักดี, อินทุอร หินผา, อาริญา กล่อกระโทก, ณัฐวัฒน์ เหล่าโก้ก. “การลดความสูญเปล่าในกระบวนการ ผลิตเทียนเวียนหัว กรณีศึกษา: ธุรกิจโรงหล่อเทียนมงคล”. UBU Engineering Journal. 2019; 12(2):112–22.

การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าแบบลีน

Increasing Efficiency Lean Warehouse Management

ณราวดี สิทธิเดชธำรง[1*]
[1]สาขาวิศวกรรมกระบวนการและอุตสาหการ สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
E-mail: Narawadee@mut.ac.th*

Narawadee Sitthidetchtamroung[1*]
[1] Department of Process and Industrial Engineering, Mahanakorn School of Engineering and Industrial Technology, Mahanakorn University of Technology
E-mail: Narawadee@mut.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการเบิก-จ่ายชิ้นส่วนรอประกอบของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการประกอบตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร ป้ายไฟจราจร เป็นต้น โดยเริ่มทำการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการเบิก-จ่าย มีการประยุกต์ใช้การศึกษาเวลา แผนภูมิกระบวนการไหล รวมถึงการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา ได้สรุปประเด็นปัญหาออกเป็น 2 ประเด็นคือ 1) ไม่มีตำแหน่งการจัดเก็บชิ้นส่วนรอประกอบที่ชัดเจนทำให้เกิดความสูญเปล่าในการเบิก-จ่าย แนวทางในการแก้ไขคือ แยกประเภทรายการชิ้นส่วนรอประกอบแต่ละประเภทด้วย Commodity System และการกำหนดตำแหน่งในการจัดเก็บชิ้นส่วนรอประกอบแต่ละประเภทโดยใช้ FSN Analysis เพื่อลดเวลาในการเบิก-จ่าย โดยการจัดพื้นที่จัดเก็บชิ้นส่วนรอประกอบในคลังใหม่ 2) ไม่มีป้ายระบุรหัส รายชื่อชิ้นส่วนรอประกอบ ทำให้เกิดความสูญเปล่าในการค้นหาชิ้นส่วนรอประกอบในคลัง แนวทางในการแก้ไขคือใช้เครื่องมือควบคุมด้วยสายตา โดยทำป้ายระบุ รหัส และรายชื่อชิ้นส่วนรอประกอบคงคลัง ผลการวิจัยการลดความสูญเปล่าของกระบวนการเบิก-จ่ายใบเบิก A ก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าก่อนการปรับปรุงใช้เวลาในการเบิก-จ่ายใบเบิก A เท่ากับ 1,038.76 วินาที หลังการปรับปรุงใช้เวลาในการเบิก-จ่ายเท่ากับ 601.93 วินาที จึงสรุปได้ว่าเวลาที่ใช้ในการเบิก-จ่ายใบเบิก A ใช้เวลาลดลง 436.84วินาที ซึ่งคิดเป็น 42.05%

คำสำคัญ: การผลิตแบบลีน, ความสูญเปล่า, ประสิทธิภาพ

Abstract

This research aims to enhance the efficiency of the requisition and disbursement process for assembly parts in the case study company, which specializes in assembling traffic signal control cabinets, traffic signs, and related products. The study begins with an analysis of the requisition and disbursement process, incorporating time study, flow process chart, and problem analysis through Fishbone Diagram. The issues identified are summarized into two key points: The lack of clearly designated storage locations for assembly parts leads to waste in the requisition and disbursement process. The proposed solution involves categorizing assembly parts using the Commodity System and designating specific storage locations for each category through FSN Analysis to reduce retrieval time by reorganizing the warehouse storage system. The absence of labels indicating part codes and names results in wasted time searching for assembly parts in the warehouse. The proposed solution is to implement visual control tools by creating labels with part codes and names. The study compared the time required for processing Requisition Form A before and after implementing improvements. Before the improvements, the process took 1,038.76 seconds, whereas after implementation, it was reduced to 601.93 seconds. This represents a time reduction of 436.84 seconds, equivalent to a 42.05%.

Keywords: Lean Manufacturing, Waste, Efficiency

1. บทนำ

การแข่งขันอย่างรุนแรงในปัจจุบันทางด้านราคาและคุณภาพของสินค้าและบริการ ส่งผลให้อุตสาหกรรมจำเป็นต้องปรับตัวเพื่อลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุดเพื่อควบคุมต้นทุน ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการทำกำไรได้โดยตรง หลักการผลิตแบบลีน (Lean manufacturing) เป็นหลักการและชุดเครื่องมือที่นำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาความไม่มีประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเทคนิคของลีนไม่เพียงแต่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนเท่านั้น แต่ในปัจจุบันยังได้มีการนำเทคนิคลีนมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการต่าง ๆ อีกด้วย เช่น การบริการการขนส่ง การธนาคาร รวมถึงการบริการทางการแพทย์ ดังนั้นสถานประกอบการจึงจำเป็นต้องพัฒนายกระดับองค์กรให้มีรูปแบบองค์กรแบบลีน หัวใจของลีนคือการลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานให้เหลือน้อยที่สุด เกิดการไหลของวัตถุดิบชิ้นงานระหว่างกระบวนการ และผลิตภัณฑ์ รวมถึงข้อมูลอย่างต่อเนื่องภายในและภายนอกองค์กร [1-3]

ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing System) คือ กระบวนการผลิตที่มุ่งลดความสูญเปล่าจากการนำทรัพยากรต่างๆ มาใช้ รวมถึงแนวทางการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องโดยมุ่งเน้นที่ผู้ปฏิบัติงานเป็นคนขับเคลื่อนที่สำคัญในการใช้ระบบการผลิตแบบลีนมาปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ เพื่อมุ่งลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น ซึ่งในการทำวิจัยครั้งนี้โรงงานกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจในการประกอบตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร ป้ายไฟจราจร โดยทางผู้วิจัยได้ทำการสำรวจพื้นที่ในส่วนของคลังชิ้นส่วนรอประกอบ ซึ่งทำการจัดเก็บชิ้นส่วนเพื่อรอไปทำการประกอบให้เป็นสินค้าสำเร็จรูป พบว่าปัญหาการเบิก-จ่ายคลังชิ้นส่วนรอประกอบ ที่ล่าช้า ในฝั่งของโลจิสติกส์ขาเข้าของโรงงาน (Inbound Logistics) เนื่องจากไม่ทราบตำแหน่งการจัดเก็บของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในคลัง ไม่มีการกำหนดพื้นที่ในการจัดวางในคลัง ในฝั่งโลจิสติกส์ขาเข้าจึงเกิดความสูญเปล่าขึ้นในกิจกรรม ส่งผลต่อการส่งมอบชิ้นส่วนในกระบวนการถัดไป

ดังนั้นการที่จะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้จึงจำเป็นต้องใช้ระบบการผลิตแบบลีนมาประยุกต์ใช้สำหรับแก้ปัญหา จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าแบบลีน กรณีศึกษาบริษัทประกอบตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร ป้ายไฟจราจร โดยนำหลักการแบบลีนมาผสมผสานกับหลักการบริหารจัดการคลังสินค้า เพื่อลดความความสูญเปล่าในกระบวนการเบิก-จ่ายชิ้นส่วนรอประกอบคงคลังฝั่งโลจิสติกส์ขาเข้า โดยทำการเลือกใบเบิก-จ่ายที่มีความถี่ในการเบิก-จ่ายบ่อยที่สุดมาทำการศึกษา [4]

2. ทบทวนวรรณกรรม

ในปี ค .ศ. 1990 การผลิตแบบลีน (Lean Production) ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดย James P. Womacx จากหนังสือ “The Machine That Changed The World” โดยได้กล่าวถึงการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบโรงงานประกอบรถยนต์ของญี่ปุ่น ยุโรป และสหรัฐอเมริกา แต่กลับพบว่าญี่ปุ่นประสบความสำเร็จในด้านการผลิตประกอบรถยนต์มากกว่า จากผลการศึกษาพบว่า ญี่ปุ่นได้นำระบบการผลิตที่เรียกว่า “ลีน (Lean)” มาทำการศึกษา และนำไปสู่การพัฒนาระบบการผลิตที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น โดยเน้นต้นทุนการผลิตที่ต่ำ [5]

แนวคิดระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing System) มีจุดกำเนิดเริ่มต้นจากผู้ผลิตญี่ปุ่น ได้มีการปรับเปลี่ยนแนวทางการผลิตเมื่อเผชิญกับปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรและเงินทุนในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ยุติลง จึงนำไปสู่การพัฒนารูปแบบการผลิตโดยเน้นต้นทุนการผลิตให้ต่ำที่สุด โดยมีผู้นำอย่าง Eiji Toyoda และ Taiichi Ohno แห่ง Toyota Motor ซึ่งในปี ค.ศ. 1950 โดย Eiji Toyoda ได้เข้าเยี่ยมชมโรงงาน Ford River Rouge เพื่อเรียนรู้วิธีการผลิตแบบ Mass กลับพบว่า Toyota Motor ไม่เหมาะกับรูปแบบการผลิตแบบ Mass แต่ Toyota Motor ต้องการผลิตรถยนต์ที่มีรูปแบบที่หลากหลาย Eiji Toyoda จึงทำการปรึกษาวิศวกรการผลิต Taiichi Ohno เพื่อร่วมกันพัฒนาระบบการผลิต เมื่อ Taiichi Ohno ได้ทำการศึกษาแนวทางของ Mass Production ทำให้เห็นข้อจำกัดหลาย ๆ อย่าง เขาจึงได้ออกแบบระบบเพื่อลดความสูญเปล่าและเน้นประสิทธิภาพสูงสุดด้วยต้นทุนที่ต่ำ พร้อมทั้งมีความยืดหยุ่นกว่าแนวทางการผลิตแบบ Mass Production และได้เป็นต้นแบบของระบบการผลิตแบบลีนจนมาถึงปัจจุบัน [6] ถึงแม้ว่าเทคนิคลีนจะเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีตัวอย่างแห่งความสำเร็จเป็นจำนวนมาก แต่ในหลายครั้งพบว่าการพัฒนากระบวนการผลิตหรือกระบวนการทำงานขององค์กรให้เป็นไปตามแนวคิดลีนกลับมีความล้มเหลว เนื่องจากการนำเทคนิคลีนมาใช้จะเป็นการปรับเปลี่ยนแนวคิดของการทำงานตั้งแต่ขั้นตอนการทำงานตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด [7] ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่การนำหลักการลีนมาปรับปรุงองค์กร โดยจะต้องนำหลักการลีนมาผนวกรวมไว้ในกลยุทธ์ขององค์กรอย่างชัดเจน [8]

จากการศึกษาวรรณกรรมพบว่ามีนักวิจัยได้พัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีนเพื่อแก้ปัญหา เช่น การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีนสำหรับแก้ปัญหาในกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนหมัก สามารถช่วยลดการรอคอยงาน และช่วยขจัดการเคลื่อนไหวที่มากเกินความจำเป็น ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลากระบวนการผลิตลง [9] ประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีนในการแก้ไขปัญหาไม่มีป้ายระบุรายชื่อสินค้า ทำให้เกิดความสูญเปล่าในการค้นหาสินค้า ซึ่งใช้เครื่องมือควบคุมด้วยสายตา สามารถลดความสูญเปล่าของกระบวนการเบิก-จ่ายสินค้า [10] ประยุกต์ใช้แนวคิดลีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพื้นที่จัดเก็บสินค้า บริษัทตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์ประตูและหน้าต่าง ซึ่งมาจากปัญหาการวางสินค้าในคลังสินค้าไม่เป็นระบบ ส่งผลให้สินค้าที่อยู่ในคลังสินค้ามีจำนวนไม่ตรงกับข้อมูลที่แท้จริงในระบบและทำให้เกิดความล่าช้าในการค้นหาสินค้า หลังจากประยุกต์ใช้แนวคิดลีนทำให้ลดความสูญเปล่าด้านระยะทางและเวลาใน

การค้นหาสินค้า ส่งผลให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของพื้นที่จัดเก็บสินค้าได้ดียิ่งขึ้น [11]

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีนสามารถนำมาประยุกต์ใช้และแก้ปัญหาในกระบวนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของคลังสินค้าได้ ดังนั้นในบทความนี้ผู้วิจัยจึงเลือกและนำหลักการของระบบการผลิตแบบลีนมานำเสนอและประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบในงานวิจัย โดยนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบเวลาก่อนและหลังปรับปรุงในกระบวนการเบิก-จ่ายของบริษัทกรณีศึกษา

3. วิธีการวิจัยและดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษากระบวนการเบิก-จ่ายชิ้นส่วนรอประกอบของใบเบิก A

ภายในคลังชิ้นส่วนรอประกอบฝั่งโลจิสติกส์ขาเข้า ของบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการเบิก-จ่ายของคลังชิ้นส่วนรอประกอบ ในกระบวนการเบิก-จ่ายของใบเบิก A (ใบเบิก A เป็นใบเบิกที่มีรายการเบิกชิ้นส่วนเพื่อนำไปประกอบมีความถี่ในการเบิก-จ่าย บ่อยที่สุด จากการเก็บข้อมูลย้อนหลัง 3 เดือน จึงหยิบขึ้นมาเป็นกรณีศึกษา) โดยนำแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) มาทำการวิเคราะห์ขั้นตอนในการทำงานของกระบวนการเบิก-จ่าย [12-14]

ตารางที่ 1 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการเบิก-จ่ายคลังชิ้นส่วนรอประกอบใบเบิก A ก่อนการปรับปรุง

คำอธิบาย (งานย่อย)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์ ○ ปฏิบัติงาน ⇨ การขนส่ง D การล่าช้า □ การตรวจสอบ ▽ การเก็บ
1.พนักงานรับใบเบิก	5.89	●⇨D□▽
2.พนักงานตรวจรายการในใบเบิก	40.48	○⇨D■▽
3.พนักงานเดินไปตำแหน่งจัดเก็บชิ้นส่วน	19.57	○➡D□▽
4.พนักงานค้นหาชิ้นส่วนตามใบเบิกจนครบ	802.13	●⇨D□▽
5.พนักงานนำชิ้นส่วนที่ค้นหามาหน้าคลังและตรวจสอบตามใบเบิก	115.95	○➡D□▽
6.พนักงานบันทึกชิ้นส่วนที่นำออก	54.75	●⇨D□▽
รวม	1,038.76	

สรุปได้ว่าในกระบวนการเบิก-จ่ายคลังชิ้นส่วนรอประกอบใบเบิก A ก่อนการปรับปรุง มีกิจกรรมการปฏิบัติงาน 3 กิจกรรม กิจกรรมการเคลื่อนย้าย 2 กิจกรรม และกิจกรรมการตรวจสอบ 1 กิจกรรม ใช้เวลาในการเบิกจ่ายสินค้าทั้งหมด 1,038.76 วินาที ผลรวมของเวลาสูญเปล่าเวลารวมของการขนส่ง 135.52 วินาที, เวลารวมของการตรวจสอบ 40.48 วินาที ซึ่งทั้ง 2 กิจกรรม เป็นกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็นต้องทำ (Non Value Added but Necessary Activities (NVAN)

3.2 การศึกษาเวลา (Time Study) เพื่อหาเวลามาตรฐาน (Standard Time) ผู้วิจัยทำการศึกษาขั้นตอนในการดำเนินการเบิก-จ่ายคลังชิ้นส่วนรอประกอบของบริษัทกรณีศึกษา โดยเลือกใบเบิกสินค้า A เป็นกรณีที่ศึกษาเนื่องจากมีรายการเบิกชิ้นส่วนเพื่อนำไปประกอบบ่อยที่สุด ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินกิจกรรมเบิก-จ่าย 6 ขั้นตอน จากนั้นเริ่มต้นจับเวลาโดยใช้หลักการจับเวลา โดยตรงแบบวิธีการจับซ้ำ ถ้าวัฏจักรงานสั้นกว่า 2 นาทีให้จับเวลามา 10 รอบ และถ้าวัฏจักรงานยาวกว่า 2 นาที ให้จับเวลามา 5 รอบ ในการจับเวลาของกระบวนการเบิก-จ่ายมีงานย่อยที่ใช้เวลาเกิน 2 นาทีและไม่เกิน 2 นาที

3.2.1 เทคนิคของการวัดผลงานเพื่อหาเวลาและอัตราการทำงาน

ซึ่งการคำนวณหาจำนวนรอบในการจับเวลาในแต่ละครั้งมีงานย่อยอื่นซ้อนอยู่ ดังนั้นการจับเวลาเพียงครั้งเดียวย่อมไม่เพียงพอจะใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาเวลามาตรฐานที่มีความน่าเชื่อถือ โดยวิธีการหาจำนวนรอบที่เหมาะสมสามารถทำได้ด้วยวิธีการเปิดตารางเมย์แท็ก (Maytag) [12-14]

หลังจากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของแต่ละงานย่อยแล้ว นำค่าที่ได้ไปเปิดตารางเมย์แท็ก (Maytag) เพื่อหาจำนวนรอบการจับเวลาที่เหมาะสม (n) การจับเวลางานย่อยมีจำนวนรอบการจับเวลามากที่สุด คือ 10 รอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่ต้องไปเก็บข้อมูลเพิ่มอีก ข้อมูลนี้มีความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ระดับ 95% และความผิดพลาดไม่เกิน ±5%

3.2.2 ประเมินอัตราความเร็ว (Rating Factor: RF)

การประเมินประสิทธิภาพของคนงาน ด้วยการประเมินอัตราความเร็ว (Rating Factor: RF) ของ Westinghouse โดยประเมินการปฏิบัติงานของพนักงานจำนวน 1 คน จากการประเมินปัจจัยทั้ง 4 ด้าน ดังนี้ [12-14] 1) ทักษะ (Skill) พนักงานที่ทำงานในกระบวนการที่จะศึกษาควรเป็นพนักงานที่มีประสบการณ์ในการทำงานมาไม่ต่ำกว่าสองปี 2) ความพยายาม (Effort) ในกระบวนการทำงานพนักงานใช้ความพยายามและตั้งใจในการทำงานได้ดี 3) สภาพการทำงาน (Condition) การทำงานอยู่ในสภาพที่มีลักษณะเดียวกันตลอดเวลา 4) ความสม่ำเสมอ (Consistency) ในระหว่างกระบวนการทำงานพนักงานมีการทำงานอยู่เสมอไม่มีการหยุดพัก

ผู้วิจัยทำการประเมินอัตราความเร็ว (Rating Factor: RF) โดยประเมินการปฏิบัติงานในระหว่างกระบวนการทำงานของพนักงาน โดยหลังจากที่ได้ค่าการประเมินมีค่าเป็นบวก แสดงว่าพนักงานทำงานเร็ว

กว่าปกติ โดยค่าที่ประเมินได้จะถูกนำไปบวกกับค่า 1 จึงจะได้ประสิทธิภาพในการทำงาน

3.2.3 การคำนวณหาเวลาปกติ (Normal Time: NT)

$$(NT) = (ST) \times (RF) \quad (1)$$

โดยที่ NT คือ เวลาปกติ (วินาที)
ST คือ เวลาตัวแทน (วินาที)
RF คือ ประเมินอัตราความเร็ว

3.2.4 กำหนดเวลาเผื่อ (Allowance Time: A)

เป็นปริมาณของเวลาที่ชดเชยส่วนของเวลาที่สูญเสียไปอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ไม่ก่อให้เกิดงาน เช่น เวลาหยุดพักเมื่อเกิดความเมื่อยล้า เวลาที่ไปทำธุระส่วนตัว เวลาเผื่อสำหรับส่วนบุคคลกำหนดไว้ประมาณ 5-7% แต่ในอุตสาหกรรมทั่วไปจะกำหนดไว้ที่ 5% ของเวลาทำงานทั้งหมด ส่วนเวลาเผื่อสำหรับความเมื่อยล้าขึ้นอยู่กับชนิดของงานเป็นค่าคงที่ สำหรับงานทั่วไปองค์กรแรงงานระหว่างประเทศได้กำหนดไว้ที่ 4% [12-14]

ผู้วิจัยให้ค่าความเผื่อของสภาพการทำงาน จุดประสงค์ก็เพื่อรวมเข้ากับเวลาในการปฏิบัติงานปกติเพื่อเพียงพอและยุติธรรมในการปฏิบัติงานในแต่ละวัน โดยทางผู้วิจัยได้ปรึกษากับทางบริษัท โดยค่าเผื่อในการพิจารณาจะเท่ากับค่าเวลาส่วนเผื่อทำธุระส่วนตัวบวกค่าเวลาส่วนเผื่อความเมื่อยล้า รวมเวลาส่วนเผื่อจะได้เท่ากับ 5+4 = 9%

3.2.5 การคำนวณหาเวลามาตรฐาน (Standard Time)

จากนั้นผู้วิจัยคำนวณหาเวลาปกติ ตามสมการที่ 1 และคำนวณหาค่าเวลามาตรฐานในการทำงาน ตามสมการที่ 2 เพื่อหาเวลาที่ใช้ในกระบวนการเบิก-จ่ายคลังชิ้นส่วนรอประกอบของใบเบิก A ภายในคลังก่อนการปรับปรุง แสดงในตารางที่ 2

เวลามาตรฐาน = เวลาทำงานปกติ + เวลาเผื่อ (2)

ตารางที่ 2 แสดงเวลามาตรฐานในกระบวนการเบิก-จ่ายคลังชิ้นส่วนรอประกอบของใบเบิก A ก่อนการปรับปรุง หน่วยเป็นวินาที

ลำดับงานย่อย	เวลาเฉลี่ย	Rating Factor	เวลาปกติ	ค่าเวลาเผื่อรวม %	Standard Time
1	4.50	1.20	5.40	9%	5.89
2	30.95	1.20	37.14	9%	40.48
3	14.98	1.20	17.95	9%	19.57
4	613.25	1.20	735.90	9%	802.13
5	88.64	1.20	106.37	9%	115.95
6	41.86	1.20	50.23	9%	54.75
รวม					1,038.76

จากตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์หาค่าเวลามาตรฐานของกระบวนการเบิก-จ่ายชิ้นส่วนรอประกอบของใบเบิก A ภายในคลัง ก่อนการปรับปรุงจะเห็นได้ว่ามีการคำนวณหาเวลามาตรฐานทั้ง 6 งานย่อย โดยผลจากการคำนวณเวลามาตรฐานรวมที่ได้คือ 1,038.76 วินาที หรือคิดเป็นนาที คือ 17.31 นาที

3.3 วิเคราะห์ปัญหาของกระบวนการทำงาน

ในกระบวนการเบิก -จ่ายคลังชิ้นส่วนรอประกอบของใบเบิก A จากได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ในการค้นหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น

หลังจากการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการเบิก-จ่ายชิ้นส่วนรอประกอบของใบเบิก A ภายในคลังจากแผนภูมิการไหล และเวลาที่ใช้ในกระบวนการเบิก-จ่าย รวมถึงการใช้แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) โดยตั้งสาเหตุจาก 4 ปัจจัย คือ พนักงาน, พื้นที่ในการจัดเก็บ ,ชิ้นส่วน, และวิธีการจัดเก็บ พบความสูญเปล่าในกระบวนการเบิก-จ่ายใช้เวลาค่อนข้างนาน โดยทางผู้วิจัยได้สรุปปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไขปัญหา แสดงในตารางที่ 3

3.4 หาแนวทางในการแก้ไขปัญหา

1. ไม่มีตำแหน่งการจัดเก็บ ไม่มีการแบ่งแยกประเภทของชิ้นส่วนรอประกอบที่ชัดเจน ทำให้ชิ้นส่วนปะปนกัน ส่งผลใช้เวลาในการค้นหาชิ้นส่วนใช้เวลานาน การแก้ไขจัดกลุ่มแยกประเภทของรายการชิ้นส่วนรอประกอบแต่ละประเภทแบบ Commodity System และจัดเก็บแต่ละประเภทตามความถี่ในการเบิกจ่าย FSN Analysis ชิ้นส่วนรอประกอบที่มีความต้องการเบิกสูงอยู่ใกล้ประตู เพื่อลดเวลาในการค้นหา โดยการจัดพื้นที่จัดเก็บใหม่ 2. ไม่มีป้ายระบุรายชื่อชิ้นส่วนรอประกอบ ทำให้เกิดความสูญเปล่าในการค้นหา การแก้ไขใช้เครื่องมือควบคุมด้วยสายตา (Visual Control) โดยทำป้ายระบุรหัสและรายชื่อของชิ้นส่วนรอประกอบ

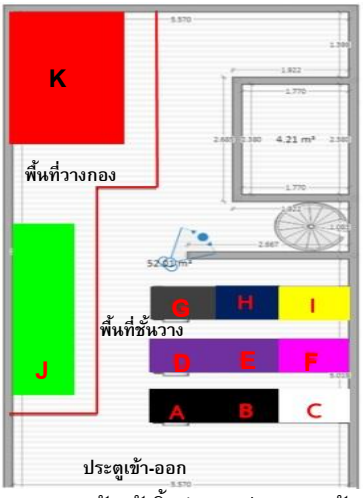
3.4.1 ระบบจัดเก็บแบบ Commodity System และ FSN Analysis

การแบ่งแยกประเภทของรายการชิ้นส่วนรอประกอบแต่ละประเภทแบบ Commodity System เป็นการจัดระบบที่ใช้ในการจัดเก็บ และจัดระเบียบชิ้นส่วนรอประกอบตามประเภท หรือลักษณะของชิ้นส่วนรอประกอบที่คล้ายคลึงกัน เพื่อการจัดการชิ้นส่วนรอประกอบให้อยู่ในหมวดเดียวกัน และในตำแหน่งการจัดเก็บของแต่ละประเภทใช้ระบบ FSN Analysis โดยพิจารณาอัตราการหมุนเวียนหรือความถี่ในการเบิก-จ่ายของชิ้นส่วนรอประกอบ เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหา

จากข้อมูลชิ้นส่วนรอประกอบของบริษัทกรณีศึกษา โดยการจัดเก็บเป็นการจัดเก็บแบบวางกอง และจัดเก็บบนชั้นวาง ผู้วิจัยได้ทำการจัดกลุ่มประเภทของชิ้นส่วนรอประกอบ 9 กลุ่มและในแต่ละกลุ่มจัดตำแหน่งของกลุ่มชิ้นส่วนรอประกอบตามข้อมูลความถี่ในการเบิก-จ่าย ดังนี้ 1. Control Cabinet Accessories (A-B) ความถี่ 2,840 ครั้ง

2. Construction Control Cabinet (C) ความถี่ 2,636 ครั้ง 3. Electric Equipment (D-E) ความถี่ 1,343 ครั้ง 4. Bolt Nut (F) ความถี่ 1,261 ครั้ง 5. Other Plate (G) ความถี่ 592 ครั้ง 6. Sticker tape (H) ความถี่ 538 ครั้ง 7. Lamp (I) ความถี่ 241 ครั้ง 8. Pipe (J) ความถี่ 122 ครั้ง 9. Wire (K) ความถี่ 100 ครั้ง

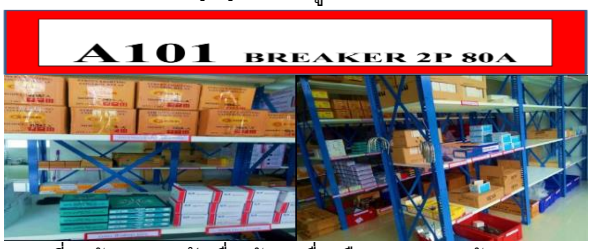
ผลการจัดกลุ่มชิ้นส่วนรอประกอบตามหลัก Commodity System และ FSN Analysis พบว่าชิ้นส่วนรอประกอบที่มีการเบิก-จ่ายบ่อยควรจะจัดอยู่ในพื้นที่ที่สะดวกต่อการเบิก-จ่าย เนื่องจากมีการเบิกจ่ายอยู่สม่ำเสมอเพื่อความสูญเปล่าเรื่องการขนย้าย (Transportation) โดยวางไว้ใกล้จุดทางเข้า-ออก ของคลังจะช่วยลดระยะเวลาในการขนย้าย ส่วนชิ้นส่วนรอประกอบที่ไม่ค่อยมีการเบิก-จ่าย จะถูกจัดเก็บไว้ด้านในเนื่องจากเป็นกลุ่มที่นาน ๆ ครั้งจะถูกเบิก-จ่ายแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงแผนผังคลังชิ้นส่วนรอประกอบหลังปรับปรุง

3.4.2 การจัดทำเครื่องมือการควบคุมด้วยสายตา (Visual Control)

ผู้วิจัยได้จัดทำรหัสและรายชื่อของชิ้นส่วนรอการประกอบ และป้ายบอกรหัสและชื่อโดยใช้เครื่องมือการควบคุมด้วยสายตา เป็นเครื่องมือที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารในสถานที่ทำงานลดความสูญเปล่าในการค้นหาสินค้า [15] แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ป้ายบอกรหัส ชื่อ ด้วยเครื่องมือการควบคุมด้วยสายตา

3.4.3 ผลการเบิก-จ่ายชิ้นส่วนรอประกอบ หลังปรับปรุง

หลังทำการปรับปรุง โดยการจัดกลุ่มชิ้นส่วนรอประกอบคงคลังตามหลัก Commodity System, FSN Analysis และใช้เครื่องมือควบคุมด้วยสายตา (Visual Control) สรุปผลได้ว่าในกระบวนการเบิก-จ่ายคลังชิ้นส่วนรอประกอบของใบเบิก A หลังการปรับปรุง ใช้เวลาในการเบิก-จ่ายใบเบิก A ทั้งหมด 601.93 วินาที (การหาเวลามาตรฐานหลังการปรับปรุงมีการจับเวลาใหม่ทั้งหมดและใช้วิธีการหาเวลามาตรฐานเช่นเดียวกับการหาเวลามาตรฐานก่อนการปรับปรุง) ดังแสดงในตารางที่ 4 และแผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการเบิก-จ่ายคลังชิ้นส่วนรอประกอบใบเบิก A หลังการปรับปรุงดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 แสดงเวลามาตรฐานในกระบวนการเบิก-จ่ายคลังชิ้นส่วนรอประกอบของใบเบิก A หลังการปรับปรุง หน่วยเป็นวินาที

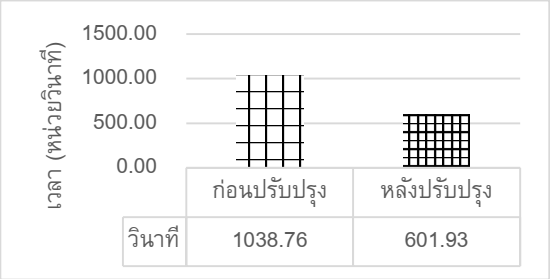
ลำดับงานย่อย	เวลาเฉลี่ย	Rating Factor	เวลาปกติ	ค่าเวลาเผื่อรวม %	Standard Time
1	4.50	1.20	5.40	9%	5.89
2	30.95	1.20	37.14	9%	40.48
3	10.96	1.20	13.15	9%	14.33
4	313.27	1.20	375.92	9%	409.75
5	58.66	1.20	70.39	9%	76.72
6	41.86	1.20	50.23	9%	54.75
รวม					601.93

ตารางที่ 5 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการเบิก-จ่ายคลังชิ้นส่วนรอประกอบใบเบิก A หลังการปรับปรุง

คำอธิบาย (งานย่อย)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์
1.พนักงานรับใบเบิก	5.89	● ⇨ D □ ▽
2.พนักงานตรวจรายการในใบเบิก	40.48	○ ⇨ D ■ ▽
3.พนักงานเดินไปตำแหน่งจัดเก็บชิ้นส่วน	14.33	○ ➡ D □ ▽
4.พนักงานค้นหาชิ้นส่วนตามใบเบิกจนครบ	409.75	● ⇨ D □ ▽
5.พนักงานนำชิ้นส่วนที่ค้นหามาหน้าคลังและตรวจสอบตามใบเบิก	76.72	○ ➡ D □ ▽
6.พนักงานบันทึกชิ้นส่วนที่นำออก	54.75	● ⇨ D □ ▽
รวม	601.93	

4. เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการปรับปรุงจึงทำการเปรียบเทียบผลเวลาของการปรับปรุงคลังชิ้นส่วนรอการประกอบ พบว่าพนักงานใช้เวลาในกระบวนการเบิก-จ่ายชิ้นส่วนรอการประกอบลดลงในการเบิก-จ่ายชิ้นส่วนรอการประกอบของใบเบิก A ก่อนปรับปรุงใช้เวลา 1,038.76 วินาที เหลือ 601.93 วินาที ผลการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลเวลาในกระบวนการเบิก-จ่าย

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

สรุปผลการวิจัยการลดความสูญเปล่าของกระบวนการเบิก-จ่ายของใบเบิก A ก่อนและหลังการปรับปรุง ก่อนการปรับปรุงใช้เวลาในการเบิก-จ่าย 1,038.76 วินาที หลังการปรับปรุงใช้เวลาในการเบิก-จ่าย 601.93 วินาที สรุปได้ว่าเวลาที่ใช้ในการเบิก-จ่ายชิ้นส่วนรอการประกอบของใบเบิก A ใช้เวลาลดลง 436.84 วินาที คิดเป็น 42.05% ส่งผลให้ประสิทธิภาพของคลังโดยการนำหลักการทางด้าน Commodity system และ FSN analysis ทำให้ชิ้นส่วนถูกแบ่งตามประเภททำให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าได้ง่าย รวมทั้งควบคุมระดับสต๊อกสินค้า ลดต้นทุนการเก็บรักษา ป้องกันชิ้นส่วนค้างสต๊อก ใช้พื้นที่จัดเก็บได้เต็มประสิทธิภาพ

6. ข้อเสนอแนะ

พนักงานของคลังชิ้นส่วนรอประกอบควรได้รับการอบรมเกี่ยวกับแนวคิดลีน จะได้สามารถนำไปใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพเพื่อการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รวมถึงในอนาคตควรพิจารณาจัดทำระบบควบคุมชิ้นส่วนรอประกอบคงคลังด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปหรือ software อื่น ๆ เพื่อให้สามารถจัดการชิ้นส่วนรอประกอบคงคลังได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทกรณีศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สุรธันย์ ปาละพรพิสุทธิ์. Lean Manufacturing 4.0, โรงพิมพ์กรุงเทพฯ ไอ พี อาร์ ไอ, 2560.

[2] เกียรติขจร โฆมานะสิน. LEAN: วิถีแห่งการสร้างคุณค่าสู่องค์กรที่เป็นเลิศ, พิมพ์ครั้งที่ 2, โรงพิมพ์กรุงเทพฯ สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2552.

[3] Lonnie Wilson. How To Implement Lean Manufacturing, McGraw-Hill Professional, 2015.

[4] Paul A. Myerson. Supply Chain and Logistics Management Made Easy: Methods and Applications for Planning, Operations, Integration, Control and Improvement, and Network Design, Pearson FT Press, 2015.

[5] James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos. The machine that changed the world: The story of lean production, Harper Collins, 1991.

[6] โกศล ดีศีลธรรม. เพิ่มศักยภาพการแข่งขันด้วยแนวคิดลีน, โรงพิมพ์กรุงเทพฯ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2547.

[7] Oliver, N., Delbridge, R. and Lowe, J. 1996. “Lean production practices: international comparisons in the auto components industry”. British Journal of Management, Vol. 7, (1): 29–44.

[8] Srinivasaraghavan, J. and Allada, V. 2006. “Application of mahalanobis distance as a lean assessment metric”. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 29: 1159–1168.

[9] กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ และณัฐวุฒิ พลศร. 2566. “การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีนเพื่อลดระยะเวลากระบวนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตเส้นขนมจีนหมัก.” วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, ปีที่ 9, ฉบับที่ 1: 21-28.

[10] สุรธันย์ ปาละพรพิสุทธิ์, สุภาภร ภิญโญฉัตรจินดา, พัฒนพงศ์ เพ็งจันทร์, ทิพย์วัลย์ สงวนปรางค์, และณัชณรา เจริญดิษฐ์. 2566. “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าแบบลีน กรณีศึกษาโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก.” Rattanakosin Journal of Science and Technology, Vol. 5 (2): 58-71.

[11] อุไรวรรณ วรรณศิร. 2562. “การประยุกต์ใช้แนวคิดลีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพื้นที่จัดเก็บสินค้ากรณีศึกษา บริษัทตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์ประตูและหน้าต่าง.” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ, ปีที่ 15, 67-78.

[12] กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข. การศึกษาการทำงานอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตแบบลีน, โรงพิมพ์กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2565.

[13] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. การศึกษางานอุตสาหกรรม, โรงพิมพ์ กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์ท้อป, 2562.

[14] วันชัย ริจิรวนิช. การศึกษาการทำงาน : หลักการและกรณีศึกษา, โรงพิมพ์กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

[15] Michael L. George, John Maxey, John Maxey and John Maxey. The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to 100 Tools for Improving Quality and Speed.McGraw-Hill Professiona, 2004.

การศึกษาสภาวะเสถียรทางอุณหภูมิของเกจบล็อคภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

A Study of Temperature Stability of Gauge Block in a Calibration Laboratory

วิศรุต คงสกุล[1*]
[1]ศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดสำหรับอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: wissarut@eng.buu.ac.th*

Wissarut Kongsagul[1*]
[1]Calibration Center for Industry, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: wissarut@eng.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อระยะเวลาที่ใช้ในการเย็นตัวลงของเกจบล็อคจนถึงสภาวะเสถียรทางอุณหภูมิตามมาตรฐาน UKAS LAB 36 ที่ต้องควบคุมอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการสอบเทียบด้านมิติไว้ที่ 20 °C ประโยชน์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาช่วงเวลาที่แท้จริงที่ใช้ในการปล่อยให้เกจบล็อคเย็นตัวลงแทนการใช้ระยะเวลาโดยประมาณ งานวิจัยได้ศึกษาผลกระทบเฉพาะปัจจัยที่มาจากเครื่องปรับอากาศจำนวน 2 ปัจจัย คือ 1.ระยะห่างระหว่างเกจบล็อคกับเครื่องปรับอากาศ และ 2.โหมดทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ผลจากการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองพบว่ามีเฉพาะปัจจัยจากระยะห่างเท่านั้นมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการเย็นตัวลงของเกจบล็อค โดยผลจากการทดลองพบว่าเกจบล็อคขนาด 300 มิลลิเมตร จะใช้เวลา 47 นาทีในการลดอุณหภูมิลงไปจนถึงอุณหภูมิ 20 °C ตามอุณหภูมิห้องแต่เกจบล็อคต้องวางห่างจากเครื่องปรับอากาศไม่เกินระยะ 1 เมตรในแนวตั้งฉากกับเครื่องปรับอากาศ และจะใช้เวลาโฮลอุณหภูมิมากขึ้นเมื่อระยะทางห่างออกไป สำหรับโหมดทำความเย็นจะไม่มีผลกระทบกับเวลาที่ใช้ในการเย็นตัวลงของเกจบล็อคอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่จากการทดลองพบว่าโหมด Dry จะทำให้ห้องปฏิบัติการมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าโหมด Cool ประมาณ 5 %RH

คำสำคัญ: เกจบล็อค, อุณหภูมิ, ความชื้น, ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

Abstract

An objective of this research was to study the effect on the cooling time of gauge block to decrease temperature to stability according to UKAS LAB 36 must be condition temperature of the dimensional calibration laboratory controlled at 20 °C. The benefit of this research was to fine the actual time to take for the gauge block to cool instead of using an estimated time. This research studied the impact of 2 specific factors from air conditioners is 1.The distance between the gauge block and the air conditioner and 2.The cooling mode of the air conditioner. The results of the experimental design technique show that only the distance factor affected the gauge block cooling time. The experimental results showed that a gauge block size 300 mm would take 47 minutes to reduce the temperature to 20 °C at room temperature, but the gauge block must be placed no more than 1 meter away from air conditioner and perpendicular to the air conditioner. And it will take longer to hold the temperature as the distance increases. For the air conditioner cooling mode there was no significant effect on the cooling time of the gauge block at 95% confidence level but however from the experiment it was found that the Dry mode will make the laboratory have a relative humidity lower than the Cool mode by about 5 %RH.

Keywords: gauge block, Temperature, relative humidity, calibration laboratory

1. บทนำ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีต่อระยะเวลาที่ใช้ในการปล่อยให้เกจบล็อคมีอุณหภูมิลดลงจนกระทั่งอยู่ในสภาวะสมดุลตามอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่กำหนดไว้อุณหภูมิ 20 °C หรือที่เรียกว่าการโฮลอุณหภูมิ อ้างอิงตามมาตรฐาน UKAS LAB 36 [1] โดยห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะต้องควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 20±2 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55±15 %RH และเกจบล็อคหรือแท่งความยาวมาตรฐานคือเครื่องมือมาตรฐานสำหรับใช้สอบเทียบเครื่องมือวัดด้านความยาว เช่น เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ , ไมโครมิเตอร์ เป็นต้น เกจบล็อคถือว่าเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่มีความถูกต้องสูงมากมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากมีความเรียบและความขนานทั้ง 2 ด้าน ทำจากวัสดุได้หลายประเภทเช่น โลหะสติล, เซรามิค, ทังสเตนคาร์ไบด์ โดยขนาดที่ถูกต้องของเกจบล็อคจะอ้างอิงที่อุณหภูมิ 20 °C ตามใบรายงานผลกรสอบเทียบ [2] ลักษณะของเกจบล็อคแสดงได้ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 เกจบล็อคหรือแท่งความยาวมาตรฐานขนาด 50 mm

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะต้องควบคุมอุณหภูมิของเกจบล็อคเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวของเกจบล็อคตามค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุที่อุณหภูมิไม่เท่ากันตามมาตรฐาน EA-4/02 [3] ที่ได้ยกตัวอย่างไว้ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดจากการสอบเทียบ Vernier Caliper ดังนั้นห้องปฏิบัติการสอบเทียบจึงจำเป็นที่จะต้องปล่อยให้เกจบล็อคมีอุณหภูมิลดลงจากอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 25 °C ให้ลดลงมาจนกระทั่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ 20 °C จึงจะสามารถใช้เกจบล็อคดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือวัดต่อไปได้

โดยทั่วไปห้องปฏิบัติการสอบเทียบนิยมอ้างอิงระยะเวลาที่ใช้ในการโฮลอุณหภูมิของเกจบล็อคตามคู่มือปฏิบัติงานวิธีการใช้งาน การดูแลรักษา และการสอบเทียบเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ รหัส L-02 จัดทำโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ [4] ตามคู่มือได้กำหนดช่วงเวลาแนะนำในการโฮลอุณหภูมิสำหรับเกจบล็อคขนาด 300 มิลลิเมตร และควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ระดับ 20±2 °C ไว้ที่เวลา 60 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาการโฮลอุณหภูมิหรือเวลารอคอยที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบนิยมเขียนไว้ในคู่มือปฏิบัติการสอบเทียบหรือ Work Instruction (WI) สามารถแสดงเวลาการโฮลอุณหภูมิตามที่คู่มือ L-02 แนะนำ ได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงเวลาแนะนำในการปล่อยเกจบล็อคให้อยู่ในสภาวะสมดุล

ความยาวเกจบล็อก (มม.)	ช่วงเวลาแนะนำในการปล่อยเครื่องมือให้อยู่ในสภาวะสมดุล (นาที)*			
	(20 ± 1) °C	(20 ± 2) °C	(20 ± 3) °C	(20 ± 5) °C
100	80	50	40	30
300	90	60	50	30
500	110	70	50	40
800	130	80	60	40
1000	140	80	70	50

ทางผู้วิจัยมีสมมุติฐานว่าระยะเวลาที่ใช้ในการโฮลอุณหภูมิของเกจบล็อคอาจจะเร็วกว่าหรือช้ากว่า 60 นาที ก็อาจเป็นไปได้ ถ้าห้องปฏิบัติการมีการควบคุมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเย็นตัวลงของเกจบล็อคที่แตกต่างกัน เช่น 1.ขนาดของเครื่องปรับอากาศ(BTU) เมื่อเทียบกับขนาดของห้องปฏิบัติการ 2.อายุการใช้งานและความสะอาดของเครื่องปรับอากาศ 3.ชนิดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้เป็นแอร์ติดพนัง, แอร์ 4 ทิศทาง, แอร์อินเวอร์เตอร์ หรือแอร์ท่อ เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของเครื่องปรับอากาศที่มีต่อระยะเวลาในการเย็นตัวลง หรือการโฮลอุณหภูมิของเกจบล็อค แต่ก็ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องที่ยังไม่ได้นำมาใช้เป็นตัวแปรในการทดลองนี้ เช่น ขนาดของห้อง, วัสดุที่ใช้ทำผนังห้อง, จำนวนหน้าต่างและประตูของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

2. วัสดุ/อุปกรณ์

2.1 ห้องปฏิบัติการสอบเทียบด้านมิติ

ลักษณะทั่วไปของห้องปฏิบัติการสอบเทียบด้านมิติจะเป็นห้องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กใช้สำหรับสอบเทียบอย่างเดียว หรือจะเป็นห้อง QC Room ขนาดใหญ่ที่มีทั้งเครื่องมือทดสอบและเครื่องมือสอบเทียบอยู่รวมกันภายในห้อง QC ก็ได้ โดยของการควบคุมอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการจะควบคุมไว้ที่ 20±2 °C สำหรับสอบเทียบเครื่องมือวัดทั่วไปเช่น External Micrometer แต่ถ้าเป็นเครื่องมือวัดที่ต้องการความละเอียดสูงเช่น Gauge Block จะควบคุมอุณหภูมิห้องปฏิบัติการไว้ที่ 20±1 °C แต่ถ้าเป็นห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่มีขนาดใหญ่ หรือเครื่องปรับอากาศมีขนาดเล็กที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิ 20±2 °C ได้ ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบจะต้องปรับเกณฑ์การควบคุมอุณหภูมิไปที่ 20±3 °C หรือ 20±5 °C แทนตามความเหมาะสม สามารถอ้างอิงเกณฑ์การควบคุมอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการสอบเทียบได้ตามคู่มือปฏิบัติงานวิธีการใช้งาน การดูแลรักษา และการสอบเทียบเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ รหัส L-02 จัดทำโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิเกจบล็อค

เครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของเกจบล็อคจะมีลักษณะเป็น Probe สำหรับติดกับผิวของเกจบล็อคมีลักษณะการทำงานเป็นแบบ Resistance temperature detectors (RTD) ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของเส้นลวด โดยส่วนใหญ่โครงสร้างภายในเป็นเส้นลวดขนาดเล็กพันรอบแกนกลางที่เป็นเซรามิกแก้ว สำหรับขดลวดของ RTDs จะเป็นโลหะบริสุทธิ์โดยทั่วไปมักเป็นแพลทินัม เงิน หรือนิเกิล ซึ่งโลหะเหล่านี้จะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่แน่นอน ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้เซ็นเซอร์สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ [5] ลักษณะของ RTD ที่ใช้วัดอุณหภูมิของเกจบล็อคมีความละเอียด 0.001 ºC มีลักษณะตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องวัดอุณหภูมิเกจบล็อคแบบ RTD

2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นของห้องปฏิบัติการ

เครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะเรียกว่าเครื่องเทอร์โม-ไฮโกรมิเตอร์ (Thermo-Hygrometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นภายในอากาศได้ในเครื่องเดียว ในการทดลองนี้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นที่มีความละเอียด 0.1 ºC และ 1 %RH ลักษณะของเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นจะมีลักษณะตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องปฏิบัติการ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้วางแผนการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 7 ขั้นตอน สามารถแสดงการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางในการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	หัวข้อ
1	ศึกษาผลกระทบต่อการโฮลอุณหภูมิเกจบล็อค
2	กำหนดปัจจัยที่จะทดลอง
3	ทำการทดลองจับเวลาการลดอุณหภูมิของเกจบล็อค
4	วิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง (DOE)
5	หาเวลาที่ใช้ในการโฮลอุณหภูมิเกจบล็อค
6	หาเวลาที่อ่านค่าจากเทอร์โม-ไฮโกรมิเตอร์
7	สรุปผลการทดลอง

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ศึกษาผลกระทบต่อการโฮลอุณหภูมิเกจบล็อค

วิธีการโฮลอุณหภูมิเกจบล็อคคือการวางเกจบล็อคกับเครื่องมือวัดไว้ภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบก่อนดำเนินการสอบเทียบ เพื่อให้ทั้งเกจบล็อค(STD) และเครื่องมือวัด(UUC) มีอุณหภูมิเท่ากันคือ 20 ºC เพื่อเป็นการลดความผิดพลาดของเกจบล็อคที่อาจจะมีขนาดไม่ตรงตามใบรายงานผลการสอบเทียบ(Certificate of Calibration) สามารถคำนวนความแตกต่างของเกจบล็อคที่เปลี่ยนแปลงไป(ΔL) จากผลกระทบของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุได้ตามสมการที่ (1)

$$\Delta L = L_0 x \bar{\alpha} x \Delta t \quad (1)$$

โดยที่ L_0 คือช่วงการสอบเทียบเช่น 300 mm, $\bar{\alpha}$ คือค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุเฉลี่ยระหว่าง STD กับ UUC กำหนดให้วัสดุเป็นสตีลที่อุณหภูมิ 20 ºC จะมีค่า α = 11.5x10^{-6} C^{-1} และ Δt คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบกำหนดตามมาตรฐาน UKAS LAB 36 จะมีค่า Δt = ±2 ºC

แสดงว่าถ้าโฮลอุณหภูมิเกจบล็อคที่มีขนาด 300 มิลลิเมตร โดยการวางไว้ภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ควบคุมอุณหภูมิ 20±2 ºC เกจบล็อคชิ้นนี้จะมีโอกาสที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 18 ºC ถึง 22 ºC ขึ้นอยู่กับการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในห้องปฏิบัติการตามคำแนะนำของ JCGM100 [6] ควรทำให้เกจบล็อคมีอุณหภูมิ 20 ºC ตามอุณหภูมิห้องก่อนดำเนินการสอบเทียบ จากสมการที่ (1) สามารถคำนวณค่าความผิดพลาดของเกจบล็อคขนาด 300 มิลลิเมตร ΔL ได้เท่ากับ 0.0069 มิลลิเมตร แต่ถ้าห้องปฏิบัติการไม่ทำการโฮลอุณหภูมิเกจบล็อคก่อนการสอบเทียบจะมีผลกระทบทำให้ค่าความผิดพลาดของเกจบล็อคเพิ่มมากขึ้นจาก 0.0069 มิลลิเมตร เพราะผลต่างของอุณหภูมิ Δt จะไม่ใช่ ±2 ºC แต่จะเป็น ±5 ºC แทน

4.2 กำหนดปัจจัยที่จะทดลอง

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเย็นตัวลงของเกจบล็อคภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบคือเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการสำรวจเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานอยู่ภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบในหลาย ๆ ห้องปฏิบัติการ จำนวน 18 ห้องปฏิบัติการมีรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้แสดงได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เครื่องปรับอากาศที่ใช้งานภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

ชนิดของเครื่องปรับอากาศ	ขนาดห้องปฏิบัติการสอบเทียบ	
	เล็กกว่า 5x5 เมตร	ใหญ่กว่า 5x5 เมตร
แอร์ธรรมดา	8	4
แอร์ 4 ทิศทาง	2	3
แอร์ท่อ	-	1

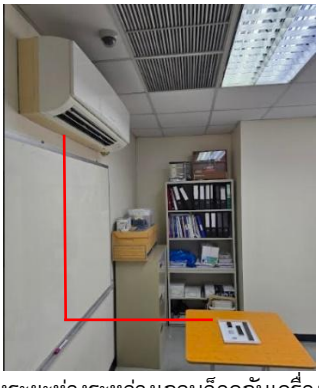
จากการสำรวจพบว่าเครื่องปรับอากาศที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบนิยมใช้จะเป็นเครื่องปรับอากาศชนิดติดพนังมากที่สุดคิดเป็น 67% โดยเครื่องปรับอากาศชนิดนี้จะมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศชนิดอื่น สามารถล้างทำความสะอาดและซ่อมบำรุงได้ง่าย มีประสิทธิภาพทำความเย็นที่อุณหภูมิ 20 °C ได้ โดยเครื่องปรับอากาศชนิดติดพนังจะมีลักษณะตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องปรับอากาศที่นิยมใช้ภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาในการเสถียรของอุณหภูมิเกจบล็อค คือ 1.ระยะห่างระหว่างเกจบล็อคกับเครื่องปรับอากาศที่มีระยะห่างตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตรในทิศทางตั้งฉากกับเครื่องปรับอากาศ และ 2. โหมดทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่มีใช้ทั้งโหมด Cool และ โหมด Dry

ปัจจัยควบคุมของการทดลองนี้ คือ 1.เครื่องปรับอากาศที่ใช้ทำการทดลองเป็นเครื่องปรับอากาศชนิดติดพนังยี่ห้อมิตซูบิชิรุ่น MS-D36VC ขนาด 36,000 BTU ความสามารถในการทำความเย็น 34,120 บีทียู/ชั่วโมง – 10.0 กิโลวัตต์ เปิดความแรงของพัดลมเบอร์ 3 , 2.ขนาดของห้องปฏิบัติการสอบเทียบมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง (4 x 6 x 3 เมตร), 3. ใช้เกจบล็อคจำนวน 5 ชิ้นที่มีขนาดแตกต่างกันตามนี้ 10 mm, 50 mm, 100 mm, 150 mm และ 300 mm วางบนโต๊ะที่มีความสูงจากพื้น 700 mm, 4.ทำการทดลองในช่วงเดือนพฤษภาคม - ตุลาคม เป็นช่วงฤดูฝนของประเทศไทยอุณหภูมิเฉลี่ยของห้องปฏิบัติการก่อนเปิดแอร์มีอุณหภูมิประมาณ 25 °C , 5.ตำแหน่งของเกจบล็อคต้องวางบนโต๊ะที่มีระยะห่างจากพนังที่ติดเครื่องปรับอากาศเป็นระยะ 1 เมตร, 3 เมตร, 5 เมตร โดยการวางในแนวทิศทางตั้งฉากกับกำแพง ที่ติดเครื่องปรับอากาศ และอยู่ในทิศทางที่มีลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศพัดออกมา แสดงได้ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงระยะห่างระหว่างเกจบล็อคกับเครื่องปรับอากาศ

4.3 ทำการทดลองจับเวลาการลดอุณหภูมิของเกจบล็อค

กำหนดปัจจัยที่ 1 เป็น ระยะห่างระหว่างเกจบล็อคกับเครื่องปรับอากาศแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ 1 เมตร, 3 เมตร และ 5 เมตร ปัจจัยที่ 2 คือ โหมดของเครื่องปรับอากาศ แบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ 1.โหมด Cool และ 2.โหมด Dry ให้ทำจับเวลาการลดอุณหภูมิของเกจบล็อกขนาด 10 mm, 50 mm, 100 mm, 150 mm และ 300 mm จากอุณหภูมิห้องปกติก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศมีอุณหภูมิประมาณ 25 °C ให้ลดลงมาเท่ากับอุณหภูมิห้องปฏิบัติการสอบเทียบด้านมิติที่ควบคุมไว้ที่ 20 °C ด้วยเครื่องปรับอากาศ ทำการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการโฮลอุณหภูมิซ้ำตัวอย่างละ 3 รอบ ระยะห่างจากการทดลองแต่ละครั้งห่างกัน 2 ชั่วโมง สามารถแสดงรายละเอียดของการออกแบบการทดลองได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางจดบันทึกการจับเวลาการลดอุณหภูมิของเกจบล็อค

โหมดของเครื่องปรับอากาศ	ระยะห่างระหว่างเกจบล็อคกับเครื่องปรับอากาศ								
	1 เมตร			3 เมตร			5 เมตร		
Cool									
Dry									

วิธีการวัดอุณหภูมิของเกจบล็อคจะใช้ Probe ของเครื่องวัดอุณหภูมิชนิด RTD โดยวิธีการวางให้สัมผัสกับผิวของเกจบล็อคและจับเวลาจากอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 25 °C จนกระทั่งเกจบล็อคมีอุณหภูมิลดลงไปคงที่ ๆ อุณหภูมิ 20 °C แสดงการวัดอุณหภูมิเกจบล็อคได้ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ใช้ RTD วัดอุณหภูมิของเกจบล็อคและจับเวลา

4.4 วิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง (DOE)

ทำการตั้งสมมุติฐานการทดลอง ตามสมการที่ (2)

$$\text{สมมุติฐานหลัก } H_0 \text{ เมื่อ } \mu_1 = \mu_2 \qquad (2)$$
$$\text{สมมุติฐานลอง } H_1 \text{ เมื่อ } \mu_1 \neq \mu_2$$

เมื่อ μ_1 คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากผลกระทบของปัจจัยที่ 1 ก่อนปรับปรุง

μ_2 คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากผลกระทบของปัจจัยที่ 1 หลังปรับปรุง

กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

นำผลการทดลองจากการจับเวลาการลดอุณหภูมิของเกจบล็อค หรือการโฮลอุณหภูมิเกจบล็อคได้ผลตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการจับเวลาการลดอุณหภูมิของเกจบล็อค

หน่วย : นาที

โหมด	ระยะห่างระหว่างเกจบล็อคกับเครื่องปรับอากาศ								
	1 เมตร			3 เมตร			5 เมตร		
Cool	48	51	47	105	105	102	240	242	245
Dry	50	52	51	104	104	105	245	243	246

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองจะได้ผลตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง

แหล่งที่มา	SS	*df*	MS	F_0	F_{crit}
โหมดแอร์	12.5	1	12.5	4.3	4.75
ระยะห่าง	119745	2	59873	20725	3.89
Interaction	4.0	2	2.0	0.7	3.89
Error	34.7	12	2.9		
Total	119796	17			

ผลที่ได้พบว่า ปัจจัยที่ 1 ระยะห่าง มีค่า F_0 มากกว่า F_{crit} แสดงว่าปฏิเสธสมมุติฐานหลัก หมายความว่าระยะห่างมีผลต่อเวลาที่ใช้โฮลอุณหภูมิ , ปัจจัยที่ 2 โหมดแอร์ มีค่า F_0 น้อยกว่า F_{crit} แสดงว่ายอมรับสมมุติฐานหลักหมายความว่าโหมดแอร์ไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้โฮลอุณหภูมิ และ ปัจจัยที่ 1 และปัจจัยที่ 2 รวมกัน Interaction มีค่า F_0 น้อยกว่า F_{crit} แสดงว่ายอมรับสมมุติฐานหลักหมายความว่าโหมดแอร์และระยะห่างถ้าปรับร่วมกันจะไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้โฮลอุณหภูมิ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สรุปว่ามีเฉพาะปัจจัยจากระยะห่างเพียงปัจจัยเดียวที่มีผลกระทบกับเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ หรือการโฮลอุณหภูมิของเกจบล็อค

4.5 หาเวลาที่เหมาะสมในการโฮลอุณหภูมิเกจบล็อค

ผลจากการออกแบบการทดลองพบว่าระยะห่างระหว่างเกจบล็อคกับเครื่องปรับอากาศในแนวตั้งฉากเท่านั้นมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการโฮลอุณหภูมิเกจบล็อค ทำการหาเวลาที่เร็วที่สุดที่ทำให้เกจบล็อคขนาดยาวสุดในการทดลองคือ 300 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิลดลงจากอุณหภูมิห้องปกติ 25 °C ลดลงไปจนกระทั่งมีอุณหภูมิ 20 °C และอยู่ในสภาวะเสถียร ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เวลาที่ใช้โฮลอุณหภูมิเกจบล็อคขนาด 300 มิลลิเมตร

ระยะห่าง	25 °C	23 °C	22 °C	21 °C	20 °C
1 เมตร	0	10	22	32	47
3 เมตร	0	16	32	51	100
5 เมตร	0	44	82	152	240

แต่จากการทดลองพบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปฏิบัติการที่ใช้เครื่องปรับอากาศในโหมด Dry จะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าห้องปฏิบัติการที่ใช้โหมด Cool จึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องปรับอากาศโหมด Dry จะทำให้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมีค่าความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าใช้โหมด Cool ประมาณ 5 %RH สามารถแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามตารางที่ 8

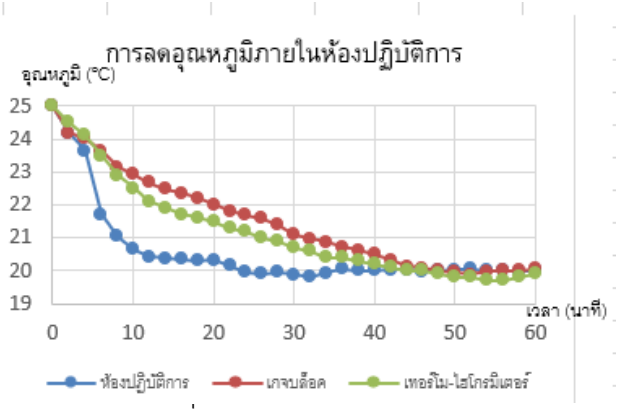
ตารางที่ 8 ค่าความชื้นสัมพัทธ์จากเครื่องปรับอากาศที่ใช้โหมดต่างกัน

อุณหภูมิ	โหมด Cool	โหมด Dry
25 °C	45 %RH	45 %RH
24 °C	45 %RH	44 %RH
23 °C	46 %RH	43 %RH
22 °C	45 %RH	42 %RH
21 °C	47 %RH	42 %RH
20 °C	46 %RH	41 %RH

4.6 หาเวลาที่อ่านค่าจากเทอร์โม-ไฮโกรมิเตอร์

จากการสำรวจข้อมูลพบว่าห้องปฏิบัติการสอบเทียบส่วนมากจะไม่มีเครื่องวัดอุณหภูมิของเกจบล็อคโดยตรง (RTD) แต่ห้องปฏิบัติการจะมีเฉพาะเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้น (เทอร์โม-ไฮโกรมิเตอร์) เท่านั้น จากผลการทดลองที่ได้พบว่าอุณห๓มิจริงของห้องปฏิบัติการลดลงเร็วมากประมาณ 20 นาที หลังเปิดเครื่องปรับอากาศ

ห้องปฏิบัติการจะมีอุณหภูมิ 20 °C แต่เกจบล็อคจะใช้เวลาในการลดอุณหภูมิประมาณ 47 นาที ถึงจะมีอุณหภูมิเสถียรที่ 20 °C แต่เครื่องเทอร์โม-ไฮโกรมิเตอร์จะใช้เวลาในการวัดอุณหภูมิจนมีอุณหภูมิ 20 °C เพียง 42 นาที ซึ่งเร็วกว่าอุณหภูมิจริงของเกจบล็อค สามารถแสดงลักษณะการลดอุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการได้ตามกราฟรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟแสดงการลดอุณหภูมิ

ดังนั้นห้องปฏิบัติการสอบเทียบถ้าไม่มีเครื่องวัดอุณหภูมิของเกจบล็อค RTD ก็สามารถใช้เครื่องเทอร์โม-ไฮโกรมิเตอร์ในการประมาณการอุณหภูมิของเกจบล็อกได้ โดยดูจากเครื่องเทอร์โม-ไฮโกรมิเตอร์ที่อ่านค่าได้ 20 °C แล้วบวกเวลาไปอีก 5 นาที ก็จะถือได้ว่าเกจบล็อคมีอุณหภูมิ 20 °C ตามอุณหภูมิห้องปฏิบัติบัติการสอบเทียบได้

5. สรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบที่มีต่อระยะเวลาในการลดอุณหภูมิของเกจบล็อกจากอุณหภูมิปกติประมาณ 25 °C ให้ลดลงไปเท่ากับอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ 20 °C โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นข้อมูลให้กับห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ใช้เกจบล็อคเป็นเครื่องมือมาตรฐานจะได้สามารถกำหนดระยะเวลาในการโฮลอุณหภูมิของเกจบล็อคได้จริงตามสภาวะการทำงานของแต่ละห้องปฏิบัติการ ผลจากงานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบกับเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของเกจบล็อค คือ 1.ระยะห่างระหว่างเกจบล็อคกับเครื่องปรับอากาศ ถ้าระยะห่างไม่เกิน 1 เมตร จะใช้เวลาโฮลอุณหภูมิเพียง 47 นาทีสำหรับเกจบล็อคขนาดความยาว 300 มิลลิเมตร และจะใช้เวลา 100 นาที และ 240 นาที ถ้าเกจบล็อคอยู่ห่างจากเครื่องปรับอากาศเป็นระยะทาง 3 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ สำหรับโหมดของเครื่องปรับอากาศ จะไม่มีผลกับระยะเวลาที่ใช้ในการโฮลอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญ แต่โหมด Dry จะส่งผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องปฏิบัติการลดลงกว่าการใช้โหมด Cool ประมาณ 5 %RH

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความแรงของพัดลมของเครื่องปรับอากาศ จะมีทั้งหมด 4 ระดับ คือ 1, 2, 3 และ auto ผลจากงานวิจัยพบว่าเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องมีระดับความแรงของพัดลมแอร์ไม่เท่ากันทำให้ไม่สามารถกำหนดเป็นปัจจัยในการทดลองนี้ได้

5.2.2 ถ้าห้องปฏิบัติการสอบเทียบไม่มีเครื่องวัดอุณหภูมิของเกจบล็อก ห้องปฏิบัติการสามารถใช้การอ่านค่าอุณหภูมิจากเครื่องเทอร์โม-ไฮโกรมิเตอร์ที่ใช้อยู่ภายในห้องปฏิบัติการได้โดยทำการปล่อยให้เกจบล็อคลดอุณหภูมิลงจนกระทั่งเครื่องเทอร์โม-ไฮโกรมิเตอร์อ่านค่าอุณหภูมิได้ 20 °C และบวกเวลาไปอีกประมาณ 5 นาที ก็จะเป็นเวลาที่เกจบล็อคมีอุณหภูมิ 20 °C เท่ากับอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

เอกสารอ้างอิง

[1] United Kingdom Accreditation Service. Laboratory Accommodation and Environment in the Measurement of Length, Angle and Form, 4th ed., UKAS publications, 2019.

[2] วิศรุต คงสกุล, การศึกษาผลกระทบของเกจบล็อคที่ใช้วัสดุเคลือบผิวต่างชนิดกัน (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 201, 6 – 7 August 2015, Bangkok, Thailand.

[3] European Accreditation. Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration, 4th ed., 2022.

[4] สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ. ข้อแนะนำวิธีการใช้งาน การดูแลรักษา และการสอบเทียบเวอร์เนียร์, ไดอัล และดิจิทัล คาลิปเปอร์ (Calipers), ฉบับที่ 1, 2566.

[5] บริษัท แคลิเบรชั่น แลบอราทอรี่ จำกัด, RTDs (Resistance temperature detectors) คืออะไร ทำงานยังไง, ข้อมูลจาก https://www.cal-laboratory.com/บทความ/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 29 มกราคม 2568).

[6] JCGM member organizations. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, 1st ed., 2008.

Thermal degradation of nylon 6,6/carbon fibers for drone propeller use

Komkrisd Wongtimnoi[1], Sunuttha Wingson[1], Jadnipat Rattanasiha[1], Thitaporn Moolnoisu[1], Chaimongkol Buntham[1], Poramat Muangsuwan1, Mingkhwan Werunarak[1], Pinyapat Pornsawatdecha[1], Laurent Mezeix[1], Arnon Lerdwongpaisan[1*]

[1]Faculty of Engineering, Burapha University, 169 Long-Hard Bangsaen Road, Chonburi 20131, Thailand

E-mail: arnonl@eng.buu.ac.th*

Abstract

In recent years, the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) industry has experienced rapid and substantial growth. Propellers are a critical component of drones, as they generate the lift force required for flight. Nylon 6,6 (PA66) reinforced with carbon fibers is commonly employed in the construction of drone propellers due to its lightweight properties and durability. However, environmental conditions can lead to material degradation, necessitating careful consideration during the design process. This study investigates the effects of thermal degradation on the mechanical properties of nylon 6,6 reinforced with carbon fibers. In the initial phase, thermal degradation was conducted for 75°C and 120°C and for a duration of 8 hours and 24 hours. Tensile and bending tests were then performed to evaluate mechanical properties as a function of degradation. Subsequently, a numerical simulation of a drone propeller was developed to predict structural failure under these conditions. The results demonstrate that Young's modulus is not affected by thermal degradation while strength increase with temperature. Under flexural load, strength is not affected by the temperature while flexural modulus and strain shows variation for temperature of 120°C.

Keywords: Nylon, carbon fibers, mechanical testing, thermal degradation

1. Introduction

Unmanned aerial vehicles (UAVs), commonly known as drones, are a class of aircraft that operate without onboard human pilots. These vehicles are either controlled remotely or follow pre-programmed flight plans embedded within their systems, utilizing a combination of onboard sensors and GPS technology. The rapid expansion of drone technology in recent years has been accompanied by a surge in commercial drone applications. Fundamentally, drones serve as adaptable flying platforms, capable of performing diverse functions through the integration of appropriate payloads. For instance, equipping a drone with a camera enables it to conduct specialized inspections. Beyond industrial uses, drones play an essential role in civilian activities, including search and rescue operations, surveillance, traffic monitoring, security, firefighting, and personal and commercial ventures such as aerial photography, videography, agricultural monitoring, and delivery services.

Propellers are critical components of drone propulsion systems, functioning as rotating wings that generate lift along the axis of rotation. The performance and efficiency of a drone's propulsion system are heavily influenced by the quality and design of its propellers [1]. Propellers used in small drones are particularly susceptible to damage during operation, often encountering impacts with stones, vegetation, and other obstacles. Additionally, drones operating in tropical and subtropical environments face challenging conditions, including UV exposure, high temperatures, and moisture. These environmental factors can deteriorate material performance through heat, UV radiation, oxidation, and light-induced degradation, leading to reduced service life. Premature propeller failure, in extreme cases, may result in catastrophic outcomes, such as drone crashes. Consequently, frequent inspection and replacement of propellers become necessary, increasing operational costs.

To address these challenges, propellers made from fiber-reinforced polymers (FRP) have emerged as a promising solution [2]. Among these, carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) composites are widely employed due to their superior performance characteristics [3,4]. However, CFRP propellers are not without limitations. During operation, impacts can induce damage to the composite structure, including internal defects such as delamination, matrix cracking, and fiber rupture [5]. Notably, low-velocity impacts have been shown to significantly reduce the residual strength of CFRP, particularly its compressive strength [6].

In response to these issues, Polyamide 6,6 (PA66) has been selected as the matrix material for propeller applications. PA66 offers exceptional abrasion resistance, dimensional stability, and high specific tensile strength [7]. When reinforced with carbon fibers, PA66 demonstrates enhanced impact resistance, making it a viable alternative for drone propellers. This study investigates the mechanical properties of PA66 composites through Charpy impact tests and hardness evaluations, highlighting their potential for propeller applications.

Polyamide 6,6 composites have gained significant attention in the industrial sector due to their excellent mechanical properties and ability to be molded into complex shapes [8]. By incorporating carbon fibers, the mechanical properties of nylon composites are further enhanced. Studies have shown that using 30% carbon fiber reinforcement optimizes tensile and flexural strength, achieving comparable performance to carbon steel [9]. Additionally, fatigue [10] and impact [11] resistance is markedly improved with the inclusion of carbon fibers, further substantiating their suitability for drone propeller applications.

In tropical and subtropical regions, drone propellers face significant exposure to high solar radiation and high temperatures, necessitating their design to withstand such conditions. This paper explores drone propellers constructed from nylon 6,6 reinforced with carbon fibers. The investigation begins with thermal degradation testing, followed by experimental characterization of the material's mechanical properties using tensile and bending. Finally, a numerical simulation of the drone propeller is proposed to assess its performance under static loading conditions.

2. Materials and methods

2.1 Materials and manufacturing

Nylon 6,6 reinforced with 30 wt% T300 carbon fibers was utilized in this study. The material was generously supplied by M.J. Pipatjaroen Auto Part (ChonBuri, Thailand) and was manufactured using an injection molding process. Short carbon filaments with lengths ranging from 2 to 3 mm were employed as the reinforcement phase. The aluminum molds used in the process were precision-machined to ensure dimensional accuracy. During the injection molding process, a hydraulic injection pressure of 160 MPa was applied, combined with a barrel temperature of 270°C and a mold temperature of 80°C.

2.1 Thermal degradation

To investigate the effect of thermal degradation on mechanical properties, 2 temperatures have been studied. Temperatures of 75°C and 120°C were applied for durations of 8 hours and 24 hours.

2.2 Tensile

Tensile tests were conducted to characterize the mechanical behavior and strength of Nylon66/C under quasi-static loading conditions. The deformation rate applied during testing was $\dot{\epsilon}$ = 0.002 s^{-1}. Dog bone specimens, prepared in accordance with the ASTM D638 standard, were utilized for the experiments. To study reproducibility, 4 samples for each thermal degradation were tested.

2.3 Bending

To evaluate the flexural behavior of Nylon66/CF materials, three-point bending tests were conducted. The specimens used had dimensions of 40 mm in length and 12 mm in width. The load was applied at a constant crosshead speed of 1.5 mm·min^{-1} until failure. The rollers used for the tests had a diameter of 15 mm, with a span length of 30 mm. To assess reproducibility, 4 samples were tested for each thermal degradation condition. The bending strength and modulus can be determined using the following equations:

$$\sigma_b = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (1)$$

$$E_b = \frac{FL^3}{4wd^3\delta} \quad (2)$$

where δ is the deflection, F is the applied load (N), h is the thickness of the specimen, b is its width, and L is the span length.

3. Results

3.1 Tensile

As a large number of tests have been performed, only the stress–strain curves obtained for the original samples are given showing a brittle mechanical behavior (Figure 1). The results highlight three distinct stages: an initial non-linear region attributed to machine alignment effects (Stage 1), a subsequent elastic domain (Stage 2), and eventual material failure (Stage 3).

Mechanical properties derived from these experiments are summarized in the Figure 2. It can be noted that thermal degradation shows no effect on Young Modulus with an average of 1057 MPa, while the strength increases slightly with the temperature. In contrast, the strain exhibits greater variability, with higher dispersion observed in the thermally degraded samples.

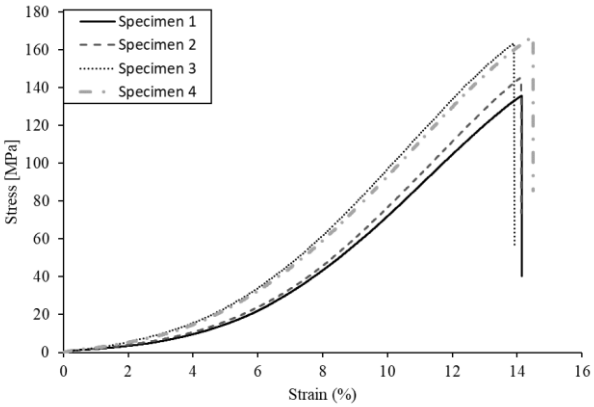


Figure 1 Tensile stress-strain behavior for original nylon/C samples

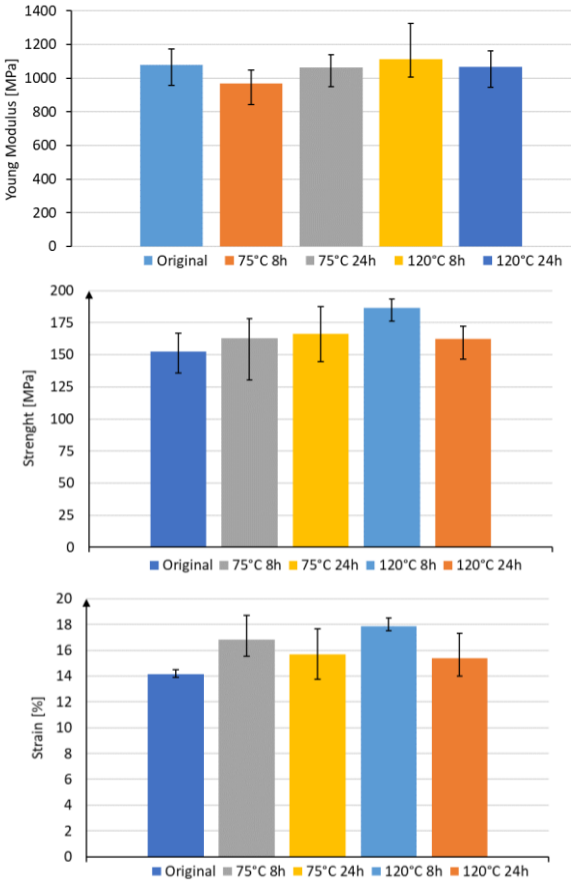


Figure 2 Effect of thermal degradation on tensile mechanical properties

3.2 Bending

Given the extensive number of tests conducted, only the stress–strain curves for the original samples are presented, demonstrating a brittle mechanical behavior (Figure 1). The stress–strain curves obtained from the tests (Figure 3) exhibit three distinct behavioral stages: an initial non-linear region attributed to machine alignment effects (Stage 1), followed by an elastic response (Stage 2), and culminating in specimen failure (Stage 3).

Mechanical properties derived from these experiments are summarized in the Figure 4. Thermal degradation presents no effect on the flexural modulus until 75°C-24h (1500 MPa) and then decrease for higher temperature (1100 MPa). It can be noted that thermal degradation shows no effect on the strength while this same property increases with temperature under tensile (Figure 2). Finally, little influence of the temperature is observed on the strain until flexural strain until a temperature 75°C-24h (0.15) while for higher temperature strain increase up to about 0.22.

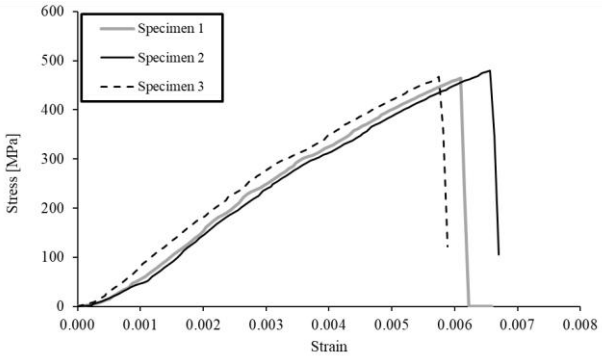


Figure 3 Bending stress-strain behavior for original nylon/C samples

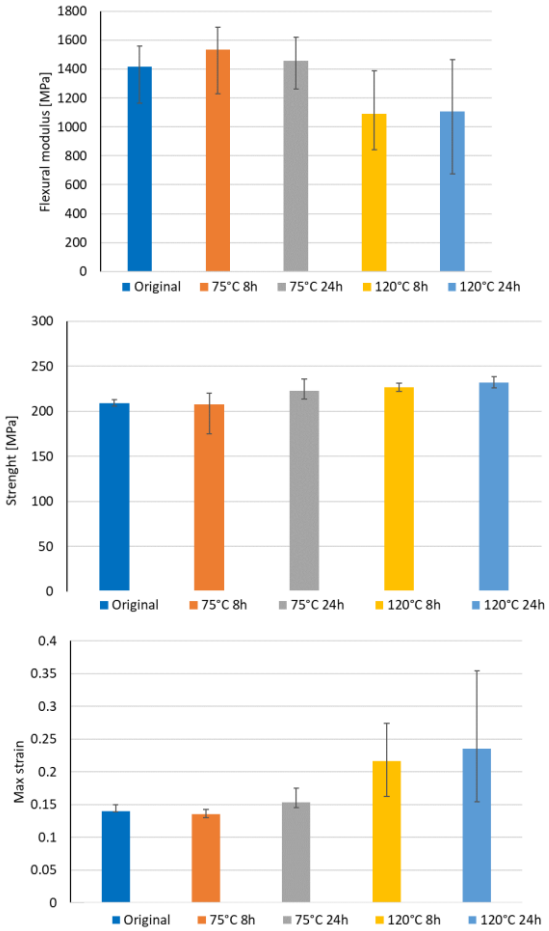


Figure 4 Effect of thermal degradation on bending mechanical properties

4. Numerical simulation

4.1 Model construction

The propeller was simulated using a 3D CTETRA mesh with PSOLID properties. Boundary conditions were defined by applying a fixed constraint at the rotational center (Point 1), as the blade is secured at its center. According to the drone propeller specifications, each propeller is designed to withstand a lift load of approximately 160 N. The lift generated by the propeller exhibits a distribution along the blade length (Figure 5). This distribution increases with the ratio x/L, where L represents the rotor length, reaching a maximum at x/L=0.85, before decreasing to 0. For simplification, the lift distribution introduced into the model was approximated as a linear evolution from x/L=0 to x/L=0.85. Lift forces were applied at the aerodynamic center, located along the blade's pivot axis [2]. Young's modulus values derived from tests

were incorporated into the simulation, assuming isotropic material behavior (MAT1).

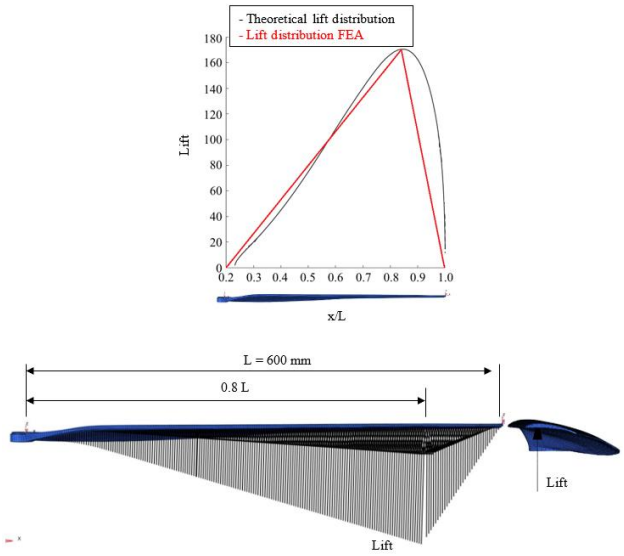


Figure 5 Lift distribution along the propeller length in FEA

4.2 Results

The simulation results indicate that the degradation of nylon 6,6 reinforced with carbon fibers (CF) does not affect the maximum Von Mises stresses, which remain constant at 113 MPa and are concentrated at the propeller root (Point 1, Figure 6). Furthermore, it is observed that the stresses reach approximately 50 MPa on the leading edge (Point 2) and 40 MPa on the trailing edge (Point 3) of the propeller.

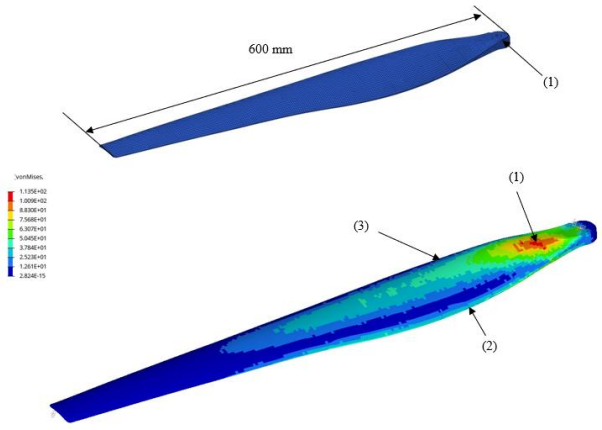


Figure 6 Von Mises stress

5. Conclusions

The high temperatures and intense solar exposure characteristic of tropical and subtropical regions significantly accelerate the degradation of polymers, posing a critical challenge to the service life of drones. In Thailand, agricultural drone propellers, typically manufactured from reinforced nylon 6,6, frequently fail during spraying operations. To address this issue and enhance the design of these components under thermal degradation conditions, a numerical simulation approach has been proposed to predict structural failure and lifespan.

The principal findings from the experimental and numerical simulations are summarized as follows:

- No effect of thermal degradation has been observed on the Young modulus while strength increase slightly with the temperature.
- Under flexural load, no effect of the temperature is observed on the strength. Flexural modulus and strain show a respective variation for temperature of 120°C.
- Numerical simulation of drone propeller has been proposed enabling to design it

Work is in progress to perform impact (Charpy) test of thermal degraded nylon 6,6/Carbon fiber. Moreover, fatigue numerical model is under construction to investigated

6. Acknowledgments

The authors wish to express their gratitude to M.J. Pipatjaroen Auto Part for manufacturing all specimens, providing the drone propeller, and supporting other related aspects that contributed to the progress of this research.

References

[1] Rutkay, B.D. 2014. A Process for the Design and Manufacture of Propellers for Small Unmanned Aerial Vehicles, MAS Thesis, Carleton University, Ottawa, Ontario.

[2] Senthil K.M., Vijayanandh, R., Gopi, B. 2018. Numerical Investigation on Vibration Reduction in Helicopter Main Rotor Using Air Blown Blades, International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, vol. 8, pp. 152–164.

[3] Ramesh, M., Vijayanandh, R., Raj, K.G., Vijayakumar, M.P., Jagadeeshwaran, Senthil Kumar, M. 2021. Comparative Structural Analysis of Various Composite Materials Based Unmanned Aerial Vehicle's Propeller by Using Advanced Methodologies, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Jaipur, 1017.

[4] Bouvet, C., Rivallant, S. 2016. Damage Tolerance of Composite Structures under Low-Velocity Impact, in Dynamic Deformation, Damage and Fracture in Composite Materials and Structures, V. Silber Schmidt, Ed., Oxford, UK: Woodhead Publishing, pp. 7–33.

[5] Hongkarnjanakul, N., Bouvet, C. 2013. Validation of Low-Velocity Impact Modeling on Different Stacking Sequences of CFRP Laminates and Influence of Fiber Failure, Composite Structures, vol. 106, pp. 549–559.

[6] Cantwell, W., Morton, J. 1991. The Impact Resistance of Composite Materials—A Review, Composites, vol. 22, pp. 347–362.

[7] Seyhan, A., Irez, A.B., Polat, Y. 2020. Development of a Polyamide 6-Based Composite Material for UAV Propellers, Mechanics of Composite, Hybrid & Multi-functional Materials, vol. 5.

[8] Mehdipour, A.S., Hatami, M., Mosslemin, M.H. 2009. Organosoluble, Thermally Stable Polyamides Containing Sulfone and Sulfide Units, Chinese Journal of Polymer Science, vol. 27, pp. 781–787.

[9] Choudhari, D., Kakhandki, V. 2020. Comprehensive Study and Analysis of Mechanical Properties of Chopped Carbon Fibre Reinforced Nylon 66 Composite Materials, Materials Today: Proceedings, vol. 44.

[10] Wyzgoski, M.G., Novak, G.E. 1995. Fatigue Fracture of Long Fiber Reinforced Nylon 66, Polymer Composites, vol. 16, pp. 38–51.

[11] Tjong, S.C., Xu, S.A., Mai, Y.W. 2003. Impact Fracture Toughness of Short Glass Fiber-Reinforced Polyamide 6,6 Hybrid Composites Containing Elastomer Particles Using Essential Work of Fracture Concept, Materials Science and Engineering: A, vol. 347, pp. 338–345.

การออกแบบเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัดตามความต้องการของลูกค้า

Design of coconut shell charcoal press machine with interchangeable extrusion heads according to customer requirements

พงษ์พัฒน์ ชัชวาลย์[1*] พลากร พรหมเมศร์[2] ปรุพห์ มะยะเฉี่ยว[3] ชลธิศา รัตนชู[4] นัตพงศ์ โชติพันธ์[3]
[1]สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[4]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
E-mail: Pongpad9719@gmail.com*

Pongpad Chatchawal[1*], Palakorn Prommet[2], Paroon Mayachearw[3] Chonthisa Rattanachu[4] Nattapong Chotipan[3]
[1] Technology and Innovation Management, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
[2]Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
[3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
[4]Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
E-mail: Pongpad9719@gmail.com *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัดตามความต้องการของลูกค้า วิเคราะห์คำนวณต้นทุน และความคุ้มค่าในการพัฒนาเครื่อง โดยลงพื้นที่สัมภาษณ์เชิงลึกกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามาน เพื่อทราบความต้องการของลูกค้าในพื้นที่ พบว่ากลุ่มลูกค้ามีความต้องการถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวชนิดทรงกระบอก ชนิดหกเหลี่ยม และลูกบาศก์ ซึ่งกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมีผลิตภัณฑ์รูปแบบเดียวคือชนิดทรงกระบอก จึงได้ออกแบบเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัด โดยผู้วิจัยได้อ้างอิงหลักการและรูปทรงทางกายภาพเช่นเดียวกับเครื่องที่มีขายในท้องตลาดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แต่มีการพัฒนาหัว Extrusion สามรูปแบบที่สามารถถอดเปลี่ยนตามความต้องการได้ โดยมีต้นทุนอยู่ที่เครื่องละ 34,000 บาท ทำให้สามารถผลิตตอบสนองความต้องการของลูกค้าในพื้นที่เพิ่มอีก 60 เปอร์เซ็นต์ทำให้ผลกำไรเพิ่มขึ้น 34,000 บาทต่อเดือน หากเป็นไปตามสมุติฐานจะทำให้มีระยะเวลาคืนทุนเพียง 0.48 เดือน

คำสำคัญ: เครื่องอัดถ่าน, ถ่านอัดแท่ง, กะลามะพร้าว, การวิเคราะห์ต้นทุน

Abstract

This research aims to Design of coconut shell charcoal press machine with interchangeable extrusion heads according to customer requirements, analyze and calculate the cost and worthiness of the machine development by conducting in-depth interviews with the Ban Ton Aman community enterprise group to find out the needs of customers in the area. It was found that the customer demand coconut shell charcoal in cylindrical, hexagonal and cubic types. The community enterprise group has only one product type, which is the cylindrical type. Therefore, the coconut shell charcoal press with replaceable extrusion heads was designed. The researcher referred to the principles and physical shapes of the machines available in the market and related research, but developed three types of extrusion heads that can be changed according to needs. The cost is 34,000 baht per machine, which allows production to meet the customer demand in the area by 60 percent, resulting in a profit increase of 70,000 baht per month, resulting in a payback period of 0.48 months.

Keywords: Charcoal press, Charcoal briquette, Coconut shell, Cost analysis

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ พลังงานที่นำมาใช้มีทั้งจากในประเทศและนำเข้าจากต่างประเทศ ขณะที่ประเทศมีการพัฒนามากขึ้น การใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ ก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย [1] ในครัวเรือนมีการใช้เชื้อเพลิงในการทำอาหารหลากหลายชนิด เช่น แก๊สหุงต้ม ไม้ฟืน และถ่าน การนำกะลามะพร้าวมาทำถ่านเชื้อเพลิงเป็นการใช้สิ่งเหลือใช้จากการแปรรูปมะพร้าวซึ่งเป็นที่ทราบกันว่า ถ่านจากกะลามะพร้าวเป็นถ่านที่ให้ค่าความร้อนสูง ต่อมาก็เผากะลาเป็นถ่านเก็บไว้ก่อไฟในรูปของถ่านกะลามะพร้าวธรรมดา ไม่สะดวกในการใช้และเก็บรักษา เพราะกะลามะพร้าวในรูปถ่านบาง เปราะ แตกหักง่าย จึงมีผู้คิดค้นถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง ทำให้ให้เป็นที่นิยมของตลาด เป็นที่นิยมทั้งในครัวเรือน และร้านอาหารประเภทปิ้งย่าง ประกอบกับถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวยังช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่า ช่วยประหยัดพลังงานแก๊สธรรมชาติที่มีจำกัด

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามาน จังหวัดนราธิวาส ผลิตภัณฑ์จากมะพร้าวของวิสาหกิจชุมชน มีจำนวนทั้งสิ้น 6 ชนิด ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว มะพร้าวคั่ว ถ่านอัดกะลามะพร้าว แชมพูสกัดจากน้ำมันมะพร้าว สบู่สกัดจากน้ำมันมะพร้าว และมะพร้าวแก้วชนิดหนานุ่มและบางกรอบ จากผลการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชน พบว่าผลิตภัณฑ์มะพร้าว 3 ชนิด ได้แก่น้ำมันมะพร้าว มะพร้าวคั่ว และถ่านอัดกะลามะพร้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีผลการดำเนินงานที่ดี ดังนั้นทางวิสาหกิจชุมชนจึงมีความต้องการพัฒนาหรือเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์มะพร้าวทั้ง 3 ชนิด [2] ซึ่งได้มีกะลามะพร้าวเหลือใช้เป็นจำนวนมากซึ่งทางวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานได้นำกะลามะพร้าวมาแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่งทางซึ่งวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานได้มีเครื่องอัดถ่านอยู่แล้วแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การผลิตถ่านอัดแท่งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามาน

จากรูปที่ 1 ปัจจุบันเครื่องอัดถ่านผลิตถ่านออกมาในรูปแบบแท่งรูปทรงกระบอก ซึ่งมีลูกค้าในพื้นที่หลายรายต้องการถ่านรูปทรงอื่น ทำให้ลูกค้าเปลี่ยนไปซื้อถ่านจากผู้ประกอบการรายอื่นนอกพื้นที่ ซึ่งหากวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้หลากหลายรูปแบบตามความต้องการของตลาด ก็จะสามารถครองส่วนแบ่งทางการตลาดในพื้นที่ได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าว พบว่า สุห์ดี นิเซ็ง และคณะ (2567) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวทรงลูกบาศก์และคุณสมบัติเชิงความร้อนของถ่านกะลามะพร้าว [3] โดยออกแบบให้เบ้าอัดสามารถอัดถ่านกะลามะพร้าวทรงลูกบาศก์ขนาด 2.5 x 2.5 x 2.5 นิ้ว พบว่า การอัดถ่านน้ำหนัก 20 กรัมต่อก้อน และเมื่อนำถ่านวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่าค่าความร้อนสูงกว่า 5000 kcal/kg เมื่อนำไปไปเปรียบเทียบกับถ่านอัดในลักษณะเดียวกันที่ขายอยู่ในท้องตลาด พบว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน กฤษฎา นามวงษ์ และมงคล คราพันธ์ (2560) ได้ทำการศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดแห่งเชื้อเพลิงจากเศษใบสะเดาแห้งผสมขี้เลื่อยเผาด้วยเทคนิคเกลียวอัด [4] เพื่อใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงแห่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยสามารถอัดถ่านทรงกระบอกได้ ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 51.59% และประสิทธิภาพเฉลี่ยของเกลียวอัดคือ 34.2776 เชื้อเพลิงแห่งที่ได้จากการอัดใบสะเดาแห้งผสมขี้เลื่อยเผาสามารถใช้ทดแทนถ่านทั่วไปที่ใช้ในครัวเรือนและชุมชนได้ และ สุรพงษ์ รามัญจิตต์ (2562) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดถ่านแท่งระบบสกรูเกลียวแบบมีตัวตัดอัตโนมัติ [5] โดยถ่านที่อัดได้มีรูปทรงแท่งหกเหลี่ยมพบว่าระบบตัดถ่านอัตโนมัติควบคุมด้วยเซนเซอร์ สามารถตัดและอัดถ่านแท่งได้ยาวขนาด 11 เซนติเมตร 12 เซนติเมตร และ 13 เซนติเมตร ตามลำดับ มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 78.2 เปอร์เซ็นต์ 80 เปอร์เซ็นต์ และ 79.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

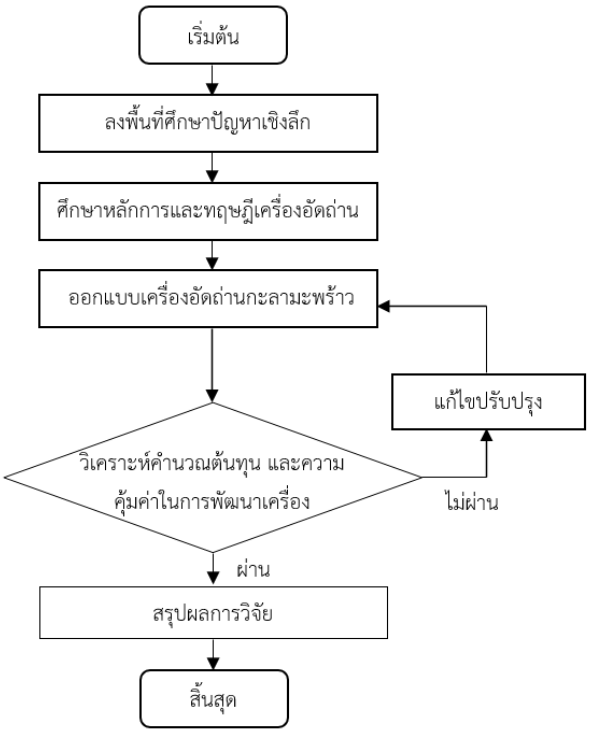
ผู้วิจัยเล็งเห็นว่า กลุ่มวิสาหกิจชุมชนจะต้องมีผลิตภัณฑ์ถ่านกะลามะพร้าวหลากหลายรูปทรงเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่หลากหลาย แต่หากจะใช้เครื่องอัดถ่านหลายตัวก็เป็นการสิ้นเปลืองต้นทุน จึงมีแนวคิดในการทำให้เครื่องอัดถ่านมีหัว extrusion หลายหัวและปรับสามารถปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดพบว่ายังไม่พบเครื่องอัดถ่านที่สามารถอัดถ่านที่มีหลายหัวในเครื่องเดียว ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวอเนกประสงค์สำหรับวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามาน โดยตัวเครื่อง สามารถอัดถ่านได้ 3 แบบ คือ ทรงกระบอก ทรงหกเหลี่ยม และทรงลูกบาศก์ เพื่อที่จะทำการอัดถ่านได้ตามความต้องการของลูกค้าซึ่งสามารถทำได้ในเครื่องเดียว โดยตัวเครื่องทำการบำรุงรักษาและทำความสะอาดได้ง่าย มีความปลอดภัยในการใช้งานและใช้งานง่าย ซึ่งมีวัตถุประสงค์งานวิจัยดังนี้

1.1 ออกแบบเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัดตามความต้องการของลูกค้า

1.2 วิเคราะห์คำนวณต้นทุน และความคุ้มค่าในการพัฒนาเครื่อง

2. ขั้นตอนการวิจัย

ในการสร้างเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัดตามความต้องการของลูกค้าสำหรับวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย มีการศึกษาและรวบรวมข้อมูล ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมถึงสิทธิบัตรของเครื่องอัดถ่านที่มีอยู่เพื่อที่จะได้ทราบถึงข้อดีและข้อเสียของเครื่องอัดถ่านแต่ละแบบและ ลงพื้นที่วิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานเพื่อสำรวจปัญหาของเครื่องอัดถ่านที่มีอยู่เพื่อนำไปสู่การกำหนดปัญหาที่พบเจอและนำไปสู่การออกแบบเครื่องอัดถ่านสำหรับวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามาน แสดงดังรูปที่ 2



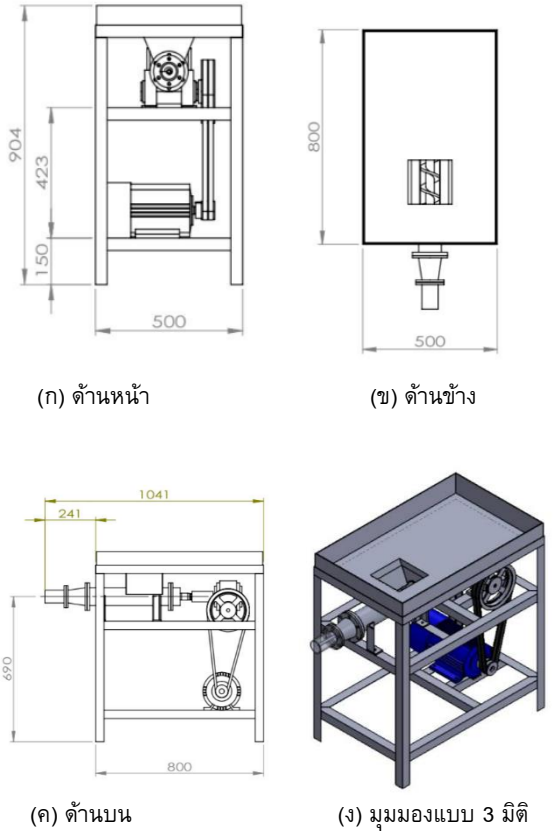
รูปที่ 2 ขั้นตอนการวิจัย

3. การออกแบบเครื่อง และการวิเคราะห์ต้นทุน

ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์ต้นทุนโดยมีรายละเอียดดังนี้ ลงพื้นที่ศึกษาปัญหาเชิงลึก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาข้อมูล ณ วิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานเพื่อที่จะทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นศึกษาหลักการและทฤษฎีเครื่องอัดถ่าน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหลักการและทฤษฎีเครื่องอัดถ่านจากบทความวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องที่จะทำการสร้างออกแบบเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวโดยส่วนของตัวเครื่องได้ออกแบบโดยการศึกษาจากงานวิจัยและจากเครื่องที่มีขายอยู่ในท้องตลาดโดยทำการออกแบบตามลักษณะดังกล่าวและมีการปรับปรุงเพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน วิเคราะห์คำนวณต้นทุน และความคุ้มค่าในการพัฒนาเครื่อง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนจากเครื่องที่จะทำการสร้างโดยเปรียบเทียบกับราคาของผลผลิตที่หน่ายได้หากจำหน่ายได้ไม่คุ้มค่ากับการสร้างก็จะทำการออกแบบใหม่โดยอาจจะปรับเปลี่ยนวัสดุของเครื่องเพื่อความเหมาะสม สรุปผลการวิจัยจากการออกแบบและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนเพื่อนำไปสู่การสร้างเครื่อง ทดสอบเครื่อง และใช้งานกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานในลำดับถัดไป

3.1 การออกแบบเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัด

เครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวผู้วิจัยได้อ้างอิงหลักการและรูปทรงทางกายภาพเช่นเดียวกับเครื่องที่มีขายในท้องตลาดและงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น แต่มีการพัฒนาหัว Extrusion สามรูปแบบที่สามารถถอดเปลี่ยนตามความต้องการได้ โดยมีหลักการทำงานดังนี้ ตัวเครื่องมีต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ส่งกำลังผ่านสายพานเพื่อขับเกียร์ทดรอบมอเตอร์ ขับเคลื่อนเพลาของใบเกลียวอัดถ่านโดยส่วนบนของตัวเครื่องมีถาดรองรับวัตถุดิบเพื่อที่จะป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เกลียวอัดถ่านโดยถ่านที่ถูกอัดจะผ่านหัว Extrusion ที่ใช้สร้างถ่านแต่ละแบบตามความต้องการของผู้ผลิตที่กำหนดรูปทรงของถ่านไว้ ดังรูปที่ 3

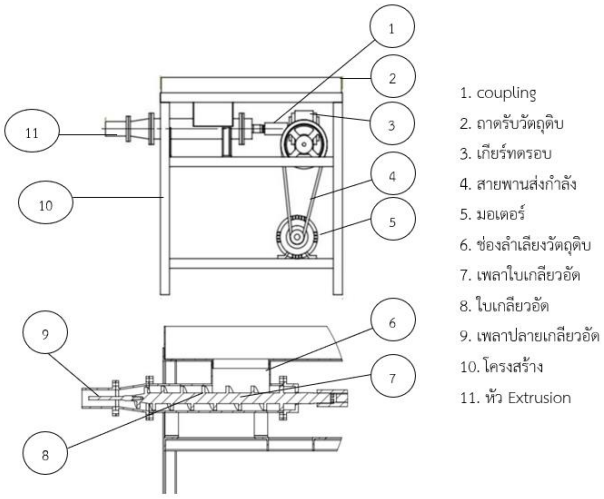


(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง

(ค) ด้านบน (ง) มุมมองแบบ 3 มิติ

รูปที่ 3 แบบเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัด

จากรูปที่ 3 เครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัดมีขนาดของเครื่องอยู่ที่ 500 x 800 x 904 มิลลิเมตร โดยมีรายละเอียดส่วนประกอบดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัด

จากรูปที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัด มีรายละเอียดดังนี้

1. coupling ใช้สำหรับต่อเกลียวอัดเข้ากับเกียร์ทดรอบ

2. ถาดรับวัตถุดิบ ใช้สำหรับรองรับวัตถุดิบที่จะป้อนเข้าสู่ช่องลำเลียงวัตถุดิบ

3. เกียร์ทดรอบ ใช้สำหรับทดรอบมอเตอร์เพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่ต้องการ

4. สายพานส่งกำลัง ใช้สำหรับส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังเกียร์ทดรอบ

5. มอเตอร์ เป็นต้นกำลังในการขับชิ้นส่วนที่ใช้ในการอัดถ่าน

6. ช่องลำเลียงวัตถุดิบ ใช้สำหรับลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการอัดถ่าน

7. เพลาใบเกลียวอัด เป็นตัวติดตั้งใบเกลียวอัด

8. ใบเกลียวอัด ใช้สำหรับอัดวัตถุดิบไปข้างหน้าให้อัดตัวแน่นขึ้น

9. เพลาปลายเกลียวอัด ใช้สำหรับสร้างโพรงกลวงเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการเผาไหม้ให้กับถ่านอัดแท่ง

10. โครงสร้าง ใช้สำหรับเป็นจุดยึดรับแรงในการติดตั้งชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ

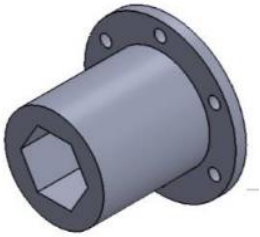
11. หัว Extrusion ใช้สำหรับสร้างรูปทรงถ่านตามลักษณะของหัว Extrusion

3.2 หัว Extrusion ที่ใช้ผลิตถ่านแต่ละแบบของเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัด

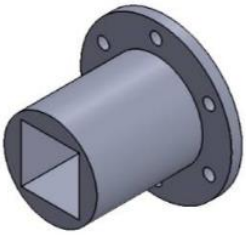
ผู้วิจัยมีแนวคิดออกแบบแม่พิมพ์แท่งถ่าน มี 3 แบบ คือ แบบทรงกระบอก ทรงหกเหลี่ยม และ ทรงลูกบาศก์ เพื่อตอบสนองปัญหาที่เกิดขึ้นของวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานโดยตัวแม่พิมพ์ถ่านสามารถเปลี่ยนได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 5 6 และ 7



รูปที่ 5 หัว Extrusion แบบทรงกระบอก



รูปที่ 6 หัว Extrusion แบบทรงหกเหลี่ยม



รูปที่ 7 หัว Extrusion แบบทรงลูกบาศก์

จากการออกแบบเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัดและหัว Extrusion ที่ใช้สร้างถ่านแต่ละแบบของนวัตกรรมเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวอเนกประสงค์สำหรับวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามาน ผู้วิจัยได้มีแนวคิดที่จะวิเคราะห์ต้นทุน และความคุ้มค่าในการพัฒนาเครื่องเพื่อการลงทุนเพิ่มเพื่อผลกำไรจากถ่านรูปแบบใหม่ที่ตรงความต้องการของลูกค้าในหัวข้อถัดไป

3.3 การวิเคราะห์ต้นทุน และความคุ้มค่าในการพัฒนาเครื่อง

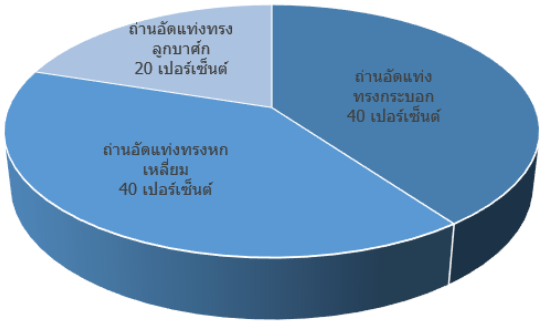
จากแนวคิดการออกแบบเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัดทางผู้วิจัยจึงมีการคำนวณต้นทุน ได้จากราคาของชิ้นต่างๆ

เพื่อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณความคุ้มค่าในการพัฒนาเครื่องโดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ราคาของส่วนประกอบของเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัด

รายละเอียด	ราคา
1. coupling	500
2. ถาดรับวัตถุดิบ และช่องลำเลียงวัตถุดิบ	3,000
3. เกียร์ทดรอบ	3,500
4. สายพานส่งกำลัง	500
5. มอเตอร์	5,500
6. เพลาใบเกลียวอัด และใบเกลียวอัด	5,000
7. เพลาปลายเกลียวอัด	500
8. โครงสร้าง	5,000
9. หัว Extrusion	6,000
10. ค่าแรง	4,000
รวม	34,000

ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์เชิงลึกถึงกลุ่มลูกค้าและการตลาดของผลิตภัณฑ์ถ่านกะลามะพร้าวแต่ละรูปแบบเพื่อวิเคราะห์โอกาสในการเพิ่มยอดขายนำไปสู่ผลกำไร ซึ่งส่วนแบ่งทางการตลาดของถ่านรูปแบบต่างๆ ในเขตพื้นที่อำเภอเมืองในปัจจุบันแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ส่วนแบ่งทางการตลาด
ที่มา : จากการสัมภาษณ์ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามาน

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าปัจจุบันวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานมีส่วนแบ่งทางการตลาดในพื้นที่อำเภอเมือง ซึ่งมีการจำหน่ายถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งชนิดเดียวคือแท่งทรงกระบอกเพียง 40 เปอร์เซ็นต์ของลูกค้าในอำเภอเมืองทั้งหมด ซึ่งหากวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานสามารถผลิตถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวชนิด ชนิดหกเหลี่ยม และลูกบาศก์ได้ กลุ่มลูกค้าในพื้นที่เพิ่มอีก 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปัจจุบันซื้อถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวรูปทรงอื่นจากต่างอำเภอ และจากแหล่งอื่นอาจตัดสินใจซื้อถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวจากวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานทั้งหมดเนื่องจากมีต้นทุนการขนส่งที่ถูกกว่า โดยผู้วิจัยได้วิเคราะห์ถึงโอกาสดังกล่าว สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ผลกำไรที่อาจเพิ่มขึ้น

รูปทรงของถ่าน	ยอดขาย (กิโลกรัม/เดือน)	ราคาขาย (บาท/กิโลกรัม)	ต้นทุน (บาท/กิโลกรัม)	ผลกำไร (บาท/เดือน)
ทรงกระบอกของวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามาน	3,500	21	15	(21-15) x 3,500 = 21,000
โอกาสในการขายทรงหกเหลี่ยม	3,500	25	15	(25-15) x 3,500 = 35,000
โอกาสในการขายทรงลูกบาศก์	1,750	35	15	(35-15) x 1,750 = 35,000
ผลกำไรที่อาจได้เพิ่มขึ้น		35,000 + 35,000 = 70,000 บาท/เดือน		

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงผลกำไรที่อาจจะได้เพิ่มขึ้น 70,000 บาท/เดือน ซึ่งเกิดจากการลงทุนสร้างเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัดตามความต้องการของลูกค้า 34,000 บาท ตามรายละเอียดในตารางที่ 1 สามารถคำนวณจุดคุ้มทุนได้ดังสมการที่ 1

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{34,000}{70,000} = 0.48 \text{ เดือน} \quad (1)$$

จากสมการที่ 1 เห็นได้ว่าจุดคุ้มทุนของการสร้างเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัดตามความต้องการของลูกค้าอยู่ที่ 0.48 เดือน ซึ่งประธานกลุ่มสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการพิจารณาตัดสินใจสร้างเครื่องเพื่อผลกำไรจากส่วนแบ่งทางการตลาดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอข้อมูลทั้งหมดได้

4. สรุป

จากที่ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์เชิงลึกถึงกลุ่มลูกค้าและการตลาดของผลิตภัณฑ์ถ่านกะลามะพร้าวแต่ละรูปแบบเพื่อวิเคราะห์โอกาสในการเพิ่มยอดขาย นำไปสู่ผลกำไรทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดออกแบบแม่พิมพ์แท่งถ่าน มี 3 แบบ คือ แบบทรงกระบอก ทรงหกเหลี่ยม และ ทรงลูกบาศก์ เพื่อตอบสนองปัญหาที่เกิดขึ้นของวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานโดยตัวแม่พิมพ์ถ่านสามารถเปลี่ยนได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

จากการคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการสร้างเครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวแบบเปลี่ยนหัวอัดตามความต้องการของลูกค้า พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.48 เดือน โดยผลกำไรที่อาจจะเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 70,000 บาทต่อเดือน ในขณะที่ต้นทุนในการสร้างเครื่องอยู่ที่ 34,000 บาท ซึ่งทางประธานกลุ่มใช้ข้อมูลนี้ในการพิจารณาตัดสินใจสร้างเครื่องเพื่อผลกำไรจากส่วนแบ่งทางการตลาดหากเป็นไปตามสมุติฐาน เพื่อที่จะให้กลุ่มลูกค้าในพื้นที่อีก 60 เปอร์เซ็นต์ ให้มาซื้อถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวจากวิสาหกิจชุมชนบ้านทอนอามานี่มีมีต้นทุนการขนส่งที่ถูกกว่า

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, https://pei.dede.go.th/km/dataset/energy (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 ธันวาคม 2567)

[2] เนตรวดี เพชรประดับ. 2567. “การวิเคราะห์ความสามารถในการทำกำไรของผลิตภัณฑ์มะพร้าว เพื่อการลงทุนพัฒนาผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา : วิสาหกิจชุมชนแปรรูปมะพราวอามาน ตำบลโคกเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส,” วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2561.

[3] สุห์ดี นิเซ็ง และคณะ. 2567. “เครื่องอัดถ่านกะลามะพร้าวทรงลูกบาศก์และคุณสมบัติเชิงความร้อนของถ่านกะลามะพร้าว,” ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 35: 2567, น. 117-124.

[4] กฤษฎา นามวงษ์ และมงคล คธาพันธ์, “การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงจากใบสะเดาแห้งร่วมกับขี้เลื่อยเผา,” ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31: 2560, น. 1-9.

[5] สุรพงษ์ รามัญจิตต์, “การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดถ่านแท่งระบบสกรูเกลียวแบบมีตัวตัดอัตโนมัติ,” ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31: 2560, น. 1-9.

[6] เสริมศักดิ์ เกิดวัน และคณะ, “การผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกต้นสาคู,” รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2561.

[7] กิตติชาติ เผ่าพงษ์ไพบูลย์ และคณะ. 2567. “การพัฒนาคุณภาพถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมกะลาปาล์มโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน,” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, ปีที่9, ฉบับที่ 1, หน้า 21-27, เมษายน, 2554.

[8] วสันต์ ปินะเต และดวงกมล ดังโพนทอง. 2567. “ประสิทธิภาพถ่านอัดแท่งจากผลมะเลื่อมและผลต้นแดง,” ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชภัฏเลยวิชาการ ครั้งที่ 10: 2567, น. 714-719.

การปรับปรุงประสิทธิภาพคลังสินค้าด้วยการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บ กรณีศึกษา บริษัทฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก

Warehouse Efficiency Improvement with Storage Location Assignment A Case Study of Plastic Injection Molding Company

ธนิดา สุนารักษ์[1*] พิพัฒน์พงศ์ เทพมณี[2*] ธนกฤต โชติภาวริศ[3] และ วิภาวรรณ ทองเนียม[1]
[1]สาขาวิชาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมกระบวนการและอุตสาหการ สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
[3]แขนงวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
E-mail: thanida.sun@rmutr.ac.th*, piphatpong@mut.ac.th*

Thanida Sunarak[1*] Pipatpong Thepmanee[2] Thanakrit Chotibhawaris[3] and Wiphawan Tongniam[1]
[1] Department of Management, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
[2]Department of Process and Industrial Engineering, Mahanakorn School of Engineering and Industrial Technology, Mahanakorn University of Technology
[3] Branch of Industrial Technology, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University
E-mail: thanida.sun@rmutr.ac.th*, piphatpong@mut.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการเบิกจ่ายสินค้าภายในคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาผู้ประกอบการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก จากการศึกษากระบวนการปฏิบัติงานพบปัญหาด้านการจัดการคลังสินค้า อันเกิดจากการจัดเก็บแบบไร้รูปแบบ จัดเก็บสินค้าไม่เป็นระเบียบ วางสินค้าปะปนกัน ก่อให้เกิดความล่าช้าในการเบิกจ่ายสินค้า จึงทำการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการ ด้วยแผนผังสาเหตุและผล แผนภูมิกระบวนการไหล การศึกษาเวลามาตรฐาน และกำหนดแนวทางการปรับปรุง ด้วยหลักการจัดการคลังสินค้าในส่วนของการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บ ระบบการจัดเก็บ และหลักการควบคุมด้วยการมองเห็น โดยใช้ระบบจัดเก็บโดยกำหนดตำแหน่งตายตัว ระบบการจัดเก็บตามประเภทของสินค้า และระบบการจัดเก็บตามความถี่ ผลการดำเนินการปรับปรุงพบว่าเวลาการเบิกจ่ายสินค้าลดลงจากเดิม 50.03 นาที เหลือ 23.51 หรือลดลงร้อยละ 53.01
คำสำคัญ: การจัดการคลังสินค้า การกำหนดตำแหน่งจัดเก็บ ระบบจัดเก็บโดยกำหนดตำแหน่งตายตัว ระบบการจัดเก็บตามประเภทของสินค้า ระบบการจัดเก็บตามความถี่

Abstract

This research aims to enhance the efficiency of the goods disbursement process within the warehouse of a plastic injection molding company. An analysis of operational processes identified significant issues in warehouse management, primarily caused by an informal system, disorganized inventory placement, and the mixing of different items. These inefficiencies resulted in delays during the goods disbursement process. The study utilized various analytical tools, including cause-and-effect diagram, flow process chart and standard time study. The improvement method was applied with warehouse management principles in terms storage location assignment, storage system and visual control. Specifically, the improvements were implemented using the following systems: fixed location system, commodity system and frequency-based system. As a result of these improvements, the average goods disbursement time was significantly reduced from 50.03 minutes to 23.51 minutes, reflecting a reduction of 53.01%.
Keywords: Warehouse Management, Storage Location Assignment, Fixed Location System, Commodity System, Frequency-Based System.

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการฉีดพลาสติกทั่วโลกในปัจจุบันมีมูลค่ากว่า 11,385 ล้านดอลล่าร์สหรัฐ และมีการคาดว่าในปี 2573 จะสามารถสร้างรายได้ทั่วโลกได้ 15,734 ล้านดอลล่าร์สหรัฐ [1] ซึ่งยอดขายผลิตภัณฑ์ที่มาจากพลาสติกในประเทศไทยมีการเติบโตอย่างรวดเร็วเช่นกัน โดยในช่วงปี 2564-2567 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.0-3.0 ต่อปี ในทางด้านการแข่งขันนั้นประเทศไทยมีผู้ประกอบการรายใหญ่ร้อยละ 13 และอีกร้อยละ 87 เป็นผู้ประกอบการขนาดกลางไปถึงเล็ก [2] ถึงแม้ผู้ประกอบการรายใหญ่จะมีเพียงร้อยละ 13 เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ประกอบการขนาดเล็กและกลาง แต่ก็สามารถทำให้เกิดการแข่งขันของธุรกิจค่อนข้างรุนแรงได้ เนื่องจากการแข่งขันกันเองทางด้านราคาในผู้ประกอบการขนาดเดียวกัน อีกทั้งการแข่งขันทางด้านสินค้าความสามารถในการผลิตสินค้าได้หลากหลายชนิด รวมไปถึงมีสินค้าพร้อมส่ง หรือใช้เวลาในการรอสินค้าไม่นาน ซึ่งส่วนสำคัญประการหนึ่งที่สามารถสนับสนุนผู้ประกอบการรายนั้น ๆ ในการแข่งขันด้านต่าง ๆ ได้ก็คือการจัดการคลังสินค้าที่มีประสิทธิภาพ มีการบริหารจัดการคลังสินค้าอย่างเป็นระบบ จะสามารถช่วยให้มีการตอบสนองทั้งในส่วนของสายการผลิตและการบริการลูกค้าได้อย่างรวดเร็วขึ้น

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทขนาดกลางที่ดำเนินธุรกิจผลิตสินค้าพลาสติกประเภทต่าง ๆ โดยใช้วิธีการฉีดพลาสติก ซึ่งมีผลิตภัณฑ์ที่จัดเก็บไว้ในคลังเป็นจำนวนมาก ยกตัวอย่างเช่น กระถางต้นไม้ ถ้วยยางพารา ถ้วยอาหารไก่ เป็นต้น โดยลูกค้าหลักคือบริษัทในเครือ ซี.พี. ลูกค้าทั่วไป คือลูกค้าที่เป็นธุรกิจขายสินค้าแบบส่งและสินค้าแบบปลีก ปัญหาที่พบในคลังของบริษัทกรณีศึกษาคือใช้เวลาในการเบิกจ่ายสินค้าค่อนข้างนาน เกิดจากการเก็บผลิตภัณฑ์ภายในคลังสินค้าอย่างไม่เป็นระบบ การทำงานของพนักงานเมื่อทำการฉีดเสร็จแล้วจะวางสินค้าใกล้พื้นที่ที่ตนเองฉีด หรือจัดวางตามความสะดวกของแต่ละบุคคล โดยไม่มีการจดบันทึกตำแหน่งและจำนวนสินค้าที่ฉีดเสร็จ อีกทั้งยังจัดวางโดยไม่มีการแยกสินค้าเก่าใหม่จึงเกิดการปะปนกัน ซึ่งเป็นปัญหาอย่างมากเมื่อพนักงานที่ทำการจัดวางสินค้านั้น ๆ ลาหยุด เนื่องจากพนักงานที่เก็บในวันนั้น ๆ รู้ตำแหน่งที่แน่ชัดเพียงผู้เดียว จึงเสียเวลาในการค้นหาสินค้าที่อยู่กระจัดกระจายในคลังสินค้าที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งที่แน่ชัดได้

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงดำเนินการโดยมีวัตถุเพื่อจัดการคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพสามารถลดเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าลงได้ อีกทั้งคลังสินค้ามีความเป็นระบบมากขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management) เป็นการจัดการในการรับ การจัดเก็บ การจัดส่งสินค้าให้ผู้รับเพื่อกิจกรรมการขาย เป้าหมายหลักในการบริหารจัดการคลังสินค้าก็เพื่อให้เกิดการดำเนินการเป็นระบบให้คุ้มกับการลงทุน การควบคุมคุณภาพของการเก็บ การหยิบสินค้า การป้องกัน ลดการสูญเสียจากการดำเนินงานเพื่อให้ต้นทุนการดำเนินงานต่ำที่สุด และการใช้ประโยชน์เต็มที่จากพื้นที่ กิจกรรมหลักภายในคลังสินค้า (Warehouse Activities) กิจกรรมหนึ่งคือ การนำออกจากที่เก็บ (Picking) โดยเป็นการเลือกหยิบสินค้าจากพื้นที่ต่าง ๆ ในคลังเก็บสินค้ามารวมกันไว้ยังพื้นที่จัดส่งเพื่อการตรวจสอบความถูกต้องให้แน่นอนว่าเป็นไปตามหลักฐานการสั่งจ่ายหรือตามความต้องการของผู้รับ ซึ่งประสิทธิภาพด้านเวลาการหยิบหรือการเบิกจ่ายสินค้าของกิจกรรมนี้ ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการจัดการรูปแบบการจัดเก็บหรือการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บให้เหมาะสม [3]

ระบบการจัดเก็บมีการแบ่งโดย [4] ได้แก่ ระบบการจัดเก็บโดยไร้รูปแบบ (Informal System) ระบบจัดเก็บโดยกำหนดตำแหน่งตายตัว (Fixed Location System) ระบบการจัดเก็บโดยจัดเรียงตามรหัสสินค้า (Part Number System) ระบบการจัดเก็บตามประเภทของสินค้า (Commodity System) ระบบการจัดเก็บที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random Location System) ระบบการจัดเก็บแบบผสม (Combination System) หรือ แบ่งเป็น 3 ลักษณะโดย [5] คือ การจัดเก็บสินค้าแบบไม่แน่นอน (Random-based storage) เป็นการจัดเก็บสินค้าตามความสะดวกของผู้จัดเก็บ การจัดเก็บตามปริมาณความต้องการ (Volume-Based Storage) เป็นการจัดเก็บโดยอาศัยปริมาณสินค้าที่ลูกค้าต้องการเป็นพื้นฐาน และ การจัดเก็บตามระดับของสินค้า (Class-Based Storage) เป็นการแบ่งสินค้าตามระดับสินค้า ซึ่งโดยทั่วไปแบ่งตามความถี่การเบิกจ่าย (Frequency-Based System) คือ กลุ่มสินค้าเคลื่อนไหวเร็ว กลุ่มสินค้าเคลื่อนไหวปกติ และกลุ่มสินค้าเคลื่อนไหวช้า หรือบางครั้งพบในชื่อว่า ABC Analysis [6] หรือ FSN Analysis [7] ซึ่งแต่ละแบบมีข้อดี ข้อเสีย ข้อจำกัดต่างแตกกันไป นอกจากนี้ยังพบการประยุกต์ใช้การควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control) [8] เพื่อช่วยให้การปฏิบัติงานในคลังสินค้าให้มีระบบและเป็นระเบียบมากขึ้น

งานวิจัยที่ดำเนินการปรับปรุงระบบการจัดเก็บและวัดผลทางด้านเวลา ในหลายๆ กรณีมีการประยุกต์ใช้การศึกษาเวลา เพื่อหารอบการจับเวลาที่เหมาะสมเชิงสถิติโดยใช้ตาราง Maytag [9-10] อาทิ การวิจัยให้กับกรณีศึกษา บริษัท PP&A จำกัด เพื่อลดระยะเวลาในการหาสินค้าประเภท Food Goods อันเนื่องมาจากการจัดเก็บที่ไม่เป็นระบบ โดยใช้ Why-Why Analysis ในการวิเคราะห์ข้อมูล และศึกษากระบวนการทำงานของแผนกหยิบสินค้า โดยเริ่มทำการแก้ไขด้วยการแบ่งกลุ่มของสินค้าตามหลักการ Commodity System พร้อมจัดลำดับตำแหน่งในการวางสินค้า โดยนำข้อมูลยอดจ่ายมาทำการจัดลำดับตามหลัก FSN Analysis และเพื่อการหาสินค้าที่ง่ายขึ้น จึงใช้เทคนิคการควบคุมด้วยการมองเห็น โดยจัดทำป้ายบ่งชี้เพื่อบอกประเภทของสินค้า ผลจากการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดเก็บ พบว่าระยะเวลาเฉลี่ยในการหาสินค้าลดลงจาก 18.51 นาที เหลือ 14.12 นาที หรือลดลงร้อยละ 13.81 [11]

การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษาบริษัทจำหน่ายก๊าซอุตสาหกรรม ซึ่งประสบปัญหาการจัดการคลังสินค้าไม่มีประสิทธิภาพในส่วนของพนักงานทำการหยิบสินค้า ส่งผลให้เกิดต้นทุนการส่งมอบสินค้าที่ล่าช้า จึงนำเสนอแนวทางการปรับปรุงการโดยทำ

การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังตามความถี่ในการเบิกจ่ายด้วยวิธีการ FSN Analysis ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มประเภทสินค้าได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสินค้าหมุนเวียนเร็ว กลุ่มสินค้าหมุนเวียนช้า และกลุ่มสินค้าที่ไม่มีการหมุนเวียน และเลือกกลุ่มสินค้าหมุนเวียนเร็ว ได้แก่ ก๊าซอุตสาหกรรม ลวดเชื่อมและใบเจียร์ใบตัด มาทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งในการจัดเก็บให้อยู่ใกล้กับสถานีบรรจุภัณฑ์ ซึ่งผลจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดระยะเวลาเฉลี่ยต่อคำสั่งซื้อ และลดระยะทางรวมเฉลี่ยต่อวันในกระบวนการหยิบสินค้า เท่ากับร้อยละ 25.62 และร้อยละ 77.72 ตามลำดับ [12]

การลดระยะเวลาในขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปภายในคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัทฮอลแลนด์สตาร์บรรจุภัณฑ์ จำกัด โดยสภาพการทำงานจริงที่เกิดขึ้นพบว่าพนักงานคลังสินค้าใช้ระยะเวลานานในการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูป ทำให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมา เช่น พนักงานทำงานล่วงเวลา การจัดส่งสินค้าไม่ทันตามเวลาที่กำหนด จึงได้นำแผนผังก้างปลา มาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในการเบิกจ่ายสินค้า ซึ่งพบว่าปัญหาที่ต้องเร่งแก้ไขเป็นอันดับแรกคือการปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการเบิกจ่ายสินค้าที่มีความซับซ้อนและยุ่งยากโดยทำการศึกษาจากแผนภูมิกระบวนการไหลของกิจกรรม แล้วจึงนำการลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS มาใช้ในการปรับปรุงขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูป ผลการวิจัยพบว่าระยะเวลาในขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปจากเดิมอยู่ที่ 212 นาที 30 วินาทีเมื่อปรับปรุงขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปแล้วใช้ระยะเวลาเพียง 184 นาที 17 วินาที หรือลดลงร้อยละ 13.25 [13]

การศึกษาปรับปรุงกระบวนการและการกำหนดตำแหน่งในการจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้าของ บริษัท ABC จำกัด โดยพบว่าพนักงานใช้เวลาในการหาและหยิบสินค้านาน เนื่องจากการจัดเก็บสินค้าไม่เป็นหมวดหมู่ จึงวางแผนการปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าโดยใช้เครื่องมือ ABC Analysis และ FSN Analysis ในการวิเคราะห์กลุ่มของสินค้าตามทฤษฎี ABC-FSN Matrix Analysis จากนั้นทำการเปรียบเทียบระยะเวลาในการหยิบสินค้าโดยใช้โปรแกรมในการจำลองการหยิบสินค้าก่อนและหลังการปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บและจำลองการหยิบสินค้าจากใบเบิกสินค้า (Picking List) 6 ใบ พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการหยิบสินค้า ก่อนการปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าใช้ระยะเวลาในการหยิบสินค้าเฉลี่ย 4 นาที 1.3 วินาที และหลังการปรับปรุงใช้ระยะเวลาในการหยิบสินค้าเฉลี่ย 3 นาที 46.7 วินาที ต่อ 1 ใบเบิกสินค้า ซึ่งลดลง 14.6 วินาที [14]

การศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษาศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทเครื่องดื่ม เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า หลายวิธีได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขรูปแบบสถานที่จัดเก็บโดยใช้แบบจำลองแผนผังคลังสินค้า (Warehouse Layout Model) โดยใช้เทคนิค ABC Analysis เพื่อวิเคราะห์การจัดวางสินค้าให้สามารถเข้าถึงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลจากการวิจัยพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณการจัดขึ้นได้ร้อยละ 13.73 และลดระยะทางการเคลื่อนย้ายสินค้าในศูนย์กระจายสินค้าลงได้ร้อยละ 42.32 แสดงให้เห็นว่าการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บที่มีประสิทธิภาพสามารถลดเวลาในการเดินทางสำหรับการหยิบสินค้าตามคำสั่งซื้อได้ [15]

การศึกษาวิเคราะห์เพื่อวางแผนการเพิ่มตำแหน่งจัดเก็บสูงสุดในคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัท PT.XYZ ซึ่งเป็นบริษัทของรัฐที่เกี่ยวข้องกับการบริการขนส่งสินค้าและคลังสินค้า จากข้อจำกัดในการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า ซึ่งบางครั้งสินค้าไม่ได้จัดเก็บไว้ในตำแหน่งที่กำหนด การวางสินค้าในตำแหน่งที่ว่างเปล่าของทางเข้าคลังสินค้า ทำให้มีการสะสมตัวขัดขวางกระบวนการขาเข้าและขาออก อีกทั้งระยะห่างระหว่างสินค้าที่จัดวางไม่เท่ากันทำให้การจัดเก็บสินค้าไม่เรียบร้อย จึงได้ประยุกต์ใช้วิธีการจัดเก็บแบบแบ่งกลุ่ม (Class Based Storage ในการจำแนกสินค้าตามความถี่ของการเคลื่อนไหวของสินค้า โดยใช้การวิเคราะห์ FSN Analysis ผลการศึกษาวิจัยพบว่าสามารถเพิ่มตำแหน่งการจัดเก็บได้มากขึ้นจาก 4,482 หน่วย เป็น 5,500 หน่วย อีกทั้งลดระยะเวลาในการค้นหาและระยะทางลงได้ร้อยละ 30 [16]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่ประกอบกิจการรับฉีดขึ้นรูปพลาสติกประเภทต่าง ๆ เช่น กระถางต้นไม้ ถังยางพารา ถังอาหารไก่ โดยลูกค้าหลักเป็นบริษัท ในเครือ ซี. พี. และลูกค้าทั่วไปที่ประกอบธุรกิจขายส่งและขายปลีก ตัวอย่างสินค้า แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างสินค้า

จากการศึกษาผังโรงงาน พบว่าพื้นที่ในคลังสินค้ามีความกว้าง 4.65 เมตร ยาว 29 เมตร สูง 5 เมตร และมีแร็คเก็บสินค้า ขนาด ความกว้าง 4.5 เมตร ยาว 23 เมตร สูง 3.5 เมตร จำนวน 2 แร็ค โดยมีพื้นที่จัดเก็บรวม 341.85 ตารางเมตร

3.2 การศึกษากระบวนการปฏิบัติงานในคลังสินค้า

3.2.1 ระบบการจัดเก็บสินค้า

ระบบการจัดเก็บสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาในปัจจุบัน มีลักษณะการจัดเก็บแบบไร้รูปแบบ กล่าวคือ สินค้าทุกชนิดสามารถวางได้ทุกตำแหน่ง จัดเก็บสินค้าไม่เป็นระเบียบ จัดเก็บสินค้าตามความสะดวกของพนักงาน มีการวางสินค้าไว้หน้าเครื่องฉีด และนำสินค้าต่างชนิดมาวางปะปนกัน ดังรูปที่ 2 จึงไม่ทราบตำแหน่งของสินค้าแต่ละชนิดที่แน่ชัด ส่งผลให้กระบวนการเบิกจ่ายสินค้าใช้เวลาค่อนข้างนาน



รูปที่ 2 การจัดเก็บสินค้าก่อนปรับปรุง

3.2.2 ขั้นตอนและเวลามาตรฐานการเบิกจ่ายสินค้า

ขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้า เริ่มจากพนักงานได้คำสั่งซื้อจากลูกค้า พนักงานทำการเขียนใบเบิกมาให้ฝ่ายตรวจสอบสินค้า หลังจากนั้น พนักงานทำการค้นหาสินค้าในคลังสินค้า จากนั้นนำสินค้ามาจัดเรียงเพื่อทำการยกขึ้นรถ

ทำการศึกษาเวลามาตรฐาน ด้วยการจับเวลาจากพนักงานคนเดิม เบื้องต้น 10 ครั้ง โดยเลือกใบสั่งจากการสุ่มวันเข้าจับเวลา เพื่อหาเวลาเฉลี่ย ซึ่งจากตาราง Maytag พบว่าจำนวนครั้งดังกล่าวเพียงพอแล้ว จากนั้นคำนวณเวลามาตรฐานต่อใบสั่ง ดังตารางที่ 1 โดยทำการประเมินอัตราเร็วด้วยวิธี Westinghouse System of Rating และประเมินเวลาเผื่อจากตารางวิเคราะห์เวลาเผื่อของการทำงาน [9]

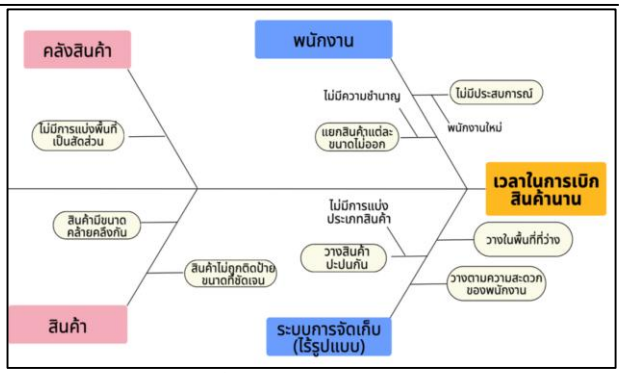
ตารางที่ 1 เวลามาตรฐานการเบิกจ่ายสินค้า

ขั้นตอน	เวลาเฉลี่ย (นาที)	อัตราเร็ว (%)	เวลาปกติ (นาที)	เวลาเผื่อ (%)	เวลามาตรฐาน (นาที)
1. เดินไปยังคลังสินค้า	0.54	1.06	0.57	1.16	0.66
2. ค้นหาสินค้า	18.09	1.06	19.18	1.16	22.25
3. เดินไปตามพนักงานยกสินค้า	1.28	1.06	1.36	1.16	1.58
4.นำพนักงานยกสินค้าเดินไปยังจุดจัดเก็บสินค้า	4.61	1.06	4.89	1.16	5.67
5.ยกสินค้าไปจัดวางยังจุดเตรียมส่งขึ้นรถ	6.84	1.06	7.25	1.16	8.41
6. ตรวจสอบนับจำนวน	3.34	1.06	3.54	1.16	4.11
7. ยกสินค้าขึ้นรถ	5.98	1.06	6.34	1.16	7.35
รวม					50.03

จากตารางที่ 1 พบว่าเวลามาตรฐานของขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าเท่ากับ 50.03 นาที โดยขั้นตอนค้นหาสินค้าใช้เวลา 22.25 นาที ซึ่งสูงกว่าขั้นตอนอื่นๆ จึงได้ทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุเพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุงต่อไป

3.2.3 การวิเคราะห์ปัญหา

จากการศึกษารวบรวมข้อมูล สามารถสรุปปัญหาและสาเหตุที่เกิดขึ้นด้วยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [17] แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังสาเหตุและผล

จากรูปที่ 3 พบว่าปัญหาการเบิกจ่ายสินค้าใช้เวลานาน เกิดจากสาเหตุด้านคลังสินค้า พนักงาน สินค้า และระบบจัดเก็บ โดยจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วย Why-Why Analysis เพื่อค้นหาสาเหตุรากเหง้า พบว่าสาเหตุหลักเกิดจากระบบจัดเก็บ เนื่องจากบริษัทมีระบบจัดเก็บแบบไร้รูปแบบ ไม่มีการแบ่งประเภทของสินค้า ทำให้วางสินค้าปะปนกัน วางในพื้นที่ที่ว่าง เช่น หน้าเครื่องฉีด ทำให้ไม่มีพื้นที่ใช้สอย วางตามความสะดวกของพนักงาน ทำให้เกิดปัญหาเมื่อพนักงานไม่มาทำงาน หรือเป็นพนักงานใหม่

3.2.4 กำหนดแนวทางการปรับปรุง

จากการศึกษาข้อมูลด้านระบบการจัดเก็บภายในคลังสินค้า ได้มีแนวคิดการปรับปรุงดังนี้

1. คำนวณหาพื้นที่จัดเก็บ การคำนวณพื้นที่จัดเก็บพิจารณาจากสินค้าคงคลังเฉลี่ยย้อนหลัง 3 เดือน และใช้สมการ (1) เพื่อกำหนดปริมาณสินค้าสำหรับการจัดเก็บ [18] แสดงตัวอย่างดังตารางที่ 2

$$Q_i = M_i + ZSD_i \quad (1)$$

โดยที่

Q_i คือ ปริมาณสินค้าที่ต้องการจัดเก็บ M_i คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณสินค้าคงคลัง Z คือ ความน่าจะเป็นที่กำหนดให้ช่องจัดเก็บเพียงพอ

SD_i คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสินค้า i คือ ประเภทของสินค้า

ตารางที่ 2 ปริมาณสินค้าคงคลังและค่าพารามิเตอร์

รายการสินค้า	สินค้าคงคลัง (มัด)			M	SD	Q
	เดือน 1	เดือน 2	เดือน 3			
ถาดรองอาหารไก่	163	158	176	165.67	9.29	180.95
กริว	127	97	110	111.33	15.04	136.07
ถังสีเหลือง	93	69	83	81.67	12.06	101.51

หมายเหตุ 1. กำหนดความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่ามาตรฐาน (Z) = 1.645
2.ทำการวิเคราะห์ข้อมูลสินค้าคงคลังย้อนหลัง 1 ปี เพื่อยืนยันว่าข้อมูลเฉลี่ย 3 เดือน สามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งปีได้ โดยไม่พบผลกระทบจากปัจจัยฤดูกาล (Seasonal)

วิธีการคำนวณหาพื้นที่การจัดเก็บโดยยกตัวอย่างรายการสินค้า คือ ถาดรองอาหารไก่ ซึ่งมีขนาดความกว้าง 0.50 เมตร ความยาว 0.60 เมตร ความสูง 0.35 เมตร สามารถวางซ้อนกันได้สูงสุดไม่เกิน 1.75 เมตร แสดงดังข้างล่างนี้ และรูปแบบการจัดวางแสดงดังรูปที่ 4

Q = 165.67 + (9.29 x 1.645) = 180.95 ≈ 181 มัด

จำนวนตามแนวกว้าง = ความกว้างของพื้นที่จัดเก็บ / ความยาวของสินค้า = 4.65 / 0.60

= 7.75 ≈ 7 มัด

จำนวนซ้อนได้สูงสุด = 5 มัด

ความสูงสูงสุด = 5 x 0.35 = 1.75 เมตร

จำนวนวางสูงสุดใน 1 ล็อค = ตามแนวกว้าง x ซ้อนสูงสุด

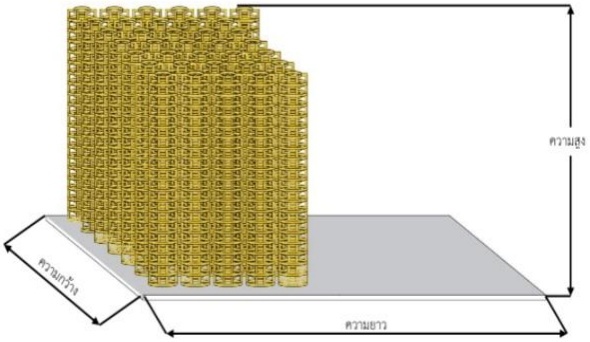
= 7 x 5= 35 มัด

จำนวนวางตามแนวยาว = Q / จำนวนวางสูงสุดใน 1 ล็อค

= 180.57 / 35 = 5.16 ≈ 6 ล็อค

พื้นที่ตารางเมตร = ความกว้างของพื้นที่ x ความยาวของมัด

= 4.65 x 0.50 x 6 = 13.95 ตารางเมตร



รูปที่ 4 รูปแบบการจัดวางถาดรองอาหารไก่

2. กำหนดระบบจัดเก็บโดยกำหนดตำแหน่งตายตัว ซึ่งกำหนดให้สินค้าทุกๆ SKU มีตำแหน่งการจัดเก็บที่ตายตัว และใช้ระบบการจัดเก็บตามประเภทของสินค้า โดยพิจารณาจาก 4 กลุ่มใหญ่ ดังนี้ 1) ลูกค้าทั่วไปแบบกระสอบ 2) ลูกค้าทั่วไปแบบมัด 3) ลูกค้าหลักแบบกระสอบ และ 4) ลูกค้าหลักแบบมัด

3. กำหนดระบบการจัดเก็บตามความถี่ โดยรวบรวมข้อมูลย้อนหลังเป็นเวลา 3 เดือน และนำสินค้าที่มีความถี่ในการเบิกจ่ายสูงวางใกล้ประตูเข้าออก เพื่อลดระยะเวลาในการหยิบสินค้า แสดงตัวอย่างดังตารางที่ 3

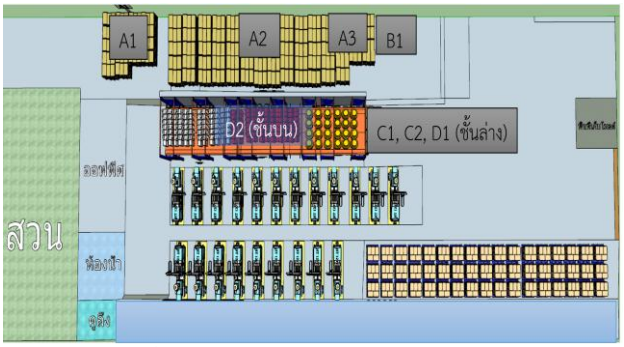
จากการคำนวณพื้นที่และการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4 และแสดงแผนผังการจัดเก็บสินค้าหลังปรับปรุงได้ดังรูปที่ 5

ตารางที่ 3 ความถี่การเบิกจ่ายสินค้าประเภทลูกค้าทั่วไปแบบกระสอบ

รายการสินค้า	ความถี่การเบิกจ่ายสินค้า (ครั้ง)			รวม
	เดือน 1	เดือน 2	เดือน 3	
กระถางต้นไม้ 11 นิ้ว	14	8	8	30
กระถางต้นไม้ 12 นิ้ว	13	11	12	36
กระถางต้นไม้ 15 นิ้ว	12	9	14	35

ตารางที่ 4 กลุ่มสินค้าและพื้นที่การจัดเก็บ

กลุ่ม	ประเภทสินค้า	ความถี่ (ครั้ง)	กลุ่มย่อย	พื้นที่ (ตร.ม.)
A	ลูกค้าทั่วไปแบบกระสอบ	534	A1	25.24
			A2	72.50
			A3	40.62
B	ลูกค้าทั่วไปแบบมัด	362	B1	17.06
C	ลูกค้าหลักแบบกระสอบ	156	C1	29.33
			C2	34.28
D	ลูกค้าหลักแบบมัด	30	D1	24.39
			D2	88.00
รวม				331.42



รูปที่ 5 แผนผังการจัดเก็บสินค้าหลังปรับปรุง

4. จัดทำระบบการควบคุมด้วยการมองเห็น โดยจัดทำบอร์ดแสดงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าเพื่อให้พนักงานสามารถทราบถึงตำแหน่งการจัดเก็บได้ก่อนที่จะเดินไปยังตำแหน่งการจัดเก็บจริง แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 บอร์ดแสดงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า

4. ผลการวิจัย

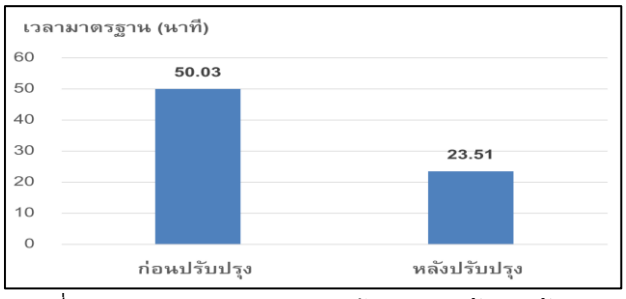
หลังจากดำเนินการปรับปรุงแล้วเสร็จ พบว่าระบบจัดเก็บสินค้าเป็นไปตามแนวทางที่กำหนดไว้คือ ระบบจัดเก็บโดยกำหนดตำแหน่งตายตัว ระบบการจัดเก็บตามประเภทของสินค้า และระบบการจัดเก็บตามความถี่ แสดงดังรูปที่ 7 และจากการศึกษาข้อมูลเวลามาตรฐานการเบิกจ่ายสินค้าตามหลักการเดียวกับก่อนปรับปรุง แสดงผลดังตารางที่ 5 และรูปที่ 8



รูปที่ 7 การจัดเก็บสินค้าหลังปรับปรุง

ตารางที่ 5 เวลามาตรฐานการเบิกจ่ายสินค้าก่อนและหลังการปรับปรุง

เวลามาตรฐาน (นาที)		ผลต่างเวลา (นาที)	ผลต่างเวลา (ร้อยละ)
ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง	ลดลง
50.03	23.51	26.52	53.01



รูปที่ 8 เวลามาตรฐานการเบิกจ่ายสินค้าก่อนและหลังการปรับปรุง

จากตารางที่ 5 และรูปที่ 8 พบว่าเวลามาตรฐานการเบิกจ่ายสินค้าก่อนและหลังการปรับปรุง เท่ากับ 50.03 และ 23.51 นาที ตามลำดับ โดยลดลงจากเดิม 26.52 นาที หรือลดลงร้อยละ 53.01 อันเป็นผลมาจากเวลาในขั้นตอนการค้นหาสินค้าลดลงจากการปรับปรุงระบบจัดเก็บ

5. สรุป

จากการศึกษาสภาพปัญหาของบริษัทกรณีศึกษาในส่วนของคลังสินค้าพบปัญหาความล่าช้าในกระบวนการเบิกจ่ายสินค้า โดยพบว่าสาเหตุหลักมาจากระบบการจัดเก็บโดยไร้รูปแบบ สินค้าทุกชนิดสามารถวางได้ทุกตำแหน่ง สินค้าวางสินค้าปะปนกัน และการวางสินค้าตามความสะดวกของพนักงาน จึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาทำการวิเคราะห์ และกำหนดแนวทางการปรับปรุง โดยทำการคำนวณหาพื้นที่จัดเก็บ และออกแบบแนวทางในการจัดเก็บสินค้าให้เหมาะสม โดยใช้ระบบจัดเก็บโดยกำหนดตำแหน่งตายตัว ระบบการจัดเก็บตามประเภทของสินค้า และระบบการจัดเก็บตามความถี่โดยสินค้าที่มีความถี่ในการเบิกจ่ายสูง จะนำมาวางไว้ใกล้กับประตูเข้า-ออก เพื่อลดระยะเวลาในการหยิบสินค้า อีกทั้งใช้หลักการควบคุมการมองเห็น โดยจัดทำบอร์ดแสดงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า ป้ายระบุกลุ่มสินค้า เพื่อให้เกิดความสะดวก ง่ายต่อการปฏิบัติงาน ค้นหาสินค้าได้ง่ายขึ้น เพิ่มความเป็นระเบียบและมีระบบการจัดเก็บที่ดีขึ้น ผลจากการปรับปรุงพบว่าเวลามาตรฐานการเบิกจ่ายสินค้าลดลง จากเดิม 50.03 นาที เหลือ 23.51 หรือลดลงร้อยละ 53.01

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ให้เข้าทำการศึกษาวิจัย ขอขอบคุณ คุณนัถปกรณ์ อินทะใจ ผู้ช่วยในการดำเนินโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] StraitsResearch. “Plastic Injection Molding Market”. ข้อมูลจาก https://cutt.ly/k3DLADS (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 เมษายน 2567)

[2] อภิญญา ขนุนทอง. “แนวโน้มธุรกิจอุตสาหกรรมพลาสติก”. ข้อมูลจาก https://rb.gy/b5cv3k (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 เมษายน 2567)

[3] อนุวัฒน์ ทรัพย์พืชผล และ ไพบูลย์ กิจวรวุฒิ. การจัดการคลังสินค้าระดับโลก, พิมพ์ครั้งที่ 1, อี.ไอ.สแควร์ พับลิชชิ่ง, 2549.

[4] A. T. James, and D. S. Jerry. The Warehouse Management Handbook, 2nd ed., Tompkins Associates, 1998.

[5] C.G. Petersen and G. Aase. 2004 “A Comparison of Picking, Storage and Routing Policies in Manual Order Picking”. Int. J. Production Economics, Vol. 92 (1): 11-19.

[6] N. Sooksaksun and V. Kachitvichyanukul. 2012. “A Class-Based Storage Warehouse Design using a Particle Swarm Optimisation Algorithm”. Int. J. Operational Research, Vol. 13 (2): 219-236.

[7] S. Mitra, M. Sukumar and R. Kumar Prince. 2015, “Inventory Control Using FSN Analysis – A Case Study on a Manufacturing Industry”. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 2 (4): 322-325.

[8] กฤชชัย อนรรฆมณี และ เชษฐพงศ์ สินธารา. Visual Control พลังการสื่อสาร เพิ่มประสิทธิภาพองค์การ, พิมพ์ครั้งที่ 1, สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2563.

[9] วันชัย ริจิรวนิช. การศึกษาการทำงานหลักการและกรณีศึกษา, พิมพ์ครั้งที่ 8, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

[10] อุดมพงษ์ เกศศรพงษ์ศา, เอกสารประกอบการสอนวิชาการศึกษางาน, ข้อมูลจาก http://blog.bru.ac.th/wp-content/uploads/bp-attachments/6776.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 13 พฤษภาคม 2567)

[11] แพรพลอย พุฒิพงศ์บวรภัค และปริญ วีระพงษ์. การลดระยะเวลาในการหยิบจ่ายสินค้ากรณีศึกษา บริษัท PP&A จำกัด (in Thai), Proceedings of The 2nd National Conference on Innovation for Learning and Invention 2018, 18 July 2018, Pathum Thani, Thailand.

[12] ปิยะวัฒน์ ปรีดาวัฒน์, วิริยา ปานปรุง และวลัยลักษณ์ อัตธีรวงศ์. 2565. “การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าโดยใช้การจำลองสถานการณ์: กรณีศึกษา บริษัทจำหน่ายก๊าซอุตสาหกรรม.” วารสารสถิติประยุกต์และเทคโนโลยีสารสนเทศ, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2: 26-47.

[13] ถิรนันท์ ทิวาราตรีวิทย์ และวริศรา งามบุญช่วย, การลดระยะเวลาในขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปภายในคลังสินค้ากรณีศึกษาบริษัทฮอลแลนด์สตาร์บรรจุภัณฑ์จำกัด (in Thai), Proceedings of The 2nd National Conference on Innovation for Learning and Invention 2018, 18 July 2018, Pathum Thani, Thailand.

[14] กีรนันท์ ฉัตรศตายุ, ชมพูนุท บุตรสุโพธิ์, ศุภษร เดิมศรีภูมิ, สภัทร์พร สัจนันท์, สุทธิกานต์ ดำสีคง และกุสุมา พิริยาพรรณ. 2566. “การปรับปรุงระบบและตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าเพื่อลดเวลาในการหาและ หยิบสินค้าของคลังสินค้าประเภทบรรจุภัณฑ์ กรณีศึกษาบริษัท ABC จำกัด.” วารสารสหศาสตร์ศรีปทุม, ปีที่ 9, ฉบับที่ 2: 30-47

[15] S. Arunyanart, P. Tangkitipanusawat, and K. Yoshimoto. 2019. “Improving Efficiency on Warehouse Management: A Case Study of Beverage Company’s Distribution Center”. Asia-Pacific Journal of Science and Technology, Vol. 24 (3) : 1-11.

[16] Candrianto, F. Aulia, M. A. Gusti, M. Novenica and E. Juniardi. 2019. “Analysis of Placement Maximizing Planning in Warehouse Using FSN Analysis Using Class Based Storage Method (Case Study: PT. XYZ)”. Advances in Economics, Business and Management Research, Vol. 124 (1): 682-695.

[17] ศุภชัย นาทะพันธ์. การควบคุมคุณภาพ (QUALITY CONTROL), พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ Se-ed, 2566.

[18] J.A. Tompkins, J.A. White, Y.A. Bozer, and J.M.A. Tanchoco. Facilities Planning, 4th ed., NY: Wiley, 2010.

การเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์เพื่อหาเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการวางแผนการผลิตมอเตอร์และปั๊มน้ำ

Comparison of Forecasting Techniques to Find the Most Suitable Forecasting Technique for Motor and Water Pump Production Planning

เกษรินทร์ พูลทรัพย์[1*] ชญาดา อบเทียน[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: phoonsup_k@silpakorn.edu*

Kedsarin Phoonsup[1*], Chayada Obtean[1]
[1]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: phoonsup_k@silpakorn.edu*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์เพื่อหาเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวางแผนการผลิตมอเตอร์และปั๊มน้ำโดยใช้โปรแกรม Minitab ผลการศึกษาพบว่า เทคนิคการพยากรณ์ที่มีดัชนีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดของผลิตภัณฑ์มอเตอร์ คือ เทคนิคการพยากรณ์ Decomposition รูปแบบ Multiplicative ลักษณะ Seasonal Only เมื่อนำเทคนิคนี้มาทำการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 เดือน ในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ 2567 และทำการเปรียบเทียบกับเทคนิคการพยากรณ์แบบเดิมของบริษัท พบว่าในเดือนมกราคมสามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ลงได้เฉลี่ยร้อยละ 41.37 และในเดือนกุมภาพันธ์สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ลงได้เฉลี่ยร้อยละ 48.73 ส่วนเทคนิคการพยากรณ์ที่มีดัชนีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดของผลิตภัณฑ์เครื่องปั๊มน้ำ คือ เทคนิคการพยากรณ์ Decomposition รูปแบบ Multiplicative ลักษณะ Trend Plus Seasonal และเมื่อนำเทคนิคนี้มาทำการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 เดือน และเปรียบเทียบกับเทคนิคการพยากรณ์แบบเดิมของบริษัท พบว่าในเดือนมกราคมสามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ลงได้เฉลี่ยร้อยละ 22.14 และในเดือนกุมภาพันธ์สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ลงได้เฉลี่ยร้อยละ 68.31

คำสำคัญ: เทคนิคการพยากรณ์, การวางแผนการผลิต, มอเตอร์, ปั๊มน้ำ

Abstract

This research aims to compare forecasting techniques in order to identify the most suitable forecasting technique for motor and water pump production planning using Minitab software. The study results showed that the forecasting technique with the lowest error index for motors is the Decomposition forecasting method with the Multiplicative model, Seasonal Only pattern. When this technique was applied for a 2-month ahead forecast, January and February, 2024, and then compared with the company's previous forecasting method, it was found that in, the forecasting error was reduced by an average of 41.37%, and in February, it was reduced by an average of 48.73%. The forecasting technique with the lowest error index for water pumps is the Decomposition forecasting method with the Multiplicative model, Trend Plus Seasonal pattern. When this technique was applied for a 2-month ahead forecast and compared with the company's previous forecasting method, it was found that in January, the forecasting error was reduced by an average of 22.14%, and in February, it was reduced by an average of 68.31%.

Keywords: Forecasting Techniques, Production Planning, Motor, Water Pump

1. บทนำ

อุตสาหกรรมมอเตอร์เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานเพราะมอเตอร์ถูกใช้ในหลายอุตสาหกรรมเพื่อให้พลังงานในการเคลื่อนที่กับเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ [1] เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่ขาดไม่ได้ในการสร้างความทันสมัยให้กับเศรษฐกิจ จึงเกิดโรงงานผลิตมอเตอร์จำนวนมากและมีการแข่งขันสูงขึ้น ไม่ใช่แค่ในประเทศ แต่เป็นการแข่งขันทั่วโลก เพราะมีหลายประเทศที่มีการผลิตมอเตอร์ส่งออก [2] และอุตสาหกรรมปั๊มน้ำเป็นส่วนสำคัญของการผลิตและการให้บริการที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำในหลาย ๆ ด้าน เช่น การเกษตร, อุตสาหกรรม และสถานีบริการน้ำประปา ดังนั้นเพื่อให้โรงงานผลิตมอเตอร์และปั๊มน้ำกรณีศึกษาสามารถแข่งขันในอุตสาหกรรมนี้ได้ จะต้องมีการบริหารให้ต้นทุนต่ำที่สุด เช่น ต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนการผลิต ต้นทุนสินค้าคงคลัง เป็นต้น และเพื่อการรับมือกับความเปลี่ยนแปลงของความต้องการของลูกค้า โรงงานจะต้องทำให้กระบวนการผลิตมีความพร้อม และสามารถรับมือต่อความเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นได้โดยทันท่วงทีเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อบริษัทให้น้อยที่สุด ดังนั้นเทคนิคการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยจึงมีบทบาทในการวางแผนผลิตเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพื่อให้กระบวนการผลิตสามารถทำงานได้อย่างราบรื่น มีประสิทธิภาพ ต้นทุนต่ำ และสามารถส่งมอบสินค้าได้ตรงตามความต้องการของลูกค้า [3], [4], [5]

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตมอเตอร์และเครื่องปั๊มน้ำ ซึ่งมีลักษณะการผลิต 2 ลักษณะ คือ ผลิตตามคำสั่งซื้อ (Make to Order) สำหรับสินค้ารุ่น Special และผลิตเพื่อรอจำหน่าย (Make to stock) จะเป็นลักษณะการผลิตหลักของบริษัทกรณีศึกษา โดยการผลิตแบบ Make to Stock จะวางแผนการผลิตตามข้อมูลพยากรณ์ที่มาจากฝ่ายขาย ซึ่งข้อมูลการพยากรณ์จากฝ่ายขายจะมีการส่งมาให้ 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 เป็นข้อมูลการพยากรณ์รายเดือน ล่วงหน้าจำนวน 12 เดือน และรูปแบบที่ 2 เป็นการติดตามยอดขายปัจจุบันและปรับค่าพยากรณ์รายเดือนให้สอดคล้องกับยอดขาย โดยมีการพยากรณ์ล่วงหน้าเพียง 1 เดือน ซึ่งทางฝ่ายผลิตจะใช้ข้อมูลจากการพยากรณ์รูปแบบที่ 2 นี้เป็นแผนการผลิต แต่เนื่องจากการพยากรณ์ในรูปแบบที่ 2 จะพยากรณ์ล่วงหน้าเพียง 1 เดือน ทำให้เกิดผลกระทบต่อการสั่งซื้อวัตถุดิบ เนื่องจากระยะเวลานำสำหรับการสั่งซื้อวัตถุดิบมีระยะเวลาที่ยาวนานกว่า 1 เดือน และข้อมูลจำนวนสินค้าที่ได้จากการพยากรณ์รูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ของฝ่ายขายมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งทำให้ยากต่อการประเมินปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรมีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดเพียง 1 รูปแบบ เพื่อให้การวางแผนการผลิตและการสั่งซื้อวัตถุดิบทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

เพื่อระบุเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวางแผนการผลิตมอเตอร์และเครื่องปั๊มน้ำของบริษัทกรณีศึกษา

3. ขอบเขต

1) การศึกษาครั้งนี้จะทำการพยากรณ์ยอดขายผลิตภัณฑ์มอเตอร์และเครื่องปั๊มน้ำกลุ่ม A เท่านั้น ซึ่งคือกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่ามาก คิดเป็นร้อยละ 70 ของมูลค่าทั้งหมด และเป็นกลุ่มที่มีจำนวนรุ่นน้อยที่สุด ตามทฤษฎี ABC Analysis โดยยึดตามมูลค่ายอดขายผลิตภัณฑ์ (ราคาขาย x จำนวนที่ขายได้)

2) ใช้ข้อมูลยอดขายและข้อมูลการพยากรณ์จากเทคนิคปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา ในช่วงเดือนมกราคม 2564 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2567 รวมเป็นข้อมูลทั้งสิ้น 38 เดือน

3) เครื่องมือที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ โปรแกรม Minitab [6], [7], [8]

4) ทำการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ของเทคนิคปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา ทั้ง 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 การพยากรณ์รายเดือนล่วงหน้าเป็นระยะเวลา 12 เดือน และ รูปแบบที่ 2 การพยากรณ์ที่มีการปรับค่าพยากรณ์ตามยอดขายปัจจุบัน โดยมีการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 เดือน กับเทคนิคการพยากรณ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจากเทคนิคการพยากรณ์แบบ Trend, Decomposition, Moving Average, Exponential และ Winter's Method ซึ่งตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อนของเทคนิคต่าง ๆ ข้างต้น กับยอดขายจริง โดยมีระยะเวลาในการเปรียบเทียบ 2 เดือน คือ เดือนมกราคม 2567 และเดือนกุมภาพันธ์ 2567

4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) รวบรวมข้อมูลยอดขายผลิตภัณฑ์มอเตอร์และปั๊มน้ำของบริษัทกรณีศึกษาในช่วงเดือนมกราคม 2564 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2567 เพื่อทำการแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ ตามทฤษฎี ABC Analysis และเลือกเฉพาะผลิตภัณฑ์กลุ่ม A มาทำการวิเคราะห์

2) รวบรวมข้อมูลยอดขายและข้อมูลการพยากรณ์โดยเทคนิคแบบเก่าของบริษัทกรณีศึกษา ของผลิตภัณฑ์มอเตอร์ กลุ่ม A และปั๊มน้ำกลุ่ม A ในช่วงเดือนมกราคม 2564 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2567 รวมเป็นข้อมูลทั้งสิ้น 38 เดือน

3) ทำการพยากรณ์ยอดขายของผลิตภัณฑ์มอเตอร์และปั๊มน้ำแต่ละรุ่น ที่อยู่ในกลุ่ม A โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบ Trend, Decomposition, Moving Average, Exponential และ Winter's Method และหาค่าดัชนีความคลาดเคลื่อน 3 ค่า คือ MAD, MSD และ MAPE [9], [10], [11] จากการใช้เทคนิคการพยากรณ์แต่ละเทคนิค ของผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น โดยใช้โปรแกรม Minitab

4) เนื่องจากผลิตภัณฑ์กลุ่ม A มีจำนวนหลายรุ่น จึงทำการหาค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย MAD, MSD และ MAPE เพื่อเป็นตัวแทนค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์แต่ละเทคนิค และเลือกเทคนิคการพยากรณ์ที่มีค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด เพื่อใช้เป็นเทคนิคการพยากรณ์ของผลิตภัณฑ์มอเตอร์และปั๊มน้ำ

5) ทำการพยากรณ์ยอดขายผลิตภัณฑ์มอเตอร์ กลุ่ม A และปั๊มน้ำกลุ่ม A ในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ 2567 โดยใช้เทคนิคการ

พยากรณ์ที่มีค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุดที่เลือกมาจากขั้นตอนก่อนหน้า

6) นำข้อมูลการพยากรณ์ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับยอดขายจริงในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ 2567 และหาค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบเก่าทั้ง 2 รูปแบบ

5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการวิเคราะห์หาเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความความเคลื่อนของเทคนิคการพยากรณ์ต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์มอเตอร์

เทคนิคการพยากรณ์	รูปแบบ	ลักษณะ	ดัชนีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		
			MAPE	MAD	MSE
Trend	Linear		436.26	216.12	159,526.84
	Exponential Growth		246.19	215.32	188,574.39
	Quadratic		454.96	210.45	152,201.81
Decomposition	**Multiplicative**	Trend Plus Seasonal	56.23	92.56	45,481.00
		Seasonal Only	**54.55**	**110.52**	**69,949.41**
	Additive	Trend Plus Seasonal	116.46	89.49	34,145.94
		Seasonal Only	76.93	108.75	55,784.98
Moving Average	3		705.09	286.34	241747.96
	5		3924.23	268.93	212240.63
Exponential	Single Exponential Smoothing		559.98	236.34	173,488.04
	Double Exponential Smoothing		688.15	259.68	234,851.55
Winter's Method	Multiplicative		60.18	98.53	38,818.17
	Additive		183.11	113.47	40,939.65

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าความความเคลื่อนของเทคนิคการพยากรณ์ต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ปั๊มน้ำ

เทคนิคการพยากรณ์	รูปแบบ	ลักษณะ	ดัชนีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		
			MAPE	MAD	MSE
Trend	Linear		97.94	125.13	45,705.45
	Exponential Growth		78.58	126.44	51,610.28
	Quadratic		91.72	121.89	44,845.72
Decomposition	**Multiplicative**	**Trend Plus Seasonal**	**31.54**	**57.76**	**13,030.27**
		Seasonal Only	38.43	71.14	23,662.54
	Additive	Trend Plus Seasonal	35.81	62.91	14,939.7
		Seasonal Only	38.10	72.33	22,344.21
Moving Average	3		127.44	144.90	64,478.48
	5		118.88	126.08	63,500.82
Exponential	Single Exponential Smoothing		112.43	137.26	51,421.52
	Double Exponential Smoothing		121.59	142.69	64,511.83
Winter's Method	Multiplicative		36.34	66.86	14,972.81
	Additive		48.40	74.73	17,589.99

เมื่อพิจารณาค่า MAPE (Mean Absolute Percentage Error) หรือค่าผิดพลาดเปอร์เซ็นต์สัมบูรณ์เฉลี่ย โดยที่ค่าผิดพลาดจะถูกวัดเป็นค่าสัมบูรณ์ ช่วยให้คำนวณความแม่นยำได้โดยที่ตัวเลขบวกและลบไม่หักล้างกัน ซึ่งทำให้การพยากรณ์มีความน่าเชื่อถือ และเข้าใจง่าย เนื่องจากเป็นค่าที่แสดงถึงขนาดของความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าเทคนิคการพยากรณ์ที่มีดัชนีค่าความเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุดของผลิตภัณฑ์มอเตอร์ คือ เทคนิคการพยากรณ์ Decomposition รูปแบบ Multiplicative ลักษณะ Seasonal Only และจากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า เทคนิคการพยากรณ์ที่มีดัชนีค่าความเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด ของผลิตภัณฑ์ปั๊มน้ำ คือ เทคนิคการพยากรณ์ Decomposition รูปแบบ Multiplicative ลักษณะ Trend Plus Seasonal

5.2 ผลการหาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพยากรณ์กับยอดขาย

หลังจากได้เทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์มอเตอร์และปั๊มน้ำแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการพยากรณ์ยอดขายผลิตภัณฑ์มอเตอร์กลุ่ม A และปั๊มน้ำ กลุ่ม A ในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ 2567 โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ดังกล่าว และนำข้อมูลการพยากรณ์ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับยอดขายจริงในเดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ 2567 และหาค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบเก่าทั้ง 2 รูปแบบ ดังการเปรียบเทียบในตารางที่ 3, 4, 5 และ 6

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มอเตอร์ในเดือนมกราคม 2567

รุ่นผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม A	ยอดขายจริง (ชิ้น)	ค่าพยากรณ์ (ชิ้น)			ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับยอดขายจริง (ชิ้น)		
		Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 1	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 2	เทคนิค Decomposition-Multiplicative Seasonal only	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 1	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 2	เทคนิค Decomposition-Multiplicative Seasonal only
M-7	749	800	600	714	51	258	35
M-82	623	400	300	160	223	323	463
xxx	…	…	…	…	…	…	…
M-93	25	50	50	34	25	25	9
รวมทุกรุ่น					**3,012**	**3,223**	**1,826**

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มอเตอร์ในเดือนกุมภาพันธ์ 2567

รุ่นผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม A	ยอดขายจริง (ชิ้น)	ค่าพยากรณ์ (ชิ้น)			ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับยอดขายจริง (ชิ้น)		
		Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 1	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 2	เทคนิค Decomposition-Multiplicative Seasonal only	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 1	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 2	เทคนิค Decomposition-Multiplicative Seasonal only
M-7	942	900	1000	838	42	58	104
M-82	173	400	300	284	227	127	111
xxx	…	…	…	…	…	…	…
M-8	154	350	300	151	196	146	3
รวมทุกรุ่น					**4,455**	**2,715**	**1,730**

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์ปั๊มน้ำในเดือนมกราคม 2567

รุ่นผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม A	ยอดขายจริง (ชิ้น)	ค่าพยากรณ์ (ชิ้น)			ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับยอดขายจริง (ชิ้น)		
		Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 1	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 2	เทคนิค Decomposition-Multiplicative Seasonal only	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 1	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 2	เทคนิค Decomposition-Multiplicative Seasonal only
P-8	608	600	600	624	8	8	16

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์ปั๊มน้ำในเดือนมกราคม 2567 (ต่อ)

รุ่นผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม A	ยอดขายจริง (ชิ้น)	ค่าพยากรณ์ (ชิ้น)			ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับยอดขายจริง (ชิ้น)		
		Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 1	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 2	เทคนิค Decomposition-Multiplicative Seasonal only	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 1	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 2	เทคนิค Decomposition-Multiplicative Seasonal only
P-12	337	600	600	296	263	263	41
xxx	...	...	...	...	...	...	...
P-44	38	50	50	23	12	12	15
รวมทุกรุ่น					**2,235**	**2,235**	**1,740**

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์ปั๊มน้ำในเดือนกุมภาพันธ์ 2567

รุ่นผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม A	ยอดขายจริง (ชิ้น)	ค่าพยากรณ์ (ชิ้น)			ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับยอดขายจริง (ชิ้น)		
		Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 1	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 2	เทคนิค Decomposition-Multiplicative Seasonal only	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 1	Forecast แบบเก่า รูปแบบที่ 2	เทคนิค Decomposition-Multiplicative Seasonal only
P-8	474	600	600	446	126	126	28
P-12	432	600	600	371	168	168	61
xxx	…	…	…	…	…	…	…
P-44	23	50	50	24	27	27	1
รวมทุกรุ่น					**2,875**	**2,875**	**911**

ตารางที่ 3, 4, 5 และ 6 เป็นการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ โดยสามารถยกตัวอย่างอธิบายได้ดังนี้ การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มอเตอร์ในเดือนมกราคม 2567 ดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนของผลิตภัณฑ์ทุกรุ่นในกลุ่ม A มารวมกัน พบว่าเทคนิคการพยากรณ์แบบเก่ารูปแบบที่ 1 นั้นมีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับยอดขายจริง จำนวน 3,012 ชิ้น และเทคนิคการพยากรณ์แบบเก่ารูปแบบที่ 2 มีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับยอดขายจริง จำนวน 3,223 ชิ้น ในขณะที่เทคนิคการพยากรณ์แบบใหม่ (Decomposition-Multiplicative Seasonal Only) มีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับยอดขายจริง เพียง 1,826 ชิ้น

โดยจำนวนชิ้นที่คลาดเคลื่อนนี้เป็นค่าสัมบูรณ์ เพื่อทำให้คำนวณความแม่นยำได้โดยที่ตัวเลขบวกและลบไม่หักล้างกัน ซึ่งทำให้การพยากรณ์มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งในบางผลิตภัณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนจะเป็นค่าบวกซึ่งหมายถึงยอดขายจริงสูงกว่าค่าพยากรณ์ แต่ทั้งนี้จะไม่กระทบต่อการขาย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษาเป็นการประกอบตามสั่ง จึงมีการผลิตชิ้นส่วนไว้เป็นสินค้าคงคลังในระดับที่ปลอดภัย (Safety Stock) อยู่แล้วส่วนหนึ่ง จึงทำให้บริษัทยังสามารถประกอบเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อส่งมอบตามคำสั่งซื้อของลูกค้าได้

ผู้วิจัยจึงได้ทำการสรุปผลการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ของมอเตอร์ในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ 2567 ได้ดังตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มอเตอร์ในเดือนมกราคม 2567

ค่าคลาดเคลื่อน	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
พยากรณ์แบบเก่า	3,012 ชิ้น	3,223 ชิ้น
พยากรณ์แบบใหม่	1,826 ชิ้น	
ค่าคลาดเคลื่อนลดลง	1,186 ชิ้น	1,397 ชิ้น
ค่าคลาดเคลื่อนลดลง	ร้อยละ 39.38	ร้อยละ 43.35
ค่าคลาดเคลื่อนลดลงเฉลี่ย	ร้อยละ 41.37	

ตารางที่ 8 ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มอเตอร์ในเดือนกุมภาพันธ์ 2567

ค่าคลาดเคลื่อน	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
พยากรณ์แบบเก่า	4,455 ชิ้น	2,715 ชิ้น
พยากรณ์แบบใหม่	1,730 ชิ้น	
ค่าคลาดเคลื่อนลดลง	2,725 ชิ้น	985 ชิ้น
ค่าคลาดเคลื่อนลดลง	ร้อยละ 61.17	ร้อยละ 36.28
ค่าคลาดเคลื่อนลดลงเฉลี่ย	ร้อยละ 48.73	

และผลการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ของเครื่องปั๊มน้ำในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ 2567 แสดงได้ดังตารางที่ 9 และ 10

ตารางที่ 9 ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์เครื่องปั๊มน้ำในเดือนมกราคม 2567

ค่าคลาดเคลื่อน	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
พยากรณ์แบบเก่า	2,235 ชิ้น	2,235 ชิ้น
พยากรณ์แบบใหม่	1,740 ชิ้น	
ค่าคลาดเคลื่อนลดลง	495 ชิ้น	495 ชิ้น
ค่าคลาดเคลื่อนลดลง	ร้อยละ 22.14	ร้อยละ 22.14
ค่าคลาดเคลื่อนลดลงเฉลี่ย	ร้อยละ 22.14	

ตารางที่ 10 ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์เครื่องปั๊มน้ำในเดือนกุมภาพันธ์ 2567

ค่าคลาดเคลื่อน	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
พยากรณ์แบบเก่า	2,875 ชิ้น	2,875 ชิ้น
พยากรณ์แบบใหม่	911 ชิ้น	
ค่าคลาดเคลื่อนลดลง	1,964 ชิ้น	1,964 ชิ้น
ค่าคลาดเคลื่อนลดลง	ร้อยละ 68.31	ร้อยละ 68.31
ค่าคลาดเคลื่อนลดลงเฉลี่ย	ร้อยละ 68.31	

6. สรุปผล

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการพยากรณ์ที่มีดัชนีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดของผลิตภัณฑ์มอเตอร์ คือ เทคนิคการพยากรณ์ Decomposition รูปแบบ Multiplicative ลักษณะ Seasonal Only เมื่อนำเทคนิคนี้มาทำการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 เดือน ในเดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ 2567 และทำการเปรียบเทียบกับเทคนิคการพยากรณ์แบบเดิมของบริษัท พบว่าในเดือนมกราคมสามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ลงได้เฉลี่ยร้อยละ 41.37 และในเดือนกุมภาพันธ์สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ลงได้เฉลี่ยร้อยละ 48.73 ส่วนเทคนิคการพยากรณ์ที่มีดัชนีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดของผลิตภัณฑ์เครื่องปั๊มน้ำ คือ เทคนิคการพยากรณ์ Decomposition รูปแบบ Multiplicative ลักษณะ Trend Plus Seasonal และเมื่อนำเทคนิคนี้มาทำการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 เดือน ในเดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ 2567 และทำการเปรียบเทียบกับเทคนิคการพยากรณ์แบบเดิมของบริษัท พบว่าในเดือนมกราคมสามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ลงได้เฉลี่ยร้อยละ 22.14 และในเดือนกุมภาพันธ์สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ลงได้เฉลี่ยร้อยละ 68.31 ซึ่งเทคนิคการพยากรณ์ทั้งสองเทคนิคนี้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้สำหรับการพยากรณ์ผลิตภัณฑ์มอเตอร์และปั๊มน้ำเฉพาะกลุ่ม A ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ตามหลักทฤษฎี ABC Analysis ของบริษัทกรณีศึกษาเท่านั้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้บริหาร ตลอดจนพนักงานทุกคนของบริษัทกรณีศึกษาในการให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่สำคัญ รวมถึงให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลเพื่อดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในการสนับสนุนทรัพยากรคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม Minitab เพื่อใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr, C., & Umans, S. D. 1983. Electric machinery. McGraw-Hill Education.

[2] Teamwork global group. 2562. ประวัติการพัฒนาและการใช้งานของโรงงานผลิตมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. เข้าถึงเมื่อ 4 ธันวาคม 2566. เข้าถึงได้จาก https://th.twmotor.net/info/the-development-history-and-application-field-37839283.html.

[3] Taesombut, S. 2006. Quantitative Forecasting. 1st ed., Kasetsart University Printing, Bangkok (In Thai).

[4] Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. 2006. Operations Management for Competitive Advantage. McGraw-Hill Education.

[5] Jacobs, F.R., Chase, R.B., & Aquilano, N.J. 2008. Operations and supply chain management. McGraw-Hill Education.

[6] Ryan, T. P., Joiner, B. L., & Ryan, B. F. 2018. Minitab Demystified. McGraw-Hill Education.

[7] ชลทิชา จำรัสพร. Minitab Statistical Software: สถิติเบื้องต้น (Basic Statistics). เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 มกราคม 2567. เข้าถึงได้จาก https://www.solutioncenterminitab.com/blog/basicstat-book/

[8] ปรัชญา พละพันธุ์. 2566. คู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติด้วย MINITAB (ฉบับมืออาชีพ). พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[9] ทรงศิริ แต้สมบัติ. 2539. เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

[10] ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์. 2556. เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ: การวิเคราะห์อนุกรมเวลา. พิมพ์ครั้งที่ 1, นครปฐม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล.

[11] อัจฉรา จันทร์ฉาย. 2557. การพยากรณ์เพื่อการตัดสินใจทางธุรกิจ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การปรับปรุงประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบปฏิบัติการของสายการผลิตขนมอบกรอบ

Improving Operational Availability of A Crispy Pastry Production Line

จันทร์ฑา นาควชิรตระกูล[1] กฤษดา ประสพชัยชนะ[1*] สุนิสา คำสุข[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: krisadap@eng.buu.ac.th*

Chantra Nakvachiratrakul[1], Kritsada Prasopchaichana[1*], Sunisa Khamsuk[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: krisadap@eng.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

การปรับปรุงประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบ (Operational Availability: A_o) ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตเป็นวิธีการหนึ่งของการเพิ่มผลผลิต โรงงานกรณีศึกษาเป็นสถานประกอบการขนาดย่อม (SME) ผลิตขนมอบกรอบ โดยสายการผลิตขนมอบกรอบ WF3 มีประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบเท่ากับ 87.14% และมีของเสียมากกว่า 3.76% ซึ่งเกิดจากปัญหาความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อย การศึกษานี้ได้ศึกษาข้อมูลความขัดข้องล้มเหลวและค้นหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาด้วยการระดมสมอง และแก้ปัญหาความขัดข้องล้มเหลวที่รากเหง้าของปัญหาซึ่งเกิดจากการขาดระบบการจัดการบำรุงรักษาที่ดี แนวทางการแก้ปัญหาประกอบด้วยการปรับปรุงชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อยให้สามารถบำรุงรักษาง่าย สังเกตเห็นความผิดปกติได้ง่าย กำหนดแผนบำรุงรักษาที่จำเป็นเพิ่มขึ้น การประยุกต์กิจกรรมการบำรุงรักษาด้วยตนเอง การพัฒนามาตรฐานงานซ่อมบำรุงและการพัฒนาทักษะการซ่อมบำรุง ผลของการปรับปรุงดังกล่าวทำให้สายการผลิตขนมอบกรอบ WF3 มีประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบ (A_o) เพิ่มขึ้นเป็น 97.85% เป็นไปตามเป้าหมายของผู้บริหาร

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพปฏิบัติการใช้ระบบ การบำรุงรักษาด้วยตนเอง ลักษณะความขัดข้องล้มเหลว

Abstract

Improving Operational Availability (A_o) of manufacturing machines is a method of the productivity improvement. The case study factory is a small enterprise (SME) producing crispy baked snack. The crispy pastry production line WF3 has an operational availability less than 90% and defect more than 3.76%. This research aims to analyze the root causes of the failure modes of the production line WF3. The improvements were conducted by adding proactive maintenance tasks for an autonomous maintenance, improving parts for an easy preventive maintenance, establishing additional maintenance plans for equipment components and developing maintenance skills. The result showed an increment in operational availability to 97.85% toward the firm target.

Keywords: Operational Availability, Autonomous maintenance, Failure modes

1. บทนำ

สถานประกอบการกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตขนมอบกรอบขนาดกลาง (SME) มีการผลิตขนมอบกรอบหลายชนิดรวมถึงขนมอบกรอบชนิด T สำหรับกรณีศึกษาซึ่งผลิตในสายการผลิต WF3 โดยใช้เครื่องจักรหลัก 2 ชนิด คือ เครื่องอบแผ่นแป้งและเครื่องขึ้นรูปที่ทำงานสัมพันธ์ต่อเนื่องกัน จากรายงานประสิทธิภาพเครื่องจักรของหน่วยงานผลิตพบว่าสายการผลิตขนมอบกรอบชนิด T มีประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบ (Operational Availability: A_o) เท่ากับ 87.14% ในขณะที่มีปัญหาขนมอบกรอบแตก ร้าว ผิดรูป เกิดเป็นของเสียมากกว่า 3.76% ทำให้การผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการผลิตตามเป้าหมายการประมาณการยอดขายของบริษัท ซึ่งคาดการณ์ว่าจะมีเพิ่มขึ้นประมาณ 20% ผู้บริหารจึงกำหนดให้มีการปรับปรุงเครื่องจักรในสายการผลิตขนมอบกรอบ WF3 ให้มีประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบมากกว่า 95% และลดของเสียลงให้เหลือน้อยกว่า 2.0% ในการศึกษานี้จึงนำเสนอแนวคิดการเพิ่มผลผลิตของสายการผลิตขนมอบกรอบด้วยการแก้ไขปัญหาความขัดข้องล้มเหลวของเครื่องจักรที่สาเหตุรากเหง้าของปัญหาและการปรับปรุงระบบซ่อมบำรุงของสถานประกอบการด้วยวิธีการที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากเกินไปและเหมาะสำหรับโรงงานผลิตขนาดกลางนี้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและแนวคิดที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ ประกอบด้วย

2.1 ประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบปฏิบัติการ (Operational Availability)

ประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบปฏิบัติการ (Operational Availability: A_o) เป็นดัชนีวัดค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักรและระบบปฏิบัติการในช่วงเวลาที่สนใจศึกษา[1] ซึ่งพิจารณาช่วงใช้ประโยชน์เครื่องจักรซึ่งเรียกว่าเวลาปฏิบัติการเดินเครื่องจักร (Running Time: RT) ตามกำหนดในแผนการผลิต และเวลาปฏิบัติการทั้งหมดของระบบ (Operating Time: OT) ซึ่งจะรวมถึงเวลาหยุดชะงักของระบบที่เกิดในระหว่างการดำเนินการผลิตด้วยเครื่องจักร โดยมีผลต่อประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักร ค่าประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบปฏิบัติการถูกกำหนดให้เป็นสัดส่วนของเวลาปฏิบัติการเดินเครื่องจักร RT ต่อเวลาปฏิบัติการของระบบ OT ตามที่แสดงในสมการที่ (1)

$$A_o = RT/OT \quad (1)$$

2.2 การบำรุงรักษาตามแผนใน TPM

การบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance: TPM) ถูกจัดให้เป็นรูปแบบการบำรุงรักษาสมัยใหม่ระดับสากล (World Class Maintenance) อย่างหนึ่งที่มีมุมมองของการจัดการระบบการบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิผลโดยรวมสูงสุดโดยพิจารณาผลกระทบต่อธุรกิจที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่มีการใช้เครื่องจักรเป็นหลัก โดยมีกิจกรรม 3 ใน 8 เสาหลัก คือ การบำรุงรักษาตามแผน (Planned Maintenance: PM) การบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous Maintenance: AM) และการบำรุงรักษาคุณภาพตามแผน (Planned Quality Maintenance: QM) เป็นกิจกรรมบำรุงรักษาเครื่องจักรให้ปราศจากความบกพร่องและรักษาประสิทธิภาพให้อยู่ในระดับความสามารถการผลิตอย่างน้อยตามแผนการผลิตของสถานประกอบการ [2], [3]

2.3 การบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความน่าเชื่อถือได้เป็นสำคัญ (RCM)

การบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความน่าเชื่อถือได้เป็นสำคัญ (Reliability-Centered Maintenance: RCM) เป็นแนวคิดการบำรุงรักษาที่แสดงให้เห็นว่าอัตราความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อยของเครื่องจักรในแต่ละช่วงเวลาที่ใช้งานหนึ่งๆ อาจจะมีค่าที่ลดลง คงที่ หรือเพิ่มขึ้นก็ได้ ทำให้สามารถกำหนดภารกิจซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับรูปแบบอัตราความขัดข้องล้มเหลวเหล่านี้ [4],[5] RCM เป็นกระบวนการทางตรรกะที่มีโครงสร้างในการกำหนดแนวทางบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิผล โดยลดหรือขจัดงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เกินความจำเป็น การพิจารณากิจกรรมการบำรุงรักษาทางเลือกจะได้มาจากการวิเคราะห์ต้นไม้ตรรกะ (Logic tree analysis: LTA) โดยมีจุดมุ่งหมาย คือ การประเมินความเป็นไปได้ทางเทคนิคและความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละทางเลือกภารกิจซ่อมบำรุงสำหรับแต่ละลักษณะความขัดข้องล้มเหลว

3. สภาพปัญหา

ขนมอบกรอบชนิด T ที่มีรูปทรงเป็นแท่งทรงกระบอกกลวงทำการผลิตในสายการผลิต WF3 ซึ่งใช้เครื่องจักรหลัก 2 ชนิด คือ เครื่องอบแผ่นแป้งและเครื่องขึ้นรูปที่ทำงานสัมพันธ์ต่อเนื่องกัน กระบวนการผลิตเริ่มจากการเตรียมน้ำแป้งจากห้องเตรียมน้ำแป้ง ลำเลียงน้ำแป้งไปยังเตาอบต่อเนื่องแบบหมุนเวียนที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง หลังจากนั้นแผ่นขนมอบที่ยังร้อนและนุ่มอยู่จะถูกส่งเข้าจานแม่พิมพ์เครื่องปั่นขึ้นรูปและปลดขนมอบกรอบออกจากแม่พิมพ์เพื่อลำเลียงบนสายพานลำเลียงไปบรรจุลงถุงและกล่องต่อไป

จากข้อมูลประสิทธิภาพเครื่องจักรของหน่วยงานผลิตพบว่าสายการผลิต WF3 มีประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบปฏิบัติการ (Operational Availability: A_o เท่ากับ 87.14% เนื่องจากชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อยของเครื่องขึ้นรูปขนมอบกรอบโดยเฉพาะที่จานเบ้าแม่พิมพ์ขึ้นรูป ระบบเพลาและเฟืองส่งกำลังที่ขาดการบำรุงรักษาที่ดีเพียงพอ ทำให้ชิ้นส่วนเหล่านี้เกิดการชำรุดสึกหรอสะสม การขึ้นรูปขนมระหว่างแม่พิมพ์กดกับเบ้าแม่พิมพ์ทำงานขาดความแม่นยำ ทำให้ชิ้นขนมมีปัญหาแตก ร้าว เสียรูป การตรวจสอบชิ้นขนมจะพบของเสียตลอดเวลาซึ่งถ้าพบว่าของเสียเกิดขึ้นสูงกว่า 7.0% พนักงานควบคุมคุณภาพจะแจ้งให้หยุดการผลิตเพื่อแก้ไขทันที การแก้ไขจะเป็นการแก้ไขแบบประคับประคอง ปรับแต่ง ขันแน่นส่วนที่การยึดคลายตัว

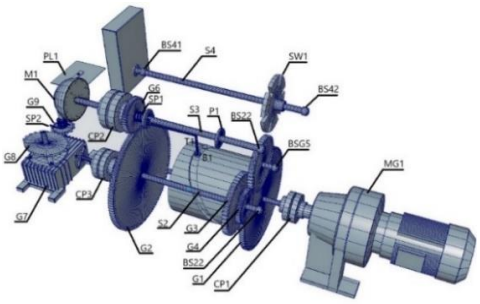
จนกว่าจะพบว่าของเสียลดต่ำกว่า 2.0% จึงเริ่มผลิตต่อ แต่การแก้ไขแบบประคับประคองนี้เป็นการแก้ไขเฉพาะหน้า แนวโน้มของเสียก็จะเพิ่มขึ้นได้อีกหลังการแก้ไขดังกล่าว จึงทำให้มีปัญหาของเสียโดยรวมมากกว่า 3.76% เหตุนี้จึงทำให้ความสามารถผลิตของเครื่องขึ้นรูปขนมอบกรอบไม่เพียงพอต่อความต้องการผลิตตามเป้าหมาย

4. การดำเนินการ

การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรของสถานประกอบการตัวอย่างเพื่อให้มีประสิทธิภาพความพร้อมใช้ระบบ (A_o) เพิ่มขึ้นมากกว่า 95% โดยการลดเวลาหยุดชะงักของเครื่องจักรที่ขัดข้อง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อกำลังการผลิตขนมอบกรอบชนิด T จึงได้แบ่งขั้นตอนดำเนินการเป็นขั้นๆ ประกอบด้วย 1) การรวบรวมข้อมูลความขัดข้องล้มเหลวและตรวจสอบสภาพความบกพร่องของเครื่องจักรในสายการผลิต WF3 2) การวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาความขัดข้องล้มเหลวของเครื่องจักร 3) การศึกษาอัตราความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อย และ 4) การแก้ไขความบกพร่องและการกำหนดภารกิจบำรุงรักษาที่เหมาะสม

4.1 การรวบรวมข้อมูลความขัดข้องล้มเหลวและตรวจสอบสภาพความบกพร่องของเครื่องจักร

การทำงานร่วมกันโดยรวมของชิ้นส่วนย่อยเครื่องขึ้นรูปขนมอบกรอบ มอเตอร์เกียร์ MG1 เป็นต้นกำลังขับหมุนเพลา S1 ล้อแทร็ก D1 และเฟืองหลัก G1 ขับระบบทั้งหมด เฟืองหลัก G1 ส่งกำลังขับ G2 G3 และเฟือง G4 ที่ต่อร่วมกันบนเพลา S2 เพื่อขับเพลา S3 S4 และเฟือง G5 หมุน การหมุนของล้อ D1 มีผลทำให้แขนกวาด T1 เคลื่อนที่ซ้ายหรือขวาเพื่อเคลื่อนแม่พิมพ์กด M1 บนเพลา S3 เข้ากดขึ้นรูปขนมอบกรอบ เพลา S4 ขยับหมุนทีละ 1 ช่องบนจาน Star wheel SW1 เพื่อจัดตำแหน่งเบ้าแม่พิมพ์ให้ตรงกับแม่พิมพ์กด M1



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนประกอบเครื่องขึ้นรูปขนมอบกรอบ

การดำเนินการในช่วงเริ่มต้นของการค้นหาความผิดปกติของชิ้นส่วนย่อยเหล่านี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) การตรวจสอบสภาพโดยรวมของเครื่องจักรในสายการผลิต WF3 ด้วยการทำความสะอาดแบบตรวจสอบตามแนวคิดกิจกรรมเสาหลักการบำรุงรักษาด้วยตนเองซึ่งพบความผิดปกติหรือฟุ่ไกโดยรวมทั้งสิ้น 48 จุด พบว่าความผิดปกติและบกพร่องของชิ้นส่วนย่อยเหล่านี้มีปัญหาการสึกหรอเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ชิ้นส่วนชำรุดเสียหาย เช่น บูชเพลาน้ำมันแห้ง หลวมคลอน ร่องลิ่มเพลาเยิน สปริงแข็งตัว จานเฟืองเกียร์จารบีแห้ง ก้านหมุนเบ้าแม่พิมพ์ฝืด ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำในการทำงานของเครื่องจักร ทำให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพคือ ขนมกรอบแตกร้าวและรูปทรงไม่ถูกต้อง ทำให้ต้องหยุดเครื่องจักรเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ วันละหลายๆ ครั้ง เพื่อแก้ไขเบื้องต้นแบบประคองให้เครื่องทำงานได้ต่อไปเท่านั้น และถ้ามีปริมาณของเสียมากขึ้นเนื่องจากแก้ไขไม่ได้ก็มีความจำเป็นต้องหยุดเครื่อง นอกจากนี้ยังมีปัญหาสารหล่อลื่นแห้ง การสั่นสะเทือนจากปัญหาหลวมคลอน และมีความสกปรกสะสมมาก

2) การรวบรวมข้อมูลความขัดข้องที่เป็นอุปสรรคต่อการผลิตขนมอบกรอบ จากบันทึกประวัติความเสียหายของเครื่องผลิตจักรในสายการผลิต WF3 ของหน่วยงานซ่อมบำรุง และบันทึกปัญหาของกระบวนการผลิตจากหน่วยงานผลิต และสอบถามข้อมูลความเสียหายจากพนักงานควบคุมเครื่องจักร พบว่าเครื่องจักรขัดข้องล้มเหลวหยุดเครื่องทำให้เกิดเวลาสูญเปล่าของเครื่องจักรแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ เวลาหยุดชะงักที่เกิดจากชิ้นส่วนอุปกรณ์ชำรุดเสียหายมากกว่า 10% ซึ่งเกิดจากเครื่องขึ้นรูปและเวลาอุ่นเครื่องที่เกิดจากเครื่องอบแผ่นแป้งประมาณ 2% การศึกษานี้จึงให้ความสนใจศึกษามาตรการเชิงรุกเพื่อลดเวลาหยุดชะงักที่เกิดจากชิ้นส่วนอุปกรณ์ชำรุดเสียหายให้ลดลง การรวบรวมข้อมูลความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อยตามบันทึกที่มีอยู่ เครื่องขึ้นรูปมีชิ้นส่วนประกอบหลักจำนวน 57 ชิ้นส่วนที่มีโอกาสชำรุดเสียหาย โดยเฉพาะ 19 ชิ้นส่วนในจำนวนนี้เป็นส่วนประกอบที่มีการเคลื่อนที่เคลื่อนไหวมากในระหว่างที่เดินเครื่องจักรมีโอกาสชำรุดเสียหายมากและเคยมีประวัติเสียหายมาก่อน ซึ่งเป็นชิ้นส่วนประกอบประเภท เพลาและลิ่ม สปริง เดือยเหล็ก สกรูยึด มอเตอร์ จานเฟืองทดรอบ คัปปลิง ตลับลูกปืน และบูช การรวบรวมข้อมูลพบว่ามีชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อย ที่เคยขัดข้องล้มเหลว และบางชิ้นส่วนก็เกิดบ่อย สามารถจำแนกออกเป็น 4 ลักษณะความขัดข้องล้มเหลว (Failure Mode: FM) ตามที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งปัญหาชิ้นส่วนหลวมคลอนเป็นลักษณะความขัดข้องล้มเหลว ที่เกิดขึ้นกับจำนวนชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อยมากที่สุดถึง 10 ชิ้นส่วน

ตารางที่ 1 จำนวนลักษณะความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อยเครื่องขึ้นรูป

ลักษณะความขัดข้องล้มเหลว (FM)	จำนวนชิ้นส่วนย่อยที่เกิด
หลวมคลอน/หลุด	10
ยืดหย่อน ล้าตัว สึกหรอ	4
แตก ร้าว ฉีกขาด	3
บิดงอ ฝืด ไหม้	2

4.2 การดำเนินการปรับปรุง

การปรับปรุงเพื่อแก้ปัญหาโดยการจัดทำมาตรฐานปฏิบัติงานบำรุงรักษาโดยประยุกต์แนวคิดการบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม โดยเฉพาะเสาหลักกิจกรรมการบำรุงรักษาตามแผน การบำรุงรักษาด้วยตนเอง และการผสมผสานกับเทคนิคการกำหนดภารกิจซ่อมบำรุงตามแนวคิดการบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความเชื่อถือได้เป็นสำคัญ (RCM) ที่แนะนำให้ศึกษาอัตราความขัดข้องล้มเหลวของแต่ละส่วนประกอบย่อย ซึ่งจะสามารถกำหนดภารกิจบำรุงรักษาได้แม่นยำมากขึ้น รวมถึงการนำเอาแนวคิดการจัดการบำรุงรักษาตามแผนด้วย 5 มาตรการบำรุงรักษาสู่ความขัดข้องล้มเหลวเป็นศูนย์ คือ 1) การฟื้นฟูสภาพเครื่องจักรให้กลับคืนสภาพพื้นฐานที่เหมาะสม (Set Zero) 2) การบำรุงรักษาตามความต้องการพื้นฐานอย่างเพียงพอ 3) กำหนดให้ใช้งานเครื่องจักรตามข้อกำหนดการออกแบบ 4) พัฒนาทักษะการซ่อมบำรุงอย่างถูกต้อง และ 5) การพัฒนาการออกแบบระบบและเครื่องจักรให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมการใช้งาน สำหรับโรงงานกรณีตัวอย่างพบว่ามีความบกพร่องที่ต้องแก้ไขตามมาตการที่ 1) มาตรการที่2) และมาตรการที่ 4) เนื่องจากการสำรวจข้อมูลความบกพร่องไม่พบว่าสถานประกอบการมีความบกพร่องในเรื่องของการใช้งานเครื่องจักรไม่ถูกต้องและการออกแบบก็มีความเหมาะสมเพียงพอต่อการผลิตในสภาพแวดล้อมปกติ มีรายละเอียดการแก้ไขดังนี้

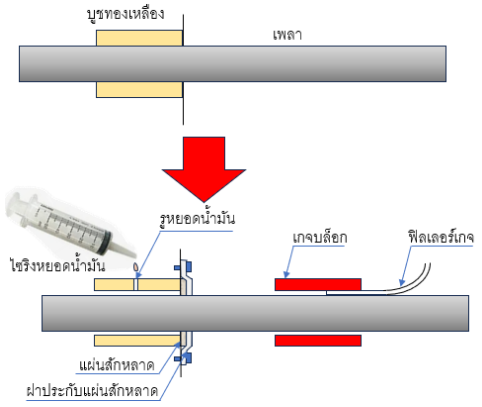
<u>การแก้ไขปัญหาด้วยมาตรการที่ 1</u> การฟื้นฟูสภาพเครื่องจักรให้กลับคืนสภาพพื้นฐานที่เหมาะสม ผลการตรวจสอบสภาพโดยรวมของเครื่องจักรในสายการผลิต WF3 ด้วยการทำความสะอาดแบบตรวจสอบตามแนวคิดกิจกรรมเสาหลักการบำรุงรักษาด้วยตนเองซึ่งพบความผิดปกติหรือฟุ้ไกโดยรวม 5 จาก 7 ชนิดของฟุ้ไก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดของฟุ้ไกที่ตรวจพบและการปรับปรุง

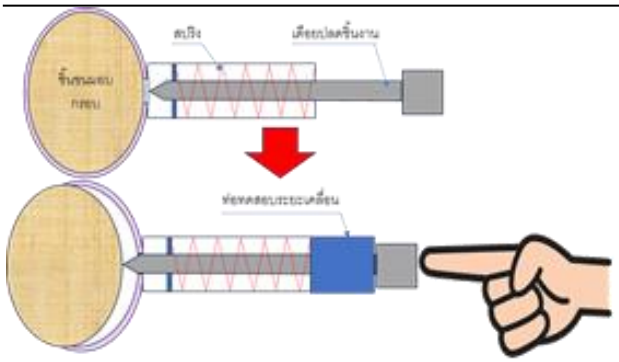
ชนิดของฟุ้ไก	การปรับปรุง	จำนวน
ข้อบกพร่องเล็กน้อย	แก้ไขร่องลิ่มเพลาเยินจากการถอดประกอบ เปลี่ยนคัปปลิ้งยางที่ฉีกขาด	2 จุด
พื้นฐานที่ไม่สมบูรณ์	การหยอดน้ำมันหล่อลื่นเฟืองทดรอบ บูชเพลา อัดจารบีลูกปืนมอเตอร์ขับและถ่ายน้ำมันเกียร์ MG1 ทำความสะอาดคราบน้ำมันสกปรก การขันแน่นสกรูยึดที่หลวมคลอน	22 จุด
สถานที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้	ป้องกันการเปรอะเปื้อนบริเวณบูชเพลาที่เข้าไปทำความสะอาดได้ยาก, ปรับปรุงแมทช์มาร์คหัวสกรูให้ตรวจเช็คการหลวมคลอนให้ง่าย ปรับปรุงกรวยหยอดน้ำมันเพลาที่หล่อลื่นยากให้ติดตั้งอยู่นอกเครื่องจักร	10 จุด
แหล่งปนเปื้อน	บริเวณบูชเพลาที่น้ำมันหล่อลื่นไหลเปรอะเปื้อน	8 จุด
แหล่งที่มีข้อบกพร่องด้านคุณภาพ	เปลี่ยนสปริงดันขนมอบกรอบออกจากแม่พิมพ์	6 จุด

<u>การแก้ไขปัญหาด้วยมาตรการที่ 2</u> การบำรุงรักษาตามความต้องการพื้นฐานอย่างเพียงพอ หลังจากการฟื้นฟูสภาพเครื่องจักรให้กลับคืนสภาพพื้นฐานที่เหมาะสมแล้ว จะคงสภาพอยู่ในช่วระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น จำเป็นต้องรักษาสภาพพื้นฐานที่ดีเหมาะสมนี้ไว้อย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการใช้งานเครื่องจักร ขั้นต่อไปจำเป็นต้องออกแบบแผนบำรุงรักษาชิ้นส่วนย่อยเหล่านี้อย่างครบถ้วนเพิ่มเติมจากแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (แผน PM) ที่มีอยู่ จากข้อมูล 2 ส่วนคือ 1) การกำหนดแผนบำรุงรักษาตามชิ้นส่วนที่เกิดฟุ้ไกทั้งหมด และ 2) การกำหนดแผน PM จากรายงานข้อมูลความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนย่อย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การกำหนดแผนบำรุงรักษาตามชิ้นส่วนที่เกิดฟุ้ไกทั้งหมด ด้วยการประยุกต์ใช้เสาหลักการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (AM) เนื่องจากการบำรุงรักษาพื้นฐานที่เหมาะสมของเครื่องจักรเป็นงานที่สำคัญมาก แต่มักถูกละเลยไป เนื่องจากมีรายการบำรุงรักษาจำนวนมากซึ่งพนักงานหรือช่างบำรุงรักษามักมีจำนวนน้อยกว่าภาระงานบำรุงรักษาพื้นฐานเหล่านี้ แนวคิด TPM ช่วยปิดช่องว่างเหล่านี้ด้วยการแนะนำให้พนักงานควบคุมเครื่องจักรมีส่วนร่วมในการบำรุงรักษาสภาพพื้นฐานนี้ เนื่องจากพนักงานควบคุมเครื่องจักรมีจำนวนมากอยู่ประจำหน้าเครื่องจักรมีความคุ้นเคยกับเครื่องจักรเป็นอย่างดี แต่ขาดทักษะการทำความสะอาด การหยอดน้ำมันหล่อลื่น การสังเกตและตรวจสอบชิ้นส่วนที่ทำงานผิดปกติด้วยสัมผัสทั้ง 5 ซึ่งเป็นการยากที่จะทำได้สำเร็จ โดยเฉพาะในสถานประกอบการกรณีศึกษามีแรงงานต่างด้าวที่หมุนเวียนเข้าออกอยู่เสมอๆ จะไม่สามารถดำเนินการ TPM ตามแนวคิดแท้จริงตามทฤษฎี การศึกษานี้จึงประยุกต์แนวคิดให้ปฏิบัติได้ง่าย โดยการกำหนดให้ช่างบำรุงรักษาร่วมกับผู้ชำนาญการเครื่องจักรจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรร่วมกันกำหนดแผนบำรุงรักษาด้วยตนเอง (แผน AM) ที่ประกอบไปด้วยกิจกรรม CLIT (C: Clean, L: Lubrication, I: Inspection, T; Tightening) เพื่อป้องกันการเกิดฟุ้ไกทั้งหมดที่ตรวจพบ โดยต้องปรับปรุงให้ทำกิจกรรม CLIT ได้ง่ายตามรูปที่ 2 เป็นรูปประกอบมาตรฐานงานบำรุงรักษาด้วยตนเองที่ทำให้พนักงานควบคุมเครื่องจักรเข้าใจและสามารถปฏิบัติงานได้ง่าย



รูปที่ 2 รูปประกอบมาตรฐานงานบำรุงรักษาด้วยตนเอง



รูปที่ 2 รูปประกอบมาตรฐานงานบำรุงรักษาด้วยตนเอง (ต่อ)

ดังนั้นการกำหนดกิจกรรมบำรุงรักษาด้วยตนเอง CLIT พบว่าจะครอบคลุมปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นนี้ และถ้าสามารถปฏิบัติการกิจกรรมบำรุงรักษาด้วยตนเอง CLIT ได้อย่างครบถ้วนต่อเนื่อง โดยเฉพาะการตรวจสอบสภาพความผิดปกติ เช่น เสียงดังผิดปกติ ร้อนผิดปกติ สั่นมากผิดปกติ มีกลิ่นไหม้เกิดขึ้น แล้วรีบแจ้งให้ช่างซ่อมบำรุงรีบแก้ไขก่อนขัดข้องล้มเหลว จะทำให้มั่นใจได้ว่าชิ้นส่วนย่อยเหล่านี้จะไม่ขัดข้องล้มเหลวในระหว่างเดินเครื่องจักรใช้งาน

2) การกำหนดแผน PM จากข้อมูลความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนย่อย การรวบรวมข้อมูลพบว่ามีชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อยจำนวน 19 ชิ้นส่วนที่เคยขัดข้องล้มเหลว และบางชิ้นส่วนก็เกิดบ่อย สามารถจำแนกออกเป็น 4 ลักษณะความขัดข้องล้มเหลว (Failure Mode: FM) ตามที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าชิ้นส่วนเหล่านี้ขาดการบำรุงรักษาตามสภาพพื้นฐานที่เหมาะสมทำให้เกิดความผิดปกติขึ้น และยังคงใช้งานอย่างต่อเนื่อง ชิ้นส่วนประกอบเหล่านี้จึงมีความสึกหรอเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งขัดข้องล้มเหลวและไม่สามารถใช้งานได้ตามต้องการ ตัวอย่างจุดที่เกิดความขัดข้องล้มเหลวและการแก้ไขแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างจุดที่เกิดความขัดข้องล้มเหลวและการแก้ไข

ลักษณะความขัดข้องล้มเหลว	จุดที่เกิดความขัดข้องล้มเหลว	การแก้ไข
FM-01 หลวม คลอน/หลุด	สกรูยึดเบ้าแม่พิมพ์ขนมหลวม	กิจกรรมการบำรุงรักษาด้วยตนเอง
FM-02 ยึดหย่อน ล้าตัว สึกหรอ	สปริงเดือยกระทุ้งขนมออกจากเบ้าแม่พิมพ์เกิดการยืดหย่อนล้าตัวหรือสึกหรอ	กิจกรรมการบำรุงรักษาด้วยตนเอง
FM-03 แตก ร้าว ฉีกขาด	โครงรับเพลาแตกร้าวเนื่องจากการเคาะตีถอดเปลี่ยนบูช	พัฒนาทักษะช่างซ่อมบำรุง
FM-04 บิดงอ ผิดไหม้	มอเตอร์ไหม้	พัฒนาทักษะช่างซ่อมบำรุง

ซึ่งปัญหาความขัดข้องล้มเหลวจำนวน 17 รายการจะได้รับการปรับปรุงด้วยการทำกิจกรรมบำรุงรักษาด้วยตนเอง CLIT แล้ว ก็จะมีความเป็นไปได้สูงที่จะไม่เกิดปัญหาความขัดข้องล้มเหลวขึ้นอีก จะมีเพียง 2 ปัญหาเท่านั้นที่จะต้องมีการแก้ไขเพิ่มเติมด้วยการพัฒนาทักษะการซ่อมบำรุงให้กับช่างซ่อมบำรุง คือ ปัญหาโครงรับเพลาแตกร้าวเกิดจากการถอดประกอบไม่ถูกต้อง และปัญหามอเตอร์ไหม้ที่พนักงานควบคุมเครื่องจักรไม่สามารถตรวจสอบความผิดปกติได้ การศึกษานี้จึงนำเทคนิคการกำหนดภารกิจซ่อมบำรุงตามแนวคิดRCM ที่แนะนำให้ศึกษารูปแบบอัตราความขัดข้องล้มเหลวของแต่ละส่วนประกอบย่อย เพื่อนำมากำหนดภารกิจบำรุงรักษาได้แม่นยำมากขึ้น เพียงแต่ไม่สามารถศึกษารูปแบบอัตราความขัดข้องล้มเหลวของชุดมอเตอร์เกียร์หลักขับระบบเนื่องจากไม่มีข้อมูลอายุการใช้งานจนกระทั่งขดลวดไหม้แต่ละครั้งได้ และการที่ขดลวดมอเตอร์ไหม้ก็อาจมีสาเหตุได้หลายอย่างที่ขัดข้องล้มเหลวมาก่อนจนกระทั่งขดลวดมอเตอร์ไหม้ และที่สำคัญจะต้องศึกษาลงในระดับชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อยของมอเตอร์ที่มีโอกาสทำให้ขดลวดไหม้ ได้แก่ ขดลวด เพลามอเตอร์ ลูกปืนมอเตอร์ทั้ง 2 ด้าน เบ้าลูกปืนมอเตอร์ทั้ง 2 ด้าน แหวนไซโคลไดรฟ์ ลูกกลิ้งไซโคล ลูกปืนเยื้องศูนย์ ลูกปืนเกียร์เพลาออก 2 ด้าน เบ้าลูกปืนเกียร์ ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะความขัดข้องล้มเหลวและผลกระทบระดับชิ้นส่วนย่อยที่มีผลต่อชุดมอเตอร์เกียร์หลักขับระบบ พบว่าชิ้นส่วนย่อยเหล่านี้มีอิทธิพลต่อความขัดข้องล้มเหลวของชุดมอเตอร์เกียร์หลักขับระบบในระดับสูงพอๆ กันทุกชิ้นส่วนย่อย ดังนั้นการประยุกต์แนวคิดการกำหนดภารกิจบำรุงรักษาชิ้นส่วนประกอบย่อยของชุดมอเตอร์เกียร์หลักนี้ด้วยการกำหนดการบำรุงรักษาตามแผนเบื้องต้นสำหรับชุดมอเตอร์เกียร์หลักขับระบบ ดังตารางที่ 4 ด้วยการตรวจสอบสภาพ (Condition Base Maintenance: CBM or Condition Direct: CD) เป็นระยะจนกระทั่งเข้าใกล้ระดับความล้มเหลวแล้วจึงถอดเปลี่ยนหรือฟื้นฟูสภาพ และบันทึกค่าอายุการใช้งาน (Time To Failure: TTF) ของทุกชิ้นส่วนย่อยทุกครั้งที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปศึกษาอัตราความขัดข้องล้มเหลวตามแนวคิด RCM ต่อไป

ตารางที่ 4 กำหนดแผนบำรุงรักษาชิ้นส่วนย่อยของชุดมอเตอร์เกียร์หลักขับระบบ

ชิ้นส่วนย่อย	ภารกิจบำรุงรักษา
ขดลวดมอเตอร์	ตรวจวัดค่า R-L และฉนวนความต้านทานขดลวด
ลูกปืนมอเตอร์ทั้ง 2 ด้าน	ตรวจวัดระดับความร้อน ระดับเสียง ระดับสั่นสะเทือน
เพลามอเตอร์	ระดับสั่นสะเทือน (ค่าเดียวกับลูกปืนมอเตอร์)
เบ้าลูกปืนมอเตอร์ทั้ง 2 ด้าน	ระดับสั่นสะเทือน (ค่าเดียวกับลูกปืนมอเตอร์)
แหวนไซโคลไดรฟ์	ระดับเสียง
ลูกกลิ้งไซโคลไดรฟ์	ระดับเสียง (ค่าเดียวกับแหวนไซโคลไดรฟ์)
ลูกปืนเยื้องศูนย์	ระดับเสียง (ค่าเดียวกับแหวนไซโคลไดรฟ์)
ลูกปืนเกียร์เพลาออก	ตรวจวัดระดับความร้อน ระดับเสียง ระดับสั่นสะเทือน
เบ้าลูกปืนเกียร์	ระดับสั่นสะเทือน (ค่าเดียวกับลูกปืนเกียร์เพลาออก)

การแก้ไขปัญหาด้วยมาตรการที่ 4 พัฒนาทักษะการซ่อมบำรุงอย่างถูกต้อง

1) พัฒนาทักษะพนักงานควบคุมเครื่องจักรให้สามารถทำกิจกรรมการบำรุงรักษาด้วยตนเอง CLIT ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

2) พัฒนาทักษะช่างซ่อมบำรุงให้ปฏิบัติงานถอดเปลี่ยนชิ้นส่วนได้อย่างมีคุณภาพ ด้วยการจัดทำใบงานมาตรฐานการบำรุงรักษาของทุกชิ้นส่วนของเครื่องจักรในสายการผลิต WF3 ที่แสดงรายละเอียดขั้นตอนปฏิบัติงานตรวจสอบ ถอดรื้อ ประกอบด้วยเครื่องมือและวัสดุที่ถูกต้อง โดยเฉพาะงานตรวจสอบและบำรุงรักษาบูชทองเหลืองในเครื่องจักร ซึ่งแนะนำให้ใช้เครื่องมือถอดบูช (Extractor) ในการถอดประกอบแล้วไม่ทำให้โครงแขนเครื่องแตกร้าวเสียหายอย่างที่เคยปฏิบัติมา และพัฒนาหัวหน้างานผลิตช่วยตรวจสอบและร่วมสังเกตการทำงานของช่างซ่อมบำรุงให้เป็นไปตามมาตรฐานงานซ่อม

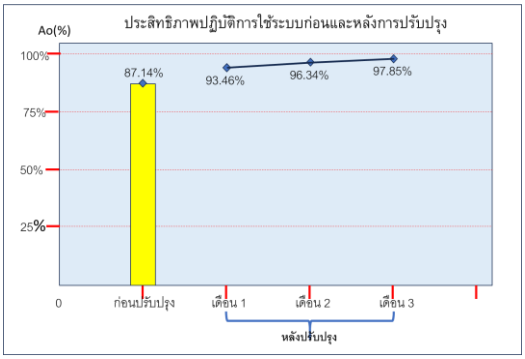
5. สรุปผลการดำเนินงานและการอภิปรายผล

การฟื้นฟูสภาพพื้นฐานที่ดีโดยการแก้ไขฟุไกทั้งหมด เริ่มจากการฟื้นฟูจุดบกพร่องที่มีผลต่อปัญหาการเกิดของเสียและความผิดปกติที่เริ่มรุนแรงอาจมีผลต่อความขัดข้องล้มเหลวในระยะเวลาอันสั้น และแก้ไขได้ทั้งหมด จากนั้นทำการรักษาสภาพพื้นฐานที่ดีของเครื่องจักรในสายการผลิต WF3 ด้วยการทำกิจกรรมบำรุงรักษาด้วยตนเอง CLIT ขึ้นด้วยความร่วมมือของพนักงาน หัวหน้างานของหน่วยงานซ่อมบำรุงและหน่วยงานผลิตภายใต้คำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักร รวมถึงการปรับปรุงเครื่องจักรให้สามารถทำกิจกรรมบำรุงรักษาด้วยตนเอง CLIT ได้ง่าย รวมถึงการกำหนดการบำรุงรักษาตามแผนเบื้องต้นสำหรับชุดมอเตอร์เกียร์หลักขับระบบ และบันทึกค่าอายุการใช้งาน (TTF) ของทุกชิ้นส่วนย่อยทุกครั้งที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปศึกษาอัตราความขัดข้องล้มเหลวตามแนวคิด RCM และการพัฒนาทักษะช่างซ่อมบำรุงให้ปฏิบัติการซ่อมบำรุง การตรวจสอบ การถอดประกอบชิ้นส่วนย่อยอย่างถูกต้อง

ผลการปรับปรุงพบว่าสายการผลิต WF3 มีสภาพพื้นฐานที่ดีขึ้นเรื่อยๆ ปัญหาการเกิดของเสียเริ่มลดลงตั้งแต่สัปดาห์แรกของการปรับปรุงวิธีการบำรุงรักษาเครื่องจักร และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนเหลือน้อยกว่า 0.5% ในช่วงเวลาการปรับปรุง 3 เดือน ซึ่งตลอดเวลาของการบันทึกข้อมูลความขัดข้องล้มเหลวของเครื่องจักรและปัญหาของเสีย ไม่พบว่ามีการหยุดชะงักของเครื่องจักรที่เกิดจากความขัดข้องล้มเหลวของชิ้นส่วนย่อยของเครื่องจักร ทำให้ A_O เพิ่มขึ้นเป็น 97.85% ดังตารางที่ 5 และรูปที่ 3 รวมถึงปัญหาของเสียที่ลดลงจนเหลือน้อยกว่า 0.43% ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมาย

ตารางที่ 5 ค่าประสิทธิภาพการใช้ระบบปฏิบัติการก่อนและหลังการปรับปรุง

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง		
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
เวลาผลิตที่ต้องการตามแผนการผลิต (hr.)	3504	480	493.5	480.04
เวลาอุ่นเครื่อง (hr.)	69.02	9.6	9.6	10.08
เวลาหยุดซ่อมแซมเครื่องขัดข้อง (hr.)	448.33	24	9.1	0.5
A_o (%)	87.14	93.46	96.34	97.85



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการใช้ระบบปฏิบัติการก่อนและหลังการปรับปรุง

ผู้บริหารรับทราบถึงประสิทธิผลของการดำเนินการบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วมจึงมีแนวคิดขยายผลไปใช้ปรับปรุงเครื่องจักรอื่นๆ อีก ซึ่งคาดการว่าจะสามารถช่วยลดความสูญเปล่าโดยรวมที่จะทำให้เสียโอกาสการขายและลดปัญหาของเสียได้ไม่น้อยกว่า 5 ล้านบาทต่อปี

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้บริหารและพนักงานทุกๆ ท่านของโรงงานกรณีศึกษาที่มีส่วนร่วมและให้ความร่วมมือในการศึกษานี้จนสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

[1] Ebeling C. E., Reliability and Maintainability Engineering, The McGraw-Hill Companies Inc., USA., 1997.

[2] Suzuki T., TPM in process industries, Connecticut, USA., Productivity Press, 1994.

[3] Nakano K. , Planned Maintenance Keikaku Hozen/ Comprehensive approach to Zero breakdown, JIPM-Solution, Tokyo, 2003.

[4] Moubray J. , Reliability- centred Maintenance, Butterworth-Heinemann, UK, 2000.

[5] จันทร์ฑา นาควชิรตระกูล, เทคโนโลยีการจัดการบำรุงรักษาอุตสาหกรรม พิมพ์ครั้งที่ 3 จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์ จำกัด, 2556.

การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกอง: กรณีศึกษา

A Study of Customer Satisfaction with Bulk Cargo Port Services: A Case Study

พัชรา ศรีพระบุ[1] เชฏฐา ชำนาญหล่อ[2*]
[1]ภาควิชาวิทยาการเดินเรือและโลจิสติกส์ทางทะเล คณะพาณิชยนาวีนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: chettha.c@ku.th *

Phatchara Sriphrabu[1], Chettha Chamnanlor[2*]
[1]Department of Nautical Science and Maritime Logistics, Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University
E-mail: chettha.c@ku.th *

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองของบริษัทกรณีศึกษา เก็บข้อมูลประชากรได้แก่ พนักงานขับรถบรรทุก จำนวน 78 คน และเจ้าหน้าที่ประสานงานของบริษัทที่ใช้บริการ จำนวน 10 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล คือ แบบสอบถาม การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแปรปรวน (One- way Analysis of Variance : ANOVA) ผลการศึกษาพบว่า ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่เป็นพนักงานขับรถบรรทุกอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ และด้านการบริหารจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมมีค่าเฉลี่ยสูงสุด (ค่าเฉลี่ย 4.48) รองลงมา คือ ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการให้บริการ (ค่าเฉลี่ย 4.46) ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก (ค่าเฉลี่ย 4.34) ด้านความปลอดภัย (ค่าเฉลี่ย 4.15) ตามลำดับ ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่เป็นเจ้าหน้าที่ประสานงาน อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.03 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านคุณภาพการให้บริการ/สินค้า และด้านความปลอดภัยมีค่าเฉลี่ยสูงสุด (ค่าเฉลี่ย 4.20) รองลงมา คือ ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก (ค่าเฉลี่ย 4.10) ด้านเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ (ค่าเฉลี่ย 3.90) ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการให้บริการ (ค่าเฉลี่ย 4.15) ตามลำดับ ปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ของพนักงานขับรถบรรทุก ได้แก่ เพศที่แตกต่างกันส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองที่แตกต่างกันในด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการให้บริการ ด้านเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ ด้านการบริหารจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม และระดับการศึกษาที่แตกต่างกันส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองที่แตกต่างกันในด้านความปลอดภัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ของเจ้าหน้าที่ติดต่อประสานงาน ได้แก่ อายุและระดับการศึกษาที่ต่างกันทำให้ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองแตกต่างกันในด้านเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ และด้านความปลอดภัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้ ผลการศึกษานี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการวางแผนเชิงกลยุทธ์และเปรียบเทียบระดับการให้บริการ รวมถึงการจัดสรรงบประมาณเพื่อการปรับปรุงให้เหมาะสม

คำสำคัญ: ท่าเรือสินค้าเทกอง ความพึงพอใจ พนักงานขับรถบรรทุก เรือลำเลียง

Abstract

This article examines customer satisfaction with the bulk cargo port services of a case study company. Data was collected from a sample of 78 truck drivers and 10 company coordinators who utilized the services. A questionnaire was used as the data collection tool. Statistical methods, including percentage, frequency, mean, standard deviation, and one-way analysis of variance (ANOVA), were employed for data analysis. The results indicate that truck drivers reported a high satisfaction level, with an average score of 4.38. By category, the highest satisfaction was observed in service personnel and environmental quality management (mean score: 4.48), followed by service process (4.46), facilities (4.34), and safety (4.15). Coordinators also expressed high satisfaction, with an average score of 4.03. Among the categories, service/product quality and safety had the highest satisfaction (4.20), followed by facilities (4.10), service personnel (3.90), and service process (4.15). Demographic factors among truck drivers, such as gender, significantly influenced satisfaction levels in the areas of service process, service personnel, and environmental quality management. Educational level also had a significant impact on satisfaction with safety, at a statistical significance level of 0.05. Among coordinators, demographic factors such as age and education level significantly influenced satisfaction with service personnel and safety, also at a significance level of 0.05. Accordingly, the findings of this study can serve as a guideline for strategic planning, service level comparisons, and budget allocation for appropriate improvements.

Keywords: Bulk Cargo Port Satisfaction Truck Drivers Barges

1. บทนำ

การขนส่งสินค้าทางทะเลเป็นการขนส่งที่เหมาะสำหรับการส่งสินค้าในปริมาณมากหรือไม่ต้องการความเร่งรีบ เนื่องจากมีต้นทุนค่าขนส่งต่อหน่วยที่ต่ำ โดยสินค้าเทกองเป็นสินค้าที่นิยมขนส่งทางทะเล สินค้าเทกองแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ แร่เหล็ก (Iron ore) เมล็ดพืช (Grain) ถ่านหิน (Coal) ฟอสเฟต (Phosphate) บ็อกไซต์และอลูมินา (Bauxite & Alumina) จากข้อมูลของกรมเจ้าท่าพบว่าปี 2565 เรือค้าชายฝั่งและเรือค้าต่างประเทศ มีปริมาณการขนส่งประมาณ 38.99 ล้านตัน ใช้เรือขนส่งสินค้าจำนวนทั้งสิ้น 36,000 เที่ยวลำ สินค้าที่มีการขนส่งมากที่สุดคือสินค้าประเภทแร่เชื้อเพลิงประมาณ 12.70 ล้านตัน โดยมีการขนส่งมากที่สุดในเส้นทางอำเภอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี - อำเภอนครหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา รองลงมาคือเส้นทางอำเภอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี - อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ลำดับถัดมาคือสินค้าประเภทซีเมนต์ มันสำประหลัง และปุ๋ย ตามลำดับ [1, 2] ทำให้ที่บริเวณทะเลชายฝั่งระหว่างเกาะสีชังถึงศรีราชาจะมีการขนถ่ายสินค้าเทกองจำนวนมาก ประกอบกับบริเวณเกาะสีชังเป็นบริเวณที่กรมเจ้าท่าอนุญาตให้มีการขนถ่ายสินค้ากลางทะเล ทำให้บริเวณเกาะสีชังกลายเป็นศูนย์กลางทางน้ำที่มีความสำคัญอย่างยิ่งของประเทศไทย

ท่าเรือกรณีศึกษาตั้งอยู่ที่อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี เป็นท่าเรือที่ให้บริการขนถ่ายสินค้าเทกอง มีท่าเทียบเรือจำนวน 4 ท่า สามารถรองรับเรือลำเลียงได้ขนาดไม่เกิน 2,215 ตันกรอส โดยในการเทียบท่าจะใช้เรือลากจูงช่วยในการเคลื่อนเรือลากจูงเข้าเทียบท่า และใช้รถบรรทุกเพื่อขนถ่ายสินค้าออกนอกพื้นที่ท่าเทียบเรือ ซึ่งเป็นความรับผิดชอบของลูกค้าที่มาติดต่อขอขนถ่ายสินค้าผ่านท่าเทียบเรือ ท่าเรือมีหน้าที่ในการให้บริการท่าเทียบเรือและใช้รถแบคโฮตักสินค้าจากเรือลำเลียงสู่รถบรรทุกเท่านั้น สินค้าที่มีการขนถ่ายที่ท่าเรือได้แก่ ถ่านหิน ข้าวสาลี ปุ๋ย และเมล็ดถั่วเหลือง โดยสินค้าที่มีการขนถ่ายมากที่สุดคือถ่านหิน คิดเป็นร้อยละ 84.00 ของปริมาณสินค้าทั้งหมด รองลงมาคือข้าวสาลี คิดเป็นร้อยละ 12.00 ของปริมาณสินค้าทั้งหมด และปุ๋ยคิดเป็นร้อยละ 3.00 ของปริมาณสินค้าทั้งหมด ตามลำดับ และปริมาณที่เหลือเป็นการขนถ่ายเมล็ดถั่วเหลือง

การแข่งขันในปัจจุบันไม่ได้มุ่งไปที่ความได้เปรียบด้านราคาและคุณภาพเท่านั้น แต่ความสะดวกรวดเร็ว ความถูกต้อง และความปลอดภัยในการให้บริการก็เป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้บริการของลูกค้า ดังนั้นท่าเรือกรณีศึกษาจึงพยายามที่จะพัฒนาประสิทธิภาพในการให้บริการของท่าเรือให้เกิดความพึงพอใจแก่ผู้ใช้บริการมากที่สุด เพื่อดึงดูดผู้ที่จะเข้ามาใช้บริการในอนาคตและยังคงรักษาผู้ใช้บริการเดิม โดยการมุ่งเน้นไปที่การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้บริการต่อการให้บริการของท่าเรือกรณีศึกษา ซึ่งข้อมูลที่ได้จากผลการศึกษาสามารถนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพในการให้บริการ ทั้งในส่วนของท่าเรือกรณีศึกษาและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องหรือที่คล้ายคลึงกัน

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

มีนักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความพึงพอใจไว้หลายกิจกรรม เช่น การให้บริการการขนส่งทางทะเล การให้บริการของทางเรือ การใช้บริการเรือโดยสารประจำเส้นทางและ/หรือเรือข้ามฟาก รวมทั้งการรับการบริการของสำนักงานและด่านต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัณฑิตา ยูงทอง ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้บริการต่อการให้บริการขนส่งทางทะเล กรณีศึกษาบริษัท เอ็กซ์เพิททีม จำกัด ประชากรที่ใช้วิจัยคือพนักงานที่ปฏิบัติงานบนแท่นขุดเจาะน้ำมันอ่าวไทย จำนวน 1,088 คน กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 291 คน ใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยแบบสอบถาม ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ผลที่ได้ผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจมากกว่า 10 ข้อ เช่น สภาพของเรือที่มีความเหมาะสม ความปลอดภัยและความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ [3]

ดวงใจ จันทร์ดาแสง ศึกษาศึกษาปัจจัยของผู้ประกอบการในการใช้บริการของท่าเรือกรุงเทพ โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูลผู้ประกอบที่รับบริการขนส่งสินค้าของท่าเรือกรุงเทพ จำนวน 303 ราย ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่ผู้ประกอบการให้ความสำคัญสูงสุดคือ “ความน่าเชื่อถือของบริการ” ได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุดที่ 3.64 รองลงมาคือ “พื้นที่จัดเก็บสินค้า” ได้คะแนนเฉลี่ย 3.62 และ “การติดต่อสื่อสารกับท่าเรือ” ได้คะแนนเฉลี่ย 3.57 สำหรับปัจจัยด้าน “ค่าใช้จ่ายในการส่งสินค้าขาออก” ผู้ใช้บริการมีความคิดเห็นในระดับสูง ได้คะแนนเฉลี่ย 3.52 ส่วน “การให้บริการเครื่องทุ่นแรง” ได้คะแนนเฉลี่ยที่ 3.37 และปัจจัย “สิ่งอำนวยความสะดวกในท่าเรือ” ได้คะแนนเฉลี่ย 3.29 สุดท้ายคือ “สถานที่ตั้งของท่าเรือ” ซึ่งได้รับค่าเฉลี่ยที่ 3.27 [4]

ชลธี อยู่สวัสดิ์ ได้ศึกษาคุณภาพการให้บริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้โดยสารเรือด่วนเจ้าพระยาในกรุงเทพมหานคร โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้โดยสารเรือด่วนเจ้าพระยาจำนวน 400 คน และใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติการวิเคราะห์ถดถอย (Simple Regression) แบบ Enter และสถิติการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression) แบบ Stepwise ผลการศึกษาพบว่า ความคิดเห็นที่มีต่อความพึงพอใจต่อการให้บริการของเรือด่วนเจ้าพระยา ได้แก่ ด้านการให้บริการอย่างเสมอภาค ด้านการให้บริการอย่างทันเวลา ด้านการให้บริการอย่างเพียงพอ ด้านการให้บริการอย่างต่อเนื่อง และด้านการให้บริการอย่างก้าวหน้า โดยภาพรวม อยู่ในระดับมาก การทดสอบสมมติฐาน พบว่า คุณภาพการให้บริการโดยภาพรวมส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้โดยสารเรือด่วนเจ้าพระยาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และคุณภาพการให้บริการด้านความเป็นรูปธรรมของบริการ ด้านการตอบสนองต่อลูกค้า ด้านความเชื่อถือไว้วางใจได้ และด้านการให้ความเชื่อมั่นต่อลูกค้ามีผลต่อความพึงพอใจของผู้โดยสารเรือด่วนเจ้าพระยา อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 [5]

ศุภลักษณ์ ศรีวิไลย ศึกษาความพึงพอใจต่อคุณภาพการให้บริการสำนักงานเจ้าท่าภูมิภาคอยุธยา กลุ่มตัวอย่างในการศึกษา คือ ผู้ใช้บริการสำนักงานเจ้าท่าภูมิภาคอยุธยาจำนวน 400 คน โดยใช้

เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenience Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบสอบถาม การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One- way Analysis of Variance : ANOVA) ผลการศึกษาพบว่าระดับระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ด้านพฤติกรรมของผู้ใช้บริการสำนักงานเจ้าท่าภูมิภาคอยุธยา ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่ใช้บริการต่อทะเบียนเรือการใช้บริการเฉลี่ย 1-3 ครั้งต่อเดือน และช่วงเวลาที่มาใช้บริการบ่อยที่สุดคือช่วงเวลา 08.30-10.00น. ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ ได้แก่ อายุ สถานภาพ การศึกษา อาชีพ และรายได้ที่แตกต่างกันส่งผลต่อความพึงพอใจต่อคุณภาพการให้บริการสำนักงานเจ้าท่าภูมิภาคอยุธยา แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 [6]

นฤมล บุญกาญจนา ศึกษาความพึงพอใจของผู้ประกอบการส่งออกยางพาราในจังหวัดสงขลาต่อการให้บริการของด่านศุลกากรปาดังเบซาร์และท่าเรือสงขลา ผลการศึกษาพบว่า ด้านความเพียงพอของพื้นที่รองรับให้บริการ ความสะอาด และความปลอดภัยในการให้บริการผู้ประกอบการมีความพึงพอใจในระดับปานกลาง ด้านความพึงพอใจต่อการให้บริการในภาพรวมของด่านปาดังเบซาร์ ผู้ประกอบการมีความพึงพอใจในระดับมาก ด้านความพึงพอใจต่อ การให้บริการในภาพรวมของท่าเรือสงขลา ผู้ประกอบการมีความพึงพอใจในระดับปานลาง [7]

ฐาณพัฒณ์ ภูแดนกลาง และชิณโสณ์ วิสิฐนิธิกิจา ได้ศึกษาคุณภาพการให้บริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการขนส่ง บริษัท แฟลช เอ็กซ์เพรส จำกัด ผลจากการวิจัยพบว่า การบริการขนส่งด้านโลจิสติกส์ผู้ใช้บริการเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพการให้บริการและความมั่นคงทางธุรกิจของผู้ประกอบการ ดังนั้นความพึงพอใจของผู้รับบริการจะเป็นแนวทางที่ส่งผลต่อการประกอบธุรกิจที่มีความมั่งคงยั่งยืน โดยรวมอยู่ในระดับมาก มีความพึงพอใจต่อการขนส่งสินค้าผลจากการทดสอบสมมติฐานทำให้ทราบว่าการบริการที่แตกต่าง กันจะส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการโดยมีความสำพันธ์กับความพึงพอใจในภาพรวมในระดับ ความสันพันธ์สูงในทิศทางเดียวกัน [8]

สอาด สุขเสดาะ และคณะ ได้ศึกษาพฤติกรรมและความพึงพอใจของผู้ใช้บริการเรือข้ามฟาก ท่าฉลอม-มหาชัย ผลจากการวิจัยพบว่า พฤติกรรมของผู้ใช้บริการเรือข้ามฟากท่าฉลอม - มหาชัย ส่วนใหญ่ผู้ใช้บริการเคยใช้บริการเรือข้ามฟากท่าฉลอม - มหาชัยมาก่อน โดยใช้บริการเที่ยวเรือแบบไป - กลับ 1 เที่ยวต่อวัน ใช้เวลาเดินทางมาที่ท่าเรือประมาณ 16 - 30 นาที มีวัตถุประสงค์ในการเดินทางเรือข้ามฟากเพื่อไปทำงาน ผู้ใช้บริการไม่เคยพบเห็นหรือประสบอุบัติเหตุ และไม่เคยเจอเรือเสียระหว่างการเดินทาง จึงเป็นเหตุให้เข้ามาใช้บริการท่าเรือข้ามฟากบ่อยครั้ง [9]

ทวีศักดิ์ เทพพิทักษ์ ได้ทำการประยุกต์ทฤษฎีความคาดหวังและการรับรู้ของลูกค้า (Performance-Importance Analysis) กับการสำรวจความพึงพอใจผู้ใช้บริการท่าเรือกรณีศึกษาในกรุงเทพมหานคร ผลจากการวิจัยพบว่า บริษัทสายการเดินเรือและบริษัทตัวแทน เรือมักจะให้ความสำคัญการให้บริการเรือ การให้บริการเครื่องมือทุ่นแรง และการให้บริการจัดเก็บ รักษาและรับมอบ - ส่งมอบสินค้า/ตู้สินค้า แต่บริษัทสายการเดินเรือและบริษัทตัวแทนเรือก็ยังมีระดับ ความพึงพอใจการใช้บริการที่ท่าเรือกรณีศึกษาในภาพรวมอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าปกติเล็กน้อย อย่างไรก็ตามท่าเรือกรณีศึกษาจึงจำเป็นต้องเร่งดำเนินการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงการให้บริการ [10]

3. วิธีการดำเนินการศึกษา

การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกอง กรณีศึกษา เป็นการศึกษาความพึงพอใจและลักษณะการใช้บริการ รวมทั้งเปรียบเทียบปัจจัยทางประชากรศาสตร์ที่มีผลต่อความพึงพอใจต่อคุณภาพการให้บริการของท่าเรือสินค้าเทกอง ของบริษัทกรณีศึกษาหนึ่งในจังหวัดชลบุรี

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรคือพนักงานขับรถบรรทุกและเจ้าหน้าที่ประสานงานของบริษัทที่มาใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองกรณีศึกษา ช่วงเดือนธันวาคม 2566 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2567 กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 88 คน แบ่งเป็นพนักงานขับรถบรรทุก 78 คน เจ้าหน้าที่ประสานงาน 10 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือแบบสอบถาม และนำแบบสอบถามให้ผู้เชียวชาญตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา (IOC) ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกอง บริษัทกรณีศึกษา ตอนที่ 2 ข้อมูลลักษณะการใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกอง บริษัทกรณีศึกษา ตอนที่ 3 ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกอง บริษัทกรณีศึกษา โดยกำหนดมาตรวัดตัวแปรเป็นแบบมาตรส่วนประมาณค่า 5 ระดับ เมื่อทำการรวมค่าคะแนนเฉลี่ยแล้วกำหนดช่วงการแปลความหมายของคะแนน คือ ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 3.51 – 4.50 ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองมาก ค่าเฉลี่ย 2.51 – 3.50 ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองปานกลาง ค่าเฉลี่ย 1.51 – 2.50 ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองน้อย และค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.50 ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองน้อยที่สุด

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

นำแบบสอบถามที่ผ่านการตรวจจากผู้เชี่ยวชาญแล้วไปใช้ในการเก็บข้อมูลจากผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองกรณีศึกษา โดยทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบตามสะดวก (Convenience Sampling)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ IBM SPSS Statistics 23 โดยดำเนินการหาค่าสถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบน และสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (One- way Analysis of Variance : ANOVA)

4. ผลการศึกษา

4.1 ข้อมูลส่วนบุคคล

ผลการศึกษาพบว่า ผู้ใช้บริการที่เป็นพนักงานขับรถบรรทุกส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุระหว่าง 31 - 40 ปี คิดเป็นร้อยละ 55.10 ระดับการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น คิดเป็นร้อยละ 47.40 ประสบการณ์การทำงานอยู่ที่ 4 - 6 ปี คิดเป็นร้อยละ 39.70 รายได้เฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 25,001 - 30,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 47.40 และผู้ใช้บริการที่เป็นเจ้าหน้าที่ติดต่อประสานงาน ส่วนใหญ่มีตำแหน่งเป็นฝ่ายเจ้าหน้าที่ขนส่ง คิดเป็นร้อยละ 50.00 เพศชาย อายุระหว่าง 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 50.00 ระดับการศึกษาระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 60.00 ประสบการณ์การทำงานอยู่ที่ 1 - 3 ปี คิดเป็นร้อยละ 40.00 รายได้เฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 25,001 - 30,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 50.00

4.2 ลักษณะการใช้บริการ

ผลการศึกษาพบว่า ผู้ใช้บริการที่เป็นพนักงานขับรถบรรทุกเข้ามาใช้บริการเพื่อขนถ่ายสินค้าประเภทถ่านหินมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 58.80 โดยเข้ามาใช้บริการ 3 - 5 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็นร้อยละ 37.20 ระยะเวลาในการมาใช้บริการอยู่ที่ 1 - 2 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 60.3 โดยใช้บริการทางท่าเรือกรณีศึกษามานานกว่า 1 - 2 ปี และ 3 - 5 ปี คิดเป็นร้อยละ 28.20 เท่ากัน และปัญหาส่วนใหญ่ที่มักพบบ่อยที่สุดในการมาใช้บริการ คือ ปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณหน้าท่าเรือ คิดเป็นร้อยละ 64.10 และผู้ใช้บริการที่เป็นเจ้าหน้าที่ติดต่อประสานงาน มีการติดต่อประสานงานเพื่อขนถ่ายสินค้าต่อครั้งมีปริมาณมากกว่า 3,000 ตัน คิดเป็นร้อยละ 50.00 โดยมีความถี่ในการมาใช้บริการ 1 เดือนต่อครั้ง และ 2 - 3 เดือนต่อครั้ง คิดเป็นร้อยละะ 40.00 เท่ากัน ใช้บริการท่าเรือกรณีศึกษามาแล้ว 2 - 3 ปี และมากกว่า 5 ปีคิดเป็นร้อยละ 30.00 เท่ากัน

4.3 ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ

ผลการศึกษาพบว่า ผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองที่เป็นพนักงานขับรถบรรทุกมีความพึงพอใจต่อการให้บริการโดยรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.38 แสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านทั้ง 5 ด้านพบว่าด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการให้บริการอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 โดยพบว่าค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ มีขั้นตอนในการจัดการและตรวจสอบข้อมูลด้านเอกสารที่ถูกต้องและครบถ้วน (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55) รองลงมาคือ มีการให้บริการของกระบวนการขนถ่ายที่เป็นไปตามขั้นตอน ครบถ้วนและถูกต้อง (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45) พนักงานขนถ่ายสินค้ามีความแม่นยำในขั้นตอนการตักสินค้าใส่ในรถบรรทุก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44) และมีขั้นตอนในการขนถ่ายสินค้าที่รวดเร็ว (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.41) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) ความพึงพอใจของพนักงานขับรถบรรทุกต่อการให้บริการท่าเรือกรณีศึกษา

ความพึงพอใจ	$\bar{X}$	S.D	ระดับ
ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการให้บริการ	4.46	0.42	มาก
ด้านเจ้าหน้าที่/บุคลากรการให้บริการ	4.48	0.45	มาก
ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก	4.34	0.47	มาก
ด้านการบริหารจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม	4.48	0.59	มาก
ด้านความปลอดภัย	4.15	0.66	มาก
ค่าเฉลี่ย	**4.38**	**0.38**	**มาก**

ด้านเจ้าหน้าที่/บุคลากรการให้บริการอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ เจ้าหน้าที่ให้บริการมีความกระตือรือร้นและความพร้อมในการให้บริการตลอดเวลา (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55) รองลงมาคือ กิริยามารยาทของเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการมีความสุภาพ ยิ้มแย้มแจ่มใส และเต็มใจให้บริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51) เจ้าหน้าที่ให้บริการมีจำนวนเพียงพอในการให้บริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49) เจ้าหน้าที่ให้บริการมีการแต่งกายที่สุภาพเรียบร้อยและเหมาะสม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48) เจ้าหน้าที่ให้บริการต่อผู้รับบริการเหมือนกันทุกราย โดยไม่เลือกปฏิบัติ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45) และเจ้าหน้าที่มีความรู้ความสามารถในการให้บริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42) ตามลำดับ

ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ มีป้ายแนะนำการให้บริการท่าเรือที่ชัดเจน (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.41) รองลงมาคือ สถานที่ตั้งของท่าเรือมีความสะดวกในการเดินทางมารับบริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37) ท่าเรือมีพื้นที่ให้บริการสำหรับรถบรรทุกที่บริเวณหน้าท่าเรือเพียงพอ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33) และท่าเรือมีสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ เพียงพอแก่ผู้มาใช้บริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24) ตามลำดับ

ด้านการบริหารจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ บริเวณจุดพักรถมีความสะอาดและเป็นระเบียบเรียบร้อย (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.59) รองลงมาคือ บริเวณหน้าท่าเทียบเรือที่ให้บริการมีความสะอาดและเป็นระเบียบเรียบร้อย (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45) และมีการควบคุมการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองบริเวณหน้าท่าเรือเป็นอย่างดี (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.41) ตามลำดับ

ด้านความปลอดภัยอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.15 โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ มีเจ้าหน้าที่ดูแลรักษาความปลอดภัยตามจุดต่างๆ ภายในเขตท่าเรือ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40) รองลงมาคือ มี

อุปกรณ์ในการรักษาความปลอดภัยในเขตท่าเรือ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.17) การจราจรภายในเขตท่าเรือมีความเป็นระเบียบ สะดวก ปลอดภัย (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.14) และสภาพพื้นถนนภายในเขตท่าเรือมีความราบรื่น ไม่ขรุขระ สัญจรสะดวก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.90) ตามลำดับ

ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองที่เป็นเจ้าหน้าที่ติดต่อประสานงานมีความพึงพอใจต่อการให้บริการโดยรวมอยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.03 แสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) ความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่ติดต่อประสาน ต่อการให้บริการท่าเรือกรณีศึกษา

ความพึงพอใจ	$\bar{X}$	S.D	ระดับ
ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการให้บริการ	3.77	0.42	มาก
ด้านเจ้าหน้าที่ / บุคลากรการให้บริการ	3.90	0.69	มาก
ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก	4.10	0.54	มาก
ด้านคุณภาพการให้บริการ/สินค้า	4.20	0.67	มาก
ด้านความปลอดภัย	4.20	0.59	มาก
ค่าเฉลี่ย	**4.03**	**0.44**	**มาก**

เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านทั้ง 5 ด้านพบว่าด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการให้บริการอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.77 โดยพบว่าค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ ระยะเวลาการให้บริการมีความเหมาะสม ตรงตามความต้องการของผู้รับบริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10) รองลงมาคือ มีขั้นตอนในการให้บริการที่สะดวกและรวดเร็ว (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.80) และขั้นตอนการให้บริการไม่ยุ่งยากซับซ้อน เข้าใจง่าย (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.40) ตามลำดับ

ด้านเจ้าหน้าที่/บุคลากรการให้บริการอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.90 โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ มีการให้ข้อมูลลำดับขั้นตอนการดำเนินงานชัดเจน (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20) รองลงมาคือ เจ้าหน้าที่มีความกระตือรือร้นและความพร้อมในการให้บริการตลอดเวลา (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10) กิริยามารยาทของเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ มีความสุภาพ และเต็มใจให้บริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.90) เจ้าหน้าที่มีความรู้ ความสามารถในการให้บริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.70) และเจ้าหน้าที่ให้บริการต่อผู้รับบริการเหมือนกันทุกราย โดยไม่เลือกปฏิบัติ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.60) ตามลำดับ

ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10 โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ มีสื่อที่ใช้ประชาสัมพันธ์ขั้นตอนในการติดต่อเข้ามาใช้บริการมีความชัดเจน เข้าใจง่าย (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20) รองลงมาคือ สถานที่ตั้งของหน่วยงาน สะดวกในการเดินทางมารับบริการ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10) และ มีช่องทางการติดต่อสื่อสารที่ง่ายและสะดวก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.90) ตามลำดับ

ด้านคุณภาพการให้บริการ/สินค้าอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ ได้รับสินค้าถูกต้องและครบถ้วนตามปริมาณที่กำหนด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50) รองลงมาคือ พนักงานที่มีความรู้เกี่ยวกับสินค้าและคอยให้คำแนะนำรายละเอียดเป็นอย่างดี (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20) และข้อมูลและสารสนเทศที่ได้รับบริการมีความถูกต้อง ชัดเจน (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.90) ตามลำดับ

ด้านความปลอดภัยอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ มีเจ้าหน้าที่ดูแลรักษาความปลอดภัยตามจุดต่างๆ ภายในเขตท่าเรือ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30) และการจราจรภายในเขตท่าเรือมีความเป็นระเบียบ สะดวก ปลอดภัย (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30) รองลงมาคือ มีอุปกรณ์ในการรักษาความปลอดภัยในเขตท่าเรือ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10) และสภาพพื้นถนนภายในเขตท่าเรือมีความราบรื่น ไม่ขรุขระ สัญจรสะดวก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10)

4.4 ผลการทดสอบสมมติฐาน

ปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ของพนักงานขับรถบรรทุก ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า เพศที่แตกต่างกันส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองที่แตกต่างกันในด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการให้บริการ ด้านเจ้าหน้าที่/บุคลากรการให้บริการ และด้านการบริหารจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม และระดับการศึกษาที่แตกต่างกันส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองที่แตกต่างกันในด้านความปลอดภัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ของเจ้าหน้าที่ติดต่อประสานงาน ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า อายุและระดับการศึกษาที่ต่างกันทำให้ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองแตกต่างกันในด้านเจ้าหน้าที่/บุคลากรการให้บริการ และด้านความปลอดภัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5. สรุป

บทความนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการท่าเรือสินค้าเทกองของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงการให้บริการท่าเรือให้มีประสิทธิภาพและสอดคล้องตามความต้องการของผู้ใช้บริการท่าเรือกรณีศึกษา ผลการศึกษาสรุปดังนี้ พนักงานขับรถ มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณารายด้านทั้ง 5 ด้านพบว่า ด้านเจ้าหน้าที่/บุคลากรการให้บริการ และด้านการบริหารจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการให้บริการ ด้านความปลอดภัย และด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ตามลำดับ เจ้าหน้าที่ติดต่อประสานงาน มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณารายด้านทั้ง 5 ด้านพบว่า ด้านคุณภาพการให้บริการ/สินค้า และด้านความปลอดภัย มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ด้านเจ้าหน้าที่/บุคลากรการให้บริการ และด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการให้บริการ ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม แม้ลูกค้าจะมีความพึงพอใจต่อการให้บริการอยู่ในระดับดี แต่สามารถปรับปรุงและพัฒนา การให้บริการท่าเรือกรณีศึกษาให้ดียิ่งขึ้นได้ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อการให้บริการท่าเรือกรณีศึกษาที่น้อยที่สุดในแต่ละด้าน พบว่าสามารถเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาได้ดังนี้

5.1 ควรมีการจัดลำดับของรถบรรทุกที่จะเข้ามาขนถ่ายสินค้าที่หน้าท่าเรือ และควรมีการดำเนินงานของขั้นตอนในการขนถ่ายแต่ละขั้นตอนให้กระชับและชัดเจนยิ่งขึ้น เพื่อให้ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการให้บริการ มีขั้นตอนในการขนถ่ายสินค้าที่รวดเร็วขึ้น รวมทั้งควรมีระบบ DMS (Document Management System) หรือระบบการจัดการเอกสารรูปแบบ Digital เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลและเอกสารของท่าเรือ

5.2 ควรมีการจัดอบรมเกี่ยวกับขั้นตอนกระบวนการต่างๆ ในการทำงาน และควรปลูกฝังค่านิยมเกี่ยวกับงานบริการให้กับพนักงานทุกคน เพื่อที่พนักงานจะได้มีความรู้ความสามารถที่จะแก้ปัญหาหรือตอบข้อซักถามให้กับผู้ที่มาใช้บริการได้ดีขึ้น รวมทั้ง ควรมีการประเมินประสิทธิภาพของพนักงานทุกไตรมาส เพื่อให้ทราบถึงการปฏิบัติงานทำงานของทุกคน หากพบว่าผลประเมินไม่ได้ตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดควรดำเนินการเตือนและปรับปรุงตามความเหมาะสม และเพิ่มช่องทางให้ผู้ใช้บริการสามารถให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทำงานของเจ้าหน้าที่

5.3 ควรมีการเพิ่มจำนวนห้องน้ำและเพิ่มห้องอาบน้ำให้พนักงานขับรถบรรทุก และควรมีการแยกประเภทของห้องน้ำระหว่างชายและหญิงเพื่อความสะดวกและปลอดภัยในการใช้บริการ รวมทั้ง ควรเพิ่มช่องทางการติดต่อที่หลากหลายและทันสมัย เช่น โฆษณาในสื่อโซเชียลมีเดีย การนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาใช้ การปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ เพื่อให้มีทันต่อการเปลี่ยนแปลงของธุรกิจ

5.4 ควรเพิ่มมาตรการในการควบคุมการฟุ้งกระจายของฝุ่นที่เกิดจากการขนถ่าย โดยมีการกำหนดจุดจอดเรือสินค้าและพื้นที่ทำการขนถ่ายเพื่อเตรียมการป้องกันในแต่ละจุด

5.5 ควรมีการแจ้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้เข้ามาซ่อมแซมและตรวจสอบดูแลพื้นถนนที่บริเวณตาชั่งจนถึงท่าเรือให้มีการสัญจรที่ราบรื่น และมีความปลอดภัยอยู่เสมอ

ทั้งนี้ ผลการศึกษาด้านปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ของพนักงานขับรถบรรทุก มีผลต่อระดับความพึงพอใจในด้านกระบวนการให้บริการและการบริหารจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยในลำดับถัดไปควรต้องศึกษาว่าความคาดหวังของแต่ละกลุ่มแตกต่างกันอย่างไรเพื่อปรับปรุงการบริการให้เหมาะสม อีกทั้ง ปัจจัยด้านอายุและการศึกษาของเจ้าหน้าที่ประสานงาน มีผลต่อระดับความพึงพอใจ ดังนั้นควรมีนโยบายสนับสนุนการฝึกอบรมให้ตรงกับกลุ่มอายุและระดับการศึกษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเจ้าหน้าที่ อย่างไรก็ตี ผลการศึกษานี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการวางแผนเชิงกลยุทธ์เพื่อปรับปรุงการให้บริการ การกำหนดเป้าหมายการปรับปรุงในอนาคต และใช้เปรียบเทียบระดับการให้บริการกับท่าเรืออื่น ๆ รวมถึงการจัดสรรงบประมาณให้เหมาะสมสำหรับท่าเรือกรณีศึกษา และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องหรือที่คล้ายคลึงกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณชยาดา ธนจารุวงศ์ คุณพิมพ์นิภา วงค์แก้ว และคุณวรัญญา จุ้ยไทย ที่ช่วยสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมเจ้าท่า. 2565. รายงานสถิติการขนส่งทางน้ำบริเวณเมืองท่าชายทะเล, ข้อมูลจาก https://md.go.th (วันที่สืบค้น 9 ตุลาคม 2566)

[2] กรมเจ้าท่า. 2565. รายงานสถิติข้อมูลการขนส่งสินค้าทางน้ำบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาและป่าสัก, ข้อมูลจาก https://md.go.th (วันที่สืบ 8 ตุลาคม 2566)

[3] ปัณฑิตา ยูงทอง, ชลดา มนัสทรง และตะวัน วิกรัยพัฒน์. 2561. “ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการต่อการให้บริการขนส่งทางทะเล: กรณีศึกษา บริษัทเอ็กซ์เพิททีม จำกัด.” วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยรัตนบัณฑิตม, ปีที่ 13 ฉบับที่ 2: 61 – 74.

[4] ดวงใจ จันทร์ดาแสง. 2558 “ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการขนส่งสินค้าขาออกของผู้ประกอบการ กรณีศึกษา ท่าเรือกรุงเทพ.” วารสารดุษฎีบัณฑิตทางสังคมศาสตร์ (ฉบับมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์), ปีที่ 5 ฉบับที่ 3: 52 – 65.

[5] ชลธี อยู่สวัสดิ์. คุณภาพการให้บริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้โดยสารเรือด่วนเจ้าพระยา ในกรุงเทพมหานคร, การศึกษาอิสระ, ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ, 2564.

[6] ลักษณ์ ศรีวิไลย และอมรา ดอกไม้. 2563. “ความพึงพอใจต่อคุณภาพการให้บริการสำนักงานเจ้าท่าภูมิภาคอยุธยา.” วารสารวิทยาการจัดการปริทัศน์, ปีที่ 22 ฉบับที่ 2: 131 – 140.

[7] นฤมล บุญกาญจนา. ความพึงพอใจของผู้ประกอบการส่งออกยางพาราในจังหวัดสงขลาต่อการให้บริการของด่านศุลกากรปาดังเบซาร์และท่าเรือสงขลา, สารนิพนธ์, ปริญญาศิลปกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2553.

[8] ฐาณพัฒณ์ ภูแดนกลางและชิณโสณ์ วิสิฐนิธิกิจา. 2564. “คุณภาพการให้บริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการขนส่ง บริษัทแฟลช เอ็กเพรส จำกัด.” วารสารศิลปะการจัดการ, ปีที่ 5 ฉบับที่ 1: 17 – 29.

[9] สอาด สุขเสดาะ และคณะ. พฤติกรรมและความพึงพอใจของผู้ใช้บริการเรือข้ามฟากท่าฉลอม-มหาชัย, รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2553.

[10] ทวีศักดิ์ เทพพิทักษ์. 2551. “การยกระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีความคาดหวังและการรับรู้ของลูกค้าของผู้ประกอบการท่าเทียบเรือแหลมฉบัง.” วารสารการขนส่งและโลจิสติกส์ (TRANSLOG), ปีที่ 1 ฉบับที่ 1: 67 – 95.

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิตของเครื่องเหลาก้านจาก โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชน เครื่องจักสานผลิตภัณฑ์ก้านจาก บ้านนายยอดทอง จังหวัดตรัง

Analysis of factors to the quality of the product from Nipa palm stalk sharpener machine by the factorial design of experiments. Case study: Community enterprise group Wicker products made from Ban Nai Yot Thong, Trang Province.

มนัส แก้วกูล[1] ปรุพห์ มะยะเฉี่ยว[2] กรสิริณัฐ โรจนวรรณ์[3] พลากร พรหมเมศร์[4] พรรณเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์[2] นัตพงศ์ โชติพันธ์[2*]
[1]หลักสูตรการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[4]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
E-mail: nattapong.c@pnu.ac.th*

Manat Kaewkoon[1], Paroon Mayachearw[2], Kornsirinut Rothjanawan[3], Palakorn Prommet[4], Phanpen Thavornprasit[2], Nattapong Chotipan[2*]
[1]Technology and Innovation Management, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
[3]Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
[4]Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
E-mail: nattapong.c@pnu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิตของเครื่องเหลาก้านจากโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล เพื่อนำไปสู่การแก้ไข ปรับตั้ง หรือปรับเปลี่ยนชิ้นส่วน ที่เป็นปัจจัยต่อลักษณะของก้านจากที่มีคุณภาพ โดยได้วิเคราะห์ปัจจัยของเครื่องเหลาก้านจากต้นแบบที่มีผลต่อจำนวนก้านจากที่มีคุณภาพ ได้แก่รูปแบบใบมีด 3 รูปแบบได้แก่ A B และ C และความเร็วของลูกกลิ้ง 3 ระดับได้แก่ 200, 300, และ 400 รอบต่อนาที การทดลองมีการสุ่มลำดับการทดลอง และเก็บผลการทดลอง โดยมีเงื่อนไขของก้านจากที่มีคุณภาพซึ่งต้องถูกเหลาออกอย่างหมดจด ไม่มีใบจากหลงเหลืออยู่ ซึ่งจะชี้วัดเป็นจำนวนก้านจากที่มีคุณภาพ หลังจากนั้นใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab 19 ผลคือปัจจัยรูปแบบใบมีด และ ความเร็วของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที) มีผลต่อจำนวนก้านจากที่มีคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญ (α=0.05) ซึ่ง โปรแกรม Minitab 19 สามารถวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้จากผลของปัจจัยหลัก คือการใช้ใบมีรูปแบบ C และปรับความเร็วของลูกกลิ้งที่ 300 รอบ/นาที จะส่งผลให้ได้จำนวนก้านจากที่มีคุณภาพมากที่สุด
คำสำคัญ: เครื่องเหลาก้านจาก การออกแบบการทดลอง การวิเคราะห์ปัจจัย จาก

Abstract

This research is analysis of factors to the quality of the product from Nipa palm stalk sharpener machine by the factorial design of experiments to lead to the correction, adjustment, or modification of parts that are factors affecting the Nipa palm stalk with quality. The factors of the from Nipa palm stalk sharpener machine that affect the number of quality. There are three blade styles: A, B and C and 3 roller speeds: 200, 300, and 400 rpm. The experiment has a random order of experiments. The results of the experiment are collected, with the condition that the stems of the mangroves are of good quality and must be completely trimmed, with no leaves remaining. which will be measured as the number of quality stems. After that, statistical data are analyzed using the Minitab 19. The results are that the blade style and the roller speed (rpm) have a significant effect on the number of quality stems (α=0.05). The Minitab 19 can analyze the most suitable conditions from the results of the main factors, which are using a C styles blade and adjusting the roller speed to 300 rpm, which will result in the highest number of quality stems.
Keywords: Nipa palm stalk sharpener machine, Design of experiments, Analysis of factors, Nipa palm

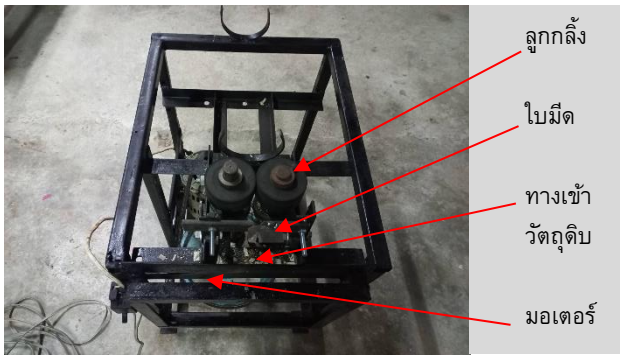
1. บทนำ

ต้นจากเป็นพืชตระกูลปาล์มอยู่คู่กับธรรมชาติทางภาคใต้มายาวนาน ชาวบ้านได้นำส่วนต่างๆของต้นจากมาใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกชิ้นส่วน เช่น ผลอ่อน นำมารับประทานสด ทำเป็นขนมหวาน ทลายจากตัดเอาน้ำมาทำเป็นน้ำหวานหรือน้ำตาลก้อนใช้ประกอบอาหาร ใบจากนำมาทำเป็นตับจากใช้มุงหลังคา ห่อขนม หรือมวนยาเส้น เป็นต้น กลุ่มชาวบ้าน ตำบลวังวน อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง ได้จัดตั้งกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจักสารผลิตภัณฑ์จากก้านจาก บ้านนายยอดทอง สร้างผลิตภัณฑ์จากก้านจากส่งขายสร้างรายได้ให้ครอบครัวอีกทางหนึ่ง โดยการนำก้านจากส่วนที่เหลือจากการลอกใบจากไปขายสำหรับมวนยาเส้น ส่วนที่เหลือคือก้านจาก ซึ่งกระบวนการจักสารผลิตภัณฑ์จากก้านจาก จะใช้วัตถุดิบ คือก้านจากที่ถูกเหลาและตากแห้งสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆเช่น ที่วางหม้อหุงข้าว กระจาดใส่ของ เป็นต้น โดยกระบวนการผลิตก้านจากยังคงใช้วิธีการเหลาให้ก้านจากด้วยมีดดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการเหลาก้านจากด้วยวิธีดั้งเดิม

จากรูปที่ 1 กระบวนการเหลาก้านจากด้วยวิธีดั้งเดิม เป็นกระบวนการที่ใช้เวลานาน ส่งผลต่อรายได้ในการขายผลิตภัณฑ์ที่ไม่คุ้มค่ากับเวลาที่สูญเสียไป ผู้วิจัยจึงคิดค้นสร้างเครื่องเหลาก้านจากออกแบบโดยได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างเครื่องจักรกล ศึกษาวัสดุอุปกรณ์ในท้องตลาดจากแหล่งค้าขายวัสดุต่างๆ เพื่อให้ได้ราคาและวัสดุที่พร้อมในการสร้าง หาวัสดุได้ง่าย ราคาเหมาะสม ซึ่งเครื่องเหลาก้านจากต้นแบบ มีส่วนประกอบหลายส่วนที่ต้องมีการออกแบบและทดลองเพื่อแก้ไข ปรับตั้ง หรือปรับเปลี่ยนชิ้นส่วน จนกว่าจะมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้ลูกกลิ้งหมุนเลื่อนพาก้านจากวิ่งเข้าหาใบมีดควบคุมการหมุนความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ โดยใบมีดทำหน้าที่เหลาหยาบ แล้วส่งชิ้นงานต่อไปยังลูกล้อลวดขัดทำหน้าที่เหลาละเอียด แล้วก็ส่งชิ้นงานออกโดยใช้ลูกกลิ้งดันออกไปจากตัวเครื่องดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องเหลาก้านจากต้นแบบ

จากรูปที่ 2 ปัจจุบันยังเป็นขั้นตอนของการปรับปรุงเครื่องจักรต้นแบบ จึงยังไม่สามารถหาประสิทธิภาพ ปริมาณเกาะผลิต และคุณภาพได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในการทดลองเครื่องจักรต้นแบบเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพของก้านจาก เพื่อนำไปสู่การแก้ไข ปรับตั้ง หรือปรับเปลี่ยนชิ้นส่วน ที่ทำให้การผลิตก้านจากได้คุณภาพที่ชี้วัดได้ ทั้งนี้การทดลองทั่วไปไม่สามารถชี้วัดผลได้อย่างน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาทฤษฎีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคตอเรียล [1] เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการทดลองอย่างมีหลักการและมีความน่าเชื่อถือทางสถิติ ประกอบกับผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องอาทิ เช่น การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องเป่าแห้งมันเทศในชุมชนทับน้ำ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยการออกแบบการทดลองโดย ฉัตรพล พิมพา บัณฑิตา ภู่ทรัพย์มี โปณะทอง และ ศิวพร แน่นหนา [2] ซึ่งได้ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยจำนวน 2 ปัจจัย ประกอบด้วย อุณหภูมิของตัวทำความร้อนและความเร็วของสายพาน และทดสอบข้อมูลทางสถิติพบว่าผลกระทบหลักของปัจจัยทั้งสองปัจจัยส่งผลกระทบจำนวนมันเทศที่ผ่านตามมาตรฐานของเกษตรกร ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดพบว่า การปรับตั้งอุณหภูมิของตัวทำความร้อนไว้ที่ 200 องศาเซลเซียส และการปรับความเร็วของสายพานไว้ที่ 1 เมตรต่อนาที เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเรื่อง การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว ของ บุญชัย แซ่สิ้ว และณัฐธยาน์ โสกุล [3] ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักของของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุขนม ได้แก่ ความเร็วรอบ อุณหภูมิ แรงกด และเวลาในการซีล โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2 ยกกำลัง k ในการทดลองเชิงสถิติ ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม คือ ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 157 องศาเซลเซียส แรงกด 6 bar และเวลาในการซีล 0.5 วินาทีเมื่อนำผลจากการวิจัยมาใช้ในกระบวนการทางานจริงพบว่า มูลค่าของเสียที่เกิดจากอาการซองรั่วลดลงจากเดิม 855,571.72 บาท เหลือ 596,482.21 บาท คิดเป็นอัตราลดลงร้อยละ 30.29 และงานวิจัยเรื่อง วิเคราะห์ปัจจัยที่มี

ผลต่อปริมาณผงมันสำปะหลังของเครื่องบดอาหารสัตว์ด้วยเทคนิคพื้นผิวสะท้อน ของวรรณรพ ขันธิรัตน์ ปิยณัฐ โตอ่อน และสุพรรณ สุดสนธิ์ [4] ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผงมันสำปะหลังด้วยวิธีการออกการทดลองด้วยเทคนิคพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Methodology : RSM) โดยพิจารณาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ ค่าความชื้น ความเร็วรอบ และระยะห่างของล้อลูกหิน ซึ่งได้ผลวิเคราะห์ค่าที่ดีที่สุด (Response Optimization) ของปริมาณผงอาหารมากที่สุด (Maximum) ได้ปริมาณผงอาหารมากที่สุดร้อยละ 57.71 (%น้ำหลักโดยรวม) จะต้องใช้ตัวอย่างการทดลองที่มีความชื้นเท่ากับ 6.86% ความเร็วรอบที่ 859.6 รอบ/นาที และมีระยะห่างเท่ากับ 0.31 มิลลิเมตร (มม.) จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรนำผงมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเกษตรมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ได้

จากงานทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นยังไม่พบงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องเหลาก้านจาก และผู้วิจัยพบว่าการออกแบบการทดลองเชิงแฟคตอเรียล สามารถนำไปสู่การปรับค่าปัจจัยต่างๆ เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงจนได้ผลผลิตที่ต้องการ การวิจัยนี้จึงได้นำหลักการดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการออกแบบการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิตของเครื่องเหลาก้านจาก นำไปสู่การแก้ไข ปรับตั้งหรือปรับเปลี่ยนชิ้นส่วน ที่เป็นปัจจัยต่อลักษณะของก้านจากที่มีคุณภาพ โดยการวิเคราะห์ปัจจัยใช้หลักการทางสถิติ ออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล เพื่อความน่าเชื่อถือทางสถิติ และนำไปสู่การปรับปรุงเครื่องเหลาก้านจากต้นแบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในลำดับถัดไป โดยผู้วิจัยได้กำหนดวัตถุประสงค์ดังนี้

- เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยของเครื่องเหลาก้านจากต้นแบบที่มีผลต่อจำนวนก้านจากที่มีคุณภาพ
- เพื่อกำหนดความเร็วรอบของลูกกลิ้ง และชุดใบมีดที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ก้านจากที่มีคุณภาพมากที่สุด

2. การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง มีการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิตของเครื่องเหลาก้านจาก โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งได้มีการกำหนดวิธีการดำเนินการวิจัยตามหลักการทางสถิติได้แก่ การกำหนดผลการทดลองของงานวิจัย การกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัย และการออกแบบการทดลอง ดังนี้

2.1 การกำหนดผลการทดลองของงานวิจัย

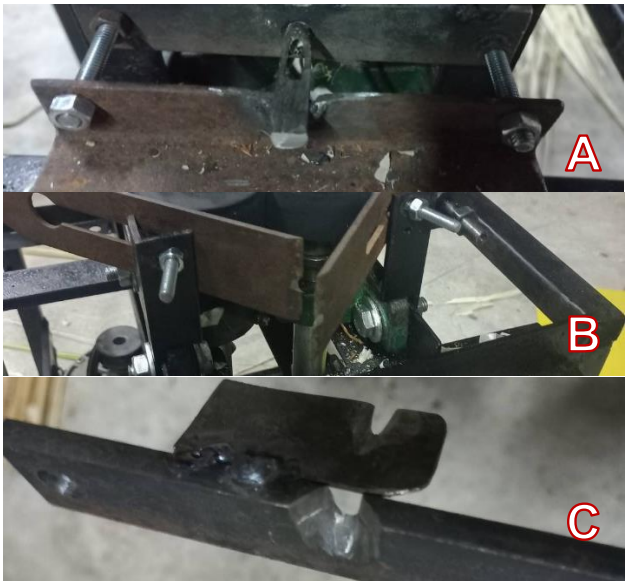
พิจารณาจากคุณภาพของก้านจากที่ผ่านเครื่องเหลาก้านจาก โดยใช้เกณฑ์ที่กำหนดจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ซึ่งจะใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อให้ข้อมูลและกำหนดลักษณะของก้านจากที่มีคุณภาพ และไม่มีคุณภาพแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะของก้านจากที่มีคุณภาพ (1) และก้านจากที่ไม่มีคุณภาพ (2) โดยการชี้วัดของประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

2.2. การกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัย

เลือกกำหนดปัจจัยที่จะนำมาใช้ในการทดลอง 2 ปัจจัย คือ รูปแบบใบมีด A (ใบมีดแบบหลอดมีร่องคม) B (ใบมีด 2 ใบตั้งฉากตามแนวแกนนอน) และ C (ใบมีด 2 ใบตั้งฉากตามแนวแกนตั้ง) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปแบบใบมีด A B และ C

ปัจจัยถัดมาคือ ความเร็วของลูกกลิ้งที่ปรับตั้งได้จากการใช้ตัวควบคุมมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งสามารถตั้งค่าลูกกลิ้งได้เร็วที่สุดคือ 400 รอบต่อนาที และช้าที่สุดคือ 200 รอบต่อนาทีจึงกำหนดระดับของปัจจัยเป็น 200, 300, และ 400 รอบต่อนาทีตามหลักการทางสถิติ ทั้งสองปัจจัยเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ส่วนปัจจัยอื่นๆ ที่อาจเกี่ยวข้องกับผลตอบของงานวิจัย เช่น ผู้ทดลอง วันที่ทำการทดลอง กลุ่มของใบจากที่ใช้ในการทดลองจะถูกควบคุมให้เหมือนกัน เพื่อให้ปัจจัยเหล่านั้นไม่ส่งผลต่อผลตอบของกระบวนการวิจัย

2.3 การออกแบบการทดลอง

ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มจำนวน กำหนดปัจจัยละ 3 ระดับ ได้แก่ รูปแบบใบมีด 3 รูปแบบได้แก่ A B และ C และความเร็วของลูกกลิ้ง 3 ระดับได้แก่ 200, 300, และ 400 รอบต่อนาที ซึ่งสามารถแสดงตารางปัจจัยและระดับการทดลองได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยการทดลอง (ตัวแปรต้น)

ปัจจัย	หน่วย	ระดับของปัจจัย		
รูปแบบใบมีด	แบบที่	A	B	C
ความเร็วของลูกกลิ้ง	รอบต่อนาที	200	300	400

จากปัจจัยและระดับของปัจจัย (ตัวแปรต้น) การทดลองในตารางที่ 1 ด้วยข้อจำกัดด้านต้นทุนวัตถุดิบ การทดลองดังกล่าวจะทดลองซ้ำจำนวน 2 ครั้ง เมื่อรวมการทดลองทั้งหมดสิ้นจะต้องทดลองจำนวน 18 การทดลอง การทดลองละ 1 มัด มัดละ 30 ก้าน ลำดับในการทดลองจะถูกสุ่มลำดับการทดลองโดยโปรแกรม Minitab 19 ในแต่ละการทดลองจะใช้ก้านจากจำนวน 30 ก้าน ซึ่งผลการทดลองจะชี้วัดตัวแปรตามเป็นจำนวนก้านจากที่มีคุณภาพ (ตัวแปรตาม) ประเมินโดยประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 19 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางการทดลองจากโปรแกรม Minitab 19

StdOrder (การสุ่ม)	RunOrder	รูปแบบใบมีด	ความเร็วของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที)
16	1	C	200
3	2	A	400
15	3	B	400
12	4	A	400
13	5	B	200
18	6	C	400
14	7	B	300
9	8	C	400
5	9	B	300
11	10	A	300
2	11	A	300
6	12	B	400
4	13	B	200
17	14	C	300
1	15	A	200
8	16	C	300
10	17	A	200
7	18	C	200

3. การทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มจำนวนโดยปรับตั้งเครื่องจักรตามรายละเอียดในข้อ 2.3 ความเร็วของลูกกลิ้งที่ปรับตั้งได้จากการใช้ตัวควบคุมมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งสามารถตั้งค่าลูกกลิ้งได้เร็วที่สุดคือ 400 รอบต่อนาที และช้าที่สุดคือ 200 รอบต่อนาทีจึงกำหนดระดับของปัจจัยเป็น 200, 300, และ 400 รอบต่อนาทีตามหลักการทางสถิติ และเก็บผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลการทดลอง การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของการทดลอง และการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรม Minitab 19 มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การทดลอง

การทดลองจะถูกสุ่มลำดับการทดลอง ผู้วิจัยดำเนินการปรับเปลี่ยนรายละเอียดของปัจจัย ดังตารางที่ 2 และเดินเครื่องและป้อนวัตถุดิบก้านจากจำนวน 30 ก้านต่อ 1 การทดลอง และเก็บผลการทดลอง ซึ่งจะชี้วัดเป็นจำนวนก้านจากที่มีคุณภาพ (ตัวแปรตาม) โดยประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ส่วนปัจจัยที่ผู้วิจัยไม่ได้นำมาทดลองนั้นจะถูกควบคุมให้อยู่ในระดับเดียวกัน เช่น ผู้ทดลองต้องเป็นคนเดียวกัน ใบจากต้องเก็บเกี่ยวในวันและสถานที่เดียวกัน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลอง

RunOrder	รูปแบบใบมีด	ความเร็วของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที)	จำนวนก้านจากที่มีคุณภาพ
1	C	200	22
2	A	400	15
3	B	400	0
4	A	400	13
5	B	200	0
6	C	400	10
7	B	300	0
8	C	400	13
9	B	300	0
10	A	300	15
11	A	300	17
12	B	400	0
13	B	200	0
14	C	300	29
15	A	200	10
16	C	300	29
17	A	200	8
18	C	200	25

จากตารางที่ 3 ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นผู้วิจัยได้กำหนดระดับนัยสำคัญ α=0.05 จะพิจารณาจากค่า P-Value ที่ได้จากการทดลอง กรณีที่ค่า P-Value ของปัจจัยมีค่ามากกว่า 0.05 หมายความว่าผลกระทบของปัจจัยนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อผลตอบของงานวิจัย ในทางกลับกันในกรณีที่ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าผลกระทบของปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อผลตอบของงานวิจัย

3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง ดำเนินการหลังจากนำผลการทดลองเข้าและดำเนินการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab 19 ได้ผลดังตารางที่ 4

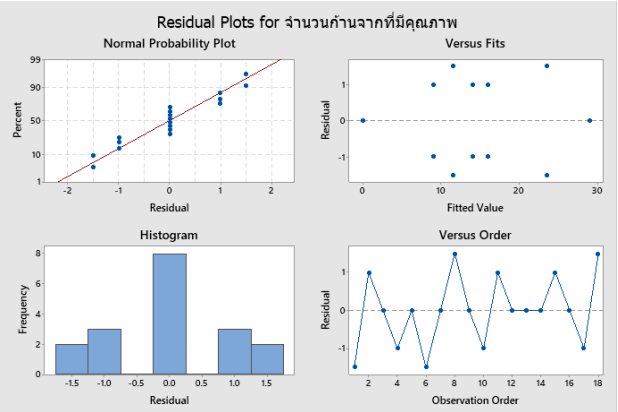
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากโปรแกรม Minitab 19

Source	DF	Adj S	Adj MS	F-Value	P-Value
รูปแบบใบมีด	2	1387.11	693.556	416.13	0.000
ความเร็วของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที)	2	130.11	65.056	39.03	0.000
รูปแบบใบมีด * ความเร็วของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที)	4	242.22	60.556	36.33	0.000
Error	9	15.00	1.667		
Total	17	1774.44			

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์สามารถอธิบายได้โดยพิจารณาค่า P-Value ซึ่งเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของผลกระทบหลักทั้งสองปัจจัยคือ รูปแบบใบมีด และ ความเร็วของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที) พบว่า P-Value เท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าผลกระทบหลักของปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อผลการทดลองของงานวิจัย ในส่วนของผลกระทบร่วมระหว่างรูปแบบใบมีด และ ความเร็วของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที) พบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าผลกระทบร่วมของปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อผลการทดลองของงานวิจัยเช่นเดียวกัน

3.3 ผลการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของการทดลอง

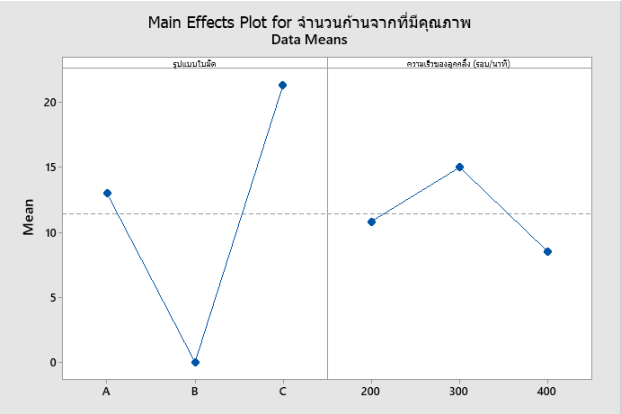
ในการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของการทดลอง ผู้จัยได้ทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล โดยเริ่มต้นจากการพิจารณา Normal Probability Plot และ Histogram ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลของการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และจะพิจารณาส่วนตกค้างเทียบกับค่าทำนาย (Versus Fits) และส่วนตกค้างเทียบกับลำดับการทดลอง (Versus Order) จากข้อมูลพบว่าลักษณะของส่วนตกค้างเทียบกับค่าทำนายและส่วนตกค้างเทียบกับลำดับการทดลองมีการกระจายตัวแบบไม่มีแนวโน้ม ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าส่วนตกค้างจากการทดลองเป็นไปตามสมมติฐาน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของการทดลอง

3.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

จากหัวข้อที่ 3.1-3.2 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยรูปแบบใบมีด และความเร็วของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที) มีผลต่อจำนวนก้านจากที่มีคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญ (α=0.05) ซึ่ง โปรแกรม Minitab 19 สามารถวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้จากผลของปัจจัยหลักในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลของปัจจัยหลัก

จากรูปที่ 6 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้ใบมีรูปแบบ C และปรับความเร็วของลูกกลิ้งที่ 300 รอบ/นาที จะส่งผลให้ได้จำนวนก้านจากที่มีคุณภาพมากที่สุด

4. สรุป

การวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มจำนวนซึ่งใช้หลักการเดียวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แต่งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้กับปัจจัยในการออกแบบเครื่องเหลาก้านจาก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิตของเครื่องเหลาก้านจาก นำไปสู่การปรับตั้งความเร็วของลูกกลิ้ง และการเลือกแบบชุดใบมีดเพื่อนำมาติดตั้ง ซึ่งจะเป็นปัจจัยต่อลักษณะของก้านจากที่มีคุณภาพ โดยการวิเคราะห์ปัจจัยใช้หลักการทางสถิติ ออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล เพื่อความน่าเชื่อถือทางสถิติ โดยได้วิเคราะห์ปัจจัยของเครื่องเหลาก้านจากต้นแบบที่มีผลต่อจำนวนก้านจากที่มีคุณภาพ ได้แก่รูปแบบใบมีด 3 รูปแบบ ได้แก่ A (ใบมีดแบบหลอดมีร่องคม) B (ใบมีด 2 ใบตั้งฉากตามแนวแกนนอน) และ C (ใบมีด 2 ใบตั้งฉากตามแนวแกนตั้ง) และความเร็วของลูกกลิ้ง 3 ระดับได้แก่ 200, 300, และ 400 รอบต่อนาที การทดลองมีการสุ่มลำดับการทดลองเดินเครื่องและป้อนวัตถุดิบก้านจากจำนวน 30 ก้านต่อ 1 การทดลอง และเก็บผลการทดลอง ซึ่งจะชี้วัดเป็นจำนวนก้านจากที่มีคุณภาพ หลังจากนั้นใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab 19 ผลคือปัจจัยรูปแบบใบมีด และ ความเร็วของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที) มีผลต่อจำนวนก้านจากที่มีคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญ (α=0.05) ซึ่งโปรแกรม Minitab 19 สามารถวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้จากผลของปัจจัยหลัก คือการใช้ใบมีดรูปแบบ C (ใบมีด 2 ใบตั้งฉากตามแนวแกนตั้ง) และปรับความเร็วของลูกกลิ้งที่ 300 รอบ/นาที จะส่งผลให้ได้จำนวนก้านจากที่มีคุณภาพมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชน เครื่องจักสานผลิตภัณฑ์ก้านจาก บ้านนายยอดทอง ตำบลวังวน อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง ขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา และอีกหลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่มีส่วนให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์จนงานวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

[1] สรรฐติชัย ชีวสุทธิศิลป์. กลยุทธ์การออกแบบการทดลองสำหรับวิศวกรรม. นันทพันธ์พริ้นติ้ง, 2557

[2] ฉัตรพล พิมพา บัณฑิตา ภู่ทรัพย์มี โปณะทอง และ ศิวพร แน่นหนา. 2565. “การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องเป่าแห้งมันเทศในชุมชนทับน้ำ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยการออกแบบการทดลอง”. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์, ปีที่ 18 ฉบับที่ 2, 1–11.

[3] บุญชัย แซ่สิ้ว และณัฐธยาน์ โสกุล. 2559. “การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา : บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว”. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 9, ฉบับที่ 2: 30-44.

[4] วรรณรพ ขันธิรัตน์ ปิยณัฐ โตอ่อน และสุพรรณ สุดสนธิ์. 2556. “วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผงมันสำปะหลังของเครื่องบดอาหารสัตว์ด้วยด้วยเทคนิคพื้นผิวสะท้อน.” วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, ปีที่ 3, ฉบับที่ 6: 86-93.

[5] สดุษฎี บุญธรรม. 2559. “การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการตัดแท่งพลาสติกโดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง.” วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 9 ฉบับที่ 2: 20–28.

[6] ปฐมพงษ์ หอมศรี และจักรพรรณ คงธนะ. 2556. “การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสาหรับชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง”. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ปีที่ 3 ฉบับที่ 2: 73–95.

[7] ปองพล อุดมชัยเดช และอรรถกร เก่งพล. 2561. “การลดของเสียในกระบวนการชุบเคลือบผิว กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์เครื่องสำอาง.” การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี. 227 – 234.

การพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทย: การเปรียบเทียบเทคนิค SARIMAX และ Exponential Smoothing

Forecasting Thailand's Durian Production: A Comparative Analysis of SARIMAX and Exponential Smoothing Techniques

พิเชฐ พุ่มเกษร[1*] เริงทิวา ทิพยศักดิ์[2]
[1]ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: Phichet.p@fitm.kmutnb.ac.th*, fengrtw@ku.ac.th

Pichet Pumkaesorn[1*], Rerngtiwa Tippayasak[2]
[1]Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok Prachinburi Campus.
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University.
E-mail: Phichet.p@fitm.kmutnb.ac.th*, fengrtw@ku.ac.th

บทคัดย่อ

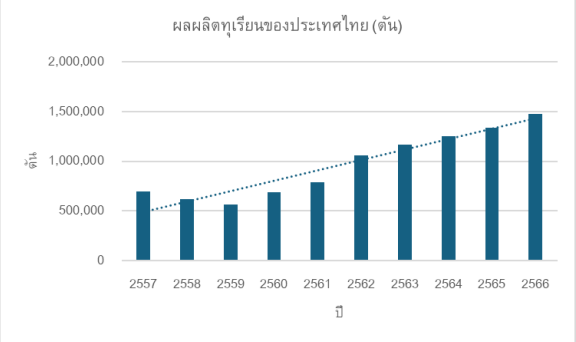
การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2567-2570 โดยเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์สองวิธี ได้แก่ เทคนิคการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติถอยหลังรวมเชิงฤดูกาลที่มีตัวแปรแวดล้อม (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variables: SARIMAX) และเทคนิคเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing Method) เพื่อค้นหาตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า SARIMAX (1,1,1) มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เพียง 3.77% และค่า RMSE ต่ำสุดที่ 66,660.08 เมื่อเปรียบเทียบกับ Double Exponential Smoothing (Holt's Method) ซึ่งให้ค่า MAPE เท่ากับ 10.74% และ RMSE ที่ 153,732.34 การพยากรณ์ปริมาณผลผลิตพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง โดยคาดการณ์ว่าปริมาณผลผลิตทุเรียนในปี พ.ศ. 2567 อยู่ที่ 1.56 ล้านตัน และจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.81 ล้านตันในปี พ.ศ. 2570 ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการผลิตและการบริหารจัดการตลาดทุเรียนของประเทศไทยในอนาคต
คำสำคัญ: การพยากรณ์, ทุเรียน, SARIMAX, Exponential Smoothing, ผลผลิตทางการเกษตร

Abstract

This study aims to forecast durian production in Thailand from 2024 to 2030 by comparing two forecasting techniques: the Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variables (SARIMAX) and the Exponential Smoothing Method. The objective is to identify the most suitable model for accurate predictions. The results indicate that the SARIMAX (1,1,1) model outperforms the Holt's Double Exponential Smoothing method, achieving a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 3.77% and a Root Mean Squared Error (RMSE) of 66,660.08, compared to Double Exponential Smoothing (Holt's Method) with a MAPE of 10.74% and an RMSE of 153,732.34. The forecast suggests a continuous increase in durian production, with an estimated 1.56 million tons in 2024, rising to 1.81 million tons by 2030. These findings provide valuable insights for agricultural planning and market management, ensuring a more strategic and data-driven approach to Thailand's durian industry.
Keywords: Forecasting, Durian, SARIMAX, Exponential Smoothing, Agricultural Production

1. บทนำ

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมสูงทั้งในประเทศและต่างประเทศ ถือเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์เกษตรที่มีมูลค่าเศรษฐกิจสูงของประเทศไทยสามารถสร้างรายได้เป็นมูลค่าหลายแสนล้านบาทต่อปี หรือคิดเป็นผลผลิตรวมมากกว่า 5 แสนตันต่อปี โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ในการปลูกทุเรียนอยู่ในเขตภาคตะวันออก และภาคใต้บางพื้นที่ของประเทศไทย ได้แก่ จันทบุรี ระยอง ชุมพร ตราด สุราษฎร์ธานี เป็นต้น อีกทั้งยังได้รับความนิยมในการบริโภคทุเรียนก็เพิ่มขึ้นจากตลาดภายในประเทศ และต่างประเทศ



รูปที่ 1 ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทย ปี 2557-2566 [9]

ในตลาดต่างประเทศ อาทิเช่น จีน, ฮ่องกง, เวียดนาม และมาเลเซีย ซึ่งถือเป็นตลาดหลักสำหรับการส่งออกทุเรียนของไทย ปัจจัยหลายอย่างได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิต และปริมาณการบริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศ เช่น การเปลี่ยนแปลงทางด้านภูมิอากาศ การพัฒนาสินค้าและการตลาด รวมถึงการเติบโตของประชากรและการเปลี่ยนแปลงในรสนิยมการบริโภคของผู้บริโภค [8] [10]

การพยากรณ์สินค้าเกษตร เพื่อคาดการณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนซึ่งเป็นเรื่องที่มีความสำคัญสำหรับการวางแผนผลิต การคาดการณ์ที่แม่นยำสามารถช่วยให้เกษตรกรได้วางแผนในการเพาะปลูกในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดอย่างตรงเวลาและเหมาะสม

โดยภาพรวมปริมาณผลผลิตทุเรียนปรับตัวเพิ่มขึ้น 6.30% เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า และสูงกว่าปริมาณผลผลิตเฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปี ปริมาณผลผลิตรายปีอยู่ที่ 1.33 ล้านตัน และในช่วงปี 2566 ภาพรวมปริมาณผลผลิตทุเรียนปรับตัวลดลง 44.39% เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า และต่ำกว่าปริมาณผลผลิตเฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปี ประเทศไทยจึงมีแนวโน้มปริมาณผลผลิตทุเรียนลงลด แสดงดังรูปที่ 1 จากที่มาและความสำคัญข้างต้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการพยากรณ์ประมาณผลผลิตทุเรียนในอนาคตปี 2567-2570 [9][10]

1.1 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1) เพื่อสร้างตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทย

2) เพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทย 2 วิธี ระหว่างเทคนิคการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติถอยหลังรวมเชิงฤดูกาลที่มีตัวแปรแวดล้อม (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variables : SARIMAX) และเทคนิคเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential smoothing method)

3) เพื่อคาดการณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทยล่วงหน้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2567 -2570

1.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทยที่เหมาะสม

2) พยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทย ซึ่งจะช่วยในการวางแผนการผลิต และการจัดการตลาดในอนาคต 2567 - 2570

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทย ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติถอยหลังรวมเชิงฤดูกาลที่มีตัวแปรแวดล้อม (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variables : SARIMAX) และเทคนิคเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential smoothing method) และการตรวจสอบวรรณกรรม ดังนี้

2.1 หลักการพื้นฐานของการพยากรณ์ (Theoretical Framework)

การพยากรณ์ (Forecasting) หมายถึงกระบวนการคาดการณ์ หรือประมาณค่าข้อมูลในอนาคต โดยอ้างอิงจากข้อมูลในอดีตและปัจจุบัน [1] เพื่อใช้ในการตัดสินใจในด้านต่างๆ เช่น การวางแผนการผลิต การจัดการสินค้าคงคลัง การวางแผนการเงิน การตลาด รวมถึงการพยากรณ์การส่งออกและการผลิตสินค้า การพยากรณ์เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถเตรียมพร้อมรับมือกับการเปลี่ยนแปลงในอนาคต และสามารถปรับตัวตามสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม [2][3]

2.1.1 ประเภทของการพยากรณ์

แบ่งออก 3 ประเภทตามระยะเวลาในการคาดการณ์ ได้แก่

1) การพยากรณ์ระยะสั้น (Short-term Forecasting) กระบวนการคาดการณ์เหตุการณ์หรือสภาวะในอนาคตในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยปกติจะอยู่ในระยะเวลาไม่เกิน 1 ปี ส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์และประเมินข้อมูลในอดีต เพื่อทำการคาดการณ์แนวโน้มในอนาคตที่ใกล้เข้ามา

2) การพยากรณ์ระยะกลาง (Medium-term Forecasting) กระบวนการคาดการณ์ข้อมูลหรือแนวโน้มในช่วงเวลาที่ไม่สั้นหรือยาว

เกินไป โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 3 เดือนถึง 2 ปี ขึ้นอยู่กับลักษณะของธุรกิจหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

3) การพยากรณ์ระยะยาว (Long-term Forecasting) กระบวนการคาดการณ์ข้อมูลในอนาคตในระยะเวลาที่ค่อนข้างยาว ซึ่งอาจครอบคลุมระยะเวลาหลายเดือน หลายปี หรือหลายทศวรรษ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และสาขาของการพยากรณ์ โดยมุ่งเน้นไปที่แนวโน้มและพฤติกรรมของตัวแปรที่กำลังพิจารณาในระยะเวลายาว ๆ มากกว่าการเปลี่ยนแปลงเฉพาะหน้า [1][2][3]

2.1.2 เทคนิคการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติถอยหลังรวมเชิงฤดูกาลที่มีตัวแปรแวดล้อม (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variables: SARIMAX)

เป็นหนึ่งในวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Forecasting) โดยผสมผสานองค์ประกอบเชิงฤดูกาลและตัวแปรแวดล้อมภายนอก (Exogenous Variables) เพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการพยากรณ์ โดยองค์ประกอบหลักของ SARIMAX มีองค์ประกอบหลักประกอบด้วย [5]

1) Autoregressive (AR) การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าของข้อมูลในปัจจุบันกับค่าของข้อมูลในอดีต กำหนดโดยพารามิเตอร์ p (จำนวนช่วงเวลาย้อนหลังที่ใช้)

2) Integrated (I) การทำให้ข้อมูลอนุกรมเวลามีความเสถียร (Stationary) โดยใช้การสร้างความแตกต่าง (Differencing) ของข้อมูล กำหนดโดยพารามิเตอร์ d (จำนวนครั้งที่ต้องทำ Differencing)

3) Moving Average (MA) การพิจารณาค่าความผิดพลาด (Error Terms) จากการพยากรณ์ในอดีต กำหนดโดยพารามิเตอร์ q (จำนวนช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาความผิดพลาด)

4) Seasonality (S) จัดการข้อมูลที่มีรูปแบบเชิงฤดูกาล เช่น แนวโน้มที่เกิดซ้ำทุกเดือนหรือทุกปี ใช้พารามิเตอร์ P, D, Q และ m (ความยาวของรอบฤดูกาล)

5) Exogenous Variables (X) ตัวแปรภายนอกที่อาจส่งผลต่อข้อมูล เช่น ปัจจัยเศรษฐกิจ ดัชนีราคา หรือเหตุการณ์เฉพาะเพิ่มเข้าไปในโมเดลเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำ

$$\text{SARIMAX}(p,d,q)(P,D,Q\,m)+X \quad (2)$$

โดยที่ p คือจำนวนการหน่วง (Lags) สำหรับส่วน AR d คือจำนวนครั้งที่ใช้การ Differencing q คือจำนวนการหน่วงสำหรับส่วน MA P,D,Q คือองค์ประกอบของฤดูกาล (Seasonal) m คือความยาวรอบฤดูกาล (Seasonal Period) X คือตัวแปรแวดล้อมภายนอก

2.1.3 เทคนิคเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential smoothing method)

เป็นหนึ่งในเทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative Forecasting) ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตเพื่อนำมาคาดการณ์ค่าของข้อมูลในอนาคต โดยวิธีนี้เหมาะกับข้อมูลที่มีลักษณะของแนวโน้ม (Trend) หรือรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สม่ำเสมอ เช่น ยอดขายสินค้า จำนวนผู้ใช้บริการ เป็นต้น [7]

ประเภทของ Exponential Smoothing มีด้วยกัน 3 ประเภท คือ Simple Exponential Smoothing (SES): ใช้สำหรับข้อมูลที่ไม่มีแนวโน้มและไม่มีฤดูกาล Double Exponential Smoothing (Holt's Method): ใช้เมื่อข้อมูลมี แนวโน้ม (Trend) Triple Exponential Smoothing (Holt-Winters Method): ใช้เมื่อข้อมูลมีทั้ง แนวโน้ม (Trend) และ ฤดูกาล (Seasonality) ซึ่งสำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคนิคเอ็กซ์โพเนนเชียลในประเภท Double Exponential Smoothing (Holt's Method)

$$\hat{y}_{t+h} = \ell_t + h \cdot b_t \quad (1)$$

โดยที่ $\hat{y}_{t+h}$ คือค่าพยากรณ์ในอนาคต (ช่วงเวลา h) ℓ_t คือค่าพื้นฐานในเวลาปัจจุบัน b_t คือแนวโน้มในเวลาปัจจุบัน h คือจำนวนช่วงเวลาในอนาคตที่ต้องการพยากรณ์

2.1.4 ภาษาไพธอน (Python Theory)

Python เป็นภาษาโปรแกรมที่มีการออกแบบให้ใช้งานง่ายและเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นจนถึงนักพัฒนามืออาชีพ ด้วยความสามารถที่หลากหลายและโครงสร้างที่อ่านง่าย Python จึงถูกนำไปใช้งานในหลากหลายวงการ เช่น การพัฒนาซอฟต์แวร์, วิทยาการข้อมูล (Data Science), ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence), การวิเคราะห์ข้อมูล และอีกมากมาย

การพยากรณ์ (Forecasting) เป็นกระบวนการในการทำนายค่าหรือผลลัพธ์ในอนาคต โดยอ้างอิงจากข้อมูลในอดีตและปัจจุบัน Python เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ได้รับความนิยมสำหรับการสร้างโมเดลการพยากรณ์ เนื่องจากมีไลบรารีและเครื่องมือที่ทรงพลังสำหรับการประมวลผลข้อมูล และการสร้างโมเดลทางสถิติ และ Machine Learning

2.1.5 การวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE)

เป็นค่าที่ใช้วัดความแม่นยำของแบบจำลองหรือการพยากรณ์ โดยแสดงผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ซึ่งสะท้อนถึงขนาดของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างค่าที่คาดการณ์ (forecasted values) และค่าจริง (actual values) เทียบกับค่าจริง [7]

$$MAPE=\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{y_t-\hat{y}_t}{y_t}\right|\times 100 \quad (3)$$

โดยที่ y_t คือค่าจริงในช่วงเวลา t $\hat{y}_t$ คือค่าที่พยากรณ์ในช่วงเวลา t n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด $|\ |$ คือค่าสัมบูรณ์

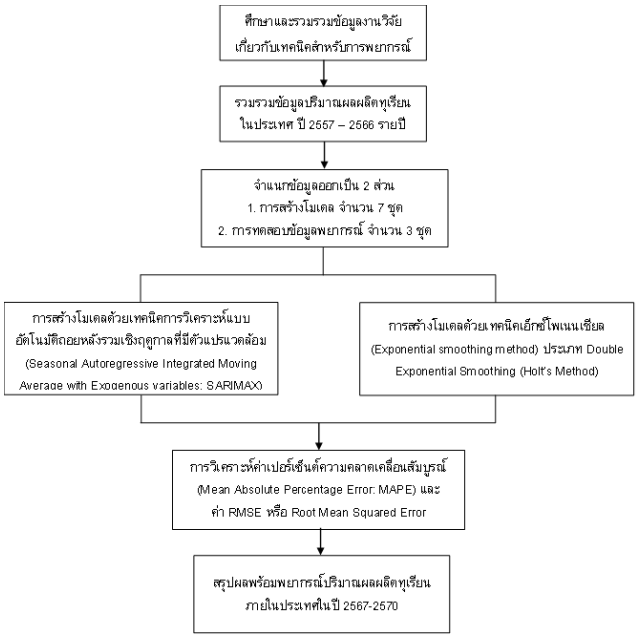
2.1.6 การวิเคราะห์ค่า RMSE หรือ Root Mean Squared Error

ค่าที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อนของโมเดลพยากรณ์ โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง แล้วนำมาถอดรากที่สอง

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i-\hat{y}_t)^2} \quad (4)$$

โดยที่ y_t คือค่าจริงของข้อมูลที่ตำแหน่งที่ i, $\hat{y}_i$ คือค่าที่โมเดลพยากรณ์ได้ที่ตำแหน่งที่ i, n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด, $\left(y_i-\hat{y}_i\right)^2$ คือความคลาดเคลื่อนกำลังสองของแต่ละจุด

3. วิธีการดำเนินงาน



รูปที่ 2 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

4. ผลการดำเนินงาน

การวิจัยการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทย ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติถอยหลังรวมเชิงฤดูกาลที่มีตัวแปรแวดล้อม (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variables : SARIMAX) และเทคนิคเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential smoothing method) เพื่อเลือกตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทย ด้วยการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2567-2570 แสดงดังรูปที่ 2 สามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูล

จากรูปที่ 1 แสดงปริมาณผลผลิตทุเรียนในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2557-2566 รายปี พบว่า ผลผลิตทุเรียนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วง 5 ปีหลัง (พ.ศ. 2562-2566) ที่มีการขยายตัวอย่างชัดเจน เริ่มจากปริมาณผลผลิต 692,800 ตันในปี พ.ศ. 2557 และเพิ่มขึ้นเป็น 1,480,000 ตันในปี พ.ศ. 2566 แม้จะมีช่วงที่ผลผลิตลดลงเล็กน้อยในช่วงปี พ.ศ. 2558-2559 แต่หลังจากนั้นก็มีการฟื้นตัวและเติบโตอย่างก้าวกระโดด สะท้อนให้เห็นถึงการขยายตัวของการผลิตทุเรียนที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

4.2 การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่นำมาศึกษา และวิเคราะห์ในครั้งนี้ คือ ปริมาณผลผลิตทุเรียนในประเทศไทย จากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ตั้งแต่ พ.ศ. 2557 - 2566 รวมข้อมูลทั้งสิ้น 10 ปี ผู้วิจัยดำเนินการแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 สำหรับการสร้างโมเดลพยากรณ์ ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ.2557 – 2563 จำนวน 7 ปี ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า “Training Set” และชุดที่ 2 สำหรับการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ.2564 - 2566 ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า “Test Set”

4.3 สร้างโมเดลเทคนิคการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติถอยหลังรวมเชิงฤดูกาลที่มีตัวแปรแวดล้อม (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variables: SARIMAX) ด้วยภาษาไพทอน มีรายละเอียดดังนี้

1) ติดตั้งไลบรารีที่จำเป็น: pandas, numpy, statsmodels, sklearn, matplotlib

2) นำเข้าไลบรารีที่ใช้งาน pandas (สำหรับจัดการข้อมูล), numpy (สำหรับคำนวณทางคณิตศาสตร์), SARIMAX จาก statsmodels (สำหรับพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา), sklearn.metrics (สำหรับวัดค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์), matplotlib (สำหรับสร้างกราฟ)

3) สร้างชุดข้อมูล โดยกำหนดค่าYear (ปี) และ Ton (ปริมาณผลผลิต), สร้าง DataFrame df, กำหนดให้ Year เป็น index ของ DataFrame

4) แสดงข้อมูลเบื้องต้น อาทิเช่น พิมพ์ค่าของ df, การแสดงข้อมูลตัวอย่าง, การแสดงข้อมูลโครงสร้าง (`df.info()`) และตรวจสอบค่าที่ขาดหาย (`missing_values`)

5) การสร้างกราฟแสดงแนวโน้มข้อมูล สร้างกราฟแสดงข้อมูลผลผลิตตามปี ตั้งค่าชื่อกราฟ, ชื่อแกน X, ชื่อแกน Y, และแสดงเส้นตาราง

6) ทำการแปลง index ให้เป็นรูปแบบวันที่ (`datetime format`)

7) การแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ Training Data และ Test Data, การคำนวณขนาดของ Training Data (`train size = 70% ของข้อมูลทั้งหมด`) พร้อมกำหนดให้ `train` เป็นข้อมูล 70% แรก และ `test` เป็น 30% ที่เหลือ

8) กำหนดให้วนลูปทดสอบโมเดล SARIMAX, ทดสอบค่า order หลายค่า (0,0,0), (0,0,1), (0,1,0), (1,0,0), (1,1,0), (1,1,1) โดยกำหนดให้พิมพ์ผลการทดสอบ สร้างโมเดล SARIMAX โดยใช้ข้อมูลชุด Train พร้อมดำเนินการ Fit โมเดลเพื่อพยากรณ์ในปี 2567-2570

9) วิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ MAPE และค่า RMSE

10) แสดงค่า MAPE และ RMSE

11) สร้างกราฟแสดงผลข้อมูล Training Data, Test Data และค่าที่พยากรณ์ได้

12) หากมีข้อผิดพลาดในการรันโมเดล จะแสดงข้อความแจ้งเตือน หากไม่มีข้อผิดพลาดในการรันโมเดล โปรแกรมจะจบการทำงาน

4.3 การสร้างโมเดลด้วยเทคนิคเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential smoothing method) ประเภท Double Exponential Smoothing (Holt's Method) ด้วยภาษาไพทอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ติดตั้งไลบรารี 'pandas', 'statsmodels'

2) นำเข้า pandas เป็น pd, ExponentialSmoothing จาก statsmodels.tsa.holtwinters, mean_absolute_percentage_error จาก sklearn.metrics และ matplotlib.pyplot เป็น plt

3) กำหนด DataFrame `data`: คอลัมน์: 'Year', 'value', ข้อมูล: 2014 (2557) -> 692808, 2015 (2558) -> 617212, 2016 (2559) -> 565507, 2017 (2560) -> 689352, 2018 (2561) -> 785822, 2019 (2562) -> 1058479, 2020 (2563) -> 1167672, 2021 (2564) -> 1256072, 2022 (2565) -> 1334169, 2023 (2566) -> 1480382

4) แปลง `data` เป็น DataFrame `df`

5) กำหนดให้ 'Year' เป็นดัชนีของ `df`

6) แสดง `data` แสดง 5 แถวแรกของ `df`, แสดงข้อมูลเบื้องต้นของ `df`

7) ตรวจสอบค่าที่ขาดหายไปใน `df` พร้อมแสดงจำนวนค่าที่ขาดหายไป

8) วาดกราฟ `df` โดยมี: แกน X: 'Year', แกน Y: 'value', ชื่อกราฟ: 'ข้อมูลผลผลิตทุเรียน', ป้ายกำกับ: 'Yield Data' และเปิดใช้งานตารางเส้น (Grid)

9) แปลงคอลัมน์ 'Year' ใน `data` เป็นรูปแบบวันที่ (datetime) กำหนดให้ 'Year' เป็นดัชนี

10) แบ่ง `data` เป็น: `train`: ข้อมูลระหว่างปี 2014-2020 (2557-2563), `test`: ข้อมูลระหว่างปี 2021-2023 (2564-2566) พร้อมแสดง `train` และ `test`

11) กำหนดโมเดล `Exponential Smoothing` โดยใช้ข้อมูล: `train`, แนวโน้ม: 'เพิ่มค่าแบบเส้นตรง' (additive)

12) ฝึกโมเดลกับ `train` พร้อมบันทึกผลลัพธ์ลงใน `model fit`

13) ทำนายค่าผลผลิตล่วงหน้า: จำนวนรอบ = ความยาวของ `test`, จำนวนรอบ = ความยาวของ `test` + 3 (ขยายช่วงพยากรณ์)

14) แสดงค่าทำนาย (ปัดเศษเป็นทศนิยมสองตำแหน่ง)

15) คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเป็นเปอร์เซ็นต์ (MAPE): เปรียบเทียบ `test` กับค่าทำนาย (เฉพาะช่วงทดสอบ)

16) แสดงค่าความคลาดเคลื่อน MAPE

17) วาดกราฟแสดงผล: ข้อมูลฝึก (`train`), ข้อมูลทดสอบ (`test` - สีส้ม), ข้อมูลพยากรณ์ (`forecast` - สีเขียว), ป้ายกำกับ: 'Train', 'Test', 'Forecast', ชื่อกราฟ: 'การพยากรณ์ผลผลิตทุเรียนด้วย Exponential Smoothing (ETS)'

4.4 การวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และค่า RMSE หรือ Root Mean Squared Error

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน

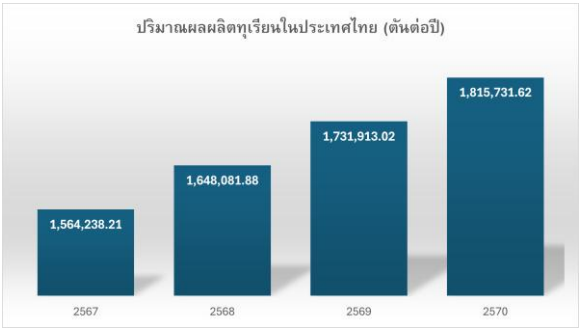
	p, d, q	MAPE	RMSE
Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variables: SARIMAX	(0,0,1)	87.38%	1,235,721.58
	(0,1,0)	13.55%	210,810.62
	(1,0,0)	14.75%	228,719.86
	(1,1,0)	13.36%	208,575.08
	(0,1,1)	13.37%	208,671.61
	(1,1,1)	3.77%	66,660.08
Double Exponential Smoothing (Holt's Method)		10.74%	153,732.34

ตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองพยากรณ์ระหว่าง SARIMAX (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variables) และ Holt's Double Exponential Smoothing โดยใช้ตัวชี้วัด MAPE (Mean Absolute

Percentage Error) และ RMSE (Root Mean Square Error) พบว่า แบบจำลอง SARIMAX (1,1,1) ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่า MAPE ต่ำที่สุดที่ 3.77% และ RMSE ต่ำสุดที่ 66,660.08 ซึ่งบ่งชี้ว่าการพยากรณ์จากโมเดลนี้มีความแม่นยำสูงกว่ารูปแบบอื่น ๆ ในขณะที่ Holt's Method มี MAPE สูงกว่า (10.74%) และ RMSE อยู่ที่ 153,732.34 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองนี้ด้อยกว่ากลุ่ม SARIMAX โดยเฉพาะ SARIMAX (1,1,1) ที่สามารถลดข้อผิดพลาดของการพยากรณ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ การเลือกใช้ SARIMAX (1,1,1) เป็นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างแบบจำลองพยากรณ์ เนื่องจากให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดทั้งในเชิงสัมพัทธ์และสัมบูรณ์ [7][8] ผู้วิจัยดำเนินการนำพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนในปี 2567 – 2570 ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติถอยหลังรวมเชิงฤดูกาลที่มีตัวแปรแวดล้อม (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variables: SARIMAX) ที่ค่า p, d, q เท่ากับ 1, 1, 1 ที่มีผลค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ต่ำที่สุด (3.77%) แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียน 2567-2570

	ปริมาณผลผลิตทุเรียนในประเทศไทย (ตันต่อปี)
2567	1,564,238.21
2568	1,648,081.88
2569	1,731,913.02
2570	1,815,731.62



รูปที่ 3 ผลการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียน 2567-2570

5. สรุป

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนของประเทศไทย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเทคนิค SARIMAX และ Double Exponential Smoothing (Holt's Method) โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ปี 2557-2566 แบ่งเป็นชุดข้อมูลสำหรับสร้างโมเดล (Training Set) ปี 2557-2563 และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Set) ปี 2564-2566

ผลการวิจัยพบว่าเทคนิค SARIMAX (1,1,1) ให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด โดยมีค่า MAPE เพียง 3.77% และค่า RMSE 66,660.08 ซึ่งดีกว่าวิธี Holt's Method ที่มีค่า MAPE 10.74% และค่า RMSE 153,732.34 เมื่อนำโมเดล SARIMAX (1,1,1) ไปพยากรณ์ปริมาณผลผลิตทุเรียนในอนาคต พบว่าผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก 1,564,238.21 ตันในปี 2567 เป็น 1,815,731.62 ตันในปี 2570

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1) การเพิ่มตัวแปรภายนอก (Exogenous Variables) ที่อาจส่งผลต่อผลผลิตทุเรียน เช่น ปัจจัยด้านสภาพอากาศ (อุณหภูมิ, ปริมาณน้ำฝน) ราคาตลาด นโยบายภาครัฐ และโรคระบาดในพืช เพื่อให้โมเดลสามารถคำนวณผลกระทบจากปัจจัยเหล่านี้และเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ [4]

2) การพัฒนาโมเดลให้สามารถพยากรณ์แยกตามรายภูมิภาคหรือจังหวัด เนื่องจากแต่ละพื้นที่มีศักยภาพการผลิตและปัจจัยแวดล้อมที่แตกต่างกัน การพยากรณ์แบบแยกพื้นที่จะช่วยให้เข้าใจแนวโน้มการผลิตในแต่ละพื้นที่ได้ชัดเจนขึ้น และสามารถนำไปวางแผนการผลิตและการตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) การทดลองใช้เทคนิคการพยากรณ์สมัยใหม่เพิ่มเติม เช่น Deep Learning หรือ Machine Learning อย่าง Neural Networks, Random Forest ซึ่งอาจให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำกว่าวิธีดั้งเดิม โดยเฉพาะเมื่อมีการเพิ่มตัวแปรที่ซับซ้อนเข้ามาในโมเดล [5][6]

เอกสารอ้างอิง

[1] Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2020). Introduction to Time Series Analysis and Forecasting. Wiley.

[2] Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). Forecasting: Principles and Practice (3rd ed.). OTexts.

[3] Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). Time Series Analysis: Forecasting and Control (5th ed.). Wiley.

[4] Chiew, F. H. S., Wang, Q. J., Vaze, J., & Rahman, J. (2022). "Improving Agricultural Yield Forecasting Using Seasonal ARIMA and Machine Learning Approaches." Journal of Agricultural Science and Technology, 24(3), 345-362.

[5] Zhang, Y., Wu, J., & Li, L. (2021). "Comparative Study of SARIMAX and Exponential Smoothing for Crop Yield Forecasting." International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems, 12(2), 98-115.

[6] Wang, H., & Sun, X. (2023). "The Effect of Climate Change on Durian Yield Forecasting: A Machine Learning Perspective." Agricultural Systems Research Journal, 31(1), 52-71.

[7] Liu, X., et al. (2020). "Time-Series Forecasting Models for Agricultural Production: A Review." Computers and Electronics in Agriculture, 175, 105594.

[8] FAO (2023). "Thailand's Durian Production Forecast for 2024-2030: Market Trends and Economic Impact." Food and Agriculture Organization Report. Retrieved from www.fao.org.

[9] Thai Ministry of Agriculture (2022). "Durian Production in Thailand: Statistical Overview and Future Projections." Agricultural Economics Journal, 29(4), 233-248.

[10] The Bangkok Post (2024). "Thailand's Durian Market: Growing Demand and Export Opportunities." Bangkok Post Economic Review. Retrieved from www.bangkokpost.com

การเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์กับพนักงานในสำนักงาน 2 แห่ง

Comparison of Ergonomic Risk Assessments among Employees in Two Offices Locations

อโณทัย กล้าการขาย[1] อธิคม บุญซื่อ[1] ทรงวุฒิ ประกายวิเชียร[1] คมกฤต เมฆสกุล[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
E-mail: kit_9m@hotmail.com*

Anothai Klakankhai[1], Athikom Boonsue[1], Songwut Prakaiwichien[1], Khomkit Meksagul[1*]
[1] Department of Industrial Engineering, School of Engineering, University of Phayao
E-mail: kit_9m@hotmail.com *

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกของอาการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงาน และเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเสี่ยงจากท่าทางการทำงานของพนักงานในสำนักงานตามหลักการยศาสตร์ ระหว่างกลุ่มพนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา และกลุ่มพนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กา จังหวัดพะเยา จำนวนกลุ่มละ 30 คน โดยใช้แบบสอบถาม The Nordic Musculoskeletal Disorders และแบบประเมินความเสี่ยงในสำนักงาน Rapid Office Strain Assessment (ROSA) ซึ่งถูกนำมาใช้ในการประเมินท่าทางในการทำงาน ผลการวิจัยพบว่า พนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กามีอัตราความชุกที่สูงกว่าพนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา และเมื่อพิจารณาจากท่าทางการทำงาน พบว่า พนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กามีจำนวนความเสี่ยงสูงที่กว่าพนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา โดยมีสาเหตุมาจาก การออกแบบสถานีงานที่มีความแตกต่างกัน จึงควรออกแบบสถานีงานให้เหมาะสมกับพฤติกรรมของพนักงานตามหลักการยศาสตร์

คำสำคัญ: การยศาสตร์, อาการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงาน, แบบประเมินความเสี่ยงในสำนักงาน

Abstract

This study was conducted to determine the prevalence of Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs) and to assess postural loading among official staff, comparing risk assessments between employees in the Offices of the University of Phayao and employees in the Offices of MaeKa Subdistrict Municipality. Thirty employees from the offices were selected. The standardized Nordic questionnaire was used as the primary data collection tool, while the Rapid Office Strain Assessment (ROSA) was employed to assess postural work loading. The results indicated that all criteria for WMSDs were higher among employees in the Offices of MaeKa Subdistrict Municipality, and postural loading also required attention. Work-related MSDs occurred at a high rate, and both methods yielded corresponding results. This was attributed to differences in workstation designs. Therefore, workstations should be designed to accommodate employee behavior according to ergonomic principles.

Keywords: Ergonomics, Work-related Musculoskeletal Disorders, Rapid Office Strain Assessment

1. บทนำ

สำนักงานสถิติได้รายงานว่า ในปี พ.ศ. 2565 มีสถานประกอบการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มากกว่าปี พ.ศ. 2564 เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.9 และปัญหาที่พบมากที่สุดซึ่งเกิดจากสภาพแวดล้อมในการทำงานเป็นเรื่องอริยาบทในการทำงาน (ท่าทางการทำงานที่ไม่ถูกสุขลักษณะเป็นเวลานาน ๆ ทำให้เกิดการอักเสบและผิดปกติของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย) ถึงร้อยละ 37.5 โดยผู้หญิงจะพบปัญหามากกว่าผู้ชาย [1,2] ทำให้คนเหล่านี้ จะได้รับผลกระทบต่อร่างกาย โดยมีอาการปวดหลัง ปวดไหล่ และปวดคอเป็นอย่างมาก ซึ่งผลการสำรวจได้ระบุอย่างชัดเจนว่า ผู้ที่ทำงานอยู่ในสำนักงาน จะเกิดอาการเหล่านี้มากถึงร้อยละ 99.8 เนื่องจากมีลักษณะการทำงานที่ต้องอยู่ในอิริยาบถเดิม ๆ นานเกินไป และหากว่าต้องทำงานหน้าเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานาน ๆ คนทำงานในสำนักงานกว่าร้อยละ 90 ที่มีการนั่งทำงานนานเกินกว่า 1 ชั่วโมง โดยไม่เปลี่ยนอริยาบถจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ คอ บ่า ไหล่ และหลัง โดยอาจมีอาการเจ็บปวดแบบเรื้อรังซึ่งจะส่งผลให้โครงสร้างของร่างกายผิดปกติหรือเรียกกลุ่มอาการต่าง ๆ เหล่านี้ว่า ออฟฟิศซินโดรม (Office Syndrome) การป้องกันอาการออฟฟิศซินโดรม มีความจำเป็นต้องทำการประเมินความเสี่ยงทางด้านการยศาสตร์ (Ergonomics Risk Assessments) โดยพิจารณาจากองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทำงานกับคอมพิวเตอร์ เช่น เก้าอี้ หน้าจอคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ เมาส์ แป้นพิมพ์ [3,4] โดยลักษณะท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสมนั้น ยังทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อจากการทำงาน (Work-related Musculoskeletal Disorders หรือ WMSDs) ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว จากลักษณะของการนั่งทำงานที่ไม่เหมาะสม เนื่องจาก การใช้งานโต๊ะและเก้าอี้ที่ไม่เหมาะสมกับสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometry) โดยไม่สามารถปรับระดับให้เหมาะสมกับการนั่งของแต่ละบุคคล [5-7] หากว่า โต๊ะและเก้าอี้ที่ใช้สำหรับทำงานมีการออกแบบให้ถูกต้องตามหลักสรีระศาสตร์ของมนุษย์ โดยคำนึงถึงความเหมาะสมกับสัดส่วนของร่างกาย ซึ่งจะสามารถลดปัญหาการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจากการนั่งเป็นระยะเวลานาน ๆ และอาการเจ็บปวดลงได้ โดยจะเป็นการออกแบบตามหลักการยศาสตร์ (Ergonomic) ซึ่งจะมีความสามารถในการปรับระดับให้ตอบสนองต่อผู้ใช้งาน เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายในขณะนั่งทำงานและช่วยในการเคลื่อนไหวของร่างกายในขณะนั่งได้ดี สามารถป้องกันความไม่สบายจากการนั่งทำงาน ลดอาการปวดกล้ามเนื้อและกระดูกของร่างกายจากกดทับ ทำให้สามารถนั่งทำงานได้นานมากขึ้น ลดค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล และยังสามารถเพิ่มผลผลิตในการทำงานให้มากยิ่งขึ้นด้วย [4,6]

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาอัตราความชุกและประเมินท่าทางการทำงานที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อจากการทำงานของพนักงานในสำนักงาน

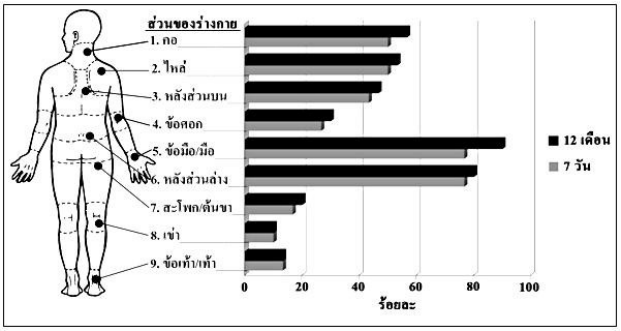
2.2 เพื่อเปรียบเทียบอัตราความชุกจากการประเมินท่าทางการทำงานของพนักงานในสำนักงานที่มีสถานีงานแตกต่างกัน สองแห่ง

3. วิธีการดำเนินการ

การศึกษานี้ เป็นการศึกษาเชิงสำรวจภาคตัดขวาง (Cross sectional study) เพื่อเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงของพนักงานที่ทำงานในสำนักงาน โดยใช้แบบประเมิน (Subjective Assessment) ทางการยรศาสตร์ 2 วิธีการ ดังนี้

3.1 แบบประเมิน Standard Nordic Questionnaire

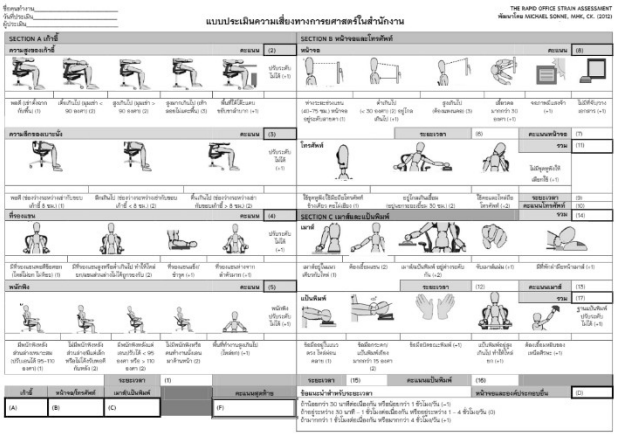
เป็นแบบประเมินตนเอง (Self-Report Survey) หรือแบบสอบถามที่มีเนื้อหาครอบคลุมข้อมูลความผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อของร่างกายในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ คอ, ไหล่, ข้อมือ/มือ/นิ้วมือ, หลังส่วนบน, หลังส่วนล่าง และต้นขา/เข่า/เท้า ที่เกิดขึ้น ในรอบ 7 วัน และ 12 เดือนที่ผ่านมา มีค่าความเชื่อมั่น Cronbach's alpha coefficient เท่ากับ 0.79 [7] โดยนำข้อมูลผู้ที่มีความผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อมาคำนวณค่าความชุกเป็นค่าร้อยละ ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบอัตราความชุกของความผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในรอบ 7 วัน และ 12 เดือนที่ผ่านมา

3.2 แบบประเมิน Rapid Office Strain Assessment (ROSA)

เป็นแบบประเมินจากการสังเกต (Observation Assessment) โดยแบบประเมิน ROSA สามารถ ใช้ในการชี้บ่งท่าทางที่มีความเสี่ยงในเชิงการยศาสตร์ได้ ซึ่งมีจุดเด่นคือเป็นการ ประเมินที่ไม่ซับซ้อน ไม่ต้องมีการคำนวณยุ่งยาก ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการวัดเป็นการประเมิน นอกจากนั้น ROSA ยังได้คำนึงถึงการใช้งาน อุปกรณ์เสริมต่างๆ และระยะเวลาในการใช้งาน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อของพนักงานในสำนักงานร่วมด้วย และยังสามารถพิจารณาถึงระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์นั้น ๆ ร่วมด้วย ตามรูปที่ 2 และผลคะแนนของการประเมิน ROSA จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 คะแนน หาก ค่าคะแนนสุดท้ายของการประเมิน ROSA มีค่าคะแนน ตั้งแต่ 5 คะแนนขึ้นไป หมายถึง มีความเสี่ยงสูงและควรจะต้องวิเคราะห์สถานีงานเพิ่มเติม เพื่อปรับปรุงและลดภาวะความเสี่ยงที่เกิดขึ้น [9]



รูปที่ 2 แบบประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในสำนักงาน [10]

3.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

เป็นการสุ่มตัวอย่างจากประชากร 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 เป็นพนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กา จังหวัดพะเยา และกลุ่มที่ 2 เป็นพนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา จำนวนกลุ่มตัวอย่างอย่างน้อยกลุ่มละ 30 ตัวอย่าง เนื่องจาก เป็นจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถสร้างโค้งปกติที่ให้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีความคาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่ยอมรับได้ [8] โดยการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง มีเกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion) จาก 1) มีประสบการณ์ในการทำงานมากกว่า 1 ปีขึ้นไป, 2) มีการใช้งานกับคอมพิวเตอร์ด้วยท่านั่งบนเก้าอี้และวางคอมพิวเตอร์บนโต๊ะทำงานหรือโต๊ะคอมพิวเตอร์ และ 3) มีการใช้งานคอมพิวเตอร์อย่างน้อย 30 นาทีต่อวันอย่างต่อเนื่อง ส่วนเกณฑ์การคัดออก (Exclusion) จากการมีปัญหาสุขภาพในระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ เช่น หมอนรองกระดูกสันหลังเคลื่อน และมีอาการบาดเจ็บบริเวณ หลังจากการเล่นกีฬา 7 วันก่อนหน้า [3]

4. วิเคราะห์ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย จากพนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กา จังหวัดพะเยา จำนวน 30 คน และ พนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 30 คน ที่ได้พิจารณาให้เป็นไปตามเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยมีลักษณะทางกายภาพ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง

ลักษณะทางกายภาพ	เทศบาลแม่กา	ม.พะเยา
1. เพศ (คน)		
- ชาย	*12*	*8*
- หญิง	*18*	*22*
2. อายุ (คน)		
- ต่ำกว่า 30 ปี	*6*	*8*
- 30 ถึง 40 ปี	*10*	*12*
- 40 ถึง 50 ปี	*11*	*10*
- มากกว่า 50 ปี	*3*	*0*
3. น้ำหนัก (กก.)	63.58 ± 13.73	60.82 ± 14.22
4. ส่วนสูง (ซม.)	161.16 ± 7.59	163.43 ± 8.42
5. ระยะเวลาการนั่งทำงานต่อวัน (คน)		
- น้อยกว่า 4 ชม.	*3*	*5*
- 4 ถึง 7 ชม	*10*	*9*
- มากกว่า 7 ชม.	*17*	*16*

หมายเหตุ : ค่าน้ำหนักและส่วนสูง แปลผลเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 1 พบว่า พนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา จะมีน้ำหนักและส่วนสูงที่มากกว่า พนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กา แต่จะมีสัดส่วนเพศชายและอายุที่น้อยกว่า

ตารางที่ 2 อัตราความชุก (%) ของอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของพนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กา

บริเวณส่วนต่างๆ ของร่างกาย	การบาดเจ็บช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา	การหยุดงาน	การบาดเจ็บช่วง 7 วันที่ผ่านมา
คอ	63.33	33.33	20.00
ไหล่	50.00	23.33	23.33
ข้อมือ/มือ/ศอก	30.00	13.33	13.33
หลังส่วนบน	40.00	10.00	13.33
หลังส่วนล่าง	73.33	36.67	30.00
สะโพก/ต้นขา	20.00	10.00	6.67
เข่า/เท้า/ข้อเท้า	16.67	10.00	6.67

ตารางที่ 3 อัตราความชุก (%) ของอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของพนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา

บริเวณส่วนต่างๆ ของร่างกาย	การบาดเจ็บช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา	การหยุดงาน	การบาดเจ็บช่วง 7 วันที่ผ่านมา
คอ	36.67	26.67	23.33
ไหล่	30.00	26.67	20.00
ข้อมือ/มือ/ศอก	20.00	10.00	6.67
หลังส่วนบน	26.67	20.00	16.67
หลังส่วนล่าง	53.33	46.67	26.67
สะโพก/ต้นขา	13.33	6.67	0.00
เข่า/เท้า/ข้อเท้า	13.33	6.67	3.33

การวิเคราะห์อัตรา (%) ความชุกของพนักงานที่ทำงานในสำนักงานทั้ง 2 แห่ง ตามตารางที่ 2 และตารางที่ 3 พบว่า พนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยามีอัตราความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อน้อยกว่าพนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กา

โดยอัตราความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อเกิดขึ้นสูงที่สุด บริเวณหลังส่วนล่าง คอ และไหล่ ตามลำดับ มีลักษณะที่เหมือนกันทั้ง 2 แห่ง [11]

เมื่อนำค่า ROSA มาประเมินปัจจัยเสี่ยงของการทำงานที่มีผลต่ออาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ (Work – related Musculoskeletal Disorders หรือ WMSDs) ตามปัจจัยด้านการยศาสตร์ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่าง ROSA ในแต่ละส่วนของพนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กา และพนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา ได้ผลการประเมินความเสี่ยง ดังนี้

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบระดับการประเมิน ROSA และสัดส่วนร่างกาย

บริเวณ	เทศบาลแม่กา	ม.พะเยา	t-test
1. พนักพิง และที่รองแขน	5.17 ± 0.83	4.50 ± 0.68	3.39*
2. ความสูง และความลึกเก้าอี้	5.07 ± 0.78	3.50 ± 0.51	9.17*
3. หน้าจอ	2.83 ± 0.70	2.23 ± 0.50	3.81*
4. โทรศัพท์	2.60 ± 0.50	2.30 ± 0.46	2.41*
5. แป้นพิมพ์	2.90 ± 0.31	2.60 ± 0.50	2.81*
6. เมาส์	2.43 ± 0.51	2.00 ± 0.00	4.71*
การประเมิน (คน)			
- ยอมรับได้ (ROSA = 4)	*9*	*20*	
- ความเสี่ยงสูง (ROSA = 5)	*15*	*7*	
- ความเสี่ยงสูง (ROSA = 6)	*6*	*3*	
ค่า BMI	24.32 ± 4.93	22.58 ± 4.75	1.72
- น้ำหนัก (กก.)	*63.58 ± 13.73*	*60.82 ± 14.22*	*1.07*
- ส่วนสูง (ซม.)	*161.16 ± 7.59*	*163.43 ± 8.42*	*1.11*

หมายเหตุ : * p < .01

จากตารางที่ 4 พบว่า ระดับการประเมิน ROSA ของทั้ง 2 แห่ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 โดยค่าการประเมิน ROSA ของพนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กา ในทุกบริเวณของร่างกายจะมีค่าสูงกว่าพนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา และผู้ถูกประเมินของพนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กา มีระดับความเสี่ยงสูง (ค่า ROSA ≥ 5) จำนวน 21 คน แต่พนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยามีเพียง 10 คน และยังพบว่า ค่า BMI (ดัชนีมวลกาย หรือ Body Mass Index) ของทั้ง 2 แห่ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยต่าง ๆ ทำให้ทราบว่า ค่า BMI และขนาดสัดส่วนของร่างกายมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้น การออกแบบขนาดโต๊ะและเก้าอี้ควรคำนึงถึงความสัมพันธ์นี้ด้วย [5] ทำให้การออกแบบให้มีขนาดที่ถูกต้องและเหมาะสม จะต้องใช้ความสัมพันธ์กับค่าสัดส่วนของร่างกาย เพื่อลดปัจจัยเสี่ยงทางการยศาสตร์และให้สามารถปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด [12] จึงเป็นผลให้ค่าการประเมิน ROSA ของพนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กามีค่ามากกว่า พนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา และผู้ที่ถูกประเมิน ROSA ซึ่งมีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูง จึงมีจำนวนมากกว่าพนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา โดยพบว่า บริเวณระดับความสูงและความลึกของเก้าอี้ มีค่าการประเมิน ROSA ที่แตกต่างกันมากที่สุด แต่ผลการวิจัยกลับพบว่า ค่า BMI ของทั้ง 2 แห่ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลส่วนสูงเพศชายของทั้ง 2 แห่ง มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะได้เท่ากับ 168.90 ± 6.98 ซม. และเพศหญิง เท่ากับ 158.80 ± 6.17 ซม. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสถิติความสูงเฉลี่ยของคนไทยตั้งแต่อายุ 19 ปีขึ้นไปที่สำรวจ เมื่อปีงบประมาณ 2567 โดยผู้ชายมีความสูงเฉลี่ย อยู่ที่ 167.11 ซม. และผู้หญิง อยู่ที่ 158.03 ซม. [13]

เมื่อทำการพิจารณาท่าทางการนั่งทำงานและสภาพแวดล้อมของพนักงานที่ทำงานในสำนักงานทั้ง 2 แห่ง แต่กลับพบความแตกต่างของสภาพอุปกรณ์ในสำนักงาน กล่าวคือ พนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กา จะมีสภาพโต๊ะและเก้าอี้ทำงานไม่เหมือนกัน โดยเก้าอี้จะไม่สามารถปรับระดับความสูงได้ ส่วนอุปกรณ์ในสำนักงานของพนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา จะมีสภาพที่คล้ายกัน โดยเก้าอี้นั่งจะสามารถปรับระดับความสูงได้ จึงเป็นผลให้ค่าการประเมิน ROSA ของความสูงและความลึกของเก้าอี้ มีความแตกต่างกัน ตามรูป



รูปที่ 1 ลักษณะท่าทางการทำงานของพนักงานในสำนักงานเทศบาล



รูปที่ 2 ลักษณะท่าทางการทำงานของพนักงานในมหาวิทยาลัยพะเยา

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า อัตราความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อจากการทำงาน (WMSDs) ของพนักงานในสำนักงาน พบมากที่สุดในช่วงเวลา 7 วัน และ 12 เดือน ได้แก่ หลังส่วนล่าง (Lower Back), คอ (Neck) และไหล่ (Shoulder) ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการนั่งทำงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ๆ [4, 14] โดยปัญหาของออฟฟิศซินโดรม เกิดจากการนั่งทำงานนาน ๆ ประกอบกับสภาพแวดล้อมและท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม จึงมีความจำเป็นต้องออกแบบสภาพแวดล้อม (Environment) และ สถานีงาน (Work Station) ให้มีความสัมพันธ์กับลักษระของการทำงานให้มากที่สุด ซึ่งจะต้องออกแบบให้ถูกต้องและเป็นไปตามหลักการยศาสตร์ (Ergonomic) เพื่อความสะดวกสบาย และเพื่อให้เกิดการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน [3-4, 14] ซึ่งผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ยังได้พบอีกว่า พนักงานในสำนักงานเทศบาลตำบลแม่กา มีอัตราความชุกของอาการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงาน (WMSDs) และผลการประเมิน ROSA ที่มีความเสี่ยงสูง ซึ่งเป็นจำนวนที่มากกว่าพนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา แม้ว่า ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักและส่วนสูง หรือดัชนีมวลกาย (ค่า BMI) ของทั้งสองแห่งจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเลยก็ตาม แต่สภาพแวดล้อมของสำนักงานทั้งสองแห่ง มีความแตกต่างกันจากรูปร่างและขนาดของโต๊ะและเก้าอี้ที่ใช้ในการทำงานที่มีลักษณะแตกต่างกันมาก โดยสภาพแวดล้อมของพนักงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัยพะเยา จะใช้โต๊ะและเก้าอี้ที่สามารถปรับระดับความสูงให้เหมาะสมกับขนาดและสัดส่วนของร่างกายได้ จึงกลายเป็นสาเหตุให้มีผลการวิจัยที่มีความแตกต่างกัน

ดังนั้น การออกแบบสภาพแวดล้อมของสถานีงานจึงควรออกแบบให้เป็นไปตามหลักการยศาสตร์ เพื่อให้เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้ใช้งานก็จะสามารถลดอาการบาดเจ็บจากการกดทับในท่าทางการนั่งทำงานที่ไม่ถูกต้องได้ และการเลือกใช้โต๊ะและเก้าอี้ทำงานที่เหมาะสม โดยมีงานศึกษาวิจัยเป็นจำนวนมากในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเก้าอี้ด้านการยศาสตร์ เพื่อลดอาการปวดหลังเพราะเมื่อการนั่งเก้าอี้แล้วการทำงานของกล้ามเนื้อต้องลดลง โดยประเด็นที่สำคัญ คือ ลักษณะของการนั่งทำงานจะเกิดแรงกดทับที่บริเวณหมอนรองกระดูกสันหลัง ซึ่งแรงกดทับนี้จะเป็นผลมาจากน้ำหนักตัวและลักษณะท่าทางของแต่ละบุคคล โดยแรงกดทับดังกล่าวจะส่งผลถึงการล้าและการปลิ้นของหมอนรองกระดูกได้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบที่รุนแรงขึ้น หากถ้าการปลิ้นของหมอนรองกระดูกนั้นมีการกดทับเส้นประสาทหลัง การออกแบบสภาพแวดล้อมและสถานีงานที่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์จึงเป็นเรื่องสำคัญในการป้องกันและสามารถลดปัญหาทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อได้อย่างถาวร [14] ดังนั้น จึงควรเลือกใช้อุปกรณ์ในสำนักงานที่ได้รับการออกแบบตามหลักการยศาสตร์ ซึ่งในปัจจุบันมีจำหน่ายเป็นจำนวนมาก เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของพนักงาน และยังสามารถปรับอุปกรณ์ให้เหมาะสมสำหรับทุกคน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและสุขภาพจิตใจ โดยไม่ขัดกับความต้องการ ตามนิยามของคำว่า “Fitting the task to the person” [12]

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม, สำรวจการมีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในสถานประกอบการ พ.ศ. 2565, ข้อมูลจาก https://www.nso.go.th/nsoweb/storage/survey_detail/2024/20231004084135_87842.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มกราคม 2568).

[2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม, การสำรวจภาวการณ์มีงานทำของประชากร พ.ศ.2565, ข้อมูลจาก https://www.nso.go.th/nsoweb/index (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มกราคม 2568)

[3] ณัจฉรียา คำยัง, รัชดาพร แก้วนาคูณ, กันยาภรณ์ อาจกล้า, ทัศนีย์ สัทธรรม, นภัสวรรณ ฉลูทอง และแพรวนภา แพงวงษ์. การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของอาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏเลยจากการทำงานกับคอมพิวเตอร์, การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 8,ข้อมูลจาก https://www.stou.ac.th/thai/grad_stdy/Masters/%E0%B8%9D%E0%B8%AA%E0%B8%AA/research/8nd/FullPaper/HS/Oral/O-HS%20003%20นางณัจฉรียา%20คำยัง.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มกราคม 2568).

[4] นงค์นุช กลิ่นพิกุล. 2566. “เก้าอี้การยศาสตร์.” วารสารวิชาการศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2 : 156-165.

[5] สุทนิตย์ พุทธพนม และกานต์ ศุภจิตกุล, การพยากรณ์ขนาดที่เหมาะสมของโต๊ะและเก้าอี้ในห้องเรียนโรงเรียนมัธยมศึกษาโดยใช้สัดส่วนร่างกาย, ข้อมูลจาก https://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/5737/3/PreechaponBoonsong.pdf. (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มกราคม 2568).

[6] ปรีชาพล บุญส่ง. 2565. การจัดชุดขนาดเฟอร์นิเจอร์การยศาสตร์สำนักงานตามความสัมพันธ์ของสัดส่วนร่างกาย โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง, วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[7] อโณทัย กล้าการขาย, เอกชัย แผ่นทอง, เอราวิล ถาวร และคมกฤต เมฆสกุล. 2559. “การเปรียบเทียบการประเมินท่าทางการทำงานและอัตราความชุกของอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงานในพนักงานขับรถโดยสารสาธารณะ”. วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, ปีที่ 2, ฉบับที่ 3 : 61-67.

[8] Student. 1908. “The Probable Error of a Mean”. Biometrika, Vol. 6 (1): 1–25.

[9] จุฑาทิพย์ วิญญูเจริญกุล และ กลางเดือน โพชนา. 2558. “การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของผู้ใช้คอมพิวเตอร์ด้วยวิธี Rapid Office Strain Assessment (ROSA)”. วารสารสาธารณสุขศาสตร์, ปีที่ 45, ฉบับที่ 2 : 148-158.

[10] วันเพ็ญ ทรงคำ, แบบประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในสำนักงาน, ข้อมูลจาก https://onemoon.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/09/rosa-thai-onepage-scoring-63-new.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มกราคม 2568).

[11] เฉลิมสิริ เทพพิทักษ์, ความเหมาะสมระหว่างขนาดของเฟอร์นิเจอร์ในห้องเรียนกับขนาดร่างกายของนักศึกษาในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ข้อมูลจาก http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/9088/2/Fulltext.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มกราคม 2568).

[12] กิตติ อินทรานนท์. การยศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 3, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.

[13] สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม, สถิติ ความสูงคนไทย ตั้งแต่อายุ 19 ปี ขึ้นไป, ข้อมูลจาก https://dashboard.anamai.moph.go.th/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มกราคม 2568).

[14] นิภาพร คำหลอม, การจัดโต๊ะทำงานและเก้าอี้ให้ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ (Ergonomics) เพื่อลดปัญหาการบาดเจ็บทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ, ข้อมูลจาก https://www.ohswa.or.th/17677164/ergonomics-make-it-simple-series-ep6 (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มกราคม 2568).

การจำแนกความสุกของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว

Ripeness Classification of Monthong Durian Using K-Nearest Neighbors

จักรินทร์ กลั่นเงิน[1] ประภาพรรณ เกษราพงศ์[1*] ธนเดช จิตประสงค์[2] เอกกมล พันธุเขตต์การณ์[2]
[1]หน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการการผลิตและอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: prapapan@eng.src.ku.ac.th*

Jakkarin Klunngien[1*] Prapapan Keetsarapong[1*] Thanadech Jitprasong[2] Ekkamol Phantukhetkarn[2]
[1]Industrial and Production Management Research Unit, Department of Industrial Engineering,
Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Thailand
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Thailand
E-mail: prapapan@eng.src.ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกความสุกของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbors) ด้วยข้อมูลสีของเปลือกผลในหน่วยของความเข้มสีแดง เขียว และน้ำเงิน (RGB) ระดับความสุกของทุเรียนถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ (1) น้ำหนักเนื้อแห้งต่ำกว่าร้อยละ 32 โดยมวล คือ ทุเรียนอ่อน (2) น้ำหนักเนื้อแห้งร้อยละ 32-37 โดยมวล คือ ทุเรียนสุก และ (3) น้ำหนักเนื้อแห้งมากกว่าร้อยละ 37 โดยมวล คือ ทุเรียนสุกงอม งานวิจัยนี้ได้ใช้ชุดข้อมูลจำนวน 110 ชุด แบ่งออกเป็นชุดข้อมูลฝึกอบรมจำนวน 77 ชุด ชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบจำนวน 16 ชุด และข้อมูลทดสอบจำนวน 17 ชุด โดยชุดข้อมูลฝึกอบรมถูกใช้ในการสอนแบบจำลอง ในขณะที่ชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบถูกใช้เพื่อกำหนดค่า K ที่เหมาะสม สุดท้ายข้อมูลทดสอบถูกใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยเมทริกซ์ความสับสน พบว่า การวัดความถูกต้องรวม (Accuracy) คือ 0.94 และการวัดความถูกต้องของการจำแนก (Recall) คือ 0.93
คำสำคัญ: การจำแนกความอ่อนแก่ ทุเรียน อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว

Abstract

This research aims to classify ripeness of Monthong durian using K-nearest neighbor algorithm with color data of the peel in red, green, and blue intensity units. Ripeness levels of durian are separated into three; (1) dry matter less than 32 percent by mass is immature durian, (2) dry matter 32-37 percent by mass is ripe durian and (3) dry matter more than 37 percent by mass is over-ripe durian. This research uses a dataset of 110 sets which are divided into 77 sets of training, 16 sets of validating, and 17 sets of testing. The training set is used to train the model, while the validation set is used to determine the optimal K value. Then, the test set is used to evaluate the performance of model with the confusion matrix method. The accuracy is found to be 0.94 and the recall is 0.93.
Keywords: Ripeness classification, Durian, K-nearest neighbors

1. บทนำ

ทุเรียน ได้รับการยกย่องให้เป็น “ราชาแห่งผลไม้ (King of Fruits)” และจัดอยู่ในกลุ่มผลไม้เขตร้อนชื้น (Tropical Fruits) โดยเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แหล่งเพาะปลูกหลักของทุเรียน ได้แก่ ประเทศไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ ซึ่งแต่ละประเทศมีการผลิตและส่งออกทุเรียนในปริมาณที่แตกต่างกัน [1, 2] ประเทศไทยได้รับการยอมรับว่าเป็นหนึ่งในแหล่งผลิตและส่งออกทุเรียนรายใหญ่ของโลก โดยผลผลิตในช่วงปี พ.ศ. 2566 มีปริมาณ 1.48 ล้านตัน ในขณะที่ปี พ.ศ. 2567 มีปริมาณ 1.29 ล้านตัน หรือลดลงร้อยละ 13.01 ในขณะที่ปริมาณการส่งออกยังสอดคล้องกับความสามารถในการผลิตอีกด้วย ซึ่งในปี พ.ศ. 2566 ปริมาณการส่งออกทุเรียนอยู่ที่ 1.03 ล้านตัน ในขณะที่ปี พ.ศ. 2567 มีปริมาณการส่งออกอยู่ที่ 0.88 ล้านตัน หรือลดลงร้อยละ 14.24 ทั้งนี้เป็นผลมาจากแหล่งผลิตทุเรียนที่สำคัญในประเทศไทย (เขตภาคตะวันออกและภาคใต้) นั้นประสบปัญหาทางสภาพอากาศและปริมาณน้ำที่ไม่เหมาะสม ทั้งนี้ จากสถานการณ์ผลผลิตลดลงในขณะที่ความต้องการของตลาดยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องส่งผลให้ทุเรียนมีราคาเฉลี่ยต่อกิโลกรัมเพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2566 ราคาเฉลี่ยของทุเรียน คือ 98.07 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งในปี พ.ศ. 2567 ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 122.07 บาทต่อกิโลกรัม [3]

ทุเรียนที่เพาะปลูกในประเทศไทยมีหลากหลายสายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมและมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง ได้แก่ พันธุ์หมอนทอง ชะนี ก้านยาว พวงมณี และกระดุม ซึ่งแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะทางกายภาพและรสชาติที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ยังมีทุเรียนที่ได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication) ซึ่งเป็นทุเรียนที่มีลักษณะเฉพาะของแหล่งผลิต เช่น ทุเรียนนนท์ ทุเรียนป่าละอู ทุเรียนหลงลับแล และทุเรียนหลินลับแล อย่างไรก็ตาม ในบรรดาสายพันธุ์เหล่านี้ ทุเรียนพันธุ์หมอนทองเป็นสายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในตลาด เนื่องจากมีกลิ่นไม่รุนแรง รสชาติหวานมัน มีคุณค่าทางโภชนาการและมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์อื่น [4] อีกทั้งยังสามารถเก็บรักษาได้นาน ทำให้เหมาะสำหรับการส่งออก ซึ่งคุณภาพของทุเรียนถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อการตลาดและราคาผลผลิต โดยเฉพาะปัญหาการส่งมอบผลผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน เช่น ทุเรียนที่ยังไม่สุกเต็มที่ หรือมีการปะปนของทุเรียนอ่อน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้บริโภคและราคาซื้อขายในตลาด การควบคุมคุณภาพของทุเรียนหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องให้ความใส่ใจอย่างมาก โดยการพิจารณาระดับความสุขของทุเรียนสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ การตรวจสอบทางจิตวิสัย (Subjective) และการตรวจสอบทางวัตถุวิสัย (Objective) [5, 6]

การศึกษาระดับความสุกของทุเรียนด้วยการตรวจสอบทางจิตวิสัยให้มีความสามารถเช่นเดียวกับการตรวจสอบทางวัตถุวิสัยนั้นได้รับความสนใจมากขึ้น นั่นคือ การประยุกต์การประมวลสัญญาณเสียงเคาะผลทุเรียนเพื่อกำหนดค่าสำหรับตัดสินใจระดับความสุกแก่ของผลทุเรียนด้วยเทคนิคทางสถิติ [7] การประยุกต์ใช้สเปกโทรสโกปีช่วงแสงที่มองเห็นสำหรับสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกความสุกแก่ของผลทุเรียน [8] การวัดค่าความแข็งของก้านผลทุเรียนและวิเคราะห์ระดับความสุกด้วยเทคนิคสหสัมพันธ์แบบพหุคูณ [9] รวมถึงการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy) สำหรับประเมินคุณภาพการรับประทาน นั่นคือ เนื้อสัมผัส ปริมาณเมวลแห้งและความหวานของเนื้อทุเรียน นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์ใช้วิธีการประมวลผลภาพด้วยการตรวจจับสี (Color Detection) ที่เปลือกทุเรียนและสร้างสมการเชิงเส้นตรง (Linear Regression) เพื่อทำนายระดับความสุกของผลทุเรียน [5] ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของสี (ΔE) กับระดับความสุกของทุเรียน ด้วยสมการถดถอยนั้นให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ 0.5193

ทั้งนี้ เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถของกระบวนการคัดแยกและตรวจสอบคุณภาพทุเรียนในแง่ของระดับความสุกของผลทุเรียนก่อนการส่งมอบให้แก่ผู้บริโภค ซึ่งถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยรักษาคุณภาพของผลผลิต งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกระดับความสุกของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbors) จากข้อมูลสีของเปลือกผล ในการป้องกันปัญหาทุเรียนอ่อนและทุเรียนสุกงอมเข้าสู่ตลาด และลดความเสี่ยงที่อาจส่งผลต่อราคาผลผลิตในภาพรวม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพิจารณาความอ่อน-แก่ของทุเรียน

การพิจารณาความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ (1) การตรวจสอบทางจิตวิสัย (Subjective) ได้แก่ การสังเกตด้วยสายตา การสัมผัสด้วยมือ การพิจารณาสีที่เปลือก การฟังเสียงเคาะผล ฯลฯ (2) การตรวจสอบทางวัตถุวิสัย (Objective) เป็นการตรวจสอบคุณภาพของผลทุเรียนโดยอาศัยเกณฑ์ที่สามารถบ่งชี้ได้ด้วยข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative) ได้แก่ การนับอายุผล ความหวานของยางจากขั้วผล วิธีวิเคราะห์น้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียน ฯลฯ [6] ทั้งนี้ การตรวจสอบทางจิตวิสัยนั้นต้องอาศัยการสังเกตและใช้ประสบการณ์ในการพิจารณาของผู้ตรวจสอบซึ่งอาจส่งผลต่อความผิดพลาดในการพิจารณาได้ ในขณะที่การตรวจสอบทางวัตถุวิสัยนั้นสามารถบ่งชี้ได้ด้วยข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative) เป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูงและมีข้อผิดพลาดน้อย

งานวิจัยนี้นำเสนอการพิจารณาความอ่อน-แก่ของทุเรียนด้วยสีที่เปลือกผล (การตรวจสอบทางจิตวิสัย) เพื่อทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียน (การตรวจสอบทางวัตถุวิสัย) [5] โดยสามารถคำนวณหาน้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียนได้ตามสมการที่ 1 [10]

$$DM(\%) = \frac{m_2 \times 100}{m_1} \quad (1)$$

โดย DM คือ น้ำหนักเนื้อแห้ง (Dry Matter) เป็นร้อยละโดยมวล m_1 คือ น้ำหนักก่อนอบ (กรัม) และ m_2 คือ น้ำหนักหลังอบ (กรัม)

2.2 อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbors)

อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbors: K-NN) เป็นหนึ่งในอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ซึ่งอยู่ในกลุ่มของการเรียนรู้แบบขี้เกียจ (Lazy Learning) K-NN สามารถใช้กับปัญหาการจำแนกประเภท (Classification) และการถดถอย (Regression) ซึ่งอาศัยการจำแนกข้อมูลใหม่โดยพิจารณาจากประเภทส่วนใหญ่ของเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K ตัวในข้อมูลการฝึกอบรม (Training Set) [11] โดยการคำนวณระยะห่างระหว่างข้อมูลใหม่กับข้อมูลการอบรมทั้งหมด จากนั้นเลือก K จุดที่ใกล้ที่สุดและตัดสินว่าข้อมูลใหม่ควรอยู่กลุ่มใดตามกลุ่มส่วนใหญ่ของ K

ทั้งนี้ การคำนวณระยะห่างระหว่างข้อมูลใหม่กับข้อมูลการอบรมทั้งหมด คือ การหาผลรวมของผลต่างกำลังสองของทุกตัวอย่าง หรือเรียกว่าระยะทางยุคลิด (Euclidean Distance) ตามสมการที่ 2 [12]

$$d(p,q)=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(p_i-q_i)^2} \quad (2)$$

โดย d(p,q) คือ ระยะห่างระหว่าง 2 ตัวอย่าง p คือ ค่าของตัวอย่างเฉพาะที่ต้องการจำแนก และ q คือ ค่าของชุดตัวอย่าง

2.3 เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix)

เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) คือ การประเมินผลลัพธ์การทำนายที่ได้จาก K-NN เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริง ซึ่งโดยทั่วไปการประเมินผลลัพธ์สามารถวัดได้จาก การวัดความถูกต้องรวม (Accuracy) และการวัดความถูกต้องของการจำแนก (Recall) ดังสมการที่ 3-4 ตามลำดับ [11]

$$Accuracy=\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (3)$$

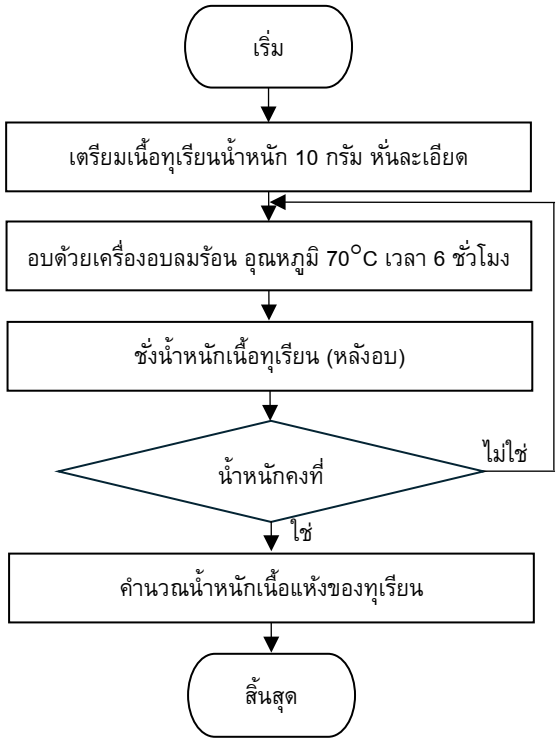
$$Recall=\frac{TP}{TP+FN} \quad (4)$$

โดย TP คือ สิ่งที่ตัวแบบทำนายว่าจริงและผลลัพธ์เป็นจริง TN คือ สิ่งที่ตัวแบบทำนายว่าไม่จริงและผลลัพธ์เป็นไม่จริง FP คือ สิ่งที่ตัวแบบทำนายว่าจริงแต่ผลลัพธ์เป็นไม่จริง และ FN คือ สิ่งที่ตัวแบบทำนายว่าไม่จริงแต่ผลลัพธ์เป็นจริง

3. การดำเนินงานวิจัย

3.1 การกำหนดพารามิเตอร์งานวิจัย

ตามที่ จักรินทร์, et al. [5] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของสี (ΔE) กับระดับความสุกของทุเรียนโดยค่า ΔE ที่ได้ คือ การแปลงค่า RGB จากโมดูลวัดค่าสี (RGB Color Sensor) เป็น L* A* B* จากนั้น คำนวณค่า ΔE อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการนำค่าที่ได้จากโมดูลวัดค่าสีไปใช้สำหรับทำนายผลลัพธ์โดยตรง จึงกำหนดตัวแปรต้น (Independent Variable) คือ ข้อมูลสีของเปลือกผลทุเรียน นั่นคือ ค่าสีในหน่วยของความเข้มสีแดง เขียว และน้ำเงิน (RGB) สำหรับตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ ระดับความสุกของทุเรียน (ความอ่อน-แก่) โดยการกำหนดความอ่อน-แก่ของทุเรียนถูกกำหนดด้วยการพิจารณาน้ำหนักเนื้อแห้ง (DM) ซึ่งสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ [10] ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานน้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่แก่ ต้องมีน้ำหนักเนื้อแห้งไม่น้อยกว่าร้อยละ 32 โดยมวล สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำหนักเนื้อแห้ง แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังการไหลการวิเคราะห์น้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียน [5]

จากเกณฑ์มาตรฐานน้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่แก่ต้องมีน้ำหนักเนื้อแห้งไม่น้อยกว่าร้อยละ 32 โดยมวลนั้น จึงนำมา

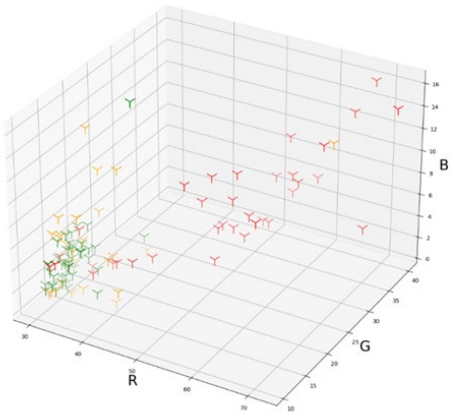
กำหนดระดับความสุกของทุเรียนสำหรับงานวิจัยออกเป็น 3 ระดับ คือ (1) น้ำหนักเนื้อแห้งต่ำกว่าร้อยละ 32 โดยมวล คือ ทุเรียนอ่อน (2) น้ำหนักเนื้อแห้งร้อยละ 32-37 โดยมวล คือ ทุเรียนสุก และ (3) น้ำหนักเนื้อแห้งมากกว่าร้อยละ 37 โดยมวล คือ ทุเรียนสุกงอม

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ชุดข้อมูล (Dataset) สำหรับงานวิจัยนี้จำนวน 110 ชุด ตามที่จักรินทร์, et al. [5] ได้เสนออุปกรณ์สำหรับการเก็บค่าสีที่เปลือกทุเรียนด้วยโมดูลวัดค่าสี (RGB Color Sensor) ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Board) รุ่น Arduino Uno R3 ดังรูปที่ 2 โดยกำหนดตัวแปรต้น คือ ค่าสีในหน่วยของความเข้มสีแดง เขียว และน้ำเงิน (RGB) ในขณะที่ตัวแปรตาม คือ ระดับความสุกของทุเรียน (ร้อยละน้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียนโดยมวล) โดยจำนวนข้อมูลในแต่ละระดับความสุกนั้นจะถูกเก็บในจำนวนที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 3) เพื่อป้องกันความเอนเอียงของผลการจำแนก โดยทุเรียนอ่อนถูกแทนด้วยสีแดง ทุเรียนสุกถูกแทนด้วยสีเหลือง และทุเรียนสุกงอมถูกแทนด้วยสีเขียว



รูปที่ 2 การเก็บข้อมูลสีที่เปลือกทุเรียน [5]



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี RGB กับระดับความสุกของทุเรียน

จากนั้นชุดข้อมูลทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มแบบสุ่ม คือ (1) ชุดข้อมูลฝึกอบรม (Training Set) คือ จำนวนข้อมูลร้อยละ 70 จากชุดข้อมูลทั้งหมด (2) ชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบ (Validation Set) คือ จำนวนข้อมูลร้อยละ 15 จากชุดข้อมูลที่เหลือ และ (3) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Set) คือ จำนวนข้อมูลร้อยละ 15 ที่เหลือ ทั้งนี้ ระดับความสุกของทุเรียนทั้ง 3 กลุ่มที่กล่าวมาข้างต้น ถูกเก็บรวบรวมด้วยจำนวนข้อมูลที่ใกล้เคียงกันสำหรับชุดข้อมูลฝึกอบรม ชุดข้อมูลตรวจสอบ และชุดข้อมูลทดสอบ รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละข้อมูลของระดับความสุกตามชุดข้อมูล

ชุดข้อมูล	ระดับความสุก	จำนวนข้อมูล	ร้อยละ
Training Set	ทุเรียนอ่อน	19	29.4
	ทุเรียนสุก	29	35.3
	ทุเรียนสุกงอม	29	35.3
Validation Set	ทุเรียนอ่อน	4	24.7
	ทุเรียนสุก	6	37.7
	ทุเรียนสุกงอม	6	37.7
Test Set	ทุเรียนอ่อน	5	25.0
	ทุเรียนสุก	6	37.5
	ทุเรียนสุกงอม	6	37.5

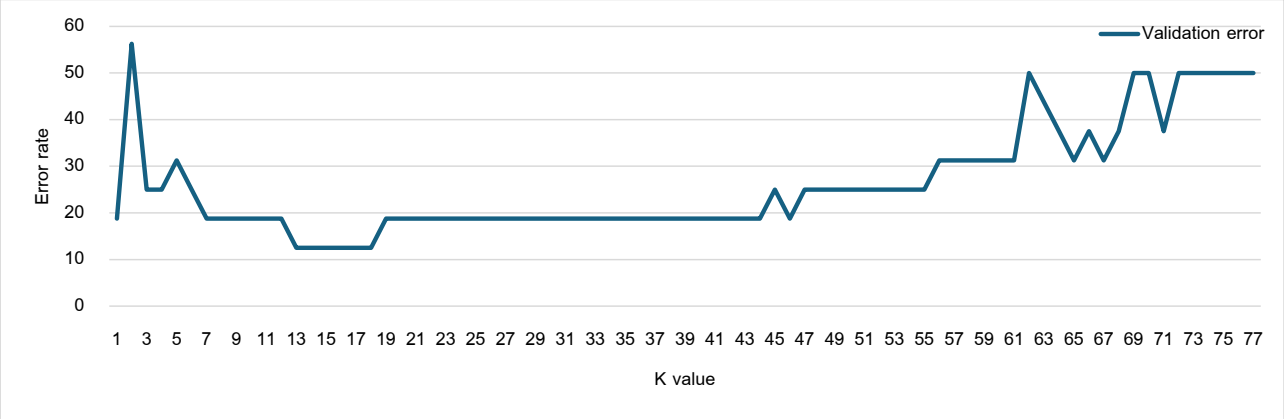
4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 การกำหนดตัวแบบเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว

จากหัวข้อ 3.2 ชุดข้อมูลฝึกอบรมจำนวน 77 ชุด (จำนวนร้อยละ 70 จากชุดข้อมูลทั้งหมด) ถูกใช้สำหรับการสอนตัวแบบอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว จากนั้น พิจารณาจำนวนเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K) สำหรับแบบจำลอง นั่นคือ จำนวนเพื่อนบ้านที่น้อยที่สุดที่ทำให้ตัวแบบมีข้อผิดพลาดในการจำแนกระดับความสุกของทุเรียนที่ต่ำที่สุด โดยการหาสัดส่วนค่าผิดพลาดการจำแนกของตัวแบบ ด้วยการเลือกจำนวนเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K) ที่จะนำมาพิจารณาในการจัดกลุ่มข้อมูลใหม่

ชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบจำนวน 16 ชุด (จำนวนร้อยละ 15 จากชุดข้อมูลทั้งหมด) ถูกนำมาใช้สำหรับหาค่าสัดส่วนค่าผิดพลาดการจำแนกของตัวแบบเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว โดยงานวิจัยนี้ ได้กำหนดจำนวนเพื่อนบ้านใกล้สุด 1 ตัว (K=1) จนถึงจำนวนเพื่อนบ้านใกล้สุด 77 ตัว (K=77) จากนั้น คำนวณหาสัดส่วนค่าผิดพลาดการจำแนกจากจำนวนเพื่อนบ้านใกล้สุดที่กำหนด ดังรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 แสดงสัดส่วนค่าผิดพลาดการจำแนกด้วยชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบเปรียบเทียบกับจำนวนเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K) นั้น พบว่า จำนวนเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K) 13 ตัว ส่งผลให้สัดส่วนค่าผิดพลาดการจำแนกของตัวแบบต่ำที่สุด นั่นคือ สัดส่วนค่าผิดพลาด คือ 12.5 ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงกำหนดจำนวนเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K) 13 ตัว เพื่อใช้สำหรับจำแนกระดับความสุกของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง



รูปที่ 4 สัดส่วนค่าผิดพลาดการจำแนกเปรียบเทียบกับจำนวนเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K)

4.2 การทดสอบตัวแบบ

เมื่อกำหนดตัวแบบเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัวที่เหมาะสม ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1 แล้วนั้น การทดสอบตัวแบบด้วยเมทริกซ์ความสับสนถูกนำมาใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองการจำแนกประเภท ด้วยข้อมูลทดสอบจำนวน 17 ชุด (จำนวนข้อมูลร้อยละ 15 ที่เหลือ) โดยเปรียบเทียบผลการทำนายของแบบจำลองกับผลลัพธ์ที่แท้จริง รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เมทริกซ์ความสับสนตัวแบบเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัวในการจำแนกระดับความสุกของทุเรียน

ค่าจริง / ทำนาย	ทุเรียนอ่อน	ทุเรียนสุก	ทุเรียนสุกงอม
ทุเรียนอ่อน	4	1	0
ทุเรียนสุก	0	6	0
ทุเรียนสุกงอม	0	0	6

จากตารางที่ 1 การประเมินประสิทธิภาพการทำนายของแบบจำลองด้วยการวัดความถูกต้องรวม (Accuracy) และการวัดความถูกต้องของการจำแนก (Recall) โดยการวัดความถูกต้องรวมของการจำแนกระดับความสุกของทุเรียน คือ 0.94 (Accuracy = 16/17 = 0.94) ในขณะที่การวัดความถูกต้องของการจำแนก คือ 0.93 (Recall = ((4/5) + (6/6) + (6/6)) / 3 = 0.93)

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ประเทศไทยเป็นแหล่งเพาะปลูกทุเรียนที่สำคัญ และได้รับการยอมรับว่าเป็นหนึ่งในแหล่งส่งออกรายใหญ่ของโลกอีกด้วย ซึ่งคุณภาพของทุเรียนเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการส่งออก โดยเฉพาะปัญหาการส่งมอบผลผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน เช่น ทุเรียนที่ยังไม่สุกเต็มที่ หรือมีการปะปนของทุเรียนอ่อน ฯลฯ เพื่อเพิ่มความสามารถของการตรวจสอบคุณภาพทุเรียนในแง่ของระดับความสุกของผลทุเรียนก่อนการส่งมอบให้แก่ผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการจำแนกระดับความสุกของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbors) โดยจำแนกระดับความสุกของทุเรียนออกเป็น 3 ระดับ คือ ทุเรียนอ่อน ทุเรียนสุก และทุเรียนสุกงอม ด้วยข้อมูลสีของเปลือกผล

ทั้งนี้ งานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรต้น คือ ข้อมูลสีที่เปลือกผลของทุเรียนในหน่วยของความเข้มสีแดง เขียว และน้ำเงิน (RGB) จากภาพถ่าย ตัวแปรตาม คือ ระดับความสุกของทุเรียน ซึ่งพิจารณาจากน้ำหนักเนื้อแห้ง (DM) ที่สอดคล้องกับสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ [10] กำหนด ชุดข้อมูล (Dataset) จำนวน 110 ชุด นำมาจากงานวิจัยของ จักรินทร์, et al. [5] ถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มแบบสุ่ม คือ ชุดข้อมูลฝึกอบรม (Training Set) ชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบ (Validation Set) และชุดข้อมูลทดสอบ (Test Set) โดยชุดข้อมูลฝึกอบรมและชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบถูกใช้สำหรับกำหนดตัวแบบเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว ซึ่ง K = 13 ตัว ทำให้สัดส่วนค่าผิดพลาดการจำแนกของตัวแบบต่ำที่สุดจึงถูกกำหนดให้เป็นค่าที่เหมาะสม จากนั้นชุดข้อมูลทดสอบถูกใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองการจำแนกประเภทด้วยเมทริกซ์ความสับสน พบว่า การวัดความถูกต้องรวม (Accuracy) คือ 0.94 และการวัดความถูกต้องของการจำแนก (Recall) คือ 0.93

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้ใช้ชุดข้อมูล (Dataset) ด้วยจำนวนที่จำกัดและจากพื้นที่ปลูกในเขตภาคตะวันออกเท่านั้น อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ การศึกษาในอนาคต ต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากพื้นที่ปลูกอื่นเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองให้สามารถใช้ในทางปฏิบัติได้มากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สัญญาเลขที่ KUSRCBR66-5010

เอกสารอ้างอิง

[1] L. H. Ho and R. Bhat. 2015. “Exploring the Potential Nutraceutical Values of Durian (Durio Zibethinus L.) - An Exotic Tropical Fruit.” Food Chem, Vol. 168: 80-89.

[2] P. Thiyajai, S. Charoenkiatkul, K. Kulpradit, S. Swangpol, P. Sridonpai and K. Judprasong. 2020. “Nutritional composition of indigenous durian varieties.” Malaysian Journal of Nutrition, Vol. 26 (1): 93-99.

[3] กองนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร, ภาวะเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2567 และแนวโน้มปี 2568, ข้อมูลจาก https://oae.go.th/assets/portals/1/fileups/bappdata/files/Outlook_Y_2567-68(2).pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 กุมภาพันธ์ 2568)

[4] สำเริง ช่างประเสริฐ, ทวีศักดิ์ แสงอุดม, ธีรวุฒิ ชุตินันทกุล, อรวินธินี ชูศรี, ปาริชาติ พจนศิลป์, อรรถพล รุกขพันธ์ และพรพยุง คงสุวรรณ, คุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของทุเรียนพันธุ์การค้า พันธุ์ลูกผสมและพันธุ์พื้นเมืองของไทย, ข้อมูลจาก https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2023/03/คุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของทุเรียนพัน.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 กุมภาพันธ์ 2568)

[5] จักรินทร์ กลั่นเงิน, กรวิทย์ ออกผล, ประภาพรรณ เกษราพงศ์, ระพีพัฒน์ จันทร์คูเมือง และภัทรานิษฐ์ ทองมิน, กรอบแนวคิดการออกแบบอุปกรณ์จำแนกระดับความสุกของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (in Thai), Proceedings of the 21st KU KPS National Conference, 3-4 December 2024, Nakhon Pathom, Thailand.

[6] สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 8, การผลิตทุเรียนภาคใต้ตอนล่าง, ข้อมูลจาก www.doa.go.th/oard/wp-content/uploads/2020/09/การผลิตทุเรียนภาคใต้ตอนล่างn.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 พฤศจิกายน 2567)

[7] ธีรพล ผลิตวานนท์, พีรพงษ์ สมบุญยอด และวารุณี บัณฑิตย์, เครื่องวัดความสุกแก่ของผลไม้แบบไม่ทำลายโดยการประมวลผลสัญญาณเสียงเคาะ, ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, วิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2551.

[8] ประกิต ทิมขำ และอนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2556. “การจำแนกความสุก-แก่ของทุเรียนพันธุ์ "หมอนทอง" แบบไม่ทำลายด้วยสเปกโทรสโกปีช่วงแสงที่มองเห็นได้ที่เปลือก.” วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ปีที่ 19, ฉบับที่ 1: 1-6.

[9] อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และวารุณี ธนะแพสย์, การตรวจสอบแบบไม่ทำลายสำหรับการประเมินคุณภาพภายในของทุเรียนและมังคุด (in Thai), Proceedings of the 16th TSAE National Conference, 17-19 March 2015, Bangkok, Thailand.

[10] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 3-2567, ข้อมูลจาก https://www.agrithai.org/wp-content/uploads/2024/09/มาตรฐานสินค้าเกษตร-เรื่อง-ทุเรียน-มกษ.-3-2567.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 กุมภาพันธ์ 2568)

[11] A. M. Peco Chacón, I. Segovia Ramírez and F. P. García Márquez. 2023. “K-Nearest Neighbour and K-Fold Cross-Validation Used in Wind Turbines for False Alarm Detection.” Sustainable Futures, Vol. 6: 1-6.

[12] Y. Tang, Y. Chang and K. Li. 2023. “Applications of K-Nearest Neighbor Algorithm in Intelligent Diagnosis of Wind Turbine Blades Damage.” Renewable Energy, Vol. 212: 855-864, 202

การจัดการโครงการสำหรับการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยใช้วิธีเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่

Project Management for the Improvement of the Food Packaging Machines by using the Fuzzy Critical Path Method

จักรพันธ์ ไทยเจริญ[1*] สิรางค์ กลั่นคำสอน[2]
[1]สาขาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
[2]กลุ่มวิจัยการจัดการการผลิตและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
E-mail: Chakapan.t@ku.th[1*]

Chakapan Thaicharoen[1*], Sirang Klankamsorn[2]
[1]Program of Engineering and Technology Management, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus
[2]Industrial and Production Management Research Group, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus
E-mail: Chakapan.t@ku.th[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการจัดการโครงการสำหรับการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหาร ปัญหาหลักที่พบในโครงการคือ ความไม่แน่นอนของเวลาในแต่ละกิจกรรม มีความผันแปรจากปัจจัยหลายประการ ส่งผลให้เกิดความล่าช้ากว่าแผนงานที่กำหนดไว้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการหาเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่ กำหนดให้เป็นเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู โดยเวลาของแต่ละกิจกรรมได้จากข้อมูลของการบริหารโครงการที่แล้วเสร็จในอดีต ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินเวลาของกิจกรรมเครือข่ายโครงการและปรับปรุงกิจกรรมของโครงการ ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดเวลากิจกรรมของโครงการจาก 149 วัน เหลือ116 วัน คิดเป็นร้อยละ 22.15%
คำสำคัญ: การจัดการโครงการ เครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหาร เส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่ เลขฟัซซี่สี่เหลี่ยมคางหมู

Abstract

This research presents project management for the improvement of the food packaging machines. A key challenge in the project is the uncertainty in activity durations, which fluctuate due to various factors, often causing delays beyond the planned schedule. To address this, the research aims to determine the fuzzy critical path method using trapezoidal fuzzy numbers. Activity durations are estimated based on historical project data, which are then used to assess the project network and optimize activities. The findings show that the total project duration can be reduced from 149 days to 116 days, representing a 22.15% reduction.
Keywords: Project management, Food packaging machines, Fuzzy critical path method, Trapezoidal fuzzy number

1. บทนำ

โครงการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหารเป็นส่วนหนึ่งของงานบริการหลังการขายเครื่องจักร (Machines after sale service) รูปแบบการบริการ ประกอบด้วย งานบริการด้านเทคนิค (Technical support service) งานวิศวกรซ่อมบำรุง (Field service engineer) และงานติดตั้งและทดสอบเครื่องจักร (Machine installation and commissioning) การปรับปรุงเครื่องจักรประกอบงานหลักดังนี้ 1) งานทางด้านวิศวกรรม (Engineering) 2) งานด้านการจัดซื้อและการบริหารสินค้าคงคลัง (Procurement & inventory) 3) งานสายการผลิต (Line manufacturing) 4) งานบริการขนส่งสินค้า (Logistic & delivery) 5) งานติดตั้งและทดสอบเครื่องจักร(Machine installation and commissioning) และ 6) งานทดสอบเพื่อตรวจรับงานและส่งมอบให้ลูกค้า (Site acceptance test & handover)

ปัญหาที่พบในการจัดการโครงการคือ ความล่าช้าของการปรับปรุงงานส่งผลให้เวลารวมของโครงการเกินกำหนด องค์กรได้รับผลกระทบจากการเสียโอกาสทางธุรกิจ จากการวิเคราะห์พบว่าเวลาของกิจกรรมมีความไม่แน่นอน ด้วยเหตุนี้ จึงต้องนำหลักการของการจัดการโครงการและการหาเส้นทางวิกฤตมาปรับปรุงการดำเนินงาน เนื่องจากเวลาของกิจกรรมไม่คงที่หรือผันแปรจากปัจจัยหลายประการจึงต้องใช้ทฤษฎีของฟัซซี่เซต

การจัดการโครงการ [1,2] เป็นหนึ่งในเทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้ในการวางแผน การจัดกำหนดการ และการตัดสินใจเกี่ยวกับกิจกรรมต่างของโครงการ ในการวางแผนและควบคุมโครงการที่ซับซ้อนนั้น ได้มีการใช้วิธีเส้นทางวิกฤต (Critical path method) ในการระบุกิจกรรมที่ไม่สามารถล่าช้าได้และใช้ในการหาเวลารวมของโครงการ เนื่องจากเวลาของโครงการมีความไม่แน่นอนจึงมีการกำหนดเวลาให้อยู่ในรูปแบบของเลขฟัซซี่สี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal fuzzy number) เนื่องจากช่วงเวลาสามารถกำหนดเป็นระดับได้ [3,4]

งานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้วิธีเส้นทางวิกฤตในการจัดการโครงการโดยใช้เลขฟัซซี่สี่เหลี่ยมคางหมูพบใน [5-7] โดยพบว่าการจัดการในทางปฏิบัติควรใช้ตัวเลขฟัซซี่เพื่อแสดงระยะเวลาของกิจกรรมมากกว่าการใช้เลขคงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากโครงการต่างๆ มักได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ไม่แน่นอน เช่น ปัญหาสายการผลิต การขาดทักษะของแรงงาน เครื่องจักรเสื่อมคุณภาพ ความผันผวนของตลาด สภาพอากาศ หรือ กระแสเงินสด เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้การวางแผนและการดำเนินโครงการเกิดความล่าช้าในการเสร็จสิ้นของโครงการ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เสนอการจัดการโครงการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหารโดยใช้วิธีการเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่ เป้าหมายเพื่อลดเวลารวมของโครงการที่มีปัญหาความล่าช้าในส่วนของการขนส่งสินค้า การติดตั้งและการทดสอบรวมถึงงานทดสอบเพื่อตรวจรับงานของลูกค้า

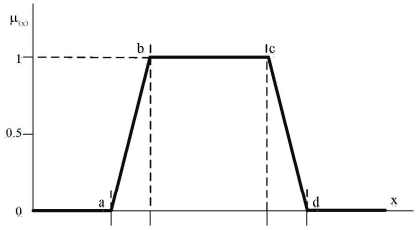
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นในการประเมินความล่าช้าของโครงการเพื่อหาค่าคำตอบที่ดูเหมือนแน่นอนเพียงค่าเดียว อาจไม่ได้แน่นอนจริง ๆ แต่เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น ดังนั้น หากต้องการเพิ่มความแม่นยำหรือความแน่นอนของค่าที่ไม่แน่นอนนี้ จำเป็นต้องใช้เทคนิคหรือวิธีการอื่นเข้ามาช่วย หนึ่งในแนวทางที่สามารถนำมาใช้ได้คือ ทฤษฎีคลุมเครือ (Fuzzy Theory) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ใช้จัดการกับปัญหาที่มีความไม่แน่นอน ข้อมูลที่ไม่มีความชัดเจนหรือตีกรอบไม่ได้อย่างชัดเจน ตรรกะฟัซซี่ช่วยให้สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นช่วงหรือคลุมเครือได้ดีกว่าระบบที่ต้องการขอบเขตชัดเจน ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วิธีคำนวณหาเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่โดยมีเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูของค่าเวลาเผื่อของแต่ละกิจกรรมสำหรับโครงการ

2.1 เลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal fuzzy number)

เลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ตามฟังก์ชั่นสมาชิกของเลขฟัซซี่ดังรูปที่ 1 และสมการที่ (1) โดยกำหนดให้เวลาในการทำกิจกรรมแบบฟัซซี่ (fuzzy activity time) ถูกแทนด้วย X,Y ซึ่งหมายถึงเวลาของกิจกรรม Aij ในเครือข่ายโครงการ และแสดงเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูเป็น (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}) โดยที่ a_{ij} และ d_{ij} คือค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของการประเมินเวลาของกิจกรรม ในทางกลับกันถ้าไม่มีข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับกิจกรรม a_{ij} ผู้เชี่ยวชาญที่ทำหน้าที่ตัดสินใจสามารถประเมินเวลาของกิจกรรมได้ตามความรู้และประสบการณ์

$X=(a_1,b_1,c_1,d_1)$ และ $Y=(a_2,b_2,c_2,d_2)$ [5,6]



รูปที่ 1 เลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู

$$\mu(x)=\begin{cases}\dfrac{x-a}{b-a}; a\le x\le b\\ 1 \quad ; b\le x\le c\\ \dfrac{d-x}{d-c}; c\le x\le d\end{cases} \qquad (1)$$

เครื่องหมายทางพีชคณิต (Algebraic operations) ของเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูกรณีเครื่องหมายบวกแสดงดังสมการที่ (2)

$$X+Y=(a_1,b_1,c_1,d_1)+(a_2,b_2,c_2,d_2) \qquad (2)$$
$$=(a_1+a_2,b_1+b_2,c_1+c_2,d_1+d_2)$$

เครื่องหมายทางพีชคณิต (Algebraic operations) ของเลขฟัซซี่

(3)

$$X-Y=(a_1,b_1,c_1,d_1)-(a_2,b_2,c_2,d_2) \qquad (3)$$

$$= (a_1 - d_2, b_1 - c_2, c_1 - b_2, d_1 - a_2)$$

การแปลงเลขจำนวนฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูให้เป็นเลขจำนวนจริง (Defuzzification) ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการตีความ ค่าที่ได้ จะประมาณเทียบเคียงค่าจุดศูนย์ถ่วง แสดงดังสมการที่ (4)

$$R = \frac{(c^2 + d^2 + cd) - (a^2 + b^2 + ab)}{3*[(c + d) - (b + a)]} \quad (4)$$

2.2 วิธีเส้นทางวิกฤตฟัซซี่ (Fuzzy Critical Path Method)

พารามิเตอร์

$\tilde{t}_{ij}$ = เวลาฟัซซี่ของกิจกรรม (i,j)

$FE\tilde{S}_{ij}$ = เวลาฟัซซี่เริ่มต้นเร็วสุดของกิจกรรม (i,j) หรือ Fuzzy earliest start time

$FL\tilde{S}_{ij}$ = เวลาฟัซซี่เริ่มต้นช้าสุดของกิจกรรม (i,j) หรือ Fuzzy latest start time

$FE\tilde{F}_{ij}$ = เวลาฟัซซี่เสร็จเร็วสุดของกิจกรรม (i,j) หรือ Fuzzy earliest finish time

$FL\tilde{F}_{ij}$ = เวลาฟัซซี่เสร็จช้าสุดของกิจกรรม (i,j) หรือ Fuzzy latest finish time

$FT\tilde{F}_{ij}$ = เวลาฟัซซี่ที่สามารถล่าช้าได้ของกิจกรรม (i,j) หรือ Fuzzy total floating time

ขั้นตอนการหาเส้นทางวิกฤตฟัซซี่แสดงดังต่อไปนี้ [7,8]

1. เก็บข้อมูลกิจกรรม เวลากิจกรรมและลำดับกิจกรรมก่อนหน้า
2. สร้างโครงข่ายลำดับกิจกรรม
3. คำนวณหาเวลาฟัซซี่เริ่มต้นเร็วสุดของกิจกรรม (i,j)

$$FE\tilde{S}_{ij} = \max_i [FE\tilde{S}_{ij} + \tilde{t}_{ij}] \text{ โดยที่ i = จำนวน node ก่อนหน้า} \quad (5)$$

4. คำนวณหาเวลาฟัซซี่เสร็จเร็วสุดของกิจกรรม (i,j)

$$FE\tilde{F}_{ij} = [FE\tilde{S}_{ij} + \tilde{t}_{ij}] \quad (6)$$

5. คำนวณหาเวลาฟัซซี่เสร็จช้าสุดของกิจกรรม (i,j)

$$FL\tilde{F}_{ij} = \min_j [FL\tilde{F}_{ij} - \tilde{t}_{ij}] \text{ โดยที่ j = จำนวน node ตามหลัง} \quad (7)$$

6. คำนวณหาเวลาฟัซซี่เริ่มต้นช้าสุดของกิจกรรม (i, j)

$$FL\tilde{S}_{ij} = [FL\tilde{F}_{ij} - \tilde{t}_{ij}] \quad (8)$$

7. คำนวณหาเวลาฟัซซี่ที่สามารถล่าช้าได้ของกิจกรรม (i, j)

$$FT\tilde{F}_{ij} = [FL\tilde{F}_{ij} - FE\tilde{F}_{ij}] \text{ หรือ } FT\tilde{F}_{ij} = [FL\tilde{S}_{ij} - FE\tilde{S}_{ij}] \quad (9)$$

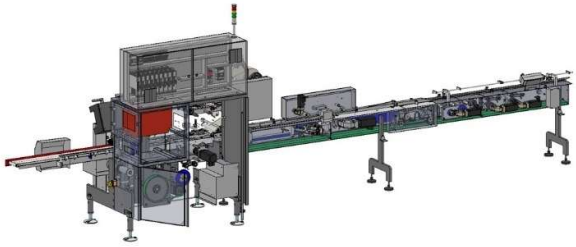
8. ถ้า $FT\tilde{F}_{ij} = 0$ แล้ว กิจกรรมนั้นเป็นกิจกรรมวิกฤตฟัซซี่

9. ทำการเชื่อมโยงกิจกรรมวิกฤตฟัซซี่จากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งเส้นทางนี้คือเส้นทางวิกฤตฟัซซี่ (เวลารวมในแต่ละกิจกรรมนั้น ๆ ที่ล่าช้าได้เท่ากับ 0)

3. วิธีการวิจัย

3.1 ปัญหาของโครงการ

โครงการนี้ศึกษาปัญหาของการติดตั้งเครื่องบรรจุภัณฑ์อาหารแบบแนวนอน (Horizontal form fill seal machine – HFFS) ที่สามารถขึ้นรูป บรรจุ และปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ได้ในเครื่องเดียว เครื่องนี้ใช้สำหรับสินค้าที่มีลักษณะเป็นชิ้นหรือรูปทรงเฉพาะที่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างเครื่องบรรจุภัณฑ์อาหารของโครงการ

ปัญหาที่พบ คือ เกิดความล่าช้าในส่วนของขั้นตอนทางวิศวกรรม การจัดซื้อและบริหารสินค้าคงคลัง สายการผลิต การขนส่งสินค้า การติดตั้งและการทดสอบรวมถึงงานทดสอบเพื่อตรวจรับงานของลูกค้า กำหนดเวลาเสร็จโครงการประมาณ 124 วัน อย่างไรก็ตาม พบว่าเวลาเสร็จโครงการจริงเท่ากับ 149 วัน

3.2 ข้อมูลกิจกรรม

กิจกรรมของโครงการประกอบด้วย ขั้นตอนทางวิศวกรรม การจัดซื้อและบริหารคงคลัง สายการผลิต การขนส่งสินค้า การติดตั้งและการทดสอบ และ งานทดสอบเพื่อตรวจรับงานของลูกค้า โดยระยะเวลาฟัซซี่ของกิจกรรมถูกประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญของบริษัทกรณีศึกษา

ตารางที่ 1 กิจกรรมการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหาร

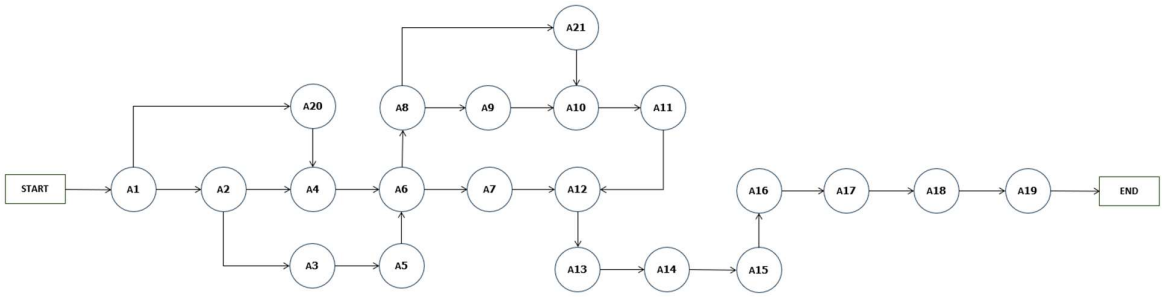
กิจกรรม	รายละเอียดกิจกรรม	กิจกรรมก่อนหน้า	ระยะเวลาฟัซซี่ (วัน)
ขั้นตอนทางวิศวกรรม			
A1	รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์	-	(1,2,3,4)
A2	งานออกแบบทางไฟฟ้าและเครื่องกล	A1	(5,7,9,12)
A3	จัดทำรายการวัสดุที่มีระยะเวลาในการสั่งซื้อนาน	A2	(3,4,5,7)
A4	จัดทำรายการวัสดุสำหรับสั่งซื้อทั้งหมด	A2, A20	(8,9,12,14)
การจัดซื้อและบริหารคงคลัง			
A5	จัดซื้อวัสดุที่มีระยะเวลาในการสั่งซื้อนาน	A3	(2,3,4,5)
A6	จัดซื้อวัสดุทั้งหมด	A4,A5	(5,7,9,11)
A7	จัดเก็บวัสดุเพื่อส่งมอบ	A6	(15,24,29,35)
A8	ส่งมอบวัสดุและอุปกรณ์บางส่วนให้ทางซัพพลายเออร์	A6	(1,2,3,4)
สายการผลิต			
A9	งานติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและเดินสายไฟตู้คอนโทรล	A8	(8,12,13,15)
A10	งานทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ซอฟแวร์และแก้ไข	A9, A21	(5,7,8,10)
A11	งานการทดสอบผลิตภัณฑ์และโปรแกรมก่อนนำไปติดตั้ง	A10	(2,4,6,7)
การขนส่งสินค้า			
A12	งานแพ็คสินค้าเพื่อส่งมอบ	A7,A11	(1,2,3,4)
A13	กำหนดการวันสินค้าออก	A12	(4,5,6,7)
A14	งานพิธีการศุลกากรสำหรับการส่งออก	A13	(8,10,12,15)

การติดตั้งและการทดสอบ			
A15	งานรื้อถอนอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าทั้งหมด	A14	(1,2,3,4)
A16	งานติดตั้งอุปกรณ์ทางเครื่องกล ตู้คอนโทรล	A15	(5,6,7,8)
A17	งานติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าพร้อมสำหรับการเชื่อมต่อ	A16	(5,6,8,9)
งานทดสอบ			
A18	งานทดสอบเต็มรูปแบบขั้นสุดท้ายก่อนส่งมอบเครื่องจักร	A17	(5,7,9,12)
A19	งานทดสอบเพื่อตรวจรับงานที่ไซต์ของลูกค้า	A18	(1,2,3,4)
A20	งานออกแบบชุดจำลองสำหรับงานทดสอบ	A1	(1,2,3,4)
A21	งานประกอบชุดอุปกรณ์เบื้องต้น	A8	(2,3,4,5)

โดยรูปที่ 3 แสดงโครงข่ายของโครงการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหาร

3.3 หาเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่ (Fuzzy critical path method)

วิธีการคำนวณเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่มี 3 ขั้นตอนคือ การหาเส้นทางเดินหน้าเพื่อหาเวลาเริ่มกิจกรรมเร็วสุด การหาเส้นทางย้อนกลับเพื่อหาเวลาเริ่มกิจกรรมช้าสุดและการหาเส้นทางเวลารวมที่ล่าช้าได้



รูปที่ 3 โครงข่ายของโครงการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหาร

3.4 แนวทางการปรับปรุงโครงการ

3.4.1 การจัดการเชิงรุกในส่วนของการจัดซื้อและบริหารคงคลัง และการขนส่งสินค้า

3.4.2 เพิ่มงานออกแบบชุดจำลองสำหรับงานทดสอบ (กิจกรรม A20) ได้แก่ ชุดตัด และระบบโซ่ลำเลียง

3.4.3 เพิ่มงานประกอบชุดอุปกรณ์เบื้องต้น (กิจกรรม A21) เช่น ชุดประกอบร่วมของมอเตอร์ เกียร์ทดที่มีขนาดแตกต่างกัน เพื่อลดเวลาในการค้นหาชิ้นส่วนและลดเวลาในการประกอบร่วม อีกทั้งยังเป็นการตรวจสอบอีกครั้งว่าอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนถูกต้องและครบถ้วนก่อนชิ้นส่วนถูกบรรจุและส่งไปโรงงานของลูกค้าในต่างประเทศ

4. ผลการวิจัย

4.1 การหาเส้นทางเดินหน้า (Forward pass)

กำหนดให้กิจกรรมเริ่มต้น ES_{start} = (0,0,0,0) คำนวณจากตารางที่ (2) และสมการที่ (5) ตัวอย่างการคำนวณ ดังนี้ กิจกรรมที่ A4 มีกิจกรรมก่อนหน้าคือ A2 กับ A20 ดังนั้น

$\tilde{ES}$ (A4) = max[$\tilde{EF}$ (A2), $\tilde{EF}$ (A20)]

= max[$\tilde{ES}$ (A2)+t(A2), $\tilde{ES}$ (A20)+t(A20)]

= max[(1,2,3,4)+(5,7,9,12),(1,2,3,4)+(1,2,3,4)]

= max[(6,9,12,16),(2,4,6,8)]

การ defuzzification ของเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูแสดงดังนี้

D(6,9,12,16) = $((12^2+16^2+12*6)-(6^2+9^2+6*9))/(3*[(12+16)-(9+6)])$

= 10.79

D(2,4,6,8) = $((6^2+8^2+6*8)-(2^2+4^2+2*4))/(3*[(6+8)-(4+2)])$ = 5

เมื่อพิจารณาแล้ว 10.79 เป็นเลขจำนวนจริงที่มีค่าดีกว่า 5 ดังนั้น

$\tilde{ES}$ (A4) = (6,9,12,16)

4.2 การหาเส้นทางย้อนกลับ (Backward pass)

กำหนดให้กิจกรรมเริ่มต้น เวลาฟัซซี่เสร็จสิ้นเร็วที่สุด (EF_{END}) = เวลาฟัซซี่เสร็จสิ้นช้าที่สุด (LF_{END}) คำนวณจากตารางที่ (2) และสมการที่ (7) ตัวอย่างการคำนวณ กิจกรรมที่ A6 มีกิจกรรมย้อนกลับคือ A7 กับ A8 ดังนั้น

$\tilde{LF}$ (A6) = min[$\tilde{LS}$ (A7), $\tilde{LS}$ (A8)]

= min[$\tilde{LF}$ (A7)-t(A7), $\tilde{LF}$ (A8)-t(A8)]

= min[(2,39,74,110)-(15,24,29,35),(-30,12,51,95)-(1,2,3,4)]

= min[(-33,10,50,95),(-34,9,49,94)]

การ defuzzification ของเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูแสดงดังนี้

D(-33,10,50,95) = $((50^2+95^2+50*95)-(-33^2+10^2+(-33*10))/(3*[(50+95)-(10+(-33))])$ = 30.59

D(-34,9,49,94)

= $((49^2+94^2+49*94)-(-34^2+9^2+(-34*9))/(3*[(49+94)-(9+(-34))])$

= 29.59

เมื่อพิจารณาแล้ว 29.59 เป็นเลขจำนวนจริงที่มีค่าน้อยกว่า 30.59 หรือ $\tilde{LS}(A7) > \tilde{LS}(A8)$ ดังนั้น $\tilde{LF}(A6)$ = (-34,9,49,94)

4.3 การหาเวลารวมที่ล่าช้าได้ (Total float)

การหาเวลารวมที่ล่าช้าได้ของกิจกรรม โดยใช้เครื่องหมายพีชคณิตของเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูกรณีเครื่องหมายลบ คำนวณจากตารางที่ (2) สมการที่ (9) และสมการที่ (4) ตามลำดับ ตัวอย่างการคำนวณ ดังนี้

กิจกรรมที่ A2 มีเวลารวมที่ล่าช้าได้เท่ากับ (-75,-24,24,75) ดังนั้น

$D(-75,-24,24,75)=((24^2+75^2+24*75)-(-75^2+(-24^2)+(-75*-24))/(3*[(24+75)-(-24+(-75))]) = 0$

หมายความว่า เวลารวมที่ล่าช้าได้ของกิจกรรม A2 (-75,-24,24,75) ได้เท่ากับ 0 ซึ่งไม่สามารถล่าช้าได้

4.4 ผลการหาเส้นทางวิกฤต

จากตารางที่ 2 เวลาเสร็จสิ้นของโครงการหลังการปรับปรุงอยู่ในช่วง 65 ถึง 140 วัน (65,90,114,140) และเมื่อเทียบกับเวลาเสร็จสิ้นของโครงการจริงเมื่อนำมาใช้คือ 116 วัน ซึ่งอยู่ภายในกำหนดการส่งมอบ พบว่าเส้นทางวิกฤตของกิจกรรมที่ไม่สามารถล่าช้าได้คือ A1-A2-A4-A6-A8-A9-A10-A11-A12-A13-A14-A15-A16-A17-A18-A19

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณของเส้นทางวิกฤตโครงการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหาร

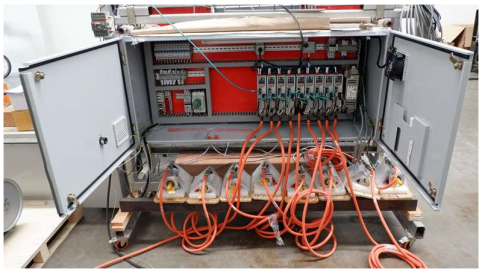
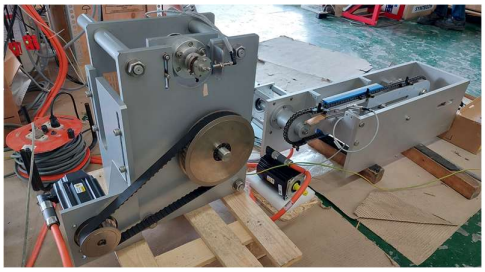
กิจกรรม	เวลาเริ่มกิจกรรมเร็วสุด ES (วัน)	ระยะเวลาฟัซซี่ (วัน)	เวลาเสร็จสิ้นกิจกรรมเร็วสุด EF (วัน)	เวลาเสร็จกิจกรรมช้าสุด LF (วัน)	ระยะเวลาฟัซซี่ (วัน)	ระยะเวลาเริ่มกิจกรรมช้าสุด LS (วัน)	เวลาเสร็จกิจกรรมช้าสุด LF (วัน)	เวลาเสร็จสิ้นกิจกรรมเร็วสุด EF (วัน)	เวลารวมที่ล่าช้าได้ TF (วัน)	เวลารวมที่ล่าช้าได้ (Defuzzification)
เริ่ม	(0,0,0,0)	(0,0,0,0)	(0,0,0,0)	(0,0,0,0)	(0,0,0,0)	(-75,-24,24,75)	(0,0,0,0)	(0,0,0,0)	(-75,-24,24,75)	0
A1	(0,0,0,0)	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(-71,-21,26,76)	(1,2,3,4)	(-75,-24,24,75)	(-71,-21,26,76)	(1,2,3,4)	(-75,-24,24,75)	0
A2	(1,2,3,4)	(5,7,9,12)	(6,9,12,16)	(-59,-12,33,81)	(5,7,9,12)	(-71,-21,26,76)	(-59,-12,33,81)	(6,9,12,16)	(-75,-24,24,75)	0
A20	(1,2,3,4)	(1,2,3,4)	(2,4,6,8)	(-59,-12,33,81)	(1,2,3,4)	(-63,-15,31,80)	(-59,-12,33,81)	(2,4,6,8)	(-67,-18,29,79)	5.79
A3	(6,9,12,16)	(3,4,5,7)	(9,13,17,23)	(-50,-4,39,87)	(3,4,5,7)	(-57,-9,35,84)	(-50,-4,39,87)	(9,13,17,23)	(-73,-21,26,78)	2.5
A4	(6,9,12,16)	(8,9,12,14)	(14,18,24,30)	(-45,0,42,89)	(8,9,12,14)	(-59,-12,33,81)	(-45,0,42,89)	(14,18,24,30)	(-75,-24,24,75)	0
A5	(9,13,17,23)	(2,3,4,5)	(11,16,21,28)	(-45,0,42,89)	(2,3,4,5)	(-50,-4,39,87)	(-45,0,42,89)	(11,16,21,28)	(-73,-21,26,78)	2.5
A6	(14,18,24,30)	(5,7,9,11)	(19,25,33,41)	(-34,9,49,94)	(5,7,9,11)	(-45,0,42,89)	(-34,9,49,94)	(19,25,33,41)	(-75,-24,24,75)	0
A7	(19,25,33,41)	(15,24,29,35)	(34,49,62,76)	(2,39,74,110)	(15,24,29,35)	(-33,10,50,95)	(2,39,74,110)	(34,49,62,76)	(-74,-23,25,76)	1
A8	(19,25,33,41)	(1,2,3,4)	(20,27,36,45)	(-30,12,51,95)	(1,2,3,4)	(-34,9,49,94)	(-30,12,51,95)	(20,27,36,45)	(-75,-24,24,75)	0
A21	(20,27,36,45)	(2,3,4,5)	(22,30,40,50)	(-15,25,63,103)	(2,3,4,5)	(-20,21,60,101)	(-15,25,63,103)	(22,30,40,50)	(-65,-15,33,81)	8.42
A9	(20,27,36,45)	(8,12,13,15)	(28,39,49,60)	(-15,25,63,103)	(8,12,13,15)	(-30,12,51,95)	(-15,25,63,103)	(28,39,49,60)	(-75,-24,24,75)	0
A10	(28,39,49,60)	(5,7,8,10)	(33,46,57,70)	(-5,33,70,108)	(5,7,8,10)	(-15,25,63,103)	(-5,33,70,108)	(33,46,57,70)	(-75,-24,24,75)	0
A11	(33,46,57,70)	(2,4,6,7)	(35,50,63,77)	(2,39,74,110)	(2,4,6,7)	(-5,33,70,108)	(2,39,74,110)	(35,50,63,77)	(-75,-24,24,75)	0
A12	(35,50,63,77)	(1,2,3,4)	(36,52,66,81)	(6,42,76,111)	(1,2,3,4)	(2,39,74,110)	(6,42,76,111)	(36,52,66,81)	(-75,-24,24,75)	0
A13	(36,52,66,81)	(4,5,6,7)	(40,57,72,88)	(13,48,81,115)	(4,5,6,7)	(6,42,76,111)	(13,48,81,115)	(40,57,72,88)	(-75,-24,24,75)	0
A14	(40,57,72,88)	(8,10,12,15)	(48,67,84,103)	(28,60,91,123)	(8,10,12,15)	(13,48,81,115)	(28,60,91,123)	(48,67,84,103)	(-75,-24,24,75)	0
A15	(48,67,84,103)	(1,2,3,4)	(49,69,87,107)	(32,63,93,124)	(1,2,3,4)	(28,60,91,123)	(32,63,93,124)	(49,69,87,107)	(-75,-24,24,75)	0
A16	(49,69,87,107)	(5,6,7,8)	(54,75,94,115)	(40,70,99,129)	(5,6,7,8)	(32,63,93,124)	(40,70,99,129)	(54,75,94,115)	(-75,-24,24,75)	0
A17	(54,75,94,115)	(5,6,8,9)	(59,81,102,124)	(49,78,105,134)	(5,6,8,9)	(40,70,99,129)	(49,78,105,134)	(59,81,102,124)	(-75,-24,24,75)	0
A18	(59,81,102,124)	(5,7,9,12)	(64,88,111,136)	(61,87,112,139)	(5,7,9,12)	(49,78,105,134)	(61,87,112,139)	(64,88,111,136)	(-75,-24,24,75)	0
A19	(64,88,111,136)	(1,2,3,4)	(65,90,114,140)	(65,90,114,140)	(1,2,3,4)	(61,87,112,139)	(65,90,114,140)	(65,90,114,140)	(-75,-24,24,75)	0
สิ้นสุด	(65,90,114,140)	(0,0,0,0)	(65,90,114,140)	(65,90,114,140)	(0,0,0,0)	(65,90,114,140)	(65,90,114,140)	(65,90,114,140)	(-75,-24,24,75)	0

4.4.1 การปรับปรุงกระบวนการ

การวิเคราะห์เส้นทางวิกฤตเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงที่เหมาะสมกับธุรกิจของบริษัทบริการหลังการขาย ที่มีลักษณะซื้อมาขายไป (Trading) ไม่มีโรงงานผลิต โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดเวลาในการทำงานบางกิจกรรม และลดการสูญเปล่าของทรัพยากร มีรายละเอียดการปรับปรุงกระบวนการดังนี้

4.4.1.1 ขั้นตอนทางวิศวกรรม

เพิ่มการออกแบบชุดจำลองสำหรับงานทดสอบ เพื่อลดเวลาในการติดตั้งและทดสอบที่โรงงานลูกค้า โดยเพิ่มเติมกิจกรรมที่ A20 สำหรับชุดตัด และระบบโซ่ลำเลียง ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 ชุดจำลองสำหรับงานทดสอบสำหรับการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหาร

4.4.1.2 การจัดซื้อและบริหารคงคลัง

การจัดการเชิงรุกในส่วนของการจัดซื้ออุปกรณ์ไฟฟ้าบางส่วนที่มีระยะเวลาในการรอสินค้ามากกว่า 10 สัปดาห์ขึ้นไปเพื่อสต๊อกสินค้า ลดความล่าช้าในการจัดส่งในกรณีที่เกิดความผิดพลาดในการสั่งซื้อ วัสดุหรืออุปกรณ์ไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ หรือความไม่แน่นอนของการค้าโลก เช่น ขาดแคลนวัตถุดิบในภาคการผลิตที่ต้องนำเข้า เป็นต้น และจัดหา คัดเลือกซัพพลายเออร์เพิ่มเติม ที่มีราคาสมเหตุสมผล สามารถจัดส่งสินค้าและบริการได้ตรงตามเวลาที่กำหนดไว้ ทั้งนี้มีต้องนำเสนอและเห็นชอบจากผู้บริหารและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของโครงการ

4.4.1.3 การขนส่งสินค้า

การจัดการเชิงรุกในส่วนของการเร่งรัดและติดตามกับทางลูกค้าในส่วนของงานพิธีการศุลกากร เพื่อให้ลูกค้าดำเนินการในส่วนของการนำเข้าสินค้า (Custom clearance) โดยปกติลูกค้าจะใช้เวลาดำเนินการมากกว่า 2 สัปดาห์ขึ้นไป

4.4.1.4 การติดตั้งและทดสอบ

เพิ่มกิจกรรม A21 งานประกอบชุดอุปกรณ์เบื้องต้น ทั้งอุปกรณ์ทางกลและไฟฟ้า เข้าไปในส่วนของสายการผลิต เช่น ชุดประกอบร่วมกับมอเตอร์ เกียร์ทด เพลา เฟือง อุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อลดเวลาในการติดตั้งและทดสอบที่โรงงานลูกค้า ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 งานประกอบชุดอุปกรณ์เบื้องต้นสำหรับการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหาร

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการจัดการโครงการสำหรับการปรับปรุงเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อาหารซึ่งเวลาของกิจกรรมมักมีความไม่แน่นอน โดยใช้วิธีการคำนวณเส้นทางวิกฤตแบบฟัซซี่ นำมาวิเคราะห์ และจัดการในโครงการ ซึ่งสามารถระบุเส้นทางวิกฤตที่อาจเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขของโครงการได้ สามารถช่วยในการตัดสินใจในระดับบริหารงานโครงการได้อย่างมีแม่นยำและประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สามารถดำเนินการแล้วเสร็จ ตามเป้าหมายแผนงานและข้อจำกัดที่กำหนดไว้ จากการวิจัยนี้พบว่า ก่อนปรับปรุงมีระยะเวลาในการดำเนินโครงการ 149 วัน และหลังการปรับปรุงมีระยะเวลาดำเนินโครงการลดลงเหลือ 116 วัน ซึ่งทำให้โครงการของบริษัทกรณีศึกษาสามารถลดระยะเวลาในการดำเนินโครงการได้ 22.15% โดยมีการปรับปรุงโครงการด้วยการเพิ่มโครงข่ายกิจกรรมงานออกแบบชุดจำลองสำหรับงานทดสอบ (A20) และกิจกรรมงานประกอบชุดอุปกรณ์เบื้องต้น (A21) รวมถึงการจัดการเชิงรุกในกิจกรรมการจัดซื้อและบริหารคงคลัง การเร่งรัดและติดตามกับทางลูกค้าในส่วนของการขนส่งสินค้า

เอกสารอ้างอิง

[1] W.W. Yudiarti and F.A. Razi. 2021. “Application of Critical Path Method and Fuzzy Logic in Optimizing Bottled Drinking Water Production”. Indonesian Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 3(1): 53-62.

[2] A. M. Aliyu. 2012. “Project Management using Critical Path Method (Cpm): A Pragmatic Study”. Global Journal of Pure and Applied Sciences, Vol. 18(3&4): 197-206.

[3] N.R. Shankar, B.P. Saradhi and S.S. Babu. 2013. “Fuzzy Critical Path Method Based on a New Approach of Ranking Fuzzy Numbers using Centroid of Centroids”. International Journal of Fuzzy System Applications, Vol. 3(2): 16-31.

[4] A. Rusu. 2017. “A Fuzzy Approach to Critical Path Method in Projects Planning”. Bulletin of the Polytechnic Institute of Laşi, Vol. 63(67): 51-59.

[5] K. Kurij, A. Milajić and D. Beljaković. 2010. “Analysis of Construction Dynamic Plan using Fuzzy Critical Path Method”. Tehnika, Vol. 69(2): 209-215.

[6] N.S. Pour, M. Kheranmand, M. Fallah and S. Zeynali. 2011. “A New Method for Critical Path Method with Fuzzy Processing Time”. Management Science Letters, Vol. 1(3): 347–354.

[7] T. Leelavathy and S. Padmadevi. 2019. “Fuzzy Project Planning and Scheduling using Critical Path Technique”. Journal of Physics Conference Series, Vol. 1377(1): 1-8.

[8] P.K. De and A. Bhinchar. 2012. “A Fuzzy Critical Path Analysis by Ranking Method”. Advances in Fuzzy Mathematics, Vol. 7(1): 25-34.

การประเมินผลแนวทางการแก้ไขปัญหาความปลอดภัยทางจราจรของถนนบริเวณสถานศึกษา โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้านการจราจรระดับจุลภาค

Evaluation of the approach to solving traffic safety problems of roads in educational institutions Using Microscopic Simulation programs

ยศ สหัสดี* ไพโรจน์ เร้าธนชลกุล
สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: 65920425@go.buu.ac.th *

Yos Sahasadee*, Pairoj Raothanachonkun
Department of Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Logistics, Burapha University
E-mail: 65920425@go.buu.ac.th *

บทคัดย่อ

ปัญหาความปลอดภัยทางจราจรบริเวณสถานศึกษาเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ถนน โดยเฉพาะนักเรียนและบุคลากรในสถาบันการศึกษา งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินผลแนวทางการแก้ไขปัญหาความปลอดภัยทางจราจรโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้านการจราจรระดับจุลภาค AIMSUN เพื่อศึกษาผลกระทบด้านจราจรต่างๆ ในพื้นที่ถนนบริเวณสถานศึกษากรณีศึกษา ซึ่งประกอบด้วย 3 กรณี ได้แก่ กรณีถนนปกติ กรณีมีแบริเออร์กั้นระหว่างเลน และกรณีติดตั้งสัญญาณไฟจราจร ผลการจำลองพบว่า การใช้สัญญาณไฟจราจรสามารถลดความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับบริเวณสถานศึกษา โดยความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ รถบรรทุก และรถจักรยานยนต์อยู่ที่ 28.74, 24.65 และ 32.32 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ อย่างไรก็ตาม มาตรการนี้ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางเพิ่มขึ้น การศึกษานี้ช่วยให้ผู้กำหนดนโยบายสามารถเลือกใช้มาตรการที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงความปลอดภัยทางจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ความปลอดภัยทางจราจร, การจำลองจราจรระดับจุลภาค, การวิเคราะห์ความเร็ว

Abstract

Traffic safety issues around educational institutions are a significant concern that affects road users, particularly students and faculty members. This study evaluates traffic safety improvement measures using the AIMSUN microscopic traffic simulation program to analyze various traffic impacts in the study area. Three scenarios were examined: normal road conditions, the presence of lane barriers, and the installation of traffic signals. The simulation results indicate that implementing traffic signals effectively reduces the average vehicle speed to a safer level for the educational area. The average speeds for cars, trucks, and motorcycles were 28.74, 24.65, and 32.32 km/h, respectively. However, this measure also resulted in increased travel delays. This study provides valuable insights for policymakers in selecting appropriate measures to enhance traffic safety efficiently.

Keywords: Traffic safety, microscopic traffic simulation, Speed analysis

1. บทนำ

จากสถิติของศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุ เพื่อส่งเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนนพบว่าในปี 2567 ประเทศไทย มีผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนน 14,161 คน และมีจำนวนผู้บาดเจ็บ 854,943 คน [1] จากข้อมูลดังกล่าวการสัญจรบริเวณสถานศึกษาจึงเป็นประเด็นสำคัญที่สังคมให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากพื้นที่เหล่านี้มีความหนาแน่นของนักเรียน อาจารย์ และผู้ปกครองจำนวนมากในช่วงเวลาเดียวกัน ทำให้ปริมาณการเดินทางด้วยรถยนต์และรถจักรยานยนต์มีความคับคั่งสูงตามไปด้วย ในช่วงเวลาเร่งด่วนในตอนเช้าเป็นช่วงที่มีจำนวนยานพาหนะจอดส่งหรือรับนักเรียนมากที่สุด ซึ่งส่งผลให้ถนนบริเวณสถานศึกษามักประสบปัญหาการจราจรที่มีความหนาแน่นมากกว่าปกติ และเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งนี้ ต้นตอของปัญหาอาจมาจากการขาดแผนการจัดการจราจรที่เหมาะสม การขาดวินัยในการใช้ถนนของผู้ขับขี่บางส่วน และการออกแบบถนนที่ไม่รองรับปริมาณผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ นักเรียนส่วนหนึ่งยังขาดความรู้และทักษะการใช้ถนนอย่างปลอดภัย เมื่อผนวกกับสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อความเสี่ยง หรือการไม่มีอุปกรณ์สัญญาณไฟเตือนที่เพียงพอ ยิ่งเพิ่มความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุโดยเฉพาะกับกลุ่มเด็กและเยาวชน ปัญหานี้นับเป็นความท้าทายต่อทั้งผู้บริหารสถานศึกษา หน่วยงานภาครัฐ และชุมชนท้องถิ่น ในการร่วมมือกันพัฒนาวิธีป้องกันและแก้ไขปัญหาความปลอดภัยทางจราจรอย่างเร่งด่วนและครอบคลุมทุกมิติ

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีงานวิจัยหลายชิ้นที่นำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาจราจรบริเวณสถานศึกษา โดยมุ่งเน้นไปที่มาตรการทางกายภาพและมาตรการเชิงพฤติกรรม อาทิ การปรับรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบกระตุ้นเต็มที่ (Full-actuated control) [2] การปรับปรุงใช้วงเวียนร่วมกับทางแยกในบริเวณสถานศึกษา [3] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จของแนวทางแก้ไขมักขึ้นอยู่กับการบูรณาการระหว่างหลายหน่วยงาน ทั้งตำรวจจราจร องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และโรงเรียน ตลอดจนการใช้เทคโนโลยีมาช่วยในการวิเคราะห์และประเมินผล ก่อนที่มาตรการจะแพร่ขยายออกไปอย่างเป็นระบบ การนำโปรแกรมจำลองสถานการณ์การจราจรระดับจุลภาคถือเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เพราะช่วยให้ผู้วิจัยสามารถสร้างแบบจำลองของถนน เส้นทางสัญจร และพฤติกรรมผู้ขับขี่ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยไม่เสี่ยงต่อความปลอดภัยของประชาชน โปรแกรมจราจรในระดับจุลภาค เช่น VISSIM หรือ AIMSUN ช่วยให้สามารถนำเข้าข้อมูลสถิติต่างๆ อาทิ ปริมาณจราจร ความเร็วเฉลี่ย และสัดส่วนการเดินทางของผู้ใช้ถนน เพื่อทดลองใช้มาตรการต่าง ๆ แล้วประเมินผลการลดอุบัติเหตุหรือการปรับปรุงความคล่องตัวได้อย่างแม่นยำและเป็นระบบ เป็นข้อมูลสำคัญในการตัดสินใจเลือกรูปแบบมาตรการที่เหมาะสม อีกทั้งยังเอื้อให้ผู้กำหนดนโยบายสามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ล่วงหน้าได้อย่างเป็นรูปธรรมก่อนการนำไปใช้จริง ช่วยลดความเสี่ยงในกรณีที่มาตรการบางอย่างอาจก่อให้เกิดปัญหาใหม่หรือส่งผลกระทบด้านลบมากกว่าที่คาดไว้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

ข้อมูลจราจรที่มีความซับซ้อนและพฤติกรรมการขับขี่ที่หลากหลาย ทำให้การจำลองสภาพจราจรด้วยคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่สำคัญในวิศวกรรมการจราจร การใช้แบบจำลองการจำลองการจราจรที่แตกต่างกันทำให้สามารถจำลองสถานการณ์ในโลกแห่งความเป็นจริงได้อย่างละเอียด ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของรายละเอียดข้อมูล แบบจำลองการไหลของจราจรสามารถแบ่งออกเป็นสามประเภท ได้แก่ แบบจำลองระดับมหภาค (Macroscopic) ซึ่งมองการไหลของการจราจรในภาพรวม แบบจำลองระดับจุลภาค (Microscopic) ซึ่งให้ความสำคัญกับยานพาหนะแต่ละคันและปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน และแบบจำลองระดับกึ่งจุลภาค (Mesoscopic) ซึ่งอยู่ระหว่างสองประเภทข้างต้น

แบบจำลองระดับจุลภาคเน้นการวิเคราะห์การไหลของการจราจรโดยการจำลองปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ขับขี่กับผู้ขับขี่ และผู้ขับขี่กับถนน ซึ่งวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ขับขี่กับผู้ขับขี่คนอื่นบนถนน และปฏิสัมพันธ์ของผู้ขับขี่แต่ละคนกับลักษณะต่างๆ ของถนน มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในสถานการณ์ต่างๆ เช่น กรณีที่พบอุปสรรคคงที่ หรือกรณีที่พบอุปสรรคที่เคลื่อนที่ได้ ในบรรดาการศึกษาต่างๆ นั้น การพัฒนาแนวคิดการติดตามรถ (car-following theories) ในยุคแรกถือเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญ ซึ่งช่วยเปิดทางให้นักวิจัยสามารถสร้างแบบจำลองพฤติกรรมของยานพาหนะที่ติดตามยานพาหนะคันอื่นได้ในช่วงทศวรรษ 1950 และ 1960 ในปัจจุบันมีการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคให้เลือกใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งแต่ละแบบจำลองมีสมรรถนะในการจำลองเหตุการณ์ได้แตกต่างกัน ซึ่งโปรแกรมที่นิยมใช้งานกัน ได้แก่ AIMSUN, VISSIM, CORSIM, PARAMICS และ โปรแกรมอื่นๆ [4]

2.2 โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค AIMSUN

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคเป็นเครื่องมือวิเคราะห์การจราจรที่มีประสิทธิภาพ และความสามารถการจำลองสภาพการจราจรสอดคล้องกับสถานการณ์ที่หลากหลายได้อย่างแม่นยำ ทำให้ผู้ใช้งานที่มีความเชี่ยวชาญต้องการคุณลักษณะและฟังก์ชันการทำงานใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ AIMSUN จึงเป็นโปรแกรมจำลองการจราจรที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดย AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks) ทำงานด้านการจำลองที่ได้รับแรงบันดาลใจจากการออกแบบร่วมกับผู้ใช้ด้วยกราฟิกสมัยใหม่ เพื่อตอบสนองความต้องการของการสร้างแบบจำลองด้านจราจร

โปรแกรมจำลองจราจรระดับจุลภาค AIMSUN จึงเป็นเครื่องมือการจำลองจราจรที่สามารถเลียนแบบการเคลื่อนตัวของยานพาหนะแต่ละคันในโครงข่ายถนนได้อย่างสมจริง สามารถจำลองการติดตามรถ (car-following) การเปลี่ยนช่องจราจร (lane changing) และการรับรองช่องว่าง (gap acceptance) เพื่อจำลองพฤติกรรมของยานพาหนะมีประโยชน์ในการช่วยศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการคมนาคม เนื่องจากสามารถจำลองพลวัตของการจราจรที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ครบถ้วน และสามารถใช้แบบจำลองเชิงพฤติกรรมที่สะท้อนถึงปฏิกิริยาของผู้ขับขี่ได้ [5]

2.3 เมทริกซ์จุดกำเนิด-จุดหมายปลายทาง

เมทริกซ์จุดกำเนิด-จุดหมายปลายทาง (Origin–destination matrix, OD matrix) คืออาร์เรย์สองมิติของต้นทาง (แถว) และปลายทาง (คอลัมน์) โดยที่องค์ประกอบของเมทริกซ์จะเป็นปริมาณจำนวนการเดินทางระหว่างจุดศูนย์กลางต้นทางและปลายทางสำหรับประเภทยานพาหนะและวัตถุประสงค์ของการเดินทางตามช่วงเวลา [6]

2.4 ค่าสัดส่วนปริมาณจราจรสูงสุดต่อชั่วโมง

ค่าสัดส่วนปริมาณจราจรสูงสุดต่อชั่วโมง (The peak hour factor, PHF) เป็นหน่วยวัดที่ใช้ในงานวิศวกรรมจราจรเพื่อประเมินความผันผวนของปริมาณการจราจรในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน โดยกำหนดให้เป็นอัตราส่วนของปริมาณการจราจรทั้งหมด (ในยานพาหนะ) ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเทียบกับปริมาณที่จะเกิดขึ้นหากปริมาณการจราจรสม่ำเสมอตลอดชั่วโมงนั้น

$$PHF = \frac{V}{V_{max}} \quad (1)$$

โดยที่ V ปริมาณจราจรรายชั่วโมง (Hourly volume) หน่วยคัน และ V_{max} ปริมาณจราจรสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาย่อย 15 นาที ใดๆ ภายในชั่วโมงที่สำรวจข้อมูล หน่วยคัน

การวิเคราะห์ค่าสัดส่วนปริมาณจราจรสูงสุดต่อชั่วโมงช่วยในการทำความเข้าใจความผันผวนของปริมาณการจราจรและเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์สัญญาณจราจร ความจุของถนน และโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ สามารถคำนวณเพื่อปรับความจุสำหรับทางแยกและถนนเพื่อให้แน่ใจว่าการออกแบบคำนึงถึงความต้องการสูงสุดและสามารถประเมินประสิทธิภาพของถนน ซึ่งค่าสัดส่วนปริมาณจราจรสูงสุดต่อชั่วโมงให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการไหลของการจราจร และสามารถระบุได้ว่าการจราจรติดขัดมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นหรือไม่

โดยค่าสัดส่วนปริมาณจราจรสูงสุดต่อชั่วโมงเท่ากับ 1.0 แสดงถึงการไหลที่สม่ำเสมออย่างสมบูรณ์แบบตลอดชั่วโมงเร่งด่วน และค่าที่น้อยกว่า 1.0 แสดงถึงความแปรปรวน โดยค่าที่ต่ำกว่าแสดงถึงความผันผวนที่มากขึ้นในปริมาณการจราจร [7]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลสถานศึกษากรณีศึกษา

3.1.1 วิทยาลัยเทคนิค

วิทยาลัยเทคนิคกรณีศึกษาเปิดการเรียนการสอนในระดับหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และหลักสูตรการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) จากข้อมูลนักเรียนนักศึกษาสถานศึกษาภาครัฐและเอกชนในสังกัด สอศ. จำแนกประเภทนักเรียนปกติและทวิภาคี ประจำปีการศึกษา 2567 มีจำนวนนักเรียนระดับชั้น ปวช. จำนวน 1,851 คน และมีจำนวนนักเรียนระดับชั้น ปวส.จำนวน 851 คน

3.1.2 มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยกรณีศึกษาเปิดสอนตั้งแต่ระดับปริญญาตรีถึงปริญญาเอก ในสาขาวิชาที่เป็นความต้องการของภาคอุตสาหกรรม โดยเป็นการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนากำลังคนให้กับภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรมทันสมัย และอุตสาหกรรม บริการในภูมิภาคตะวันออก จากข้อมูลสถิตินักศึกษามีสถิติจำนวนนักศึกษาในปีการศึกษา 2567 จำนวน 4,290 คน

3.2 ข้อมูลการจราจร

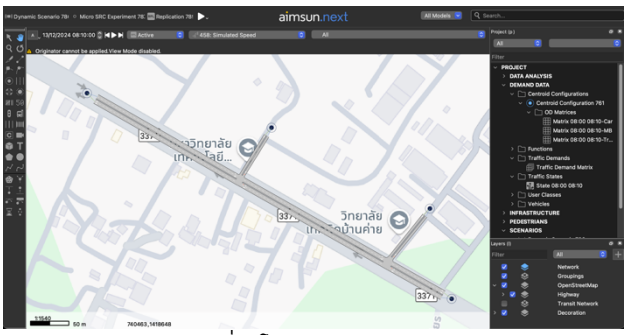
ถนนทางหลวงกรณีศึกษา ฐานะปัจจุบันเป็นทางหลวงท้องถิ่นในความรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนจังหวัดมีระยะทางยาว 3.3 กิโลเมตร จำนวนเลนทั้งหมด 4 เลนจราจร

ข้อมูลปริมาณรถบริเวณสถานศึกษากรณีศึกษาได้มาจากการนับจำนวนรถยนต์ทุก 10 นาที จากการถ่ายวีดีโอช่วงเวลา 7.30น - 9.10น ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีจราจรหนาแน่นที่สุด โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณรถจากเส้นทาง 4 จุด คือ เส้นทางจากอำเภอ 1, เส้นทางจากอำเภอ 2, มหาวิทยาลัย และวิทยาลัยเทคนิค

ข้อมูลความเร็วรถบริเวณสถานศึกษากรณีศึกษาได้มาจากการวัดความเร็วรถจากการถ่ายวีดีโอแล้วนำมาแปลงเป็นความเร็วรถจากการหาค่าเฉลี่ย

3.3 การสร้างแบบจำลองจราจร

จากการเก็บข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยจึงประยุกต์การใช้การจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม AIMSUN ดังรูปที่ 1 เพื่อเป็นการศึกษาปริมาณรถและความเร็วรถจากสถานการณ์จำลองที่กำหนด



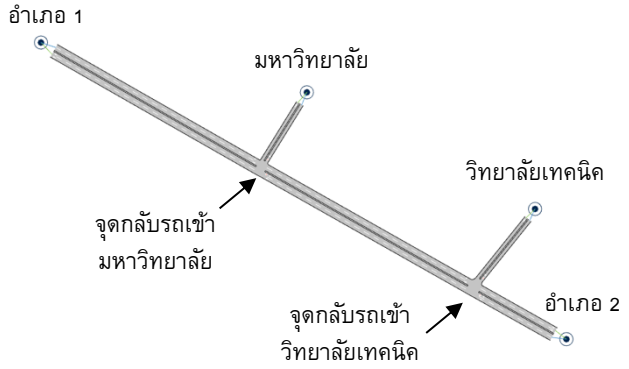
รูปที่ 1 โปรแกรม AIMSUN

3.4 แบบจำลองจราจรบริเวณถนนกรณีศึกษา

การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม AIMSUN จะแบ่งกรณีแนวทางการจำลองการจราจรเป็น 3 กรณีคือ

3.4.1 กรณีถนนปกติ

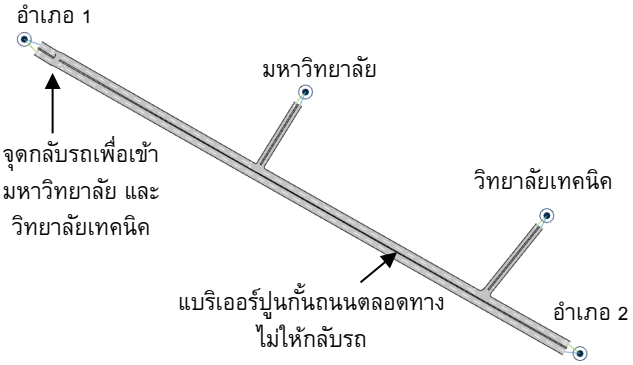
แบบกรณีถนนปกติเป็นแบบจำลองจราจรแบบดั้งเดิม รถยนต์และมอเตอร์ไซต์สามารถกลับรถเข้ามหาวิทยาลัยและวิทยาลัยเทคนิคได้อิสระ ทำให้เกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลองกรณีถนนปกติ

3.4.2 กรณีมีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนจราจร

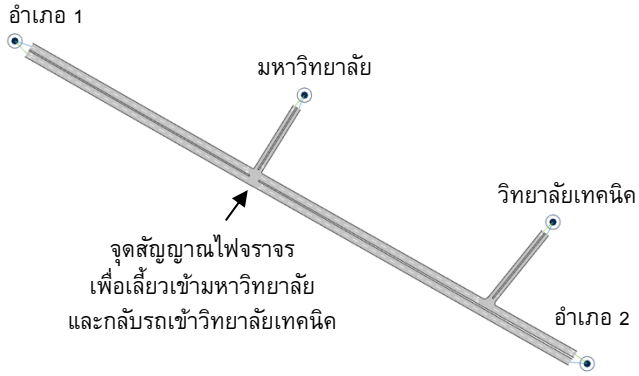
แบบจำลองกรณีมีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนจราจรเป็นแบบจำลองสภาพถนนปัจจุบัน ดังรูปที่ 3 โดยทางองค์การบริหารส่วนจังหวัดได้มีการนำแบริเออร์ปูนวางแนวกั้นยาว 2 กิโลเมตร ไม่ให้มีการกลับรถเข้ามหาวิทยาลัยและวิทยาลัยเทคนิค จะสามารถกลับรถได้เฉพาะต้นทางและปลายทางของแบริเออร์ปูนเท่านั้น



รูปที่ 3 แบบจำลองกรณีมีแบริเออร์กั้นระหว่างเลน

3.4.3 กรณีมีสัญญาณไฟจราจร

แบบจำลองกรณีมีสัญญาณไฟจราจรเป็นแบบจำลองซึ่งทางผู้วิจัยนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาความปลอดภัยทางจราจรดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบจำลองกรณีมีสัญญาณไฟจราจร

3.5 การทดสอบความถูกต้อง

เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รวบรวมโดยทำการเปรียบเทียบความเร็วที่ได้มาจากการวัดความเร็วรถจากการถ่ายวีดีโอแล้วนำมาแปลงเป็นความเร็วรถจากการหาค่าเฉลี่ย กับความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรม AIMSUN โดยมีค่าความผิดพลาดจากข้อมูลที่ทำการวัดจริงเทียบกับความเร็วเฉลี่ยจากการจำลองพบว่า มีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.12-1.93% โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเร็วรถยนต์จากวีดีโอและจากโปรแกรม AIMSUN

ประเภทรถยนต์	วีดีโอ (km/h)	AIMSUN (km/h)	Error (%)
รถยนต์	51.64	51.58	0.12
รถบรรทุก	52.38	51.57	1.57
รถมอเตอร์ไซต์	53.25	52.24	1.93

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การวิเคราะห์ความเร็วจากแบบจำลองจราจร

จากการสร้างแบบจำลองจราจรบริเวณถนนกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้นำความเร็วรถยนต์แต่ละประเภทคือ รถยนต์ รถบรรทุก และรถมอเตอร์ไซต์ มาทำการเปรียบเทียบความเร็วในแต่ละกรณี เพื่อได้ความเร็วที่เหมาะสมกับการขับขี่บริเวณสถานศึกษา คือ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งการใช้ความเร็วที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงนั้นจะทำให้โอกาสรอดชีวิตเมื่อเกิดอุบัติเหตุมีมากถึง 98% [8]

4.1.1 ความเร็วรถยนต์

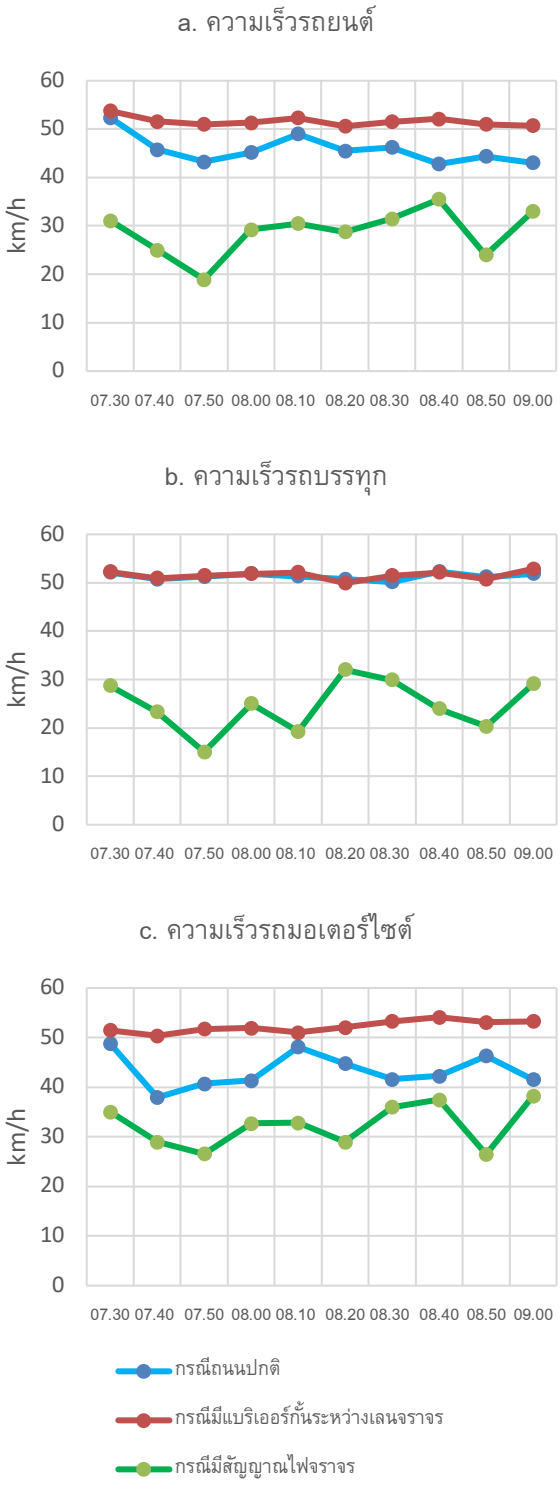
จากการจำลองจราจรบริเวณถนนกรณีศึกษาของรถยนต์พบว่ามีปริมาณรถยนต์ผ่านถนนกรณีศึกษา 1,131 คันต่อชั่วโมง โดยผลความเร็วจากแบบจำลองจราจร แบบกรณีถนนปกติ ความเร็วเฉลี่ย 45.74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แบบกรณีมีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนจราจร ความเร็วเฉลี่ย 51.58 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และแบบมีสัญญาณไฟจราจร ความเร็วเฉลี่ย 28.74 กิโลเมตรต่อ รายละเอียดดังตารางที่ 2

4.1.2 ความเร็วรถบรรทุก

จากการจำลองจราจรบริเวณถนนกรณีศึกษาของรถบรรทุกพบว่ามีปริมาณรถบรรทุกผ่านถนนกรณีศึกษา 149 คันต่อชั่วโมง โดยผลความเร็วจากแบบกรณีถนนปกติ ความเร็วเฉลี่ย 51.34 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แบบกรณีมีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนจราจร ความเร็วเฉลี่ย 51.57 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และแบบมีสัญญาณไฟจราจร ความเร็วเฉลี่ย 24.65 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รายละเอียดดังตารางที่ 3

4.1.3 ความเร็วรถมอเตอร์ไซต์

จากการจำลองจราจรบริเวณถนนกรณีศึกษาของรถมอเตอร์ไซต์พบว่ามีปริมาณรถยนต์ผ่านถนนกรณีศึกษา 1,304 คันต่อชั่วโมง โดยผลความเร็วจากแบบกรณีถนนปกติ ความเร็วเฉลี่ย 43.33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แบบกรณีมีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนจราจร ความเร็วเฉลี่ย 52.24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และแบบมีสัญญาณไฟจราจร ความเร็วเฉลี่ย 32.32 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รายละเอียดดังตารางที่ 4



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของรถในแต่ละกรณี a. ความเร็วรถยนต์ b. ความเร็วรถบรรทุก และ c. ความเร็วรถมอเตอร์ไซต์

ตารางที่ 2 ผลความเร็วรถยนต์บริเวณถนนกรณีศึกษา

ช่วงเวลา	กรณีถนนปกติ (km/h)	กรณีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนจราจร (km/h)	กรณีมีสัญญาณไฟจราจร (km/h)
07.30 - 07.40	52.37	53.73	31.06
07.40 - 07.50	45.74	51.55	24.99
07.50 - 08.00	43.24	51.01	18.92
08.00 - 08.10	45.17	51.34	29.2
08.10 - 08.20	49.01	52.29	30.45
08.20 - 08.30	45.48	50.58	28.79
08.30 - 08.40	46.22	51.51	31.46
08.40 - 08.50	42.78	52.09	35.48
08.50 - 09.00	44.36	50.97	24.02
09.00 - 09.10	43.02	50.72	32.99
ค่าเฉลี่ย	45.74	51.58	28.74

ตารางที่ 3 ผลความเร็วรถบรรทุกบริเวณถนนกรณีศึกษา

ช่วงเวลา	กรณีถนนปกติ (km/h)	กรณีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนจราจร (km/h)	กรณีมีสัญญาณไฟจราจร (km/h)
07.30 - 07.40	52.14	52.23	28.72
07.40 - 07.50	50.71	50.92	23.25
07.50 - 08.00	51.26	51.43	15.04
08.00 - 08.10	51.84	51.84	25.03
08.10 - 08.20	51.33	52.09	19.23
08.20 - 08.30	50.7	49.94	32.00
08.30 - 08.40	50.13	51.46	29.89
08.40 - 08.50	52.29	52.13	23.93
08.50 - 09.00	51.18	50.75	20.33
09.00 - 09.10	51.86	52.86	29.08
ค่าเฉลี่ย	51.34	51.57	24.65

จากตารางข้อมูลที่ 2,3 และ 4 ผลความเร็วของรถยนต์ รถบรรทุก และรถมอเตอร์ไซต์พบว่า กรณีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนจราจรมีผลความเร็วสูงที่สุด ซึ่งมีความเร็วเฉลี่ยเกิน 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในรถทุกประเภท เนื่องจากแบบกรณีนี้มีจุดกลับรถอยู่เพียง 1 จุด การจราจรจึงไหลลื่น รถที่ขับขี่สามารถทำความเร็วได้สูงกว่าแบบกรณีอื่น

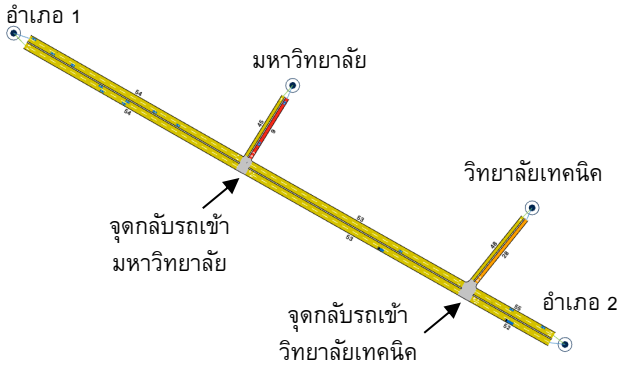
กรณีถนนปกติ รถยนต์และรถมอเตอร์ไซต์มีการกลับรถ 2 จุดคือ บริเวณมหาวิทยาลัยและวิทยาลัยเทคนิค ฉะนั้นความเร็วรถของรถยนต์และรถมอเตอร์ไซต์จึงต่ำกว่าความเร็วของรถบรรทุก

และกรณีมีสัญญาณไฟจราจร ความเร็วของรถทุกประเภทลดลงอยู่ในระดับ 24 – 32 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นระดับความเร็วเป้าหมายที่ต้องการให้ความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์หน้าสถานศึกษาไม่เกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยจะมีบางช่วงเวลาที่ความเร็วของรถมอเตอร์ไซต์

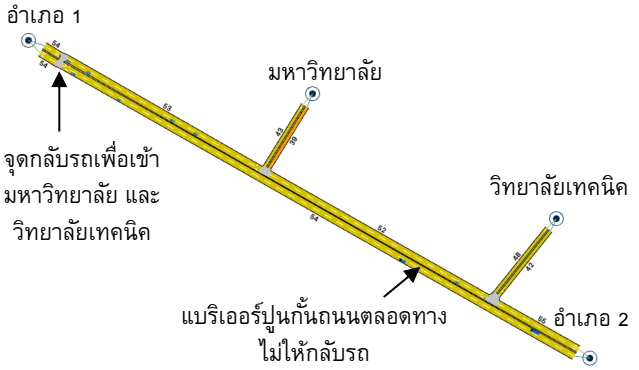
สูงกว่า 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คือช่วงใกล้เข้าเรียนของสถานศึกษาทั้ง 2 แห่ง

ตารางที่ 4 ผลความเร็วรถมอเตอร์ไซต์บริเวณถนนกรณีศึกษา

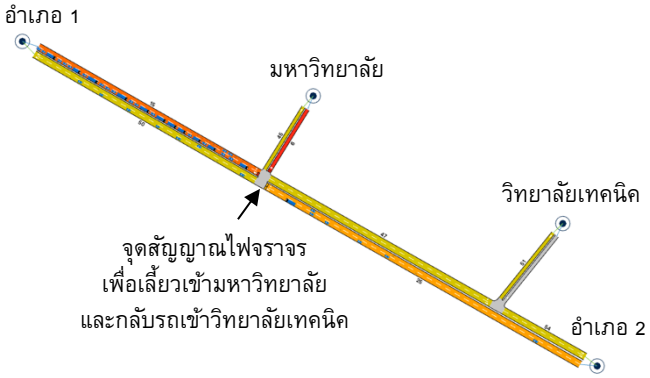
ช่วงเวลา	กรณีถนนปกติ (km/h)	กรณีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนจราจร (km/h)	กรณีมีสัญญาณไฟจราจร (km/h)
07.30 - 07.40	48.78	51.49	35.03
07.40 - 07.50	37.94	50.37	28.94
07.50 - 08.00	40.69	51.75	26.57
08.00 - 08.10	41.33	51.93	32.72
08.10 - 08.20	48.15	51.03	32.82
08.20 - 08.30	44.74	52.06	28.96
08.30 - 08.40	41.59	53.25	36.01
08.40 - 08.50	42.22	54.11	37.45
08.50 - 09.00	46.31	53.09	26.47
09.00 - 09.10	41.53	53.3	38.25
ค่าเฉลี่ย	43.33	52.24	32.32



รูปที่ 6 ผลความเร็วการจำลองจราจรกรณีถนนปกติ



รูปที่ 7 ผลความเร็วการจำลองจราจรกรณีมีแบริเออร์กั้นระหว่างเลน



รูปที่ 8 ผลความเร็วการจำลองจราจรกรณีมีสัญญาณไฟจราจร

4.2 การวิเคราะห์เวลาจากแบบจำลองจราจร

จากการจำลองจราจรบริเวณถนนกรณีศึกษาในแต่ละกรณีมีผลต่อการเดินทาง เนื่องจากช่วงเวลาที่ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลาที่ถนนมีความหนาแน่นมากที่สุดคือช่วงเวลา 7.30น. - 9.10น. เนื่องจากเวลา 8.00น. เป็นเวลาที่วิทยาลัยเทคนิคเข้าเรียน และเป็นเวลาเข้างานของโรงงานอุตสาหกรรม เวลา 9.00น. เป็นเวลาเข้าเรียนของมหาวิทยาลัย รายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เวลาเฉลี่ยที่รถหยุดต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร

ประเภทรถ	กรณีถนนปกติ (sec/km)	กรณีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนจราจร (sec/km)	กรณีมีสัญญาณไฟจราจร (sec/km)
รถยนต์	24.84	0.12	83.74
รถบรรทุก	0.09	0.03	103.58
รถมอเตอร์ไซต์	44.70	0.07	55.31

จากตารางที่ 5 พบว่ากรณีถนนปกติ รถยนต์และรถมอเตอร์ไซต์มีเวลาเฉลี่ยที่รถหยุดต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร เนื่องจากรถทั้ง 2 ประเภทมีการกลับรถเข้ามหาวิทยาลัยและวิทยาลัยเทคนิค จึงมีการหยุดเกิดขึ้น ส่วนรถบรรทุกไม่มีการกลับรถ จึงไม่ได้มีเวลาที่รถหยุด

กรณีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนจราจร รถทุกประเภทมีเวลาหยุดที่น้อยมากเนื่องจากมีจุดที่กลับรถชัดเจน

กรณีมีสัญญาณไฟจราจร รถทุกประเภทมีเวลาเฉลี่ยที่รถที่มากกว่าทุกกรณี เนื่องจากมีการหยุดรถจากสัญญาณไฟจราจร รถบรรทุกจะมีเวลาเฉลี่ยสูงที่สุดเนื่องจากรถบรรทุกออกตัวช้า

4.3 การวิเคราะห์ค่าสัดส่วนปริมาณจราจรสูงสุดต่อชั่วโมง

จากการเก็บข้อมูลปริมาณจราจรเพื่อหาสัดส่วนปริมาณจราจรสูงสุดต่อชั่วโมง ในช่วงเวลา 7.30-9.30น. รายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณรถบริเวณถนนกรณีศึกษา

ช่วงเวลา	รถยนต์ (คัน)	รถบรรทุก (คัน)	รถมอเตอร์ไซต์ (คัน)	รวม (คัน)
07.30 - 07.45	188	20	332	540
07.45 - 08.00	331	37	410	778
08.00 - 08.15	306	45	286	637
08.15 - 08.30	325	45	295	665
รวมจำนวนรถทุกประเภท				2,618
08.30 - 08.45	254	41	341	635
08.45 - 09.00	305	43	322	669
09.00 - 09.15	248	24	256	527
09.15 - 09.30	169	21	210	399
รวมจำนวนรถทุกประเภท				2,230

จากตารางที่ 6 เมื่อทำการคำนวณตามสูตรที่ (1) พบว่าค่าสัดส่วนปริมาณจราจรสูงสุดต่อชั่วโมงในช่วงเวลา 7.30-8.30น. เท่ากับ 0.84 และในช่วงเวลา 8.30-9.30น. เท่ากับ 0.83 ซึ่งทั้ง 2 ช่วงเวลามีค่าใกล้เคียงกันแสดงถึงการไหลของจราจรมีความสม่ำเสมอและมีความผันผวนของจราจรเล็กน้อย

5. สรุป

จากการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้านการจราจรระดับจุลภาคของถนนบริเวณสถานศึกษาด้วยโปรแกรม AIMSUN เพื่อประเมินผลแนวทางการแก้ไขปัญหาความปลอดภัยทางจราจร ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางเป็น 3 กรณี คือ กรณีถนนปกติ กรณีมีแบริเออร์กั้นระหว่างเลนและกรณีมีสัญญาณไฟจราจร โดยพิจารณาจากความเร็ว เวลาเฉลี่ยที่รถหยุดต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร และค่าสัดส่วนปริมาณจราจรสูงสุดต่อชั่วโมง จากผลลัพธ์การทดลองพบว่าใน 3 กรณี มีเพียงกรณีมีสัญญาณไฟจราจรที่สามารถทำให้เกิดความเร็วที่เหมาะสมกับการขับขี่ยานพาหนะบริเวณสถานศึกษา คือ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ 28.74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วเฉลี่ยของรถบรรทุก 24.65 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเร็วเฉลี่ยของรถมอเตอร์ไซต์ 32.32 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ก็จะทำให้เกิดเวลาเฉลี่ยที่รถหยุดต่อระยะทาง 1 กิโลเมตรที่สูงขึ้นทำให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางขึ้นได้ โดยแนวทางงานวิจัยในอนาคตสามารถเพิ่มการจำลองสถานการณ์ในเรื่องการข้ามถนนด้วยทางม้าลาย หรือเส้นชะลอความเร็ว (Rumble Strips) เพื่อช่วยลดความเร็วโดยไม่ต้องใช้ไฟจราจรและคำนึงในเรื่องงบประมาณ

เอกสารอ้างอิง

[1] ThaiRSC. (2568). สถิติการเกิดอุบัติเหตุทางถนน ในประเทศไทย. สืบค้น 19 มีนาคม 25668, จาก https://www.thairsc.com/

[2] พรฑิตา ถามะพันธ์. (2557). การจัดการจราจรบริเวณสามแยกบนทางหลวงสายหลัก: กรณีศึกษาสามแยกหน้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (แยกหนองปรู). งานวิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[3] ศราวุธ คีรีวงษ์. (2560). การปรับปรุงจุดอันตรายบริเวณทางแยกในมหาวิทยาลัยขอนแก่น. งานวิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[4] พรรณทิพา พันธ์ยิ้ม, นันทวรรณ พิทักษ์พานิช, เอกรินทร์ เหลืองวิลัย, เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร (2561). การประเมินผลกระทบด้านจราจรของด่านเก็บค่าผ่านทางโดยการจำลองสถานการณ์จราจร: กรณีศึกษาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษวงแหวนรอบนอก (บางแก้ว) ทางออกทางพิเศษบูรพาวิถี. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23, นครนายก, วันที่ 18 – 20 กรกฎาคม 2561.

[5] Barceló, J., Codina, E., Casas, J., Ferrer, J. L., & García, D. (2005). Microscopic traffic simulation: A tool for the design, analysis and evaluation of intelligent transport systems. Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications, 41(2–3), 173–203.

[6] Rhoads, D., Rames, C., Solé-Ribalta, A., González, M. C., Szell, M., & Borge-Holthoefer, J. (2023). Sidewalk networks: Review and outlook. In Computers, Environment and Urban Systems (Vol. 106). Elsevier Ltd.

[7] วรกมล ศรีใหม่, เจตน์ ธรรมจิต, ศิริธนา แก้วแหวน. (2559). การศึกษาและการประยุกต์ใช้โปรแกรมด้านการจราจรระดับจุลภาคสำหรับพื้นที่บริเวณตลาดองครักษ์. โครงงานวิศวกรรม หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[8] ฉัตร์ชัย นกดี. (2562). “นั่งท้ายรถกระบะ” แน่ใจแค่ไหน ว่าคุณไม่เสี่ยง?. เข้าถึงได้จาก : https://www.thaihealth.or.th/นั่งท้ายรถกระบะ-แน่ใจ-2/. 24 ตุลาคม

แนวทางการใช้แดชบอร์ดนำเสนอค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร กรณีศึกษาบริษัทผลิตกระดาษคราฟท์ในจังหวัดปราจีนบุรี

Guidelines for Using Dashboard to Present the Overall Equipment Effectiveness Case Study of a Kraft Paper Manufacturing Company in Prachinburi

วิมพ์วิภา ทิพย์สุข[1] ณัฐนารี สุขเสกสรรค์[1*]
[1]ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
E-mail: natanaree.s@itm.kmutnb.ac.th*

Wimwipha Thipsuk and Natanaree Sooksaksun*
[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@itm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เครื่องจักรต้องทำงานต่อเนื่องเพื่อให้ทันต่อความต้องการของตลาด อย่างไรก็ตามการใช้งานเครื่องจักรอย่างต่อเนื่องอาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและชำรุดเสียหาย ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิต แม้ว่าจะมีการบันทึกข้อมูลการทำงานของเครื่องจักร แต่ข้อมูลดังกล่าวไม่ได้ถูกจัดเก็บในรูปแบบออนไลน์ ทำให้พนักงานเข้าถึงข้อมูลได้ยาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการแสดงข้อมูลค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร(Overall Equipment Effectiveness: OEE) ให้สามารถเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ วิเคราะห์ และแสดงผลได้อย่างทันท่วงที โดยใช้เทคโนโลยีแดชบอร์ดใน Microsoft Power BI ซึ่งช่วยให้พนักงานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายขึ้น กระบวนการวิจัยเริ่มจากการศึกษาวิธีการบันทึกและคำนวณค่าประสิทธิผลของเครื่องจักรในบริษัทกรณีศึกษา จากนั้นออกแบบแบบฟอร์มเก็บข้อมูลผ่าน Microsoft Forms และพัฒนาแดชบอร์ดใน Power BI เพื่อแสดงผลข้อมูล จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับกระบวนการปัจจุบัน และประเมินความพึงพอใจของพนักงาน ผลการวิจัยพบว่าการใช้ Power BI ช่วยลดข้อผิดพลาดจากการป้อนข้อมูล ลดระยะเวลาการคำนวณ และสามารถแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ พนักงานสามารถเข้าถึงและเข้าใจข้อมูลได้ง่ายขึ้น ผลการประเมินความพึงพอใจพบว่าการรายงานผลด้วย Power BI อยู่ในระดับดีมาก ด้านการออกแบบการใช้งาน และด้านความสามารถในการนำไปใช้ได้รับคะแนนในระดับดี สรุปได้ว่าการพัฒนาแดชบอร์ดแสดงข้อมูล OEE ด้วย Power BI ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการข้อมูล ลดข้อผิดพลาด และช่วยให้สามารถระบุปัญหาได้อย่างรวดเร็วขึ้น ส่งผลให้การบริหารจัดการเครื่องจักรมีประสิทธิภาพมากขึ้น

คำสำคัญ: ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร แดชบอร์ด Power BI

Abstract

The paper manufacturing industry is expanding rapidly, requiring machines to operate continuously to meet market demand. However, prolonged machine usage can lead to wear and tear, resulting in reduced production efficiency. Although machine operation data is recorded, it is not stored online, making it difficult for employees to access the information. This research aims to improve the display of Overall Equipment Effectiveness (OEE) data by enabling real-time data collection, analysis, and instant visualization using Microsoft Power BI dashboards. This technology allows employees to access information more easily. The research process began with studying the current method of recording and calculating machine efficiency in the case study company. A data collection form was designed using Microsoft Forms, followed by the development of a Power BI dashboard for data visualization. The new system was then compared with the existing process, and employee satisfaction was evaluated. The results showed that using Power BI reduced data entry errors, minimized calculation time, and enabled real-time data visualization. Employees found the system easier to access and understand. The satisfaction assessment indicated that Power BI reporting was rated very high, while design, usability, and practical application

received good ratings. In conclusion, the development of an OEE dashboard using Power BI improved data management efficiency, reduced errors, and allowed for quicker problem identification, leading to more effective machine management.

Keywords: Overall Equipment Effectiveness, Dashboard, Power BI

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วและมีการแข่งขันกันอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ทันต่อความต้องการของผู้บริโภคที่มีหลากหลายมากขึ้น ทั้งด้านคุณภาพ มาตรฐานสินค้า การขนส่งและการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาเป็นอุปกรณ์เสริมเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตและสามารถผลิตชิ้นงานได้มากขึ้นเพื่อให้ทันกับความต้องการของผู้บริโภค ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อระบบการผลิต คือ เครื่องจักร(Machine) เมื่อมีปริมาณความต้องการสินค้าเพิ่มมากขึ้น เครื่องจักรก็จะทำงานหนักต่อเนื่องไม่มีการหยุดพัก อย่างไรก็ตาม เครื่องจักรมีขีดความสามารถในด้านอายุการใช้งาน โดยเฉพาะชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องจักรที่อาจเกิดการเสื่อมสภาพและชำรุดเสียหายจากการใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานานย่อมส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องจักรสั้นลง รวมถึงประสิทธิภาพการผลิตของชิ้นงานที่ลดลงไปด้วย ถึงแม้จะมีการควบคุมดูแลซ่อมบำรุงเครื่องจักรแล้วก็ตาม แต่ปัญหาการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรยังคงเกิดขึ้นอยู่อย่างต่อเนื่องซึ่งอาจเกิดจากหลายปัจจัย ซึ่งบริษัทส่วนใหญ่มีการบันทึกข้อมูลของเครื่องจักรเมื่อเกิดการชำรุด อย่างไรก็ตามข้อมูลเหล่านี้ไม่ได้จัดทำหรือรวบรวมให้อยู่ในรูปแบบออนไลน์ ทำให้พนักงานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ยาก ทำให้บางครั้งไม่ทันต่อความต้องการ

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตกระดาษคราฟท์ตั้งอยู่ในจังหวัดปราจีนบุรี จากการศึกษาปัญหาเบื้องต้น พบว่าการสูญเสียเวลารอคอยของเครื่องจักรมีเป็นจำนวนมาก ทำให้ประสิทธิผลการทำงานของเครื่องจักรลดน้อยลง ทำให้ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรลดน้อยลงไปด้วย โดยปัจจุบันพนักงานจะทราบค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรคือการเข้าประชุมรายสัปดาห์หรือรายเดือนเท่านั้น โดยแสดงข้อมูลผ่านโปรแกรม Microsoft Excel

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการแสดงข้อมูลค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE) และเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์เพื่อนำมาคำนวณและระบุปัญหาได้อย่างทันท่วงที โดยใช้เทคโนโลยีแดชบอร์ดใน Microsoft Power BI มาประยุกต์ใช้เพื่อแสดงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร สามารถที่จะนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของกราฟต่างๆ โดยพนักงานสามารถเห็นแดชบอร์ดในรูปแบบออนไลน์ได้ ดังนั้นเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายขึ้นจะได้สามารถแก้ไขปัญหาเครื่องจักรได้ทันเวลา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE)

คือจุดเริ่มต้นจากเป้าหมายในระบบ TPM(Total Productive Maintenance) ซึ่ง Seiichi Nakajima กำหนดขึ้นในปี 1928 เพื่อพัฒนาคุณภาพการผลิตอย่างต่อเนื่องในโรงงานอุตสาหกรรม โดย OEE เป็นตัวชี้วัดประสิทธิผลรวมของการผลิต หากค่า OEE อยู่ที่ 100% หมายถึงโรงงานมีประสิทธิภาพสูงสุด ไม่มีข้อผิดพลาดในด้านความพร้อมใช้งาน ความเร็วการผลิต และคุณภาพสินค้า แต่ตามมาตรฐานสากล ค่า OEE ที่เหมาะสมมักอยู่ที่ประมาณ 85%

2.1.2 เครื่องมือสร้าง Data Visualization ให้แสดงผลแบบง่ายบน Dashboard ในโปรแกรม Power BI

การนำข้อมูลตัวเลขมาแสดงในรูปภาพด้วย Data Visualization และนำเสนอบน Dashboard ช่วยให้เข้าใจข้อมูลได้ง่ายขึ้น โดยเครื่องมือส่วนใหญ่ที่พนักงานนึกถึงอาจจะเป็นการคำนวณข้อมูลในโปรแกรมพื้นฐานอย่าง Microsoft Excel ออกมาในรูปของแผนภูมิ หรือกราฟต่าง ๆ ทีละชุดข้อมูล แต่แท้จริงแล้วเรามีวิธีการที่ง่ายกว่านั้น โดยใช้เครื่องมือเช่น Power BI สามารถดึงข้อมูลและคำนวณได้เร็วขึ้น รองรับข้อมูลขนาดใหญ่ และลดข้อผิดพลาดจากการป้อนข้อมูลด้วยตนเอง นอกจากนี้ยังสามารถแชร์ข้อมูลผ่านระบบออนไลน์เพื่อการบริหารจัดการและตัดสินใจที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธิติพันธ์ เกษกาญจน์ และคณะ (2565) มุ่งเน้นการพัฒนาโปรแกรมการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องจักรในโรงงานผลิตกระดาษคราฟท์ โดยเน้นความสำคัญของการวางแผนการบำรุงรักษาที่ครอบคลุมเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ ประสิทธิภาพ และความพร้อมในการใช้งานของเครื่องจักร ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่อง การดำเนินการตามโปรแกรมการบำรุงรักษาเฉพาะเครื่องจักร การตรวจสอบความพร้อมของเครื่อง การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และการวิเคราะห์ทางสถิติ ทั้งนี้เพื่อพัฒนาโปรแกรมการวางแผนการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพ

ยุพาพรรณ คนกระโทก และคณะ (2566) ได้ศึกษาการใช้แดชบอร์ดบน Power BI สำหรับการรายงานข้อมูลกองทุนการศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน โดยเน้นถึงความสำคัญของการสร้างภาพข้อมูลในการเงินทางการศึกษาเพื่อนำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในการตัดสินใจและเพิ่มความโปร่งใสในการจัดการกองทุน เครื่องมือหลักที่ใช้คือ Microsoft

Power BI สำหรับการสร้างแดชบอร์ด และ Microsoft Excel และ Word สำหรับการรายงานแบบดั้งเดิม การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงข้อดีของการใช้ Power BI ในการปรับปรุงการแสดงข้อมูลและเพิ่มความพึงพอใจของผู้มีส่วนได้เสีย เทคนิคที่ใช้ใน Power BI ได้แก่ แผนภูมิและกราฟ ภาพแบบโต้ตอบ แผนที่ความร้อน การ์ดข้อมูล และตัวกรองที่ปรับแต่งได้ ซึ่งช่วยเพิ่มความชัดเจนและการเข้าถึงข้อมูล

ดวงใจ ใจกล้า และคณะ (2567) ศึกษาการออกแบบและพัฒนาการรายงานข้อมูลผลการดำเนินงานโรงพยาบาลทันตกรรมโดยใช้โปรแกรม Power BI มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาการรายงานข้อมูลผลการดำเนินงานโรงพยาบาลทันตกรรมโดยใช้โปรแกรม Power BI และประเมินความพึงพอใจของผู้บริหารต่อผลการออกแบบและพัฒนาการรายงานข้อมูลผลการดำเนินงานโรงพยาบาลทันตกรรม ประยุกต์ใช้เครื่องมือโปรแกรม Microsoft Power BI เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลในอดีตจนถึงปัจจุบันในรูปแบบที่เข้าใจง่าย แสดงสารสนเทศการวิเคราะห์ข้อมูล แสดงผลเป็นแผนภูมิ กราฟ ฮิสโตแกรม

ปรินทร์ วงษ์ทอง และคณะ (2567) ศึกษาการประยุกต์ใช้แดชบอร์ดบนโปรแกรม Power BI สำหรับการรายงานการผ่อนผันค่าบำรุงการศึกษาของนักศึกษาในคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล สุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี โดยการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อมูลนักศึกษา การขอผ่อนผัน และการชำระเงิน มาวิเคราะห์และแสดงผลในรูปแบบที่เข้าใจง่ายระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารสามารถตรวจสอบสถานะการผ่อนผัน แสดงภาพรวมของข้อมูลผ่านกราฟและตารางสรุป และเปรียบเทียบข้อมูลในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้แบบเรียลไทม์

ภัทรพล ศรีสวัสดิ์ และคณะ (2567) ได้พัฒนาและประยุกต์ใช้แดชบอร์ดรายงานการใช้ไฟฟ้าของสำนักนายกรัฐมนตรีโดยใช้โปรแกรม Power BI เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตาม วิเคราะห์ และบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในหน่วยงานภาครัฐ การศึกษานี้ใช้วิธีวิจัยเชิงปริมาณโดยเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารายเดือนจากสำนักนายกรัฐมนตรีและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกผ่านโปรแกรม Power BI ผลการวิจัยพบว่า แดชบอร์ดที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจนในรูปแบบกราฟ แผนภูมิ และตัวชี้วัดสำคัญ (KPIs) ช่วยให้ผู้บริหารสามารถตรวจสอบแนวโน้มการใช้พลังงาน ติดตามความผิดปกติ และตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 ศึกษาขั้นตอนการบันทึกผลการทำงานของเครื่องจักรและการคำนวณค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

ศึกษากระบวนการผลิตกระดาษคราฟท์ โดยจะเข้าไปศึกษาที่หน้างานจริง การสอบถามจากหัวหน้าพนักงานและพนักงานคุมเครื่องผลิตกระดาษคราฟท์ พร้อมทั้งศึกษากระบวนการบันทึกข้อมูลของกระบวนการทำงานของเครื่องจักรและศึกษาการคำนวนค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร
ใช้สูตรดังนี้

ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร = อัตราการเดินเครื่อง x ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง x อัตราคุณภาพ

ซึ่งแต่ละปัจจัยสามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

3.1.1 อัตราการเดินเครื่อง (Availability Rate: A) ใช้สูตรดังแสดงในสมการที่ 1

$$\text{อัตราการเดินเครื่อง} = \frac{\text{เวลาเดินเครื่อง}}{\text{เวลารับภาระงาน}} \text{ x } 100 \quad (1)$$

3.1.2 ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance Efficiency: P) ใช้สูตรดังแสดงในสมการที่ 2

$$\text{ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง} = \frac{\text{เวลาเดินเครื่องสุทธิ}}{\text{เวลาเดินเครื่อง}} \text{ x } 100 \quad (2)$$

3.1.3 อัตราคุณภาพ(Quality Rate: Q) ใช้สูตรดังแสดงในสมการที่ 3

$$\text{อัตราคุณภาพ} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานดี}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด}} \text{ x } 100 \quad (3)$$

3.2 สร้างแบบฟอร์มเก็บข้อมูล

แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลนั้นต้องมีการออกแบบให้สอดคล้องกับการเก็บค่าต่าง ๆ ของข้อมูล ได้แก่ อัตราการเดินเครื่อง (A) ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (P) และอัตราคุณภาพ (Q) โดยแบบฟอร์มเก็บข้อมูลมีคำถามดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คำถามในแบบฟอร์มเพื่อเก็บข้อมูล อัตราการเดินเครื่อง (A) ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (P) อัตราคุณภาพ (Q)

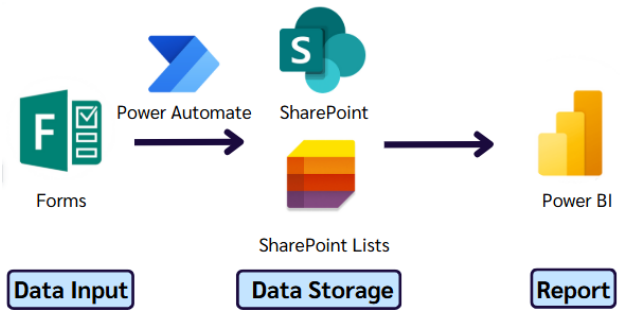
คำถาม	ความหมาย
วันที่	วันที่ผู้กรอกบันทึกข้อมูล
TOTAL TIME	เวลาทำงานของทั้งวัน
MEIS/YEIS	เวลาการหยุดปรับปรุงเครื่องจักร ประจำเดือน/ปี
PLAN CLEANING	เวลาการวางแผนทำความสะอาดเครื่องจักร
EXTERNAL	เวลาไฟฟ้าดับ
Stoppage by Maintenance	เวลาที่หยุดซ่อมเครื่องจักร
Stoppage by Operator	เวลาที่หยุดโดยพนักงาน
Stoppage by Power Plant	เวลาที่ไฟฟ้าดับในระหว่างที่เครื่องจักรผลิตงานอยู่
Stoppage by Other	เวลาที่ทำให้ต้องหยุดกระบวนการผลิต
Sheet break	เวลาที่หยุดเมื่อกระดาษขาด
grade	เกรดกระดาษที่ผลิตในแต่ละครั้ง

คำถาม	ความหมาย
running min	เวลาทั้งหมดที่ผลิตกระดาษเกรดนี้
grade1 Standard	เป้าหมายของผลลัพธ์กระดาษของเกรดนี้
Actual QCS	ผลลัพธ์กระดาษของจริงที่ผลิตได้ในเกรดนี้
Product to WH	สินค้าที่นำเข้าไปเก็บในคลังสินค้า
Grade B	สินค้าที่ไม่ได้ตามมาตรฐานแต่ยังใช้ได้

โดยแบบสอบถามการเก็บข้อมูลจะใช้โปรแกรม Microsoft Form เนื่องจากมีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายและสะดวกต่อการเก็บข้อมูล

3.3 การทำData Visualization แสดงข้อมูลบน Dashboard

การสร้างแดชบอร์ดในครั้งนี้มีการนำข้อมูลจากแบบฟอร์มใน Microsoft Forms มาจัดเก็บใน Microsoft SharePoint โดยการสร้างหัวตารางใน Microsoft SharePoint Lists ให้สอดคล้องกับคำถามในแบบฟอร์ม เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงผลใน Microsoft Power BI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขั้นตอนการดำเนินการจะใช้ Microsoft Power Automate เพื่อดึงข้อมูลจาก Microsoft Forms และบันทึกลงใน Microsoft SharePoint Lists โดยอัตโนมัติ จากนั้นข้อมูลใน Microsoft SharePoint Lists จะถูกนำมาใช้ในการจัดทำแดชบอร์ดใน Microsoft Power BI ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ.โดยโปรแกรมที่ใช้ทั้งหมดมีดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินงาน

3.4 เปรียบเทียบผลหลังการจัดทำแดชบอร์ด

เป็นการเปรียบเทียบผลการทำแดชบอร์ดด้วย Microsoft Power BI กับ Microsoft พื้นฐานอย่าง Microsoft Excel เพื่อให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนว่า Microsoft Power BI มีความสามารถในการนำเสนอ ที่เข้าใจได้ง่ายมากกว่าและสวยงามกว่าโดยมีแบบสอบถามให้พนักงานประเมินความพึงพอใจการใช้โปรแกรม Power BI ประกอบด้วยหัวหน้าแผนกและพนักงานที่เกี่ยวข้องรวมจำนวนทั้งหมด 4 คน

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการศึกษาขั้นตอนการบันทึกผลการทำงานของเครื่องจักรและการคำนวนค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

พบว่าในการเก็บข้อมูลของเครื่องจักรพนักงานในแต่ละแผนกจะมีการบันทึกค่าต่างๆ แล้วส่งอีเมลถึงผู้ที่รวบรวมข้อมูล โดยพนักงานที่รวบรวมข้อมูลจะคิดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรผ่าน Microsoft Excel และรายงานผลโดยการทำสรุปตารางค่า OEE ซึ่งปัญหาที่พบคือ

4.1.1 ตัวเลขการทำรายงานมีเยอะมากเกินไปทำให้เกิดความลายตาหรือมองยาก

4.1.2 ข้อมูลที่กรอกมีจำนวนมากทำให้เสียเวลาต่อการคิดคำนวณ โดยรูปแบบการนำเสนอ ณ ปัจจุบันดังรูปที่ 2

	DESCRIPTION		1-พ.ค.
	TOTAL TIME		24:00
	MEIS/YEIS		
	PLAN CLEANING		
	External		
	Available Time for Mach		24:00
	convert to minute		1440
Availablity Rate	Stoppage by Maintenance		
	Stoppage by Operate		
	Stoppage by Power Plant		
	Stoppage by Other		
	Shreet break		3:08
	TOTAL STOPPAGE		3:08
	% Availability		86.94%
Performance Rate		ALL grade	Total
		Total running tim	1252
	Target C	Total Std Target	484
		Total Actual QCS	403.87
	% Performance Rate		83.47%
Quality Rate	Product to WH		355
	Product loss		49
	Grade B		4
	Actual Grade A to WH		352
	% Quality Rate		87.04%
	% OEE		63.17%

รูปที่ 2 รายงานค่าประสิทธิผลโดยรวม ณ ปัจจุบัน

4.2 ผลการสร้างแบบฟอร์มเก็บข้อมูลใน Microsoft Forms

แบบฟอร์มคำถามที่ต้องการบันทึกจะสอดคล้องกับการหาค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรโดยแบบฟอร์มที่สร้างขึ้นจะอ้างอิงกับข้อมูลที่พนักงานบันทึกผลลงใน Microsoft Excel โดยผู้ที่สามารถตอบแบบฟอร์มชุดนี้คือ พนักงานที่ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลเท่านั้น โดยคำถามจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของวันที่ (Date) คือส่วนการกรอกวันที่บันทึกข้อมูล ส่วนของข้อความ (Text) คือส่วนที่กรอกเวลาเป็นรูปแบบนาที และแบบตัวเลือก (Drop-Down) คือส่วนที่เลือกเพื่อระบุเกรดกระดาษ

4.3 ผลการทำ Data Visualization แสดงข้อมูลบน Dashboard

การทำ Data Visualization แสดงข้อมูลบน Dashboard จะมีทั้งหมด 4 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 สร้าง Microsoft SharePoint Lists

เป็นการสร้างเว็ปไซต์ใน Microsoft SharePoint ขึ้นมาใหม่เพื่อทำการบันทึกข้อมูลของคำตอบที่ได้มาจากของคำถามแบบฟอร์มโดยใช้ Microsoft SharePoint List เข้ามาช่วยในการจัดการโดยสร้างคอลัมน์ขึ้นมาให้ตรงกับหัวข้อคำถามทั้ง 28 ข้อที่ได้สร้างขึ้นใน Microsoft Forms

ส่วนที่ 2 นำ Microsoft Power Automate มาเชื่อมระหว่าง Microsoft Forms กับ Microsoft Lists

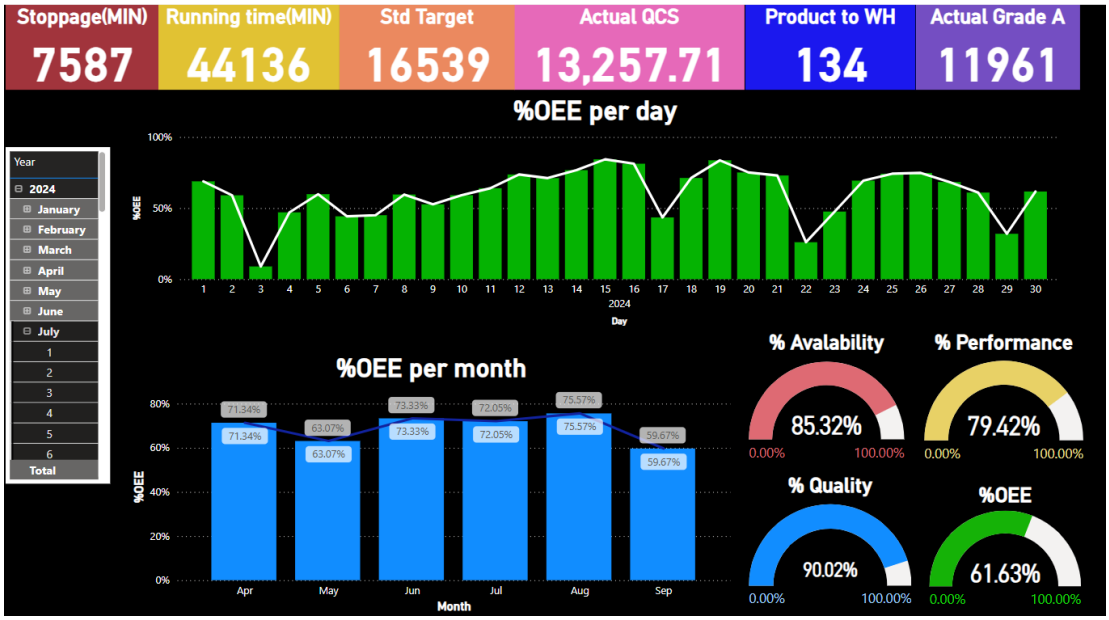
คือการนำ Microsoft Power Automate มาเป็นตัวดึงข้อมูลอัตโนมัติเมื่อมีผู้ตอบแบบสอบถามเข้ามา Microsoft Power Automate จะดึงผลคำตอบมาใส่ใน Microsoft SharePoint Lists โดยวิธีทำคือนำ Microsoft Forms กับ Microsoft Lists มาเชื่อมโดย Microsoft Power Automate โดยนำคำถามจาก Microsoft Forms มาใส่คอลัมน์ให้ตรงกับ Microsoft Lists

ส่วนที่ 3 จัดทำ Dashboard ใน Microsoft Power Bi

คือเป็นการนำเลขจากการคำนวณค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรมาทำเป็นแดชบอร์ด โดยจะแสดงผลทั้งหมด 4 ส่วนดังนี้

- Matrix แสดงข้อมูลในรูปแบบวันที่ ซึ่งจะประกอบไปด้วย วัน เดือนและปี
- Card แสดงข้อมูลในแบบตัวเลข ซึ่งจะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับ Stoppage, Running time, Std Target, Actual QCS, Product to WH และ Actual Grade A
- Gauge แสดงข้อมูลรูปแบบของเกจวัด ซึ่งจะแสดข้อมูลเกี่ยวกับ %Availability, %Performance, % Quality Rate และ %OEE
- Line and Clustered Column Chart แสดงข้อมูลในรูปแบบของแผนภูมิแท่งและเพิ่มเส้นโยงเพื่อเห็นแนววโน้มได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับ %OEE ต่อวัน และ %OEE ต่อเดือน

โดยแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แดชบอร์ด OEE ใน Microsoft Power Bi Service

ส่วนที่ 4 บันทึกผลลงใน Microsoft Power Bi Service

การบันทึกแดชบอร์ดใน Microsoft Power BI Service ช่วยให้สามารถแชร์ผลลัพธ์ออนไลน์ได้โดยไม่จำกัดเฉพาะผู้สร้างแดชบอร์ดเท่านั้นที่เข้าถึงข้อมูลได้ ผู้ใช้งานภายในองค์กร เช่น พนักงาน สามารถดูข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นมือถือ คอมพิวเตอร์ หรือแล็ปท็อป ทั้งนี้ หากผู้สร้างไม่ได้กดอัปเดตข้อมูลด้วยตนเอง ระบบจะทำการอัปเดตข้อมูลโดยอัตโนมัติทุกเที่ยงคืน

4.4 ผลการประเมินความพึงพอใจของการรายงานข้อมูลแสดงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรโดยใช้โปรแกรม Power BI

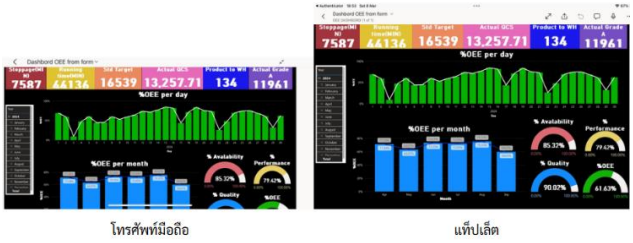
โดยผลการประเมินแบบสอบถาม ได้มีการประเมิน 3 ด้าน คือด้านเนื้อหาการรายงานข้อมูลค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรโดยใช้โปรแกรมPower BIด้านการออกแบบและการใช้งานสำหรับผู้ทำรายงานค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร และด้านการนำไปใช้งานสำหรับผู้ที่ต้องการนำค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของเครื่องไปใช้งาน ดังผลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของพนักงาน

หัวข้อการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ระดับ
ด้านเนื้อหา		
1. Power Bi นำเสนอข้อมูลเนื้อหาครอบคลุมเพียงพอต่อความต้องการกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	4.5	ดีมาก
2. Power Bi นำเสนอข้อมูลถูกต้องและน่าเชื่อถือกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	4	ดี
3. Power BI นำเสนอข้อมูลทันสมัยอัพเดทต่อสถานการณ์ได้ดีกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	5	ดีมาก
เฉลี่ยด้านเนื้อหา	**4.5**	**ดีมาก**
ด้านการออกแบบและการใช้งาน		
1. Power BI นำเสนอแดชบอร์ดที่มีความสวยงามได้ดีกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	4.75	ดีมาก
2. Power BI นำเสนอรายงานผลเข้าใจง่ายกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	4.25	ดี
3. Power BI นำเสนอระบบตอบสนองได้รวดเร็วกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	4	ดี
4. Power BI มีความใช้ง่ายต่อการใช้งานกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	4	ดี
เฉลี่ยด้านการออกแบบและการใช้งาน	**4.25**	**ดี**
ด้านการใช้งาน		
1. Power BI รายงานเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ วางแผนและดำเนินงานได้ดีกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	4	ดี
2. Power BI สามารถเห็นแนวโน้มผลปฏิบัติการในอดีตถึงปัจจุบันได้ดีกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	4.5	ดีมาก
3. Power BI รายงานช่วยในการตัดสินใจและวางแผนการดำเนินงานได้ดีกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	4.75	ดีมาก
4. Power BI เป็นประโยชน์ในการติดตามผลปฏิบัติงานได้ดีกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	4.5	ดีมาก
5. Power BI การกำหนดสิทธิผู้ใช้งาน และความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูลเหมาะสมได้ดีกว่าการนำเสนอในรูปแบบเดิมมากน้อยเพียงใด	3.75	ดี
เฉลี่ยด้านการใช้งาน	**4.3**	**ดี**

4.5 การแสดงผลข้อมูลแดชบอร์ดในรูปแบบออนไลน์ด้วยโปรแกรมPower BI

การแสดงผลแดชบอร์ดออนไลน์ด้วย Microsoft Power BI สามารถทำได้ผ่าน Power BI Service โดยเผยแพร่รายงานจาก Power BI Desktop และแชร์ผ่านลิงก์หรือฝังในเว็บไซต์และแอปพลิเคชัน รองรับการดูผ่านมือถือ ทั้งนี้การแชร์ออนไลน์ต้องใช้ Power BI Pro หรือ Power BI Premium เพื่อให้สามารถเข้าถึงแดชบอร์ดได้บนอุปกรณ์ต่างๆ เช่น โทรศัพท์ แท็บเล็ต ทั้งระบบ iOS และ Android ดังตัวอย่างรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลข้อมูลแดชบอร์ดบนโทรศัพท์และแท็บเล็ต

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการทดสอบการออกแบบแดชบอร์ดรายงานข้อมูลผลประสิทธิผลของเครื่องจักรในบริษัทผลิตกระดาษคราฟแห่งหนึ่งในจังหวัดปราจีนบุรี โดยการใช้โปรแกรม Microsoft Power BI สามารถเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ วิเคราะห์และแสดงผลได้อย่างทันท่วงที และสามารถเข้าถึงได้ง่ายผ่านระบบออนไลน์ได้โดยรองรับการดูผ่านมือถือ โดยการแชร์ออนไลน์ต้องใช้ Power BI Pro หรือ Power BI Premium ซึ่งการประเมินความพึงพอใจจากผู้บริหารและพนักงานที่เกี่ยวข้องรวมทั้งหมด 4 คนมีดังนี้:

- ด้านเนื้อหาของแดชบอร์ด: ผลการประเมินได้ค่าเฉลี่ย 4.5 ซึ่งแสดงถึงความพึงพอใจในระดับดีมาก
- ด้านการออกแบบและการใช้งาน: ผลการประเมินได้ค่าเฉลี่ย 4.25 ซึ่งแสดงถึงความพึงพอใจในระดับดี
- ด้านการนำไปใช้งาน: ผลการประเมินได้ค่าเฉลี่ย 4.3 ซึ่งแสดงถึงความพึงพอใจในระดับดี

เมื่อรวมค่าเฉลี่ยจากทุกด้าน ผลการประเมินความพึงพอใจทั้งหมดได้ค่าเฉลี่ย 4.35 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโดยรวมผู้บริหารมีความพึงพอใจต่อการออกแบบและการพัฒนาการรายงานข้อมูลผลการดำเนินงานในระดับดี

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกระดาษคราฟท์ ในจังหวัดปราจีนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการร่วมทำงานทุกด้านและสนับสนุนในด้านต่างๆ จนทำให้การดำเนินงานบรรลุวัตถุประสงค์ และขอขอบคุณคณะอาจารย์ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี ที่ให้การสนับสนุนตลอดระยะเวลาของการดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] พงษ์ณัฐฐ์ สุทธิกุลสมบัติ และปณัทพร เรืองเชิงชุม 2564 “การลดความสูญเสียจากเวลาหยุดเดินเครื่องจักรด้วยการปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรและควบคุมอัตราความเร็วในกระบวนการพิมพ์แบบออฟเซ็ท”

[2] มนินทรา ใจคำปัน และคณะ 2566 “การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร:กรณีศึกษาบริษัทผลิตกล่องกระดาษ”, วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา, ปีที่ 7. ฉบับที่ 2.

[3] ยุพาพรรณ คนหระโทก และเยาวเรศ จันทะคัต 2566 “การประยุกต์ใช้แดชบอร์ดบนพาวเวอร์บีไอสำหรับการรายงานทุน”, วารสารนวัฒกรรมการเรียนรู้และเทคโนโลยี, ปีที่ 3. ฉบับที่ 1.

[4] พิชญ์สินี ยอดจิตร์ และ กรกมล ชูช่วย 2566 “การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ผ่านเว็บด้วย Google site ร่วมกับสื่อแอนิเมชั่น เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ เรื่อง สนามของแรง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา” วารสารวิชาการ ครุศาสตร์สวนสุนันทา, ปีที่ 6. ฉบับที่ 1.

[5] ภัทร์สิริ ศรีสวัสดิ์ 2567 “ต้นแบบการรายงานการใช้ไฟฟ้าของสำนักนายกรัฐมนตรีด้วย Power BI”, วารสารการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2.

[6] ปรินทร์ วงษ์ทอง และ วสันต์ ณ ชัย 2567 “การประยุกต์ใช้แดชบอร์ดรายงานการผ่อนผันค่าบำรุงการศึกษาคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี โดยใช้โปรแกรมพาวเวอร์บีไอ (Power BI)”, วารสารการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, ปีที่ 1. ฉบับที่ 2.

การศึกษากลไกการขึ้นรูปขยายรูเพื่อปรับปรุงความเที่ยงตรงทางด้านรูปร่าง

A Study on Hole Flanging Mechanism to Improve Geometrical Accuracy

ตรินัยน์ วงษ์สุวรรณ*, จิราพร ศรีประเสริฐ, วารุณี เปรมานนท์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mail: treethedacha@gmail.com*

Trinai Wongsuwan*, Jiraporn Sripraserd, Varunee Premanond
[1]Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
E-mail: treethedacha@gmail.com *

บทคัดย่อ

การขึ้นรูปขยายรู (Hole flanging) เป็นกระบวนการที่ประกอบด้วยขั้นตอนการเจาะรูและการขึ้นรูปขยายรูด้วยพันช์ดัดขึ้นรูปผ่านปากดายเพื่อขึ้นรูปปีกรู ปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่เกิดขึ้นภายหลังจากกระบวนการขึ้นรูปขยายรูคือการเกิดส่วนปลายที่ไม่เรียบตรงของปีกรู ในกรณีที่งานต้องการความเที่ยงตรงสูง เกิดการเสียเวลาและต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นเพื่อเจียผิวให้เรียบ ในงานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของรูปร่างพันช์ที่ส่งผลต่อรูปร่างของงานสำเร็จจากกระบวนการขึ้นรูปขยายรู โดยทำการศึกษาพันช์ที่มีรูปทรงต่าง ๆ ได้แก่ พันช์ปลายทรงกรวย 60 องศา พันช์ปลายทรงกรวย 120 องศา พันช์ปลายเรียบ และพันช์ปลายทรงกลม จากการจำลองด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าส่วนปลายที่ไม่เรียบของขอบรูบนชิ้นงานเกิดจากการที่ผิวหน้าเอียงของพันช์สัมผัสและดันกับขอบของรูเจาะในช่วงเริ่มต้นของการขึ้นรูป และเกิดจากการที่พันช์ลากเนื้อวัสดุที่เหลือในช่วงสุดท้ายของการขึ้นรูป ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการขยายรูไปเป็นบริเวณปีก ทำให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างพันช์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดส่วนที่ไม่เรียบตรงบริเวณส่วนปลายของปีกชิ้นงานได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการเสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพของการขึ้นรูปขยายรูจากการกดอัดขอบรูเจาะด้วยแม่พิมพ์และได้ทำการออกแบบพันช์ในรูปแบบใหม่ ซึ่งส่งผลให้ส่วนปลายที่ไม่เรียบตรงของปีกรูลดลง

คำสำคัญ: การขยายรู, ไฟไนต์เอลิเมนต์, โลหะแผ่น-ก้อน

Abstract

Hole flanging is a process that consists of hole piercing and forming a hole flanging with a punch bending and pushing material around hole to form a flange. One of a major problem that arises after the hole flanging process is the formation of uneven ends of the hole flange. In case the work requires high accuracy, time and production costs increase to smooth the surface. In this study, the influence of the punch geometry on the shape accuracy of the finished workpiece from the hole flanging process was studied by investigating punches with various shapes, including conical punch with 60-degree, conical punch with 120-degree, flat punch and hemispherical punch. According to the finite element simulation, it was found that the uneven tip of the hole edge on the workpiece was caused by the inclined face of the punch contacting and pushing against the edge of the drill hole at the beginning of the forming process, and by the punch dragging the remaining material at the end of the forming process. From the analysis of the behavior of expanding the hole to the flange area, it was found that changing the shape of the punch alone could not reduce the uneven tip of the workpiece flange. Therefore, the researcher proposed a method to improve the quality of forming the hole expansion by pressing the edge of the drill hole with a punch and designed a new punch, which resulted in a reduction of the uneven tip of the hole flange.

Keywords: Hole flanging, Finite elements, Sheet-Bulk metal

1. บทนำ

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมยานยนต์ใช้กระบวนการขึ้นรูปที่หลากหลาย โดยมีทั้งกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process) และกระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process) ซึ่งหนึ่งในกระบวนการที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายซึ่งกระบวนการขึ้นรูปขยายรู (Hole flanging) ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นวิธีที่ถูกใช้เป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมยานยนต์ ชิ้นงานที่ผลิตด้วยกระบวนการขยายรูมักผลิตเพื่อนำไปประกอบกับชิ้นส่วนอื่น ๆ [1] อาจจะด้วยทำเป็นเกลียวจับยึดหรือการเชื่อมจุด (Spot) แต่ในการขึ้นรูปขยายรูก็มักจะพบปัญหาคือชิ้นงานไม่ได้ขนาดหรือคุณภาพที่ออกแบบไว้ โดยอาจเกิดการแตกหรือฉีกขาดที่บริเวณขอบรูหลังจากการขึ้นรูป [2] ได้รูปร่างที่ไม่ได้มาตรฐาน [3] ทำให้ไม่สามารถนำไปประกอบกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ได้ตามที่คาดหวัง ซึ่งมีการศึกษาวิจัยที่พบว่ากระบวนการเจาะรูด้วยเลเซอร์และการเจาะรูด้วยพันช์มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุในบริเวณขอบรูเจาะที่ส่งผลให้ค่าความแข็งในบริเวณขอบรูเจาะเพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราส่วนการขยายตัวของรูลดลง [4-5] ลักษณะของพันช์ที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อรูปร่างปีกของชิ้นงานขณะทำการขึ้นรูปขยายรู [6-7] รัศมีของพันช์เล็กเกินไปทำให้ปีกชิ้นงานมีความเครียดสูงและยืดจนฉีกขาดมากกว่ารัศมีพันช์ที่ใหญ่ และรัศมีของพันช์ที่ใหญ่เกินไปส่งผลให้ความสูงปีกรูลดลง [8] มีงานวิจัยที่ใช้ tool ที่มีกลไกของ upsetting มาช่วยขึ้นรูปหลังผ่านการขึ้นรูปขยายรู แม้ทำให้ความหนาปีกรูสม่ำเสมอและรูปร่างของปีกปีกรูมีความเรียบตรงมากขึ้น แต่ความสูงของปีกชิ้นงานก็ลดลงอย่างมาก [9] ซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานที่ต้องนำไปประกอบกับชิ้นส่วนอื่นด้วยสกรูมีจำนวนเกลียวที่ลดลง

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองกระบวนการขึ้นรูปขยายรู (Hole flanging) ด้วยโปรแกรมจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยจะศึกษาอิทธิพลกับพันช์ที่มีรูปร่างต่างกัน ซึ่งจะประเมินรูปร่างและขนาดที่เกิดบนชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป เพื่อศึกษาหาความเหมาะสมที่จะนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบพันช์เพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงให้ชิ้นงาน



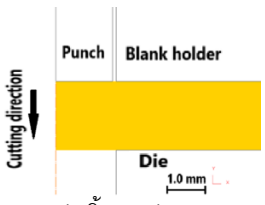
รูปที่ 1 การขึ้นรูปขยายรู

2. วิธีการดำเนินงาน

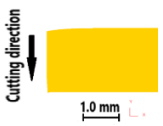
งานวิจัยนี้ทำการจำลองการขึ้นรูปขยายรูของชิ้นส่วน FR seat (ชิ้นส่วนรถยนต์) ซึ่งผลิตจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPH440 ที่มีความหนา 1.8 มิลลิเมตร โดยได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรม Deform 2D การจำลองตั้งอยู่บนสมมุติฐานพันช์ ดายและแบลงก์โฮลเดอร์ เป็นวัตถุแข็งเกร็ง พฤติกรรมของแผ่นชิ้นงานเป็นแบบพลาสติก (เปลี่ยนรูปถาวร) โมเดลการขึ้นรูปดังรูปที่ 2 ใช้เอลิเมนต์เป็นแบบสี่เหลี่ยมจำนวน 10,000 เอลิเมนต์ โดยใช้แบบจำลองแกนสมมาตรสองมิติ แผ่นโลหะที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPH440 ที่มีความหนา 1.8 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 0.2 โดยชิ้นงานเริ่มต้นใช้แผ่นงานที่ผ่านการเจาะรูให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร (d_0) ด้วยการจำลองใช้พันช์เจาะรูด้วยแม่พิมพ์ (Piercing) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ใช้ระยะเคลียร์แร้นช์ที่ 5 เปอร์เซ็นของความหนาชิ้นงาน ดังรูปที่ 2 และได้ทำการจำลองกระบวนการขึ้นรูปขยายรูด้วยพันช์ที่มีรูปร่างแตกต่างกัน 4 ชนิด ดังรูปที่ 4 ได้แก่ (a) พันช์ปลายทรงกรวย 60 องศา (Conical punch with 60°) (b) พันช์ปลายทรงกรวย 120 องศา (Conical punch with 120°) (c) พันช์ปลายเรียบ (Flat punch) และ (d) พันช์ปลายทรงกลม (Hemispherical punch) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตรและดายมีมุมเอียง 93 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 9.7 มิลลิเมตร โดยใช้รัศมีพันช์และดายเท่ากับ 3 และ 0.5 mm ตามลำดับ ซึ่งชิ้นงานจากกระบวนการขยายรูจะถูกใช้ในการยืนยันความถูกต้องจากโมเดลที่ใช้ในการจำลอง การวัดระยะส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงาน ทำได้โดยการผ่าชิ้นงาน และกำหนดตำแหน่งที่วัดระยะ ดังรูปที่ 5 วัดด้วยการส่องกล้องไมโครสโคป

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

Simulation model	Axisymmetric model
Object type	Workpiece : plastic Punch/die : Rigid Blank holder : Rigid
Blank material Flow curve equation	SPH440, t = 1.8 mm, mesh = 10,000 $\bar{\sigma} = 815\bar{\varepsilon}^{\,0.14} + 275$
Blank holder force	8kN
Punch speed	1 mm/s
Friction Coefficient (μ)	0.2

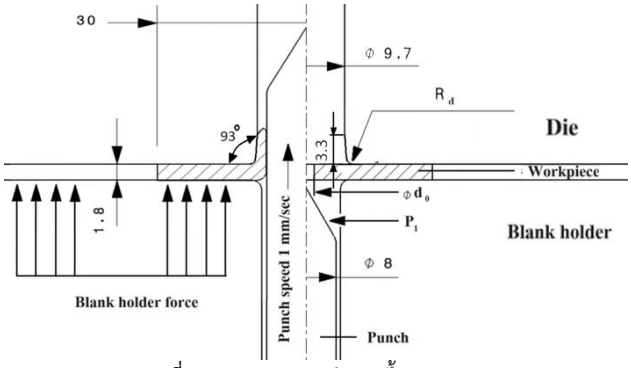


ก) แผ่นชิ้นงานก่อนเจาะรู

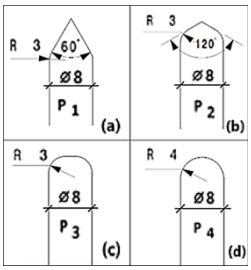


ข) ผิวรูเจาะแผ่นชิ้นงานภายหลังเจาะรู

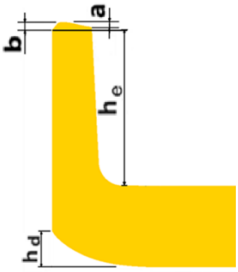
รูปที่ 2 กระบวนการเจาะรูแผ่นชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์



รูปที่ 3 แผนภาพขณะทำการขึ้นรูปขยายรู



รูปที่ 4 พันช์ขึ้นรูปขยายรู (a) Conical punch with 60° (b) Conical punch with 120° (c) Flat punch (d) Hemispherical punch



รูปที่ 5 ตำแหน่งการวัดระยะความสูงส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงาน

โดย

hd คือ ระยะ shear drop

he คือ ระยะความสูงของปีกที่เรียบตรง

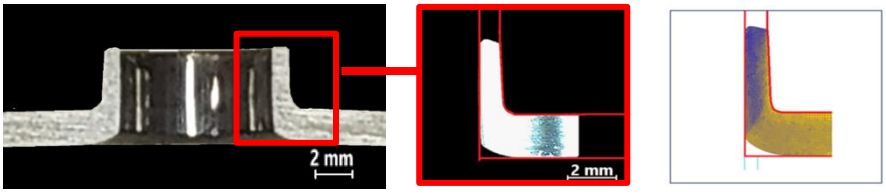
b คือ ระยะความสูงส่วนที่ไม่เรียบตรงจากผิวฝั่งพันช์

a คือ ระยะความสูงส่วนที่ไม่เรียบตรงจากผิวฝั่งดาย

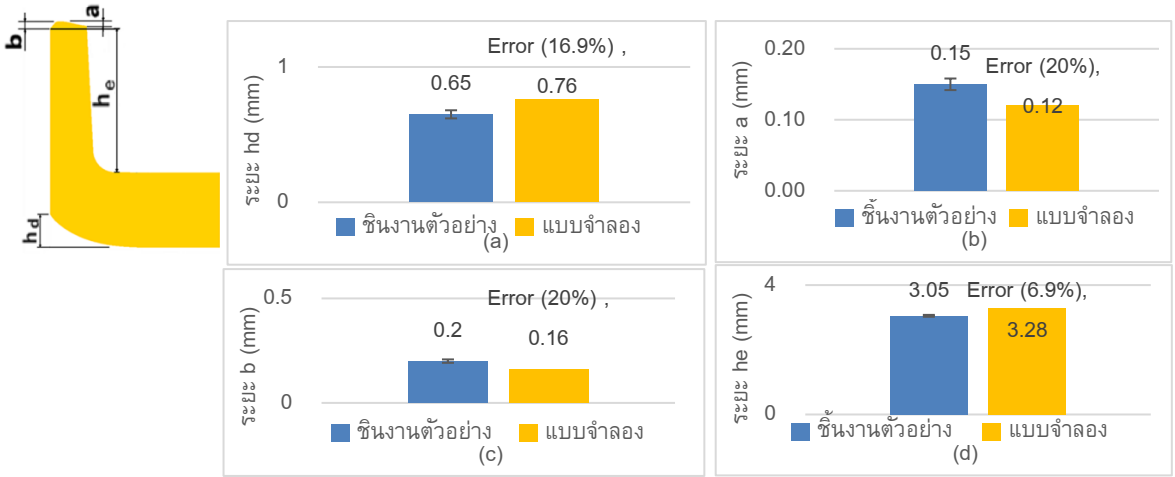
3. ผลการวิจัย/ทดลองและการอภิปรายผล

3.1 การยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง

ภาพตัดขวางส่วนของปีกรูของชิ้นงานตัวอย่างและภาพที่ได้จากการจำลองภายหลังการขึ้นรูปขยายรู แสดงในรูปที่ 6 ผลการวัดขนาดจากชิ้นงาน 3 ชิ้น ซึ่งมีความแปรปรวนเพียงเล็กน้อย แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 6 ภาพตัดขวางส่วนของปีกรูของ (a) ชิ้นงานตัวอย่าง (b) ชิ้นงานจากโปรแกรม

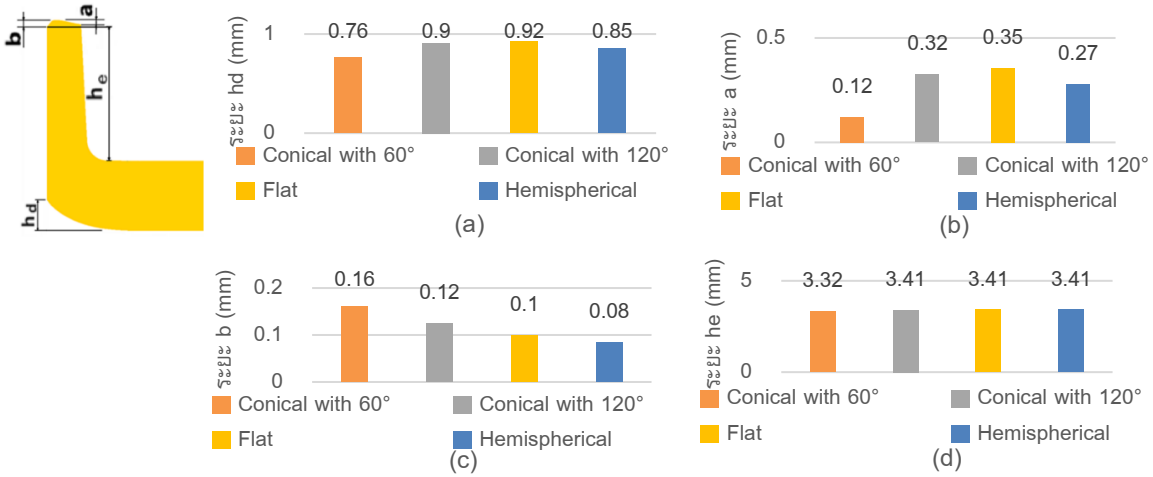


รูปที่ 7 เปรียบเทียบรูปร่างระหว่างชิ้นงานตัวอย่างกับแบบจำลอง (a) ระยะ hd (b) ระยะ a (c) ระยะ b (d) he (หน่วยมิลลิเมตร)

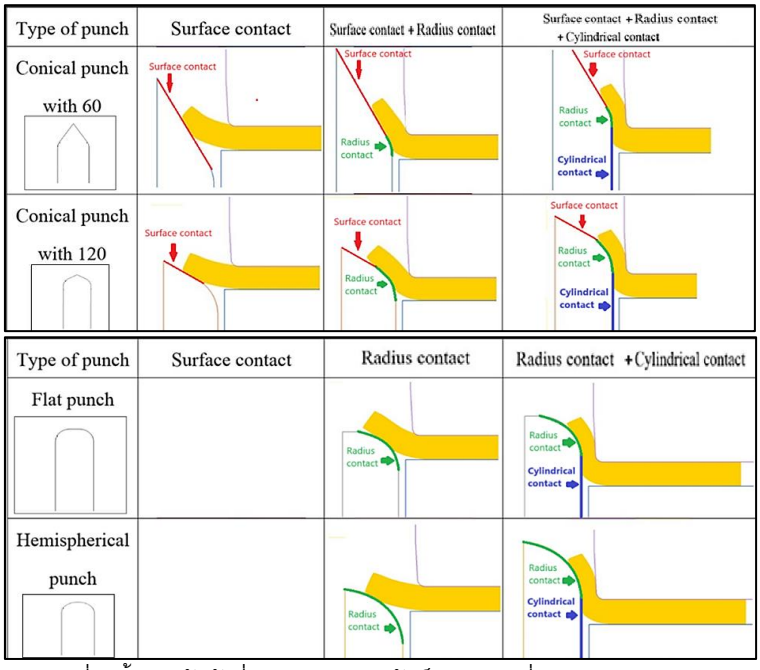
จากรูปที่ 7 ขนาดความสูงของปีกรู he และส่วนปลายที่ไม่เรียบตรงแสดงด้วย a และ b และความสูงส่วนโค้ง hd ที่ได้จากการจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกับชิ้นงานตัวอย่างโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนของ hd, a และ b มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่สูงเนื่องจากระยะที่สั้นกว่ามากเมื่อเทียบกับความสูงของปีกรู (he) ซึ่งความคลาดเคลื่อนอาจจะเกิดจากโมเดลของวัสดุที่ใช้ ซึ่งมีงานวิจัย [10] ที่พบว่าวัสดุในกลุ่มนี้มีความแปรปรวนทางด้านสมบัติของวัสดุในการผลิตสูง

3.2 อิทธิพลของรูปร่างพันช์ที่มีผลต่อการขึ้นรูปขยายรู

ผลการวัด hd, a, b, he ของงานที่ผ่านการขึ้นรูปขยายรูด้วยพันช์ทั้ง 4 รูปแบบแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความสูงของปีกรูบนชิ้นงานที่ได้จากการจำลองด้วยพันช์ 4 ชนิด (a) ระยะ hd (b) ระยะ a (c) ระยะ b (d) ระยะ he

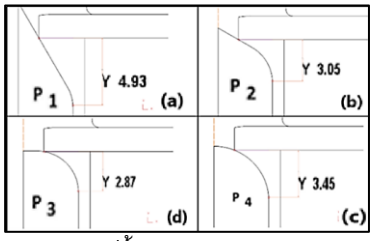


รูปที่ 9 ชิ้นงานสัมผัสที่ส่วนต่าง ๆ ของพันช์แต่ละชนิดที่ระยะ Stroke ต่าง ๆ

การขึ้นรูปขยายรูมีพฤติกรรมที่ส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงานเมื่อสัมผัสกับพันช์ขณะเคลื่อนที่ขึ้นรูปดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการขึ้นรูป พันช์ปลายทรงกรวย 60 องศา และพันช์ปลายทรงกรวย 120 องศา จะสัมผัสกับชิ้นงานด้วยส่วนผิวหน้าเอียงของพันช์ (Surface contact) ดันขยายรูให้มีขนาดที่มากขึ้น เมื่อขึ้นรูปได้ระยะหนึ่งส่วนรัศมีของพันช์ (Radius contact) เริ่มทำการสัมผัสและขึ้นรูปดันชิ้นงานให้สัมผัสกับผิวด้านในของดาย ต่อมาส่วนผนังตรง (Cylindrical contact) สัมผัสขยายรูเป็นส่วนสุดท้ายเพื่อให้ได้รูปร่างชิ้นงานที่สมบูรณ์ ส่วน

พันช์ปลายเรียบและพันช์ปลายทรงกลมจะมีพฤติกรรมการขึ้นรูปที่แตกต่างกับพันช์ปลายทรงกรวยตรงที่ช่วงเริ่มต้นของการขึ้นรูป จะขึ้นรูปด้วยส่วนรัศมีของพันช์และถัดมาจะขึ้นรูปด้วยส่วนผนังตรงของพันช์

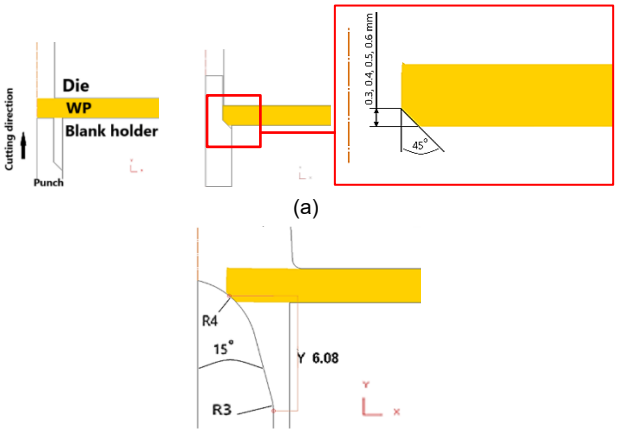
จากการจำลองพบว่าพันช์แต่ละรูปแบบมีตำแหน่งที่เริ่มสัมผัสกับขอบรูด้วยระยะที่ต่างกัน รูปที่ 10 แสดงระยะที่เริ่มต้นสัมผัสจนถึงส่วนผนังตรงของพันช์ทั้ง 4 รูปแบบ (ระยะ Y) พันช์ที่มีระยะ Y ที่มากจะทำให้ได้ระยะ hd และระยะ a ที่น้อย ในทางกลับกัน พันช์ที่มีระยะ Y ที่น้อยเมื่อขึ้นรูปแล้วจะทำให้ระยะ hd และระยะ a ของชิ้นงานมากกว่าพันช์ที่มีระยะ Y มาก ส่วนพันช์ที่ขึ้นรูปแล้วได้ระยะ b มากที่สุดเป็นพันช์ปลายทรงกรวย 60 องศา, พันช์ปลายทรงกรวย 120 องศา, พันช์ปลายเรียบ และพันช์ปลายทรงกลม ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสาเหตุเกิดจากการที่ผิวหน้าเอียงของพันช์ สัมผัสและดันกับขอบของรูเจาะในช่วงเริ่มต้นของการขึ้นรูป โดยพันช์ที่มีผิวหน้าเอียงตั้งฉากกับขอบของรูเจาะมากก็จะทำให้แนวโน้มของการเกิดระยะ b ของชิ้นงานมีมาก และพบว่าพันช์ปลายทรงกรวย 120 องศา, พันช์ปลายเรียบ และพันช์ปลายทรงกลม ขึ้นรูปแล้วระยะ he มีขนาดที่เท่ากัน คือ 3.41 มิลลิเมตร ส่วนพันช์ปลายทรงกรวย 60 องศา เกิดระยะ he ที่น้อยกว่าเล็กน้อย



รูปที่ 10 ระยะ Y ของพันช์ขึ้นรูปขยายรู (a) Conical punch with 60° (b) Conical punch with 120° (c) Flat punch (d) Hemispherical punch

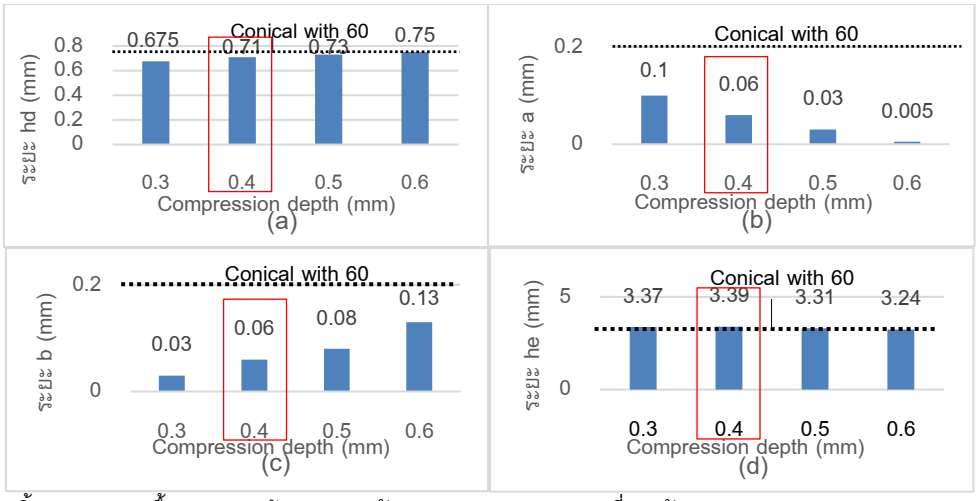
4. แนวทางการปรับปรุงความเรียบตรงของปีกรู

จากผลการจำลองเบื้องต้นพบว่าการเกิดส่วนโค้งระยะ hd จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อพันช์ส่วน Surface contact หรือ radius contact ของพันช์สัมผัสกับขอบรูและสิ้นสุดเมื่อส่วน Cylindrical contact ของพันช์สัมผัสกับชิ้นงาน โดยจากระยะดังกล่าวคือระยะ Y ซึ่งระยะ Y ที่มากขึ้นจะส่งผลให้แนวโน้มการเกิดระยะ hd ที่น้อยลง และระยะ hd ยังแปรผันตรงต่อระยะ a เพราะยิ่ง hd มากก็หมายความว่าจำนวนเนื้อวัสดุจะเหลือมากในขั้นตอนสุดท้ายของการลากขึ้นรูป ส่วนระยะ b เกิดจากการที่ผิวหน้าเอียงของพันช์เกิดการสัมผัสและดันแบบตั้งฉากที่ขอบของรูเจาะโดยตรง



รูปที่ 11 (a) การออกแบบรูเจาะให้มีเพิ่มการกดอัดที่ขอบรูภายหลังการเจาะ (b) พันช์รูปทรงใหม่เพื่อช่วยลดความสูง hd, a และ b

ด้วยเหตุนี้เองผู้วิจัยจึงได้ทำออกแบบพันช์ให้เพิ่มระยะ Y โดยให้มีปลายแหลมมากขึ้น จากเดิมเล็กสุด 60 องศา เป็นพันช์ที่มีมุมเอียง 30 องศา (รูปที่ 11 (b)) นอกจากนั้นทำการกดอัดขอบรูบนแผ่นชิ้นงานเริ่มต้นที่ผ่านการเจาะรูด้วยพันช์เจาะที่เพิ่มบ่ามีมุมเอียง 45 องศา (รูปที่ 11 (a)) ด้านเดียวกับพันช์ขึ้นรูปขยายรูเป็นระยะกดอัดที่มีความลึก 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 มิลลิเมตรและออกแบบรัศมีพันช์ 4 มิลลิเมตรเพื่อให้มีความโค้งสัมผัสและดันขอบรูเจาะเริ่มต้นแบบขนานแทนการสัมผัสและดันแบบตั้งฉากที่ผิวของรูเจาะโดยตรง



รูปที่ 12 ความสูงชิ้นงานจากการขึ้นรูปขยายรูด้วยระยะกดอัด (Compression depth) ที่ต่างกัน (a) ระยะ hd (b) ระยะ a (c) ระยะ b (d) ระยะ he

ผลการจำลองของพันช์และกระบวนการที่ออกแบบใหม่เปรียบเทียบกับขนาดที่วัดได้จากชิ้นงานตัวอย่างแสดงในรูปที่ 12 พบว่าทุกกรณีได้คุณภาพของปีกรูที่มีความเที่ยงตรงเพิ่มมากขึ้น (จากค่า he ที่ใกล้เคียงกับชิ้นงานตัวอย่าง และมีระยะ hd, a และ b ที่ต่ำลง) อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเพิ่มระยะกดอัดที่ขอบรูมีแนวโน้มที่ส่งผลให้ระยะ a ของชิ้นงานลดลง แต่ในทางกลับกัน กลับส่งผลให้ระยะ hd และ ระยะ b ของชิ้นงานมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าระยะกดอัดที่เหมาะสมจะพบว่าที่ 0.4 มีค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้ กรณีที่กดอัดที่ 0.4 มิลลิเมตร ระยะ hd ลดลง 6.57 % ระยะ a ลดลง 50 % ระยะ b ลดลง 70 % โดยที่มีระยะ he ที่ไม่แตกต่างกัน

5. สรุป

จากการทดสอบอิทธิพลของรูปร่างพันช์ที่แตกต่างกันทั้ง 4 รูปแบบ ได้ข้อสรุปดังนี้

1. ส่วนปลายที่ไม่เรียบตรงของขอบรูชิ้นงานเกิดจากพันช์ขึ้นรูปขยายรูสัมผัสกับขอบรูเจาะและดันขอบรูเจาะในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการขึ้นรูปทำให้เกิดระยะ b การออกแบบพันช์ให้มีรัศมีหลบการสัมผัสและดันกับขอบรูโดยตรงช่วยลดส่วนที่ไม่เรียบตรงของขอบรูฝั่งด้านพันช์ (b)

2. ระยะ a เกิดจากพันช์ลากเนื้อวัสดุที่เหลือในช่วงสุดท้ายของการขึ้นรูป การกดอัดขอบรูช่วยลดจำนวนเนื้อวัสดุที่ถูกลากในขั้นตอนสุดท้ายของการขึ้นรูปขยายรู ช่วยลดส่วนที่ไม่เรียบตรงฝั่งดิดกับดาย (a)

3. การออกแบบพันช์ให้รูปทรงปลายพันช์มีมุมที่แหลมขึ้นช่วยลดระยะความสูง hd ของชิ้นงานได้

4. รูปแบบการทำงานใหม่ที่นำเสนอคือการกดอัดที่ขอบรูระยะ 0.4 มิลลิเมตร ก่อนขึ้นรูปขยายรูด้วยพันช์ที่มีมุมกรวย 30 องศา รัศมีปลายพันช์ 4 มิลลิเมตร และรัศมีพันช์ 3 มิลลิเมตร (ดังรูป 11a) ช่วยลดความไม่สม่ำเสมอที่ปลายปีกรู ลดระยะ a ได้ 50 % ลดระยะ b ได้ 70 % และลดความสูงส่วนโค้ง (hd) ได้ 6.57 %

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทางโครงการทุนพระกนิษฐาสัมมาชีพ กองทุนเพื่อความเสมอภาคทางการศึกษา (กสศ.) ที่ให้ทุนในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Kumagai, T., Saiki, H. and Meng, Y., 1999. Hole flanging with ironing of two-ply thick sheet metals. Journal of Materials Processing Technology, 89, pp.51-57.

[2] Thipprakmas, S., Jin, M. and Murakawa, M., 2007. Study on flanged shapes in fineblanked-hole flanging process (FB-hole flanging process) using finite element method (FEM). Journal of Materials Processing Technology, 192, pp.128-133.

[3] Yan, G.X., Wang, X.Y., Deng, L. and Jin, J.S., 2014. A study of hole flanging-upsetting process. Advanced Materials Research, 939, pp.291-298.

[4] จิราพร ศรีประเสริฐ และ วารุณี เปรมานนท์, (2561, 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2561). การปรับปรุงคุณภาพขอบรูด้วยการกดอัดเพื่อเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปขอบรู. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 41. 455-463

[5] ปกรณ์ ชุมรุม, Nobuhiro Koga และ วารุณี เปรมานนท์, (2559, 3 กันยายน –ธันวาคม). อิทธิพลของกระบวนการเจาะรูที่ส่งผลต่อค่าอัตราส่วนการขยายรูในเหล็กกล้า ความแข็งแรงสูงเกรด SP153-590. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปี ที่ 12, 14-26.

[6] Tang, S.C., 1981. Large elasto-plastic strain analysis of flanged hole forming. Computers & Structures, 13(1-3), pp.363-370.

[7] Huang, Y.M. and Chien, K.H., 2002. Influence of cone semi-angle on the formability limitation of the hole-flanging process. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 19, pp.597-606.

[8] Borrego Puche, M., Morales-Palma, D., Martínez Donaire, A.J., Centeno Báez, G. and Vallellano Martín, C., 2020. Analysis of formability in conventional hole flanging of AA7075-O sheets: punch edge radius effect and limitations of the FLC. International Journal of Material Forming, 13 (2), 303-316.

[9] Yan, G.X., Wang, X.Y., Deng, L. and Jin, J.S., 2014. A study of hole flanging-upsetting process. Advanced Materials Research, 939, pp.291-298.

[10] Sohmshetty, R., Ramachandra, R., Bhimaraddi, A. and Xia, Z.C., 2009. DP590 GI mechanical property variability and structural response CAE studies (No. 2009-01-0799). SAE Technical Paper.

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการเก็บรักษาอุณหภูมิในกระบวนการผลิตบิวทาไดอีน

Parameter Optimization of Temperature Control in Butadiene Production Process

อนุพงษ์ ขุนใหญ่[1] นัฏฐวิกา จันทร์ศรี[2*]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
E-mail: natthavika@eng.src.ku.ac.th*

Anuphong Kunhyai [1*], Natthavika Chansri [2]
[1]Engineering and Technology Management Program, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus
E-mail: natthavika@eng.src.ku.ac.th*

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตบิวทาไดอีน เป็นกระบวนการทางอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีการควบคุมอุณหภูมิอย่างแม่นยำ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูงและลดการสิ้นเปลืองพลังงาน การควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการผลิตขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมี ความร้อน และการเปลี่ยนแปลงสถานะสารเคมี งานวิจัยนี้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการเก็บรักษาอุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างน้ำเย็น (Brine water) และสารทำความเย็น (R-134a) ของกระบวนการผลิตบิวทาไดอีน โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด โดยพิจารณา 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำเย็น (อุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออก) และอัตราการไหลของน้ำเย็น ทั้งสองปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และอุณหภูมิขาเข้าที่ -2°C อุณหภูมิขาออกที่ -5°C และอัตราการไหลของน้ำเย็นอยู่ในช่วง 95 – 97 m3/h. เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุดนอกจากนี้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังกล่าวทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 368,164.90 kWh/ปี ลดค่าไฟฟ้า 905,685.64 บาท/ปี และลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 183.71 TON CO_2e /ปี

คำสำคัญ: ความแตกต่างของอุณหภูมิ, น้ำเย็น, เครื่องทำความเย็น, ปริมาณการใช้พลังงาน, การประหยัดพลังงาน.

Abstract

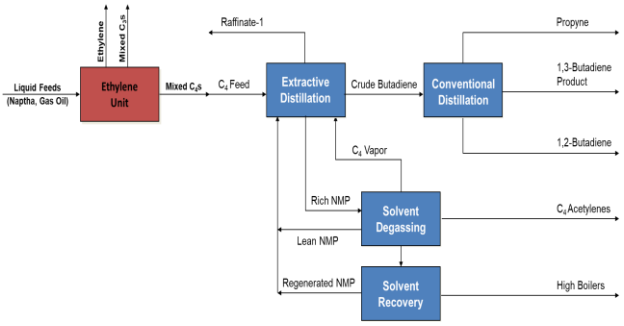
The Butadiene production process is a petrochemical industrial process that precisely controls temperature to ensure high-quality output and minimize energy consumption. Temperature regulation in this process depends on chemical reactions, heat generation, and phase changes of chemical substances. This research studied the optimal parameters of temperature control for temperature exchange between brine water and refrigerant in the Butadiene production process by One-Way Analysis of Variance that minimizes electricity consumption. Two key factors were considered: coolant temperature (inlet and outlet temperatures) and coolant flow rate. These factors significantly affect electricity consumption. The optimal conditions were determined as an inlet temperature of -2°C, an outlet temperature of -5°C, and a coolant flow rate between 95–97 m³/h that is the suitable condition for minimizing electricity consumption. Furthermore, the optimized parameters led to an annual electricity saving of 368,164.90 kWh, a reduction in electricity costs by 905,685.64 THB per year, and a decrease in carbon dioxide equivalent (CO_2e) emissions by 183.71 tons per year.

Keywords: Temperature difference, cold water, chiller refrigeration, energy consumption, energy saving.

1. บทนำ

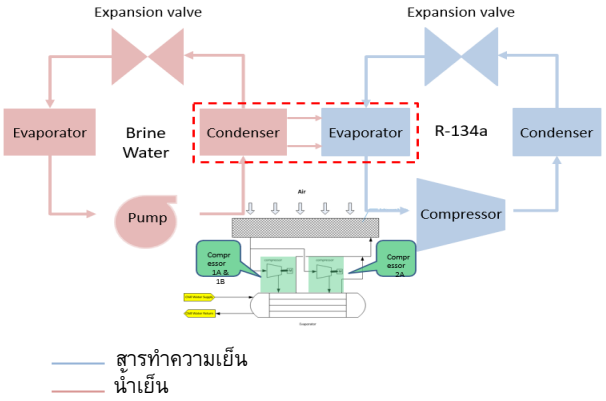
บิวทาไดอีน (Butadiene) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสูตรทางเคมี C_4H_6 ไม่มีสีที่มีกลิ่นน้ำมันจางๆ ส่วนใหญ่บิวทาไดอีนใช้ในการผลิตยางสังเคราะห์ Synthetic Rubbers and Elastomers (Gehre et al., 2017) เช่น ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber, SBR) ที่ใช้ผลิตดอกยางและแก้มยาง และยางโพลีบิวทาไดอีน (Polybutadiene Rubber, PBR) ที่ใช้ผลิตยางรถยนต์ ยางสังเคราะห์และยางยืด สไตรีน พลาสติกเอบีเอส น้ำยางสังเคราะห์ และอะคริโลไนไตรล์ และอีกส่วนหนึ่งนำไปผลิตพลาสติก เช่น อะคริลิก

กระบวนการผลิตบิวทาไดอีน เป็นผลพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการแตกตัว Ethylene Cracking Process ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำ (Steam) ที่ใช้ในการผลิตก๊าซเบา เช่น เอทิลีน (Ethylene) หรือ C_2H_4 และโพรพิลีน (Propylene) หรือ C_3H_6 (Sholl and Lively, 2016; Chuah and Bae, 2023; Kang and Jeong, 2023) และก๊าซหนักบิวเทน (Butane) หรือ C_4H_{10} ที่ได้จากแนฟทา (Naphtha) ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 800 – 850°C ปราศจากออกซิเจน และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะได้ บิวเทนดิบ (Crude Butane) หรือ C_4H_{10} จะถูกป้อนไปยังหน่วยสกัด (Extraction unit) ด้วยการดูดซับ (Absorption) เพื่อสกัดให้บิวทาไดอีนออกจาก C_4 อื่นๆ เช่น ราฟฟิเนต-1 หรือ C_4R_1 บิวเทน (Butane) C_4H_{10} และบิวทีน (Butene) หรือ C_4H_{10} (Liao et al., 2017) เป็นต้น จนกลายเป็นสารตั้งต้นบิวทาไดอีน (Butene Crude) ซึ่งจะถูกป้อนไปยังหน่วยสกัดด้วยตัวทำละลาย Extractive distillation (Tian et al., 2010; White, 2007) เช่น อะซีโตไนไทรล์ (Acetonitrile) หรือโซลูซอล (NMP) เพื่อแยกบิวทาไดอีนบริสุทธิ์ (> 99%) (Yoshino et al., 2003; Rahman, 2023; Okamoto et al., 1997) ก่อนที่จะถูกนำไปผ่านกระบวนการกลั่นเพิ่มเติม เพื่อให้ได้บิวทาไดอีนที่มีความบริสุทธิ์ (Purification) ตามความต้องการของอุตสาหกรรม ดังรูปที่ 1 บิวทาไดอีนบริสุทธิ์ที่ได้จะถูกนำไปเก็บรักษาในถังให้อยู่ในสถานะของเหลว และถูกควบคุมแรงดันระหว่าง 0.3 – 1.0 kg/cm^{2}g และอุณหภูมิระหว่าง 4 – 6°C และไม่เกิน 10°C เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (การจับตัวเป็นก้อน) ผ่านระบบทำความเย็นด้วยน้ำเย็น (Chilled water system)



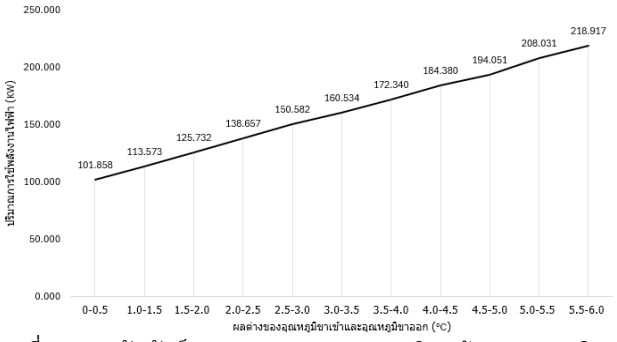
รูปที่ 1 กระบวนการผลิตบิวทาไดอีน

ระบบทำความเย็นด้วยน้ำเย็น เป็นระบบแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างน้ำเย็น (Brine water) และสารทำความเย็น (R-134a) ดังรูปที่ 2 ระบบทำความเย็นด้วยน้ำเย็นเริ่มจากคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ดูดและอัดสารทำความเย็น และส่งไปยังคอยล์ร้อน หรือเครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อระบายความร้อนและควบแน่นสารทำความเย็นให้เป็นของเหลว และส่งไปยังอุปกรณ์ลดความดัน (Expansion valve) เพื่อลดความดันและอุณหภูมิ และส่งไปยังคอยล์เย็น (Evaporator) เพื่อดูดปริมาณความร้อนออกจากสารทำความเย็น ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลง และแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับน้ำเย็น ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิขาเข้า (Inlet temperature) และอุณหภูมิขาออก (Outlet temperature) ของน้ำเย็นที่ 3°C (อุณหภูมิขาเข้าที่ – 4°C และอุณหภูมิขาออกที่ – 7°C) หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะถูกส่งกลับไปยังคอมเพรสเซอร์ เพื่อทำงานต่อไปในการเก็บรักษาอุณหภูมิบิวทาไดอีนอยู่ในช่วง 4 – 6 °C และไม่เกิน 10°C เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (การจับตัวเป็นก้อน)



รูปที่ 2 ระบบทำความเย็นด้วยน้ำเย็น

อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างน้ำเย็นและสารทำความเย็น ผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกของน้ำเย็นยิ่งมาก ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 3 ดังนั้นงานวิจัยนี้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการเก็บรักษาอุณหภูมิในกระบวนการผลิตบิวทาไดอีน ที่ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุดและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของบิวทาไดอีน



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกของน้ำเย็นและปริมาการใช้พลังงานไฟฟ้า

2. การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ

การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของระบบทำความเย็นด้วยน้ำเย็น โดยใช้สมการสมดุลพลังงานเพื่อคำนวณอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของน้ำเย็น (ฉัตรชัย และวิทยา (2547) ดังนี้

$$Q_{CH} = m^{\circ}_{c}\, Cp\, (T_{CHWTR} - T_{CHWTS}) \quad (1)$$

$$COP = Q_{CH}/W_{Comp} \quad (2)$$

$$EER = COP \times 3.412 \quad (3)$$

$$kW/ton = 3.517/COP \quad (4)$$

โดยที่

Q_{CH} = ความร้อนน้ำเย็นไหลกลับเข้ามาถ่ายเทกับสารทำความเย็น (kW)

m°_{c} = อัตราการไหลของน้ำเย็น (kg/s.)

Cp = ความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.C)

T_{CHWTR} = อุณหภูมิขาเข้าของน้ำเย็น (°C)

T_{CHWTS} = อุณหภูมิขาออกของน้ำเย็น (°C)

W_{Comp} คือ กำลังไฟฟ้าขณะที่เครื่องอัดอากาศกำลังทำงาน (kW)

COP = ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ

EER = ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน

kW/ton = ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น

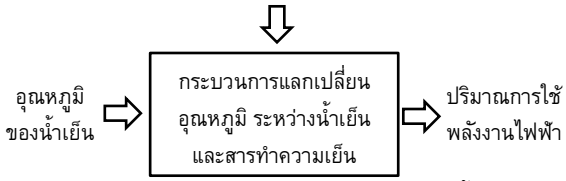
1 Ton = 3.517 kW.

1 W = 3.412 Btu/hr.

3. การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการเก็บรักษาอุณหภูมิในกระบวนการผลิตบิวทาไดอีน ที่ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy consumption) ต่ำที่สุด ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเก็บรักษาอุณหภูมิในกระบวนการผลิตบิวทาไดอีน ประกอบด้วย 8 ปัจจัย คือ แรงดันในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ อัตราการไหลของบิวทาไดอีน แรงดันในถังเก็บรักษาบิวทาไดอีน อุณหภูมิของน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำเย็น แรงดันของน้ำเย็น อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ และอุณหภูมิในถังเก็บรักษาบิวทาไดอีน งานวิจัยนี้พิจารณา 2 ปัจจัยหลักในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างน้ำเย็นและสารทำความเย็น ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำเย็น (Brine water temperature) และอัตราการไหลของน้ำเย็น (Flow rate of brine water) เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำเย็นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของน้ำเย็นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- แรงดันในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ
- อัตราการไหลของบิวทาไดอีน
- แรงดันในถังเก็บรักษาบิวทาไดอีน
- อัตราการไหลของน้ำเย็น
- แรงดันของน้ำเย็น
- อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ
- อุณหภูมิในถังเก็บรักษาบิวทาไดอีน



รูปที่ 4 การออกแบบการทดลองของอุณหภูมิของน้ำเย็น

3.1 การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำเย็นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกของน้ำเย็นมาก ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกของน้ำเย็นน้อย ส่งผลให้ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ และใช้พลังงานไฟฟ้าไม่คุ้มค่า ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำเย็นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 3 ระดับของอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกของน้ำเย็น ดังตารางที่ 1 โดยพิจารณาจากค่าที่ได้จากการออกแบบอุณหภูมิขาเข้า (-2°C) และอุณหภูมิขาออก (-7°C) ดังสมการที่ 1 และค่าที่ได้จากผลต่างอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกในปัจจุบัน มีค่าเท่ากับ 3°C ได้แก่ (-2°C และ -5°C) และ (-1°C และ -4°C) และกำหนดให้แรงดันในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิอยู่ในช่วง 2 – 3 kg/cm^{2}g อัตราการไหลของบิวทาไดอีนอยู่ในช่วง 200 – 210 m^3/h แรงดันในถังเก็บรักษาบิวทาไดอีนอยู่ในช่วง 0.3 – 1.0 kg/cm^{2}g อัตราการไหลของน้ำเย็นอยู่ในช่วง 92 – 93 m^3/h. แรงดันของน้ำเย็นอยู่ในช่วง 4 – 6 kg/cm^{2}g อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิอยู่ในช่วง 2 – 3°C และอุณหภูมิในถังเก็บรักษาบิวทาไดอีนอยู่ในช่วง 4 – 6 °C เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable factors) ดังรูปที่ 4

สมมติฐานของการศึกษานี้ แสดงดังนี้

H_0: อุณหภูมิของน้ำเย็นไม่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

H_1: อุณหภูมิของน้ำเย็นมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

การทดลองนี้ทำซ้ำ 5 ครั้ง รวม 3 × 5 = 15 การทดลอง ถ้าค่า P-value น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญ (α = 0.05) แสดงว่าอุณหภูมิของน้ำเย็นมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และระดับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำที่สุด จะถูกกำหนดเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในการศึกษาอัตราการไหลของน้ำเย็นที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ต่อไป

ตารางที่ 1 ระดับของอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำเย็น

ระดับ	อุณหภูมิ (°C)		อัตราการไหล (m^3/h)
	ขาเข้า	ขาออก	
1	-2	-7	90 – 92
2	-2	-5	93 – 94
3	-1	-4	95 – 97

3.2 การศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของน้ำเย็นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

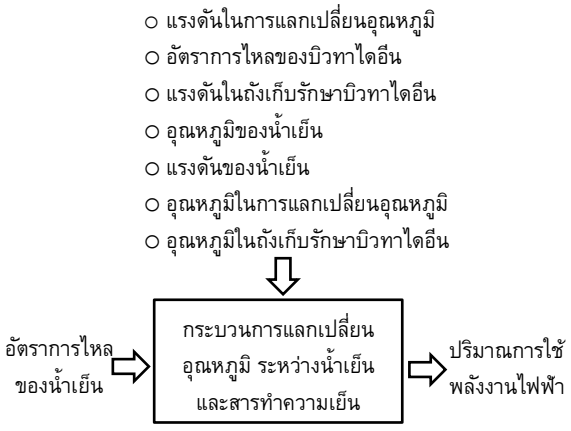
เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำเย็นมาก ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปั๊มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่อัตราการไหลของน้ำเย็นน้อยส่งผลให้อุณหภูมิของการแลกเปลี่ยนสูงขึ้น และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำความเย็น (Chiller) สูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของน้ำเย็นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 3 ระดับ ดังตารางที่ 1 โดยกำหนดให้แรงดันในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิอยู่ในช่วง 2 – 3 kg/cm^2g อัตราการไหลของบิวทาไดอีนอยู่ในช่วง 200 – 210 m^3/h แรงดันในถังเก็บรักษาบิวทาไดอีนอยู่ในช่วง 0.3 – 1.0 kg/cm^2g อุณหภูมิของน้ำเย็น (ระดับที่ได้จากการทดลอง) แรงดันของน้ำเย็นอยู่ในช่วง 4 – 6 kg/cm^2 อุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิอยู่ในช่วง 2 – 3°C และอุณหภูมิในถังเก็บรักษาบิวทาไดอีนอยู่ในช่วง 4 – 6 °C เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable factors) ดังรูปที่ 5

สมมติฐานของการศึกษานี้ แสดงดังนี้

H_0: อัตราการไหลของน้ำเย็นไม่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

H_1: อัตราการไหลของน้ำเย็นมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

การทดลองนี้ทำซ้ำ 5 ครั้ง รวม 3 × 5 = 15 การทดลอง ถ้าค่า P-value น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญ (α = 0.05) แสดงว่าอัตราการไหลของน้ำเย็นมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 5 การออกแบบการทดลองของอัตราการไหลของน้ำเย็น

3.3 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบผลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากค่าอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกในปัจจุบัน (-4°C และ -7°C) และอัตราการไหลของน้ำเย็นอยู่ในช่วง 92 – 93 m^3/h และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาอุณหภูมิในกระบวนการผลิตบิวทาไดอีน โดยทำการทดลอง 5 ครั้ง

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำเย็นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากตารางที่ 2 พบว่าอุณหภูมิขาเข้าที่ -2°C และอุณหภูมิขาออกที่ -5°C มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด และจากรูปที่ 6 พบว่าค่า P-value ของอุณหภูมิของน้ำเย็นมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α = 0.05) แสดงว่าอุณหภูมิของน้ำเย็นมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และอุณหภูมิขาเข้าที่ -2°C และอุณหภูมิขาออกที่ -5°C เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการทดลองของอุณหภูมิของน้ำเย็น

อุณหภูมิของน้ำเย็น[1] (°C)	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)				
	1	2	3	4	5
-2, -7	181.19	181.21	180.98	182.13	181.82
-2, -5	161.46	160.86	161.54	163.15	162.31
-1, -4	179.89	180.14	181.32	181.45	179.96

หมายเหตุ: [1]อุณหภูมิขาเข้า, อุณหภูมิขาออก

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Temp	2	1223.86	611.929	1142.42	0.000
Error	12	6.43	0.536		
Total	14	1230.29			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.731877	99.48%	99.39%	99.18%

Means

Temp	N	Mean	StDev	95% CI
-2, -7	5	181.466	0.486	(180.753, 182.179)
-2, -5	5	161.864	0.884	(161.151, 162.577)
-1, -4	5	180.552	0.767	(179.839, 181.265)

Pooled StDev = 0.731877

รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำเย็นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

4.2 ผลการศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของน้ำเย็นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากตารางที่ 3 พบว่าอัตราการไหลของน้ำเย็นที่อยู่ในช่วง 95 – 97 m^3/h มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด และจากรูปที่ 7 พบว่าค่า P-value ของอัตราการไหลของน้ำเย็นมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α = 0.05) แสดงว่าอัตราการไหลของน้ำเย็นมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และอัตราการไหลของน้ำเย็นที่อยู่ในช่วง 95 – 97 m^3/h เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด

ตารางที่ 3 ผลการทดลองของอัตราการไหลของน้ำเย็น

อัตราการไหลของน้ำเย็น (m^3/h)	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)				
	1	2	3	4	5
90-92	160.36	161.46	159.82	158.47	160.83
93-94	161.15	162.24	162.53	163.17	161.25
95-97	121.15	130.23	125.95	127.80	123.09

หมายเหตุ: อุณหภูมิขาเข้า -2 °C และอุณหภูมิขาออก -5 °C

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Flow rate	2	4204.94	2102.47	416.19	0.000
Error	12	60.62	5.05		
Total	14	4265.56			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.24761	98.58%	98.34%	97.78%

Means

Flow rate	N	Mean	StDev	95% CI
[90 - 92]	5	160.188	1.134	(157.998, 162.378)
[93 - 94]	5	162.068	0.862	(159.878, 164.258)
[95 - 97]	5	125.65	3.62	(123.460, 127.84)

Pooled StDev = 2.24761

รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลกระทบของอัตราการไหลของน้ำเย็นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

4.3 ผลการเปรียบเทียบผลการทดลอง

จากตารางที่ 4 พบว่าการใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาอุณหภูมิในกระบวนการผลิตบิวทาไดอีน ได้แก่ อุณหภูมิขาเข้าที่ -2°C และอุณหภูมิขาออกที่ -5°C และอัตราการไหลของน้ำเย็นอยู่ในช่วง 95 – 97 m^3/h ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 368,164.90 kWh/ปี ลดค่าไฟฟ้า 905,685.64 บาท/ปี และลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์ 183.71 TON CO_2e/ปี

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี) ที่ค่าพารามิเตอร์ปัจจุบัน[1]				
1	2	3	4	5
1,414,699.61	1,337,189.02	1,381,103.24	1,194,815.91	1,337,189.02
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (เฉลี่ย) = 1,332,999.36 kWh/ปี				
ค่าไฟฟ้า[3] = 3,279,178.43 บาท/ปี				
ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์[4] = 665.17 TON CO_2e/ปี				
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี) ที่ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง[2]				
1	2	3	4	5
930,298.08	1,000,068.22	967,308.86	981,291.29	945,205.87
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (เฉลี่ย) = 964,834.46 kWh/ปี				
ค่าไฟฟ้า[3] = 2,373,492.79 บาท/ปี				
ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์[4] = 481.45 TON CO_2e/ปี				
การประหยัดพลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)				
1	2	3	4	5
484,401.53	337,120.80	413,794.38	213,524.62	391,983.15
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (เฉลี่ย) = 368,164.90 kWh/ปี				
ค่าไฟฟ้า[3] = 905,685.64 บาท/ปี				
ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์[4] = 183.71 TON CO_2e/ปี				

หมายเหตุ: [1]ค่าพารามิเตอร์ปัจจุบัน ได้แก่อุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกในปัจจุบัน (-4°C และ -7°C) และอัตราการไหลของน้ำเย็นอยู่ในช่วง 92 – 93 m^3/h

[2]ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง ได้แก่อุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกในปัจจุบัน (-2°C และ -5°C) และอัตราการไหลของน้ำเย็นอยู่ในช่วง 95 – 97 m^3/h

[3]ค่าไฟฟ้า 1 kWh = 2.46 บาท และค่า Power Factor = 0.8 (ต้นทุนค่าไฟเฉลี่ย)

[4]ค่า Emission Factor 0.499 kg CO_2e = 1 kWh (ข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกประจำปี พ.ศ. 2567 สำนักกรรมาธิการ 3 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน))

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการเก็บรักษาอุณหภูมิในกระบวนการผลิตบิวทาไดอีน โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance) ที่ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด โดยพิจารณา 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำเย็น (อุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออก) และอัตราการไหลของน้ำเย็น ทั้งสองปัจจัยดังกล่าว มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และอุณหภูมิขาเข้าที่ -2°C อุณหภูมิขาออกที่ -5°C และอัตราการไหลของน้ำเย็นอยู่ในช่วง 95 – 97 m^3/h เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด นอกจากนี้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังกล่าว ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 368,164.90 kWh/ปี ลดค่าไฟฟ้า 905,685.64 บาท/ปี และลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 183.71 TON CO_2e /ปี อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ควรศึกษาผลกระทบร่วมของอุณหภูมิของน้ำเย็นและอัตราการไหลของน้ำเย็น จะทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยจน สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอขอบพระคุณความช่วยเหลือและการให้ความสนับสนุนจากผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

[1] ฉัตรชัย เปล่งสะอาด และ วิทยา ยงเจริญ (2547). “การหาสภาพที่เหมาะสมของลำดับการเดินเครื่องทำน้ำเย็น” (in Thai), การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18 18-20 ตุลาคม 2547, จังหวัดขอนแก่น (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 ตุลาคม 2567)

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์, หน้า 6-1 – 6-17 ข้อมูลจาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/M_T_Building/assen_latency_Handbook.pdf

[3] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), “ข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจก ประจำปี พ.ศ. 2567 สำนักกรรมาธิการ 3” ข้อมูลจาก https://www.senate.go.th/assets/portals/362/fileups/679/files/%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%A7%E0%B8%94%201/1.5/1.5.1%20(2)%20-%20%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B8%9B%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%93%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8B%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%88%E0%B8%81%20%E0%B8%A1%E0%B8%B5.%E0%B8%84.67.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2567)

[4] Chuah, C.Y., Bae, T.H., 2023. Polyimide-derived carbon molecular sieve membranes for advanced gas separation: from membrane development to pilot-scale operations. Sep. Purif. Technol. 320, 124114 https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124114 (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 ธันวาคม 2567)

[5] Chengwen Lee and Yungchung Chang. (2019). “Energy-saving Analysis of Chilled Water System for Large Temperature Difference Air Conditioning” IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 252 (2019) (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กันยายน 2567)

[6] Kang, D.A., Jeong, H.K., 2023. Enhancing the C3 separation performances of polycrystalline ZIF-8 membranes by additive-assisted secondary growth. J. Membr. Sci. 677, 121593 https://doi.org/10.1016/j.memsci.2023.121593. (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2567)

[7] Liao, P.-Q., Huang, N.-Y., Zhang, W.-X., Zhang, J.-P., Chen, X.-M., 2017. Controlling guest conformation for efficient purification of butadiene. Science 356, 1193–1196. https://doi.org/10.1126/science.aam7232.- (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 พฤศจิกายน 2567)

[8] Lin X , Ling J , Hwang Y , et al. Variable Refrigerant Flow System Performance Improvement by Using Energy Saving Control Strategy and Chilled Water Storage[J]. Science and Technology for the Built Environment, 2018, pp. 00-00. วันที่สืบค้นข้อมูล 15 พฤศจิกายน 2567)

[9] Li W, Chu Y, Xu P, et al. A transient model for the thermal inertia of chilled-water systems during demand response[J]. Energy & Buildings, 2017, pp. 150. วันที่สืบค้นข้อมูล 20 พฤศจิกายน 2567)

[10] Liang Y Y, Wang D D, Chen J P, et al. Temperature control for a vehicle climate chamber using chilled water system[J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 106, pp. 117-124. วันที่สืบค้นข้อมูล 25 พฤศจิกายน 2567)

[11] Youran C, Jingcui L I, Hui L, et al. Exergy Analysis of Compressed Air Energy Storage System Combined With Absorption Chiller[J]. Proceedings of the CSEE, 2018. วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤศจิกายน 2567)

[12] Okamoto, K., Noborio, K., Hao, J., Tanaka, K., Kita, H., 1997. Permeation and separation properties of polyimide membranes to 1,3-butadiene and n-butane. J. Membr. Sci. 134, 171–179. https://doi.org/10.1016/S0376-7388(97)00128-2. วันที่สืบค้นข้อมูล 10 ตุลาคม 2567)

[13] Rahman, M.M., 2023. Multiblock copolymers containing polyether segments for separation of C4 hydrocarbons. J. Membr. Sci. 666, 121176 https://doi.org/10.1016/j.memsci.2022.121176. วันที่สืบค้นข้อมูล 15 ตุลาคม 2567)

[14] Sholl, D.S., Lively, R.P., 2016. Seven chemical separations to change the world. Nature 532 (7600), 435–437. https://doi.org/10.1038/532435a วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ตุลาคม 2567)

[15] White, W.C., 2007. Butadiene production process overview. Chem. Biol. Interact. 166, 10–14. https://doi.org/10.1016/j.cbi.2007.01.009. วันที่สืบค้นข้อมูล 25 ตุลาคม 2567)

MAN OVERBOARD FORECASTING USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES

Athakorn Kengpol[1*], Chawantorn Chanchittakarn[2]
[1]Advanced Industrial Engineering Management Systems Research Center, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand
[2]Commander of the Royal Thai Navy, Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand
E-mail: athakorn@kmutnb.ac.th *

Abstract

Thailand, a coastal nation, has a significant portion of its population engaged in maritime work. Consequently, incidents of man overboard (MOB) occur frequently. The Thai Maritime Enforcement Command Center (Thai-MECC) and the Royal Thai Navy (RTN), responsible for rescue operations, often face challenges due to delayed recognition of such incidents, leading to prolonged search efforts and reduced chances of survival. This research aims to develop a forecasting model for man overboard incidents in the Gulf of Thailand using long short-term memory (LSTM) networks, a machine learning approach. By predicting the coordinates of such incidents in advance, the model helps reduce response time, thereby improving survival rates. The findings indicate that the LSTM model can accurately predict the latitude and longitude of MOB incidents with 84.86% and 89.89% accuracy, respectively. Furthermore, implementing this model for the 206th MOB incident as the following incident, the SAR response time can be reduced from 15 hours and 55 minutes to just 6 hours by eliminating the 1-hour preparation time and 8 hours and 55 minutes of transit. This represents a 62.3% reduction compared to the traditional method, significantly enhancing the likelihood of saving lives.

Keywords: Machine Learning, Long Short-term Memory, Man Overboard, The Gulf of Thailand

1. Introduction

Thailand is located in the Asia-Pacific and Southeast Asia regions, between latitudes 5-11 degrees north and longitudes 97-106 degrees east. It is a coastal and strait state on the Indochinese Peninsula. Its two coastlines are the Gulf of Thailand to the east and the Andaman Sea to the west [1].



Figure 1 The RTN's forces in searching operation

That coastal state characteristic encourages its population to work in marine occupations, such as maritime transportation, fishing, etc. When those seafarers have to work in the middle of the sea, there is a risk of man overboard (MOB) incidents, which has a significant impact on their lives. At present, the number of fatalities is increasing due to delayed rescues and cases of people drowning and going missing or the casualties could not be found. In this regard, the main rescue agencies that respond to mitigate the MOB incidents include the Thai Maritime Enforcement Command Center (Thai-MECC) and the Royal Thai Navy (RTN) [2]. Search and rescue (SAR) operations are addressed after agencies receive a help requisition and the location of MOB. Nearby ships are requested to join the search for the casualty. However, if the incident is far from shore or in a rough sea, the RTN's forces are requested instead, as shown in Figure 1. In this context, the RTN force comprises of naval units dedicated to assisting in such incidents. The 1st Naval Area Command (1st NAC) oversees operations in the upper Gulf of Thailand, covering areas at or above 10.350 degrees north latitude, while the 2nd Naval Area Command (2nd NAC) is responsible for the lower Gulf of Thailand, encompassing regions below this latitude.

Between January 2022 and June 2024, a total of 205 SAR operations were conducted in the Gulf of Thailand. The locations of each incident, along with the 1st and 2nd NAC, are presented in Figure 2. Among these SAR operations, only seven MOB incidents resulted in successful rescues. One key reason for the failure to save casualties was the inability of rescue agencies to detect MOB incidents in advance, which delayed search and rescue efforts. In this context, the development of a MOB incident forecasting model could serve as an effective solution to improve rescue outcomes. However, currently, there is no forecast model for MOB incidents, and searches are only conducted after they occur. This research, therefore, aims to create a MOB incident forecasting model to support the search and rescue operation in the Gulf of Thailand. The literature review, research implementation, research results, and conclusions are presented in order.

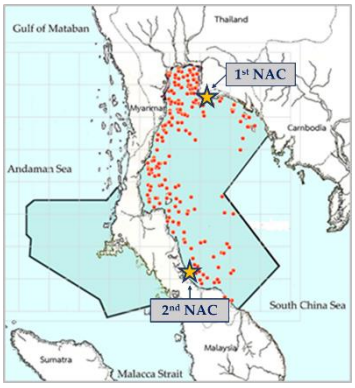


Figure 2 The 205 rescue operations in the Gulf of Thailand during January 2022 - June 2024 and 1st - 2nd NAC

2. Literature review

The From the study of the problem of MOB incidents in the Gulf of Thailand, it was found that the current situation mitigation can reduce the situation promptly by the effective forecast model. Machine learning (ML) is capable of supporting that concept. In this regard, the reviewed and compiled related literature, with details are presented as following.

2.1 Man overboard (MOB) incident

The search and rescue teams mean that the MOB occurs when a ship sails out to sea and personnel on board, whether it is a fishing ship, commercial ship, or even a warship, have an accident in which falling from the ship into the sea or due to shipwrecks. However, if a fallen person can return to the ship without needing assistance, there is no MOB incident [3]. On the contrary, if a fallen person needs help to return to the ship or a safe shore, it is considered a MOB incident.

2.2 Machine Learning (ML)

Machine Learning (ML) technique is a branch of science that uses mathematical and statistical methods to create forecasting models from historical data [4]. The model creating includes ML

network and model verifying and validating are detailed as following.

2.2.1 Long Short-term Memory

Long Short-term Memory (LSTM) is a type of ML network based upon Artificial Neural Network (ANN) techniques that model human memory patterns, which can contain several memories. LSTM is developed from Recurrent Neural Network (RNN) techniques [5, 6] and it has a structure as shown in Figure 3 [7].

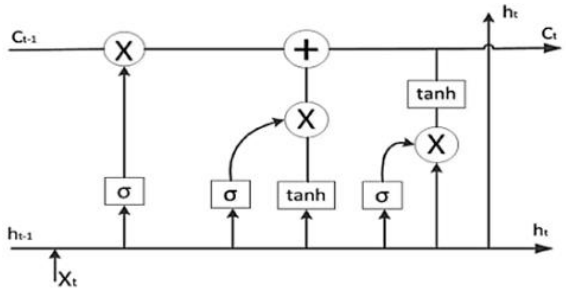


Figure 3 Cell structure of LSTM [7]

From the cell structure, $\boldsymbol{X_t}$ is input value of time step $\boldsymbol{t}$. $\boldsymbol{C_{t-1}}$ is cell state or output value from a time step previous or $\boldsymbol{t-1}$. $\boldsymbol{h_{t-1}}$ and $\boldsymbol{h_t}$ are hidden state that the cell $\boldsymbol{t}$ receive from $\boldsymbol{t-1}$ cell and send to the $\boldsymbol{t+1}$ cell, respectively.

For the LSTM architecture, the LSTM cells are joint together into a stack. Lookback is number of contained cells of the stack which is necessary defined. Singh (2017) suggests that increasing lookback values improved prediction performance up to a limit and no improvement was gained by increasing the lookback values further. [8]. Andreev et al. (2020) explore the influence of the lookback in forecasting time series using LSTM. They have found that the lowest MSE for the prediction is between lookback of 5 - 50 [9].

2.2.2 Root Means Square Error

Root Mean Square Error (RMSE) is widely used for detecting numerical errors. In this context, Maharof et al. (2024) developed a position controller for the Computer Numerical Control (CNC) milling table, utilizing RMSE to track position errors in screw-driven movement [10]. In contrast, RMSE can also be used to evaluate accuracy [11].

Root Means Square Error (RMSE) is applied to verify and validate the forecasting model, which can figure out by using Equation 1 [6].

$$\boldsymbol{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N}(\boldsymbol{y_i} - \hat{\boldsymbol{y}}_i)^2 / \boldsymbol{N}} \quad (1)$$

Where $\boldsymbol{y_i}$ and $\hat{\boldsymbol{y}}_i$ are observation and forecast of $\boldsymbol{i}^{\text{th}}$, respectively. $\boldsymbol{N}$ is the number of the samples of the dataset.

2.2.3 Related Research

Elsaraiti and Merabet (2021) forecast wind speed at various times in spring and summer using the LSTM model. They apply RMSE for the model validation and verification that encourages wind speed forecast accurately. It contributes to more efficient wind power generation [12].

Sun et al. (2024) developed a wind energy forecasting model using LSTM to control a wind turbine generator, preventing the gear shaft temperature from exceeding the threshold when the turbine speed surpasses the specified limit. The model's accuracy and performance were evaluated using RMSE [13].

The research gap lies in the lack of a forecasting model for MOB incidents. The literature review suggests that LSTM could address this gap due to its ability to learn and forecast through its structure, which retains multiple memory forms.

3. Methodology

Figure 4 presents the implementation of the work, which contributes to achieving the research objective of developing a model capable of forecasting MOB incidents in the Gulf of Thailand in advance. Each step is explained in the following order.

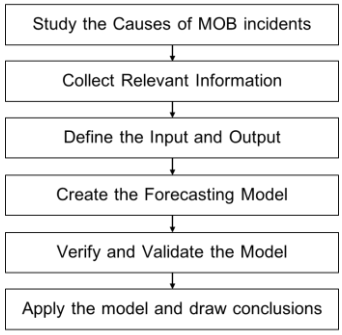


Figure 4 Work Implementation

3.1 Study the Causes of MOB incidents

The study of MOB incident occurrences is conducted by analyzing the causes in collaboration with the SAR team, who have experience in searching for and rescuing casualties. Relevant

factors are then analyzed based upon their influence on changes in the coordinates of the MOB incident.

3.2 Collect Relevant Information

The LSTM structure described in Section 2 indicates that model creation requires using the coordinates of past MOB incidents, integrated with relevant factors at the time of the incident in numerical form. This allows the model to learn and forecast following MOB incidents.

3.3 Define the Input and Output

After collecting the relevant data, it is transformed into numerical variables and compiled into a dataset. The variables related to MOB coordinates are defined as the output, while the variables influencing changes in those coordinates are defined as the input. Finally, the dataset is arranged in ascending order based upon time.

3.4 Create the Forecasting Model

LSTM is deployed to create a model for forecasting the following MOB in the Gulf of Thailand. As mentioned in section 3.3, input and output variables are specified according to the dataset's characteristics.

3.5 Verify and Validate the Model

In the LSTM learning process, the lookback parameter plays a critical role and must be carefully chosen. Based upon the recommendations in Section 2.1.1, this study explores lookback values ranging from 1 to 50, comparing the RMSE between observed and predicted values for each case. The optimal lookback is determined based upon the lowest RMSE. Following the empirical study approach, the model is used to forecast incidents and is compared to observed incidents. The performance of the proposed model is evaluated based upon the accuracy of the forecasted Latitude and Longitude.

3.6 Apply the Model and Draw the Conclusions

The proposed model is used to forecast future MOB incidents. The distance and time required to reach the MOB incident scene are calculated, and the time reduction is analyzed in comparison to traditional SAR operations.

4. Results

4.1 Results of Studying the Causes of MOB incidents

In addition to health factors, environmental factors such as waves, wind, and visibility pose obstacles for individuals who fall into the water when attempting to return to their boats. The farther one is from shore, the higher the risk of drowning. Additionally, seasonal variations create different types of eddies, leading to varying locations where people may fall into the water.

4.2 Results of Collecting Relevant Information

Data on MOB incidents over the past three years (January 2022 – June 2024), totaling 205 incidents, were recorded by the Thai-MECC. Daily weather forecast data were collected by the Meteorological Department. Weather information from the day of each MOB incident was selected, including the percentage of rain, visibility, month, wave height, wave direction, and wind speed.

4.3 Result of Defining the Input and Output

Based upon the results of the causes of MOB occurrences in Section 4.1 and the relevant information collected in Section 4.2, the data can be transformed into numerical variables. Each variable is defined according to the example in Table 1.

4.4 Result of Creating the Forecasting Model

Given the capability of LSTM to learn from past data to forecast future events, as described in Section 2, the numerical input and output data in Section 4.3 can be utilized for model training. The model architecture, including its cells and passing variables, is illustrated in Figure 5.

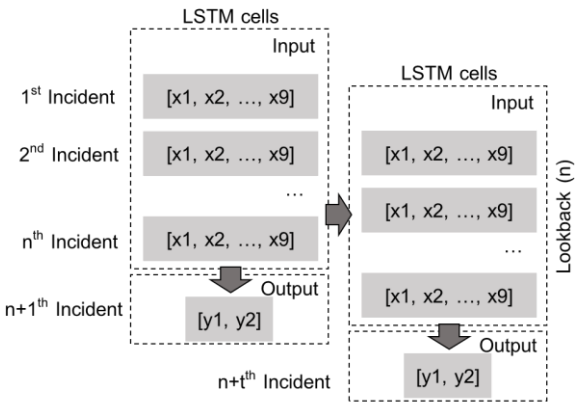


Figure 5 The model architecture

Based upon the model's architecture, variables x1 to x9 from time steps 1 to n are used as inputs to forecast the output at time step n+1. The lookback is set to n data points. Therefore, the lookback (n) must be appropriately defined.

Table 1 The Example of data transformation

Data	Information	Transformation	Variable	Value
3rd May 2024				
Output				
MOB Location	The man overboard incident occurred at a direction of 134 degrees and 3.9 nautical miles from Laem Thian Foreland, Ko Kood Island.	Latitude (degrees North)	Y1	11.518
		Longitude (degrees East)	Y2	102.641
Input				
Rainfall Percentage	Rain falls almost 60% of the area.	60/100	X1	0.6
Visibility	Visibility 6 - 10 km.	Min. 6 km.	X2	6
		Max. 10 km.	X3	10
Sea surface	Current of May	May is the 5th month of a year	X4	5
	Wave height 0.5 - 1 m.	Min. 0.5 m.	X5	0.5
		Max. 1.0 m.	X6	1.0
Wind condition	Wind from South-East direction	South-East direction = 135 degrees	X7	135
	Wind speed 7 - 13 knots.	Min. 7 knots	X8	7
		Max. 13 knots	X9	13

The appropriate lookback is determined by selecting the value that results in the closest forecast to the observed data. Thus, the lookback that yields the lowest RMSE between forecasts and observations is chosen, as shown in Figure 6. The results indicate that a lookback of 30 provides the lowest RMSE value of 0.406. Consequently, the model can forecast the MOB from the 31st incident onward.

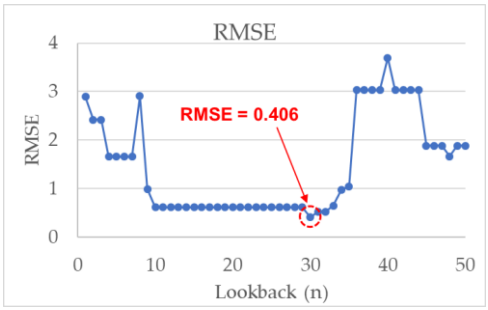


Figure 6 The Appropriate Lookback Selection

4.5 Result of Verify and Validate the Model

The LSTM forecasting model, with a lookback of 30, demonstrates strong forecast accuracy compared to observed data. Figure 7 presents the comparison of MOB incidents from the 31st to the 205th. The proposed model achieves an average accuracy of 84.86% for latitude and 89.89% for longitude.

4.6 Result of Applying the Model

The next MOB incident, or the 206th, is forecasted using the proposed model. According to the forecast, the incident would occur at a latitude of 9.739°N and a longitude of 99.349°E, as shown in Figure 8.

Traditionally, when the 206th incident occurs, the vessel involved in the SAR operation requires 1 hour for preparation, 8 hours and 55 minutes to reach the MOB scene, and 6 hours to conduct searches in nearby areas, totaling 15 hours and 55 minutes. Based upon the forecast results, SAR agencies can proactively prepare for MOB incidents. By monitoring and deploying patrols at the forecasted latitude and longitude coordinates, the SAR response time can be reduced from 15 hours and 55 minutes to just 6 hours by eliminating the 1-hour preparation time and 8 hours and 55 minutes of transit. This represents a 62.3% reduction compared to the traditional method.

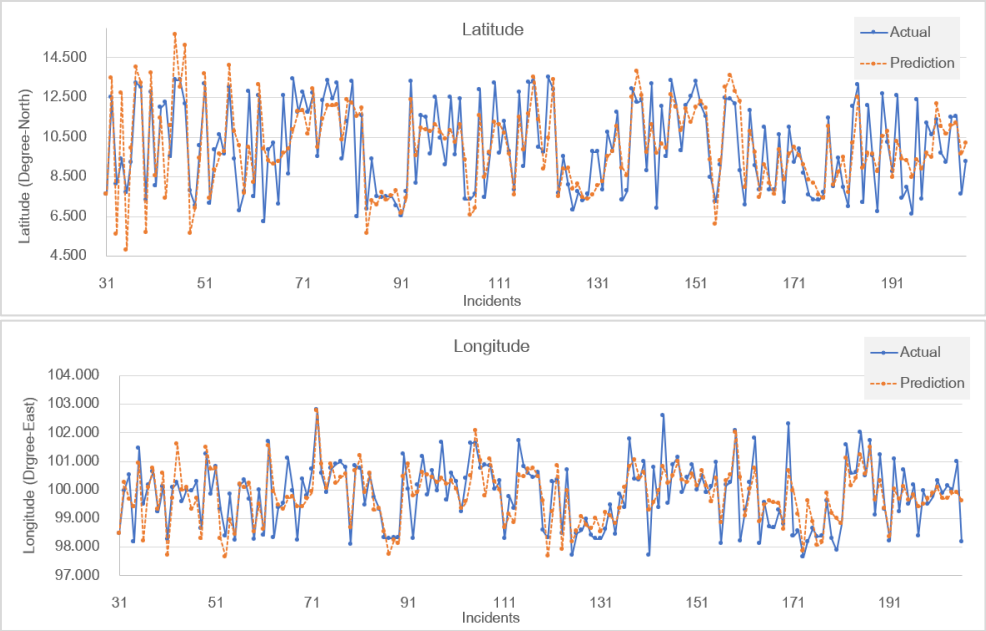


Figure 7 Comparison of forecasted and Observed Latitude and Longitude for Each MOB Incident

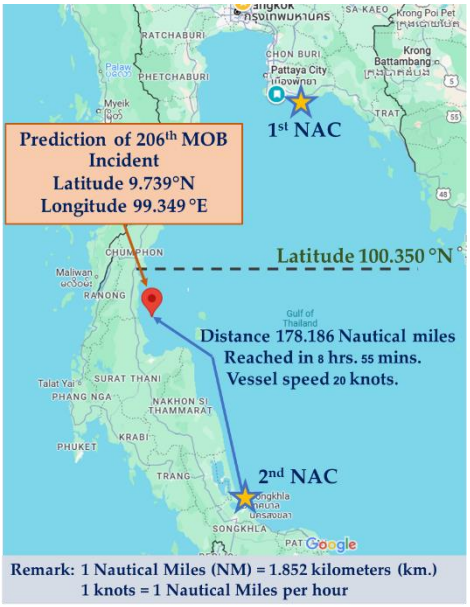


Figure 8 Forecast of the 206th MOB Incident

5. Conclusions

In machine learning, the LSTM network can be utilized to develop a model for forecasting MOB incidents in the Gulf of Thailand. This research successfully achieves its objective, as the model significantly contributes to reducing SAR operation time for MOB incidents. However, a limitation of this study is that the proposed model is currently limited to forecasting incidents in the Gulf of Thailand, while the Andaman Sea region also requires improved SAR response times. Expanding the model to this area would be beneficial. Additionally, incorporating the ability to forecast the exact timing of MOB incidents could further enhance forecast efficiency and should be explored in future research.

6. Acknowledgments

The research was carried out in the Department of Industrial Engineering, and funded by the Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok. The authors are deeply grateful to Naval Area Command, the Thai Maritime Enforcement Command Center, and the Royal Thai Navy for the related data and invaluable advice until this research comes to completion.

References

[1] Office of the National Security Council. Seas and oceans and national maritime interests. 2019. (in Thai).

[2] A. Kengpol, and C. Chanchittakarn. Geo-spatial intelligence for searching and rescuing man overboard incidents using an artificial neural network: An empirical study of the Royal Thai Navy in the Gulf of Thailand. Expert Systems with Applications. 238, 121858. 2024.

[3] O. Gonel, and I. Cicek. Multicriteria emergency decision for responding to man overboard casualties: A proposed procedure developed using Binary Logistics Regression and General Linear Models. Ocean Engineering, 265, 2022.

[4] K. Phongthet, and N. Kantanantha. Forecasting and Managing Inventory of Automotive Spare Parts for After Sales Service. Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2024, Ubon Ratchathani, Thailand, 2024, pp. 41 – 46 (in Thai).

[5] S. Prajam, Forecasting Network Data Traffic Using Machine Learning Methods and Sliding Window. M.S. thesis. Telecommunication and Computer Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. 2021. (in Thai).

[6] T. Wongchitsukkasem, and D. Sutivong, Thailand Steel Scrap Price Forecasting Using Statistical and Machine Learning Techniques. Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2024, Ubon Ratchathani, Thailand. (in Thai).

[7] P. Kaibei, B. Wei, and W. L. Yi, Passenger flow forecast of railway station based on improved LSTM. 2nd International Conference on Advances in Computer Technology, Information Science and Communications (CTISC), 2020.

[8] A. Singh. Anomaly Detection for Temporal Data using Long Shot-Term Memory (LSTM). Degree Project in Information And Communication Technology, Second Cycle, Stockholm, Sweden. 2017.

[9] K. A. Koparanov, K. K. Georgiev, and V. A. Shterev, Lookback Period, Epochs and Hidden States Effect on Time Series Prediction Using a LSTM based Neural Network. 28th National Conference with International Participation "Telecom 2020", Sofia, Bulgaria, 2020.

[10] M. Maharof, Z. Jamaludin, S. Mohammad, A. Rashid, S. Ahmed, and L. Abdullah. SUPER TWISTINGSLIDING MODE CONTROLLER FOR PRECISE BALL SCREW DRIVEN XY POSITIONING MILLING TABLE. Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT), 18(3). 2024.

[11] A.S.M. Yazid, R.A. Wahid, K.M. Nazrin, A. Ahmad, A.S. Nasruddin, D. Rozilawati, M.A. Hamzah, and M.Y.A. Razak. TERRAIN MAPPING FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES. Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT), 13(1). 2019.

[12] M. Elsaraiti, and A. Merabet. Application of Long-Short-Term-Memory Recurrent Neural Networks to Forecast Wind Speed. Applied Sciences, 11, 2021.

[13] X. Ren, F. Zhang, Y. Sun, and Y. Liu. A Novel Dual-Channel Temporal Convolutional Network for Photovoltaic Power Forecasting," Energies, 17(3), 2024.

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดเส้นทางรถรับส่งนักศึกษาและการเลือกตำแหน่งจุดจอด: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยนครพนม

Development of Mathematical Model for School Bus Routing and Stop Location Problem: A Case Study of Nakhon Phanom University

รัตนาพร อุดมกัลย์[1] กานต์ มูลศรี[1*] รชานันท์ บุทา[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม
E-mail: k.moonsri@npu.ac.th*

Rattanaporn Udomkan[1], Karn Moonsri[1*] , Rachanan Butha
[1]Department of Logistics Engineering, Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University, Thailand
E-mail: k.moonsri@npu.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถรับส่งนักศึกษาและการเลือกตำแหน่งจุดจอดภายในมหาวิทยาลัยนครพนม ซึ่งมีโครงสร้างพื้นที่ที่ซับซ้อนประกอบด้วย 12 คณะและวิทยาลัย โดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนรวมของระบบ ภายใต้ข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ ระยะเวลาการเดินทางและการเข้าถึงจุดจอด การศึกษาได้วิเคราะห์และแบ่งพื้นที่การให้บริการเป็น 3 โซนตามลักษณะการใช้งาน พร้อมทั้งกำหนดจุดจอดที่เป็นไปได้ 22 จุด ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพดีสำหรับปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลางภายในเวลาที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ที่มี 18 จุดจอดขึ้นไป แบบจำลองใช้เวลาในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แม้จะให้คำตอบที่มีคุณภาพดีโดยมีค่า Gap เพียง 0.71% การศึกษานี้จึงเสนอให้มีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกเพื่อลดเวลาในการคำนวณสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ต่อไป

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางรถรับส่งนักศึกษา, การเลือกตำแหน่งจุดจอด, การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม

Abstract

This paper develops a mixed integer linear programming to solve the school bus routing problem and bus stop location within Nakhon Phanom University, which has a complex structure comprising 12 faculties and colleges. A mixed-integer linear programming model is formulated to minimize the total system cost under vehicle capacity, travel time, and stop accessibility constraints. The study analyzes and divides the service area into 3 zones based on usage characteristics and identifies 22 potential bus stops. The computational results demonstrate that the model can find quality solutions for small and medium-sized problems within reasonable time. However, for large problems with 18 or more stops, the computation time increases significantly, although it provides high-quality solutions with only 0.71% Gap. This study suggests developing heuristic solution methods to reduce computation time for large-scale problems.

Keywords: School Bus Routing Problem, Bus Stop Location, Mixed Integer Linear Programming

1. บทนำ

การจัดการโลจิสติกส์และการขนส่งภายในสถาบันการศึกษาขนาดใหญ่เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานและการให้บริการ การออกแบบระบบขนส่งที่เหมาะสมสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการจัดเส้นทางรถรับส่งนักศึกษา (School Bus Routing Problem: SBRP) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ที่ต้องคำนึงถึงการกำหนดจุดจอดรถ (Bus Stop Location) ที่เหมาะสมร่วมด้วย

มหาวิทยาลัยนครพนมมีโครงสร้างทางกายภาพที่ซับซ้อน ประกอบด้วย 12 คณะและวิทยาลัย ได้แก่ คณะเกษตรและเทคโนโลยี คณะครุศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาการจัดการและเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยการท่องเที่ยวและอุตสาหกรรมบริการ วิทยาลัยการบิน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม วิทยาลัยธาตุพนม และวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครพนม การกระจายตัวของหน่วยงานเหล่านี้ก่อให้เกิดความท้าทายในการวางแผนเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาประกอบด้วย ระยะทางระหว่างคณะ จำนวนนักศึกษาและบุคลากรในแต่ละพื้นที่ และช่วงเวลาการให้บริการที่เหมาะสม

การแก้ปัญหา SBRP ที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องพิจารณาทั้งการเลือกจุดจอดรถและการจัดเส้นทางไปยังจุดต่างๆ ภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลาและความจุของยานพาหนะ การบูรณาการการตัดสินใจทั้งสองส่วนสามารถนำไปสู่ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการแยกพิจารณา ซึ่งจะส่งผลต่อการลดต้นทุนการดำเนินงานและการเพิ่มคุณภาพการให้บริการ

การศึกษานี้นำเสนอแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming: MILP) สำหรับการแก้ปัญหา SBRP และการกำหนดจุดจอดรถ โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนรวมของระบบ ภายใต้ข้อจำกัดด้านความจุ เวลาการเดินทาง และระยะการเข้าถึงจุดจอดรถ การเลือกใช้วิธี MILP มีข้อดีเหนือกว่าวิธีการแก้ปัญหาแบบแยกส่วนหรือวิธีฮิวริสติกทั่วไป เนื่องจากสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างแม่นยำสำหรับปัญหาขนาดเล็กถึงขนาดกลาง และมีความยืดหยุ่นสูงในการรวมข้อจำกัดที่หลากหลาย อีกทั้งยังทำให้เข้าใจโครงสร้างของปัญหาได้ดีกว่า ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิธีฮิวริสติกสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ในอนาคต การวิเคราะห์ตำแหน่งจุดจอดรถที่เหมาะสมใช้โปรแกรม Google Earth ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ ระยะทาง และการเข้าถึง เพื่อให้การพัฒนาแบบจำลองมีความสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด

บทความนี้นำเสนอตามลำดับดังนี้ ส่วนที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับ SBRP และการกำหนดจุดจอดรถ ส่วนที่ 3 อธิบายการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหา ส่วนที่ 4 วิเคราะห์ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับกรณีศึกษามหาวิทยาลัยนครพนม และส่วนที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาในอนาคต

2. ทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัยด้านการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการขนส่งในสถาบันการศึกษาได้มีพัฒนาการอย่างมีนัยสำคัญ จากการจัดเส้นทางพื้นฐานสู่การบูรณาการการแก้ปัญหาระดับเครือข่ายที่ซับซ้อน เพื่อรองรับการกระจายตัวของอาคารและความต้องการของผู้ใช้บริการที่หลากหลาย

Shatnawi และคณะ [1] ได้ใช้จีพีเอสและเมตาฮิวริสติกเพิ่มประสิทธิภาพตำแหน่งป้ายรถโดยสารในอัมมาน จอร์แดน ในเส้นทางที่มีป้ายซ้ำซ้อน และลดระยะเดินเท้าจาก 2000 เมตรเหลือ 400 เมตรในเส้นทางที่มีป้ายไม่เพียงพอและใช้งานง่ายสำหรับการวางผังเมือง Ellegood และคณะ [2] ได้ขยายขอบเขตการศึกษาโดยวิเคราะห์งานวิจัยด้านการจัดเส้นทางรถโดยสารจำนวน 64 เรื่อง ซึ่งสะท้อนให้เห็นแนวโน้มการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงที่ซับซ้อน Ezquerro Eguizábal และคณะ [3] ได้พัฒนาต่อยอดด้วยแบบจำลองเชิงพหุวัตถุประสงค์ที่สามารถลดต้นทุนได้ 2.7-35.1% ผ่านการปรับเวลาเริ่มต้นที่เหมาะสม โดยยังคงรักษาคุณภาพการให้บริการ

การวางแผนโครงสร้างพื้นฐานได้รับการพัฒนาผ่านผลงานวิจัยสำคัญ Devunuri และคณะ [4] ได้วิเคราะห์ระยะห่างระหว่างจุดจอดในระบบขนส่งทั่วอเมริกาเหนือ นำไปสู่การกำหนดมาตรฐานที่เหมาะสมที่ระยะ 350 เมตร ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับการวางแผนในสถาบันการศึกษา Koksal และคณะ [5] ได้พัฒนาอัลกอริทึมผสมระหว่างการเรียนรู้แบบเสริมกำลังกับอัลกอริทึมเชิงวิวัฒนาการสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถโรงเรียน Miranda และคณะ [6] นำเสนออัลกอริทึมเมเมติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถโรงเรียนในชนบทร่วมกับการปรับเวลาเข้าเรียน ใช้การค้นหาแบบท้องถิ่นซ้ำๆ กับโครงสร้างย่านใกล้เคียงพิเศษ ประหยัดต้นทุนสูงสุด 9% และ 2.55% ในผลลัพธ์รวม Chen และคณะ [7] ได้ขยายขอบเขตการพัฒนาด้วยแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพระดับเครือข่าย ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับพื้นที่ขนาดใหญ่

การคำนึงถึงความเท่าเทียมในการเข้าถึงบริการเป็นประเด็นสำคัญสำหรับสถาบันการศึกษา Banerjee และ Smilowitz [8] ได้นำเสนอมาตรวัดความเท่าเทียมผ่านวิธีการค่าเสียโอกาสมากน้อยที่สุด lexicographic Liu และคณะ [9] ได้ศึกษาการเข้าถึงบริการในพื้นที่ขนาดเล็ก ขณะที่ Miranda และคณะ [10] ได้พัฒนากลยุทธ์การขนส่งแบบหลายรอบที่มีประสิทธิภาพ

วิธีการทางคณิตศาสตร์ได้รับการพัฒนาอย่าง Pérez และคณะ [11] นำเสนอวิธีการประเมินบางส่วนสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถโรงเรียน ด้วยการวิเคราะห์เฉพาะเส้นทางที่เปลี่ยนแปลง ช่วยลดเวลาประมวลผลได้ถึง 80% และลดเวลาเฉลี่ย 73.6% และ Jin และคณะ [12]

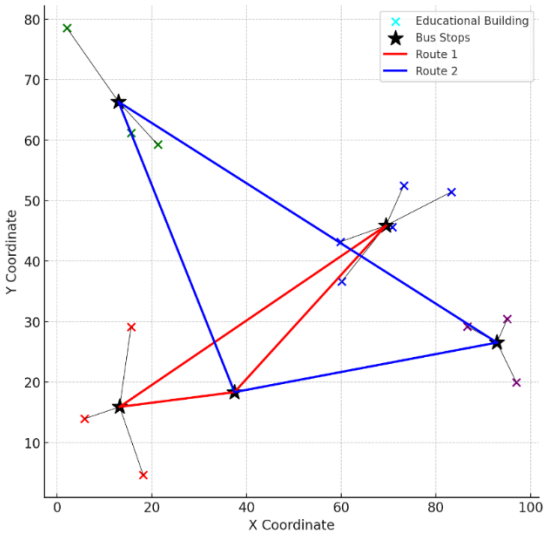
ได้พัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพแบบจำลองการส่งผ่าน Ansari และคณะ [13] พัฒนาแบบจำลองบูรณาการสำหรับการจัดสรรนักเรียนที่มีความต้องการพิเศษและการจัดเส้นทางรถโรงเรียน การทดสอบที่ฟอร์ต สมิธ แสดงว่าลดระยะทางได้มากกว่า 35% เทียบกับวิธีเดิม นอกจากนี้ Parvasi และคณะ [14] ได้พัฒนาแบบจำลองสองระดับที่ซับซ้อนโดยบูรณาการทฤษฎีเกม ด้านการพัฒนาเพื่อความยั่งยืน Gkiotsalitis และคณะ [15] ได้ศึกษาการวางโครงสร้างพื้นฐานสำหรับรถโดยสารไฟฟ้าสอดคล้องกับแนวทางการประหยัดพลังงาน Arhin และคณะ [16] ได้ยกระดับประสิทธิภาพการดำเนินงานผ่านการวิเคราะห์เวลาจอด และ Montoya และคณะ [17] ได้ศึกษาความครอบคลุมเชิงพื้นที่ของป้ายรถโดยสารผ่านการรับรู้ของประชาชนในเมืองมานิซาเลส โคลอมเบีย โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของชุดป้ายรถโดยสารในสภาวะปกติและเร่งด่วน

พัฒนาการของงานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงแนวทางการแก้ปัญหาแบบองค์รวมที่เหมาะสมกับบริบทของสถาบันการศึกษา โดยคำนึงถึงทั้งประสิทธิภาพการดำเนินงาน ความเท่าเทียมในการเข้าถึงบริการ และความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับความท้าทายในการจัดการระบบขนส่งของมหาวิทยาลัยที่มีการกระจายตัวของอาคารและความต้องการที่หลากหลายของผู้ใช้บริการ การประยุกต์ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง เช่น การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม จึงเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถโดยสารในสถาบันการศึกษา

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาขึ้นใหม่โดยเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถรับส่งนักศึกษาและการเลือกตำแหน่งจุดจอดที่เหมาะสมสำหรับบริบทเฉพาะของมหาวิทยาลัยนครพนม โดยได้ศึกษาหลักการและแนวคิดพื้นฐานจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องก่อนนำมาประยุกต์ใช้และพัฒนาต่อยอด

ลักษณะของปัญหามุ่งเน้นการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถรับส่งนักศึกษาและการเลือกตำแหน่งจุดจอดที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นการกระจายตัวของตำแหน่งอาคารเรียน (สัญลักษณ์กากบาท) และตำแหน่งจุดจอดที่ถูกเลือก (สัญลักษณ์ดาว) พร้อมทั้งเส้นทางการเดินรถสองเส้นทาง โดยพิจารณาปัญหาในสองส่วนที่เชื่อมโยงกัน ส่วนแรกคือการเลือกตำแหน่งจุดจอดจากจุดที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อให้นักศึกษาสามารถเข้าถึงจุดจอดได้อย่างสะดวก โดยคำนึงถึงระยะทางการเดินและการกระจายตัวของนักศึกษา ส่วนที่สองคือการจัดเส้นทางรถรับส่งที่มีประสิทธิภาพ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดต้นทุนรวมของระบบ ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนในการจัดตั้งจุดจอด ต้นทุนการเดินรถ ต้นทุนการเดินของนักศึกษาและต้นทุนของการใช้ยานพาหนะ



รูปที่ 1 ตัวอย่างลักษณะปัญหา

ในการพิจารณาปัญหานี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความจุของยานพาหนะ ระยะทางสูงสุดที่ยอมให้นักศึกษาเดินจากตำแหน่งที่พักถึงจุดจอด และข้อกำหนดที่ว่าแต่ละจุดจอดต้องมียานพาหนะให้บริการเพียงครั้งเดียว จากรูปที่ 1 ซึ่งเห็นว่าเส้นทางถูกออกแบบให้ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งหมด โดยใช้จำนวนยานพาหนะเพียงสองคัน ซึ่งแต่ละคันมีเส้นทางที่แตกต่างกันเพื่อหลีกเลี่ยงการให้บริการซ้ำซ้อน

3.1 สมมติฐานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถโดยสารและการกำหนดจุดจอดในมหาวิทยาลัยนครพนมนั้น จำเป็นต้องกำหนดสมมติฐานที่เหมาะสมเพื่อให้แบบจำลองสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยยังคงความสมเหตุสมผลในทางปฏิบัติ การกำหนดขอบเขตและข้อสมมติฐานที่ชัดเจนจะช่วยให้การพัฒนาแบบจำลองมุ่งเน้นไปที่ประเด็นสำคัญ ลดความซับซ้อนที่ไม่จำเป็น และนำไปสู่ผลลัพธ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นอยู่ภายใต้สมมติฐานสำคัญ 4 ประการ ดังนี้

(1) พิจารณาเฉพาะการจัดสรรนักศึกษาให้กับจุดจอดและการจัดเส้นทางยานพาหนะเท่านั้น โดยไม่พิจารณาช่วงเวลาระหว่างรถ (Headway time) เพื่อลดความซับซ้อนของแบบจำลองและมุ่งเน้นการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในด้านต้นทุนรวมของระบบ

(2) พิจารณาเฉพาะการเลือกตำแหน่งจุดจอดและการจัดเส้นทางที่เหมาะสม โดยไม่พิจารณาเวลาในการจอดรับ-ส่งนักศึกษา (Dwell time) เนื่องจากต้องการเน้นการจัดเส้นทางและการเลือกจุดจอดเป็นหลัก

(3) พิจารณาเฉพาะการวางแผนเส้นทางภายใต้สภาวะปกติ โดยไม่พิจารณาความไม่แน่นอนของเวลาเดินทาง (Travel time uncertainty) โดยกำหนดให้เวลาเดินทางมีค่าคงที่และทราบค่าแน่นอน

(4) พิจารณาเฉพาะการวางแผนเส้นทางโดยรวม โดยไม่พิจารณาช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak hours) เนื่องจากมุ่งเน้นการจัดการในภาพรวม

3.2 เซต พารามิเตอร์และตัวแปรตัดสินใจ

ในส่วนนี้นำเสนอองค์ประกอบพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยเซต พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถโดยสารและการกำหนดจุดจอดดังนี้

ตารางที่ 1 เซต, พารามิเตอร์และตัวแปรตัดสินใจ

ตัวแปร	ความหมาย
เซต	
B	เซตของยานพาหนะที่มีอยู่ทั้งหมด โดยที่ $k \in B = \{1,2,\dots,b\}$
P	เซตของจุดจอดทั้งหมดรวมจุดเริ่มต้น โดยที่ $i,j \in P = \{0,1,\dots,p\}$
P_{ND}	เซตของจุดจอดโดยไม่รวมจุดเริ่มต้น โดยที่ $i,j \in P_{ND} = \{1,\dots,p\}$
S	เซตของตำแหน่งการกระจายตัวของนักศึกษา โดยที่ $r \in S = \{1,2,\dots,s\}$
พารามิเตอร์	
d_{ij}	ระยะทางระหว่างจุดจอด i ไปยังจุดจอด j
w_{rj}	ระยะทางระหว่างตำแหน่งนักศึกษา r ไปยังจุดจอด j
c_k	ความจุของยานพาหนะ k
L_k	ต้นทุนของการใช้ยานพาหนะ k
n_r	จำนวนนักศึกษาที่ตำแหน่ง r
m	ระยะทางสูงสุดที่กำหนดสำหรับแต่ละเส้นทาง
$dist_{min}$	ระยะทางขั้นต่ำระหว่างจุดจอดที่ติดกัน
max_{walk}	ระยะทางสูงสุดในการเข้าถึงจุดจอด
f_j	ต้นทุนคงที่ในการจัดตั้งจุดจอด j
t_{ij}	เมทริกซ์ต้นทุนการเดินทางระหว่างจุดจอด i ไปยังจุดจอด j
SC_j	ความจุของจุดจอด j
max_{stop}	จำนวนจุดจอดสูงสุดที่สามารถจัดตั้งได้
ตัวแปรตัดสินใจ	
x_{ijk}	ตัวแปรไบนารีมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าเส้นทางจากจุดจอด i ไปยังจุดจอด j ถูกเลือกโดยยานพาหนะ k, 0 กรณีอื่นๆ
v_{jk}	ตัวแปรไบนารีมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าจุดจอด j ถูกเยี่ยมโดยยานพาหนะ k, 0 กรณีอื่นๆ
o_k	ตัวแปรไบนารีมีค่าเท่ากับ 1 ถ้ายานพาหนะ k ถูกใช้งาน, 0 กรณีอื่นๆ
y_{ijk}	ตัวแปรแสดงจำนวนนักศึกษาที่ถูกขนส่งจากจุดจอด i ไปยังจุดจอด j โดยยานพาหนะ k
u_j	ตัวแปรเสริมสำหรับเงื่อนไขการกำจัดรอบย่อย
z_j	ตัวแปรไบนารีมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าจุดจอด j ถูกเลือกให้เป็นจุดจอด, 0 กรณีอื่นๆ
a_{rj}	ตัวแปรไบนารีมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าตำแหน่งนักศึกษา r ถูกกำหนดให้กับจุดจอด j, 0 กรณีอื่นๆ

3.3 สมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด

แบบจำลองประกอบด้วยสมการวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนรวมของระบบ และสมการข้อจำกัดที่ควบคุมการดำเนินงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

สมการวัตถุประสงค์

$$min \sum_{j\in P_{ND}} f_j z_j + \sum_{i\in P}\sum_{j\in P, i\neq j}\sum_{k\in B} t_{ij}x_{ijk} + \sum_{r\in S}\sum_{j\in P_{ND}} w_{rj}n_r a_{rj} + \sum_{k\in B} o_k L_k \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{j\in P_{ND}} z_j \leq max_{stop} \quad (2)$$

$$\sum_{j\in P_{ND}} a_{rj} = 1, \quad \forall r \in S \quad (3)$$

$$a_{rj} \leq z_j, \quad \forall r \in S, j \in P_{ND} \quad (4)$$

$$w_{rj}a_{rj} \leq max_{walk} \quad (5)$$

$$\sum_{r\in S} n_r a_{rj} \leq SC_j z_j, \quad \forall j \in P_{ND} \quad (6)$$

$$\sum_{r\in S} n_r a_{rj} = \sum_{k\in B}\sum_{l\in P, l\neq j} y_{jlk}, \quad \forall j \in P_{ND} \quad (7)$$

$$\sum_{k\in B} v_{jk} = z_j, \quad \forall j \in P_{ND} \quad (8)$$

$$\sum_{i\in P, i\neq j} x_{ijk} = \sum_{i\in P, i\neq j} x_{jik}, \quad \forall j \in P, k \in B \quad (9)$$

$$\sum_{i\in P, i\neq j} x_{ijk} = v_{jk}, \quad \forall j \in P, k \in B \quad (10)$$

$$\sum_{i\in P_{ND}}\sum_{j\in P, j\neq i} y_{ijk} \leq c_k o_k \quad (11)$$

$$\sum_{r\in S} n_r a_{rj} = \sum_{i\in P, i\neq j} y_{ijk} - \sum_{i\in P, i\neq j} y_{jik}, \quad \forall j \in P_{ND}, k \in B \tag{12}$$

$$x_{ijk} d_{ij} \geq dist_{min} x_{ijk}, \quad \forall i,j \in P_{ND}, i \neq j, k \in B \tag{13}$$

$$\sum_{j\in P_{ND}} x_{0jk} \leq o_k, \quad \forall k \in B \tag{14}$$

$$\sum_{i\in P_{ND}} x_{i0k} \leq o_k, \quad \forall k \in B \tag{15}$$

$$u_i - u_j + p x_{ijk} \leq p - 1, \quad \forall i,j \in P_{ND}, i \neq j, k \in B \tag{16}$$

$$\sum_{i\in P} \sum_{j\in P, i\neq j} d_{ij} x_{ijk} \leq m \cdot o_k, \quad \forall k \in B \tag{17}$$

$$y_{ijk}, u_i \geq 0 \; \forall i,j \in P_{ND}, k \in B \tag{18}$$

สมการวัตถุประสงค์ (1) ของปัญหาการเลือกตำแหน่งจุดจอดและการจัดเส้นทางรถรับส่งนักศึกษาประกอบด้วยสามส่วน: 1) ต้นทุนคงที่ในการจัดตั้งจุดจอด 2) ต้นทุนการเดินรถ 3) ต้นทุนการเดินของนักศึกษาและ 4) ต้นทุนของการใช้ยานพาหนะ โดยมีสมการข้อจำกัดที่สำคัญดังนี้ สมการข้อจำกัด (2) กำหนดจำนวนจุดจอดไม่เกินที่สามารถเลือกได้ ในขณะที่สมการข้อจำกัด (3) กำหนดให้แต่ละกลุ่มนักศึกษาต้องถูกกำหนดให้กับจุดจอดหนึ่งจุด และสมการข้อจำกัด (4) กำหนดให้นักศึกษาสามารถถูกกำหนดให้กับจุดจอดที่ถูกเลือกเท่านั้น สำหรับสมการข้อจำกัด (5) กำหนดขอบเขตบนของระยะทางเดินระหว่างกลุ่มนักศึกษากับจุดจอดที่ถูกกำหนด สมการข้อจำกัด (6) จำนวนนักศึกษาที่มาใช้บริการไม่ต้องเกินความจุของจุดจอด ส่วนสมการข้อจำกัด (7) กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนักศึกษาที่ใช้จุดจอดกับจำนวนนักศึกษาที่ถูกขนส่งออกจากจุดจอด ในด้านการจัดการจุดจอด และสมการข้อจำกัด (8) กำหนดให้จุดจอดที่ถูกเลือกต้องมีรถมาเยี่ยมหนึ่งครั้ง นอกจากนี้ สมการข้อจำกัด (9) เป็นสมการอนุรักษ์การไหลของเส้นทาง โดยสมการข้อจำกัด (10) กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเส้นทางและการเยี่ยมจุดจอด สำหรับข้อจำกัดด้านความจุ สมการข้อจำกัด(11) กำหนดขอบเขตบนของจำนวนนักศึกษาที่ขนส่งตามความจุของรถ และสมการข้อจำกัด (12) เป็นสมการอนุรักษ์การไหลของนักศึกษาที่จุดจอด ในส่วนของระยะทาง สมการข้อจำกัด(13) กำหนดระยะทางขั้นต่ำระหว่างจุดจอดที่ติดกันในเส้นทาง สมการข้อจำกัด (14) และ (15) กำหนดเงื่อนไขการเริ่มต้นและสิ้นสุดเส้นทางที่จุดจอดหลัก สมการข้อจำกัด (16) เป็นเงื่อนไขการกำจัดรอบย่อยด้วยวิธี MTZ และสมการข้อจำกัด (17) กำหนดขอบเขตบนของระยะทางรวมในแต่ละเส้นทาง และสมการข้อจำกัด (18) กำหนดให้ตัวแปรการขนส่งนักศึกษาและตัวแปรการกำจัดรอบย่อยมีค่าไม่ติดลบ

4. การประยุกต์ใช้แบบจำลองกับกรณีศึกษามหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์โครงข่ายการขนส่งภายในมหาวิทยาลัยนครพนม โดยเริ่มจากการแบ่งพื้นที่การให้บริการออกเป็น 3 โซนหลักตามลักษณะการใช้งานและความเชื่อมโยงของระบบขนส่ง ได้แก่ โซนพื้นที่การศึกษาหลัก โซนพื้นที่คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และโซนพื้นที่คณะวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนจุดจอดที่เป็นไปได้ทั้งหมด 22 จุด

การกำหนดจุดให้บริการที่เป็นไปได้ทั้งหมด 22 จุด ได้พิจารณาจากปัจจัยทางวิศวกรรมที่สำคัญ ประกอบด้วย (1) ความสามารถในการเข้าถึง โดยพิจารณาระยะเดินเท้าที่ยอมรับได้ไม่เกิน 400 เมตร ตามมาตรฐาน Transit Oriented Development และความสะดวกในการเชื่อมต่อกับเส้นทางเดินเท้าที่มีอยู่ (2) ความปลอดภัยในการให้บริการ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยทางถนนตามคู่มือวิศวกรรมความปลอดภัย การมองเห็นที่ชัดเจนและพื้นที่จอดที่ปลอดภัย และ (3) ข้อจำกัดทางกายภาพของพื้นที่ ซึ่งวิเคราะห์จากลักษณะภูมิประเทศ โครงสร้างถนน ความกว้างของเส้นทาง และความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจุดจอด โดยจุดศูนย์กลางการให้บริการ (Terminal) ถูกกำหนดให้อยู่บริเวณพื้นที่ระหว่างอาคารศิลปศาสตร์และอาคารวิทยาการจัดการ เนื่องจากเป็นจุดศูนย์กลางที่สามารถเชื่อมต่อการเดินทางไปยังส่วนต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัย

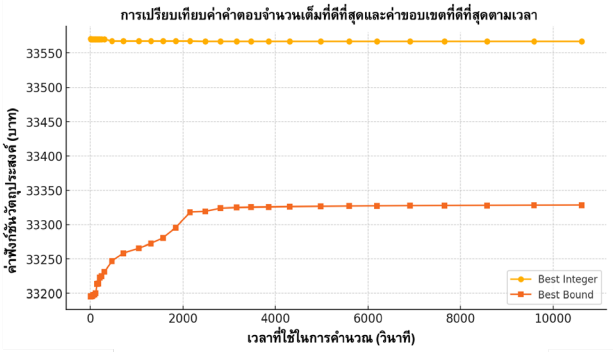
การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองดำเนินการบนคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผล Intel Core i7 2.20 GHz RAM 16 GB และใช้ซอฟต์แวร์ CPLEX Optimization Studio 12.10 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น การศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลระยะทางจริงระหว่างจุดให้บริการทั้งหมด (p) และระยะทางระหว่างอาคารกับจุดให้บริการ (s) ในการทดสอบ โดยแบ่งการทดสอบตามขนาดของปัญหาเป็น 9 กรณี ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก (p = 10 จุด) ปัญหาขนาดกลาง (p = 15 จุด) และปัญหาขนาดใหญ่ (p = 18 จุด) โดยแต่ละขนาดจะทำการทดสอบกับจำนวนอาคารที่แตกต่างกัน (s = 5, 10, 15, 20 อาคาร) แสดงดังตารางที่ 2 โดยกำหนดให้ P เป็นจำนวนจุดจอดที่เป็นไปได้ทั้งหมด ที่ต้องพิจารณาเลือกว่าจะใช้จุดใดบ้าง และ S เป็นจำนวนตำแหน่งที่มีนักศึกษาอยู่ ซึ่งต้องถูกกำหนดให้ไปใช้จุดจอดที่เลือก กรณีที่ S < P เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อจำลอง

สถานการณ์ที่มีจุดจอดให้เลือกมากกว่าจำนวนกลุ่มนักศึกษา ซึ่งทำให้แบบจำลองต้องพิจารณาการเลือกจุดจอดที่เหมาะสมที่สุดจากจุดที่เป็นไปได้ทั้งหมด ส่วนในกรณีที่ P < S เป็นการจำลองสถานการณ์ที่มีความหนาแน่นของกลุ่มนักศึกษาสูง ทำให้แบบจำลองต้องพิจารณาการจัดสรรกลุ่มนักศึกษาให้กับจุดจอดที่จำกัด ทั้งนี้การทดสอบในขั้นต้นยังไม่ได้นำข้อมูลความต้องการเดินทางที่แท้จริงมาพิจารณา เนื่องจากต้องการทดสอบความสามารถของแบบจำลองในการหาคำตอบที่เหมาะสมภายใต้ขนาดปัญหาที่แตกต่างกันเป็นลำดับแรก ในการทดสอบได้กำหนดจำนวนนักศึกษา (n_r) ให้กับแต่ละตำแหน่ง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 10-15 คนต่อตำแหน่งและกำหนดความจุของยานพาหนะที่ใช้ในการทดสอบแตกต่างกันเป็น 3 ขนาด คือ 15, 25 และ 35 ที่นั่ง ข้อมูลนี้เป็นการจำลองสถานการณ์ของนักศึกษาในตำแหน่งอาคารเรียนและความจุของรถรับส่งที่มีให้บริการในมหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 การประมาณเวลาและผลลัพธ์ต้นทุนรวมของแบบจำลองตามขนาดปัญหา

P	S	ต้นทุนรวม (บาท)	เวลาในการประมวลผล(วินาที)
10	5	21,557.45	2.32
10	10	24,326.18	4.97
10	15	26,128.94	57.44
15	10	27,557.23	62.67
15	15	28,762.51	156.83
15	20	29,845.76	342.15
18	10	29,057.62	251.99
18	15	30,482.93	648.24
18	20	31,726.15	1086.52

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับปัญหาขนาดใหญ่ที่สุดที่มีจุดจอดที่เป็นไปได้ 22 จุด (p) และอาคารที่พิจารณา 20 อาคาร (s) พบว่าจากรูปที่ 3 แม้ใช้เวลาในการคำนวณนานถึง 10,000 วินาที (2.78 ชั่วโมง) และดำเนินการต่อเนื่องจนถึง 8 ชั่วโมง แบบจำลองก็ยังไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ อย่างไรก็ตามที่เวลา 2.78 ชั่วโมง แบบจำลองสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Best Integer) ที่ 33,550 บาท และขอบเขตล่าง (Best Bound) ที่ 33,330 บาท ส่งผลให้มีช่องว่างระหว่างค่าคำตอบที่ดีที่สุดและขอบเขตล่าง (Gap) เท่ากับ 0.71%



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่าคำตอบที่ดีที่สุดและขอบเขตล่างของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตามเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ

ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าแม้แบบจำลองจะสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพดีสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ โดยมีค่า Gap ที่ยอมรับได้ แต่เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบเกินกว่าข้อจำกัดที่กำหนดไว้ที่ 8 ชั่วโมงก็ไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ จึงจำเป็นต้องพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองหรือพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกสำหรับปัญหาขนาดใหญ่เพิ่มเติม เพื่อให้สามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพดีภายในเวลาที่กำหนดได้

5. สรุป

การศึกษานี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถรับส่งนักศึกษาและการเลือกตำแหน่งจุดจอดภายในมหาวิทยาลัยนครพนม ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพดีสำหรับปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลาง โดยใช้เวลาในการคำนวณที่เหมาะสม กล่าวคือ ปัญหาขนาดเล็กที่มี 10 จุดจอด ใช้เวลาในการหาคำตอบเพียง 2 ถึง 57 วินาที ในขณะที่ปัญหาขนาดกลางที่มี 15 จุดจอด ใช้เวลา 62 ถึง 342 วินาที ทั้งนี้ต้นทุนรวมของระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของปัญหา โดยอยู่ในช่วง 21,557 ถึง 29,845 บาท

อย่างไรก็ตามสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ที่มี 18 จุดจอดขึ้นไป แบบจำลองใช้เวลาในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกรณีที่มี 22 จุดจอดและ 20 อาคาร แม้จะใช้เวลาคำนวณถึง 8 ชั่วโมง แบบจำลองก็ยังไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ แม้ว่าคำตอบที่ได้จะมีคุณภาพดีโดยมีค่า Gap เพียง 0.71%

จากผลการวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาในอนาคตดังนี้ การพัฒนาวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก (heuristic) สำหรับปัญหาขนาดใหญ่เพื่อลดเวลาในการคำนวณโดยอาจพิจารณาใช้เทคนิค GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure), Tabu Search หรือ Genetic Algorithm การปรับปรุงแบบจำลองให้สามารถรองรับปัจจัยเพิ่มเติม เช่น ความต้องการเดินทางที่แท้จริงของนักศึกษาและบุคลากร ช่วงเวลาให้บริการที่แตกต่างกัน และข้อจำกัดด้านงบประมาณ การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support

System) ที่ช่วยให้ผู้บริหารสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ และเห็นผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับสถาบันการศึกษาอื่นที่มีลักษณะพื้นที่และความต้องการคล้ายคลึงกัน

นอกจากการพัฒนาด้านเทคนิคแล้ว การปรับปรุงคุณภาพการให้บริการแก่นักศึกษาเป็นเป้าหมายสำคัญของระบบขนส่งภายในมหาวิทยาลัย โดยควรดำเนินการ (1) สำรวจพฤติกรรมการเดินทางของนักศึกษาในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อปรับความถี่ของการให้บริการให้สอดคล้องกับความต้องการ (2) จัดจุดจอดให้ครอบคลุมพื้นที่ที่มีนักศึกษาหนาแน่นและลดระยะทางการเดินเข้าถึงจุดจอด (3) พัฒนาแอปพลิเคชันติดตามรถแบบเรียลไทม์เพื่อให้นักศึกษาสามารถวางแผนการเดินทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ (4) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอย่างต่อเนื่องเพื่อนำผลมาปรับปรุงเส้นทางและการให้บริการ

เอกสารอ้างอิง

[1] N. Shatnawi, A. A. Al-Omari, and H. Al-Qudah. 2020. Optimization of bus stops locations using GIS techniques and artificial intelligence. Procedia Manufacturing, 44, 52–59.

[2] W. A. Ellegood, S. Solomon, J. North, and J. F. Campbell. 2020. School bus routing problem: Contemporary trends and research directions. Omega, 95, 102056.

[3] S. Ezquerro Eguizábal, J. L. Moura Berodia, Á. Ibeas Portilla, and J. Benavente Ponce. 2018. Optimization model for school transportation design based on economic and social efficiency. Transport Policy, 67, 93–101.

[4] S. Devunuri, L. J. Lehe, S. Qiam, A. Pandey, and D. Monzer. 2024. Bus stop spacing statistics: Theory and evidence. Journal of Public Transportation, 26, 100083.

[5] E. Koksal, A. R. Hegde, H. P. Pandiarajan, and B. Veeravalli. 2021. Performance characterization of reinforcement learning-enabled evolutionary algorithms for integrated school bus routing and scheduling problem. International Journal of Cognitive Computing in Engineering, 2, 47–56.

[6] D. M. Miranda, R. S. de Camargo, S. V. Conceição, M. F. Porto, and N. T. R. Nunes. 2021. A metaheuristic for the rural school bus routing problem with bell adjustment. Expert Systems with Applications, 180, 115086.

[7] J. Chen, S. Wang, Z. Liu, and X. Chen. 2018. Network-level optimization of bus stop placement in urban areas. KSCE Journal of Civil Engineering, 22(4), 1446–1453.

[8] D. Banerjee and K. Smilowitz. 2019. Incorporating equity into the school bus scheduling problem. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 131, 228–246.

[9] Z. Liu, L. Gang, B. Yu, and H. Zhang. 2022. The routing problem for school buses considering accessibility and equity. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 107, 103299.

[10] D. M. Miranda, R. S. De Camargo, S. V. Conceição, M. F. Porto, and N. T. R. Nunes. 2018. A multi-loading school bus routing problem. Expert Systems with Applications, 101, 228–242.

[11] A. C. Pérez, E. Sánchez-Ansola, A. Rosete, O. Rojas, and G. Sosa-Gómez. 2022. A partial evaluation approach for the school bus routing problem. Heliyon, 8(4), e09291.

[12] H. Jin, Y. Liu, T. Wu, and Y. Zhang. 2022. Site-specific optimization of bus stop locations and designs over a corridor. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 599, 127441.

[13] A. Ansari, L. Farrokhvar, and B. Kamali. 2021. Integrated student to school assignment and school bus routing problem for special needs students. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 152, 102416.

[14] S. P. Parvasi, R. Tavakkoli-Moghaddam, A. A. Taleizadeh, and M. Soveizy. 2019. A bi-level bi-objective mathematical model for stop location in a school bus routing problem. IFAC-PapersOnLine, 52(13), 1120–1125.

[15] K. Gkiotsalitis, D. Rizopoulos, M. Merakou, C. Iliopoulou, T. Liu, and O. Cats. 2025. Electric bus charging station location selection problem with slow and fast charging. Applied Energy, 382, 125242.

[16] S. Arhin, E. Noel, M. F. Anderson, L. Williams, A. Ribisso, and R. Stinson. 2016. Optimization of transit total bus stop time models. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 3(2), 146–153.

[17] J. Montoya, D. Escobar, and C. Moncada. 2024. Spatial coverage analysis of public transport bus stops through a citizen perception study. Case study: Manizales – Colombia. Case Studies on Transport Policy, 16, 101213.

การเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่าง เครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพากับโฟมพิมพ์เท้า

An accuracy comparison between the portable 3D footprinter and the foam foot impression

วรัญญา รัตนสุมาวงศ์[1*] ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: 6670223921@student.chula.ac.th*

Warunya Ratanasumawong[1*], Phairoat Ladavichitkul[2]

[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: 6670223921@student.chula.ac.th *

บทคัดย่อ

ความแม่นยำของเครื่องมือใหม่ที่ถูกพัฒนามาใช้ทดแทนเครื่องมือเดิม เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้สร้างความน่าเชื่อถือต่อการนำไปใช้งานจริง เครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยหลักโครงสร้างสุญญากาศ ทดแทนการใช้โฟมพิมพ์เท้า เพื่อลดต้นทุนในกระบวนการสร้างแผ่นรองฝ่าเท้าเฉพาะบุคคล รอยฝ่าเท้า 12 ข้างจากผู้เข้าร่วมการทดสอบจำนวน 6 คน ได้ถูกพิมพ์ลงบนเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาและโฟมพิมพ์เท้า รอยฝ่าเท้าที่ได้ถูกสร้างรูปร่างรอยฝ่าเท้าดิจิตอลด้วยเครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติ โดยมีความละเอียดของพิกัดพื้นผิวรอยฝ่าเท้าที่ 1 ตารางมิลลิเมตร วิเคราะห์ตัวชี้วัด 5 ตัว ได้แก่ ความยาวเท้า ความกว้างเท้า ความสูงเฉลี่ยจากทุก ๆ 1 ตารางมิลลิเมตรในพื้นที่ Forefoot, Midfoot และ Hindfoot ผลการทดสอบทางสถิติแบบ t-test เปรียบเทียบตัวชี้วัดทั้ง 5 ระหว่างโฟมพิมพ์เท้าและเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา สามารถนำมาใช้ทดแทนโฟมพิมพ์เท้าได้โดยให้ความแม่นยำที่เท่าเดิม

คำสำคัญ: โฟมพิมพ์เท้า, เครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา, เครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติ

Abstract

The accuracy of the new tool developed to replace the old tool is an important factor in establishing the reliability of its actual application. The 3D foot printer was developed using the principle of a vacuum structure, replacing the foam foot mold in order to reduce the cost of creating a personalized insole. 12 footprints from 6 subjects were printed on the portable 3D footprint printer and foam foot mold. The digital footprints were created using the 3D scanner, which can measure the coordinates of the footprints surface every 1 mm.^{2}, analyze 5 indicators: foot length, foot width, average height from every 1 mm.^{2} of the forefoot, midfoot and hindfoot areas. The results of the t-test analysis found that there were not significantly different, indicating that the portable 3D footprint printer can be used to replace the foam footprint with the same accuracy.

Keywords: Foam foot mold, Portable 3D foot printer, 3D scanner

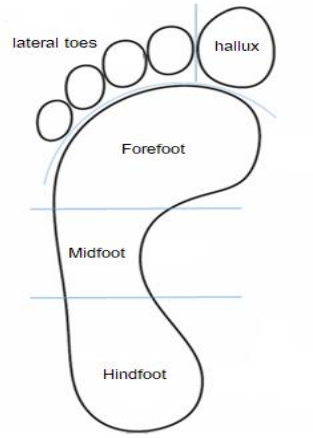
1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

มีการศึกษาเรื่องการพัฒนากระบวนการผลิตแผ่นรองฝ่าเท้าในผู้ป่วยเบาหวาน เป็นการพัฒนาเครื่องเก็บรอยฝ่าเท้าที่สามารถใช้งานได้หลายครั้ง เพื่อทดแทนการใช้โฟมพิมพ์เท้า โดยเป็นชุดพิมพ์รอยฝ่าเท้าที่มีลักษณะเป็นกล่องควบคุมความดันระบบปั๊มสุญญากาศและคงรูปรอยพิมพ์เท้า ได้ทดลองโดยการเปรียบเทียบความยาวและความกว้างของรอยฝ่าเท้าระหว่างโฟมพิมพ์เท้าและเครื่องเก็บรอยฝ่าเท้า [1] ซึ่งยังไม่ได้มีการเปรียบเทียบส่วนเว้าส่วนโค้งของพื้นผิว

เทคโนโลยีการพิมพ์รอยฝ่าเท้าในปัจจุบันประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภท คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการพิมพ์รอยฝ่าเท้า และเครื่องสแกนรอยฝ่าเท้าแปลงเป็นไฟล์ดิจิตอล สำหรับเทคโนโลยีของแม่พิมพ์ที่ใช้เก็บรอยฝ่าเท้า พบว่าเมื่อใช้เท้าประทับลงไปที่กล่องโฟมพิมพ์เท้า จากนั้นใช้มือช่วยกดเท้าให้กดยุบลงไปจนเกิดรอยฝ่าเท้า พบว่าลักษณะของโฟมจะพังลงมา ข้อเสีย คือ อาจเสียรูปได้ง่าย ใช้ครั้งเดียวและต้องทิ้งเป็นขยะ ส่วนการใช้เครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา (Vacuummatic) เมื่อกดเท้าของผู้รับการพิมพ์เท้าลงไป แล้วลดความดันโดยการเปิดปั๊มสุญญากาศเพื่อให้รูปเท้าคงที่ จากนั้นยกเท้าออก จะได้รอยฝ่าเท้าตามขนาดของเท้าของผู้รับการพิมพ์เท้า โดยลักษณะของรอยฝ่าเท้าที่ได้จะเบี้ยดออกตามรูปร่างเท้า ซึ่งมีความกระชับและเป็นรูปร่างของเท้ามากกว่าใช้โฟมพิมพ์เท้า ข้อดี คือ สามารถใช้ซ้ำได้ไม่ก่อให้เกิดขยะ เคลื่อนย้ายสะดวก จากนั้นใช้เครื่องสแกนวัตถุแบบ 3 มิติ คือ 3D scanner einstar ในการสแกนรอยฝ่าเท้าที่ได้ โดย 3D scanner einstar จะมีความละเอียดของกล้องอยู่ที่ 0.1 ถึง 3 มิลลิเมตร มีความแม่นยำในการสแกนอยู่ที่ 0.1 มิลลิเมตร (100 ไมครอน) มีการใช้เทคโนโลยี LiDAR (Light detection and ranging) ในการสแกนวัตถุ ซึ่งช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลเชิงลึกและรายละเอียดของวัตถุได้อย่างแม่นยำ โดย LiDAR จะใช้แสงเลเซอร์ในการวัดระยะห่างระหว่างเครื่องสแกนกับวัตถุเพื่อสร้างโมเดล 3 มิติ โดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared sensors) ซึ่งเป็นคลื่นอินฟราเรดในการจับข้อมูลพื้นที่ 3 มิติ มีการทำงานร่วมกันระหว่างโปรเจ็กเตอร์อินฟราเรด VCSEL (Infra-red VCSEL (Vertical cavity surface emitting laser) Laser structured light source) 3 เครื่อง, กล้องสเตอริโอความลึก 2 ตัว และกล้อง RGB 1 ตัว พร้อมกัน [2] จะเห็นได้ว่า ความแตกต่างของเทคโนโลยีที่ใช้ในการเก็บรอยฝ่าเท้า โดยมีวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปต่างกัน ส่งผลให้ความแม่นยำที่ได้ไม่เท่ากัน โดยประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยในระยะใกล้ คือ ได้มีเทคนิคการนำเสนอในการเปรียบเทียบพื้นผิว และประโยชน์ในระยะยาวเพื่อเป็นการยืนยันว่าเครื่องสามารถทดแทนโฟมได้ ซึ่งจะช่วยให้ในการขึ้นรูปรอยฝ่าเท้าสามารถใช้ที่พิมพ์ซ้ำได้ ไม่ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บโฟมที่ยังไม่พิมพ์ เคลื่อนย้ายได้สะดวก มีต้นทุนต่ำ

ได้มีการพัฒนาเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้าใหม่ ที่สามารถพกพา มีน้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายได้สะดวก จึงได้มีการเปรียบเทียบความยาวเท้าซึ่งเป็นระยะจากด้านหลังของส้นเท้าถึงปลายนิ้วเท้าที่ยาวที่สุด ระหว่างนิ้วโป้งหรือนิ้วชี้ และความกว้างเท้าที่เป็นระยะสูงสุดระหว่างพื้นผิวด้านใน (Medial) และพื้นผิวด้านนอก (Lateral) ของเท้าที่ตั้งฉากกับแกนตามยาวของเท้า [3] จากงานวิจัยสำรวจความผิดปกติของเท้าและข้อจำกัดของข้อต่อที่ส่งผลต่อการเพิ่มแรงกดที่ฝ่าเท้าซึ่งสัมพันธ์กับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของแผลที่เท้าในผู้ป่วยเบาหวาน โดยการศึกษาจากการแบ่งพื้นที่เท้าเป็น 5 พื้นที่ ได้แก่ Hindfoot (ระยะความยาวจากปลายส้นเท้าถึง 28% ของความยาวเท้าทั้งหมด), Midfoot (ระยะความยาวจากปลายพื้นที่ Hindfoot ถึง 22% ของความยาวเท้าทั้งหมด), Forefoot (ระยะความยาวจากปลายพื้นที่ Midfoot ถึง 30% ของความยาวเท้าทั้งหมด), Lateral toes (65% ของความยาวเท้าที่เหลือ) และ Hallux (35% ของความยาวเท้าที่เหลือ) [4] ดังแสดงในรูปที่ 1 การออกแบบแผ่นรองฝ่าเท้า ได้กำหนดให้ Lateral toes และ Hallux เป็นพื้นที่เรียบ การเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์แค่ 3 พื้นที่ ได้แก่ Forefoot, Midfoot และ Hindfoot



รูปที่ 1 แบ่งเท้าเป็น 5 พื้นที่ ได้แก่ Hindfoot, midfoot, forefoot, lateral toes and hallux [4]

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

เปรียบเทียบรอยฝ่าเท้าที่ได้จากการใช้เครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพากับโฟมพิมพ์เท้า

2. ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

2.1 ผู้เข้าร่วมวิจัย

กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัคร จำนวน 6 คน ชาย 2 คน และหญิง 4 คน ส่วนสูงตั้งแต่ 153-173 เซนติเมตร น้ำหนักตั้งแต่ 43-76 กิโลกรัม ขนาดรองเท้าตั้งแต่ (EU) 35 - 40 และดูด้วยตาเปล่าว่ากลุ่มตัวอย่างไม่มีความผิดปกติของโครงสร้างเท้า เช่น ภาวะอุ้งเท้าแบน การมีข้อนิ้วหัว

แม่เท้าหลวม การมีรูปร่างของกระดูกหัวแม่เท้าผิดปกติ การมีกระดูกนิ้วเท้าชิ้นหนึ่งที่ยาวผิดปกติ มีการเอียงของกระดูกนิ้วหัวแม่เท้า [5]

ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้เข้าร่วมวิจัย	เพศ	ส่วนสูง (cm)	น้ำหนัก (kg)	ขนาดรองเท้า (EU)
1	ชาย	159.0	64.5	38.0
2	หญิง	167.0	57.0	38.5
3	ชาย	173.0	76.0	40.0
4	หญิง	159.0	55.4	37.0
5	หญิง	153.0	43.0	35.5
6	หญิง	162.0	55.0	37.0

2.2 สถานที่เก็บข้อมูล

ห้องปฏิบัติการการยศาสตร์ ชั้น 8 อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

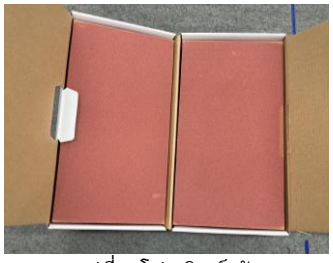
3D scanner einstar, เครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา, โฟมพิมพ์เท้า และคาลิเปอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 2 3D scanner einstar



รูปที่ 3 เครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา



รูปที่ 4 โฟมพิมพ์เท้า



รูปที่ 5 คาลิเปอร์ (Martin type caliper)

2.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

2.4.1 การเก็บข้อมูลรอยฝ่าเท้าด้วยโฟมพิมพ์เท้า

2.4.1.1 ผู้เข้าร่วมวิจัยลงนามในหนังสือให้ความยินยอม จากนั้นสอบถามข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย ได้แก่ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง ไซส์รองเท้า

2.4.1.2 เก็บข้อมูลความกว้างและความยาวของเท้าด้วยคาลิเปอร์ โดยไม่วัดซ้ำ

2.4.1.3 เก็บรอยฝ่าเท้าโดยวิธีนั่งลงบนเก้าอี้ จากนั้นผู้เข้าร่วมวิจัยใช้เท้าประทับลงไปที่กล่องโฟมพิมพ์เท้า ผู้พิมพ์ใช้มือกดเท้าให้ยุบลงไปจนเกิดรอยฝ่าเท้า ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 นำเท้าประทับลงไปที่กล่องโฟมพิมพ์เท้า และใช้มือกดเท้าให้ยุบ

2.4.1.4 สแกนรอยฝ่าเท้าด้วย 3D scanner einstar ดังแสดงในรูปที่ 7 จะได้รอยฝ่าเท้าที่ได้จากการสแกน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 สแกนรอยฝ่าเท้าด้วย 3D scanner einstar



รูปที่ 8 รอยฝ่าเท้าที่ได้จากการสแกน

2.4.2 การเก็บข้อมูลรอยฝ่าเท้าด้วยเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา

2.4.2.1 ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งที่เก้าอี้ โดยนั่งชิดปลายเก้าอี้ หัวเข่างอตั้งฉาก 90 องศา กับพื้น โดยพิมพ์ครั้งละ 1 ข้าง

2.4.2.2 กดเท้าของผู้เข้าร่วมวิจัยลงไป ดังแสดงในรูปที่ 9 จากนั้น กดปุ่มปรับสภาพควบคุมให้เครื่องให้ถุงพิมพ์รอยฝ่าเท้าแข็งเพื่อให้รูปเท้าคงที่ จากนั้นยกเท้าออก จะได้รอยฝ่าเท้าตามขนาดของเท้าของผู้เข้าร่วมวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 10



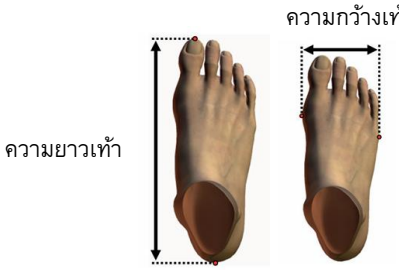
รูปที่ 9 กดเท้าของผู้เข้าร่วมวิจัยลงไป



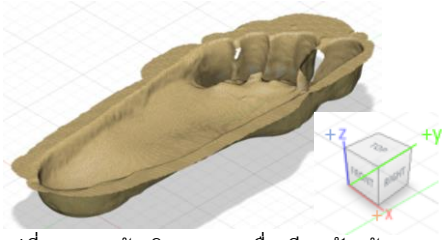
รูปที่ 10 รอยฝ่าเท้าที่ได้จากการพิมพ์

2.4.2.3 สแกนรอยฝ่าเท้าด้วย 3D scanner einstar

2.4.3 ปรับจุดกลางส้นเท้า ไปที่ Origin (0,0,0) จากนั้น ปรับ 3 จุด คือ 1st Metatarsal point, 5th Metatarsal point และ Center of heel point ให้อยู่ในระนาบเดียวกัน แล้วปรับแนวเส้นที่ลากผ่านจาก Heel point ไปจนถึงนิ้วชี้ให้อยู่บนแกน Y ในโปรแกรม Autodesk Fusion จากนั้น วัดความกว้างและความยาวของรอยฝ่าเท้าทั้งที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้าและเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา โดยไม่วัดซ้ำ ตามรูปที่ 11 จากพิกัด (x,y,z) สำหรับนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูล โดยแสดงแกนอ้างอิง (x,y,z) เมื่อเทียบกับเท้าดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 วัดขนาดของรูปเท้าในส่วนความกว้างและความยาว [3]

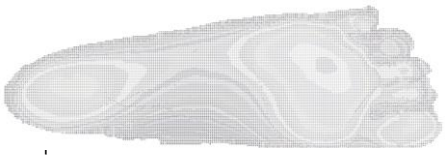


รูปที่ 12 แกนอ้างอิง (x,y,z) เมื่อเทียบกับเท้า

2.4.4 นำไฟล์นามสกุล .stl ที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Fusion มาแปลงจุดต่างๆ บนพื้นผิวรอยฝ่าเท้าเป็นพิกัด XYZ จะได้เป็นไฟล์นามสกุล .XYZ จากนั้น นำไฟล์ที่ได้มาเปิดในโปรแกรม Microsoft Excel จัดเรียงข้อมูลใหม่ โดยที่พิกัด X แสดงตำแหน่งในแนว Column พิกัด Y แสดงตำแหน่งในแนว Row และพิกัด Z แสดงความสูง จัดการทำความสะอาดข้อมูล (Data cleaning) เติมข้อมูลในเซลล์ที่หายไป โดยเฉลี่ยตัวเลขจากเซลล์รอบข้าง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้ครบทุกเซลล์ และลบข้อมูลส่วนที่อยู่นอกรอยฝ่าเท้าออก แสดงรอยฝ่าเท้าก่อนและหลังการทำความสะอาดข้อมูล ดังรูปที่ 13 และ 14 ตามลำดับ จากนั้น หาค่าเฉลี่ยความสูงในแต่ละพื้นที่ แล้วนำไปวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 13 รอยฝ่าเท้าก่อนการทำความสะอาดข้อมูล



รูปที่ 14 รอยฝ่าเท้าหลังการทำความสะอาดข้อมูล

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบความแตกต่างของความกว้างเท้า, ความยาวเท้า, ความสูงเฉลี่ยในพื้นที่ Forefoot, Midfoot และ Hindfoot ที่ได้จากการเก็บรอยฝ่าเท้าทั้งสองวิธี คือ รอยฝ่าเท้าจากโฟมพิมพ์เท้าและรอยฝ่าเท้าที่ได้จากเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา ว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

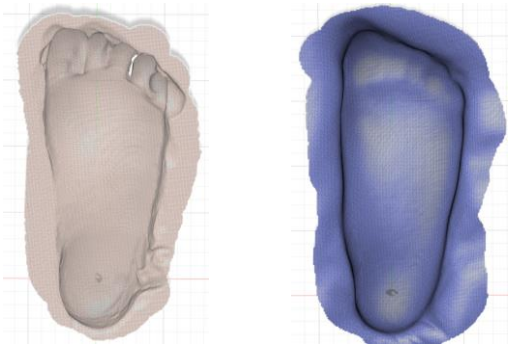
ในทุก ๆ 1 ตารางมิลลิเมตรของรอยฝ่าเท้า มีค่าความสูง 1 ค่า จึงนำความสูงเฉลี่ยแต่ละพื้นที่เท้ามาเป็นตัวชี้วัด เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบความแตกต่างของพื้นผิวที่ได้ โดยที่

- ความสูงเฉลี่ยในพื้นที่ Forefoot คือ ค่าเฉลี่ยความสูงในพื้นที่ Forefoot
- ความสูงเฉลี่ยในพื้นที่ Midfoot คือ ค่าเฉลี่ยความสูงในพื้นที่ Midfoot
- ความสูงเฉลี่ยในพื้นที่ Hindfoot คือ ค่าเฉลี่ยความสูงในพื้นที่ Hindfoot

ทดสอบเปรียบเทียบปัจจัยของเครื่องมือที่ใช้พิมพ์รูปฝ่าเท้า ได้แก่ เครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาและโฟมพิมพ์เท้า โดยใช้สถิติทดสอบความแตกต่างแบบ t-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีสมมติฐานหลัก H_0 : ค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาและโฟมพิมพ์เท้าไม่แตกต่างกัน

3. ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ตัวอย่างผลการเก็บข้อมูล ของผู้เข้าร่วมวิจัยคนที่ 4 เท้าข้างขวา นำเสนอในรูปแบบของ 3D Contour ดังแสดงรอยฝ่าเท้าจากการสแกนในรูปที่ 15



รูปที่ 15 รอยฝ่าเท้าจากการสแกนระหว่างโฟมพิมพ์เท้า (รูปซ้าย) และเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา (รูปขวา)

3.2 วิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลในส่วนความกว้างและความยาวเท้าที่วัดได้จากคาลิเปอร์และจากพิกัด (x,y,z) ในโปรแกรม Autodesk Fusion พร้อมความแตกต่างของค่าที่ได้ระหว่างเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพากับคาลิเปอร์, ระหว่างโฟมพิมพ์เท้ากับคาลิเปอร์ และระหว่างโฟมพิมพ์เท้ากับเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา และความสูงเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่เท้าที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้าและเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา ดังแสดงในตารางที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ความกว้างเท้า (mm)

ผู้เข้าร่วมวิจัย	เท้า	ความกว้างเท้า (A)	โฟมพิมพ์เท้า (B)	เครื่องพิมพ์ (C)	C – A	B – A	B - C
1	L	100.0	105.0	106.3	6.3	5.0	-1.2
	R	92.0	103.3	101.2	9.2	11.3	2.1
2	L	87.0	96.4	90.3	3.3	9.4	6.1
	R	89.0	101.3	90.6	1.6	12.3	10.7
3	L	113.0	117.6	112.2	-0.8	4.6	5.4
	R	106.0	112.4	112.6	6.6	6.4	-0.2
4	L	89.0	92.9	84.7	-4.3	3.9	8.2
	R	87.0	92.2	90.9	3.9	5.2	1.4
5	L	90.0	95.3	93.6	3.6	5.3	1.7
	R	88.0	99.0	92.6	4.6	11.0	6.5
6	L	79.0	88.2	84.9	5.9	9.2	3.3
	R	84.0	92.3	86.7	2.7	8.3	5.7
$\bar{X}$					3.5	7.7	4.1
SD					11.7	7.9	11.6

ตารางที่ 3 ความยาวเท้า (mm)

ผู้เข้าร่วมวิจัย	เท้า	ความยาวเท้า (A)	โฟมพิมพ์เท้า (B)	เครื่องพิมพ์ฯ (C)	C – A	B – A	B - C
1	L	244.0	248.6	245.7	1.7	4.6	2.9
	R	238.0	243.5	240.9	2.9	5.5	2.6
2	L	245.0	247.4	249.2	4.2	2.4	-1.7
	R	247.0	250.8	249.6	2.6	3.8	1.3
3	L	265.0	272.4	265.7	0.7	7.4	6.7
	R	265.0	269.0	261.3	-3.7	4.0	7.6
4	L	228.0	224.5	226.6	-1.4	-3.5	-2.1
	R	231.0	227.4	233.8	2.8	-3.6	-6.3
5	L	225.0	229.2	228.6	3.6	4.2	0.6
	R	225.0	231.9	222.2	-2.8	6.9	9.7
6	L	232.0	235.5	230.6	-1.4	3.5	4.8
	R	232.0	237.3	234.8	2.8	5.3	2.4
$\bar{X}$					1.0	3.4	2.4
SD					6.5	11.3	18.6

ตารางที่ 4 ความสูงเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่เท้า (mm)

ผู้เข้าร่วมวิจัย	เท้า	โฟมพิมพ์เท้า			เครื่องพิมพ์ฯ			D - G	E - H	F - I
		พื้นที่ Forefoot (D)	พื้นที่ Midfoot (E)	พื้นที่ Hindfoot (F)	พื้นที่ Forefoot (G)	พื้นที่ Midfoot (H)	พื้นที่ Hindfoot (I)			
1	L	15.0	22.4	14.2	6.3	14.1	9.5	8.6	8.3	4.7
	R	12.0	20.8	11.1	7.2	15.0	9.9	4.8	5.8	1.3
2	L	12.5	19.3	15.4	8.2	12.9	13.0	4.3	6.5	2.3
	R	6.0	11.4	9.6	6.4	9.9	9.8	-0.4	1.5	-0.2
3	L	6.0	10.4	6.9	8.7	14.7	13.8	-2.7	-4.3	-6.9
	R	6.3	12.1	7.9	7.0	12.4	12.8	-0.8	-0.3	-4.9
4	L	7.6	15.2	10.0	6.8	11.8	12.1	0.8	3.5	-2.1
	R	6.2	12.7	9.2	5.8	12.6	10.7	0.4	0.1	-1.5
5	L	10.1	16.3	10.0	8.7	14.1	12.0	1.4	2.2	-2.1
	R	6.0	10.6	7.0	7.5	11.8	11.0	-1.6	-1.2	-4.0
6	L	7.8	15.1	10.3	6.3	12.7	11.5	1.6	2.5	-1.3
	R	5.8	12.1	9.2	7.2	13.3	12.2	-1.4	-1.2	-3.0

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบทางสถิติแบบ t-Test ระหว่างโฟมพิมพ์เท้าและเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา

ตัวชี้วัด	t_0	t Critical two-tail
ความกว้าง	1.072	2.074
ความยาว	0.233	2.074
Forefoot	1.305	2.160
Midfoot	1.545	2.145
Hindfoot	-1.729	2.110

จากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลในส่วนของความยาวเท้า ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าค่าผลต่างระหว่างเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาให้ผลต่างที่คลาดเคลื่อนจากค่าที่วัดจากคาลิเปอร์ ดีกว่า ผลต่างที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้า อยู่ 11 ข้าง จาก 12 ข้าง เห็นได้จากเท้าข้างซ้ายและขวาของผู้เข้าร่วมวิจัยคนที่ 1 และ 3 ถึง 6 และจากเท้าข้างขวาของผู้เข้าร่วมวิจัยคนที่ 2 ซึ่งค่าผลต่างที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.7 และคลาดเคลื่อนมากที่สุดอยู่ที่ 3.7 ในส่วนของความกว้างเท้า ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่าผลต่างระหว่างเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาให้ผลต่างที่คลาดเคลื่อนจากค่าที่วัดจากคาลิเปอร์ ดีกว่า ผลต่างที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้า อยู่ 9 ข้าง จาก 12 ข้าง เห็นได้จากเท้าข้างขวาของผู้เข้าร่วมวิจัยคนที่ 1 และ 4, จากเท้าข้างซ้ายของผู้เข้าร่วมวิจัยคนที่ 3 และจากเท้าข้างซ้ายและขวาของผู้เข้าร่วมวิจัยคนที่ 2 และ 5 ถึง 6 ซึ่งค่าผลต่างที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.8 และคลาดเคลื่อนมากที่สุดอยู่ที่ 9.2 จะเห็นได้ว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างระหว่างเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพากับค่าที่วัดได้จากคาลิเปอร์ของความกว้างมากกว่าความยาว และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างระหว่างโฟมพิมพ์เท้ากับค่าที่วัดได้จากคาลิเปอร์กับผลต่างระหว่างโฟมพิมพ์เท้ากับเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาของความกว้างน้อยกว่าความยาว เนื่องจากในส่วนของความยาว มีบางค่าที่วัดได้จากโฟมพิมพ์เท้าน้อยกว่าค่าที่ได้จากคาลิเปอร์และจากเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา เมื่อนำมาคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากสูตร $\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}$ จะได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก ส่งผลให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวมากกว่าความกว้าง นอกจากนี้ ความยาวที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้ามีขนาดใกล้เคียงกับความยาวที่วัดได้จากคาลิเปอร์ เนื่องจากในส่วนของ Forefoot และ Hindfoot จะกดลงไปในแนวตรง แต่ในส่วนของ Forefoot ซึ่งอยู่เหนือพื้นที่อื่นของเท้า ผู้วิจัยต้องใช้แรงในการกดย้ำ เพื่อให้ Forefoot จมลงให้เกิดรอยเท้าที่พื้นอุ้งเท้า ส่งผลให้โฟมด้านซ้ายและขวา ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใช้วัดความกว้างเท้าเกิดการทลายของโฟมได้มากกว่าตำแหน่งอื่น ทำให้ความกว้างที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้าคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่วัดได้จากคาลิเปอร์ค่อนข้างมาก อีกทั้งการกดขึ้นรูปรอยฝ่าเท้าของโฟม ลักษณะโฟมจะเกิดการพังทลายต่างจากเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาที่จะมีความกระชับและ

เป็นรูปร่างของเท้ามากกว่าใช้โฟมพิมพ์เท้า ดังนั้น เพื่อให้น้ำหนักตัวเป็นส่วนช่วยในการลงน้ำหนักให้รอยเท้าที่ได้มีความชัดเจนและกดขึ้นรูปในครั้งเดียว อาจเปลี่ยนท่าทางของผู้ร่วมวิจัยในการเก็บรอยฝ่าเท้าจากเดิม ท่านั่ง เปลี่ยนเป็น ท่ายืน

นำผลการเก็บข้อมูลความกว้างเท้า, ความยาวเท้า และความสูงเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่เท้า แสดงในตารางที่ 2, 3 และ 4 มาวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติแบบ t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงในตาราง 5 พบว่าในส่วนของความกว้างเท้า ได้ผลของค่าสถิติ t_0 = 1.072 ซึ่งน้อยกว่าค่า t critical = 2.074, ในส่วนของความยาวเท้า ได้ผลของค่าสถิติ t_0 = 0.233 ซึ่งน้อยกว่าค่า t critical = 2.074, ในพื้นที่ Forefoot ได้ผลของค่าสถิติ t_0 = 1.305 ซึ่งน้อยกว่าค่า t critical = 2.160, ในพื้นที่ Midfoot ได้ผลของค่าสถิติ t_0 = 1.545 ซึ่งน้อยกว่าค่า t critical = 2.145 และในพื้นที่ Hindfoot ได้ผลของค่าสถิติ t_0 = -1.729 (ความสูงเฉลี่ย ในพื้นที่ Hindfoot ที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้ามีค่าน้อยกว่าที่ได้จากเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา) ซึ่งน้อยกว่าค่า t critical = 2.110 แสดงว่าค่าความกว้างเท้า, ค่าความยาว, ค่าความสูงเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาและโฟมพิมพ์เท้าทั้ง 3 พื้นที่เท้าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ส่วนใหญ่ค่าความกว้างและค่าความยาวเท้าที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้ามากกว่าเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา โดยผลต่างของความกว้างระหว่างโฟมพิมพ์เท้ากับเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพามากสุดอยู่ที่ 10.7 มิลลิเมตร และน้อยสุดอยู่ที่ 1.4 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลต่างของความยาวระหว่างโฟมพิมพ์เท้ากับเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา มากสุดอยู่ที่ 9.7 มิลลิเมตร และน้อยสุดอยู่ที่ 0.6 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 3 นอกจากนั้นพื้นที่ Forefoot และ Midfoot มีแนวโน้มของค่าความสูงเฉลี่ยที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้าสูงกว่าเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา แต่พื้นที่ Hindfoot มีแนวโน้มของค่าความสูงเฉลี่ยที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้าต่ำกว่าเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา โดยผลต่างของค่าความสูงเฉลี่ยระหว่างโฟมพิมพ์เท้ากับเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาในพื้นที่ Forefoot มากสุดอยู่ที่ 8.6 มิลลิเมตร และน้อยสุดอยู่ที่ 0.4 มิลลิเมตร, ผลต่างของค่าความสูงเฉลี่ยระหว่างโฟมพิมพ์เท้ากับเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาในพื้นที่ Midfoot มากสุดอยู่ที่ 8.3 มิลลิเมตร และน้อยสุดอยู่ที่ 0.1 มิลลิเมตร และผลต่างของค่าความสูงเฉลี่ยระหว่างโฟมพิมพ์เท้ากับเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาในพื้นที่ Hindfoot มากสุดอยู่ที่ 6.9 มิลลิเมตร และน้อยสุดอยู่ที่ 0.2 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4 กล่าวได้ว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการพิมพ์รอยฝ่าเท้าต่างกัน ส่งผลต่อค่าการวัดที่แตกต่างกัน

4. สรุปผลงานวิจัย

จากการผลการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าค่าความกว้างและความยาวเท้าที่ได้จากการเก็บรอยฝ่าเท้าด้วยเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดจากคาลิเปอร์ ส่วนใหญ่ค่าความกว้างและความยาวเท้าที่ได้จากการเก็บรอยฝ่าเท้าด้วยโฟมพิมพ์เท้ามีขนาดใหญ่กว่าค่าที่ได้จากเครื่องเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพา และพบว่าค่าความกว้าง, ค่าความยาว และความสูงเฉลี่ยทั้ง 3 พื้นที่เท้าที่ได้จากเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาแตกต่างจากค่าที่ได้จากโฟมพิมพ์เท้าอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าเครื่องพิมพ์รอยฝ่าเท้า 3 มิติ แบบพกพาสามารถนำมาใช้แทนโฟมพิมพ์เท้าได้ และเกณฑ์ในการยอมรับความผิดพลาดในการวัดจะขึ้นกับแต่ละประเภทงานที่ผู้นำข้อมูลนี้ไปใช้ในการศึกษาต่อ

สำหรับงานวิจัยในอนาคตอาจเพิ่มกลุ่มตัวอย่างเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นทางสถิติ, เพิ่มพื้นที่เท้าที่ใช้ทดสอบให้มีหลายพื้นที่มากขึ้น โดยนำเรื่องของอาการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นและตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับการกระจายแรงที่อยู่ตามฝ่าเท้ามาใช้ในการแบ่งพื้นที่, เปรียบเทียบสแกนเนอร์แบบต่างๆ และหาเครื่องสแกนเนอร์ที่ราคาถูกลง

เอกสารอ้างอิง

[1] พงศ์พันธ์ วาทะสุนทรพงศ์. (2562). กระบวนการผลิตอย่างรวดเร็วของแผ่นรองฝ่าเท้าโดยใช้เทคโนโลยีซีเอ็นซี. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[2] Einstar. “EINSTAR-Prosumer Portable 3D Scanner”. Online document https://www.einstar.com/products/prosumer-portable-3d-scanner accessed on Jan 3, 2025

[3] ISO 7250-1. (2017). Basic human body measurements for technological design-Part 1: Body measurement definitions and landmarks. In: ISO Switzerland.

[4] Chuter, V. H., Spink, M. J., David, M., Lanting, S., & Searle, A. (2021). Clinical foot measurements as a proxy for plantar pressure testing in people with diabetes. Journal of foot and ankle research, 14, 1-9.

[5] “บทความสุขภาพ 4 สาเหตุ “นิ้วเท้าเก””. Online document https://www.vejthani.com/th/2021/04/4-สาเหตุ-นิ้วเท้าเก/ accessed on Jan 3, 2025

การวิเคราะห์ความต้องการของผู้บริโภคต่อปัจจัยการให้บริการร้านค้าด้วยโมเดลของคาโน

Analysis of Consumer Demand for Store Service Factors with Kano's Model

สุวรรณี อยู่รักษา[1] ปิยะ รนต์ละออง[1]* ภาษิต ทินนาม[1] ศุภพัชร พวงแก้ว[2] กิติศักดิ์ ฉิมกลิ่น[3]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการโซ่อุปทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[3]ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: piya.ro@bsru.ac.th *

Suwannee Yooraksa[1], Piya Rontlaong[1]*, Pasit Tinam[1], Supapat Phuangkaew[2], Kitisak Chimklin[3]
[1]Department of Industrial Engineering and Supply Chain Management, Faculty of Engineering and Technology
Bansomdejchaopraya Rajaphat University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Krungthep
[3]Teacher Training in Mechanical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: piya.ro@bsru.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของลูกค้าต่อการเข้ารับบริการในร้านค้ากรณีศึกษา แบบจำลองของ Kano ถูกนำไปใช้ในการพัฒนาการให้บริการสำหรับลูกค้าเพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว จำนวนลูกค้าทั้งหมด 32 คนเข้าร่วมการศึกษานี้ แบบจำลองนี้ถูกนำไปใช้ในการออกแบบแบบสอบถามเพื่อสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของการให้บริการของร้านค้ากรณีศึกษา คุณลักษณะที่ส่งผลให้มีความพึงพอใจสูงจะถูกนำเข้าไปในการออกแบบการให้บริการ การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองของ Kano แสดงให้เห็นว่าการให้บริการร้านค้ากรณีศึกษาตอบสนองความต้องการของลูกค้าปัจจัยดังนี้ ร้านค้ามี app แสดงรายละเอียดสินค้าผ่านมือถือได้ ร้านค้ามีบริการ Wi-Fi มีน้ำร้อนหรือไมโครเวฟบริการอุ่นอาหาร ร้านค้าจะแจกขนมฟรีในช่วงเทศกาล ร้านค้ามีกิจกรรมในช่วงปีใหม่สุ่มจับของขวัญ สามารถซื้อสินค้าผ่าน LINE พร้อมจัดส่งฟรี ร้านค้ามีสินค้าของใช้ทั่วไป ไฟฟ้า ประปา จำหน่าย ร้านค้ามีสินค้าราคาต่ำกว่าร้านอื่น และมีส่วนลดราคาสินค้า การศึกษาครั้งนี้ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความต้องการของลูกค้า ซึ่งจะช่วยแนะนำการให้บริการของร้านค้ากรณีศึกษาที่ส่งผลให้ลูกค้ามีความพึงพอใจเพิ่มมากขึ้น พร้อมยังมีการหารือถึงข้อจำกัดและการวิจัยในอนาคตด้วย

คำสำคัญ: โมเดลของคาโน การให้บริการ ความพึงพอใจของลูกค้า

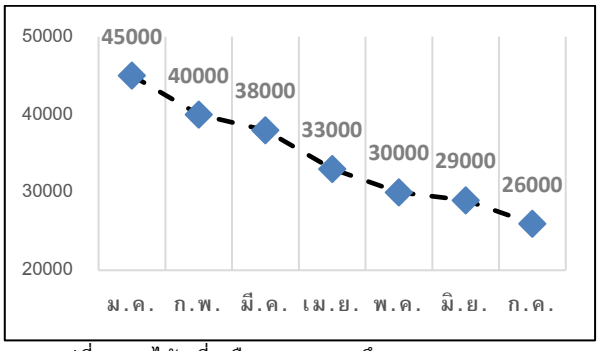
Abstract

The study aimed to identify the factors that influence customer decisions towards in-store service visits. Kano's model was applied to improve customer service to achieve this goal. A total of 32 clients participated in this study. This model was applied in the questionnaire design to explore customer satisfaction with the various features of the service provided by the case study store. An analysis using Kano's model shows that providing a case study store meets the needs of the customer, the following factors: Stores have mobile product detail display application, Wi-Fi is available in the shop, hot water or microwave is available. Stores will give away free snacks during the festival. Stores have activities during the New Year to randomly draw gifts, and you can buy products via LINE with free shipping. Stores have general necessities, electricity, plumbing, and sales. This study provides insight into customer needs, which will help guide the service of the case study store that results in increased customer satisfaction. Limitations and future research will also be discussed.

Keywords: Kano Model, Service, Customer Satisfaction

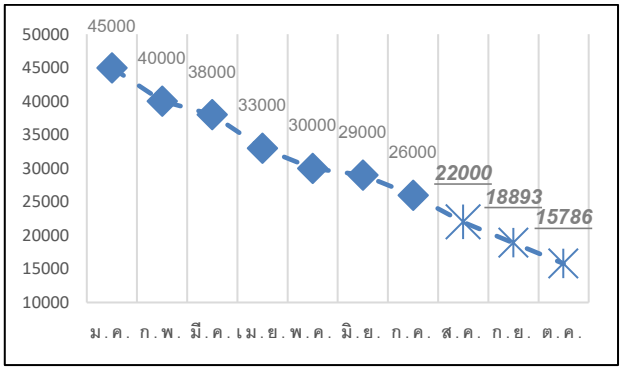
1. บทนำ

ปัจจุบันการบริการร้านค้าเกี่ยวข้องกับการตอบสนองความต้องการของลูกค้าและสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้ซื้อ ร้านค้ามักจะเกิดขึ้นจากแนวคิดในการขายสินค้าและบริการที่สามารถตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคได้ โดยเฉพาะในสังคมที่มีการแลกเปลี่ยนสินค้าและบริการ ซึ่งบริการที่ดีในร้านค้าไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้า แต่ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างชื่อเสียงของร้านค้าในการบริการ ร้านค้าได้พัฒนาไปตามสภาพแวดล้อมทางสังคม เศรษฐกิจ และเทคโนโลยี เช่น การใช้เทคโนโลยีในการสื่อสาร หรือการนำเสนอสินค้าในรูปแบบใหม่ๆ เป็นต้น บริการที่ดีสามารถสร้างความแตกต่างให้กับร้านค้าในตลาดที่มีการแข่งขันสูง ทำให้ลูกค้ารู้สึกว่าได้รับความใส่ใจและคุณค่าในทุกการซื้อสินค้า การบริการของร้านค้ามีความสำคัญเพื่อส่งผลต่อความสำเร็จและความยั่งยืนในธุรกิจการบริการที่ดีช่วยให้ลูกค้ารู้สึกประทับใจและรู้สึกพึงพอใจซึ่งสามารถกระตุ้นให้พวกเขากลับมาซื้อซ้ำ การบริการร้านค้าจะต้องเผชิญกับสภาวะการเปิดร้านค้าใหม่และทำให้เกิดการแข่งขันมากยิ่งขึ้นจึงทำเกิดการทำให้ยอดขายลดลง โดยข้อมูลปัจจุบันยอดขายของร้านค้ากรณีศึกษามีแนวโน้มยอดจำหน่ายสินค้ามีปริมาณที่ลดลง ส่งผลให้รายได้ต่อเดือนลดลง แสดงดังรูปที่ 1 โดยมีรายได้เฉลี่ยตั้งแต่เดือน ม.ค. ถึง ก.ค. เท่ากับ 34,429 บาท



รูปที่ 1 รายได้เฉลี่ยเดือน มกราคม ถึง กรกฎาคม พ.ศ.2567

จากข้อมูลรูปที่ 1 ผู้วิจัยจึงได้ทำการพยากรณ์ไปล่วงหน้าอีก 3 เดือน (ส.ค. ถึง ต.ค.) โดยวิธีสมการถดถอยอย่างง่าย (Simple Linear Regression) พบว่ายอดขายจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 2



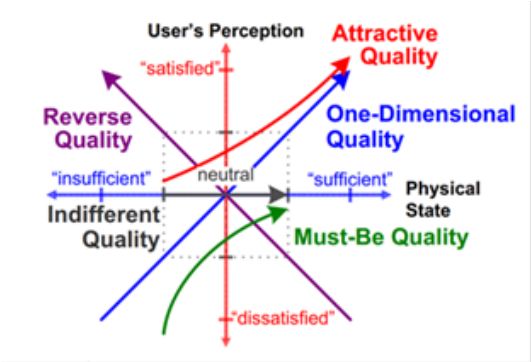
รูปที่ 2 รายได้เดือน มกราคม ถึง ตุลาคม พ.ศ.2567

จากรูปที่ 2 พบว่าถ้ายังไม่มีการปรับปรุง พัฒนาหากลยุทธ์ที่ตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้า อาจจะส่งผลให้รายได้เฉลี่ยต่อเดือนมีค่าลดลงจนอยู่ในสภาวะขาดทุน และส่งผลให้ต้องปิดกิจการในที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการให้บริการลูกค้าของร้านค้ากรณีศึกษาด้วยโมเดลของคาโน เพื่อนำปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการของลูกค้าโดยผ่านการวิเคราะห์ด้วยโมเดลของคาโนมาทำการปรับปรุงพัฒนาร้านค้าให้มีความแตกต่างจากร้านค้าทั่วไป เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเหมาะสม และส่งผลให้ยอดขายเพิ่มมากขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองของคาโน (Kano Model)

แบบจำลองคาโนเครื่องมือในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับคุณลักษณะของสินค้าหรือบริการที่ลูกค้ารับรู้ต่อระดับ ความพึงพอใจของลูกค้า โดยการนำเสนอรูปแบบความต้องการของลูกค้า ซึ่งรูปแบบแรกเป็นรูปแบบพื้นฐานคือ จำเป็นต้องมี (Must-Be) รูปแบบที่สองเป็นรูปแบบทิศทางเดียวกันหรือหนึ่งมิติ (One-Dimensional) และรูปแบบที่สามเป็นรูปแบบน่าสนใจหรือดึงดูดใจ (Attractive) ต่อมาได้มีการนำเสนอเพิ่มรูปแบบเพิ่มอีกสอง รูปแบบคือรูปแบบไม่มีความแตกต่าง (Indifference) และรูปแบบทิศทางตรงกันข้าม (Reverse) ซึ่งทั้ง 5 รูปแบบมีรายละเอียด ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวแบบโมเดลของคาโน [1]

1. คุณลักษณะพื้นฐาน (Must-be Attributes) เป็นคุณลักษณะที่ผลิตภัณฑ์และบริการ “ต้องมี” ซึ่งหากคุณลักษณะ นี้ไม่ตอบสนองต่อลูกค้า ลูกค้าจะเกิดความไม่พึงพอใจทันที และแม้ว่าลูกค้าจะได้รับในคุณลักษณะนี้แล้วก็ตาม ลูกค้าก็ไม่ได้มี ความพึงพอใจเพิ่มขึ้น

2. คุณลักษณะมิติเดียว (One-dimensional Attributes) เป็นคุณลักษณะที่มีผลต่อความพึงพอใจเป็นสัดส่วนกัน กล่าวคือ หากผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการส่งมอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ดีมากยิ่งขึ้นเท่าไร ความพึงพอใจของลูกค้า จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น โดยความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงแบบแปรผันตรง

3. คุณลักษณะแบบดึงดูด (Attractive Attributes) เป็นคุณลักษณะที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากความคาดหวังของลูกค้า แต่อยู่นอกเหนือสิ่งที่คาดการณ์ไว้ หากไม่มีคุณลักษณะนี้ ก็ไม่ได้ส่งผลต่อความไม่พึงพอใจ

ของลูกค้า แต่หากสามารถตอบสนอง ได้ จะส่งผลให้ลูกค้าเกิดความประทับใจและดึงดูดใจ คุณลักษณะนี้สามารถสร้างประสบการณ์ที่ดีแก่ลูกค้าเกิดความภักดีต่อ ตราผลิตภัณฑ์และบริการ หากต้องการเป็นผู้นำเหนือคู่แข่งในตลาด จำเป็นต้องสร้างคุณลักษณะนี้

4. คุณลักษณะแบบเฉย ๆ (Indifferent Attributes) เป็นคุณลักษณะที่ลูกค้ารู้สึกเฉย ๆ แม้ว่าจะส่งมอบคุณภาพ ประเภทนี้ให้แก่ลูกค้าก็ตาม คุณลักษณะประเภทนี้ก็ไม่ส่งผลให้ลูกค้ารู้สึกพึงพอใจหรือไม่พึงพอใจแต่อย่างใด

5. คุณลักษณะแบบตรงข้าม (Reverse Attributes) เป็นคุณลักษณะที่ลูกค้าเมื่อได้รับ ทำให้ลูกค้ารู้สึกไม่พอใจ ในทางกลับกัน หากลูกค้าไม่ได้รับคุณลักษณะประเภทนี้ ลูกค้าจะรู้สึกพอใจ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าโมเดลของคาโนได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในศึกษาปัจจัยเพื่อใช้ออกแบบทั้งผลิตภัณฑ์ และการบริการ ได้แก่ การศึกษาปัจจัยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ถุงน้ำนม [2] การออกแบบผลิตภัณฑ์ช่วยการนอนหลับของผู้สูงอายุ [3] การวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการของรถแท็กซี่ [4] การวิเคราะห์ความต้องการและความพึงพอใจของผู้โดยสารต่อการให้บริการรถไฟความเร็วสูงของประเทศไทย [5] จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยได้นำเทคนิคโมเดลของคาโนมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบผลิตภัณฑ์หรืองานบริการ ดังนั้นผู้วิจัยได้นำโมเดลของคาโนมาประยุกต์ใช้ เพื่อแยกประเภทปัจจัยที่มีผลต่อการเข้ารับบริการของลูกค้าของร้านค้ากรณีศึกษา เพื่อนำปัจจัยดังกล่าวที่ผ่านการวิเคราะห์มาปรับปรุงการให้บริการลูกค้าของร้านค้ากรณีศึกษาเพื่อที่จะสามารถแข่งขันในธุรกิจต่อไปได้

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาความต้องการของลูกค้า

ดำเนินการนำข้อมูลความต้องการของผู้โดยสารในการที่จะได้รับการบริการของร้านค้าจากผู้ตอบแบบสอบถามออนไลน์ (Google Form) มาแปลผลข้อมูลด้วยการใช้ตารางประเมินความต้องการคาโน (Kano Evaluation Table) เพื่อกำหนดคุณลักษณะตามข้อมูลความต้องการของผู้ตอบแบบสอบถามแต่ละคนเพื่อมาหาคุณลักษณะของระดับความพึงพอใจ A O M I R และ Q ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางประเมินความต้องการของคาโน (Kano Evaluation Table)

Service Requirement		Dysfunctional form of question				
		I like it that way	It must be that way	I am neutral	I can live with it that way	I dislike it that way
Functional form of question	I like it that way	Q	A	A	A	O
	It must be that way	R	I	I	I	M
	I am neutral	R	I	I	I	M
	I can live with it that way	R	I	I	I	M
	I dislike it that way	R	R	R	R	Q

3.2 ประเมินสัดส่วนความพึงพอใจและความไม่พึงพอใจ (Customer satisfaction coefficient)

นำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมานับจำนวนความถี่ที่เกิดให้อยู่ในรูปร้อยละความถี่ นำค่าร้อยละของแต่ละระดับความพึงพอใจ A O M I R และ Q มาคำนวณหาสัดส่วนความพึงพอใจและความไม่พึงพอใจ (Customer satisfaction coefficient) ในแต่ละคุณลักษณะดังสมการที่ 1 และ 2

$$Satisfaction = \frac{A+O}{A+O+M+I} \quad (1)$$

$$Dissatisfaction = \frac{M+O}{A+O+M+I} \quad (2)$$

3.3 ประเมินค่าดัชนีความพึงพอใจ (Customer satisfaction Index)

คำนวณค่าดัชนีความพึงพอใจ (Customer satisfaction Index) ด้วยการเปรียบเทียบหาสัดส่วนความแตกต่างกันของค่าสมบูรณ์ของค่าความไม่พึงพอใจ (|Dissatisfaction|) กับค่าความพึงพอใจ (Satisfaction) ดังสมการที่ 3

$$Customer\ satisfaction\ index = \frac{|Dissatisfaction|}{Satisfaction} \quad (3)$$

3.4 จัดกลุ่มของปัจจัยตามคุณลักษณะโมเดลของคาโน

นำค่า Dissatisfaction และ Satisfaction ของแต่ละคุณลักษณะที่ได้จากการคำนวณมาสร้างกราฟโดยให้แกน Y เป็น Satisfaction และแกน X เป็น Dissatisfaction จะเป็นการพิจารณาการกระจายของคุณลักษณะต่างๆ ด้วยกราฟ และดำเนินการแบ่งช่วงความพึงพอใจของคุณลักษณะต่างๆในกราฟวิธี Analytical Kano (A-Kano) Classification เพื่อทำการจำแนกคุณลักษณะเพื่อจัดคุณสมบัติว่าอยู่ในกลุ่มประเภทใด

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมถึงการค้นพบจากการพัฒนาแบบสอบถามที่ออกแบบมาเพื่อประเมินความต้องการของลูกค้าต่อการให้บริการของร้านค้ากรณีศึกษาซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างอายุระหว่าง 15 ถึง 60 ปี จากนั้นข้อมูลที่รวบรวมได้จะถูกวิเคราะห์เพื่อกำหนดดัชนีความพึงพอใจของลูกค้า โดยปัจจัยให้บริการของร้านค้าแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์

No.	Attribute
A1	ร้านค้ามี app แสดงรายละเอียดสินค้าผ่านมือถือได้
A2	ร้านค้าเปิด-ปิด 05.00-24.00 นาฬิกา
A3	ร้านค้ามีโต๊ะให้นั่งสำหรับลูกค้า
A4	ร้านมีที่จอดรถ
A5	ร้านค้ามีสินค้าของใช้ทั่วไป ไฟฟ้า ประปา จำหน่าย

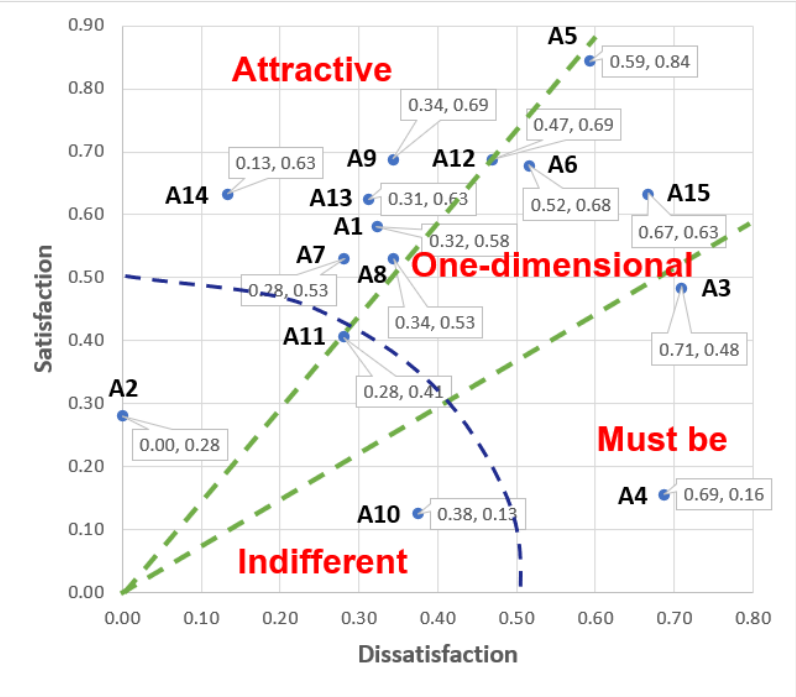
No.	Attribute
A6	ร้านค้ามีสินค้าราคาต่ำกว่าร้านอื่น
A7	ร้านค้ามี Wi-Fi บริการ
A8	มีน้ำร้อนหรือไมโครเวฟบริการอุ่นอาหาร
A9	ร้านค้าจะแจกขนมฟรีในเทศกาล ปีใหม่ สงกรานต์
A10	ร้านค้ามีบริการเป็นคนกลางซื้อของที่ลูกค้าต้องการ
A11	ร้านค้าจะตกแต่งร้านทุกเทศกาลเช่น ปีใหม่ ตรุษจีน สงกรานต์
A12	ร้านค้ามีกิจกรรมในช่วงปีใหม่สุ่มจับของขวัญให้ลูกค้า
A13	สามารถซื้อสินค้าผ่าน LINE พร้อมจัดส่งฟรี
A14	ร้านค้ามีบริการฝากรับ-ส่งวัสดุ
A15	มีส่วนลดราคาสินค้า

เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างที่ตอบแบบสอบถามในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงร้านค้ากรณีศึกษามีจำนวนผู้อยู่อาศัยประมาณ 50 ครัวเรือนจึงทำให้มีผู้ตอบแบบสอบถามมีปริมาณไม่มาก โดยข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถาม 32 ชุดได้รับการวิเคราะห์ โดยก่อนที่ผู้วิจัยจะนำแบบสอบถามไปใช้งาน ได้ทำการตรวจสอบ ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของแบบสอบถามด้วยค่า Cronbach 's Alpha ได้เท่ากับ 0.8786 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.80 สรุปผลได้ว่า แบบสอบถามมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) ส่งผลให้แบบสอบถามมีความเหมาะสมในการเก็บข้อมูล [7-9] เพื่อหาค่าความถี่ของระดับความพึงพอใจแต่ละระดับ ได้แก่ A O M I R และ Q จากนั้นจึงคำนวณอัตราส่วนความพึงพอใจ (Satisfaction: S) และความไม่พอใจ (Dissatisfaction: D) และค่าดัชนีความพึงพอใจ (CSI) สำหรับแต่ละคุณลักษณะของปัจจัย ดังสมการ 1, 2 และ 3 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรคุณลักษณะของการให้บริการร้านค้า

No	Attribute	A	O	M	I	R	Q	Total	D	S	CSI	Categories
A1	ร้านค้ามี app แสดงรายละเอียดสินค้าผ่านมือถือได้	***12***	6	4	9	0	1	32	-0.32	0.58	0.56	A
A2	ร้านค้าเปิด-ปิด 05.00-24.00 นาฬิกา	9	0	0	***23***	0	0	32	0.00	0.28	0.00	I
A3	ร้านค้ามีโต๊ะให้นั่งสำหรับลูกค้า	8	7	***15***	1	0	1	32	-0.71	0.48	1.47	M
A4	ร้านมีที่จอดรถ	0	5	***17***	10	0	0	32	-0.69	0.16	4.40	M
A5	ร้านค้ามีสินค้าของใช้ทั่วไป ไฟฟ้า ประปา จำหน่าย	13	***14***	1	4	0	0	32	-0.47	0.84	0.56	O
A6	ร้านค้ามีสินค้าราคาต่ำกว่าร้านอื่น	8	***13***	3	7	0	1	32	-0.52	0.68	0.76	O
A7	ร้านค้ามีบริการ Wi-Fi	***12***	5	4	11	0	0	32	-0.28	0.53	0.53	A
A8	มีน้ำร้อนหรือไมโครเวฟบริการอุ่นอาหาร	***12***	5	6	9	0	0	32	-0.34	0.53	0.65	A
A9	ร้านค้าจะแจกขนมฟรีในช่วงเทศกาล	***12***	10	1	9	0	0	32	-0.34	0.69	0.50	A
A10	ร้านค้ามีบริการเป็นคนกลางซื้อของที่ลูกค้าต้องการ	2	2	10	***18***	0	0	32	-0.38	0.13	3.00	I
A11	ร้านค้าจะตกแต่งร้าช่วงเทศกาล	7	6	3	***16***	0	0	32	-0.28	0.41	0.69	I
A12	ร้านค้ามีกิจกรรมในช่วงปีใหม่สุ่มจับของขวัญ	***12***	10	5	5	0	0	32	-0.47	0.69	0.68	A
A13	สามารถซื้อสินค้าผ่าน LINE พร้อมจัดส่งฟรี	***12***	8	2	10	0	0	32	-0.31	0.63	0.50	A
A14	ร้านค้ามีบริการฝากรับ-ส่งวัสดุ	***17***	2	2	9	1	1	32	-0.13	0.63	0.21	A
A15	มีส่วนลดราคาสินค้า	1	***18***	2	9	1	1	32	-0.67	0.63	1.05	O

จากตารางที่ 3 ค่าความไม่พึงพอใจ (D) และความพึงพอใจ (S) ของแต่ละคุณลักษณะจะถูกวาดลงบนกราฟ แกน Y แสดงถึงความพึงพอใจ ในขณะที่แกน X แสดงถึงความไม่พึงพอใจ ซึ่งแสดงการกระจายของคุณลักษณะต่าง ๆ จากนั้นช่วงความพึงพอใจของแต่ละคุณลักษณะจะถูกกำหนดบนกราฟโดยใช้วิธีการจำแนกประเภทแบบวิเคราะห์คาโน (A-Kano) วิธีนี้ทำให้สามารถจำแนกคุณลักษณะปัจจัยทั้ง15 ประเภทเป็นหมวดหมู่ A O M I R และ Q ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การจำแนกประเภทปัจจัยด้วยกราฟแบบจำลองคาโน (A-Kano)

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ชัดว่าไม่มีคุณลักษณะใดได้รับการจัดประเภทภายใต้หมวดหมู่ R และ Q ตามหลักการของ Kano Model คุณลักษณะส่วนใหญ่ ได้แก่ A1, A7, A8, A9, A12, A13 และ A14 ได้รับการจัดประเภทเป็น Attrative (A) "น่าดึงดูด" คุณลักษณะ A3 และ A4 ได้รับการจัดประเภทเป็น Must be (M) "จำเป็น" คุณลักษณะ A5, A6 และ A15 ได้รับการกำหนดให้เป็น One-dimentional (O) "มิติเดียว" นอกจากนี้ คุณลักษณะ A2, A10 และ A11 ได้รับการจัดประเภทเป็น Indifference (I) "เฉยๆ"

การศึกษาครั้งนี้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้าเกี่ยวกับการเข้ารับบริการร้านค้ากรณีศึกษา ผ่านการใช้แบบจำลอง Kano ซึ่งประกอบด้วยคุณลักษณะ 15 ประการ พบว่าคุณลักษณะต่างๆ เช่น ร้านค้ามี app แสดงรายละเอียดสินค้าผ่านมือถือได้ (A1) ร้านค้ามีบริการ Wi-Fi (A7) มีน้ำร้อนหรือไมโครเวฟบริการอุ่นอาหาร (A8) ร้านค้าจะแจกขนมฟรีในช่วงเทศกาล (A9) ร้านค้ามีกิจกรรมในช่วงปีใหม่สุ่มจับของขวัญ (A12) สามารถซื้อสินค้าผ่าน LINE พร้อมจัดส่งฟรี (A13) และมีบริการรับฝาก-ส่งพัสดุ (A14) อยู่ในหมวดหมู่ของความน่าดึงดูด (Attractive: A) ซึ่งบ่งชี้ว่ามีอิทธิพลอย่างมากต่อความพึงพอใจของลูกค้าในระดับของบริการที่ให้ [6] คุณลักษณะเหล่านี้ถือว่าน่าดึงดูดใจและสามารถใช้เป็นส่วนประกอบของกลยุทธ์การตลาดเชิงรุกและกลวิธีดึงดูดลูกค้าเมื่อเทียบกับคู่แข่ง ในทางกลับกัน ร้านค้ามีโต๊ะให้นั่งสำหรับลูกค้า (A3) และร้านมีที่จอดรถ (A4) จัดอยู่ในประเภทจำเป็น (Must be: M) ซึ่งแสดงถึงการรับรู้ที่คุณลักษณะของบริการจำเป็นต้องมี เพราะถ้าไม่มีจะส่งผลต่อความไม่พึงพอใจของลูกค้า ในทางกลับกัน ร้านค้ามีสินค้าของใช้ทั่วไป ไฟฟ้า ประปา จำหน่าย (A5) ร้านค้ามีสินค้าราคาต่ำกว่าร้านอื่น (A6) และมีส่วนลดราคาสินค้า (A15) จัดอยู่ในประเภทมิติเดียว (One-dimentional: O) ซึ่งแสดงถึงการรับรู้ที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์และบริการ ซึ่งนำไปสู่ความพึงพอใจของลูกค้าที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน เมื่อการรับรู้ที่ลดลงเกี่ยวกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์และบริการ ความพึงพอใจของลูกค้าก็ลดลง สุดท้าย คุณสมบัติต่างๆ เช่น ร้านค้าเปิด-ปิด 05.00-24.00 นาฬิกา (A2) ร้านค้ามีบริการเป็นคนกลางซื้อของที่ลูกค้าต้องการ (A10) และร้านค้าจะตกแต่งร้าช่วงเทศกาล (A11) ถูกจัดประเภทเป็นไม่สนใจ (Indifference: I) ซึ่งบ่งชี้ว่าการมีหรือไม่มีคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์และบริการเหล่านี้ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้าอย่างมีนัยสำคัญ จากมุมมองอื่น ไม่ว่าจะมีคุณลักษณะเหล่านี้หรือไม่ก็ตาม ระดับความพึงพอใจยังคงไม่เปลี่ยนแปลง

5. สรุปผล

การศึกษานี้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของร้านค้ากับความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้าโดยใช้แบบจำลอง Kano พบว่าคุณลักษณะกลุ่ม Attractive (A) เช่น แอปแสดงรายละเอียดสินค้า บริการ Wi-Fi มีน้ำร้อนหรือไมโครเวฟไว้อุ่นอาหาร และการแจกขนมในช่วงเทศกาล มีกิจกรรมช่วงปีใหม่ สามารถซื้อสินค้าผ่าน LINE พร้อมส่งฟรี มีบริการรับฝาก-ส่งพัสดุ

มีผลเชิงบวกต่อความพึงพอใจและเป็นกลยุทธ์ดึงดูดลูกค้า ส่วนกลุ่ม Must-be (M) เช่น โต๊ะนั่งและที่จอดรถ เป็นปัจจัยจำเป็นที่หากขาดไปจะส่งผลให้ลูกค้าไม่พึงพอใจ กลุ่ม One-dimensional (O) เช่น มีสินค้าทั่วไปประเภทไฟฟ้า ประปา ราคาสินค้าถูกกว่าร้านอื่นและมีส่วนลดราคา ส่งผลต่อระดับความพึงพอใจโดยตรง ในขณะที่กลุ่ม Indifference (I) เช่น เวลาเปิดปิดร้าน 05.00-24.00 น. ร้านค้าเป็นคนกลางซื้อสินค้า และการตกแต่งร้านช่วงเทศกาล ไม่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการวิเคราะห์คุณลักษณะปัจจัยการให้บริการของร้านค้ากรณีศึกษา จึงมุ่งหวังที่จะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการให้บริการร้านค้าที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเหมาะสมที่สุดและแข่งขันในตลาดได้

6. ข้อจำกัดและการวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ดำเนินการด้วยขนาดตัวอย่างที่จำกัด โดยมุ่งเน้นไปที่กลุ่มผู้ใช้บริการร้านค้ากรณีศึกษาเฉพาะกลุ่ม เพื่อเพิ่มความสามารถในการสรุปผลและความแข็งแกร่งของผลการวิจัย การวิจัยในอนาคตจะขยายขนาดตัวอย่างและรวมกลุ่มผู้เข้าร่วมที่มีความหลากหลายมากขึ้น สำหรับการออกแบบงานบริการของร้านค้ากรณีศึกษาโดยใช้การปรับใช้ฟังก์ชันคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) [10,11] เพื่อพัฒนาบริการที่ตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดียิ่งขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโครงการยกระดับขีดความสามารถคณาจารย์สู่ความเป็นเลิศทางการสอนและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 4.0 หัวข้ออบรมเรื่อง “Innovative Product Design and Development-PDD” ซึ่งอยู่ภายใต้โครงการ Reinforcing Non-University Sector at the Tertiary Level in Engineering and Technology to Support Thailand Sustainable Smart Industry - ReCap 4.0

เอกสารอ้างอิง

[1] R. E. Zultner and G. H. Mazur, "The Kano model: recent developments," in Transactions from The Eighteenth Symposium on Quality Function Deployment, 2006.

[2] S. Phuangkaew, P. Phuangkaew and P. Rontlaong, "Application of the Kano Model in the Design and Development of a Breastmilk Cooler Bag" in 2024 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2024.

[3] L. Liu, A. Zhang, L. Zhang, and J. Xu, "Research on emotional design of intelligent sleep products for the elderly based on Kano model and customer satisfaction and dissatisfaction coefficients," in 2021 2nd International Conference on Intelligent Design (ICID), 2021, pp. 528-531.

[4] T. Dhiratanuttdilok and P. Pasunon (2021). “Analysis of Service Quality of Taxi Passengers through Kano Model: Developing from Customer’s Perspective.” Creative Business and Sustainability Journal, 43(3), 64–82.

[5] กฤษฎา ดลปัญญา. (2023). “การวิเคราะห์ความต้องการและความพึงพอใจของผู้โดยสารต่อการให้บริการรถไฟความเร็วสูงของประเทศไทยด้วยโมเดลของคาโน.” วารสารวิทยาการจัดการมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, ปีที่ 5 ฉบับที่ 3, 116–130.

[6] K. Matzler, H. H. Hinterhuber, F. Bailom, and E. Sauerwein, "How to delight your customers," Journal of Product & Brand Management, vol. 5, pp. 6-18, 1996.

[7] G. Sittironnarit, R. Sripen, and S. Phattharayuttawat. (2022), Psychometric Properties of the Thai Mental Health Literacy Scale in Sixth-Year Medical Students. *Siriraj Medical Journal*, *74*(2), 100–107.

[8] ศุภามณ จันทร์สกุล และอนันต์ตรี สมิทธิ์นราเศรษฐ์. (2022). “การพัฒนาแบบวัดคุณภาพชีวิตสำหรับนักศึกษาพยาบาล.” วารสารวิจัยการพยาบาลและวิทยาศาสตร์สุขภาพ, ปีที่ 14 ฉบับที่ 2, 67-82.

[9] พิชญกร วโรตมะกุล สงวน ลือเกียรติบัณฑิต และวรนุช แสงเจริญ. (2020). “การพัฒนาแบบวัดความแตกฉานทางสุขภาพสาหรับชาวไทยโดยประเมินจากทักษะที่สาคัญ.” Thai Journal of Pharmacy Practice, ปีที่ 12 ฉบับที่ 2, 364-378.

[10] N. Wasulipigorn and P. Jomtong. (2022) “Application of Quality Function Deployment for Fruit and Vegetable Washing Machine Design Planning”, sej, vol. 18, no. 1, pp. 1–14.

[11] N. Srimai, R, Sinthavalai, S. Suthummanon, and K. Auckara-aree. (2019). Development of Rubber Metal Glue for Using in an Automotive Industry by Quality Function Deployment Technique. Thai Industrial Engineering Network Journal, 5(2), 46–54.

การจัดสมดุลการผลิตและการออกแบบผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

Line Balancing and Designing Electronic Component Production Processes

ศรัณย์กร เหมมงคลทรัพย์[1*] วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ[2]
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: sarunkorn.h@gmail.com*

Sarunkorn Hemmongkolsup[1*], Wipawee Tharmmaphornphilas[2]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: sarunkorn.h@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและปรับปรุงการจัดวางผัง ของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และกำหนดจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสม เพื่อลดเวลาในการขนส่งชิ้นส่วน ลดเวลารอผลิต ลดงานระหว่างการผลิต และเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์ของระบบการผลิตโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ โรงงานตัวอย่างเป็นโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการวางเครื่องจักรและสถานีงานอย่างไม่สม่ำเสมอ ทำให้งานระหว่างการผลิตเคลื่อนกลับไปกลับมาและใช้เวลาในการขนส่งชิ้นส่วนมากขึ้น แนวคิดหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงสายการผลิต ได้แก่ การศึกษาเวลา การวิเคราะห์กระบวนการผลิต และการปรับสมดุลของสายการผลิต การปรับปรุงสายการผลิตใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตปัจจุบันเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสถานีงาน จากนั้นจึงจัดวางเครื่องจักรใหม่ให้สอดคล้องกับขั้นตอนการผลิต รวมถึงการปรับกระบวนการและการรวมสถานีงานเพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร โดยทำการปรับลดเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ให้มีอัตราการใช้ประโยชน์ที่เพิ่มมากขึ้นและควบคุมไม่ให้เกิน 80% หลังจากจำลองกระบวนการที่ปรับปรุงแล้ว อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรจะเพิ่มขึ้นจาก 48.42% เป็น 69.28% งานรอในกระบวนการผลิตเฉลี่ยลดลงจาก 20,432.77 ชิ้น เหลือ 18,833.50 ชิ้น (ลดลง 7.83%) เวลาในการรอผลิตของชิ้นงานเฉลี่ยลดลงจาก 12.12 ชั่วโมง เหลือ 9.51 ชั่วโมง (ลดลง 21.53%) และสามารถลดการใช้พื้นที่การผลิตจากเดิม 1,595 ตารางเมตร เหลือเพียง 801 ตารางเมตร 49.76% อีกทั้งยังสามารถช่วยลดต้นทุนการลงทุนด้านได้ 3,710,000 ดอลลาร์สหรัฐ โดยประมาณ

คำสำคัญ: การจัดสมดุลการผลิต, การออกแบบผังกระบวนการผลิต, การจำลองสถานการณ์, ปรับปรุงอัตราการใช้ประโยชน์

Abstract

This research aims to study and improve the layout of an electronic parts production process and determine the appropriate number of machines to reduce part transportation time, production waiting time, and work-in-process, and to increase the utilization rate of the production system using a simulation program. The case study factory is an electronic parts production factory with irregular machine and workstation layouts, which cause work-in-process to move inefficiently and increase the time spent transporting parts. The main concepts used in the analysis and improvement of the production line include time study, process analysis, and production line balancing. The production line improvement uses data from the analysis of the current production process to study the efficiency of the workstations. Then, the machines are rearranged to align with the production steps. This includes process adjustments and workstation consolidation to increase machine utilization. After simulating the improved process, the goal is to reduce the number of machines in the production process to increase the utilization rate and control it so that it does not exceed 80%. The machine utilization rate is projected to increase from 48.42% to 69.28%, the average work-in-process will decrease from 20,432.77 pieces to 18,833.50 pieces (a 7.83% decrease), the average production waiting time will decrease from 12.12 hours to 9.51 hours (a 21.53% decrease), and the production area usage can be reduced from 1,595 square meters to 801 square meters, a reduction of 49.76%. This can also help reduce investment costs by approximately 3,710,000 US dollars.

Keywords: Line Balancing, Layout Design, Simulation, Utilization Improvement

1. บทนำ

ธุรกิจการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นธุรกิจที่มีการใช้จำนวนเงินในการลงทุนค่อนข้างสูง การเพิ่มเครื่องจักร หรือการเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงขึ้น มักจะต้องการใช้จำนวนเงินในการลงทุนมหาศาล ก่อให้เกิดปัจจัยหลายประการที่ส่งผลกระทบทางด้านบริหารจัดการภายในองค์กร โดยเฉพาะในเรื่องของต้นทุนทั้งหมดในองค์กร ได้แก่ สถานที่ วัตถุดิบ ทรัพยากรมนุษย์ เครื่องจักร เป็นต้น ทรัพยากรและพลังงานที่ถูกใช้ไปมีหลายส่วนที่สูญเสียไปโดยไม่เกิดประโยชน์ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีความสำคัญอย่างมากที่ส่งผลต่อองค์กรให้บรรลุตามวัตถุประสงค์และผลประกอบการที่ได้กำหนดไว้ จึงจะใช้วิธีการปรับปรุงการวางแผนผังกระบวนการผลิต เพื่อการปรับสมดุลการผลิต และลดงานในกระบวนการ โดยการใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ เพื่อเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร และประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตให้เกิดประโยชน์มากขึ้น

โดยในปัจจุบันบริษัทในกรณีศึกษา ได้รับคำสั่งการผลิตของผลิตภัณฑ์ใหม่เพิ่มเข้ามาเป็นจำนวนมาก ทั้งจากลูกค้ากลุ่มเดิมและลูกค้ากลุ่มใหม่ ทำให้ทางบริษัทกรณีศึกษาจำเป็นที่จะต้องเพิ่มการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรที่มีอยู่ให้มากขึ้น เพื่อที่จะนำทรัพยากรที่เกินความต้องการสำหรับกระบวนการผลิตในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็น พื้นที่การผลิต เครื่องจักร และแรงงาน ไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น ให้สอดคล้องกับแผนการขยายธุรกิจของบริษัท

กระบวนการผลิตกรณีศึกษา ได้มีการวางเครื่องจักรและสถานีงานต่างๆ โดยจะคำนึงถึงพื้นที่ที่สามารถวางเครื่องจักรและสถานีงานได้เท่านั้น ส่งผลให้การส่งงานระหว่างกระบวนการมีความสับสนและระยะทางไกล อาจส่งผลให้เกิดงานในกระบวนการ (Work in process : WIP) ขึ้นเป็นจำนวนมาก

บริษัทกรณีศึกษา ยังมีโครงการติดตั้งสายการผลิตใหม่ที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบใหม่และไม่สามารถนำไปผลิตรวมอยู่ในสายการผลิตเดิมได้ และปัจจุบันโรงงานประสบปัญหาคือโรงงานมีพื้นที่ไม่เพียงพอต่อการตั้งสายการผลิตใหม่ ถ้าบริษัทในกรณีศึกษาไม่สามารถจัดการให้มีพื้นที่เพียงพอสำหรับติดตั้งสายการผลิตใหม่ได้จะส่งผลให้โรงงานไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ตามกำหนดส่งมอบ ซึ่งจะกระทบถึงยอดขายและความน่าเชื่อถือของบริษัท

กระบวนการผลิตในปัจจุบัน มีอัตราการใช้งานสายการผลิตเฉลี่ยเพียง 48 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะลดทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตลง โดยที่ต้องไม่กระทบกับกำลังการผลิตในปัจจุบัน

ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้ จึงมุ่งศึกษากระบวนการผลิต เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงแผนผัง และปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตเพื่อผลผลิตที่เพิ่มขึ้น เช่น การจัดสายการผลิตใหม่ ลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต การลดหรือแยกกระบวนการ และการจัดสรรทรัพยากร (การใช้ประโยชน์เครื่องจักร พื้นที่การผลิต และ กำลังการผลิต)

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงสายการผลิตโดยการใช้โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ โดยมีพื้นฐานการวิเคราะห์จากการศึกษากระบวนการทำงานและระบบการผลิต ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงเกี่ยวกับหลักการการศึกษาการทำงานและการปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยใช้โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การจัดสมดุลสายงานการผลิต [1] (Production Line Balancing) หมายถึง การพยายามที่จะจัดให้สถานีงานต่าง ๆ มีอัตราการทำงานหรือเวลาที่ใช้ในการผลิตแต่ละชิ้นนั้นเท่าๆ กัน หากว่าเวลาที่ใช้ในการผลิตไม่เท่ากันแล้วนั้น อัตราการผลิตสินค้าจะถูกกำหนดโดยเวลาการทำงานของสถานีงานที่มีการใช้เวลามากที่สุดนั่นก็คือ ลักษณะงานคอขวด (Bottleneck) ซึ่งเวลาที่ใช้ในสถานีงานที่เป็นตัวกำหนดอัตราการผลิตของสินค้า จะถูกเรียกว่า รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) ซึ่งหมายถึง เวลาระหว่างที่สินค้าดำเนินการเสร็จออกมาแต่ละชิ้น ซึ่งจะเท่ากับเวลาของสถานีงานที่ช้าที่สุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเกิดการรอคอยขึ้นในสถานีงานที่ใช้เวลาในการผลิตน้อยกว่าก่อให้เกิดการว่างงานขึ้น หรืออาจจะมีงานคงค้างปริมาณมากรอที่จะผ่านสถานีงานที่เป็นคอขวด โดยที่เราจะต้องพยายามทำให้เกิดขึ้นได้น้อยที่สุด โดยปกติแล้วการจัดสมดุลสายงานการผลิตจะต้องเริ่มด้วยการกำหนดรอบเวลาการผลิต ลำดับขั้นตอนงานต่าง ๆ รวมไปถึงเวลามาตรฐาน ของการทำงานแต่ละชิ้นของงานนั้นๆ ต่อจากนั้นพยายามรวมขั้นตอนงานเข้าด้วยกันให้เป็นสถานีงานโดยพยายามให้เกิดเวลาว่างทั้งหมดน้อยที่สุด ในกรณีที่มีจำนวนของสถานีงานมาก หรือน้อยไปอาจจัดใหม่โดยให้มีรอบเวลาในการผลิตมากขึ้นหรือน้อยลง

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) [2] เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพอย่างมากที่นำมาช่วยสำหรับการทำการศึกษาและวิเคราะห์หาผลลัพธ์ การออกแบบ การวางแผน การควบคุมงาน เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ ซึ่งมีระบบหรือขั้นตอนการทำงานที่มีความยุ่งยากซับซ้อน

Sombat et al. [3] ปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการใช้เวลาเตรียมงานเพื่อการผลิตที่เกิดขึ้น สามารถลดเวลาในการเตรียมงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยมีเป้าหมายการผลิตอยู่ที่ 200 ตัว/วัน ซึ่งกำลังการผลิตก่อนปรับปรุงอยู่ที่ 137 ตัว/วัน ประสิทธิภาพการผลิต 68.5% หลังจากการปรับปรุงกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 195 ตัวต่อวัน ประสิทธิภาพการผลิต 97.5% ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น 29%

Anurattananon et al. [4] ศึกษาการทำงานของของระบบงานจัดส่งพัสดุโดยใช้การจำลองสถานการณ์มาช่วยในการตัดสินใจ เพื่อหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการลูกค้า ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานและเครื่องจักรได้ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการส่งออกพัสดุได้มากขึ้นจากเดิมถึง 24.85% ซึ่งคิดเป็นมูลค่าจากพนักงานที่ลดลงจำนวน 6 คนได้ 117,000 บาท ต่อเดือน

Luangjamekorn et al. [5] ศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดพื้นที่ที่ใช้ในการผลิตลงด้วยการควบรวมสายการผลิต สามารถเพิ่มพื้นที่การผลิตได้เพียงพอตามที่ต้องการ โดยการลดสายการผลิตและนำผลิตภัณฑ์จากสายการผลิตที่ลดไปผลิตในสายการผลิตอื่นทำให้สามารถเพิ่มอัตราการใช้กำลังการผลิตจาก 32 % เป็น 55 %

Keaitnukul [6] จัดสมดุลสายการผลิตโครงอลูมิเนียม เพื่อให้สามารถส่งสินค้าให้ลูกค้าได้ทันตามกำหนด พบว่าจำนวนสถานีงานลดลง จาก 6 เหลือ 4 สถานีงาน ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 46.45% เป็น 84.38% ความแปรปรวนของภาระงานลดลง จาก 235.23 นาที เหลือ 41.72 นาที ลดลง 82.26%

Teshome et al. [7] มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตผ่านการปรับสมดุลสายการประกอบโดยใช้การสร้างแบบจำลอง วิเคราะห์สายการผลิตที่มีอยู่ ระบุคอขวด และปรับสมดุลสายการผลิตที่ได้รับการปรับปรุง ทำให้ผลผลิตรายวันเฉลี่ยเพิ่มจาก 293 หน่วยเป็น 381 หน่วย ประสิทธิภาพของสายการผลิตจาก 39.06% เป็น 55.64%

Yilmazlar et al. [8] การออกแบบผังโรงงานผ่านการบูรณาการการผลิตแบบลีน (Lean) ผังการผลิตใหม่ที่นำเสนอ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการได้ 7%

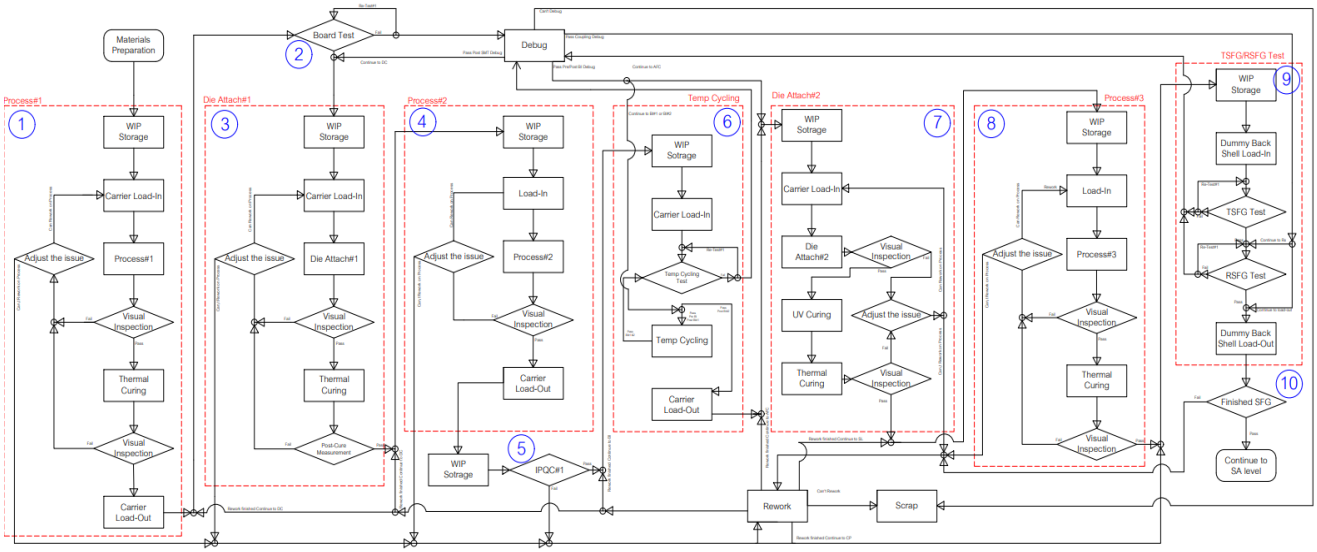
Chakroun et al. [9] งานวิจัยที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ การจำลองสถานการณ์ในการปรับปรุงการออกแบบการผลิตและการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักร พบว่าการเพิ่มจำนวนผู้ปฏิบัติงานจาก 10 เป็น 11 ส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มจาก 63 เป็น 80 ชิ้นต่อเดือน ในขณะที่เพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์ของผู้ปฏิบัติงานจาก 80% เป็น 90% ช่วยลดเวลาจาก 4.4 วัน เป็น 3.7 วัน ส่งผลให้พนักงานสามารถผลิตชุดการผลิตเดียวกันได้โดยใช้เวลาน้อยลง

Boonmee et al. [10] ปรับปรุงผังโรงงานสำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ ผังโรงงานในปัจจุบันได้ถูกทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลการวิจัยพบว่าระยะทางรวมของการขนย้ายในการผลิตของโรงงานมีค่าลดลงจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 47.48

3. การศึกษาระบบปัจจุบัน วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและแนวทางการปรับปรุงแก้ไขของการจัดสมดุลการผลิต

3.1 กระบวนการผลิต

ขั้นตอนและกระบวนการผลิต มีผังการไหลและมีกระบวนการหลักอยู่ทั้งหมด 10 กระบวนการ รูปที่ 1 แสดงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยที่สายการผลิตนี้ จะทำการผลิตในส่วนของ SFG level (Sub Finished Good) เริ่มตั้งแต่การรับงาน PCBA มาทำการหยอดกาวเพื่อยึดชิ้นส่วนในขั้นตอนแรก หลังจากนั้นจะนำงานเข้าสู่เครื่องทดสอบเพื่อตรวจสอบ ขั้นต่อไปจะนำงานไปติดชิ้นส่วนในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ขั้นตอนที่ 5 จะเป็นการตรวจสอบคุณภาพของตัวงาน เมื่องานผ่านการตรวจสอบ จะนำงานไปอบเป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยประมาณ โดยในขั้นตอนนี้จะมีการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอีก 3 ขั้นตอน เมื่องานผ่านเครื่องทดสอบในครั้งสุดท้าย งานจะถูกนำไปทำการติดชิ้นส่วนเพิ่มในกระบวนการที่ 7 และ 8 ในขั้นตอนที่ 9 จะเป็นการตรวจสอบการรับส่งสัญญาณของผลิตภัณฑ์ และในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการตรวจสอบคุณภาพอีกครั้ง หลังจากนั้นจะนำงานที่ได้จากกระบวนการนี้ เข้ากระบวนการผลิตในส่วน SA level (Sub Assembly) เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ตามความต้องการจากลูกค้าต่อไป



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของสายการผลิตของบริษัทตัวอย่าง

3.2 พื้นที่การผลิตและสถานีงาน

แผนผังพื้นที่ของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน ดังรูปที่ 2 เป็นการผลิตในห้องปิด ที่จะสามารถป้องกันอนุภาคขนาดเล็ก และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ดังนั้น พื้นที่การผลิตจึงต้องเป็นห้อง Clean Room ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการใช้พื้นที่นั้นมีราคาที่สูงมาก

3.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและแนวทางการแก้ไข

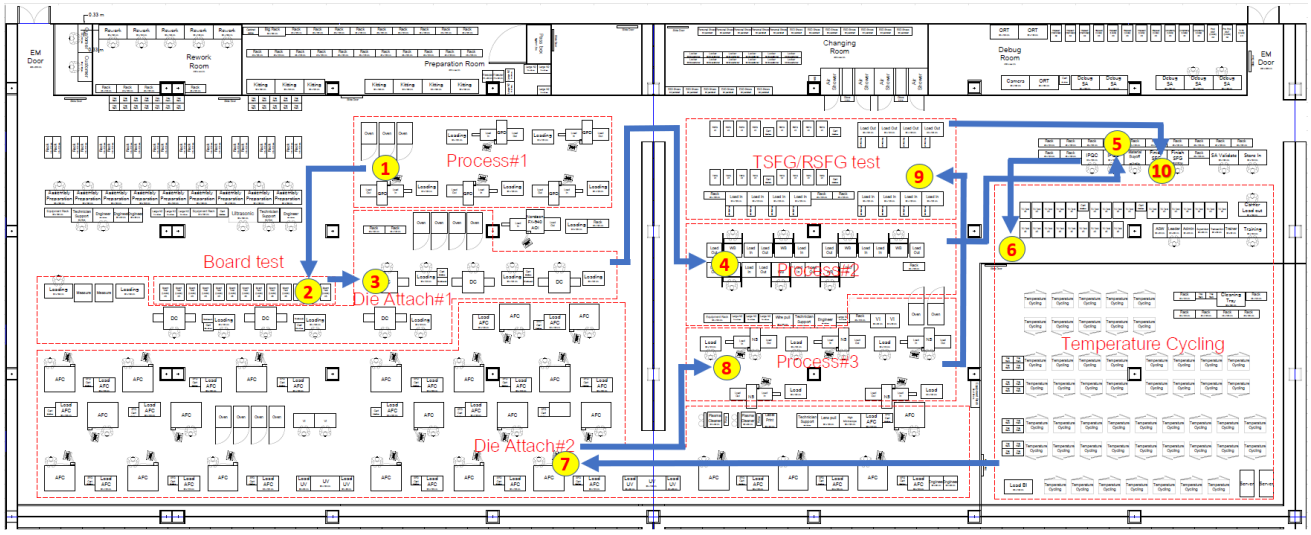
การจัดสมดุลของกระบวนการผลิต จำเป็นที่จะต้องใช้จำนวนเครื่องจักรและสถานีงานทั้งหมดที่มีอยู่ในปัจจุบัน ดังตารางที่ 1 เพื่อตรวจสอบดูว่าเครื่องจักรและสถานีงานใดบ้างที่มีกำลังการผลิตที่มากเกินความต้องการ เพื่อพิจารณาให้ปรับลดเครื่องจักร หรือเครื่องจักรใดที่เป็นคอขวด ก็จะพิจารณาปรับเพิ่มเครื่องจักรต่อไป

ปัญหาที่พบในปัจจุบัน กระบวนการผลิตในกรณีศึกษา ไม่ได้มีการกำหนดการวางตำแหน่งของเครื่องจักรตามการไหลของงานตามกระบวนการ เพียงแค่มีพื้นที่ว่างก็จะนำเครื่องจักร วางตรงตำแหน่งที่ว่างทันที โดยพยายามวางให้ใกล้กับเครื่องจักรในกระบวนการเดียวกัน ส่งผลให้พื้นที่การผลิตถูกใช้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ หรือบางพื้นที่ก็คับแคบจนเกินไปการไหลของงานในกระบวนการมีระยะทางไกลและสับสน ส่งผลให้การส่งงานระหว่างกระบวนการไหลอย่างไม่ต่อเนื่อง อีกทั้งยังส่งผลให้งานที่อยู่ในกระบวนการมีปริมาณที่สูง อีกทั้งยังพบว่าเครื่องจักรและสถานีงาน มีอัตราการใช้ประโยชน์เครื่องจักรที่ต่ำตลอดจนงานในกระบวนการที่มีปริมาณสูง ดังตารางที่ 2

หลังจากการวิเคราะห์ปัญหาแล้ว ผู้วิจัยได้หาแนวทางการปรับปรุงการวางผังโรงงาน และจัดสมดุลการผลิต โดยใช้โปรแกรมการจำลองสถานการณ์

ตารางที่ 1 จำนวนเครื่องจักรและสถานีงานทั้งหมดที่มีอยู่ในปัจจุบัน

Process/Job station	Capacity (Unit/day/Machine)	Machine Quantity	Capacity (Units/day)	Utilization of Machine	Standard Deviation
Process#1	1502	5	7510	40.31%	0.0587
Process#1 curing	3754	3	11262	34.03%	0.0911
Board test	129	65	8385	37.66%	4.9011
Die-attach#1	1143	6	6858	43.63%	0.0517
DieAttach#1 curing	2404	4	9616	39.63%	0.1899
DieAttach#1 M	6313	2	12626	6.93%	0.0322
Process#2	983	7	6881	49.05%	0.0895
IPQC#1	2202	3	6606	36.53%	0.0165
Temp. cycling test	171	45	7695	44.21%	6.1547
Temp. cycling	247	35	8645	50.06%	0.6365
Post temp. cycling#1	175	45	7875	44.21%	6.1547
Temp. cycling#2	487	16	7792	50.06%	0.6365
Post temp. cycling#2	210	35	7350	44.21%	6.1547
Die-attached#2	250	23	5750	76.81%	0.2658
UV conveyor	8721	2	17442	3.41%	0.0068
DieAttach#2 curing	2059	4	8236	38.40%	0.1271
Process#3	1385	5	6925	35.30%	0.0986
Process#3 curing	3906	2	7812	63.95%	0.0424
TSFG test	291	24	6984	42.03%	0.0334
RSFG test	280	24	6720	39.71%	0.0283
Finish SFG	2202	3	6606	28.90%	0.0218



รูปที่ 2 แผนผังพื้นที่ของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการผลิตในปัจจุบัน

Output (Units)	390,001
Work in Process (Units)	20,434.80
Avg. Throughput per Hour (Units)	178.48
Utilization (%)	48.42
Avg. Time in System per Unit (Hours)	104.75
Avg. Logistic Time (Hours)	0.14
Avg. Waiting Time (Hours)	12.12

4. การจำลองปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลการผลิต ของสายการผลิตตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566

4.1 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการผลิตในปัจจุบัน

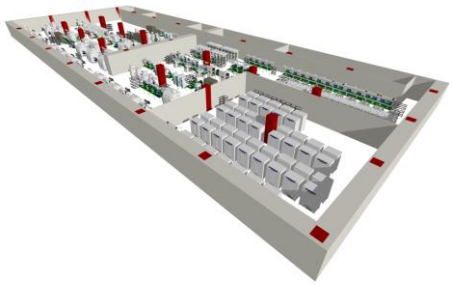
4.1.1 การเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ประกอบไปด้วย 1.ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผังโรงงาน 2.ผังโรงงานและพื้นที่การผลิต 3.จำนวนของเครื่องจักรและสถานีงาน 4.กระบวนการผลิตเพื่อแสดงถึงลักษณะการทำงานในกระบวนการผลิต และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุง 5.เวลาการทำงานของแต่ละกระบวนการ 6.การไหลของผลิตภัณฑ์โดยกำหนดความเร็วการไหลของงานในโปรแกรมจำลองสถานการณ์อยู่ที่ 1 เมตรต่อวินาที

การบันทึกเวลาการทำงานของทุกกระบวนการ ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างให้ครอบคลุมทุกช่วงเวลาการทำงาน เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มาเป็นตัวแทนที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลอง ข้อมูลของเวลาการทำงาน (Cycle Time) ที่บันทึกมาในแต่ละกระบวนการจะมีจำนวน 30 ข้อมูล หลังจากนั้นนำข้อมูลไปทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้โปรแกรม StatFits ข้อมูลทั้งหมดจะถูกพิจารณารูปแบบการกระจายที่เหมาะสม เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปใช้กำหนดเวลาของการผลิตในแต่ละกระบวนการย่อย ในโปรแกรมจำลองสถานการณ์

4.1.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของระบบปัจจุบัน

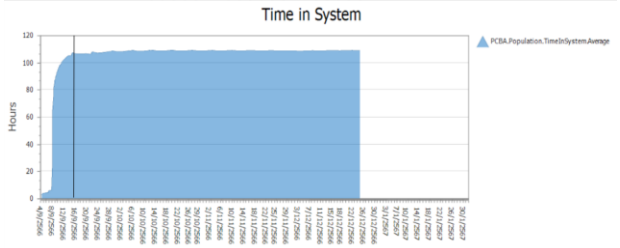
การสร้างแบบจำลองในงานวิจัยนี้ กำหนดให้มีวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีความเพียงพอต่อความต้องการตลอดเวลา แบบจำลองสถานการณ์สามมิติของระบบการผลิตปัจจุบัน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แบบจำลองสถานการณ์สามมิติของระบบผลิตปัจจุบัน

4.1.3 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

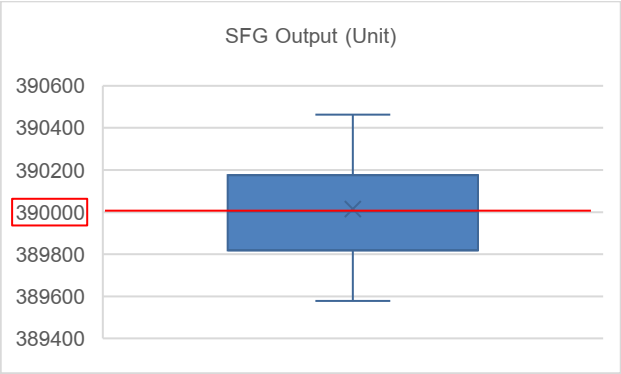
เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการผลิตแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอ งานจะออกจากระบบเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ และถ้ามีงานคงค้างอยู่ในสายการผลิตในแต่ละกะ งานจะถูกรับช่วงไปดำเนินการต่อในกะถัดไป ซึ่งจะทำให้ระบบในช่วงต้น (Warm-up Period) จะมีการแกว่งของข้อมูล ซึ่งจะไม่สามารถนำข้อมูลในช่วงนั้นมาวิเคราะห์ระบบได้ ทำให้ต้องหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ซึ่งจะพบว่า ณ เวลาที่ 300 ชั่วโมง เวลารวมเฉลี่ยในการผลิตแต่ละชิ้นงานในระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าเวลาเฉลี่ยของชิ้นงานที่อยู่ในระบบการผลิต

เพื่อเป็นการทดสอบพฤติกรรมของแบบจำลองกับพฤติกรรมของระบบจริง ว่ามีความสอดคล้องใกล้เคียงกันหรือไม่ ในงานวิจัยนี้จะอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตจริงในไตรมาสที่ 4 ปี พ.ศ.2566 จำนวน 390,000 ชิ้น กับข้อมูลผลผลิตที่ได้จากแบบจำลอง ดังรูปที่ 5

โดยจะทำการจำลองสถานการณ์จำนวน 35 Replications แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับผลผลิตจริง



รูปที่ 5 เปรียบเทียบผลผลิตจริงกับค่าที่ได้จากโปรแกรมจำลองสถานการณ์

ทำการเปรียบเทียบผลผลิตของแบบจำลองกับจำนวนผลผลิตจริงด้วย T-test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง พบว่าผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์และผลผลิตจริงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงสามารถนำแบบจำลองไปใช้งานต่อได้

4.2 วิธีการปรับปรุงและการจัดสมดุลการผลิต

วิธีการปรับปรุงและการจัดสมดุลการผลิต โดยเริ่มจากการคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรและสถานีงานที่ต้องการ ด้วยเวลาการผลิตเฉลี่ยของแต่ละกระบวนการ สำหรับกำลังการผลิตที่ ต้องการจำนวน 5,500 ชิ้นต่อวัน โดยคำนวณจากความต้องการของไตรมาสที่ 4 ปี พ.ศ. 2566

ขั้นตอนการปรับปรุง

1. ปรับลด/ปรับปรุงสายการผลิต ในเครื่องจักรที่มีอัตราการใช้ประโยชน์ที่ต่ำกว่า 50% ก่อน เพราะง่ายต่อการควบรวมและลดโอกาสที่จะเกิดการใช้อัตราการผลิตเกินกำหนด

ตัวอย่างเช่น Die-Attach#1 มี Percent Utilization อยู่ที่ 43.63 % ผู้วิจัยจึงได้ทำการคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรที่น้อยที่สุดที่ต้องการและได้มีการควบคุมอัตราการใช้ประโยชน์เครื่องจักรไม่เกิน 80% เพื่อให้มีเวลาในการซ่อมบำรุง 10% และอื่นๆ อีก 10% ได้ดังนี้

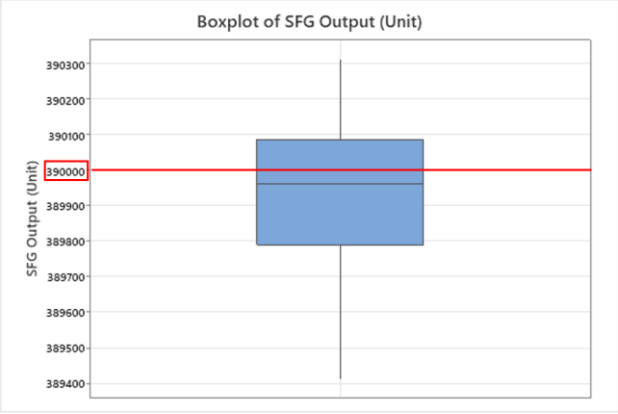
$$\text{Machine Quantity} = \frac{5{,}500}{1{,}143 \times 0.8} \approx 4 \text{ Machines}$$

2. การวางเครื่องจักรและสถานีงานที่ต้องการ บนพื้นที่การผลิตในโปรแกรมจำลองสถานการณ์ โดยให้ทุกกระบวนการมีความต่อเนื่องกัน เพื่อให้ชิ้นงานไหลในกระบวนกานผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ไม่กลับไปกลับมา

3. ตรวจสอบข้อจำกัดของการใช้เครื่องจักร หลังจากการจำลองสถานการณ์

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองหลังการปรับปรุง

ทำการจำลองสถานการณ์จำนวน 35 Replications แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับผลผลิตจริง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เปรียบเทียบผลผลิตจริงกับค่าที่ได้จากโปรแกรมจำลองสถานการณ์หลังจากการปรับปรุง

เปรียบเทียบผลผลิตของแบบจำลองหลังการปรับปรุงกับจำนวนผลผลิตจริงด้วย T-test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองหลังการปรับปรุง พบว่าผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์และผลผลิตจริงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 7

Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for μ
35	389948	196	33	(389881, 390016)

μ: population mean of SFG Output (Unit)

รูปที่ 7 เปรียบเทียบผลผลิตของแบบจำลองหลังการปรับปรุงกับจำนวนผลผลิตจริงด้วย T-test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95%

การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

การเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์เครื่องจักร ก่อนการและหลังปรับปรุง ดังตารางที่ 3

ดังตารางที่ 3 อัตราการใช้ประโยชน์เครื่องจักร ก่อนการและหลังปรับปรุง

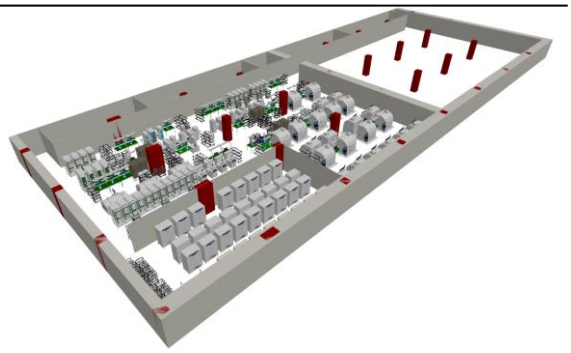
Process	Old Layout		New Layout	
	Machine Quantity	%Utilization	Machine Quantity	%Utilization
Process#1	5	40.31%	3	61.18%
Process#1 curing	3	34.03%	2	46.45%
Board test	65	37.66%	30	74.24%
Die-attach#1	6	43.63%	4	79.29%
DieAttach#1 curing	4	39.63%	2	72.00%
DieAttach#1 M	2	6.93%	1	12.59%
Process#2	7	49.05%	4	77.98%
IPQC#1	3	36.53%	2	49.84%
Temp. cycling test	45	44.21%	20	76.69%
Temp. cycling	35	50.06%	18	71.90%
Post temp. cycling#1	45	44.21%	20	76.69%
Temp. cycling#2	16	50.06%	9	71.90%
Post temp. cycling#2	35	44.21%	15	76.69%
Die-attached#2	23	76.81%	23	70.74%
UV conveyor	2	3.41%	1	6.28%
DieAttach#2 curing	4	38.40%	2	70.63%
Process#3	5	35.30%	3	54.10%
Process#3 curing	2	63.95%	2	58.79%
TSFG test	24	42.03%	12	78.66%
RSFG test	24	39.71%	12	75.58%
Finish SFG	3	28.90%	2	42.54%

4.3 สรุปผลการวิจัย

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการดำเนินการก่อนและหลังการปรับปรุง

Layout	Current	New
Output (Units)	390,001	389,998
Work in Process (Units)	20,432.77	18,833.50
Avg. Throughput per Hour (Units)	178.57	178.55
Utilization (%)	48.42	69.28
Avg. Time in System per Unit (Hours)	104.75	101.83
Avg. Logistic Time (Hours)	0.14	0.08
Avg. Waiting Time (Hours)	12.13	9.51

จากการสรุปผลการวิจัยก่อนและหลังการปรับปรุง นำมาเปรียบเทียบกันดังแสดงในตารางที่ 4 โดยปรับปรุงพื้นที่การผลิตให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ตามวัตถุประสงค์ จากเดิม 48.42% เป็น 69.28% งานในกระบวนการเฉลี่ยลดลงจาก 20,432.77 ชิ้น เป็น 18,833.50 ชิ้น คิดเป็น 7.83% และเวลารอเฉลี่ยของชิ้นงานลดลงจาก 12.12 ชม. เป็น 9.51 ชม. คิดเป็น 21.53% และสามารถลดการใช้พื้นที่การผลิตจากเดิม 1,595 ตารางเมตร เหลือเพียง 801 ตารางเมตร 49.76% ดังรูปที่ 8 และ 9 อีกทั้งยังสามารถช่วยลดต้นทุนการลงทุนด้านได้ 3,710,000 ดอลลาร์สหรัฐ โดยประมาณ โดยคำนวณจากการลดการใช้พื้นที่และเครื่องจักรหลังจากการปรับปรุง



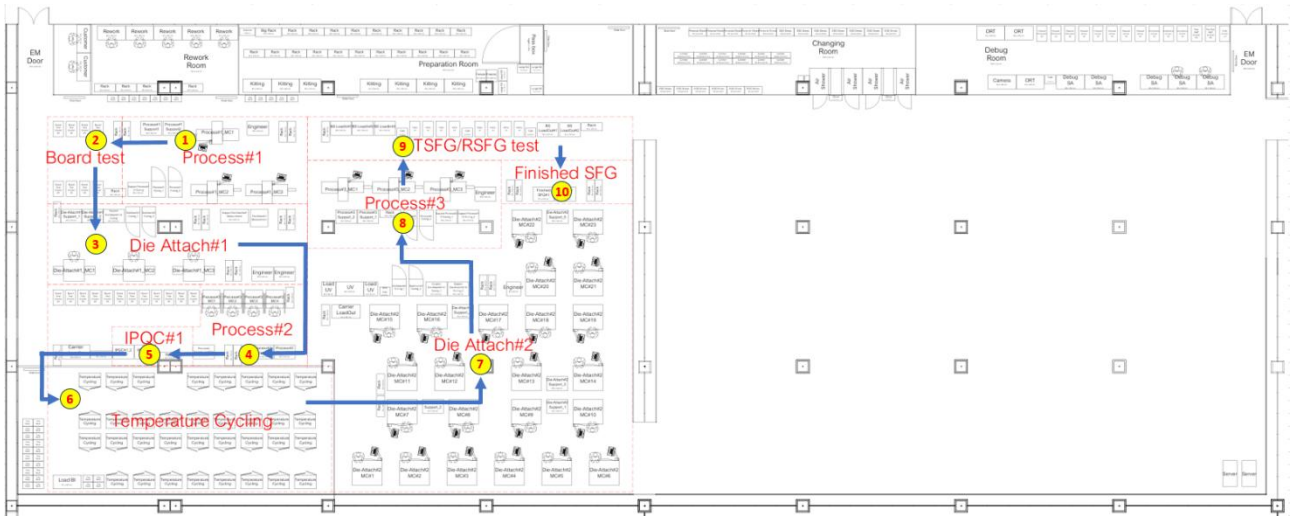
รูปที่ 8 แบบจำลองสถานการณ์สามมิติของระบบผลิตหลังการปรับปรุง

5. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาและทำการปรับปรุงการผลิตจากการปรับปรุงเลย์เอาทต์เพียงเท่านั้น จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมไปในรายละเอียดของแต่ละการบวนการ ทำการปรับปรุงขั้นตอนในการผลิต เพื่อให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพและอัตราการใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้อยู่บนพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตในช่วงเวลาของการทำวิจัย ในอนาคตบริษัทอาจจะมีผลิตภัณฑ์ใหม่เข้ามา ตลอดจนอาจจะมีการเพิ่มเติมหรือลดขั้นตอนของกระบวนการผลิต บริษัทจะต้องวิเคราะห์และจัดสรรพื้นที่การผลิตให้เหมาะสม โดยสามารถใช้แนวทางจากงานวิจัยนี้ได้

เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เป็นเพียงการหาคำตอบที่เหมาะสม ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้น การพิจารณาวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีอื่นๆ อาจจะสามารถพัฒนาคำตอบที่ได้ให้เข้าใกล้กับคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ได้มากขึ้น



รูปที่ 9 แผนผังพื้นที่ของกระบวนการผลิตหลังจากการปรับปรุง

เอกสารอ้างอิง

[1] สมปราถนา สายสงวนทรัพย์. การปรับปรุงกระบวนการด้วยการจัดสมดุลสายการผลิต กรณีศึกษา : กระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์กล้องวงจรปิด. สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2560.

[2] สุสรรภาส เสถียรภาพงษ์. การใช้แบบจำลองสถานการณ์ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต กรณีศึกษาสายการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2552.

[3] Sombat T., Poonikom K. Application of Lean Manufacturing by Simulation in Garment Production Process. Thai Industrial Engineering Network Journal. 2023; 1: 62-73.

[4] Anurattananon C., Klomjit P., Amaluk A., Keereewan N., Choosombut N. Efficiency Improvement of Customer Service of Delivery Service System by Using Simulation: A Case Study of Sample Delivery Service Company. Thai Industrial Engineering Network Journal. 2018; 2: 59-69.

[5] Luangjamekorn P., Swangnop S., Kulngamnet T. Process Improvement for Combining Production Lines with Work Study and Line Balancing Techniques: A Case Study of Stereo Manufacturer. Thai Industrial Engineering Network Journal. 2024; 1: 39-50.

[6] Keaitnukul W. A Line Balancing of the Aluminium Frame Assembly Processes Case Study: A Sample Company. Thai Industrial Engineering Network Journal. 2018; 1: 49-58

[7] Teshome M., Meles T., Yang C., (2024). Productivity improvement through assembly line balancing by using simulation modeling in case of Abay garment industry Gonda. Heliyon 10.

[8] Yilmazlar O., Jeyes A., Fiore A., Patel A., Spence C., Wentzky C, Zero N., Kurz M., Summers J., Taaffe K. (2020). A Case Study in Line Balancing and Simulation. Procedia Manufacturing, 48, 71–81

[9] Chakroun A., Zribi H., Hani Y., Elmhamedi A., Masmou F. (2022). Facility Layout Design through Integration of Lean Manufacturing in Industry 4.0 context. IFAC-PapersOnLine, 55(10), 798-803

[10] Boonmee C., Pichailar K., Matpan S. Factory Layout Improvement for Wood Furniture Manufacturing. Thai Industrial Engineering Network Journal. 2022; 1: 39-51.

ปัญหา วิธีการ และความท้าทายในการทำความสะอาดข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ความถี่ในการให้บริการเครื่องมือวัดของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

Problems, Methods, and Challenges in Data Cleansing for Analyzing Instrument Usage Frequency at the National Institute of Metrology Thailand

ฉัตรธาดนย์ สีน้ำเงิน[1*] นิติธร เคนโยธา[1] นรินทร์ จันทวงศ์[1, 2] และ จริยา บัวเจริญ[1, 2]
[1] ศูนย์การเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัล สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ปทุมธานี ประเทศไทย
[2] ฝ่ายมาตรวิทยามิติ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ปทุมธานี ประเทศไทย
E-mail: Chatthadons@nimt.or.th

Chatthadon Seenamngoen[1*] Nititorn Kenyota[1] Narin Chanthawong[1, 2] and Jariya Buajarern[1, 2]
[1] Digital Transformation Center, National Institute of Metrology (Thailand), Pathum Thani, Thailand
[2] Dimensional Metrology Department, National Institute of Metrology (Thailand), Pathum Thani, Thailand
E-mail: Chatthadons@nimt.or.th

บทคัดย่อ

ในโลกที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลในปัจจุบันได้สร้างความท้าทายใหม่ให้กับองค์กร สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสอบเทียบมาตรฐาน การทดสอบ และการรับรองผลการสอบเทียบ ต้องเผชิญกับปัญหาข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ ซ้ำซ้อน และผิดพลาด ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพและความน่าเชื่อถือของข้อมูล งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนากระบวนการทำความสะอาดข้อมูลจากชุดข้อมูลดิบแบบ .txt หรือ .csv สำหรับประวัติการสอบเทียบของ มว. ย้อนหลัง 4 ปี (2020-2023) โดยมุ่งเป้าไปที่การตรวจสอบและการทวนสอบ โดยใช้เครื่องมือ Microsoft Access และ Microsoft Power BI ให้เป็นมาตรฐานควบคุมคุณภาพ (ISO 9001: 2015) และมาตรฐานสากลที่กำหนดข้อกำหนดทั่วไปสำหรับความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ (ISO/IEC 17025) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า การทำความสะอาดข้อมูลช่วยลดขนาดฐานข้อมูลลง 12% กำจัดข้อผิดพลาดได้ 100% และเพิ่มคุณภาพของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ
คำสำคัญ: การทำความสะอาดข้อมูล กระบวนการสอบเทียบ การรับรองผลการสอบเทียบ

Abstract

In today's data-driven world, organizations face new challenges in managing and ensuring data quality. The National Institute of Metrology Thailand (NIMT) plays a crucial role in calibration, testing, and certification processes. However, incomplete, redundant, and erroneous data threatens the reliability and accuracy of calibration records. This research focuses on studying and developing a data-cleaning process for raw calibration history datasets in .txt and .csv formats, covering a four-year period (2020–2023). The study emphasizes verification and validation using Microsoft Access and Microsoft Power BI as tools to align with quality management standards (ISO 9001:2015) and international laboratory competence requirements (ISO/IEC 17025). The results demonstrate that data cleaning effectively reduced database size by 12%, eliminated 100% of errors, and significantly improved overall data quality.
Keywords: Cleaning Data, Calibration Process, and Certification of Calibration Results

1. บทนำ

ปัจจุบัน การเติบโตอย่างรวดเร็วของข้อมูลสร้างโอกาสใหม่ๆ ให้กับธุรกิจ และการขยายตัวอย่างรวดเร็วของข้อมูลนี้ได้นำไปสู่คำศัพท์ใหม่ที่เรียกว่า “บิ๊กดาต้า (Big data)” อาทิเช่น อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing; IoT) [1] ระบบคลาวด์คอมพิวติ้ง [2] และอุปกรณ์อัจฉริยะ เป็นต้น [3] ในบริบทนี้ องค์กรต่างๆ จำเป็นต้องรวบรวม จัดเก็บ และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจทางธุรกิจเชิงกลยุทธ์ ซึ่งนำไปสู่การรวบรวมความรู้ที่มีค่า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) เป็นหนึ่งองค์กรของภาครัฐที่ให้บริการเกี่ยวกับกระบวนการสอบเทียบมาตรฐาน การทดสอบ และการรับรองผลการสอบเทียบ ปัจจุบันปริมาณข้อมูลผลการสอบเทียบที่สะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้การจัดการข้อมูลเป็นไปอย่างยากลำบาก อีกทั้ง มว. ยังคงใช้กระบวนการคัดกรองและจำแนกข้อมูลแบบแมนนวลจากมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ ส่งผลให้กระบวนการทำงานใช้เวลานานและมีแนวโน้มที่จะเกิดข้อผิดพลาด เช่น ค่าที่ขาดหายไป การซ้ำซ้อน และค่าที่ไม่สอดคล้องกันภายในปริมาณข้อมูลมหาศาล นอกจากนี้ ยังสามารถส่งผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการสอบเทียบมาตรฐาน ซึ่งอาจทำให้ผลการสอบเทียบไม่แม่นยำ ขัดแย้งกับมาตรฐานที่กำหนด และส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือขององค์กร จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการทำความสะอาดข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อรองรับการตัดสินใจที่ถูกต้องและแม่นยำ มว. ได้มีแผนการพัฒนาและเพิ่มขีดความสามารถในการวัดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อรองรับความต้องการการสอบเทียบที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมใหม่ ๆ เนื่องจากข้อมูลที่ไม่ถูกต้องอาจนำไปสู่การตัดสินใจที่ผิดพลาด [4]

เพื่อเป็นการแก้ไขการจัดการของข้อมูลจำนวนมหาศาลดังกล่าว กระบวนการทำความสะอาดข้อมูล (Data cleaning) ถือเป็นหนึ่งกระบวนการที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analytics) โดยมีวัตุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลโดยการตรวจจับ แก้ไขข้อผิดพลาด และแปลงข้อมูลเป็นรูปแบบที่สม่ำเสมอ เพื่อให้ได้การรวบรวมข้อมูลที่แม่นยำ [5] กระบวนการทำความสะอาดข้อมูล มีขั้นตอนการทำงานอยู่ 4 ขั้นตอน [6] ดังนี้ 1. การตรวจสอบข้อมูล (Data assessment) ซึ่งทำหน้าที่ในการตรวจสอบข้อเท็จจริงของข้อมูลที่ซ้ำซ้อน ค่าผิดปกติ หรือความไม่สอดคล้องในรูปแบบของข้อมูล 2. การจัดการข้อมูลที่สูญหาย (Handling missing data) 3. การลบหรือแก้ไขข้อมูลซ้ำซ้อน (Removing or Resolving duplicates) ซึ่งทำหน้าที่แก้ไขข้อมูลซ้ำให้เหลือเพียงข้อมูลเดียวที่ถูกต้อง และ 4. การปรับรูปแบบข้อมูลที่เป็นมาตรฐาน (Data standardization) ดังแสดงใน **รูปที่ 1** [7] โดยคุณภาพของข้อมูลสามารถกำหนดได้ว่าเป็นความเหมาะสมของข้อมูลเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้มีส่วนใดส่วนเสีย (Stakeholder) ซึ่งทำได้โดยอาศัยบุคลากร เทคโนโลยี และกระบวนการต่างๆ ซึ่งจะทำให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลจะเป็นไปตามข้อกำหนดและมีความสอดคล้องกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำข้อมูลจากฐานข้อมูลต่างๆ มารวมกัน หากไม่มีการจัดการคุณภาพข้อมูลที่เหมาะสม แม้แต่ข้อผิดพลาดเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้สูญเสียรายได้ กระบวนการไม่มีประสิทธิภาพ และไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบของอุตสาหกรรมและรัฐบาล [8] ทั้งนี้ คุณภาพข้อมูลและการล้างข้อมูลจึงเชื่อมโยงกันเสมอ เนื่องจากการรับประกันคุณภาพข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นก่อนที่จะเน้นการวิเคราะห์ให้เข้มข้นยิ่งขึ้น

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจแนวทางการกระบวนการทำความสะอาดข้อมูลมาช่วยในการแก้ไขปัญหาและลดข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น โดยมุ่งเป้าไปที่การตรวจสอบ (Inspection) และการทวนสอบ (Verification) วิธีการล้างข้อมูลที่มีอยู่โดยเฉพาะสำหรับข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อพัฒนากระบวนการจัดการข้อมูลในงานมาตรวิทยาให้มีความแม่นยำ อีกทั้ง เพื่อยกระดับประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบจัดการข้อมูลในระดับองค์กรและสากลเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมคุณภาพ (ISO 9001: 2015) และมาตรฐานสากลที่กำหนดข้อกำหนดทั่วไปสำหรับความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ (ISO/IEC 17025) [9, 10] โดยในบทความวิจัยนี้จะนำเสนอการตรวจสอบกลไกและการจำแนกประเภทการทำความสะอาดข้อมูลในหัวข้อที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัยในหัวข้อที่ 3 ผลการทดลองในหัวข้อที่ 4 อภิปรายผลและสรุประบุไว้ในหัวข้อที่ 5 ตามลำดับ

2. การตรวจสอบกลไกและการจำแนกประเภทการทำความสะอาดข้อมูล

กระบวนการทำความสะอาดข้อมูล คือ กระบวนการคัดกรอง ตรวจสอบ แก้ไข หรือกำจัดข้อมูลที่ผิดพลาด ไม่สมบูรณ์ ซ้ำซ้อน หรือไม่มีความสอดคล้องกัน เพื่อสนับสนุนและปรับปรุงให้ข้อมูลมีคุณภาพสูงขึ้น เพิ่มความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ การทำความสะอาดข้อมูลมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อหน่วยงานและองค์กรทุกประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคที่ข้อมูลเป็นทรัพยากรสำคัญสำหรับการดำเนินงานขององค์กร ข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง ไม่ครบถ้วน หรือซ้ำซ้อน อาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ นำไปสู่การตัดสินใจที่คลาดเคลื่อน และก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งในด้านเวลา ต้นทุน และโอกาสของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย กระบวนการทำความสะอาดข้อมูล มีขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ดังนี้ [7, 11]

1. การตรวจสอบข้อมูล เป็นขั้นตอนแรกที่ใช้ในการสำรวจโครงสร้างและคุณภาพของข้อมูล เพื่อตรวจหาข้อมูลที่ขาดหาย ค่าที่ผิดปกติ และความซ้ำซ้อน ซึ่งช่วยให้เราเข้าใจถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในข้อมูลและวางแผนการแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การจัดการข้อมูลที่สูญหาย เป็นขั้นตอนที่จัดการกับข้อมูลที่สูญหาย ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การลบข้อมูลที่มีค่าสูญหาย การเติมค่าที่สูญหายด้วยค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน หรือค่าที่พบบ่อยที่สุด หรือการใช้เทคนิคการประมาณค่าที่ซับซ้อนขึ้นเพื่อให้ข้อมูลมีความสมบูรณ์มากขึ้น

3. การลบหรือแก้ไขข้อมูลที่ซับซ้อน เป็นการแก้ไขข้อผิดพลาดในการป้อนข้อมูล และการปรับปรุงความสอดคล้องของข้อมูลให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น

4. การปรับรูปแบบข้อมูลที่เป็นมาตรฐาน เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่ช่วยให้ข้อมูลมีความสอดคล้องกันในรูปแบบที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งรวมถึงการแปลงประเภทข้อมูล การจัดรูปแบบวันที่ การปรับขนาดข้อมูลให้เหมาะสมกับการใช้งาน และการปรับปรุงความสัมพันธ์ระหว่างฟิลด์ต่างๆ เพื่อให้ข้อมูลสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หรือการสร้างโมเดลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การทำความสะอาดข้อมูลเป็นกระบวนการที่ต้องทำอย่างต่อเนื่อง เพื่อรักษาคุณภาพของข้อมูลให้อยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้เครื่องมือ AI และการตรวจสอบด้วยมนุษย์เป็นสิ่งสำคัญในการรักษาความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูล นอกจากนี้ การมีกรอบการทำงานที่ชัดเจนและการบันทึกขั้นตอนการทำความสะอาดข้อมูลยังช่วยให้กระบวนการนี้มีความโปร่งใสและสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ (Traceability) [12]



รูปที่ 1 กระบวนการทำความสะอาดข้อมูล

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพสำหรับการตรวจสอบและการทวนสอบกลไกการทำความสะอาดข้อมูล โดยได้เลือกกรณีตัวอย่างศึกษา คือ ชุดข้อมูลดิบแบบ .txt หรือ .csv สำหรับประวัติการสอบเทียบของ มว. ย้อนหลัง 4 ปี (2020-2023) ในขั้นตอนการทำความสะอาดข้อมูล โดยใช้เครื่องมือในการทำงานกระบวนการทำความสะอาดข้อมูลอยู่ 2 เครื่องมือ ได้แก่ Microsoft Access และ Microsoft Power BI เนื่องจาก Microsoft Access ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เหมาะสำหรับการจัดการฐานข้อมูลขนาดกลางที่มีข้อมูลซับซ้อนและรองรับการสร้างรายงานได้ง่าย แต่ยังคงมีข้อจำกัด คือ ไม่มีฟังก์ชันการทำความสะอาดข้อมูลแบบอัตโนมัติครบวงจร ทำให้ต้องใช้ SQL Query หรือ VBA เพื่อสร้างโปรแกรมที่สามารถทำความสะอาดข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติ และ 2. Microsoft Power BI เป็นเครื่องมือที่ดีในการวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล มีความสามารถในการสร้างแดชบอร์ดและรายงานที่เข้าใจง่าย ซึ่งการทำงานร่วมกันของทั้ง 2 เครื่องมือจะนำไปสู่การวิเคราะห์ จำแนกและแสดงภาพรวมของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

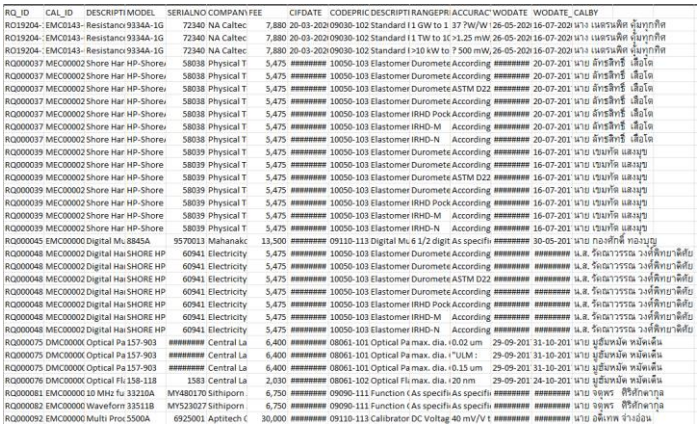
4. ผลการทดลอง

ผลการทดลอง **รูปที่ 2** แสดงไฟล์ชุดข้อมูลดิบแบบ .txt หรือ .csv สำหรับประวัติการสอบเทียบของ มว. จะเห็นได้ว่า โครงสร้างของชุดข้อมูลดิบมีการกระจายของข้อมูลที่หลากหลายและไม่เป็นระเบียบ ส่งผลให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง นอกจากนี้ ข้อมูลในไฟล์อาจมีช่องว่างที่ไม่สม่ำเสมอ อักขระพิเศษ หรือรูปแบบวันที่และตัวเลขที่ไม่ตรงตามมาตรฐานที่ใช้ในกระบวนการสอบเทียบ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้งานได้ จำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์สำหรับการทำความสะอาดข้อมูล เพื่อลบข้อมูลที่ผิดพลาด เติมค่าที่ขาดหาย และแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หรือประมวลผลต่อไป

รูปที่ 3 แสดงข้อมูลรายได้มากที่สุดของ มว. ย้อนหลัง 4 ปีหลังการทำความสะอาดข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Access และ Microsoft Power BI โดยอ้างอิงจากไฟล์ชุดข้อมูลดิบแบบ .txt หรือ .csv ใน **รูปที่ 2** ซึ่งจากข้อมูลเราสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างรายการบริการสอบเทียบ (แกน X) และรายได้รวมของการสอบเทียบ (แกน Y) พบว่า รายการที่สร้างรายได้สูงสุดคือ Reference Standard weight จำนวน 50,204,257 บาท รองลงมา คือ UMT2 E1. Ultra Microbalance,AT 106,AT1005 จำนวน 30,722,250 บาท และ MICROSCOPE MF-A1720H จำนวน 28,208,144 บาท ตามลำดับ

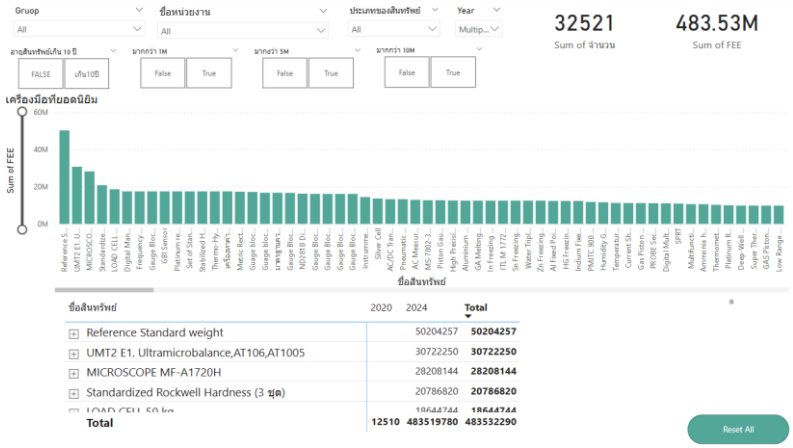
รูปที่ 4 แสดงข้อมูลความถี่ในการให้บริการของ มว. ย้อนหลัง 4 ปีหลังการทำความสะอาดข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Access และ Microsoft Power BI โดยอ้างอิงจากไฟล์ชุดข้อมูลดิบแบบ .txt หรือ .csv ใน **รูปที่ 2** ซึ่งจากข้อมูลเราสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างรายการบริการสอบเทียบ (แกน X) และความถี่รวมของการเข้ารับบริการ (แกน Y) พบว่า รายการที่มีความถี่การใช้บริการสูงสุดคือ MICROSCOPE MF-A1720H จำนวน 3709 ครั้ง รองลงมาคือ LOAD CELL 50 kg. จำนวน 2183 ครั้ง และ Reference Standard weight จำนวน 2091 ครั้ง ตามลำดับ ผลการทดลองหลังกระบวนการทำความสะอาดข้อมูลโดยใช้เครื่องมือ Microsoft Access และ Microsoft Power BI จากไฟล์ชุดข้อมูลดิบแบบ .txt หรือ .csv พบว่า ช่วยลดข้อมูลซ้ำและกำจัดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง ทำให้ขนาดฐานข้อมูลเล็กลง และเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผล อีกทั้งสามารถจำแนกหมวดหมู่ของ

ข้อมูลในการนำไปวิเคราะห์หาผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งถือ
เป็นอีกหนึ่งในการตัดสินใจในการเลือกใช้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ใน
อนาคตต่อไปสำหรับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่แสดงใน **รูปที่ 3** และ **รูปที่ 4** มีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญ



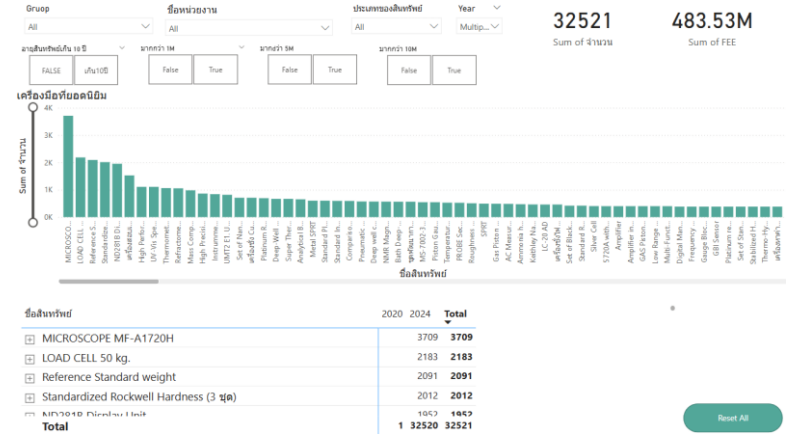
RQ_ID	CAL_ID	DESCRIPTI	MODEL	SERIALNO	COMPANY	FEE	CIFDATE	CODEPRIC	DESCRIPTI	RANGEPR	ACCURAC	WODATE	WODATE_CALBY
RQ19204-:	EMC0143-	Resistanci	9334A-1G	72340	NA Caltec	7,880	20-03-202	09030-102	Standard I	1 GW to 1	37 ?W/W	26-05-202	16-07-202 นาง เนตรนภิศ ตั้งทุกทิศ
RQ19204-:	EMC0143-	Resistanci	9334A-1G	72340	NA Caltec	7,880	20-03-202	09030-102	Standard I	1 TW to 1	>1.25 mW,	26-05-202	16-07-202 นาง เนตรนภิศ ตั้งทุกทิศ
RQ19204-:	EMC0143-	Resistanci	9334A-1G	72340	NA Caltec	7,880	20-03-202	09030-102	Standard I	>10 kW to	7 500 mW,	26-05-202	16-07-202 นาง เนตรนภิศ ตั้งทุกทิศ
RQ000037	MEC00002	Shore Har	HP-Shore/	58038	Physical T	5,475	########	10050-103	Elastomer	Durometer	According	########	20-07-201 นาย ลัทธิสิทธิ์ เลือโต
RQ000037	MEC00002	Shore Har	HP-Shore/	58038	Physical T	5,475	########	10050-103	Elastomer	Durometer	ASTM D22	########	20-07-201 นาย ลัทธิสิทธิ์ เลือโต
RQ000037	MEC00002	Shore Har	HP-Shore/	58038	Physical T	5,475	########	10050-103	Elastomer	IRHD Pock	According	########	20-07-201 นาย ลัทธิสิทธิ์ เลือโต
RQ000037	MEC00002	Shore Har	HP-Shore/	58038	Physical T	5,475	########	10050-103	Elastomer	IRHD-M	According	########	20-07-201 นาย ลัทธิสิทธิ์ เลือโต
RQ000037	MEC00002	Shore Har	HP-Shore/	58038	Physical T	5,475	########	10050-103	Elastomer	IRHD-N	According	########	20-07-201 นาย ลัทธิสิทธิ์ เลือโต
RQ000039	MEC00002	Shore Har	HP-Shore	58039	Physical T	5,475	########	10050-103	Elastomer	Durometer	According	########	16-07-201 นาย เขมทัต แสงบุบ
RQ000039	MEC00002	Shore Har	HP-Shore	58039	Physical T	5,475	########	10050-103	Elastomer	Durometer	According	########	16-07-201 นาย เขมทัต แสงบุบ
RQ000039	MEC00002	Shore Har	HP-Shore	58039	Physical T	5,475	########	10050-103	Elastomer	Durometer	ASTM D22	########	16-07-201 นาย เขมทัต แสงบุบ
RQ000039	MEC00002	Shore Har	HP-Shore	58039	Physical T	5,475	########	10050-103	Elastomer	IRHD Pock	According	########	16-07-201 นาย เขมทัต แสงบุบ
RQ000039	MEC00002	Shore Har	HP-Shore	58039	Physical T	5,475	########	10050-103	Elastomer	IRHD-M	According	########	16-07-201 นาย เขมทัต แสงบุบ
RQ000039	MEC00002	Shore Har	HP-Shore	58039	Physical T	5,475	########	10050-103	Elastomer	IRHD-N	According	########	16-07-201 นาย เขมทัต แสงบุบ
RQ000045	EMC00000	Digital Mu	8845A	9570013	Mahanakc	13,500	########	09110-113	Digital Mu	6 1/2 digit	As specifi	########	30-05-201 นาย กองศักดิ์ ทองบุญ
RQ000048	MEC00002	Digital Hai	SHORE HP	60941	Electricity	5,475	########	10050-103	Elastomer	Durometer	According	########	######## น.ส. รัตณาวรรณ วงศ์ศิพยาศัย
RQ000048	MEC00002	Digital Hai	SHORE HP	60941	Electricity	5,475	########	10050-103	Elastomer	Durometer	According	########	######## น.ส. รัตณาวรรณ วงศ์ศิพยาศัย
RQ000048	MEC00002	Digital Hai	SHORE HP	60941	Electricity	5,475	########	10050-103	Elastomer	Durometer	ASTM D22	########	######## น.ส. รัตณาวรรณ วงศ์ศิพยาศัย
RQ000048	MEC00002	Digital Hai	SHORE HP	60941	Electricity	5,475	########	10050-103	Elastomer	IRHD Pock	According	########	######## น.ส. รัตณาวรรณ วงศ์ศิพยาศัย
RQ000048	MEC00002	Digital Hai	SHORE HP	60941	Electricity	5,475	########	10050-103	Elastomer	IRHD-M	According	########	######## น.ส. รัตณาวรรณ วงศ์ศิพยาศัย
RQ000048	MEC00002	Digital Hai	SHORE HP	60941	Electricity	5,475	########	10050-103	Elastomer	IRHD-N	According	########	######## น.ส. รัตณาวรรณ วงศ์ศิพยาศัย
RQ000075	DMC0000(	Optical Pa	157-903	########	Central La	6,400	########	08061-101	Optical Pa	max. dia.	<0.02 um	########	29-09-201 31-10-201 นาย ยุธันหนัด หนัดเต็น
RQ000075	DMC0000(	Optical Pa	157-903	########	Central La	6,400	########	08061-101	Optical Pa	max. dia.	"ULM :	########	29-09-201 31-10-201 นาย ยุธันหนัด หนัดเต็น
RQ000075	DMC0000(	Optical Pa	157-903	########	Central La	6,400	########	08061-101	Optical Pa	max. dia.	<0.15 um	########	29-09-201 31-10-201 นาย ยุธันหนัด หนัดเต็น
RQ000076	DMC0000(	Optical Fi	158-118	1583	Central La	2,030	########	08061-102	Optical Fi	max. dia.	<20 nm	########	29-09-201 24-10-201 นาย ยุธันหนัด หนัดเต็น
RQ000081	EMC00000	10 MHz fu	33210A	MY480170	Sithiporn	6,750	########	09090-111	Function G	As specifi	As specifi	########	######## นาย จตุพร ศิริสักพากุล
RQ000082	EMC00000	Waveform	33511B	MY523027	Sithiporn	6,750	########	09090-111	Function G	As specifi	As specifi	########	######## นาย จตุพร ศิริสักพากุล
RQ000092	EMC00000	Multi Proc	5500A	6925001	Aptitech (	30,000	########	09110-113	Calibrator	DC Voltag	40 mV/V t	########	######## นาย อดิเทพ จ่างอ่อน

รูปที่ 2 ไฟล์ชุดข้อมูลดิบแบบ .txt หรือ .csv สำหรับประวัติการสอบเทียบของ มว.



ชื่อสินทรัพย์	2020	2024	Total
Reference Standard weight		50204257	**50204257**
UMT2 E1. Ultramicrobalance,AT106,AT1005		30722250	**30722250**
MICROSCOPE MF-A1720H		28208144	**28208144**
Standardized Rockwell Hardness (3 ชุด)		20786820	**20786820**
Total	**12510**	**483519780**	**483532290**

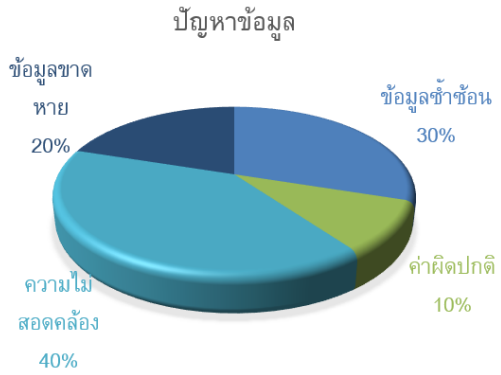
รูปที่ 3 ข้อมูลรายการที่ให้บริการที่ทำรายได้ของ มว. จากมากไปน้อย ย้อนหลัง 4 ปี หลังจากการทำความสะอาดข้อมูล



ชื่อสินทรัพย์	2020	2024	Total
MICROSCOPE MF-A1720H		3709	**3709**
LOAD CELL 50 kg.		2183	**2183**
Reference Standard weight		2091	**2091**
Standardized Rockwell Hardness (3 ชุด)		2012	**2012**
Total	**1**	**32520**	**32521**

รูปที่ 4 ข้อมูลความถี่ในการให้บริการของ มว.จากมากไปน้อย ย้อนหลัง 4 ปี หลังจากการทำความสะอาดข้อมูล

นอกจากนี้ จากการตรวจสอบและการทวนสอบข้อมูลเบื้องต้นโดยอ้างอิงจากไฟล์ชุดข้อมูลดิบแบบ .txt หรือ .csv ใน **รูปที่ 2** โดยทำการใช้คำสั่ง Query ใน Microsoft Access และใช้คำสั่ง Microsoft Power BI สร้างแดชบอร์ดเพื่อวิเคราะห์และนำเสนอ พบว่า มีข้อมูลซ้ำซ้อนประมาณ 30% ของข้อมูลทั้งหมด มีค่าผิดปกติ (Outliers) ประมาณ 10% ความไม่สอดคล้องในรูปแบบการบันทึกข้อมูลประมาณ 40% ของรายการทั้งหมด และข้อมูลที่ขาดหายประมาณ 20% ของฟิลด์ทั้งหมด **ดังรูปที่ 5**



รูปที่ 5 แผนภูมิวงกลมแสดงร้อยละการตรวจสอบและการทวนสอบปัญหาของข้อมูลหลังจากการทำความสะอาดข้อมูล

5. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4 โดยเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองใน **รูปที่ 2** (ชุดข้อมูลดิบแบบ .txt หรือ .csv ก่อนการทำความสะอาด) ในส่วน **รูปที่ 3** และ **รูปที่ 4** (ข้อมูลรายได้และข้อมูลความถี่การใช้งานหลังการทำความสะอาด) จะเห็นได้ว่า กระบวนการทำความสะอาดข้อมูล โดยการใช้เครื่องมือ AI Machine-leaning ของโปรแกรม Microsoft Access ร่วมกับ Microsoft Power BI ข้อมูลที่ผ่านการปรับปรุงมีความถูกต้อง สอดคล้อง สมบูรณ์ และพร้อมใช้งานมากขึ้น ต่างจากข้อมูลดิบที่อาจมีข้อผิดพลาด ทำให้การวิเคราะห์อาจไม่แม่นยำและใช้เวลานาน ข้อดีของการทำความสะอาดข้อมูลคือช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ ลดความผิดพลาด และปรับปรุงคุณภาพของผลลัพธ์ อย่างไรก็ตาม ข้อเสียคืออาจใช้เวลาและทรัพยากรสูง โดยเฉพาะหากเป็นข้อมูลขนาดใหญ่ และมีความเสี่ยงในการสูญเสียข้อมูลที่สำคัญหากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม

ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของกระบวนการทำความสะอาดข้อมูลในการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ในงานมาตรวิทยา การใช้เครื่องมือและเทคนิคที่เหมาะสมสามารถช่วยแก้ไขปัญหาข้อมูลที่ผิดพลาด ไม่สมบูรณ์ และซ้ำซ้อน ซึ่งส่งผลให้ข้อมูลมีคุณภาพสูงขึ้นและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทำความสะอาดข้อมูลยังช่วยให้เห็นถึงแนวโน้มและความสัมพันธ์ของข้อมูลที่สำคัญ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงบริการและเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของ มว. ได้

6.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปีงบประมาณ 2567 และสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.)

เอกสารอ้างอิง

[1] E. Rahm, and H. H. Do. 2000. “Data cleaning: Problems and current approaches”. IEEE Data Engineering Bulletin, Vol. 23(4): 3-13.

[2] X. Chu, I. F. Ilyas, S. Krishnan, and J. Wang. 2016. “Data cleaning: Overview and emerging challenges”. In Proceedings of the 2016 International Conference on Management of Data, 2201-2206.

[3] J. I. Maletic, and A. Marcus. 2000. “Data cleansing: Beyond integrity analysis”. In Proceedings of the Conference on Information Quality (IQ2000), pp. 200-209.

[4] J. Van den Broeck, S. A. Cunningham, R. Eeckels, and K. Herbst, 2005. “Data cleaning: detecting, diagnosing, and editing data abnormalities”. PLoS medicine, Vol. 2(10): 267.

[5] J. M. Hellerstein, 2008. “Quantitative data cleaning for large databases”. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), 25.

[6] T. Dasu, and T. Johnson. 2004. “Exploratory data mining and data cleaning”. Journal of Statistical Software, Vol. 11(b09): 1-3.

[7] H. Wickham. 2014. “Tidy data”. Journal of Statistical Software, Vol. 59(10): 1-23.

[8] H. Müller, and J. C. Freytag. 2005. “Problems, methods, and challenges in comprehensive data cleansing”. Humboldt-Universität zu Berlin, 10099.

[9] National Institute of Metrology (Thailand)., (2023). Five-year action plan (2023–2027) of the National Institute of Metrology, National Institute of Metrology Press, Thailand.

[10] Deutsche und Englische Fassung EN_ISO/IEC_17025:2017, Beuth Verlag GmbH. Online document https://www.beuth.de/de/-/-/278030106 (accessed on 24 September 2021).

[11] Zhang, S., Zhang, C., & Yang, Q. (2003). Data preparation for data mining. Applied artificial intelligence, Vol. 17(5-6): 375-381.

[12] J. L. Guasch, J. L. Racine, I. Sanchez and M. Diop. 2007. Quality Systems and Standards for a Competitive Edge; The World Bank: Washington, DC, USA.

สาเหตุและผลกระทบด้านต้นทุนที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าของรถหัวลาก ในการเข้ารับบริการที่ท่าเรือแหลมฉบัง

Causes and Cost Implications of Trailer Truck Delays in Service Operations at Laem Chabang Port

วรวุฒิ โป๊ะมา[1] ชลธิดา หลงพลอยพัด[1] ดารัตน์ เดชอำไพ[2] ชาตินักรบ แสงสว่าง[1*] กมลทิพย์ เศษสี[1]
[1]ภาควิชาวิทยาการเดินเรือและโลจิสติกส์ทางทะเล คณะพาณิชยนาวีนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรและการจัดการ คณะอุตสาหกรรมเกษตรดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: Chatnugrob.s@ku.th*

Worawut Poma[1], Cholthida Longploypad[1], Darat Dechampai[2], Chatnugrob Sangsawang[1]* Kamothip Setsee[1]
[1]Department of Nautical Science and Maritime Logistics, Faculty of International maritime studies, Kasetsart University.
[2]Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Digital Agro-Industry,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
E-mail: Chatnugrob.s@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาสาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าของรถหัวลากในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง และศึกษาผลกระทบด้านต้นทุนของการขนส่งที่เกิดจากความล่าช้า รวมไปถึงการเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาความล่าช้าที่เกิดขึ้น ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีการผสมผสานการดำเนินการวิจัยเชิงคุณภาพร่วมกับการวิจัยเชิงปริมาณ โดยใช้แบบสัมภาษณ์และแบบสอบถาม เพื่อรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด โดยทำการกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ กลุ่มผู้ให้บริการ ได้แก่ ท่าเรือแหลมฉบัง และผู้ประกอบการในท่าเรือแหลมฉบัง และกลุ่มผู้รับบริการ ได้แก่ ตัวแทนขนส่ง ผู้ประกอบการขนส่งในพื้นที่ และพนักงานขับรถหัวลากในพื้นที่ ซึ่งเป็นผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียกับการเกิดปัญหาความล่าช้าในการเข้ารับบริการดังกล่าว จากนั้นจะนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหาเพื่อสรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้า และนำข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบเพื่อคำนวณหาต้นทุนที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าเทียบกับกรณีการทำงานแบบปกติ เพื่อชี้ให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน ผลจากการศึกษาพบว่า สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง ได้แก่ ท่าเทียบเรือมีเครื่องมือในการยกตู้สินค้าที่จำกัด การเข้าไปรับและส่งตู้สินค้าในช่วงวันและเวลาเดียวกัน รวมไปถึงการซ่อมแซมถนนภายในบริเวณท่าเทียบเรือ ในส่วนผลกระทบด้านต้นทุนที่เกิดขึ้น ได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนเชื้อเพลิงของรถหัวลากที่เกิดจากการใช้เวลาในการเข้ารับบริการที่ล่าช้าหรือมากกว่าปกติ รวมถึงระยะเวลารอคอยที่เพิ่มขึ้น จะพบว่าหากเทียบกับปริมาณจำนวนเที่ยวการขนส่งตู้สินค้าตลอดทั้งปีจะเกิดการต้นทุนด้านเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 157,113,825 บาทต่อปี และยังพบว่าเกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรับงานรถหัวลากซึ่งเป็นรายได้ของพนักงานขับรถคิดเป็นเงินประมาณ 40,800 บาทต่อคนต่อปี นอกจากนี้ผลที่ได้จากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลยังสามารถนำไปวิเคราะห์หาแนวทางและเสนอแนะให้กับผู้เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบังต่อไป

คำสำคัญ: ความล่าช้ารถหัวลาก ปัญหาการจราจรในท่าเรือ ท่าเรือแหลมฉบัง ต้นทุนโลจิสติกส์

Abstract

This research aims to investigate the causes of delays in trailer trucks picking up containers at Laem Chabang Port and to analyze the cost impacts resulting from these delays, along with proposing solutions to address the issues. The study employs a mixed-methods approach, combining qualitative and quantitative research. Data was collected using interviews and questionnaires from two main groups. The first group consisted of service providers such as Laem Chabang Port and operators within the port. The second group included service users such as transport agents, logistics operators and trailer truck drivers involved in the service processes. The findings

reveal that key causes of delays include limited container handling equipment at the terminal, congestion during peak hours, and road repairs within the port area. In terms of cost impacts, the analysis shows that delays result in an increase in fuel costs for trailer trucks, amounting to approximately 157,113,825.7 THB per year, and an additional opportunity cost of approximately 40,800 THB per driver per year due to lost income from reduced trips. The findings and analyses provide actionable insights and recommendations for stakeholders to develop strategies to mitigate delays in container pick-up processes at Laem Chabang Port.

Keywords: Trailer truck delays, Terminal Traffic Problems, Laem Chabang Port, Logistics Costs

1. บทนำ

ท่าเรือเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบโลจิสติกส์และเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากเป็นจุดเชื่อมต่อหลักของการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ซึ่งรองรับการขนถ่ายสินค้าจากเรือไปยังโหมดการขนส่งอื่น เช่น ทางถนนและทางราง ท่าเรือจึงถือเป็นศูนย์กลางของระบบโซ่อุปทานและระบบการกระจายสินค้าโลก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรมและการค้า สำหรับประเทศไทย ท่าเรือแหลมฉบังเป็นท่าเรือน้ำลึกที่สำคัญที่สุดและเป็นศูนย์กลางของการนำเข้าและส่งออกสินค้าหลักของประเทศ โดยปัจจุบันได้มีการพัฒนาท่าเรือแหลมฉบังมาแล้วในระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ซึ่งมีพื้นที่รวมขนาด 8,752 ไร่ มีท่าเทียบเรือรวมกว่า 22 ท่า รองรับตู้สินค้าได้มากกว่า 11 ล้าน TEU ต่อปี และรองรับรถยนต์ได้ 2 ล้านคันต่อปี ด้วยศักยภาพในการรองรับเรือขนส่งสินค้าขนาดใหญ่ที่มีความจุมากกว่า 24,000 TEU นอกจากนั้น เฟสที่ 3 ซึ่งอยู่ระหว่างการพัฒนา จะช่วยเพิ่มขีดความสามารถของท่าเรือให้สามารถรองรับปริมาณตู้สินค้าได้ถึง 18 ล้าน TEU ต่อปี โดยเน้นการเพิ่มท่าเทียบเรืออัตโนมัติและพัฒนาการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ เช่น การเชื่อมโยงกับโครงข่ายทางรางและระบบโลจิสติกส์อื่น ทำให้ท่าเรือแห่งนี้เป็นหนึ่งในท่าเรือที่มีปริมาณตู้สินค้าผ่านท่าสูงที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อย่างไรก็ตาม การขยายตัวของปริมาณสินค้าที่ผ่านท่าเรือแหลมฉบัง [1] ส่งผลให้เกิดความแออัดของการจราจรภายในท่าเรือและระบบขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ โดยเฉพาะการขนส่งสินค้าทางถนน ซึ่งเป็นโหมดหลักที่ใช้ในการลำเลียงตู้สินค้าจากท่าเรือไปยังปลายทาง เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูงและสามารถให้บริการแบบ door-to-door ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การพึ่งพาการขนส่งทางถนนเพียงอย่างเดียวทำให้เกิดความหนาแน่นของรถบรรทุกที่เข้ามารับตู้สินค้าภายในท่าเรือ ซึ่งนำไปสู่ปัญหาความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้า

ความล่าช้าที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น กระบวนการตรวจสอบเอกสารและการผ่านประตูท่าเรือที่ต้องใช้เวลาในการดำเนินการ การรอรับบริการจากผู้ให้บริการท่าเทียบเรือที่มีความสามารถในการรองรับรถบรรทุกแตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดคอขวดในกระบวนการขนถ่ายสินค้า นอกจากนี้ ปริมาณรถบรรทุกที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้เกิดความแออัดของพื้นที่ภายในท่าเรือ ทำให้ระยะเวลาการเดินทางและการดำเนินงานภายในท่าเรือยืดเยื้อออกไป อีกทั้งปัญหาด้านการบริหารจัดการตู้สินค้าที่ไม่มีประสิทธิภาพ รวมถึงข้อจำกัดด้านกำลังคนและเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการปฏิบัติงานก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้าด้วย เมื่อเกิดความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้า ผลกระทบที่ตามมาไม่เพียงแต่จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการขนส่งเท่านั้น แต่ยังเพิ่มต้นทุนด้านโลจิสติกส์ของผู้ประกอบการขนส่งและภาคอุตสาหกรรมในภาพรวม [2] ต้นทุนหลักที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าประกอบด้วยต้นทุนเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นจากการรอคอยเป็นเวลานาน ต้นทุนโอกาสที่สูญเสียเนื่องจากจำนวนรอบการขนส่งต่อวันลดลง ต้นทุนค่าแรงและสวัสดิการพนักงานขับรถที่อาจเพิ่มขึ้นจากการทำงานเกินเวลาที่กำหนด รวมถึงผลกระทบด้านความปลอดภัย เนื่องจากระยะเวลาการทำงานที่ยาวนานอาจส่งผลให้พนักงานขับรถเกิดความเหนื่อยล้า ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ ความล่าช้ายังส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการที่รถบรรทุกต้องจอดรอเป็นเวลานานทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษทางอากาศ

จากปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าที่ท่าเรือแหลมฉบัง และวิเคราะห์ผลกระทบด้านต้นทุนที่เกิดขึ้นจากความล่าช้า ตลอดจนเสนอแนวทางในการลดระยะเวลาการรอรับบริการและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของระบบขนส่งทางถนน ซึ่งจะช่วยให้ผู้ประกอบการขนส่งสามารถลดต้นทุนที่สูญเปล่า ปรับปรุงกระบวนการทำงาน และเพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้าในระบบโลจิสติกส์

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความล่าช้าในการขนส่งและต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับความล่าช้าที่เกิดขึ้น ได้มีงานวิจัยที่มีการศึกษามาอย่างแพร่หลาย ซึ่งได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อเข้าใจถึงสาเหตุและแนวทางแก้ไขที่เกี่ยวข้องกับปัญหาดังกล่าว โดยในแต่ละงานวิจัยได้เน้นย้ำถึงปัจจัยหลายประการที่ส่งผลให้การขนส่งล่าช้า รวมทั้งปัญหาการจัดการยานพาหนะ การจราจรที่ติดขัด และการขาดแคลนการวางแผนที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการขนส่งและลดต้นทุนในการดำเนินงาน ทั้งในด้านการบำรุงรักษายานพาหนะ การใช้เทคโนโลยีในการติดตามการขนส่ง และการฝึกอบรมพนักงานขับรถบรรทุกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานจากการศึกษาหลายแหล่งข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้อง จากการศึกษาของ [3] มุ่งศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการขนส่งสินค้าจากท่าเรือแหลมฉบัง โดยพิจารณาทั้งปัจจัยภายนอกและปัจจัย

ภายในองค์กรที่มีอิทธิพลต่อการดำเนินงานของผู้ให้บริการโลจิสติกส์ ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยด้านโครงสร้างพื้นฐานและนโยบายภาครัฐ เช่น ระบบขนส่งสาธารณะ โครงข่ายถนน และกฎระเบียบเกี่ยวกับการขนส่ง มีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการขนส่งสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ปัจจัยด้านการบริหารจัดการภายในองค์กร อาทิ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ การบริหารจัดการเส้นทางขนส่ง และการบำรุงรักษายานพาหนะ ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดความล่าช้าและต้นทุนในการดำเนินงาน ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการบริหารจัดการโลจิสติกส์เป็นแนวทางที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งสินค้าทางทะเลได้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางในการลดความล่าช้าในการขนส่งสินค้าผ่านท่าเรือแหลมฉบัง

นอกจากนี้ใน [4] ได้ศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการขนส่งน้ำยางข้นในจังหวัดสงขลา โดยใช้วิธีการวิจัยเชิงปริมาณและเครื่องมือการวิเคราะห์ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการ และสภาพแวดล้อม (4M1E) ซึ่งพบว่าปัญหาหลักมาจากสภาพการขับขี่และการจราจรที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมภายนอก ปัญหาการวางแผนการทำงานและการจัดการรถบรรทุกน้ำยางข้น และปัญหาด้านสภาพรถบรรทุก รวมถึงปัญหาความรู้และทักษะของผู้ทดสอบคุณภาพ งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการปล่อยสินค้าและการจัดระเบียบช่องทางการจราจรบริเวณด่านศุลกากรสะเดา เพื่อเพิ่มความคล่องตัวและลดความล่าช้าในการขนส่ง ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับการศึกษาของ [5] ที่ได้ทำการศึกษาปัญหาการขนส่งสินค้าล่าช้าในจังหวัดขอนแก่น โดยพบว่ามีการเกิดการขนส่งล่าช้าในจำนวนครั้งมากถึง 131 ครั้งในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 โดยใช้แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) เพื่อวิเคราะห์สาเหตุหลัก อาทิ การจัดเตรียมสินค้าที่ไม่ครบถ้วน การตรวจสอบสินค้าที่ไม่ละเอียด และปัญหาการประสานงานที่ไม่ชัดเจน รวมถึงปัจจัยภายนอกเช่น การจราจรติดขัด งานวิจัยนี้เสนอแนะให้มีการตรวจเช็คสินค้าก่อนการขนส่งโดยใช้แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) ซึ่งสามารถลดจำนวนครั้งของการขนส่งล่าช้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า การศึกษาในรูปแบบเดียวกันนี้ยังได้ถูกต่อยอดในงานวิจัยของ [6] ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาปัญหาความล่าช้าในการขนส่งสินค้าปูนซีเมนต์ผง พบว่าหลายปัจจัยส่งผลต่อความล่าช้า อาทิ สภาพยานพาหนะที่ไม่ได้มาตรฐาน การควบคุมการติดตามยานพาหนะที่ไม่ดี และการขาดเวลาพักผ่อนของพนักงานขับรถ ผลการศึกษานี้ได้เสนอแนวทางการพัฒนาหลายด้าน เช่น การอบรมการบำรุงรักษายานพาหนะ การใช้เทคโนโลยีการติดตามยานพาหนะ และการพัฒนาทักษะการขับขี่ที่ปลอดภัย เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการขนส่งและลดความล่าช้า ซึ่งยังคงเกี่ยวเนื่องกับการศึกษาของ [7] ที่เกี่ยวกับต้นทุนในการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุก ซึ่งพบว่า ต้นทุนหลักในการขนส่งสินค้าปูนซีเมนต์มาจากการใช้ยานพาหนะ ซึ่งมีต้นทุนผันแปรสูง งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการลดต้นทุนโดยการปรับปรุงกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้ถึง 2,095,899 บาทและลดเวลาการให้บริการลงได้ถึง 50.22%

ทั้งนี้ในการศึกษาของ [8] ได้ศึกษาคุณภาพชีวิตในการทำงานด้านโลจิสติกส์ของพนักงานขับรถบรรทุกในจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยพบว่าพนักงานขับรถบรรทุกส่วนใหญ่มีประสบการณ์ทำงาน 3-4 ปี และมีรายได้เฉลี่ยอยู่ที่ 10,001-20,000 บาท/เดือน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าบริษัทควรจัดการอบรมและวางแผนการขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อพัฒนาศักยภาพในการทำงานของพนักงานขับรถบรรทุกให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งทั้งหมดนี้สัมพันธ์กับการศึกษาเรื่องการใช้ต้นทุนตามฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing) ในการคำนวณต้นทุนการขนส่งของบริษัท DHL Exel Supply Chain (Thailand) โดย [9] ที่พบว่าการใช้ระบบนี้สามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งและเพิ่มประสิทธิภาพ นอกจากนั้นในการศึกษาของ [10] ได้วิเคราะห์ต้นทุนการนำเข้าสินค้าทางอากาศโดยใช้แนวทางการคิดต้นทุนฐานกิจกรรมและเกณฑ์เวลา จากกรณีศึกษาของบริษัทตัวแทนผู้ส่งสินค้าทางอากาศ โดยแบ่งลูกค้าออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ผู้รับบริการขนส่งสินค้า, ผู้รับบริการขนส่งสินค้าและผ่านพิธีการศุลกากร และ ผู้ผ่านพิธีการศุลกากร โดยเก็บข้อมูลจาก 3,835 ชุดงาน เป็นระยะเวลา 1 ปี โดยผลการศึกษาพบว่า 48.31% ของต้นทุนบุคลากรถูกใช้ไปโดยไม่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในกลุ่มลูกค้าที่ใช้บริการขนส่งและศุลกากร ซึ่งเกี่ยวข้องกับเอกสารนำเข้าพิเศษ เช่น ใบอนุญาต อย. หรือแบบฟอร์มอื่นๆ นอกจากนี้ ความล่าช้าของเที่ยวบินส่งผลต่อกระบวนการดำเนินงาน ซึ่งการศึกษานี้ชี้ให้เห็นแนวทางปรับปรุงการจัดสรรบุคลากรและกลยุทธ์การกำหนดราคาให้เหมาะสมกับความซับซ้อนของงาน เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ทางอากาศ ในทางเดียวกัน การประยุกต์ใช้แนวทางการคิดต้นทุนฐานกิจกรรม ในการศึกษาของ [11] มุ่งวิเคราะห์โซ่อุปทานและต้นทุนโลจิสติกส์ของการเพาะปลูกแตงโมพันธุ์ตอร์ปิโดในพื้นที่บ้านดอนยานาง อำเภอนามน จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยใช้ข้อมูลจากเกษตรกร 37 ราย ซึ่งผลการศึกษาพบว่า กระบวนการเพาะปลูกประกอบด้วย 7 กิจกรรมหลัก ได้แก่ การจัดซื้อจัดหา การเตรียมแปลงปลูก การปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว การขนส่ง และการจัดเก็บสินค้าคงคลัง โดยต้นทุนรวมต่อฤดูกาลอยู่ที่ 2,671,700บาท โดยกิจกรรมที่มีต้นทุนสูงสุดคือการดูแลรักษา มีต้นทุน 875,820 บาท หรือ 32.81% ของต้นทุนรวม และต้นทุนด้านวัสดุสิ้นเปลืองคิดเป็น 38.05% ของต้นทุนทั้งหมด และเสนอแนวทางลดต้นทุน ได้แก่ การใช้ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยชีวภาพควบคู่กับปุ๋ยเคมีเพื่อลดการใช้สารเคมี และการใช้น้ำหมักชีวภาพร่วมกับยาฆ่าแมลงเพื่อลดต้นทุนด้านเคมีภัณฑ์ นอกจากนี้ การรวมกลุ่มเกษตรกรเพื่อสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์ในปริมาณที่เหมาะสมสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

โดยส่วนใหญ่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเน้นการวิเคราะห์สาเหตุและปัญหาที่นำไปสู่ความล่าช้าในการขนส่งสินค้า รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนในการขนส่งและการพัฒนาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ปัญหาที่พบมีลักษณะคล้ายคลึงกับงานวิจัยที่ผู้จัดทำดำเนินการ ซึ่งหาก

เกิดความล่าช้าในการขนส่งจะส่งผลให้เกิดต้นทุนที่ตามมา จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัญหาที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการขนส่งสินค้า โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลผ่านการเลือกกลุ่มตัวอย่าง การทำแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ พร้อมกับการใช้แผนผังแสดงเหตุและผล ในการวิเคราะห์ จากนั้นจะใช้วิธีการวิเคราะห์ต้นทุนตามฐานกิจกรรม (เพื่อหาต้นทุนที่เกิดขึ้นและหาวิธีลดต้นทุนในการขนส่ง พร้อมทั้งเสนอและคัดเลือกแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เหมาะสม ผลจากการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์สาเหตุของความล่าช้าช่วยให้สามารถระบุสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาได้ และสามารถนำเสนอแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหา ขณะเดียวกัน การใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรมช่วยให้สามารถคำนวณต้นทุนในการขนส่งและลดต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาจะพบว่าโดยส่วนใหญ่การศึกษาเกี่ยวกับปัญหาในท่าเรือแหลมฉบังจะเน้นไปที่ด้านการจราจรเป็นหลัก ยังไม่มีการวิเคราะห์ถึงผลกระทบในเชิงต้นทุนที่ชัดเจนที่เกิดจากปัญหาความล่าช้าในการเข้ารับบริการของผู้รับส่งสินค้า ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการหาสาเหตุของความล่าช้า และวิเคราะห์ผลกระทบด้านต้นทุนด้วยวิธีระบบต้นทุนฐานกิจกรรม เพื่อแสดงให้เห็นผลกระทบที่ชัดเจนมากขึ้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์สาเหตุและต้นทุนจากความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง ผู้วิจัยได้เลือกใช้ วิธีการดำเนินการแบบผสมผสาน (Mixed Method) ที่มีการผสมผสานการดำเนินการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) รวมกับการวิจัยเชิงปริมาณ (Qualitative Research) เพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง และ มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด ซึ่งในการดำเนินการวิจัยจะมุ่งเน้นวิเคราะห์สาเหตุและต้นทุนจากความล่าช้าในการเข้า รับตู้สินค้า เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุ ต้นทุน และแนวทางการแก้ไขความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้า ในท่าเรือแหลมฉบัง โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 กำหนดกลุ่มประชากร

ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มประชากรที่ต้องการศึกษาทั้งหมด 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้ให้บริการ ซึ่งประกอบด้วย ท่าเรือแหลมฉบัง และผู้ประกอบการในท่าเรือแหลมฉบัง และกลุ่มที่ 2 กลุ่มผู้รับบริการ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ประกอบการขนส่งในพื้นที่ ตัวแทนขนส่งในพื้นที่ และพนักงานขับรถหัวลากในพื้นที่

3.1.2 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ในการเลือกกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มที่ 1 กลุ่มผู้ให้บริการ ผู้วิจัยได้ทำการเลือกเก็บข้อมูลจาก ท่าเรือแหลมฉบัง 1 หน่วยงาน (คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 100) และผู้ประกอบการในท่าเรือแหลมฉบัง 2 หน่วยงาน (คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 17) โดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง เชิงคุณภาพ ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการคัดเลือกแบบมีจุดประสงค์หรือเฉพาะเจาะจง โดยใช้เกณฑ์ในการเลือก คือ การนัดหมาย การขออนุญาตเก็บข้อมูล และความพร้อมของผู้ให้ข้อมูล นอกจากนี้ยังพิจารณาถึง ความสามารถในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ลักษณะของหน่วยงานที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการขนส่งสินค้าผ่านท่าเรือแหลมฉบัง รวมถึง ตำแหน่งงานและประสบการณ์ของผู้ให้ข้อมูล เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่ได้รับมีความถูกต้อง ครอบคลุม และสะท้อนปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานจริง

สำหรับการเลือกกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มที่ 2 กลุ่มผู้รับบริการ ผู้วิจัยได้ทำการเลือกเก็บข้อมูลจาก ผู้ประกอบการขนส่งในพื้นที่ ตัวแทนขนส่งในพื้นที่ และพนักงานขับรถหัวลากในพื้นที่ ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการคัดเลือก แบบบังเอิญ [3] ด้วยเหตุผลด้านความสะดวกและปลอดภัยในการลงพื้นที่บริเวณท่าเรือแหลมฉบัง และการส่งแบบสอบถามออนไลน์ไปยังบริษัทขนส่งผู้ที่ใช้บริการท่าเรือแหลมฉบัง ซึ่งไม่สามารถกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกก่อนได้ และไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน จึงได้ใช้วิธีการคำนวณโดยใช้สูตรของ W.G. Cochran [12] โดยกำหนดระดับค่าความเชื่อมั่น 90% สัดส่วนความคาดเคลื่อนเท่ากับ 0.10 ดังสมการที่ (1)

$$n = \frac{p(1-p)z^2}{d^2} \quad (1)$$

โดยที่

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

p แทน สัดส่วนของประชากรที่ผู้วิจัยต้องการสุ่ม (0.30) [13]

z แทน ระดับความมั่นใจที่กำหนด (Z ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 มีค่าเท่ากับ 1.65)

d แทน สัดส่วนความคาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้น (ระดับค่าความเชื่อมั่น 90% สัดส่วน ความคาดเคลื่อนเท่ากับ 0.10)

โดยจากการคำนวณจะได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องเก็บข้อมูล คือ 57.17 คน และผู้วิจัยจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 60 คน ในกลุ่มตัวอย่างที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น โดยทำการลงพื้นที่แจกแบบสอบและแบบสอบถามออนไลน์ ให้แก่กลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 2

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มประชากรที่ต้องการศึกษาทั้งหมด 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้ให้บริการ ซึ่งประกอบด้วย ท่าเรือแหลมฉบัง และผู้ประกอบการ

3.2.1 แบบสัมภาษณ์

เป็นการถามและตอบคำถามแบบปลายเปิดใช้สำหรับการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มผู้ให้บริการ โดยคำถามสำหรับการวิจัย มีประเด็นที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- กระบวนการในการเข้าไปรับตู้สินค้า
- ปัญหาหรืออุปสรรค และกระบวนที่มีผลทำให้เกิดความล่าช้า

- ระยะเวลาเฉลี่ยปกติที่รถจะเข้าไปรับตู้สินค้าหรือเวลาที่รถจะอยู่ในระบบ
- สาเหตุที่ส่งผลต่อความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง
- ผลกระทบจากความล่าช้าในเข้ารับตู้สินค้า
- ข้อเสนอแนะหรือแนวทางการแก้ไขปัญหาเกี่ยวความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้า

3.2.2 แบบสอบถาม

เป็นการสร้างแบบสอบถามที่มีคำถามแบบปลายเปิดและคำถามแบบปลายปิด ใช้สำหรับการสอบถามของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 2 โดยแบบสอบถามจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

- ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ อาชีพ และประสบการณ์การทำงาน
- ส่วนที่ 2 แบบสอบถามข้อมูลสาเหตุความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง ได้แก่ ด้านโครงสร้างพื้นฐาน ด้านกระบวนการ ด้านการบริหารจัดการ ด้านบุคลากร ด้านอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการขนย้ายตู้สินค้า ด้านสภาพอากาศ และสาเหตุอื่น ๆ
- ส่วนที่ 3 แบบสอบถามข้อมูลต้นทุนในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง ได้แก่ ระยะเวลาเฉลี่ยปกติในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง ระยะเวลาในการเข้าไปรับตู้สินค้านานที่สุด ความถี่ เชื้อเพลิงที่ใช้ จำนวนชั่วโมงการทำงาน และค่าแรง
- ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

3.2.3 การตรวจสอบความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัย

ในการทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้นำแบบสอบถามที่ร่างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านตรวจสอบความถูกต้อง พร้อมทั้งคำนวณค่าความสอดคล้อง (IOC) เพื่อปรับแก้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ เมื่อปรับแก้เรียบร้อยแล้ว ซึ่งในการพิจารณาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จากการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ในทุกคำถาม นั้นหากข้อคำถามมีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 – 1.00 ผู้วิจัยจะคัดเลือกไว้ ส่วนข้อคำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.50 ผู้วิจัยจะทำการปรับปรุงข้อคำถามใหม่ และข้อคำถามที่มีค่า IOC เท่ากับ 0.00 ผู้วิจัยจะทำการตัดข้อคำถามนั้นออกไป และนำแบบสอบถามมาปรับแก้ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ เมื่อปรับปรุงแบบสอบถามเรียบร้อยแล้ว ได้ดำเนินการทดลองใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างสมมติจำนวน 30 คน และทดสอบค่าความเชื่อมั่น โดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟา (Cronbach's alpha coefficient; α) ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 20 โดยได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามเท่ากับ 0.9 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก หมายถึง แบบสอบถามมีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างจริงได้

3.3 เก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

3.3.1 วิธีการสัมภาษณ์ เป็นการสัมภาษณ์ออนไลน์ โดยใช้การสัมภาษณ์เป็นรายบุคคล เป็นการสัมภาษณ์ของผู้สัมภาษณ์ 3 คนต่อผู้ให้สัมภาษณ์ 1 คน โดยแบ่งระดับการสัมภาษณ์ตามลักษณะ และตำแหน่งงาน เนื่องจากเป็นการสัมภาษณ์กลุ่มบุคคลที่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่ต้องการศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลตามที่ต้องการอย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.2 วิธีการสอบถาม เป็นลงพื้นที่ท่าเรือแหลมฉบังเพื่อเก็บแบบสอบถาม และใช้แบบสอบถามออนไลน์ โดยใช้ Google Forms เพื่อสะดวกต่อการทำงาน และมีการจัดเก็บอย่างเป็นระเบียบปลอดภัย สามารถแก้ไขและเข้าถึงข้อมูลจากที่ใดก็ได้ และสามารถคำนวณคำตอบที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว

3.4 วิเคราะห์ผลกระทบด้านต้นทุน

สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดจากความล่าช้าในการเข้าไปรับตู้สินค้า ในท่าเรือแหลมฉบัง ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดจากความล่าช้าใน 2 ส่วนคือ คือ ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง และต้นทุนค่าเสียโอกาส และได้เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ต้นทุน ด้วยวิธี ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) วิเคราะห์และระบุกิจกรรม
2) การรวบรวมต้นทุนเข้าสู่กิจกรรม
3) การกำหนดตัวผลักดันกิจกรรม
4) คำนวณต้นทุนฐานกิจกรรมเข้าสู่สิ่งที่ต้องการคิดต้นทุน

โดยผู้วิจัยจะวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนที่เกิดจากความล่าช้าในช่วงเวลาที่รถบรรทุกรอเข้ารับตู้สินค้าที่หน้าท่าเทียบเรือจนถึงรถบรรทุกรับตู้สินค้าและออกจากท่าเทียบเรือ โดยเป็นการนำข้อมูลเชิงปริมาณที่เก็บรวบรวมได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงและต้นทุนค่าเสียโอกาส

4. ผลการดำเนินการวิจัย

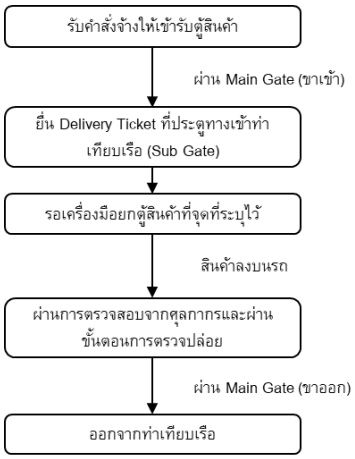
หลังจากได้ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งจากการสัมภาษณ์และสอบถามกลุ่มเป้าหมายทั้ง 2 กลุ่มแล้ว สามารถสรุปผลการดำเนินการวิจัย ได้ดังนี้

4.1 ข้อมูลที่ได้จากจากแบบสัมภาษณ์

ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มผู้ให้บริการซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ท่าเรือแหลมฉบัง และผู้ประกอบการในท่าเรือแหลมฉบัง ซึ่งสามารถวิเคราะห์และสรุปได้ข้อมูลที่ได้ในแต่ละประเด็น ดังนี้

กระบวนการในการเข้าไปรับตู้สินค้า กระบวนการเริ่มต้นจากการที่รถหัวลากได้รับคำสั่งจ้างให้เข้ารับตู้สินค้าที่ท่าเรือแหลมฉบัง โดยต้อง

ยื่นตั๋ว (Delivery Ticket) ที่ประตูทางเข้าท่าเทียบเรือ จากนั้นรถจะต้องรอให้เครื่องมือยกตู้สินค้าทำการยกตู้ขึ้นที่จุดที่ระบุไว้ในตั๋ว และเมื่อตู้สินค้าถูกยกขึ้นเรียบร้อยแล้ว รถจะต้องผ่านการตรวจสอบจากศุลกากรและผ่านขั้นตอนการตรวจปล่อยก่อนออกจากท่าเรือ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการในการเข้าไปรับตู้สินค้า

ปัญหาหรืออุปสรรคที่ทำให้เกิดความล่าช้า ปัญหาความล่าช้าเกิดจากการที่รถหัวลากจำนวนมากเข้ามารับตู้สินค้าในช่วงเวลาเดียวกัน ทำให้ต้องใช้เวลารอคิวที่ยาวนาน นอกจากนี้ เครื่องมือยกตู้สินค้าภายในท่าเรือ เช่น เครนในลานกองตู้ (Rubber Tyred Gantry Crane: RTG) มีจำนวนจำกัด ส่งผลให้เกิดความหนาแน่นและการรอคอยเป็นเวลานาน อีกทั้ง หากมีปัญหาเรื่องเอกสารไม่ครบถ้วนที่จุดตรวจสอบทางเข้าท่าเทียบเรือ อาจทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้นในการดำเนินการ

ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้ารับตู้สินค้า โดยทั่วไปแล้ว ระยะเวลาเฉลี่ยที่รถหัวลากใช้ในการเข้ารับตู้สินค้าอยู่ที่ประมาณ 100 นาที อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีที่มีปัจจัยแทรกซ้อน เช่น ความล่าช้าจากการรอคิวของเครื่องมือยกตู้ หรือปัญหาด้านเอกสาร อาจทำให้รถต้องรออยู่ในท่าเทียบเรือเป็นเวลานานกว่าปกติ บางครั้งอาจใช้เวลาถึง 24 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการจราจรภายในท่าเรือและปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ

สาเหตุที่ส่งผลต่อความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้า สาเหตุหลักของความล่าช้ามีหลายปัจจัย ได้แก่ ปริมาณรถหัวลากที่เข้ามารับตู้สินค้าในช่วงเวลาเดียวกันจนเกินความสามารถในการรองรับของระบบ จำนวนอุปกรณ์ยกตู้สินค้าที่มีจำกัดทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้นในการเคลื่อนย้ายตู้สินค้า ปัญหาการจราจรติดขัดภายในท่าเรือที่เกิดจากพฤติกรรมการขับขี่ของรถหัวลากและอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังมีความล่าช้าที่เกิดจากขั้นตอนการตรวจสอบเอกสารที่ประตูทางเข้า ซึ่งหากมีข้อมูลผิดพลาดหรือไม่ครบถ้วน จะทำให้ต้องมีการแก้ไขและยื่นใหม่ ส่งผลให้เกิดการสะสมของรถที่รอเข้ารับตู้สินค้า

ผลกระทบจากความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้า ความล่าช้าส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้ประกอบการขนส่ง เนื่องจากทำให้เสียโอกาสในการทำรอบงานอื่น ส่งผลต่อรายได้ของบริษัทขนส่งและผู้ขับรถหัวลากที่ต้องรอเป็นเวลานาน นอกจากนี้ยังทำให้ต้นทุนดำเนินงานเพิ่มสูงขึ้นทั้งในแง่ของค่าน้ำมันและค่าใช้จ่ายอื่นๆ อีกทั้ง ความล่าช้ายังส่งผลต่อการจราจรภายในท่าเรือ ทำให้การดำเนินงานของทั้งระบบโลจิสติกส์ชะลอตัว และอาจส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานโดยรวม

ข้อเสนอแนะหรือแนวทางแก้ไขปัญหาความล่าช้า แนวทางการแก้ไขปัญหาความล่าช้าสามารถทำได้โดยการกระจายช่วงเวลาการเข้ารับตู้สินค้าเพื่อลดปริมาณรถที่เข้ามาพร้อมกัน ซึ่งอาจทำได้ผ่านการใช้ระบบจองคิวล่วงหน้า นอกจากนี้ ควรเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องมือยกตู้สินค้า เช่น การเพิ่มจำนวนเครื่องมือให้เพียงพอต่อความต้องการ รวมถึงปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบเอกสารและพิธีการศุลกากรให้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งควรสนับสนุนการขนส่งทางรางหรือทางเรือชายฝั่งเพื่อช่วยกระจายปริมาณงานจากรถหัวลาก ลดความแออัดและความล่าช้าในกระบวนการขนส่งภายในท่าเรือ

4.2 ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามและการแปลผล

4.2.1 ข้อมูลในด้านข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผู้วิจัยได้นำข้อมูล แบบสอบถามในส่วนที่ 1 มาทำการวิเคราะห์ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถาม แบ่งเป็นตัวแทนขนส่งในพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 21.67 ผู้ประกอบการขนส่งในพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 26.67 พนักงานขับรถหัวลากในพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 38.33 และอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 13.33 ประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 4-6 ปี คิด เป็นร้อยละ 26.67 รองลงมา คือ ผู้ตอบแบบสอบถามที่มีประสบการณ์อยู่ในช่วง 16 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 23.33 และอื่น ๆ รวมกัน คิดเป็นร้อยละ 50

4.2.2 ข้อมูลในด้านระดับความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับสาเหตุความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง

จากการรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับสาเหตุความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง พบว่า โดยภาพรวมผู้ตอบแบบสอบถามเห็นด้วยกับปัจจัยที่ส่งผลต่อความล่าช้าในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยรวม 3.43) โดยสาเหตุหลักที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดสามอันดับแรก ได้แก่ การมีจำนวนเครนและอุปกรณ์ในลานกองตู้ไม่เพียงพอ (ค่าเฉลี่ย 4.15) การเข้าไปรับและส่งตู้สินค้าในช่วงเวลาเดียวกัน (ค่าเฉลี่ย 4.12) และการซ่อมถนนที่ส่งผลกระทบต่อการจราจรภายในท่าเรือ (ค่าเฉลี่ย 4.12) นอกจากนี้ยังพบปัจจัยรองที่มีผลต่อความล่าช้า เช่น การบริหารจัดการตู้สินค้าภายในท่าเรือที่ไม่มีประสิทธิภาพ ความล่าช้าจากเครนหน้าท่าทำงานช้า และการสื่อสารที่ผิดพลาดระหว่างผู้ให้บริการและผู้รับบริการ ซึ่งล้วนส่งผลกระทบต่อกระบวนการขนส่งและการจัดการภายในท่าเรือแหลมฉบัง

4.2.3 ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับต้นทุนในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง

จากการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับต้นทุนในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง พบว่า ระยะเวลาเฉลี่ยปกติในการเข้ารับตู้สินค้า อยู่ที่ 2 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 61.67 ของผู้ตอบแบบสอบถาม รองลงมาคือ 1 ชั่วโมง (18.33%) และ 3 ชั่วโมง (11.67%) ส่วนระยะเวลานานที่สุดที่ใช้ในการเข้ารับตู้สินค้าพบว่ามากที่สุดอยู่ที่ 5-6 ชั่วโมง (46.67%) และบางกรณีอาจใช้เวลามากกว่า 8 ชั่วโมง (11.67%)

ในด้านต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารับตู้สินค้า พบว่าผู้ให้บริการขนส่งมีต้นทุนเชื้อเพลิงที่สำคัญ โดยเชื้อเพลิงที่ใช้มากที่สุดคือ ดีเซล B7 (80.00%) รองลงมาคือ NGV (6.67%) และดีเซล B10 (6.67%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบริหารต้นทุนเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยสำคัญในการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง นอกจากนี้ จำนวนชั่วโมงการทำงานของพนักงานขับรถหัวลาก อยู่ในช่วง 08.00 - 17.00 น. และค่าแรงเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 500 ถึง 700 บาท โดยพนักงานขับรถต้องรับภาระค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมหากมีการรอรับตู้สินค้านานเกินเวลาปกติ ส่งผลให้เกิดต้นทุนแฝงที่เพิ่มขึ้นต่อบริษัทและพนักงานขับรถเอง

4.3 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้า

จากการวิเคราะห์สาเหตุของความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าที่ท่าเรือแหลมฉบังโดยวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามจากกลุ่มประชากรทั้ง 2 กลุ่ม สามารถสรุปสาเหตุหลักที่มีผลกระทบต่อกระบวนการดำเนินงานได้หลักที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าในท่าเรือแหลมฉบัง

สาเหตุหลัก	รายละเอียด
ด้านกระบวนการ	การเข้ารับตู้สินค้าในช่วงเวลาเดียวกัน, การรอคิวตรวจสอบเอกสาร
ด้านอุปกรณ์อำนวยความสะดวก	เครื่องมือยกตู้มีจำนวนจำกัด, ข้อจำกัดด้านพื้นที่ลานกองตู้
ด้านการบริหารจัดการ	ปริมาณตู้สินค้าสูงขึ้น, ปัญหาการจราจรภายในท่าเรือ

สำหรับ ด้านกระบวนการ พบว่าการเข้าไปรับและส่งตู้สินค้าในช่วงเวลาเดียวกันเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความแออัดในพื้นที่ท่าเรือ ส่งผลให้ต้องรอคิวเป็นเวลานาน นอกจากนี้ การยื่นเอกสารที่ประตูทางเข้าท่าเทียบเรือยังเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้า โดยเฉพาะกรณีที่เอกสารไม่ครบถ้วนหรือเกิดปัญหาด้านการตรวจสอบ ส่วนในด้านอุปกรณ์อำนวยความสะดวก ท่าเทียบเรือมีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับยกตู้สินค้าจำนวนจำกัด โดยเฉพาะ RTG ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายตู้สินค้า ส่งผลให้การจัดเรียงตู้ล่าช้าและเกิดการรอคิวเป็นเวลานาน รวมถึงข้อจำกัดด้านพื้นที่ลานกองตู้สินค้าทำให้การเคลื่อนย้ายตู้ไม่สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ ด้านการบริหารจัดการ พบว่าปริมาณตู้สินค้านำเข้าและส่งออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ทำให้เกิดปัญหาคอขวดในช่วงเวลาที่มีเรือเทียบท่า นอกจากนี้ พฤติกรรมการใช้รถใช้ถนนของบุคคลที่ทำงานในท่าเรือแหลมฉบัง เช่น การจอดรถในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม หรือการขับรถเข้าออกในช่วงเวลาเร่งด่วน ส่งผลกระทบต่อการจราจรภายในท่าเรือ ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การเข้ารับตู้สินค้าล่าช้า

4.4 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดจากความล่าช้าในการเข้าไปรับตู้สินค้า

การใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม ช่วยให้สามารถระบุต้นทุนที่เกิดจากความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าที่ท่าเรือแหลมฉบังได้อย่างแม่นยำ โดยกระบวนการนี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ซึ่งแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.4.1 วิเคราะห์และระบุกิจกรรม

ในขั้นตอนแรกต้องระบุว่ากิจกรรมใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารับตู้สินค้าและอาจก่อให้เกิดต้นทุน โดยแบ่งออกเป็น 4 กิจกรรมย่อย ได้แก่ การรอเข้ารับตู้สินค้า การตรวจสอบเอกสาร การรอเครื่องมือยกตู้ และการขนส่งออกจากท่าเรือ

4.4.2 จัดสรรจัดค่าใช้จ่ายในการเข้ารับตู้สินค้าเข้าศูนย์กิจกรรม

หลังจากกำหนดกิจกรรมที่เกี่ยวข้องแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการรวบรวมต้นทุนที่เกิดขึ้นกับแต่ละกิจกรรม ซึ่งสามารถแสดงต้นทุนได้ดังตาราง ที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการจัดสรรจัดค่าใช้จ่ายในการเข้ารับตู้สินค้าในแต่ละกิจกรรม

กิจกรรม	ต้นทุน	ประเภทเชื้อเพลิง	ราคาเชื้อเพลิง (บาท/ลิตร)	อัตราการสิ้นเปลือง (ลิตรต่อชั่วโมง)
เข้ารับตู้สินค้า (รถวิ่ง)	เชื้อเพลิง	ดีเซล B7	34	2.9
เข้ารับตู้สินค้า (รถจอดติดรอบเดินเบา)	เชื้อเพลิง	ดีเซล B7	34	2.5

4.4.3 การกำหนดตัวผลักดันกิจกรรม

เพื่อลดความล่าช้าและต้นทุนที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องกำหนด ตัวผลักดันต้นทุน (Cost Driver) สำหรับแต่ละกิจกรรม เพื่อสะท้อนถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณต้นทุนที่ใช้จริง โดยมีรายละเอียดการกำหนดตัวผลักดันกิจกรรม ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการกำหนดตัวผลักดันกิจกรรม

กิจกรรม	ตัวผลักดันต้นทุน (Cost Driver)	ประมาณการใช้ทรัพยากร
เข้ารับตู้สินค้าในท่าเทียบเรือ(รอบปกติ)	จำนวนรอบในการเข้ารับตู้สินค้า จำนวนชั่วโมงในการเข้าไปรับตู้สินค้า	1 รอบต่อการเข้าไปรับตู้สินค้า 2 ชั่วโมง
เข้ารับตู้สินค้าในท่าเทียบเรือ (รอบล่าช้า)	จำนวนรอบในการเข้ารับตู้สินค้า จำนวนชั่วโมงในการเข้าไปรับตู้สินค้า	1 รอบต่อการเข้าไปรับตู้สินค้า 5 ชั่วโมง

4.4.4 คำนวณต้นทุนฐานกิจกรรมเข้าสู่สิ่งที่ต้องการคิดต้นทุน

ในขั้นตอนสุดท้ายคือการคำนวณต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการเข้ารับตู้สินค้า และวิเคราะห์ผลกระทบของความล่าช้าโดยเปรียบเทียบต้นทุนในสถานการณ์ปกติและสถานการณ์ที่เกิดความล่าช้า ซึ่งคำนวณจากกิจกรรม และต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรม โดยประเมินต้นทุนความล่าช้าด้านเชื้อเพลิง จากปริมาณสินค้าผ่านท่าเรือแหลมฉบังตลอดทั้งปี และคิดสัดส่วนจำนวนเที่ยวหรือรอบการเข้ารับบริการตามสัดส่วนที่ได้จากการตอบแบบสอบถาม ซึ่งสามารถแสดงต้นทุนความล่าช้าที่เกิดขึ้น ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการคำนวณต้นทุนฐานกิจกรรมเข้าสู่สิ่งที่ต้องการคิดต้นทุน

ระยะเวลาความล่าช้า	ต้นทุนเชื้อเพลิงต่อรอบ (บาท)	ต้นทุนเชื้อเพลิงต่อปี (บาท)
2 ชั่วโมง (ปกติ)	197.2	433,933,423.5
5 ชั่วโมง (ล่าช้า)	452.2	591,047,249.2

จากการคำนวณพบว่า ความล่าช้าจาก 2 ชั่วโมงเป็น 5 ชั่วโมง ทำให้ต้นทุนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นกว่า 157 ล้านบาทต่อปี นอกจากนั้นแล้วหากคิดต้นทุนค่าเสียโอกาสของพนักงานขับรถหัวลากจะพบว่า ถ้ารถหัวลากเข้ารับตู้สินค้าในระยะเวลาปกติ 2 ชั่วโมง จะมีโอกาสที่จะได้รับตู้ 2 เที่ยวต่อวันเป็น 4 วันต่อสัปดาห์ มีรายได้จากโอกาสที่ได้เที่ยวเพิ่มเฉลี่ย 3,400 บาทต่อ สัปดาห์ ทำให้เกิดรายได้จากการรับเที่ยวเพิ่ม 163,200 บาทต่อปี แต่ถ้าหากเกิดการเข้ารับตู้ล่าช้า (เข้ารับตู้สินค้า 5 ชั่วโมง) 1 วันใน 1 สัปดาห์ จะเสียโอกาสที่จะได้รับเที่ยวเพิ่ม 1 วันต่อสัปดาห์ ซึ่งเท่ากับค่าเสียโอกาสเฉลี่ย 850 บาท ต่อสัปดาห์ ค่าเสียโอกาสคิดเป็นต่อปีจะเท่ากับ 40,800 บาทต่อปี

5. การอภิปรายผลและบทสรุป

การศึกษานี้วิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบของความล่าช้าในการเข้ารับตู้สินค้าของรถหัวลากที่ท่าเรือแหลมฉบัง โดยใช้การวิจัยแบบผสมผสาน ทั้งการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ให้บริการท่าเรือและแบบสอบถามจากกลุ่มผู้รับบริการ ผลการศึกษาพบว่าสาเหตุหลักของความล่าช้า ได้แก่ ข้อจำกัดของเครื่องมือยกตู้สินค้า ความแออัดของการจราจร และปัญหาด้านโครงสร้างพื้นฐาน เช่น การซ่อมแซมถนนภายในท่าเรือ การวิเคราะห์ผลกระทบด้านต้นทุนโดยใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม พบว่าความล่าช้าทำให้ต้นทุนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 157 ล้านบาทต่อปี และต้นทุนค่าเสียโอกาสสำหรับพนักงานขับรถเพิ่มขึ้น 40,800 บาทต่อคนต่อปี นอกจากนั้นยังได้เสนอแนวทางแก้ไขปัญหาความล่าช้า ได้แก่ การใช้ระบบจองคิวล่วงหน้าเพื่อลดความแออัด การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องมือยกตู้สินค้า การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบเอกสารให้รวดเร็วขึ้น และการกระจายการขนส่งไปยังระบบรางหรือทางเรือชายฝั่ง หากมีการนำแนวทางเหล่านี้ไปใช้ คาดว่าจะช่วยลดระยะเวลาการรอคอย ลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์ และเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการของท่าเรือแหลมฉบังได้อย่างยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [14] และ [15] ที่ศึกษาปัญหาการจราจรของท่าเรือแหลมฉบังโดยได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะของปัญหา สาเหตุของปัญหาการจราจรในท่าเรือแหลมฉบัง รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งเสนอวิธีการต่างๆในการแก้ปัญหาการจราจรติดขัดในบริเวณท่าเรือแหลมฉบัง

งานวิจัยนี้สามารถนำไปปรับใช้กับอุตสาหกรรมอื่นที่มีลักษณะการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขนส่งและโลจิสติกส์ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่มีปัญหาความล่าช้าในการขนถ่ายสินค้าหรือการรอคอยในกระบวนการทำงาน ซึ่งอาจพิจารณาข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ ในด้านรูปแบบของความล่าช้าและต้นทุนที่เกิดขึ้น และพฤติกรรมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบ อย่างไรก็ตาม เพื่อขยายขอบเขตการวิจัยให้ครอบคลุมมากขึ้น งานวิจัยในอนาคตอาจพิจารณาประเด็นการศึกษาแนวทางการนำเทคโนโลยีดิจิทัล เช่น การนำระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาช่วยวิเคราะห์และคาดการณ์เวลาการเข้ารับตู้สินค้าแบบเรียลไทม์ โดยใช้ข้อมูลจากปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณการจราจรในท่าเรือ เวลารอคอยที่จุดตรวจสอบ และจำนวนรถบรรทุกที่รอให้บริการ ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดลำดับคิวของรถบรรทุกและลดความแออัด และการนำระบบ IoT โดยใช้ GPS ติดตามตำแหน่งของรถบรรทุกและตู้สินค้าแบบเรียลไทม์ เพื่อลดความล่าช้าที่เกิดจากการรอคอยข้อมูลที่ไม่เป็นปัจจุบัน หรือสามารถเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มดิจิทัลที่ช่วยให้ผู้ขับขี่และรับขนส่งสามารถตรวจสอบความคืบหน้าของการขนส่งได้ตลอดเวลา ซึ่งจะช่วยบริหารจัดการการขนส่งภายในท่าเรือเพื่อลดความล่าช้าลงได้ นอกจากนี้ ควรศึกษาผลกระทบของมาตรการที่นำเสนอในการลดความล่าช้า เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ ควรมีการขยายการศึกษาไปยังท่าเรืออื่น ๆ ในประเทศไทยหรือในระดับภูมิภาค เพื่อเปรียบเทียบและระบุแนวทาง

ปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practices) ในการจัดการการขนส่งตู้สินค้า เช่น การนำระบบ Truck Appointment System (TAS) ของท่าเรือสิงคโปร์มาใช้เพื่อลดเวลารอของรถบรรทุกผ่านการจองล่วงหน้า ทำให้มีการกระจายปริมาณรถบรรทุกได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งสามารถศึกษาปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ผลกระทบของความล่าช้าต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อพัฒนาแนวทางลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาคโลจิสติกส์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะพาณิชยนาวีนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชาในการสนับสนุนการทำวิจัย และขอขอบคุณหน่วยงานหลักที่ให้ความร่วมมือในการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม ได้แก่ ท่าเรือแหลมฉบัง การท่าเรือแห่งประเทศไทย ผู้ประกอบการท่าเทียบเรือ และผู้ประกอบการขนส่งในพื้นที่ท่าเรือแหลมฉบัง

เอกสารอ้างอิง

[1] การท่าเรือแห่งประเทศไทย. "สถิติรายปีปริมาณเรือ สินค้า และตู้ผ่านท่าเรือแหลมฉบัง. เอกสารออนไลน์https://www.port.co.th /cs/internet/internetสถิติรายปี.html สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2567.

[2] logisticafe. ต้นทุนของการขนส่ง (Cost of Transportation). เอกสารออนไลน์ https://www.logisticafe.com/2017/11/ต้นทุนของการขนส่ง-cost-of-transportation/ สืบค้นเมื่อวันที่ 7 ตุลาคม 2567.

[3] ศศิธร สุวรรณศรี. ประสิทธิภาพการขนส่งสินค้าจากท่าเรือแหลมฉบังของธุรกิจผู้ให้บริการโลจิสติกส์. วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยรังสิต, 2562.

[4] เนตนภา รามเรือง. ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการขนส่งน้ำยางข้นของผู้ประกอบการผลิตและส่งออกน้ำยางข้นในจังหวัดสงขลา. สารนิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2561.

[5] ธีรพงษ์ นาคแก้ว, กนกอร ย่องมณี, ธิติมา แสนสุข และวันพิชิต เบ็งจีน, แนวทางการแก้ไขปัญหาการ ขนส่งสินค้าล่าช้า กรณีศึกษาบริษัทขนส่ง จังหวัดข่อนแก่น. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ ราชภัฏเลย วิชาการ ครั้งที่ 7, 25 กุมภาพันธ์ 2564 2564.

[6] ประจักษ์ พรมงาม, ศักดิ์ กองสุวรรรณ และเชษฐ์ภณัฏ ลีลาศรีสิริ. 2559. “แนวทางพัฒนาลดความล่าช้าในการขนส่งสินค้าปูนซีเมนต์ผง กรณีศึกษาบริษัท มีนาทรานสปอร์ต จำกัด” วารสารชุมชนวิจัย, ปีที่ 10 ฉบับที่ 3: 117-127.

[7] พงษ์ชัย อธิคมรัตนกุล และปฏล รัตนชุม. 2560. “การวิเคราะห์ต้นทุนรายกิจกรรมสำหรับงานขนส่งสินค้าทางถนน กรณีศึกษาบริษัทขนส่งปูนซีเมนต์” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ, ปีที่ 40 ฉบับที่ 1:117-136.

[8] อรปวีณ์ โภคาวัฒนา และมัลลิกา อินพรหม. คุณภาพชีวิตในการทำงานด้านโลจิสติกส์ของพนักงานขับรถ จังหวัดนครศรีธรรมราช. งานวิจัย, คณะเทคโนโลยีการจัดการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 2562.

[9] เตชินี บุญรัตน์, ระวิวรรณ จึงวัชกุล, สถาพร โอภาสานนท์ และประพันธ์ รุจิอาภา. การวิเคราะห์ต้นทุนขนส่งสินค้า กรณีศึกษาศูนย์กระจายสินค้า บริษัท ดีเอชแอล เอ็กเซล ซัพพลายเชน (ประเทศไทย). สาขาการบริหารเทคโนโลยีค้าปลีก วิทยาลัยนวัตกรรมอุดมศึกษา, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2562.

[10] ชลดา น้อยกาญจนะ. การวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรมด้วยเกณฑ์เวลาสำหรับกระบวนการนำเข้าของตัวแทนผู้ส่งสินค้าทางอากาศ. วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน (สหสาขาวิชา), บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2566.

[11] เจษฎาภรณ์ บุญจงรัก, พรสุดา ภูลิ้นลาย และ รัชฎา แต่งภูเขียว, 2567. "การศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์โดยใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรมของเกษตรกรผู้เพาะปลูกแตงโมพันธุ์ตอร์ปิโด" วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 2, ฉบับที่ 4: 22-34.

[12] Cochran, W. G. (1977). Sampling Techniques. (3rd ed), New York: John Wiley and Sons.

[13] ดวงพร ชี้แจง. การบริหารจัดการด้านความปลอดภัยในกลุ่มพนักงานขับรถบรรทุก (ตู้คอนเทนเนอร์) ภายในท่าเรือแหลมฉบัง. สารนิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาบริหารธุรกิจสำหรับผู้บริหาร, วิทยาลัยพาณิชยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2559.

[14] อรรจน์ ตันติเวชกุล. การประยุกต์ใช้ค่าธรรมเนียมการจราจรคับคั่งเพื่อลดปัญหาการจราจรติดขัดในท่าเรือแหลมฉบัง. สารนิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2558

[15] ณัฐพงศ์ ชูโชติถาวร และไพโรจน์ เร้าธนชลกุล. 2567 “การวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณไฟจราจรและระบบการจัดแถวคอยการเข้าประตูตรวจสอบของรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ ณ ท่าเรือแหลมฉบัง” Silpakorn University e-Journal (Social Sciences, Humanities, and Arts) ปีที่ 44 ฉบับที่ 1: 43-55.

การวิเคราะห์การยศาสตร์โดยใช้กล้องวัดลึก

Ergonomic analysis by depth camera

ปฏิภาณ แถวหมอ และเชิดพงษ์ ดีเลิศไพบูลย์*
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: patipan.taewmor@gmail.com, chirdpong.d@eng.kmutnb.ac.th

Patipan Taewmor and Chirdpong Deelertpaiboon*
Department of Automation Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: patipan.taewmor@gmail.com, chirdpong.d@eng.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันการเคลื่อนที่หรือท่าทางในการทำงาน สามารถก่อให้เกิดโรคจากการทำงานได้ หากเคลื่อนที่หรืออยู่ในท่าทางที่ผิดหลักการยศาสตร์ โดยโรคเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูกที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานนั้น พบว่ามีอยู่ในกลุ่มโรคที่มีจำนวนสูงสุด 5 อันดับแรกของโรคที่เกิดขึ้นตามลักษณะหรือสภาพการทำงานเนื่องจากการทำงาน ตามรายงานข้อมูลสถิติของสำนักงานประกันสังคม ส่วนที่ 4 สถานการณ์การประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน ปี 2562-2566 [1] ดังนั้นงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการนำกล้องวัดลึกมาใช้ในการวิเคราะห์การยศาสตร์ ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้จากกล้องวัดลึกมาวิเคราะห์ได้อย่างทันทีทันใด โดยใช้ร่วมกับ YOLOv8 เพื่อหาตำแหน่งของร่างกายท่อนบนของมนุษย์ แล้วใช้หลักการการวิเคราะห์แบบ RULA เพื่อประเมินความเหมาะสมในการก้มเงยของมนุษย์ว่าเป็นไปตามหลักการยศาสตร์หรือไม่ โดยมีเกณฑ์การประเมินในส่วนของการก้มแบ่งเป็น 4 ช่วง คือ ลำตัวตรง ลำตัวเอนไปด้านหน้า 0-20° ลำตัวเอนไปด้านหน้า 20-60° และลำตัวเอนไปด้านหน้ามากกว่า 60° ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าการตรวจจับการก้มด้านหน้า ก้มเอียงไปทางขวา-ซ้าย หรือก้มแบบหันข้าง มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 5 องศา

คำสำคัญ: กล้องวัดลึก การวิเคราะห์การยศาสตร์ โรคเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูก

Abstract

Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) can arise from repetitive or improper work postures deviating from ergonomic principles. Statistical data from the Social Security Office, Section 4 Work-related Accident and Illness Statistics, 2019-2023 [1], indicate that WMSDs consistently rank among the top five most prevalent occupational diseases. This research aims to utilize depth camera for ergonomic analysis, which can analyze the data from depth cameras immediately. In conjunction with YOLOv8 object detection to determine the position of the human upper body. Rapid Upper Limb Assessment (RULA) is then applied to evaluate the ergonomic suitability of forward and lateral trunk flexion. The evaluation criteria have 4 ranges: straight body, body leaning forward 0-20 °, body leaning forward 20-60 °, and body leaning forward more than 60 °. The experimental findings indicate that the angular error associated with the detection of forward flexion, lateral flexion (left/right), and axial rotation (lateral flexion with rotation) did not exceed 5 degrees.

Keywords: Depth camera, Ergonomic analysis, Musculoskeletal disorder

1. บทนำ

กล้องวัดลึกเป็นกล้องที่สามารถจับภาพความลึกโดยมีทั้งในรูปแบบกล้องโมโน(แบบเดี่ยว) กล้องสเตอริโอ(แบบคู่) หรือใช้ร่วมกับเซ็นเซอร์วัดระยะทาง ซึ่งในการวิจัยนี้จะใช้เป็นกล้องสเตอริโอในการหาพิกัดในระบบ 3 มิติตามจุดต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อการวิเคราะห์การยศาสตร์ โดยจะมุ่งเน้นไปที่การหาองศาการก้มของมนุษย์

ในการวิเคราะห์และประเมินการยศาสตร์ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้วิธีการ RULA (Rapid Upper Limb Assessment) และ REBA (Rapid Entire Body Assessment) ในการประเมินทางการยศาสตร์ โดย RULA จะใช้วัดในส่วนของร่างกายส่วนบน ตั้งแต่ศีรษะ คอ มือ แขน ลำตัว และเอว ส่วน REBA จะใช้วัดรวมทุกส่วนทั้งร่างกาย โดยมีการนำมาใช้เพื่อการประเมินความเสี่ยงจากการทำงานเช่น การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์การทำงานโดยวิธีการ RULA ของพนักงานโรงงานผลิตน้ำดื่ม อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์ [2] จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าต้องได้รับการปรับปรุงการทำงานโดยทันทีเพื่อช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับสุขภาวะอนามัยในการทำงาน และการปรับปรุงท่าทางการทำงานของพนักงานบรรจุท่อพีวีซีโดยใช้หลักการยศาสตร์ กรณีศึกษา : บริษัท อุตสาหกรรมท่อน้ำไทย จำกัด [3] ที่ได้ใช้การวิเคราะห์การยศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การทำงาน แล้วนำเครื่องช่วยยกอัตโนมัติมาใช้ปรับปรุงท่าทางการทำงาน

การวิเคราะห์ในปัจจุบัน อาศัยการวิเคราะห์โดยให้ผู้วิเคราะห์เข้าทำการวัดเก็บค่าที่สถานีงาน จากการถ่ายภาพหรือบันทึกวีดีโอขั้นตอนการทำงานที่สถานีงานที่ต้องการวิเคราะห์ แล้วนำมาวัดมุมด้วยบรรทัดวัดมุม ซึ่งทำให้ต้องใช้เวลาวิเคราะห์และอาจเกิดความผิดพลาดในการวัดมุมได้หากถ่ายภาพหรือบันทึกวีดีโอในมุมที่ไม่สามารถเห็นองศาการก้มได้ชัดเจน เนื่องจากการทำงานอาจมีการเคลื่อนที่ที่ไม่หันด้านข้างของลำตัวให้ขนานกับกล้อง ซึ่งกล้องวัดลึกจะสามารถนำข้อมูลมาประเมินได้ทันทีขณะที่ทำงานอยู่ และสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการเคลื่อนที่ที่ไม่หันด้านข้างของลำตัวให้ขนานกับกล้องได้

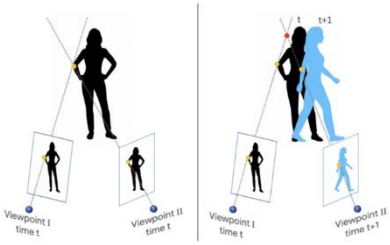
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การหาองศาการก้มของมนุษย์นั้นจะใช้ข้อมูลจากกล้องวัดลึก มาคำนวณเวกเตอร์และระนาบในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ โดยอ้างอิงจุดที่จะใช้ในการประเมินด้านการยศาสตร์ตามวิธีการ RULA (Rapid Upper Limb Assessment) ในการประเมิน โดยแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

1. กล้องวัดลึก (Depth Camera)
2. การหาระยะห่างของจุด 2 จุดในพิกัดฉาก 3 มิติ
3. การประเมินด้านการยศาตร์
4. YOLO หรือ You Only Look Once

2.1 กล้องวัดลึก

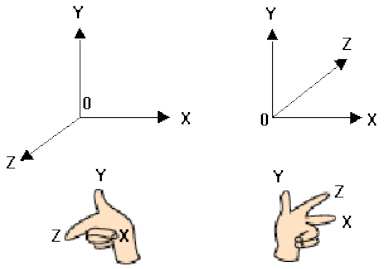
กล้องวัดลึกที่ใช้ในการวิจัยเป็นกล้องสเตอริโอ โดยภายในจะมีโมดูลกล้องสี 1 ตัวอยู่ตรงกลางเพื่อถ่ายและแสดงมุมมองในระบบพิกัดฉาก 2 มิติ และมีกล้องขาวดำ 2 ตัว อยู่ซ้ายขวาในการวัดระยะในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ โดยอาศัยความต่างของภาพจากกล้องขาวดำทั้งสองที่มีระยะห่างคงที่ การทำงานจะมีลักษณะเดียวกันกับการมองเห็นของสายตามนุษย์ และใช้ซอฟต์แวร์ในการคำนวณความลึกของจุดที่ต้องการโดยใช้การหาค่าจากมุมสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การหาความลึกของจุดที่ต้องการ
(ที่มา : https://www.tesrshop.com/blog/depth-camera-มิติใหม่แห่งมิติใ-computer-vision/13)

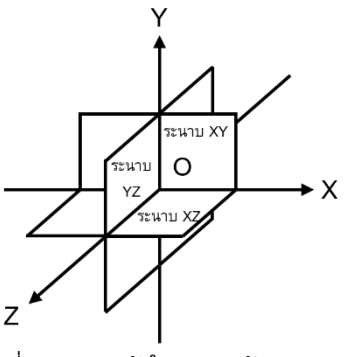
2.2 การหาระยะห่างของจุด 2 จุดในพิกัดฉาก 3 มิติ

ระบบพิกัดฉาก 3 มิติประกอบด้วยเส้นตรง 3 เส้นที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน และตัดกัน ณ จุดๆ หนึ่งซึ่งเรียกว่าจุดกำเนิด และเรียกเส้น 3 เส้นนี้ว่าแกนพิกัดซึ่งเขียนแทนด้วยแกน x แกน y และแกน z โดยระบบพิกัดฉาก 3 มิติจะมี 2 ระบบ คือ ระบบมือขวา และ ระบบมือซ้าย ซึ่งระบบมือขวาจะเป็นที่นิยมกว่า ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของระบบพิกัดฉาก 3 มิติ แบบระบบมือขวา และระบบมือซ้าย
(ที่มา : http://n64devkit.square7.ch/kantan/step3/1/1_3.htm)

แกนพิกัดซึ่งประกอบด้วยแกน x แกน y และแกน z ถ้านำมาจับคู่กันจะมีทั้งหมด 3 คู่ แต่ละคู่นี้เรียกว่าระนาบพิกัด จากระบบพิกัดฉาก 3 มิติ ซึ่งจะพบว่าระนาบพิกัดนี้ได้แก่ระนาบ xy ระนาบ xz และระนาบ yz ดังรูปที่ 3

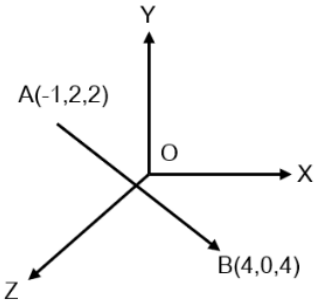


รูปที่ 3 ระนาบพิกัดในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ

โดยในการหาเวกเตอร์ระหว่างจุด 2 จุดในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ นั้น จะหาได้จากการนำจุดพิกัด x,y และ z ของจุด 2 จุดมาลบกันโดยให้นำจุดปลายมาลบที่จุดเริ่มต้น โดยถ้าเวกเตอร์ที่ต้องการหามีจุดเริ่มต้นที่ $A(x_1,y_1,z_1)$ และมีจุดปลายที่ $B(x_2,y_2,z_2)$ จะแทนด้วย

$$\overrightarrow{AB} = \begin{bmatrix} x_2 & - & x_1 \\ y_2 & - & y_1 \\ z_2 & - & z_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ตัวอย่างเช่นดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตำแหน่งและระยะห่างระหว่างจุดในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ

ได้ค่าเวกเตอร์

$$\overrightarrow{AB} = \begin{bmatrix} 4 & - & (-1) \\ 0 & - & 2 \\ 4 & - & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ -2 \\ 2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

เมื่อหาเวกเตอร์ได้อย่างน้อย 2 เวกเตอร์แล้วนั้น หากจะหาเวกเตอร์ตั้งฉาก (Normal vector) ที่ตั้งฉากกับระนาบของเวกเตอร์ทั้ง 2 สามารถทำได้โดยใช้วิธี Cross Product แสดงได้ดังสมการ (3) – (6)

$$\vec{U} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

และ

$$\vec{V} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\vec{N} = \vec{U} \times \vec{V} = \begin{bmatrix} a_2b_3 & - & a_3b_2 \\ a_3b_1 & - & a_1b_3 \\ a_1b_2 & - & a_2b_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

และเมื่อต้องการหาองศาระหว่างระนาบ 2 ระนาบให้นำ เวกเตอร์แนวฉากของทั้ง 2 ระนาบมาหาด้วยสมการโคไซน์ เช่นเมื่อต้องการหามุมระหว่างระนาบที่มีเวกเตอร์แนวฉาก $\overrightarrow{N1}$ กับ $\overrightarrow{N2}$ จะได้สมการดังนี้

$$\cos\theta = \frac{(\overrightarrow{N1}\cdot\overrightarrow{N2})}{(\|\overrightarrow{N1}\|\cdot\|\overrightarrow{N2}\|)} \quad (6)$$

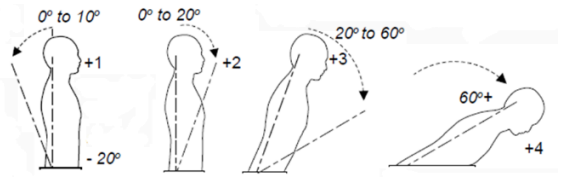
2.3 การประเมินด้านการยศาสตร์

การประเมินด้านการยศาสตร์นั้นเป็นการประเมินลักษณะท่าทางสภาพแวดล้อมของมนุษย์ในการทำงานนั้นมีได้หลายวิธี โดยในการวิจัยนี้จะใช้การประเมินด้วยวิธี RULA (Rapid Upper Limb Assessment) ซึ่งเป็นวิธีที่มุ่งเน้นในการประเมินท่าทางการทำงานในท่านั่งหรือท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนบน สามารถใช้ในการบ่งชี้ถึงระดับความเสี่ยงหรือระดับอันตรายของการทำงานของพนักงานได้ การประเมินนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่มหลักคือ กลุ่ม A ประกอบด้วยการประเมินส่วนแขนและข้อมือ และกลุ่ม B ประกอบด้วยการประเมินในส่วนคอ ลำตัว และขา

ในการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การประเมินส่วนของลำตัว โดยพิจารณามุมของลำตัวเมื่อเทียบกับแนวดิ่ง ลักษณะของลำตัวที่เหมาะสมควรอยู่ในลักษณะตั้งตรง หรือเอนตัวไปด้านหน้าเล็กน้อย ท่าทางการทำงานที่ต้องเอนตัวไปจากแนวดิ่งมากเกินไปจะทำให้มีความเสี่ยงต่อการปวดเมื่อยได้ และถ้ามีการหมุนตัวและเอียงตัวไปทางด้านข้างก็ยิ่งทำให้เพิ่มระดับความเสี่ยงมากขึ้นด้วยรายละเอียดการประเมินในขั้นตอนแสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 5

ตารางที่ 1 รายละเอียดการประเมิน และการให้คะแนนตามท่าทางต่างๆ

ส่วน	คะแนน	ท่าทาง
คะแนนหลัก	1	ลำตัวตรง
	2	ลำตัวเอนไปด้านหน้า 0-20°
	3	ลำตัวเอนไปด้านหน้า 20-60°
	4	ลำตัวเอนไปด้านหน้ามากกว่า 60°
คะแนนปรับเพิ่ม	+1	มีการหมุนตัว
	+1	มีการเอนตัวไปด้านข้าง



รูปที่ 5 การประเมินส่วนลำตัว

(ที่มา : https://thai-ergonomic-assessment.blogspot.com/2014/07/rula.html)

2.4 YOLO หรือ You Only Look Once

YOLO เป็นโมเดลที่สามารถใช้ในการตรวจจับวัตถุ จำแนกและแบ่งส่วนภาพได้ มีความแม่นยำสูงแต่มีขนาดโมเดลที่เล็กสามารถทำงานบน GPU ตัวเดียวได้ซึ่งทำให้สามารถเข้าถึงและใช้งานได้ง่าย โดย YOLO นั้นถูกพัฒนาโดย Ultralytics [4] และถูกตรวจสอบวัดค่าโดย Microsoft COCO และ Roboflow100 โดยในการวิจัยนี้จะใช้ YOLOv8 ในการวิจัย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีการวิจัยที่นำหลักการ การประเมินด้านการยศาสตร์มาใช้ในการประเมินความเสี่ยง และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงาน ที่ส่งผลเสียต่อร่างกายของตัวผู้ปฏิบัติงาน ดังเช่นงานวิจัยดังต่อไปนี้

2.5.1 การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์การทำงานโดยวิธีการ RULA ของพนักงานโรงงานผลิตน้ำดื่ม อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์

งานวิจัยนี้ได้ใช้การประเมินด้วยวิธี RULA แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ ทำให้พบอาการผิดปกติของระบบโครงร่างกล้ามเนื้อ โดยส่วนใหญ่ปวดบริเวณมือและข้อมือทั้งด้านขวาและด้านซ้าย ซึ่งกลุ่มตัวอย่างนี้จากการประเมินจะพบว่าท่าทางการทำงานมีความเสี่ยงในระดับที่ 4 ขั้นตอนเรียงถังน้ำ 23.44% และความเสี่ยงที่พบมากที่สุดจะอยู่ในระดับที่ 2 ถึง 51.56% [2]

2.5.2 การปรับปรุงท่าทางการทำงานของพนักงานบรรจุท่อพีวีซีโดยใช้หลักการยศาสตร์ กรณีศึกษา : บริษัท อุตสาหกรรมท่อน้ำไทย จำกัด

งานวิจัยนี้ได้ใช้การประเมินด้วยวิธี RULA และวิธี REBA เพื่อนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์แก้ไขปัญหาของพนักงาน ที่พบว่ามีอาการบาดเจ็บเรื้อรังบริเวณ ข้อมือ แขน และหัวไหล่ โดยเก็บข้อมูลในพนักงาน 5 สถานีงาน สถานีละ 3 คน ซึ่งมีค่าประเมินที่มีความเสี่ยงสูงสุดในการประเมินท่าทางด้วยวิธี RULA เท่ากับ 3.90 และการประเมินท่าทางด้วยวิธี REBA เท่ากับ 4.95 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องทำการทำการปรับปรุงแก้ไข จึงได้ปรับปรุงท่าทางการทำงาน และออกแบบสร้างอุปกรณ์ช่วยยก โดยได้ใช้เครนในการช่วยยกลำเลียงท่อ [3]

2.5.3 การลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์โดยการปรับปรุงพื้นที่การทำงานตามแนวทางของ ILO ในพนักงานโรงงาน ซัก อบ รีด แห่งหนึ่ง

งานวิจัยนี้ได้ใช้การประเมินด้วยวิธี RULA สำหรับพนักงานที่นั่งทำงานในขั้นตอนคัดแยกเสื้อผ้า ใช้การประเมินด้วยวิธี REBA สำหรับพนักงานที่ยืนทำงานในขั้นตอนซักผ้า สลัดน้ำ อบผ้า รีดผ้า บรรจุผ้าลงถุงพลาสติก และใช้สมการประเมินงานยกของ NIOSH สำหรับพนักงานที่ทำงานในขั้นตอนขนส่งเสื้อผ้า ซึ่งนำมาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และแก้ไขปรับปรุงในพื้นที่สถานีงาน เช่น การปรับความสูงของโต๊ะทำงานที่มีระดับความสูงที่ไม่เหมาะสม [5]

2.5.4 การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์และอาการผิดปกติของโครงร่างและกล้ามเนื้อของพนักงานเก็บขยะในตำบลบ้านกลาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี

งานวิจัยนี้ได้ใช้การประเมินด้วยวิธี REBA เก็บข้อมูลนำมาวิเคราะห์ พนักงานเก็บขยะในตำบลบ้านกลาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี พบว่าพนักงานส่วนใหญ่มีค่าความเสี่ยงในระดับสูงมากถึง 63.33% ความเสี่ยงสูง 30.00% และระดับเสี่ยงปานกลาง 6.67% ซึ่งอาจเกิดจากการที่มีการยก ดึง ลากถังขยะที่มีน้ำหนักมาก ที่ทำงานซ้ำและต่อเนื่องเป็นเวลานานซึ่งจะก่อให้เกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อได้ [6]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะเป็นการเสนอวิธีดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การสร้างเครื่องมือในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มประชากรเป้าหมายในงานวิจัยนี้ คือ ผู้ที่มีความสูงอยู่ที่ระดับ 162 ซม. น้ำหนัก 65 กก. จำนวน 1 คน โดยผู้ที่ทำการวิจัยนี้เป็นกลุ่มประชากรตัวอย่างของการวิจัย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ การข้อมูลจากกล้องวัดลึก มาคำนวณเวกเตอร์และระนาบในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ โดยอ้างอิงจุดที่จะใช้ในการประเมินด้านการยศาสตร์ตามวิธีการ RULA (Rapid Upper Limb Assessment) ในการประเมิน

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ใช้หลักการทำงานของ YOLOv8 เพื่อช่วยกำหนดพื้นที่ภายในภาพว่าบริเวณใดเป็นบริเวณที่มีมนุษย์อยู่ แล้วจึงตีกรอบรูปภาพ
2. ใช้กล้องวัดลึกคำนวณพิกัดของตำแหน่งศีรษะ หัวไหล่ และลำตัว
3. คำนวณระนาบของร่างกายท่อนบนของมนุษย์ แล้วหาเวกเตอร์ตั้งฉาก แล้วจึงคำนวณมุมก้ม ซึ่งจะเท่ากับมุมของเวกเตอร์ตั้งฉากร่างกายท่อนบนของมนุษย์ เทียบกับเวกเตอร์ตั้งฉากของระนาบในแนวดิ่ง
4. ทำการประเมินด้วยวิธี RULA เพื่อกำหนดระดับความเสี่ยงหรือระดับอันตรายของการทำงานของพนักงาน

3.4 การทำการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ เมื่อผู้วิจัยได้รับข้อมูลครบถ้วนตามที่ต้องการ จึงดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาสถิติต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โดยดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

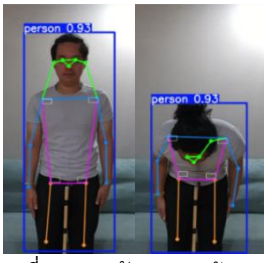
1. การทำทดลองที่ระยะ 50 องศา ในลักษณะ หน้าตรง ทดลองจำนวน 5 ครั้ง แล้วเก็บค่าจากโปรแกรม เพื่อนำมาวิเคราะห์
2. การทำทดลองที่ระยะ 50 องศา ในลักษณะ เฉียงขวา ทดลองจำนวน 5 ครั้ง แล้วเก็บค่าจากโปรแกรม เพื่อนำมาวิเคราะห์
3. การทำทดลองที่ระยะ 50 องศา ในลักษณะ เฉียงซ้าย ทดลองจำนวน 5 ครั้ง แล้วเก็บค่าจากโปรแกรม เพื่อนำมาวิเคราะห์
4. การทำทดลองที่ระยะ 50 องศา ในลักษณะ หันขวา ทดลองจำนวน 5 ครั้ง แล้วเก็บค่าจากโปรแกรม เพื่อนำมาวิเคราะห์
5. การทำทดลองที่ระยะ 50 องศา ในลักษณะ หันซ้าย ทดลองจำนวน 5 ครั้ง แล้วเก็บค่าจากโปรแกรม เพื่อนำมาวิเคราะห์

โดยแต่ละการทดลองจะทำซ้ำ 5 ครั้ง พักระหว่างครั้ง 10 วินาที ใช้ไม้บรรทัดวัดมุมตั้งค่ามุมไว้ที่ 50 องศาติดไว้กับไม้วางไว้หน้าผู้ทดลอง ให้ผู้ทดลองยืนตรงและก้มลงมาช้าจนถึงไม้บรรทัดวัดมุมที่ตั้งองศาค้างไว้ 10 วินาทีแล้วจึงกับมายืนตัวตรง

จากวิธีการประเมินด้านการยศาสตร์ด้วย RULA นั้นจะแบ่งเกณฑ์การประเมินเป็น 4 ช่วงการก้ม โดยท่าทางลำตัวตรงและลำตัวเอนไปด้านหน้า 0-20 องศา นั้นจะอยู่ในช่วงการวัดขณะยืนตรง ส่วนท่าทางลำตัวเอนไปด้านหน้า 20-60 องศา จะอยู่ในช่วงการวัดองศาการก้ม 50 องศา ซึ่งเป็นองศาการก้มก่อนจะถึงท่าทางลำตัวเอนไปด้านหน้ามากกว่า 60 องศา

3.5 ผลการทดลอง

1. การทำทดลองที่ระยะ 50 องศา ในลักษณะ หน้าตรง ทดลองจำนวน 5 ครั้ง มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 องศา ตามรูปที่ 6 และผลการทดลองตามตารางที่ 2

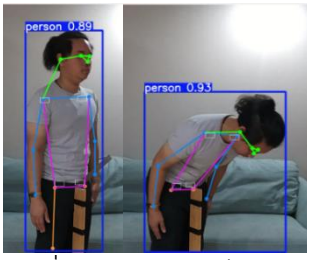


รูปที่ 6 แสดงลักษณะ หน้าตรง

ตารางที่ 2 ผลการทดลองก้ม 50 องศา หน้าตรง

ก้ม 50 องศา หน้าตรง		
ครั้งที่	องศาการก้ม	
	ยืนตรง (0)	ก้ม (50)
1	1.06	49.63
2	1.29	49.93
3	0.44	49.04
4	1.29	51.69
5	0.99	50.29

2. การทำทดลองที่ระยะ 50 องศา ในลักษณะ เฉียงขวา ทดลองจำนวน 5 ครั้ง มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4 องศา ตามรูปที่ 7 และผลการทดลองตามตารางที่ 3

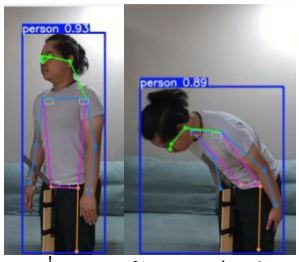


รูปที่ 7 แสดงลักษณะ เฉียงขวา

ตารางที่ 3 ผลการทดลองก้ม 50 องศา เฉียงขวา

ก้ม 50 องศา เฉียงขวา		
ครั้งที่	องศาการก้ม	
	ยืนตรง (0)	ก้ม (50)
1	1.41	46.47
2	0.18	50.02
3	3.26	49.96
4	1.29	47.12
5	0.75	53.69

3. การทำทดลองที่ระยะ 50 องศา ในลักษณะ เฉียงซ้าย ทดลองจำนวน 5 ครั้ง มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 องศา ตามรูปที่ 8 และผลการทดลองตามตารางที่ 4

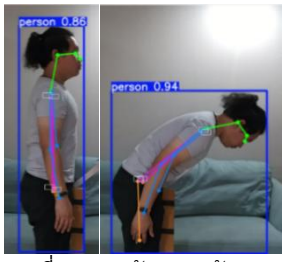


รูปที่ 8 แสดงลักษณะ เฉียงซ้าย

ตารางที่ 4 ผลการทดลองก้ม 50 องศา เฉียงซ้าย

ก้ม 50 องศา เฉียงซ้าย		
ครั้งที่	องศาการก้ม	
	ยืนตรง (0)	ก้ม (50)
1	0	49.85
2	0.46	54.65
3	0.93	51.83
4	0.32	52.65
5	0.7	50.38

4. การทำทดลองที่ระยะ 50 องศา ในลักษณะ หันขวา ทดลองจำนวน 5 ครั้ง มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4 องศา ตามรูปที่ 9 และผลการทดลองตามตารางที่ 5

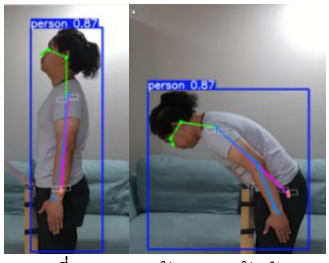


รูปที่ 9 แสดงลักษณะ หันขวา

ตารางที่ 5 ผลการทดลองก้ม 50 องศา หันขวา

ก้ม 50 องศา หันขวา		
ครั้งที่	องศาการก้ม	
	ยืนตรง (0)	ก้ม (50)
1	0.29	52.33
2	2.89	53.68
3	1.06	49.67
4	3.41	52.72
5	2.79	52.49

5. การทำทดลองที่ระยะ 50 องศา ในลักษณะ หันซ้าย ทดลองจำนวน 5 ครั้ง มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4 องศา ตามรูปที่ 10 และผลการทดลองตามตารางที่ 6



รูปที่ 10 แสดงลักษณะ หันซ้าย

ตารางที่ 6 ผลการทดลองกัม 50 องศา หันซ้าย

กัม 50 องศา หันซ้าย		
ครั้งที่	องศาการกัม	
	ยืนตรง (0)	กัม (50)
1	0.48	50.79
2	0.96	53.64
3	0.17	50.28
4	3.05	50.43
5	0.32	52.93

โดยในการทดลองลักษณะ หน้าตรงจะมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และการทดลองลักษณะ เฉียงซ้ายจะมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ซึ่งอาจเกิดจุดที่ต้องการวัดถูกบดบังด้วยอุปกรณ์หรือส่วนของร่างกายบดบังในจุดที่ต้องการวัดค่า

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์การยศาสตร์ โดยใช้ YOLOv8 ในการหาพิกัด x และ y ของไหล่ซ้าย ขวา และสะโพกซ้ายขวา จากนั้นหาระยะ z ของจุดทั้ง 4 จุดนั้น โดยใช้กล้องวัดลึก เพื่อหาค่า x, y และ z ในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ นำมาวิเคราะห์หามุมกัมของมนุษย์ เทียบกับระนาบที่ตั้งฉากกับโลก โดยสร้างขึ้นจากจุดสะโพกทั้ง 2 จุดร่วมด้วย จากการทดลองสามารถวัดองศาการกัมของมนุษย์ได้โดยในลักษณะหน้าตรงมีค่าความคลาดเคลื่อน -1.69 – 1.29 องศา ลักษณะหันเฉียงมีความความคลาดเคลื่อน -4.65 – 3.53 องศา และ ลักษณะหันข้างมีความคลาดเคลื่อน -3.68 – 3.41 องศา

จากผลการทดลองพบว่าในลักษณะหันเฉียงจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก ซึ่งเกิดได้จากการหาค่าในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ อาจคลาดเคลื่อนเนื่องจากจุดที่ต้องการหาระยะลึกของจุดแต่ละจุด จะถูกบดบังด้วยส่วนของศีรษะหรือตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการเทียบองศาได้ ดังนั้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำผู้วิจัยแนะนำเพิ่มจำนวนกล้องให้เห็นหลากหลายมุมมอง จะทำให้ซอฟต์แวร์สามารถประมวลผลได้ละเอียดแม่นยำมากขึ้น และทำให้การวิเคราะห์การยศาตร์แบบ RULA นั้นสามารถวิเคราะห์ได้อย่างแม่นยำและรวดเร็วกว่าการ วิเคราะห์จากภาพถ่ายหรือวีดีโอได้

เอกสารอ้างอิง

[1] สถานการณ์การประสบอันตรายหรือเจ็บป่วย เนื่องจากการทำงาน ปี 2562 - 2566

[2] กมลชนก สหุนาพ และดร.พรพรรณ สกุลคู. 2563. “การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์การทำงานโดยวิธีการ RULA ของพนักงานโรงงานผลิตน้ำดื่ม อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์.” วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา), ปีที่ 20, ฉบับที่ 3: กรกฎาคม-กันยายน 2563

[3] ธีระพงษ์ ทับพร. 2020. “การปรับปรุงท่าทางการทำงานของพนักงานบรรจุท่อพีวีซีโดยใช้หลักการยศาสตร์ กรณีศึกษา : บริษัทอุตสาหกรรมท่อน้ำไทย จำกัด.” Journal of Thonburi University (Science and Technology), Vol 4, NO 1: Jan – June 2020

[4] https://www.ultralytics.com

[5] นัฐชกุลพร ประดิษฐ์พฤกษ์. 2561. “การลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์โดยการปรับปรุงพื้นที่การทำงานตามแนวทางของ ILO ในพนักงานโรงงาน ซัก อบ รีด แห่งหนึ่ง.” วิทยานิพนธ์ (วท.ม.)--มหาวิทยาลัยบูรพา, 2561

[6] สิทธิชัย สิงห์สุ, วริยา เคนทวาย, ชุลี โนจิตร, ศรายุทธ พิริยะเบญจวัฒน์, วิชุดา จันทะศิลป์, กนกพร สมพร. 2567. “การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์และอาการผิดปกติของโครงร่างและกล้ามเนื้อของพนักงานเก็บขยะในตำบลบ้านกลาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี.” วารสารศูนย์อนามัยที่ 9 ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางด้วยวิธีการจัดกลุ่มและวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่เพื่อลดต้นทุนการขนส่ง กรณีศึกษาบริษัทตัวอย่าง

Solving Vehicle Routing Problem Using Clustering and Local Search Procedure to Reduce Transportation Costs: A Case Study of Sample Company

อนวัช มนตรีวงค์*, ชุกรี แดสา, นิกร ศิริวงศ์ไพศาล
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: 6610120042@email.psu.ac.th*

Anawat Montreewong*, Chukree Daesa, Nikorn Sirivongpaisal
Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
E-mail: 6610120042@email.psu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ กรณีที่มีคลังสินค้าแห่งเดียว ลูกค้ามีหลายราย โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาภายใต้ข้อจำกัดด้านกรอบเวลาการขนส่ง การแบ่งส่งสินค้า และความจุของรถบรรทุก โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการจัดเส้นทาง (Routing) วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing) และวิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า 117 ราย ของทั้ง 3 วิธี เมื่อเทียบกับวิธีการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถพบว่า วิธีการจัดเส้นทาง (Routing) ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งเพิ่มขึ้น 2.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 0.006 มีการใช้รถขนส่ง 15 คัน วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing) ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลง 1,535.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 3.43 มีการใช้รถขนส่ง 16 คัน และวิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing) ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลง 2,162.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 4.83 มีการใช้รถขนส่ง 20 คัน แม้ว่าวิธีการจัดโซนและจัดเส้นทางจะสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งได้มากที่สุด แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้ปริมาณรถขนส่งมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อการบริหารจัดการระบบโลจิสติกส์ในระยะยาว ดังนั้น วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing) จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถลดต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้จำนวนรถขนส่งที่เหมาะสม

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ, การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน, โปรแกรมจัดเส้นทาง

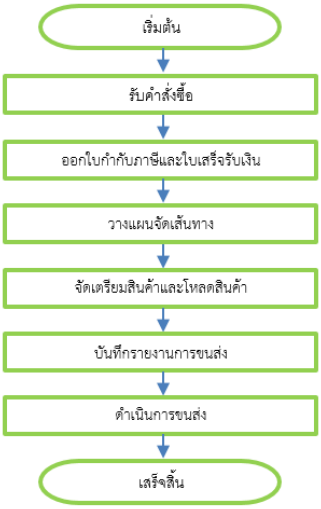
Abstract

This study is an experimental research on solving the Vehicle Routing Problem (VRP). In the case of having only one warehouse. There were many customers. The objective of the study was to reduce transportation costs of the cases study companies under the constraints of delivery Time Windows, Split Demand Delivery and Capacitated. The researcher has compared transportation costs of the 3 methods: Using routing, Using Clustering and Routing, and Using Zoning and Routing. The results obtained from transporting goods to 117 customers using all 3 methods were compared with using the experience of drivers in planning the route, it was found that the first method made transportation costs to increase by 2.5 baht, equivalent to 0.006%, with 15 transport vehicles used, Using Clustering and Routing could reduce transportation costs by 1,535.5 baht, equivalent to 3.43%, with 16 transport vehicles used and Using Zoning and Routing could reduce transportation cost by 2,162.5 baht , equivalent to 4.83%, with 20 transport vehicles used Although Zoning and Routing yields the greatest cost savings, its higher vehicle requirement could impact operational efficiency. Hence, Clustering and Routing is recommended as the most suitable approach, as it effectively reduces costs while maintaining an optimal fleet size.

Keywords: Vehicle Routing Problem, K-means clustering, VRP Spreadsheet Solver

1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษาประกอบธุรกิจด้านเครื่องมือทำความสะอาด น้ำยาทำความสะอาดสำหรับภาคอุตสาหกรรม โรงแรม และร้านอาหาร ดังนั้นบริษัทฯ จึงมีสินค้าหลากหลายประเภท อาทิ น้ำยาทำความสะอาด เครื่องล้างภาชนะ และอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งสินค้าเหล่านี้ถูกจัดเก็บอยู่ในคลังสินค้าของบริษัทฯ ปัจจุบันในแต่ละวันพื้นที่กรุงเทพฯ จะมีกิจกรรมการขนส่งสินค้าไปยังกลุ่มลูกค้าธุรกิจต่อธุรกิจ (B2B) และกลุ่มลูกค้าธุรกิจต่อผู้บริโภค (B2C) เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีคำสั่งซื้อเฉลี่ย 100 – 120 รายการต่อวัน โดยมีรายละเอียดกระบวนการการจัดส่งสินค้าของบริษัทฯ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการจัดส่งสินค้าในปัจจุบันของบริษัทฯ

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทฯ พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานปัจจุบันคือ การขนส่งสินค้ามีต้นทุนค่าขนส่งสูง อ้างอิงจากข้อมูลต้นทุนค่าขนส่งย้อนหลัง 3 เดือน (สิงหาคม กันยายน ตุลาคม) ปี 2567 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลต้นทุนค่าขนส่งย้อนหลัง 3 เดือน

เดือน	ค่าเที่ยว (บาท)	ค่าน้ำหนักเกิน (บาท)	ค่าจุดนอกเส้นทาง (บาท)	ค่าจุดเกิน (บาท)	ค่าขนส่งรวม (บาท)
สิงหาคม	757,130	53,230	78,140	39,600	928,100
กันยายน	917,080	56,395	99,635	40,400	1,113,510
ตุลาคม	802,675	259,918	83,810	23,000	1,169,403
รวม	2,476,885	369,543	261,585	103,000	3,211,013

จากตารางที่ 1 พบว่าสาเหตุที่ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสูง เกิดจากมีต้นทุนค่าจุดนอกเส้นทางสูง คิดเป็นร้อยละ 8.15 ของค่าขนส่งรวม ซึ่งต้นทุนดังกล่าวเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการวางแผนเส้นทางที่ไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากการวางแผนการจัดเส้นทางของบริษัทฯ ในปัจจุบันใช้พนักงานขับรถที่บริษัทจ้างเป็นคนวางแผนการจัดเส้นทาง โดยพนักงานขับรถคนดังกล่าวจะใช้ประสบการณ์ในการวางแผนการจัดเส้นทาง ส่งผลให้หลังจากวางแผนการจัดเส้นทางเสร็จสิ้น ไม่สามารถทราบได้ทันทีว่าเส้นทางดังกล่าวนั้นเป็นเส้นทางที่ดีที่สุดหรือไม่ และการวางแผนการจัดเส้นทางแต่ละครั้งไม่สามารถที่จะประเมินต้นทุนในการขนส่งที่แท้จริงได้ นอกจากนี้หากพนักงานขับรถคนดังกล่าวไม่สามารถมาปฏิบัติงานได้ จะส่งผลให้ต้นทุนค่าขนส่งสูงมากยิ่งขึ้น เนื่องจากพนักงานขับรถที่บริษัทจ้างทดแทนไม่มีประสบการณ์ในการวางแผนการจัดเส้นทางเทียบเท่ากับพนักงานขับรถคนดังกล่าว โดยปัจจุบันบริษัทฯ ยังไม่มีโปรแกรมที่ช่วยในการวางแผนการจัดเส้นทาง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาทดลองการวางแผนการจัดเส้นทาง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการจัดเส้นทาง (Routing) วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing) และวิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing) ซึ่งผู้วิจัยได้นำวิธีข้างต้นมาเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งที่ใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการวางแผนการจัดเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมที่สุดในการลดต้นทุนค่าขนส่งของบริษัทฯ

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle Routing Problem; VRP) เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อระบบเศรษฐกิจของทุกประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งที่มีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Windows; VRPTW) ซึ่งเป็นส่วนขยายของปัญหา VRP ที่เพิ่มข้อจำกัดด้านเวลา ทำให้ปัญหามีความซับซ้อนและถูกจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาแบบ NP-hard [1] โดยมีเป้าหมายเพื่อหาเส้นทางการขนส่งที่มีต้นทุนหรือระยะทางรวมต่ำที่สุดภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด ด้วยความสำคัญนี้ นักวิจัยกลุ่มแรกจึงมีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาแบบแม่นตรง เช่น J. F. Bard (2002) ใช้เทคนิค Branch and Cut [2], M. Desrochers (1992) ใช้เทคนิค Column Generation [3] และ N. Azi, (2010) ใช้เทคนิค Branch and Price [4] อย่างไรก็ตาม วิธีการเหล่านี้สามารถแก้ไขปัญหา VRPTW ได้อย่างจำกัด กรณีปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นอาจไม่สามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้นักวิจัยส่วนใหญ่จึงนิยมแก้ปัญหา VRPTW ด้วยวิธีการเชิงเมตาฮิวริสติกส์ เช่น W.-C. Chiang (1996) ใช้เทคนิค Simulated Annealing; (SA) [5], J. F. Cordeau (2001) ใช้เทคนิค Tabu Search; (TS) [6], G. B. Alvarenga (2007) ใช้เทคนิค Genetic Algorithm; (GA) [7] เนื่องจากวิธีเชิงเมตาฮิวริสติกส์เป็นวิธีการที่เหมาะสมเพียงพอที่จะถูกนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้ เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบให้ดียิ่งขึ้น การ

ผสมผสานระหว่างเมตาฮิวริสติกส์กับเทคนิควิธีการอื่น ๆ จึงเป็นหนึ่งในแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ปัญหานี้ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการใดที่ยืนยันว่าเป็นวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา VRPTW ดังนั้นการเลือกใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์และเทคนิควิธีการอื่น ๆ จะเลือกตามปัญหาที่พบและความสนใจของแต่ละบุคคล

โปรแกรม VRP Spreadsheet Solver (VRPSS) ได้รับการพัฒนาโดย GüneŞ Erdoğan [8] เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ โดยโปรแกรมดังกล่าวมีวัตถุประสงค์หลักในการลดต้นทุนการขนส่งผ่านการจัดการเส้นทางยานพาหนะอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจุดเด่นของโปรแกรม VRPSS นั้นอยู่ที่ความสามารถในการทำงานร่วมกับ Microsoft Excel ทำให้ใช้งานได้ง่ายและสะดวก นอกจากนี้ โปรแกรมยังใช้วิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) ซึ่งถือเป็นหนึ่งในวิธีการเชิงเมตาฮิวริสติกส์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการค้นหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม ทั้งนี้ โปรแกรมสามารถคำนวณระยะทางระหว่างสถานที่ต่าง ๆ โดยอาศัยข้อมูลจาก Bing Maps ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับยานพาหนะ นอกจากนี้ โปรแกรมยังสามารถรองรับการแก้ปัญหา VRP ที่มีจำนวนลูกค้าสูงสุดถึง 200 ราย โดยในแง่ของการประยุกต์ใช้งาน โปรแกรม VRPSS ได้รับความนิยมในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง เช่น งานวิจัยของ ศุทธวีร์ อิงคไพโรจน์ (2565) [9] ที่ได้นำโปรแกรมนี้มาใช้ในการจัดเส้นทางการเดินรถ โดยมีเป้าหมายในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าภายในกรอบเวลาที่กำหนด ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า โปรแกรม VRPSS ช่วยให้พนักงานขับรถสามารถส่งสินค้าได้ตามเวลาที่กำหนด อีกทั้งยังสามารถลดระยะทางในการขนส่งได้ถึง 38% และลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ถึง 39% ต่อเดือน นอกจากนี้ ในงานวิจัยของ พลอยไพลิน พริกทิม (2565) [10] โปรแกรม VRPSS ถูกนำมาใช้เพื่อจัดเส้นทางการเดินรถ โดยเน้นการลดต้นทุนการขนส่งสินค้า ผลการวิจัยพบว่า โปรแกรมสามารถลดระยะทางรวมในการขนส่งตลอดระยะเวลา 3 เดือนได้ถึง 54.10% และลดต้นทุนรวมของการขนส่งในช่วงเวลาเดียวกันได้ถึง 54.89% เป็นต้น

การแบ่งกลุ่มด้วยวิธีเคมีน (K-means Clustering) เป็นขั้นตอนวิธีหนึ่งในการจัดกลุ่มแบบไม่เป็นลำดับชั้น (Non-hierarchical Cluster Analysis) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ทั้งนี้ วิธีการดังกล่าวเริ่มต้นจากการเลือกจุดศูนย์กลางเริ่มต้น จากนั้นกำหนดข้อมูลให้เป็นกลุ่มตามจุดศูนย์กลางที่ใกล้ที่สุด ต่อมาเป็นการปรับปรุงจุดศูนย์กลางใหม่โดยคำนวณจากค่ากลางของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม และวนซ้ำกระบวนการดังกล่าวจนกว่าการจัดกลุ่มจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก เนื่องจากวิธีเคมีนสามารถจัดกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในงานวิเคราะห์ข้อมูลและการจัดกลุ่ม เช่น พัชณี มีบัว (2558) [11] ได้ใช้วิธีเคมีนในการจัดกลุ่มลูกค้าของบริษัทโลจิสติกส์ เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมและลักษณะการสั่งซื้อของลูกค้า ซึ่งช่วยให้บริษัทเข้าใจความต้องการของลูกค้าได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้ง อัจฉรา ชุมพล (2563) [12] ที่นำวิธีการนี้มาใช้ในการจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อปรับปรุงเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยผลลัพธ์ที่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการขนส่ง เป็นต้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การจัดการข้อมูลของงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการจัดส่งสินค้าของบริษัทฯ โดยบริษัทดังกล่าวมีคลังสินค้าแห่งเดียวและมีจำนวนลูกค้าหลายรายตามจุด (Node) ต่าง ๆ ทั้งนี้เส้นทางการขนส่งในแต่ละรอบการวิ่งจะส่งสินค้าเฉพาะพื้นที่กรุงเทพฯ โดยเริ่มต้นจากพนักงานขับรถขับรถบรรทุกจากคลังสินค้าไปส่งสินค้ายังลูกค้า โดยที่ทราบตำแหน่งที่ตั้งต่าง ๆ ของลูกค้าในแต่ละจุด ทราบปริมาณสินค้าล่วงหน้าและช่วงเวลาในการรับสินค้าของลูกค้าที่แน่นอน ซึ่งพนักงานขับรถจะเริ่มส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่สถานที่แรกเวลา 08:00 น. เมื่อพนักงานขับรถส่งสินค้าครบทุกที่แล้วพนักงานขับรถจะขับรถบรรทุกกลับมาที่คลังสินค้าก่อนเวลา 18:30 น. เนื่องจากลูกค้าส่วนใหญ่จะงดรับสินค้าหลังเวลา 16:30 น. ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดให้ระยะเวลาการให้บริการลูกค้าเฉลี่ย 40 นาที/จุดส่ง และกำหนดให้รถขนส่งมีอัตราเร็วเฉลี่ย 60 กม./ชม. โดยรถบรรทุกที่บริษัทฯ ใช้สำหรับขนส่งสินค้าให้กับลูกค้านั้น เป็นรถบรรทุกประเภท 4 ล้อ จำนวน 20 คัน ที่มีความจุของรถบรรทุกเท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดรถขนส่งสินค้าของบริษัทฯ

ประเภทรถขนส่ง	ความสามารถในการบรรทุกสินค้า (กก./คัน)	จำนวนรถที่ใช้ในการขนส่งปัจจุบัน (คัน)
รถบรรทุกตู้ทึบ 4 ล้อ	2,700	20

ในส่วนของวิธีการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งของบริษัทฯ เป็นวิธีการคำนวณค่าขนส่งตามสัญญาจ้างของบริษัท ซึ่งพิจารณาจาก 4 ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ตารางที่ 3 รายละเอียดการคำนวณค่าเที่ยว

จำนวนจุดส่ง	ราคาค่าเที่ยว (บาท)
1-3	1,665
4-6	1,875
7-8	2,105
9-10	2,155

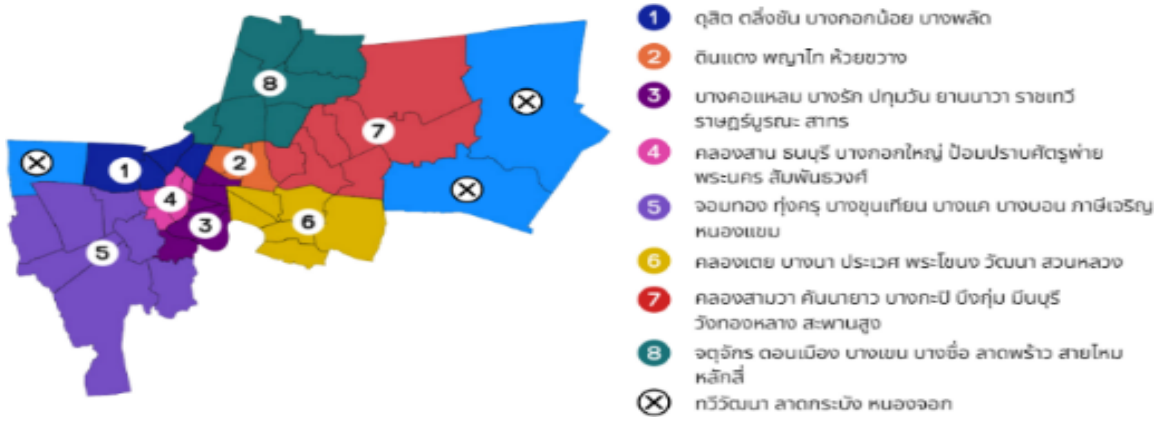
1) ค่าเที่ยว คำนวณจากจำนวนจุดส่งที่พนักงานขับรถส่งสินค้า โดยอ้างอิงจากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 3

2) ค่าน้ำหนักเกิน คำนวณจากน้ำหนักที่รถขนส่งบรรทุกเกิน 1,500 กิโลกรัม จะถูกคิดค่าน้ำหนักเกินที่กิโลกรัมละ 0.5 บาท เช่น รถขนส่ง

บรรทุกน้ำหนักได้ 1,700 กิโลกรัม ค่าน้ำหนักเกินที่บริษัทฯ ต้องจ่ายให้พนักงานขับรถจะเท่ากับ 100 บาท เป็นต้น

3) ค่าจุดเกิน คำนวณจากจำนวนจุดส่งที่พนักงานขับรถส่งสินค้าเกิน 10 จุด โดยจุดส่งถัดไปจะคิดค่าจุดเกินที่จุดส่งละ 200 บาท เช่น พนักงานขับรถส่งสินค้าได้ 11 จุด ค่าจุดเกินที่บริษัทฯ ต้องจ่ายให้พนักงานขับรถจะเท่ากับ 200 บาท เป็นต้น

4) ค่าจุดนอกเส้นทาง คำนวณจากจำนวนจุดส่งที่พนักงานขับรถส่งสินค้าข้ามพื้นที่ โดยหากพนักงานขับรถส่งสินค้าข้ามพื้นที่จะคิดค่าจุดนอกเส้นทางที่จุดส่งละ 200 บาท เช่น พนักงานขับรถส่งสินค้าข้ามพื้นที่ 2 จุด ค่าจุดนอกเส้นทางที่บริษัทฯ ต้องจ่ายให้พนักงานขับรถจะเท่ากับ 400 บาท เป็นต้น โดยพื้นที่กรุงเทพฯ ที่มีการขนส่งสินค้าของบริษัทฯ มีทั้งหมด 8 พื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 พื้นที่กรุงเทพฯ ที่มีการขนส่งสินค้าของบริษัทฯ

3.2 การดำเนินงาน

ข้อมูลที่ต้องใช้ในการจัดเส้นทางในการขนส่งนั้น เกี่ยวข้องในเรื่องของรายละเอียดรถขนส่งและลูกค้าที่จะต้องนำสินค้าไปส่ง โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า 117 รายของบริษัทฯ โดยแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลตัวอย่างการขนส่งสินค้าของบริษัทฯ

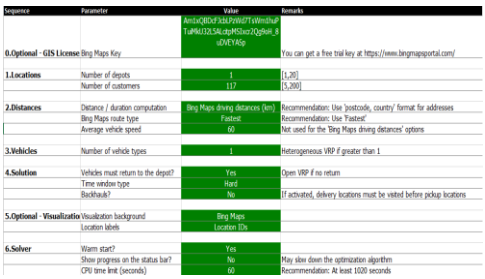
ชื่อลูกค้า	ความต้องการ (กก.)	เวลาเปิด-ปิด	พิกัดละติจูด-ลองจิจูด
ลูกค้า 1	27	08:00–16:00	13.7557917, 100.5113297
ลูกค้า 2	236	08:00–16:00	13.7760963, 100.5104141
…	…	…	…
ลูกค้า 117	15	08:00–16:00	13.7453766, 100.5190659

ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวได้มีการคัดกรองและตรวจสอบข้อมูลที่ผิดปกติ เช่น ตรวจสอบพิกัดลูกค้าที่ผิดพลาด คำสั่งซื้อที่ซ้ำซ้อน เป็นต้น โดยผู้วิจัยได้นำข้อมูลข้างต้นมาทำการทดลองหาต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการจัดเส้นทาง (Routing) วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing) และวิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing) เพื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งของวิธีการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์การคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากการใช้วิธีการประสบการณ์ของพนักงานขับรถ

จำนวนรถขนส่ง	จำนวนจุดส่ง	น้ำหนักบรรทุก (กก.)	น้ำหนักเกิน (กก.)	จำนวนจุดเกิน	จำนวนจุดนอกเส้นทาง	ค่าเที่ยว (บาท)	ค่าน้ำหนักเกิน (บาท)	ค่าจุดเกิน (บาท)	ค่าจุดนอกเส้นทาง (บาท)	ค่าขนส่ง (บาท)
1	12	1,804	304	2	4	2,155	152	400	800	3,507
2	4	1,207	-	-	1	1,875	-	-	200	2,075
3	9	3,250	1,750	-	3	2,155	875	-	600	3,630
4	4	2,255	755	-	-	1,875	377.5	-	-	2,252.5
5	4	2,361	861	-	-	1,875	430.5	-	-	2,305.5
6	9	1,006	-	-	2	2,155	-	-	400	2,555
7	1	1,400	-	-	-	1,665	-	-	-	1,665
8	2	1,901	401	-	-	1,665	200.5	-	-	1,865.5
9	16	1,490	-	6	4	2,155	-	1,200	800	4,155
10	9	1,962	462	-	3	2,155	231	-	600	2,986
11	2	2,005	505	-	1	1,665	252.5	-	200	2,117.5
12	4	4,053	2,553	-	1	1,875	1276.5	-	200	3,351.5
13	11	2,098	598	-	-	2,155	299	-	-	2,454
14	10	1,355	-	-	4	2,155	-	-	800	2,955
15	13	2,013	513	3	3	2,155	256.5	600	600	3,611.5
16	7	2,186	686	-	4	2,105	343	-	800	3,248
รวม	117	32,346	9,388	11	30	31,840	4,694	2,200	6,000	44,734

3.2.1 วิธีการจัดเส้นทาง (Routing)



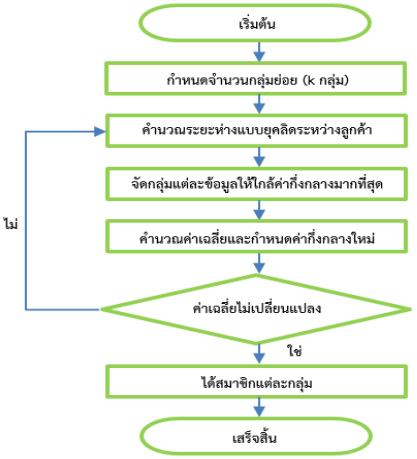
รูปที่ 3 โปรแกรม VRP Spreadsheet Solver

ขั้นตอนที่ 1 จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงหน้าควบคุม VRPSS ซึ่งเป็นหน้ากำหนดรูปแบบการทำงาน จำนวนจุดรับส่ง ระยะเวลาการวิเคราะห์ข้อมูลของโปรแกรม โดยจะมีระยะเวลาขั้นต่ำที่เหมาะสมแนะนำอยู่กับจำนวนของข้อมูล ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลตัวอย่างการขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งประกอบด้วย จำนวนลูกค้า ความต้องการของลูกค้า พิกัดละติจูด พิกัดลองจิจูด ระยะเวลาเปิด-ปิด จำนวนรถขนส่ง ความเร็วเฉลี่ยของรถขนส่ง และความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถขนส่ง ใส่ลงไปในโปรแกรม VRPSS เพื่อคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2 ผู้วิจัยได้นำผลลัพธ์เส้นทางที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมมาคำนวณต้นทุนค่าขนส่งตามเงื่อนไขของบริษัทฯ

3.2.2 วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing)

ขั้นตอนที่ 1 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลลูกค้าทั้งหมดในปัจจุบันของบริษัทฯ มาจำแนกกลุ่มด้วยวิธีเคมีน ซึ่งจะได้กลุ่มย่อยออกมา โดยจำนวนกลุ่มย่อยผู้วิจัยกำหนดให้เท่ากับ 8 กลุ่ม ซึ่งครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพฯ โดยสรุปขั้นตอนการจัดกลุ่มได้ดังรูปที่ 4 และได้ผลลัพธ์จากการจัดกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 5 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาระบุกลุ่มพื้นที่ให้กับข้อมูลตัวอย่างได้ดังตารางที่ 6



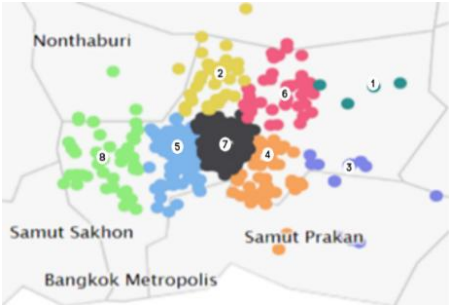
รูปที่ 4 ขั้นตอนวิธีเคมีน

ตารางที่ 6 ข้อมูลตัวอย่างการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีเคมีน

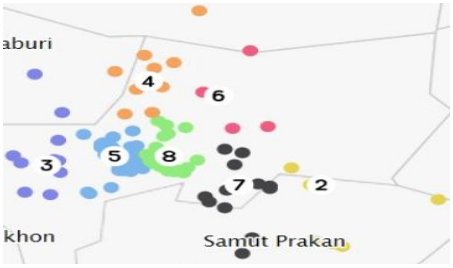
ชื่อลูกค้า	การจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีเคมีน
ลูกค้า 1	กลุ่ม 4
ลูกค้า 2	กลุ่ม 4
…	…
ลูกค้า 117	กลุ่ม 6

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 2 ที่เป็นการแบ่งเขตพื้นที่กรุงเทพฯ ของบริษัทฯ กับรูปที่ 5 การแบ่งที่ได้จากการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีเคมีน พบว่ามีการจัดกลุ่มลูกค้าที่แตกต่างกัน เนื่องจากวิธีเคมีนนั้น คำนึงถึงการจัดกลุ่มแต่ละข้อมูลให้ใกล้ค่ากึ่งกลางมากที่สุด ส่วนพื้นที่กรุงเทพฯ ที่มีการขนส่งของบริษัททั้ง 8 พื้นที่นั้นคำนึงถึงเขตในพื้นที่กรุงเทพฯ

ขั้นตอนที่ 2 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลตัวอย่างลูกค้าของบริษัทฯ มาตรวจสอบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดกลุ่มลูกค้าจากวิธีเคมีน พบว่าวันดังกล่าวมีกลุ่มของลูกค้า 7 กลุ่มย่อย จากทั้งหมด 8 กลุ่มย่อย โดยไม่พบกลุ่ม 1 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 ข้อมูลลูกค้าทั้งหมดที่จัดกลุ่มด้วยวิธีเคมีน



รูปที่ 6 ข้อมูลตัวอย่างการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีเคมีน

ขั้นตอนที่ 3 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของกลุ่มลูกค้า 7 กลุ่มย่อย ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาวางแผนการจัดเส้นทางด้วยโปรแกรม VRPSS ทีละกลุ่มพื้นที่

ขั้นตอนที่ 4 ผู้วิจัยได้นำผลลัพธ์เส้นทางที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม VRPSS มาคำนวณโดยใช้วิธีการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งตามเงื่อนไขของบริษัทฯ

3.2.3 วิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing)

ขั้นตอนที่ 1 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลตัวอย่างลูกค้าของบริษัทฯ มาจำแนกกลุ่มตามโซนของบริษัททั้ง 8 โซน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ข้อมูลตัวอย่างการจัดโซนลูกค้าด้วยวิธีบริษัทฯ

ชื่อลูกค้า	การจัดโซนลูกค้าด้วยวิธีบริษัทฯ
ลูกค้า 1	โซน 4
ลูกค้า 2	โซน 4
…	…
ลูกค้า 117	โซน 3

ขั้นตอนที่ 2 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของกลุ่มลูกค้า 8 โซน ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาวางแผนการจัดเส้นทางด้วยโปรแกรม VRPSS ทีละกลุ่มพื้นที่

ขั้นตอนที่ 3 ผู้วิจัยได้นำผลลัพธ์เส้นทางที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม VRPSS มาคำนวณโดยใช้วิธีการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งตามเงื่อนไขของบริษัทฯ

4. ผลการดำเนินการ

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถจากข้อมูลตัวอย่างการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า 117 ราย ของทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการจัดเส้นทาง (Routing) วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing) และวิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing) โดยทำการทดสอบบน HP ProBook 440 14 inch G10 Notebook PC Processor 13th Gen Intel® Core™ i5-1335U 1.30 GHz บน Windows 11 ซึ่งผลลัพธ์จากการประมวลผลและคำนวณต้นทุน แสดงในตารางที่ 8 9 และ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ผลลัพธ์การคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากการใช้วิธีการจัดเส้นทาง (Routing)

จำนวนรถขนส่ง	จำนวนจุดส่ง	น้ำหนักบรรทุก (กก.)	น้ำหนักเกิน (กก.)	จำนวนจุดเกิน	จำนวนจุดนอกเส้นทาง	ค่าเที่ยว (บาท)	ค่าน้ำหนักเกิน (บาท)	ค่าจุดเกิน (บาท)	ค่าจุดนอกเส้นทาง (บาท)	ค่าขนส่ง (บาท)
1	5	2,335	835	-	2	1,875	417.5	-	400	2,692.5
2	10	1,535	35	-	5	2,155	17.5	-	1,000	3,172.5
3	10	2,393	893	-	2	2,155	446.5	-	400	3,001.5
4	9	2,465	965	-	2	2,155	482.5	-	400	3,037.5
5	10	2,330	830	-	4	2,155	415	-	800	3,370
6	8	860	-	-	-	2,105	-	-	-	2,105
7	4	2,248	748	-	-	1,875	374	-	-	2,249
8	6	1,323	-	-	1	1,875	-	-	200	2,075
9	9	2,552	1,052	-	4	2,155	526	-	800	3,481
10	8	2,498	998	-	3	2,105	499	-	600	3,204
11	8	2,582	1,082	-	4	2,105	541	-	800	3,446
12	9	1,979	479	-	6	2,155	239.5	-	1,200	3,594.5
13	7	2,197	697	-	4	2,105	348.5	-	800	3,253.5
14	9	2,659	1,159	-	3	2,155	579.5	-	600	3,334.5
15	5	2,390	890	-	2	1,875	445	-	400	2,720
รวม	117	32,346	10,663	-	42	31,005	5,331.5	-	8,400	44,736.5

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์การคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากการใช้วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing)

จำนวนรถขนส่ง	จำนวนจุดส่ง	น้ำหนักบรรทุก (กก.)	น้ำหนักเกิน (กก.)	จำนวนจุดเกิน	จำนวนจุดนอกเส้นทาง	ค่าเที่ยว (บาท)	ค่าน้ำหนักเกิน (บาท)	ค่าจุดเกิน (บาท)	ค่าจุดนอกเส้นทาง (บาท)	ค่าขนส่ง (บาท)
1	10	837	-	2	2	2,155	-	-	400	2,555
2	9	2,346	846	5	5	2,155	423	-	1,000	3,578
3	9	2,368	868	2	2	2,155	434	-	400	2,989
4	3	2,600	1,100	-	-	1,665	550	-	0	2,215
5	3	2,052	552	-	-	1,665	276	-	0	1,941
6	2	2,520	1,020	-	-	1,665	510	-	0	2,175
7	10	2,012	512	3	3	2,155	256	-	600	3,011
8	5	1,607	107	2	2	1,875	53.5	-	400	2,328.5
9	5	1,564	64	2	2	1,875	32	-	400	2,307
10	6	2,249	749	2	2	1,875	374.5	-	400	2,649.5
11	9	2,519	1,019	-	1	2,155	509.5	-	200	2,864.5
12	9	1,646	146	-	1	2,155	73	-	200	2,428
13	11	2,307	807	1	-	2,155	403.5	200	-	2,758.5
14	10	2,414	914	-	4	2,155	457	-	800	3,412
15	8	1,853	353	-	2	2,105	176.5	-	400	2,681.5
16	8	1,452	-	-	6	2,105	-	-	1,200	3,305
รวม	117	32,346	9,057	19	32	32,070	4,528.5	200	6,400	43,198.5

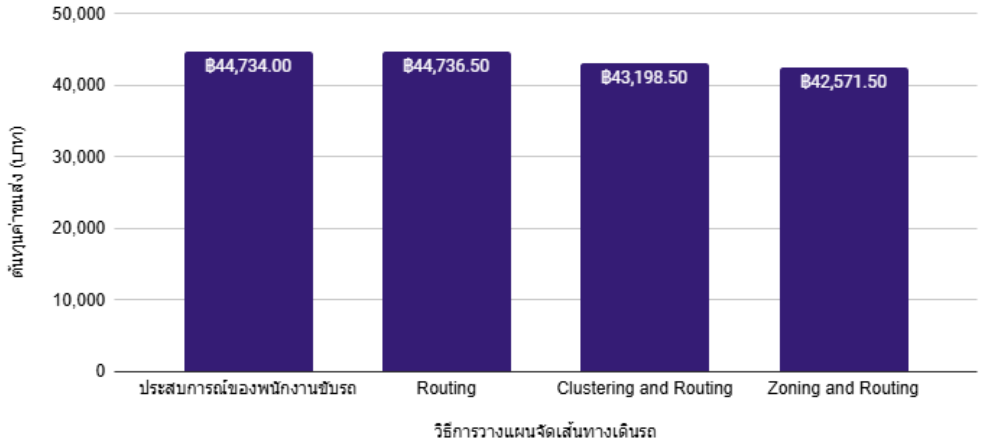
ตารางที่ 10 ผลลัพธ์การคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากการใช้วิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing)

จำนวนรถขนส่ง	จำนวนจุดส่ง	น้ำหนักบรรทุก (กก.)	น้ำหนักเกิน (กก.)	จำนวนจุดเกิน	จำนวนจุดนอกเส้นทาง	ค่าเที่ยว (บาท)	ค่าน้ำหนักเกิน (บาท)	ค่าจุดเกิน (บาท)	ค่าจุดนอกเส้นทาง (บาท)	ค่าขนส่ง (บาท)
1	4	580	-	-	-	1,875	-	-	-	1,875
2	7	2,317	817	-	-	2,105	408.5	-	-	2,513.5
3	10	2,264	764	-	-	2,155	382	-	-	2,537
4	9	856	-	-	-	2,155	-	-	-	2,155
5	5	1,078	-	-	-	1,875	-	-	-	1,875
6	1	1,500	-	-	-	1,665	-	-	-	1,665
7	6	1,526	26	-	-	1,875	13	-	-	1,888
8	10	2,645	1,145	-	-	2,155	572.5	-	-	2,727.5
9	8	862	-	-	-	2,105	-	-	-	2,105
10	10	2,482	982	-	-	2,155	491	-	-	2,646
11	3	2,126	626	-	-	1,665	313	-	-	1,978
12	9	745	-	-	-	2,155	-	-	-	2,155
13	10	2,661	1,161	-	-	2,155	580.5	-	-	2,735.5
14	9	1,141	-	-	-	2,155	-	-	-	2,155
15	4	1,402	-	-	-	1,875	-	-	-	1,875
16	1	2,000	500	-	-	1,665	250	-	-	1,915
17	2	1,136	-	-	-	1,665	-	-	-	1,665
18	2	2,400	900	-	-	1,665	450	-	-	2,115
19	2	2,402	902	-	-	1,665	451	-	-	2,116
20	5	223	-	-	-	1,875	-	-	-	1,875
รวม	117	32,346	7,823	-	-	38,660	3,911.5	-	-	42,571.5

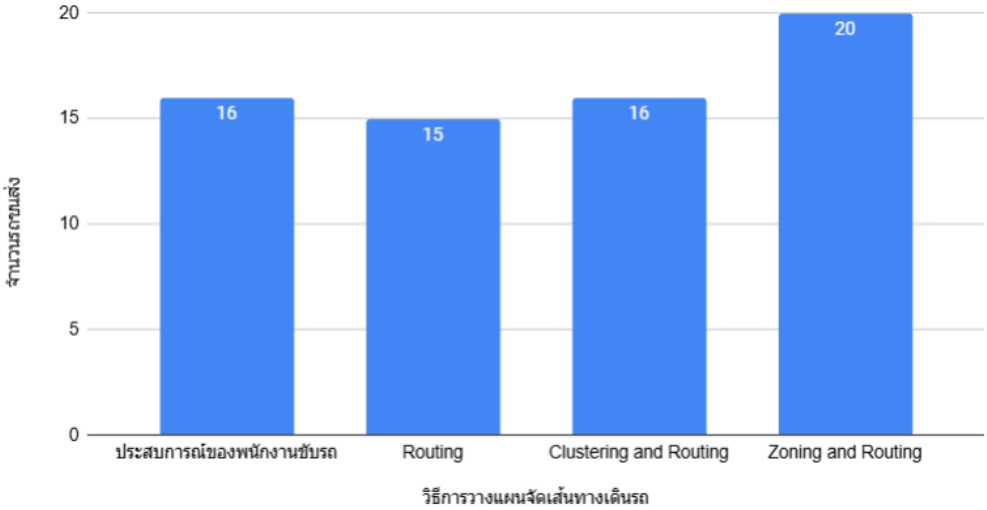
จากตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 วิธี เมื่อเทียบกับวิธีการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถพบว่า วิธีการจัดเส้นทาง (Routing) ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้น 2.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 0.006 มีการใช้รถขนส่ง 15 คัน วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing) ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าลดลง 1,535.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 3.43 มีการใช้รถขนส่ง 16 คัน และวิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing) ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าลดลง 2,162.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 4.83 มีการใช้รถขนส่ง 20 คัน ดังแสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 8

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 3 วิธี กับการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถ

วิธีการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถ	จำนวนรถขนส่งรวม (คัน)	ค่าเที่ยวรวม (บาท)	ค่าน้ำหนักเกินรวม (บาท)	ค่าจุดเกินรวม (บาท)	ค่าจุดนอกเส้นทางรวม (บาท)	ค่าขนส่งรวม (บาท)	ร้อยละเทียบกับประสบการณ์ของพนักงานขับรถ
วิธีการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถ	16	31,840	4,694	2,200	6,000	44,734	-
วิธีการจัดเส้นทาง (Routing)	15	31,005	5,331.5	-	8,400	44,736.5	เพิ่มขึ้น 0.006
วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing)	16	32,070	4,528.5	200	6,400	43,198.5	ลดลง 3.43
วิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing)	20	38,660	3,911.5	-	-	42,571.5	ลดลง 4.83



รูปที่ 7 เปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 3 วิธี กับการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถ



รูปที่ 8 เปรียบเทียบจำนวนรถขนส่งของทั้ง 3 วิธี กับการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถ

5. สรุปผล

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทดลองเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการจัดเส้นทาง (Routing) วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing) และวิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing)กับการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลตัวอย่างการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า 117 ราย พบว่า วิธีการจัดเส้นทาง (Routing) ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้น 2.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 0.006 มีการใช้รถขนส่ง 15 คัน วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing) ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าลดลง 1,535.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 3.43 มีการใช้รถขนส่ง 16 คัน และวิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing)ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าลดลง 2,162.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 4.83 มีการใช้รถขนส่ง 20 คัน ดังนั้นจากผลลัพธ์ข้างต้น วิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing) สามารถลดต้นทุนค่าขนส่งสินค้าของบริษัทฯ ได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ เนื่องจากพนักงานขับรถส่งสินค้าจะไม่มีการขนส่งสินค้าข้ามพื้นที่ ซึ่งส่งผลให้ไม่เกิดต้นทุนค่าจุดนอกเส้นทาง ทั้งนี้วิธีการดังกล่าวมีข้อจัดคือ ต้องใช้รถขนส่งปริมาณมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการรถขนส่งในวันที่มีปริมาณคำสั่งซื้อจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้ได้วิธีการวางแผนการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดตามเงื่อนไขสัญญาจ้างของบริษัทฯ

ทางผู้วิจัยจึงแนะนำให้บริษัทฯ ใช้วิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing) เนื่องจากผลลัพธ์ของวิธีการดังกล่าวสามารถลดต้นทุนค่าจุดนอกเส้นทางและค่าจุดเกินได้ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งรวมของบริษัทฯ เพิ่มขึ้น อีกทั้งมีปริมาณการใช้รถขนส่งที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองในสภาพแวดล้อมที่จำลองจากข้อมูลจริงของบริษัทฯ โดยยังไม่มีการนำแนวทางไปใช้จริงในเชิงปฏิบัติ แต่สามารถประเมินความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในอนาคตภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม เช่น ความเสถียรของคำสั่งซื้อ และความพร้อมด้านทรัพยากรการขนส่งของบริษัทฯ เป็นต้น

นอกจากนี้ ยังควรพิจารณาข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้า เนื่องจากในกรณีที่ปริมาณคำสั่งซื้อลดลงประมาณร้อยละ 30–50 วิธีการจัดเส้นทาง (Routing) อาจเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทาง (Clustering and Routing) และวิธีการจัดโซนและจัดเส้นทาง (Zoning and Routing) ซึ่งเป็นวิธีที่มีข้อจำกัดด้านการแบ่งพื้นที่ อาจต้องใช้จำนวนรถขนส่งมากขึ้น แม้จะมีคำสั่งซื้อน้อยก็ตาม โดยเฉพาะในกรณีที่พื้นที่จัดส่งบางจุดมีจำนวนลูกค้าน้อย อาจทำให้เกิดสถานการณ์ที่รถ 1 คันต้องวิ่งไปส่งสินค้าที่จุดเดียวในโซนของตน ทั้งที่ในเชิงปฏิบัติสามารถรวมเส้นทางกับพื้นที่ใกล้เคียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการเลือกใช้วิธีวางแผนเส้นทางควรพิจารณาร่วมกับปัจจัยด้านปริมาณคำสั่งซื้อ และความยืดหยุ่นในการจัดสรรทรัพยากรขนส่งของบริษัท เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าต่อการดำเนินงานโดยรวม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณงบประมาณจากโครงการ Hi-FI และสถานประกอบการกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นกรณีศึกษารวมถึงให้ข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ ที่จำเป็น

เอกสารอ้างอิง

[1] Y. Kao, M. H. Chen, and Y. T. Huang, "A hybrid algorithm based on ACO and PSO for capacitated vehicle routing problems," Math. Probl. Eng., vol. 2012, pp. 1-7, 2012.

[2] J. F. Bard, G. Kontoravdis, and G. Yu, "A branch-and-cut procedure for the vehicle routing problem with time windows," Transp. Sci., vol. 36, no. 2, pp. 250–269, 2002.

[3] M. Desrochers, J. Desrosiers, and M. Solomon, "A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows," Oper. Res., vol. 40, no. 2, pp. 342–354, 1992.

[4] N. Azi, M. Gendreau, and J.-Y. Potvin, "An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles," Eur. J. Oper. Res., vol. 202, no. 3, pp. 756–763, 2010.

[5] W.-C. Chiang and R. A. Russell, "Simulated annealing metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows," Ann. Oper. Res., vol. 63, no. 1, pp. 3–27, 1996.

[6] J. F. Cordeau, G. Laporte, and A. Mercier, "A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows," J. Oper. Res. Soc., vol. 52, no. 8, pp. 928-936, 2001.

[7] G. B. Alvarenga, G. R. Mateus, and G. de Tomi, "A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time windows," Comput. Oper. Res., vol. 34, no. 6, pp. 1561–1584, 2007.

[8] G. Erdoğan, "An opensource spreadsheet solver for vehicle routing problems," Comput. Oper. Res., vol. 84, pp. 62-72, 2017.

[9] S. Ingpaiboon, C. Yiengkamolsing, P. Naksidi, and W. Ngamsa-ard, "Improving the efficiency of vehicle routing using the VRP Spreadsheet Solver: A case study of ThaiNamthip Co., Ltd.," Southeast Bangkok Univ. J. Sci. Technol., vol. 2, no. 3, pp. 1-11, 2022.

[10] P. Phriktim, P. Siriora, and P. Autsavanakul, "Reducing transportation costs: A case study of an oil filter manufacturing company," Thonburi Univ. J. Sci. Technol., vol. 6, no. 2, pp. 16-23, 2022.

[11] P. MeeBua and J. Jitrotevej, "Customer segmentation of a logistics company providing international sea container transportation," KKU Sci. J., vol. 43, no. 2, pp. 297-308, 2015.

[12] A. Chumpol, N. Phasan, and P. Tipsantia, "Application of the K-Means-TSP method for solving transportation routing problems: A case study of Sangchai Rungruang Co., Ltd.," Surin Rajabhat Univ. J. Manage. Sci. Res., vol. 4, no. 2, pp. 15-26, 2020.

การออกแบบเว็บแอปปลิเคชันสำหรับการร้องเรียน/ร้องทุกข์ปัญหาไฟฟ้าส่องสว่างของแขวงทางหลวงชนบท โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

Design of Web Application for Reporting Complaints about Lighting Problems of Rural Roads District by Applying the Quality Function Deployment Technique

นพรัตน์ กาญจนันท์[1*] ชุกรี แดสา[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[2]ศูนย์วิจัยอุตสาหกรรมอัจฉริยะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: 6510121006@psu.ac.th*

Nopparat Kanjanun[1*], Chukree Daesa[2]
[1]Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
[2]Smart Industry Research, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
E-mail: 6510121006@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเว็บแอปปลิเคชันสำหรับการร้องเรียน/ร้องทุกข์ปัญหาไฟฟ้าส่องสว่างของแขวงทางหลวงชนบท โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ ซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 400 คน ประกอบด้วย 3 กลุ่มหลัก ดังนี้ (1) กลุ่มผู้ใช้งานภายใน คือ ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ของแขวงทางหลวงชนบท จำนวน 48 คน (2) กลุ่มผู้ใช้งานภายนอก คือ ผู้รับบริการจากแขวงทางหลวงชนบท และประชาชนทั่วไป จำนวน 349 คน และ (3) กลุ่มผู้ดูแลระบบ คือ ฝ่ายเทคโนโลยีและสารสนเทศและการสื่อสารของแขวงทางหลวงชนบท จำนวน 3 คน แล้วนำเสียงความต้องการมาสร้างแบบสอบถามเพื่อวัดระดับความสำคัญของความต้องการในแต่ละปัจจัย จากนั้นคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญแต่ละกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น และนำมาคำนวณหาคะแนนเฉลี่ยของความต้องการ แล้วนำเข้าสู่ขั้นตอนการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ จากนั้นได้ระดมสมองกับผู้เชี่ยวชาญในการกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิค เพื่อหาแนวทางการตอบสนองความต้องการของกลุ่มตัวอย่าง แล้วนำข้อกำหนดทางเทคนิคมาจัดลำดับความสำคัญ ได้ข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญสะสมมากที่สุดร้อยละ 80 ที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเว็บแอปปลิเคชันสำหรับการร้องเรียน/ร้องทุกข์ปัญหาไฟฟ้าส่องสว่าง เพื่อตอบสนองความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 12 ข้อ ดังนี้ หน้าจอใช้งานง่ายและจัดวางเมนูชัดเจน กำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลตามระดับผู้ใช้งาน รองรับการบันทึก แก้ไข ค้นหา และลบข้อมูล ขนาดตัวอักษรและสีอ่านง่าย เหมาะสม แสดงข้อมูลในรูปแบบเข้าใจง่าย ระบบออนไลน์ตลอดเวลา มีระบบจัดการสถานะ จัดเก็บข้อมูลได้ปลอดภัยและเข้าถึงได้รวดเร็ว รองรับการใช้งานบนมือถือและคอมพิวเตอร์ ค้นหาข้อมูลได้รวดเร็ว พร้อมตัวกรองข้อมูล มีคำแนะนำการใช้งานหรือหน้าช่วยเหลือ และแสดงข้อความแจ้งข้อผิดพลาดพร้อมคำแนะนำแก้ไข

คำสำคัญ: เว็บแอปปลิเคชัน การร้องเรียน/ร้องทุกข์ แขวงทางหลวงชนบท เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

Abstract

This research aims to design a web application for lodging complaints regarding rural highway lighting issues by applying the Quality Function Deployment (QFD) technique. Data were collected from 400 respondents, categorized into three main groups: (1) Internal users, comprising executives and officers of the rural highway department (48 respondents); (2) External users, including service recipients and the general public (349 respondents); and (3) System administrators, consisting of IT and communication staff of the rural highway department (3 respondents). The collected user requirements were used to develop a structured questionnaire assessing the importance levels of various factors. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was then applied to determine the weight of importance for each user group, and the average requirement scores were calculated. These scores were subsequently incorporated into the planning matrix of the QFD approach. A brainstorming session with experts was conducted to define technical specifications that would address user needs. The technical specifications were prioritized, and those with cumulative importance weights exceeding 80% were selected as key development guidelines for the web application. A total of 12 critical technical specifications were identified, including a user-friendly

interface with well-structured menus, access control based on user levels, data management capabilities (create, edit, search, and delete), appropriately sized and colored fonts, intuitive data presentation, 24/7 system availability, status management, secure and fast data storage, cross-device compatibility (mobile and desktop), advanced search functions with filters, user guidance or help pages, and error notifications with troubleshooting suggestions.

Keywords: Web Application, Complaints, Rural Highway Department, Quality Function Deployment

1. บทนำ

การร้องเรียน/ร้องทุกข์ของประชาชน เป็นเสียงสะท้อนให้หน่วยงานรัฐทราบว่าการบริหารราชการมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด ซึ่งจากแนวทางการขับเคลื่อนไทยแลนด์ 4.0 รวมถึงแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบราชการไทย ที่เน้นการสร้างความเป็นเลิศการให้บริการประชาชนปัจจุบันหลาย ๆ หน่วยงานของภาครัฐจึงได้เอื้ออำนวยในการเชื่อมโยงข้อมูลกันเองและผ่านการติดต่อสื่อสารในหลาย ๆ ช่องทาง โดยเฉพาะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีการให้บริการผ่านเว็บไซต์ สื่อสังคมออนไลน์ รวมไปถึงเว็บแอปปลิเคชัน [1]

แขวงทางหลวงชนบท มีหน้าที่ดูแลและมีความใกล้ชิดกับประชาชนในแต่ละพื้นที่ โดยการดำเนินการตามกฎหมายว่าด้วยทางหลวง เฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับทางหลวงชนบท รวมทั้งกฎหมายที่เกี่ยวข้อง [2] ซึ่งเมื่อพิจารณาจากข้อมูลช่วงปีงบประมาณ 2566 พบว่า สถิติเรื่องราวร้องทุกข์ของประชาชนที่มีต่อแขวงทางหลวงชนบท มีจำนวน 12,694 เรื่อง เมื่อเทียบกับปีงบประมาณ 2565 พบว่า มีจำนวน 10,929 เรื่อง เพิ่มขึ้น 1,765 เรื่อง ส่วนประเภทกลุ่มเรื่องร้องเรียน พบว่า ปัญหาที่ประชาชนร้องเรียนมากที่สุดเป็นอันดับแรก คือ ไฟฟ้าบนทางหลวงดับ มีข้อร้องเรียนมากถึง 3,550 เรื่อง [3] จากข้อมูลจึงจำเป็นต้องบริหารจัดการเรื่องร้องเรียนที่มีประสิทธิภาพ

แขวงทางหลวงชนบท มีปัญหาทางด้านไฟฟ้าส่องสว่างมากมาย อาทิ ไฟฟ้าส่องสว่างไม่เพียงพอ ไฟฟ้าส่องสว่างดับเป็นแนวยาว ฯลฯ ทำให้ประชาชนในพื้นที่ได้รับความเดือดร้อนในชีวิตและทรัพย์สิน มีเรื่องร้องเรียน/ร้องทุกข์แจ้งมายังแขวงทางหลวงชนบทอย่างมากมาย ผ่านช่องทางต่าง ๆ ดังนี้ (1) ทางเว็บไซต์ (www.doh.go.th) (2) สายด่วนกรมทางหลวง 1586 (3) ทางเฟซบุ๊ก (departmentofhighway) (4) ทางอีเมล์ (prdoh@doh.go.th) (5) ทางโทรศัพท์-โทรสาร (6) ทางจดหมายถึงอธิบดีกรมทางหลวง และ (7) ช่องทางอื่น ๆ เช่น การร้องเรียนผ่านหน่วยงานภายนอกอื่น ๆ หรือการมาด้วยตัวเอง เป็นต้น [3]

อย่างไรก็ตาม ระบบการจัดการเรื่องร้องเรียน/ร้องทุกข์ของแขวงทางหลวงชนบทในปัจจุบันมีข้อจำกัดสำคัญ คือ การแก้ไขปัญหาเกิดความล่าช้า และเกิดความซ้ำซ้อนของข้อมูลที่ได้รับจากหลายช่องทาง ซึ่งการร้องเรียน/ร้องทุกข์แต่ละช่องทางไม่ได้มีระบบกลางที่รวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ ทำให้เกิดปัญหาการบันทึกข้อมูลซ้ำหลายครั้ง และส่งผลให้เจ้าหน้าที่ต้องใช้เวลาในการตรวจสอบมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ในปีงบประมาณ 2566 มีการร้องเรียนเกี่ยวกับไฟฟ้าส่องสว่างผ่านหลายช่องทาง ซึ่งในบางกรณีพบว่าปัญหาเดียวกันถูกบันทึกซ้ำในระบบหลายครั้ง ทำให้กระบวนการแก้ไขเกิดความล่าช้า นอกจากนี้ยังพบว่าประชาชนบางส่วนต้องแจ้งเรื่องซ้ำหลายครั้งผ่านช่องทางที่แตกต่างกัน เนื่องจากไม่สามารถติดตามสถานะของเรื่องร้องเรียนได้ ซึ่งสภาพปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องเพิ่มช่องทางให้ประชาชนสามารถร้องเรียน/ร้องทุกข์ และรวบรวมข้อร้องเรียน/ร้องทุกข์จากทุกช่องทางมาเก็บไว้ที่เดียวกัน เพื่อความรวดเร็วในการแก้ปัญหา ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล เช่น การร้องเรียน/ร้องทุกข์ผ่านเว็บแอปปลิเคชัน เป็นต้น [4]

การร้องเรียน/ร้องทุกข์ผ่านเว็บแอปปลิเคชัน เป็นช่องทางที่ได้รับความนิยม เนื่องจากประชาชนนิยมใช้อินเตอร์เน็ตติดต่อสื่อสาร การนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้งานผ่านระบบอินเตอร์เน็ต สามารถร้องเรียนเรื่องราวต่าง ๆ พร้อมแนบภาพถ่ายและส่งตำแหน่งที่ตั้งผ่านระบบได้ โดยมีเจ้าหน้าที่ดูแลระบบคัดกรองเรื่อง ตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของเรื่อง และส่งต่อไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อดำเนินการและรายงานผลให้ผู้ร้องเรียนทราบต่อไป ซึ่งขั้นตอนต่าง ๆ มีความสะดวกรวดเร็ว ผู้ร้องเรียนสามารถติดตามสถานะการร้องเรียนผ่านระบบได้ ซึ่งระบบจะบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ไว้ ในขณะที่เจ้าหน้าที่ก็สามารถรายงานความคืบหน้าผ่านระบบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ [4]

การออกแบบเว็บแอปปลิเคชันสำหรับการร้องเรียน/ร้องทุกข์สามารถประยุกต์ใช้แนวคิดบ้านแห่งคุณภาพ (house of quality: HOQ) ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักของเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เพื่อแปลงเสียงลูกค้า (voice of customer: VOC) ให้เป็นข้อกำหนดทางเทคนิคที่ชัดเจน โดยมีการนำไปใช้ในงานวิจัยและอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย บ้านแห่งคุณภาพนี้ช่วยเชื่อมโยงความต้องการของผู้ใช้ (What) กับคุณลักษณะทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ (How) อย่างเป็นระบบ เพื่อให้การออกแบบผลิตภัณฑ์ สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] งานวิจัยที่ผ่านมาได้นำแนวคิดบ้านแห่งคุณภาพไปประยุกต์ใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์และระบบซอฟต์แวร์หลายประเภท เช่น การออกแบบแอปปลิเคชันด้านการแพทย์ โดยใช้บ้านแห่งคุณภาพเพื่อกำหนดฟังก์ชันที่ตอบสนองความต้องการของแพทย์และผู้ป่วย [6] และการออกแบบระบบการจัดการเรื่องร้องเรียนภาครัฐ ซึ่งใช้บ้านแห่งคุณภาพเพื่อกำหนดคุณลักษณะของแพลตฟอร์มดิจิทัลที่ช่วยให้ประชาชนสามารถแจ้งเรื่องร้องเรียนได้อย่างสะดวกและได้รับการแก้ไขอย่างรวดเร็ว [7] เป็นต้น

จากที่มาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงเห็นว่าควรออกแบบเว็บแอปปลิเคชัน ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ เพื่อเพิ่มช่องทางให้ประชาชนร้องเรียน/ร้องทุกได้ง่ายขึ้น และเพื่อรวบรวมข้อร้องเรียน/ร้องทุกข์จากทุกช่องทางเข้ามาเก็บไว้ในที่เดียวกัน และทำการส่งต่อไปให้ผู้รับผิดชอบดำเนินการแก้ไขต่อไป

2. วิธีดำเนินงาน

2.1 การเตรียมการก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

2.1.1 การสำรวจความต้องการของผู้บริโภค

ลงพื้นที่เก็บข้อมูลความต้องการของกลุ่มตัวอย่าง โดยการสัมภาษณ์เชิงลึกกับบุคคลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากเว็บแอปปลิเคชันสำหรับการร้องเรียน/ร้องทุกข์ ซึ่งประกอบด้วย (1) ผู้ใช้งานภายใน คือ ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ของแขวงทางหลวงชนบท (2) ผู้ใช้งานภายนอก คือ ผู้รับบริการจากแขวงทางหลวงชนบท และประชาชนทั่วไป และ (3) ผู้ดูแลระบบ คือ ฝ่ายเทคโนโลยีและสารสนเทศและการสื่อสารของแขวงทางหลวงชนบท ในพื้นที่จังหวัดพัทลุง จำนวน 9 คน เมื่อได้ความต้องการของกลุ่มตัวอย่างแล้ว นำมาจัดเรียบเรียงถ้อยคำใหม่ (reworded data) แล้วจัดกลุ่มลักษณะความต้องการให้เป็นหมวดหมู่

2.1.2 การพัฒนาแบบสอบถามเพื่อประเมินความสำคัญของความต้องการ

เมื่อได้ความต้องการของกลุ่มตัวอย่างแยกตามหมวดหมู่แล้ว นำมาออกแบบแบบสอบถามเพื่อนำไปใช้เก็บข้อมูลระดับความสำคัญของความต้องการ โดยนำแบบสอบถามเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (content validity) แล้วนำมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) พิจารณาข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.67 ขึ้นไป [8] หลังจากนั้นนำแบบสอบถามไปทดลองใช้ (try out) กับกลุ่มที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน แล้วนำมาคำนวณหาค่าความเชื่อมั่น (reliability) โดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) กำหนดค่าความเชื่อมั่นแบบสอบถามต้องไม่ต่ำกว่า 0.70 [8]

2.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

หลังจากใช้แบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง จะนำข้อมูลเข้าสู่เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ตามขั้นตอน ดังนี้

2.2.1 การหาระดับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย

เนื่องจากงานวิจัยนี้กลุ่มเป้าหมายแต่ละกลุ่มมีความสำคัญไม่เท่ากัน จึงหาค่าน้ำหนักความสำคัญของกลุ่มเป้าหมาย โดยใช้เทคนิคกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (analytic hierarchy process: AHP) ก่อนนำไปคำนวณหาค่าระดับความต้องการ (importance: IMP) ดังนี้

IMP = ผลรวมของ (ค่าเฉลี่ยระดับความสำคัญของความต้องการแต่ละกลุ่มเป้าหมาย x ค่าน้ำหนักความสำคัญแต่ละกลุ่มเป้าหมาย) (1)

2.2.2 การกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิค

ระดมสมองกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อหาวิธีการตอบสนองความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย โดยกำหนดว่าในแต่ละปัจจัยความต้องการนั้น ต้องมีข้อกำหนดทางเทคนิคอะไรบ้าง มีการวัดอย่างไร

2.2.3 การจัดลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์

เมื่อทราบปัจจัยความต้องการและได้วางข้อกำหนดทางเทคนิคเพื่อตอบสนองความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย จะระดมสมองกับผู้เชี่ยวชาญในการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความต้องการกับข้อกำหนดทางเทคนิค โดยกำหนดสัญลักษณ์ให้เป็นตัวเลข 1, 3 และ 9 ดังนี้ 1 = สัมพันธ์กันน้อย 3 = สัมพันธ์ปานกลาง 9 = สัมพันธ์กันมาก และส่วนว่าง = ไม่สัมพันธ์กัน [5] หลังจากนั้นจะคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ (absolute important) และค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ (relative important) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องนำไปปรับปรุงเพื่อตอบสนองความต้องการกลุ่มเป้าหมาย ดังสมการ

Absolute important = ผลรวมของ (ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความต้องการกับข้อกำหนดทางเทคนิค x ค่าระดับความต้องการ (2)

Relative important = (ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์/ผลรวม) x 100 (3)

3. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

3.1 การเตรียมการก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

3.1.1 การสำรวจความต้องการของผู้บริโภค

การสำรวจความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ด้วยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก ได้ความต้องการของกลุ่มเป้าหมายที่ผ่านการเรียบเรียงถ้อยคำใหม่ และแยกเป็นหมวดหมู่ ดังตารางที่ 4

3.1.2 การพัฒนาแบบสอบถามระดับความสำคัญของความต้องการ

เมื่อได้ความต้องการของกลุ่มเป้าหมายแยกตามหมวดหมู่แล้ว นำมาออกแบบแบบสอบถามเพื่อนำไปใช้เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง เพื่อประเมินระดับความสำคัญของความต้องการ โดยแบบสอบถามจะมีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) 5 ระดับ มีเกณฑ์การให้คะแนนตามระดับความสำคัญของความต้องการ ได้แก่ สำคัญและมีผลต่อความต้องการมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และไม่มีความสำคัญและไม่มีผลต่อความต้องการ กำหนดค่าคะแนนเป็น 5, 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ โดยข้อคำถามในแต่ละข้อของแบบสอบถามมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ 0.67 ขึ้นไป และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.927 แสดงว่าแบบสอบถามมีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้

3.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

3.2.1 การหาระดับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายในงานวิจัยนี้มี 3 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ใช้งานภายใน กลุ่มผู้ใช้งานภายนอก และกลุ่มผู้ดูแลระบบ และเนื่องจากกลุ่มเป้าหมายแต่ละกลุ่มมีความสำคัญไม่เท่ากันต่อการใช้ประโยชน์เว็บแอปปลิเคชัน

จึงหาน้ำหนักความสำคัญของแต่ละกลุ่มเป้าหมาย แยกพิจารณาตามปัจจัยความต้องการในแต่ละด้าน โดยใช้เทคนิคกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) ตามวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้ [9]

ตัวอย่าง การวิเคราะห์ AHP ของกลุ่มเป้าหมาย ในคุณลักษณะด้านการตอบสนองต่อความต้องการ ดำเนินการดังนี้

1) กำหนดลำดับชั้นของปัญหา (hierarchy structure) โดยแบ่งกลุ่มเป้าหมายเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้ใช้งานภายใน กลุ่มผู้ใช้งานภายนอก และกลุ่มผู้ดูแลระบบ

2) ทำการเปรียบเทียบเชิงคู่ (pairwise comparison matrix) ดังตารางที่ 1 โดยให้คะแนนความสำคัญระหว่างกลุ่มผู้ใช้งานสองกลุ่มที่เปรียบเทียบกัน ด้วยตัวเลข 1-9 ค่าตัวเลขที่เติมในตาราง ประกอบด้วย (1) ในแนวเส้นทแยงมุมเป็นเลข 1 เท่านั้น เนื่องจากเป็นจุดที่กลุ่มผู้ใช้งานแต่ละกลุ่มเปรียบเทียบกับตัวเอง และ (2) ส่วนพื้นที่ที่อยู่เหนือเส้นทแยงมุม จะเป็นตัวเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มผู้ใช้งาน 2 กลุ่ม เช่น แถว 2 กับคอลัมน์ 3 มีค่าเท่ากับ 3 หมายความว่าผู้เชี่ยวชาญให้น้ำหนักความสำคัญในคุณลักษณะด้านการตอบสนองต่อความต้องการกับกลุ่มผู้ใช้งานภายนอก “มากกว่า” กลุ่มผู้ดูแลระบบ

3) คำนวณผลรวมของแต่ละคอลัมน์ ดังตารางที่ 1 เพื่อปรับค่าทุกช่องให้อยู่ในรูปมาตรฐาน เช่น ผลรวมของคอลัมน์กลุ่มผู้ใช้งานภายในเท่ากับ 1 + (1/2) + (1/4) = 1.75

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระดับความสำคัญของกลุ่มเป้าหมาย ในคุณลักษณะด้านการตอบสนองความต้องการ

	กลุ่มผู้ใช้งานภายใน	กลุ่มผู้ใช้งานภายนอก	กลุ่มผู้ดูแลระบบ
กลุ่มผู้ใช้งานภายใน	1	2	4
กลุ่มผู้ใช้งานภายนอก	1/2	1	3
กลุ่มผู้ดูแลระบบ	1/4	1/3	1
ผลรวม	1.75	3.33	8

4) ทำให้ค่าถ่วงน้ำหนักเป็นมาตรฐาน (normalization) โดยนำค่าทุกช่องของตารางที่ 1 มาหารด้วยผลรวมของคอลัมน์นั้น เพื่อให้ค่าทั้งหมดอยู่ในช่วง 0-1 เช่น การทำให้ค่าถ่วงน้ำหนักเป็นมาตรฐานของคอลัมน์ 1 (กลุ่มผู้ใช้งานภายใน) คือ 1/1.75 = 0.57, (1/2)/1.75 = 0.29 และ (1/4)/1.75 = 0.14 เป็นต้น ปรากฏผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การปรับระดับความสำคัญเป็นฐาน 1 ในคุณลักษณะด้านการตอบสนองความต้องการ

	กลุ่มผู้ใช้งานภายใน	กลุ่มผู้ใช้งานภายนอก	กลุ่มผู้ดูแลระบบ
กลุ่มผู้ใช้งานภายใน	0.57	0.60	0.50
กลุ่มผู้ใช้งานภายนอก	0.29	0.30	0.38
กลุ่มผู้ดูแลระบบ	0.14	0.10	0.13

5) คำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละกลุ่มเป้าหมาย โดยนำค่าของแต่ละแถวในตารางที่ 2 มาหาค่าเฉลี่ย เช่น ค่าน้ำหนักกลุ่มผู้ใช้งานภายในเท่ากับ (0.57 + 0.60 + 0.50)/3 = 0.56 เป็นต้น ทั้งนี้ผลการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่กลุ่มเป้าหมาย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าน้ำหนักความสำคัญของกลุ่มเป้าหมายในคุณลักษณะด้านการตอบสนองความต้องการ

กลุ่มผู้ใช้งานภายใน	(0.57 + 0.60 + 0.50)/3	1.67/3	0.56
กลุ่มผู้ใช้งานภายนอก	(0.29 + 0.30 + 0.38)/3	0.97/3	0.32
กลุ่มผู้ดูแลระบบ	(0.14 + 0.10 + 0.13)/3	0.37/3	0.12

6) ตรวจสอบค่าสัดส่วนความสมเหตุสมผล (consistency ratio: CR)

6.1) หาค่า λ max จากสูตร

$$\lambda \text{ max} = \sum \text{(ผลรวมแต่ละคอลัมน์ x น้ำหนักของแถวนั้น)} \quad (4)$$

แทนค่าในสูตร จะได้

$$\lambda \text{ max} = (1.75 \times 0.56) + (3.33 \times 0.32) + (8 \times 0.12)$$
$$= 0.98 + 1.07 + 0.96$$
$$= 3.01$$

6.2) หาค่าดรรชนีความสมเหตุสมผล (consistency index: CI)

$$CI = (\lambda \text{ max} - n) / (n - 1) \quad (5)$$

แทนค่าในสูตร จะได้

$$CI = (3.01 - 3)/2$$
$$= 0.01$$

6.3) คำนวณค่าสัดส่วนความสมเหตุสมผล (CR)

$$CR = CI / RI \quad (6)$$

เมื่อ RI (random index) n = 3 มีค่า 0.58 แทนค่าในสูตร จะได้

$$CR = 0.01/0.58$$
$$= 0.02$$

สรุป ค่าสัดส่วนความสมเหตุสมผล (consistency ratio: CR) เท่ากับ 0.02 ซึ่งมีค่า < 0.1 แสดงว่าคะแนนความสำคัญจากการเปรียบเทียบกลุ่มผู้ใช้งานแต่ละคู่ในคุณลักษณะด้านการตอบสนองความต้องการมีความสมเหตุสมผล [10] สามารถนำค่าน้ำหนักของแต่ละกลุ่มไปใช้ได้

ผลการหาน้ำหนักความสำคัญของกลุ่มเป้าหมาย โดยใช้เทคนิค AHP พบว่าค่าน้ำหนักของกลุ่มผู้ใช้งานภายใน ผู้ใช้งานภายนอก และผู้ดูแลระบบ แต่ละคุณลักษณะ ดังนี้ (1) ด้านการตอบสนองความต้องการมีค่าเท่ากับ 0.56, 0.32 และ 0.12 ตามลำดับ (2) ด้านความปลอดภัยของข้อมูล มีค่าเท่ากับ 0.17, 0.17 และ 0.67 ตามลำดับ และ (3) ด้านความง่ายในการใช้งาน มีค่าเท่ากับ 0.33, 0.53 และ 0.14 ตามลำดับ

นำค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละกลุ่มเป้าหมายกับค่าเฉลี่ยระดับความสำคัญของความต้องการของกลุ่มเป้าหมายไปคำนวณหาค่าระดับความต้องการ (IMP) ตามสมการ (1) ปรากฏผลดังตารางที่ 4

ตัวอย่าง การคำนวณค่า IMP ของคุณลักษณะด้านการตอบสนองความต้องการ ในด้านลดเวลาการจัดการเรื่องร้องเรียน/ร้องทุกข์

- ค่าเฉลี่ยระดับความสำคัญของความต้องการในแต่ละกลุ่ม มีดังนี้

กลุ่มผู้ใช้งานภายใน = 4.40 กลุ่มผู้ใช้งานภายนอก = 3.32
กลุ่มผู้ดูและระบบ = 3.00

- ค่าน้ำหนักความสำคัญของกลุ่มเป้าหมายแต่ละกลุ่ม มีดังนี้

กลุ่มผู้ใช้งานภายใน = 0.56 กลุ่มผู้ใช้งานภายนอก = 0.32
กลุ่มผู้ดูและระบบ = 0.12

IMP = (4.40 x 0.56) + (3.32 x 0.32) + (3.00 x 0.12)
= 3.89

ตารางที่ 4 ความต้องการและระดับความต้องการ (IMP) ของกลุ่มเป้าหมายเกี่ยวกับคุณลักษณะของเว็บแอปปลิเคชัน

ปัจจัยความต้องการ		IMP
การตอบสนองความต้องการ	ลดเวลาการจัดการเรื่องร้องเรียน/ร้องทุกข์	3.89
	ลดความซ้ำซ้อนของเรื่องร้องเรียน/ร้องทุกข์	3.79
	ติดตามผลการร้องเรียน/ร้องทุกข์ได้	4.03
	เข้าถึงข้อมูลข้อร้องเรียน/ร้องทุกข์ในระบบได้	3.88
	จัดการข้อมูลการร้องเรียน/ร้องทุกข์ได้	3.87
ความปลอดภัยของข้อมูล	การกำหนดรหัสผู้ใช้และรหัสผ่าน	4.05
	การยืนยันตัวตนเพื่อเข้าใช้งานระบบ	4.05
	การตรวจสอบสิทธิ์ของผู้ใช้งาน	4.19
	การควบคุมสิทธิ์การใช้งาน	4.20
	การแจ้งเตือนเมื่อพบข้อผิดพลาดในการใช้งาน	3.97
ความง่ายในการใช้งาน	มีกฎเกณฑ์การเข้าใช้งานไม่มาก ไม่ซับซ้อน	4.33
	สามารถเข้าระบบได้ทุกที่ทุกเวลา	4.19
	หน้าจอการจัดวางและการแสดงผลเข้าใจง่าย	4.05
	มีเครื่องมือช่วยอำนวยความสะดวกการใช้งาน	4.09
	ความเหมาะสมในการใช้สีและขนาดตัวอักษร	4.19

3.2.2 การกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิค

ผู้วิจัยได้ระดมสมองกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อร่วมกันกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิคที่สามารถตอบสนองความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ทั้งนี้ การกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิคของเว็บแอปปลิเคชันนี้ใช้หลักการการออกแบบที่ยึดผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (user-centered design: UCD) ซึ่งมุ่งเน้นให้ระบบตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ทุกกลุ่มอย่างแท้จริง กระบวนการกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิค เริ่มจากการระดมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง วิเคราะห์ปัญหาและความต้องการที่แท้จริงของผู้ใช้ จากนั้นจึงกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิคที่สอดคล้องกับบริบทการใช้งาน เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้จริง ลดข้อผิดพลาดและเพิ่มประสิทธิภาพของการให้บริการ ซึ่งได้ข้อกำหนดทางเทคนิคของเว็บแอปปลิเคชันสำหรับการร้องเรียน/ร้องทุกข์ เพื่อตอบสนองความต้องการของกลุ่มเป้าหมายในแต่ละปัจจัยความต้องการ แบ่งออกเป็น 7 ด้าน ได้แก่ ส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI/UX) การประมวลผลและจัดการข้อมูล ความปลอดภัยของข้อมูล การแจ้งเตือน การค้นหาและแสดงผล การโฮสต์และโครงสร้างพื้นฐาน และการจัดเก็บไฟล์และแนบเอกสาร ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อกำหนดทางด้านเทคนิคของเว็บแอปปลิเคชัน

ข้อกำหนดทางเทคนิค	
ส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI/UX)	หน้าจอใช้งานง่ายและจัดวางเมนูชัดเจน
	รองรับการใช้งานบนมือถือและคอมพิวเตอร์
	ขนาดตัวอักษรและสีอ่านง่าย เหมาะสม
	มีคำแนะนำการใช้งานหรือหน้าช่วยเหลือ
การประมวลผลและจัดการข้อมูล	รองรับการบันทึก แก้ไข ค้นหา และลบข้อมูล
	จัดเก็บข้อมูลได้ปลอดภัยและเข้าถึงได้รวดเร็ว
	มีระบบจัดการสถานะ
	ตรวจสอบและแจ้งเตือนคำร้องที่ซ้ำกัน
ความปลอดภัยของข้อมูล	มีระบบยืนยันตัวตนก่อนเข้าใช้งาน
	ข้อมูลสำคัญต้องเข้ารหัส
	กำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลตามระดับผู้ใช้งาน
การแจ้งเตือน	แจ้งเตือนเมื่อสถานะคำร้องเปลี่ยนแปลง
	แสดงข้อความแจ้งข้อผิดพลาดพร้อมคำแนะนำ
การค้นหาและแสดงผล	ค้นหาข้อมูลได้รวดเร็ว พร้อมตัวกรองข้อมูล
	แสดงข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย
การโฮสต์และโครงสร้างพื้นฐาน	ระบบออนไลน์ตลอดเวลา
	มีการสำรองข้อมูลอัตโนมัติ
	รองรับการขยายระบบเมื่อมีผู้ใช้เพิ่มขึ้น
การจัดเก็บไฟล์และแนบเอกสาร	รองรับการอัปโหลดและจัดเก็บไฟล์
	ตรวจสอบประเภทและขนาดไฟล์ก่อนอัปโหลด
	ไฟล์แนบสามารถลบหรือแก้ไขได้

3.2.3 การจัดลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์

การจัดลำดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิค โดยนำค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ (absolute important) ที่คำนวณได้ มาจัดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย แล้วคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ (relative important) จากสมการ (3) ตามตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่าง การคำนวณความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ ด้านหน้าจอใช้งานง่ายและจัดวางเมนูชัดเจน (ตารางที่ 6)

เมื่อ ผลรวมของค่า Absolute important = 139.06

ดังนั้น Relative important = (182.19/139.06) x 100
= 13.04

จากนั้นจะรวมค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบในแต่ละข้อกำหนดตามลำดับมากไปน้อย จนได้ค่าสะสมที่ร้อยละ 80 นำไปใช้พัฒนาเว็บแอปปลิเคชันต่อไป

ตัวอย่าง การคำนวณค่าร้อยละสะสมของ relative important

%สะสม = 13.04 + 8.91 (21.95) + 8.83 (30.28) + 8.12 (38.40) + 7.35 (45.75) + 6.05 (51.80) + 5.93 (57.73) + 5.86 (63.59) + 5.25 (68.84) + 4.50 (73.34) + 4.45 (77.79) + 4.27 (82.06)

= 82.06

ข้อกำหนดทางด้านเทคนิคที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญ (relative important) สะสมมากที่สุดร้อยละ 80 มีจำนวน 12 ข้อ ดังนี้ (1) หน้าจอใช้งานง่ายและจัดวางเมนูชัดเจน (2) กำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลตามระดับผู้ใช้งาน (3) รองรับการบันทึก แก้ไข ค้นหา และลบข้อมูล (4) ขนาดตัวอักษรและสีอ่านง่าย เหมาะสม (5) แสดงข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย (6) ระบบออนไลน์ตลอดเวลา (7) มีระบบจัดการสถานะ (8) จัดเก็บข้อมูลได้ปลอดภัยและเข้าถึงได้รวดเร็ว (9) รองรับการใช้งานบนมือถือและคอมพิวเตอร์ (10) ค้นหาข้อมูลได้รวดเร็ว พร้อมตัวกรองข้อมูล (11) มีคำแนะนำการใช้งานหรือหน้าช่วยเหลือ และ (12) แสดงข้อความแจ้งข้อผิดพลาดพร้อมคำแนะนำแก้ไข ดังตารางที่ 6

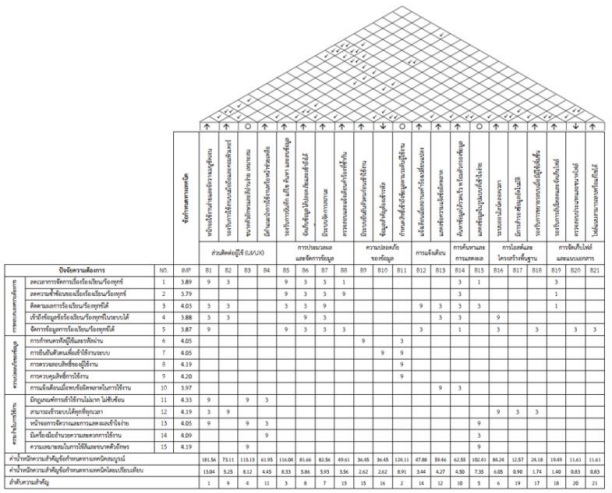
ตารางที่ 6 ลำดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคเว็บแอปปลิเคชัน

ลำดับที่	ข้อกำหนดทางเทคนิค	absolute importance	relative important	น้ำหนักความสำคัญสะสม
1	หน้าจอใช้งานง่าย	181.56	13.04	13.04
2	กำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล	124.11	8.91	21.95
3	รองรับบันทึก แก้ไข ลบข้อมูล	116.04	8.33	30.28
4	ขนาดตัวอักษรและสีอ่านง่าย	113.13	8.12	38.40
5	แสดงข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย	102.41	7.35	45.75
6	ระบบออนไลน์ตลอดเวลา	84.24	6.05	51.80
7	มีระบบจัดการสถานะ	82.56	5.93	57.73
8	เก็บข้อมูลปลอดภัยและรวดเร็ว	81.66	5.86	63.59
9	รองรับการใช้งานบนมือถือ	73.11	5.25	68.84
10	ค้นหาข้อมูลได้รวดเร็ว	62.55	4.50	73.34
11	มีคำแนะนำการใช้งาน	61.95	4.45	77.79
12	แสดงข้อความแจ้งข้อผิดพลาด	59.46	4.27	82.06
13	แจ้งเตือนคำร้องซ้ำกัน	49.61	3.56	85.62
14	แจ้งเตือนเมื่อคำร้องเปลี่ยนแปลง	47.88	3.44	89.06
15	ยืนยันตัวตนก่อนเข้าใช้งาน	36.45	2.62	91.68

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ลำดับที่	ข้อกำหนดทางเทคนิค	absolute importance	relative important	น้ำหนักความสำคัญสะสม
16	ข้อมูลสำคัญต้องเข้ารหัส	36.45	2.62	94.30
17	รองรับการขยายระบบ	24.18	1.74	96.04
18	รองรับการอัปโหลด/จัดเก็บไฟล์	19.49	1.40	97.44
19	มีการสำรองข้อมูลอัตโนมัติ	12.57	0.90	98.34
20	ตรวจสอบประเภทและขนาดไฟล์	11.61	0.83	99.17
21	ไฟล์แนบสามารถลบหรือแก้ไขได้	11.61	0.83	100
	รวม	1,392.63	100	

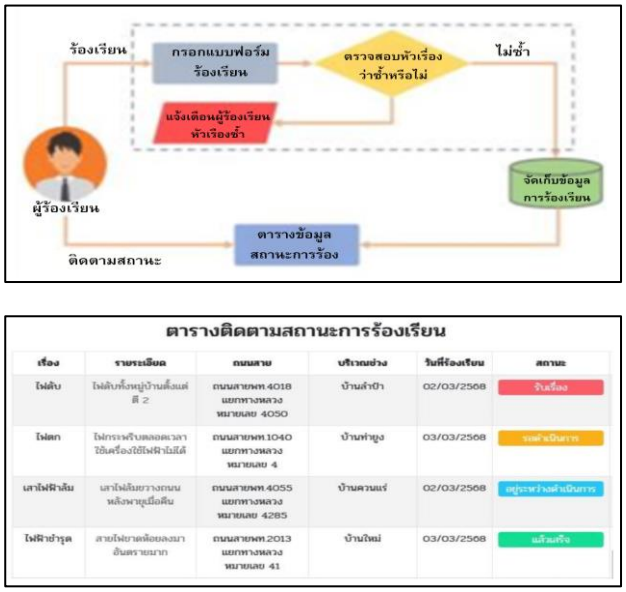
จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ สามารถแสดงเมทริกซ์บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ) ที่แปลงความต้องการของผู้ใช้ให้เป็นข้อกำหนดทางเทคนิค เริ่มจากการรวบรวมเสียงของลูกค้า ผ่านการสำรวจกลุ่มเป้าหมาย 3 กลุ่ม นำมาสร้างเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (planning matrix) เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้ใช้กับข้อกำหนดทางเทคนิค จัดลำดับความสำคัญ และเลือกข้อกำหนดที่สำคัญสุด 12 ข้อ นำไปใช้ออกแบบเว็บแอปปลิเคชัน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เมทริกซ์บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ)

จากเมทริกซ์บ้านแห่งคุณภาพ สามารถนำข้อกำหนดทางเทคนิคไปใช้ออกแบบเว็บแอปปลิเคชันสำหรับการร้องเรียน/ร้องทุกข์ปัญหาไฟฟ้าส่องสว่างของแขวงทางหลวงชนบท เพื่อลดระยะเวลาการดำเนินการและลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล โดยรูปแบบของเว็บแอปปลิเคชันที่ได้

ออกแบบขึ้นสามารถตรวจสอบและแจ้งเตือนกรณีมีเรื่องร้องเรียนซ้ำ หากพบว่ามีเรื่องซ้ำกัน ระบบจะช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถรวมเรื่องร้องเรียนเข้าด้วยกันเพื่อลดความซ้ำซ้อน นอกจากนี้ผู้ร้องเรียนสามารถติดตามสถานะการดำเนินงานแบบเรียลไทม์ เช่น รับเรื่อง รอดำเนินการ อยู่ระหว่างดำเนินการ หรือดำเนินการแล้วเสร็จ ซึ่งช่วยลดการแจ้งเรื่องซ้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการเรื่องร้องเรียนได้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 หลักการและรูปแบบของเว็บแอปปลิเคชันที่ได้พัฒนาขึ้น

เนื่องจากข้อจำกัดด้านระยะเวลาและทรัพยากร งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การออกแบบข้อกำหนดทางเทคนิคของเว็บแอปปลิเคชัน โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ เพื่อให้ได้ข้อกำหนดที่สามารถนำไปพัฒนาระบบได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม การทดสอบระบบต้นแบบ (prototype testing) และการประเมินผลของผู้ใช้ ถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาเว็บแอปปลิเคชัน ซึ่งจะช่วยยืนยันว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้จริง ในอนาคตงานวิจัยนี้มีแผนดำเนินการพัฒนาระบบต้นแบบ (prototype development) ตามข้อกำหนดที่ได้ออกแบบไว้ และดำเนินการทดสอบการใช้งานกับกลุ่มเป้าหมาย เพื่อเก็บรวบรวมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้ใช้ ซึ่งช่วยให้สามารถปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้น แม้ว่างานวิจัยนี้จะยังไม่ได้ครอบคลุมถึงการทดสอบระบบต้นแบบ แต่การออกแบบข้อกำหนดทางเทคนิคที่นำเสนอสามารถใช้เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาระบบในอนาคต และเป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยหรือการพัฒนาระบบที่เกี่ยวข้องต่อไป

4. สรุป

การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพได้ข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญสะสมมากที่สุดร้อยละ 80 ที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเว็บแอปปลิเคชันสำหรับการร้องเรียน/ร้องทุกข์ จำนวน 12 ข้อ ดังนี้ (1) หน้าจอใช้งานง่ายและจัดวางเมนูชัดเจน (2) กำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลตามระดับผู้ใช้งาน (3) รองรับการบันทึก แก้ไข ค้นหา และลบข้อมูล (4) ขนาดตัวอักษรและสีอ่านง่าย เหมาะสม (5) แสดงข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย (6) ระบบออนไลน์ตลอดเวลา (7) มีระบบจัดการสถานะ (8) จัดเก็บข้อมูลได้ปลอดภัยและเข้าถึงได้รวดเร็ว (9) รองรับการใช้งานบนมือถือและคอมพิวเตอร์ (10) ค้นหาข้อมูลได้รวดเร็ว พร้อมตัวกรองข้อมูล (11) มีคำแนะนำการใช้งานหรือหน้าช่วยเหลือ และ (12) แสดงข้อความแจ้งข้อผิดพลาดพร้อมคำแนะนำแก้ไข

เอกสารอ้างอิง

[1] วัฒนพล ชุมเพชร, “การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการร้องเรียนและติดตามปัญหาจากประชาชนในท้องถิ่นสู่ภาครัฐ,” *วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, หน้า 106-117, มกราคม-ธันวาคม, 2560.

[2] กรมทางหลวงชนบท, “*ขอบเขตและอำนาจหน้าที่*,” [ออนไลน์]. https://drr.go.th. (สืบค้นเมื่อ: 10 มกราคม 2567).

[3] เดลินิวส์ ออนไลน์, “*เปิดสถิติร้องเรียนทางหลวง ปี 65 กว่า 12,694 เรื่อง ไฟฟ้าดับมากสุด*,” [ออนไลน์] https://www.dailynews.co.th./news/1762237. (สืบค้นเมื่อ: 10 มกราคม 2567).

[4] พชรพรรณ สมบัติ, “แนวทางการพัฒนาโมบายแอพพลิเคชั่น THAI MOBILE สำหรับผู้ใช้บริการ สายการบิน บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน),” วิทยานิพนธ์การจัดการมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการการบิน, สถาบันการบินพลเรือน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, กรุงเทพฯ, 2558.

[5] Y. Akao, *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*. New York: Productivity Press, 1990.

[6] C. L. Wu, "Application of Quality Function Deployment in Medical App Design," *International Journal of Healthcare Technology*, vol. 25, no. 3, pp. 215-229, 2021.

[7] S. A. Roberts, "Enhancing Government Complaint Management Systems Using Quality Function Deployment," *Public Sector Innovation Journal*, vol. 18, no. 1, pp. 35-50, 2022.

[8] เกียรติสุดา ศรีสุข, *ระเบียบวิธีวิจัย*, เชียงใหม่: ครองช่าง, 2552.

[9] T. L. Saaty, "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process," *European Journal of Operational Research*, vol. 48, no. 1, pp. 9-26, 1990.

[10] C. Kahraman, U. Cebeci, and Z. Ulukan, "Multi-criteria Supplier Selection Using Fuzzy AHP," *Logistics Information Management*, vol. 16, no. 6, pp. 382–394, 2003.

การจัดสมดุลสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง

Assembly Line Balancing for Window Air Conditioners

เอกนรินทร์ แก้วกุลประภา[1] นัฏฐวิกา จันทร์ศรี[2*]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
E-mail: natthavika@eng.src.ku.ac.th*

Eaknarin Kaewkunprapa[1] Natthavika Chansri[2*]
[1]Engineering and Technology Management Program, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus
E-mail: natthavika@eng.src.ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง รุ่น 9000 BTU ด้วยการจัดสมดุลสายการประกอบ งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคสายธารคุณค่าเพื่อแบ่งกิจกรรมที่เป็นคอขวด 3 ประเภท คือ กิจกรรมที่ก่อให้เกิดคุณค่า กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า และกิจกรรมที่ไม่ได้เพิ่มมูลค่า หลังจากนั้นใช้การวิเคราะห์ Why-Why เพื่อหาสาเหตุของปัญหา และเทคนิค ECRS เพื่อจัดสมดุลสายการประกอบ ผลการจัดสมดุลสายการประกอบ พบว่าประสิทธิภาพของสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง รุ่น 9000 BTU เพิ่มขึ้นจาก 55.27% เป็น 72.18% นอกจากนี้เวลาในการประกอบ จำนวนพนักงาน และจำนวนสถานีงานลดลงจาก 1,368 วินาที เป็น 1,191 วินาที จาก 75 คน เป็น 66 คน และจาก 68 สถานีงาน เป็น 62 สถานีงาน ตามลำดับ

คำสำคัญ: การจัดสมดุลสายการประกอบ, คอขวด, รอบการผลิต

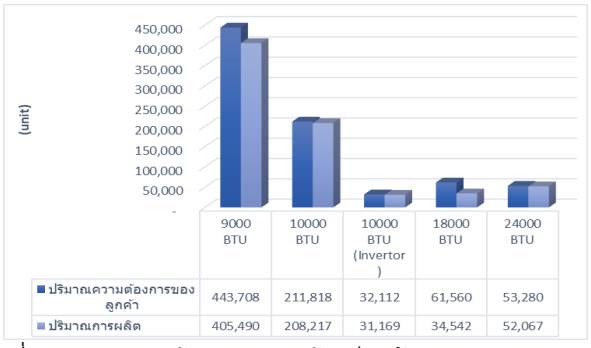
Abstract

The objective of this research is to increase the assembly line efficiency of window air conditioners, 9000 BTU type, by using assembly line balancing. In this research, the value stream mapping technique was applied to classify activities, which were bottleneck, into three groups: value-added activities, necessary but not value-added activities and non-value-added activities. After that the Why-Why analysis was applied to figure out root cause and then the ECRS technique was applied to balance assembly line. The result showed that the assembly line efficiency of window air conditioners, 9000 BTU type, is increased from 55.27% to 72.18%. Moreover, it showed that the assembly time, the number of workers, and the number of workstations are decreased from 1,368 seconds to 1,191 seconds, from 75 workers to 66 workers, and from 68 workstations to 62 workstations, respectively.

Keywords: Assembly line balancing, Bottleneck, Cycle time

1. บทนำ

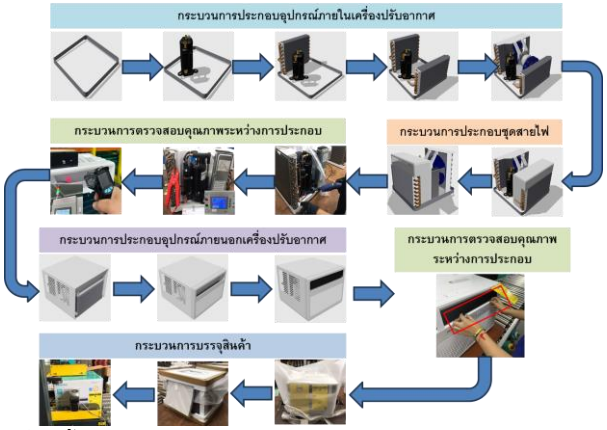
สายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง เป็นการประกอบแบบไหลอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow) ซึ่งมีสถานีงานที่จัดเรียงกันอย่างต่อเนื่องด้วยสายพานลำเลียง (Conveyor) ที่ทำหน้าที่ลำเลียงเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่างระหว่างสถานีงาน เครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่างประกอบด้วย 5 รุ่น คือ รุ่น 9,000 BTU รุ่น 10,000 BTU รุ่น 10,000 BTU Invertor รุ่น 18,000 BTU และรุ่น 24,000 BTU ซึ่งรุ่น 9,000 BTU มีปริมาณความต้องการของลูกค้ามากที่สุด ดังรูปที่ 1 แต่ละรุ่นมีกระบวนการประกอบเหมือนกัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือกระบวนการประกอบหลัก และกระบวนการประกอบเสริม



	9000 BTU	10000 BTU	10000 BTU (Invertor)	18000 BTU	24000 BTU
ปริมาณความต้องการของลูกค้า	443,708	211,818	32,112	61,560	53,280
ปริมาณการผลิต	405,490	208,217	31,169	34,542	52,067

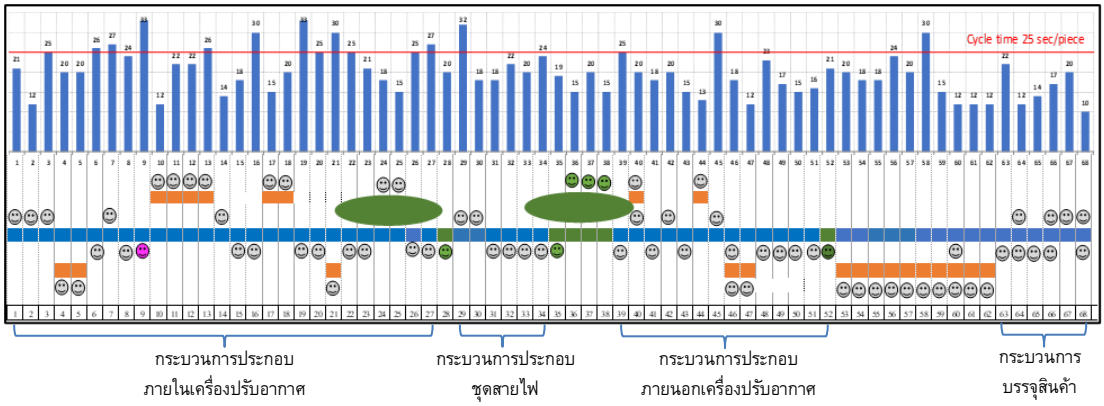
รูปที่ 1 ปริมาณความต้องการของลูกค้า เทียบกับปริมาณการผลิตก่อนปรับปรุง

กระบวนการประกอบหลัก เป็นกระบวนการประกอบบนสายพานลำเลียง ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 กระบวนการย่อย ได้แก่ กระบวนการประกอบอุปกรณ์ภายในเครื่องปรับอากาศ 14 สถานีงาน กระบวนการประกอบชุดสายไฟ 10 สถานีงาน กระบวนการประกอบอุปกรณ์ภายนอกเครื่องปรับอากาศ 9 สถานีงาน กระบวนการตรวจสอบคุณภาพระหว่างการประกอบ 6 สถานีงาน และกระบวนการบรรจุสินค้า 6 สถานีงาน รวมทั้งหมด 45 สถานีงาน ดังรูปที่ 2 กระบวนการประกอบเสริม เป็นกระบวนการประกอบที่แยกออกจากสายพานลำเลียง เพื่อเตรียมประกอบ ซึ่งประกอบด้วย 23 สถานีงาน รวมทั้งสิ้น 68 สถานีงาน



รูปที่ 2 ขั้นตอนกระบวนการประกอบหลัก

จากกระบวนการประกอบดังกล่าว ประสิทธิภาพการประกอบ 55.27% ต่ำกว่าค่าเป้าหมาย (100%) และเวลาที่ใช้ในการประกอบในบางสถานีงาน สูงกว่ารอบเวลาการประกอบ (25 วินาที/สถานีงาน) ดังรูปที่ 3 ส่งผลให้เกิดการรอคอยในกระบวนการประกอบ และการไหลของงานไม่ต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังใช้แรงงานคนเป็นหลัก อาจจะต้องจ้างพนักงานเพิ่มขึ้นในกิจกรรมที่มีขั้นตอนการทำงานมาก ส่งผลให้เกิดต้นทุนในการประกอบเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 รอบเวลาการประกอบแต่ละสถานีงานก่อนปรับปรุง

จากปัญหาดังกล่าวการจัดสมดุลสายการประกอบ เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการลดต้นทุนและการปรับปรุงประสิทธิภาพการประกอบ ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ [4] อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า [5] และอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนฝาครอบเครื่องรถจักรยานยนต์ [6] เป็นต้น การจัดสมดุลสายการประกอบมีหลากหลายวิธี เช่น การวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่า การวิเคราะห์ Why-Why และ ECRS เป็นต้น การวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่า[6] เป็นการวิเคราะห์ที่ค้นหาและกำจัดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิด

คุณค่าเพิ่มในกระบวนการประกอบ ซึ่งประกอบด้วย 3 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมที่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม (Value-added activities, VA) เป็นกิจกรรมที่เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของลูกค้า กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Necessary but non value-added activities, NNVA) เป็นกิจกรรมที่ไม่ได้เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ แต่ถ้าไม่ทำก็มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ และกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม (Non-value-added activities, NVA) เป็นกิจกรรมที่ไม่ได้เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถกำจัดออกจากกระบวนการได้ การวิเคราะห์ Why-Why [5] เป็นการวิเคราะห์ที่ค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาที่เกิดขึ้น และ ECRS [4,5] เป็นเครื่องมือหนึ่งในการลดความสูญเปล่าของกระบวนการประกอบ ซึ่งประกอบด้วยการกำจัด (Eliminate) เป็นการตัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกไปจากกระบวนการ การควบรวม (Combine) เป็นการรวบขั้นตอนที่คล้ายคลึงเข้าด้วยกัน การจัดเรียงใหม่ (Rearrange) เป็นการจัดเรียงขั้นตอนการทำงานใหม่ให้มีความลื่นไหลมากขึ้น และการทำให้ง่าย (Simplify) เป็นการปรับปรุงให้ง่ายต่อการทำงานมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่างรุ่น 9000 BTU เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการประกอบ

2. การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง รุ่น 9000 BTU โดยใช้การวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่า เพื่อวิเคราะห์กระบวนการของสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง รุ่น 9000 BTU ทำให้เห็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม (Value-added activities, VA) กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Necessary but non value-added activities, NNVA) และกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม (Non-value-added activities, NVA) หลังจากนั้นวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาที่เกิดขึ้นของกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า และกิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า โดยใช้การวิเคราะห์ Why-Why เพื่อนำไปสู่การปรับปรุง และป้องกันการเกิดซ้ำต่อไป และเสนอแนวทางการปรับปรุงของทั้ง 3 กิจกรรมดังกล่าว โดยใช้หลักการ ECRS ในการลดความสูญเปล่า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง รุ่น 9000 BTU หลังจากนั้นเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการจัดสมดุลสายการประกอบ ซึ่งประกอบด้วยการเปรียบเทียบรอบเวลาการประกอบ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการประกอบ และการเปรียบเทียบจำนวนพนักงาน โดยคำนึงถึงรอบเวลาการประกอบไม่เกิน 25 วินาที/สถานีงาน

3. ผลการจัดสมดุลสายการประกอบ

จากกระบวนการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง รุ่น 9000 BTU สถานีงานที่มีเวลาการประกอบสูงกว่ารอบเวลาการประกอบ (ไม่เกิน 25 วินาที/สถานีงาน) ประกอบด้วย 11 สถานีงาน 89 งานย่อย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถานีงานที่มีรอบเวลาการประกอบสูงกว่ารอบเวลาการประกอบที่กำหนด

สถานีงานที่	สถานีงาน	จำนวนงานย่อย	เวลา (วินาที)
6	ประกอบคอนเดนเซอร์เข้ากับฐานโครงเครื่องปรับอากาศ	7	27.00
7	ประกอบอีพาพอเรเตอร์เข้ากับฐานโครงเครื่องปรับอากาศ	6	25.85
9	เชื่อมบริเวณข้อต่อท่อดูดและท่ออัด	11	32.80
16	ประกอบฝาปิดหัวคอมเพรสเซอร์	10	30.20
19	ประกอบกล่องควบคุมเข้ากับตัวเครื่องปรับอากาศ	10	33.20
27	ตัดปิดท่อเติมสารทำความเย็น	7	27.10
29	ประกอบโฟมกลางเข้ากับโครงพัดลม	7	32.20
46	ประกอบตัวดันท่อทองแดง	7	30.30
13	ประกอบชุดพัดลมเครื่องปรับอากาศ	10	26.20
21	ติดสติกเกอร์คำเตือนที่สายไฟ	9	30.30
58	เตรียมอุปกรณ์ของแถมชุดฉนวนกันความร้อน	5	30.00

จากการวิเคราะห์กระบวนการของสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง รุ่น 9000 BTU ทั้ง 11 สถานีงานดังกล่าว ด้วยแผนผังสายธารคุณค่า พบว่ากิจกรรมที่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม จำนวน 41 งานย่อย กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า จำนวน 17 งานย่อย และกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม จำนวน 31 งานย่อย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์กระบวนการของสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง รุ่น 9000 BTU

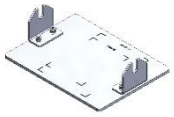
สถานีงานที่	จำนวนงานย่อย	จำนวนกิจกรรมที่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม	จำนวนกิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า	จำนวนกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม
6	7	3	-	4
7	6	3	2	1
9	11	7*(3)	-	4
16	10	5*(1)	3	2
19	10	3	4	3
27	7	3*(1)	1	3
29	7	4	-	3
46	7	2	-	5
13	10	4	4	2
21	9	5*(3)	2	2
58	5	2*(2)	1	2
รวม	89	41	17	31

หมายเหตุ: *( ) คือ จำนวนกิจกรรมที่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่มที่สามารถปรับปรุงได้

จากการวิเคราะห์ Why-Why เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง หรือความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง รุ่น 9000 BTU พบกิจกรรมที่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม จำนวน 4 งานย่อย ดังตารางที่ 3 กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า จำนวน 9 งานย่อย ดังตารางที่ 4 และกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม จำนวน 6 งานย่อย ดังตารางที่ 5 รวมทั้งเสนอแนวทางปรับปรุงตามหลักการ ECRS เพื่อจัดสมดุลสายการประกอบ

จากการจัดสมดุลสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งหน้าต่าง รุ่น 9000 BTU พบว่าเวลาที่ใช้ในการประกอบลดลง 177 วินาที/ชิ้น จาก 1,368 วินาที/ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 13 ประสิทธิภาพการประกอบเพิ่มขึ้น 16.91% จาก 55.27% จำนวนพนักงานลดลง 9 คน จาก 75 คน คิดเป็นร้อยละ 12 และจำนวนสถานีงานลดลง 6 สถานีงาน จาก 68 คน คิดเป็นร้อยละ 8.82 ดังตารางที่ 6 ทำให้ใช้เวลาในการประกอบของแต่ละสถานีงานต่ำกว่ารอบเวลาการประกอบ (25 วินาที/สถานีงาน) ดังรูปที่ 4

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ Why-Why ของกิจกรรมที่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม

สถานีงานที่	งานย่อย	ปัญหา	สาเหตุ	สาเหตุ	แนวทางปรับปรุง
16	ใส่ฝาครอบสายไฟหัวคอมเพรสเซอร์ และจัดสายไฟ เพื่อไม่ฝาครอบทับสายไฟ	พนักงานทำงานซ้ำซ้อน ต้องมีการตรวจสอบหลายครั้ง	1. มีพนักงานเพียงคนเดียว และไม่มีกระบวนการตรวจสอบก่อนปิดฝา	มีการระบุไว้ใน WI ให้มีพนักงาน 1 คน	ปรับปรุงขั้นตอนการทำงานของพนักงานให้ชัดเจน และทำการ Balance ขั้นตอนการทำงานกับสถานีถัดไป [R]
			2. ดึงสายไฟไม่ตึง และไม่เรียงสายไฟให้เรียบร้อยก่อนประกอบ ทำให้สายไฟทับกัน	ไม่ได้กำหนดขั้นตอนการทำงานที่ชัดเจน	
			3. มีขั้นตอนการทำงานมากเกินไป ทำให้พนักงานเกิดความสับสนได้		
27	สวมพลาสติกกันบาดเข้าปิดปลายท่อทองแดงที่ตัด	พนักงานใช้เวลาในการใส่พลาสติกนาน และบาดเจ็บจากการใส่	1. ปลายท่อมีลักษณะบี้แบน และมีความคม	อุปกรณ์ที่ใช้เป็นลักษณะการตัดบีบปิดปลายท่อ จึงทำให้ใส่พลาสติกกันบาดยาก	ลดขั้นตอนในการทำงานของพนักงาน ทำการปรับกระบวนการให้เหมาะสมกับการทำงานให้ง่ายยิ่งขึ้น [R]
			2. พลาสติกเป็นท่อกลม และบาง ทำให้เวลาใส่ยาก และฉีกขาดได้	กำหนดวิธีการ และขั้นตอนให้ใส่หลังจากกระบวนการตัดปลายท่อ	
21	- จับหัวปลั๊กไฟเกี่ยวยึดกับจิ๊ก (Jig) แล้วใช้มือดึงสายไฟให้ตึง - นำสติ๊กเกอร์คำเตือนไปติดสายไฟ โดยปลายของสติ๊กเกอร์ต้องเสมอเท่ากัน - ปลดปลั๊กไฟออกจากจิ๊ก (Jig)	พนักงานใช้เวลาในการติดสติ๊กเกอร์เป็นเวลานาน	1. พนักงานไม่มีความชำนาญในการทำงานเพราะสติ๊กเกอร์ต้องมีความเรียบร้อย ลูกค้าเน้นย้ำมาก	ทำการสอน และฝึกฝนพนักงานให้มีความชำนาญ และออกแบบอุปกรณ์จิ๊ก (Jig) เพื่อลดเวลาในการติดสติ๊กเกอร์	ลดขั้นตอนในการทำงานของพนักงาน ทำการออกแบบจิ๊ก (Jig) ใหม่ เพื่อให้พนักงานสามารถทำงานได้ง่ายยิ่งขึ้น [S]
			2. อุปกรณ์จิ๊ก (Jig) ใช้งานยาก ไม่มีตำแหน่งบ่งบอกชัดเจน บริเวณที่ติดสติ๊กเกอร์	ออกแบบแก้ไขจิ๊ก (Jig) ให้จุดบ่งบอกที่เริ่มติดสติ๊กเกอร์ เพื่อบ่งบอกให้พนักงานสามารถติดได้ตรงตำแหน่ง	
			3. สติ๊กเกอร์มีขนาดใหญ่ และการติดต้องพับเข้าหากันทำให้ต้องใช้เวลานาน	ออกแบบแก้ไขจิ๊ก (Jig) ให้ดูดสามารถกางสติ๊กเกอร์ เพื่อให้พนักงานสามารถติดได้ตรงตำแหน่ง	
58	- นำเส้นฉนวนกันความร้อน 2 เส้น มามัวนเข้าด้วยกันเป็นวงกลม - หันไปหยิบบัตรรับประกัน (Warranty card) มาวางบนม้วนฉนวนกันความร้อน	พนักงานใช้เวลาในการทำงานนาน	1. พนักงานต้องมีความชำนาญในการทำงานเพราะม้วนไม่แน่น จะทำให้หลุดออกไม่เป็นม้วน	ทำการสอน และฝึกฝนพนักงานให้มีความชำนาญ และออกแบบอุปกรณ์จิ๊ก (Jig) เพื่อลดเวลาในการม้วนฉนวนกันความร้อน	ลดขั้นตอนการทำงานของพนักงาน โดยทำการเจรจากับลูกค้าในการสั่งซื้อเป็นสำเร็จรูป [E]
			2. พนักงานจะต้องตัดเทปกาวเตรียมไว้ก่อน ม้วนฉนวนกันความร้อน เพราะหลังม้วนจะไม่สามารถปล่อยได้	จัดหาอุปกรณ์ เพื่ออำนวนความสะดวกให้กับพนักงาน เพื่อลดขั้นตอนการตัดเทปกาว	

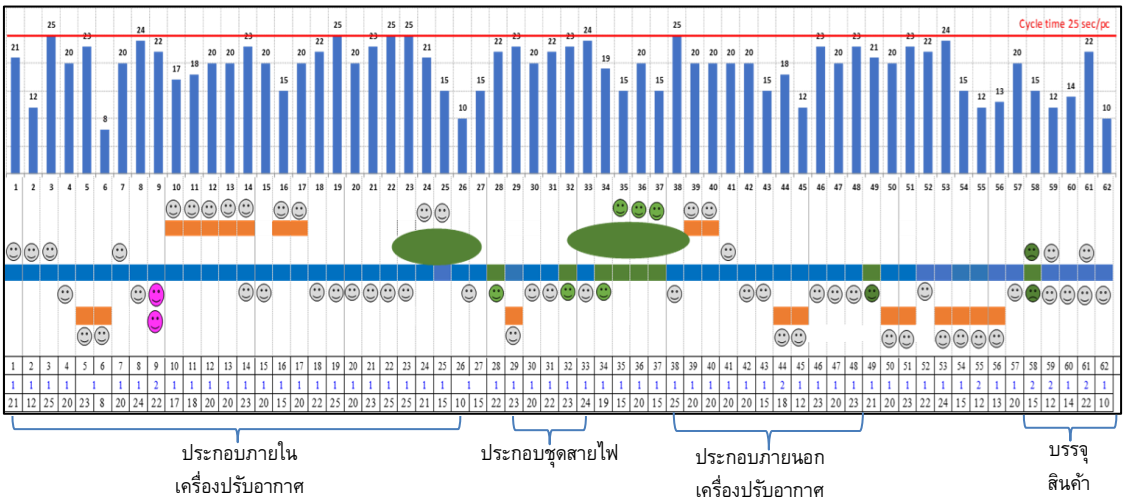
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ Why-Why ของกิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า

สถานีงานที่	งานย่อย	ปัญหา	สาเหตุ	สาเหตุ	แนวทางปรับปรุง
6,7,9,16,19,27, 29,46	หันหลังไปหยิบชิ้นงาน เพื่อนำมาประกอบ	พนักงานจะต้องเคลื่อนไหวหันด้านหน้า และด้านหลังกับไลน์การประกอบ	โต๊ะหรือรถเข็นใส่ชิ้นงานวางด้านหลังพนักงาน เวลาใช้งานจะต้องหันหลังแล้วเดินไปหยิบชิ้นงาน	เป็นสายการประกอบแบบไหล จึงไม่สามารถเอาโต๊ะหรือรถเข็นใส่ชิ้นงานไว้ทางด้านข้างพนักงานได้	ลดการเคลื่อนไหวของพนักงาน โดยทำการปรับการวางโต๊ะประกอบงาน และรถเข็นให้อยู่ระยะใกล้ๆไลน์ประกอบ และพนักงานสามารถหยิบชิ้นงานได้สะดวก [S]
9	หันมาหยิบ และวางหัวเชื่อมเพื่อทำการเชื่อม	พนักงานจะต้องเคลื่อนไหวหันด้านหน้า และด้านหลังกับไลน์การประกอบ	ชุดโซลีนอยล์จ่ายแก๊ส และตัวจุดไฟอยู่ด้านหลังพนักงาน	จุดที่ยึดติดจะต้องมีความแข็งแรง และไม่สามารถล้มได้ เพื่อความปลอดภัยในการทำงาน	ลดการเคลื่อนไหวของพนักงาน โดยทำการออกแบบจุดยึด ชุดโซลีนอยล์จ่ายแก๊ส และตัวจุดไฟ ที่มีความแข็งแรงให้อยู่ใกล้บริเวณที่ทำงาน และมีความปลอดภัยต่อพนักงาน [S]

สถานีงานที่	งานย่อย	ปัญหา	สาเหตุ	สาเหตุ	แนวทางปรับปรุง
6,13,21	หันไปหยิบชิ้นงานออกจากกล่อง	พนักงานเสียเวลาในการแกะกล่อง และเสียเวลาในการเก็บกล่องที่ใช้เสร็จแล้ว	ทางสโตร์มีการจ่ายงานเข้าสายการประกอบมาเป็นแบบกล่อง	มีรถเข็นและอุปกรณ์การใส่ไม่เพียงพอต่อจำนวนจ่ายของเข้าสายการประกอบ	ขจัดขั้นตอนการทำงานของพนักงานระหว่างการประกอบ โดยให้ทางสโตร์เอาชิ้นงานออกจากกล่อง และออกแบบรถเข็นให้เหมาะสมกับลักษณะการใส่ชิ้นงาน [E]
6,29,46,58	ประกอบติดเทปกาว สติ๊กเกอร์ และฉนวนกันความร้อนที่บนชิ้นงาน	พนักงานจะต้องใช้เวลานานในการติดบนชิ้นงาน	เป็นสายการประกอบแบบไหล จึงทำให้พนักงานทำงานยาก	พนักงานจะต้องเดินตามความเร็วไลน์ในการติดบนชิ้นงาน	ลดขั้นตอนการทำงานของพนักงานระหว่างการประกอบ โดยจัดให้มีการเตรียมก่อนทำการประกอบ และจัดหาอุปกรณ์ให้พนักงานสามารถทำงานได้สะดวก [R]
6,7	ดึงจุกยางอุดปิดปลายท่อออกจากชิ้นงาน	พนักงานในสายการประกอบจะต้องเสียเวลาในการดึงจุกยางปิดท่อ	จุกยางมีความแน่น จึงทำให้ดึงออกยาก	หัวจุกยางมีขนาดเท่ากับท่อทองแดง จึงทำให้จับดึงไม่ถนัด	ลดขั้นตอนการทำงานของพนักงานระหว่างการประกอบ โดยจัดให้มีการเตรียมก่อนทำการประกอบ และจัดหาอุปกรณ์ให้พนักงานสามารถทำงานได้สะดวก [R]
16	พัน BR Sheet ที่ปลายสายฝั่งติดหัวคอมเพรสเซอร์ และทำการจัดสายอีกครั้ง	พนักงานในสายการประกอบจะต้องเสียเวลาในการพัน BR Sheet	เป็นสายการประกอบแบบไหล จึงทำให้พนักงานทำงานยาก	ในการพัน BR Sheet หลังจากทำการเสียบสายไฟ มีพื้นแคบ และยากต่อการทำงาน	ลดขั้นตอนการทำงานของพนักงานระหว่างการประกอบ โดยจัดให้มีการเตรียมก่อนทำการประกอบ [R]
19	ทำการจัดท่อทองแดง และฉนวนกันความร้อนของอีวาพอเรเตอร์ ให้เรียบร้อย	พนักงานต้องเสียเวลาในการทำงานซ้ำซ้อน	พนักงานไม่สามารถนำชิ้นงานมาประกอบได้ ต่อเนื่องเพราะต้องทำการจัดชิ้นงานกระบวนการก่อนหน้าให้เรียบร้อยก่อน	ชิ้นงานมีการดึงออกเพื่อทำการเชื่อม จึงทำให้ท่อ และฉนวนกันความร้อน หลุดออกจากตำแหน่ง	ลดขั้นตอนการทำงานซ้ำของพนักงานระหว่างการประกอบ ให้สามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง โดยให้ขั้นตอนการใส่ท่อทองแดง และตัดมุมท่อให้มีช่องว่างพอกับหัวเชื่อม [C]
27	หันและเอื้อมมือไปหยิบหรือวางเครื่องตัด (Ultrasonic cutting)	พนักงานจะต้องหันไปยกของหนักทำให้เกิดความล่าช้า	เครื่องตัด (Ultrasonic cutting) ขนาดใหญ่ จะต้องต่อท่อลม และสายไฟ ทำให้มีน้ำหนัก	ในการใช้งานพนักงานจะต้องใช้แรงสองมือยกเครื่อง และประคองในการใช้งาน	ลดขั้นตอนในการทำงาน โดยการจัดหาอุปกรณ์ช่วยทุ่นน้ำหนัก และประคองอุปกรณ์ (Spring Balancer) เพื่อให้พนักงานสามารถทำงานได้สะดวกสบาย [S]
13,21,29,58	หันไปหยิบชิ้นงานออกจากถุงพลาสติก	พนักงานเสียเวลาในการเปิดถุง และเอาออกจากถุงได้ยากมาก	ทางสโตร์มีการจ่ายงานเข้าสายการประกอบมาเป็นแบบใส่ถุงพลาสติก	มีรถเข็นและอุปกรณ์การใส่ไม่เพียงพอต่อจำนวนจ่ายของเข้าสายการประกอบ	ขจัดขั้นตอนการทำงานของพนักงานระหว่างการประกอบ โดยให้ทางสโตร์เอาชิ้นงานออกจากถุงพลาสติก และออกแบบรถเข็นให้เหมาะสมกับลักษณะการใส่ชิ้นงาน [E]

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ Why-Why ของกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม

สถานีงานที่	งานย่อย	ปัญหา	สาเหตุ	สาเหตุ	แนวทางปรับปรุง
7	ตัดท่อทองแดงและจัดเก็บฉนวนกันความร้อนให้เข้าในฐานโครงเครื่องปรับอากาศ	พนักงานทำงานซ้ำซ้อน จะต้องมีการตัดท่อออกมาเพื่อเชื่อมได้สะดวก	พนักงานเชื่อมไม่มีมุมที่สามารถเอาหัวเชื่อมเข้าไปทำงานได้	ไม่มีอุปกรณ์ที่ช่วยให้พนักงานทำการจัดตัวท่อ หลังจากใส่ท่อเสร็จ	จัดทำฟิกเจอร์เพื่อให้เก็บชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม [S]
16	ทำการจัดสายและดึงปลายสายเพื่อไม่ให้สายไฟทับขั้ว	เป็นการทำงานซ้ำซ้อน ในขณะที่เสียบสายไฟจะต้องจัดเรียงสายไฟให้เรียบร้อย เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง	ก่อนทำการประกอบ พนักงานไม่ได้ทำการดึง และจัดเรียงสายไฟ	พนักงานเกิดการสับสนกับขั้นตอนการทำงาน	ทำการรวบกระบวนการ โดยใช้พนักงานเพียงคนเดียวและทำการจัดลำดับกระบวนการใหม่ [R]
13,16	เอามือขันสกรูยึดฝาครอบ ไปสัก 2 เกลียว	พนักงานทำงานซ้ำซ้อน เสียเวลาวางอุปกรณ์เพื่อมาขันด้วยมือก่อน	สกรูตกหล่นลงในเครื่องปรับอากาศ ทำให้ต้องเสียเวลาหาสกรูที่หล่น	อุปกรณ์การขันสกรูไม่มีแม่เหล็กในการจับสกรู	ทำการรวบกระบวนการ โดยจัดหาอุปกรณ์เครื่องมือให้เหมาะสมกับหน้างาน [S]
19	ใช้มือดันอีวาพอเรเตอร์ให้ตั้งตรง	พนักงานต้องทำงานซ้ำซ้อน เพื่อดัดอีวาพอเรเตอร์ก่อนยึดกล่องควบคุม	พนักงานกระบวนการเตรียมอีพอเรเตอร์ ทำการดึงท่อออกเพื่อหุ้มฉนวนกันความร้อนได้สะดวก	ไม่มีอุปกรณ์ที่ช่วยให้พนักงานทำการจัดดัดท่อ เพื่อให้อีวาพอเรเตอร์เข้าในตำแหน่ง	ทำการรวบกระบวนการ โดยจัดหาอุปกรณ์เครื่องมือให้เหมาะสมกับหน้างาน [S]
13,16,19	เอื้อมมือวางปืนขันสกรู	พนักงานต้องเคลื่อนที่ในระยะที่ไกล เพื่อไปหยิบปืนขันสกรู	สายการประกอบแบบไหล พนักงานวางปืนขันสกรูบนกระดานชิ้นงาน	พื้นที่ประกอบงานไม่มีที่วางอุปกรณ์ที่เหมาะสม ทำให้พนักงานต้องวางบนกระดาน	จัดทำฟิกเจอร์สำหรับวางปืนขันสกรูบริเวณที่ทำงาน และพนักงานสะดวกในการทำงาน [S]
27	ใช้มือดึงหัว Coupling ออกมา	พนักงานทำงานซ้ำซ้อนต้องตัดหัว Coupling เพื่อเติมสารทำความเย็น	พนักงานกระบวนการใส่หัว Coupling ทำการดึงท่อออกเพื่อทำให้สวมใส่ได้ง่าย	ในกระบวนการ Vacuum สายยางมีน้ำหนักทำให้ หัว Coupling ดึงปลายท่อไม่อยู่ในตำแหน่งทำงาน	จัดทำฟิกเจอร์ในการยึดปลายท่อเพื่อให้ท่ออยู่ในตำแหน่งทุกชิ้นงาน [S]



รูปที่ 4 เวลาที่ใช้ในการประกอบแต่ละสถานีงานหลังปรับปรุง

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบก่อนและหลังจัดสมดุลสายการประกอบ

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
เวลาที่ใช้ในการประกอบ (วินาที/ชิ้น)	1,368	1,191
จำนวนพนักงาน (คน)	75	66
จำนวนสถานีงาน (สถานีงาน)	68	62
ประสิทธิภาพการประกอบ (%)	55.27	72.18

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้จัดสมดุลสายการประกอบเครื่องปรับอากาศติดตั้งหน้าต่าง รุ่น 9000 BTU ทำให้เวลาที่ใช้ในการประกอบลดลง 177 วินาที/ชิ้น จาก 1,368 วินาที/ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 13 ประสิทธิภาพการประกอบเพิ่มขึ้น 16.91% จาก 55.27% จำนวนพนักงานลดลง 9 คน จาก 75 คน คิดเป็นร้อยละ 12 และจำนวนสถานีงานลดลง 6 สถานีงาน จาก 68 คน คิดเป็นร้อยละ 8.82 ซึ่งใช้เวลาในการประกอบของแต่ละสถานีงานต่ำกว่ารอบเวลาการประกอบ (25 วินาที/สถานีงาน)

เอกสารอ้างอิง

[1] ธนวรรณ อัศวไพบูลย์ (2562) การจัดการความสมดุลการประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์, วารสารรังสิตบัณฑิตศึกษาในกลุ่มธุรกิจและสังคมศาสตร์ ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2562

[2] ธนัญญา ฉมารัตน์, พิศุทธิ์ พงศ์ชัยพฤกษ์ (2561) การประยุกต์ใช้วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบสำหรับการผลิตซองแอร์รถยนต์, TNI Journal of Engineering and Technology Vol.6 No.2 July-December 2018

[3] ธรรมศักดิ์ ค่วยเทศ (256)) การวิเคราะห์แผงผังสายธารคุณค่าของห่วงโซ่อุปทานข้าวไรท์เบอร์รี่ ในภาคเหนือ, วารสารวิจัยรามคำแหง (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์) ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2560

[4] ณัฐพล บุญรักษ์, วรพนธ์ ชีววรนนท์ตรี (2563) การลดรอบเวลาการผลิตด้วยเทคนิคการจัดสมดุลสายผลิต กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์, วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์ ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2563

[5] มานพ ดอนหมื่น, ณัฐวนพล (2562) การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนผลิตอุปกรณ์เครื่องไฟฟ้าโดยวิธีการจัดสมดุลสายการผลิต, วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2562

[6] สาทิตย์ สีนิลพันธ์, ณฐา คุปตัษเฐียร (2554) การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยการบูรณาการเทคนิควิศวกรรมอุสาหกรรม, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี; ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2554

การบูรณาการโปรแกรม 3 มิติ ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก และการยศาสตร์ เพื่อประเมินความเสี่ยงจากสภาพการยกของ

Integration of 3D Programs with Deep Learning and Ergonomics For Risk Assessment of Lifting Conditions

กิตติพงศ์ ศรีสวาท[1*] ประจวบ กล่อมจิตร[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: srisawat_k4@silpakorn.edu*

Kittipong Srisawat[1*] , Prachuab Klomjit[1]
[1]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: srisawat_k4@silpakorn.edu*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมต้นแบบสำหรับวิเคราะห์การยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของในรูปแบบสามมิติ โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) และประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยแบบจำลอง RULA (Rapid Upper Limb Assessment) กระบวนการพัฒนาใช้ชุดข้อมูลภาพสองมิติที่สะท้อนพฤติกรรมการยกของในลักษณะต่าง ๆ จากนั้นสร้างแบบจำลองผ่าน Google Colab เพื่อวิเคราะห์ท่าทางการยกของอย่างมีประสิทธิภาพ การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ การยกจากระดับพื้น ระดับเอว และระดับเหนือไหล่ โดยบันทึกพฤติกรรมการยกในรูปแบบวิดีโอ และคัดเลือกเฟรมภาพมาวิเคราะห์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าคะแนน RULA ในระดับเหนือไหล่สูงกว่าระดับอื่น ๆ ซึ่งบ่งชี้ถึงความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นในการทำงานที่ต้องยกของในระดับสูง การประเมินท่าทางการยกโดยใช้แบบจำลอง RULA พบว่าค่าคะแนนเฉลี่ยในระดับเหนือไหล่มีค่าสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับหลักการยศาสตร์ที่ระบุว่าการยกของในระดับดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บสูงกว่าระดับอื่นๆ นอกจากนี้ โปรแกรมยังเพิ่มความยืดหยุ่นในการประเมินโดยอนุญาตให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเพิ่มเติมในบางขั้นตอนของ RULA ที่ไม่สามารถคำนวณได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยให้ได้ผลการประเมินที่ครบถ้วนและแม่นยำยิ่งขึ้น โปรแกรมต้นแบบนี้สามารถประเมินท่าทางได้ และให้รายงานผลการประเมินที่ครบถ้วนและเข้าใจง่าย

คำสำคัญ: การยศาสตร์, การประเมินร่างกายส่วนบนแบบรวดเร็ว, การเรียนรู้เชิงลึก, ท่าทางการทำงาน 3 มิติ, การประเมินความเสี่ยง

Abstract

This research aims to develop a prototype program for analyzing the lifting and carrying of objects in a three-dimensional format using Deep Learning techniques and assessing ergonomic risks with the RULA (Rapid Upper Limb Assessment) model. The development process uses a dataset of two-dimensional images reflecting various lifting behaviors. A model is created through Google Colab to efficiently analyze lifting postures. The experiment is divided into three levels: lifting from floor level, waist level, and above shoulder level. Lifting behavior is recorded in video format, and selected frames are analyzed. The experimental results show that the RULA scores for above-shoulder-level lifting are higher than those for other levels, indicating an increased risk for tasks requiring high-level lifting. The posture evaluation using the RULA model found that the average score for above-shoulder-level lifting was the highest, consistent with ergonomic principles that identify a higher risk of injury for this type of lifting compared to other levels. Additionally, the program enhances flexibility in assessment by allowing users to input supplementary information for certain RULA steps that cannot be calculated automatically. This helps ensure a more comprehensive and accurate evaluation. The prototype program can assess postures and provide a complete and easy-to-understand evaluation report.

Keywords: Ergonomics, Rapid Upper Limb Assessment (RULA), Deep learning, 3D postures, Risk assessment

1. บทนำ

การยกของหนักเป็นกิจกรรมที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวันและการทำงาน โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตและการขนส่ง อย่างไรก็ตาม การยกของอย่างไม่ถูกวิธีสามารถนำไปสู่การบาดเจ็บและปัญหาสุขภาพได้ ดังนั้นการบูรณาการเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) และการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงจากสภาพการยกของ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการป้องกันการบาดเจ็บและส่งเสริมสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมยุคใหม่

โปรแกรมต้นแบบนี้ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ภาพและการรู้จำท่าทาง โดยเน้นการสร้างเครื่องมือที่สามารถประเมินท่าทางการยกของในรูปแบบ 3 มิติได้อย่างละเอียดและอัตโนมัติ ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับตำแหน่งและการเคลื่อนไหวของร่างกาย ซึ่งข้อมูลการยกของนี้จะถูกนำมาสร้างโมเดลการคำนวณทางการยศาสตร์ ที่สามารถใช้ในการประเมินความเสี่ยงจากการยกของได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาโปรแกรมนี้ คือ เพื่อสร้างโมเดลต้นแบบการคำนวณทางการยศาสตร์จากข้อมูลการยกที่ได้จากการประมวลผลภาพด้วยการเรียนรู้เชิงลึก โดยมุ่งหวังให้ระบบสามารถประมวลผลจากรูป 2 มิติ เป็นรูป 3 มิติ และสามารถคำนวณสำหรับการใช้งานจริง ทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่มีอยู่ได้อย่างราบรื่น และส่งออกข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น รายงานสรุปความเสี่ยงหรือคำแนะนำในการปรับปรุงท่าทางการทำงาน

การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบนี้เป็นการบูรณาการความรู้ด้านการยศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และปัญญาประดิษฐ์ เพื่อสร้างเครื่องมือที่ช่วยยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน และส่งเสริมคุณภาพชีวิตของแรงงานในอนาคต รวมถึงสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่อุตสาหกรรมยุคใหม่ที่เน้นการใช้เทคโนโลยีและข้อมูลเป็นส่วนหลักของการดำเนินงาน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการประมวลผลแบบคลาวด์ (Cloud Computing)

การประมวลผลแบบคลาวด์ เป็นแนวคิดสำคัญในยุคดิจิทัลที่ช่วยให้การจัดการทรัพยากรคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยนิยามพื้นฐานของการประมวลผลแบบคลาวด์หมายถึง รูปแบบการให้บริการทรัพยากรคอมพิวเตอร์ผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งผู้ใช้สามารถเข้าถึงและใช้งานทรัพยากรได้ตามความต้องการอย่างยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพ [1] National Institute of Standards and Technology (NIST) ได้กำหนดคุณลักษณะสำคัญ 5 ประการของการประมวลผลแบบคลาวด์ ได้แก่ 1) On-demand self-service 2) Broad network access 3) Resource pooling 4) Rapid elasticity และ 5) Measured service นอกจากนี้โมเดลการให้บริการของการประมวลผลแบบคลาวด์สามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบหลัก ได้แก่ 1) IaaS 2) PaaS และ 3) SaaS การใช้เทคโนโลยีคลาวด์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และเพิ่มความยืดหยุ่นในการขยายธุรกิจ โดยเหมาะสำหรับระบบที่ต้องการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่และรวดเร็ว

2.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

การเรียนรู้เชิงลึก เป็นสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นในการสร้างแบบจำลองจากข้อมูลขนาดใหญ่ โดยสามารถเรียนรู้ลักษณะพิเศษจากข้อมูลโดยอัตโนมัติ ซึ่งเหมาะสำหรับการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน เช่น การรู้จำภาพ การประมวลผลภาษา และการวิเคราะห์ข้อมูล การเรียนรู้เชิงลึกประกอบด้วยเครือข่ายที่มีชั้นซ่อนหลายชั้น เช่น ชั้น Convolution สำหรับสกัดลักษณะพิเศษและชั้น Pooling เพื่อการลดขนาดข้อมูล ซึ่งช่วยให้สามารถเรียนรู้และสกัดคุณลักษณะต่าง ๆ ได้โดยไม่ต้องการการออกแบบฟีเจอร์จากผู้เชี่ยวชาญ จึงลดเวลาและความพยายามในการพัฒนาระบบ โดยมีประสิทธิภาพสูงในการจำแนกข้อมูลและพัฒนาระบบตรวจจับท่าทางการเคลื่อนไหว [2]

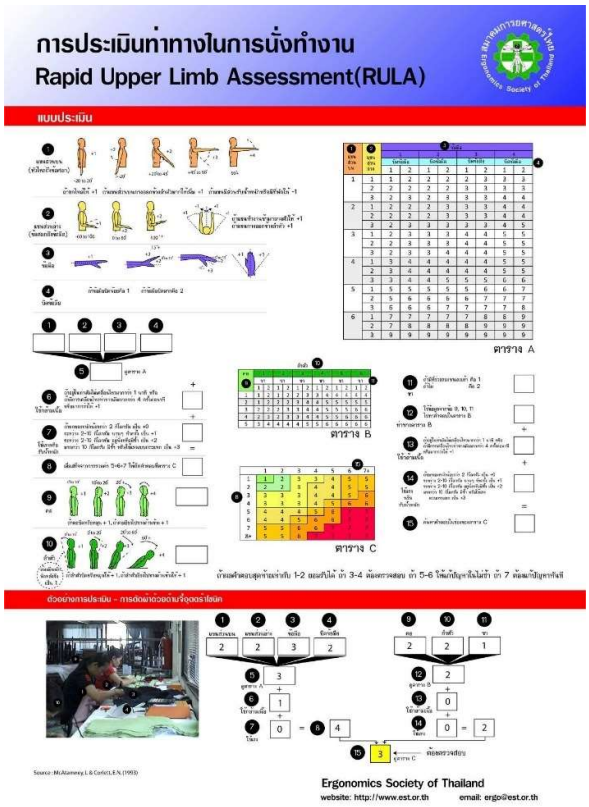
2.3 แนวคิดการยศาสตร์ (Ergonomics)

การยศาสตร์ คือศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และเครื่องมืออุปกรณ์ในสภาพแวดล้อมการทำงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกสบายในการทำงาน หลักการของการยศาสตร์มุ่งเน้นการปรับปรุงสถานที่ทำงานและพฤติกรรมการทำงานของบุคคลให้เหมาะสมกับการใช้งาน ลดความเครียด ความเมื่อยล้า และเพิ่มความปลอดภัย ความพึงพอใจในการทำงาน การยศาสตร์ประยุกต์ใช้หลักการจากหลายสาขาวิชา เช่น จิตวิทยา, วิศวกรรม, กายวิภาควิทยา และชีวกลศาสตร์

2.4 การประเมินร่างกายส่วนบนแบบรวดเร็ว (Rapid Upper Limb Assessment: RULA)

เป็นวิธีที่ออกแบบเพื่อใช้ประเมินความรุนแรงของท่าทางโดยเฉพาะงานที่นั่งทำงานพัฒนาโดย Lynn Mcatamney และ Nigel Corlett ในปี ค.ศ.1993 ใช้กรณีตัวอย่างของอุตสาหกรรมตัดเย็บเสื้อผ้าโดยพิจารณางานต่างๆ ในกระบวนการผลิต วิธีนี้ใช้ประเมินความเสี่ยงของแต่ละบุคคลจากลักษณะท่าทางการทำงาน โดยพิจารณาตำแหน่งและลักษณะของการเคลื่อนไหว การพิจารณาจะแบ่งร่างกายออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกประกอบด้วยกลุ่มของข้อมือแขนส่วนล่างแขนส่วนบนและหัวไหล่ หลังจากนั้นนำคะแนนมาพิจารณาร่วมกับการใช้แรง ซึ่งอาจเกิดจากน้ำหนักของที่ยกลักษณะการออกแรงผลักหรือดึงการใช้แรงแบบอยู่กับที่หรือเคลื่อนไหวและปริมาณการทำซ้ำคะแนนการประเมินร่างกายในกลุ่มที่สองเป็นการประเมินตำแหน่งของร่างกายส่วนของคอลำตัวและขา โดยพิจารณามุมหรือการหมุนของข้อต่อจากนั้นนำคะแนนมาพิจารณาร่วมกับการใช้แรงของกล้ามเนื้อแล้วนำคะแนนการประเมินที่ได้จากกลุ่มแรกและกลุ่มที่สองมารวมกันนำคะแนนที่ได้ไปเปิดตารางเพื่อพิจารณาระดับความเสี่ยงโดยคะแนนสูงสุดของการประเมินจะ

เท่ากับ 7 แสดงว่าลักษณะงานที่ทำมีความเสี่ยงต่อการเกิดกลุ่มอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ ควรมีการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขโดยเร็ว [3],[4] ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการในการประเมิน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนและวิธีการในการประเมินร่างกายส่วนบนแบบรวดเร็ว Rapid Upper Limb Assessment: RULA
(ที่มา: Ergonomics Society of Thailand)

หลังจากการประเมินคะแนนในแต่ละส่วนเสร็จสิ้น ผลการประเมิน RULA จะสะท้อนถึงระดับความเสี่ยงของท่าทางการทำงานที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบกล้ามเนื้อและกระดูกของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งคะแนนที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและออกแบบสภาพแวดล้อมการทำงานให้เหมาะสมมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่ต้องอาศัยการเคลื่อนไหวของร่างกายในลักษณะที่อาจก่อให้เกิดภาวะบาดเจ็บจากการทำงานซ้ำ ๆ (Repetitive Strain Injury) หรืออาการปวดเมื่อยเรื้อรัง (Chronic Musculoskeletal Disorder)

ระดับคะแนนที่ได้รับสามารถแปลความหมายได้ในเชิงของระดับความเสี่ยง ซึ่งช่วยให้ทั้งผู้ปฏิบัติงานและผู้บริหารสามารถประเมินความจำเป็นในการดำเนินมาตรการแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแบ่งออกเป็นระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ความเสี่ยงต่ำที่ไม่จำเป็นต้องดำเนินการเร่งด่วน ไปจนถึงระดับความเสี่ยงสูง โดยสามารถแปลคะแนนได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงการแปลผลคะแนนความเสี่ยงรวมในวิธี RULA

คะแนน	การแปลผล
1-2	ยอมรับได้ แต่อาจจะมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าวซ้ำๆต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม
3-4	ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่องอาจจะจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบงานใหม่
5-6	งานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติม และควรรีบปรับปรุง
7	งานนั้นมีปัญหาทางการยศาสตร์ และต้องมีการปรับปรุงทันที

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sárándi, I., Hermans, A., & Leibe, B. (2023) ได้ศึกษาการประมาณท่าทางมนุษย์แบบ 3 มิติด้วยการเรียนรู้เชิงลึกมักให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อฝึกด้วยข้อมูลที่มีป้ายกำกับจำนวนมาก ซึ่งทำให้การเรียนรู้ร่วมจากหลายชุดข้อมูลเป็นแนวทางการวิจัยที่สำคัญ อย่างไรก็ตาม อุปสรรคหนึ่งของแนวทางนี้คือชุดข้อมูลต่างๆ ใช้รูปแบบโครงกระดูกที่แตกต่างกัน กล่าวคือ พวกมันไม่ได้กำหนดตำแหน่งทางกายวิภาคในชุดเดียวกัน มีงานวิจัยเพียงเล็กน้อยเกี่ยวกับวิธีที่ดีที่สุดในการสอนแบบจำลองเดียวให้เรียนรู้จากป้ายกำกับที่ไม่ตรงกันเหล่านี้ เราพบว่าการใช้หัวเอาต์พุตแยกกันสำหรับโครงกระดูกแต่ละแบบทำให้เกิดการประมาณเชิงลึกที่ไม่สอดคล้องกัน และมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโครงกระดูกที่ไม่เพียงพอ เพื่อแก้ปัญหานี้ เราเสนอวิธีการใหม่ที่เรียกว่า Affine-Combining Autoencoder (ACAE) ซึ่งเป็นออโตเอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้การรวมเชิงแอฟฟินเพื่อทำการลดมิติของจำนวนจุดแลนด์มาร์ก วิธีนี้ช่วยให้ค้นพบจุด 3 มิติแฝงที่จับความซ้ำซ้อนระหว่างโครงกระดูกต่างๆ ได้ ซึ่งช่วยเพิ่มการแลกเปลี่ยนข้อมูลเมื่อใช้เป็นตัวกำกับความสม่ำเสมอแนวทางของเราสามารถขยายไปสู่ระบบที่ใช้หลายชุดข้อมูลอย่างมาก โดยเราใช้ 28 ชุดข้อมูลท่าทางมนุษย์แบบ 3 มิติ เพื่อฝึกแบบจำลองเดียว ซึ่งมีประสิทธิภาพเหนือกว่างานก่อนหน้าในหลากหลายตัวชี้วัด รวมถึงชุดข้อมูลที่ท้าทายอย่าง 3D Poses in the Wild (3DPW)

วรวุฒิ กังหัน และคณะ (2023) การพัฒนาออกแบบเพื่อสร้างระบบการชั่งน้ำหนักและการวัดขนาดของแตงโมด้วยการประมวลภาพดิจิตอล มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบระบบการชั่งน้ำหนักและตรวจสอบคุณคุณภาพทางด้านขนาดของแตงโมชั่งเป็นทรงรีเพื่อนำลักษณะของการตรวจสอบคุณภาพของ 2 องค์ประกอบ เพื่อใช้ในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค โดยในบางกรณีของคุณภาพแตงโมจะมีคุณภาพของเนื้อแตงโมที่ไม่สมบูรณ์ โดยมนุษย์ไม่สามารถตรวจสอบความไม่สมบูรณ์ของเนื้อแตงโมด้วยตาได้ ซึ่งเครื่องมือที่ภาพอย่างเดียวโดยไม่ใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก ในส่วนของขั้นตอนการประมวลผลภาพที่มีการรับภาพสีจาก

กล้องเว็บแคม ในการบันทึกเปลี่ยนภาพเป็นภาพขาวดำ ทำการนับพื้นที่พิกเซลสีดำซึ่งเป็นสิ่งบ่งบอกขนาดของแตงโมบนภาพ 2 มิติ ที่มีขนาด 720 x 1,720 พิกเซล การทดสอบความถูกต้องของระบบจะทำการทดลองโดยการนำผลแตงโมจำนวน 30 ผล นำมาผ่านกระบวนการประมาณน้ำหนักด้วยการประมวลผลภาพ โดยน้ำหนักที่ประมาณได้จากการประมวลผลทางภาพจะถูกเปรียบเทียบกับการชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าความแม่นยำดังกล่าว ซึ่งวิธีการของงานวิจัยที่พัฒนาขึ้นนี้มีข้อดี คือ สามารถประมาณน้ำหนักของแตงโมพร้อมกับการบอกคุณภาพด้านความหนาแน่นของเนื้อแตงโมว่าอยู่ในค่ามาตรฐานของการซื้อขายหรือไม่

Maurer-Grubinger, C., Holzgreve, F., Fraeulin, L., & Betz, W. (2021) ศึกษาเครื่องมือประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์แบบดั้งเดิม เช่น RULA อาจไม่ไวพอสำหรับการประเมินกิจวัตรการทำงานที่ปรับปรุงมาอย่างดี การศึกษานี้ใช้เซ็นเซอร์เฉื่อย (Xsens MVN Link) เพื่อติดตามการเคลื่อนไหวระหว่างการรักษาทางศัลยกรรมทันตกรรมภายใต้สองเงื่อนไขที่แตกต่างกัน มีศัลยแพทย์ช่องปากและใบหน้าขากรรไกร 15 คนเข้าร่วม ข้อมูลถูกประมวลผลด้วย MATLAB® ซึ่งรวมถึง RULA ที่ปรับให้เหมาะกับทางทันตกรรม พร้อมการวิเคราะห์ 5 ระดับ ได้แก่: คะแนน RULA, การกระจายคะแนน, คะแนนขั้นตอน, ความถี่ของคะแนนขั้นตอน และการกระจายมุมเชิงสัมพัทธ์ ผลการศึกษาพบว่าความแตกต่างที่มีนัยสำคัญระหว่างแนวคิดการรักษาปรากฏในระดับการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนกว่า เช่น ความถี่ของคะแนนขั้นตอน RULA และการกระจายมุมเชิงสัมพัทธ์ วิธีการขับเคลื่อนด้วยข้อมูลนี้ช่วยเพิ่มความแม่นยำและความละเอียดในการประเมินท่าทางการทำงาน ซึ่งเหนือกว่าการประเมินแบบแมนนวลมาตรฐาน

Blume, K. S., Holzgreve, F., Fraeulin, L., & Erbe, C. (2021). ความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal disorder - MSD) พบได้บ่อยในนักศึกษาทันตแพทย์ แม้ว่าพวกเขาจะมีอายุยังน้อยและมีระยะเวลาปฏิบัติงานทางทันตกรรมไม่นาน ผลการศึกษาปัจจุบันระบุว่าสาเหตุของ MSD เกี่ยวข้องกับท่าทางในระหว่างการทำงานทางทันตกรรม การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงทางการยศาสตร์ (ergonomic risk) ของนักศึกษาทันตแพทย์ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงดังกล่าว ได้มีการใช้การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ (3D motion analysis) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวแบบเฉื่อย (inertial sensors) ระหว่างการปฏิบัติกิจกรรมทางทันตกรรมมาตรฐาน กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยนักศึกษาทันตแพทย์ 15 คน และผู้ฝึกงานผู้ช่วยทันตแพทย์ 15 คน (ทั้งหมดถนัดขวา) ข้อมูลถูกวิเคราะห์โดยใช้วิธีการประเมินความเสี่ยงของแขนส่วนบนอย่างรวดเร็ว (Rapid Upper Limb Assessment - RULA) ซึ่งถูกปรับให้เหมาะสมกับการประเมินข้อมูลเชิงวัตถุประสงค์ พบความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายตามลำดับดังนี้: ข้อมือซ้าย ข้อมือขวา คอ ลำตัว แขนท่อนล่างซ้าย แขนท่อนล่างขวา แขนท่อนบนขวา และแขนท่อนบนซ้าย โดยเมื่อพิจารณารวมกัน ร่างกายอยู่ในท่าที่ได้คะแนน RULA สูงสุด (ค่าเฉลี่ยคะแนนรวมสุดท้าย = 7) โดยเกือบ 80% ของเวลาระหว่างการรักษา ร่างกายอยู่ในท่าที่ได้คะแนน RULA สูงสุดที่ 7 นักศึกษาทันตแพทย์ต้องทำงานด้วยท่าทางที่ไม่เหมาะสมเป็นเวลานาน ซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในระดับสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องให้ความสำคัญกับการเรียนรู้ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติด้านการยศาสตร์ในหลักสูตรทันตแพทยศาสตร์

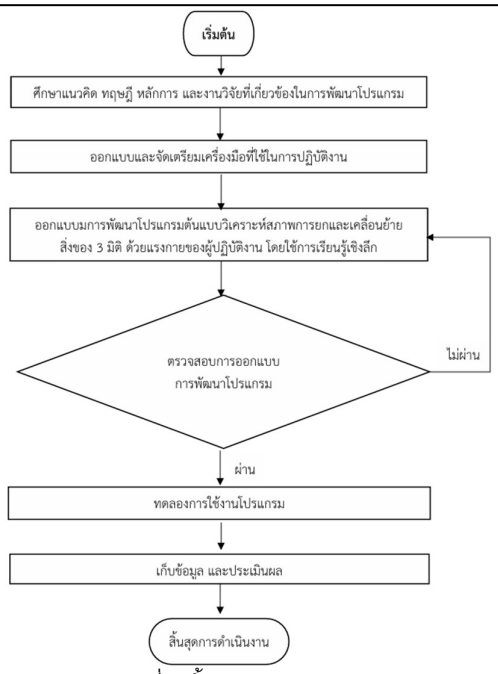
Wibowo, A. H., & Mawadati, A. (2021). การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ท่าทางการทำงานของพนักงานโดยใช้วิธี Rapid Entire Body Assessment (REBA) และ Rapid Upper Limb Assessment (RULA) ในการศึกษานี้ ได้คำนวณมุมของร่างกายพนักงานและพบว่า สำหรับร่างกายส่วน B มุมของการเคลื่อนไหวของหลังอยู่ที่ 77° ในท่าก้มงอ คออยู่ที่ 18° ในท่ายืดออก และขาอยู่ที่ 39° โดยไม่ได้รับการรองรับอย่างเหมาะสม หนึ่งในส่วนของร่างกาย เช่น แขนส่วนบน มีมุมงอ 65° แขนท่อนล่างมีมุมงอ 13° ข้อมืออยู่ในแนวตรง (0° flexion) และข้อมืออยู่ในช่วงของการหมุนระดับปานกลาง จากผลการประเมิน RULA ได้คะแนนรวม 7 ซึ่งถูกจัดอยู่ในระดับ Action Level 4 ในขณะเดียวกัน จากผลการประเมิน REBA ได้คะแนนรวม 11 และถูกจัดอยู่ในระดับ Action Level 4 เช่นกัน จากการคำนวณท่าทางการทำงานโดยใช้วิธี RULA และ REBA พบว่าท่าทางการทำงานของพนักงานอยู่ในระดับที่มีความเสี่ยงสูงและเป็นอันตราย ดังนั้น พนักงานจึงจำเป็นต้องปรับปรุงท่าทางการทำงานของตนเองโดยด่วน นอกจากนี้ ตำแหน่งการยกของที่เริ่มต้นโดยไม่มีการย่อตัวลง ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บที่เอว เนื่องจากเอวทำหน้าที่เป็นฐานรับน้ำหนักของการยก

3. การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบวิเคราะห์การยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของในรูปแบบสามมิติ โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ในการประมวลผลข้อมูลของการวิเคราะห์ท่าทางและการคำนวณทางการยศาสตร์ ส่วนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของกระบวนการวิจัย ตั้งแต่การออกแบบระบบ ไปจนถึงการประเมินผล เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยอย่างมีประสิทธิภาพ

3.1 ศึกษาข้อมูล หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเขียนโปรแกรมบนคลาวด์โดยใช้ Google Colab รวมถึงเทคนิคต่างๆ ที่ช่วยในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม นอกจากนี้ยังศึกษาเครื่องมือและทฤษฎีทางการยศาสตร์เกี่ยวกับการยกย้ายสิ่งของของผู้ปฏิบัติงาน และนำหลักการของ RULA และเทคนิคการประเมินภาระงานทางกายภาพเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเน้นการนำข้อมูลจากภาพและวิดีโอมาประมวลผลด้วยการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อวิเคราะห์ท่าทางการยกของผู้ปฏิบัติงานได้อย่างแม่นยำ โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 2



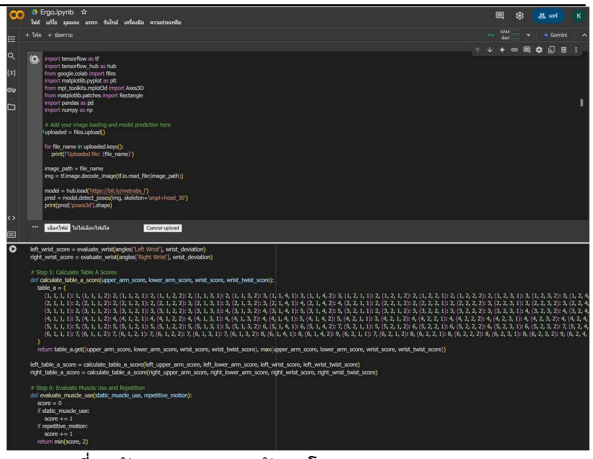
รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 ระเบียบและวิธีที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์การยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของ 3 มิติ โดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก มุ่งเน้นการประเมินความปลอดภัยในการทำงานและลดความเสี่ยงจากอาการบาดเจ็บ การใช้เทคโนโลยีนี้ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ท่าทางการยกสิ่งของได้แม่นยำและมีประสิทธิภาพ เพื่อให้การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบมีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงได้ทำการศึกษาหลักการเขียนโปรแกรมบนคลาวด์โดยใช้ Google Colab รวมถึงการใช้เครื่องมือ TensorFlow สำหรับสร้างโมเดล Deep Learning ที่สามารถแปลงภาพ 2 มิติเป็น 3 มิติ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาหลักการทางการยศาสตร์ โดยเน้นการประเมินความเสี่ยงจากการยกสิ่งของผ่านแบบจำลอง RULA

3.2.1 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมบนคลาวด์

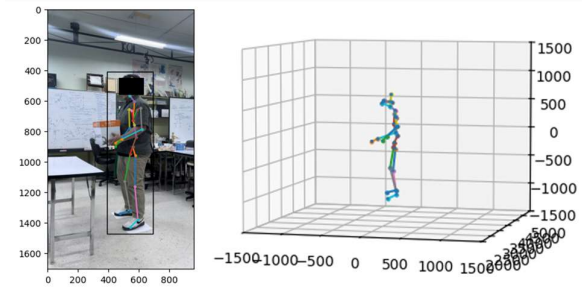
ผู้วิจัยใช้การพัฒนาโปรแกรมบน Google Colab เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในกระบวนการวิจัยเพื่อสร้างต้นแบบของโปรแกรมในการวิเคราะห์การยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของ ช่วยให้การพัฒนาและฝึกฝนโมเดล Deep Learning สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการใช้งานทรัพยากรต่างๆ เช่น GPU และ TPU ซึ่งช่วยให้การประมวลผลข้อมูลที่มีขนาดใหญ่หรือการฝึกโมเดลใช้เวลาน้อยลง ผู้วิจัยจึงเลือกพัฒนาโปรแกรมบน Google Colab ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพการพัฒนาโปรแกรมบน Google Colab

พร้อมทั้งผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและพัฒนาโมเดลสำหรับการวิเคราะห์การยกสิ่งของในรูปแบบ 3 มิติ โดยเริ่มต้นจากการจัดเตรียมชุดข้อมูลภาพ 2 มิติที่แสดงพฤติกรรมการยกของในลักษณะต่างๆ เพื่อให้สามารถสะท้อนการเคลื่อนไหวจริงได้อย่างถูกต้อง และนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพ กระบวนการนำเข้าข้อมูลภาพถูกดำเนินการผ่าน TensorFlow ซึ่งช่วยให้สามารถจัดการข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ ยังประยุกต์ใช้เทคนิค Data Augmentation เช่น การพลิกภาพ ปรับแสง และหมุนภาพ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของชุดข้อมูล อันเป็นแนวทางสำคัญในการลดปัญหา Overfitting ของโมเดลและในการพัฒนาโปรแกรม ผู้วิจัยได้เลือกใช้ภาษา Python เนื่องจากเป็นภาษาที่เหมาะสมสำหรับงานด้านปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) อีกทั้งยังมีไลบรารีที่รองรับการประมวลผลภาพ เช่น OpenCV, TensorFlow, Keras และ NumPy ซึ่งช่วยให้สามารถจัดการและปรับแต่งข้อมูลภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ โปรแกรมยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์

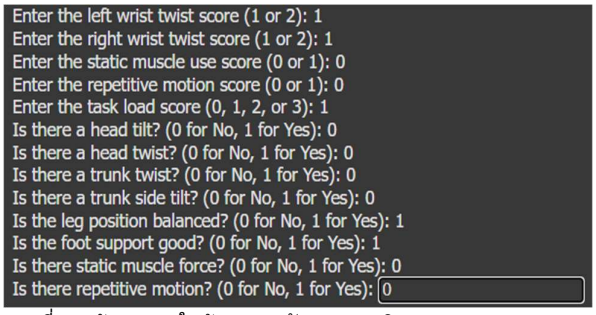
สำหรับการแปลงภาพ 2 มิติเป็น 3 มิติ ข้าพเจ้าได้เลือกใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) โดยเฉพาะ CNN (Convolutional Neural Networks) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเรียนรู้โครงสร้างของภาพ และนำไปพัฒนาควบคู่กับ 3D Pose Estimator ช่วยให้โมเดลเข้าใจโครงสร้าง 3 มิติจากภาพ 2 มิติได้อย่างแม่นยำ และส่งผลให้โมเดลสามารถสร้างภาพ 3 มิติที่มีความคมชัดและมีรายละเอียดที่ดีขึ้น อีกทั้งยังสามารถคาดคะเนโครงสร้าง 3 มิติ จากการใช้ Dataset ที่มีข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับท่าทางมนุษย์ช่วยให้โมเดลเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น และส่งผลให้การแปลงภาพมีความสมจริงและสอดคล้องกับหลักการยศาสตร์ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างการประมวลผลจากภาพ 2 มิติ เป็นภาพ 3 มิติ

อีกทั้งผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมที่มีเครื่องมือสำหรับการประเมินทางการยศาสตร์ โดยใช้วิธีการประเมินท่าทางการยกสิ่งของด้วยแบบจำลอง RULA ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับในการประเมินความเสี่ยงของการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่ต้องใช้แรงกายในการยก เคลื่อนย้าย หรือจัดวางสิ่งของ โปรแกรมนี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและคำนวณท่าทางการทำงานที่อาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อในส่วนบนของร่างกาย โปรแกรมดังกล่าวมีฟังก์ชันที่ช่วยให้สามารถนำข้อมูลจากภาพถ่าย 2 มิติ มาใช้ในการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองท่าทางการทำงานในรูปแบบ 3 มิติได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อจำกัดของการดึงข้อมูลจากภาพ 2 มิติ โปรแกรมไม่สามารถรับรู้หรือคำนวณค่าบางส่วนของแบบประเมิน RULA ได้โดยอัตโนมัติ เช่น ขั้นตอนที่ 4, 6 และ 7 ดังนั้น โปรแกรมจึงออกแบบให้มีหน้าต่างสำหรับการป้อนข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใส่ค่าที่จำเป็นสำหรับการประเมินได้อย่างครบถ้วนและแม่นยำยิ่งขึ้น

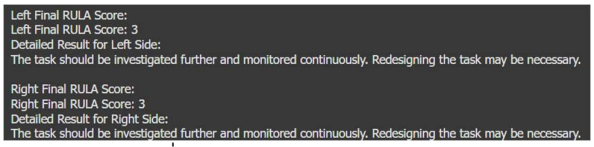
นอกจากนี้ ในส่วนของขั้นตอนที่ 9, 10 และ 11 ของการประเมิน RULA ผู้วิจัยได้เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับโปรแกรม เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับงานประเภทอื่นๆ ได้ โดยไม่จำกัดเฉพาะงานยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของเท่านั้น ซึ่งช่วยให้โปรแกรมสามารถปรับเปลี่ยนการวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่แตกต่างกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 หน้าต่างการใส่ข้อมูลสำหรับการประเมิน Rapid Upper Limb Assessment (RULA) เพื่อความยืดหยุ่นของโปรแกรม

ท้ายที่สุดโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นหลังจากการประเมินด้วยวิธี RULA จะทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการประเมินท่าทางการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน และแสดงผลในรูปแบบรายงานที่มีความละเอียดและชัดเจน โดยรายงานดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นแนวโน้มของความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงาน ทั้งในแง่ของระดับความรุนแรงและลักษณะของปัญหาที่อาจส่งผลกระทบต่อร่างกาย โดยเฉพาะบริเวณแขน ไหล่ ข้อมือ และลำตัว

รายงานผลที่โปรแกรมสร้างขึ้นยังสามารถช่วยระบุได้ว่า ท่าทางหรือวิธีการทำงานที่ใช้ในปัจจุบันมีแนวโน้มก่อให้เกิดอันตรายหรือไม่ และจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขหรือเปล่า โดยอ้างอิงจากการแปลผลคะแนนความเสี่ยงรวมในวิธี RULA ดังรูปที่ 6



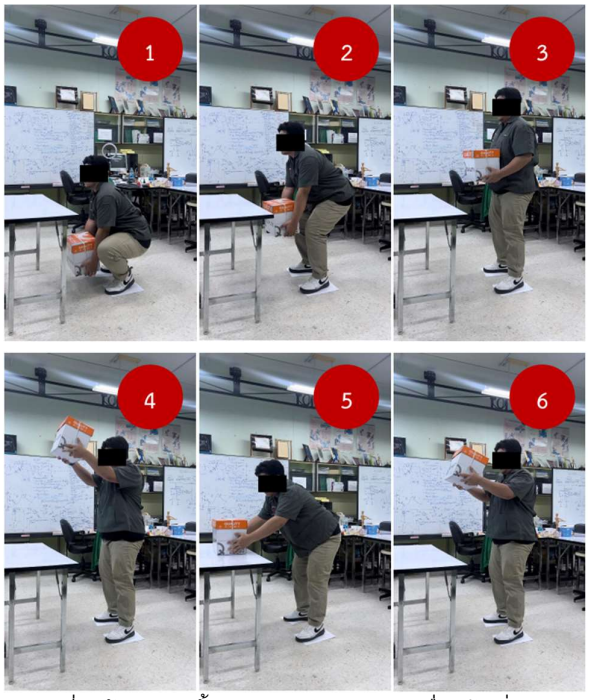
รูปที่ 6 ตัวอย่างการรายงานผลคะแนน Rapid Upper Limb Assessment (RULA) ที่ได้จากโปรแกรม

3.2.2 การออกแบบการทดลอง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบสถานีการทดลองเพื่อศึกษาและทดสอบการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของ โดยมุ่งเน้นการประเมินตามหลักการยศาสตร์เพื่อให้มั่นใจว่ากระบวนการยกและเคลื่อนย้ายเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยได้อ้างอิงมาตรฐาน มปอ.302:2561 [5] เพื่อใช้เป็นแนวทางสำคัญในการพิจารณาการยกและเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยแรงกายที่เหมาะสมกับสรีระของมนุษย์ สถานีการทดลองที่ออกแบบมานั้นถูกกำหนดให้ใช้วัตถุที่มีน้ำหนัก 10 กิโลกรัม ลักษณะเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมที่ไม่มีการเจาะรูหรือมีส่วนจับพิเศษ ความกว้างของวัตถุไม่เกินระยะห่างของไหล่ของผู้ทดลอง เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถจับและยกได้อย่างเหมาะสม โดยกระบวนการยกจะเริ่มต้นจากระดับพื้นและสิ้นสุดที่ระดับเหนือศีรษะ โดยแบ่งช่วงของการยกออกเป็นสามระดับ ได้แก่ ระดับพื้น ระดับเอว และระดับหัวไหล่ขึ้นไป ในระหว่างกระบวนการยก ผู้ทดลองต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดที่เคร่งครัดเพื่อลดความเสี่ยงในการบาดเจ็บและเพิ่มความแม่นยำในการทดลอง ได้แก่ การรักษาแนวแขนให้แนบลำตัวตลอดการยก ศีรษะและคอจะต้องอยู่ในแนวตรงโดยไม่มีการก้มเงย ลำตัวตั้งตรงไม่บิดหรือเอนทั้งทางซ้ายและขวา ขาทั้งสองต้องยืนนิ่งไม่ขยับเขยื้อนมากเกินไป ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าการทดลองสามารถสะท้อนสภาพแวดล้อมการยกของจริงโดยไม่มีปัจจัยอื่นเข้ามารบกวน วัตถุที่ใช้ในการทดลองจะเริ่มต้นอยู่ที่พื้นและถูกยกขึ้นไปวางบนโต๊ะ ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดของการยก จากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกนำเข้าสู่โปรแกรมต้นแบบสำหรับการวิเคราะห์การยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของในรูปแบบสามมิติ โดยอาศัยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อช่วยประเมินกระบวนการยกว่ามีความปลอดภัยและเหมาะสมหรือไม่

3.3 การทดลองในการวิจัย

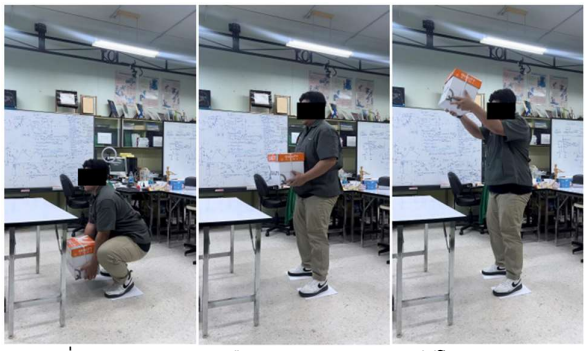
การทดลองนี้มีคำสั่งให้ผู้ปฏิบัติงานทำการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของ พร้อมทั้งบันทึกวิดีโอระหว่างการทดลอง โดยผู้ปฏิบัติงานจะต้องยกสิ่งของที่มีน้ำหนัก 10 กิโลกรัม จากระดับพื้นขึ้นไปสู่ระดับเหนือหัวไหล่ การยกแต่ละช่วงจะมีภาพแสดงลำดับขั้นตอนตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย ตามตัวอย่างในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตัวอย่างรูปขั้นตอนการทดลองยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของ

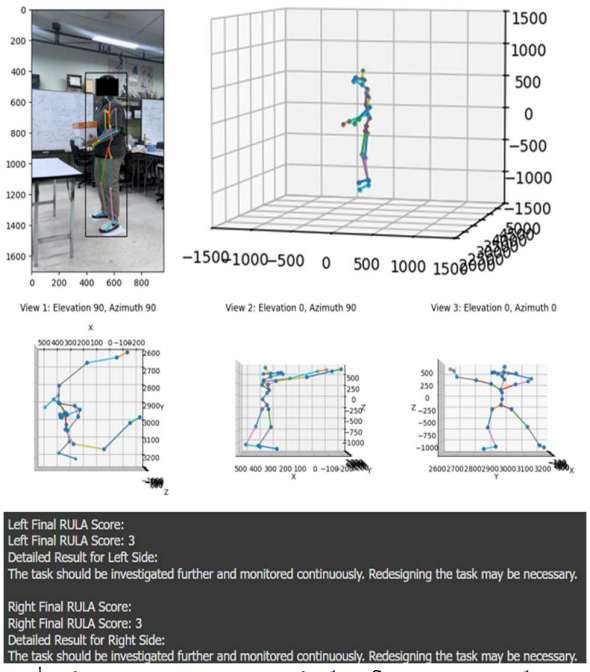
จากนั้นให้ดำเนินการทดลองโดยทำซ้ำทั้งหมด 5 รอบ ซึ่งแต่ละรอบสามารถเว้นช่วงระยะเวลาตามความเหมาะสม ไม่จำเป็นต้องดำเนินการต่อเนื่องกันในทันที ทั้งนี้ในแต่ละรอบของการทดลอง ควรปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดไว้อย่างเคร่งครัดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

หลังจากดำเนินการทดลองครบทั้ง 5 รอบแล้ว ให้นำวิดีโอที่บันทึกไว้ในระหว่างการทดลองมาทำการคัดเลือกเฟรมภาพจำนวน 3 เฟรม ได้แก่ ระดับพื้น ระดับเอว และระดับเหนือหัวไหล่ เพื่อนำภาพที่ได้ไปทำการประเมินผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้ควรเลือกเฟรมที่แสดงท่าทางของผู้ปฏิบัติงานได้ชัดเจนที่สุด เพื่อให้ได้ภาพที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์และคำนวณค่า RULA ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำสูงสุด โดยอ้างอิงตามตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตัวอย่างการคัดเลือกภาพ 3 เฟรม จากวีดีโอการทดลอง

หลังจากนั้นให้นำเฟรมภาพที่คัดเลือกมาใช้สำหรับการประเมินผลผ่านโปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาเพื่อวิเคราะห์การยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของในรูปแบบสามมิติ โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก และสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม พร้อมจัดทำรายงานผลลัพธ์ โดยระบุรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลที่ได้รับจากการทดลอง อธิบายแนวทางการประเมินผลจากกระบวนการวิเคราะห์ และการประมวลภาพดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ตัวอย่างภาพการรายงานผลลัพธ์ จากโปรแกรมวิเคราะห์การยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของในรูปแบบสามมิติ

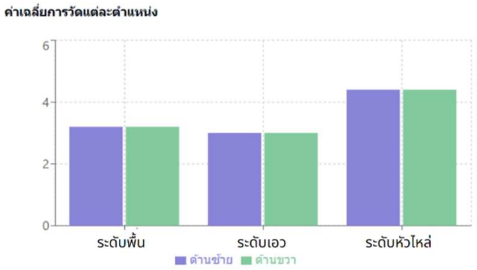
4. ผลการทดลอง

ในการทดลองที่ดำเนินการทั้งหมด 5 รอบ ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกเฟรมภาพในระดับต่างๆ ของการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับพื้น ระดับเอว และระดับเหนือไหล่ขึ้นไป การทดลองนี้มุ่งเน้นไปที่การประเมินลักษณะท่าทางของผู้ปฏิบัติงานในแต่ละระดับ เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของในระดับที่แตกต่างกัน ข้อมูลที่ได้จากการทดลองถูกนำเข้าสู่โปรแกรมวิเคราะห์สภาพการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของแบบ 3 มิติ ซึ่งอาศัยเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก ในการประเมินท่าทางของร่างกาย โดยพิจารณาส่วนต่างๆ อาทิ แขน ไหล่ ศอก และข้อมือ ของผู้ปฏิบัติงาน

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลลัพธ์การประเมิน RULA จากโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้น

รอบที่	ระดับพื้น		ระดับเอว		เหนือหัวไหล่	
	L	R	L	R	L	R
1	3	3	3	3	4	4
2	3	4	3	3	4	4
3	3	3	3	3	4	4
4	4	3	3	3	5	5
5	3	3	3	3	5	5
ค่าเฉลี่ย	3.2	3.2	3	3	4.4	4.4

จากตารางที่ 2 ผลการประเมิน RULA ในการวิเคราะห์ท่าทางการทำงาน พบว่าค่าเฉลี่ยการประเมินในตำแหน่งระดับลำตัวด้านซ้ายและขวามีค่า 3.2 เท่ากันทั้งสองด้าน แสดงให้เห็นถึงความสมมาตรของท่าทางการทำงานในส่วนลำตัว ในขณะที่การประเมินระดับแขนมีค่าเฉลี่ย 3.0 ทั้งด้านซ้ายและขวา สะท้อนถึงการใช้งานแขนที่สมดุลในระหว่างการปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการประเมินในตำแหน่งเหนือหัวไหล่ พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.4 ทั้งสองด้าน ซึ่งบ่งชี้ถึงความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นในการทำงานที่ต้องยกแขนเหนือระดับไหล่ แสดงออกมาเป็นกราฟแท่งได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลลัพธ์คะแนนการประเมิน RULA ระหว่างโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้น และวิธีแมนนวลจากแบบประเมิน

ระดับ	วิธี	ด้านพิจารณา	คะแนนเฉลี่ยการประเมิน
ระดับพื้น	โปรแกรม	ซ้าย	3.2
		ขวา	3.2
	แมนนวล	ซ้าย	3
		ขวา	3
ระดับเอว	โปรแกรม	ซ้าย	3
		ขวา	3
	แมนนวล	ซ้าย	3
		ขวา	3.2
ระดับเหนือหัวไหล่	โปรแกรม	ซ้าย	4.4
		ขวา	4.4
	แมนนวล	ซ้าย	5
		ขวา	5

จากตารางที่ 3 ผลการประเมิน RULA ระหว่างโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับการประเมินแบบแมนนวล โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้จากทั้งสองวิธีในระดับต่างๆ ของการยกสิ่งของ ได้แก่ ระดับพื้น ระดับเอว และระดับเหนือหัวไหล่ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถให้ค่าคะแนนที่ใกล้เคียงกับการประเมินแบบแมนนวล โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 90.44% ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโปรแกรมในการวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหว

จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของโปรแกรม พบว่าระดับพื้นมีความแม่นยำสูงสุดที่ 93.33% รองลงมาคือระดับเอวที่มีความแม่นยำ 90% และระดับเหนือหัวไหล่ที่มีความแม่นยำน้อยที่สุดที่ 88% ซึ่งอาจเกิดจากความซับซ้อนของการเคลื่อนไหวที่เพิ่มขึ้นในระดับดังกล่าว ส่งผลให้การตรวจจับท่าทางอาจมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าระดับอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยความแม่นยำที่สูงกว่า 90% บ่งชี้ว่าโปรแกรมสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมิน RULA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดจากการประเมินแบบแมนนวล และมีความสามารถในการให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันในระดับที่น่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตาม โปรแกรมยังมีข้อจำกัดบางประการ โดยเฉพาะในระดับการยกเหนือหัวไหล่ ซึ่งอาจต้องมีการปรับปรุงโมเดลให้สามารถวิเคราะห์ท่าทางที่ซับซ้อนได้ดียิ่งขึ้น

นอกจากนี้การทดสอบโปรแกรมกับชุดข้อมูลที่หลากหลายขึ้น และการนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมการทำงานจริง จะช่วยให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของโปรแกรมและเพิ่มความแม่นยำในการประเมินได้มากยิ่งขึ้น

ดังนั้น โปรแกรมนี้จึงมีศักยภาพสูงในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยประเมินทางสรีรศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ท่าทางการทำงาน และสามารถพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบสำหรับวิเคราะห์การยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของในรูปแบบสามมิติ โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกในการประมวลผลข้อมูลภาพสองมิติให้เป็นภาพสามมิติ และใช้แบบจำลอง RULA เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถประเมินท่าทางการยกสิ่งของได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม่นยำ และรวดเร็ว โดยการทดลองครอบคลุมการยกสิ่งของจากระดับพื้น ระดับเอว และระดับเหนือหัวไหล่ ผลลัพธ์บ่งชี้ว่าค่าคะแนน RULA ในระดับเหนือหัวไหล่สูงกว่าระดับอื่น ๆ ซึ่งแสดงถึงความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการยกของในระดับที่สูงกว่าศีรษะ

จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของโปรแกรม พบว่าระดับพื้นมีความแม่นยำสูงสุดที่ 93.33% รองลงมาคือระดับเอวที่มีความแม่นยำ 90% และระดับเหนือหัวไหล่ที่มีความแม่นยำน้อยที่สุดที่ 88% ซึ่งอาจเกิดจากความซับซ้อนของการเคลื่อนไหวที่เพิ่มขึ้นในระดับดังกล่าว ส่งผลให้การตรวจจับท่าทางอาจมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าระดับอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยความแม่นยำที่สูงกว่า 90% บ่งชี้ว่าโปรแกรมสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมิน RULA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การประเมินท่าทางการยกโดยใช้แบบจำลอง RULA พบว่าค่าคะแนนเฉลี่ยในระดับเหนือไหล่มีค่าสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับหลักการยศาสตร์ที่ระบุว่าการยกของในระดับดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บสูงกว่าระดับอื่นๆ นอกจากนี้ โปรแกรมยังเพิ่มความยืดหยุ่นในการประเมินโดยอนุญาตให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเพิ่มเติมในบางขั้นตอนของ RULA ที่ไม่สามารถคำนวณได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยให้ได้ผลการประเมินที่ครบถ้วนและแม่นยำยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกในการวิเคราะห์การยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของในรูปแบบสามมิติ ทั้งยังมีโอกาสในการพัฒนาต่อยอดเพื่อให้ได้โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในสภาพแวดล้อมการทำงานที่หลากหลายมากขึ้น การบูรณาการเทคโนโลยีนี้เข้ากับระบบตรวจสอบการทำงานแบบอัตโนมัติจะช่วยเสริมสร้างความปลอดภัยในการทำงานและลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของผู้ปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. National Institute of Standards and Technology Special Publication, 53, 1-7

[2] สุขสันต์ พรมบุญเรือง, ธ. บ., สุทธิพงษ์ พลทอง และธนา โชติประเดิม, 2023. การตรวจจับการสวมหน้ากากอนามัย โดยเทคนิคการส่งถ่ายความรู้. KKU Science Journal, 51(2), 103-112

[3] ประจวบ กล่อมจิตร. การประเมินและปรับปรุงงานในสถานประกอบการโดยหลักการยศาสตร์. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2554.

[4] นริศ เจริญพร, เอกสารประกอบการสอนวิชาการยศาสตร์, ข้อมูลจาก http://naris.ie.engr.tu.ac.th/IE443 Ergo/IE443.htm (วันที่สืบค้นข้อมูล 6 ตุลาคม 2567)

[5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2561. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มปอ.302:2561 การยกและเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยแรงกายตามหลักการยศาสตร์. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) https://www.tosh.or.th/index.php/tosh-announce/tosh-purchase/item/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 17 ธันวาคม 2567)

[6] Sárándi, I., Hermans, A., & Leibe, B. . (2023). Learning 3d human pose estimation from dozens of datasets using a geometry-aware autoencoder to bridge between skeleton formats. In Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision, 2956-2966

[7] วรวุฒิ กังหัน, อ. โ., ชลธิศ ปิติภูมิ สุขสันต์, พศิน มัชฌิมา, บัณฑิต อินทรีย์ มีศักดิ์, สุนทร วีระเดชลิกุล และพงศกร อุ่นสุพรรณ์, 2023. การหาน้ำหนักของแตงโม โดยใช้การประมาณพื้นที่วงรี ด้วยการประมวลผลภาพ

[8] Maurer-Grubinger, C., Holzgreve, F., Fraeulin, L., & Betz, W. (2021). Combining ergonomic risk assessment (RULA) with inertial motion capture technology in dentistry—Using the benefits from two worlds. Sensors, 21(12), 4077

[9] Blume, K. S., Holzgreve, F., Fraeulin, L., & Erbe, C. (2021). Ergonomic risk assessment of dental students RULA applied to objective kinematic data. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(19), 10550

[10] Wibowo, A. H., & Mawadati, A. (2021). The analysis of employees' work posture by using rapid entire body assessment (REBA) and rapid upper limb assessment (RULA). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 704(1), 012022

การพยากรณ์อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแผนกผลิตตาข่ายคลุมดอกไม้ โรงงานกรณีศึกษา

Forecasting Electricity Consumption for the Flower Netting Production Department: A Case Study

คัมภิรดา เทพพิทักษ์[1], โกวิทย์ พลหาญ[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
E-mail: khumpirada.t@kkumail.com*, kowipo@kku.ac.th*

Khumpirada Thepphithak[1*], Kowit Ponhan[1*]
[1]Department of Industrial and Logistics Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
E-mail: khumpirada.t@kkumail.com*, kowipo@kku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในแผนกผลิตตาข่ายคลุมดอกไม้ โดยใช้ข้อมูลจากมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ งานวิจัยได้เปรียบเทียบแบบจำลองแบบดั้งเดิม Holt-Winters Exponential Smoothing กับแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง Long Short-Term Memory (LSTM) การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อน Mean Absolute Error (MAE) Root Mean Squared Error (RMSE) และ (Coefficient of determination, R^2) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง LSTM มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าแบบจำลอง Holt-Winters Exponential Smoothing ซึ่งบ่งชี้ว่า LSTM สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีความซับซ้อนและความผันผวนสูงได้ดีกว่า งานวิจัยนี้ช่วยให้การวางแผนการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องกับการพยากรณ์ด้านอื่น ๆ ได้ในอนาคต

Abstract

This study compares the performance of energy consumption forecasting models for the flower netting production department using smart meter data. It evaluates the traditional Holt-Winters Exponential Smoothing model against the Long Short-Term Memory (LSTM) model, measuring accuracy with MAE, RMSE, and R^2. The results indicate that LSTM achieves lower forecasting errors, demonstrating its ability to handle complex and volatile data more effectively. These findings enhance energy planning efficiency and highlight the potential of machine learning for future forecasting applications.

Keywords: Electricity Consumption Forecasting, Machine Learning, Holt-Winters Exponential Smoothing, Long Short-Term Memory, Smart Meter

1. บทนำ

การพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างมากในทุกภาคส่วน ทั้งครัวเรือน อุตสาหกรรม และธุรกิจ ซึ่งทำให้การทำนายความต้องการใช้ไฟฟ้าอย่างแม่นยำเป็นสิ่งที่สำคัญในการวางแผนและบริหารจัดการทรัพยากรพลังงาน หากการทำนายไม่ถูกต้องอาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า ต้นทุนการดำเนินงาน และความมั่นคงทางพลังงานในระยะยาว

การทำนายการใช้ไฟฟ้าในอดีตมักใช้แบบจำลองทางสถิติแบบดั้งเดิม เช่น การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และแบบจำลองเชิงเส้น (Linear Models) ซึ่งถึงแม้จะให้ผลลัพธ์ที่ดีในบางกรณี แต่ยังมีข้อจำกัดในการรับมือกับปัจจัยที่ซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ไม่แน่นอน และการเติบโตของแหล่งพลังงานทางเลือก

ด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ทำให้การทำนายความต้องการใช้ไฟฟ้ากลายเป็นเรื่องที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากเทคโนโลยีเหล่านี้สามารถเรียนรู้จากข้อมูลจำนวนมหาศาล ค้นหาความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน และจัดการกับความไม่แน่นอนได้ดีกว่าวิธีการดั้งเดิม นอกจากนี้ยังสามารถประมวลผลข้อมูลจากหลายแหล่ง เช่น ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า สภาพอากาศ และพฤติกรรมของผู้ใช้ เพื่อให้การทำนายมีความแม่นยำและเชื่อถือได้มากขึ้น [1]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ทั้งแบบดั้งเดิมและแบบการเรียนรู้ของเครื่อง โดยใช้ข้อมูลจากมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Meter) ของแผนกผลิตตาข่ายคลุมดอกไม้เป็นกรณีศึกษา งานวิจัยนี้จึงมุ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโมเดลการพยากรณ์แบบดั้งเดิมและแบบใหม่ โดยจะครอบคลุมการวิเคราะห์และการจัดการข้อมูล รวมถึงการประเมินความแม่นยำและประสิทธิภาพของแต่ละโมเดล เพื่อค้นหาวิธีการที่มีความสามารถในการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุด

ผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาระบบพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าให้มีความแม่นยำมากขึ้นในอนาคต ซึ่งจะช่วยให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถวางแผนการผลิตและจัดสรรทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงในการเกิดไฟฟ้าขัดข้อง และสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศในระยะยาว นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องในการพยากรณ์ด้านอื่นๆ ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นในอนาคต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า (Electricity Consumption Forecasting)

การพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า (Electricity Consumption Forecasting) เป็นกระบวนการประเมินปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะใช้ในอนาคต โดยใช้ข้อมูลจากอดีตและเทคนิคทางสถิติหรือการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการวางแผนการผลิต การบริการจัดการพลังงาน และการดำเนินการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นในระดับครัวเรือน องค์กร หรือระดับประเทศ การพยากรณ์ที่แม่นยำช่วยให้เราสามารถวางแผนการผลิตและจัดหาพลังงานได้อย่างเหมาะสม ลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน [2]

2.2 แบบจำลองการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบ โฮลท์-วินเทอร์ (Holt Winters Exponential Smoothing)

Holt-Winters Exponential Smoothing หรือ Winter's Method เป็นเทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series Forecasting) ที่ใช้หลักการถ่วงน้ำหนักแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) โดยใช้ข้อมูลจากอดีตเพื่อทำนายค่าของอนุกรมเวลาในอนาคต เทคนิคนี้เป็นการขยายจากการถ่วงน้ำหนักแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลธรรมดาให้รวมเอาแนวโน้ม (Trend) และฤดูกาล (Seasonality) ของข้อมูลเข้าไปด้วย จึงเหมาะกับชุดข้อมูลที่มีแนวโน้มและฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้ค่าปรับให้เรียบ 3 ค่า ได้แก่ α β และ γ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยที่ α เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับปรับเรียบ β เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าแนวโน้ม และ γ เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับฤดูกาล ตามลำดับ [3] โดยมีสมการดังนี้

สมการการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบ โฮลท์-วินเทอร์

$$\hat{Y}_{t+p} = (L_t + pT_t)S_{t-s+p} \quad (1)$$

สมการการการปรับเรียบ

$$L_t = \alpha\frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2)$$

สมการการประมาณแนวโน้ม

$$T_t = \gamma(L_t - L_{t-1}) + (1-\gamma)T_{t-1} \quad (3)$$

สมการการประมาณฤดูกาล

$$S_t = \beta\frac{Y_t}{L_t} + (1-\beta)S_{t-s} \quad (4)$$

โดยที่ $\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์สำหรับ p งวดล่วงหน้า

Y_t คือ ค่าข้อมูลจริง ณ ช่วงเวลา t

L_t คือ ค่าปรับเรียบ ณ ช่วงเวลา t

T_t คือ ค่าประมาณแนวโน้ม ณ ช่วงเวลา t

S_t คือ ค่าประมาณฤดูกาล ณ ช่วงเวลา t

α คือ ค่าคงที่สำหสำหรับปรับเรียบ ($0<\alpha<1$)

β คือ ค่าคงที่สำหรับประมาณแนวโน้ม ($0<\beta<1$)

γ คือ ค่าคงที่สำหรับฤดูกาล ($0<\gamma<1$)

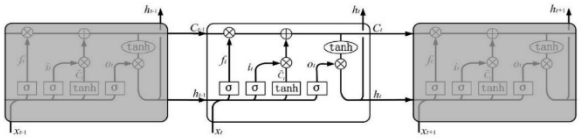
S คือ ช่วงความยาวของฤดูกาล

p คือ จำนวนงวดที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

ในงานวิจัยของ Kalipada Senapati และคณะได้นำ Holt-Winters Exponential Smoothing มาพยากรณ์ยอดขายสินค้าในประเทศอินเดีย [4]

2.3 แบบจำลองหน่วยความจาระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory)

แบบจำลอง Long Short-Term Memory หรือ LSTM คือ โครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาจาก Recurrent neural network (RNN) โดยมีความสามารถด้านหน่วยความจำซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์และคาดการณ์เหตุการณ์สำคัญที่มีช่วงเวลาที่ยาว เพื่อช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลระยะยาวและระยะสั้นด้วยหน่วยความจำ (Memory Cell) ทำให้พยากรณ์ได้แม่นยำมากขึ้น [5] และแสดงผลได้ดีกับข้อมูลแบบอนุกรมเวลา [6] โดยมีโครงสร้างการทำงานของ LSTM ดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างการทำงานของ LSTM [6]

แบบจำลอง LSTM ได้มีการพัฒนาให้มีความเสถียรและมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น โดยหลักการทำงานคือ การเก็บสถานะหรือข้อมูลของแต่ละโหนดไว้ ทำให้สามารถย้อนกลับไปดูที่มาของข้อมูลนั้น ๆ ได้ จุดเด่นของเทคนิค LSTM อยู่ที่กระบวนการที่ช่วยให้สามารถจดจำข้อมูลที่สำคัญและลบข้อมูลที่ไม่จำเป็นออก โดยมี “ประตู” (Gate) ที่ควบคุมข้อมูลที่จะเข้าสู่แต่ละโหนด ซึ่งประกอบด้วย Forget gate (f), Input gate (i) และ Output gate (o) [7]
ประตูของ LSTM สามารถดำเนินการได้ดังนี้

2.3.1 Forget Gate

Forget Gate เป็นประตูที่มีหน้าที่ระบุว่าข้อมูลที่เข้ามาใน Cell State จะเก็บไว้หรือทิ้งไป ข้อมูลที่จะถูกเก็บไว้จะถูกประเมินจากข้อมูล Input ที่เข้ามายังโหนดนั้น ๆ ซึ่งรวมกับผลลัพธ์จากการคำนวณของโหนดก่อนหน้าผ่านฟังก์ชัน Sigmoid ดังสมการที่ 5

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (5)$$

โดยที่ f_t คือ Forget Gate
σ คือ ฟังก์ชั่น Sigmoid
W_f คือ ค่าน้ำหนักของ Matrix
h_{t-1} คือ ค่า Output ของ Cell state ก่อนหน้า
x_t คือ ค่า Input ที่เข้ามาใน Cell State ณ เวลา t
b_f คือ ค่า Bias

2.3.2 Input Gate

Input Gate เป็นประตูที่ทำหน้าที่รับข้อมูล Input ใหม่เข้ามาและบันทึกข้อมูลลงในแต่ละโหนด การทำงานแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก ฟังก์ชัน Sigmoid ที่ทำหน้าที่ควบคุมจะเปิดใช้ Input Gate เพื่อเลือกว่าจะอัปเดต Cell State หรือไม่ ส่วนในขั้นตอนที่สอง หาก Input Gate ตัดสินใจที่จะอัปเดต Cell State ฟังก์ชัน Tanh จะสร้างค่า Candidate Values ($\tilde{C}_t$) ขึ้นใน State ดังสมการที่ 6 และ 7

$$i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (6)$$

$$\tilde{C}_t = tanh(W_c[h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (7)$$

โดยที่ i_t คือ Input Gate
$\tilde{C}_t$ คือ ค่า Candidate ของ Cell State ณ เวลา t
$tanh$ คือ ฟังก์ชั่น Tanh มีค่าในช่วง -1 ถึง 1
W_i, W_c คือ ค่าน้ำหนักของ Matrix
b_i, b_c คือ ค่า Bias

2.3.3 Output Gate

Output Gate เป็นประตูที่ทำหน้าที่ในการเตรียมข้อมูลสำหรับการส่งออก (Output Data) โดยพิจารณาจาก Cell State ที่ผ่านการคำนวณเสร็จสมบูรณ์แล้ว ฟังก์ชัน Sigmoid จะเลือกว่าข้อมูลใดใน Cell State จะถูกส่งออก จากนั้นนำค่า Cell State ไปผ่านฟังก์ชัน Tanh และนำผลลัพธ์จาก Tanh มาคำนวณร่วมกับค่า Output ที่ได้จาก Sigmoid Gate เพื่อให้ได้ค่า Output สุดท้าย ดังสมการที่ 8

$$o_t = \sigma(W_o[h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (8)$$

โดยที่ o_t คือ Output Gate
W_o คือ ค่าน้ำหนักของ Matrix
b_o คือ ค่า Bias

งานวิจัยของ Dmitrii Vasenin และคณะได้พยากรณ์การใช้ไฟฟ้าภาคครัวเรือนในประเทศอิตาลีและเสนอโมเดล LSTM สำหรับพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าระยะยาว โดยใช้ข้อมูลจาก IEA (1990–2020) ผลการศึกษาพบว่า การใช้ไฟฟ้ารวมมีความผันผวน แบบจำลอง LSTM ถูกนำมาใช้เพื่อจับรูปแบบเชิงเวลาและเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ [8]

2.4 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์สามารถทำได้หลายวิธี โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Squared Error: RMSE) และ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ทั้ง 3 วิธีนี้ถูกใช้โดยทั่วไปสำหรับข้อมูลแบบอนุกรมเวลา ข้อดีของทั้งสองวิธีแรกนี้ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของโมเดลจะถูกแสดงออกมาในหน่วยเดียวกันกับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ [9] ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 0 และหากค่าที่ความคลาดเคลื่อนของแบบพยากรณ์เข้าใกล้ 0 แสดงถึงความแม่นยำในการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองมีประสิทธิภาพ ส่วนวิธี R^2 เป็นวิธีเพื่อทดสอบว่าแบบจำลองมีความเหมาะสม

2.4.1 ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยของความแตกต่างทั้งหมดระหว่างค่าที่คาดการณ์กับค่าจริง ดังสมการที่ 9

$$\text{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|Y_i - \hat{Y}_i| \quad (9)$$

โดยที่ Y_i คือ ค่าจริง หรือ ค่า Actual Value ที่ i
$\hat{Y}_i$ คือ ค่าที่ประมาณได้ หรือ ค่า Predict ที่ i
n คือ จำนวน Samples ทั้งหมด

2.4.2 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Squared Error: RMSE) เป็นการประเมินความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่คาดการณ์ ดังสมการที่ 10

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (10)$$

2.4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) เป็นตัวชี้วัดความเหมาะสมของแบบจำลองที่ใช้ โดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งค่า R^2 ที่ใกล้ 1 แสดงถึงความแม่นยำของแบบจำลองที่สูงขึ้น [10] ดังสมการที่ 11

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y}_i)^2}\right) \quad (11)$$

โดยที่ $\bar{Y}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยของ Y_i

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของแผนกผลิตตาข่ายคลุมดอกไม้ ในโรงงานกรณีศึกษา ประเทศเวียดนาม โดยข้อมูลได้มาจากมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter) ที่ติดตั้งสำหรับแผนกนี้แล้วส่งข้อมูลพลังงานไฟฟ้าเข้าไปในฐานข้อมูลของบริษัท ซึ่งมิเตอร์อัจฉริยะนั้นมีคุณสมบัติในการบันทึกและอ่านอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหน่วยกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง โดยนำข้อมูลที่เก็บมาจากฐานข้อมูลมาวิเคราะห์และจัดการกับข้อมูลให้เหมาะสม แล้วทำการสร้างแบบจำลองทั้งแบบดั้งเดิมและแบบเรียนรู้ของเครื่องต่อไป จากนั้นนำผลการพยากรณ์ของแต่ละแบบจำลองมาเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนด้วยค่า MAE และค่า RMSE เพื่อหาแบบจำลองที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด และทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองด้วยค่า R^2

3.1 การรวบรวมข้อมูลและการเตรียมข้อมูล (Data Collection and Preprocessing)

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าถูกรวบรวมจากมิเตอร์อัจฉริยะของแผนกผลิตตาข่ายคลุมดอกไม้ในโรงงานกรณีศึกษา ประเทศเวียดนาม เนื่องจากมิเตอร์อัจฉริยะพึ่งถูกทดลองติดตั้งช่วงท้ายปี พ.ศ.2565 ผู้วิจัยจึงเลือกเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2566 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2567 ซึ่งเป็นช่วงที่มิเตอร์อัจฉริยะทำงานได้ดีกว่าช่วงที่ติดตั้งใหม่ แต่ข้อมูลก็ยังมีช่วงเวลาที่ต่างกันไม่สม่ำเสมอ และบางช่วงห่างกันเกินไป อาจเนื่องมาจากมิเตอร์อัจฉริยะหยุดทำงานหรือทั้งแผนกหยุดทำงาน จึงได้ดำเนินการกระจายข้อมูลเป็นนาที จากนั้นได้การรวมข้อมูลที่กระจายแล้วใหม่ให้มีช่วงเวลาเป็นชั่วโมง

3.2 การสร้างแบบจำลอง (Modeling)

หลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมข้อมูลที่เหมาะสมแล้ว ผู้วิจัยแบ่งข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดเป็นสามชุดหลัก ได้แก่ ชุดข้อมูลฝึกอบรม (Training Set) และชุดข้อมูลทดสอบ (Test Set) โดยจัดแบ่งในสัดส่วนร้อยละ 80 และ 20 หลังจากแบ่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลจะถูกปรับให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เพื่อทำให้ง่ายต่อการประมวลผลทางสถิติ ชุดข้อมูลฝึกอบรมจะถูกนำมาใช้ในการเรียนรู้และปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง และชุดข้อมูลทดสอบจะถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองทั้งหมดที่พัฒนาแบบจำลอง Winter's Method และแบบจำลอง LSTM ได้ถูกเลือกให้มาพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า เนื่องจากแบบจำลอง Winter's Method เป็นแบบจำลองดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมในการนำมาพยากรณ์ข้อมูลแบบอนุกรมเวลา และแบบจำลอง LSTM เป็นแบบจำลองที่สามารถจัดการกับความผันผวนและซับซ้อนได้ดี

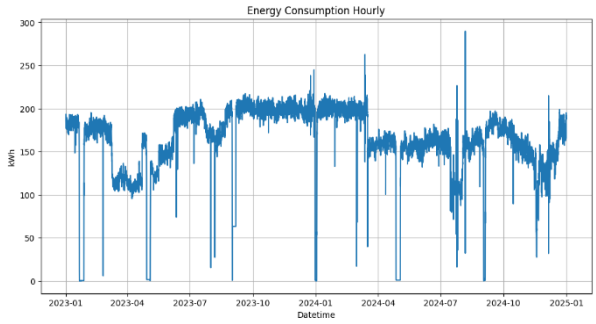
3.3 การประเมินแบบจำลอง

หลังจากสร้างแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองนั้น โดยใช้ตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนที่สำคัญอย่าง MAE และ RMSE การประเมินจะช่วยให้สามารถเลือกแบบจำลองที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการทำนายผลลัพธ์อย่างแม่นยำ และใช้ตัวชี้วัด R^2 แสดงถึงความเหมาะสมของแบบจำลอง ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าแบบจำลองที่เลือกสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานการณ์จริง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลจากการเตรียมและวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลดิบที่ได้รับจากมิเตอร์อัจฉริยะประกอบด้วยข้อมูลวันเวลาและอัตราการใช้ไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งมีการกระจายตัวโดยเวลาที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้แบบจำลองไม่สามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อแก้ปัญหานี้ ผู้วิจัยได้ทำการแปลงข้อมูลเพื่อให้สอดคล้องกับเวลาจริงมากขึ้น โดยกระจายข้อมูลใหม่ในรูปแบบต่อนาที และรวมเป็นข้อมูลรายชั่วโมง ผลลัพธ์จากการรวบรวมและแสดงข้อมูลในกราฟรายชั่วโมงสามารถดูได้จากรูปที่ 2 ในขณะที่รูปที่ 3 แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมของข้อมูล ชุดข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วย 17,542 ข้อมูล ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลครบถ้วนและไม่มีการขาดหาย



รูปที่ 2 กราฟข้อมูลรายชั่วโมง

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
DatetimeIndex: 17542 entries, 2023-01-01 02:00:00 to 2024-12-31 23:00:00
Freq: h
Data columns (total 1 columns):
 #   Column  Non-Null Count  Dtype
---  ------  --------------  -----
 0   kwh     17542 non-null  float64
dtypes: float64(1)
memory usage: 274.1 KB
```

รูปที่ 3 แสดงรายละเอียดข้อมูล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลรายชั่วโมงที่แสดงในรูปที่ 2 พบว่าข้อมูลมีแนวโน้มซับซ้อนและมีรูปแบบตามฤดูกาลแบบอ่อน ๆ ที่ไม่ชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากความซับซ้อนของข้อมูล ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้แบบจำลอง Winter's Method ซึ่งเหมาะสำหรับข้อมูลที่มีทั้งแนวโน้มและฤดูกาล รวมทั้งใช้แบบจำลอง LSTM ที่สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีความผันผวนสูงและความไม่แน่นอนได้ดี

4.2 ผลจากการทดสอบแบบจำลอง

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองพยากรณ์โดยใช้เครื่องมือแพลตฟอร์ม Google Colab ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Python บนเบราว์เซอร์ที่ได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ ใช้งานง่าย และสามารถเข้าถึงได้ฟรี นอกจากนี้ยังมีทรัพยากรคอมพิวเตอร์เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลและฝึกแบบจำลอง Machine Learning ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแบบจำลอง Holt-Winters Exponential Smoothing ด้วยค่าพารามิเตอร์ได้มาจากกระบวนการ Optimization ของแบบจำลอง และการทดสอบแบบจำลอง LSTM ได้ทดสอบด้วยค่าพารามิเตอร์ที่อ้างอิงจากงานของ Leo Semmelmann และคณะ [11] ที่มีการใช้ Epoch เท่ากับ 75 และค่า Batch size เท่ากับ 64 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมจนได้ค่า Epoch เท่ากับ 50 และค่า Batch size เท่ากับ 64

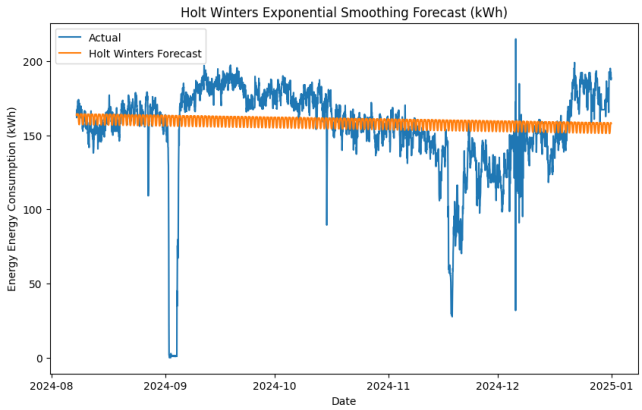
4.3 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง

หลังจากที่แบบจำลอง Winter's Method และแบบจำลอง LSTM ได้ผ่านการฝึกและทดสอบเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้วิธี MAE, RMSE และ R^2 ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 1

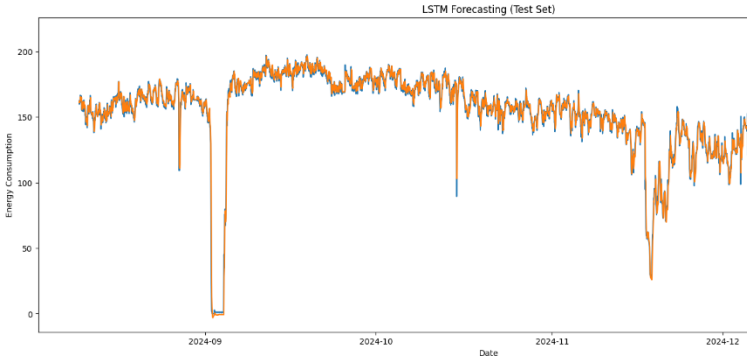
ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

แบบจำลอง	MAE	RMSE	R^2
Holt Winters Exponential Smoothing	19.285	30.740	0.003
LSTM	3.740	6.810	0.950

จากการประเมินประสิทธิภาพของทั้งสองแบบจำลอง โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนพบว่า สำหรับแบบจำลอง Winter's Method มีค่า MAE เท่ากับ 19.285 ค่า RMSE เท่ากับ 30.740 และค่า R^2 เท่ากับ 0.003 เนื่องจากแบบข้อมูลมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนและในขณะที่แบบจำลอง LSTM มีค่า MAE เท่ากับ 3.740 ค่า RMSE เท่ากับ 6.810 และค่า R^2 เท่ากับ 0.950 สามารถจัดการกับข้อมูลที่ซับซ้อนได้ดีกว่า ในรูปที่ 3 แสดงกราฟของแบบจำลอง Holt Winters Exponential Smoothing พร้อมข้อมูลช่วงทดสอบเทียบกับข้อมูลพยากรณ์ ในชุดข้อมูลทดสอบ ส่วนในรูปที่ 4 คือกราฟของแบบจำลอง LSTM ที่แสดงข้อมูลทดสอบเทียบกับข้อมูลพยากรณ์ ในชุดข้อมูลทดสอบ



รูปที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลจริงและพยากรณ์ของ Holt Winters Exponential Smoothing ในชุดข้อมูลทดสอบ



รูปที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลจริงและพยากรณ์ของ LSTM ในชุดข้อมูลทดสอบ

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง Holt Winters Exponential Smoothing และแบบจำลอง LSTM โดยใช้วิธีการประเมิน MAE RMSE พบว่า แบบจำลอง LSTM มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าแบบจำลอง Winter's Method และตัวชี้วัด R^2 ของแบบจำลอง Winter's Method อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก แสดงว่าแบบจำลองนี้ไม่เหมาะสมกับการพยากรณ์นี้ แต่แบบจำลอง LSTM อยู่ในเกณฑ์ที่สูงมาก เนื่องจากข้อมูลที่นำเข้ามามีความซับซ้อนและผันผวนสูง ทำให้แบบจำลอง LSTM สามารถจัดการกับข้อมูลได้ดีกว่าและมีความเหมาะสมมากกว่า

6. ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทดสอบเพียงแบบจำลอง Holt Winters Exponential Smoothing และแบบจำลอง LSTM เท่านั้น สำหรับการศึกษาในอนาคต อาจพิจารณาทดสอบแบบจำลองอื่นและแบบจำลองผสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำ ซึ่งจะช่วยให้สามารถวางแผนการผลิตและจัดสรรทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงจากไฟฟ้าขัดข้อง และสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Ghosh and S. Saha, "Forecasting weather conditions and energy consumption using machine learning," in *Advances in Hybridization of Intelligent Methods*, A. Abraham, P. Siarry, A. Muda, and P. K. Muhuri, Eds. CRC Press, 2022, ch. 29. doi: 10.1201/9781003596745-29.

[2] R. J. Hyndman and G. Athanasopoulos, Forecasting: Principles and Practice, 3 rd ed. Melbourne, Australia: OTexts, 2021. [Online]. Available: https://OTexts.com/fpp3. [Accessed: Jul. 31, 2024].

[3] ดาว สงวนรังศิริกุล, หรรษา เชี่ยวอนันตวานิช, และ มณีรัตน์ แสงเกษม. 2558. "การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในกรุงเทพมหานคร." วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., ปีที่ 38, ฉบับที่ 1: 35-54.

[4] S. Forootan et al., Deep Learning: A Comprehensive Review on Techniques, Applications, and Challenges. Springer, 2022.

[5] Senapati, K. "A Predictive Analysis of the Organized Retail Market in India Using Holt-Winter Exponential Smoothing Technique". International Journal of Management and Development Studies, vol. 13, no. 11, Nov. 2024, pp. 01-10, doi:10.53983/ijmds.v13n11.001.

[6] A. Agga, A. Abbou, M. Labbadi, Y. El Houm, and I. H. Ou Ali, "CNN-LSTM: An efficient hybrid deep learning architecture for predicting short-term photovoltaic power production," Electr. Power Syst. Res., vol. 208, p. 107908, 2022. doi: 10.1016/j.epsr.2022.107908.

[7] G. Yang, Y. Wang, and X. Li, "Prediction of the NOx emissions from thermal power plant using long-short term memory neural network," Energy, vol. 192, p. 116597, 2020. [Online].Available: https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116597.

[8] R. Jozefowicz, W. Zaremba, and I. Sutskever, "An empirical exploration of recurrent network architectures," in Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning, F. Bach and D. Blei, Eds., vol. 37, pp. 2342–2350, 2015. [Online]. Available: https://proceedings.mlr.press/v37/jozefowicz15.html.

[9] D. Vasenin, M. Pasetti, S. Rinaldi, P. Golovinski and N. Savvin, "Long-Term Electrical Energy Forecasting of the Residential Sector Using the LSTM Model: The Italian Use Case," 2023 International Conference on Future Energy Solutions (FES), Vaasa, Finland, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/FES57669.2023.10182653.

[10] F. Divina, M. G. Torres, F. A. G. Vela, and J. L. V. Noguera, "A comparative study of time series forecasting methods for short-term electric energy consumption prediction in smart buildings," Energies, vol. 12, no. 10, 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/en12101934.

[11] N. Rattanachoung, "Rapid Prediction of Melon Sweetness Using Image Processing Techniques and Algorithmic Models", *J Appl Res Sci Tech*, vol. 22, no. 1, pp. 117–127, Apr. 2023.

[12] S. Semmelmann, A. Schnitzler, and P. Jochem, "Load forecasting for energy communities: a novel LSTM-XGBoost hybrid model based on smart meter data," *Energy Informatics*, vol. 5, no. 1, p. 7, 2022. doi: 10.1186/s42162-022-00206-1.

การปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่มด้วยการจำลองสถานการณ์ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำดื่ม มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

Improving the Drinking Water Production Process Using Simulation: A Case Study of a Drinking Water Production Plant at PNU

นัตพงศ์ โชติพันธ์ [1] อดินันทร์ มาหามะ[1]* รอยมี่ อูมา[1] กฤตธนา อดิศัยศักดา[2] พรรณเพ็ญ ถาวประสิทธิ์[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

E-mail: Adinanxmahamat@gmail.com*

Nattapong Chotipan[1], Adinan Mahamat[2*], Roimi Auma[1] Krittana Adisaisakda[2] Phanpen Thavornprasit[1]
[1]Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
[2]Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

E-mail: Adinanxmahamat@gmail.com *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่ม โดยใช้การศึกษาเวลาการทำงานในแต่ละกระบวนการและจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม FlexSim เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่ม การวิเคราะห์กระบวนการปัจจุบันพบว่า การเคลื่อนย้ายขวดมาล้าง ใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 11.00 (วินาทีต่อ 96 ขวด) สถานีการล้างขวด ใช้เวลาที่ในการปฏิบัติงาน 55.63 (วินาทีต่อ 24 ขวด) สถานีการบรรจุน้ำ ใช้เวลาที่ในการปฏิบัติงาน 43.50 (วินาทีต่อ 24 ขวด) สถานีบรรจุภัณฑ์ใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 71.7 (วินาทีต่อ 12 ขวด) และการเคลื่อนย้ายไปยังคลังสินค้า ใช้เวลาที่ในการปฏิบัติงาน 9.60 (วินาทีต่อ 12 ขวด) โดยผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองสถานการณ์ทางเลือกเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตในอนาคตจากการจำลองสถานการณ์พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจาก 250 แพ็ค/วัน เป็น 310 แพ็คต่อวัน และลดเวลาในการรอคอยเมื่อเกิดปัญหาในสายการผลิต

คำสำคัญ: การจำลองสถาการณ์, กระบวนการผลิต, ประสิทธิภาสาพ

Abstract

This study aims to analyze and enhance the bottled water production process by examining work time at each stage and simulating various scenarios using FlexSim software to evaluate the impact of process improvements. The analysis of the current process revealed that bottle transportation for washing requires 11.00 seconds per 96 bottles, the bottle washing station operates at 55.63 seconds per 24 bottles, the water filling station takes 43.50 seconds per 24 bottles, the packaging station requires 71.70 seconds per 12 bottles, and transportation to the warehouse takes 9.60 seconds per 12 bottles. To optimize production efficiency, the researcher developed alternative simulation models to serve as future production guidelines. The simulation results indicate that production efficiency can be increased from 250 to 310 packs per day, while also reducing waiting time when production line disruptions occur.

Keywords: simulation, production process, efficiency

1. บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เนื่องจากเป็นองค์ประกอบสำคัญของร่างกายและมีบทบาทในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรม เกษตรกรรม การทำความสะอาด และการบริโภค[1] น้ำสำหรับอุปโภคบริโภคต้องสะอาด ปลอดเชื้อโรค และสารปนเปื้อน เนื่องจากสารพิษบางชนิดอาจก่อให้เกิดโรคร้ายแรง เช่น มะเร็ง ปัจจุบันพฤติกรรมการบริโภคน้ำเปลี่ยนไปตามวิถีชีวิต จากน้ำฝนสู่การใช้น้ำประปาและน้ำดื่มบรรจุขวดเพื่อความสะดวก น้ำดื่มที่จำหน่ายมีหลายรูปแบบ เช่น ขวดและถังพลาสติกขาวขุ่น ซึ่งต้องผ่านกระบวนการผลิตตามมาตรฐาน GMP เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค [2]

มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ (มนร.) ในฐานะสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ ได้เล็งเห็นความสำคัญของการผลิตน้ำดื่มที่มีคุณภาพเพื่อสนับสนุนกิจกรรมต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย รวมถึงการบริการแก่ชุมชนภายนอก โดยมีโรงผลิตน้ำดื่มภายใต้การกำกับดูแลของฝ่ายกายภาพ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านการบริหารจัดการระบบกายภาพ สิ่งแวดล้อม และพลังงานของมหาวิทยาลัย โรงผลิตน้ำดื่มของ มนร. มีบทบาทสำคัญในการจัดหาน้ำดื่มที่เพียงพอสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ เช่น กีฬาพิกุลเกมส์ พิธีพระราชทานปริญญาบัตร และกิจกรรมอื่น ๆ

โรงผลิตน้ำดื่ม มนร. มีกระบวนการผลิตหลัก 5 สถานี ได้แก่ สถานีเคลื่อนย้ายขวดเพื่อล้าง สถานีล้างขวด สถานีบรรจุน้ำ สถานีบรรจุภัณฑ์ และสถานีเคลื่อนย้ายไปยังคลังสินค้า ซึ่งมีผังกระบวนการผลิตดังรูปที่ 1 สถานีบรรจุน้ำมีการบรรจุน้ำดื่มครั้งละ 24 ขวด โดยควบคุมการบรรจุด้วยวาล์วแบบ Manual ซึ่งต้องใช้พนักงานควบคุม 1 คนในการปฏิบัติงาน จากการเก็บข้อมูลพบว่า พนักงานไม่สามารถควบคุมความเร็วในการทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดปัญหาการรอคอย (Waiting Time) และงานระหว่างทำ (Work-in-Process) ในสถานีล้างขวด สถานีบรรจุน้ำ สถานีบรรจุภัณฑ์ และสถานีเคลื่อนย้ายไปยังคลังสินค้า

จากปัญหาดังกล่าว และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ทางผู้วิจัยได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่มโดยใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่ม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจำลองสถานการณ์ (Simulation)

การศึกษาระบบหรือกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบจริง (Real System) เป็นวิธีการที่ใช้ในการสร้างสถานการณ์จำลองเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบจริง ซึ่งช่วยให้สามารถประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองก่อนที่จะนำไปใช้ในการตัดสินใจแก้ไขปัญหาในสถานการณ์จริง ทั้งนี้ ในโลกแห่งความเป็นจริงระบบงานมักมีความซับซ้อนสูงและยากต่อการแก้ไขโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ดังนั้น การใช้คอมพิวเตอร์จึงเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการวิเคราะห์และจำลองระบบดังกล่าว[3]

การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) เป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายสาขา เช่น วิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และภาคบริการ ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ การจำลองกระบวนการในอุตสาหกรรมการผลิต ระบบขนส่ง ธนาคาร และโรงพยาบาล เป็นต้น กระบวนการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ต้องอาศัยข้อมูลนำเข้า (Input) ที่ได้รับการจัดเตรียมและวิเคราะห์อย่างเหมาะสม โดยอาจใช้วิธีการทางสถิติในการช่วยประเมินผลลัพธ์ ข้อดีที่สำคัญของการจำลองสถานการณ์คือสามารถให้ผลลัพธ์ที่สมเหตุสมผลและสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ภายใต้ปัจจัยการนำเข้าที่กำหนด ซึ่งช่วยให้สามารถเปรียบเทียบและประเมินผลลัพธ์ (Output) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปกรณ์ แสนจิตต์, อลงกรณ์ เมืองไหว และนพดล อ่ำดี [4] ได้ศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมในสถานประกอบการโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต งานวิจัยนี้ทำการศึกษาตั้งแต่การขนส่งมะพร้าวเข้าสู่กระบวนการผลิต จนถึงขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งมีทั้งหมด 12 สถานีงาน โดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม FlexSim เพื่อคาดการณ์กระบวนการผลิตในอนาคต ผลการศึกษาพบว่ามี 3 สถานีงานที่สามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งสามารถลดเวลาการทำงานได้ถึง 39.58% เมื่อเทียบกับกระบวนการทำงานปัจจุบัน

กีรนันท์ ฉัตรศตายุ และคณะ [5] ได้ทำการศึกษากระบวนการจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้าของบริษัท ABC จำกัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการหาและหยิบสินค้า และทำการปรับปรุงกระบวนการและตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า โดยใช้เครื่องมือ ABC Analysis และ FSN Analysis ในการวิเคราะห์กลุ่มสินค้าตามทฤษฎี ABC-FSN Matrix Analysis จากนั้นจึงทำการจำลองสถานการณ์การหยิบสินค้าด้วยโปรแกรม FlexSim เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการหยิบสินค้าก่อนและหลังการปรับปรุง ผลการศึกษาพบว่าการปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าสามารถลดระยะเวลาในการหยิบสินค้าได้เฉลี่ย 14.6 วินาทีต่อใบเบิกสินค้า

ชยุตม์ บันเทิงจิตร [6] ได้ศึกษาคลังสินค้าของโรงงานผลิตบล็อกแก้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดวางผังคลังสินค้าและลดเวลาในการขนย้ายบล็อกแก้วออกจากคลังสินค้า ซึ่งปัจจุบันมีเวลาขนย้ายเกินกว่าค่าดัชนีชี้วัดที่ตั้งไว้ งานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ ABC เพื่อจัดกลุ่มบล็อกแก้วตามปริมาณความต้องการขาย และใช้โปรแกรม FlexSim ในการจำลองสถานการณ์ของผังคลังสินค้าทั้งแบบเดิมและแบบใหม่ ผลการศึกษาพบว่า การปรับปรุงผังคลังสินค้าโดยใช้ระบบการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งตายตัวและการจัดวางสินค้าแบบเคลื่อนไหวเร็ว สามารถลดเวลาในการขนย้ายบล็อกแก้วได้ 0.2045 นาทีต่อพาเลท หรือคิดเป็นร้อยละ 27.27

อดิพร ทิพย์โภชน์, ปรีดาพร จันทุมา และคณน สุจารี [7] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพสายงานประกอบของบริษัท เอส.เจ สกรูไทย จำกัด โดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม FlexSim งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองสถานการณ์จริงกับแบบจำลองที่ปรับปรุงแล้ว 3 รูปแบบ ผลการศึกษาพบว่า การผสมผสานการออกแบบสถานีงานที่ปรับให้ยืนหรือนั่งทำงานได้ ร่วมกับการประกอบชิ้นงานครั้งละ 2 ชิ้น สามารถลดเวลาการประกอบชิ้นงานต่อหน่วยได้ 38.22% และเพิ่มผลผลิตรายวันขึ้นจาก 454 เป็น 500 ชิ้น

ดุสิตพล ชมพุฒ, กานต์อธิป โภคสวัสดิ์ และภาณุทัต ย่ำแท่น [8] ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ระบบแถวคอย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาหน่วยให้บริการที่เหมาะสมในช่วงเวลาที่มีผู้มาใช้บริการมากที่สุด งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม FlexSim ในการจำลองสถานการณ์ระบบแถวคอย โดยอาศัยข้อมูลที่เก็บจากการใช้บริการจริง ผลการศึกษาพบว่า การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม FlexSim สามารถลดเวลารอคอยเฉลี่ยทั้งระบบจาก 24.5 นาทีต่อคน เหลือ 13.15 นาทีต่อคน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การจำลองสถานการณ์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่ม: กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำดื่ม มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ โดยใช้โปรแกรม FlexSim ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

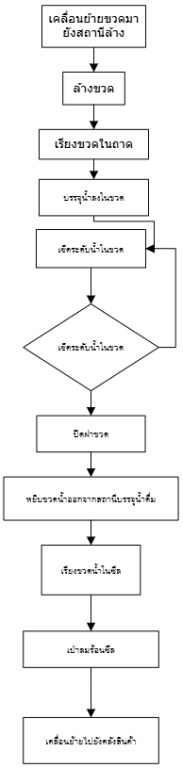
1. ศึกษากระบวนการปัจจุบัน
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. สร้างแบบจำลองสถานการณ์ปัจจุบันด้วยโปรแกรม FlexSim
4. ทดสอบและทวนสอบแบบจำลอง
5. สร้างแบบจำลองสถานการณ์ทางเลือกด้วยโปรแกรม FlexSim
6. เปรียบเทียบผล
7. สรุปผล

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการศึกษากระบวนการปัจจุบัน

โรงงานน้ำดื่มตราพิกุลอยู่ภายใต้การดูแลของมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตน้ำดื่มสำหรับจำหน่ายให้กับบุคคลภายนอกและหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัย ทั้งนี้โรงงานดังกล่าวมีบทบาทสำคัญในการรองรับกิจกรรมต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยให้เพียงพอ จากการเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตน้ำดื่มของโรงงานมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การเคลื่อนย้ายขวดมาล้าง สถานีล้างขวด สถานีบรรจุน้ำ สถานีบรรจุภัณฑ์ และการเคลื่อนย้ายไปยังคลังสินค้าดังรูปที่ 1 โดยรายละเอียดของกระบวนการผลิตมีดังนี้

1.กระบวนการเคลื่อนย้ายขวดมาล้าง (พนักงาน 1 คน)
2.สถานีล้างขวด (พนักงาน 1 คน)
3.สถานีบรรจุน้ำ (พนักงาน 3 คน)
4.สถานีบรรจุภัณฑ์ (พนักงาน 4 คน)
5.กระบวนการเคลื่อนย้ายไปยังคลังสินค้า (พนักงาน 1 คน)



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำดื่มตราพิกุล

4.2 การจำลองสถานการณ์กรณีการวิเคราะห์สภาพปัจจุบันด้วยโปรแกรม FlexSim

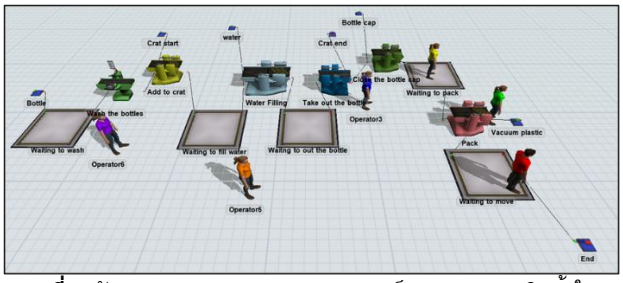
ทางคณะผู้จัดทำได้เก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตน้ำ เพื่อนำข้อมูลมาจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม FlexSim โดยการจำลองสถานการณ์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเป็นการจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตน้ำในปัจจุบัน เพื่อแสดงให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ส่วนที่สองเป็นการจำลองสถานการณ์หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและประเมินผลลัพธ์ที่ได้

4.2.1 การจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตน้ำในสภาพปัจจุบัน

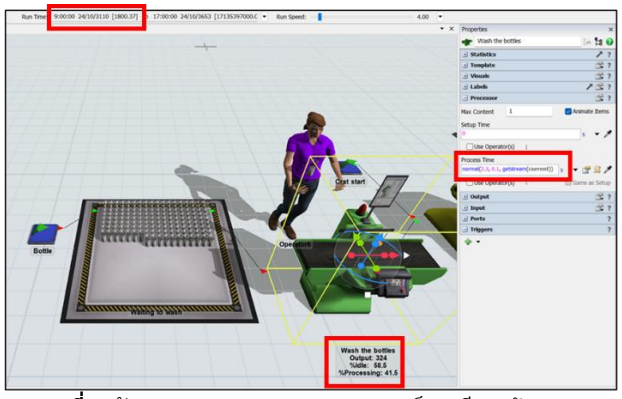
ในการจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตน้ำ โดยใช้ Source แสดงถึงมีชิ้นงานเข้าไปในกระบวนการผลิต Queue แสดงถึงการรอคอยของชิ้นงาน Processor แสดงถึงกระบวนการผลิตในแต่ละกระบวนการ Operator แทนเป็นพนักงาน จากนั้นแทนค่าเฉลี่ยที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละกระบวนการ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่า กระบวนการผลิตน้ำดื่มดำเนินการโดยพนักงานเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน แบ่งออกเป็น 2

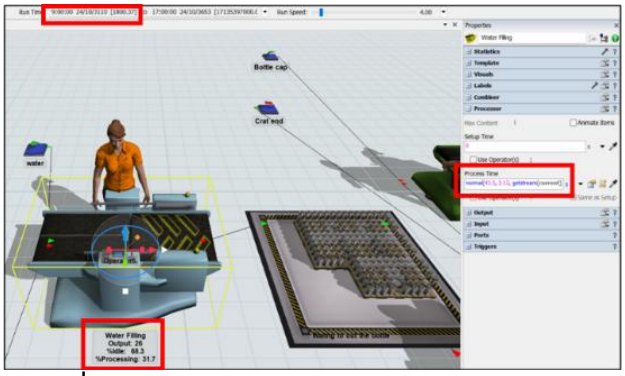
ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเช้า ตั้งแต่เวลา 08:30 น. ถึง 11:30 น. และช่วงบ่าย ตั้งแต่เวลา 13:30 น. ถึง 16:30 น. โดยมีช่วงพักกลางวันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทั้งนี้ จากการสอบถามพนักงานพบว่า ระหว่างกระบวนการผลิตน้ำเกิดปัญหาน้ำหยุดไหลกะทันหันจำนวน 2 ครั้งต่อวัน แต่ละครั้งใช้เวลาในการแก้ไขประมาณ 30 นาที โดยมีรายละเอียดของการจำลองสถานการณ์ดังรูปที่ 2 - 5



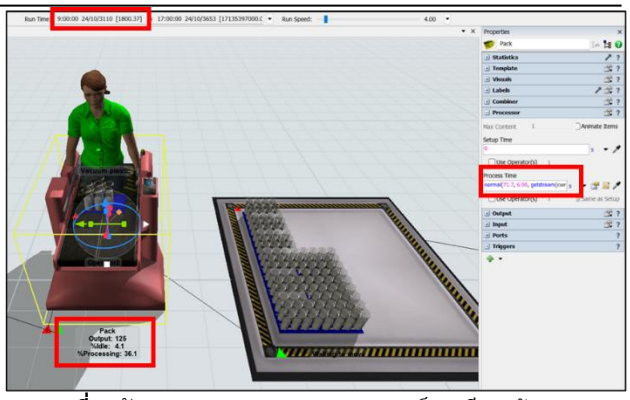
รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพการจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตน้ำในปัจจุบันด้วยโปรแกรม FlexSim



รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพการจำลองสถานการณ์สถานีการล้างขวด



รูปที่ 4 ตัวอย่างภาพการจำลองสถานการณ์สถานีการล้างขวด



รูปที่ 5 ตัวอย่างภาพการจำลองสถานการณ์สถานีการล้างขวด

4.3 การทวนสอบและการรับรองความน่าเชื่อถือของตัวแบบจำลอง

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลองสถานการณ์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม FlexSim เพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานของตัวแบบจำลองเป็นไปตามรูปแบบที่กำหนด และมีความสอดคล้องกับสถานการณ์การปฏิบัติงานจริงของกระบวนการผลิตน้ำดื่มมากที่สุด รวมถึงการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบจำลองสถานการณ์ โดยกระบวนการทวนสอบในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.ตรวจสอบลำดับขั้นตอนในกระบวนการสร้างตัวแบบจำลองและเปรียบเทียบกับสถานการณ์จริง

2.ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแปรที่สร้างขึ้นโดยเปรียบเทียบกับสถานการณ์จริง รวมถึงการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง

4.3.1 การทวนสอบ (Verification)

1.ผลการตรวจสอบลำดับขั้นตอนของตัวแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการดำเนินงานจริง พบว่าลำดับขั้นตอนของตัวแบบมีความสอดคล้องกับกระบวนการดำเนินงานจริง

2.การตรวจสอบโดยใช้การสังเกตภาพเคลื่อนไหว (Animation) และการวิเคราะห์ผลการนับจำนวนของตัวแปรที่สร้างขึ้น พบว่ามีความถูกต้องตามกรอบแนวคิดของแบบจำลองและกระบวนการดำเนินงานจริง

3.การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง พบว่าผลลัพธ์ดังกล่าวมีลำดับขั้นตอนที่สอดคล้องกับกรอบแนวคิดของแบบจำลองและกระบวนการดำเนินงานจริง

4.3.2 การรับรองความน่าเชื่อถือ (Validation)

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบความสอดคล้องของแบบจำลองที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาเทียบกับสถานการณ์จริง โดยนำผลที่เกิดจากการสร้างตัวแบบการจำลองสถานการณ์มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจำลองสถานการณ์มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูล ภายใต้การทดสอบทางสถิติผ่านโปรแกรม Minitab® โดยมีการวิเคราะห์ผล 3 ขั้นตอนดังนี้

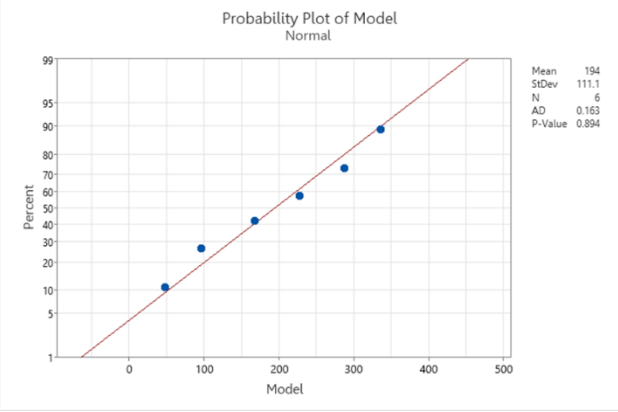
1. การทดสอบความเป็นการกระจายตัวแบบปกติ (Normality Test) เป็นการทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลจากแบบจำลองกับสถานการณ์จริง ผ่านเครื่องมือในการทดสอบ Normal Probability Plot ซึ่งเป็นการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 โดยผลจากการสุ่มเก็บข้อมูลระยะเวลาเฉลี่ยในกระบวนการผลิตน้ำดื่มจำนวน 6 ข้อมูล แสดงดังตารางที่ 1 ผ่านการกำหนดสมมติฐานดังนี้

H_0 : ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
H_1: ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

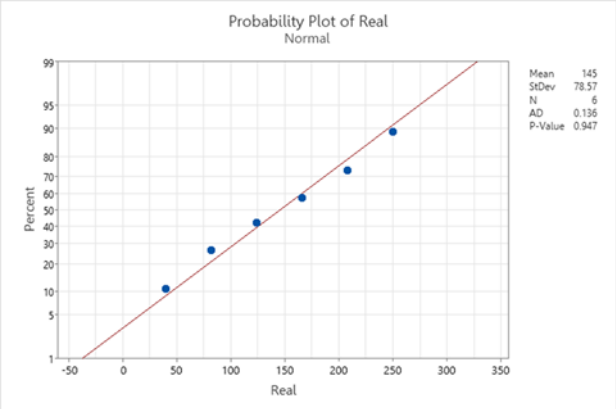
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อมูลการสร้างตัวแบบการจำลองกับสถานการณ์จริง

ลำดับ	เวลา (ชั่วโมง)	แบบจำลอง (ขวด)	สถานการณ์จริง (ขวด)
1	1	48	40
2	2	96	82
3	3	168	124
4	4	228	166
5	5	288	208
6	6	336	250

จากการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ด้วยโปรแกรม Minitab® พบว่าข้อมูลจากสถานการณ์จำลองและข้อมูลจากสถานการณ์จริงมีค่า P-Value เท่ากับ 0.894 และ 0.947 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 6 และ รูปที่ 7 ซึ่งมีค่ามากกว่า = 0.05 จึงไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีการกระจายตัวแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05



รูปที่ 6 การทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลจากสถานการณ์จำลอง

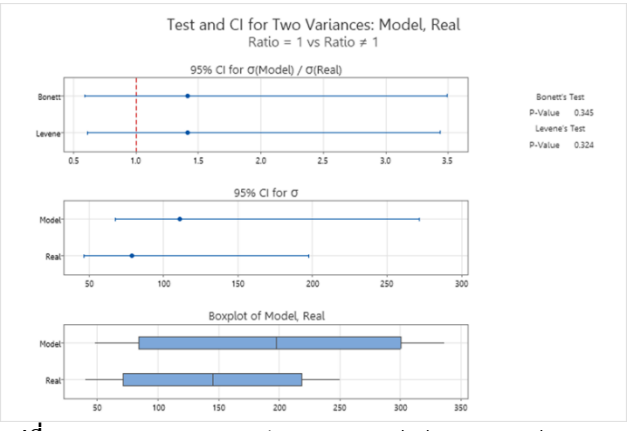


รูปที่ 7 การทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลจากสถานการณ์จริง

2. ทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนของสองประชากร (2-Variance Test)

เป็นการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลจากสถานการณ์จริงกับข้อมูลจากสถานการณ์จำลอง ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 ผ่านการกำหนดสมมติฐานให้

H_0 : ข้อมูลทั้งสองชุดมีความแปรปรวนที่ไม่แตกต่างกัน
H_1 : ข้อมูลทั้งสองชุดมีความแปรปรวนที่แตกต่างต่างกัน



รูปที่ 8 การทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนของ 2 ประชากร

รูปที่ 8 จะเห็นได้ว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.345 ซึ่งมีค่ามากกว่า α = 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก ที่ว่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความแปรปรวนของข้อมูลไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

3. การทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของสองประชากร (2–Sample t-Test)

เป็นการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากสถานการณ์จริงกับข้อมูลจากแบบจำลอง ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 ผ่านการกำหนดสมมติฐานให้ แสดงได้ดังต่อไปนี้

H_0 : ตัวแบบจากสถานการณ์จำลองสามารถเป็นตัวแทนสถานการณ์จริง
H_1 : ตัวแบบจากสถานการณ์จำลองไม่สามารถเป็นตัวแทนสถานการณ์จริง

Two-Sample T-Test and CI: Model, Real

Method

μ_1: population mean of Model
μ_2: population mean of Real
Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Model	6	194	111	45
Real	6	145.0	78.6	32

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
49.0	(-79.1, 177.1)

Test

Null hypothesis	H_0: $\mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis	H_1: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$

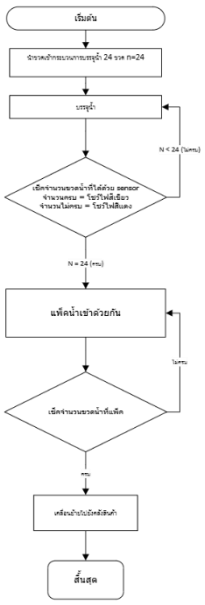
T-Value	DF	P-Value
0.88	8	0.404

รูปที่ 9 การทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของสองประชากร

จากการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของสองประชากร (2–Sample t-Test) จะเห็นได้ว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.404 ดังรูปที่ 9 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าตัวแบบสถานการณ์จำลองสามารถเป็นตัวแทนสถานการณ์จริงได้

4.4 สร้างแบบจำลองสถานการณ์ทางเลือก

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ทางเลือกโดยมีกรอบแนวคิดดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กรอบแนวคิดแบบจำลองสถานการณ์ทางเลือก

ผลจาการจำลองสถานการณ์ หลังจากการสร้างตัวแบบจำลองสถานการณ์ทางเลือก ทำการจำลองสถานการณ์เป็นจำนวน 10 รอบ ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการจำลองสถานการณ์แบบจำลองทางเลือก

ครั้งที่	ผลการจำลอง
1	309
2	312
3	310
4	310
5	310
6	310
7	311
8	309
9	310
10	309
เฉลี่ย	310

4. สรุป

จากการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำดื่มตราพิกุล โดยอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและการจับเวลาการปฏิบัติงานในสายการผลิต พบว่า สถานีการล้างขวด สถานีการบรรจุน้ำ และสถานีบรรจุภัณฑ์ไม่มีความสมดุลในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะสถานีบรรจุภัณฑ์ ซึ่งใช้เวลาในการปฏิบัติงานมากที่สุด ส่งผลให้เกิดปัญหาคอขวด (Bottleneck) โดยมีระยะเวลาการปฏิบัติงานเฉลี่ยอยู่ที่ 71.7 นาที รองลงมาคือสถานีการล้างขวด ซึ่งใช้เวลา 55.3 นาที และสถานีการบรรจุน้ำ ซึ่งใช้เวลา 43.5 นาที จากการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว สามารถคำนวณอัตราการผลิตได้ที่ 250 แพ็คต่อวัน อย่างไรก็ตาม หลังจากการออกแบบและปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการผลิต พบว่าสามารถเพิ่มกำลังการผลิตเป็น 310 แพ็คต่อวัน การวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นว่า FlexSim เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิต และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นได้หากมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละอุตสาหกรรม

5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง "การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่ม: กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำดื่มมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์" ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความร่วมมือจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านจากโรงงานผลิตน้ำดื่ม มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ตลอดจนให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ปิยวรรณ เนื่องมัจฉา, โสภนา วงศ์ทอง, ปานทอง, และ นพมาศ จงสวัสดิ์วัฒนา, “การศึกษาคุณภาพน้ำดื่มจากจุดบริการน้ำดื่ม ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช”, *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, ปี 37, ฉบับที่ 1, Art. ฉบับที่ 1, มิ.ย. 2018.

[2] ธิติสุดา อุดมรัตนศิริชัย, สุจิตตรา เที่ยงสันเทียะ, วชิระ สิงห์คง, และ บุณยกฤต รัตนพันธุ์, “สภาพสุขาภิบาลและคุณภาพน้ำดื่มจากตู้น้ำดื่มหยอดเหรียญอัตโนมัติ ในเขตพื้นที่รอบมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร”, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนอร์ทเทิร์น*, ปี 3, ฉบับที่ 4, Art. ฉบับที่ 4, 2565.

[3] ประจวบ กล่อมจิตร, *การจำลองสถานการณ์เบื้องต้น*, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2554.

[4] ปกรณ์ แสนจิตต์, อลงกรณ์ เมืองไหว, และ นพดล อ่ำดี, “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมด้วยแบบจำลองสถานการณ์”, *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, ปี 4, ฉบับที่ 2, Art. ฉบับที่ 2, พ.ย. 2022.

[5] กีรนันท์ ฉัตรศตรายุ, ชมพูนุท บุตรสุโพธิ์, ศุภษร เดิมศรีภูมิ, สภัทร์พร สัจนันท์, สุธิกานต์ ดำสีคง, และ กุสุมา พิริยาพรรณ, “การปรับปรุงระบบและตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าเพื่อลดเวลาในการหาและ หยิบสินค้าของคลังสินค้าประเภทบรรจุภัณฑ์ กรณีศึกษาบริษัท ABC จำกัด”, *วารสารสหศาสตร์ศรีปทุม ชลบุรี*, ปี 9, ฉบับที่ 2, Art. ฉบับที่ 2, ส.ค. 2023.

[6] ชยุตม์ บรรเทิงจิตร, “การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ในการออกแบบผังคลังสินค้าเพื่อลดเวลาในการขนถ่ายวัสดุ”, *Kasem Bundit Engineering Journal*, ปี 8, ฉบับที่ 3, Art. ฉบับที่ 3, 2018.

[7] อติพร ทิพย์โภชน์, ปรีดาพร จันทุมา, และ คณน สุจารี, “การปรับปรุงกระบวนการทำงานของแผนกบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ด้วยการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติ กรณีศึกษาบริษัท เอส. เจ สกรูไทย จำกัด”, *Journal of Manufacturing & Management Technology*, ปี 2, ฉบับที่ 1, Art. ฉบับที่ 1, มิ.ย. 2023,

[8] ดุสิตพล ชมพุฒ, กานต์อธิป โภคสวัสดิ, ภาณุทัต ย่าแท่น, และ ภาณุพงษ์ ศรีมุงคุล, “การหาหน่วยบริการที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม FLEXSIM กรณีศึกษา จุดบริการศูนย์ AIS สาขาเซ็นทรัลขอนแก่น”, ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ออนไลน์ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2564 เรื่อง การวิจัยและนวัตกรรมสการพัฒนาที่ยั่งยืน*, ต.ค. 2564, น. 1293–1303.

การประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางการส่งน้ำดื่ม

Heuristic Application for VRP of Drinking Water

ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์* พัชรพร การดี และธนกานต์ โพธิ์ชัย
ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
E-mail: prasert.s@itm.kmutnb.ac.th*

Prasert Sriboonchandr*, Phatcharaphon Kandee and Thanakan Phochai
Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus
E-mail: prasert.s@itm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางการส่งน้ำดื่ม โดยวิธีฮิวริสติกแบบประหยัด (Saving Algorithm) ด้วย VRP Solver ซึ่ง VRP Solver สามารถแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ทั้งสองเทคนิคนี้มีข้อดีในการเพิ่มความยืดหยุ่นและลดความซับซ้อนในกระบวนการตัดสินใจเชิงพาณิชย์ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วยในการวัดระยะทาง เก็บรวบรวมข้อมูลเส้นทางการเดินรถขนส่งน้ำดื่มในปัจจุบัน ได้แก่ ค่าระยะทาง ความสามารถในการบรรทุกของรถ จากนั้นนำวิธีฮิวริสติกมาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบที่ต้องการ ได้แก่ ผลลัพธ์ของระยะทางรวมที่สั้นที่สุดในการเดินรถขนส่งน้ำดื่ม ภายใต้ข้อจำกัดความสามารถในการบรรทุกของรถและลดค่าใช้จ่ายในการเดินรถให้ได้มากที่สุด ผลจากการศึกษา พบว่าระยะทางลดลงจาก 48.09 กิโลเมตร เหลือ 31.15 กิโลเมตร ลดลง 16.94 กิโลเมตร ต้นทุนเชื้อเพลิงลดลงจาก 132 บาทต่อวัน เหลือ 85.50 บาทต่อวัน ลดลง 46.50 บาทต่อวัน ซึ่งผลลัพธ์จาก Saving Algorithm ช่วยลดค่าใช้จ่ายได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม ในขณะที่การใช้ VRP Solver ทำให้สามารถหาทางเลือกที่ดีที่สุดได้ในระยะเวลาลดลง เมื่อเทียบกับวิธีการดั้งเดิม
คำหลัก ฮิวริสติกแบบประหยัด ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง น้ำดื่ม

Abstract

This research aims to apply a heuristic method for optimizing drinking water delivery routes. Specifically, it utilizes the Savings Algorithm heuristic in combination with a VRP (Vehicle Routing Problem) Solver, which is capable of solving complex problems with high accuracy and speed. These two techniques offer advantages by increasing flexibility and reducing complexity in commercial decision-making processes. Satellite imagery was used to measure distances and gather data on current delivery routes, including distance metrics and vehicle load capacities. The heuristic method was then employed as a computational tool to derive the optimal solution—minimizing the total travel distance for water delivery under the constraint of vehicle load capacities, with the goal of reducing transportation costs as much as possible. The study found that the total travel distance was reduced from 48.09 kilometers to 31.15 kilometers, a reduction of 16.94 kilometers. Fuel costs decreased from 132 Baht per day to 85.50 Baht per day, a reduction of 46.50 Baht per day. The results demonstrate that the Savings Algorithm effectively reduces costs compared to traditional methods, while the VRP Solver enables faster identification of optimal routes than conventional approaches.
Keywords: Saving Heuristic, Vehicle Routing Problem, Drinking Water

1. บทนำ

การขนส่งเป็นบริการที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายผู้คน สัตว์ และสิ่งของจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ในธุรกิจน้ำดื่มบรรจุขวดในประเทศไทย การจัดการเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มให้มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อการลดต้นทุนการขนส่งและเพิ่มกำไรให้แก่ผู้ประกอบการ โดยเฉพาะผู้ประกอบการรายย่อยที่มีต้นทุนการขนส่งสูงขึ้นหากไม่มีการจัดเส้นทางที่ดี

จากการศึกษาในงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าแม้มีการใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาการขนส่ง แต่ยังขาดการนำ VRP (Vehicle Routing Problem) Solver มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนเส้นทางการขนส่งอย่างเต็มที่ ซึ่งมีช่องว่างในการพัฒนาระบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อให้สามารถลดต้นทุนและเวลาในการขนส่งได้จริง การขนส่งที่ไม่มีประสิทธิภาพสามารถนำมาซึ่งผลกระทบหลายประการ เช่น ต้นทุนที่สูงขึ้น จากการใช้เส้นทางที่ไม่เหมาะสม ซึ่งอาจทำให้ระยะทางและเวลาในการขนส่งเพิ่มขึ้น

ธุรกิจน้ำดื่มบรรจุขวดนี้มีผู้ประกอบการรายย่อยมากมาย เนื่องจากเครื่องจักรและเครื่องอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำดื่มสะอาดในปัจจุบันมีราคาไม่แพง นอกจากนี้ผู้ประกอบการรายย่อยยังสามารถเข้าถึงพื้นที่ห่างไกลได้ง่าย ทำให้ต้นทุนการผลิตและการขนส่งน้ำต่ำกว่าผู้ประกอบการรายใหญ่ที่มีที่ตั้งโรงงานห่างไกลจากพื้นที่เหล่านี้ การจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มให้มีประสิทธิภาพจึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายและควบคุมต้นทุนการขนส่งให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อให้สร้างผลกำไรได้สูงสุด

ร้านจำหน่ายน้ำแพ็ค (สอแสนรุ่งเรือง) ที่เป็นพ่อค้าคนกลางที่อยู่ภายในจังหวัดระยองมีราคาในการรับน้ำแพ็คจากโรงงานเป็นราคาต้นทุนมีน้ำแพ็คด้วยกัน 3 ประเภท คือ น้ำดื่มขนาด 350 ml น้ำดื่มขนาด 600 ml และน้ำดื่มขนาด 1500 ml ซึ่งในแต่ละชนิดมีต้นทุนที่แตกต่างกัน ดังนั้นกำไรที่เกิดขึ้นอยู่กับปริมาณในการขาย และการลดต้นทุนต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันลูกค้ามีอย่างจำกัดเพราะภายในจังหวัดก็มีร้านอื่นเป็นตัวเลือกในการซื้อน้ำของลูกค้า

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้จัดทำการศึกษาการจัดเส้นทางโดยใช้การวางแผนเส้นทางเส้นทางรถด้วย VRP (Vehicle Routing Problem) Solver เพื่อจัดเส้นทางและลดต้นทุนในการขนส่งน้ำดื่ม

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำจำกัดความ

2.1.1 วิธีฮิวริสติก คือ วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถชนิดหนึ่ง เพื่อคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว

2.1.2 Saving Algorithm คือ อัลกอริทึมแบบประหยัดเป็นกระบวนการหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ จากการรวมเส้นทางคู่ใดๆ เข้าด้วยกัน

2.1.3 การจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งน้ำดื่ม คือ การจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งน้ำดื่มที่สามารถลดระยะทางและเวลาในการเดินรถ รวมถึงการลดต้นทุนในการดำเนินงานและเพิ่มการใช้ประโยชน์ของรถที่คุ้มค่า

2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

คงเดช คำขจร และอรอุไร แสงสว่าง [1] ได้ทำศึกษาการปรับปรุงเส้นทางการขนส่งโดยขั้นตอนวิธี LNS ในการวางแผนการจัดเส้นทางการเดินรถในการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากยานพาหนะและรอบในการเดินรถลดลงและหาเส้นทางการเดินรถที่เหมาะสม ในการทดลองผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มลูกค้าออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มลูกค้าในเขตการขนส่งจำนวน 120 ราย และกลุ่มลูกค้านอกเขตการขนส่งจำนวน 277 ราย เพื่อในการพิจารณาในการทดลองโดยใช้วิธี Large Neighborhood Search Algorithm (LNS) โดยโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver ผลจากการทดลองพบว่า ค่าใช้จ่ายการขนส่งโดยรถปิกอัพลดลง 53.15% ค่าใช้จ่ายการขนส่งโดยรถบรรทุกสี่ล้อกลางทั้ง 3 คันลดลง 29.41%, 15.79% และ 2.94% ตามลำดับ ในขณะที่รถหกล้อนั้นมีค่าใช้จ่ายการขนส่งที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่ายขนส่งต่อความจุ

วรพล อารีย์ และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง: กรณีศึกษา บริษัท เอบีซี น้ำดื่ม จำกัด จากวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง 4 วิธี ได้แก่ วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดอัลกอริทึม โปรแกรมแก้ปัญหาไมโครซอฟเอ็กเซล และโปรแกรมแก้ปัญหาวีอาร์พีสเปรดชีท โดยทำการเก็บข้อมูลเส้นทางและพิกัดส่งน้ำดื่มจานวน 20 รอบการส่งสินค้า ด้วยแอปพลิเคชัน เอ-จีพีเอส แทร็คเกอร์ และสร้างเส้นทางด้วยโปรแกรมแผนที่กูเกิล ผลการวิจัยพบว่า ระยะทางเฉลี่ยก่อนจัดเส้นทางเท่ากับ 21.56 ± 8.86 กิโลเมตร ระยะทางเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรมแก้ปัญหา ไมโครซอฟเอ็กเซลเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดเท่ากับ 20.98 ± 8.83 กิโลเมตร (ลดลงร้อยละ 2.69) ขณะที่การจัดเส้นทางด้วยวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดอัลกอริทึม และโปรแกรมแก้ปัญหาวีอาร์สเปรดชีท ทำให้ระยะทางการขนส่งเพิ่มขึ้น โดยมีระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 22.06 ± 8.90 กิโลเมตร (เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.32) 21.92 ± 9.61 กิโลเมตร (เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.67) และ 22.15 ± 9.23 กิโลเมตร (เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.74) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ระยะทางเฉลี่ยก่อนจัดเส้นทางและระยะทางเฉลี่ยที่ได้จากการจัดเส้นทางทั้ง 4 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) การจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มในงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้วางแผนการขนส่งสินค้าและจัดทำแนวทางการปฏิบัติงานสำหรับพนักงานขนส่งให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน

ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์และคณะ [3] ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ กรณีศึกษา ตำบลเนินหอม อำเภอเมืองปราจีนบุรี งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ กรณีศึกษา อบต. ตำบลเนินหอม อำเภอเมืองปราจีนบุรี โดยวิธีฮิวริสติก ได้แก่ Saving

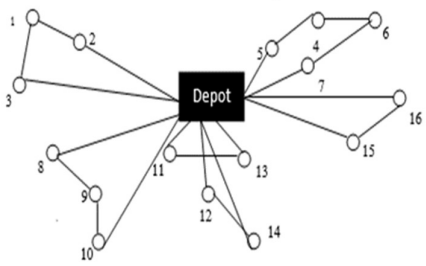
Matrix และโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วยในการวัดระยะทาง เก็บรวบรวมข้อมูลเส้นทางการเดินรถเก็บขยะในปัจจุบัน ได้แก่ ค่าใช้จ่าย ระยะทางและเวลาในการเดินรถเก็บขยะ และอัตราความสามารถในการบรรทุกของรถ จากนั้นนำวิธีฮิวริสติก Saving Matrix มาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบที่ต้องการ ได้แก่ ผลลัพธ์ของระยะทางรวมที่สั้นที่สุดในการเดินรถเก็บขยะ โดยพิจารณาเรื่องน้ำหนักการบรรทุกขยะและระยะทางรวม ภายใต้ข้อจำกัดความสามารถในการบรรทุกของรถและระยะทางรวมเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเดินรถให้ได้มากที่สุด ผลจากการศึกษา พบว่าระยะทางทั้งหมดลดลง 9.1 กิโลเมตร จากเดิม 606.2 กิโลเมตร ลดลงเหลือ 597.1 กิโลเมตร และยังสามารถแก้ไขปัญหาการบรรทุกขยะเกินอัตราความสามารถของรถในการเดินรถแต่ละวัน ถึงแม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้มีเปอร์เซ็นต์รวมการใช้ประโยชน์ของรถลดลง 5.06% จากเดิม 96.06% ลดลงเหลือ 91% ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง

ณัฏฐ์พัชร์ วณิชย์กุล และกนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ [4] ได้ทำการวิจัยเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำดื่มสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ กรณีศึกษา โรงงานน้ำดื่มดีซี โดยประยุกต์ใช้วิธีการแบบประหยัด (Saving Algorithm: SA) และวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Algorithm: NNA) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำดื่มให้มีระยะทางรวมที่น้อยที่สุด จากผลการศึกษาพบว่า วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Algorithm: NNA)สามารถลดระยะทางรวมจากเดิม 130.50 กิโลเมตรลดลงเหลือ 121.80 กิโลเมตร ซึ่งสามารถลดระยะทางรวมได้ถึง 8.70 กิโลเมตร และวิธีการแบบประหยัด (Saving Algorithm: SA) สามารถลดระยะทางรวมจากเดิม 130.50 กิโลเมตร ลดลงเหลือ 121.10 กิโลเมตร ซึ่งสามารถลดระยะทางรวมได้ถึง 9.40 กิโลเมตร ดังนั้นวิธีการแบบประหยัด (Saving Algorithm: SA) มีประสิทธิภาพการขนส่งน้ำดื่มสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ กรณีศึกษา โรงงานน้ำดื่มดีซีโดยสามารถหาระยะทางรวมที่น้อยที่สุดได้เหมาะสมที่สุด

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า Saving Algorithm: เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการลดระยะทางขนส่ง เช่น ในกรณีศึกษาของ ณัฏฐ์พัชร์ วณิชย์กุล ซึ่งสามารถลดระยะทางได้ถึง 9.40 กิโลเมตร แต่บางกรณีอาจลดประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากรถลงได้ LNS (Large Neighborhood Search) ช่วยลดค่าใช้จ่ายได้สูงถึง 53.15% แต่ข้อจำกัดคือไม่สามารถนำไปใช้กับสถานการณ์ที่มีข้อจำกัดด้านความจุของรถได้

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางยานสำหรับพาหนะ (Vehicle Routing Problem) เป็นปัญหาที่สำคัญในการจัดการด้านลอจิสติกอย่างหนึ่งซึ่งอาจหมายถึง การขนส่งจากผู้ผลิตไปยังคลังเก็บสินค้า (Warehouse) หรือลูกค้า (Customer) บริษัทต้องการหาวิธีการขนส่งสินค้าและกระจายสินค้าที่มีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของบริษัท ซึ่งประกอบไปด้วย การใช้ยานพาหนะที่มีจำนวนน้อยลง การลดระยะทางในการขนส่ง การลดระยะเวลาความล่าช้าในการขนส่งสินค้า และเพิ่มระดับการใช้บริการในการขนส่ง



รูปที่ 1 แสดงลักษณะเส้นทางในการขนส่ง

ในกรณีที่มีจำนวนโหนดมาก การหาเส้นทางที่มีต้นทุนต่ำที่สุด เป็นสิ่งที่มีเป็นไปไม่ได้น้อยมากในทางปฏิบัติเพราะจะต้องใช้เวลาในการคำนวณและวิเคราะห์ค่อนข้างนานมากจนไม่ทันการณ์ เพื่อการคำนวณให้ได้คำตอบที่เร็ว จึงจำเป็นต้องมีวิธีการอื่นๆ มาช่วยในการหาคำตอบ ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมและเข้าใจง่ายวิธีการหนึ่งคือวิธีเซฟวิ่ง Clarke & Wright, 1964 [5] ได้นำเสนอวิธีการจัดเส้นทางการเดินรถ สำหรับแก้ปัญหาการตัดสินใจที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก โดยที่มีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว กระจายสินค้าไปยังลูกค้าหลายแห่ง ให้สามารถหาคำตอบในการเลือกเส้นทางการเดินรถเหมาะสมและรวดเร็ว นอกจากนั้นผลจากการแก้ปัญหายังให้ทราบจำนวนและขนาดยานพาหนะที่จะใช้ขนส่งรวมไปถึงปริมาณบรรทุกของยานพาหนะแต่ละคัน ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดจุดเริ่มต้นเส้นทาง ซึ่งเราจะได้จำนวนเส้นทางเท่ากับลูกค้าทั้งหมด
2. คำนวณค่าความประหยัดในการขนส่ง Saving เขียนแทนได้ $S_{ij} = C_{Di} + C_{ij} - C_{jD}$; i, j = 2,3,4,…,n
3. เรียงลำดับค่าค่าความประหยัด (S_{ij}) จากค่ามากไปยังค่าน้อยที่สุด
4. สร้างเส้นทางในการขนส่ง โดยรวมลูกค้า i และ j ที่มีค่า S_{ij} มากที่สุดเข้าด้วยกัน
5. ทำซ้ำจนจัดเส้นทางได้ครบทุกเส้นทาง โดยมีข้อจำกัดด้านกรอบเวลา และปริมาณความสามารถในการบรรทุก

จากการศึกษาทฤษฎีข้างต้นทำให้ทราบว่าตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถนั้น ได้แก่ เส้นทางการเดินรถ ระยะทางในการเดินรถ ขนาดความจุของยานพาหนะ ค่าใช้จ่ายในการเดินรถ จำนวนยานพาหนะ และการประเมินประสิทธิภาพของการจัดเส้นทางการเดินรถในด้านของความเหมาะสมของระยะทาง และค่าสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิง ตลอดจนการบริหารความจุของยานพาหนะว่ามีการใช้ประโยชน์อย่างเต็มประสิทธิภาพหรือไม่

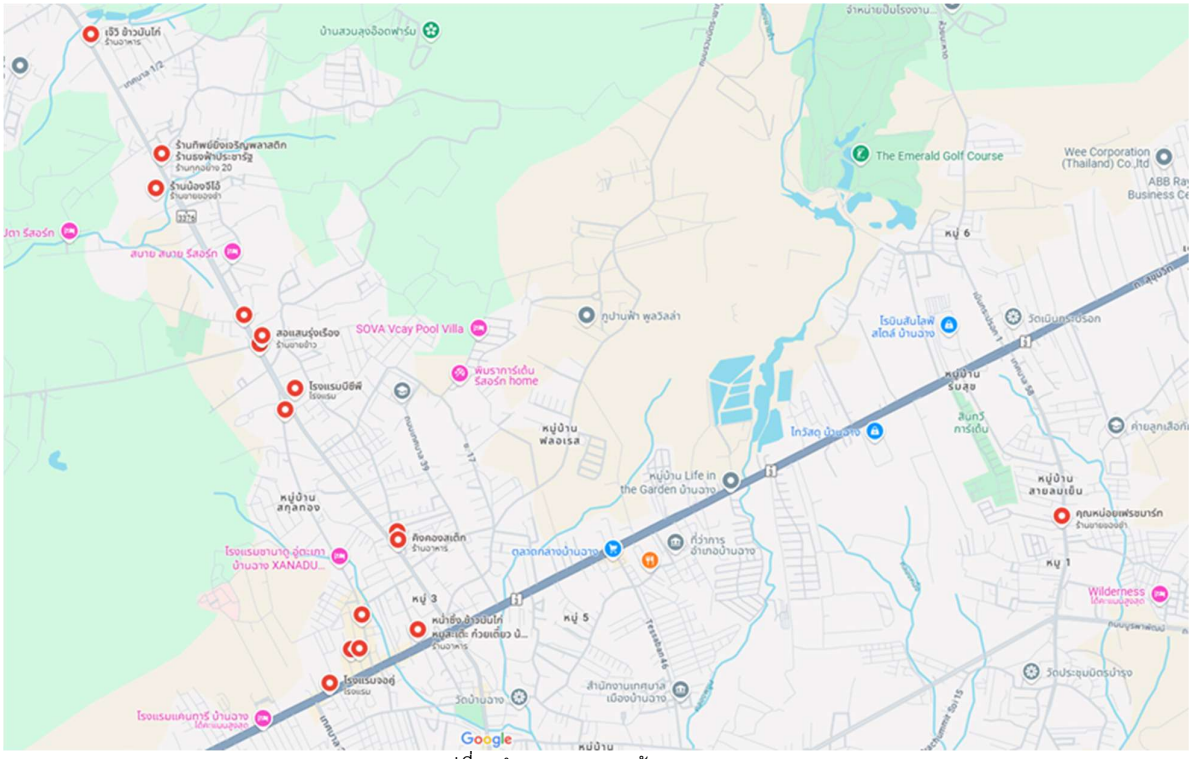
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การสร้างเส้นทางการเดินรถเป็นการสร้างจากสถานการณ์จริงในด้านโลจิสติกส์โดยกำหนดดัชนีชี้วัด และค่าตัวแปรต่างๆ ที่มี

ความสัมพันธ์กับปัญหาแล้วทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่เหมาะสมในการจัดเส้นทางการเดินรถและใช้แผนที่จาก google map เพื่อสร้างเมตริกซ์ระยะทาง จากนั้นทำการประมวลผลบนโปรแกรม VRP Solver เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีต่าง ๆ โดยขั้นตอนนี้จะต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดเส้นทางการเดินรถ โดยพิจารณาจากความจุของรถ จำนวนความต้องการของลูกค้า ระยะทางและต้นทุนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง จากนั้นนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาประมวลผลของปัญหาให้อยู่ในรูปแบบ Microsoft Excel ใช้ข้อมูลปริมาณการขนส่งน้ำดื่มที่จะต้องเก็บเป็นข้อมูลที่จะป้อนเข้าโปรแกรมประมวลผล เมื่อป้อนข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมประมวลผล ในรูปแบบ VRP Solver แล้วจากนั้นก็เข้าสู่กระบวนการคำนวณหาเพื่อหาคำตอบต่อไป ในการแก้ปัญหาการตัดสินใจการจัดเส้นทางเดินรถ เพื่อหาคู่เส้นทางเดินรถที่ประหยัดที่สุด โดยการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทาง การเดินรถ ซึ่งจะนำโปรแกรม Microsoft Excel มาสร้างแบบจำลอง Saving Matrix สมการ S(X,Y) = Dist(DC, X) + Dist(DC,Y) – Dist(x,y)

โดยกำหนดให้ S(X,Y) คือระยะทางประหยัด ถ้าเส้นทาง DC → x → DC และ DC → y → DC ถูกรวมเข้าด้วยกันจะได้ DC → x → y → DC โดยแทนให้ DC หมายถึง ร้านสอแสนรุ่งเรือง

3.1 เก็บรวบข้อมูลเส้นทางการจัดส่งน้ำโดยใช้แผนที่จาก google map เพื่อคำนวนหาระยะทางแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 คำนวนระยะทางด้วย google map

3.2 ทำการนำข้อมูลจำลองโหนดในการขนส่งน้ำเพื่อกำหนดเส้นทางการเดินรถเพื่อหาระยะทางระหว่างโหนดในการเดินรถส่งน้ำทุก ๆ โหนด เพื่อนำมาใช้เป็นค่าในการคำนวณโปรแกรม VRP Solver ซึ่งในแบบจำลองนี้ได้พิจารณาเส้นทางการเดินรถโดยกำหนดโหนด ขึ้นทั้งหมด 16 โหนด ประกอบด้วย จุดเริ่มต้นในการเดินรถ 1 โหนด จุดในการขนส่งน้ำทั้งหมด 15 โหนด มีรถทั้งหมด 2 คัน ซึ่งทั้ง 2 คัน มีความสามารถในการบรรทุกของรถแต่ละคันสูงสุด 570 แพ็ค โดยรถทั้ง 2 คัน จะแบ่งเส้นทางกันเดินรถ ปริมาณการขนส่งแต่ละโหนด นำข้อมูลมาจากร้านสอแสนรุ่งเรือง จังหวัดระยอง แสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 พิกัดของร้านส่งน้ำ ระยะทาง และความต้องการ

ลูกค้า	พิกัด	ระยะทาง	จำนวนที่ต้องการแต่ละร้าน
1.สบายดีเวียงจันทร์	12.738524241938574, 101.0446979288362	350 ม.	50 แพ็ค
2.ร้านชาละวันผักสด	12.740043135238954, 101.0438950288362	550 ม.	50 แพ็ค
3.คิงคองสเต็ก	12.728443465177989, 101.051903	1.4 กม.	50 แพ็ค
4.โชคเปิดย่าง	12.72288626918688, 101.04987012883619	2 กม.	50 แพ็ค
5.หน่ำซิ่งข้าวมันไก่	12.723908361462817, 101.0529069	2.3 กม.	50 แพ็ค
6.เจ๊วิข้าวมันไก่	12.754229412916567, 101.0358671711638	2.3 กม.	50 แพ็ค
7.โรงแรมบีซีพี	12.736368626819836,101.04656981534478	400 ม.	100 แพ็ค
8.สิงห์การค้า	12.728829069677147, 101.0518407	1.4 กม.	50 แพ็ค
9.คุณหนอยเฟรสมาร์ท	12.729796211749683, 101.0864398423276	6.9 กม.	50 แพ็ค
10.ร้าน182พาณิชย์	12.735250333118287, 101.0459843846552	2.4 กม.	70 แพ็ค
11.ร้านน้องจีโอ้	12.746507559845421,101.03934924418097	1.5 กม.	100 แพ็ค
12.โรงแรมฉางโซวา	12.724869702593615,101.0499856711638	1.7 กม.	150 แพ็ค
13.ร้านทิพย์ยิ่งเจริญพลาสติก	12.748188272381398,101.03962984418098	1.6 กม.	50 แพ็ค
14.ร้านหลวงวร	12.722855403777144,101.0494152134914	2 กม.	100 แพ็ค
15. โรงแรมจอคู่	12.721358178530092,101.0483315576724	4.9 กม.	100 แพ็ค

ตารางที่ 2 ข้อมูลของร้านส่งน้ำ ระยะทางไป-กลับ

จาก ๑ ไป	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0. ร้านสอแสนรุ่งเรือง		350 ม.	550 ม.	1.4 กม.	2 กม.	2.3 กม.	2.3 กม.	400 ม.	1.4 กม.	6.9 กม.	2.4 กม.	1.5 กม.	1.7 กม.	1.6 กม.	2 กม.	4.9 กม.
1. สบายดีเวียงจันทร์	350 ม.		190 ม.	3.4 กม.	4 กม.	4.3 กม.	2 กม.	2.4 กม.	3.4 กม.	8.9 กม.	2.5 กม.	1.1 กม.	3.7 กม.	1.2 กม.	4 กม.	4.3 กม.
2. ร้านชาละวันผักสด	550 ม.	190 ม.		3.2 กม.	3.8 กม.	4.1 กม.	1.8 กม.	2.2 กม.	3.2 กม.	8.8 กม.	2.3 กม.	900 ม.	3.6 กม.	1 กม.	3.9 กม.	4.1 กม.
3. คิงคองสเต็ก	1.4 กม.	3.4 กม.	3.2 กม.		900 ม.	1.2 กม.	3.4 กม.	1 กม.	41 ม.	5.5 กม.	1.2 กม.	2.5 กม.	650 ม.	2.6 กม.	950 ม.	1.2 กม.
4. โชคเปิดย่าง	2 กม.	4 กม.	3.8 กม.	900 ม.		400 ม.	3.9 กม.	1.7 กม.	900 ม.	5.6 กม.	1.5 กม.	3 กม.	240 ม.	3.1 กม.	99 ม.	500 ม.
5. หน่ำซิ่งข้าวมันไก่	2.3 กม.	4.3 กม.	4.1 กม.	1.2 กม.	400 ม.		4 กม.	1.7 กม.	700 ม.	5.2 กม.	1.8 กม.	3.1 กม.	750 ม.	3.2 กม.	1 กม.	1 กม.
6. เจ๊วิข้าวมันไก่	2.3 กม.	2 กม.	1.8 กม.	3.4 กม.	3.9 กม.	4 กม.		2.4 กม.	3.3 กม.	8.9 กม.	2.4 กม.	3.4 กม.	3.7 กม.	800 ม.	4 กม.	4.2 กม.
7. โรงแรมบีซีพี	400 ม.	2.4 กม.	2.2 กม.	1 กม.	1.7 กม.	1.7 กม.	2.4 กม.		1 กม.	6.6 กม.	240 ม.	1.5 กม.	1.5 กม.	1.6 กม.	1.8 กม.	2 กม.
8. สิงห์การค้า	1.4 กม.	3.4 กม.	3.2 กม.	41 ม.	900 ม.	700 ม.	3.3 กม.	1 กม.		5.6 กม.	1.2 กม.	2.4 กม.	700 ม.	2.5 กม.	1 กม.	1.2 กม.
9. คุณหนอยเฟรสมาร์ท	6.9 กม.	8.9 กม.	8.8 กม.	5.5 กม.	5.6 กม.	5.2 กม.	8.9 กม.	6.6 กม.	5.6 กม.		6.4 กม.	7.6 กม.	5.4 กม.	7.7 กม.	5.4 กม.	5.4 กม.
10. ร้าน 182 พาณิชย์	2.4 กม.	2.5 กม.	2.3 กม.	1.2 กม.	1.5 กม.	1.8 กม.	2.4 กม.	240 ม.	1.2 กม.	6.4 กม.		1.5 กม.	1.3 กม.	1.6 กม.	1.5 กม.	1.8 กม.
11. ร้านน้องจีโอ้	1.5 กม.	1.1 กม.	900 ม.	2.5 กม.	3 กม.	3.1 กม.	3.4 กม.	1.5 กม.	2.4 กม.	7.6 กม.	1.5 กม.		2.9 กม.	350 ม.	3.2 กม.	3.4 กม.
12. โรงแรมฉางโซวา	1.7 กม.	3.7 กม.	3.6 กม.	650 ม.	240 ม.	750 ม.	3.7 กม.	1.5 กม.	700 ม.	5.4 กม.	1.3 กม.	2.9 กม.		2.9 กม.	300 ม.	550 ม.
13. ร้านทิพย์ยิ่งเจริญพลาสติก	1.6 กม.	1.2 กม.	1 กม.	2.6 กม.	3.1 กม.	3.2 กม.	800 ม.	1.6 กม.	2.5 กม.	7.7 กม.	1.6 กม.	350 ม.	2.9 กม.		3.2 กม.	3.4 กม.
14. ร้านหลวงวร	2 กม.	4 กม.	3.9 กม.	950 ม.	99 ม.	1 กม.	4 กม.	1.8 กม.	1 กม.	5.4 กม.	1.5 กม.	3.2 กม.	300 ม.	3.2 กม.		550 ม.
15. โรงแรมจอคู่	4.9 กม.	4.3 กม.	4.1 กม.	1.2 กม.	500 ม.	1 กม.	4.2 กม.	2 กม.	1.2 กม.	5.4 กม.	1.8 กม.	3.4 กม.	550 ม.	3.4 กม.	550 ม.	

3.3 ประมวลการจัดเส้นทางก่อนปรับปรุง จากเส้นทางการขนส่งน้ำ 15 ร้าน โดยรถบรรทุกคันที่ 1 และ 2 ใช้จำนวนเที่ยวในการขนส่ง คือ 3 เที่ยวต่อวัน ได้เส้นทางและระยะทางดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 เส้นทางและระยะทางรถคันที่ 1

เส้นทาง (คันที่ 1)	0-1-2-3-4-5-6-0-7-8-0-9-0
ระยะทาง (กม.)	0.35+0.19+3.2+0.9+0.40+4+2.3+0.4+1+1.4+6.9+6.9
ระยะทางรวม (กม.)	26.94 กิโลเมตร

ตารางที่ 4 เส้นทางและระยะทางรถคันที่ 2

เส้นทาง (คันที่ 2)	0-10-0-11-12-13-0-14-15-0
ระยะทาง (กม.)	2.4+2.4+1.5+2.9+2.9+1.6+2+0.55+4.9
ระยะทางรวม (กม.)	21.15 กิโลเมตร

จากตารางที่ 3 และ 4 พบว่าระยะทางการเดินรถขนส่งน้ำของรถทั้ง 2 คัน รวมกันได้เท่ากับ 48.09 กิโลเมตร

3.4 การจัดเส้นทางหลังปรับปรุงด้วยวิธี Saving Algorithm ตารางที่ 5 และ 6 แสดงผลการจัดเส้นทางด้วยวิธี Saving Algorithm ด้วย VRP Solver แสดงดังตารางที่ 5 ของรถส่งน้ำทั้ง 2 คัน

ตารางที่ 5 การจัดเส้นทางด้วยวิธี Saving Algorithm ด้วย VRP Solver

Vehicle:	V1 (T1)	Stops:	7	Net profit:	-7.53			
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	ร้านสอนสนุกเรือง	0.00	0:00		08:00	0:00	0	500
1	โรงแรมใบหิน	0.34	0:00	08:00	08:00	0:00	0	400
2	โรงแรมใบยา	1.71	0:02	08:02	08:02	0:02	0	250
3	สนามตี้เวียงจันทร์	3.36	0:04	08:04	08:04	0:04	0	200
4	ร้านห่องจีโอ	4.51	0:06	08:06	08:06	0:06	0	100
5	ร้านหินย้อยหรือทุกหลาสล้อ	4.78	0:07	08:07	08:07	0:07	0	50
6	เจ๊ว้าวันไก	5.57	0:08	08:08	08:08	0:08	0	0
7	ร้านสอนสนุกเรือง	7.53	0:10	08:10		0:10	0	0
8								

Vehicle:	V2 (T2)	Stops:	10	Net profit:	-17.97			
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	ร้านสอนสนุกเรือง	0.00	0:00		08:00	0:00	0	570
1	ร้านเอ็ดพาณิชย์	0.52	0:01	08:01	08:01	0:01	0	500
2	โรงแรมจอด	2.32	0:04	08:04	08:04	0:04	0	400
3	ร้านหลวงวร	3.80	0:06	08:06	08:06	0:06	0	300
4	โฮมเบ็ดอาง	4.02	0:07	08:07	08:07	0:07	0	250
5	หน่าเชิงข้าวมันไก่	4.43	0:08	08:08	08:08	0:08	0	200
6	สถานีขนส่งทัศนารีห์	9.44	0:15	08:15	08:15	0:15	0	150
7	ตี้สดอสต์ค้า	14.59	0:22	08:22	08:22	0:22	0	100
8	ลิ้งค์การค้า	14.66	0:22	08:22	08:22	0:22	0	50
9	ร้านขายวัตถุดิบ	16.18	0:24	08:24	08:24	0:24	0	0
10	ร้านสอนสนุกเรือง	17.97	0:26	08:26		0:26	0	0

ตารางที่ 6 เส้นทางและระยะทางรถคันที่ 1

เส้นทาง (คันที่ 1)	0-7-12-1-11-13-6-0
ระยะทาง (กม.)	0.4+1.5+3.7+1.1+0.35+0.80+2.3
ระยะทางรวม (กม.)	10.15 กิโลเมตร

ตารางที่ 7 เส้นทางและระยะทางรถคันที่ 2

เส้นทาง (คันที่ 2)	0-10-15-14-4-5-9-3-8-2-0
ระยะทาง (กม.)	2.4+1.8+0.55+0.99+0.4+5.2+5.5+0.41+3.2+0.55
ระยะทางรวม (กม.)	21 กิโลเมตร

จากตารางที่ 6 และ 7 พบว่าระยะทางการเดินรถขนส่งน้ำของรถทั้ง 2 คัน รวมกันได้เท่ากับ 31.15 กิโลเมตร

4. ผลการดำเนินการวิจัย

สรุปผลเปรียบเทียบการแก้ปัญหาการขนส่งน้ำดื่มด้วยวิธี Saving Algorithm ใช้ VRP Solver โดยการเปรียบเทียบระยะทาง ต้นทุนเชื้อเพลิง ก่อนและหลังการปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 7 สรุปผลเปรียบเทียบการแก้ปัญหาการขนส่งน้ำดื่ม

ที่	รายการ	เปรียบเทียบการแก้ปัญหาการขนส่งน้ำดื่ม	
		กรณีศึกษา วิธีการเดิม	วิธีการแบบประหยัด Saving Algorithm :SA
1.	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	48.09	31.15
2.	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาทต่อวัน)	132	85.50
3.	ประสิทธิภาพการขนส่ง (%)		35.23

*หมายเหตุ: รถบรรทุกกระบะ 4 ล้อ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน 12 กิโลเมตร [5]
ราคาน้ำมันดีเซล ราคา 32.94 บาทต่อลิตร (ข้อมูล 20 กพ. 68)

จากตารางที่ 8 พบว่าระยะทางลดลงจาก 48.09 กิโลเมตร เหลือ 31.15 กิโลเมตร ลดลง 16.94 กิโลเมตร ต้นทุนเชื้อเพลิงลดลงจาก 132 บาทต่อวัน เหลือ 85.50 บาทต่อวัน ลดลง 46.50 บาทต่อวัน โดยขนส่ง 1 เที่ยวต่อวัน สามารถลดต้นทุนได้ 1,395 บาทต่อเดือน 16,740 บาทต่อปี

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นการส่งน้ำดื่ม โดยวิธีฮิวริสติกแบบประหยัด (Saving Algorithm) ด้วย VRP Solver โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วยในการวัดระยะทาง เก็บรวบรวมข้อมูลเส้นทางการเดินรถขนส่งน้ำดื่มในปัจจุบัน ได้แก่ ระยะทาง ความสามารถในการบรรทุกของรถ ต้นทุนเชื้อเพลิงจากนั้นนำวิธีฮิวริสติกมาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบที่ต้องการ ได้แก่ ผลลัพธ์ของระยะทางรวมที่สั้นที่สุดในการเดินรถขนส่งน้ำดื่ม ภายใต้ข้อจำกัดความสามารถในการบรรทุกของรถและลดค่าใช้จ่ายในการเดินรถให้ได้มากที่สุด ผลจากการศึกษา พบว่าระยะทางลดลงจาก 48.09 กิโลเมตร เหลือ 31.15 กิโลเมตร ลดลง 16.94 กิโลเมตร ต้นทุนเชื้อเพลิงลดลงจาก 132 บาทต่อวัน เหลือ 85.50 บาทต่อวัน ลดลง 46.50 บาทต่อวัน หรือ 16,740 บาทต่อปี

6. ข้อเสนอแนะ

สามารถนำไปใช้ในเชิงพานิชย์หรืออุตสาหกรรมอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งได้และไม่ซับซ้อนมาก

ข้อจำกัดของการใช้ Saving Algorithm อาจไม่เหมาะกับกรณีศึกษาที่มีความซับซ้อนสูงหรือมีข้อจำกัดด้านระยะเวลาการคำนวณ

แนวทางสำหรับการพัฒนา คือการใช้ AI หรือ metaheuristic algorithms เช่น Genetic Algorithm หรือ Ant Colony Optimization หรือ Differential Evolution เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

[1] คงเดช คำขจร และอรอุไร แสงสว่าง, การปรับปรุงเส้นทางการขนส่งโดยขั้นตอนวิธี LNS, ในการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2566, 11 - 12 พฤษภาคม 2566, จังหวัดชลบุรี

[2] วรพล อารีย์ ภานุพงศ์ กลิ่นอุบล สิปปกร กรพันธ์ ธนภัทร รัตนานนท์เสถียร และจิรัฐิติกาล คชสิทธิ์, การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง: กรณีศึกษา บริษัท เอบีซี น้ำดื่ม จำกัด, วารสารเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยทักษิณ, ปีที่ 14 ฉบับที่ 3.

[3] ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์ ดวงพร ดอนประศรี ปวีณา คลองงาม และ อัยย์ญาดา นามมี, การประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ กรณีศึกษา ตำบลเนินหอม อำเภอเมืองปราจีนบุรี, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2560, 12-15 กรกฎาคม 2560, เชียงใหม่

[4] ณัฏฐ์พัชร์ วณิชย์กุล และกนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ, การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำดื่มสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ กรณีศึกษา โรงงานน้ำดื่มดีซี, วารสารสหศาสตร์ศรีปทุม ชลบุรี (Online), ปีที่ 10, ฉบับที่ 3, กันยายน-ธันวาคม 2567

[5] Clarke, G. & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. Operations research, 12(4), pp. 568-581.

การออกแบบผังและวิเคราะห์กำลังการผลิตของโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติด้วยแบบจำลองสถานการณ์: กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มมหาวิทยาลัย

Layout Design and Production Capacity Analysis of Automated Drinking Water Plant Using Simulation Modeling: A Case Study of University Water Plant

จักรกฤษณ์ เจริญรัมย์[1*] พฤกษารัตน์ สิทธิพงค์[1] เจตวรา ต่างจิตร์[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
E-mail: jakkrid.jar@outlook.rmutr.ac.th*

Jakkrid Jarernram[1*], Preuksarat Sittipong[1], Jetwara Tangjit[1]
[1]Department of Logistics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: jakkrid.jar@outlook.rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบผังและวิเคราะห์กำลังการผลิตของโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติในสถาบันการศึกษา โดยใช้โปรแกรม FlexSim ในการจำลองกระบวนการผลิตทั้งในระบบปัจจุบันและระบบที่ได้รับการปรับปรุง เริ่มจากการศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงาน ซึ่งดำเนินการผลิตด้วยแรงงานนักศึกษาและเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ โดยได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านเวลาการผลิตในแต่ละขั้นตอน และสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบกำลังการผลิตของกระบวนการผลิต ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงผังโรงงานใหม่ตามหลักการวางผังโรงงานตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ การเพิ่มระบบอัตโนมัติ และการเพิ่มเครื่องจักรสำหรับกระบวนการผลิตขวด ส่งผลให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 601 แพ็คต่อวัน เป็น 671 แพ็คต่อวัน คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.65

คำสำคัญ: การออกแบบผังโรงงาน การจำลองสถานการณ์ กำลังการผลิต โรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ

Abstract

This study focuses on the facility layout design and production capacity analysis of an automated drinking water production plant within an academic institution. FlexSim software is utilized to simulate both the current production system and an improved system. The research begins with an assessment of the existing plant, which operates using student labor and semi-automated machinery. Data on production time for each stage of the process are collected, and a simulation model is developed to evaluate and compare production capacity. The simulation results indicate that redesigning the facility layout based on product layout principles, increasing automation, and incorporating machinery for in-house bottle production leads to an increase in production capacity from 601 packs per day to 671 packs per day, representing an 11.65% increase.

Keywords: Facility Layout Design, Simulation, Production Capacity, Automated Drinking Water Plant

1. บทนำ

การผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดในสถาบันการศึกษาเป็นกิจการที่มีความสำคัญต่อการให้บริการแก่นักศึกษาและบุคลากร อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการผลิตน้ำดื่มยังคงพึ่งพาแรงงานนักศึกษาที่มีเวลาว่างจากการเรียน และเครื่องจักรส่วนใหญ่ยังเป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของร้านค้าได้อย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมียอดการสั่งซื้อเฉลี่ย 1,300 แพ็คต่อเดือน แต่สามารถผลิตได้เพียง 1,000 แพ็คต่อเดือนโดยเฉลี่ย นอกจากนี้ การพึ่งพาการสั่งซื้อขวดเปล่าจากโรงงานภายนอกยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตและความยืดหยุ่นในการดำเนินงาน

การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตไปสู่ระบบอัตโนมัติและการติดตั้งเครื่องจักรผลิตขวดเปล่าเป็นแนวทางสำคัญในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ระบบอัตโนมัติไม่เพียงแต่ช่วยลดการพึ่งพาแรงงานนักศึกษา แต่ยังช่วยเพิ่มความแม่นยำในการผลิต ลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ และเพิ่มความเร็วในการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม การออกแบบผังโรงงานและการกำหนดกำลังการผลิตที่เหมาะสมสำหรับระบบอัตโนมัติที่มีการเพิ่มกระบวนการผลิตขวดเปล่าเป็นความท้าทายสำคัญ เนื่องจากต้องคำนึงถึงการจัดวางเครื่องจักรที่เหมาะสม การไหลของวัสดุและผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การผลิตขวดเปล่าจนถึงการจัดเก็บ รวมถึงความสามารถในการรองรับความต้องการที่เปลี่ยนแปลงของผู้บริโภค

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อออกแบบผังและการวิเคราะห์กำลังการผลิตโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองสถานการณ์ FlexSim ซึ่งสามารถจำลองการทำงานของโรงงานเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโรงงานน้ำปัจจุบันกับโรงงานน้ำใหม่ ผลลัพธ์จากการศึกษานี้จะช่วยให้สามารถทดสอบและปรับปรุงผังโรงงานก่อนการลงทุนจริง ตลอดจนเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำดื่มของมหาวิทยาลัยให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในออกแบบผังและการวิเคราะห์กำลังการผลิตโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติด้วยแบบจำลองสถานการณ์ประกอบด้วย

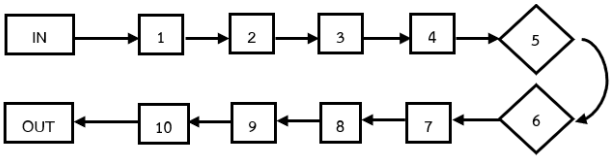
2.1 การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์

การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) คือกระบวนการออกแบบและจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือประเมินผลการใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ [1]

2.2 การวางผังโรงงาน

การวางผังโรงงานสามารถช่วยให้องค์กรมีความได้เปรียบในการแข่งขัน และในการจัดวางเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์สำหรับการผลิตจำเป็นจะต้องทราบลักษณะของโรงงาน กระบวนการผลิต รวมไปถึงความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องจักร

การวางผังตามลักษณะผลิตภัณฑ์ (Product Layout) เป็นการจัดลำดับขั้นตอนการผลิต โดยเรียงเครื่องจักรเป็นแถวตามขั้นตอนการผลิต ซึ่งมีการผลิตสินค้าแบบชนิดเดียว เหมาะสำหรับการผลิตแบบต่อเนื่อง เช่น การผลิตรถยนต์ และการผลิตกระป๋อง [2] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การวางผังตามลักษณะผลิตภัณฑ์ (Product Layout)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีทำให้เกิดความจำเป็นในการศึกษาทางเลือกของระบบเพื่อให้การออกแบบระบบการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น การจำลองสถานการณ์เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบการผลิต เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ วิเคราะห์ได้รวดเร็ว มีความเสี่ยงต่ำ และสามารถให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีความหมาย ซึ่งช่วยให้เข้าใจอิทธิพลของแต่ละองค์ประกอบภายในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3-4]

สำหรับการออกแบบผังโรงงานอัตโนมัติ การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการวางผังโรงงานจำเป็นต้องพิจารณาหลายปัจจัย เช่น การเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม การพัฒนาขั้นตอนการคัดเลือกผังที่มีประสิทธิภาพ และการบูรณาการของมนุษย์ในกระบวนการตัดสินใจ [5] มีการศึกษาการใช้โปรแกรม FlexSim สร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงผังโรงงานและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ผลการศึกษาพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถลดระยะทางการเดินทางของวัตถุดิบลงร้อยละ 81.25 และลดเวลาการเดินทางลงร้อยละ 61.76 อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงสมดุลของกระบวนการผลิตโดยการคำนวณจำนวนเครื่องจักรที่จำเป็น ซึ่งทำให้สามารถลดรอบเวลาการผลิตลงถึงร้อยละ 64 [6] นอกจากนี้ ยังมีการใช้โปรแกรม FlexSim ในการออกแบบและวิเคราะห์กระบวนการผลิต โดยใช้แนวทาง SLP ในการพัฒนาและปรับปรุงผังโรงงาน พร้อมกับการจำลองเพื่อทดสอบและเพิ่มประสิทธิภาพกำลังการผลิต ผลการศึกษาพบว่าโรงงานที่ได้รับการออกแบบใหม่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตต่อปีจาก 69,120 ตัน เป็น 95,328 ตัน อีกทั้งยังช่วยให้การใช้พื้นที่และทรัพยากรของสถานีงานต่างๆ มีประสิทธิภาพสูงขึ้น [7]

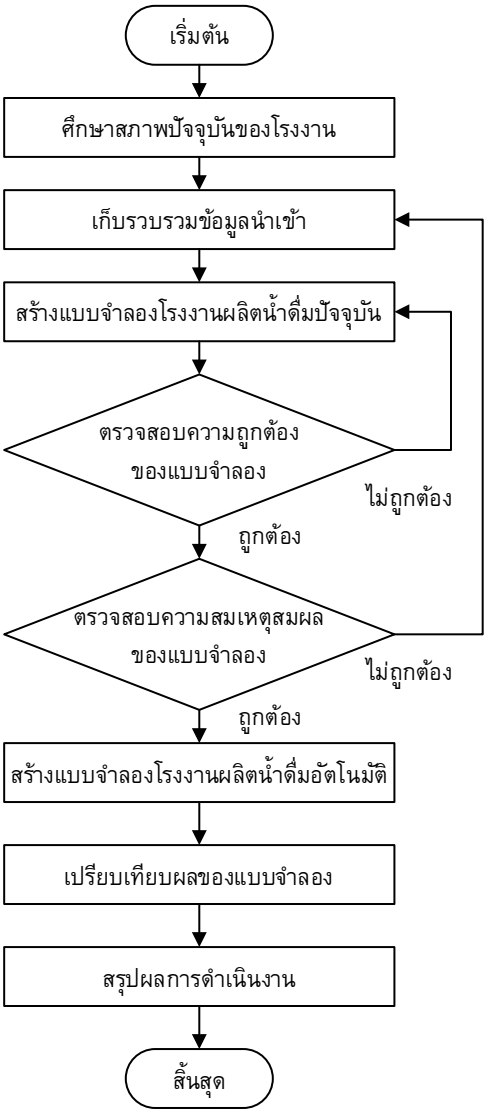
ในบริบทของการออกแบบระบบผลิตน้ำดื่มของสถาบันการศึกษา พบว่าการปรับปรุงผังโรงงานสามารถช่วยลดระยะทางการขนส่งวัสดุได้ถึงร้อยละ 59 โดยใช้หลักการ Systematic Layout Planning (SLP) เพื่อวิเคราะห์และออกแบบทางเลือกที่เหมาะสมกับพื้นที่การผลิต [8] นอกจากนี้ งานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบผังการผลิตในอุตสาหกรรม

เครื่องนุ่งห่มได้ใช้วิธี SLP ร่วมกับการจำลองด้วย FlexSim เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการผลิตและประสิทธิภาพของการไหลของวัสดุ พบว่าการปรับผังใหม่ช่วยเพิ่มผลผลิตได้ถึงร้อยละ 11.4 [9]

จากงานวิจัยเหล่านี้ ชี้ให้เห็นว่าการใช้แบบจำลองสถานการณ์ในการออกแบบและวิเคราะห์ผังโรงงานสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และปรับปรุงการไหลของวัสดุได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ

3. วิธีการดำเนินงาน

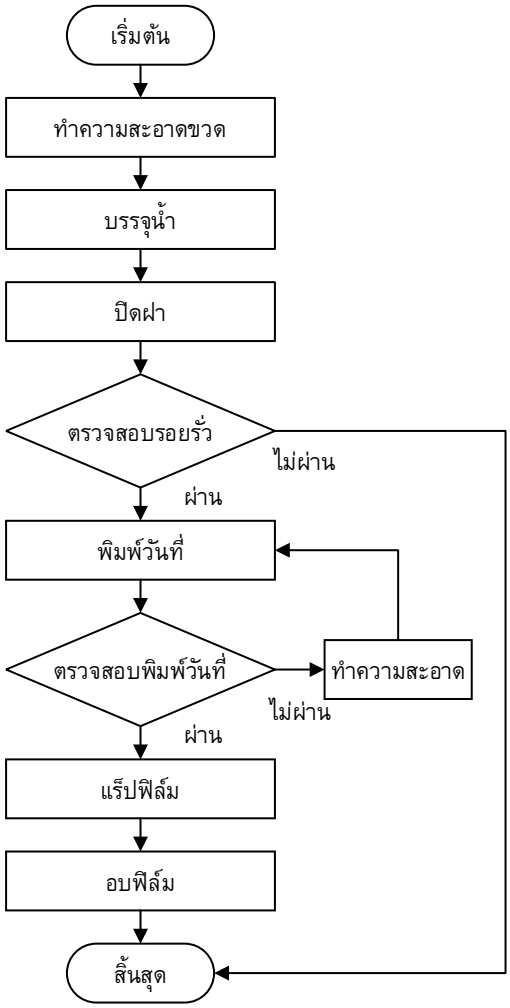
งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบผังและการวิเคราะห์กำลังการผลิตโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ โดยพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์โรงงานผลิตน้ำดื่มปัจจุบันและโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติด้วยโปรแกรม FlexSim วิธีการดำเนินงานประกอบด้วยขั้นตอน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วิธีการดำเนินงานการพัฒนาแบบจำลอง

3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงาน

ปัจจุบัน โรงงานน้ำของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ดำเนินการผลิตน้ำดื่มขนาด 600 มิลลิลิตร โดยใช้แรงงานนักศึกษาจำนวน 5 คน ทั้งนี้ กระบวนการผลิตเป็นแบบผลิตเพื่อสต็อก (Made-to-Stock) เพื่อจำหน่ายให้กับลูกค้าเป็นหลัก ขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มปัจจุบัน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มปัจจุบัน

3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลนำเข้า

การเก็บรวบรวมข้อมูลเวลาการผลิตของการผลิตน้ำดื่ม แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ 1.ข้อมูลค่าคงที่ (Deterministic Data) เป็นเวลาของการผลิตที่มีการควบคุมด้วยเครื่องจักร สำหรับกระบวนการทำความสะอาดขวด บรรจุน้ำ และปิดฝา ทำการจับเวลารวมกันเนื่องจากผลิตในเครื่องจักรเดียวกัน [10] และข้อมูลเวลาการผลิตมาตรฐาน (Standard Time) เป็นเวลาการผลิตที่ผลิตโดยนักศึกษาในกระบวนการ

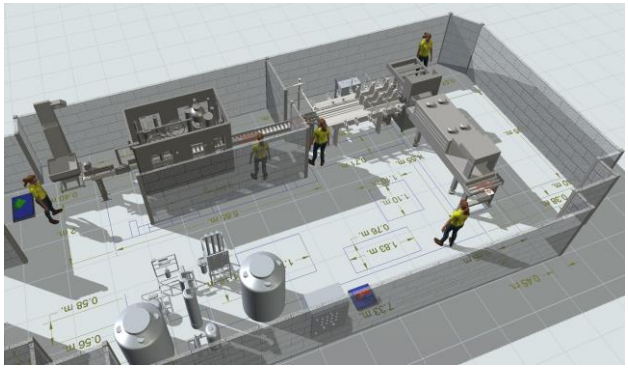
ตรวจสอบรอยรั่ว และตรวจสอบพิมพ์วันที่ ข้อมูลเวลาการผลิตน้ำดื่มโรงงานปัจจุบัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลเวลาการผลิตน้ำดื่มโรงงานปัจจุบัน

กระบวนการผลิต	เวลาการผลิต (วินาที)
ทำความสะอาดขวด บรรจุน้ำ และปิดฝา	3.80
ตรวจสอบรอยรั่ว	1.58
พิมพ์วันที่	0.20
ตรวจสอบพิมพ์วันที่	1.36
แร็ปฟิล์ม	5.07
อบฟิล์ม	35.05

3.3 สร้างแบบจำลองโรงงานน้ำปัจจุบัน

จากศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานและเก็บรวบรวมข้อมูลนำเข้ามาใช้ในการสร้างแบบจำลองโรงงานน้ำปัจจุบันด้วยโปรแกรม FlexSim ให้สามารถเป็นตัวแทนของระบบจริง เพื่อนำไปเป็นต้นแบบในการออกแบบผังโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ และเปรียบเทียบกำลังการผลิตแบบจำลองโรงงานผลิตน้ำดื่มปัจจุบัน ดังรูปที่ 4



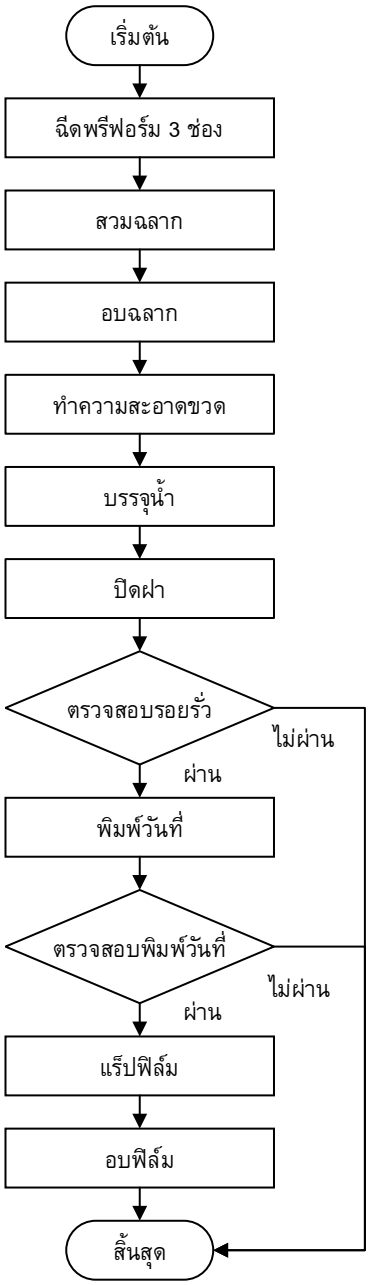
รูปที่ 4 แบบจำลองโรงงานผลิตน้ำดื่มปัจจุบัน

3.4 ตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองโรงงานผลิตน้ำดื่มปัจจุบัน ดังรูปที่ 4 พบว่าแบบจำลองไม่มีการแจ้งเตือนข้อผิดพลาด มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกระบวนการผลิตจริง และสามารถเป็นตัวแทนของระบบจริงได้ [10] โดยมีตัวชี้วัดคือกำลังการผลิตต่อวัน สำหรับกระบวนการผลิตปัจจุบันมีกำลังการผลิต 608 แพ็คต่อวัน และแบบจำลองโรงงานน้ำปัจจุบันมีกำลังการผลิต 601 แพ็คต่อวัน แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับระบบการผลิตจริงคิดเป็นร้อยละ 98.85

3.5 สร้างแบบจำลองโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ

การสร้างแบบจำลองโรงงานผลิตน้ำอัตโนมัติในงานวิจัยนี้ ออกแบบโดยใช้หลักการวางผังโรงงานตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นการจัดลำดับขั้นตอนการผลิตโดยเรียงเครื่องจักรตามกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน [2] โดยคำนึงถึงระยะทางการเดินทางของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ เส้นทางการขนย้าย และระยะห่างระหว่างสถานีต่าง ๆ ขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ ดังรูปที่ 5



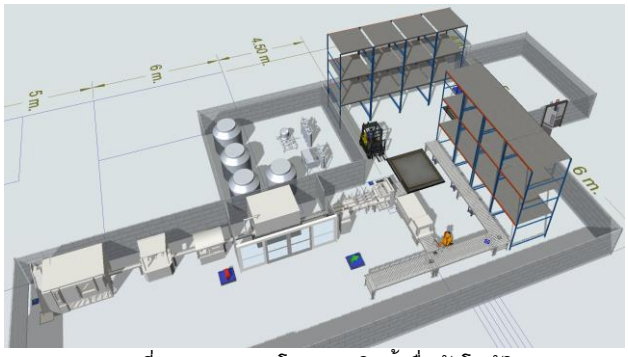
รูปที่ 5 ขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ

ในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติได้เพิ่มเครื่องจักร 3 เครื่องในการผลิตขวดเอง ได้แก่ เครื่องฉีดพรีฟอร์ม เครื่องสวมฉลาก เครื่องอบฉลาก โดยใช้เวลาการผลิตจากผู้ผลิตเครื่องจักร และใช้กล้องตรวจสอบรอยรั่ว ตรวจสอบพิมพ์วันที่ บนสายพานลำเลียง หากมีของเสียจะดีดออกจากสายพานทันที ข้อมูลเวลาการผลิตน้ำดื่มโรงงานอัตโนมัติ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลเวลาการผลิตน้ำดื่มโรงงานอัตโนมัติ

กระบวนการผลิต	เวลาการผลิต (วินาที)
ฉีดพรีฟอร์ม 3 ช่อง	20
สวมฉลาก	0.6
อบฉลาก	8
ทำความสะอาดขวด บรรจุน้ำ และปิดฝา	3.80
ตรวจสอบรอยรั่ว	0.50
พิมพ์วันที่	0.20
ตรวจสอบพิมพ์วันที่	0.50
แร็ปฟิล์ม	5.07
อบฟิล์ม	35.05

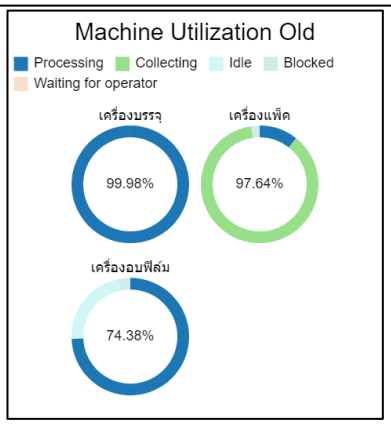
ในส่วนการคุมเครื่องจักรและตรวจสอบคุณภาพได้มีการเพิ่มระบบอัตโนมัติ โดยไม่ต้องใช้คนในการทำงาน และมีแขนกลสำหรับยกแพ็คน้ำลงพาเลท เพื่อจัดเก็บในคลังสินค้าอัตโนมัติ แบบจำลองโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ ดังรูปที่ 6



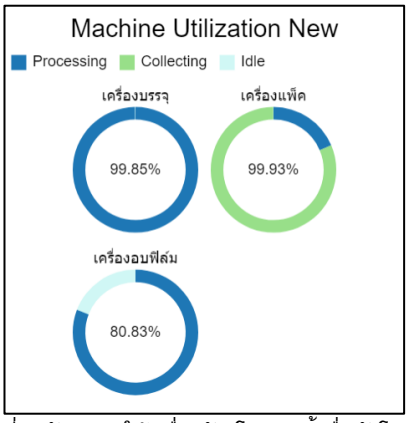
รูปที่ 6 แบบจำลองโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ

4. วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

จากการสร้างแบบจำลองโรงงานน้ำดื่มปัจจุบันและโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองสถานการณ์ FlexSim วัดอัตราการใช้เครื่องจักร (Machine Utilization) ของเครื่องจักรหลักในการผลิตน้ำดื่ม ได้แก่ เครื่องบรรจุ เครื่องแพ็ค เครื่องอบฟิล์ม ผลลัพธ์อัตราการใช้เครื่องจักร ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8



รูปที่ 7 อัตราการใช้เครื่องจักรโรงงานน้ำดื่มปัจจุบัน



รูปที่ 8 อัตราการใช้เครื่องจักรโรงงานน้ำดื่มอัตโนมัติ

จากการวัดอัตราการใช้เครื่องจักรโรงงานน้ำดื่มปัจจุบันเทียบกับอัตราการใช้เครื่องจักรโรงงานน้ำดื่มอัตโนมัติ พบว่าโรงงานน้ำดื่มปัจจุบันเครื่องแพ็ค และเครื่องอบฟิล์มมีอัตราการใช้เครื่องจักรร้อยละ 97.64 และ 74.38 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าโรงงานน้ำดื่มอัตโนมัติที่มีอัตราการใช้เครื่องจักรเครื่องแพ็ค และเครื่องอบฟิล์มร้อยละ 99.93 และ 80.83 ตามลำดับ เนื่องจากโรงงานน้ำดื่มอัตโนมัติ มีเวลาการตรวจสอบรอยรั่วและตรวจสอบพิมพ์วันที่น้อยลง ส่งผลให้ลดเวลาการรอเข้าเครื่องแพ็ค และยังส่งผลต่อการลดเวลาการรอของเครื่องอบฟิล์มในกระบวนการถัดไป ผลลัพธ์ของกำลังการผลิต จากการสร้างแบบจำลองโรงงานน้ำดื่มปัจจุบันและโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบกำลังการผลิตต่อวันระหว่างโรงงานผลิตน้ำดื่มปัจจุบันกับโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ

กำลังการผลิต (แพ็คต่อวัน)	
โรงงานผลิตน้ำดื่มปัจจุบัน	โรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ
601	671

จากตารางที่ 3 กำลังการผลิตโรงงานผลิตน้ำดื่มปัจจุบัน 601 แพ็คต่อวัน และโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติ 671 แพ็คต่อวัน คิดเป็นการ

เพิ่มขึ้นร้อยละ 11.65 ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้ระบบอัตโนมัติที่ช่วยลดข้อจำกัดด้านแรงงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักร

นอกจากนี้ การออกแบบผังโรงงานใหม่โดยใช้หลักการวางผังโรงงานตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ และการเพิ่มเครื่องจักรในการผลิตขวดเอง ช่วยลดระยะเวลาการผลิต ลดความสูญเสียจากข้อผิดพลาดของมนุษย์ และเพิ่มความยืดหยุ่นในการดำเนินงาน โดยไม่ต้องพึ่งพาการจัดหาขวดจากภายนอก ซึ่งช่วยลดต้นทุนในระยะยาว

5. สรุป

การศึกษานี้มุ่งเน้นการออกแบบผังและวิเคราะห์กำลังการผลิตของโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติในมหาวิทยาลัย โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโรงงานปัจจุบันและโรงงานที่ได้รับการปรับปรุง ผลการศึกษาพบว่า

1.การใช้โปรแกรม FlexSim ในการสร้างแบบจำลองโรงงานช่วยให้สามารถทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบก่อนการลงทุนจริง

2.ระบบอัตโนมัติสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ร้อยละ 11.65 โดยไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานในระหว่างการผลิต

3.การออกแบบผังโรงงานใหม่ตามหลักการวางผังโรงงานตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ ทำให้กระบวนการผลิตมีความเป็นระบบมากขึ้น ลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากแรงงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน

4.การเพิ่มเครื่องจักรสำหรับผลิตขวดเองช่วยลดต้นทุนการผลิตในระยะยาว และลดการพึ่งพาผู้จัดจำหน่ายภายนอก

ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโรงงานผลิตน้ำดื่มอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และเป็นต้นแบบสำหรับการนำระบบอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้ในโรงงานผลิตน้ำดื่มอื่น ๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และขอขอบคุณนักศึกษาวิศวกรรมโลจิสติกส์ที่ให้ความช่วยเหลือและเก็บรวบรวมข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] ประจวบ กล่อมจิตร และกัญจนา ทองสนิท. การจำลองสถานการณ์เบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 2, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2555.

[2] สมศักดิ์ ตรีสัตย์. การออกแบบและวางผังโรงงาน, พิมพ์ครั้งที่ 16, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547

[3] D. Mourtzis. 2020." Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends". International Journal of Production Research, Vol. 58 (7): 1927-1949.

[4] A. Shojaeinasab, T. Charter, M. Jalayer, M. Khadivi, O. Ogunfowora, N. Raiyani and H. Najjaran. 2022." Intelligent manufacturing execution systems: A systematic review". Journal of manufacturing systems, Vol. 62: 503-522.

[5] P. Burggraef, T. Adlon, V. Hahn and T. Schulz-Isenbeck. 2021. “Fields of action towards automated facility layout design and optimization in factory planning–A systematic literature review”. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 35: 864-871.

[6] T. J. Chen, Y. C. Lee and C. H. Chiang. 2020. “Optimizing production layout and capacity via FlexSim–A case study of Y factory”. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 847 (1): 012029.

[7] A. H. Nurudeen, I. M. Dagwa, I. B. Ugheoke and I. Dauda. 2024." Facility Layout Design, Simulation, and Optimization for Kaolin Beneficiation Plant Using Flexsim". Mechanical Technology and Engineering Insights, Vol. 1 (1): 15-27.

[8] A. Choirun, A. Brilliantina and D. Triardianto. 2024." Facility layout design improvement in bottled drinking water at teaching factory". IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 1338 (1): 012070.

[9] J. Laurent, L. Gozali, R. Farrel and C. O. Doaly. 2022." Production Layout Replanning Using Systematical Layout Planning with Shared Storage Method Analysis and Flexsim Simulation in Garment and Textile Company". Journal of Industrial Engineering, Vol. 12 (3): 2159-2171.

[10] A.C. Christopher. Simulation modeling handbook: a practical approach, CRC PRESS, 2003.

การปรับปรุงกระบวนการควบรวมข้าวสารบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัม

Improvement of the 5-Kilogram Packaged Rice Bundling Process

พฤกษารัตน์ สิทธิพงค์[1*] จักรกฤษณ์ เจริญรัมย์[1] สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
E-mail: preuksarat.sit@outlook.rmutr.ac.th*

Preuksarat Sittipong[1*], Jakkrid Jarernram[1], Sirichai Jirawongnuson[1]
[1]Department of Logistics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: preuksarat.sit@outlook.rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการควบรวมข้าวสารบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัม โดยใช้การวิเคราะห์ Why-Why เพื่อค้นหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาและประยุกต์ใช้เทคนิคลีนเพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการ จากการศึกษาพบว่ากระบวนการควบรวมสินค้ามีการใช้เวลาในการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์สูงถึง 300 นาทีต่อวัน และก่อให้เกิดบรรจุภัณฑ์เสียจำนวน 60 ใบต่อวัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องควบรวม และทดลองเพิ่มขนาดของม้วนบรรจุภัณฑ์จากเดิมที่มีความหนา 280 มิลลิเมตร เป็น 380 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่า แนวทางการปรับปรุงดังกล่าวช่วยลดความถี่ในการเปลี่ยนม้วนได้ถึงร้อยละ 50 ลดบรรจุภัณฑ์เสียลงร้อยละ 50 และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ร้อยละ 4.55 ต่อปี

คำสำคัญ: การปรับปรุง กำลังการผลิต เครื่องควบรวม ข้าวสาร

Abstract

This research aims to improve the efficiency of the bundling process for 5-kilogram packaged rice by applying Why-Why Analysis to identify the root causes of problems and implementing Lean techniques to reduce waste generated in the process. The study revealed that the bundling process required up to 300 minutes per day for packaging roll changes and resulted in the loss of approximately 60 packaging units per day. To address this issue, the researchers evaluated the performance of the bundling machine and conducted an experiment by increasing the roll thickness from 280 millimeters to 380 millimeters. The results showed that this improvement reduced the frequency of roll changes by 50%, decreased packaging waste by 50%, and increased production capacity by 4.55% per year.

Keywords: Improvement, Production Capacity, Bundling Machine, Rice

1. บทนำ

"ข้าว" เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย สร้างรายได้เข้าประเทศอย่างต่อเนื่อง ในปี 2566 ไทยส่งออกข้าวเป็นมูลค่ามากกว่า 1.78 แสนล้านบาท ส่งผลต่อการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ [1] ปัจจุบันข้าวสารที่จำหน่ายในท้องตลาดมีหลายขนาดบรรจุภัณฑ์ เพื่อรองรับความต้องการที่หลากหลายของผู้บริโภค ทั้งขนาดเล็ก เช่น 1 กิโลกรัม และ 2 กิโลกรัม สำหรับครัวเรือนขนาดเล็ก ไปจนถึงขนาดกลางและใหญ่ เช่น 5 กิโลกรัม และ 25 กิโลกรัม ซึ่งเหมาะสำหรับร้านอาหาร โรงแรม และอุตสาหกรรมที่ใช้ข้าวในปริมาณมาก [2] โรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตและผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ของประเทศไทย ผลิตและจำหน่ายข้าวหลากหลายขนาดโดยเฉพาะข้าวสารบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัมเป็นขนาดที่ได้รับความนิยมมากในตลาดค้าปลีกและส่งออก เนื่องจากมีปริมาณที่เหมาะสมต่อการบริโภคและการขนส่ง ปัจจุบันมีกำลังการผลิตไม่ทันต่อความต้องการของลูกค้า ส่งผลให้เกิดค่าปรับจากการส่งสินค้าไม่ทันตามกำหนดและเสียโอกาสในการขายสินค้า

กระบวนการควบรวมสินค้า (Bundling Process) เป็นกระบวนการหนึ่งในสายการผลิตที่มีความสำคัญซึ่งจะต้องดำเนินการควบรวมสินค้าให้ได้จำนวนตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนด เพื่อความสะดวกต่อการขนย้ายและการจัดเรียงสินค้า กระบวนการควบรวมเป็นการแพ็กสินค้าจำนวนหนึ่งเข้าด้วยกันเป็นชุด อย่างไรก็ตาม พบว่ากระบวนการควบรวมยังคงมีปัญหาคอขวดที่สำคัญ คือ ความถี่ในการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์ซึ่งทำให้ต้องหยุดเครื่องจักรบ่อยครั้ง ส่งผลให้สูญเสียเวลาในการผลิตและเกิดของเสียจากการเปลี่ยนม้วน

จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการควบรวมให้สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง ลดความสูญเปล่า และเพิ่มกำลังการผลิตโดยรวมของโรงงาน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดและเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปัญหาและการลดความสูญเปล่ามาประยุกต์ใช้ โดยมีกรอบแนวคิดดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Why-Why Analysis

Why-Why Analysis เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยการตั้งคำถามซ้ำ ๆ ว่า "ทำไม" อย่างน้อย 5 ครั้ง เพื่อค้นหาสาเหตุรากเหง้าที่แท้จริงของปัญหา [3]

2.1.2 ความสูญเปล่า 7 ประการ

ความสูญเปล่า 7 ประการเป็นหลักการและแนวคิดเพื่อใช้ประยุกต์และพัฒนากระบวนการทำงานเพื่อขจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน โดยความสูญเปล่าของกระบวนการทำงานมี 7 ประการ [6] ดังนี้

1) ความสูญเปล่าเนื่องจากการผลิตมากเกินไป (Over Production)
2) ความสูญเปล่าเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory)
3) ความสูญเปล่าเนื่องจากการขนส่ง (Transportation)
4) ความสูญเปล่าเนื่องจากการเคลื่อนไหว (Motion)
5) ความสูญเปล่าเนื่องจากกระบวนการผลิต (Processing)
6) ความสูญเปล่าเนื่องจากการรอคอย (Delay)
7) ความสูญเปล่าเนื่องจากของเสีย (Defect)

2.1.3 เทคนิคลีน (Lean)

เทคนิคลีนเป็นการปรับปรุงการทำงานให้มีประสิทธิภาพผ่านการลดกระบวนการทำงานที่ไม่สร้างมูลค่าพร้อมกับปรับปรุงให้เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กำจัดความสูญเปล่าของกระบวนการทำงาน [7]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตโดยการลดความสูญเปล่าได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในหลายอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตที่มีขั้นตอนที่อาจเกิดคอขวดและความสูญเปล่าในระบบการผลิต งานวิจัยของภักดีและไพฑูรย์ (2567) ได้แสดงให้เห็นว่าการนำเทคนิค ECRS มาประยุกต์ร่วมกับการวิเคราะห์ Why-Why Analysis สามารถระบุสาเหตุรากเหง้าของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการค้นหาเอกสารได้อย่างแม่นยำ ซึ่งช่วยลดเวลาที่ใช้ในการค้นหาและเพิ่มความรวดเร็วในการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต [3] ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าหากสามารถนำแนวทางการลดความสูญเปล่าที่เกิดจากกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอื่น ๆ ก็อาจส่งผลให้เกิดการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญได้

ในด้านของการประยุกต์ใช้เทคนิคลีนในการปรับปรุงกระบวนการผลิต กิตติชัยและภัทรพงษ์ (2560) ได้ทำการศึกษาในบริบทของอุตสาหกรรมการผลิต โดยนำแนวคิดลีนมาประยุกต์ใช้เพื่อลดกิจกรรมที่ไม่จำเป็นในกระบวนการผลิตของบริษัท ยู.พี.เอส.อุตสาหกรรม จำกัด ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการลดของเสียและการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ถึงร้อยละ 28 [4]

นอกจากนี้ งานวิจัยของจุฑาทิพย์ (2565) แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้แนวคิดลีนและการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าสามารถนำไปสู่การลดความสูญเปล่าและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้ [5]

การศึกษาในด้านการปรับปรุงกระบวนการผลิตยางพาราแผ่นเรียบโดยภาณุวัฒน์และนลิน (2566) ยังได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นในกระบวนการผลิตช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ [6] งานวิจัยนี้ช่วยสนับสนุนแนวคิดว่าการลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและกำลัง

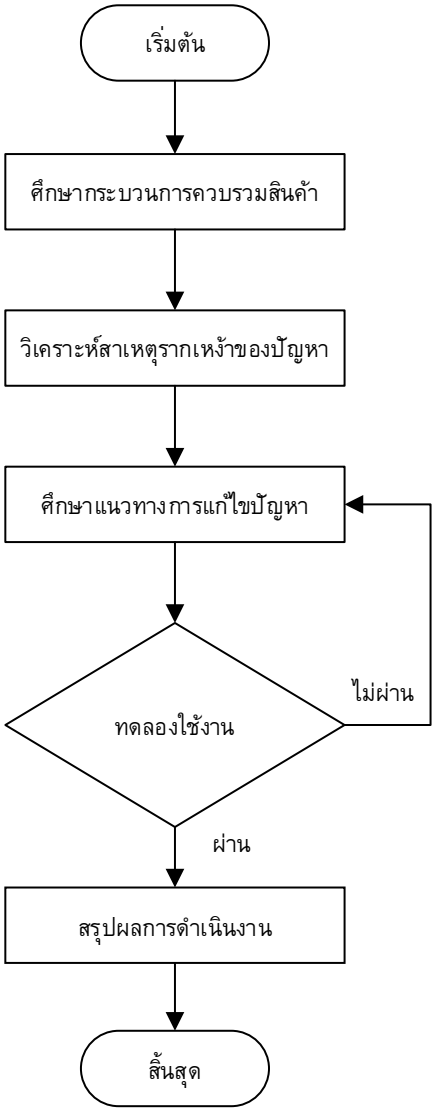
การผลิตโดยรวม ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของงานวิจัยในการปรับปรุงกระบวนการควบรวมสินค้า

งานวิจัยของเมธาวินและคณะ (2567) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคลีนในกระบวนการผลิตใบยาสูบ แสดงให้เห็นว่าการลดขั้นตอนการทำงานและการขจัดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าสามารถลดเวลาและระยะทางในการทำงานได้อย่างมีนัยสำคัญ [7] ผลการศึกษานี้จึงเป็นตัวอย่างที่ดีในการประยุกต์ใช้แนวคิดลีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต

จากงานวิจัยทั้งหมดข้างต้น พบว่าแนวคิดการวิเคราะห์ Why-Why Analysis ร่วมกับเทคนิคลีนในการลดความสูญเปล่า 7 ประการ เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการลดความสูญเปล่าและเพิ่มกำลังการผลิต โดยงานวิจัยนี้จะนำแนวทางดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับ การปรับปรุงกระบวนการควบรวมสินค้าข้าวสารบรรจุถุง 5 กิโลกรัมของโรงงานกรณีศึกษา

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

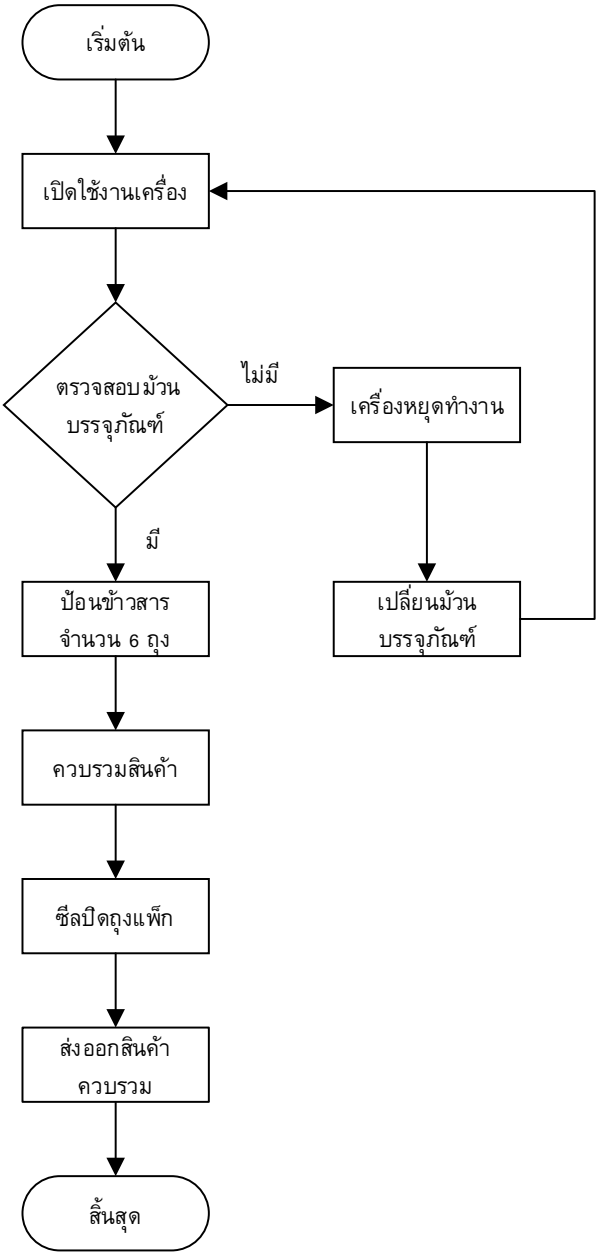
งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงกระบวนการควบรวมข้าวสารบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัม เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัย ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษากระบวนการควบรวมสินค้า

กระบวนควบรวมสินค้าเป็นกระบวนการแพ็กข้าวสารบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัมจำนวน 6 ถุงเข้าด้วยกันโดยใช้ถุงพลาสติกจากนั้นซีลปิดถุงแพ็ก แสดงแผนผังกระบวนการควบรวมสินค้าดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังกระบวนการควบรวมสินค้า

จากการศึกษากระบวนการควบรวมสินค้าในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาพบว่า เครื่องควบรวมสินค้าเป็นเครื่องแพ็กสินค้าอัตโนมัติใช้เวลาในการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด 7 วินาที มีการใช้ม้วนพลาสติกหรือม้วนบรรจุภัณฑ์ขนาด 60 กิโลกรัม มีความหนา 280 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่ผู้ผลิตผลิตขายให้กับโรงงานเป็นมาตรฐานปกติ ตามที่ผู้ผลิตเครื่องควบรวมกำหนดไว้ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ม้วนพลาสติกหรือม้วนบรรจุภัณฑ์

ปัจจุบันมีการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์จำนวน 10 ม้วนต่อวันต่อสายการผลิต โดยเปลี่ยนม้วนทุก ๆ 2 ชั่วโมง ผู้วิจัยจึงได้ทำการจับเวลาในการเปลี่ยนม้วนโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเป็นจำนวน 30 รอบ พบว่าพนักงานใช้เวลาในการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์เฉลี่ย 10 นาทีต่อครั้ง คิดเป็น 100 นาทีต่อวันต่อสายการผลิต อีกทั้งยังพบว่าสูญเสียบรรจุภัณฑ์จากการเปลี่ยนม้วนจำนวน 2 ใบต่อครั้ง (1 ใบเท่ากับ 6.42 บาท) คิดเป็นเงิน 128.40 บาทต่อสายการผลิต ซึ่งในหนึ่งวันโรงงานกรณีศึกษามีการเดินสายการผลิตจำนวน 3 สายการผลิต มีเวลาการทำงาน 20 ชั่วโมงต่อวัน วันทำงานจำนวน 312 วันต่อปี มีกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมงต่อสายการผลิต สามารถสรุปความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์บ่อยครั้งได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสูญเปล่าที่เกิดจากการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์บ่อยครั้งก่อนปรับปรุง

รายละเอียด	หน่วย	ก่อนปรับปรุง
เวลาในการเปลี่ยนม้วน	นาที/วัน	300
บรรจุภัณฑ์เสีย	ใบต่อวัน	60
มูลค่าบรรจุภัณฑ์เสีย	บาทต่อปี	120,182
กำลังการผลิต	ตัน/ปี	171,600

จากตารางที่ 1 กำลังการผลิตก่อนปรับปรุง 171,600 ตันต่อปี คำนวณจากในหนึ่งวันโรงงานกรณีศึกษามีกำลังการผลิต 60 ชั่วโมงต่อวัน เสียเวลาในการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์ 300 นาทีต่อวัน ดังนั้นคงเหลือจำนวนชั่วโมงการเดินเครื่องจักร 55 ชั่วโมงต่อวัน คูณเครื่องจักรมีกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง คูณ วันทำงานจำนวน 312 วันต่อปี

3.2 วิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหา

ปัญหาที่พบของกระบวนการควบรวมคือ มีการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์บ่อยครั้ง ผู้วิจัยจึงได้ใช้หลักการ Why-Why Analysis เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาดังกล่าว โดยแสดงคำถามและคำตอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหาโดยใช้หลักการ Why-Why Analysis

ลำดับ	คำถาม	คำตอบ
1	ทำไมมีการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์บ่อยครั้ง	เพราะม้วนบรรจุภัณฑ์หมดเร็วในกระบวนการควบรวมสินค้า
2	ทำไมม้วนบรรจุภัณฑ์หมดเร็ว	เพราะม้วนบรรจุภัณฑ์มีขนาดและความหนาน้อย ทำให้ใช้ได้น้อยในแต่ละรอบการควบรวม
3	ทำไมม้วนบรรจุภัณฑ์ถึงมีขนาดเล็กและความหนาน้อย	เพราะโรงงานใช้ม้วนบรรจุภัณฑ์ขนาดตามที่ผู้ผลิตผลิตขายให้โรงงานเป็นมาตรฐานปกติ ตามที่ผู้ผลิตเครื่องควบรวมกำหนดไว้
4	ทำไมจึงต้องใช้ม้วนบรรจุภัณฑ์ขนาดมาตรฐานปกติตามที่ผู้ผลิตเครื่องควบรวมกำหนดไว้	เพราะไม่มีการทบทวนหรือปรับปรุงขนาดม้วนตามประสิทธิภาพของเครื่องจักร

จากตารางที่ 2 สรุปได้ว่าสาเหตุรากเหง้าของปัญหาเกิดจากไม่มีการทบทวนหรือปรับปรุงขนาดม้วนตามประสิทธิภาพของเครื่องจักร ซึ่งส่งผลให้ต้องหยุดสายการผลิตเพื่อเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์บ่อยครั้ง การหยุดสายการผลิตในลักษณะนี้ก่อให้เกิดช่วงเวลาที่เครื่องจักรไม่สามารถดำเนินการผลิตได้ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มในกระบวนการผลิตและตามแนวคิดของลีน ถือเป็นความสูญเปล่าที่เกิดจากกระบวนการทำงานที่ไม่จำเป็น (Processing) ที่ควรได้รับการปรับปรุงเพื่อลดผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตโดยรวม

3.3 ศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหา

ผู้วิจัยจึงใช้เทคนิคลีนในการลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นกระบวนการควบรวมสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต จึงได้ทำการทวนสอบประสิทธิภาพของเครื่องควบรวมสินค้า โดยทำการวัดระยะห่างระหว่างแกนใส่ม้วนบรรจุภัณฑ์กับแกนดึงม้วนบรรจุภัณฑ์พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุดที่เครื่องสามารถรองรับได้อยู่ที่ 380 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วัดระยะห่างระหว่างแกนใส่ม้วนบรรจุภัณฑ์กับแกนดึงม้วนบรรจุภัณฑ์

ผู้วิจัยจึงให้ผู้ผลิตผลิตม้วนบรรจุภัณฑ์ขนาด 380 มิลลิเมตร จากนั้นทดลองติดตั้งใช้งานและทดสอบระบบดึงถุงของเครื่องจักรดังรูปที่ 5 จากการทดลองใช้งานพบว่าเครื่องควบรวมสามารถทำงานได้ตามปกติ



รูปที่ 5 ทดลองใช้งานม้วนบรรจุภัณฑ์ขนาด 380 มิลลิเมตร

4. ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานปรับปรุงขนาดของม้วนบรรจุภัณฑ์ในกระบวนการควบรวมสินค้าข้าวสารบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัม พบว่าผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงบวกอย่างชัดเจน ทั้งในด้านเวลา บรรจุภัณฑ์เสีย และกำลังการผลิต โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การลดระยะเวลาในการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์ ภายหลังจากการเปลี่ยนมาใช้ม้วนขนาดใหม่ที่มีความหนา 380 มิลลิเมตร จำนวนครั้งในการเปลี่ยนม้วนลดลงจาก 10 ครั้ง เหลือ 5 ครั้งต่อวันต่อสายการผลิต ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนม้วนลดลงจาก 300 นาที เหลือเพียง 150 นาทีต่อวัน หรือคิดเป็นการลดลงร้อยละ 50

2. การลดของเสียจากบรรจุภัณฑ์ จำนวนบรรจุภัณฑ์ที่เสียจากการเปลี่ยนม้วนลดลงจาก 60 ใบ เหลือ 30 ใบต่อวัน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 50 โดยของเสียที่ลดลงคิดเป็นมูลค่า 60,091 บาทต่อปี เมื่อคิดราคาต่อใบที่ 6.42 บาท

3. การเพิ่มกำลังการผลิต จากข้อมูลการผลิตของโรงงานพบว่าการลดเวลาหยุดผลิตจากการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์ช่วยให้สายการผลิตสามารถดำเนินการได้ต่อเนื่องมากขึ้น ส่งผลให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 171,600 ตัน เป็น 179,400 ตันต่อปี หรือเพิ่มขึ้น 7,800 ตัน คิดเป็นร้อยละ 4.55 ต่อปี คิดเป็นมูลค่าจำหน่ายข้าวที่เพิ่มขึ้น 159.12 ล้านบาทต่อปี เมื่อคิดราคาขายข้าวสารเฉลี่ย 20.40 บาทต่อกิโลกรัม

ในหนึ่งวันโรงงานกรณีศึกษามีการเดินสายการผลิตจำนวน 3 สายการผลิต สามารถเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังการปรับปรุงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการดำเนินการงานก่อนและหลังการปรับปรุง

รายละเอียด	หน่วย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ส่วนต่าง
เวลาในการเปลี่ยนม้วน	นาทีต่อวัน	300	150	-150 (ลดลงร้อยละ 50)
บรรจุภัณฑ์เสีย	ใบต่อวัน	60	30	-30 (ลดลงร้อยละ 50)
มูลค่าบรรจุภัณฑ์เสีย	บาทต่อปี	120,182	60,091	-60,091 (ลดลงร้อยละ 50)
กำลังการผลิต	ตันต่อปี	171,600	179,400	+7,800 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.55)

จากผลการดำเนินงานสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มขนาดของม้วนบรรจุภัณฑ์เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการลดความสูญเปล่าและเพิ่มกำลังการผลิต

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานวิจัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการควบรวมข้าวสารบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัม โดยการเพิ่มขนาดของม้วนบรรจุภัณฑ์ให้มีความหนามากขึ้น พบว่าการปรับปรุงดังกล่าวสามารถลดปัญหาคอขวดที่เกิดจากความถี่ในการเปลี่ยนม้วนบรรจุภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดระยะเวลาหยุดเครื่องจักร ลดของเสียจากบรรจุภัณฑ์ และเพิ่มกำลังการผลิตอย่างชัดเจน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ลดระยะเวลาในการเปลี่ยนม้วนได้ร้อยละ 50
2. ลดบรรจุภัณฑ์เสียลงร้อยละ 50
3. เพิ่มกำลังการผลิตได้ร้อยละ 4.55 ต่อปี
4. สร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจให้กับโรงงานได้กว่า 159 ล้านบาทต่อปี

ผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับสายการผลิตข้าวสารที่ขนาดต่าง ๆ หรือผลิตภัณฑ์อื่น เช่น แป้ง น้ำตาล เป็นต้น และควรศึกษาความสามารถของเครื่องจักรเมื่อมีการเพิ่มขนาดม้วนบรรจุภัณฑ์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และขอขอบคุณพนักงานโรงงานกรณีศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือและเก็บรวบรวมข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. 2567. การศึกษา: แนวทางการสร้างเสถียรภาพการค้าสินค้าข้าว. สืบค้นจาก https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=1-2.htm

[2] Siranee Makloy. 2021. “Marketing Factors Influencing People's Decision-Making Behavior of Packaged Thai Jasmine Rice Products in Samut Sakhon Province”. Journal of Roi Kaensarn Academi, Vol. 6: 325.

[3] ภักดี ใจซื่อ และไพฑูรย์ ศิริโอพาร. 2567. “การลดเวลาค้นหาเอกสารคุณภาพด้วยเทคนิคทางวิศวกรรม ECRS พร้อมพัฒนาฐานข้อมูลการจัดเก็บเอกสารอย่างเป็นระบบ.” วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, ปีที่ 10, ฉบับที่ 2: 74-83.

[4] กิตติชัย อธิกุลรัตน์และภัทรพงษ์ ภาคภูมิ. 2560. “การประยุกต์ระบบการผลิตแบบลีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกรณีศึกษาบริษัท ยู.พี.เอส.อุตสาหกรรม จำกัด.” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 6, ฉบับที่ 3: 14-26.

[5] จุฑาทิพย์ อินทะโน. 2565. “การลดความสูญเปล่าในกระบวนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยเทคนิคลีน.” ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ข้อมูลจาก http://cmuir.cmu.ac.th/jspui/handle/6653943832/73680 (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 กุมภาพันธ์ 2568)

[6] ภาณุวัฒน์ วงค์แสงน้อยและนลิน เพียรทอง. 2566. “การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตยางพาราแผ่นเรียบด้วยเทคนิคลีน.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม,ปีที่ 16, ฉบับที่ 2: 168-175.

[7] เมธาวิน สามสี นลิน เพียรทองและลออง ผโลดม. 2567. “การประยุกต์ใช้เทคนิคลีนในการปรับปรุงกระบวนการทำงานการผลิตใบยาสูบ.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, ปีที่ 17, ฉบับที่ 2:95-105.7

การออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวสำหรับสิ่งแวดล้อม โดยใช้สะพานมิตรภาพไทย-ลาว

Designing An Ecotourism Route For The Thai-Lao Friendship Bridge

ศิรินภา ห้วยทราย[1*] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส[2] อรุณรัตน์ เศวตธรรม[1] ปวีณา คำพุกกะ[1]
สุภัตราภรณ์ สายสมบูรณ์[1] ปดิวรดา ล้อมลาย[1] ไกรศักดิ์ ยงกุลวณิช[1] ธชาดา ปลื้มจันทร์[1]
[1]บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
E-mail: sirinapa.hu.67@ubu.ac.th*

Sirinapa Huaysai[1*], Rapeepan Pitakaso[2], Arunrat Sawettham[1], Paweena Khampukka[1],
Supattraporn Saisomboon[1], Padivarada Lomlai[1], Kraisak Yongkulwanich[1], Thachada Pluemjan[1]
[1]Master of Business Administration Program in Logistics and Supply Chain Management,
Faculty of Management Science, Ubon Ratchathani University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University University
E-mail: sirinapa.hu.67@ubu.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมที่เชื่อมโยงระหว่างประเทศไทยและสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวผ่านสะพานมิตรภาพไทย-ลาว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางและส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืนในระดับภูมิภาคด้วยแนวทางปัญหา Travelling Salesman Problem (TSP) กับเส้นทางตัวอย่าง 14 เส้นทาง ซึ่งประกอบด้วยสถานที่ท่องเที่ยวจำนวน 32 แห่ง คัดเลือกตามองค์ประกอบของการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม 4 ด้าน ได้แก่ ธรรมชาติ การเรียนรู้สิ่งแวดล้อม ความรับผิดชอบต่อวัฒนธรรม และการจัดการอย่างยั่งยืน ใช้อัลกอริธึมเมตาฮิวริสติกส์ ได้แก่ Genetic Algorithm (GA) และ Ant Colony Optimization (ACO) เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดและเปรียบเทียบกับวิธีพื้นฐานอย่าง Nearest Neighbor (NN) โดยผลวิจัยชี้ว่า ACO ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยลดระยะทางได้สูงสุดถึง 25.10% ขณะที่ GA สามารถลดระยะทางเฉลี่ยได้ 10–20% นอกจากนี้ผลลัพธ์ยังแสดงถึงประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การลดเวลาเดินทาง การใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมไปถึงมีการประเมินขีดความสามารถในการรองรับนักท่องเที่ยว ประกอบด้วย ความหลากหลายของกิจกรรม ระยะห่างระหว่างแหล่งท่องเที่ยว คะแนนความนิยมจากนักท่องเที่ยว และความสามารถในการรองรับในเชิงกายภาพ โดยเส้นทางที่ออกแบบมีลักษณะผสมผสาน (multi-component) ช่วยสร้างสมดุลระหว่างประสบการณ์ด้านธรรมชาติ วัฒนธรรม และชุมชน ภายใต้ข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและงบประมาณ

คำสำคัญ: การท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม, การออกแบบเส้นทาง, ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP), ระบบโคโลนีของมด (ACO), อัลกอริธึมพันธุกรรม (GA), ขีดความสามารถในการรองรับนักท่องเที่ยว

Abstract

This study aims to design the optimized ecotourism routes connecting Thailand and the Lao People's Democratic Republic (Lao PDR) via the Thai-Lao Friendship Bridges, to enhance travel efficiency and support sustainable regional development. The research applies the Travelling Salesman Problem (TSP) to 14 different routes which composed 32 destinations, selected based on four ecotourism criteria such as natural attractions, environmental education, cultural responsibility, and sustainable management. Two metaheuristic algorithms, Genetic Algorithm (GA) and Ant Colony Optimization (ACO). were employed to generate optimal solutions and compared with the Nearest Neighbor (NN) approach. ACO demonstrated superior performance by achieving a maximum distance reduction of 25.10%, while GA offered competitive results with average reductions of 10-20%. The optimized routes significantly contribute to environmental benefits by reducing travel time, fuel consumption, and greenhouse gas emissions. The study also assesses tourism carrying capacity including criteria such as activity diversity, travel distance, tourist ratings, and physical capacity of sites. The resulting of multi-component routes not only balance ecological and cultural experiences but also align with real-world travel constraints, such as time and budget.

Keywords: Ecotourism, Route Optimization, Travelling Salesman Problem (TSP), Ant Colony Optimization (ACO), Genetic Algorithm (GA), Tourism Carrying Capacity

1. บทนำ

การเชื่อมโยงระหว่างประเทศไทยและสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) ผ่านสะพานมิตรภาพไทย-ลาว ไม่เพียงแต่ช่วยเสริมสร้างความสัมพันธ์ทางเศรษฐกิจ การค้า และโลจิสติกส์เท่านั้น แต่ยังเปิดโอกาสให้เกิดการแลกเปลี่ยนวัฒนธรรมและพัฒนาการท่องเที่ยวในระดับภูมิภาค โดยเฉพาะอย่างยิ่งการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ที่มีแนวโน้มเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากรายงานของ Exactitude Consultancy คาดว่าตลาดการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมทั่วโลกจะขยายตัวจาก 292.30 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี 2023 เป็น 836.13 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี 2030 ด้วยอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปีที่ 16.2% ข้อมูลนี้สะท้อนให้เห็นถึงโอกาสของไทยและลาวในการใช้สะพานมิตรภาพเป็นโครงสร้างพื้นฐานหลักในการพัฒนาเส้นทางท่องเที่ยวที่ยั่งยืน อย่างไรก็ตาม แม้พื้นที่โดยรอบสะพานจะมีทรัพยากรธรรมชาติและวัฒนธรรมที่อุดมสมบูรณ์ เช่น อุทยานแห่งชาติแม่น้ำโขง และวิถีชีวิตของชุมชนท้องถิ่น แต่การขาดแผนการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากศักยภาพของพื้นที่ได้อย่างเต็มที่ ปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนา ได้แก่ การขาดการบูรณาการระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง งบประมาณที่จำกัดในการพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการขาดมาตรการส่งเสริมให้ชุมชนท้องถิ่นมีบทบาทในการจัดการการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน

สะพานมิตรภาพไทย-ลาวมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงจากเส้นทางขนส่ง (Transport Corridor) สู่ระเบียงเศรษฐกิจ (Economic Corridor) โดยสนับสนุนการค้าการลงทุนและการพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษในพื้นที่ชายแดน ทั้งหกสะพานที่เชื่อมโยงไทยและลาว ได้แก่ หนองคาย–เวียงจันทน์, มุกดาหาร–สะหวันนะเขต, นครพนม–คำม่วน, เชียงของ–ห้วยทราย, บึงกาฬ–บอลิคำไซ และนาตาล–ละคอนเพ็ง นอกจากนี้ สปป.ลาวยังมีสะพานมิตรภาพลาว-ญี่ปุ่นที่เชื่อมต่อกับด่านช่องเม็ก–วังเต่า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระเบียงเศรษฐกิจตะวันออก-ตะวันตก (EWEC) การพัฒนาดังกล่าวช่วยให้ไทยและลาวสามารถขยายความร่วมมือด้านการขนส่งและโลจิสติกส์ ตลอดจนเพิ่มความสะดวกสบายให้กับนักท่องเที่ยวผ่านระบบตรวจคนเข้าเมืองอัจฉริยะและเทคโนโลยีสมาร์ทการ์ด แม้ว่าการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเหล่านี้จะช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจ แต่หากไม่มีแผนการจัดการที่เหมาะสม การท่องเที่ยวที่ขยายตัวอย่างรวดเร็วอาจส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติของลาว ซึ่งปัจจุบันมีพื้นที่ป่าไม้ครอบคลุมถึงร้อยละ 60 ของประเทศ และเป็นแหล่งอาศัยของสัตว์ป่าหายากหลายชนิด ดังนั้น แนวทางการท่องเที่ยวที่ยั่งยืนควรเน้นการอนุรักษ์ระบบนิเวศ การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการส่งเสริมให้ชุมชนท้องถิ่นมีส่วนร่วมในการจัดการและพัฒนาแหล่งท่องเที่ยว

เพื่อพัฒนาเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมที่เชื่อมโยงสะพานมิตรภาพไทย-ลาวอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยในปัจจุบันได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ควบคู่กับเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) ได้แก่ Genetic Algorithm และ Ant Colony Optimization ซึ่งช่วยลดระยะทางและเวลาการเดินทาง ขณะเดียวกันก็สนับสนุนความยั่งยืนของการท่องเที่ยวและกระจายรายได้สู่ชุมชนท้องถิ่น หากนำแนวทางดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับสะพานมิตรภาพไทย-ลาว จะสามารถพัฒนาเส้นทางท่องเที่ยวที่เชื่อมโยงทรัพยากรธรรมชาติและวัฒนธรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างของแนวทางที่ประสบความสำเร็จสามารถพบได้ในประเทศเวียดนามและลาว ซึ่งมีการบูรณาการการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเข้ากับการพัฒนาการท่องเที่ยว เช่น การใช้พลังงานหมุนเวียน การจัดการขยะอย่างเป็นระบบ และการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับนักท่องเที่ยว การพัฒนาเส้นทางท่องเที่ยวที่เชื่อมโยงสะพานมิตรภาพไทย-ลาวผ่านการใช้เทคโนโลยีและการวางแผนอย่างเป็นระบบจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการส่งเสริมการท่องเที่ยวที่ยั่งยืน และสร้างความสมดุลระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในภูมิภาคนี้

1.1 วัตถุประสงค์การศึกษา

เพื่อออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม โดยใช้สะพานมิตรภาพไทย-ลาวเป็นสะพานเชื่อมโยง และเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทาง ส่งเสริมความยั่งยืนในระดับพื้นที่และภูมิภาค

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 การท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม (Ecotourism)

การท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมเป็นการท่องเที่ยวรูปแบบหนึ่งที่มีการจัดการอย่างยั่งยืน โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ The International Ecotourism Society (TIES) ได้ให้คำจำกัดความว่าเป็น "การเดินทางอย่างมีความรับผิดชอบไปยังแหล่งธรรมชาติ ซึ่งช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและปรับปรุงสวัสดิภาพของคนในท้องถิ่น" (TIES, 2015)

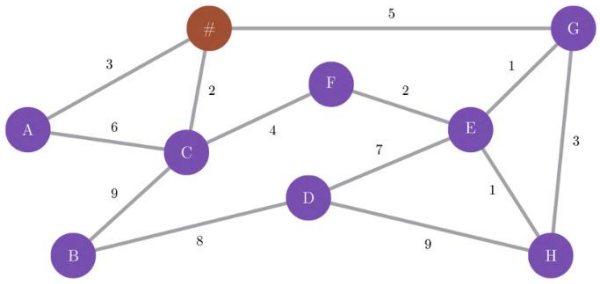
บุญเลิศ จิตตั้งวัฒนา (2548) ได้อธิบายว่า การท่องเที่ยวเชิงนิเวศเป็นการท่องเที่ยวที่มีลักษณะที่สำคัญ 4 ประการ คือ

1. เป็นการท่องเที่ยวที่เน้นในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ
2. เป็นการท่องเที่ยวที่มีการให้การศึกษาหรือเรียนรู้เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมและระบบนิเวศ
3. เป็นการท่องเที่ยวที่มีความรับผิดชอบต่อสภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมท้องถิ่น
4. เป็นการท่องเที่ยวที่มีการจัดการอย่างยั่งยืน

2.2 วิธีแก้ไขปัญหาพนักงานขายเดินทาง (Traveling Salesman Problem: TSP)

ปัญหาการออกแบบเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าเกิดจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travel Salesman Problem; TSP) ซึ่งเป็นการหาทางที่ดีที่สุดในการเดินทางเพื่อลูกค้าทั้งหมดที่กำหนดไว้และ

กลับมาที่จุดเริ่มต้นโดยมีระยะทางรวมที่สั้นที่สุด ปัญหานี้จะไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความจุของรถ ซึ่งแตกต่างจากปัญหาการออกแบบเส้นทางเดินรถขนส่งที่ต้องพิจารณาข้อจำกัดด้านความจุของรถเป็นตัวแปรสำคัญในการให้บริการขนส่งสินค้า ดังนั้นปัญหาการออกแบบเส้นทางเดินรถขนส่งจึงต้องออกแบบเส้นทางให้สามารถรองรับการขนส่งสินค้าตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งมีความซับซ้อนมากกว่าปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Laporte, G., 1992)



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างกราฟแสดงปัญหา Travelling Salesman Problem (TSP)

คำอธิบายเพิ่มเติม:

- กราฟสมบูรณ์แบบวงกลม (Complete graph): ทุกจุดเชื่อมต่อกับทุกจุดอื่น ๆ หมายความว่าพนักงานขายสามารถเดินทางจากจุดใดไปยังจุดใดก็ได้
- จุดหมาย: แต่ละจุดในกราฟแทนที่จุดหมายปลายทาง เช่น บ้าน ลูกค้า เมือง หรือสถานที่ต่างๆ
- เส้นทาง: เส้นเชื่อมระหว่างจุดแทนระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง
- เป้าหมาย: หาลำดับการเยี่ยมชมจุดทั้งหมดเพื่อให้ระยะทางรวมน้อยที่สุด

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

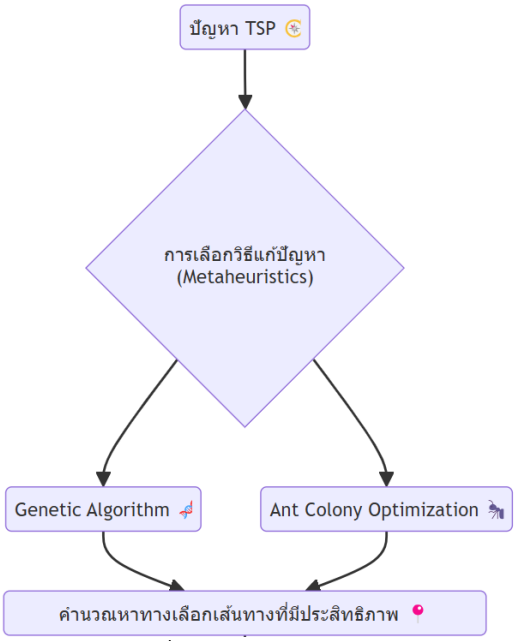
Withanage et al. (2024) ใช้ Geographic Information System – Multi-Criteria Decision Analysis (GIS-MCDA) ควบคู่กับ Analytic Hierarchy Process (AHP) เพื่อประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ โดยคำนึงถึงเกณฑ์ 6 ประเภท ได้แก่ ภูมิประเทศ การเข้าถึง สภาพอากาศ ป่าไม้ และปัจจัยเชิงลบ ผลการศึกษาพบว่า 45.4% ของพื้นที่มีความเหมาะสมสูงต่อการพัฒนา Huang Xiao (2024) ศึกษาขีดความสามารถในการรองรับด้านสิ่งแวดล้อม ของอุทยานแห่งชาติหวู่หยีซาน โดยใช้โมเดลที่รวมปัจจัยทรัพยากรธรรมชาติ เศรษฐกิจ และสังคม พบว่าปัจจัยด้านพื้นที่และสิ่งแวดล้อมเป็นข้อจำกัดหลัก ของการรองรับการท่องเที่ยว Yasin et al. (2023) ใช้ GIS-AHP เพื่อประเมินศักยภาพของพื้นที่ East Hararghe พบว่าประมาณ 26.19% ของพื้นที่มีความเหมาะสมสูง สำหรับการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม งานวิจัยสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของเทคนิค MCDM ในการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่อย่างเป็นระบบ ซึ่งผู้วิจัยได้นำแนวคิดดังกล่าวมาปรับใช้ในการคัดเลือกจุดท่องเที่ยวที่มีองค์ประกอบของการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมครบถ้วนและหลากหลาย

นอกจากปัจจัยด้านพื้นที่แล้ว ความเข้าใจพฤติกรรมและแรงจูงใจของนักท่องเที่ยวยังมีบทบาทสำคัญในการออกแบบเส้นทางท่องเที่ยวเชิงคุณภาพ The-Bao Luong (2024) ใช้โมเดล Value-Beliefs-Norms (VBN) และ Value-Identity-Personal norm (VIP) ในอุทยานแห่งชาติ Cat Tien ประเทศเวียดนาม พบว่าค่านิยมด้านสิ่งแวดล้อมส่งผลต่อพฤติกรรมและการตัดสินใจเดินทางของนักท่องเที่ยว ประพนธ์ เล็กสุมา และคณะ (2022) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกแหล่งท่องเที่ยวที่รับผิดชอบ พบว่านักท่องเที่ยวองค์กรให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมและชุมชนท้องถิ่น ซึ่งแนวคิดเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการจัดกลุ่มเส้นทางในงานวิจัยฉบับนี้ โดยมุ่งออกแบบเส้นทางที่คละองค์ประกอบทั้งธรรมชาติ วัฒนธรรม และการเรียนรู้ เพื่อให้สอดคล้องกับความหลากหลายของนักท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม

ปัญหา Travelling Salesman Problem (TSP) เป็นเครื่องมือพื้นฐานในการออกแบบเส้นทางที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผนวกกับอัลกอริธึมเมตาฮิวริสติกส์ เช่น Genetic Algorithm (GA) และ Ant Colony Optimization (ACO) ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ดีในบริบทของการเดินทางแบบหลายจุดหมาย งานวิจัยของ Selvi et al. (2024) นำเสนอ Hybrid Algorithm (GA-ACO & PSO-ACO) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแก้ปัญหา TSP นอกจากนี้ Fadillah Ramadhan et al. (2025) ยังได้พัฒนา TSP-DB (Travelling Salesman Problem with Drone and Boat) สำหรับการกระจายสินค้าในภาวะภัยพิบัติ โดยใช้ โดรนและเรือ เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการเดินทาง ขณะที่งานวิจัยปวีณา คำพุกกะ (2024) ใช้ TSP และ Nearest Neighbor Algorithm (NNA) ออกแบบ เส้นทางท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บริเวณสะพานมิตรภาพแห่งที่ 6 พบว่า TSP ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ตั้งแต่ปี 2024-2025 ผู้วิจัยสังเกตเห็นความหลากหลายของวิธีการวิจัยต่าง ๆ ที่มีหลายแง่มุม ซึ่งแต่ละวิธีการต่าง ๆ มีการนำเสนอให้เห็นวิธีการวิจัยได้อย่างน่าสนใจ ซึ่งในการวิจัยครั้งผู้วิจัยจะเลือกนำเสนอปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) เพราะเป็นโมเดลพื้นฐานที่เหมาะสมในการจัดเส้นทาง GA และ ACO เป็นอัลกอริธึมที่สามารถแก้ปัญหา NP-Hard ได้ดี มีความยืดหยุ่นและความสามารถในการหาเส้นทางที่ใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุดในเวลาที่จำกัด เนื่องจากจุดการท่องเที่ยวระหว่างจังหวัดหนองคาย มุกดาหาร นครพนม เชียงราย ประเทศไทยและประเทศลาว โดยใช้สะพานมิตรภาพไทย-ลาว เป็นจุดเชื่อมโยง ผู้วิจัยกำหนดจุดท่องเที่ยวไว้ 14 เส้นทาง เส้นทางละ 10 จุด ซึ่งออกแบบตามองค์ประกอบของการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมทั้ง 4 ด้าน และเน้นเส้นทางที่มีความหลากหลาย เพื่อให้เหมาะสมกับการท่องเที่ยวตามฤดูกาลที่จะง่ายต่อการตัดสินใจในการหาโอกาสเดินทางมาท่องเที่ยวประเทศเพื่อนบ้าน

2.4 กรอบแนวคิด



รูปที่ 2.2 กรอบแนวคิด

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมที่ใช้สะพานมิตรภาพไทย-ลาวเป็นจุดเชื่อมโยง นั้น จัดว่าเป็นการวางแผนกลยุทธ์การท่องเที่ยวธรรมชาติของทั้งสองประเทศ กระจายรายได้สู่ชุมชน และส่งเสริมการเดินทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ความร่วมมือระหว่างไทย-ลาวช่วยพัฒนามาตรฐานท่องเที่ยวและสร้างจุดขายใหม่ที่ดึงดูดนักท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ยังช่วยเสริมความสัมพันธ์ระหว่างประเทศและส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืนในภูมิภาค ดังนั้น การบริหารจัดการในการเดินทางท่องเที่ยวและเพื่อประโยชน์สูงสุดของนักท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย การออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมที่ใช้สะพานมิตรภาพไทย-ลาวเป็นจุดเชื่อมโยง โดยเริ่มต้นตั้งแต่การเก็บรวบรวมข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวในจังหวัดหนองคาย มุกดาหาร นครพนม เชียงราย และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว หาพิกัดและระยะทางของสถานที่ท่องเที่ยวแต่ละจุด โดยแยกตามลักษณะความสนใจของนักท่องเที่ยวสำหรับสิ่งแวดล้อมหรือองค์ประกอบที่แตกต่างกัน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและรวบรวมข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่น่าสนใจทั้งหมดของจังหวัดหนองคาย มุกดาหาร นครพนม เชียงราย และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

ขั้นตอนที่ 2 คัดเลือกสถานที่ท่องเที่ยวจากเว็บไซต์ต่าง ๆ เช่น Thai.tourismthailand.org, Facebook การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 5 ธรรมชาติและอุทยานติที่ดีที่สุดในจังหวัดหนองคาย จาก Tripadvisor, Unseen - 7 Greens ท่องเที่ยวสดใส ใส่ใจสิ่งแวดล้อม จาก Facebook, 25 ที่เที่ยวลาว เพลิดเพลินไปกับธรรมชาติและวัฒนธรรมลาว จาก traveloka.com เป็นต้น โดยรวบรวมสถานที่สำคัญ ๆ ตามองค์ประกอบของนักท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม (Ecotourism) เพื่อให้ครอบคลุมทั้ง 4 องค์ประกอบ ได้จำนวน 80 แห่ง แล้วสุดท้ายกรองข้อมูลให้เหลือ 32 แห่ง

ขั้นตอนที่ 3 หาคำตอบสำหรับการจัดเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม โดยวิธีปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ตามแต่ลักษณะความสนใจของนักท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมแต่ละแบบ

ขั้นตอนที่ 4 ได้เส้นทางการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม โดยใช้สะพานมิตรภาพไทย-ลาว เป็นทางเชื่อมระหว่างประเทศไทย และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญในจังหวัดหนองคาย มุกดาหาร นครพนม เชียงราย และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) โดยเลือกข้อมูลจากเว็บไซต์ต่าง ๆ และได้รับความนิยมในกลุ่มนักท่องเที่ยว เช่น Thai.tourismthailand.org, Facebook การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย 5 ธรรมชาติและอุทยานติที่ดีที่สุดในจังหวัดหนองคาย จาก Tripadvisor, Unseen - 7 Greens ท่องเที่ยวสดใส ใส่ใจสิ่งแวดล้อม จาก Facebook, 25 ที่เที่ยวลาว เพลิดเพลินไปกับธรรมชาติและวัฒนธรรมลาว จาก traveloka.com, Google Reviews เป็นต้น โดยรวบรวมสถานที่สำคัญ ๆ ตามองค์ประกอบของนักท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม (Ecotourism) เพื่อให้ครอบคลุมทั้ง 4 องค์ประกอบ โดยค้นหาละติจูดและลองติจูด จาก google map ของสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญจำนวน 80 แห่ง

3.3 การคัดเลือกสถานที่ท่องเที่ยวตามองค์ประกอบของการท่องเที่ยวสำหรับสิ่งแวดล้อม โดยใช้สะพานมิตรภาพไทย-ลาวเป็นจุดเชื่อม

การท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม มี 4 องค์ประกอบ ดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 คือ การท่องเที่ยวที่เน้นในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ มุ่งเน้นการท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ เช่น อุทยานแห่งชาติ วนอุทยาน เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า เน้นการสัมผัสและชื่นชมความงามของธรรมชาติในรูปแบบดั้งเดิม รวมถึงแหล่งธรรมชาติที่มีความเป็นเอกลักษณ์ เช่น ถ้ำ น้ำตก ชายหาด ป่าชายเลน ผู้วิจัยเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมตั้งแต่ 4.00 ขึ้นไป โดยคะแนนความนิยมได้มาจากการรวบรวมรีวิวจากเว็บไซต์การท่องเที่ยวที่น่าเชื่อถือ (เช่น TripAdvisor, Google Reviews) ได้จำนวน 6 แห่ง

ดังนี้ 1) อุทยานแห่งชาติภูชี้ฟ้า 2) อุทยานแห่งชาติดอยหลวง 3) อุทยานแห่งชาตินายูง-น้ำโสม 4) อุทยานแห่งชาติภูลังกา 5) อุทยานแห่งชาติภูสระดอกบัว 6) น้ำตกตาดโพธิ์ ซึ่งในแต่ละสถานที่ทั้ง 6 แห่งนี้ ผู้วิจัยได้ประเมินแล้วว่าแต่ละสถานที่มีลักษณะเด่นคือ เป็นการทำกิจกรรมการท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์

องค์ประกอบที่ 2 คือ การท่องเที่ยวที่มีการให้การศึกษาหรือเรียนรู้เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมและระบบนิเวศ มีการจัดกิจกรรมให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยว เช่น การเดินป่าศึกษาธรรมชาติ มีการอธิบายเกี่ยวกับระบบนิเวศ พืชและสัตว์ในท้องถิ่น มีวิทยากรหรือมัคคุเทศก์ท้องถิ่นที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญ มีศูนย์ข้อมูลหรือนิทรรศการให้ความรู้ ผู้วิจัยเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมตั้งแต่ 4.00 ขึ้นไป โดยคะแนนความนิยมได้มาจากการรวบรวมรีวิวจากเว็บไซต์การท่องเที่ยวที่น่าเชื่อถือ (เช่น TripAdvisor, Google Reviews) ได้จำนวน 7 แห่ง ดังนี้ 1) พระตำหนักดอยตุง & สวนแม่ฟ้าหลวง 2) ดอยแม่สลอง 3) อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท 4) น้ำตกธารทิพย์ 5) อุทยานแห่งชาติภูผาเทิบ 6) อุทยานแห่งชาติลำน้ำกก 7) ภูห้วยอีสัน ซึ่งในแต่ละสถานที่ทั้ง 7 แห่งนี้ ผู้วิจัยได้ประเมินแล้วว่าแต่ละที่มีลักษณะเด่นคือมีกิจกรรมให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยว

องค์ประกอบที่ 3 คือ การท่องเที่ยวที่มีความรับผิดชอบต่อสภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมท้องถิ่นมีการกำหนดกฎระเบียบและแนวปฏิบัติสำหรับนักท่องเที่ยว มีมาตรการในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เคารพและอนุรักษ์วัฒนธรรมประเพณีท้องถิ่น ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการการท่องเที่ยว ผู้วิจัยเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมตั้งแต่ 4.00 ขึ้นไป โดยคะแนนความนิยมได้มาจากการรวบรวมรีวิวจากเว็บไซต์การท่องเที่ยวที่น่าเชื่อถือ (เช่น TripAdvisor, Google Reviews) ได้จำนวน 7 แห่ง ดังนี้ 1) ไร่ชาฉุยฟง 2) ชุมชนวังน้ำหมอก 3) ถนนคนเดินนครพนม 4) หมู่บ้านวัฒนธรรมไทกวนบ้านนาถ่อน 5) บ้านลุงโฮจิมินห์ 6) โฮมสเตย์บ้านภู 7) วัดภูมโนรมย์ ซึ่งในแต่ละสถานที่ทั้ง 7 แห่งนี้ ผู้วิจัยได้ประเมินแล้วว่าแต่ละที่มีลักษณะเด่นคือความรับผิดชอบต่อสภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมท้องถิ่น

องค์ประกอบที่ 4 คือ การท่องเที่ยวที่มีการจัดการอย่างยั่งยืน มีการวางแผนและจัดการการท่องเที่ยวในระยะยาว คำนึงถึงขีดความสามารถในการรองรับของพื้นที่ มีการกระจายผลประโยชน์อย่างเป็นธรรมสู่ชุมชนท้องถิ่นมีการติดตามและประเมินผลกระทบจากการท่องเที่ยวอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมตั้งแต่ 4.00 ขึ้นไป โดยคะแนนความนิยมได้มาจากการรวบรวมรีวิวจากเว็บไซต์การท่องเที่ยวที่น่าเชื่อถือ (เช่น TripAdvisor, Google Reviews) ได้จำนวน 7 แห่ง ดังนี้ 1) น้ำตกขุนกรณ์ 2) ถ้ำหลวง-ขุนน้ำนางนอน 3) ถ้ำนาคีนครพนม(Nakee Cave) 4) วังเทียมเมฆ เกาะก้านเหลือง 5) ภูผาดัก 6) น้ำตกธารทอง 7) อ่างเก็บน้ำห้วยขี้เหล็ก ซึ่งในแต่ละสถานที่ทั้ง 7 แห่งนี้ ผู้วิจัยได้ประเมินแล้วว่าแต่ละที่มีลักษณะเด่นคือมีกิจกรรมที่มีความสามารถในการรองรับของพื้นที่ มีการกระจายผลประโยชน์อย่างเป็นธรรมสู่ชุมชนท้องถิ่น

ผู้วิจัยได้คัดเลือกสถานที่ท่องเที่ยวของประเทศลาว จำนวน 5 แห่ง โดยคัดเลือกสถานที่มีค่าคะแนนความนิยมตั้งแต่ 4.00 ขึ้นไป โดยคะแนนความนิยมได้มาจากการรวบรวมรีวิวจากเว็บไซต์การท่องเที่ยวที่น่าเชื่อถือ (เช่น TripAdvisor, Google Reviews) ได้จำนวน 5 แห่ง ดังนี้ 1) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 2) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 3) Pha Ngern View Point 4) จุดชมวิวผาหนามไซ 5) Break place ซึ่งในแต่ละแห่งนี้ล้วนคงความเป็นธรรมชาติไว้ได้เป็นอย่างดี จึงประเมินได้ทั้ง 5 แห่งนี้มีลักษณะเด่นคือมีกิจกรรมที่ทำให้นักท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ เรียนรู้เกี่ยวกับสภาพแวดล้อม เคารพและอนุรักษ์วัฒนธรรมประเพณีท้องถิ่น ทั้งนี้ได้กำหนดให้สนามบินเชียงรายเป็นจุดศูนย์กลางในการเริ่มต้นและสนามบินนครพนมจุดสิ้นสุด (Depot) สำหรับการวิจัยครั้งนี้ จึงรวมสถานที่ได้ทั้งหมด 32 แห่ง

3.4 การจัดเส้นทางการท่องเที่ยว

ทำการหาคำตอบของเส้นทางการท่องเที่ยวจำนวน 14 เส้นทาง ตามองค์ประกอบของการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อม ดังนี้

เส้นทางที่ 1 การท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมเน้นองค์ประกอบที่ 1 คือ การท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ สถานที่ท่องเที่ยวประกอบด้วย 1) อุทยานแห่งชาติภูชี้ฟ้า 2) อุทยานแห่งชาติดอยหลวง 3) อุทยานแห่งชาตินายูง-น้ำโสม 4) อุทยานแห่งชาติภูลังกา 5) อุทยานแห่งชาติภูสระดอกบัว 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 2 การท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมเน้นองค์ประกอบที่ 2 คือ กิจกรรมให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยว สถานที่ท่องเที่ยวประกอบด้วย 1) พระตำหนักดอยตุง & สวนแม่ฟ้าหลวง 2) ดอยแม่สลอง 3) อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท 4)น้ำตกธารทิพย์ 5) อุทยานแห่งชาติภูผาเทิบ 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 3 การท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมเน้นองค์ประกอบที่ 3 คือ กิจกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมท้องถิ่น สถานที่ท่องเที่ยวประกอบด้วย 1) ไร่ชาฉุยฟง 2) ชุมชนวังน้ำหมอก 3) ถนนคนเดินนครพนม 4) บ้านลุงโฮจิมินห์ 5) โฮมสเตย์บ้านภู 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 4 การท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมเน้นองค์ประกอบที่ 4 คือ กิจกรรมที่มีความสามารถในการรองรับของพื้นที่ มีการกระจายผลประโยชน์อย่างเป็นธรรมสู่ชุมชนท้องถิ่น สถานที่ท่องเที่ยวประกอบด้วย 1) น้ำตกขุนกรณ์ 2) ถ้ำหลวง-ขุนน้ำนางนอน 3) ถ้ำนาคีนครพนม (Nakee Cave) 4) วังเทียมเมฆ เกาะก้านเหลือง 5) อ่างเก็บน้ำห้วยขี้เหล็ก 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang

(ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 5 การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพเน้นองค์ประกอบที่ 1 และ 2 คือ การท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์และกิจกรรมให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยว ผู้วิจัยคัดเลือกสถานที่จากเส้นทางที่ 1 และ 2 โดยจะเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมสูงกว่าเป็นสำคัญและเน้นความหลากหลาย โดยได้สถานที่ท่องเที่ยวดังนี้ 1) พระตำหนักดอยตุง & สวนแม่ฟ้าหลวง 2) อุทยานแห่งชาติดอยหลวง 3) อุทยานแห่งชาติภูลังกา 4) อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท 5) อุทยานแห่งชาติลำน้ำกก 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 6 การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพเน้นองค์ประกอบที่ 1 และ 3 คือ การท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์และกิจกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมท้องถิ่น ผู้วิจัยคัดเลือกสถานที่จากเส้นทางที่ 1 และ 3 โดยจะเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมสูงกว่าเป็นสำคัญและเน้นความหลากหลาย โดยได้สถานที่ท่องเที่ยวดังนี้ 1) อุทยานแห่งชาตินายูง-น้ำโสม 2) น้ำตกตาดโพธิ์ 3) ถนนคนเดินนครพนม 4) บ้านลุงโฮจิมินห์ 5) วัดภูมโนรมย์ 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที 7 การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพเน้นองค์ประกอบที่ 1 และ 4 คือ การท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์และกิจกรรมที่มีความสามารถในการรองรับของพื้นที่ มีการกระจายผลประโยชน์อย่างเป็นธรรมสู่ชุมชนท้องถิ่น ผู้วิจัยคัดเลือกสถานที่จากเส้นทางที่ 1 และ 4 โดยจะเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมสูงกว่าเป็นสำคัญและเน้นความหลากหลาย โดยได้สถานที่ท่องเที่ยวดังนี้ 1) อุทยานแห่งชาติภูชี้ฟ้า 2) อุทยานแห่งชาตินายูง-น้ำโสม 3) ถ้ำนาคีนครพนม (Nakee Cave) 4) ถ้ำหลวง-ขุนน้ำนางนอน 5) วังเทียมเมฆเกาะก้านเหลือง 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 8 การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพเน้นองค์ประกอบที่ 2 และ 3 กิจกรรมให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยวและกิจกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมท้องถิ่นผู้วิจัยคัดเลือกสถานที่จากเส้นทางที่ 2 และ 3 โดยจะเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมสูงกว่าเป็นสำคัญและเน้นความหลากหลาย โดยได้สถานที่ท่องเที่ยวดังนี้ 1) พระตำหนักดอยตุง & สวนแม่ฟ้าหลวง 2) อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท 3) ภูห้วยอีสัน 4) ชุมชนวังน้ำหมอก 5) โฮมสเตย์บ้านภู 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 9 การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพเน้นองค์ประกอบที่ 2 และ 4 คือ กิจกรรมให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยวและกิจกรรมที่มีความสามารถในการรองรับของพื้นที่ มีการกระจายผลประโยชน์อย่างเป็นธรรมสู่ชุมชนท้องถิ่น ผู้วิจัยคัดเลือกสถานที่จากเส้นทางที่ 2 และ 4 โดยจะเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมสูงกว่าเป็นสำคัญและเน้นความหลากหลาย โดยได้สถานที่ท่องเที่ยวดังนี้ 1) ดอยแม่สลอง 2) น้ำตกธารทิพย์ 3) น้ำตกขุนกรณ์ 4) ภูผาดัก 5) น้ำตกธารทอง 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 10 การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพเน้นองค์ประกอบที่ 3 และ 4 คือ กิจกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมท้องถิ่นและกิจกรรมที่มีความสามารถในการรองรับของพื้นที่มีการกระจายผลประโยชน์อย่างเป็นธรรมสู่ชุมชนท้องถิ่น ผู้วิจัยคัดเลือกสถานที่จากเส้นทางที่ 3 และ 4 โดยจะเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมสูงกว่าเป็นสำคัญและเน้นความหลากหลาย โดยได้สถานที่ท่องเที่ยวดังนี้ 1) ถนนคนเดินนครพนม 2) หมู่บ้านวัฒนธรรมไทกวนบ้านนา 3) ภูห้วยอีสัน 4) ถ้ำนาคี นครพนม (Nakee Cave) 5) วังเทียมเมฆ เกาะก้านเหลือง 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 11 การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพเน้นองค์ประกอบที่ 1, 2 และ 3 คือ การท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีกิจกรรมให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยวและกิจกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมท้องถิ่น ผู้วิจัยคัดเลือกสถานที่จากเส้นทางที่ 1, 2 และ 3 โดยจะเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมสูงกว่าเป็นสำคัญและเน้นความหลากหลาย โดยได้สถานที่ท่องเที่ยวดังนี้ 1) อุทยานแห่งชาติภูชี้ฟ้า 2) อุทยานแห่งชาตินายูง-น้ำโสม 3) อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท 4) อุทยานแห่งชาติภูผาเทิบ 5) ถนนคนเดินนครพนม 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 12 การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพเน้นองค์ประกอบที่ 1, 2 และ 4 คือ การท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีกิจกรรมให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยวและกิจกรรมที่มีความสามารถในการรองรับของพื้นที่ มีการกระจายผลประโยชน์อย่างเป็นธรรมสู่ชุมชนท้องถิ่น ผู้วิจัยคัดเลือกสถานที่จากเส้นทางที่ 1, 2 และ 4 โดยจะเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมสูงกว่าเป็นสำคัญและเน้นความหลากหลาย โดยได้สถานที่ท่องเที่ยวดังนี้ 1) อุทยานแห่งชาติภูลังกา 2) อุทยานแห่งชาติภูสระดอกบัว 3) ดอยแม่สลอง 4) ภูห้วยอีสัน 5) ภูผาดัก 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 13 การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพเน้นองค์ประกอบที่ 2, 3 และ 4 คือ กิจกรรมให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยว กิจกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมท้องถิ่นและกิจกรรมที่มีความสามารถในการรองรับของพื้นที่ มีการกระจายผลประโยชน์อย่างเป็นธรรมสู่ชุมชนท้องถิ่น ผู้วิจัยคัดเลือกสถานที่จากเส้นทางที่ 2, 3 และ 4 โดยจะเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมสูงกว่าเป็นสำคัญและเน้นความหลากหลาย โดยได้สถานที่ท่องเที่ยวดังนี้ 1) อุทยาน

ประวัติศาสตร์ภูพระบาท 2) น้ำตกธารทิพย์ 3) บ้านลุงโฮจิมินห์ 4) วัดภูมโนรมย์ 5) น้ำตกธารทอง 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

เส้นทางที่ 14 การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพเน้นองค์ประกอบที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ การท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีกิจกรรมให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยว มีกิจกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมท้องถิ่น และกิจกรรมที่มีความสามารถในการรองรับของพื้นที่ มีการกระจายผลประโยชน์อย่างเป็นธรรมสู่ชุมชนท้องถิ่น ผู้วิจัยคัดเลือกสถานที่จากเส้นทางที่ 1-4 โดยจะเลือกสถานที่ที่มีค่าคะแนนความนิยมสูงกว่าเป็นสำคัญและเน้นความหลากหลาย โดยได้สถานที่ท่องเที่ยวดังนี้ 1) อุทยานแห่งชาติภูชี้ฟ้า 2) อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท 3) ชุมชนวังน้ำหมอก 4) ถนนคนเดินนครพนม 5) วังเทียมเมฆ เกาะก้านเหลือง 6) กิบบอน เอ็กซ์พีเรียนซ์ 7) Thafalang (ท่าฝรั่ง) 8) Pha Ngern View Point 9) จุดชมวิวผาหนามไซ 10) Break place

จากเส้นทางทั้งหมดทำการเปรียบเทียบระยะทางรวม เวลา และประหยัดค่าใช้จ่ายของทั้ง 14 เส้นทางด้วยวิธีปัญหาการเดินทางของพนักงาน (TSP) โดยใช้ GA และ ACO

3.5 สมการและเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณ

ในการดำเนินการคำนวณของงานวิจัยนี้ ได้ใช้ภาษา Python เป็นเครื่องมือหลัก โดยอาศัยไลบรารีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ NumPy และ Pandas สำหรับการจัดการข้อมูลและการคำนวณเชิงตัวเลข, Matplotlib สำหรับการแสดงผลเชิงกราฟิก, DEAP สำหรับการประมวลผลด้วยอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) และไลบรารี ACO สำหรับการประยุกต์ใช้อัลกอริธึมระบบโคโลนีของมด (Ant Colony Optimization: ACO)

สำหรับการแก้ปัญหา Traveling Salesman Problem (TSP) ที่ใช้ในการออกแบบเส้นทางท่องเที่ยวอย่างเหมาะสม ฟังก์ชันวัดผล (Fitness Function) ของ GA มีรูปแบบดังนี้:

$$Fitness = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n-1} d(C_i, C_{i+1}) + d(C_n, C_1)} \qquad (1)$$

โดยที่ $d(C_i, C_{i+1})$ คือระยะทางระหว่างจุดท่องเที่ยว C_i และ C_{i+1} และ n คือจำนวนจุดทั้งหมดในเส้นทาง

ขณะที่ฟังก์ชันความน่าจะเป็น (Probability Function) ของ ACO ในการเลือกเส้นทาง มีรูปแบบดังนี้:

$$P_{ij} = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{k \epsilon N_i} [\tau_{ik}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ik}]^{\beta}} \qquad (2)$$

โดยที่

τ_{ij} คือค่าฟีโรโมนบนเส้นทางระหว่างจุด i และ j

$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ คือค่า inverse ของระยะทาง

α, β คือพารามิเตอร์ที่ควบคุมน้ำหนักของฟีโรโมนและระยะทาง

N_i คือเซตของจุดที่ยังไม่ถูกเยี่ยมชมจากจุด i

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมโดยใช้สะพานมิตรภาพไทย-ลาวเป็นจุดเชื่อมโยง ซึ่งครอบคลุมสถานที่สำคัญที่เหมาะสมกับแนวทางการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ โดยการคำนวณเส้นทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดถูกนำมาใช้ผ่าน Travelling Salesman Problem (TSP) ควบคู่กับ Metaheuristics ได้แก่ Genetic Algorithm (GA) และ Ant Colony Optimization (ACO)

ในการทดลองนี้มีทั้งหมด 14 เส้นทาง ที่แบ่งตามประเภทของการท่องเที่ยว โดยเปรียบเทียบระยะทางที่ได้จาก Nearest Neighbor (NN) ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐาน, GA ซึ่งเป็นวิธีเมตาฮิวริสติกส์ และ ACO ซึ่งเป็นอัลกอริธึมเชิงชีววิทยา เพื่อค้นหาเส้นทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการคำนวณโดยเปรียบเทียบระยะทาง เวลา และค่าใช้จ่ายทั้งหมดของแต่ละเส้นทางที่ได้จาก NN, GA และ ACO

เส้นทาง	ระยะทาง (km) NN	ระยะทาง (km) GA	ระยะทาง (km) ACO	เวลา (ชม.) GA	เวลา (ชม.) ACO	ค่าใช้จ่าย (บาท) GA	ค่าใช้จ่าย (บาท) ACO
1	1111	971	962	16.18	16.03	3,884	3,848
2	903	784	784	13.07	13.07	3,136	3,136
3	863	657	622	10.95	10.37	2,628	2,488
4	1302	1180	1048	17.47	17.47	4,720	4,192
5	952	952	905	15.08	15.08	3,808	3,620
6	893	843	798	14.05	13.30	3,372	3,192
7	1014	773	750	12.88	12.50	3,092	3,000
8	1192	988	939	16.47	15.65	3,952	3,756
9	1144	1163	1122	19.38	18.70	4.652	4,488
10	1228	1014	955	16.90	15.92	4,056	3,820
11	1110	949	924	15.82	15.40	3,796	3,696
12	1036	1025	776	17.08	12.93	4,100	3,104
13	1075	874	874	14.57	14.57	3,496	3,496
14	937	748	748	12.47	12.47	2,992	2,992

หมายเหตุ: คำนวณเวลาโดยประมาณจากสมการ เวลา (ชม.) = ระยะทาง ÷ 60 และคำนวณค่าใช้จ่ายโดยใช้ ค่าใช้จ่าย (บาท) = ระยะทาง × 4 โดยถือว่าใช้ความเร็วเฉลี่ย 60 กม./ชม. และอัตราค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 4 บาทต่อกิโลเมตร

จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้:

1) Ant Colony Optimization (ACO) ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในทุกเส้นทาง โดยลดระยะทางได้มากที่สุด 25.10% ในเส้นทางที่ 12 และ 13.41% ในเส้นทางที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าที่แสดงให้เห็นว่า ACO มีประสิทธิภาพสูงในการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP)

2) Genetic Algorithm (GA) มีประสิทธิภาพเท่ากับ ACO ในเส้นทางที่ 2, 13 และ 14 โดยเฉลี่ยแล้วสามารถลดระยะทางได้ประมาณ 10-20% เทียบกับ NN ซึ่งยืนยันว่า GA เป็นวิธีที่ดีสำหรับการหาทางออกที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมที่สุด

3) Nearest Neighbor (NN) มีระยะทางที่ยาวที่สุดในทุกเส้นทาง เนื่องจากไม่มีการปรับปรุงเส้นทางหลังจากที่เลือกเส้นทางที่ใกล้ที่สุดไปเรื่อย ๆ

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าอัลกอริธึมที่ใช้สามารถลดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทางลงได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะ ACO ซึ่งในหลายเส้นทางให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เช่น เส้นทางที่ 12 และ 4 ที่มีการลดระยะทางได้ถึง 25.10% และ 19.50% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Nearest Neighbor (NN) เมื่อแปลงผลลัพธ์จากระยะทางเป็นเวลาเดินทาง จะพบว่าระยะเวลาที่ลดลงในบางเส้นทางมีความสำคัญในเชิงการท่องเที่ยว เช่น เส้นทางที่ 12 ซึ่งลดลงจากประมาณ 17.08 ชั่วโมง เหลือเพียง 12.93 ชั่วโมง ช่วยเพิ่มความสะดวกสบายให้กับนักท่องเที่ยว และเอื้อประโยชน์ต่อการจัดตารางกิจกรรมท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในด้านค่าใช้จ่าย ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า ACO และ GA สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ในระดับที่มีนัยสำคัญในหลายเส้นทาง เช่น เส้นทางที่ 4 สามารถลดค่าใช้จ่ายลงจากประมาณ 5,208 บาท (ตามระยะทาง NN) เหลือเพียง 4,192 บาท (ตามระยะทาง ACO) ซึ่งคิดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายประมาณ 19.5%

โดยสรุป การคำนวณเวลาและค่าใช้จ่ายร่วมกับระยะทางในการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากอัลกอริธึม ช่วยให้เห็นถึงความคุ้มค่าทั้งในเชิงเศรษฐกิจและด้านสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังแสดงให้เห็นว่าเทคนิค Metaheuristics อย่าง ACO และ GA ไม่เพียงแต่ให้เส้นทางที่สั้นที่สุด แต่ยังส่งผลเชิงบวกต่อประสบการณ์การเดินทางของนักท่องเที่ยวและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และยังส่งผลเชิงบวกต่อชุมชนท้องถิ่นที่อยู่รายรอบเส้นทางท่องเที่ยว ด้วยการลดผลกระทบจากการจราจรที่หนาแน่น ลดมลพิษทางอากาศจากการจราจร และส่งเสริมเศรษฐกิจในพื้นที่โดยการกระจายนักท่องเที่ยวอย่างสมดุลตามเส้นทางที่เหมาะสม

สรุปได้ว่า ผลการวิจัยที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไม่เพียงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอัลกอริธึมที่ใช้ แต่ยังแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ที่สำคัญในมิติของความยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของการพัฒนาอย่างยั่งยืนที่ตั้งไว้ตั้งแต่ต้น และเป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้ในการกำหนดนโยบายด้านการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นรูปธรรมต่อไปในอนาคต

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการวิเคราะห์จากบทที่ 4 ได้ชี้ให้เห็นว่า Ant Colony Optimization (ACO) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการคำนวณเส้นทางที่เหมาะสม โดยสามารถลดระยะทางของเส้นทางที่ศึกษาได้ถึง 25.10% ในบางเส้นทางเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Nearest Neighbor (NN) ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐาน ขณะที่ Genetic Algorithm (GA) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีเช่นกัน แต่ยังด้อยกว่า ACO ในหลายกรณี นอกจากนี้ งานวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้อัลกอริธึมที่เหมาะสมสามารถช่วยให้เกิดการกระจายตัวของนักท่องเที่ยวอย่างมีประสิทธิภาพและช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กล่าวถึงในบทที่ 2 พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกับแนวคิดทาง โลจิสติกส์การท่องเที่ยว และ ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ข้อมูลจากงานวิจัยนี้ยืนยันว่าการใช้ ACO ช่วยลดระยะทางได้จริงและมีศักยภาพสูงในการพัฒนาเส้นทางท่องเที่ยวที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ข้อค้นพบใหม่จากการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า เพื่อประเมินขีดความสามารถในการรองรับนักท่องเที่ยวของเส้นทางที่ได้จากการประมวลผล อ้างอิงเกณฑ์จาก Huang (2024) ซึ่งเน้นปัจจัย 4 ประการ ได้แก่ (1) ความหลากหลายของกิจกรรม ที่แหล่งท่องเที่ยวแต่ละแห่งสามารถนำเสนอ เช่น การท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติ วัฒนธรรม หรือเชิงสุขภาพ (2) ระยะห่างระหว่างแหล่งท่องเที่ยว เพื่อให้การเดินทางมีประสิทธิภาพและลดการกระจุกตัวของนักท่องเที่ยว (3) คะแนนความนิยมและรีวิวจากนักท่องเที่ยว ซึ่งสะท้อนความน่าสนใจและความพึงพอใจต่อแหล่งท่องเที่ยว และ (4) ความสามารถในการรองรับนักท่องเที่ยว ในเชิงกายภาพ เช่น จำนวนผู้เข้าชมสูงสุดต่อวัน หรือความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ การวิเคราะห์พบว่าเส้นทางที่ปรับด้วย ACO และ GA มีแนวโน้มกระจายนักท่องเที่ยวไปยังแหล่งที่มีความพร้อมรองรับสูงและลดความแออัดในจุดที่มีความเสี่ยงต่อการเกินขีดจำกัดการรองรับ ช่วยเพิ่มสมดุลระหว่างประสบการณ์การท่องเที่ยวและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม แม้งานวิจัยนี้จะพิจารณาจำนวนจุดท่องเที่ยวในแต่ละเส้นทางเพียง 10 จุด แต่จุดเหล่านี้ถูกคัดเลือกตามองค์ประกอบของการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมอย่างครอบคลุม โดยพิจารณาคะแนนความนิยม ความหลากหลายของกิจกรรม และความสามารถในการรองรับของพื้นที่ จึงสะท้อนสภาพการใช้งานจริงของนักท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางในระยะเวลาและงบประมาณจำกัด เช่น การท่องเที่ยวช่วงวันหยุดสุดสัปดาห์ นอกจากนี้ งานวิจัยยังออกแบบเส้นทางแบบผสมผสานองค์ประกอบ (multi-component routes) เช่น เส้นทางที่ 11–14 เพื่อให้ตอบโจทย์นักท่องเที่ยวที่ต้องการ

ประสบการณ์ที่หลากหลายภายในทริปเดียว เช่น การชมธรรมชาติ เรียนรู้วัฒนธรรม และมีส่วนร่วมกับชุมชนในเวลาเดียวกัน เส้นทางลักษณะนี้จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจและมีศักยภาพในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงคุณภาพในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการคำนวณเส้นทาง ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเทคนิคขั้นสูง เช่น Reinforcement Learning หรือ Hybrid AI Techniques ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริธึม นอกจากนี้ การพิจารณาปัจจัยด้านพฤติกรรมของนักท่องเที่ยว เช่น ความพึงพอใจ การเดินทางตามฤดูกาล และความหนาแน่นของนักท่องเที่ยว จะช่วยให้การวางแผนเส้นทางมีความแม่นยำและเหมาะสมยิ่งขึ้น ทั้งนี้ ควรดำเนินการทดลองภาคสนามเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริธึมในสถานการณ์จริง เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกที่สามารถนำไปปรับปรุงและเพิ่มความแม่นยำของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 ข้อจำกัดของการวิจัย

1) ข้อจำกัดด้านข้อมูล - งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลเส้นทางที่คำนวณจากระยะทางเชิงเรขาคณิตโดยไม่มีการรวมข้อมูลจากแหล่งภายนอก เช่น สภาพการจราจร หรือความต้องการของนักท่องเที่ยวแบบเรียลไทม์

2) ข้อจำกัดด้านอัลกอริธึม - แม้ว่า ACO จะให้ผลลัพธ์ที่ดี แต่ยังมีข้อจำกัดด้านเวลาการคำนวณที่สูงกว่าบางอัลกอริธึม เช่น Dynamic Programming

3) ขอบเขตของการวิจัย - งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่เส้นทางการท่องเที่ยวเชิงสิ่งแวดล้อมเฉพาะพื้นที่ ไทย-ลาว ซึ่งอาจไม่สามารถใช้ได้โดยตรงกับพื้นที่อื่น ๆ ที่มีลักษณะภูมิศาสตร์แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] บุญเลิศ จิตตั้งวัฒนา. 2548. *การจัดการการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] Withanage, N. C., et al. 2024. *Development of Ecotourism Suitability Index for Sustainable Tourism.* Journal of Environmental Management, 320, 115-134.

[3] Huang, X. 2024. *Environmental Carrying Capacity in Ecotourism Management of National Parks.* Journal of Sustainable Tourism, 29(2), 234-256.

[4] The-Bao Luong. 2024. *Application of Values-Beliefs-Norms and VIP Models in Ecotourism Intentions.* International Journal of Tourism Research, 26(1), 56-78.

[5] Yasin, M., et al. 2023. *GIS-AHP Based Assessment of Ecotourism Potential in East Hararghe, Ethiopia.* Journal of Environmental Planning and Management, 65(3), 345-367.

[6] Zhang, J., et al. 2024. *Smart Ecotourism: IoT and AI in Sustainable Tourism Management.* Journal of Sustainable Development, 31(1), 112-129.

[7] Shengbin Liang et al. 2021. *Ant Colony Optimization with Context Awareness for Ecotourism Route Planning.* Journal of Computational Intelligence, 45(2), 189-210.

[8] ปวีณา คำพุกกะ. 2024. *การออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพไทย-ลาวเพื่อรองรับการเปิดสะพานมิตรภาพ แห่งที่ 6.* วารสารวิจัยโลจิสติกส์แห่งประเทศไทย, 19(1), 77-89

[9] Fadillah Ramadhan et al. 2025. *Travelling Salesman Problem with Drone and Boat for Disaster Relief Logistics.* IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 36(2), 102-119.

[10] Selvi, S., et al. 2024. *Hybrid Algorithm for Solving the Travelling Salesman Problem: GA-ACO & PSO-ACO.* Journal of Artificial Intelligence and Optimization, 27(4), 321-345.

Development of a Cost-Effective Rotary Torque Measurement System Using Incremental Encoders

Chaiyapruk Laohapanich [1], Chirdpong Deelertpaiboon [1*]
[1] Department of Instrumentation and Electronics Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: s6401073810050@email.kmutnb.ac.th, chirdpong.d@eng.kmutnb.ac.th *

Abstract

This paper presents the development and validation of a rotary torque measurement system using only two incremental encoders. The proposed method focuses on estimating torque by measuring the relative twist angle caused by applied torque, leveraging the material's elastic deformation. Unlike conventional rotary torque transducers, which are costly and bulky, the proposed system offers a compact and affordable alternative. A calibration curve was constructed by comparing the proposed method with a commercial rotary torque transducer to ensure accuracy. The system's performance was evaluated through two tests: the Stepwise Torque Loading Test and the Dynamic Torque Response Test. The results showed high accuracy with low error metrics and a relative error below 5%. Bland-Altman analysis confirmed good agreement between the proposed system and the reference device. Furthermore, the system's hardware cost was reduced by over 70% compared to commercial alternatives. The findings suggest that this method is a reliable and cost-effective alternative for torque measurement in low-power applications.

Keywords: Rotary torque measurement, Relative twist angle, Incremental encoder, Torque calibration

1. Introduction

Torque is a fundamental quantity describing rotational force, critical in power transmission applications like motors, generators, automotive systems, and robotic arms [1]. Accurate torque measurement is crucial for monitoring and optimizing the performance of rotating machinery. Many industrial applications require continuous monitoring of torque to assess power output and efficiency or to ensure correct assembly processes for mechanical components. Real-time torque monitoring is particularly important to prevent catastrophic failures due to excessive stress (fracture failure) [2] and is becoming even more vital in the era of Industry 4.0 and the Internet of Things (IoT). Accurate, real-time torque data can support predictive maintenance, reduce downtime, and enhance overall productivity.

Several types of rotary torque transducers have been developed to address industrial torque measurement needs. Common approaches include strain gauge-based transducers, which convert mechanical strain into electrical signals, and rotary transformer-based transducers, which utilize electromagnetic induction. While these systems provide high accuracy, they are often bulky, expensive, and involve complex sensor integration. More recent developments have introduced alternative methods, such as photoelectric-based systems for non-contact sensing [3], inductive torque sensors for compact robotic applications [4], and wireless torque monitoring systems for marine shafts [5]. Despite offering various advantages, these methods still face limitations in terms of cost, system complexity, and suitability compact environments.

A cost-effective method for measuring torque and rotational speed using only two incremental encoders is presented. Torque is estimated from the relative twist angle resulting from shaft deformation. Due to uncertainty in manufacturer-provided material properties, calibration against a commercial torque transducer was performed. The system's accuracy and dynamic response were validated experimentally.

2. Methodological Approach

Torque is a moment force that causes a material to twist around its longitudinal axis. The relative twist angle ($\Delta\theta$) represents the angular displacement between two points along the shaft when torque is applied, as shown in Figure 1. Assuming the material is homogeneous, behaves in a linear-elastic manner, and its cross-section remains plane and undistorted with no warping or necking during the twisting process [6], the relative twist angle can be directly related to the applied torque using the relationship derived from the torsion formula:

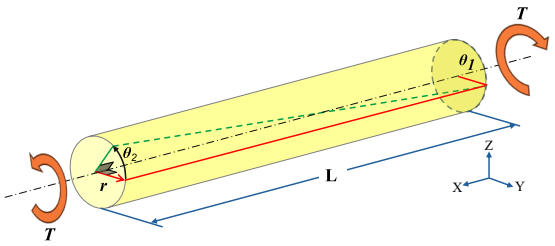


Figure 1 The occurrence of torsion in the shaft.

$$\frac{\tau}{r} = \frac{T}{J} = \frac{G\Delta\theta}{L} \tag{1}$$

Where τ is the shear stress in the shaft (Pa), r is the radius of the shaft (m), T is the applied torque (Nm), J is the polar moment of inertia of the shaft cross-section (m^4), G is the shear modulus of the shaft material (Pa), $\Delta\theta$ is the relative twist angle (rad), and L is the distance between two points on the shaft (m).

In this study, the torque measurement method is based on determining the relative twist angle ($\Delta\theta$) of the shaft caused by the applied torque. This is achieved by using two incremental encoders mounted at both ends of the shaft, as shown in Figure 2. The encoders measure the rotation angle (θ) at each mounting position, which is calculated using:

$$\theta = \frac{2\pi P}{PPR} \tag{2}$$

Where P is the number of pulses counted, and PPR is the pulse per revolution of the encoder. The relative twist angle ($\Delta\theta$) is then obtained by calculating the difference between the rotation angles recorded at both ends of the shaft:

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 \tag{3}$$

Where θ_1 and θ_2 are the twist angles measured by the encoders at both ends of the shaft.

Given the linear-elastic behavior of the shaft, the applied torque can be expressed as a linear function of the relative twist angle, as derived from (1):

$$T = K\Delta\theta \tag{4}$$

$$K = \frac{GJ}{L} \tag{5}$$

Where K is the torsional stiffness of the shaft [7]. The value of K is determined by the material properties and geometric characteristics of the shaft.

In this method, a calibration curve is first constructed to establish the relationship between the relative twist angle ($\Delta\theta$) and the applied torque (T). Once the calibration curve is obtained, the incremental encoders are used to measure $\Delta\theta$, allowing the estimation of the applied torque using the predefined relationship.

In selecting the material for this study, it is essential to have a wide elastic deformation range for significant strain without permanent deformation, along with high yield shear strength to withstand applied torque. Metallic materials, such as steel, offer high shear strength but limited elastic strain, making them less suitable for large angular displacements. Polymer-based materials, however, can undergo greater elastic deformation while providing adequate torque resistance. Despite their lower shear strength, polymers are suitable for this study, which focuses on torque measurement from low-power motors, where high torque resistance is unnecessary.

To determine the maximum usable torque (T_{max}) that ensures the material remains in the elastic range, a step-by-step approach is applied based on the following equations. The yield shear stress (τ_y) is approximated using the Tresca Criterion, which assumes that the maximum shear stress at yielding is half of the material's yield strength in tension (σ_y) [8].

$$\tau_y = 0.5\sigma_y \tag{6}$$

To incorporate safety, the maximum allowable shear stress (τ_{max}) is calculated by applying a safety factor (F.S.)

$$\tau_{max} = \frac{\tau_y}{F.S.} \tag{7}$$

The inclusion of a safety factor in torque measurement tools ensures their reliability and safety under extreme conditions. In this study, since the material is well-known, operating under reasonably constant environmental conditions, and subjected to well-defined loads and stresses, a safety factor of $F.S.$ = 2 is applied [9].

Finally, the maximum usable torque is determined by relating τ_{max} in (1) by following this process, the torque applied can be limited within the material's elastic range, ensuring both reliable measurement and structural integrity.

$$T_{max} = \frac{\tau_{max}\, J}{r} \tag{8}$$

3. Experimental Setup

Experiments were conducted to calibrate and validate the proposed rotary torque measurement method using incremental encoders. The calibration compared the proposed method with a reference commercial rotary torque transducer to ensure accuracy and reliability. Figure 2 shows the schematic of the rotary torque tester, while Figure 3 illustrates its main components and instrumentation.

The test setup consists of two brushless motors, where one motor provides constant rotational input while the other acts as a brake. The braking motor is connected to the system via a collet and coupled with a commercial rotary torque transducer. The twisting shaft is mounted between the rotary torque transducer and the rotational motor using collets, while incremental encoders are mounted on the shaft to measure the twist angle. The actual rotational speed and output torque were logged using the commercial rotary torque transducer for comparison and validation. Details of the equipment used in the experimental setup are listed in Table 1.

The proposed system requires only two incremental encoders, a twisting shaft, two couplings, and a microcontroller, totaling approximately 6,000 THB. In contrast, commercial systems typically require a rotary torque transducer and a USB-to-TTL interface, costing around 20,100 THB. This reflects a cost reduction of over 70%, making the proposed setup a highly economical alternative.

In the proposed method, the main twisting shaft is made of Polyoxymethylene (POM) due to its desirable properties, including high strength and excellent elastic deformation capability, which meet the requirements for this torque measurement technique. The dimensions of the shaft, the incremental encoder mounting positions, and the distance between the collets are shown in Figure 4.

To assess the performance of the proposed method, both a Stepwise Torque Loading Test and a Dynamic Torque Response Test were conducted, each repeated 30 times to ensure consistency and reliability of the results.

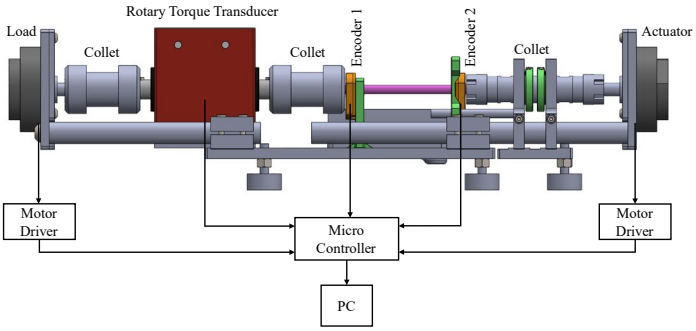


Figure 2 Schematic of the rotary torque tester

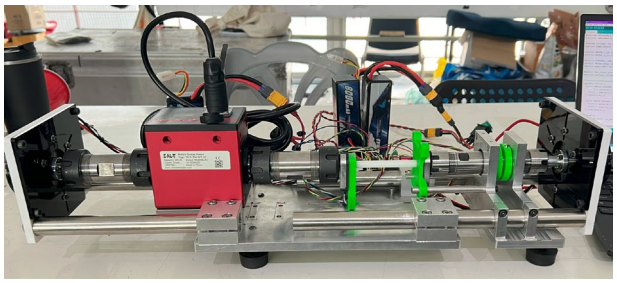


Figure 3 Main components and instrumentation

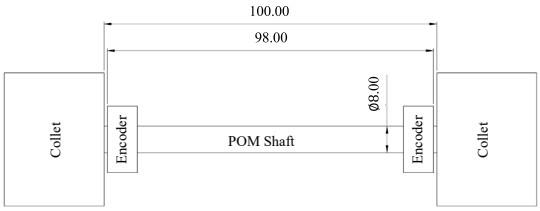


Figure 4 Incremental encoders configuration

Table 1 Device Components

Device	Brand and Spec
Brushless Motor	CUBEMARS AK60-6 V1.1 KV140
Rotary Torque Transducer	CALT DYN-200 (50 Nm)
Shaft	POM Dia 8 mm (-0.05mm) ($\sigma_y \approx$ 63MPa)
Incremental Encoder	SAMESKY AMT-102

4. Torque Calibration Test

The calibration test compared the proposed rotary torque measurement method using incremental encoders with reference torque measurements from a commercial rotary torque transducer. This process fully characterized the torque-relative twist angle relationship described by (4). To ensure accuracy and reliability, a calibration curve was generated and validated through experimental tests.

In this experiment, DC brushless motors with integrated driver boards were operated using manufacturer-recommended Velocity Mode for constant rotational speed and Current Brake Mode to apply braking torque through electrical current.

The shaft used in the test was made of POM. T_{max} was calculated using the manufacturer-provided tensile strength at yield, which was substituted into (6) and subsequently into (7) and (8) to determine T_{max}, which was approximately 1.5 Nm

The stepwise loading test was conducted using the setup shown in Figure 3. The test was performed at a single rotational speed with variable braking current to control the applied torque. The procedure began by commanding the rotating motor to reach the target speed of 200 rpm. Once the speed stabilized, the braking motor was activated in Current Brake Mode with an initial current of 1.5 Amps, as lower currents did not generate a braking effect. The braking current was then increased incrementally by 0.5 Amps every 10 seconds, up to a maximum of 4.5 Amps, which produced a maximum torque of approximately 1.5 Nm, corresponding to the limit calculated in (6). After reaching the maximum torque, both motors were stopped. During the test, torque measurements from the commercial rotary torque transducer and the relative twist angle from the incremental encoders were logged continuously, starting from the target rotational speed until both motors stopped. The reference torque and the relative twist angle were then plotted as a scatter plot, shown in Figure 5.

The relationship between reference torque and relative twist angle was modeled using the least squares method to obtain the slope of the calibration curve, which represents the estimation coefficient K in (4). The calibration curve showed a strong correlation between the reference torque and relative twist angle,

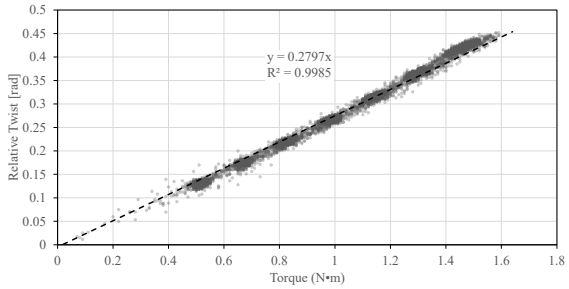


Figure 5 Calibration curve

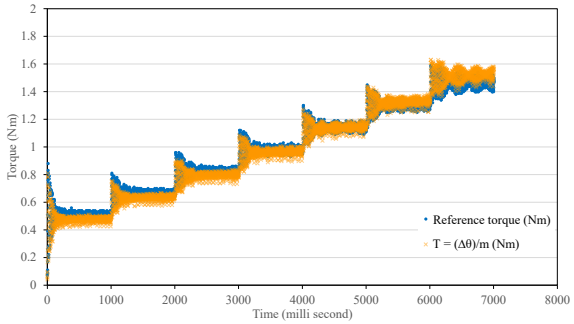


Figure 6 Torque measurement of stepwise torque loading test

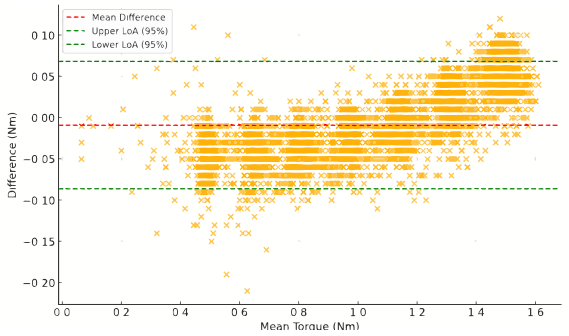


Figure 7 Bland-Altman analysis of stepwise torque loading test

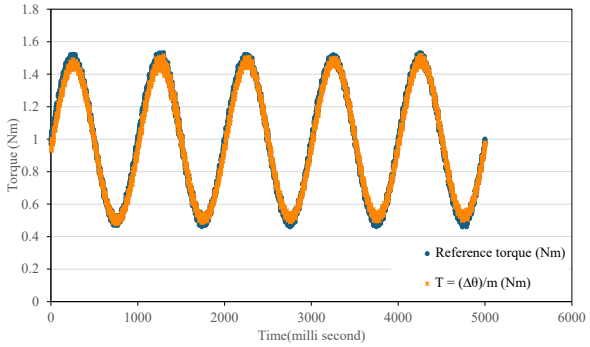


Figure 8 Torque measurement of dynamic torque response test

with a regression line and a satisfactory R-squared value, indicating a good fit to the experimental data.

Several factors may affect the accuracy of this torque measurement method, including vibration during operation, shaft misalignment, and inherent material properties such as a limited linear elastic deformation range. If not adequately managed, these factors could introduce minor discrepancies in measured torque values. To mitigate these issues, careful alignment procedures, vibration damping supports, and selection of appropriate materials should be considered. Addressing these factors will contribute to improved measurement stability and reliability in future implementations.

5. Result

The commercial rotary torque transducer is widely used in industrial applications to measure torque on rotating shafts, making it a reliable and well-established reference. For this investigation, it served as a calibration tool and a reference for validating the proposed rotary torque measurement method using incremental encoders. All data acquisition was performed at a sampling frequency of 100 Hz.

Stepwise Torque Loading Test: The comparison between the commercial rotary torque transducer and the proposed method was conducted during a variable step torque load test, and the results are shown in Figure 6. The experiment was performed at a constant motor speed of 200 rpm, with the braking current applied to the load motor starting at 1.5 Amps and increasing in steps of 0.5 Amps every 10 seconds, up to 4.5 Amps. The corresponding torque ranged from approximately 0.5 Nm to a maximum of 1.5 Nm, increasing in steps of approximately 0.15 Nm. The collected data were analyzed, and statistical error metrics (MAE, RMSE) were calculated as shown in Table 2. The results indicate that the error values are low, demonstrating high accuracy of the proposed method. Moreover, the Relative Error is less than 5%, further validating the method's precision. A Bland-Altman Plot Analysis was conducted to assess the agreement between the proposed method and the reference device [10], as shown in Figure 7. The analysis shows that the mean difference is close to zero, indicating no significant bias between the two devices. Most data points fall within the 95% limits of agreement, confirming that the readings from the proposed method are consistent with those from the reference device.

Dynamic Torque Response Test: Dynamic torque response test was performed to assess the response accuracy and dynamic performance of the proposed method compared to the commercial rotary torque transducer. The results are shown in Figure 8. The experiment was conducted at a constant motor speed of 200 rpm, with the load applied in a sine wave pattern with a period of 10 seconds and a peak-to-peak amplitude of approximately 1 Nm. The results show that the torque measurements obtained from the proposed method closely match those from the commercial rotary torque transducer, with minimal deviation. The majority of the data points overlap, demonstrating that the proposed method provides a highly responsive and reliable torque measurement. The statistical error metrics for this test are also presented in Table 2, further confirming the accuracy of the proposed method.

Table 2 Performance Evaluation Metrics

Variable step torque load test	
Evaluate metrics	Value
Mean Absolute Error (MAE)	0.04 Nm
Root Mean Square Error (RMSE)	0.03 Nm
Relative Error	4.39 %
Response torque tracking test	
Evaluate metrics	Value
Mean Absolute Error (MAE)	0.04 Nm
Root Mean Square Error (RMSE)	0.03 Nm
Relative Error	3.44 %

6. Conclusion

The proposed rotary torque measurement system was developed using only two incremental encoders, estimating torque from the relative twist angle of a shaft. Due to uncertainty in manufacturer-provided material properties, a calibration curve was generated with a commercial torque transducer. Experimental validation demonstrated strong agreement with the reference transducer, achieving low error metrics (MAE $\leq$ 0.04 Nm, Relative Error $\leq$ 4.39%). Bland-Altman analysis confirmed measurement consistency. Furthermore, the system significantly reduces hardware costs and complexity. The achieved accuracy and affordability make the system suitable for future extensions, such as torque control in track-driven mobile robots. Further improvements in alignment methods, vibration suppression, and material selection can enhance system accuracy even more in future work.

7. Acknowledgment

I would like to thank my advisor and all contributors for their invaluable guidance and support throughout this research. Special thanks go to the researchers and members of the Invigorating Robot Activity Project (iRAP), Faculty of Engineering, KMUTNB, whose technical expertise greatly contributed to the success of this project.

References

[1] D. Zappalá, M. Bezziccheri, C. J. Crabtree, and N. Paone, 2018, “Non-intrusive torque measurement for rotating shafts using optical sensing of zebra-tapes,” Meas. Sci. Technol., vol. 29, no. 6, p. 065207

[2] B. Lu, D. Durocher, and P. Stemper, “Predictive maintenance techniques", IEEE Ind. Appl. Mag., vol. 15, no. 6, pp. 52–60

[3] K. Xia, R. Li, T. Jin, Q. Yuan, and Y. Du, 2024, “Design of a Contactless Torque Measurement System Based on the Photoelectric Conversion Principle,” IEEE Sensors J., vol. 24, no. 23, pp. 38758–38766

[4] J.-H. Meng, S.-H. Kim, and J.-B. Song, 2025, “Design of an Inductive Torque Sensor for Robotic Applications,” IEEE Sensors J., vol. 25, no. 7, pp. 10749–10757

[5] J. Xu and R. Yan, 2023, “Design of a Wireless Torque Measurement System for Real-Time Monitoring of Marine Shaft”, pp. 1–4, 2023 International Conference on Sensing, Measurement & Data Analytics in the era of Artificial Intelligence (ICSMD), 2-4 Nov 2023, China

[6] R. C. Hibbeler, Mechanics of Materials, 9th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2014.

[7] P. Sue, D. Wilson, L. Farr, and A. Kretschmar, 2012, “High precision torque measurement on a rotating load coupling for power generation operations”, pp. 518–523, 2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 13-16 May 2012, Austria

[8] G. E. Dieter, Mechanical Metallurgy, 3rd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1986.

[9] R. C. Juvinall and K. M. Marshek, Fundamentals of machine component design, 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012.

[10] D. Giavarina, 2015, "Understanding Bland Altman analysis", Biochem Med (Zagreb), vol. 25, no. 2, pp. 141–151

การทดสอบการเผาไหม้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันสนในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่

Combustion Testing of Diesel Blending with Turpentine in a High Capacity Diesel Engine

วสุ สุขสุวรรณ[1] Dhinesh Balasubramaniana[2] มักตาร์ แวหะยี[3, 4*]
[1]สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000
[2]Department of Mechanical Engineering, Mepco Schlenk Engineering College, Sivakasi, Tamil Nadu.
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและเมคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110
[4]ศูนย์วิจัยชีวมวล พลังงานและเทคโนโลยียั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110
E-mail: wmakatar@eng.psu.ac.th*

Wasu Suksuwan[1], Balasubramanian, Dhinesh[2], Wae-hayee, Makatar[3, 4*]
[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, 90000
[2]Department of Mechanical Engineering, Mepco Schlenk Engineering College, Sivakasi, Tamil Nadu, India
[3]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110
[4]Biomass Energy and Sustainable Technology (BEST) Research Center, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110
E-mail: wmakatar@eng.psu.ac.th*

บทคัดย่อ

การขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาดใหญ่จะใช้เครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะประเทศไทยยังคงมีการใช้เครื่องยนต์ดีเซลเก่าเป็นจำนวนมาก เนื่องจากไม่มีมาตรการกำจัดเครื่องยนต์เก่าเหมือนประเทศที่พัฒนาแล้ว ในงานวิจัยนี้ต้องการทดสอบการผสมน้ำมันที่มีความหนืดต่ำ ซึ่งใช้น้ำมันสนผสมเข้ากับน้ำมันดีเซล แล้วนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลเก่าที่ใช้กับรถบรรทุกขนาดใหญ่ เครื่องยนต์ดีเซลที่เลือกใช้ยี่ห้อ ISUZU รุ่น D500 เป็นเครื่องยนต์สูบเรียง จำนวน 6 สูบ มีขนาดความจุกระบอกสูบ 5 Lites (4,978 cc) ในการทดลองได้ผสมน้ำมันสนกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วน 0% (ไม่ผสม) 10%, 20%, 30% และ 40% โดยปริมาตร แล้ววัดคุณสมบัติของแก๊สไอเสียโดยใช้เครื่องวัดแก๊สไอเสียยี่ห้อ Testo รุ่น 350 จากการทดสอบพบว่าการผสมน้ำมันสนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้แก๊สเสียมีค่าออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น และคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าลดลง ซึ่งแสดงถึงการผสมน้ำมันสนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ลดลง อย่างไรก็ตามการผสมน้ำมันสนในสัดส่วน 10% โดยปริมาตร มีผลทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีขึ้น เนื่องจากมีผลทำให้ออกซิเจนมีค่าต่ำลงและและคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับกรณีดีเซลที่ไม่ผสม (0%) นอกจากนี้ยังพบว่าการผสมน้ำมันสนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้อุณหภูมิของแก๊สไอเสียมีค่าลดลง ช่วยลดการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ในแก๊สไอเสีย
คำสำคัญ: การเผาไหม้, น้ำมันดีเซล, ไบโอดีเซล, เครื่องยนต์ดีเซล, น้ำมันสน

Abstract

Heavy trucks, generally, use diesel engines for transportation. Especially in Thailand, which still uses a lot of old diesel engines because there is no regulation to dispose of old engines like in developed countries. In this research, the mixture of low viscosity oil, which uses turpentine mixed with diesel oil, was tested in an old diesel engine used in heavy trucks. The diesel engine, ISUZU D500 which is a 6-cylinder inline engine with a cylinder capacity of 5 Liters (4,978 cc) was tested. In the experiment, turpentine was mixed with commercial diesel in the proportion of 0% (not mixed), 10%, 20%, 30%, and 40% by volume. The properties of the exhaust gas were measured using an exhaust gas analyzer namely Testo model 350. It was found that an increasing of mixing ratio of turpentine resulting in increasing oxygen and decreasing carbon dioxide in the exhaust gas. This indicated the increasing of mixing ratio of turpentine resulting in decreasing combustion efficiency. However, blending with 10% turpentine by volume resulted in better combustion efficiency resulting in lower oxygen and higher carbon dioxide values compared to the unblended diesel (0%). In addition, it was also found that the increasing of mixing ratio of turpentine resulting in decreasing temperature of exhaust gas which decrease nitrogen oxide.
Keywords: Combustion, Diesel, Biodiesel, Diesel Engine, Turpentine

1. บทนำ

ปัจจุบันวิกฤตพลังงานเป็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกต่างให้ความสนใจ การพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลเพียงอย่างเดียวทำให้ความต้องการเชื้อเพลิงฟอสซิลสูงขึ้น ซึ่งมีปริมาณจำกัด เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว การวิจัยเพื่อหาเชื้อเพลิงทางเลือก เช่น เชื้อเพลิงจากพืชที่เป็นพลังงานหมุนเวียน เรียกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพ (Bio-fuel) มีความสำคัญ เชื้อเพลิงชีวภาพที่รู้จักกันทั่วไปได้แก่ ไบโอแอลกอฮอล์ (เอทานอล บิวทานอล) ไบโอดีเซล เป็นต้น

น้ำมันจากชีวภาพสามารถแบ่งตามความหนืดเป็นสองประเภท ได้แก่ เชื้อเพลิงที่มีความหนืดต่ำและความหนืดสูง น้ำมันพืชและอนุพันธ์ของไบโอดีเซลอาจถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีความหนืดสูง สำหรับแอลกอฮอล์และอีเธอร์อาจถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีความหนืดต่ำ เชื้อเพลิงที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบ เช่น เอธานอลและเมทานอล เหมาะสำหรับใช้ในเครื่องยนต์แก๊ซโซลีน หรือเรียกว่าเครื่องยนต์เบนซิน สำหรับไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงที่มีอีเธอร์เป็นส่วนประกอบเหมาะสำหรับนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล [1], [2] อย่างไรก็ตาม ในทศวรรษที่ผ่านมา นักวิจัยได้พิจารณาใช้เชื้อเพลิงที่มีแอลกอฮอล์ผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล [3] และได้มีการพยายามปรับแต่งระบบหัวฉีดเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อให้สามารถใช้เชื้อเพลิงจากแอลกอฮอล์ให้ได้มากที่สุด [4] สำหรับการผสมสัดส่วนแอลกอฮอล์ในน้ำมันดีเซลในปริมาณที่น้อยลง ก็สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ [5]

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงที่มีความหนืดต่ำ เช่น น้ำมันยูคาลิปตัสและน้ำมันสน ก็ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา [6], [7], [8] เนื่องจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหล่านี้เอื้อต่อการทำงานในเครื่องยนต์ดีเซล เชื้อเพลิงเหล่านี้มีความหนืดต่ำเช่นเดียวกับแอลกอฮอล์ แต่มีความแตกต่างจากแอลกอฮอล์ตรงที่เชื้อเพลิงเหล่านี้มีค่าความร้อนใกล้เคียงกันกับน้ำมันดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำมันยูคาลิปตัสซึ่งจัดอยู่ในประเภทน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากพืช ซึ่งได้รับการทดสอบแล้วว่ามีศักยภาพที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลได้ [9] นอกจากนี้ Vallinayagam และคณะ [7], [10] ได้ศึกษาการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีความหนืดต่ำ นั้นคือน้ำมันสน ซึ่งได้จากการสกัดจากยางของต้นสน จากผลการศึกษาพบว่า น้ำมันดังกล่าวจะนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้

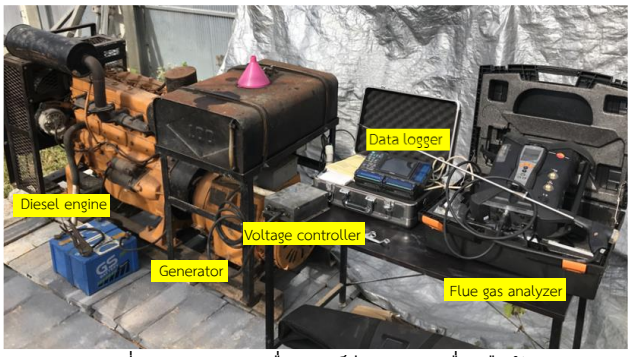
การขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาดใหญ่จะใช้เครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะประเทศไทยยังคงมีการใช้เครื่องยนต์ดีเซลเก่าเป็นจำนวนมาก เนื่องจากไม่มีมาตรการกำจัดเครื่องยนต์เก่าเหมือนประเทศที่พัฒนาแล้ว ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการทดสอบการผสมน้ำมันสนกับน้ำมันดีเซล แล้วนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลเก่าที่ใช้กับรถบรรทุกขนาดใหญ่ (10 ล้อ) ในเบื้องต้นของงานวิจัยจะทำการวัดคุณสมบัติของแก๊สไอเสีย โดยปรับสัดส่วนการผสมน้ำมันสนที่แตกต่างกัน

2. การทดลอง

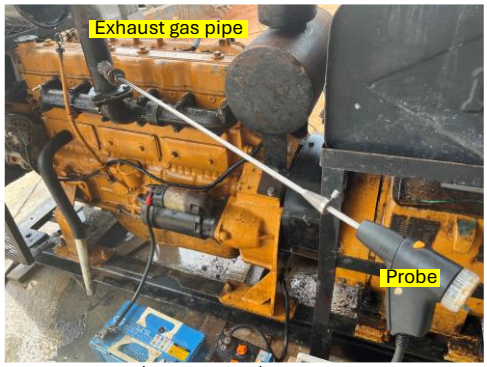
2.1 ชุดทดลอง

รูปที่ 1 แสดงชุดลอง เครื่องยนต์ดีเซลที่นำมาทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลยี่ห้อ ISUZU รุ่น D500 เป็นเครื่องยนต์สูบเรียง จำนวน 6 สูบ มีขนาดความจุกระบอกสูบ 5 Lites (4,978 cc) ขนาด 125 แรงม้า [11] สำหรับเครื่องยนต์ดังกล่าวต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อเตรียมการทดสอบกรณีที่เครื่องยนต์มีภาระ อย่างไรก็ตามการทดสอบครั้งนี้พิจารณาเฉพาะแก๊สไอเสีย ซึ่งเป็นการทดสอบกรณีแบบไม่มีภาระ (No Load)

ตำแหน่งที่วัดแก๊สไอเสีย จะทำการเจาะที่ตำแหน่งคอท่อตามรูปที่ 2 โดยติดตั้งโพรบวัดแก๊สไอเสียที่ตำแหน่งดังกล่าว เครื่องวัดแก๊สไอเสียที่นำมาใช้ยี่ห้อ Testo รุ่น 350 ซึ่งสามารถวัดคุณสมบัติแก๊สไอเสียดังนี้ O_2, CO_2, CO, NO_x, SO_x โดยรายละเอียดของเครื่องวัดแก๊สแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 ชุดทดลองเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องมือวัด



รูปที่ 2 ตำแหน่งที่วัดแก๊สไอเสีย

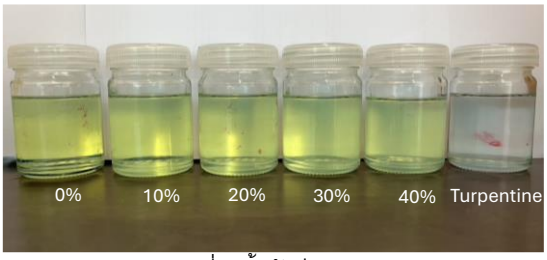
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องวัดแก๊สไอเสีย Testo 350 [12]

Parameter	Accuracy
- O_2 (0 to 25 Vol%)	± 0.8 Vol.%
- CO_2 (0 to 50 Vol%)	± 0.3 Vol.%
- CO (0 to 10,000 ppm)	± 10.0 ppm
- NO (0 - 4,000 ppm)	± 5.0 ppm
- NO_2 (0 - 500 ppm)	± 5.0 ppm
- SO_2 (0 - 5,000 ppm)	± 5.0 ppm

2.2 น้ำมันดีเซลผสม

น้ำมันสน (Turpentine) เป็นของเหลวที่ได้มาจากการกลั่นยางไม้ที่เก็บเกี่ยวจากต้นไม้ที่มีชีวิต ซึ่งส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นตัวทำละลายแบบพิเศษ และยังเป็นแหล่งวัสดุสำหรับสารสังเคราะห์อินทรีย์ [13] จัดอยู่ในกลุ่ม Bio-oil มีความหนืดต่ำ ในการทดลองนี้ได้นำน้ำมันสนผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วน 0% (ไม่ผสม) 10%, 20%, 30% และ 40% โดยปริมาตร น้ำมันที่ผสมแล้วแสดงในรูปที่ 3

สำหรับน้ำมันดีเซลที่นำมาใช้ เป็นน้ำมันดีเซลเชิงพานิชย์ที่จำหน่ายตามท้องตลาด ซึ่งเป็นน้ำมันที่ผสม Bio-diesel มาแล้ว 7% (B7) สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้ตัวอย่างน้ำมันดีเซลจากตัวแทนผู้จำหน่ายของ บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำมันดีเซลเชิงพานิชย์และน้ำมันสนนี้นำมาทดสอบในครั้งนี้ ซึ่งอยู่ในรูปค่าความร้อนและคุณสมบัติทางเคมี จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันสน สำหรับคุณสมบัติทางเคมีพบว่ามีค่า C, H, O และ N แตกต่างกันไม่มากนัก



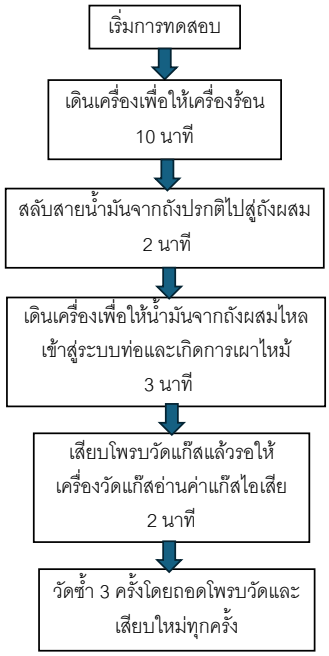
รูปที่ 3 น้ำมันดีเซลผสม

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลเชิงพานิชย์และน้ำมันสนที่ได้จากการวิเคราะห์

Parameters	Commercial Diesel	Turpentine
Higher Heating Value (kcal/kg)	11,124±4.144	10,517±16.85
C (%Wt)	85.682±0.098	87.827±0.241
H (%Wt)	13.734±0.015	11.407±0.027
O (%Wt)	0.576±0.031	0.320±0.008
N (%Wt)	<0.01	<0.01

2.3 วิธีการทดลอง

ในการทดสอบ ได้เดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันดีเซลทั่วไปเป็นระยะเวลา 10 นาที เพื่อให้เครื่องร้อนและให้ระบบการทำงานของเครื่องเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) จากนั้นดับเครื่องยนต์แล้วถอดสายดูดน้ำมันและสายน้ำมันไหลกลับถังออกจากถังน้ำมัน แล้วคายน้ำมันที่อยู่ในสายน้ำมันทั้งสองให้ได้มากที่สุด จากนั้นนำสายน้ำมันทั้งสองจุ่มลงในถังน้ำมันผสมที่เตรียมสำหรับทดสอบ แล้วเดินเครื่องอีกครั้งเป็นเวลา 3 นาที เพื่อให้มั่นใจว่าน้ำมันผสมที่เตรียมสำหรับทดสอบได้ไหลเข้าไปในระบบปั๊มดีเซลของเครื่องยนต์และเกิดการเผาไหม้ จากนั้นเสียบโพรบวัดแก๊สที่ตำแหน่งท่อไอเสียตามที่ได้แสดงในรูปที่ 2 แล้วรอให้ระบบการวัดเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 นาที แล้วทำการบันทึกผลการวัดแก๊สไอเสีย ในการทดสอบแต่ละครั้งได้วัดแก๊สไอเสีย 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ในการวัดแต่ละครั้งได้ ได้ถอดโพรบวัดออกจากท่อไอเสีย เพื่อให้เครื่องวัดแก๊สได้เข้าสู่สภาวะเริ่มต้นทุกครั้ง สำหรับแผนผังการทดลองได้แสดงในรูปที่ 4 สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบแต่ละครั้ง (ไม่รวมระยะเวลาเดินเครื่องให้ร้อน) ใช้เวลาประมาณ 15 นาที และในใช้น้ำมันประมาณ 2 ลิตร

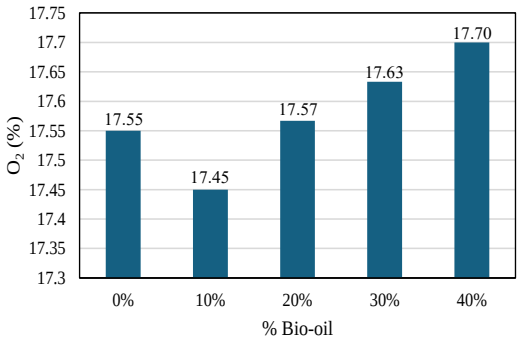


รูปที่ 4 แผนผังวิธีการทดลอง

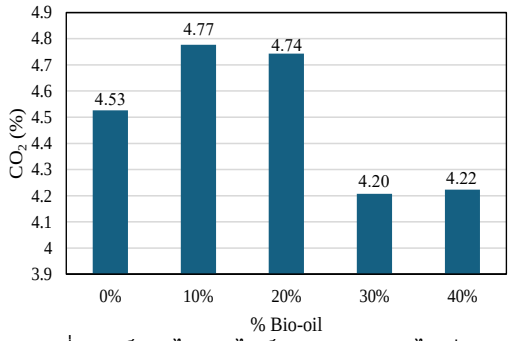
3. ผลการทดลอง

รูปที่ 5 และ 6 แสดงออกซิเจน (O_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของแก๊สไอเสีย โดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติของแก๊สไอเสียของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะมีออกซิเจนที่ต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูง [14] จากรูปพบว่า การผสมน้ำมันสนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้ออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้นและคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าลดลง ซึ่งแสดงถึงการผสมน้ำมันสนใน

สัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ลดลง ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเพื่อปรับปรุงสภาพน้ำมันสนก่อนการเผาไหม้ อย่างไรก็ตาม การผสมน้ำมันสนในสัดส่วน 10% โดยปริมาตร มีผลทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีขึ้น เนื่องจากมีผลทำให้ออกซิเจนมีค่าต่ำลงและและคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับกรณีดีเซลที่ไม่ผสม (0%)

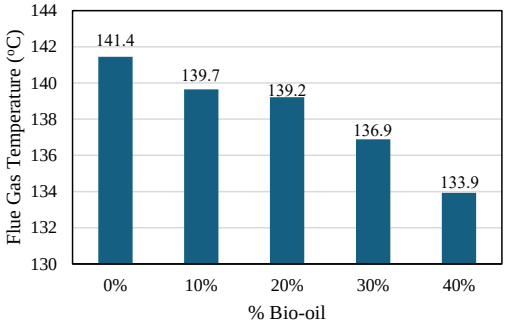


รูปที่ 5 ออกซิเจน (O_2) ของแก๊สไอเสีย



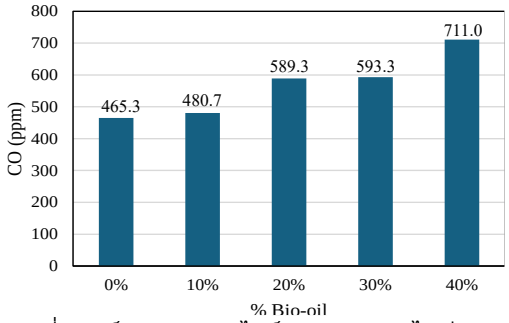
รูปที่ 6 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของแก๊สไอเสีย

รูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย แก๊สไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงแสดงถึงสภาวะที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เนื่องจากเชื้อเพลิงทำปฏิกริยาทางเคมีความร้อน (Thermal chemical reaction) กับออกซิเจนในอากาศจะได้แก๊สผลิตภัณฑ์และความร้อนออกมา [14] จากรูปพบว่า การผสมน้ำมันสนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้อุณหภูมิของแก๊สไอเสียมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจนที่ลดลงและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นตามที่ได้อธิบายก่อนหน้านี้ สำหรับอุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่มีค่าลดลงนั้นเกิดจากค่าความร้อนของน้ำมันสนมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลตามที่แสดงในตารางที่ 2



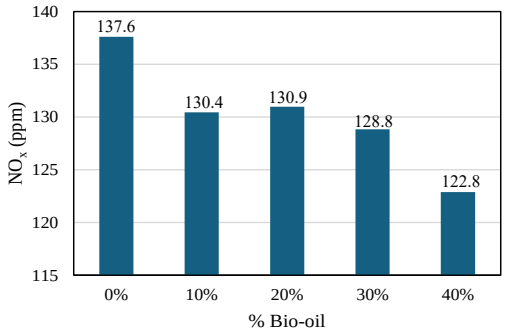
รูปที่ 7 อุณหภูมิของแก๊สไอเสีย

รูปที่ 8 แสดงคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ของแก๊สไอเสีย ซึ่งเป็นแก๊สที่มีพิษที่มีผลต่อมลมาวะทางอากาศ การเผาไหม้ที่ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่มีค่าสูง แสดงถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จากรูปพบว่า การผสมน้ำมันสนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้คาร์บอนมอนนอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจนที่ลดลง และคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นตามที่ได้อธิบายก่อนหน้านี้



รูปที่ 8 คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ของแก๊สไอเสีย

รูปที่ 9 แสดงไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของแก๊สไอเสีย ซึ่งเป็นแก๊สที่มีพิษที่มีผลต่อมลมาวะทางอากาศ ไนโตรเจนออกไซด์จะเกิดขึ้นในสภาวะการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง การผสมน้ำมันสนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้ไนโตรเจนออกไซด์มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิแก๊สไอเสียตามที่ได้แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 9 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของแก๊สไอเสีย

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบการเผาไหม้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันสนในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ในสัดส่วน 0% (ไม่ผสม) 10%, 20%, 30% และ 40% โดยปริมาตร โดยวัดคุณสมบัติของแก๊สไอเสียเพื่อพิจาณาสภาวะการเผาไหม้ จากการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การผสมน้ำมันสนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้น และคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าลดลง ซึ่งแสดงถึงการผสมน้ำมันสนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ลดลง และมีผลต่อแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการผสมนำมันสนในสัดส่วน 10% โดยปริมาตร มีผลทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีขึ้น เนื่องจากมีผลทำให้ออกซิเจนมีค่าต่ำลงและและคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับกรณีดีเซลที่ไม่ผสม (0%)

2. การผสมน้ำมันสนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้อุณหภูมิของแก๊สไอเสียมีค่าลดลง ช่วยลดการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ในแก๊สไอเสีย สำหรับอุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่มีค่าลดลงนั้นเกิดจากค่าความร้อนของนำมันสนมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.) และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ ENG6701394S

เอกสารอ้างอิง

[1] L. Xing-cai, Y. Jian-Guang, Z. Wu-Gao, H. Zhen, Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol–diesel blend fuel, Fuel, 83 (2004), pp. 2013-2020.

[2] M. Karabektas, G. Ergen, M. Hosoz, Effects of the blends containing low ratios of alternative fuels on the performance and emission characteristics of a diesel engine, Fuel, 112 (2011), pp. 537-541.

[3] N. Yilmaz, T.M. Sanchez, Analysis of operating a diesel engine on biodiesel–ethanol and biodiesel–methanol blends, Energy, 46 (2012), pp. 126-129

[4] P. Lawrence, P. Mathews, B. Deepanraj, Experimental investigation on performance and emission characteristics of low heat rejection diesel engine with ethanol as fuel, Am J Appl Sci, 8 (2011), pp. 348-354.

[5] Z. Sahin, O. Durgun, Prediction of the effects of ethanol-diesel fuel blends on diesel engine performance characteristics, combustion, exhaust emissions, and cost, Energy Fuel, 23 (2009), pp. 1707-1717.

[6] R. Vallinayagam, S. Vedharaj, W. Yang, P. Lee, K. Chua, S. Chou, Combustion performance and emission characteristics study of pine oil in a diesel engine, Energy, 57 (2013), pp. 344-351

[7] R. Vallinayagam, S. Vedharaj, W. Yang, C. Saravanan, P. Lee, K. Chua, et al. Emission reduction from a diesel engine fueled by pine oil biofuel using SCR and catalytic converter, Atmos Environ, 80 (2013), pp. 190-197.

[8] P. Devan, N. Mahalakshmi, A study of the performance, emission and combustion characteristics of a compression ignition engine using methyl ester of paradise oil–eucalyptus oil blends, Appl Energy, 86 (2009), pp. 675-680.

[9] R. Karthikeyan, N. Nallusamy, N. Alagumoorthi, V. Ilangovan, Optimisation of engine operating parameters for turpentine mixed diesel fueled DI diesel engine using Taguchi method, Mod Appl Sci, 4 (2010), pp. 182-192.

[10] R. Vallinayagam, S. Vedharaj, W. Yang, C. Saravanan, P. Lee, K. Chua, et al., Impact of ignition promoting additives on the characteristics of a diesel engine powered by pine oil–diesel blend, Fuel, 117 (2013), pp. 278-285.

[11] https://en.wikipedia.org/wiki/Isuzu_Forward เข้าดูเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2068

[12] https://www.entech.co.th/wp-content/uploads/2017/09/testo-350-Data-sheet.pdf เข้าดูเมื่อ 25 มีนาคม 2568

[13] https://th.wikipedia.org/wiki/น้ำมันสน เข้าดูเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2025

[14] เอกสารประกอบการสอนรายวิชา “การเผาไหม้” มักตาร์ แวหะยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2564

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

DEVELOPMENT CONCEPTUAL FURNITURE IN THE CATEGORY OF WARDROBE FOR ELDERLY BY USING QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT TECHNIQUE

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์[1] ธยา ภิรมย์[1] อภิชล ทองมั่ง กำเนิดวั้ำ[1*] ธวัชชัย ยาประจัน[1] ชนิดา จันอิ[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
E-mail: Apichon.tk@rmutsv.ac.th*

Surasit Rawangwong[1], Thaya Pirom[1], Apichon Thongmung Kamnerdwam[1*], Thawatchai Yaprajan[1], Chanida Jan-ai[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya
E-mail: Apichon.tk@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ วิธีการวิจัยเริ่มต้นด้วยการสำรวจเสียงความต้องการของลูกค้า จากนั้นออกแบบแบบสอบถามเพื่อหาคะแนนความสำคัญในแต่ละความต้องการ นำข้อมูลความต้องการและคะแนนความสำคัญมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ แยกเป็น 2 เมทริกซ์ คือ เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ และเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ โดยมีประเด็นความต้องการจากลูกค้า ประกอบด้วย 1) รูปลักษณ์ผลิตภัณฑ์ 2) ระบบอัจฉริยะ 3) การใช้งาน 4) คุณภาพ 5) วัสดุ และ 6) การตลาด ต่อมาทำการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ และทำการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ ผลลัพธ์จากการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุพบว่า ประเด็นความต้องการที่ลูกค้าให้ความสำคัญและมีความพึงพอใจมากที่สุดเป็นอันดับแรก คือ อุปกรณ์ควบคุมที่ได้มาตรฐาน โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก และมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.40 ในส่วนระดับความพึงพอใจในประเด็นรองลงมาคือ ระบบความปลอดภัยอัจฉริยะ เช่น มีการแจ้งเตือนเมื่อตู้เปิดใช้งาน โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับที่ดี มีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 4.39 ทั้งนี้มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 4.16 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจที่ดี ซึ่งผลลัพธ์จากการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุนี้ จะเป็นแนวทางในการผลิตในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ, ผู้สูงอายุ, ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ

Abstract

This research aims to design a wardrobe furniture product for the elderly by applying a quality function deployment technique. The research methodology starts with a survey of customer needs, then a questionnaire is designed to derive importance scores for each need. A questionnaire was designed to derive and analyze importance scores for each requirement. The requirement data and importance scores were analyzed using the quality function deployment technique and were divided into two matrices: the product planning matrix and the design transformation matrix. The customer demand factors include: 1) product appearance, 2) intelligent system, 3) usability, 4) quality, 5) materials, and 6) marketing. Later, we designed a wardrobe furniture product for the elderly and conducted a survey on customer satisfaction with the designed wardrobe furniture. The results of the customer satisfaction survey on the elderly wardrobe furniture product found that the issue that customers gave the most importance and were most satisfied with was the standard control equipment, the satisfaction level was very high, with an average score of 4.40. The second most important factor was the intelligent security system, such as notifications when the cabinet is activated, which received a high satisfaction score of 4.39. The overall product satisfaction score was 4.16, which indicates a good level of customer satisfaction. The results of the design and development of this wardrobe furniture product for the elderly can serve as a reference for future product development.

Keywords: Quality function development, Elderly, Wardrobe for the elderly

1. บทนำ

องค์การสหประชาชาติได้ระบุไว้ว่า หากประเทศใดมีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไปในสัดส่วนเกิน ร้อยละ 10 ของประชากรทั้งประเทศ ถือว่าประเทศนั้นก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (Aging society) และจะเปลี่ยนเป็นสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged society) เมื่อสัดส่วนประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปถึงเกณฑ์ที่กำหนด [1] จากสถานการณ์ของสังคมผู้สูงอายุในประเทศไทย มีรายงานของสำนักงานสถิติแห่งชาติที่สรุปแนวโน้มจำนวนประชากรทั้งประเทศเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางอายุของประชากรในประเทศไทย ซึ่งได้ก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์ กล่าวคือ สัดส่วนของประชากรในวัยต่าง ๆ เมื่อจำแนกประชากรออกเป็นกลุ่มอายุ 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ 1) ประชากรวัยเด็ก (อายุน้อยกว่า 15 ปี) 2) ประชากรวัยแรงงาน (อายุ 15-59 ปี) และ 3) ประชากรวัยสูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) จะเห็นได้ว่าในระหว่างปี พ.ศ.2553 – พ.ศ.2583 สัดส่วนของประชากรวัยเด็ก และวัยแรงงานมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่สัดส่วนของประชากรสูงอายุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากร้อยละ 13.2 ในพ.ศ.2553 เป็นร้อยละ 32.1 ในพ.ศ.2583 [2]

เมื่อศึกษาสัดส่วนร่างกายของผู้สูงอายุเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเฟอร์นิเจอร์ และอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน จากการทำกิจวัตรประจำวัน พบว่า มีสัดส่วนที่มีความแตกต่างกับข้อกำหนดการออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้สูงอายุ ทั้งทางด้านสัดส่วนความสูง สัดส่วนของระยะเอื้อม ความยาวช่วงแขน ความกว้างช่วงตัว และความยาวช่วงขา ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าการใช้มาตรฐานการกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีขนาดเดียวกันทั้งประเทศจึงไม่เหมาะสมและควรมีการพิจารณาปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบให้สามารถใช้งานเฉพาะพื้นที่ ซึ่งจะช่วยออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้สูงอายุได้อย่างเหมาะสม และมีความปลอดภัย [3]

จากการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้สูงอายุ พบว่า แนวโน้มของจำนวนประชากรวัยสูงอายุที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งผู้สูงอายุยังมีข้อจำกัดในการทำกิจวัตรประจำวัน เช่น การเปิดตู้เสื้อผ้าเพื่อที่จะสวมใส่ ทางผู้วิจัยได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment; QFD) โดยสำรวจเสียงเรียกร้องของลูกค้า และความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพาราประเภทตู้เสื้อผ้า จากนั้นได้แปลงความต้องการของลูกค้าด้วยเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ (House of Quality; HOQ)

จากข้อมูลข้างต้นจึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้สูงอายุในด้านการใช้ชีวิตประจำวันมากที่สุด

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment; QFD)

การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) คือ เครื่องมือในการวางแผนและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นเครื่องมือที่สามารถแปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยนำข้อมูลที่ได้ไปออกแบบและพัฒนาให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างตรงจุด ช่วยให้กระบวนการออกแบบและพัฒนาเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น และลดต้นทุนในการดำเนินงาน โดยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพประกอบด้วย 4 เฟสหลัก ดังนี้ [4] เฟสที่ 1 การวางแผนการผลิต (Product Planning) เป็นการแปลงความต้องการของลูกค้าให้เป็นข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirements) เฟสที่ 2 เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ (Design Deployment) เป็นการถ่ายทอดข้อกำหนดทางเทคนิคให้อยู่ในรูปของข้อกำหนดทางด้านส่วนประกอบ เฟสที่ 3 การวางแผนกระบวนการ (Process Planning) เป็นการแปลงข้อกำหนดทางด้านส่วนประกอบให้อยู่ในรูปของข้อกำหนดทางด้านกระบวนการผลิต และเฟสที่ 4 การวางแผนการผลิต (Production Planning) เป็นการแปลงข้อกำหนดทางด้านกระบวนการผลิตมาออกแบบและกำหนดวิธีในการควบคุม

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมข้อมูลก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ มีขั้นตอนดังนี้

1) สำรวจความต้องการของลูกค้า โดยใช้วิธีการสัมภาษณ์พูดคุยและเก็บแบบสอบถามชุดที่ 1 ซึ่งเป็นแบบสอบถามแบบปลายเปิด ซึ่งกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย คือ กลุ่มผู้สูงอายุภายในจังหวัดสงขลา โดยใช้สมการของ W.G. Cochran สำหรับกรณีที่ไม่ทราบจำนวนประชากรด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีการกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ P = 0.30 Z = 1.96 และ d = 0.05 เป็นค่าที่ได้จากการกำหนดความเชื่อมั่น 95% แสดงดังสมการที่ 1 [5]

$$n = \frac{P(1-P)Z^2}{d^2} \quad (1)$$

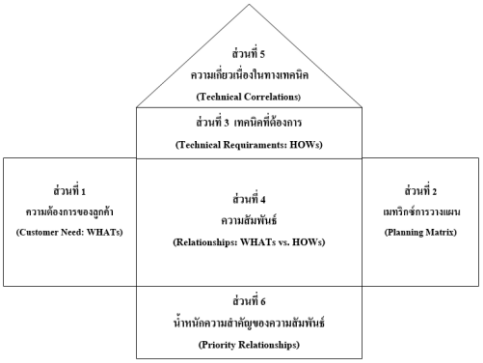
โดยที่ n คือขนาดกลุ่มตัวอย่าง P คือสัดส่วนกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย Z คือ ค่าคะแนนมาตรฐาน (Z-score) ตามระดับความเชื่อมั่น และ d คือ ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

ดังนั้นในขั้นตอนของการสำรวจความต้องการของลูกค้าได้จำนวนขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากการคำนวณคือ 246 ตัวอย่าง

2) จัดเรียงถ้อยคำความต้องการของลูกค้าใหม่ โดยนำเสียงของลูกค้ามาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ และจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์โดยใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) และแผนผังต้นไม้ (Tree Diagram) มาช่วยในการจัดข้อมูล

3) สร้างแบบสอบถามชุดที่ 2 เพื่อหาระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ จากนั้นหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจากแบบสอบถามชุดที่ 2 เพื่อนำไปใช้เป็นค่าความสำคัญ (Important; IMP) ในเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ

ขั้นตอนที่ 2 ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในส่วนของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยเป็นการสร้างบ้านคุณภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยเมทริกซ์ย่อย ๆ 6 ส่วน แสดงดังรูปที่ 1 และมีขั้นตอนดังนี้ [6]



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเมทริกซ์การวางแผน [7]

1) ส่วนความต้องการของลูกค้า หรือส่วนที่ 1 ในบ้านคุณภาพ เป็นการนำความต้องการของลูกค้าที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมการมาใส่ในเมทริกซ์การวางแผนของบ้านคุณภาพ

2) ส่วนเมทริกซ์การวางแผน หรือส่วนที่ 2 ในบ้านคุณภาพ เป็นการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมและรูปแบบใหม่ เพื่อกำหนดอัตราการปรับปรุงในผลิตภัณฑ์

3) ส่วนเทคนิคที่ต้องการ หรือส่วนที่ 3 ในบ้านคุณภาพ เป็นการระดมสมองของคณะผู้วิจัยร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเพื่อหาข้อกำหนดทางเทคนิค (Design Attributes) ที่ตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย รวมทั้งกำหนดเป้าหมายทางเทคนิคและค่าการเคลื่อนไหวของเป้าหมายเบื้องต้นเพื่อให้ทราบถึงทิศทางในการปรับปรุง โดยจะเป็นการให้สัญลักษณ์ ดังนี้ ↑ ยิ่งมากยิ่งดี ◯ เป้าหมายเหมาะสม ↓ ยิ่งน้อยยิ่งดี

4) ส่วนความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิคหรือส่วนที่ 4 ในบ้านคุณภาพ เป็นการระดมสมองร่วมกันทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องเพื่อแสดงถึงความเกี่ยวเนื่องของเทคนิคที่นำมาใช้ในตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ โดยใช้สัญลักษณ์ดังนี้ “O” หมายถึง มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก “X” หมายถึง มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย “ช่องว่าง” หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

5) ส่วนความสัมพันธ์หรือส่วนที่ 5 ในบ้านคุณภาพ เป็นการระดมสมองร่วมกันทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคกับความต้องการของลูกค้าในแต่ละคู่ โดยในการให้ค่าคะแนนความสัมพันธ์จะนิยมใช้ตัวเลขแทนความสัมพันธ์ ตามลำดับดังนี้ “0” คือ ไม่มีความสัมพันธ์ “1” คือ มีความสัมพันธ์น้อย “3” คือ มีความสัมพันธ์ปานกลาง “9” คือ มีความสัมพันธ์มาก

6) ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์หรือส่วนที่ 6 ของบ้านคุณภาพ เป็นการบ่งบอกถึงความสำคัญในปริมาณต่าง ๆ เพื่อให้ทราบว่าความต้องการใดที่ต้องให้ความสำคัญสูงสุด โดยประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ และส่วนของค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ

ขั้นตอนที่ 3 ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในส่วนของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ เป็นการพิจารณาถึงส่วนประกอบย่อยที่สามารถตอบสนองต่อเทคนิคที่นำมาใช้ที่ได้จากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ มีขั้นตอนดังนี้ [8]

1) เลือกเทคนิคที่นำมาใช้ ซึ่งเป็นการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคจากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์แปลงเป็นข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ โดยได้ทำการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อกำหนด โดยข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อมีความสำคัญและมีผลต่อความต้องการของลูกค้า จากนั้นจะนำข้อกำหนดทางเทคนิคทั้งหมดมาใส่ทางช่องซ้ายมือของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

2) นำค่าความสำคัญ IMP มาใส่ในเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ โดยค่า IMP นี้มาจากค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยจะนำมาใส่ทางด้านซ้ายของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบติดกับข้อกำหนดทางเทคนิค

3) กำหนดข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) โดยจะได้มาจากการระดมสมองในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยและข้อกำหนดทางเทคนิคที่จะส่งผลต่อความต้องการของลูกค้า

4) สร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ ซึ่งจะให้ค่าระดับคะแนนความสัมพันธ์แบบตัวเลข 0, 1, 3, 9 เช่นเดียวกับในขั้นตอนการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

5) คำนวณหาลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ ซึ่งจะมีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบผลิตภัณฑ์ เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าให้กับทีมออกแบบ เพื่อกำหนดเป็นแนวทางข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ

3 ผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

3.1 ผลการเตรียมก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

จากการสำรวจความต้องการของลูกค้าด้วยแบบสอบถามชุดที่ 1 จำนวน 246 ท่าน พบว่าการจัดหมวดหมู่ความต้องการโดยใช้แผนผังเชื่อมโยง สามารถจัดหมวดหมู่ได้เป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ รูปลักษณ์ผลิตภัณฑ์ ระบบอัจฉริยะ การใช้งาน คุณภาพ วัสดุ และการตลาด โดยนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาเป็นแบบสอบถามชุดที่ 2 เพื่อประเมินระดับความสำคัญของแต่ละประเด็น โดยผลการวิเคราะห์พบว่าประเด็นที่ลูกค้าให้ความสำคัญมากที่สุด คือ ประสิทธิภาพของระบบอัจฉริยะ โดยมีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต เท่ากับ 4.47

3.2 ผลการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

เป็นการนำผลข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้มาข้างต้นเข้าสู่เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 3 ดังนี้

1) ความต้องการของลูกค้า เป็นการนำคุณลักษณะความต้องการทั้ง 6 กลุ่ม มาใส่ทางด้านซ้ายมือของเมทริกซ์พร้อมกำหนดหมายเลข แสดงดังรูปที่ 2

2) เมทริกซ์การวางแผน เป็นการนำค่า (IMP) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 2 มาใส่ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าแต่ละตัว แสดงดังรูปที่ 2

3) กำหนดความต้องการทางเทคนิค จากการระดมสมองพบว่าข้อกำหนดทางเทคนิคที่สามารถตอบสนองแต่ละความต้องการของลูกค้าให้อยู่ในรูปข้อมูลเชิงเทคนิคมีทั้งหมด 18 ข้อกำหนด แสดงดังรูปที่ 2

4) ความเกี่ยวเนื่องของข้อกำหนดทางเทคนิคกำหนดความสัมพันธ์ของเทคนิคต่าง ๆ ที่นำมาใช้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า แสดงดังรูปที่ 2

5) เมทริกซ์ความสัมพันธ์ เป็นการเปรียบเทียบแบบและให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้าและข้อกำหนดทางเทคนิคเป็นคู่ ๆ โดยผลจากการให้คะแนนความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 2

6) ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ ซึ่งจากรูปที่ 3 สามารถสรุปผลได้ว่ามีข้อกำหนดทางเทคนิคที่ผ่านการจัดเรียงค่าน้ำหนักความสำคัญที่อยู่ในระดับ 80% ตามหลักการแผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) จำนวน 13 ข้อ โดยข้อกำหนดที่มีคะแนนมากที่สุดคือ วัสดุที่ใช้มีคุณภาพ 8.52% อันดับรองลงมา คือ ความปลอดภัยของระบบอัจฉริยะ 7.15% อันดับสาม คือ ความปลอดภัยในการใช้งาน 7.09% อันดับสี่ คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ 7.00% อันดับห้า คือ ฟังก์ชันของระบบอัจฉริยะ 6.95% อันดับหก คือ ความเหมาะสมของราคา 6.73% อันนดับเจ็ด คือ ความสะดวกต่อผู้สูงอายุ 6.61% อันดับแปด คือ ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ 6.49% อันดับเก้า คือ พื้นที่ใช้สอยของตู้เสื้อผ้า 5.25% อันดับสิบ คือ วัสดุสามารถรับน้ำหนัก 4.91% อันดับสิบเอ็ด คือ ถูกหลักการยศาสตร์ 4.39% อันดับสิบสอง คือ ขนาดผลิตภัณฑ์ 3.95% และอันดับสุดท้าย คือ การตกแต่งผลิตภัณฑ์ 3.68%

3.3 ผลการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

เป็นการนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ผ่านการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบจากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์มาทำการแปลงให้เป็นข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย แสดงดังรูปที่ 4 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) การเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคและค่า (IMP) ที่นำมาใช้ ซึ่งได้จากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการจัดเรียงลำดับความสำคัญจากค่ามากไปหาค่าน้อย โดยเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อ จากนั้นนำข้อกำหนดทางเทคนิคและค่า (IMP) ทั้งหมดมาใส่ทางด้านซ้ายมือของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ แสดงดังรูปที่ 4

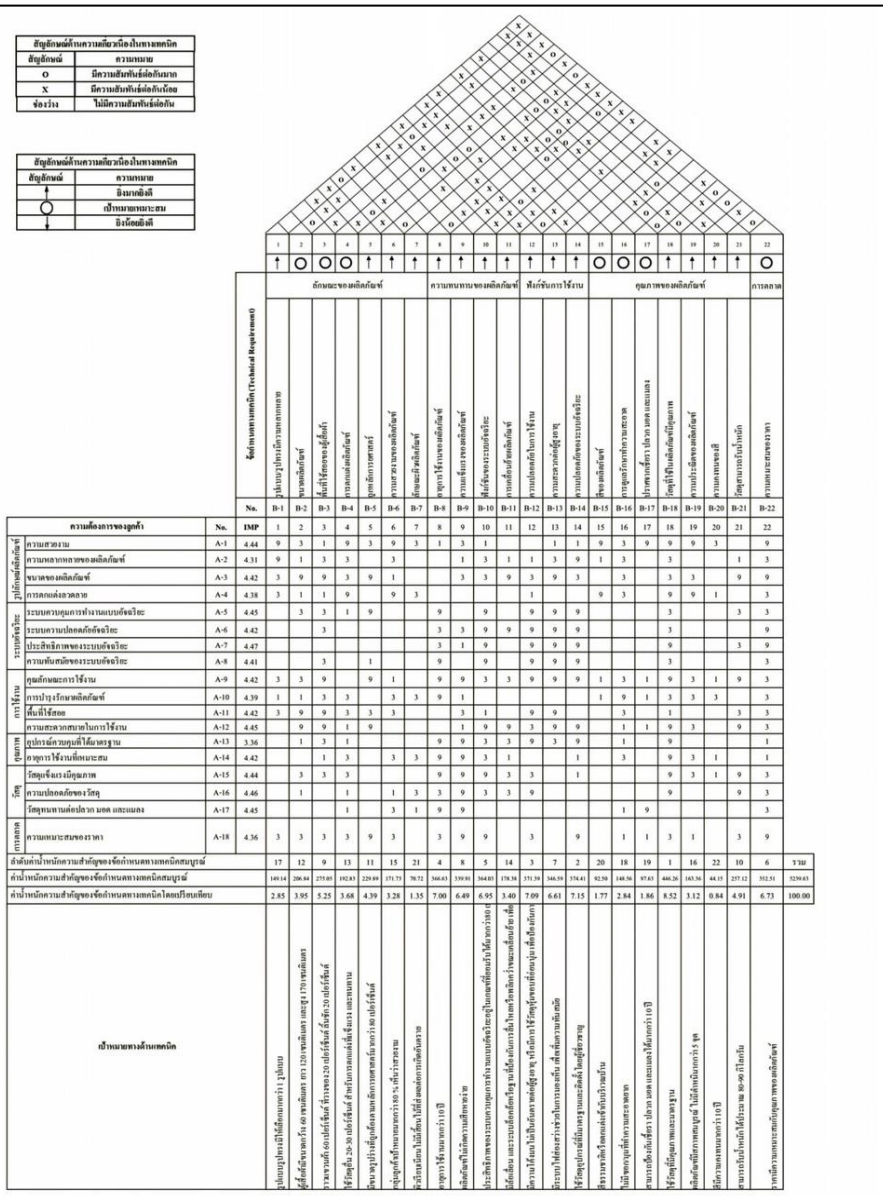
2) ข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย จากการระดมสมองพบว่าข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยที่สามารถทำให้ตอบสนองต่อข้อกำหนดทางเทคนิคมีทั้งหมด 13 ข้อกำหนด แสดงดังรูปที่ 4

3) ความเกี่ยวเนื่องของข้อกำหนดทางเทคนิคและข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย โดยจะได้ผลจากการให้คะแนนความสัมพันธ์ แสดงดังรูปที่ 4

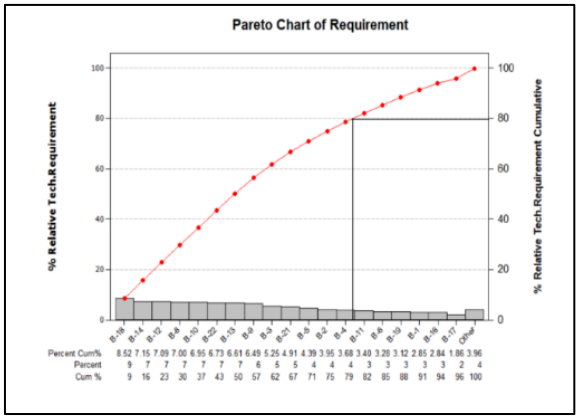
4) ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ ในส่วนนี้สรุปได้ว่าข้อกำหนดของชิ้นส่วนประกอบย่อยที่ผ่านการจัดเรียงค่าน้ำหนักความสำคัญที่อยู่ในระดับ 80% ตามหลักการแผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) จำนวน 8 ข้อ แสดงดังรูปที่ 5 โดยข้อกำหนดของชิ้นส่วนประกอบย่อยที่มีคะแนนมากที่สุด คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์14.40% อันดับรองลงมาคือ ความปลอดภัยในการใช้งานผลิตภัณฑ์ 13.50% อันดับสามคือ ฟังก์ชันการใช้งานมีความเหมาะสม 12.05% อันดับสี่คือ ความแข็งแรงในการประกอบ 11.03% อันดับห้าคือ ขนาดสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ 7.76% อันดับหกคือ ความละเอียดในการประกอบ 7.44% อันดับเจ็ดคือ การจัดเก็บสายไฟของระบบอัจฉริยะ 7.06% และอันดับสุดท้ายคือ ขนาดของชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบ 5.60%

3.4 ผลการออกแบบผลิตภัณฑ์

หลังจากสำรวจข้อมูลและประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ เพื่อทำการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ จนได้ข้อกำหนดทางเทคนิคในด้านที่เกี่ยวข้องจากบ้านคุณภาพ ผู้วิจัยได้นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์เข้าสู่กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความสอดคล้องกับข้อกำหนดที่ได้จากการวิเคราะห์ในเชิงเทคนิคเพื่อนำเสนอรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความตรงกับความต้องการของลูกค้า ในพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โดยผลการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ ด้วยโปรแกรม SketchUp กับ Adobe Illustrator แสดงดังรูปที่ 6



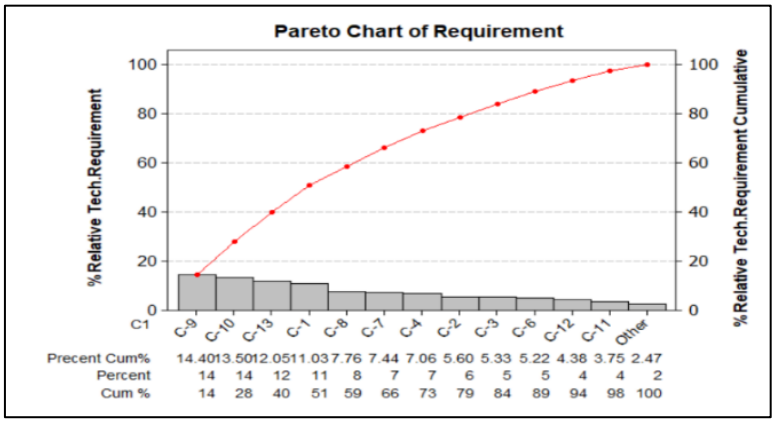
รูปที่ 2 เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ



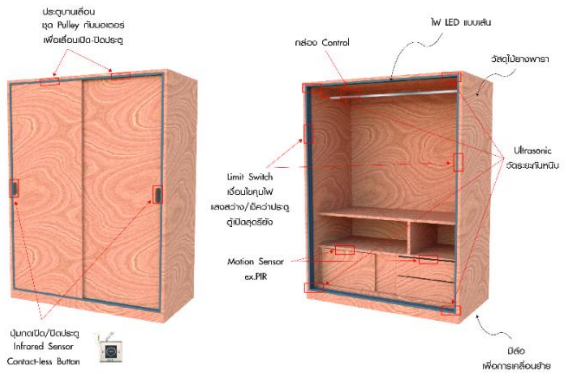
รูปที่ 3 การจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิค

			○	○	○	↑	↓	↑	○	○	↑	○	○	○	↑	
		ข้อกำหนดของชิ้นส่วนประกอบย่อย	ความแข็งแรงในการประกอบ	ขนาดของชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบ	น้ำหนักของชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบ	การจัดเก็บภายใต้ระบบอัจฉริยะ	น้ำหนักของอุปกรณ์อัจฉริยะ	น้ำหนักที่ใช้ในผลิตภัณฑ์	ความละเอียดในการประกอบ	ขนาดชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์	อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์	ความปลอดภัยในการใช้งานของผลิตภัณฑ์	ลักษณะของผิวของผลิตภัณฑ์	สีของชิ้นส่วน	ฟังก์ชันการใช้งานอัตโนมัติของระบบ	
		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	
ข้อกำหนดทางเทคนิค	No.	IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
วัสดุที่ใช้มีคุณภาพ	B-18	8.52	9	1	1			9	3	1	9	3	1	3		
ความปลอดภัยของระบบอัจฉริยะ	B-14	7.15				9	3		3	3	3	9			9	
ความปลอดภัยในการใช้งาน	B-12	7.09	3	1	3	3	3		3	1	3	9	3		3	
อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์	B-8	7.00	3	3	3	1		3	3	1	9	1		1	3	
ฟังก์ชันของระบบอัจฉริยะ	B-10	6.95				1			1	1	3	1			9	
ความเหมาะสมของราคา	B-22	6.73	3	1				3	3	1	9	9	3	1	9	
ความสะดวกต่อผู้สูงอายุ	B-13	6.61	1		3				1	9	3	3			9	
ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์	B-9	6.49	9	3	3		3		3	3	9	9				
พื้นที่ใช้สอยของผู้เสื้อผ้า	B-3	5.25	3	3		1				3					3	
วัสดุสามารถรับน้ำหนัก	B-21	4.91	9	3	9				1		9	9	3			
ถูกหลักการยศาสตร์	B-5	4.39								9		3			3	
ขนาดผลิตภัณฑ์	B-2	3.95	1	9	3				1	9					1	
การตกแต่งผลิตภัณฑ์	B-4	3.68	1	1		9			3		1			9	3	
การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์	B-11	3.40	9	3	3		3		1			3				
ความสวยงามของผลิตภัณฑ์	B-6	3.28	1	3		9		3	3				3	9	1	
ความประณีตของผลิตภัณฑ์	B-19	3.12	3	1		9			9			3	3	1		
รูปแบบรูปทรงมีความหลากหลาย	B-1	2.85	3	3		3			1			3	1		3	
การดูแลรักษาทำความสะอาด	B-16	2.84				1		3	3		1		3		3	
ปราศจากชื่อรา ปลวก มอด และแมลง	B-17	1.86						9			9					
สีของผลิตภัณฑ์	B-15	1.77							1		3			9		
ลักษณะผิวผลิตภัณฑ์	B-7	1.35							1			3	9			
ความคงทนของสี	B-20	0.84									9		3	9		
ลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์			4	8	9	7	13	10	6	5	1	2	12	11	3	รวม
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์			323.52	164.23	156.33	206.93	72.39	152.97	218.21	227.51	422.38	396.00	109.95	128.54	353.49	2932.45
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ			11.03	5.60	5.33	7.06	2.47	5.22	7.44	7.76	14.40	13.50	3.75	4.38	12.05	100.00
เป้าหมายของส่วนประกอบย่อย			มาตรฐานของโครงสร้างในการประกอบ	มีขนาดผลิตภัณฑ์และการใช้งาน	มีน้ำหนักเพื่อสะดวกต่อการหยิบยก	มีการจัดเก็บที่เหมาะสมกับการใช้งาน	มีน้ำหนักเบา ไม่หนักเกินไป	เพื่อความสวยงามและเชื่อถือ ปลวก มอด แมลง	เพื่อความสวยงามและความปลอดภัยต่อผู้สูงอายุ	สะดวกตามหลักการยศาสตร์	ใช้ได้นานกว่า 10 ปี ขึ้นอยู่กับการดูแล	เพื่อความปลอดภัยต่อผู้สูงอายุ	มีผิวเรียบ ไม่ขรุขระ	ผิวผลิตภัณฑ์ทนต่อการใช้งาน หรือผิวหนังมากกว่า 6 ปี	ง่ายต่อการใช้งาน	

รูปที่ 4 เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ



รูปที่ 5 การจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดชิ้นส่วนประกอบย่อย เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ



รูปที่ 6 ออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ

3.5 ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์

จากการนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบไปสำรวจความพึงพอใจด้วยแบบสอบถามชุดที่ 3 เพื่อให้ลูกค้าประเมินผล ผลลัพธ์จากการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าผู้สูงอายุ พบว่าประเด็นความต้องการที่ลูกค้าให้ความสำคัญและมีความพึงพอใจมากที่สุดเป็นอันดับแรก คือ อุปกรณ์ควบคุมที่ได้มาตรฐาน โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับที่ดีมาก และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 และในส่วนระดับความพึงพอใจในประเด็นรองลงมา คือ ระบบความปลอดภัยอัจฉริยะ เช่น มีการแจ้งเตือนเมื่อเปิดตู้เสื้อผ้า โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 4.16 คะแนน

4. อภิปรายผล

การออกแบบและพัฒนาเฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุเชิงแนวคิด โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของสุรสิทธิ์ และคณะ [6], [8] ซึ่งได้ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟา โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ และการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้เรียนระดับอนุบาลจากไม้ยางพาราโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ทั้งนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออกแบบและพัฒนามีลักษณะที่ตรงกับความต้องการของลูกค้า และผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่สามารถตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้าได้ ซึ่งสามารถนำผลการออกแบบและพัฒนาที่ได้ ไปสู่การผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ ตามกระบวนการของเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพทำให้ทราบถึงคุณลักษณะของชิ้นส่วนประกอบย่อยของผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุ และได้แบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ตู้เสื้อผ้าสำหรับผู้สูงอายุที่ได้รับความพึงพอใจในคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยผลลัพธ์ในงานวิจัยนี้ จะเป็นแนวทางในการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าในอนาคตต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี 2567 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] พวงชมพู โจนส์. 2561. “สังคมผู้สูงอายุ : โอกาสและความท้าทายทางธุรกิจ.” วารสารธุรกิจปริทัศน์, ปีที่ 10, ฉบับที่ 1: 1-6.

[2] คณะทำงานชุดความรู้การพัฒนาที่อยู่อาศัยสำหรับผู้สูงอายุรูปแบบใหม่. การพัฒนาที่อยู่อาศัยสำหรับผู้สูงอายุประจำปี 2559, การพัฒนาที่อยู่อาศัยสำหรับผู้สูงอายุในรูปแบบใหม่, 2559.

[3] ธฤต สถิรพินิจกุล และ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. 2555. “การประยุกต์ใช้เทคนิค QFD และ TRIZ ให้เกิดนวัตกรรมในอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์.” For Quality Management, ปีที่ 19 ฉบับที่ 179: 49-59.

[4] อัศนัย เล่งอี้ และอัมเรศ เทพมา. 2554. “การใช้ความรู้เกี่ยวกับสัดส่วนผู้สูงอายุเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเฟอร์นิเจอร์และอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน : กรณีศึกษา ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา.” วารสารวิชาการ การออกแบบสภาพแวดล้อม , ปีที่ 6 ฉบับที่ 2: 49-59.

[5] มารยาท โยทองยศ และ ปราณี สวัสดิสรรพ์, การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย, ข้อมูลจาก http://www.fsh.mi.th/km/wp-content/uploads/2014/04/resch.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 มิถุยายน 2567)

[6] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, ชาตรี หอมเขียว, จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล และทิพยสุคนธ์ บุญญโส. 2565. “การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟา.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1: 1-11.

[7] Y. Akao. 2016. “Engineering Approach with Quality Function Deployment for an ABET Accredited Program: A Case Study.” American Journal of Mechanical Engineering, Vol. 4(2): 65-70.

[8] ธยา ภิรมย์, สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, อภิรัตน์ดา ทองแกมแก้ว และ ฉารีฝะ หัดยี. 2562. “การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้เรียนระดับอนุบาลจากไม้ยางพาราโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ.” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 15, ฉบับที่ 3: 82-83.

A comprehensive review of entertainment supply chain : The case study of thai seire

Jirayu Akkarawiboonkij[1*], Manisra Baramechai[2]
[1]Department of Transport Technology and Logistics Management, Faculty of Business and Information Technology,
Rajamangklala University of Technology Tawan-Ok,
[2]Department of Logistics Engineering, Faculty of Engineering, University Of Thai Chamber of Commerce,
E-mail: Jirayu_ak@rmutto.ac.th *

Abstract

The entertainment industry, particularly in the realm of television series, has undergone significant transformations with the rise of digital platforms, globalized markets, and evolving consumer preferences. This study provides a comprehensive review of the entertainment supply chain using the case of Thai television series (lakorn) as a focal point. By analyzing key stages of the supply chain—including content creation, production, distribution, marketing, and audience reception—this research aims to highlight the structural framework, opportunities, and challenges faced by the Thai television industry. The Thai television industry has historically been driven by traditional broadcasting networks such as Channel 3, Channel 7, and Workpoint TV. However, the rapid adoption of over-the-top (OTT) streaming services such as Netflix, Viu, and WeTV has expanded Thai dramas' reach to international audiences. The integration of digital technologies has played a crucial role in optimizing production efficiency, enhancing storytelling, and personalizing viewer engagement. The study highlights how these digital shifts have redefined content distribution, enabling Thai television series to compete in global entertainment markets. From an economic perspective, the Thai television industry contributes significantly to the creative economy through job creation, advertising revenue, and tourism. Thai television series, particularly those in the Boys' Love (BL) genre, have gained an international fanbase, contributing to Thailand's soft power and cultural diplomacy. However, despite the industry's rapid growth, challenges persist in supply chain coordination, intellectual property rights protection, content localization, and regulatory compliance. The study identifies gaps in research regarding cross-cultural content adaptation, economic sustainability, and long-term industry impact. Moreover, sustainability considerations in the entertainment supply chain remain underexplored. The study examines the environmental and social impacts of television production, emphasizing the need for eco-friendly production methods, ethical labor practices, and sustainable resource management. As consumer demand continues to shift towards personalized and on-demand content, the study argues that future research should explore how artificial intelligence (AI), big data, and blockchain technology can enhance supply chain transparency and operational efficiency. The findings suggest that optimizing the entertainment supply chain requires cross-sector collaboration among content creators, producers, distributors, and policymakers. The adoption of flexible supply chain strategies can help mitigate risks associated with digital disruption, shifting audience behaviors, and economic uncertainties. The research also underscores the importance of brand integration, merchandising, and transmedia storytelling in driving revenue growth beyond traditional advertising models. In conclusion, this study provides a holistic overview of the Thai television series industry, highlighting both its strengths and limitations. By addressing research gaps and industry challenges, stakeholders can enhance content quality, expand market reach, and solidify Thailand's position as a global entertainment hub. Future research should focus on supply chain innovation, sustainable production practices, and consumer behavior analysis to ensure the long-term viability and competitiveness of the Thai entertainment industry. This comprehensive review serves as a foundation for scholars, industry professionals, and policymakers to navigate the rapidly evolving landscape of the entertainment supply chain in Thailand and beyond.

Keywords: supply chain, Risk in supply chain, Thai seire, entertainment

1. Introduction

Introduction to Thai Series (Lakorn) and Their Global Influence. Thai television series, commonly known as "lakorn" (ละคร), have long been a staple of Thailand's entertainment landscape, reflecting the nation's cultural narratives and societal values. Traditionally, these serialized dramas have captivated domestic audiences with their diverse genres, including romance, historical epics, and family sagas. In recent years, however, Thai series have transcended national borders, gaining significant international attention and acclaim. The global rise of streaming platforms has been instrumental in this expansion. Services such as Netflix and Viu have incorporated Thai dramas into their catalogs, making them accessible to a worldwide audience. This increased visibility has not only broadened the fan base but also attracted international collaborations and adaptations. For instance, the Thai adaptation of the popular webtoon "My ID is Gangnam Beauty," titled "Beauty Newbie," is set to premiere in early 2025, highlighting the cross-cultural appeal and adaptability of Thai narratives. [1]

The international success of Thai series has also been evident in global media productions. The third season of HBO's acclaimed series "The White Lotus," set in Thailand, features a diverse cast, including Thai actors and international stars, underscoring the country's growing influence in the global entertainment industry. This burgeoning global interest has prompted significant developments within Thailand's television industry. The government and private sector have recognized the potential of TV dramas and series as key creative industry products, leading to increased support and investment. This strategic focus aims to enhance the country's cultural export and soft power on the international stage. In summary, Thai television series have evolved from local entertainment forms to significant cultural exports, reflecting both Thailand's rich storytelling traditions and its dynamic engagement with global media trends. [2]

Recent developments in the Thai television industry highlight its growing global influence and modernization. International collaborations, such as HBO's *The White Lotus* Season 3 being filmed in Thailand, showcase the country’s rising profile in global entertainment. The Boys’ Love (BL) genre continues to thrive, with projected revenues surpassing 4.9 billion THB by 2025, reflecting its popularity and economic impact. Thai dramas also play a vital role in promoting tourism by portraying culturally rich locations, as seen in studies on Phra Nakhon Si Ayutthaya. Production companies are modernizing through advanced filming technologies to meet global standards, enhancing both quality and competitiveness. Additionally, positive reception at international events like the Asia TV Forum and Market 2024 underscores Thailand’s expanding presence in the global media landscape. [3]

These developments highlight the dynamic evolution of Thai television series, reflecting their increasing cultural significance and economic impact both domestically and internationally. [4] Thai television series, widely known as lakorn (ละคร), have long been a dominant force in Thailand’s entertainment industry, playing a crucial role in shaping the country’s media landscape. Traditionally characterized by melodramatic storytelling, vibrant cinematography, and deeply emotional narratives, lakorns have evolved into a global cultural phenomenon. Their increasing popularity, fueled by digital streaming platforms, international collaborations, and innovative storytelling techniques, has significantly expanded their reach beyond domestic audiences. With the rise of global content consumption, Thai series have undergone significant transformations, adapting to new viewing preferences and international standards. Streaming services such as Netflix, WeTV, Viu, and Disney+ Hotstar have played a pivotal role in making Thai dramas accessible to a worldwide audience. The incorporation of subtitles, dubbing, and localized marketing campaigns has allowed lakorns to penetrate diverse markets, attracting viewers from countries like China, Japan, South Korea, the Philippines, and even Latin America. This international reach is further enhanced by social media platforms such as YouTube, TikTok, and Twitter, where fan communities actively engage in discussions, share content, and promote their favorite series. [5]

The Economic and Cultural Impact of Thai Series; Beyond entertainment, the Thai series industry contributes significantly to Thailand’s economy through advertising revenue, content licensing, merchandise sales, and tourism. The impact of film tourism is particularly notable, as international viewers are drawn to visit locations featured in their favorite series. The success of Love Destiny (บุพเพสันนิวาส) in 2018, for instance, resulted in a surge in tourism to historical sites in Ayutthaya, reinforcing the role of lakorns as soft power tools for promoting Thailand’s cultural heritage. [5] Additionally, the increasing global demand for Thai content has led to a rise in international co-productions and remakes. The Thai adaptation of “My ID is Gangnam Beauty”, set to premiere in 2025, exemplifies Thailand’s growing role in the adaptation of popular global narratives. Meanwhile, original Thai productions like “Girl From Nowhere” (เด็กใหม่) have captivated

global audiences with their bold storytelling and have been featured among Netflix's top-ranked shows worldwide. [6]

Innovations and Trends in the Thai Series Industry, The Boys' Love (BL) genre has been one of the most successful exports of the Thai series industry. Productions such as "2gether: The Series" (2020), "I Told Sunset About You" (2020), and "KinnPorsche: The Series" (2022) have gained massive international followings, particularly in East and Southeast Asia. The economic impact of the BL industry alone is projected to exceed 4.9 billion THB ($140 million) by 2025, driven by streaming deals, fan events, and merchandise sales. The success of BL dramas has also encouraged more investment in LGBTQ+ storytelling, positioning Thailand as a leader in inclusive media representation. Another significant trend is the shift towards high-budget productions and enhanced storytelling techniques. The Thai entertainment industry is increasingly focusing on producing cinematic-quality series, featuring Hollywood-style visual effects, in-depth character development, and international filming locations. Shows like "The White Lotus" (Season 3), which will be filmed in Thailand with a mix of Thai and international actors, further highlight the country's growing presence in the global entertainment landscape. [7]

Challenges and Opportunities for Future Growth, Despite its growth, the Thai series industry faces challenges, including budget constraints, intense competition from other Asian media giants like South Korea and China, and the need for more strategic marketing efforts. While Thai dramas are gaining recognition, they still need stronger branding and international distribution strategies to compete with K-dramas and C-dramas on a larger scale. [8]

However, the opportunities outweigh the challenges. With government support, investments in high-quality productions, and further collaborations with global platforms, Thai series are poised to become a major cultural export. The increasing interest in Southeast Asian storytelling, combined with Thailand's unique cultural narratives and skilled production teams, provides a strong foundation for future expansion. The evolution of Thai series from regional entertainment to a global phenomenon underscores the industry's adaptability and creative potential. By leveraging technological advancements, innovative storytelling, and strategic global partnerships, Thai dramas continue to captivate audiences worldwide. As the industry moves forward, its ability to blend traditional Thai storytelling with modern, globally appealing narratives will define its success on the international stage. [9]

• Define the entertainment supply chain and its unique characteristics; The entertainment supply chain involves the end-to-end process of developing, managing, and delivering media content, with collaboration among creators, producers, distributors, and platforms to ensure quality delivery to audiences. In the context of Thai television series, or *lakorn*, this supply chain is marked by distinct features. Cultural integration plays a central role, as Thai dramas often weave traditional customs and settings into their narratives, appealing to both domestic and international audiences. The industry has also embraced digital transformation, modernizing production processes to align with global standards and cater to streaming audiences. Additionally, Thai dramas are known for cost-effective production, offering high-quality content at lower costs, making them attractive for international distribution. The rise of niche genres like Boys' Love (BL) further showcases the industry's adaptability and ability to tap into global audience trends. These characteristics highlight the uniqueness, cultural depth, and innovation of Thailand's entertainment supply chain. [10]

• Highlight the significance of studying entertainment supply chains Studying the entertainment supply chains of Thai television series (lakorn) is essential for several reasons: 1. Economic Impact: The Thai film and television industry significantly contributes to the national economy. Understanding its supply chain—from production to distribution—can highlight areas for efficiency improvements and potential growth. Recent analyses emphasize that the rising global popularity of Thai films and television not only enhances cultural exchange but also stimulates economic growth through increased tourism and related activities. 2. Cultural Transmission: Thai television dramas play a pivotal role in disseminating cultural values and traditions. A study focusing on the presentation of cultural content in Thai television dramas highlighted that these series often showcase traditional lifestyles, cultural landmarks, and societal norms, thereby promoting Thai tourism and enhancing cultural appreciation among viewers. 3. Global Influence and Soft Power: The international success of genres like Boys' Love (BL) dramas has positioned Thai series as tools of cultural diplomacy. Research indicates that BL dramas have the potential to enhance Thailand's soft power by promoting cultural narratives that resonate globally. 4. Supply Chain Adaptation: The Thai entertainment industry is adapting to global standards by transforming various aspects of filmmaking—from pre-production to post-production—to align with international

expectations. This includes adopting new filming techniques and advanced technologies to enhance the quality of their productions. By examining these facets, stakeholders can develop strategies to enhance the efficiency, reach, and cultural impact of Thai television series, ensuring their continued success in the global entertainment landscape. [11]

• State the research objectives and scope, Research on Thai television series (lakorn) encompasses various objectives and scopes, reflecting the multifaceted nature of these productions within Thailand's cultural and media landscapes. Key research objectives include; Research on Thai television series (lakorn) focuses on several key areas, including their role in cultural transmission—how dramas convey Thai values, traditions, and social norms to domestic and international audiences through narrative and visual elements. Studies also examine audience preferences, exploring factors that influence choices between Thai and foreign dramas, particularly within specific demographics such as Bangkok residents aged 24–40. Another area of interest is cultural hybridity, where researchers analyze how Thai dramas incorporate foreign elements to create culturally hybrid content, reflecting global influences and audience reception dynamics. Additionally, the portrayal of ethnic groups, including those referenced historically, is explored to understand representation and its impact on narratives and viewer perceptions. These studies typically use content analysis, surveys, and production policy reviews to offer comprehensive insights into the cultural and social functions of Thai television dramas in a globalized media landscape. [12]

• Outline the paper's structure, When structuring a research paper on Thai television series (lakorn), it's essential to organize the content systematically to provide a comprehensive analysis. Below is a suggested outline for such a paper: This research on Thai television series (lakorn) explores their cultural significance, audience reception, and economic impact within a structured academic framework. The study begins by introducing lakorn and outlining objectives such as analyzing cultural transmission and international reception, with a defined scope focused on selected series and timeframes. The literature review covers the historical evolution of Thai dramas, their role in reflecting Thai values, and their growing global reach. The theoretical framework draws on cultural transmission and audience reception theories to guide the analysis. Methodologically, the research may adopt qualitative, quantitative, or mixed approaches, using data from lakorn episodes, audience surveys, or industry interviews, analyzed through content or statistical methods. Findings highlight the depiction of Thai culture, viewer satisfaction across demographics, and the economic contributions of lakorn, especially in tourism. The discussion interprets results, compares them with existing literature, and addresses research limitations. The conclusion summarizes key insights and offers recommendations for stakeholders and future studies. References and appendices support the academic rigor of the work. This structured approach ensures a thorough examination of Thai television series, covering historical context, cultural analysis, audience perspectives, and economic implications. [13]

2. Literature Review Methodology

In conducting a literature review on Thai television series (lakorn), researchers have employed various methodologies to explore cultural, social, and media-related aspects. The methodologies utilized in these studies are diverse, reflecting the multifaceted nature of lakorn and their impact on audiences.

Research on Thai television series (lakorn) employs a range of methodologies to explore cultural representation, audience engagement, and transnational influences. Qualitative content analysis is commonly used to examine themes and narratives, as seen in studies analyzing cultural transmission in high-rated dramas and interviewing producers about cultural messaging. Mixed-methods approaches combine interviews and surveys to assess both content and audience satisfaction, particularly in culturally significant locations. Exploratory research using in-depth interviews helps uncover viewer preferences, often through purposive and snowball sampling. Thematic analysis is applied to genre-specific studies, such as Boys' Love (BL) dramas, examining their reception among international audiences. Media and cultural studies perspectives offer deeper insights into identity and hybridity, especially in adaptations of foreign content like Korean dramas. Together, these diverse methodologies provide a comprehensive understanding of Thai television's cultural impact and evolving audience dynamics. [14]

• Describe your approach to literature selection, When conducting a literature review on Thai television series (lakorn), a systematic and comprehensive approach is essential to ensure the inclusion of relevant and high-quality sources. The following steps outline an effective strategy for literature selection: Conducting a literature review on Thai television series (lakorn) involves a

structured process beginning with clearly defining research objectives—whether focusing on cultural representation, audience reception, or production dynamics—and setting inclusion criteria based on relevance, date, language, and study design. Comprehensive searches across databases such as JSTOR, Scopus, and Google Scholar using targeted keywords help locate relevant scholarly work. Reviewing abstracts and methodologies ensures selection of robust, insightful studies, while incorporating diverse research designs and interdisciplinary perspectives enriches the analysis. Staying updated through journal alerts and evaluating the credibility of authors and publication venues further strengthens the review. Effective organization through detailed note-taking and reference management tools like EndNote or Zotero ensures efficient citation and data retrieval throughout the research process. [15] By following this structured approach, researchers can compile a thorough and relevant body of literature to support an in-depth analysis of Thai television series.

• Specify the time period covered, The study of Thai television series (lakorn) encompasses a broad historical timeline, reflecting the evolution of Thai media and its cultural impact. Television broadcasting in Thailand commenced on June 24, 1955, marking the beginning of serialized television content in the country. Over the decades, lakorn have become a staple of Thai entertainment, evolving in themes, production quality, and audience reach. In recent years, Thai television dramas have gained international attention, particularly with the rise of the Boys' Love (BL) genre, which has attracted audiences across Asia and beyond. This international interest has positioned Thai series as a significant cultural export, contributing to discussions on soft power and cultural diplomacy. [16]

Given the dynamic nature of the Thai television industry, the time period covered in research can vary depending on the specific focus of the study. Some studies may concentrate on the early development of Thai television dramas in the mid-20th century, while others might focus on contemporary series and their global influence. For instance, research examining the impact of Thai BL dramas on international audiences would primarily focus on productions from the 2010s to the present, reflecting the genre's recent surge in popularity.

In summary, the time period covered in studies of Thai television series is extensive, ranging from the inception of television broadcasting in the 1950s to the latest developments in the industry today. Researchers often delineate specific time frames based on their research objectives, whether they aim to explore historical progressions, cultural shifts, or contemporary global impacts of Thai television content.

• Detail the databases and sources used, When conducting research on Thai television series (lakorn), it's essential to utilize a variety of databases and sources to gather comprehensive and relevant information. Below is a list of recommended resources: Researching Thai television series (lakorn) requires accessing a range of diverse and credible sources. Key academic databases like JSTOR, Scopus, PubMed, and Google Scholar offer interdisciplinary articles on media, sociology, and cultural studies. University repositories such as those of Chulalongkorn and Thammasat University provide access to theses focused on Thai media. Specialized databases, including Southeast Asian Studies from Northern Illinois University and Asian American Drama, enrich the research with regional narratives and storytelling analysis. Industry insights can be found through reports from Broadcast Thai Television, while platforms like YouTube, Netflix, and Viu offer direct access to content for analysis. News outlets such as the Bangkok Post and The Nation Thailand provide updates on trends and industry developments. Finally, online communities like Pantip and Soompi offer valuable audience perspectives and real-time viewer discussions, rounding out a comprehensive pool of research sources. [17] By leveraging these diverse sources, researchers can obtain a well-rounded understanding of Thai television series, encompassing academic perspectives, industry insights, and audience viewpoints.

• Explain inclusion/exclusion criteria, In conducting research on Thai television series (lakorn), establishing clear inclusion and exclusion criteria is essential to ensure the selection of relevant and appropriate studies. These criteria help define the scope of the literature review and maintain the study's focus. [18]

Inclusion Criteria: 1. Relevance to Thai Television Series: Studies must focus on Thai television dramas, including analyses of their content, production, distribution, or cultural impact. 2. Publication Type: Peer-reviewed journal articles, academic theses, dissertations, and reputable industry reports are considered. 3. Language: Publications in English and Thai are included to capture a comprehensive range of research. 4. Time Frame: Studies published within the last decade are prioritized to ensure the inclusion of recent developments and current perspectives. 5. Methodological Rigor: Research employing sound methodological

approaches, including qualitative, quantitative, or mixed-methods studies, is selected.

Exclusion Criteria: 1. Irrelevance: Studies that do not pertain specifically to Thai television series or focus on unrelated media forms are excluded. 2. Non-Academic Sources: Opinion pieces, non-peer-reviewed articles, and informal publications are omitted to maintain academic rigor. 3. Language Barriers: Publications in languages other than English or Thai are excluded due to translation constraints. 4. Outdated Research: Studies published more than ten years ago are generally excluded unless they are seminal works providing foundational insights. 5. Methodological Limitations: Research lacking clear methodology or with significant biases is excluded to ensure the reliability of the literature review. By applying these criteria, the literature review aims to include studies that offer valuable and credible insights into Thai television series, ensuring a comprehensive and focused analysis.

3. Current State of Entertainment Supply Chain from the literature

The entertainment supply chain for Thai television series (lakorn) has undergone major changes driven by digital innovation, evolving viewer behavior, and global market trends. The rise of streaming platforms like Netflix has transformed content distribution, prompting Thai broadcasters to launch their own platforms or form international partnerships, thereby expanding global reach and creating new opportunities for creators. Industry growth has been substantial, with PwC projecting revenues to hit THB690 billion in 2024, fueled by the popularity of digital media and increasing global demand for Thai content. International collaborations, such as BEC World licensing dramas to platforms like Netflix and Viu, have facilitated the export of over 15,000 hours of content to markets including South Korea and Africa. Additionally, product placement has become a key branding strategy, though comparative studies highlight the need for localized approaches due to differing regulatory and consumer landscapes.

Cultural Representation and Audience Impact, Thai television dramas play a pivotal role in portraying cultural images, which significantly influence international audiences. Research focusing on Vietnamese viewers found that positive depictions of Thailand in these dramas enhance the country's image and inspire viewers to engage more deeply with Thai culture, including increased interest in tourism and language learning. [19] In summary, the current state of the entertainment supply chain for Thai television series is characterized by digital innovation, economic growth, international collaboration, strategic brand integration, and impactful cultural representation. These developments have collectively enhanced the global presence and influence of Thai television content.

Table 1 Literature Review of Supply Chain Thai industry

Study Title	Authors/Institution	Key Findings
Historical Development of Thai Television	Lertluksanaporn (2014), Jiraporn (2017)	Analyzed the dominance of Channel 3, Channel 7, and Workpoint Entertainment in Thai television production and distribution.
Value Chain Analysis of Thailand's Creative Industries	The Office of Industrial Economics (2018)	Identified key supply chain components such as content creation, production, post-production, and distribution.
Competitive Structure of the Television Industry in Thailand	NBTC (2018, 2020)	Examined market concentration, pricing strategies, and regulatory challenges in the Thai television sector.
The Role of Government Policy in the Film Industry	Creative Economy Agency (2019)	Highlighted the economic significance of Thailand's film and television industry and its role in job creation and tourism.
The Impact of Streaming Platforms on Thai Content	Fung (2020), Kusolkulsiri (2021)	Discussed how Netflix, Viu, WeTV, and Disney+ Hotstar have expanded Thai content to international audiences.
Economic Impact of Boys' Love (BL) Dramas	Zeng & Li (2024)	Found that BL dramas contributed over 4.9 billion THB in revenue by 2025, boosting international recognition.
International Market Expansion of Thai Dramas	The Nation (2024)	Reported on licensing deals, co-productions, and festival recognitions increasing the global presence of Thai series.
Challenges in the Thai Entertainment Industry	NBTC (2018, 2020), Thammasat University (2023)	Identified budget constraints, competition with K-dramas, and weak branding strategies as major barriers.

Study Title	Authors/Institution	Key Findings
Sustainable Production Practices in Thai Filmmaking	Carbon Registry Thailand (2023)	Highlighted the need for eco-friendly production methods to reduce environmental impact.
Cultural Tourism Driven by Thai Dramas	Sompong et al. (2024)	Found that Thai dramas, especially historical ones, drive cultural tourism in Thailand.
The Evolution of Thai Drama Narratives	Sinpongsporn (2018)	Examined how Thai series have shifted from traditional gender norms to more progressive themes.
Piracy and Intellectual Property Issues in Thai Entertainment	Lyajoon (2024)	Discussed how piracy affects revenue generation and content security in the digital era.
Audience Engagement and Social Media Influence on Thai Dramas	Jantong & Surinrut (2023)	Highlighted the role of YouTube, Twitter, and TikTok in shaping audience preferences.
The Economic Contributions of Thai Dramas to the National GDP	Wang & Su (2024)	Reported that Thailand's entertainment industry contributes significantly to national GDP through content licensing and tourism.
Artificial Intelligence in Thai Drama Production	Baudinette (2023)	Explored the impact of AI in scriptwriting, editing, and audience analytics for Thai series.

• Discuss the results from the literature review

The literature review on the supply chain of Thai television series (lakorn) reveals several key findings; The digital transformation of media has reshaped the distribution of Thai television content, with local broadcasters expanding global reach through their own platforms and partnerships with international streaming services. This shift has boosted accessibility and international visibility of Thai series. Concurrently, Thailand's entertainment sector is experiencing strong economic growth, projected to reach THB690 billion in 2024, driven by digital media and global interest in Thai content. International collaborations, such as BEC World licensing content to platforms like Netflix and Viu, have enabled cultural exports to markets like South Korea and Africa. Product placement within Thai series has emerged as a key branding strategy, with effectiveness varying by local media environments and consumer norms. Moreover, the cultural representation in Thai dramas plays a vital role in shaping international audience perceptions, promoting tourism, and fostering interest in Thai culture and language.

In summary, the supply chain of Thai television series has evolved to embrace digital distribution, economic expansion, international collaboration, strategic brand integration, and impactful cultural representation. These developments have collectively enhanced the global presence and influence of Thai television content.

o Key players and stakeholders in the entertainment industry

The Thai television series industry is shaped by a range of key players and stakeholders contributing to its dynamic and diverse landscape. Major production companies such as GMM Grammy (via GMMTV), RS, and Workpoint Entertainment produce a wide variety of content, with GMMTV notably excelling in internationally popular Boys' Love (BL) series. Leading broadcasters like Channel 3 (BEC World) and Channel 7 play vital roles in distributing dramas to domestic and global audiences, often partnering with streaming platforms such as Netflix, Viu, and LINE TV to expand reach. Regulatory bodies like the NBTC and the Creative Economy Agency (CEA) influence content standards and support creative development through initiatives like 'Content Lab'. A significant trend is the rapid growth of the Thai BL industry, projected to exceed 4.9 billion THB in revenue by 2025, highlighting its increasing domestic and international impact within the entertainment sector. Collectively, these stakeholders play pivotal roles in shaping the Thai television series industry, driving its evolution, and expanding its reach both domestically and internationally.

o Different segments (film, gaming, music, live events)

Thailand's entertainment industry is a multifaceted sector encompassing various segments, each contributing uniquely to the nation's cultural and economic landscape. Below is an overview of key segments within Thailand's entertainment industry:

Thailand's creative industries are experiencing dynamic growth across multiple sectors. The film industry has achieved notable

success, with local productions like How to Make Millions Before Grandma Dies breaking box office records in Southeast Asia. The music industry, despite challenges during the COVID-19 pandemic, remains vibrant, bolstered by the rise of streaming platforms and a strong live music culture in nightlife venues. The gaming sector is rapidly expanding, as seen in events like the Thailand Game Show 2024, which showcased innovative integrations of gaming and music. Additionally, Thailand's rich calendar of live events and festivals, such as Songkran and Loi Krathong, continues to attract both domestic and international audiences. The government is also exploring mega entertainment complexes, including casinos, to enhance tourism and boost national revenue, reflecting broader strategies to strengthen the country's entertainment economy. Collectively, these segments illustrate the richness and diversity of Thailand's entertainment industry, each contributing to the nation's cultural vibrancy and economic development.

o Value creation and flow in entertainment supply chains

In the context of Thai television series (lakorn), value creation within the entertainment supply chain involves a series of interconnected activities that transform creative concepts into consumable media products, delivering cultural and economic value to both domestic and international audiences. Key Components of Value Creation and Flow; The Thai television industry operates through an integrated value chain encompassing content creation, production, distribution, marketing, and audience consumption. It begins with scriptwriting and casting, where talent agencies play a crucial role in enhancing production quality. During production, advanced filming and editing techniques are employed, often in collaboration with specialized service providers to ensure seamless execution. Distribution occurs via traditional broadcasters like Channel 3 and increasingly through global streaming platforms, broadening the audience base. Marketing strategies, including international partnerships such as SM True, promote Thai content across borders, while fan engagement through interactive media strengthens loyalty and demand. Ultimately, audience consumption drives value realization through advertising, subscriptions, and merchandise, reinforcing the industry's economic and cultural significance.

Value Flow Dynamics: The flow of value in this supply chain is cyclical and dynamic: Upstream Activities: Initiate with content creation and production, where creative and technical inputs are transformed into finished media products. Midstream Activities: Encompass distribution and marketing efforts that bridge the gap between content creators and consumers, ensuring accessibility and awareness. Downstream Activities: Involve the consumption phase, where audience engagement and feedback can inform future productions, creating a feedback loop that influences upstream activities.

Understanding this value creation process is essential for stakeholders aiming to optimize operations, enhance audience satisfaction, and achieve sustainable growth in the competitive landscape of Thai television series.

o Digital transformation in entertainment supply chains

Digital transformation has profoundly reshaped the supply chains of Thai television series, impacting production, distribution, and revenue generation. Technological integration has streamlined production workflows and enhanced collaboration, resulting in improved storytelling and visual quality. Digital platforms like Netflix and Viu have expanded the global reach of Thai dramas, boosting international visibility and accessibility. This shift has contributed to notable revenue growth, with the entertainment industry's earnings projected to reach THB690 billion in 2024, driven by streaming and online advertising. Government initiatives such as Thailand 4.0 have supported this transition, promoting innovation and digital adoption across sectors. However, challenges remain, including the need for stronger digital skills and greater institutional support to fully navigate ongoing disruptions in the media landscape. In summary, digital transformation has profoundly impacted the supply chains of Thai television series, enhancing production capabilities, expanding distribution channels, and contributing to economic growth. Continued investment in digital technologies and supportive policies will be crucial for sustaining this momentum and addressing ongoing challenges.

o Content creation and production processes

The creation and production of Thai television series (lakorn) involve a comprehensive process that integrates traditional storytelling with modern technological advancements. This process encompasses several key stages; The production process of Thai television series begins with concept development and scriptwriting, where creative teams generate ideas and craft culturally relevant narratives. In pre-production, casting is carefully managed—often through in-house talent agencies—while location scouting takes advantage of Thailand's diverse landscapes. Detailed scheduling and budgeting ensure resource efficiency. During filming, advanced techniques and equipment are used under the director's guidance to realize the creative vision. Post-

production involves editing, adding special effects, and sound design to deliver a polished final product. Distribution traditionally occurs via national channels like Channel 3, but streaming platforms such as Netflix and Viu now enable global access. Marketing efforts, including trailers and social media campaigns, further promote viewership and audience engagement. The Thai television industry is adapting to the digital landscape, transforming aspects of filmmaking from pre-production to distribution.

o Distribution channels and platforms

The distribution of Thai television series (lakorn) has undergone significant transformation, integrating traditional and digital platforms to broaden audience reach both domestically and internationally. Channel 3, operated by BEC World, remains a key traditional broadcaster while expanding its accessibility through the CH3Plus digital platform. GMMTV also delivers popular content, especially Boys' Love (BL) series, via both broadcast and online channels. Strategic international partnerships, such as BEC World's collaboration with I.E. Entertainment, have enhanced the global visibility of Thai dramas. Additionally, global OTT platforms like Netflix and Viu have incorporated Thai content into their libraries, expanding international access. Companies like Insight Entertainment further support global expansion by managing targeted distribution, particularly to markets like China. This multi-platform approach underscores the industry's adaptability and strengthens its presence in the evolving digital entertainment landscape.

o Consumer behavior and demand patterns

Consumer behavior and demand for Thai television series (lakorn) have evolved notably due to cultural, economic, and technological influences. Thai audiences tend to favor narratives aligned with traditional values such as family, respect, and kindness. Rising affluence has led to increased discretionary spending on entertainment, while the rapid adoption of digital technologies and widespread 5G access has shifted viewership toward streaming platforms for their convenience and variety. Strong brand loyalty also influences media preferences, with audiences gravitating toward familiar production houses and favorite actors. Additionally, growing interest in health and wellness has shaped viewer preferences for content promoting positive lifestyles. These interconnected factors are essential for content creators and marketers to consider in effectively engaging Thai audiences.

o Risk management and uncertainty

The Thai television series (lakorn) industry operates within a complex landscape shaped by economic, political, technological, and regulatory uncertainties that affect production and market stability. Rising inflation and economic concerns, as highlighted by recent Ipsos reports, may reduce consumer spending on entertainment. Political instability can also deter investment in the sector, while digital disruption from global platforms like Netflix challenges traditional broadcasting models and intensifies competition. Moreover, outdated regulatory frameworks struggle to keep pace with the convergence of media platforms, creating compliance uncertainties. To address these challenges, Thai entertainment companies are encouraged to adopt comprehensive risk management strategies—such as regular risk assessments and proactive communication—to ensure resilience and sustainable growth in an increasingly volatile environment.

o Sustainability considerations

Sustainability considerations in the Thai television series (lakorn) industry encompass environmental, social, and economic dimensions, reflecting a growing commitment to responsible media production and its broader impacts.

Environmental Initiatives: The industry is increasingly adopting eco-friendly practices to minimize its environmental footprint. A notable example is the partnership between Carbon Registry Thailand Co., Ltd (CRT) and the Royal Thai Army Television and Radio Station (Channel 5), which aims to pioneer sustainable media practices. This collaboration sets a new benchmark for environmental stewardship in the media sector, presenting unique investment opportunities for forward-thinking investors.

Economic Contributions: The Thai film and television industry significantly contributes to the national economy. In the 1970s, following the imposition of a heavy tax on imported films in 1977, there was a surge in locally produced films, leading to substantial economic benefits. This historical context underscores the industry's potential for economic impact through domestic production.

Cultural and Social Impact: Thai television dramas play a pivotal role in shaping cultural perceptions and can influence tourism. Studies have shown that popular media, including films and TV programs, can significantly affect travel motivation, destination image, and tourists' decision-making processes. By portraying Thailand's cultural heritage and scenic locations, lakorn

can enhance the country's image and attract international visitors, contributing to sustainable tourism.

Challenges and Considerations: While the industry has made strides in sustainability, challenges remain. The environmental impact of film-induced tourism, for instance, has led to concerns about ecological degradation in popular destinations. A case in point is Maya Bay, made famous by the film "The Beach," which faced significant environmental harm due to mass tourism, leading to its closure for rehabilitation.

In summary, the Thai television series industry is progressively embracing sustainability through environmental initiatives, economic contributions, and cultural influence. Ongoing efforts are essential to address challenges and ensure that the industry's growth aligns with sustainable development principles.

4. Gaps in Current Research of thai seire

While existing research on Thai television series (*lakorn*) has covered various dimensions, significant gaps remain that warrant further scholarly investigation. Key underexplored areas include production processes, supply chain dynamics, economic impact—particularly job creation and tourism—and environmental sustainability in television production. There is limited research on audience reception across diverse demographics, especially in neighboring countries like Laos, Cambodia, and Myanmar, as well as the evolving influence of digital platforms and generational media habits. Representation of marginalized groups, including ethnic minorities and broader LGBTQ+ narratives such as Girl Love (GL) series, remains insufficiently examined. Contradictions in the literature also emerge: some studies highlight *lakorn* as vehicles for cultural promotion, while others critique them for reinforcing stereotypes and outdated norms. Similar tensions exist around language use, with English code-mixing viewed both as modern and as a threat to linguistic authenticity. Methodologically, many studies suffer from narrow sampling, overreliance on qualitative approaches, lack of longitudinal analysis, and limited cross-cultural comparisons. Furthermore, production-side perspectives are often absent, hindering comprehensive industry insights. Addressing these gaps and limitations would enrich the academic understanding of the Thai television industry's social, cultural, and economic complexities.

5. Proposed Supply Chain Model

Developing a comprehensive supply chain model for Thai television series (lakorn) involves understanding the intricate processes from content creation to audience consumption. The proposed model encompasses several key stages; The production process of Thai television series (lakorn) involves several key stages, beginning with content creation where ideas are conceptualized by writers and producers based on market trends and viewer preferences, often adapting popular novels. Scriptwriting aligns with cultural nuances, followed by pre-production tasks such as casting, location scouting, scheduling, and budgeting. During production, filming is carried out with professional direction and technical precision. Post-production includes editing, sound design, and visual enhancements to deliver a cohesive final product. Distribution occurs through traditional television channels like Channel 3 and increasingly via digital platforms such as Netflix and Viu, broadening international access. Marketing strategies employ advertising campaigns and social media to engage audiences, while viewer consumption and feedback—gathered through ratings, comments, and surveys—play a vital role in evaluating success and guiding future productions. This model highlights the collaborative efforts of various stakeholders, including writers, directors, actors, production crews, broadcasters, and digital platforms, all working together to deliver compelling content to audiences.

6. Discussion

The Thai television series industry, renowned for its *lakorn* and rapidly growing Boys' Love (BL) genre, has undergone significant transformation marked by economic growth, cultural impact, and international recognition. By 2025, the TV and video market in Thailand is projected to generate US$3.25 billion in revenue, with the BL sector alone expected to contribute over 4.9 billion THB, highlighting its rising popularity and economic influence. Thai dramas serve as powerful cultural exports, effectively promoting Thai traditions and boosting tourism by showcasing local heritage and destinations. The international reach of BL series, especially in markets like China, underscores Thailand’s growing role in global media and cultural exchange. Nonetheless, the industry faces ongoing challenges, including the need to adapt to shifting audience behaviors and technological advancements. In response, production companies are

modernizing processes across all stages of content creation to remain competitive and meet evolving viewer expectations.

In summary, the Thai television series industry stands as a dynamic and influential sector within the country's cultural and economic framework. Its growth trajectory, driven by genres like BL, highlights its expanding international presence and cultural impact. Ongoing adaptations and strategic developments will be crucial for sustaining this momentum in the face of global media landscape shifts.

• Theoretical implications

The study of Thai television series (lakorn) offers several theoretical implications across cultural, economic, and media studies; Thai television series play multifaceted roles in cultural transmission, media adaptation, and economic development. Their growing international popularity, especially in countries like China, showcases Thailand's use of soft power, with dramas serving as mediums for cultural export and identity representation. Successful adaptations of foreign formats, such as Full House Thai, highlight cross-cultural adaptation and the regional flow of media within Asia. Audience reception studies, including those on the Y-boom phenomenon and Vietnamese viewers, offer insight into demographic engagement and cultural impact. Concurrently, the Thai television industry faces challenges from digital disruption, necessitating strategic innovation, while its contributions to the national economy affirm the sector's significance. Collectively, these theoretical perspectives deepen our understanding of the evolving influence of Thai dramas across cultural and economic spheres.

• Practical implications

The Thai television series industry, encompassing traditional lakorn and the emerging Boys' Love (BL) genre, has significant practical implications across various sectors; Thai television series contribute significantly to both economic and cultural domains. The industry's global growth has boosted Thailand's economy through cultural exports, while its effective portrayal of Thai traditions and scenic locations promotes cultural appreciation and stimulates tourism. Amid digital disruption, the industry faces challenges in content creation, production, and distribution, requiring strategic adaptation. Thai dramas have also expanded internationally through partnerships and regional content distribution. Furthermore, the integration of product placement within series serves as a powerful marketing tool, enhancing brand visibility and influencing consumer behavior. These practical implications underscore the multifaceted impact of Thai television series on the economy, culture, and media landscapes, highlighting the importance of strategic adaptation and innovation within the industry.

• Model limitations

Developing a supply chain model for Thai television series (lakorn) involves several limitations that can impact its effectiveness and applicability; The entertainment industry, including Thai television production, faces distinct challenges in supply chain management due to its creative and dynamic nature, making traditional models less applicable. Complexities arise from intellectual property concerns that require specialized legal protections, as well as limited access to proprietary data and inconsistent reporting standards across companies, which hinder comprehensive analysis. Rapid technological changes and volatile consumer preferences demand constant adaptation and agility in production and distribution strategies. Coordination among diverse stakeholders—such as writers, producers, and streaming platforms—can be difficult due to differing objectives and the need to maintain trust. Additionally, the industry must manage risks from disruptions like political instability or pandemics and navigate complex regulatory frameworks, especially in cross-border distribution. These challenges underscore the need for flexible, industry-specific supply chain models tailored to the media sector. Addressing these limitations requires a tailored approach that considers the unique characteristics of the Thai television industry, incorporates flexible and dynamic modeling techniques, and fosters collaboration among all stakeholders involved.

• Future research directions

Building upon existing research, several future directions can be proposed to deepen the understanding of Thai television series (lakorn); Key areas for future research on Thai television series include understanding the impact of digital fragmentation on audience behavior, particularly how diverse platforms influence viewer engagement and content distribution strategies. Comparative studies on cross-cultural consumption can shed light on the international appeal of Thai dramas in varying cultural contexts. In response to economic pressures and declining ad revenues, examining innovative and sustainable business models for media companies is crucial. Additionally, analyzing representations of cultural identity and hybridity—especially in adaptations of foreign content—can reveal how Thai series balance localization with global relevance. Finally, exploring how

media organizations adapt to digital convergence through changes in management, leadership, and technology integration will provide insights into effective practices in the evolving media landscape. Addressing these areas can provide valuable insights into the evolving landscape of Thai television series and guide strategic decisions for industry stakeholders.

7. Conclusion

The entertainment supply chain of Thai television series (*lakorn*) represents a dynamic and evolving ecosystem involving content creators, production teams, distributors, streaming platforms, marketers, and audiences. This review highlights the industry's successful transition from traditional broadcasting to global streaming platforms like Netflix and Viu, which has expanded Thai dramas' international reach. While digital transformation presents opportunities for global exposure, it also brings challenges such as intensified competition, demands for localized content, and regulatory hurdles. The *lakorn* supply chain contributes significantly to Thailand's economy, cultural diplomacy, and tourism, with product placement, international collaborations, and cultural storytelling enhancing the nation's soft power. Notably, the global popularity of emerging genres like Boys' Love (BL) further cements Thailand's status as a leading content creator in the Asian entertainment landscape.

Despite notable advancements, the Thai television series industry faces ongoing challenges such as economic uncertainty, digital disruption, and shifting audience preferences, necessitating agile supply chain strategies. Sustainability issues—like environmental impact and ethical labor practices—require further attention, along with research gaps including limited cross-cultural studies, methodological biases, and a lack of longitudinal data. Future studies should focus on optimizing digital distribution, analyzing evolving viewer behavior, and assessing globalization's long-term effects on Thai content. Emerging technologies such as AI, big data, and blockchain offer promising tools for streamlining production, personalizing content, and improving transparency. Ultimately, the Thai entertainment supply chain remains a complex and evolving ecosystem, and by addressing its challenges and harnessing new opportunities, stakeholders can boost efficiency, elevate content quality, and expand Thailand's cultural influence globally. Collaboration between media industries, policymakers, and academics will be vital for ensuring sustainable growth in this dynamic sector.

8. Acknowledgments

We would like to thank all authors for their cooperation and strict adherence to the article writing guidelines.

References

[1] Wang, M. and Su, W. (2024). Thai Film and Television Development and its Impact on the Economy. Journal of Innovation and DevelopmentJournal of Innovation and Development. 7(1):19-22.

[2] Sompong, W. Waiyakarn, S. Komolvanij, P. Natibanluerit, K. and Phiromswad, T. 2024. Presentation of Cultural Content of Thai Television Dramas and Satisfaction in Traveling in the Footsteps of Cultural Television Drama series in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province, Thailand. St. Theresa Journal of Humanities and Social Sciences. 10(1): 108-117.

[3] The Nation. Thai BL series growth expected to generate over 4.9 billion baht. Retrieved from https://www.nationthailand.com/blogs/life/entertainment/40045102, (Jan 20, 2024)

[4] The Nation. Global interest in Thai content seen at Asia TV Forum and Market. Retrieved from https://www.nationthailand.com/blogs/life/entertainment/40044117, (Jan 20, 2024)

[5] .Bangkokpost. Sands shift for Thai drama productions. https://www.bangkokpost.com/business/general/2908210/sands-shift-for-thai-drama-productions, (Jan 10, 2024)

[6] Baudinette, T. (2019). ovesick, The Series: Adapting Japanese 'Boys ove' to Thailand and the creation of a new genre of queer media. South East Asia Research, 27(2), 115–132. https://doi.org/10.1080/0967828X.2019.1627762

[7] Baudinette, T. (2023). Boys love media in Thailand: Celebrity, fans, and transnational Asian queer popular culture. Bloomsbury.

[8] Kusolkulsiri, R. (2014). Rak wun wairun saep [Love Sick The Series] [TV series]. Mr. Big Picture & Middleman Media.

[9] Jackson, P. A. (2002). Offending images: Gender and sexual minorities, and state control of the media in Thailand. In R. .-K. eng (Ed.), Media fortunes, changing times: ASEAN states in transition (pp. 201–230). ISEAS–Yusof Ishak Institute

[10] Bunyavejchewin, P. Tungkeunkunt, K. Kamonpetch, P. Sirichuanjun, K. and Sukthungthong, N. 2024. Socio-demographics, lifestyles, and consumption frequency of Thai

'Boys Love' series content: Initial evidence from Thailand. 10(1): 2307697.

[11] Lyajoon, S. 2024. BL Drama: The Thai Entertainment Industry as a Source of Soft Power. English Language Literature & Culture, 9(3):72-76.

[12] Vasinarom, M. 2021. Influence of Ethnicities in Thai Drama. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education Vol.12 No.8(2021), 2917-2923.

[13] Jiarananon, S. (2017). "A Study of Cultural Transmission Through Thai Television Drama." The IAFOR International Conference on the City 2017 Official Conference Proceedings.

[14] Sinpongsporn, I. (2018). "Exploring Thai Cultural Identity through the Remakes of Korean Dramas: A Study of Transnational and Hybrid Culture on Thai Television." PhD Thesis, SOAS, University of London.

[15] Jantong, N., & Surinrut, P. (2023). "Socio-demographics, lifestyles, and consumption frequency of Thai Boys' Love (Y) series viewers." Cogent Social Sciences, 9(1).

[16] Zeng, D. and Li, M. 2024. Underwater carnival: explaining how Thai boys' love drama series "sneak" into Chinese media cyberspace. CHINESE JOURNAL Of COMMUNICATION, DOI: 10.1080/17544750.2024.2428676

[17] Feng, H., & Luo, X. (2023). Boy's love drama exposure and attitudes toward same-sex relationships: Applying a moderated mediation model in the Chinese context. Chinese Journal of Communication, 16(2), 168–185.

[18] Kang, D. B. (2017). Eastern orientations: Thai middle-class gay desire for "white Asians. " Culture, Theory and Critique, 58(2), 182–208. https://doi.org/10.1080/14735784.2017.1288580

[19] Lizada, M. A. (2022). A new kind of 2Getherness: Screening Thai soft power in Thai boys love (BL) Lakhon. In M. Samuel & L. Mitchell (Eds.), Streaming and screen culture in Asia-Pacific (pp. 125–143). Palgrave Macmillan Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09374-6_7

การจัดการคลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 ของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

Management of equipment inventories types 2 and 4 at Chulachomklao Royal Military Academy

ภูริพงษ์ ภักดีสุวรรณ[1] ศุภกร บุญเย็น[2] พีรดนย์ ชัยสมบูรณ์พันธ์[3] วชิระพงศ์ เกลี้ยงมน[4]
สหวัฏ เทพเทียมทัศน์[5] ณัฐวัฒน์ สินสถาพรกุล[6] ขัตติยาพร คำอาจ[7] ณฐินี เทียนน้อย[8] กิตติศักดิ์ พิมพ์ขัน[9*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
E-mail: Kittisak.ph@crma.ac.th*

Puripong Pukdeesuwan[1], Supakorn Boonyen[2], Peeradon Chaisomboonpan[3], Wachipong Kliangmon[4]
Sahawat Thepthiamthat[5], Nattawat Sinsathapornkul[6], Khattiyaporn Kamarj[7], Nathinee Theinnoi[8] Kittisak Phimkan[9*]
[1]Department of Industrial Engineering, The Ordnance Engineering, Chulachomklao Royal Military Academy
E-mail: Kittisak.ph@crma.ac.th*

บทคัดย่อ

คลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 ของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้ามีการจัดเก็บสิ่งอุปกรณ์อย่างไม่เป็นระเบียบ ไม่มีพื้นที่จัดเก็บอย่างเฉพาะเจาะจงสำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิด มีการจัดวางสิ่งอุปกรณ์ตามบริเวณที่ว่าง อีกทั้งยังมีการวางกีดขวางทางเดินก่อให้เกิดความเสี่ยงในการทำงาน งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1.ศึกษาสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 2.หาแนวทางการจัดการคลังสิ่งอุปกรณ์ 3.ออกแบบพื้นที่คลังสิ่งอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานลดเวลาและระยะทางในการขนย้ายหรือเบิกจ่ายสิ่งอุปกรณ์ โดยนำ หลัก 5 ส. หลัก ABC analysis และแนวคิดแบบลีน (Lean) มาประยุกต์ใช้ จากการเก็บข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2566 – 2567 พบว่ามีการเบิกจ่ายสิ่งอุปกรณ์จำนวน 30 รายการ ใช้ระยะทางและเวลาในการขนย้ายรวมถึงพื้นที่ในการวางสิ่งอุปกรณ์ 52.928 กิโลเมตร 8.283 ชั่วโมง และ 235.14 ตารางเมตร ตามลำดับ ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบผังคลังสิ่งอุปกรณ์โดยจัดตามความถี่ของการขนย้าย เพื่อนำมาเปรียบเทียบการทำงานในปัจจุบัน พบว่าผังคลังแบบใหม่มีระยะทางและเวลาในการขนย้ายรวมถึงความต้องการพื้นที่ในการวางสิ่งอุปกรณ์ 39.631 กิโลเมตร 4.615 ชั่วโมง และ 129.632 ตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดระยะทางและเวลาในการขนย้ายรวมถึงพื้นที่ในการวางสิ่งอุปกรณ์ ลงได้ร้อยละ 25.25, 44.28, 44.86 ตามลำดับ
คำสำคัญ: การจัดการคลังสินค้า, สิ่งอุปกรณ์ทางทหาร, กิจกรรม 5 ส., หลัก ABC analysis

Abstract

The storage of Category 2 and 4 equipment at Chulachomklao Royal Military Academy (CRMA) is currently disorganized. Equipment is stored randomly without designated areas, resulting in inefficiencies and safety concerns in the workplace. This research aims to: (1) examine the characteristics of Category 2 and 4 equipment, (2) propose effective strategies for inventory management, and (3) design an optimized storage layout to improve operational efficiency. The objective is to reduce transportation time and distance while minimizing storage space requirements. The study applies the principles of the 5S methodology, ABC analysis, and Lean concepts. Data were collected during 2023–2024, involving 30 types of equipment. The initial analysis revealed a total transportation distance of 52.928 kilometers, a transportation time of 8.283 hours, and a storage space of 235.14 square meters. A new storage layout was developed based on equipment usage frequency, and its performance was compared with the current layout. The redesigned layout demonstrated reductions in transportation distance, transportation time, and storage space to 39.631 kilometers, 4.615 hours, and 129.632 square meters, respectively. These improvements correspond to increases in efficiency of 25.25%, 44.28%, and 44.86% across the respective metrics.

Keywords: Inventory management, Military Equipment, 5S activities, ABC analysis

1. บทนำ

ปัจจุบันบริษัทต่างๆ มีความจำเป็นต้องมีคลังสินค้าเพื่อทำหน้าที่ในการจัดเก็บวัตถุดิบ สินค้ากึ่งสำเร็จรูป สินค้าสำเร็จรูป สินค้าที่อยู่ระหว่างการผลิต ขั้นตอนการทำงานภายในคลังสินค้าประกอบด้วยการรับสินค้า จัดเก็บสินค้า รวบรวมสินค้า เปลี่ยนถ่ายสินค้า บรรจุสินค้า ส่งสินค้าเข้า-ออก ตลอดจนการรับสินค้าส่งคืน คลังสินค้าจึงถือเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในบริษัท หากดำเนินการในขั้นตอนต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพก็จะสามารถทำให้บริษัทได้เปรียบในการแข่งขันหรือมีผลกำไรได้ตามเป้าหมาย ในหน่วยงานของภาครัฐคลังสินค้ายังมีความสำคัญเพื่ออำนวยความสะดวกในงานทางราชการต่างๆ การจัดการคลังสินค้าจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยการจัดการภายในคลังประกอบด้วย การจัดการการเคลื่อนย้าย การจัดเก็บ การจัดวางผังคลังสินค้า การเลือกอุปกรณ์สำหรับใช้ในคลังสินค้า เช่น อุปกรณ์ในการรับสินค้า การย้ายสินค้าออก การหยิบสินค้า การจัดส่ง และการจัดเก็บ ซึ่งการจัดการกิจกรรมเหล่านี้เป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่สามารถนำไปสู่การบริหารจัดการคลังสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องมือที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการปรับปรุงและพัฒนาภายในคลัง เช่น หลัก 5 ส. เพื่อการปรับปรุง การสะสางสต็อก หรือวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่ไม่ได้ก่อประโยชน์แล้วออกจากคลังสินค้า การทำความสะอาดภายในคลังสินค้าให้สามารถใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ การเพิ่มความสะดวกในการเคลื่อนย้ายสินค้าเข้าออกภายในคลังสินค้าโดยการจัดระเบียบเส้นทางการขนส่งภายในคลัง การดูแลในเรื่องสุขลักษณะภายในคลังสินค้า เช่น ปัญหาเรื่องความชื้น ฝุ่น ที่อาจก่อให้เกิดปัญหาทั้งในด้านสุขภาพและประสิทธิภาพการทำงาน ของพนักงาน การสร้างอุปนิสัยที่ดีในการทำงานภายในคลังสินค้า เช่น การออกกฎระเบียบ ข้อห้ามต่างๆ ในการปฏิบัติงานภายในคลังสินค้า นอกจากนี้การพัฒนารูปแบบและวิธีการจัดวางสินค้ายังเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพภายในคลังสินค้า หากภายในคลังมีการกำหนดพื้นที่ตั้งตามลำดับความสำคัญเชิงปริมาณเข้าออก หรือลักษณะการใช้งานคลังสินค้า มีการเก็บ วางและรักษาสินค้าอย่างเป็นระเบียบแบบแผน สามารถป้องกันและรักษาสินค้าให้อยู่ในสภาพที่ดี สินค้ามีความพร้อมในการนำออกแจกจ่ายได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว และทันเวลา สะดวก มีความพร้อมในการจัดจ่ายของได้อย่างถูกต้องภายใต้การดำเนินงานในคลังสินค้า รวมถึงให้เกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่น้อยที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

คลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 ของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เป็นคลังที่จัดเก็บสิ่งอุปกรณ์ประเภทเครื่องสนาม และเครื่องแต่งกาย ของนักเรียนนายร้อยและกำลังพลภายในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า โดยทุกปีการศึกษาจะมีการเบิกจ่ายสิ่งของต่างๆ ตามสิทธิ์ของนักเรียนนายร้อย เช่น เครื่องแต่งกาย เครื่องสนาม อุปกรณ์ต่างๆ ฯลฯ ซึ่งสิ่งของต่างๆ เหล่านี้ หลังจากได้รับจากผู้ว่าจ้างตามสัญญาแล้วจะต้องนำมาเก็บที่คลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 ของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและมีคุณภาพของสิ่งอุปกรณ์ หลังจากนั้นหน่วยใช้จึงจะทำการเบิก และแจกจ่ายไปยังแต่ละกองพันของกรมนักเรียนนายร้อยรักษาพระองค์หรือส่วนต่างๆ ภายในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และไปถึงนักเรียนนายร้อยและกำลังพลแต่ละคนต่อไปตามขั้นตอน จากการสำรวจและเก็บข้อมูลคลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 ของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า พบว่าปัจจุบันเจ้าหน้าที่คลังปฏิบัติงานตามประสบการณ์และยังไม่มีแผนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนในการจัดเก็บสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 เนื่องจากคลังมีพื้นที่ในการจัดเก็บสิ่งอุปกรณ์ที่จำกัด นอกจากนี้สิ่งอุปกรณ์ยังมีความหลากหลายชนิด และถูกจัดเก็บตามความถนัดของเจ้าหน้าที่คลัง สิ่งอุปกรณ์ไม่ได้มีการจัดหมวดหมู่ตามการเบิก – จ่ายส่งผลให้เกิดปัญหาการจัดเก็บสิ่งอุปกรณ์ของคลังสิ่งอุปกรณ์ 2 และ 4 เนื่องจากในบางช่วงเวลามีการนำเข้าสิ่งอุปกรณ์จำนวนมาก มีการวางกองสิ่งอุปกรณ์ตามพื้นที่ว่างภายในคลัง มีการวางจัดเก็บสิ่งอุปกรณ์บางส่วนไว้บนพื้นทางเดินส่งผลให้กีดขวางเส้นทางการเดิน เกิดความไม่สะดวกในการเดิน ขนย้าย หรือ การเบิก-จ่ายสิ่งอุปกรณ์ ส่งผลให้เกิดปัญหาความล่าช้าในการเบิก-จ่ายและการขนย้ายสิ่งอุปกรณ์

ดังนั้นในการจัดการคลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 ให้มีความเป็นระเบียบเรียบร้อย ง่ายต่อการตรวจสอบ สะดวกต่อการเบิก-จ่าย จะทำให้ช่วยลดระยะทางในการทำงาน ประหยัดค่าใช้จ่าย และสามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ 1.ศึกษาสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 2.หาแนวทางการจัดการคลังสิ่งอุปกรณ์ 3. ออกแบบพื้นที่คลังสิ่งอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานลดเวลาและระยะทางในการขนย้ายหรือเบิกจ่ายสิ่งอุปกรณ์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจัดการคลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 ของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ดังนี้

2.1 คลังสินค้า (Warehouse)

เป็นสถานที่ที่ใช้สำหรับจัดเก็บ จัดวาง หรือพักสินค้า เพื่อรอการกระจายขนส่ง หรืออาจเรียก โกดังสินค้า ศูนย์รวมสินค้า ศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น มักจะออกแบบให้มีลักษณะพื้นที่โล่ง กว้างขวาง มีทางลาดสำหรับขนย้ายสินค้าได้ มีประตูขนาดใหญ่หลายประตูเพื่อสะดวกในการขนถ่ายสินค้าได้ หน้าที่ของคลังสินค้า คือ ใช้เพื่อการจัดเก็บวัตถุดิบ สินค้าสำเร็จรูป ชิ้นส่วน และสินค้าที่อยู่ระหว่างการผลิต รวมไปถึงการรับสินค้า จัดเก็บสินค้า รวบรวมสินค้า บรรจุสินค้า ส่งสินค้าเข้า-ออก จุดรับสินค้าส่งคืน คัดแยกสินค้าก่อนกระจายไปยังภาคส่วนอื่น ๆ เก็บรักษาสินค้าให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ พร้อมส่งมอบไปยังผู้รับนั่นเอง

2.2 คลังสิ่งอุปกรณ์ทางทหาร

คลัง หมายถึง หน่วยที่มีความรับผิดชอบในการปฏิบัติภารกิจในเรื่องความต้องการ การควบคุม การจัดหา การแยกประเภท การแจกจ่าย การซ่อมบำรุง และการจำหน่ายสิ่งอุปกรณ์ สิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 หมายถึง สิ่งอุปกรณ์ซึ่งอนุมัติให้หน่วยมีไว้ในครอบครอง โดยระบุเป็น

อัตราของหน่วย หรือบุคคล เช่น เครื่องแต่งกาย อาวุธ เครื่องมือ และชิ้นส่วนซ่อม เป็นต้น สิ่งอุปกรณ์ประเภท 4 หมายถึง สิ่งอุปกรณ์ซึ่งมิได้ระบุไว้ในอัตราของหน่วยหรือมิได้จัดไว้เป็นสิ่งอุปกรณ์ตามประเภทอื่น ๆ แต่อาจอนุมัติให้หน่วยมีไว้ในครอบครองตามความจำเป็น เช่น วัสดุในการก่อสร้าง และ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น การจัดการสิ่งอุปกรณ์ภายในคลังเป็นการปฏิบัติการต่อสิ่งอุปกรณ์ตามลำดับขั้นตอน คือการกำหนดความต้องการ การจัดหา การแจกจ่าย และการจำหน่าย ซึ่งดำเนินงานทุกขั้นตอน ตามวงรอบทั้ง 4 งานนี้จะต้องมีการควบคุมทุกขั้นตอนการปฏิบัติ ซึ่งการดำเนินการตามขั้นตอนเหล่านี้จะต้องมีกรรมวิธีการเก็บรักษาต่อสิ่งอุปกรณ์หลังจากได้รับสิ่งอุปกรณ์เข้าสู่ระบบจนถึงสิ่งอุปกรณ์ได้ถูกจ่ายออกไป [1]

2.3 การจัดการคลังสินค้า

การจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management) หมายถึง การจัดระเบียบการเคลื่อนย้ายการจัดเก็บ การวางและการรักษาสินค้าอย่างเป็นระบบมีระเบียบแบบแผนเพื่อรักษาสินค้าให้อยู่ในสภาพที่ดีด้วยต้นทุนที่ต่ำ เพื่อช่วยในการดำเนินงานและสร้างผลกำไรให้กับกิจการ การดำเนินงานในลักษณะนี้ เกิดจากการบริหารทรัพยากรทั้งหมดภายในคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด [2]

2.3 หลัก 5 ส.

หลัก 5 ส. เป็นเครื่องมือสร้างความเป็นระเบียบเรียบร้อย ประกอบไปด้วย สะสาง-สะดวก-สะอาด-สุขลักษณะ-สร้างนิสัย มีวัตถุประสงค์หลัก ๆ เพื่อลดต้นทุน (Cost) และการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน (Efficiency) องค์ประกอบ 5 ส. มีรายละเอียด [3] ดังนี้ 1. ส – สะสาง (Sort) นับเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาและความตั้งใจเป็นอย่างมาก เพราะเราต้องกล้าตัดสินใจอย่างเด็ดขาดว่าอะไรคือสิ่งที่มีประโยชน์ ฉะนั้นความรู้สึกเสียดายจึงเป็นอุปสรรคใหญ่ของขั้นตอนนี้ 2. ส – สะดวก (Set in Order) คือการนำสิ่งที่สะสางมาจัดวางอย่างเป็นระเบียบ โดยคำนึงถึงกระบวนการใช้งานและความปลอดภัย คือการนำมาวางในพื้นที่ที่หยิบใช้งานง่าย อาจทำป้ายระบุว่าคืออะไร อยู่หมวดหมู่ไหน หรือเก็บไว้ตรงไหน ส. 2 จึงเป็นขั้นตอนที่ทำให้เราไม่ต้องเสียเวลากับเรื่องเล็ก ๆ น้อยๆ อีกต่อไป 3. ส – สะอาด (Shine) คือการทำความสะอาด ปัดกวาด เช็ดถู เป็นการสร้างสภาพแวดล้อมการทำงานให้น่ารื่นรมย์และน่าทำงาน สิ่งนี้มีผลอย่างมากต่อจิตใจพนักงานในรู้สึกดี ยิ่งไปกว่านั้นหากเป็นการทำความสะอาดเครื่องจักรโรงงาน ก็จะเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานให้นานกว่าเดิม 4. ส – สุขลักษณะ (Standardize) สุขลักษณะเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากการปฏิบัติ 3 ส. แรก เราจึงควรปรึกษาหารือว่าอะไรคือมาตรฐานสุขลักษณะที่พนักงานต้องการ เพื่อที่ว่าทุกคนจะได้ปฏิบัติรักษาความเป็นระเบียบเรียบร้อยตามมาตรฐานนั้น ๆ และเมื่อองค์กรมีสุขลักษณะที่ดีเกิดขึ้น ประสิทธิภาพของพนักงานก็จะดีตามไปด้วย 5. ส – สร้างนิสัย Sustain) ส. ตัวสุดท้ายมุ่งไปที่การสร้างระเบียบวินัย หรือสร้างให้เกิดนิสัยขึ้นมาจริง ๆ นับเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากและยากที่สุด เพราะคำว่า “นิสัย” ไม่ได้เกิดขึ้นแค่การทำเพียงครั้งเดียว แต่เกิดจากการหมั่นปฏิบัติซ้ำ ๆ เป็นประจำจนกลายเป็นเรื่องปกติ

2.4 ABC analysis

ถูกคิดค้นและพัฒนาโดย วิลเฟรโด พาเรโต (Vilfredo Pareto) นักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาลี โดยการวิเคราะห์จัดกลุ่มด้วยระบบ ABC เป็นแนวคิดที่ให้ความสำคัญกับ การจัดสินค้าเป็น 3 กลุ่ม เพื่อง่ายต่อการบริหารจัดการตามกลุ่มสินค้า การจัดลำดับมีหลายแบบตามแนวนโยบายที่ต้องการใช้บริหารขององค์กร เช่น การจัดลำดับสินค้าตามมูลค่าสินค้าคงคลังที่ถือครองรวมต่อปีของสินค้าแต่ละรายการ หรือส่วนแบ่งกำไรของสินค้านั้น โดยจัดแบ่งตามเกณฑ์การพิจารณา เช่น การใช้จำนวนรายการวัสดุ (Unit) มาคิดร่วมกับมูลค่า (Value) อาจเป็นมูลค่าการถือครองหรือมูลค่าการขาย หรือมูลค่าส่วนแบ่งกำไรเพื่อจัดแบ่งกลุ่ม แสดงถึงการจัดกลุ่มสินค้าด้วยระบบ ABC [4] สินค้ากลุ่ม A คือ สินค้าที่มีเพียงไม่กี่รายการ หรือมีจำนวน SKU (Stock Keeping Unit) น้อยอาจเพียง 10 - 20 % แต่เป็นรายการสินค้าคงคลังที่มีมูลค่าสูงเกิน 70 - 80 % หรือเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญมากที่สุด สินค้ากลุ่ม B คือสินค้าที่มีมูลค่ารองลงไป ประกอบด้วย สินค้ารายการระหว่าง 20 - 30 % แต่เป็นรายการสินค้าคงคลังที่มีมูลค่าต่ำกว่า 10 - 25 % ซึ่งจะได้รับความสำคัญน้อยลง สินค้ากลุ่ม C คือ สินค้าที่มีมูลค่าน้อยสุด หรือมี สินค้าที่มีรายการมาก 60 - 70 % แต่เป็นรายการสินค้าคงคลังที่มีมูลค่าต่ำเพียง 5 - 15 % ซึ่งมีความสำคัญน้อยที่สุด

2.5 ทฤษฎีสินค้าที่มีความเคลื่อนไหวบ่อยวางใกล้ประตู (Fastest turning closest to the door Method)

การจัดวางสินค้าอย่างเหมาะสมสำหรับสินค้าแต่ละประเภทโดยคำนึงถึงระยะทางที่ใช้ในการนำสินค้าเข้าและการนำสินค้าออก สามารถนำปัจจัยหรือทรัพยากรทั้งที่จับต้องได้และที่จับต้องไม่ได้มาคำนวณเพื่อหาคำตอบตามเป้าหมายและยังกำหนดขอบเขตในการศึกษาเพื่อใช้เฉพาะในกิจการหรือกรณีนั้นๆ รวมถึงข้อมูลความถี่ในการจัดเก็บสินค้ามาใช้ในการพิจารณาด้วยหลักการของโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) โดยใช้ร่วมกับหลักการที่ว่าสินค้าที่มีความเคลื่อนไหวบ่อยวางใกล้ประตู (Fastest turning closest to the door) มาใช้ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้น [5]

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยของ วรุตม์ บุญภักดี และคณะ เพื่อศึกษาวิธีการปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า งานวิจัยของ วิศิษฐ์สุรวัฒนาวรรณ และคณะ, พิชชาภา ห้องสำเริงและคณะ เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ 5 ส. งานวิจัยของ นฤภร นิลนิสสัยและคณะ, วรุตม์ บุญภักดี และคณะ เพื่อศึกษาการใช้ ABC Analysis ร่วมกับเทคนนิคอื่นๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพภายในคลัง โดยรายละเอียดแต่ละงานวิจัยแสดงดังนี้

วรุตม์ บุญภักดี และคณะ [6] ได้ศึกษาการวางแผนผังการจัดเก็บสินค้าของบริษัทผลิตวุ้นเส้น เพื่อนำมปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปชนิดแห้ง และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ในการจัดเก็บสินค้า โดยพื้นที่ที่ทำการศึกษานั้นเป็นคลังสินค้าสำเร็จรูปชนิดแห้งคลังที่ 1 มีพื้นที่ 1,350 ตารางเมตร โดยมีการจัดเก็บสินค้าบนพื้นมากกว่าบนชั้นวางสินค้าอุตสาหกรรม ทำให้การใช้อรรถประโยชน์ของพื้นที่แนวสูงได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ และไม่มีการระบุตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าที่ชัดเจน ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแผนผังการจัดเก็บสินค้าทั้งหมด 4 รูปแบบ โดยการนำชั้นวางสินค้าอุตสาหกรรมมาใช้ในการจัดเก็บ และนำรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ แผนผังปรับปรุงการจัดเก็บสินค้ารูปแบบที่ 1 มาทำการจัดโซนพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้า โดยใช้แนวคิดทฤษฎีการวิเคราะห์จัดกลุ่มด้วยระบบ ABC Analysis มาประยุกต์ใช้ในการจัดกลุ่มสินค้าตามความเคลื่อนไหวของสินค้า และใช้ Excel Solver ซึ่งเป็นโปรแกรมแอด-อินของไมโครซอฟท์ เอ็กเซล ร่วมกับหลักการของตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ตามทฤษฎีสินค้าเคลื่อนไหวเร็ววางไว้ใกล้ประตูมาช่วยในการกำหนดโซนพื้นที่การจัดเก็บที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกลุ่มสินค้า จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อปรับปรุงการจัดเก็บโดยการวางผังการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปใหม่ สามารถเพิ่มความสามารถในการจัดเก็บสินค้าได้ 328 แพลเล็ต คิดเป็นร้อยละ 59.85 และสามารถลดระยะทางเฉลี่ยรวมในการจัดเก็บสินค้าได้ 12,810.86 เมตร คิดเป็นร้อยละ 63.85

วิศิษฐ์สุรวัฒนาวรรณ และอดิศักดิ์ธีรานุพัฒนา [7] ศึกษาค้นคว้าระบบ 5ส.เพื่อพัฒนา ระบบของห้างหุ้นส่วนจำกัด พี.วาย.เมตัล ให้มีประสิทธิภาพ จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ 5ส. ของห้างหุ้นส่วนจำกัด พี.วาย.เมตัล พบว่า ได้พื้นที่คืนมา 264 ตารางเมตร สามารถสร้างมูลค่าจากการแยกเหล็กได้จำนวน 44 ตัน ขายได้เป็นจำนวนเงิน 528,000 บาท และนำเหล็กมาใช้ประโยชน์ต่อได้อีก 19 ตัน ซ่อมแซมเครื่องมือที่ชำรุด การประเมินภาพรวม 5ส. ของห้างหุ้นส่วนจำกัด พี. วาย. เมตัล พบว่า พนักงานให้คะแนนอยู่ที่ค่าเฉลี่ย 4.25 แสดงว่าห้างหุ้นส่วนจำกัด พี. วาย. เมตัล มีการจัดการ 5ส. อยู่ในระดับดี ซึ่งจากการทำ 5ส โดยภาพรวมถือว่าบรรลุวัตถุประสงค์ และเป้าหมายที่วางไว้คือพนักงานทุกคนในห้างหุ้นส่วนมีทัศนคติที่ดี และมีระเบียบวินัยในการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่องทุกวัน ซึ่งในการสร้างระบบ 5ส ขึ้นในครั้งนี้นั้น เป็นจุดเริ่มต้นในการปรับปรุงวิธีการทำงาน รวมถึงการปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายในห้างหุ้นส่วนจำกัด พี. วาย. เมตัล ให้มีความเป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในแต่ละส่วนงานเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม

พิชชาภา ห้องสำเริงและชนม์เจริญ แสวงรัตน์ [8] ศึกษากระบวนการทำงานของโรงแรมวัวลายบูติก ตั้งแต่ขั้นตอนการเบิกสินค้าคงคลังไปจนถึงขั้นตอนการทำความสะอาด มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าคงคลังและการทำความสะอาดห้องพักของโรงแรม จนในที่สุดสามารถลดเวลาการเบิกจ่ายและนับสินค้าคงคลังที่ล่าช้า ซึ่งผู้จัดทำการวิจัยได้นำเอาเทคนิค ABC Analysis มาใช้ในการจัดหมวดหมู่สินค้าให้เป็นกลุ่ม A กลุ่ม B และกลุ่ม C และทำการปรับปรุงแก้ไข โดยนำเครื่องมือ 5ส.มาใช้เพื่อจัดการกับพื้นที่คลังสินค้าให้ง่ายสะดวกต่อการใช้ และนำหลักการVisual Control มาเพิ่มความสะดวกในการสังเกตสินค้าคงคลังจากป้ายกำกับในบริเวณต่าง ๆและยังสามารถทำการลดเวลาการทำความสะอาดห้องพักโดยการนำเอาหลักการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานมาใช้เพื่อทำการสร้างมาตรฐานการทำงานให้แก่แผนกแม่บ้าน หรือแผนกทำความสะอาด จากนั้นทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบเวลาของขั้นตอนการเบิกสินค้าคงคลังก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่ามีเวลารวมลดลงเฉลี่ย 87.22 % และขั้นตอนการทำความสะอาดก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่ามีเวลารวมโดยแยกตามประเภทห้องพักสี่ประเภท Suite ลดลงเฉลี่ย 25% Deluxe ลดลงเฉลี่ย 57.5% Superior1 ลดลงเฉลี่ย 37.5% Superior2 ลดลงเฉลี่ย 37.5%

นฤภร นิลนิสสัยและปิยะเนตร นาคสีดี [9] ศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าของบริษัท เครื่องดื่มรังนก ABC จำกัด ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา สำรวจ และเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง พบว่าสาเหตุที่ทำให้การดำเนินงานของบริษัทฯ ขาดประสิทธิภาพคือ คลังสินค้ามีวิธีการและการจัดวางไม่เหมาะสม และกระบวนการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปใช้เวลานานและมีข้อผิดพลาดที่ส่งผลให้สินค้าเสียหาย ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าสำเร็จรูป กรณีศึกษาของบริษัท เครื่องดื่มรังนก ABC จำกัด โดยขั้นตอนเริ่มจากการปรับปรุงวิธีการดำเนินงานโดยการใช้แผนผัง Flow Process Chart เพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการภายในแผนก แล้วจึงทำการปรับปรุงโดยใช้เครื่องมือ ECRS จัดความสำคัญด้วย ABC Analysis การตั้งรหัสการจัดเก็บสินค้าภายในคลัง และการออกแบบแผนผังการจัดเก็บ ระบุตำแหน่งการจัดเก็บ จากการศึกษาพบว่า ผลการปรับปรุงนั้นทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้าคือสินค้ามีความระเบียบเรียบร้อยมากขึ้น เวลาเฉลี่ยในการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปลดลงจาก 1.32 ชั่วโมงเป็น 1.05 ชั่วโมง รวมถึงระยะทางในการเคลื่อนย้ายสินค้าลดลงจาก 200.4 เมตรเป็น 135.6 เมตร และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นลดลงจาก 12.5% เป็น 11% ต่อการส่งสินค้าสำเร็จรูป

วรุตม์ บุญภักดี และคณะ [10] ได้เสนอการปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บคลังสินค้าสำเร็จรูป กรณีศึกษาบริษัทผลิตเสื้อกีฬา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปและปรับปรุงกิจกรรมในคลังสินค้าให้สะดวกต่อการทำงานมากขึ้น สภาพปัจจุบันคลังสินค้าของบริษัทดังกล่าวมีการจัดเก็บสินค้าโดยไม่มีการระบุตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าที่ชัดเจน ใช้เวลาเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งการจัดเก็บสินค้ามาก ผู้วิจัยได้ทำการจัดตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบเอบีซี (ABC Analysis) มาประยุกต์ใช้ในการจัดกลุ่มสินค้าตามความเคลื่อนไหวของสินค้า และกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากเวลาในการเคลื่อนที่เป็นสำคัญ จากผลการศึกษาพบว่า การปรับปรุงการจัดเก็บโดยการวางผังการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปใหม่ช่วยลดเวลาการเคลื่อนที่ไปยังกลุ่ม A

และ B ร้อยละ 16.12 และ 11.55 ตามลำดับ สินค้ากลุ่ม C ใช้เวลาเคลื่อนที่เฉลี่ยมากที่สุด 23.71 วินาทีต่อช่องวางสินค้า

4. การดำเนินการวิจัย

4.1 เก็บข้อมูลสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 และพื้นที่ภายในคลัง

4.2 ระบุปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา

4.3 ประยุกต์แนวความคิดกิจกรรม 5 ส.

4.4 การจัดกลุ่ม สป.2, 4 ด้วย ABC Analysis

4.5 สินค้าที่มีความเคลื่อนไหวบ่อยวางใกล้ประตู (Fastest turning closest to the door Method)

- ทำการวัดระยะทางก่อนและหลังปรับปรุงโดยใช้สายวัด
- ทำการจับเวลาก่อนและหลังปรับปรุงโดยจำลองการวางสิ่งอุปกรณ์บริเวณที่ได้ออกแบบไว้

4.6 เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคลังสิ่งอุปกรณ์

5. ผลการวิจัย

5.1 เก็บข้อมูลสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 และพื้นที่ภายในคลัง

5.1.1 สิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 ภายในคลังสิ่งอุปกรณ์

จากการศึกษาจากเอกสารของระบบงาน โดยเก็บข้อมูลจากเอกสารเกี่ยวข้องกับระบบคลังสิ่งอุปกรณ์ 2 และ 4 มีสิ่งอุปกรณ์ที่เข้าออกภายในคลังสิ่งอุปกรณ์ มีทั้งหมด 30 รายการแยกเป็นประเภทได้ดังนี้

1. เครื่องแต่งกาย นักเรียนนายร้อย (นนร.) เช่น เครื่องแบบปกติขาว กางเกงกีฬา ถุงเท้าใยสังเคราะห์ ฯลฯ

2. เครื่องหมาย นนร. เช่น เครื่องหมายรูปตราแผ่นดิน ดุมโลหะสีทอง ป้ายชื่อโลหะ ฯลฯ

3. รองเท้า นนร. เช่น รองเท้าผ้าใบหุ้มส้นชนิดมีลวดลาย รองเท้าหุ้มข้อหนังสีดำ
รองเท้าพละฯลฯ

4. เครื่องนอน นนร. เช่น ปลอกหมอน ผ้าปูที่นอน ผ้าห่มนอน ฯลฯ

รายการสิ่งอุปกรณ์ และจำนวนกล่องสิ่งอุปกรณ์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการสิ่งอุปกรณ์ในคลัง สป. 2, 4

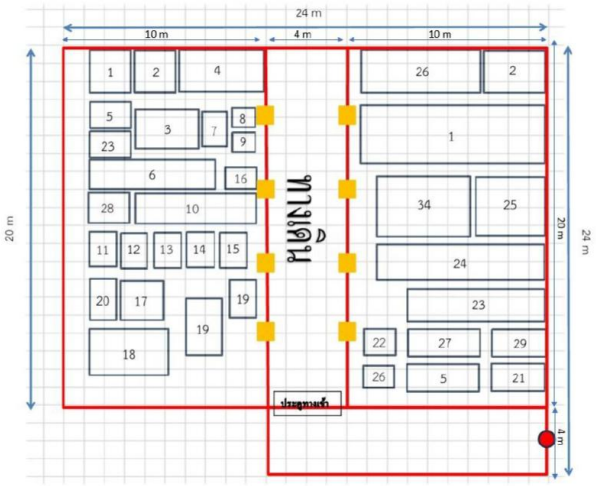
ลำดับ	รายการ	จำนวน(กล่อง)
1	กล่องเป้สนาม	775
2	กล่องเต็นท์บุคคล	121
3	กล่องพลั่วสนาม	121
4	กล่องเป้สนามแบบเล็ก	56
5	กล่องหม้อข้าวสนาม	47
6	กล่องกระเป๋าใส่ซองกระสุน	62
7	กล่องเสื้อกันฝน	61
8	กล่องถุงผ้าใบสนาม	61
9	ถุงหมอน	33

ตารางที่ 1 รายการสิ่งอุปกรณ์ในคลัง สป. 2, 4 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน(กล่อง)
10	ถุงผ้าปูที่นอน	29
11	กล่องกระเป๋าอเนกประสงค์	35
12	กล่องเข็มขัดสนาม	40
13	ถุงผ้าเช็ดตัว	28
14	กล่องสายโยงเข็มขัดสนาม	24
15	กล่องถุงเท้าดำบาง	20
16	กล่องกระติกน้ำ	25
17	ถุงกางเกงกีฬา	17
18	กล่องใส่มุ้ง	13
19	ถุงผ้าห่ม	13
20	ถุงเสื้อขาวคอแดง	20
21	กล่องชุดกศ.	12
22	ถุงเสื้อขาวคอปกแดง	18
23	กล่องถุงเท้าดำหนา	13
24	กล่องผ้าขาวม้า	7
25	ถุงเท้าขาว	6
26	กล่องผ้าผูกคอสีเขียว	6
27	ถุงปลอกหมอน	5
28	กล่องผ้าผูกคอดำ	4
29	กล่องถุงเท้าฟุตบอล	4
30	กล่องปลอกแขนไว้ทุกข์สีดำ	4

5.1.2 พื้นที่คลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4

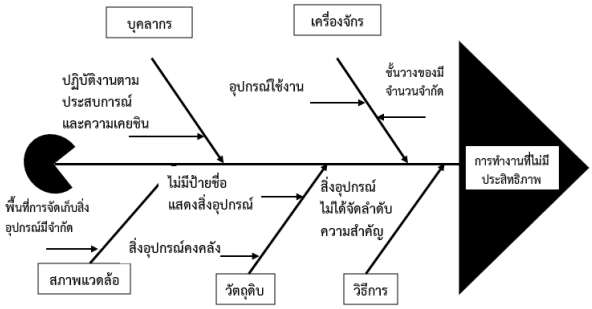
พื้นที่คลังจัดเก็บสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 มีความกว้าง 20 ม. และมีความยาว 24 ม. มีแผนผังคลังแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 พื้นที่คลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4

5.2 การระบุปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา

จากการหาสาเหตุของปัญหาภายในคลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 โดยการสังเกตการณ์และสอบถามจากเจ้าหน้าที่ภายในคลัง ได้ผลแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สาเหตุของปัญหาภายในคลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4

จากเหตุผลในเรื่องข้อจำกัดและการสอบถามเจ้าหน้าที่ภายในคลัง ให้ความสำคัญกับการแก้ไขปัญหาจาก 3 สาเหตุ ดังนี้

1) เจ้าหน้าที่คลังปฏิบัติงานตามความถนัดและความเคยชิน ทำให้การวางไม่เป็นระเบียบมีการจัดวางสิ่งอุปกรณ์ตามบริเวณที่ว่าง อีกทั้งยังมีการวางกีดขวางทางเดินก่อให้เกิดความเสี่ยงในการทำงาน

2) ไม่มีป้ายชื่อกำกับสิ่งอุปกรณ์และไม่มีพื้นที่จัดเก็บอย่างเฉพาะเจาะจงสำหรับสิ่งอุปกรณ์แต่ละชนิด ส่งผลให้สิ่งอุปกรณ์บางรายการมีจุดวางหลายจุด

3) สินค้าไม่ได้จัดลำดับความสำคัญ

จากแผนผังก้างปลาทำให้ทราบว่ามีสาเหตุหลัก 3 สาเหตุจึงได้ใช้แนวความคิดกิจกรรม 5 ส., ABC Analysis และ เทคนิคสินค้าที่มีความเคลื่อนไหวบ่อยวางใกล้ประตู

5.3 ประยุกต์แนวความคิดกิจกรรม 5 ส.

5.3.1 สะสาง คัดแยกสิ่งอุปกรณ์ประเภทอื่นหรือสิ่งอุปกรณ์ที่เสื่อมสภาพออกจากคลัง

5.3.2 สะดวก จัดวางสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2 และ 4 ให้มีตำแหน่งในการวางเพียงจุดเดียว ไม่วางสิ่งอุปกรณ์บริเวณทางเดินเพื่อให้การขนถ่ายมีความปลอยภัยมากขึ้น จัดทำป้ายชื่อสิ่งอุปกรณ์เพื่อช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถหาสิ่งอุปกรณ์ได้ง่ายขึ้น และเพื่อไม่เป็นการสิ้นเปลืองพื้นที่ภายในคลัง

5.3.3 สะอาด ทำความสะอาดพื้นที่ภายในคลังเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกหรือสัตว์ที่อาจเข้ามาทำลายสิ่งอุปกรณ์ อีกทั้งยังเป็นการรักษาสุขภาพของเจ้าหน้าที่ภายในคลัง

5.3.4 สุขลักษณะ จัดทำแผนวิธีการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานตาม ส.1-ส.3 เพื่อให้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติเพื่อรักษาความเป็นระเบียบเรียบร้อย

5.3.5 สร้างนิสัย ฝึกอบรมสร้างนิสัยของเจ้าหน้าที่ให้มีระเบียบวินัยและปฏิบัติตามกฎระเบียบต่างๆ เดียวกัน

5.4 การจัดกลุ่ม สป.2, 4 ด้วย ABC Analysis

ในการขนถ่าย สป.2, 4 เจ้าหน้าที่จะใช้รถเข็นในการขนย้าย โดยจะจัดเรียงกล่อง สป.2, 4 บนรถเข็น ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการจัดกลุ่ม สป.2, 4 จากการเก็บข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2566 – 2567 โดยใช้เกณฑ์การจัดกลุ่มคือความถี่ในการขนเข้า-ออก จากคลัง โดยเกณฑ์ในการจัดกลุ่มแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์ในการจัดกลุ่ม สป.2, 4

สิ่งอุปกรณ์	เกณฑ์	คำอธิบาย
กลุ่ม A	52.88%	มีความถี่ในการขนย้ายเข้า-ออกสูง มีค่าความถี่ในการขนย้าย 52.88% ของความถี่ในการขนย้ายสิ่งอุปกรณ์ทั้งหมด
กลุ่ม B	30.82%	มีความถี่ในการขนย้ายปานกลาง มีค่าความถี่ในการขนย้าย 30.82% ของความถี่ในการขนย้ายสิ่งอุปกรณ์ทั้งหมด
กลุ่ม C	16.29%	มีความถี่ในการขนย้ายน้อยที่สุด มีค่าความถี่ในการขนย้าย 16.29% ของความถี่ในการขนย้ายสิ่งอุปกรณ์ทั้งหมด

จากการจัดกลุ่ม สป.2, 4 ทั้ง 30 รายการ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการจัดกลุ่ม สป.2, 4 ทั้ง 30 รายการ โดยใช้ ABC Analysis

ลำดับ	รายการ	จำนวน(กล่อง/ถุง)	ขนาด (กว้างxยาวxสูง) (เซนติเมตร)	จำนวนบรรจุต่อรอบ	ความถี่ของการเคลื่อนไหว	ร้อยละ	ABC
1	กล่องเปิดนาม	775	40x60x20	5	155	38.8	A
2	กล่องเต็มทับุคคล	121	20x62x18	4	30.25≈31	7.77	A
3	กล่องพลั่วสนาม	121	31x40x25	5	24.2≈25	6.26	A
4	กล่องเป็นสนามแบบเล็ก	56	38x44x50	3	18.67≈19	4.76	B
5	กล่องหม้อข้าวสนาม	47	42x61x47	3	15.67≈16	4.00	B
6	กล่องกระเป๋าใส่ของกระสุน	62	38x45x20	4	15.5≈16	4.00	B
7	กล่องเสื้อกันฝน	61	30x52x38	4	15.25≈16	4.00	B
8	กล่องถุงผ้าใบสนาม	61	38x61x69	4	15.25≈16	4.00	B
9	ถุงหมอน	33	100x115x30	3	11	2.75	B
10	ถุงผ้าปูที่นอน	29	50x50x30	3	9.67≈10	2.5	B
11	กล่องกระเป๋าอเนกประสงค์	35	46x68x36	4	8.75≈9	2.25	B
12	กล่องเข็มขัดสนาม	40	46x58x25	4	10	2.5	B
13	ถุงผ้าเช็ดตัว	28	70x75x35	4	7	1.75	C
14	กล่องสายโยงเข็มขัดสนาม	24	45x60x35	4	6	1.5	C
15	กล่องถุงเท้าคำบาง	20	46x48x30	4	5	1.25	C
16	กล่องกระติกน้ำ	25	50x70x45	5	5	1.25	C
17	ถุงกางเกงกีฬา	17	50x57x20	4	4.25≈5	1.25	C
18	กล่องใส่มุ้ง	13	36x55x37	3	4.3≈5	1.25	C
19	ถุงผ้าห่ม	13	80x100x40	3	4.3≈5	1.25	C
20	ถุงเสื้อขาวคอแดง	20	70x80x25	5	4	1.00	C
21	กล่องชุดทห.	12	35x55x40	3	4	1.00	C
22	ถุงเสื้อขาวคอปกแดง	18	40x50x25	5	3.6≈4	1.00	C
23	กล่องถุงเท้าดำหนา	13	50x60x40	4	3.25≈4	1.00	C
24	กล่องผ้าขาวม้า	7	40x60x45	3	2.3≈3	0.75	C
25	ถุงเท้าขาว	6	50x60x40	3	2	0.5	C
26	กล่องผ้าผูกคอสีเขียว	6	38x51x28	3	2	0.5	C
27	ถุงปลอกหมอน	5	45x80x25	5	1	0.25	C
28	กล่องผ้าผูกคอดำ	4	35x50x30	2	1	0.25	C
29	กล่องถุงเท้าพุตบอล	4	50x60x40	2	1	0.25	C
30	กล่องปลอกแขนไว้ทุกข์สีดำ	4	30x48x30	1	1	0.25	C
รวม		1680			399		

จากตารางที่ 3 พบว่า สิ่งอุปกรณ์ประเภท A B และ C มีจำนวน 3 9 และ 18 รายการ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 จำนวน สป.2, 4 ในแต่กลุ่ม

กลุ่มสิ่งอุปกรณ์	จำนวนรายการสิ่งอุปกรณ์(รายการ)	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์(%)
A	3	10%
B	9	30%
C	18	60%

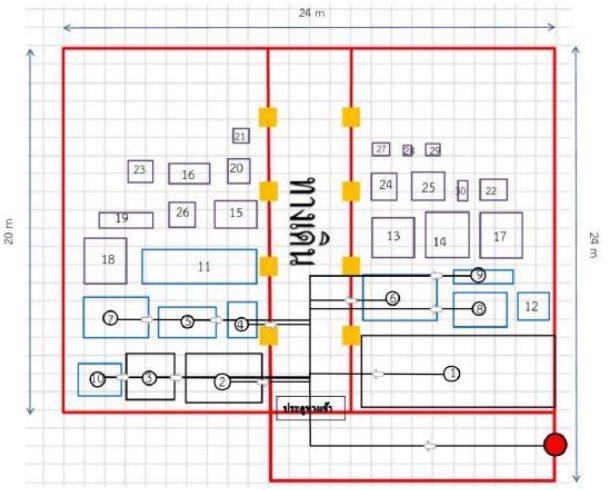
5.5 สินค้าที่มีความเคลื่อนไหวบ่อยวางใกล้ประตู (Fastest turning closest to the door Method)

การวางตำแหน่งสิ่งอุปกรณ์ก่อนปรับปรุงในการขนถ่ายใช้ระยะทาง 52.928 กิโลเมตร ใช้เวลา 8.283 ชั่วโมง และใช้พื้นที่การวางสิ่งอุปกรณ์ 235.14 ตารางเมตร พื้นที่การวางสิ่งอุปกรณ์แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 พื้นที่การวางสิ่งอุปกรณ์ก่อนปรับปรุง

ลำดับ	รายการ	จำนวน (กล่อง/ถุง)	ความถี่ของการเคลื่อนไหว	กว้าง (เซนติเมตร)	ยาว (เซนติเมตร)	พื้นที่วางสิ่งอุปกรณ์ (ตารางเมตร)
1	กล่องเป้สนาม	775	155	310	930	28.83
				200	260	5.2
2	กล่องเต็นท์บุคคล	121	31	260	570	14.82
				110	140	1.54
3	กล่องพลั่วสนาม	121	31	300	450	13.5
4	กล่องเป้สนามแบบเล็ก	56	19	150	200	3
				130	350	4.55
5	กล่องหม้อข้าวสนาม	47	16	300	360	10.8
6	กล่องกระเป๋าใส่ของกระสุน	62	16	120	260	8.32
				260	320	8.32
7	กล่องเสื้อกันฝน	61	16	130	290	3.77
8	กล่องถุงผ้าใบสนาม	61	16	200	850	17
9	ถุงหมอน	33	11	180	600	10.8
10	ถุงผ้าปูที่นอน	29	10	210	310	6.51
11	กล่องกระเป๋าอเนกประสงค์	35	9	130	290	3.77
12	กล่องเข็มขัดสนาม	40	10	130	350	4.55
13	ถุงผ้าเช็ดตัว	28	7	170	620	10.34
14	กล่องสายโยงเข็มขัดสนาม	24	6	150	200	3
				190	700	13.3
15	กล่องถุงเท้าดำบาง	20	5	150	200	3
16	กล่องกระติกน้ำ	25	5	120	150	1.8
17	ถุงกางเกงกีฬา	17	5	190	320	6.08
				140	210	2.44
18	กล่องไส่ผุ้ง	13	5	110	150	1.65
19	ถุงผ้าห่ม	13	5	260	420	10.92
20	ถุงเสื้อขาวคอแดง	20	4	210	230	9.2
21	กล่องชุดกห.	12	4	180	200	3.6
22	ถุงเสื้อขาวคอปกแดง	18	4	210	210	4.41
23	กล่องถุงเท้าดำหนา	13	4	150	200	3
24	กล่องผ้าขาวม้า	7	3	150	200	3
25	ถุงเท้าขาว	6	2	150	200	3
26	กล่องผ้าผูกคอสีเขียว	6	2	150	220	3.3
27	ถุงปลอกหมอน	5	1	110	110	1.21
28	กล่องผ้าผูกคอดำ	4	1	110	110	1.21
29	กล่องถุงเท้าฟุตบอล	4	1	150	200	3
30	กล่องปลอกแขนไว้ทุกซ์สีดำ	4	1	120	200	2.4
รวม		1680	399			235.14

ผู้วิจัยได้ทำการปรับตำแหน่งการวางสิ่งอุปกรณ์โดยใช้แนวคิดสินค้าที่มีความเคลื่อนไหวบ่อยวางใกล้ประตูในการวางสิ่งอุปกรณ์ จากตารางที่ 3 สิ่งอุปกรณ์กรณ์ที่มีความถี่สูงสุดคือ กล่องเป้สนามมีการขนถ่ายจำนวน 155 ครั้ง จะถูกจัดตำแหน่งเป็นอันดับแรกและตำแหน่งในการวางจะมีระยะห่างจากประตูน้อยที่สุด จากนั้นจึงจัดตำแหน่งของกล่องเต็นท์บุคคล กล่องพลั่วสนาม ที่มีความถี่ 121 ครั้ง เป็นลำดับถัดไป จากนั้นจึงดำเนินการจัดตำแหน่งของสิ่งอุปกรณ์จนครบจำนวน 30 รายการ ได้ผังการวางสิ่งอุปกรณ์ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตำแหน่งการวางสิ่งอุปกรณ์หลังปรับปรุง

5.6 เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคลังสิ่งอุปกรณ์

การวางตำแหน่งสิ่งอุปกรณ์หลังปรับปรุงในการขนถ่ายใช้ระยะทาง 39.631 กิโลเมตร ใช้เวลา 4.615 ชั่วโมง และใช้พื้นที่การวางสิ่งอุปกรณ์ 129.632 ตารางเมตร พื้นที่การวางสิ่งอุปกรณ์แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 พื้นที่การวางสิ่งอุปกรณ์หลังปรับปรุง

ลำดับ	รายการ	จำนวน (กล่อง/ถุง)	ความถี่ของการเคลื่อนไหว	กว้าง (เซนติเมตร)	ยาว (เซนติเมตร)	พื้นที่วางสิ่งอุปกรณ์ (ตารางเมตร)
1	กล่องเป้สนาม	775	155	400	960	38.4
2	กล่องเต็นท์บุคคล	121	31	220	248	5.456
3	กล่องพลั่วสนาม	121	25	248	320	7.936
4	กล่องเป้สนามแบบเล็ก	56	19	152	220	3.344
5	กล่องหม้อข้าวสนาม	47	16	168	305	5.124
6	กล่องกระเป๋าใส่ของกระสุน	62	16	190	135	2.565
7	กล่องเสื้อกันฝน	61	16	300	156	4.68
8	กล่องถุงผ้าใบเนาม	61	16	228	366	8.3448
9	ถุงหมอน	33	11	200	575	11.5
10	ถุงผ้าปูที่นอน	29	10	150	150	2.25
11	กล่องกระเป๋าอเนกประสงค์	35	9	184	203	3.7352
12	กล่องเข็มขัดสนาม	40	10	92	290	2.668
13	ถุงผ้าเช็ดตัว	28	7	210	225	4.725
14	กล่องสายโยงเข็มขัดสนาม	24	6	135	120	1.62
15	กล่องถุงเท้าดำบาง	20	5	276	96	2.6496
16	กล่องกระติกน้ำ	25	5	150	210	3.15
17	ถุงกางเกงกีฬา	17	5	150	114	1.71
18	กล่องไส่ผุ้ง	13	5	108	110	1.188
19	ถุงผ้าห่ม	13	5	240	200	4.8
20	ถุงเสื้อขาวคอแดง	20	4	210	240	5.04
21	กล่องชุดกห.	12	4	140	110	1.54
22	ถุงเสื้อขาวคอปกแดง	18	4	200	100	2
23	กล่องถุงเท้าดำหนา	13	4	150	120	1.8
24	กล่องผ้าขาวม้า	7	3	120	120	1.44
25	ถุงเท้าขาว	6	2	100	60	0.6
26	กล่องผ้าผูกคอสีเขียว	6	2	76	51	0.3876
27	ถุงปลอกหมอน	5	1	45	80	0.36
28	กล่องผ้าผูกคอดำ	4	1	35	50	0.175
29	กล่องถุงเท้าฟุตบอล	4	1	50	60	0.3
30	กล่องปลอกแขนไว้ทุกซ์สีดำ	4	1	30	48	0.144
รวม		1680	399			129.6322

ซึ่งสามารถลดระยะทางและเวลาในการขนย้ายรวมถึงพื้นที่ในการวางสิ่งอุปกรณ์ ลงได้ร้อยละ 25.25, 44.28, 42.84 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคลังสิ่งอุปกรณ์

เกณฑ์วัดผล	สรุปผล	คิดเป็น %
ระยะเวลาในการขนย้าย	ลดลง 3.668 ชม.	ลดลง 44.28 %
ระยะทางในการขนย้าย	ลดลง 13.297 กม.	ลดลง 25.25 %
พื้นที่เก็บสิ่งอุปกรณ์	ลดลง 105.508 ตร.ม.	ลดลง 42.84 %

6. สรุปผลและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาคลังสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2, 4 และได้หาแนวทางในการจัดการคลังโดยใช้กิจกรรม 5ส. ABC Analysis และการวางตำแหน่งสิ่งอุปกรณ์โดยใช้วิธีการสินค้าที่มีความเคลื่อนไหวบ่อยวางใกล้ประตู เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดเก็บสิ่งอุปกรณ์อย่างไม่เป็นระเบียบ ไม่มีพื้นที่จัดเก็บอย่างเฉพาะเจาะจงสำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิด มีการจัดวางสิ่งอุปกรณ์ตามบริเวณที่ว่าง อีกทั้งยังมีการวางกีดขวางทางเดินก่อให้เกิดความเสี่ยงในการทำงาน การใช้กิจกรรม 5ส. ทำให้คลังมีระเบียบเรียบร้อย มีวิธีการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐาน การจัดกลุ่มสิ่งอุปกรณ์โดยใช้ ABC Analysis ทำให้ได้กลุ่มสิ่งอุปกรณ์ 3 กลุ่ม คือกลุ่ม A B และ C ที่มีความถี่ในการขนเข้า-ออก ร้อยละ 52.88 30.82 และ 16.29 ตามลำดับ จากนั้นได้ปรับตำแหน่งการวางสิ่งอุปกรณ์โดยใช้แนวคิดสินค้าที่มีความเคลื่อนไหวบ่อยวางใกล้ประตูในการวางสิ่งอุปกรณ์จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าสามารถลดระยะทางและเวลาในการขนย้ายรวมถึงพื้นที่ในการวางสิ่งอุปกรณ์ ลงได้ร้อยละ 25.25, 44.28 และ 42.84 ตามลำดับ

7. อ้างอิง

[1] กรมยุทธบริการทหาร, คู่มือปฏิบัติงานการจัดการสิ่งอุปกรณ์ประเภท 2, 4 สายพลาธิการ. 2562. ข้อมูลจาก https://ssd.rtarf.mi.th/ssd/images/A11/A1.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 ธันวาคม 2567)

[2] พงษ์ยั อธิคมรัตนกุล (2550) เอกสารประกอบการสอนการจัดการคลังสินค้ สาขาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[3] ศิริกานดา ศรีวิลัย. การก้าวไปสู่ระบบการบริหารงานอย่างมีประสิทธิภาพด้วยเทคนิค 5 ส, พิมพ์ครั้งที่ 2, โรงพิมพ์บริษัท ประชาชน จำกัด, 2542.

[4] กองโลจิสติกส์ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. การพัฒนาประสิทธิภาพการบริหารจัดการโลจิสติกส์เพื่อการลดต้นทุนและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์บริษัท ไบรท์ แอนด์ พริ้น จำกัด, 2561.

[5] เฉลียว บุตรวงษ์ และ สุภาวดี สายสนิท, 2566. “การเพิ่มประสิทธิภาพคลังสินค้า โดยใช้ Fastest turning closest to the door Method กรณีศึกษา บริษัทแห่งหนึ่งในอุตสาหกรรมอุปกรณ์รักษาความปลอดภัยส่วนบุคคล” วารสารวิทยาการจัดการปริทัศน์, ปีที่ 25, ฉบับที่ 2: 156-170.

[6] วรุตม์ บุญภักดี และคณะ. 2563. “การปรับปรุงรูปแบบการจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้าสำเร็จรูปชนิดแห้ง กรณีศึกษา บริษัทผลิตวุ้นเส้น.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปีที่ 27, ฉบับที่ 1: 22-32.

[7] วิศิษฐ์สุรวัฒนาวรรณ และอดิศักดิ์ธีรานุพัฒนา. 2565. “การพัฒนาระบบ 5ส ของห้างหุ้นส่วนจำกัด พี. วาย. เมตัล.” วารสารบริหารธุรกิจมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ปีที่ 8, ฉบับที่ 1: 64-74.

[8] พิชชาภา ห้องสำเริง และชนม์เจริญ แสวงรัตน์. 2563. การลดเวลากรบวนการเบิกจ่ายสินค้าคงคลังและทำความสะอาดห้องพักของโรงแรมวัวลายบูติก. งานสัมมนาทางวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการอุตสาหกรรม ครั้งที่ 5 ปี 2563.

[9] นฤภร นิลนิสสัยและปิยะเนตร นาคสีดี. 2564. “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าสำเร็จรูปกรณีศึกษา บริษัทเครื่องดื่มรังนก ABC จำกัด.” การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 16 ปีการศึกษา 2564.

[10] วรุตม์ บุญภักดี และคณะ. 2565. “การปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บของคลังสินค้าสำเร็จรูป กรณีศึกษา บริษัทผลิตเสื้อผ้ากีฬา.” วิศวสารลาดกระบัง. ปีที่ 39, ฉบับที่ 2: 113-124.

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อลดการสูญเสียในกระบวนการบรรจุน้ำผึ้ง

Application of IoT Technology to Reduce Losses in the Honey Packing Process

ปาริชาต ชื่นวัฒนกุล[1*] อภิวัฒน์ มุตตามระ[2*] อรุณ หล่อชัชวาลกุล[3*]
[1,2,3]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: Cparicha@engr.tu.ac.th[1*] Mapiwat@engr.tu.ac.th[2*] Arun.hlo@gmail.com[3]

Parichat Chuenwatanakul[1*] Apiwat Muttamara[2*] Arun Hlochutchawankun[3*]
[1,2,3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University
E-mail: Cparicha@engr.tu.ac.th[1*] Mapiwat@engr.tu.ac.th[2*] Arun.hlo@gmail.com[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อลดการสูญเสียในการบรรจุน้ำผึ้ง วิธีการบรรจุน้ำผึ้งแบบเดิม ใช้คนงานในการบรรจุ มักประสบปัญหาการบรรจุล้นขวดและปริมาณน้ำผึ้งที่บรรจุในแต่ละขวดไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลให้เกิดความสูญเสียและน้ำหนักบรรจุไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ทำการออกแบบระบบโดยนำเซ็นเซอร์มาใช้ควบคุมเครื่องชั่งน้ำหนักให้มีการเปิด-ปิดอัตโนมัติ ซึ่งควบคุมผ่านระบบคลาวน์ (Cloud) ส่งผลให้น้ำหนักในการบรรจุมีความแม่นยำ สม่ำเสมอ และความสูญเสียในการบรรจุน้ำผึ้ง 300 กิโลกรัม (1 ถัง)/รอบ จากเดิมสูญเสีย 6.67% ลดลงเหลือ 1.0% ลดลงรอบละ 17 กิโลกรัม นอกจากนี้ข้อมูลการบรรจุจะถูกบันทึกผ่านมือถือหรือจอคอมพิวเตอร์ลงบนกูเกิ้ลไดรฟ์ทันที ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตต่อไป

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง; นวัตกรรม; กระบวนการผลิตน้ำผึ้ง; เซ็นเซอร์

Abstract

This research focuses on applying IoT to reduce losses in honey packaging process. Traditional honey packaging methods rely on manual labor, which often leads to issues such as bottle overflow and inconsistent honey quantities in each bottle. These problems lead to product loss and failure to meet standard weight requirements. The proposed system integrates sensors to control an automatic weighing mechanism, which operates via a cloud-based system. This ensures precise and consistent packaging weights. As a result, the loss in packaging 300 kilograms of honey (1 barrel) per batch decreased from 6.67% to 1.0%, reducing the loss per batch by 17 kilograms. Additionally, packaging data is recorded in real time via mobile devices or computer screens and stored on Google Drive. This data can be utilized for further production efficiency analysis.

1. บทนำ

ในยุคอุตสาหกรรม 4.0 เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) มีบทบาทสำคัญในการยกระดับกระบวนการผลิต ด้วยความสามารถในการเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องจักร อุปกรณ์ และระบบบริหารจัดการแบบเรียลไทม์ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และยกระดับคุณภาพของการผลิตได้อย่างเป็นระบบ งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อลดการสูญเสียในการบรรจุ วิธีการบรรจุน้ำผึ้งแบบเดิม ใช้คนงานในการบรรจุ มักประสบปัญหาการบรรจุล้นขวดและปริมาณน้ำผึ้งในขวดที่ไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลให้เกิดความสูญเสียและไม่สามารถควบคุมมาตรฐานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการสื่อสารข้อมูลในการผลิตใช้การจดบันทึกในกระดาษ มีโอกาสเกิดความผิดพลาด บันทึกผิด บันทึกไม่ครบ ลืมบันทึกและสูญหาย การนำเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) มาใช้สามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าว โดยนำเซ็นเซอร์มาใช้ควบคุมเครื่องชั่งน้ำหนักอัตโนมัติ ซึ่งควบคุมผ่านระบบคลาวน์ (Cloud) ทำให้น้ำหนักในการบรรจุมีความแม่นยำ สม่ำเสมอ และลดความสูญเสียน้ำผึ้งในการบรรจุ ข้อมูลจะถูกบันทึกผ่านมือถือหรือจอคอมพิวเตอร์ได้ทันทีลงบนกูเกิ้ลไดรฟ์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT)

IoT ย่อมาจากคำว่า Internet of Things เกิดจากคำสองคำรวมกัน ได้แก่คำว่า Things ที่แปลว่าสิ่งของ รวมกับคำว่า Internet สรุปคือเทคโนโลยีที่เชื่อมต่อสิ่งของเข้ากับ internet หรืออธิบายให้เข้าใจง่าย IoT คืออุปกรณ์ทุกอย่างในชีวิตประจำวันภายในบ้านมีการเชื่อมต่อกันสื่อสารกันเพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น อุปกรณ์ IoT บนสมาร์ทโฟน จะสามารถสั่งการเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านให้เปิดปิดเมื่อเรากลับมาถึงบ้าน หรือเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น สมาร์ทโฟนจะสื่อสารกับเครื่องปรับอากาศให้เปิดใช้งาน ซึ่งที่กล่าวมาเป็นแค่ส่วนหนึ่งของประโยชน์ IoT ที่จะมาช่วยอำนวยความสะดวกหรือแก้ปัญหาต่าง ๆ ในชีวิตเรา องค์ประกอบหลักของเทคโนโลยี IoT แบ่งออกได้เป็น 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

1. เซ็นเซอร์: ทำหน้าที่ตรวจวัดและเก็บข้อมูลจากสภาพแวดล้อม ตัวอย่างเซ็นเซอร์ เช่น เซ็นเซอร์อุณหภูมิ เซ็นเซอร์ความชื้น เซ็นเซอร์แสง เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว ซึ่งหากปราศจากตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ระบบ IoT จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เลย ซึ่งตัวอุปกรณ์จะทำหน้าที่สั่งการโดยจะมีคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กไว้ประมวลผลข้อมูลหลังจากได้ผลลัพธ์ออกมา ระบบสั่งการจะสั่งการไปยังอุปกรณ์ IoT อีกตัว ซึ่งมีระบบในการรับคำสั่ง เพื่อให้อุปกรณ์หรือเครื่องจักรทำงานตามที่ได้รับคำสั่งมา

2. เครือข่าย: ทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT เข้าด้วยกันและส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ เครือข่ายที่ใช้สำหรับ IoT มีหลายประเภท เช่น Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN การใช้บริการ Server หรือ Broker เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดศูนย์กลางในการประมวลผล เนื่องจากอุปกรณ์มักจะมีหน่วยประมวลผลขนาดเล็กทำให้บางครั้งไม่สามารถคำนวณคำสั่งที่ซับซ้อนได้จึงจำเป็นที่จะต้องมีหน่วยประมวลผลกลางที่รับคำสั่งจากอุปกรณ์ IoT ประเภทหนึ่ง หลังจากนั้นก็จะใช้การประมวลเพื่อให้ได้คำสั่งอย่างง่ายส่งไปยังอุปกรณ์ IoT ที่เป็นผู้รับอีกทอดหนึ่ง

3. การประมวลผลข้อมูล: ทำหน้าที่วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากเซ็นเซอร์ ข้อมูลสามารถประมวลผลบนอุปกรณ์ IoT เอง หรือส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อประมวลผล หรือเรียกว่าอุปกรณ์เกตเวย์ จะเป็นอุปกรณ์อีกประเภท ซึ่งจะเป็นตัวกลางในการส่งผ่านคำสั่งจากอุปกรณ์ IoT ไปยังอุปกรณ์เป้าหมายที่ต้องรับคำสั่งเพื่อทำตาม

4. อุปกรณ์ฝั่งผู้ใช้งาน (User Device) เป็นส่วนของอุปกรณ์ที่จะใช้แสดงผลสถานะของอุปกรณ์ IoT ทั้งหมดที่อยู่ในเครือข่าย โดยปกติระบบ IoT จะเป็นการเชื่อมต่อเพื่อสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเราจำเป็นต้องมีอุปกรณ์อีกหนึ่งชิ้น เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบเพื่อดูสถานการณ์การทำงานหรืออินเทอร์เฟซ โดยจะทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลและช่วยให้ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับอุปกรณ์ IoT ตัวอย่างอินเทอร์เฟซผู้ใช้ เช่น หน้าจอ LCD แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน เว็บไซต์ เป็นต้น

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ IoT ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ทั้งการตรวจติดตามสภาวะแวดล้อมและสภาพการทำงานของเครื่องจักร ทั้งระยะใกล้และไกล [1,2] แบบ real-time [2] เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว ในการจัดเก็บข้อมูล รวมทั้งความสามารถส่งข้อมูลไปเก็บบนระบบคลาวด์ ไว้ในฐานข้อมูลที่สามารถเรียกดูข้อมูลและนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจได้โดยสะดวก

2.2 อัตราการไหลของน้ำผึ้งที่ไหลผ่านท่อโดยแรงโน้มถ่วง

เพื่อกำหนดระยะเวลาในการบรรจุน้ำผึ้งแต่ละชนิด จึงจำเป็นต้องทราบอัตราการไหลของน้ำผึ้งที่ไหลผ่านท่อโดยแรงโน้มถ่วง ซึ่งขึ้นกับความถ่วงจำเพาะของน้ำผึ้งแต่ละชนิด สามารถคำนวณหาได้ตามขั้นตอนดังนี้[3]

1) หาค่าความหนืดของน้ำผึ้ง (μ) จากสมการ Andrade คือ

$$\mu = Ae^{(B/T)} \quad (1)$$

โดยที่ A และ B คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำผึ้ง และ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

2) คำนวณ Reynolds number (Re)

$$Re = DV\rho/\mu \quad (2)$$

โดยที่ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m) V คือความเร็วของน้ำผึ้ง (m/s) ρ คือความหนาแน่นของน้ำผึ้ง (kg/m³)

3) คำนวณความเร็วของน้ำผึ้ง (*V*)

$$V = \sqrt{2gh/Re} \quad (3)$$

โดยที่ g คือความเร่งโน้มถ่วง (m/s²) h คือระยะความสูงของน้ำผึ้ง (m)

4) คำนวณอัตราการไหลของน้ำผึ้ง (*Q*)

$$Q = AV \quad (4)$$

โดยที่ *V* คือความเร็วของน้ำผึ้ง (m/s) *A* คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ (m²)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นักสิทธิ์ ปัญโญใหญ่[4] ได้วิเคราะห์ความหนืดและพฤติกรรมการไหลของอาหารแปรรูปไทย โดยจำแนกพฤติกรรมการไหลด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงความหนืด โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ อัตราเฉือน และอุณหภูมิ ผลการศึกษาพบว่า อัตราเฉือนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่มีการไหลแบบนอนนิวโตเนียนมีค่าลดลง แต่ไม่มีผลต่อความหนืดในผลิตภัณฑ์ที่มีการไหลแบบนิวโตเนียน(ซึ่งน้ำผึ้งอยู่ในกลุ่มนี้) และการเพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวอย่างที่มีพฤติกรรมการไหลทั้งสองแบบทำให้ความหนืดลดลง และโครงสร้างอาหารเกิดการไหลเมื่อมีพลังงานกระตุ้นสูงพอ

พัชร เมธาจิตติพันธ์, อรดี พฤติศรัณยนนท์, ยุทธนา จงเจริญ, ณัท เนียมนาค และ อนิรุทธิ์ นุ่นแก้ว[5] ได้แสดงให้การพัฒนาระบบ Internet of Things (IoT) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อ Wi-Fi และเซนเซอร์ เพื่อเก็บข้อมูลค่าสภาพแวดล้อมและสภาพการทำงาน ได้แก่ วัดแรงดันน้ำเข้าปั๊ม แรงดันน้ำออกจากปั๊ม กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ แรงสั่นสะเทือนของเครื่องปั๊ม ระยะเวลาทำงานตั้งแต่แรงดันน้ำตกจนกลับมาเท่าเดิม และอุณหภูมิตัวเครื่องบริเวณมอเตอร์ และใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ วิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บใน Google Sheets เพื่อวิเคราะห์ความเสื่อมสภาพ และพยากรณ์แนวโน้มความเสียหายของปั๊มน้ำที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อเตรียมวางแผนซ่อมบำรุงให้ถูกจุดในเวลาที่เหมาะสมก่อนที่ปั๊มน้ำจะเกิดความเสียหาย

3. วิธีการวิจัย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่การเก็บรวบรวมข้อมูลขั้นตอนการผลิต การวิเคราะห์ปัญหาและการกำหนดแนวทางในการนำ IOT ไปประยุกต์ใช้ในการกระบวนการผลิตน้ำผึ้ง การออกแบบการทำงานของระบบ อุปกรณ์และเซนเซอร์ การส่งข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ต การวิเคราะห์และการแสดงผล โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลขั้นตอนการผลิต

กระบวนการผลิตน้ำผึ้งแปรรูป ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ดังนี้

3.1.1 การเพาะพันธุ์ผึ้ง

คัดเลือกสายพันธุ์ผึ้งที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและดอกไม้ในพื้นที่ จัดเตรียมรังผึ้งและสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโต

3.1.2 การเลี้ยงผึ้ง

จัดเตรียมอาหารเสริมในกรณีที่ดอกไม้ไม่เพียงพอ และตรวจสอบสุขภาพของผึ้งและป้องกันโรคระบาด

3.1.3 การปาดรวงผึ้ง

เก็บรวงผึ้งที่มีน้ำผึ้งเต็มรังอย่างระมัดระวัง และใช้เครื่องมือเฉพาะเพื่อตัดฝารวงผึ้งออกโดยไม่ทำลายโครงสร้าง

3.1.4 การสลัดน้ำผึ้ง

ใช้เครื่องปั่นแรงเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำผึ้งออกจากรวง

3.1.5 การกรองน้ำผึ้ง

กรองน้ำผึ้งผ่านตะแกรงละเอียดเพื่อลดสิ่งสกปรก เช่น ขี้ผึ้งและเศษผึ้ง ทำการกรองซ้ำเพื่อให้ได้น้ำผึ้งที่ใสสะอาด

3.1.6 การแปรรูป

ปรับความชื้นและอุณหภูมิเพื่อคงคุณภาพและรสชาติ ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีให้ได้มาตรฐาน

3.1.7 การบรรจุน้ำผึ้ง

ทำการบรรจุน้ำผึ้งลงขวดหรือบรรจุภัณฑ์โดยใช้คนงาน

3.1.8 การจัดเก็บ

จัดเก็บขวดน้ำผึ้งในคลังสินค้าที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

3.2 การวิเคราะห์ปัญหา

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตน้ำผึ้ง พบมีปัญหาคุณภาพและการสูญเสียน้ำผึ้งในขั้นตอนการบรรจุน้ำผึ้งลงขวดหรือบรรจุภัณฑ์ ซึ่งใช้คนงานควบคุมการเปิด-ปิดวาวล์สวิตซ์ไฟฟ้า โดยคนงานต้องดูความสูงของน้ำผึ้งในขวดและคาดคะเนเองว่าหลังจากกดปิดสวิตซ์เพื่อหยุดแล้วปริมาณน้ำผึ้งที่ค้างอยู่ในท่อซึ่งจะไหลมาเติม จะต้องมีปริมาณตามที่กำหนด และน้ำผึ้งต้องไม่ล้นขวด ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญและความตั้งใจของคนงาน ยากในการทำงานเนื่องจากน้ำผึ้งมีความหนืดสูงและระดับความสูงของน้ำผึ้งในถังในแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความสูญเสียจากการที่น้ำผึ้งล้นขวด และปริมาณการบรรจุที่ไม่สม่ำเสมอ และในปัจจุบันโรงงานยังไม่มีการจัดเก็บข้อมูลจำนวนน้ำผึ้งที่บรรจุและจัดเก็บในคลังสินค้า ทำให้ไม่ทราบสถานะคลังสินค้าที่ชัดเจน การนำ IoT ไปประยุกต์ใช้ เพื่อชั่งน้ำหนักน้ำผึ้งที่บรรจุ เมื่อได้น้ำหนักตามที่กำหนดก็จะสั่งการให้ปิดสวิตซ์เพื่อหยุดบรรจุอัตโนมัติ

3.3 แนวทางการประยุกต์ใช้ IOT ในกระบวนการผลิตน้ำผึ้ง

จากปัญหาในข้อ 3.2 ผู้วิจัยกำหนดแนวทางในการนำ IoT ไปประยุกต์ใช้ ในขั้นตอนการบรรจุน้ำผึ้ง เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากน้ำผึ้งล้นขวด และปริมาณการบรรจุที่ไม่สม่ำเสมอเท่ากันทุกขวด โดย

นำ sensor วัดค่าน้ำหนักมาใช้ตรวจเช็คระดับของน้ำผึ้งที่บรรจุในขวด เพื่อแจ้งเตือนก่อนที่น้ำผึ้งจะล้นขวด

เริ่มต้นจากคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดวาล์วเพื่อบรรจุน้ำผึ้ง ซึ่งได้จากอัตราการไหลของน้ำผึ้ง ที่ไหลผ่านท่อโดยแรงโน้มถ่วง (9.81 m/s²) จากนั้นนำเวลาเปิด-ปิดวาล์วที่คำนวณได้มาใช้ตั้งค่าเวลาเปิด-ปิดวาล์วเริ่มต้น สำหรับบรรจุน้ำหนักที่ต้องการ ทดลองบรรจุโดยรอจนวาล์วปิด แล้วอ่านค่าน้ำหนักสุดท้าย จากนั้นทดลองปรับเวลาเปิด-ปิดวาล์ว 2-3 ครั้ง เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักบรรจุที่ต้องการ ซึ่งในงานวิจัยนี้ตั้งค่าน้ำหนักเป้าหมายเท่ากับ 780 กรัม จากนั้นทำทดลองเพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักที่บรรจุก่อนและหลังการนำ IOT มาใช้

เนื่องจากน้ำผึ้งมีพฤติกรรมการไหลแบบนอนนิวโตเนียนและมีความหนืดค่อนข้างสูง ประมาณ 9.32 $\pm$ 0.2 Pa.s ที่อุณหภูมิ 25°C [6] อัตราการไหลของน้ำผึ้ง ขึ้นอยู่กับระดับความสูงของน้ำผึ้งในถัง ขนาดของท่อและความหนืดของน้ำผึ้งแต่ละชนิด ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้น้ำผึ้งดอกลำไย กำหนดระดับความสูงของน้ำผึ้งในถัง เท่ากับ 1 เมตร โดยคำนวณอัตราการไหลของน้ำผึ้งผ่านท่อกลม รัศมี 0.5 เซนติเมตร (0.005 เมตร) โดยแรงโน้มถ่วง โดยมีขั้นตอนดังนี้

- คำนวณหาค่าความหนืดของน้ำผึ้ง(μ) ณ อุณหภูมิของน้ำผึ้ง 25 องศาเซลเซียส (298 K) จากสมการ (1) ซึ่งจากงานวิจัย [5] น้ำผึ้งดอกลำไย มีค่าคงที่ A = 0.0017 Pa.s และ B = 12,400 K :

$$\mu = Ae^{B/T} = (0.0017)e^{(12,400/298)}$$
= 9.32 Pa.S

- คำนวณ Reynolds number โดยใช้สมการ (2) :

$$Re = (0.01 * V * 1422.5)/1.47 = 1.53V$$

โดย ρ = 1442.5 kg/m³ (คำนวณจากความถ่วงจำเพาะของน้ำผึ้ง ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส = 1.4225)

- คำนวณความเร็วของน้ำผึ้งโดยใช้สมการ (3) โดยนำค่า Reynolds number จากสมการ(2) มาแทนค่าในสมการ (3)

$$V = \sqrt{2gh/Re} = \sqrt{2(9.81)(1)/967.4V}$$
V = 2.34 m/s

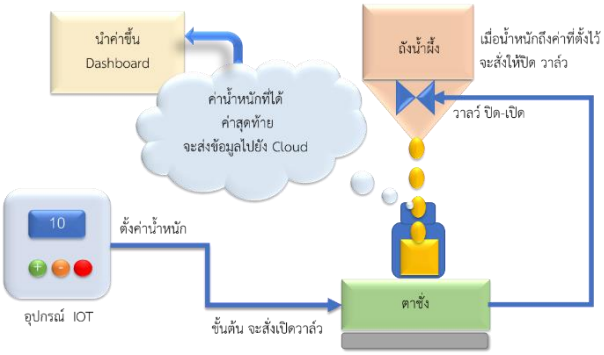
- คำนวณอัตราการไหล โดยใช้สมการ (4)

$$Q = AV = \pi r^2 V = (\pi)(0.005)^2(0.447)$$
= 0.00018369 m³/s = 183.93 ml/s

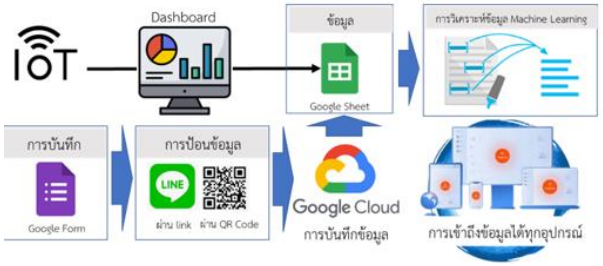
3.4 การออกแบบการทำงานของระบบ อุปกรณ์และเซนเซอร์

ระบบการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนัก IOT มีองค์ประกอบแสดงดังรูปที่ 1 โดยเครื่องชั่งน้ำหนัก IOT สามารถกำหนดค่าปริมาตรที่ต้องการบรรจุลงขวดได้ โดยแปลงปริมาตรของน้ำผึ้งแต่ละชนิดที่ต้องการบรรจุเป็นน้ำหนัก ระบบจะทำการชั่งน้ำหนักน้ำผึ้งที่บรรจุแบบ Real Time เมื่อบรรจุได้ตามที่กำหนด ระบบจะส่งสัญญาณให้ปิดสวิตช์หัวจ่ายน้ำผึ้งอัตโนมัติ และบันทึกค่าน้ำหนักสุดท้ายที่บรรจุ ส่งไปเก็บบน Cloud และสามารถแสดงผลผ่านอุปกรณ์ได้ทั้ง โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ และแท็บเล็ต

สำหรับระบบการจัดเก็บและสื่อสารข้อมูล แสดงดังรูปที่ 2 โดย IOT จะส่งค่าน้ำหนักที่บรรจุไปแสดงผลบน Dashboard ทันที และถูกจัดเก็บใน google Sheet เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลระดับความสูงของน้ำผึ้งในถัง ซึ่งบันทึกใน Google from ผ่านทางไลน์และส่งไปบันทึกบน Cloud ใน Google Sheet เพื่อให้สะดวกในการนำไปใช้ต่อไป



รูปที่ 1 การทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนัก IOT



รูปที่ 2 ระบบการจัดเก็บและสื่อสารข้อมูล

4. ผลการดำเนินงาน

ก่อนการปรับปรุงได้ดำเนินการเก็บข้อมูลน้ำหนักน้ำผึ้งที่บรรจุโดยใช้วิธีการทำงานแบบเดิม จำนวน 20 ขวด ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1 และภายหลังจากการติดตั้งอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นกับถังบรรจุน้ำผึ้ง ทดสอบและทำการตั้งค่าน้ำหนักเสร็จเรียบร้อยแล้ว ได้ทำการทดลองบรรจุน้ำผึ้งตามวิธีการใหม่เพื่อยืนยันผล ซึ่งข้อมูลน้ำหนักน้ำผึ้งที่บรรจุ

หลังการปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 2 โดยผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำหนักที่บรรจุก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 3 และกราฟแสดงการกระจายของน้ำหนักบรรจุเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง แสดงดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 น้ำหนักบรรจุก่อนปรับปรุง (น้ำหนักเป้าหมาย 780 กรัม)

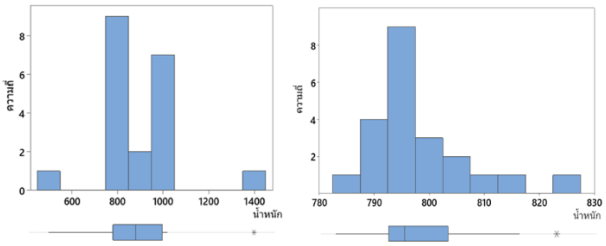
Date	Time	weight	weight Alarm
18/3/2024	12:07:56	1018.35	780
18/3/2024	12:09:10	780.26	780
18/3/2024	12:11:34	784.68	780
18/3/2024	12:15:29	1001.92	780
18/3/2024	12:16:39	783.51	780
18/3/2024	12:18:55	999.08	780
18/3/2024	12:20:01	972.11	780
18/3/2024	12:22:27	784.84	780
18/3/2024	12:26:39	923.92	780
18/3/2024	12:28:46	781.17	780
18/3/2024	12:30:21	1394.40	780
18/3/2024	12:32:19	994.91	780
18/3/2024	12:33:24	930.00	780
18/3/2024	12:35:18	996.43	780
18/3/2024	12:36:22	837.47	780
18/3/2024	12:42:38	780.01	780
18/3/2024	12:48:04	501.21	780
18/3/2024	12:51:46	987.21	780
18/3/2024	12:53:49	786.90	780
18/3/2024	12:55:57	782.69	780

ตารางที่ 2 น้ำหนักบรรจุหลังการปรับปรุง (น้ำหนักเป้าหมาย 780 กรัม)

Date	Time	weight	weight Alarm
24/3/2024	15:25:18	793.09	780
24/3/2024	15:27:36	792.75	780
24/3/2024	15:31:33	795.71	780
24/3/2024	15:33:32	794.67	780
24/3/2024	15:38:41	802.47	780
24/3/2024	15:45:09	804.75	780
24/3/2024	15:52:36	795.66	780
24/3/2024	15:53:57	790.23	780
24/3/2024	15:56:09	802.39	780
24/3/2024	15:57:46	822.83	780
24/3/2024	16:03:17	790.12	780
24/3/2024	16:08:39	794.38	780
24/3/2024	16:12:09	790.72	780
24/3/2024	16:14:08	793.89	780
24/3/2024	16:15:46	796.07	780
24/3/2024	16:18:22	805.95	780
24/3/2024	16:20:25	811.99	780
24/3/2024	16:22:05	816.07	780
24/3/2024	16:25:50	790.01	780
24/3/2024	16:27:54	782.62	780
24/3/2024	17:12:01	794.43	780
24/3/2024	17:15:36	801.21	780

ตารางที่ 3 สรุปปริมาณน้ำหนักที่บรรจุก่อนและหลังการปรับปรุง

สถานะ	น้ำหนักบรรจุ(กรัม)		
	เป้าหมาย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน
ก่อนปรับปรุง	780	891.05	175.04
ภายหลังการปรับปรุง	780	798.27	9.49



ก่อนปรับปรุง ภายหลังการปรับปรุง

รูปที่ 3 น้ำหนักบรรจุเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง

ผู้วิจัยได้ใช้วิธี F (F method) เพื่อทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันว่าความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุของน้ำผึ้งก่อนปรับปรุงสูงกว่าหลังปรับปรุงที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

โดย σ_1^2 = ความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุของน้ำผึ้งก่อนปรับปรุง

σ_2^2 = ความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุของน้ำผึ้งหลังปรับปรุง

การทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานหลัก H_0: $\sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$

สมมติฐานทางเลือก H_1: $\sigma_1^2 / \sigma_2^2 < 1$

ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Minitab 21

Method	Test Statistic	DF1	DF2	P-Value
F	0.00	21	19	0.000

จากข้อมูลสรุปในตารางที่ 3 และรูปที่ 3 พบว่าภายหลังจากนำเอาเทคโนโลยี IoT ไปประยุกต์ใช้ในการบรรจุน้ำผึ้ง คุณภาพการบรรจุดีขึ้น โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักน้ำผึ้งที่บรรจุ ได้มาตรฐานแม่นยำใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากขึ้น และจากการทดสอบสมมติฐาน ความแปรปรวนของน้ำหนักน้ำผึ้งที่บรรจุภายหลังการปรับปรุงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และในการบรรจุน้ำผึ้งรอบละ 300 กิโลกรัม (1 ถัง) โรงงานสามารถลดความสูญเสียน้ำผึ้งเนื่องจากน้ำผึ้งล้นขวดได้รอบละ17 กิโลกรัม (คิดเป็นมูลค่า 4,253 บาท) จากเดิมสูญเสียในการบรรจุรอบละ 20.1 กิโลกรัม คิดเป็น 6.67% ลดลงเหลือ 3.0 กิโลกรัม คิดเป็น 1.0% ผลิตปีละ 20 ถุง สามารถลดความสูญเสียน้ำผึ้งได้ปีละ 85,050 บาท ในช่วงเริ่มต้นแม้จะยังไม่สามารถควบคุมปริมาณเชิงละเอียดได้ แต่เมื่อมีข้อมูลในการวิเคราะห์เพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้การตั้งค่าน้ำหนักมีความเหมาะสมและใกล้เคียงกันมากขึ้น นำไปสู่การพัฒนามาตรฐานการบรรจุให้ดีขึ้น นอกจากนี้ระบบได้ออกแบบวิธีการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลค่า

น้ำหนักของน้ำผึ้งที่บรรจุ ให้จัดเก็บบน Cloud และแสดงผลผ่านอุปกรณ์ได้หลากหลายทั้งโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต ซึ่งสะดวกและรวดเร็วในการเข้าถึงและนำข้อมูลไปใช้งาน

5. สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ระบบการบรรจุน้ำผึ้งที่ได้รับการพัฒนา ทำให้คุณภาพการบรรจุมีความแม่นยำมากขึ้นเมื่อเทียบกับการบรรจุแบบเดิม แต่เนื่องจากอัตราในการบรรจุขึ้นกับหลายปัจจัย ดังนั้นควรนำข้อมูลการบรรจุน้ำผึ้งที่จัดเก็บมาวิเคราะห์และปรับการตั้งค่าน้ำหนักเป้าหมายในการบรรจุอย่างต่อเนื่อง เพื่อระบบการบรรจุมีคุณภาพและความแม่นยำสูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับข้อมูลและคอยให้ความช่วยเหลือ ในการเก็บข้อมูลเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Ganga, D. and Ramachandran, V., “IoT-based vibration analytics of electrical machines,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 6, pp. 4538-4549, 2018.

[2] Kirar, M. K., “IoT based remote monitoring, control, and protection of irrigation water pumping system,” Journal of Operation and Automation in Power Engineering, vol. 11, no. 1, pp. 69-75.

[3] ปรียาพร โกษา, “เอกสารประกอบการสอน ชลศาสตร์” 2555, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] นักสิทธิ์ ปัญโญใหญ่, “การวิเคราะห์ความหนืดและพฤติกรรมการไหลของอาหารแปรรูปไทย” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2566, หน้า 1609-1619.

[5] พัชร เมธาจิตติพันธ์, อรดี พฤติศรัณยนนท์, ยุทธนา จงเจริญ, ณัท เนียมนาค และ อนิรุทธิ์ นุ่นแก้ว, 2565. “ระบบการตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพการทำงานของปั๊มน้ำครัวเรือนด้วยเทคโนโลยี IoT” การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ประยุกต์และระบบสารสนเทศครั้งที่ 19, หน้า 276-283.

[6] สุริยา พันธ์โกศล และ คณิต กฤษณังกูร, “การทำนายความหนืดจลน์ของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่างๆ จากค่าสะปอนนิฟิเคชันและค่าไอโอดีน” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 39 ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน 2559, หน้า 295-309.

Deep Reinforcement Learning for Door Opening with an In-House Robotic Manipulator Featuring a Prismatic Joint

Artit Narasetthakul[1*], Jiraphan Inthiam[1]
[1] Department of Instrumentation and Electronics Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: s6401073810092@email.kmutnb.ac.th *, jiraphan.i@eng.kmutnb.ac.th

Abstract

Doors present a significant challenge for robotic manipulators operating in human-centric environments, requiring adaptive and precise interaction strategies. This study proposes a Deep Reinforcement Learning (DRL)-based framework for autonomous door opening using an in-house robotic manipulator equipped with a prismatic joint. The objective is to achieve robust door-opening performance without prior knowledge of door mechanism properties, ensuring adaptability across diverse configurations. The framework is trained using Proximal Policy Optimization (PPO) in NVIDIA Isaac Lab, with domain randomization techniques to enhance real-world transferability. The learned policy utilizes proprioceptive and exteroceptive sensory inputs to generate optimal control actions for stable and efficient door manipulation. The experimental evaluation demonstrated a 95.0% success rate in door-opening trials, successfully handling variations in door handle installation, hinge friction, and handle surface friction. These results highlight the potential of learning-based control in overcoming uncertainties indoor interactions. In future work, additional domain randomization parameters will be introduced to further generalize the policy. This includes exploring a wider range of door handle types and validating the policy in real-world deployments.

Keywords: Autonomous door opening, Domain randomization, Proximal policy optimization (PPO)

1. Introduction

Doors represent a fundamental obstacle in human-built environments, requiring robotic systems to perform complex manipulation tasks to interact with them. The challenge of robotic door opening involves multiple factors, such as handle grasping, applying appropriate force, adapting to different door mechanisms, and maintaining stability during operation. Conventional approaches rely on model-based motion planning, requiring precise knowledge of door dynamics and kinematics. However, these methods struggle to generalize across diverse door designs, particularly when encountering previously unseen configurations [1]. In contrast, Deep Reinforcement Learning (DRL) enables robots to learn adaptive manipulation strategies without explicit door models, making it more suitable for unstructured environments [2]. Several DRL-based frameworks have been proposed to enhance the adaptability of robotic manipulators for door-opening tasks. These frameworks utilize domain randomization to train reinforcement learning agents capable of generalizing across multiple door-opening scenarios [3]. While previous studies have explored the effectiveness of DRL for door-opening tasks using robotic manipulators with revolute joints [4, 5], limited research has examined the performance of robotic manipulators equipped with prismatic joints in such tasks.

This study introduces a reinforcement learning-based control policy for door opening using an in-house robotic manipulator with a prismatic joint. The objective is to evaluate whether a prismatic joint enhances the adaptability and efficiency of the door-opening process compared to conventional revolute-joint manipulators. The training and evaluation are conducted in Nvidia Isaac Lab [6], a physics-based simulation environment that allows controlled experimentation across various door-opening scenarios. Our framework aims to determine whether the inclusion of a prismatic joint improves door-opening performance.

2. Background

2.1 Manipulator Robot Model

The robot used in this study is our rescue robot [7], developed for the RoboCupRescue 2024 competition. It is equipped with an in-house 7-DOF manipulator (RRRPRRR), as shown in Fig. 1, designed to operate in complex rescue scenarios and challenging environments. The configuration of the manipulator is detailed in Table 1.

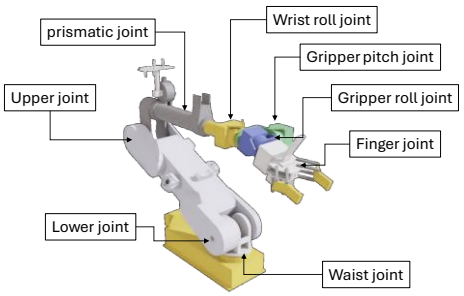


Figure 1 The iRAP manipulator joint configuration

Table 1 Manipulator Configuration

List of joints	Min	Max	Unit
Waist	-1.75	1.75	rad
Lower	0.00	2.97	rad
Upper	0.00	2.97	rad
Prismatic	0.00	0.15	m
Wrist Roll	-1.52	1.52	rad
Gripper Picth	-1.75	1.75	rad
Gripper Roll	-1.52	1.52	rad
Finger	0.00	1.00	rad

2.2 Reinforcement Learning (RL)

Reinforcement Learning (RL) is a decision-making framework where an agent interacts with an environment to maximize cumulative rewards. It is commonly modeled as a Markov Decision Process (MDP), where the agent refines its policy (π^*) based on observed states, actions, and rewards. This study employs Proximal Policy Optimization (PPO) [8], an on-policy algorithm well-suited for continuous control tasks due to its stability and learning efficiency. PPO has demonstrated strong performance in robotic door-opening tasks [3], [9], making it a suitable choice for this research.

3. Learning Door Opening Controller

This section presents the key components required to develop a reinforcement learning policy for the door-opening task.

3.1 System Overview

This paper presents a door-opening controller that enables a manipulator to learn and execute door-opening actions autonomously. The controller receives proprioceptive inputs, including joint positions, velocities, and previous joint position commands, along with exteroceptive inputs such as end-effector

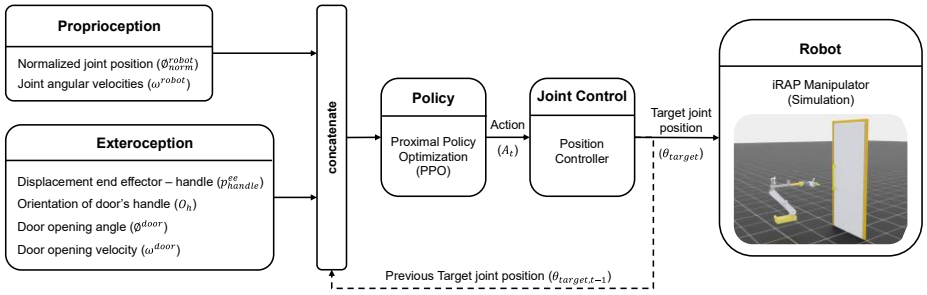


Figure 2 The proposed door opening controller for the manipulator diagram

displacement, handle orientation, and door opening angle and velocity. The trained policy computes actions for all 8 joints, which are processed by a joint controller to generate joint position commands. This approach allows the model to adaptively control the manipulator for effective door opening. The controller's structure is shown in Fig. 2.

3.2 Action Space

The action for the manipulator was designed for direct position control of each joint. To avoid excessive movements, the action determined the next joint angle target for each joint by adding a scaled action value to the current joint angle. The magnitude of this adjustment was constrained to a maximum of 0.2 rad/s through action scaling. The calculation for the target joint angle was as follows:

$$\theta_{target,i} = clip(\theta_i + sa_i, \theta_{i,min}, \theta_{i,max}) \quad (1)$$

Where a_i is the action, θ_i is the current joint angle for joint i, and s is the action scale factor. To ensure valid joint configurations, the result is clipped within the operating range of each joint. This approach is consistently applied during both training and evaluation.

3.3 Observation Space

Observation space can be obtained from sensors when applied to a real robot, while in simulation environments, it is retrieved from robot models. The observation includes data such as normalized joint angle (θ_{norm}), joint angular velocities (ω^{robot}), the displacement between the end-effector and the door handle (p_{handle}^{ee}), the door opening angle (φ), the door opening velocity (ω^{door}), and the previous target angle command $(\theta_{target,t-1})$, which can be defined as:

$$O_t = [\theta_{norm}\ \omega^{robot}\ p_{handle}^{ee}\ \varphi\ \omega^{door}\ \theta_{target,t-1}]^T \quad (2)$$

In real-world implementations, robot-related information, such as normalized joint positions, joint angular velocities, and the previous target angle command, can be retrieved from sensors on the robot. Meanwhile, door-related information, including the displacement between the end-effector and the door handle, the door opening angle, and the door opening velocity, can be obtained using exteroceptive sensors, such as an RGB-D camera with an AR marker, for accurate measurement and feedback.

3.4 Reward Function

The reward function consists of multiple components: the door opening reward (r_o), which encourages reaching the target open-door angle, the handle approach reward (r_h) encourages effective engagement with the handle, the transition reward (r_t), which incentivizes positioning the end-effector behind the door panel to prepare for the next motion, and the action penalty (r_a) which discourages excessive joint movements. The reward function is formulated as:

$$R = 10r_o - 0.05r_a + \begin{cases} r_h \\ \overline{r_h} + r_t \end{cases} \begin{matrix} \varphi < 0.349\ rad \\ otherwise \end{matrix} \quad (3)$$

Where φ represents the door opening angle. When the door has opened sufficiently $(\varphi < 0.349\ rad)$, the handle approach reward (r_h) reaches its maximum value $(\overline{r_h})$ since further interaction with the handle is unnecessary. The transition reward (r_t) is applied only after the door has reached this threshold.

The handle approach reward is composed of the following components:

$$r_h = r_d + r_{rot} + 3r_g \quad (4)$$

Each individual reward term in R is defined as follows:

Distance Reward – This reward minimizes the Euclidean distance between the end-effector grasp point (p_{ee}^{w}) and the handle grasp point (p_{handle}^{w}), given by

$$r_d = \exp\left(-\|p_{ee}^{w} - p_{handle}^{w}\|_2\right) \quad (5)$$

Desired Grasp Orientation Reward – This reward encourages the end-effector to align with the desired grasp orientation for effective handle grasping:

$$r_{rot} = \frac{1}{2}(sign(d_1){d_1}^2 + sign(d_2){d_2}^2) \quad (6)$$

Where d_1 is the dot product between the forward axis of the end-effector and the inward axis of the handle, while d_2 is the dot product between the desired grasp orientation of the end-effector and that of the handle. This reward ensures that the gripper aligns correctly with the handle to facilitate a stable grasp.

Grasp Reward – This reward encourages the gripper's fingers to properly grasp the handle by increasing the gripper finger joint angle θ_{finger} towards its maximum closing angle θ_{finger}^{max}.

$$r_g = \begin{cases} 1g(h)\left(1 - \frac{(\theta_{finger}^{max} - \theta_{finger})}{\theta_{finger}^{max}}\right) & \|p_{ee}^{w} - p_{handle}^{w}\|_2 \le 0.08 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (7)$$

Where $1A(x)$ is an indicator function that returns 1 if $x \epsilon A$ and 0 otherwise. The grasp zone g is defined as the region between the gripper fingers. The reward is active only when the end-effector grasp point (p_{ee}^{w}) is within 0.08 m of the handle grasp point (p_{handle}^{w}).

Door Opening Reward – This reward encourages opening the door to the desired target angle $(\bar{\varphi})$

$$r_o = 1 - \frac{|\varphi - \bar{\varphi}|}{\bar{\varphi}} \quad (8)$$

Where φ represents the door opening angle. For training, the target maximum opening angle is set to 1.4 rad.

Transition Reward – The transition reward encourages the end-effector to move behind the door panel in preparation for the next motion. Given predefined zones Z_A and Z_B relative to the door panel (as shown in Fig. 3), the transition reward is computed as:

$$r_t = \begin{cases} 1 & p_{ee}^{w} \in Z_A \\ 2 & p_{ee}^{w} \in Z_B \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (9)$$

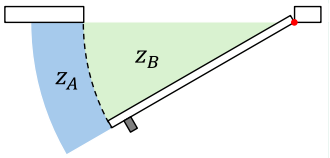


Figure 3 The transition reward encourages the robot to move its end-effector behind the door panel. It receives r_{Z_A} in Z_A and $r_{Z_A} + r_{Z_B}$ in Z_B

Action Penalty – To discourage excessive joint movements, an action penalty is applied, formulated as:

$$r_a = \sum_{i=1}^{n} (a_i)^2 \quad (10)$$

3.5 Environment Setup

The door model in this research is a standard commercial door with a width of 0.8 meters and a height of 2 meters. It is a right-hand swing door that can only be opened by pulling. The door handle uses the Hafele model 903.00.070 as the reference model, and two installation configurations are considered: vertical and horizontal. In both cases, the handle is mounted at a height of 1 meter above the floor. The initial position of the robot is set 1 m. away from the door and offset 0.4 m. to the left from the center of the door panel as shown in Fig. 4. To enhance reliability, the training environment applies domain randomization (Table 3) to improve adaptability across different conditions.

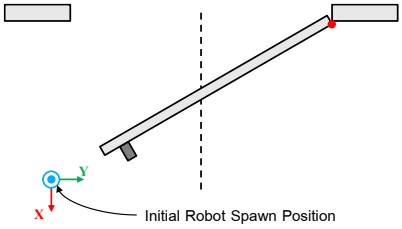


Figure 4 Initial robot position relative to the door before randomization.

3.6 Training Setup

NVIDIA Isaac Lab served as the primary simulation framework for both training and evaluation. During training, 4,096 robots were simultaneously trained on a single NVIDIA GeForce RTX 4090. The training algorithm uses Proximal Policy Optimization (PPO) from the RSL-RL Library [10], with hyperparameters and neural network configurations detailed in Table 2. To further stabilize the robot's performance, noise is introduced into the training dynamics,

with specific parameters provided in Table 4. [10] as the chosen algorithm for policy development.

Table 2 Hyperparameters for PPO

Parameter	Value
Rollouts	16
Mini-Batches size	8,192
Number of epoch	8
Learning Rate	5 x 10^{-4}
PPO Clipping parameter	0.2
Entropy Coefficient	0.01
Discount Factor, γ	0.99
GAE Lambda	0.95
Max Grad Norm	1.0
Number of hidden layer (all networks)	3
Number of hidden units per layer	[256, 128, 64]

Table 3 List of Domain Randomization

Parameters	Range	Unit
Door's Hinge Friction	Uniform [0.0, 0.5]	-
Door's Handle Surface Friction	Uniform [0.2, 0.6]	-
Robot Spawn Position	x-axis: Uniform [-0.2, 0.2] y-axis: Uniform [-0.3, 0.0] z-axis: Uniform [0.0, 0.1]	m
Robot Spawn Orientation	yaw: Uniform [-45, 45]	deg

Table 4 Noise Parameters

Parameters	Range	Unit
Robot Joint Angle Noise	Uniform [0.0, 0.02]	rad
Robot Joint Velocity Noise	Uniform [0.0, 0.01]	rad/s
Handle Grasp Position Noise	Uniform [0.0, 0.02]	m
Door's Hinge Angle Noise	Uniform [0.0, 0.02]	rad
Door's Hinge Velocity Noise	Uniform [0.0, 0.01]	rad/s

3.7 Benchmark Metrics

A successful attempt requires the robot to open the door to at least 0.52 radians (30°) within 12 seconds. This threshold is based on the robot's 500 mm width, necessitating a minimum opening angle for an 800 mm wide door panel. For a given attempt i, is determined as:

$$s_i = \begin{cases} 1 & if\ \varphi > 0.52\ rad\ and\ t < 12s \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (11)$$

From this, we derive two evaluation metrics. The average success rate of opening a door (r_{AS}), and the average time to open a door (r_{AT}). These metrics are evaluated over 100 attempts and are defined as follows:

$$r_{AS} = \frac{1}{100}\sum_{i=1}^{n} s_i \qquad r_{AT} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i \quad (12)$$

Where t_i is the time to complete the successful attempts, n is the number of successful attempts.

4. Experimental

The trained policy was evaluated in a simulated environment using NVIDIA Isaac Lab, running at a frequency of 50 Hz for both training and evaluation. Two manipulator configurations were tested: one with a prismatic joint and another with only revolute joints, where the prismatic joint was fully extended to its maximum operating range. Both manipulator configurations were assessed on doors with two different handle installation orientations (vertical and horizontal) to compare their performance.

Table 5 presents a trade-off between success rate and opening time for two manipulator configurations: one with a prismatic joint and one with only revolute joints. The prismatic joint configuration achieved higher success rates (94% for vertical and 95% for horizontal handles) compared to the revolute-only setup (0.91 and 0.87, respectively). However, this came at the cost of slightly longer opening times, with the prismatic joint taking 6.41 seconds for vertical and 7.67 seconds for horizontal handles, while the revolute-only manipulator completed the tasks in 6.26 and 7.45 seconds. These results indicate that while the prismatic joint enhances reliability, it introduces a trade-off in efficiency. Fig. 5 shows the behavior of the robot in each case.

We conducted additional experiments to assess the impact of domain randomization on policy transferability. Table 6 compares policies trained with and without domain randomization in a vertical door handle scenario using a prismatic joint manipulator. The fixed-environment agent achieved 100% success but dropped to 8% in a randomized setting, while the domain-randomized agent maintained high success across both, demonstrating better generalization. However, the policy struggled with unseen variations like different handle types, highlighting the need for improved domain randomization to enhance real-world adaptability.

Table 5 Performance Comparison of Manipulator Configurations with and Without a Prismatic Joint

Manipulator Configurations	Pulling Handle installation Type			
	Vertical		Horizontal	
	r_{AS}	r_{AT}	r_{AS}	r_{AT}
With Prismatic Joint	**0.94**	6.41	**0.95**	7.67
Without Prismatic Joint	0.91	6.26	0.87	7.45

Table 6 Impact of Domain Randomization on Policy Transferability

Test Environment	Train Environment			
	Without Domain randomize		With Domain Randomize	
	r_{AS}	r_{AT}	r_{AS}	r_{AT}
Fix env.	1.00	5.76	1.00	7.26
Randomized env.	0.08	6.47	0.97	7.67

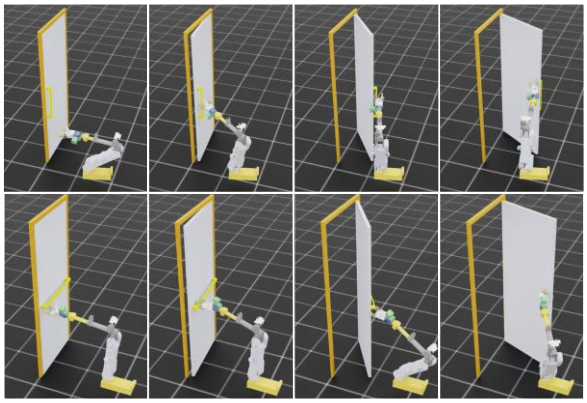


Figure 5 Behavior of successful policies in Task 1 (vertical), and Task 2 (horizontal)

5. Conclusion

This paper presented a reinforcement learning-based control policy for a manipulator to open a pull door using the PPO algorithm. The trained policy achieved success rates of 94% and 95% for vertical and horizontal handles, demonstrating adaptability to varying door conditions. Domain randomization enhanced generalization, ensuring consistent performance across different environments. In future work, additional domain randomization parameters will be introduced to further generalize the policy. This includes exploring a wider range of door handle types and validating the policy in real-world deployments.

6. Acknowledgments

I express my gratitude to my advisor and everyone who contributed to this research, offering invaluable guidance, steadfast support, and mentorship throughout the process. I am especially grateful to the researchers and members of the Invigorating Robot Activity Project (iRAP), the robotics club at the Faculty of Engineering, KMUTNB. Their technical expertise and extensive experience have been crucial in the success of this project.

References

[1] Y. Karayiannidis, C. Smith, F. E. Viña, P. Ogren, and D. Kragic, "'Open sesame!' adaptive force/velocity control for opening unknown doors," in *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Oct. 2012, pp. 4040–4047. doi: 10.1109/IROS.2012.6385835.

[2] "(PDF) Deep reinforcement learning for robotic manipulation with asynchronous off-policy updates," in *ResearchGate*, doi: 10.1109/ICRA.2017.7989385.

[3] Y. Urakami, A. Hodgkinson, C. Carlin, R. Leu, L. Rigazio, and P. Abbeel, "DoorGym: A Scalable Door Opening Environment And Baseline Agent," May 24, 2022, *arXiv*: arXiv:1908.01887. doi: 10.48550/arXiv.1908.01887.

[4] Y. Wang, L. Wang, and Y. Zhao, "Research on Door Opening Operation of Mobile Robotic Arm Based on Reinforcement Learning," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 10, Art. no. 10, Jan. 2022, doi: 10.3390/app12105204.

[5] B. Nemec, L. Žlajpah, and A. Ude, "Door opening by joining reinforcement learning and intelligent control," in *2017 18th International Conference on Advanced Robotics (ICAR)*, Jul. 2017, pp. 222–228. doi: 10.1109/ICAR.2017.8023522.

[6] M. Mittal *et al.*, "Orbit: A Unified Simulation Framework for Interactive Robot Learning Environments," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 8, no. 6, pp. 3740–3747, Jun. 2023, doi: 10.1109/LRA.2023.3270034.

[7] "2023 – TDP – iRAP ROBOT – RoboCupRescue – Robot – TDP." Accessed: Feb. 15, 2025. [Online]. Available: https://tdp.robocup.org/tdp/2023-tdp-irap-robot-robocuprescue-robot/#

[8] J. Schulman, F. Wolski, P. Dhariwal, A. Radford, and O. Klimov, "Proximal Policy Optimization Algorithms," Aug. 28, 2017, *arXiv*: arXiv:1707.06347. doi: 10.48550/arXiv.1707.06347.

[9] Y. Chen *et al.*, "Towards Human-Level Bimanual Dexterous Manipulation with Reinforcement Learning".

[10] N. Rudin, D. Hoeller, P. Reist, and M. Hutter, "Learning to Walk in Minutes Using Massively Parallel Deep Reinforcement Learning," Aug. 19, 2022, *arXiv*: arXiv:2109.11978. doi: 10.48550/arXiv.2109.11978.

Application of Genetic Algorithm in Integration of 2-Stage Hybrid Flow Shop Scheduling and Multi-Vehicle Multi-Trip Vehicle Routing Decisions

Ceria Farela Mada Tantrika[1,2*], Krisanarach Nitisiri[1*], Kanchana Sethanan[1]
[1]Research Unit on System Modeling for Industry, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya
E-mail: krisni@kku.ac.th *

Abstract

The integration of production scheduling and vehicle routing (IPSVR) decisions is expected to enable optimal outcomes for all stakeholders by optimizing completion times and enhancing customer satisfaction. This research focuses on a 2-stage hybrid flow shop production system with sequence-independent setup times and a homogeneous fleet multi-vehicle, multi-trip routing problem. The objective functions considered include minimizing total completion times, total tardiness, and total travel time. A mixed-integer linear programming (MILP) model is formulated to optimize the integrated decision-making process. Given the NP-hard nature of the problem, a Genetic Algorithm (GA) is developed for solving medium- and large-scale problems. Numerical experiments are conducted using IBM ILOG CPLEX Optimization Studio for solving MILP and Google Colab for running the GA. Numerical experiments indicate that the number of orders significantly impacts the average runtimes needed to solve the problem, and the proposed mixed integer linear programming can solve problems of up to six orders in less than an hour. The developed GA is evaluated by comparing its results with those of MILP for small problems and with the Lower Bound Algorithm (LBA) results for medium- and large-scale problems. The developed GA is able to effectively solve the integration of production scheduling and vehicle routing decisions for small- and medium-scale problems, with an average percentage difference of 0.85% and 2.94%, respectively. However, it is less effective for large-scale problems, with an average percentage difference of 9.53%. It is recommended to improve the GA by modifying the strategy or combining it with other metaheuristic algorithms. For further improvement, we also suggest relaxing some assumptions, e.g., considering uncertain factors or studying multiple objectives and their trade-offs.

Keywords: Genetic algorithms, Two-stage hybrid flow shop, Integration of production scheduling and vehicle routing, Mixed integer linear programming, Multi-vehicle multi-trip VRP

1. Introduction

Scheduling integration in supply chains has been widely researched since the 2000s, both in 2-level supply chains [1, 2, 3] and 3-level supply chains [4, 5]. Integration between production scheduling and distribution is a particular case of scheduling integration in the supply chain [6]. The integration of scheduling in the supply chain is intended so that products can be delivered promptly and customer satisfaction can increase [6, 7, 8]. The main problem in integrating production scheduling with distribution is determining the allocation of machines and the sequence of orders within each machine so that a group of orders can be delivered to customers immediately without waiting for the entire order to be completed at the production stage. Even though there has been much research on the integration of production scheduling and distribution since the 2010s, it still can be explored for further study [9].

This study considered a 2-stage hybrid flow shop environment for the production stage, where all jobs follow the same production route, and each process is carried out by non-identical parallel machines. One of the reasons is that scheduling problems for more complex environments such as job shops (where each job has a different production route) can be transformed into flow shop problems to simplify them [10].

Most flow shop scheduling research considers setup time integrated into processing time. However, many other situations require setup time to be considered separately, especially scheduling involving multiple machines. This is important because a subsequent machine can be set up while the job is still being processed on the previous machine. Thus, it will reduce the job's flow and completion times [11, 12, 13].

For the distribution stage, homogeneous fleet multi-vehicle multi-trip are considered. Vehicle Routing Problems (VRP) with multi-vehicles can have a limited number of vehicles [6, 14, 15, 16] or an unlimited number of vehicles [17]. In multi-trip VRP, each vehicle can make more than one trip [6, 15, 16].

The previous study involving the integration of production scheduling and vehicle routing (IPSVR) decisions is summarized in Table 1. The main contributions of this study are as follows. Hybrid flow shop scheduling with sequence-independent setup time and multi-vehicle multi-trip vehicle routing are typical in practice and have been studied but rarely studied as a single integrated problem. Moreover, the proposed model facilitates different sequences in the production and delivery stages. Most researchers consider identical sequences for the production and delivery stages. A mixed integer linear programming model is proposed to solve the problem by considering completion time to minimize work-in-process, travel time to reduce fuel consumption, and tardiness to improve customer satisfaction. We also develop a genetic algorithm to solve medium- and large-scale problems that involve the integration of production scheduling and vehicle routing decisions.

Table 1 Previous study involving IPSVR

R	ME	S	ST	V	TV	T	VC
[6]	HFS	M	No	L	Hm	R	L
[17]	FS	M	SDST	U	Hm	1	L
[18]	FS	M	No	L	Hm	1	L
[19]	FS	M	No	1	N/A	R	L
[20]	FS	M	No	L	Hm	1	L
[21]	FS	M	No	L	Hm	1	L
[16]	FS	M	No	L	Ht	R	L
[22]	HFS	M	No	1	N/A	R	L
[23]	FS	M	No	L	Ht	1	L
[24]	FS	M	No	L	Ht	1	U
[25]	HFS	M	SDST	L	Ht	1	L
[26]	FS	M	No	1	N/A	R	L
[27]	FS	F	No	L	Hm	R	L
[15]	HFS	3	SDST	L	Ht	R	L
[14]	FS	M	No	L	Ht	1	L
[28]	FS	M	No	L	Ht	1	L
This	HFS	M	SIST	L	Hm	R	L

Note: R = reference; ME = machine environment; S = number of stages; ST = setup time; V = number of vehicles; TV = type of vehicles; T = number of trips; VC = vehicle capacity; HFS = hybrid flow shop; FS = flow shop; M = multi-stage; F = multi-factory; SDST = sequence-dependent setup time; SIST = sequence-independent setup time; L = limited; U = unlimited; Hm = homogeneous fleet; Ht = heterogeneous fleet; R = multi-trip

2. Problem Description and Modeling

This study considers an integrated production scheduling and vehicle routing decision considering hybrid flow shop production scheduling with sequence-independent setup times and homogeneous fleet multi-vehicle multi-trip vehicle routing optimization. The problem is formulated as a mixed integer linear programming (MILP) model to minimize the sum of total production completion time, total tardiness, and total travel time to decide the machine assignment, the orders' sequence at each machine, the

vehicle assignment, the trip routing, and the trips' sequence performed by a vehicle.

2.1 Problem Description

There are O customers; each customer has only one order, which must be processed and delivered to the customer before the promised due date. One order may contain several items to be processed and delivered. All orders are ready to be processed when time equals zero. The orders are considered jobs that must be scheduled at the production stage. The terms customer, order, and job are used interchangeably.

The production environment being considered is a hybrid flow shop consisting of 2 stages. Each stage is processed by non-identical parallel production machines MC. Each order consists of 2 operations with the same production routing. Therefore, the terms stage and operation are used interchangeably.

An order is processed in one machine at each stage, and no splitting is allowed. Since the machines are non-identical, each job's processing time is different at each machine at each stage. The processing time of each operation at each machine is known, with a sequence-independence setup time. An operation can begin after the setup is finished, the operation of the same job at the previous stage is finished, and the operation of the previous job at the same machine at the same stage is completed. Since each stage has multiple machines, the allocation of the machines needs to be done concurrently with the decisions of the sequence of the jobs at each machine. Once an operation starts at a machine, it proceeds without interruption. Each machine can process only one job at a time. Machines are assumed to be continuously available in good condition. Maintenance and machine failures are ignored.

Completed jobs are supposedly delivered to customer O. The company has a limited number of vehicles V. A vehicle performs a trip, and based on its capacities, it may accommodate more than one order, requiring the determination of the trip's route. The vehicles used are homogeneous, meaning they have identical maximum capacity VC. The total demand of customers visited by a trip must not exceed the vehicle's capacity. Each vehicle may perform more than one trip. If a vehicle travels on multiple trips, the departure time of the later trip should be after the finish time of the previous one.

Since each customer only has one order, each customer is visited once and only once. Each trip must start and finish at the plant. The departure time of a trip should be later than the production completion time of all orders delivered on that trip. Travel times between nodes are assumed to be fixed. Arrival time at a customer node is calculated by adding the departure and travel times of the previous node (plant or other customers). Service time for unloading and loading at the customer node is known. Thus, the difference in arrival and departure times of the customer node is according to the length of service time. The finish time of a trip is the vehicle's arrival time at the plant after visiting the last customer. Figure 1 illustrates the problem described.

Simultaneous decision-making for both demonstrates the integration of production scheduling and vehicle routing decisions. The objectives are to minimize the sum total completion time, total tardiness, and total travel time that may affects the number of work-in-process, customer satisfaction, and fuel consumption.

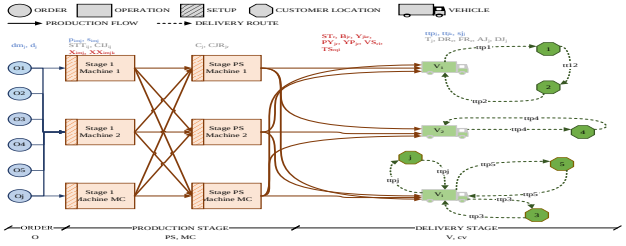


Figure 1 Problem illustration

2.2 Model Formulation

The model is built to solve production scheduling and vehicle routing decisions simultaneously. Before presenting the model, we introduce the indices, parameters, and variables used in this study.

Indices:

i : stage (1, …, PS)
m : machine (1, …, MC)
j, k : order or customer (1, …, O)
r, q : trip (1, …, O)
l : vehicle (1, …, V)

Parameters:

PS : the number of stages, $PS = 2$
MC : the number of machines at each stage
O : the number of orders (or customers)
V : the number of vehicles
G : big number
cv : the capacity of vehicles (units)
dm_j : the demand for order j (units)

p_{imj} : the processing time of the order j at stage i machine m (minutes)

s_{imj} : the setup time of the order j at stage i machine m (minutes)

d_j : the due date of the order j (minutes)

ttp_j : the travel time from the customer j to plant and vice versa (minutes)

tt_{jk} : the travel time from the customer j to customer $k, j \neq k$ (minutes)

sj_j : the service time when delivering the order to the customer j (minutes)

Decision Variables:

X_{imj} : 1 if order j is processed at the stage i on machine m; 0 otherwise

XX_{imjk} : 1 if order j is processed before the order k at stage i on machine m; 0 otherwise; $j \neq k$

ST_r : 1 if trip r is executed; 0 otherwise

B_{jr} : 1 if order j is delivered by trip r; 0 otherwise

Y_{jkr} : 1 if order j is delivered before the order k in trip r; 0 otherwise; $j \neq k$

PY_{jr} : 1 if customer j is the first visited customer of the trip r; 0 otherwise

YP_{jr} : 1 if customer j is the last visited customer of the trip r; 0 otherwise

VS_{rl} : 1 if trip r is executed using the vehicle l; 0 otherwise

TS_{rql} : 1 if trip r is executed before the trip q using vehicle l; 0 otherwise; $r \neq q$

Auxiliary Variables:

STT_{ij} : starting time of order j at stage i (minutes)

CIJ_{ij} : completion time of order j at stage i (minutes)

C_j : completion time of order j at the last stage (minutes)

CJR_{jr} : completion time of the job j carried on trip r (minutes)

T_j : tardiness of order j (minutes)

DR_r : departure time of trip r from the plant (minutes)

FR_r : finish time of trip r at the plant (minutes)

AJ_{jr} : arrival time of the trip r at the customer node to deliver the order j (minutes)

DJ_{jr} : departure time of trip r from the customer node after delivering the order j (minutes)

Objective Function:

$$\min Z = \sum_{j=1}^{O}(C_j + T_j) + \sum_{r=1}^{O}(FR_r - DR_r) \quad (1)$$

Subject to:

$$STT_{ij} \geq s_{imj} - (1 - X_{imj}) * G; \quad \forall i,m,j \quad (2)$$

$$CIJ_{ij} \geq STT_{ij} + p_{imj} - (1 - X_{imj}) * G; \quad \forall i,m,j \quad (3)$$

$$STT_{ij} \geq CIJ_{i-1,j}; \quad \forall i,j; i \geq 2 \quad (4)$$

$$G * (3 - X_{imj} - X_{imk} - XX_{imjk}) + STT_{ik} \geq CIJ_{ij} + s_{imk}; \quad \forall i,m,j,k; k \neq j \quad (5)$$

$$G * (2 - X_{imj} - X_{imk} + XX_{imjk}) + STT_{ij} \geq CIJ_{ik} + s_{imj}; \quad \forall i,m,j,k; k \neq j \quad (6)$$

$$XX_{imjk} \leq X_{imj}; \quad \forall i,m,j,k; k \neq j \quad (7)$$

$$XX_{imjk} \leq X_{imk}; \quad \forall i,m,j,k; k \neq j \quad (8)$$

$$XX_{imjk} + XX_{imkj} \leq 1; \quad \forall i,m,j,k; k \neq j \quad (9)$$

$$C_j \geq CIJ_{ij}; \quad \forall i,j \quad (10)$$

$$\sum_{m=1}^{MC} X_{imj} = 1; \quad \forall i,j \quad (11)$$

$$\sum_{r=1}^{O} B_{jr} = 1; \quad \forall j \quad (12)$$

$$PY_{jr} + \sum_{k=1;k\neq j}^{O} Y_{kjr} = B_{jr}; \quad \forall j,r \quad (13)$$

$$\sum_{k=1;k\neq j}^{O} Y_{jkr} + YP_{jr} = B_{jr}; \quad \forall j,r \quad (14)$$

$$PY_{jr} + \sum_{k=1;k\neq j}^{O} Y_{kjr} = \sum_{k=1;k\neq j}^{O} Y_{jkr} + YP_{jr}; \quad \forall j,r \quad (15)$$

$$DJ_{jr} \leq G * B_{jr}; \quad \forall j,r \quad (16)$$

$$AJ_{jr} \leq G * B_{jr}; \quad \forall j,r \quad (17)$$

$$ST_r \geq B_{jr}; \quad \forall j,r \quad (18)$$

$$G * ST_r \geq DJ_{jr}; \quad \forall j,r \quad (19)$$

$$G * ST_r \geq AJ_{jr}; \quad \forall j,r \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^{O} PY_{jr} = ST_r; \quad \forall r \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^{O} YP_{jr} = ST_r; \quad \forall r \quad (22)$$

$$G * ST_r \geq DR_r; \quad \forall r \quad (23)$$

$$G * ST_r \geq FR_r; \quad \forall r \quad (24)$$

$$G * (1 - B_{jr}) + G * (1 - B_{kr}) + G * (1 - Y_{jkr}) + AJ_{kr} \geq DJ_{jr} + tt_{jk}; \quad \forall j,k,r; k \neq j \quad (25)$$

$$(1 - B_{jr}) * G + (1 - B_{kr}) * G + Y_{jkr} * G + AJ_{jr} \geq DJ_{kr} + tt_{kj}; \quad \forall j,k,r; k \neq j \quad (26)$$

$$ST_r \geq Y_{jkr}; \quad \forall j,k,r; k \neq j \quad (27)$$

$$Y_{jkr} \leq B_{jr}; \quad \forall j,k,r; k \neq j \quad (28)$$

$$Y_{jkr} \leq B_{kr}; \quad \forall j,k,r; k \neq j \quad (29)$$

$$Y_{jkr} + Y_{kjr} \leq 1; \quad \forall j,k,r; k \neq j \quad (30)$$

$$AJ_{jr} \geq DR_r + ttP_j - G * (1 - PY_{jr}); \quad \forall j,r \quad (31)$$

$$DJ_{jr} \geq AJ_{jr} + sj_j - G * (1 - B_{jr}); \quad \forall j,r \quad (32)$$

$$FR_r \geq DJ_{jr} + ttP_j - G * (1 - YP_{jr}); \quad \forall j,r \quad (33)$$

$$CJR_{jr} \leq G * B_{jr}; \quad \forall j,r \quad (34)$$

$$DR_r \geq CJR_{jr}; \quad \forall j,r \quad (35)$$

$$CJR_{jr} \geq C_j - G * (1 - B_{jr}); \quad \forall j,r \quad (36)$$

$$\sum_{j=1}^{O} dm_j * B_{jr} \leq CV; \quad \forall r \quad (37)$$

$$T_j \geq DJ_{jr} - d_j; \quad \forall j,r \quad (38)$$

$$\sum_{l=1}^{V} VS_{rl} = ST_r; \quad \forall r \quad (39)$$

$$G * (1 - VS_{rl}) + G * (1 - VS_{ql}) + G * (1 - TS_{rql}) * G + DR_q \geq FR_r; \quad \forall r,q,l; q \neq r \quad (40)$$

$$G * (1 - VS_{rl}) + G * (1 - VS_{ql}) + G * TS_{rql} + DR_r \geq FR_q; \quad \forall r, q, l; q \neq r \quad (41)$$

$$ST_r \geq TS_{rql}; \quad \forall r, q, l; q \neq r \quad (42)$$

$$TS_{rql} \leq VS_{rl}; \quad \forall r, q, l; q \neq r \quad (43)$$

$$TS_{rql} \leq VS_{ql}; \quad \forall r, q, l; q \neq r \quad (44)$$

$$TS_{rql} + TS_{qrl} \leq 1; \quad \forall r, q, l; q \neq r \quad (45)$$

$$ST_r \geq VS_{rl}; \quad \forall r, l \quad (46)$$

$$X_{imj}, XX_{imjk}, ST_r, B_{jr}, Y_{jkr}, PY_{jr}, YP_{jr}, VS_{rl}, TS_{rql} \in \{0; 1\}; \quad \forall i, m, j, k, r, q, l, j \neq k, r \neq q \quad (47)$$

$$STT_{ij}, CIJ_{ij}, C_j, CJR_{jr}, T_j, DR_r, FR_r, AJ_{jr}, DJ_{jr} \geq 0; \quad \forall i, j, r \quad (48)$$

The mixed integer linear programming (MILP) is formulated as follows. The objective function (1) is to minimize the sum of the total completion time, total tardiness, and total travel time. Constraint (2) ensures that the order can be processed after the setup. Constraints (3)-(4) determine when to start processing an order. Constraints (5)-(9) are to choose which machine the order will be processed on and determine the order sequence to be processed on the machine. Constraint (10) is to determine the completion time of each job. Constraint (11) ensures that each order can only be processed on one machine at each stage. Constraint (12) ensures that each order is delivered by one and only one trip. Constraints (13)-(15) determine the sequence of the order to be delivered. Constraints (16)-(17) ensure that if the trip is not executed, it should not depart and arrive at any customer node. Constraints (18)-(20) ensure that if a trip delivers an order, it should arrive at and depart from the customer node. Constraints (21)-(22) ensure the trip should start from and finish at the plant. Constraints (23)-(24) ensure that if a trip is not executed, it should not depart from and finish at the plant. Constraints (25)-(30) determine the trip's route. Constraints (31)-(32) are to calculate the departure and arrival time of the trip at the customer node. Constraints (33)-(36) are to determine the trip's start and finish time and ensure that the trip's departure time is later than the production completion time of all orders delivered on that trip. Constraint (37) ensures that the total demand delivered by a trip must not exceed the vehicle's capacity. Constraint (38) is to compute the tardiness. Constraint (39) determines that each trip is performed by one and only one vehicle. Constraints (40)-(45) determine the trip sequence when executed using the same vehicle. Constraints (46) are to select the vehicle to perform the trip. Constraint (47) defines binary decision variables, and constraint (48) establishes non-negative variables.

3. Algorithm Description

3.1 Genetic Algorithm

3.1.1 Chromosome Encoding and Decoding

We propose two parts of chromosome. The first part shows the priority of the job for production scheduling. The second part is a binary showing the decision in the routing problems, whether to put an order in a trip or not after considering the vehicle's capacity. It causes the chromosome length to be twice the number of orders. For example, for the 6 orders case, the chromosome will look like Figure 2.

1	3	6	5	2	4	0	1	0	0	0	1

Figure 2 Example of chromosome

The chromosome decoding procedure converts code to the objective function, minimizing the sum of total completion time, tardiness, and travel time. In the production stage, the job with the highest priority will immediately be assigned to the first available machine and minimum completion time. Figure 2 depicts that order 1 has the highest priority and order 4 has the lowest priority. After all jobs are scheduled in the first stage, the priority will be updated based on the smallest completion time in the first stage. The same logic is used in the second stage so that the completion time of each order is obtained and the total completion time can be calculated. The completion time of the order is converted to the ready time in the delivery stage.

The delivery part is represented by a series of binary decisions for order 1 until the last order. After considering the vehicle's capacity, we can decide whether an order will be added to a trip or moved to another. Even though the vehicle capacity is sufficient to add an order, if its chromosome is 0, it will be included in the next trip. Conversely, if the remaining capacity is insufficient to add an order, the order will be included in the next trip even though its chromosome is 1. This logic is used until all orders are allocated to the trip. If a trip contains more than one order, the lowest travel time is calculated based on the permutation of all orders in one trip. Each trip is done with the first available vehicle. If all trips have been executed, the total travel time and total tardiness can be calculated. The objective function results from the sum of the total completion time, total travel time, and total tardiness. The example of the Gantt chart obtained is presented in Figure 3.



Figure 3 Integration scheduling Gantt-chart

3.1.2 Chromosome evaluation

Chromosomes are evaluated based on their fitness value. The fitness function used equals the objective function value resulting from chromosome decoding.

3.1.3 Parent selection

This study uses tournament selection for parent selection by determining two chromosomes with the best fitness values. This selection strategy is expected to accelerate the improvement of fitness values in the early stages.

3.1.4 Crossover

The crossover operator allows offspring to receive the parents' outstanding genes and obtain a better solution. Because the chromosome consists of two parts, the operators are also two. In the scheduling part, ordered crossover is used to maintain diversity and avoid duplication of elements on the chromosome. In contrast, single-point crossover is used in the vehicle allocation part because it does not require attention to the order and is easy to implement.

In ordered crossover, we determine two crossover points and then copy the segment between the two points from parent 1 to child 1 and parent 2 to child 2. The empty value in child 1 is taken from parent 2 and child 2 from parent 1 by ensuring that if the order already exists in the child, then it is skipped so that the final result still shows the priority order. In the single-point crossover, the steps are to randomly determine one point and do a swap afterward.

3.1.5 Mutation

Mutation is used to increase diversity and prevent getting stuck in local optima. This study utilizes swap mutation to maintain feasibility and prevent duplication of chromosome elements in the scheduling process. It is done by determining two points to be swapped. Bit flip mutation is used for the vehicle allocation part by determining one random point to be flipped.

The Pseudo-code for the GA in this study is presented in Algorithm 1.

```
Algorithm 1 Genetic Algorithm
BEGIN Genetic_Algorithm
    INITIALIZE population
    EVALUATE fitness of each individual in the population
    SET best_solution = None
    SET best_fitness = Infinity
    SET generations_without_improvement = 0
    SET generation = 1
    START timer
    WHILE elapsed_time < max_runtime_seconds
        CREATE empty list for new_population
        WHILE size of new_population < population_size
            SELECT parent1, parent2 using tournament selection
            PERFORM crossover to generate child1, child2
            APPLY mutation to child1 and child2
            IF child is not duplicated in new_population
                ADD child to new_population
            ELSE
                MUTATE child until it is unique
                ADD child1 to new_population
            END IF
        END WHILE
        EVALUATE fitness of each individual in new_population
        REPLACE population using elitism with new_population
        UPDATE fitness values
        GET current_best_fitness from fitness values
        IF current_best_fitness < best_fitness
            UPDATE best_fitness
            UPDATE best_solution to best individual
            RESET generations_without_improvement
        ELSE
            INCREMENT generations_without_improvement
        END IF
        IF generations_without_improvement >= max_gen
            BREAK
        END IF
        UPDATE elapsed_time
        INCREMENT generation
    END WHILE
    RETURN best_solution, best_fitness, elapsed_time, generation
END Genetic_Algorithm
```

3.2 Lower-Bound Algorithm

Lower-bound algorithm (LBA) is built for evaluating GA in solving medium- and large-scale problems. This algorithm tries to find the value that is close to the optimal value or the lower bound of the solution based on some ideas:

1. For production scheduling, the objective function is to minimize total completion time. For single-machine problems, the Shortest Processing Time (SPT) is proven effective, so we use this as the priority sequence. We consider 3 sequences based on the total setup time and processing time in stages one, two, and both.

2. We cannot use the random binary for the delivery stage to ensure the result is always the same. Therefore, we consider maximizing the vehicle's capacity usage.
3. The processing times, setup times, and due dates are loosened for relaxation reasons. We lose the processing and setup times by changing them and assuming they are identical using the smallest times. Also, we lose due dates by using the most extended due dates.

4. Result and Discussion

4.1 Parameter Settings

The parameter setting for the numerical experiment of the problems is shown in Table 2. The total number of problems solved in this study was 48 problems for each scale.

$$d_j = \frac{\sum_{m=1}^{MC}\sum_{k=1}^{O} s_{1,m,k}}{O} + \frac{\sum_{m=1}^{MC}\sum_{i=1}^{PS} p_{i,m,j}}{MC} + rand() * (O - 1) * \frac{\frac{\sum_{k=1}^{O}\frac{\sum_{m=1}^{MC}\sum_{i=2}^{PS} p_{i,m,k}}{MC}}{O}}{MC} + \frac{\sum_{k=1}^{O} ttp_k}{O} + \frac{rand() * \frac{\sum_{k=1}^{O}\sum_{k'=1,k'\neq k}^{O} tt_{k,k'}}{O}}{\frac{\sum_{k=1}^{O} dm_k}{CV}} \quad (49)$$

Table 2 Parameter settings

Parameter	Values			
Number of Stages	2			
Number of Machines	2, 3	10, 15	50, 75	
Number of Orders	4, 5, 6	20, 40, 60	100, 250, 400	
Number of Vehicles	1, 3	5, 15	40, 100	
Number of Demands	$dm_j = \sim U[25; 100]$			
Processing times	$p_{ij} = \sim U[3; 10] * dm_j$			
Setup times	$sj_{ij} = \sim U[1; 3] * dm_j$			
Capacity of Vehicles	154			
Travel Time	$ttp_j = \sim U[50; 150]$ $tt_{jk} = \sim U[50; 150]$			
Service time	$s_{ij} = \sim U[3; 5] * dm_j$			
Due Date	Equation (49)			
Replication	A	B	C	D

4.2 Results

The MILP model is solved with IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version: 22.1.1.0 and is run using the computer equipped with Intel(R) Core (TM) i7-8565U CPU and 16 GB memory. Based on the results of the numerical experiments, the model successfully shows decisions at the production stage, that is, the determination of the machine used to process each order at each stage and the order sequence processed in the same machine. In addition, at the delivery stage, the model shows decisions on determining the vehicle used for each trip, the order of trips using the same vehicle, the orders sent in one trip, and the route of each trip. The results also show that orders produced earlier are not necessarily shipped earlier. Orders delivered in one trip are ensured to have all been processed at the production stage. The order sequence during production is no longer considered when determining the route that produces the shortest travel time.

The problem under consideration is NP-hard, so only small-scale problems can be solved quickly. Since the number of orders greatly influences the number of constraints and the number of decision variables, the runtime increases with the increase in the number of orders, as shown in Figure 4.

A genetic algorithm is developed and evaluated to solve medium- and large-scale problems by comparing it with LBA. GA parameters are determined based on the results of Taguchi's experiments (as shown in Table 3).



Figure 4 Average runtime by number of orders

Table 3 GA parameters

Scale	Small	Medium	Large
Maximum generations without improvement	500	250	100
Population size	100	200	200
Crossover probability	0.85	0.9 - 0.8	
Mutation probability	0.15 - 0.05		

Small-scale problems are solved by MILP, LBA, and GA, and the results are summarized in Table 4. Medium- and large-scale problems are solved by LBA and GA, and the results are summarized in Tables 5 and 6. We compare the objective function value resulting from each method. We run 10 replications for GA for each instance and calculate its average. The percentage of

Delta (%Delta) is calculated using equation (50). The positive value shows that the base is better than the comparison method.

$$\%Delta = \frac{Z_{base} - Z_{comparison}}{Z_{base}} * 100\% \quad (50)$$

Table 4 Small-scale problems (MILP – LBA – GA)

No	MC	O	V	MILP	LBA	%Delta	GA	%Delta
1	2	4	1	8,899	8,145	-8.47%	8,938	0.441%
2	2	4	3	8,245	7,441	-9.75%	8,245	0.000%
3	3	4	1	8,325	8,006	-3.84%	8,455	1.556%
4	3	4	3	7,300	6,956	-4.70%	7,351	0.702%
5	2	5	1	12,030	10,744	-10.68%	12,153	1.022%
6	2	5	3	11,113	9,732	-12.43%	11,120	0.061%
7	3	5	1	10,735	10,149	-5.45%	10,856	1.130%
8	3	5	3	8,960	8,267	-7.73%	9,012	0.575%
9	2	6	1	14,054	12,452	-11.40%	14,225	1.221%
10	2	6	3	12,560	11,189	-10.92%	12,640	0.635%
11	3	6	1	12,399	11,282	-9.01%	12,722	2.599%
12	3	6	3	9,889	8,722	-11.81%	9,909	0.205%
Average						-8.85%		0.85%

Table 5 Medium-scale problems (LBA – GA)

No	Machines	Orders	Vehicles	LBA	GA	%Delta
1	10	20	5	25,882	26,167	1.10%
2	10	20	15	24,939	25,319	1.53%
3	15	20	5	26,845	26,026	-3.05%
4	15	20	15	23,477	23,048	-1.83%
5	10	40	5	87,263	88,755	1.71%
6	10	40	15	67,943	72,092	6.11%
7	15	40	5	61,735	62,524	1.28%
8	15	40	15	45,768	47,555	3.90%
9	10	60	5	142,753	150,549	5.46%
10	10	60	15	113,707	124,345	9.36%
11	15	60	5	135,481	139,462	2.94%
12	15	60	15	86,332	92,146	6.73%
Average						2.94%

Based on Table 4, the average %Delta of LBA is -8.85%, indicating the LBA is good enough to provide a lower-bound of the problem solution. Additionally, the average %Delta of GA is below 1%. Of the 48 instances, 21 can provide the same results as MILP. This shows that the developed GA is effective in solving small-scale problems. For medium- and large-scale problems, we compare the GA with LBA results.

According to Table 5, the average %Delta is 2.94%. However, there are some negative %Delta found, meaning the GA provides better results than LBA, and it is supposed not to happen. This is possible because of several weaknesses in our lower-bound algorithm. For example, the delivery stage that considers maximizing the occupied capacity may sacrifice shorter travel time due to additional orders in a trip, which also increases the chance of tardiness. It can be concluded that the developed LBA is inferior and needs to be improved.

The average %Delta in Table 6 is below 10%. This shows that the developed GA is acceptable for solving up to 400 orders in large-scale problems. At problems with 400 orders, the percentage of Delta approaches 20%. It can be concluded that the greater the number of orders, the higher the percentage of Delta and the lower the effectiveness of the developed GA will be.

Table 6 Large-scale problems (LBA – GA)

No	Machines	Orders	Vehicles	LBA	GA	%Delta
1	50	100	40	91,093	94,403	3.63%
2	50	100	100	91,093	94,403	3.63%
3	75	100	40	85,154	85,895	0.87%
4	75	100	100	85,154	85,910	0.89%
5	50	250	40	333,372	370,024	10.99%
6	50	250	100	311,913	355,428	13.95%
7	75	250	40	255,216	274,210	7.44%
8	75	250	100	255,216	274,166	7.43%
9	50	400	40	602,063	722,563	20.01%
10	50	400	100	602,063	715,889	18.91%
11	75	400	40	489,766	555,045	13.33%
12	75	400	100	487,855	552,832	13.32%
Average						9.53%

5. Conclusion

This paper considers integrating hybrid flow shop scheduling with sequence-independent setup time and vehicle routing decisions with homogeneous fleet multi-vehicle multi-trip problems. Numerical experiments show that the proposed MILP model can solve problems in up to 6 orders in under 1 hour. The number of orders significantly affects the average runtimes needed to solve the problem. The developed GA is effective for solving small- and medium-scale problems but less practical for large-scale problems. When 400 orders are involved, the Delta percentage is close to 20%. We can conclude that the more orders there are, the bigger the Delta percentage and the less successful the produced GA will be.

It is suggested that the LBA and GA be improved to increase their effectiveness. The LBA should relax some constraints in the MILP to ensure that the results are better than MILP and GA.

Further experiments can be conducted to determine the GA parameter and strategy resulting in a better solution.

The proposed model still has many assumptions and limitations. For further research, it can be expanded by relaxing some assumptions and considering some factors, e.g., a different ready time of the orders, a different number of machines per stage, a heterogeneous fleet, and simultaneous pickup and delivery. Another potential avenue to explore is considering uncertain factors, e.g., machine failure, random processing time, and traffic congestion. We also suggest studying multiple objectives by considering both time and cost or environmental impact and their trade-offs.

6. Acknowledgments

This work was supported by a Khon Kaen University Scholarship, Khon Kaen, Thailand.

References

[1] Ö. F. Yilmaz and P. M. Pardalos, "Minimizing average lead time for the coordinated scheduling problem in a two-stage supply chain with multiple customers and multiple manufacturers," Computers & Industrial Engineering, vol. 114, p. 244–257, 2017.

[2] T. Jamrus, H. -K. Wang and S. -F. Chien, "Dynamic coordinated scheduling for supply chain under uncertain production time to empower smart production for Industry 3.5," Computers, Industrial Engineering, vol. 142 (2020) 106375, 2020.

[3] A. RezaHoseini, S. Noori and S. F. Ghannadpour, "Integrated scheduling of suppliers and multi-project activities for green construction supply chains under uncertainty," Automation in Construction, vol. 122 (2021) 103485, 2021.

[4] T. Sawik, "Coordinated supply chain scheduling," International Journal of Production Economics, vol. 120, no. 2, p. 437–451, 2009.

[5] G. Wang, "Integrated supply chain scheduling of procurement, production, and distribution under spillover effects," Computers and Operations Research, vol. 126 (2021) 105105, 2021.

[6] F. Qiu, N. Geng and H. Wang, "An improved memetic algorithm for integrated production scheduling and vehicle routing decisions," Computers and Operations Research, vol. 152 (2023) 106127, 2023.

[7] Z. -L. Chen, "Integrated Production and Outbound Distribution Scheduling: Review and Extensions," Operations Research, vol. 58, no. 1, pp. 130-148, 2010.

[8] S. Moons, K. Ramaekers, A. Caris and Y. Arda, "Integrating production scheduling and vehicle routing decisions at the operational decision level: A review and discussion," Computers & Industrial Engineering, vol. 104, pp. 224-245, 2017.

[9] L. Berghman, Y. Kergosien and J. -C. Billaut, "A review on integrated scheduling and outbound vehicle routing problems," European Journal of Operational Research, vol. 311, no. 1, pp. 1-23, 2023.

[10] J. M. Framinan, "An adaptive branch and bound approach for transforming job shops into flow shops," Computers, Industrial Engineering, vol. 52, pp. 1-10, 2007.

[11] A. Allahverdi and F. S. Al-Anzi, "A branch-and-bound algorithm for three-machine flow shop scheduling problem to minimize total completion time with separate setup times," European Journal of Operational Research, vol. 169, p. 767–780, 2006.

[12] T. Eren and E. Güner, "A Bicriteria Flow Shop Scheduling Problem with Setup Times," Applied Mathematics and Computation, vol. 183, pp. 1292-1300, 2006.

[13] M. Yokoyama, "Flow-shop scheduling with setup and assembly operations," European Journal of Operational Research, vol. 187, p. 1184–1195, 2008.

[14] R. Ramezanian, S. Mohammadi and A. Cheraghalikhani, "Toward an integrated modeling approach for production and delivery operations in flow shop system: Trade-off between direct and routing delivery methods," Journal of Manufacturing Systems, vol. 44, p. 79–92, 2017.

[15] S. Wang, R. Wu, F. Chu and J. Yu, "Variable neighborhood search-based methods for integrated hybrid flow shop scheduling with distribution," Soft Computing, vol. 24, pp. 8917-8936, 2020.

[16] E. Yagmur and S. E. Kesen, "Multi-trip heterogeneous vehicle routing problem coordinated with production scheduling: Memetic algorithm and simulated annealing approaches," Computers & Industrial Engineering, vol. 161 (2021) 107649, 2021.

[17] T. Azad, H. F. Rahman, R. K. Chakrabortty and M. J. Ryan, "Optimization of integrated production scheduling and vehicle routing problems with batch delivery to multiple

customers in the supply chain," Memetic Computing, vol. 14, pp. 255-276, 2022.

[18] M. T. Pereira and M. S. Nagano, "Hybrid metaheuristics for the integrated and detailed scheduling of production and delivery operations in no-wait flow shop systems," Computers & Industrial Engineering, vol. 170 (2022) 108255, 2022.

[19] M. S. Nagano, C. P. Tomazella, R. F. Tavares-Neto and L. R. de Abreu, "Solution methods for the integrated permutation flowshop and vehicle routing problem," Journal of Project Management, vol. 7, pp. 155-166, 2022.

[20] Y. Fu, Y. Hou, Z. Chen, X. Pu, K. Gao and A. Sadollah, "Modelling and scheduling integration of distributed production and distribution problems via black widow optimization," Swarm and Evolutionary Computation, vol. 68 (2022) 101015, 2022.

[21] Y. Hou, Y. Fu, K. Gao, H. Zhang and A. Sadollah, "Modelling and optimization of integrated distributed flow shop scheduling and distribution problems with time windows," Expert Systems With Applications, vol. 187 (2022) 115827, 2022.

[22] L. C. Martins, E. M. Gonzalez-Neira, S. Hatami, A. A. Juan and J. R. Montoya-Torres, "Combining production and distribution in supply chains: The hybrid flow-shop vehicle routing problem," Computers & Industrial Engineering, vol. 159 (2021) 107486, 2021.

[23] H. Chevroton, Y. Kergosien, L. Berghman and J. C. Billaut, "Solving an integrated scheduling and routing problem with inventory, routing and penalty costs," European Journal of Operational Research, vol. 294, pp. 571-589, 2021.

[24] H. Chevroton, S. U. K. Rohmer and J. C. Billaut, "A production and distribution framework: Manufacturer dominates," Computers & Industrial Engineering, vol. 155 (2021) 107162, 2021.

[25] F. J. Nozar and J. Behnamian, "Hyper-heuristic for integrated due-window scheduling and vehicle routing problem for perishable products considering production quality," Engineering Optimization, vol. 53, no. 11, pp. 1902-1921, 2021.

[26] E. Yağmur and S. E. Kesen, "A memetic algorithm for joint production and distribution scheduling with due dates," Computers & Industrial Engineering, vol. 142 (2020) 106342, 2020.

[27] A. Gharaei and F. Gharaei, "A Pareto approach for the multi factory supply chain scheduling and distribution problem," Operational Research, vol. 21, pp. 2333-2364, 2021.

[28] S. Mohammadi, A. Cheraghalikhani and R. Ramezanian, "A joint scheduling of production and distribution operations in a flow shop manufacturing system," Scientia Iranica (Transactions E: Industrial Engineering), vol. 25, no. 2, p. 911–930, 2018.

การออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มประเทศอินโดจีน โดยมีจังหวัดอุบลราชธานีเป็นศูนย์กลาง

Designing Wellness Tourism Routes in the Indochina Region with Ubon Ratchathani as The Central Hub

เมทินี ศรีสม[1*] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส[2] ปวีณา คำพุกกะ[1] อรุณรัตน์ เศวตธรรม[1] สุภัตราภรณ์ สายสมบูรณ์[1] ปดิวรดา ล้อมลาย[1]
ไกรศักดิ์ ยงกุลวณิช[1] ธชาดา ปลื้มจันทร์[1]
[1]สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
E-mail: methini.sr.67@ubu.ac.th*

Metinee Srisom[1*], Rapeepan Pitakaso[2], Paweena Khampukka[1], Arunrat Sawettham[1], Supattraporn Saisomboon[1], Padivarada Lomlai[1],
Kraisak Yongkulwanich, Thachada Pluemjan[1]
[1]Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Management Science, Ubon Ratchathani University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University
E-mail: methini.sr.67@ubu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งหวังสร้างเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มประเทศอินโดจีนที่เหมาะสมที่สุดโดยมีจังหวัดอุบลราชธานีเป็นศูนย์กลางด้วยการคัดเลือก 20 สถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญในกลุ่มประเทศอินโดจีน เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์และจัดเส้นทางประกอบด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Algorithm : NNA) วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านไกลที่สุด (Farthest Neighbor Algorithm : FNA) วิธีการประหยัด (Saving Algorithm : SA) และวิธีวัฒนาการด้วยผลต่าง (Differential Evolution: DE) โดยใช้เทศบาลนครอุบลราชธานีเป็นจุดเริ่มต้น และสิ้นสุดของเส้นทาง ผลการเปรียบเทียบทั้ง 4 วิธี พบว่าวิธีวัฒนาการด้วยผลต่าง (Differential Evolution: DE) ให้ระยะทางรวมที่สั้นที่สุด 1,485 กิโลเมตร รองลงมา คือวิธี Saving Algorithm (SA) ได้ระยะทางรวม 1,490 กิโลเมตร อันดับที่ 3 คือวิธี Nearest Neighbor Algorithm (NNA) ได้ระยะทางรวม 1,500 กิโลเมตร และสุดท้ายวิธี Farthest Neighbor Algorithm (FNA) ให้ผลลัพธ์ระยะทางรวมมากที่สุดที่ 1,900 กิโลเมตร ตามลำดับ ผลการวิจัยนี้มีศักยภาพที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการส่งเสริมการท่องเที่ยวระดับนานาชาติ และสามารถใช้เป็นแนวทาง ในการประชาสัมพันธ์เส้นทางการท่องเที่ยวของภูมิภาคอินโดจีนที่มีจังหวัดอุบลราชธานีเป็นศูนย์กลางได้

คำสำคัญ: การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพ วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านไกลที่สุด วิธีการประหยัด วิธีวิวัฒนาการผลต่าง

Abstract

This research aims to develop the most optimal wellness tourism route in the Indochina region, with Ubon Ratchathani province as the central hub. The study involves selecting 20 key tourist destinations within the region. The analysis and route planning utilize the following methods: Nearest Neighbor Algorithm (NNA), Farthest Neighbor Algorithm (FNA), Saving Algorithm (SA), and Differential Evolution (DE). Using Ubon Ratchathani Municipality as the starting and ending points of the route, the comparison of the four methods shows that the Differential Evolution method (DE) produces the shortest total distance of 1,485 kilometers, followed by the Saving Algorithm (SA) with a total distance of 1,490 kilometers, Nearest Neighbor Algorithm (NNA) with 1,500 kilometers, and lastly, the Farthest Neighbor Algorithm (FNA) with the longest total distance of 1,900 kilometers. The findings of this study hold potential to serve as a foundational resource for promoting international tourism and can be used as a framework for publicizing tourism routes in the Indochina region, with Ubon Ratchathani as the central hub.

Keywords: Wellness tourism, Nearest neighbor algorithm, Farthest neighbor algorithm, Saving algorithm, Differential evolution algorithm

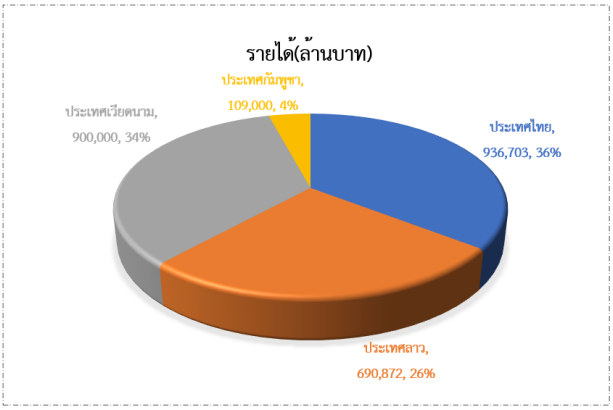
1. บทนำ

การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพกลายเป็นแนวโน้มสำคัญในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวระดับโลก เป็นการตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นของนักท่องเที่ยวที่ให้ความสำคัญเกี่ยวกับสุขภาพ คุณภาพชีวิต และการใช้ชีวิตมากขึ้น การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพเป็นมากกว่าการพักผ่อนทั่วไป เพราะเป็นการผสมผสานทรัพยากรธรรมชาติ วัฒนธรรม และบริการสุขภาพ เช่น การนวด การฝึกโยคะ การดูแลสุขภาพ และอาหารเพื่อสุขภาพ การท่องเที่ยวเพื่อฟื้นฟู และเสริมสร้างสุขภาพกายและจิตใจ ในปีที่ผ่านมาตลาดการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยมีมูลค่าตลาดสูง สอดคล้องกับแนวคิดของการพัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และการสร้างคุณค่าทางเศรษฐกิจและสังคม (กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2566) [1]

ภูมิภาคอินโดจีนประกอบด้วยประเทศไทย ลาว กัมพูชา และเวียดนาม เป็นภูมิภาคที่มีศักยภาพสูงในด้านการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ด้วยทรัพยากรธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ น้ำพุร้อนธรรมชาติ สมุนไพรท้องถิ่น พื้นที่ป่า รวมถึงวัฒนธรรมที่มีเอกลักษณ์ เช่น การแพทย์พื้นบ้าน และอาหารที่มีส่วนผสมของสมุนไพรเพื่อสุขภาพ ซึ่งภูมิภาคนี้ยังเป็นจุดเชื่อมต่อสำคัญในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเหมาะสำหรับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและการเชื่อมโยงโลจิสติกส์ด้านการท่องเที่ยว แต่ยังขาดการพัฒนาที่เป็นระบบทั้งในด้านการจัดการเส้นทางที่เหมาะสม การจัดการทรัพยากรการสร้างนวัตกรรมด้านการบริการสุขภาพ และการใช้เทคโนโลยีที่สนับสนุนการท่องเที่ยว

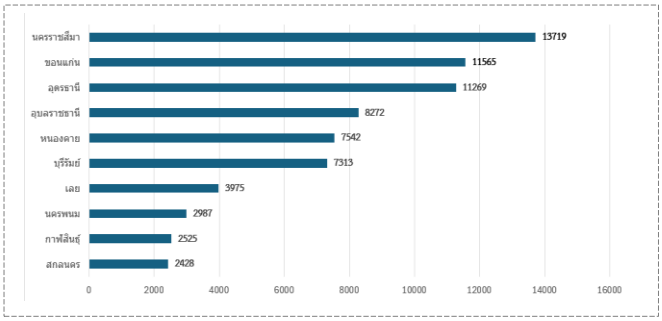
จังหวัดอุบลราชธานีเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่โดดเด่นในด้านทรัพยากรธรรมชาติและวัฒนธรรมที่เหมาะสำหรับการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เชื่อมต่อระหว่างประเทศไทย ลาว และเวียดนาม อีกทั้งยังเป็นจุดเริ่มต้นของการเดินทางในเส้นทางวงกลมเศรษฐกิจอินโด จังหวัดอุบลราชธานีมี สมุนไพรพื้นบ้าน วัฒนธรรมการดูแลสุขภาพแบบแผนไทย และพื้นที่สีเขียวที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมฟื้นฟูสุขภาพ (ไทยรัฐ , 2567) [2] การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในจังหวัดนี้ยังคงอยู่ในช่วงเริ่มต้น เนื่องจากขาดการบูรณาการโครงสร้างพื้นฐาน การจัดการโลจิสติกส์ การขาดข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับศักยภาพของแหล่งท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในกลุ่มประเทศอินโดจีน การวิจัยนี้จึงมีการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพด้านการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในภูมิภาคอินโดจีน โดยเน้นการพัฒนากรอบวิเคราะห์ที่ครอบคลุม เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพของพื้นที่ต่างๆ รวมถึงการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานด้านการคมนาคม การเชื่อมโยงโลจิสติกส์ และความพร้อมของชุมชนในการรองรับการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ โดยรายได้จากการท่องเที่ยวในกลุ่มประเทศอินโดจีนที่ประกอบไปด้วยประเทศไทย ลาว เวียดนาม และกัมพูชา ช่วงเดือนมกราคมถึงกันยายน 2567 มีมูลค่ารวมกันทั้งหมด 2,636,575 ล้านบาท (กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2567) [3] ดังภาพที่ 1

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มประเทศอินโดจีนที่เหมาะสมที่สุดโดยมีจังหวัดอุบลราชธานีเป็นศูนย์กลาง

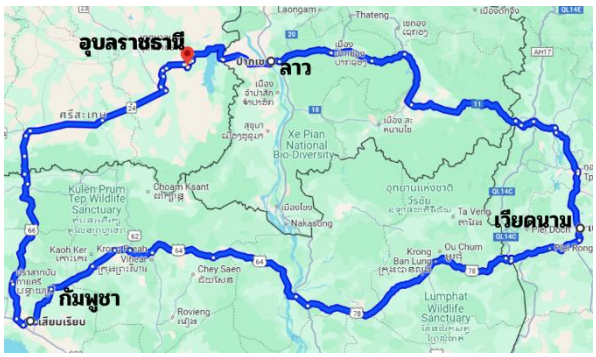


ภาพที่ 1 รายได้จากผู้เยี่ยมเยือนของกลุ่มประเทศอินโดจีน (ล้านบาท) มกราคม-กันยายน ปี 2567
ที่มา: กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา 2567

จังหวัดอุบลราชธานีเป็นหนึ่งในจังหวัดสำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีศักยภาพด้านการท่องเที่ยวสูง ทั้งการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม ธรรมชาติ และเชิงสุขภาพ จากข้อมูลรายได้จากผู้เยี่ยมเยือนจังหวัดอุบลราชธานีมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากจังหวัดมีแหล่งท่องเที่ยวที่ดึงดูดนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ เช่น วัดเรืองแสง สามพันโบก และการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพที่เชื่อมโยงกับทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งอุบลราชธานียังเป็นศูนย์กลางการเดินทางและเศรษฐกิจที่เชื่อมโยงกับประเทศเพื่อนบ้านอย่าง สปป.ลาว ผ่านด่านชายแดนช่องเม็ก จึงสามารถช่วยกระตุ้นรายได้จากการท่องเที่ยวและการค้าชายแดน รวมถึงการใช้บริการที่พัก ร้านอาหาร และกิจกรรมต่าง ๆ ที่สร้างรายได้หมุนเวียนให้กับเศรษฐกิจท้องถิ่นอย่างยั่งยืน จากข้อมูลสถิติของกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา จังหวัดอุบลราชธานีมีรายได้การเยี่ยมเยือนในเดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคม 2567 รวม 8,272 ล้านบาท ซึ่งอยู่ในอันดับที่ 4 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยอันดับที่ 1 คือจังหวัดนครราชสีมา (13,719 ล้านบาท) อันดับที่ 2 จังหวัดขอนแก่น (11,565 ล้านบาท) และอันดับ 3 จังหวัดอุดรธานี (11,269 ล้านบาท) (กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2567) [3] ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รายได้จากผู้เยี่ยมเยือนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ล้านบาท) มกราคม-ตุลาคม ปี 2567
ที่มา: กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา 2567



ภาพที่ 3 เส้นทางเชื่อมโยง 4 ประเทศในกลุ่มประเทศอินโดจีน

วัตถุประสงค์การวิจัย คือ เพื่อออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มประเทศอินโดจีนที่เหมาะสมที่สุดโดยมีจังหวัดอุบลราชธานีเป็นศูนย์กลาง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

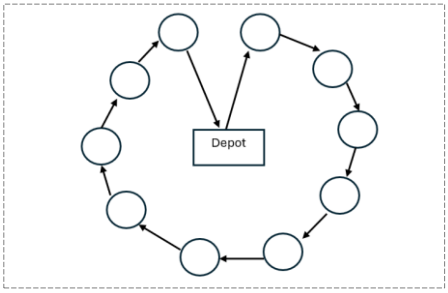
2.1 การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพ (Wellness Tourism)

การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Health Tourism : HT) สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ การท่องเที่ยวเชิงการแพทย์ (Medical Tourism : MT) และการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพ (Wellness Tourism : WT) การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพ (WT) เป็นรูปแบบการท่องเที่ยวที่มุ่งเน้นไปที่การฟื้นฟูและส่งเสริมสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของนักท่องเที่ยว โดยอาจรวมถึงกิจกรรมต่างๆ เช่น การออกกำลังกาย การทำสมาธิ การรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ และการเข้ารับการบำบัดแบบธรรมชาติ การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหมู่ประชากรที่มีอายุมากขึ้น ซึ่งมองหาวิธีที่จะปรับปรุงสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของตนเอง แนวโน้มการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพและการพัฒนาใช้เทคโนโลยีการแพทย์สมัยใหม่เป็นปัจจัยหลักหนุนการเติบโตของการท่องเที่ยวเชิงพาณิชย์ในอนาคต หลังวิกฤติโควิด-19 ทั่วโลกได้รับบทเรียนถึงผลกระทบอย่างรุนแรงที่เกิดขึ้นทั้งในเชิงเศรษฐกิจและสังคม ขณะที่โรคอุบัติใหม่มีแนวโน้มที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา แนวคิดการสร้างภูมิคุ้มกันให้กับตนเอง หรือการทำให้มีสุขภาพแข็งแรง เป็นกระแสที่ได้รับการตอบรับจากประชากรทั่วโลกในการใส่ใจดูแลรักษาสุขภาพ และการแสวงหาจุดหมายปลายทางที่ตอบโจทย์ในด้านนี้จึงเป็นที่มาของการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพ [4]

การท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพ (WT) เป็นการดูแลสุขภาพแบบองค์รวม รวมถึงนำไปสู่การมีความเป็นอยู่ที่ดี เพราะ Wellness ไม่ใช่แค่เรื่องการมีสุขภาพที่ดี แต่ยังเกี่ยวกับอีกหลายมิติ เช่น Physical, Mental, Emotional, Spiritual, Social, Environment และ Pitakaso, R. et al (2022) [5] ได้อธิบายการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพ หมายถึง การทำให้สุขภาพกายใจดีมี 4 องค์ประกอบ คือ (1) การป้องกันการเจ็บป่วย (Sickness Prevention) ได้แก่ การไปตรวจสุขภาพประจำปี การพบแพทย์ตามนัด การอบซาวน่า การอาบน้ำแร่ การรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ อาหารสดใหม่ที่มีคุณภาพ (2) การลดความเครียด (Reduce Stress) ได้แก่ การพักผ่อนหย่อนใจเพื่อความสบายใจ การนอนให้เพียงพอ การเปลี่ยนบรรยากาศในสถานที่ต่าง ๆ การนั่งสมาธิ ช้อปปิ้ง การนวดแผนไทย การนวดสปาผ่อนคลาย การทำกิจกรรมทางศาสนา (3) สุขภาพจิตดี (Mental Health Improvement) ได้แก่ การทำกิจกรรมเพื่อการกุศล การทำสมาธิ โยคะ การทำสิ่งใหม่ ๆแปลก ๆ เพื่อให้สดชื่น การสูดอากาศสะอาดบริสุทธิ์หรืออากาศดี การเที่ยวแคมปิ้งและ (4) สุขภาพกายดี (Physical Health Improvement) ได้แก่ การทำกิจกรรมที่มีความท้าทาย เช่น การปีนเขา การยิงธนู การเข้าศูนย์ออกกำลังกาย การออกกำลังกาย

2.2 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem : TSP)

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เป็นปัญหาหนึ่งของการขนส่ง มีรูปแบบเป็นการเดินทางของพนักงานขาย 1 คน โดยมีเงื่อนไข คือ พนักงานขายจะต้องเดินทางผ่านให้ครบทุกเมือง ซึ่งเดินทางผ่านในแต่ละเมืองได้เพียงครั้งเดียวและกลับมายังจุดเริ่มต้น โดยให้มีระยะทางรวมสั้นที่สุด ซึ่งปัญหาประเภทนี้จะไม่พิจารณาเกี่ยวกับความจุโดยจะพิจารณาการเดินทางไปยังเมืองต่าง ๆ ก่อนหรือหลัง เพื่อให้ได้ระยะทางรวมในการเดินทางต่ำที่สุด แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย

ปัญหา TSP สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) มีเส้นทางไปกลับแบบสมมาตร (Symmetric) คือมีระยะทางไปกลับเท่ากัน และ 2) มีเส้นทางไปกลับไม่สมมาตร (Asymmetric) คือ มีระยะทางไปและกลับไม่เท่ากัน โดยปัญหา TSP สามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย ได้ดังนี้ [6]

i = ลำดับของเมืองที่ i โดยที่ i = 1, 2, ..., n

j = ลำดับของเมืองที่ j โดยที่ j = 1 ,2, ..., n

D_{ij} = ระยะทางระหว่างเมืองที่ i ไปยังเมืองที่ j

X_{ij} = 1 ในกรณีที่มีการเดินทางจาก i ไป j
0 ในกรณีอื่น

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือ

$$MinZ = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} D_{ij}X_{ij}$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} = 1 \;;\; i = 1, 2, \ldots, n$$

กำหนดให้พนักงานขายเดินทางให้ครบทุกเมือง

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \ ; \ i = 1, 2, \dots, n$$

กำหนดให้พนักงานสามารถเข้าออกแต่ละเมืองได้เพียงครั้งเดียว

2.3 วิธีการหาคำตอบ

1) วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Algorithm : NNA) เป็นหนึ่งในวิธีการแก้ปัญหา TSP ที่เป็นที่นิยมเนื่องจากความง่ายในการทำงานและความเร็วในการดำเนินการ วิธีการนี้ใช้แนวคิดอย่างง่ายมี 4 ขั้นตอนดังนี้ [7]

(1) เลือกเมืองเริ่มต้น เลือกเมืองใดเป็นจุดเริ่มต้นของการท่องเที่ยวในวิจัยนี้จุดเริ่มต้นคือสนามบินอุบลราชธานี

(2) เลือกเมืองถัดไป จากสนามบินให้เลือกเมืองที่อยู่ใกล้ที่สุดและเป็นเมืองที่ยังไม่ได้เดินทางไปเป็นเมืองถัดไป

(3) ทำซ้ำในขั้นตอนที่ (2) จนกระทั่งเดินทางไปครบทุกเมืองแล้ว

(4) กลับไปยังจุดเริ่มต้นหรือสนามบินอุบลราชธานีเพื่อจบการเดินทาง

2) วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านไกลที่สุด (Farthest Neighbor Algorithm : FNA) เป็นวิธีการแก้ปัญหา TSP ที่ตรงกันข้ามกับ NNA โดยมี 4 ขั้นตอนดังนี้ [7]

(1) เลือกเมืองเริ่มต้น ในวิจัยนี้จุดเริ่มต้นคือสนามบินอุบลราชธานี

(2) เลือกเมืองถัดไป จากสนามบินอุบลราชธานีให้เลือกเมืองที่อยู่ไกลที่สุดและเป็นเมืองที่ยังไม่ได้เดินทางไปเป็นเมืองถัดไป

(3) ทำซ้ำขั้นตอนที่ (2) จนกระทั่งเดินทางไปครบทุกเมือง

(4) กลับไปยังสนามบินอุบลราชธานีเพื่อจบการเดินทาง

3) วิธีการประหยัด (Saving Algorithm : SA) เป็นวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา TSP เช่นเดียวกับ NNA และ FNA โดยวิธีการ SA ใช้การคำนวณระยะทางระหว่างเมืองทุกคู่เมือง แล้วสร้างเส้นทางใหม่โดยใช้การบันทึกระยะทางที่ประหยัด จากการรวมเส้นทางที่มีความประหยัดสูงสุด โดยมี 5 ขั้นตอนดังนี้ [7]

(1) คำนวณระยะทางระหว่างเมืองทุกคู่เมือง

(2) คำนวณระยะทางประหยัด สำหรับทุกคู่เมือง (i, j) ได้จากสมการ

$$S_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$$

โดยที่ S_{ij} คือ ระยะทางที่ประหยัดระหว่างเมือง i และ j

d_{i0} คือ ระยะทางจากเมือง i ไปยังจุดเริ่มต้น (0)

d_{0j} คือ ระยะทางจากจุดเริ่มต้น (0) ไปยังเมือง j

d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างเมือง i และ j

(3) เลือกเส้นทางที่ประหยัดสูงสุด คือการเรียงลำดับระยะทางที่ประหยัดจากมากไปหาน้อย และเลือกเส้นทางที่มีระยะทางประหยัดสูงสุดในขั้นตอนก่อนหน้านี้ที่ยังไม่ได้ถูกเลือก

(4) เชื่อมเส้นทาง เริ่มต้นจากเส้นทางว่าง ๆ และเพิ่มเมืองลงไปเรื่อยๆ โดยเลือกเมืองต่อไปจากเส้นทางที่มีระยะทางประหยัดสูงสุด จนกระทั่งไปครบทุกเมือง

(5) เชื่อมเส้นทางกับจุดเริ่มต้น เมื่อเดินทางครบทุกเมืองแล้ว ให้เชื่อมเส้นทางกับจุดเริ่มต้นเพื่อปิดรอบวนของการเดินทาง

4) วิธี Differential Evolution (DE) เป็นเครื่องมือแก้ปัญหาโดยใช้พื้นฐานของประชากร (Population-based Optimizer) ถูกพัฒนาโดย Storn and Price มีทิศทางการค้นหาคำตอบที่แตกต่างและอิสระต่อกันในแต่ละเวกเตอร์คำตอบของประชากร เริ่มต้นปัญหาโดยการสร้างเวกเตอร์เป้าหมาย (Target vector) ในหลายจุดพิกัดแบบสุ่มเลือก ด้วยขอบเขตพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้จากนั้น DE จะเข้าสู่กระบวนการพัฒนาคำตอบ ได้แก่ การกลายพันธุ์ (Mutation), การครอสโอเวอร์ (Recombination) และการคัดเลือกคำตอบ (Selection) จากสูตรของ Das. S. & Suganthan. P.N. (2011) [8] ดังนี้

การกลายพันธุ์ (Mutation) สำหรับแต่ละเวกเตอร์ $X_i^{(t)}$ ในประชากร N สร้างเวกเตอร์กลายพันธุ์ $V_i^{(t)}$ โดยการสุ่ม 3 เวกเตอร์ที่แตกต่างกันจากประชากร X_{r1}, X_{r2}, X_{r3} และใช้สมการ

$$\boldsymbol{V_i^{(t)} = X_{r1}^{(t)} + F * (X_{r2}^{(t)} - X_{r3}^{(t)})}$$

การครอสโอเวอร์ (Recombination) เวกเตอร์ทดลอง $U_i^{(t)}$ โดยผสมระหว่างเวกเตอร์เป้าหมาย $X_i^{(t)}$ และเวกเตอร์กลายพันธุ์ $V_i^{(t)}$ โดยใช้ค่าคงที่ CR

$$\boldsymbol{U_{i,d}^{(t)} = \begin{cases} V_{i,d}^{(t)}, & \text{ถ้า } r_d \le CR \text{ หรือ } d = d_{rand} \\ X_{i,d}^{(t)}, & \text{ถ้า } r_d > CR \end{cases}}$$

การคัดเลือกคำตอบ (Selection) เปรียบเทียบค่าฟังก์ชันเป้าหมายของเวกเตอร์ทดลอง $U_i^{(t)}$ กับเวกเตอร์เดิม $X_i^{(t)}$ แล้วเลือกค่าที่ดีที่สุด

$$\boldsymbol{X_i^{(t+1)} = \begin{cases} U_i^{(t)}, & \text{ถ้า } f(U_i^{(t)}) \le f(X_i^{(t)}) \\ X_i^{(t)}, & \text{ถ้า } f\left(U_i^{(t)}\right) > f(X_i^{(t)}) \end{cases}}$$

ผู้วิจัยสนใจหาคำตอบจาก 4 วิธีข้างต้นนี้ เนื่องจากวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (NNA) วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านไกลที่สุด (FNA) วิธีการประหยัด (SA) และวิธีวิวัฒนาการผลต่าง (DE) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการแก้ปัญหา TSP ด้วยมีความง่ายในการใช้งาน อีกทั้งมีความยืดหยุ่นในการปรับแก้ไขและมีประสิทธิภาพในการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่กำหนดโดยลักษณะของข้อมูลและความต้องการของผู้ใช้งาน

3. วิธีดำเนินการวิจัย โดยมีขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญในกลุ่มประเทศอินโดจีน โดยคัดเลือกข้อมูลจากเว็บไซต์ต่างๆ เช่น Thai.tourismthailand.org, Facebook การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 10 สถานที่ท่องเที่ยวที่ดีที่สุดจังหวัดอุบลราชธานีจาก Tripadvisor, เป็นต้น โดยค้นหาละติจูดและลองติจูดจาก Google map ของสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญตามค่าคะแนนความนิยมที่มีค่าคะแนนมากกว่า 4.0 ได้จำนวน 20 สถานที่ จัดแบ่งสถานที่ท่องเที่ยวของทั้ง 4 ประเทศได้ดังนี้ จังหวัดอุบลราชธานีประเทศไทยจำนวน 7 สถานที่, ประเทศลาวจำนวน 3 สถานที่, ประเทศเวียดนามจำนวน 3 สถานที่ และประเทศกัมพูชาจำนวน 7 สถานที่ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถานที่ท่องเที่ยวในกลุ่มประเทศอินโดจีนที่สำคัญ

ที่	สถานที่	ละติจูด	ลองติจูด	คะแนนนิยม
1.	ทุ่งศรีเมือง	15.23045469	104.8572412	4.5
2.	วัดมหาวนาราม	15.23512632	104.8634025	4.7
3.	ย่านเมืองเก่าอุบลฯ	15.22620405	104.8607996	4.8
4.	วัดหนองป่าพง	15.15903506	104.8289100	4.8
5.	ล่องแพอุบลเขื่อนสิรินธร	15.19969677	105.3999352	4.7
6.	สกายวอล์คเขื่อนสิรินธร	15.20357270	105.4369725	4.5
7.	วัดเรืองแสง	15.14899924	105.4677778	4.7
8.	น้ำตกตาดฟาน	15.18108607	106.1391688	4.6
9.	เมืองปากซ่อง	15.17674311	106.2347674	4.4
10	ปราสาทหินวัดพู	14.84897035	105.8145932	4.5
11	Chu Dang ya volcano	14.12917148	108.0544954	4.6
12	Minh Thanh Pagoda	13.96654931	108.0063133	4.6
13	Phu Cuong Waterfall	13.66188821	108.1360348	4.1
14	ปราสาทบันทายสำเหร่	13.44230872	103.9591610	4.7
15	ปราสาทแปรรูป	13.43505890	103.9205249	4.7
16	ปราสาทบันทายกฎี	13.43015836	103.8987516	4.7
17	Prasat Kravan	13.41996957	103.8998228	4.6
18	นครวัด	13.41266757	103.8669856	4.8
19	ปราสาทปักษีจำกรุง	13.42565008	103.8583691	4.6
20	ปราสาทบายน	13.44148135	103.8589035	4.8

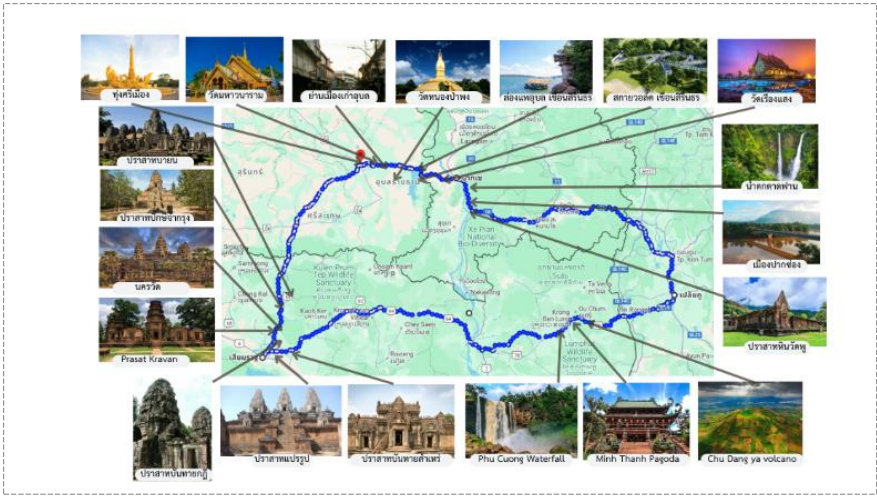
4. ผลการวิจัย

การวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มประเทศอินโดจีน โดยมีจังหวัดอุบลราชธานีเป็นศูนย์กลางการเชื่อมโยงเส้นทาง การวิเคราะห์นี้ใช้วิธีการเปรียบเทียบเส้นทางการท่องเที่ยวด้วยวิธีการอัลกอริทึม 4 วิธี ได้แก่ วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Algorithm: NNA), วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านไกลที่สุด (Farthest Neighbor Algorithm: FNA), วิธีการประหยัด (Saving Algorithm: SA) และวิธีวัฒนาการด้วยผลต่าง (Differential Evolution: DE) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความเหมาะสมของแต่ละวิธีในการออกแบบเส้นทางการท่องเที่ยวและมีประสิทธิภาพสูงสุด

ผลการเปรียบเทียบเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพด้วยวิธีต่าง ๆ การวิเคราะห์เส้นทางการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพในครั้งนี้มุ่งเน้นการออกแบบเส้นทางที่สามารถเชื่อมโยงสถานที่ท่องเที่ยวสำคัญใน 4 ประเทศ ได้แก่ ไทย ลาว เวียดนาม และกัมพูชา โดยเริ่มต้นจากจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นศูนย์กลางของเส้นทาง และเชื่อมต่อไปยังสถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติและวัฒนธรรมในแต่ละประเทศ การวิเคราะห์นี้ใช้ 4 วิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบเส้นทางที่มีประสิทธิภาพที่สุด ทั้งในด้านระยะทางและเวลาในการเดินทาง เพื่อให้ได้เส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบเส้นทางและระยะทางรวมของวิธี NNA FNA SA และ DE

วิธีการ	เส้นทาง
Nearest Neighbor (NNA)	ทุ่งศรีเมือง -> วัดมหาวนาราม -> สกายวอล์ค เขื่อนสิรินธร -> ปราสาทบันทายสำเหร่ -> วัดหนองป่าพง -> ย่านเมืองเก่าอุบลราชธานี-> ปราสาทบันทายกฎี -> วัดเรืองแสง -> น้ำตกตาดฟาน -> ล่องแพอุบล เขื่อนสิรินธร -> เมืองปากซ่อง -> ปราสาทหินวัดพู -> ปราสาทแปรรูป -> ปราสาทบายน -> Minh Thanh Pagoda -> Phu Cuong Waterfall -> Chu Dang ya volcano -> Prasat Kravan -> นครวัด -> ปราสาทปักษีจำกรุง **ระยะทางรวม** 1,500.00 **กิโลเมตร**
Farthest Neighbor (FNA)	ทุ่งศรีเมือง -> ปราสาทบันทายสำเหร่ -> วัดมหาวนาราม -> ปราสาทแปรรูป -> ล่องแพอุบล เขื่อนสิรินธร -> ปราสาทบันทายกฎี -> วัดเรืองแสง -> Prasat Kravan -> สกายวอล์ค เขื่อนสิรินธร -> ปราสาทบายน -> ปราสาทหินวัดพู -> Chu Dang ya volcano -> น้ำตกตาดฟาน -> Minh Thanh Pagoda -> วัดหนองป่าพง -> ปราสาทปักษีจำกรุง -> ย่านเมืองเก่าอุบล-> นครวัด -> เมืองปากซ่อง -> Phu Cuong Waterfall **ระยะทางรวม** 1,900.00 **กิโลเมตร**
Saving Algorithm (SA)	ทุ่งศรีเมือง -> ย่านเมืองเก่าอุบล -> วัดหนองป่าพง -> วัดมหาวนาราม -> ล่องแพอุบล เขื่อนสิรินธร -> สกายวอล์ค เขื่อนสิรินธร -> วัดเรืองแสง -> ปราสาทหินวัดพู -> น้ำตกตาดฟาน -> เมืองปากซ่อง -> Chu Dang ya volcano -> Minh Thanh Pagoda -> Phu Cuong Waterfall -> ปราสาทบันทายสำเหร่ -> ปราสาทแปรรูป -> ปราสาทบันทายกฎี -> Prasat Kravan -> นครวัด -> ปราสาทปักษีจำกรุง -> ปราสาทบายน **ระยะทางรวม** 1,490.00 **กิโลเมตร**
Differential Evolution (DE)	ทุ่งศรีเมือง -> ย่านเมืองเก่าอุบล -> วัดมหาวนาราม -> วัดหนองป่าพง-> ล่องแพอุบล เขื่อนสิรินธร -> สกายวอล์ค เขื่อนสิรินธร -> วัดเรืองแสง -> ปราสาทหินวัดพู -> น้ำตกตาดฟาน -> เมืองปากซ่อง -> Chu Dang ya volcano -> Minh Thanh Pagoda -> Phu Cuong Waterfall -> ปราสาทบันทายสำเหร่ -> ปราสาทแปรรูป -> ปราสาทบันทายกฎี -> Prasat Kravan -> นครวัด -> ปราสาทปักษีจำกรุง -> ปราสาทบายน **ระยะทางรวม** 1,485.00 **กิโลเมตร**



ภาพที่ 5 เส้นทางการท่องเที่ยวในกลุ่มอินโดจีน 4 ประเทศ ด้วยวิธี DE ได้ระยะทางรวมสั้นที่สุด

5) อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยนี้พบว่าเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มประเทศอินโดจีนที่เหมาะสมที่สุดโดยมีจังหวัดอุบลราชธานีเป็นศูนย์กลาง ด้วยวิธีวัฒนาการด้วยผลต่าง (Differential Evolution: DE) ให้ระยะทางรวมที่สั้นที่สุด 1,485 กิโลเมตร รองลงมาคือ วิธี Saving Algorithm (SA) ได้ระยะทางรวม 1,490 กิโลเมตร อันดับที่ 3 คือวิธี Nearest Neighbor Algorithm (NNA) ได้ระยะทางรวม 1,500 กิโลเมตร และสุดท้ายวิธี Farthest Neighbor Algorithm (FNA) ให้ผลลัพธ์ระยะทางรวมมากที่สุดที่ 1,900 กิโลเมตร ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าวิธี DE ได้ระยะทางรวมสั้นที่สุด มีประสิทธิภาพสูงสุดในการหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการท่องเที่ยวเชิงส่งเสริมสุขภาพ เนื่องจากสามารถลดระยะทางและเวลาในการเดินทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังภาพที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sun, P. F., et al. (2024) [9] ที่ศึกษาการวางแผนเส้นทางการท่องเที่ยวแบบหลายเส้นทาง (Multi-Route Planning) โดยคำนึงถึงข้อจำกัดจริงในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว เช่น เวลาเดินทาง ค่าใช้จ่าย และข้อจำกัดด้านทรัพยากร ผลวิจัยพบว่า Matrix-Based Differential Evolution (MBDE) มีความแม่นยำสูงและช่วยลดเวลาคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิม งานวิจัยนี้มีประโยชน์สำหรับผู้ให้บริการท่องเที่ยวและนักพัฒนาแพลตฟอร์มการวางแผนการเดินทาง โดยช่วยเพิ่มประสบการณ์นักท่องเที่ยวและลดต้นทุนการดำเนินงาน

ดังนั้น จึงขอเสนอแนะในงานวิจัยครั้งต่อไปให้มีการประเมินการตอบรับจากนักท่องเที่ยว เนื่องจากการประเมินความพึงพอใจและความสนใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในพื้นที่ต่างๆ ควรได้รับการสำรวจและวิเคราะห์เพื่อให้สามารถปรับปรุงเส้นทางได้ตรงกับความต้องการและพฤติกรรมการท่องเที่ยวที่เกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นการเดินทางท่องเที่ยว 4 ประเทศของไทย-ลาว-เวียดนาม-กัมพูชาในกลุ่มประเทศอินโดจีนโดยมีจังหวัดอุบลราชธานีเป็นศูนย์กลาง จะเป็นเส้นทางที่มีศักยภาพในการส่งเสริมการท่องเที่ยวในระดับนานาชาติอย่างแน่นอน

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2566). รายงานการเติบโตของการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพใน ประเทศไทย. กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา.

[2] ไทยรัฐ. (2567). ศักยภาพด้านการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในจังหวัดอุบลราชธานี. สืบค้นจาก www.thairath.co.th

[3] กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2567). รายงานสถิติรายได้จากการท่องเที่ยวในกลุ่มประเทศอินโดจีน. กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา.

[4] ชัยนันต์ ไชยเสน. (2019). การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพและนวัตกรรมการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ สำหรับโรงแรม ในจังหวัดภูเก็ต. *Veridian E-Journal Silpakorn University, 12*(5), 262-282.

[5] Rapeepan, Pitakaso., et al. (2022). Solving the Optimal Selection of Wellness Tourist Attractions and Destinations in the GMS Using the AMIS Algorithm. *Computation*, *10*(9), 165.

[6] ภาณุวัฒน์ ไข่มุกข์, และ พรวศิน ศิริสวัสดิ์. (2565). *การจัดเส้นทางสำหรับโปรแกรมการท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงราย โดยการประยุกต์ใช้วิธีปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย*. เชียงราย: สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

[7] Souban Oudonemexay. (2564). *การจัดเส้นทางยานพาหนะในการจัดเก็บขยะมูลฝอยภายในเขตเทศบาลนครไกสอนพมวิหาน แขวงสะหวันเขต สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว*. หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน: คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

[8] Das. S. and Suganthan. P.N. (2011). Differential evolution: A survey of the state-of-the-art. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. Vol.15, No.1, February 2011, 4-31.

[9] Sun, P. F., Li, J. Y., Li, M. Y., Gao, Z. Y., & Jin, H. (2024). Tour multi-route planning with matrix-based differential evolution. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation System*, Vol.25, No.9, September 2024. 11753-1176.

การพยากรณ์ปริมาณการเบิกใช้ยา : กรณีศึกษา ศูนย์บริการสาธารณสุขรักษาภิกษุอุทิศ เทศบาลนครหาดใหญ่

Forecasting of Drug Consumption: A Case Study of the Raksa Bhikkhu Uthis Health Service Center, Hat Yai City Municipality

อภิชล ทองมั่ง กำเนิดว้ำ[1] จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล[1*] ชาตรี หอมเขียว[1] วิทยา ศิริคุณ[1] เนติรัฐ พุ่มพวง[1] กรวิชญ์ เพชรวงค์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
E-mail: julaluk.r@rmutsv.ac.th *

Apichon Thongmung Kamnerdwam[1], Julaluk Rodjananugoon[1*], Chatree Homkhiew[1], Witthaya Sririkun[1], Netirat Phumphuang[1], Korawit Phetwong[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya
E-mail: julaluk.r@rmutsv.ac.th *

บทคัดย่อ

การพยากรณ์เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการวางแผนด้านการจัดการยาในหน่วยงานด้านสาธารณสุข ซึ่งการเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์เพื่อความแม่นยำเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน งานนี้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ของปริมาณเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg ของศูนย์บริการสาธารณสุขรักษาภิกษุอุทิศ เทศบาลนครหาดใหญ่ ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณ 3 วิธี ประกอบด้วย ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ โมเดลแบบบวก วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น และวิธีบอกซ์-เจนกินส์ โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 เป็นข้อมูลตั้งแต่ ข้อมูลเดือน มกราคม 2563 ถึง ธันวาคม 2566 จำนวน 48 เดือน เพื่อหาตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม สำหรับข้อมูลชุดที่ 2 คือ ข้อมูลตั้งแต่ เดือน มกราคม ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2567 จำนวน 5 เดือน เพื่อหาช่วงเวลาการพยากรณ์ล่วงหน้าที่เหมาะสม โดยตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ ด้วยตัวชี้วัดค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย ผลการวิจัยพบว่า การพยากรณ์ด้วยตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมที่สุด และวิธีนี้เหมาะสำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้า 5 เดือน ซึ่งหน่วยงานกรณีศึกษาหรือหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปปรับใช้ในการวางแผนและบริหารจัดการปริมาณการใช้ยาในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: การพยากรณ์ ยา ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น และวิธีบอกซ์-เจนกินส์

Abstract

Forecasting is crucial for planning drug management in public health agencies. Comparing forecasting techniques for accuracy is one approach to enhancing operational efficiency. The objective of this research is to compare the forecasting techniques for the consumption of Simvastatin tab 40 mg at the Raksa Bhikkhu Uthis Health Service Center, Hat Yai City Municipality, by applying three quantitative forecasting techniques including: Holt-Winters seasonal model, double exponential smoothing model, and Box-Jenkins method. The data were divided into two sets: Set 1 consists of data from January 2020 to December 2023 (48 months) to find the appropriate forecasting model. Set 2 consists of data from January to May 2024 (5 months) to determine the appropriate forecasting period. The accuracy of the forecast is evaluated using performance indicators, including the percentage of mean absolute error (MAPE) and the mean absolute deviation (MAD). The results of the study revealed that forecasting using the Holt-Winters seasonal model was the most suitable method, and this method was most appropriate for forecasting a 5-month period. The case study agency or other relevant organizations can apply this approach to planning and managing future drug consumption.

Keywords: forecasting, drug, Holt-Winters method, Double Exponential Smoothing Method, Box-Jenkins Method

1. บทนำ

ศูนย์บริการสาธารณสุขรักษาภิกษุอุทิศ เทศบาลนครหาดใหญ่ เป็นสถานที่ให้บริการรักษาสุขภาพเบื้องต้นแก่ประชาชนในชุมชนในพื้นที่ 13 ชุมชนในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ได้แก่ ชุมชนรัตนอุทิศ ชุมชนเกาะเลียบ ชุมชนสถานี 2 ชุมชนสามทหาร ชุมชนต้นโด ชุมชนท่าไทร ชุมชนสถานีอู่ตะเภา ชุมชนหน้าโรงเหล้าสรรพสามิตร ชุมชนสัจจกุล ชุมชนรัชมังคลาภิเษก ชุมชนบ้านฉาง ชุมชนบางหัก และชุมชนสถานีอู่ตะเภา โดยมีการให้บริการการปฐมพยาบาลเบื้องต้น การเฝ้าระวัง คัดกรองสุขภาพ การให้คำแนะนำด้านสุขภาพ ดูแลผู้ป่วยติดเตียง เป็นต้น เมื่อประชาชนมีอาการเจ็บป่วย จำเป็นต้องได้รับการรักษาพยาบาล ดังนั้นยาจึงเป็นสินค้าอุปโภคและบริโภคที่มีความสำคัญและแนวโน้มความต้องการที่เพิ่มขึ้น จากปัจจัยการเปลี่ยนแปลงของประชากร สภาพเศรษฐกิจ การพัฒนาเทคโนโลยีทางการแพทย์ การเปลี่ยนแปลงของโรคระบาด เป็นต้น ส่งผลให้ความต้องการบริโภคยาและเวชภัณฑ์ มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในการบริหารการดำเนินงานของศูนย์บริการสาธารณสุขรักษาภิกษุอุทิศ เทศบาลนครหาดใหญ่ ให้มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการรักษาสุขภาพของประชาชนและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ต่ำ จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการพยากรณ์ที่เป็นกระบวนการแรกที่ให้ข้อมูลความต้องการใช้ยาที่แม่นยำสำหรับการตัดสินใจในการวางแผน

ในการบริหารโรงพยาบาลหรือสาธารณสุขเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการอย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องมีการวางแผน และควบคุมการดำเนินการที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในส่วนของกระบวนการจัดหาทรัพยากรที่จำเป็น เช่น ยา อุปกรณ์ทางการแพทย์ หรือการให้บริการต่าง ๆ ซึ่งการพยากรณ์ความต้องการที่แม่นยำจะช่วยให้สามารถวางแผนการจัดการได้อย่างเหมาะสมและช่วยลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการขาดแคลนหรือการเก็บของคงคลังที่มากเกินไปจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ในปัจจุบันการพยากรณ์ความต้องการยาในโรงพยาบาลได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากเป็นทรัพยากรที่สำคัญ โดยมีนักวิจัยได้นำเทคนิคการพยากรณ์ที่หลากหลายเพื่อพัฒนาการพยากรณ์ความต้องการยา อาทิ อนุพงษ์ พึ่งศักดิ์ [1] ศึกษาการพยากรณ์การใช้ยาของโรงพยาบาลพระนครศรีอยุธยา พบว่า ผลการพยากรณ์อุปสงค์การใช้ยาที่มีรูปแบบ Horizontal มี 39 รายการ เทคนิคพยากรณ์ที่ควรใช้คือ Single Moving Average รูปแบบของอุปสงค์ที่มีการใช้รองลงมา คือแบบ Trend มี 31 รายการ ควรใช้เทคนิคพยากรณ์ที่ Double Moving Average ต่อมา ปิยะพันธ์ จำเริญขจรสุข และ อารีวรรณ เชี่ยวชาญวัฒนา [2] พบว่าวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลชั้นเดียวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การปรับเรียบ 0.9 เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการจัดซื้อยาที่เป็นแบบไร้รูปแบบ โดยมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) คือ 19% ส่วนสุพิชญา พันธุมจินดา [3] พบว่าวิธีที่เหมาะสมในการพยากรณ์ยอดขายยาที่เป็นรูปแบบแนวโน้มและฤดูกาลของยาชนิดที่ 1-3 คือตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ นอกจากนี้ Yuxuan Han [4] ได้ศึกษาการปรับปรุงความแม่นยำของการพยากรณ์ยอดขายยาโดยเปรียบเทียบระหว่าง โมเดล ARIMA, โครงข่ายประสาทเทียมประเภท Long Short-Term Memory (LSTM) และ โมเดล ARIMA ร่วมกับ LSTM ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าโมเดล ARIMA ร่วมกับ LSTM มีความแม่นยำในการพยากรณ์ที่สูงกว่าและสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น จากการศึกษาของ İMECE S. and BEYCA Ö.F. [5] ได้ศึกษาการพยากรณ์ยอดขายในอุตสาหกรรมยา ใช้โมเดลทำนาย 4 รูปแบบ ได้แก่ Holt Winters, Ridge Regression, Random Forest และ Xgboost และเปรียบเทียบการรวมโมเดลในรูปแบบไบนารี, สามตัว และสี่ตัว กับผลลัพธ์ของโมเดลเดี่ยวๆ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง Ensemble ซึ่งรวมแบบจำลองการรวมโมเดลด้วยกัน มีความผิดพลาดในการพยากรณ์ต่ำสุด โดยเฉพาะโมเดล Random Forest ที่ให้ค่า RMSPE ที่ต่ำที่สุดที่ 15.7% และการรวมโมเดล Holt Winters & Xgboost มีค่า RMSPE ที่ต่ำที่สุดที่ 10.7% ซึ่งจะเห็นได้ว่า การรวมโมเดลหลายตัวช่วยเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ได้ นอกจากนี้ ได้มีการนำเทคนิค การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และการเรียนรู้ลึก (Deep Learning) มามีบทบาทในการพยากรณ์ยา Chenggong Yu [6] ได้ศึกษาการออกแบบแบบจำลองการพยากรณ์การขายยาโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยเปรียบเทียบระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมแบบดั้งเดิม และเพื่อประยุกต์ในสถานการณ์จริง โดยใช้วิธี Traditional BPNN, วิธี AdaBoost-ELM, วิธี Support vector machine และวิธี PSONN ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง PSONN มีความแม่นยำในการทำนายถึงร้อยละ 96.14 ซึ่งสูงกว่าแบบจำลอง BP แบบเดิมถึงร้อยละ 12.78 แบบจำลองที่ได้รับการปรับปรุงแล้วสามารถใช้เพื่อคาดการณ์การขายยาได้ในทางปฏิบัติและเป็นไปได้

ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีวิธีการพยากรณ์ที่นักวิจัยหลายท่านนำมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ข้อมูล อาทิ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบเอ็กซ์โปเนนเชียลชั้นเดียว (Exponential Moving Average), วิธีปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลสองชั้น (Double Exponential smoothing), วิธีการพยากรณ์แบบแยกส่วน) ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Method), วิธีบอกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method), วิธีการวิเคราะห์ถดถอย และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า วิธีบอกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method), ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters Method) เหมาะกับข้อมูลที่มีอนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาการพยากรณ์ต้องการใช้ยา Simvastatin tab 40 mg ของศูนย์บริการสาธารณสุขรักษาภิกษุอุทิศ เทศบาลนครหาดใหญ่ ที่ให้ผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำ เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการจัดซื้อยาได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ของปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg ซึ่งเป็นยาลดไขมันใน

เลือด ของศูนย์บริการสาธารณสุขรักษาภิกษุอุทิศ เทศบาลนครหาดใหญ่ ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณ 3 วิธี ประกอบด้วย ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ โมเดลแบบบวก วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น และวิธีบอกซ์-เจนกินส์

3. ขอบเขตการศึกษาวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็น ข้อมูลปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg (ยาลดไขมันในเลือด) ของศูนย์บริการสาธารณสุขรักษาภิกษุอุทิศ ตั้งแต่ มกราคม 2563 ถึง ธันวาคม 2567 โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) ข้อมูลเดือน มกราคม 2563 ถึง ธันวาคม 2566 เพื่อหาตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม 2) ข้อมูลเดือน มกราคม – พฤษภาคม 2567 เพื่อนำไปเปรียบเทียบตัวแบบกับช่วงเวลาที่เหมาะสมในการพยากรณ์ของตัวแบบการพยากรณ์

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูลอนุกรมเวลา เพื่อศึกษาว่าข้อมูลอนุกรมเวลา มีอิทธิพลการเคลื่อนไหวของข้อมูลเป็นอนุกรมเวลาแบบใด โดยพิจารณาจากกราฟอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา

2. การพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น [7] วิธีการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น วิธีการพยากรณ์นี้ได้เปรียบกว่าวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลชั้นเดียว เนื่องจากเหมาะกับข้อมูลที่มีแนวโน้ม (Trend) หรือการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในลักษณะเพิ่มขึ้นหรือลดลงในช่วงเวลาต่อเนื่อง โดยมีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

1) การปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลอย่างง่าย

$$S_t^{'} = \alpha X_t + (1-\alpha) S_{t-1}^{'} \quad (1)$$

2) การปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น

$$S_t^{''} = \alpha S_t^{'} + (1-\alpha) S_{t-1}^{''} \quad (2)$$

3) คำนวณค่า a และ b จากสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$a_t = 2S_t^{'} - S_t^{''} \quad (3)$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha}\left(S_t^{'} - S_t^{''}\right) \quad (4)$$

4) คำนวณค่าพยากรณ์จากสมการที่ (5)

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad (5)$$

3. การพยากรณ์ด้วยตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ โมเดลแบบบวก [8] เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม หรือฤดูกาล แต่การพยากรณ์วิธีนี้จะต้องใช้ข้อมูลประกอบการพยากรณ์ 2 ฤดูกาลขึ้นไป ซึ่งการคำนวณ ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ จะปรับการพยากรณ์โดยใช้ 3 ส่วน ประกอบด้วย

1) การระดับ (Level): คำนวณค่าระดับพื้นฐานของข้อมูลในช่วงเวลาปัจจุบัน

$$L_t = (Y_t - S_{t-m}) + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (6)$$

2) การปรับแนวโน้ม (Trend): คำนวณการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในระยะยาว (การเพิ่มขึ้นหรือลดลง)

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \quad (7)$$

3) การปรับฤดูกาล (Seasonality): คำนวณการผันผวนตามช่วงเวลา เช่น การเปลี่ยนแปลงของยอดขายในแต่ละเดือนหรือแต่ละฤดูกาล

$$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1-\gamma)S_{t-m} \quad (8)$$

เมื่อคำนวณค่า Level, Trend, และ Seasonality แล้ว สามารถคำนวณการพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตด้วยสมการที่ (9)

$$F_{t+h} = L_t + hT_t + S_{t+m-h} \quad (9)$$

เมื่อ Y_t คือ ค่าของข้อมูลที่เวลา t
L_t คือ ค่าระดับในเวลาที่ t
T_t คือ ค่าแนวโน้มในเวลาที่ t
S_t คือ ค่าฤดูกาลในเวลาที่ t
m คือ จำนวนช่วงเวลาของฤดูกาล (เช่น 12 เดือนสำหรับข้อมูลรายเดือนในกรณีที่มีฤดูกาลรายปี)
h คือ จำนวนช่วงเวลาล่วงหน้าที่เราต้องการพยากรณ์

4. การพยากรณ์ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์

การพยากรณ์ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล โดยตัวแบบของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ เรียกว่า ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) แสดงดังสมการที่ (10) [9]

$$(1-\phi_1 B-\ldots-\phi_p B^p)(1-\Phi_1 B^s-\ldots \Phi_p B^{Ps})(1-B)^d(1-L)^D Z_t = (1-\theta_1 B-\ldots-\theta_q B^q)(1-\Theta_1 B^s-\ldots-\Theta_Q B^{Qs})a_t \quad (10)$$

เมื่อ $(1-\phi_1 B-...-\phi_p B^p)$ คือ การถดถอยด้วยตัวเองแบบไม่มีฤดูกาล AR(p)

$(1-\Phi_1 B^s-...-\Phi_p B^{Ps})$ คือ การถดถอยด้วยตัวเองแบบมีฤดูกาล AR(P)

$(1-B)^d$ คือ อันดับของผลต่างแบบไม่มีฤดูกาล

$(1-L)^D$ คือ อันดับของผลต่างแบบมีฤดูกาล

$(1-\theta_1 B-...-\theta_q B^q)$ คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาล MA(q)

$(1-\Theta_1 B^s-...-\Theta_Q B^{Qs})$ คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีฤดูกาล MA(Q)

Z_t คือ อนุกรมเวลา ณ เวลา t

a_t คือ ความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

5. การตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์

การพิจารณาความแม่นยำของการพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์ต่างๆ โดยนำข้อมูลปริมาณเบิกใช้ยาจริง เปรียบเทียบกับข้อมูลผลการพยากรณ์ โดยดัชนีที่ใช้วัดความแม่นยำของการพยากรณ์และคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ คือ ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) แสดงดังสมการที่ (11) และวิธีค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation : MAD) แสดงดังสมการที่ (12) [10] โดยเทคนิคการพยากรณ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าบ่งชี้ถึงความแม่นยำในการพยากรณ์ที่มากกว่า

$$MAPE = \frac{\sum \left| \text{ค่าจริง} - \text{ค่าพยากรณ์} \right| \div \text{ค่าจริง} \times 100}{n} \quad (11)$$

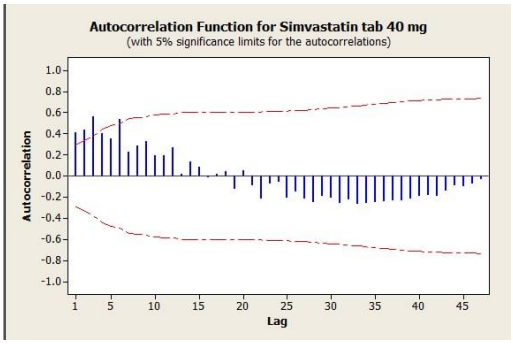
$$MAD = \frac{\sum \left| \text{ค่าจริง} - \text{ค่าพยากรณ์} \right|}{n} \quad (12)$$

5. ผลการวิจัย

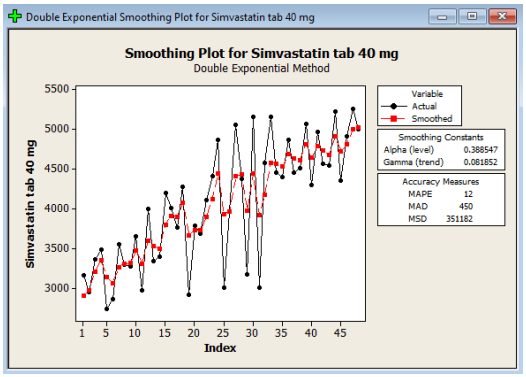
1. ผลการศึกษาการเคลื่อนไหวข้อมูลอนุกรมเวลา

เพื่อศึกษาการเคลื่อนไหวของข้อมูลปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg มีอิทธิพลเนื่องจากแนวโน้ม หรือฤดูกาลหรือไม่ โดยนำปริมาณการเบิกใช้ยาเดือน มกราคม 2563 ถึง ธันวาคม 2566 นำมา วิเคราะห์สหสัมพันธ์ ด้วยโปรแกรม Minitab 16 จากรูปที่ 1 พบว่าการเคลื่อนไหวของข้อมูลอนุกรมเวลามีส่วนประกอบของแนวโน้ม

2. ผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น จากการนำข้อมูลปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg มาพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น (Double Exponential Smoothing)โดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์การพยากรณ์ 2 ค่า ได้แก่ Level (Alpha, α) และ Trend (Gamma, γ) โดยใช้ฟังก์ชัน Optimal ARIMA ของโปรแกรม Minitab 16 ดังรูปที่ 2 พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg คือค่า α = 0.388547 และ γ = 0.081852 ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด โดยค่า MAPE = 12% และ MAD = 450



รูปที่ 1 กราฟแสดงสหสัมพันธ์ ข้อมูลปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg



รูปที่ 2 ผลการพยากรณ์ยา Simvastatin tab 40 mg ด้วยวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น (Double Exponential Smoothing)

3. ผลการพยากรณ์ด้วยตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์

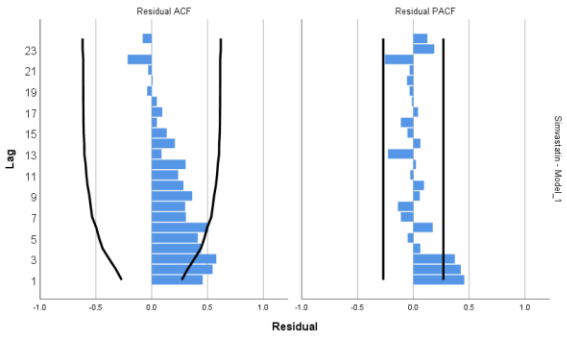
เมื่อนำข้อมูลปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg มาพยากรณ์ด้วยตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ โดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์การพยากรณ์ 3 ค่า ได้แก่ α, β และ γ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.9 จำนวนทั้งหมด 27 ตัวแบบ ผลการทดสอบตัวแบบพยากรณ์ ดังตารางที่ 1 จากการปรับเรียบข้อมูลด้วยค่าคงที่แตกต่างกันจะได้ค่า MAD และMAPE ที่แตกต่างบอกซ์-เจนกินส์กัน ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อเลือกค่าคงที่ปรับเรียบที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ซึ่งพบว่า ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ยา Simvastatin tab 40 mg ด้วยเทคนิคแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ ที่มีค่าปรับเรียบที่ดีที่สุด คือ การใช้พารามิเตอร์ α = 0.2, β = 0.2 และ γ = 0.2 ให้ค่าดัชนีค่าความคลาดเคลื่อน MAD เท่ากับ 373 และค่า MAPE เท่ากับ 10% ซึ่งมีค่าต่ำสุด

4. ผลการพยากรณ์ปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่ไม่คงที่ เมื่อทำการสร้างกราฟ ACF

และกราฟ PACF ตามที่แสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่ากราฟทั้งสองมีความผิดปกติ ซึ่งบ่งชี้ว่าข้อมูลยังไม่เป็น Stationary ดังนั้นจึงได้ทำการแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึม และทำการหาผลต่างอันดับที่ 1 (Difference, d = 1) เพื่อทำให้ข้อมูลเกิดความคงที่ (Stationary) ดังแสดงในรูปที่ 4

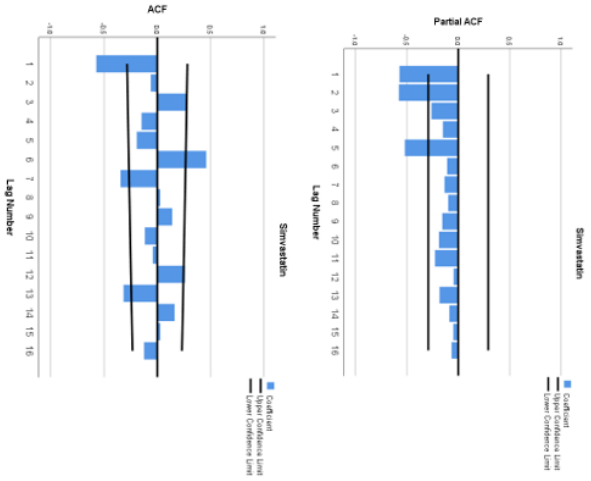
ตารางที่ 1 สรุปผลค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์

α	β	γ	MAPE	MAD
0.2	0.2	0.2	10	373
0.2	0.2	0.5	11	419
0.2	0.2	0.8	12	466
0.2	0.5	0.2	10	395
0.2	0.5	0.5	11	450
0.2	0.5	0.8	13	507
0.2	0.8	0.2	11	414
0.2	0.8	0.5	12	468
0.2	0.8	0.8	13	528
0.5	0.2	0.2	11	429
0.5	0.2	0.5	12	465
0.5	0.2	0.8	13	507
0.5	0.5	0.2	12	463
0.5	0.5	0.5	13	510
0.5	0.5	0.8	14	565
0.5	0.8	0.2	13	507
0.5	0.8	0.5	15	573
0.5	0.8	0.8	16	636
0.8	0.2	0.2	13	492
0.8	0.2	0.5	13	512
0.8	0.2	0.8	14	533
0.8	0.5	0.2	15	566
0.8	0.5	0.5	15	589
0.8	0.5	0.8	16	612
0.8	0.8	0.2	17	642
0.8	0.8	0.5	17	670
0.8	0.8	0.8	18	700

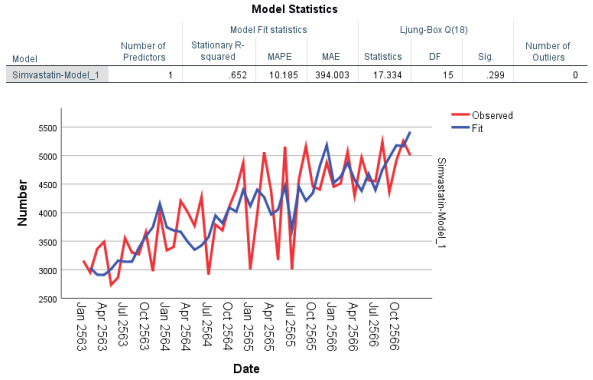


รูปที่ 3 กราฟ ACF และ PACF ของข้อมูลปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg

จากรูปที่ 4 สังเกตได้ว่าค่าสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) ลดลงเข้าสู่ศูนย์อย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงว่าอนุกรมเวลาของผลต่างอันดับที่ 1 (First Difference) เป็น Stationary ตามทฤษฎี Box-Jenkins ตัวแบบที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดคือ ARIMA(1,1,1) (1,0,0) เมื่อนำข้อมูลเข้าสู่การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 26 พบว่าผลการพยากรณ์มีค่า MAPE เท่ากับ 10.185% ค่า MAD เท่ากับ 394.003 และค่า Ljung-Box (Sig) = 0.299 ดังที่แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 กราฟ ACF และ PACF ของข้อมูลปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg ที่ทำการแปลงข้อมูลผลต่างอันดับ (Difference, d) เท่ากับ 1



รูปที่ 5 ผลการพยากรณ์ปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ (Box – Jenkins Method)

จากรูปที่ 5 พบว่าค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบ ARIMA(1,1,0) ให้ค่าประมาณเท่ากับ -0.366 ค่าสถิติทดสอบเท่ากับ -3.131 และค่า P-value เท่ากับ 0.001 นั่นคือ พารามิเตอร์ AR มีความแตกต่างไปจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5. ผลการตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์

ผลการศึกษาและการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ที่ได้ทำการศึกษาทั้ง 3 วิธีเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ข้อมูล ชุดที่ 1 คือข้อมูลปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg ตั้งแต่ เดือนมกราคม 2563 ถึง ธันวาคม 2566 ดังตารางที่ 2 พบว่าการพยากรณ์ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ เหมาะสมที่สุดเนื่องจากให้ค่า MAD เท่ากับ 373 และMAPE เท่ากับ 10% ซึ่งมีความแม่นยำระดับดี

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg

ตัวแบบพยากรณ์	MAD	MAPE(%)
วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น	450	12
ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์	373	10
วิธีบอกซ์-เจนกินส์	394.03	10.19

ดังนั้นจึงทำการนำตัวแบบการพยากรณ์ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ มาทำการคำนวณพยากรณ์ล่วงหน้า 3 และ 5 เดือน เพื่อหาช่วงพยากรณ์ล่วงหน้าที่เหมาะสมที่สุด โดยการหาผลต่างระหว่างค่าพยากรณ์ล่วงหน้ากับข้อมูลจริง ชุดที่ 2 คือข้อมูลปริมาณการเบิกใช้ยาตั้งแต่ เดือนมกราคม – พฤษภาคม 2567 เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่เหมาะสมในการพยากรณ์ของตัวแบบการพยากรณ์ ดังตารางที่ 3 พบว่าการพยากรณ์ล่วงหน้า 5 เดือน ให้ค่า MAD และ MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 419.6 และ 8.91% ตามลำดับซึ่งมีความแม่นยำระดับดี

ตารางที่ 3 ผลการพยากรณ์ล่วงหน้าด้วยตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ของข้อมูลชุดที่ 2

เดือน	ข้อมูล	ค่าพยากรณ์	
		3 เดือน	5 เดือน
ม.ค.-67	4,836	5,320	5,320
ก.พ.-67	4,510	5,103	5,103
มี.ค.-67	5,640	5,220	5,220
เม.ย.-67	4,487		4,969
พ.ค.-67	5,255		5,136
MAD		499	419.6
MAPE		10.19%	8.91%

6. สรุป

จากการดำเนินการพยากรณ์ปริมาณการเบิกใช้ยา Simvastatin tab 40 mg หรือยาลดไขมันในเลือดของศูนย์บริการสาธารณสุขรักษาภิกษุอุทิศ เทศบาลนครหาดใหญ่ โดยงานวิจัยในครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาแบบรายเดือนด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณ 3 วิธี ประกอบด้วย ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ โมเดลแบบบวก วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น และวิธีบอกซ์-เจนกินส์ และใช้ดัชนีในการเปรียบเทียบได้แก่ ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ที่ต่ำที่สุด ผลการพยากรณ์ พบว่า ข้อมูลมีรูปแบบของแนวโน้ม เนื่องจากผู้ป่วยต้องรับยาต่อเนื่องและมีการเพิ่มขึ้นของผู้ป่วยรายใหม่ โดยในการพยากรณ์ควรใช้ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ ที่พารามิเตอร์ α = 0.2, β = 0.2 และ γ = 0.2 เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดโดยมีความแม่นยำระดับดี และเมื่อนำมาพยากรณ์ล่วงหน้า 3 และ 5 เดือน พบว่าตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้า 5 เดือน ซึ่งผลการวิจัยแตกต่างกับงานวิจัยของ อนุพงษ์ พึ่งศักดิ์ [1] ได้ผลการพยากรณ์อุปสงค์การใช้ยาที่มีรูปแบบแนวโน้ม เทคนิคพยากรณ์ที่ควรใช้คือ Double Moving Average นอกจากนี้ สุพิชญา พันธุมจินดา [3] สรุปว่ายอดขายยาที่มีรูปแบบแนวโน้มและฤดูกาล ควรใช้ตัวแบบฤดูกาลของโฮลท์-วินเทอร์ ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปปรับใช้ในการวางแผนและบริหารจัดการปริมาณการเบิกใช้ยาให้กับหน่วยงานที่มีบริบทเดียวกันเพื่อเพิ่มความพึงพอใจผู้ใช้บริการมากขึ้น ทั้งนี้ในการพยากรณ์ปริมาณการเบิกใช้ยาชนิดอื่นที่มีรูปแบบแตกต่างกันอาจให้ผลการพยากรณ์ที่คลาดเคลื่อนดังนั้นควรศึกษาวิธีการพยากรณ์ใหม่ที่เหมาะสมสำหรับยาชนิดนั้นๆ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์บริการสาธารณสุขรักษาภิกษุอุทิศ เทศบาลนครหาดใหญ่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] อนุพงษ์ พึ่งศักดิ์. 2558. “ความถูกต้องและประสิทธิผลของการพยากรณ์อุปสงค์สำหรับการบริหารคลังยา.” เภสัชศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางเภสัชกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม

[2] ปิยะพันธ์ จำเริญขจรสุข และ อารีวรรณ เชี่ยวชาญวัฒนา. 2564. “การพยากรณ์ปริมาณการจัดซื้อยา: กรณีศึกษาโรงพยาบาลชุมชนแห่งหนึ่ง.” วารสารเภสัชกรรมไทย, ปีที่ 14, ฉบับที่ 3: 770-778.

[3] สุพิชญา พันธุมจินดา. 2564.การกำหนดเป้าหมายยอดขายที่เหมาะสม ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา : กรณีศึกษายาของบริษัทยาแห่งหนึ่ง.” วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, กรุงเทพมหานคร

[4] H. Yuxuan Han, A Forecasting Method of Pharmaceutical Sales Based on ARIMA-LSTM Model, 5th International Conference on Information Science, Computer Technology and Transportation (ISCTT), 13-15 Nov 2020, China

[5] I. Salih and F.B. Ömer. 2022. “Demand Forecasting with Integration of Time Series and Regression Models in Pharmaceutical Industry”. International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences, Vol. 34 (3): 415-425.

[6] Y. Chenggong. 2022. “Design of Drug Sales Forecasting Model Using Particle Swarm Optimization Neural Networks Model”. Computational Intelligence and Neuroscience, Vol. 2022 (1): 1-9.

[7] ชุมพล ศฤงคารศิริ. การวางแผนและควบคุมการผลิต, พิมพ์ครั้งที่ 19, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2552

[8] ปิยะพันธ์ จำเริญขจรสุข และ อารีวรรณ เชี่ยวชาญวัฒนา. 2564. “การพยากรณ์ปริมาณการจัดซื้อยา: กรณีศึกษาโรงพยาบาลชุมชนแห่งหนึ่ง. วารสารเภสัชกรรมไทย, ปีที่ 14, ฉบับที่ 3: 770-778.

[9] กมลพรรณ เฉลิมวงศ์, การพยากรณ์ราคาสุกรชำแหละเนื้อแดงสะโพก ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินซ์, รายงายวิจัย สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2556.

[10] บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. การวางแผนและควบคุมการผลิต, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ท้อป. 2552

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา สถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง

Organizational Carbon Footprint Assessment and Greenhouse Gas Emission Reduction A Case Study of Fuel and Gas Station

ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม[1*] จงรักษ์ สมใจ[2] นพณัช พวงมาลี[3] นพนันต์ เมืองเหนือ[3]
[1]ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2]ภาควิชาบริหารธุรกิจอุตสาหกรรมและการค้า คณะคณะบริหารธุรกิจและอุตสาหกรรมบริการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
E-mail: narongrit.s@itm.kmutnb.ac.th*

Narongrit Sonjaitham[1*], Jongruk Somjai[2] Noppanuch Puangmalee[3] Noppanan Muangnuae[3]
[1]Department of Industrial Management, Faculty of Industrial and Technology Management, KMUTNB.
[2] Department of Industrial Business Administration and Trade, Faculty of Business Administration and Service Industry, KMUTNB.
[3]Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University.
E-mail: narongrit.s@itm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของสถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา ตามแนวทางขององค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก จากการศึกษาพบว่า สถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษามีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 14,801,355.43 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2e$) โดยจำแนกกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กรเท่ากับ 3,978.80 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 0.03 ประเภทที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานไฟฟ้า 34,357.63 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 0.23 และประเภทที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ 14,763,019.00 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 99.74 และเมื่อพิจารณากิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเภทต่างๆ เพื่อกำหนดแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่า การปรับเปลี่ยนการใช้บริการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากรถบรรทุก 10 ล้อ เป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ เพื่อลดจำนวนเที่ยวรถการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง (Inbound) สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้และไม่กระทบต่อการให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิง โดยสามารถลดจำนวนเที่ยวรถขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากเดิม 272 เที่ยว ลดลงเหลือเพียง 157 เที่ยว ซึ่งส่งผลทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงประมาณ 14,580 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 11.8 ของกิจกรรมการขนส่งและต้นทุนการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงประมาณ 324,862 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 12.5 โดยการดำเนินกิจกรรมการปรับปรุงดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อการให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงของสถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นขององค์กร, ก๊าซเรือนกระจก, คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า, สถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง

Abstract

This study assesses the carbon footprint of a fuel and gas station case study, following the guidelines of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO). The results indicate that the total greenhouse gas (GHG) emissions from the station amount to 14,801,355.43 $kgCO_2e$, categorized into three scopes: Scope 1, direct emissions from the organization (3,978.80 $kgCO_2e$, 0.03%); Scope 2, indirect emissions from electricity consumption (34,357.63 $kgCO_2e$, 0.23%); and Scope 3, other indirect emissions (14,763,019.00 $kgCO_2e$, 99.74%). To identify emission reduction strategies, the study evaluates the impact of replacing 10-wheel fuel transport trucks with 22-wheel semi-trailer trucks, reducing the number of inbound fuel delivery trips from 272 to 157. This adjustment leads to a GHG emission reduction of 14,580 $kgCO_2e$ (11.8% of transportation activities) and an estimated transportation cost reduction of 324,862 THB (12.5%). The implementation of these improvements does not affect the fuel service operations of the case study fuel and gas station.

Keywords: Carbon Footprint of Organization (CFO), Greenhouse Gas (GHG), Carbon Dioxide Equivalent (CO_2e), Fuel and Gas Station.

1. บทนำ

ภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัญหาระดับโลกที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตของประชาชนในทุกภูมิภาค โดยมีสาเหตุหลักจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจและการบริโภคของมนุษย์ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases (GHG)) สู่ชั้นบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง เพื่อบรรเทาปัญหานี้ ประชาคมโลกจึงได้ร่วมกันกำหนดแนวทางภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) โดยมีเป้าหมายหลักในการจำกัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกให้อยู่ในระดับไม่เกิน 2°C หรือจำกัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศไม่ให้เกิน 450 ส่วนในล้านส่วน (ppm) เมื่อเทียบกับยุคก่อนอุตสาหกรรมในศตวรรษที่ 18 [1] จึงนับเป็นจุดเริ่มต้นที่นำไปสู่มาตรการจำกัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย โดยการตรวจวัดรายงานผลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุกระดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับองค์กร ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้องค์กรผู้มีส่วนได้ส่วนเสียมีส่วนร่วมกำหนดแนวทางการลดGHGที่แหล่งกำเนิดสำคัญของตนได้ ซึ่งแนวทางดังกล่าวนำไปสู่การพัฒนา คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint of Organization: CFO) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินปริมาณการปล่อยและการดูดกลับGHGที่เกิดจากกิจกรรมขององค์กร โดยแบ่งแหล่งปล่อย GHG ที่เกิดจากกิจกรรมขององค์กรออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 การปล่อย GHG ทางตรงขององค์กร, ประเภทที่ 2 การปล่อย GHG ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน และประเภทที่ 3 การปล่อย GHG ทางอ้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับซัพพลายเชน โดยแสดงผลในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้กำหนดแนวทางการบริหารจัดการ ลดการใช้พลังงานและลดการปล่อย GHG ในแหล่งกำเนิดที่สำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพการลด CFO จึงเป็นกลยุทธ์สำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างความสามารถในการแข่งขันขององค์กร ในปี 2567 ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซ CO2 จากการใช้พลังงาน 245.7 ล้านตัน เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.0 โดยภาคการผลิตไฟฟ้ามีการปล่อย CO2 สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 38 ซึ่งเพิ่มขึ้น ร้อยละ 5.1 เมื่อเทียบกับปีก่อน ส่วนภาคขนส่ง คิดเป็นร้อยละ 34 และภาคเศรษฐกิจอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 5 ซึ่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ร้อยละ 0.5 ขณะที่ภาคอุตสาหกรรม คิดเป็นร้อยละ 23 ซึ่งลดลง ร้อยละ 4.5 สะท้อนแนวโน้มการใช้พลังงานและความจำเป็นในการลด CO2 ในภาคส่วนที่มีการปล่อยสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการผลิตไฟฟ้าและการขนส่ง [2] ธุรกิจการให้บริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นธุรกิจหนึ่งที่มีกิจกรรมการปล่อย GHG ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้า การขนส่งน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง เป็นต้น ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและการลดการปล่อย GHG ในธุรกิจการให้บริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง กรณีศึกษา ซึ่งเป็นสถานีให้บริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงขนาดกลาง ซึ่งมีพื้นที่ให้บริการประมาณ 5,000 ตารางเมตร โดยมีปริมาณการจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 5.6 ล้านลิตรต่อปี และก๊าซเชื้อเพลิง (LPG) ประมาณ 80 ตันต่อปี ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้จะช่วยให้องค์กรสามารถพัฒนากลยุทธ์เพื่อลดการปล่อย GHG ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. หลักการการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

2.1 หลักการแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร [1]

การแสดงปริมาณ GHG ที่ถูกปล่อยจากกิจกรรมขององค์กร หรือค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรจะต้องอยู่บนพื้นฐานของหลักการที่สำคัญ 5 ประการ ได้แก่

1. ความตรงประเด็น (Relevance) คัดเลือกแหล่งปล่อย กักเก็บข้อมูล และระเบียบวิธีที่เหมาะสมกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย
2. ความสมบูรณ์ (Completeness) รวมการปล่อยและดูดกลับ GHG ทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง
3. ความไม่ขัดแย้งกัน (Consistency) สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบแล้วไม่ขัดแย้ง สอดคล้อง เชื่อมโยง และเทียบเคียงกันได้
4. ความถูกต้อง (Accuracy) ลดอคติ และความไม่แน่นอนให้มากที่สุดเท่าที่จะปฏิบัติได้
5. ความโปร่งใส (Transparency) เปิดเผยข้อมูลอย่างเพียงพอและเหมาะสม เพื่อสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจได้อย่างเหมาะสม

2.2 ขอบเขตการจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจก [1]

บัญชีรายการปริมาณ GHG ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. การกำหนดขอบเขตขององค์กร (Organization Boundaries) ซึ่งอาจประกอบด้วยหน่วยผลิตหนึ่งระบบหรือมากกว่า โดยมีแหล่งปล่อย GHG หนึ่งแหล่งหรือมากกว่า ขอบเขตขององค์กรสามารถทำได้โดยวิธีการแบบใดแบบหนึ่งดังนี้ (1) แบบควบคุม (Control Approach) องค์กรจัดทำบัญชีการปล่อย GHG ที่ปล่อยจากระบบที่มีการควบคุมการดำเนินงาน (Operational Control) หรือ ควบคุมทางด้านการเงิน (Financial Control) และ (2) แบบการแบ่งตามกรรมสิทธิ์ (Equity Share) องค์กรจัดทำบัญชีการปล่อย GHG ที่ปล่อยจากระบบตามสัดส่วนของลักษณะการร่วมลงทุน

2 ขอบเขตของการรายงาน (Reporting boundaries) องค์กรต้องกำหนดขอบเขตการรายงาน รวมถึงชี้บ่งแหล่งปล่อย GHG ที่สัมพันธ์กับการดำเนินกิจกรรมขององค์กร ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 การปล่อย GHG ทางตรงขององค์กร (Direct GHG Emission) เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง การเกิดปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการผลิตที่มีองค์ประกอบของ GHG เป็นต้น และต้องมีการรายงานปริมาณแยกชนิดของ GHG ในรายงานการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 7 ชนิด เป็นอย่างน้อย ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และ

ไนโตรเจน ไตรฟลูออไรด์ (NF_3) และแปลงปริมาณ GHG แต่ละชนิดให้อยู่ในหน่วยกิโลกรัม/ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential : GWP) ตามกรอบเวลา 100 ปี

ประเภทที่ 2 การปล่อย GHG ทางอ้อมจากการใช้พลังงานที่นำเข้ามาจากหน่วยงานภายนอก (Energy Indirect GHG Emission) เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำ พลังงานความร้อน เป็นต้น

ประเภทที่ 3 การปล่อย GHG ทางอ้อมอื่น ๆ (Other Indirect GHG Emission) ได้แก่ ปริมาณ GHG ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ นอกเหนือจากที่ระบุในประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 เช่น การใช้บริการรถขนส่งจากหน่วยงานภายนอก

3. การคำนวณการปล่อย GHG สามารถคำนวณจากการใช้ข้อมูลกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในองค์กรมาคูณกับค่าการปล่อย GHG ซึ่งจะแสดงผลในหน่วยของ กิโลกรัม/ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO2e) ดังสมาการที่ 1 [1]

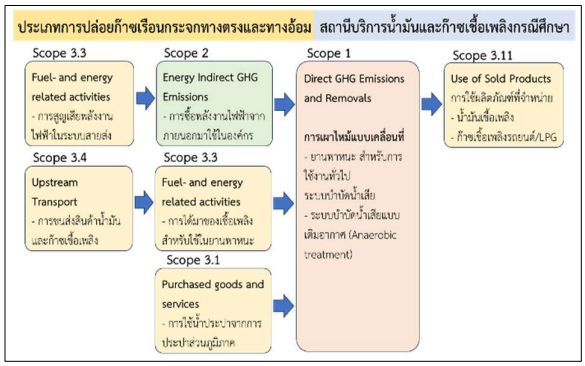
ปริมาณ GHG = ข้อมูลกิจกรรม X ค่าการปล่อย GHG (1)

3. วิธีการดำเนินการศึกษา

1. กำหนดขอบเขตของสถานบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา โดยเลือกใช้วิธีการกำหนดขอบเขตด้วยวิธีการแบบควบคุม (Control Approach) และจัดทำบัญชีการปล่อย GHG ที่ปล่อยจากระบบที่มีการควบคุมการดำเนินงาน (Operational Control) โดยขอบเขตของสถานบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา ประกอบด้วย ส่วนสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนสถานีบริการก๊าซเชื้อเพลิง (LPG) ส่วนสำนักงานและส่วนให้บริการสุขา โดยกิจกรรมการดำเนินงานทั้งหมดของสถานบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา จะถูกพิจารณานำมาคำนวณหาปริมาณการปล่อย GHG ในรูปแบบของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) โดยใช้ข้อมูลจำนวน 12 เดือน

2. กำหนดขอบเขตของการรายงาน สถานบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา ดำเนินการพิจารณาและกำหนดแหล่งปล่อย GHG ที่สัมพันธ์กับการดำเนินกิจกรรมขององค์กรตามประเภทต่างๆ คือ ประเภทที่ 1 กิจกรรม/แหล่งที่ก่อให้เกิดการปล่อย GHG โดยตรง, ประเภทที่ 2 กิจกรรม/แหล่งที่ก่อให้เกิดการปล่อย GHG โดยอ้อมจากการใช้พลังงานที่นำเข้ามาจากหน่วยงานภายนอกองค์กร และประเภทที่ 3 กิจกรรม/แหล่งที่ก่อให้เกิดการปล่อย GHG โดยอ้อมอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

3. พิจารณากิจกรรมการปล่อย GHG ร่วมกับผู้ประกอบการ เพื่อวิเคราะห์แนวทางในการลดปริมาณการปล่อย GHG ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยกิจกรรมการบำบัดน้ำเสียเป็นแบบเติมอากาศ (Anaerobic treatment) และมีระบบการควบคุมการเติมอากาศและการตรวจวัดคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งไม่มีการปล่อย GHG หรือมีน้อยมาก จึงพิจารณาไม่นำกิจกรรมดังกล่าวมาประมาณการการปล่อย GHG ขององค์กร



รูปที่ 1 กิจกรรมการปล่อย GHG ขององค์กร

4. พิจารณาแนวทางการลดการปล่อย GHG ร่วมกับผู้ประกอบการเพื่อกำหนดเป็นกิจกรรมการปรับปรุง โดยกิจกรรมดังกล่าวต้องไม่ส่งผลกระทบต่อการให้บริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงของสถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา

5. ดำเนินกิจกรรมการปรับปรุงที่ได้รับการพิจารณาให้ดำเนินการปรับปรุง ตามแนวทางการลดปริมาณการปล่อย GHG

6. สรุปผลการดำเนินกิจกรรมการปรับปรุง ในด้านการลดการปล่อย GHG และลดต้นทุนการดำเนินงานทางธุรกิจ

ตารางที่ 1 ประเภทและกิจกรรมการปล่อย GHG และแหล่งที่มาของข้อมูล

ประเภท	กิจกรรม	แหล่งที่มาของข้อมูล
ประเภทที่ 1	การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ	รายการเบิกน้ำมันเชื้อเพลิง
ประเภทที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	ใบแจ้งการใช้ไฟฟ้า
ประเภทที่ 3	การใช้น้ำประปา	ใบแจ้งการใช้น้ำประปา
	การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้ในยานพาหนะ	รายการเบิกน้ำมันเชื้อเพลิง
	การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบสายส่ง	ใบแจ้งการใช้ไฟฟ้า
	การขนส่งน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงมาเพื่อจำหน่าย	ใบส่งสินค้า
	การใช้น้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงที่จำหน่าย	รายการจำหน่ายน้ำมันและก๊าซเชื้อพลิง

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของสถานีบริการน้ำมันและก๊าซซื้อเพลิงกรณีศึกษา ปี 2566

กิจกรรม	หน่วย	ปริมาณ	ค่า EF ($kgCO_2e$/หน่วย)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e$)	ร้อยละ	ร้อยละ (ประเภทที่ 1+2+3)
ประเภทที่ 1						
การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ						
- ดีเซล B7	L	894.42	2.7406 [3]	2,451.25	61.61	0.02
- เบนซิน E20	L	672.37	2.2719 [3]	1,527.56	38.39	0.01
			รวม	**3,978.80**	**100.00**	**0.03**
ประเภทที่ 2						
การใช้พลังงานไฟฟ้า	kWh	68,729.00	0.4999 [3]	34,357.63	100.00	0.23
			รวม	**34,357.63**	**100.00**	**0.23**
ประเภทที่ 3						
การใช้น้ำประปา	m^3	3,645	0.5410 [4]	1,971.95	0.01	0.01
การผลิตน้ำมันสำหรับใช้ในยานพาหนะ						
- ดีเซล B7 (0.8314 kg/L) [5]	kg	743.62	0.3522 [4]	261.90	0.00	0.00
- เบนซิน E20 (0.7562 kg/L) [5]	kg	508.45	0.4022 [4]	204.50	0.00	0.00
การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากสายส่ง	kWh	68,729	0.0987 [4]	6,783.55	0.05	0.05
การขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงมาเพื่อจำหน่าย						
- รถบรรทุก 10 ล้อ (เที่ยวส่ง)	tkm	1,091,484.74	0.0533 [4]	58,176.14	0.39	0.39
- รถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ (เที่ยวส่ง)	tkm	280,603.26	0.0459 [4]	12,879.69	0.09	0.09
- รถบรรทุก 10 ล้อ (เที่ยวกลับ)	km	74,115.00	0.5900 [4]	43,727.85	0.30	0.30
- รถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ (เที่ยวกลับ)	km	8,845.00	1.0206 [4]	9,027.21	0.06	0.06
การขนส่งก๊าซเชื้อเพลิงมาเพื่อจำหน่าย						
- รถบรรทุก 10 ล้อ (เที่ยวส่ง)	tkm	20,827.59	0.0972 [4]	2,024.44	0.01	0.01
- รถบรรทุก 10 ล้อ (เที่ยวกลับ)	km	2,583.00	0.5900 [4]	1,523.97	0.01	0.01
การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่าย						
- ดีเซล (พรีเมี่ยม)	L	5,158.52	2.7406 [3]	14,137.56	0.10	0.10
- ดีเซล B7	L	3,619,915.77	2.7406 [3]	9,920,825.16	67.20	67.03
- เบนซิน G95	L	1,037,951.75	2.2719 [3]	2,358,134.62	15.97	15.93
- เบนซิน G91	L	512,362.30	2.2719 [3]	1,164,041.85	7.88	7.86
- เบนซิน E20	L	402,791.31	2.2719 [3]	915,106.25	6.20	6.18
การใช้ก๊าซเชื้อเพลิง (LPG) ที่จำหน่าย	kg	79,313.66	3.2049 [3]	254,192.36	1.72	1.72
			รวม	**14,763,019.00**	**100.00**	**99.74**
			รวม (ประเภทที่ 1+2+3)	**14,801,355.43**		**100.00**

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

การปล่อย GHG ของสถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา มีปริมาณการปล่อย GHG รวมทั้งสิ้น 14,801,355.43 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2e$) โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ประกอบด้วย ประเภทที่ 1 การปล่อย GHG โดยตรง เท่ากับ 3,978.80 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 0.03 ประเภทที่ 2 การปล่อย GHG ทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 34,357.63 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 0.23 และประเภทที่ 3 การปล่อย GHG ทางอ้อมอื่นๆ เท่ากับ 14,763,019.00 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 99.74 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่ากิจกรรมการปล่อย GHG จากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่จำหน่าย (น้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง) มีการปล่อย GHG มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 98.82 ของการปล่อย GHG ทั้งองค์กร รองลงมาคือกิจกรรมการขนส่งน้ำมันและและก๊าซเชื้อเพลิง จากคลังน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงมายังสถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา คิดเป็นร้อยละ 0,86 ของการปล่อย GHG ทั้งองค์กร

4.2 ผลการดำเนินกิจกรรมการปรับปรุง

จากผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นขององค์กร ของสถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง คณะผู้ศึกษาได้ระดมความเห็นร่วมกับผู้ประกอบการ เพื่อกำหนดกิจกรรมและแนวทางการลดการปล่อย GHG โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและข้อจำกัดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งคณะผู้ศึกษาและผู้ประกอบการได้มีความเห็นร่วมกันในการพิจารณานำกิจกรรมการปรับเปลี่ยนการใช้บริการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากรถบรรทุก 10 ล้อ เป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ เพื่อลดจำนวนเที่ยวรถการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถนำมาปฏิบัติได้ทันที และมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถลดการปล่อย GHG และค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงได้

ตารางที่ 3 การพิจารณากิจกรรมการปรับปรุง

กิจกรรมการปรับปรุง	ข้อจำกัด
1. การติดตั้งระบบโซล่าเซลล์บนโครงหลังคาสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง	การลงทุนสูงและความไม่แน่นอนในการปรับปรุงโครงสร้างสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง
2. การปรับเปลี่ยนการใช้บริการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากรถบรรทุก 10 ล้อ เป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ เพื่อลดจำนวนเที่ยวรถการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง (In bound)	ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงและปริมาณความต้องการในช่วงเทศกาลต่างๆ
3. การปรับเปลี่ยนการใช้บริการขนส่งก๊าซเชื้อเพลิงจากรถบรรทุก 10 ล้อ เป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ เพื่อลดจำนวนเที่ยวรถการขนส่งก๊าซเชื้อเพลิง	ความสามารถในการจัดเก็บปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงมีจำกัด

จากกิจกรรมการปรับเปลี่ยนการใช้บริการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากรถบรรทุก 10 ล้อ เป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ เพื่อลดจำนวนเที่ยวรถการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งก่อนการปรับปรุงมีการใช้บริการรถบรรทุกน้ำมันเชื้อเพลิง 10 ล้อ ซึ่งมีความจุประมาณ 20,000 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 89 และการใช้บริการรถบรรทุกกึ่งพวง 22 ล้อ ซึ่งมีความจุประมาณ 41,000 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 11 และเมื่อดำเนินกิจกรรมการปรับปรุง พบว่า มีการใช้บริการรถบรรทุกน้ำมันเชื้อเพลิง 10 ล้อ ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 20 และการใช้บริการรถบรรทุกกึ่งพวง 22 ล้อ เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 80 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาการปล่อย GHG จากกิจกรรมการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า ก่อนการดำเนินกิจกรรมการปรับปรุง กิจกรรมการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงมีการปล่อย GHG ประมาณ 0.0221 $kgCO_2e/L$ และหลังการดำเนินกิจกรรมการปรับปรุง พบว่า กิจกรรมการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถลดการปล่อย GHG เหลือเพียงประมาณ 0.0195 $kgCO_2e/L$

ตารางที่ 4 ข้อมูลในการพิจารณาการปล่อย GHG จากกิจกรรมการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ปริมาณการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง (L)	5,597,000	1,038,000
ระยะทาง คลังน้ำมัน-สถานีบริการ (km)	305	305
บรรทุกด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ (kg)	3,578,639	56,914
บรรทุกด้วยรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ (kg)	920,011	770,166
จำนวนเที่ยวรถบรรทุก 10 ล้อ	243 (89%)	6 (20%)
จำนวนเที่ยวรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ	29 (11%)	24 (80%)
ปริมาณ GHG รถบรรทุก 10 ล้อ เที่ยวส่ง (EF = 0.0533 $kgCO_2e/tkm$)	58,176	925
ปริมาณ GHG รถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ เที่ยวส่ง (EF = 0.0459 $kgCO_2e/tkm$)	12,880	10,782
ปริมาณ GHG รถบรรทุก 10 ล้อ เที่ยวกลับ (EF = 1.0206 kg $kgCO_2e/km$)	43,728	1,080
ปริมาณ GHG รถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ เที่ยวกลับ (EF = 0.5900 $kgCO_2e/km$)	9,027	7,471
ปริมาณ GHG ($kgCO_2e/L$)	**0.0221**	**0.0195**

ตารางที่ 5 ข้อมูลในการพิจารณาต้นทุนการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง

การขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ปริมาณการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง (L)	5,597,000	1,038,000
ขนส่งด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ (L)	4,449,000	72,000
ขนส่งด้วยรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ (L)	1,148,000	966,000
ค่าขนส่งรถบรรทุก 10 ล้อ (0.48 บาท/ลิตร)	2,135,520	34,560
ค่าขนส่งรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ (0.40 บาท/ลิตร)	459,200	386,400
ค่าขนส่งน้ำมันเฉลี่ย (บาท/ลิตร)	**0.464**	**0.406**

และเมื่อพิจารณาด้านต้นทุนการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า กิจกรรมการปรับเปลี่ยนการใช้บริการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากรถบรรทุก 10 ล้อ ซึ่งมีค่าบริการขนน้ำมันเชื้อเพลิง 0.48 บาทต่อลิตร เป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ ซึ่งมีค่าบริการขนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ 0.40 บาทต่อลิตร รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5 โดยก่อนการปรับปรุงมีการใช้บริการรถบรรทุกน้ำมันเชื้อเพลิง 10 ล้อ คิดเป็นร้อยละ 89 และการใช้บริการรถบรรทุกกึ่งพวง 22 ล้อ คิดเป็นร้อยละ 11 เมื่อดำเนินกิจกรรมการปรับปรุง พบว่า มีการใช้บริการรถบรรทุกน้ำมันเชื้อเพลิง

10 ล้อ ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 20 และการใช้บริการรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 80 ซึ่งส่งผลทำให้ต้นทุนค่าขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง โดยก่อนดำเนินการปรับปรุงมีต้นทุนขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยประมาณ 0.464 บาทต่อลิตร และหลังดำเนินการปรับปรุงมีต้นทุนขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยประมาณ 0.406 บาทต่อลิตร

โดยหากพิจารณาปริมาณการสั่งซื้อทั้งปีที่ 5,597,000 ลิตร รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า จำนวนเที่ยวการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้บริการรถบรรทุก 10 ล้อ และรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ รวมทั้งสิ้น 272 เที่ยว และหลังจากการดำเนินกิจกรรมการปรับปรุง จำนวนเที่ยวการขนส่งน้ำมันลดลงเหลือเพียง 157 เที่ยว ซึ่งส่งผลให้ปริมาณการปล่อย GHG ของกิจกรรมการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง จากเดิมมีการปล่อย GHG ประมาณ 123,811 $kgCO_2e$ ลดลงเหลือเพียง 109,231 $kgCO_2e$ หรือลดลงได้ประมาณ 14,580 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 11.8 นอกจากนี้ ยังส่งผลทำให้ต้นทุนการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง จากเดิมมีต้นทุนการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 2,594,720 บาท ลดลงเหลือเพียงประมาณ 2,269,858 บาท หรือลดต้นทุนการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงลงได้ประมาณ 324,862 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 12.5 โดยการดำเนินกิจกรรมการปรับปรุงดังกล่าว ไม่ส่งผลกระทบต่อการให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงของสถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา

ตารางที่ 6 สรุปผลการดำเนินกิจกรรม ก่อนและหลังการปรับปรุง

ปริมาณการจัดซื้อน้ำมันเชื้อเพลิง (5,597,000 ลิตร)	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง (%)
จำนวนเที่ยวรถบรรทุก 10 ล้อ	243	32	-
จำนวนเที่ยวรถบรรทุก 22 ล้อ	29	125	-
การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e$)	123,811	109,231	14,580 (-11.78)
ต้นทุนการขนส่งน้ำมัน (บาท)	2,594,720	2,269,858	324,862 (-12.52)

แต่อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาครั้งนี้ ทั้งในส่วนของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นขององค์กร, ปริมาณการปล่อย GHG และต้นทุนการขนส่งน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงที่ลดลง ของสถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา อาจมีความแตกต่างกับสถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงอื่นๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการปล่อย GHG และต้นทุนการขนส่งน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง เช่น ขนาดของธุรกิจ ปริมาณการจำหน่ายน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง รวมถึงสถานที่ตั้งของสถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง เป็นต้น

5. สรุปผลการศึกษา

ผลการการศึกษาการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและต้นทุนการขนส่ง กรณีศึกษา สถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. สถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิง กรณีศึกษา มีปริมาณการปล่อย GHG รวมทั้งสิ้น 14,801,355.43 $kgCO_2e$ โดยแบ่งออกเป็นประเภทที่ 1 มีปริมาณเท่ากับ 3,978.80 $kgCO_2e$, ประเภทที่ 2 เท่ากับ 34,357.63 $kgCO_2e$ และประเภทที่ 3 เท่ากับ 14,763,019.00 $kgCO_2e$

2. การดำเนินการกิจกรรมการปรับเปลี่ยนการใช้บริการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากรถบรรทุก 10 ล้อ เป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ เพื่อลดจำนวนเที่ยวรถการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง จากเดิมมีการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 272 เที่ยว ลดลงเหลือเพียง 157 เที่ยว ซึ่งส่งผลทำให้การปล่อย GHG จากกิจกรรมการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงประมาณ 14,580 $kgCO_2e$ หรือคิดร้อยละ 11.8 และต้นทุนการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงประมาณ 324,862 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 12.5 โดยการดำเนินกิจกรรมการปรับปรุงไม่ส่งผลกระทบต่อการให้บริการ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถานีบริการน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงกรณีศึกษา ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), ข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นขององค์กร, พิมพ์ครั้งที่ 8 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 6, กรกฎาคม 2565)

[2] รายงานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงาน ปี 2567, ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน, วันที่ 5 มีนาคม 2568

[3] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: CFO), บังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2565

[4] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: CFP), บังคับใช้ตั้งแต่วันที่ บังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2566

[5] ฝ่ายวิเคราะห์คุณภาพและวิจัยผลิตภัณฑ์, บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน)

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการรีไซเคิลแบบย้อนกลับของขวดแก้วเบียร์ โดย การประยุกต์ใช้ เทคนิค ECRS และการจัดสมดุลสายการผลิต

Enhancing the Efficiency of The Reverse Recycling Process of Beer Glass Bottles by Applying ECRS and Production Line Balancing Techniques

จิราวุฒิ ปัดถาวะโร[1] อาลิตา สุขสะเกตุ[2] เพียงพอดี มะฮาด[2] ดีพอเพียง มะฮาด[2] และ มงคล กิตติญาณขจร[1]*
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
[2]โรงเรียนนานาชาติ The Newton Sixth Form
E-mail: mongkolk3@hotmail.com*

Jirawut Pattawaro[1], Arlita Suksaket[1], Piangpordee Mahad[2], Deeporpiang Mahad[2] and Mongkol Kittiyankajon[1*]
[1]Department of Industrial Management and Logistic Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Udontani Rajabhat University
[2]The Newton Sixth Form School
E-mail: mongkolk3@hotmail.com*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ รีไซเคิลแบบย้อนกลับของขวดเบียร์ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิค ECRS และการจัดสมดุลสายการผลิต จากการศึกษาพบว่ากระบวนการรีไซเคิลแบบย้อนกลับของขวดเบียร์ มีการทำงานที่สูญเปล่าจากการรอวัตถุดิบที่ขั้นตอนการแกะก้นกล่อง และรอการย้ายพาเลทซึ่งบรรจุขวดที่เรียงเรียบร้อยแล้วไปเก็บ ในขั้นตอนเครื่องแพ็ค รวมถึงความสูญเปล่าจากการขนย้ายที่เกินความจำเป็นจากการจัดผังกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นหลังจากการนำแนวทางการปรับปรุงด้วยการการจัดสมดุลสายการผลิต และการจัดเรียงงานใหม่ กำจัดงานที่ไม่จำเป็นออก และ ทำให้งานที่มีทำได้ง่ายขึ้นตามหลักการ ECRS สามารถทำให้ประสิทธิภาพจากสมดุลสายการผลิตเพิ่มขึ้น จาก 61.8% เป็น 82.8% กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 95% จาก 4.92 เป็น 9.62 พาเลทต่อชั่วโมง ซึ่งส่งผลให้มีผลประโยชน์จากสุทธิที่เพิ่มขึ้น เป็นเงิน 252,219 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ: ความสูญเปล่า, การจัดสมดุลสายการผลิต, ECRS, ประสิทธิภาพกระบวนการผลิต

Abstract

The objective of this research is to enhance the efficiency of the reverse recycling process of beer bottles by applying ECRS techniques and production line balancing. The study found that the reverse recycling process of beer bottles has waste in the form of waiting for raw materials at the box bottom removal stage and waiting for the transfer of pallets containing properly arranged bottles to storage in the packing machine stage. Additionally, there is waste from excessive transportation due to an inappropriate production layout. Therefore, after applying improvement methods through production line balancing and rearranging tasks, eliminating unnecessary tasks, and simplifying work according to ECRS principles, the efficiency of production line balancing increased from 61.8% to 82.8%. Production capacity increased by 95%, from 4.92 to 9.62 pallets per hour, resulting in total financial benefits amounting to 252,219 THB per month.

Keywords: Waste, Line Balancing, ECRS, Production Efficiency

1. บทนำ

ภายใต้สภาวะการแข่งขันที่รุนแรงของธุรกิจ การรีไซเคิล แบบย้อนกลับของขวดเบียร์ และความต้องการ ที่สูงขึ้นของลูกค้า โรงงานผลิตเบียร์ โรงงานกรณีศึกษา ซึ่งเป็นโรงงาน ที่รับจ้างผลิต ด้วยขั้นตอน การ รีไซเคิล แบบย้อนกลับของขวดเบียร์ เพื่อส่งกลับขวดเบียร์ที่พร้อมสำหรับการ นำกลับมาใช้ใหม่ ที่โรงงานผลิตเบียร์ปลายทาง ซึ่งจะทำให้ลดต้นทุนในการผลิตขวดเบียร์ ใหม่ ทั้งหมด โรงงานกรณีศึกษา จึงจำเป็นต้องหาวิธีเพิ่ม กำลังการผลิต เพื่อให้ทันต่อความต้องการ ที่สูงขึ้นดังกล่าว ภายใต้ข้อจำกัด ของทรัพยากรที่มี อยู่อยู่ ดังนั้น หนึ่ง ในทาง เลือก สำหรับการเพิ่มกำลังการผลิตคือ การลดความสูญเปล่า จากการผลิต ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิต ด้วยทรัพยากรที่มีอยู่ อย่างจำกัดเดิม สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าที่สูงขึ้นได้ อีกทั้ง ในขณะที่ โรงงาน รีไซเคิล แบบย้อนกลับของขวดเบียร์ โรงอื่นสามารถผลิต ด้วย กำลังการผลิตที่สูงกว่า โรงงานกรณีศึกษา แม้ว่าจะมีรูปแบบการผลิตใกล้เคียงกัน โดย กำลังการผลิตของ โรงงานกรณีศึกษาในปัจจุบันทำได้ ประมาณ 5 พาเลทต่อชั่วโมง ในขณะที่ โรงงานอื่น สามารถผลิตได้ประมาณ 10 ถึง 14 พาเลทต่อชั่วโมง จากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึง มีวัตถุประสงค์ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้วยการลดความสูญเปล่า โดยการนำ เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตและ และ ECRS [1] เข้ามาประยุกต์ เพื่อทำให้สามารถ เพิ่ม กำลังการผลิต ภายใต้ ข้อจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อวิเคราะห์สาเหตุ ของความสูญเปล่าจากกระบวนการ รีไซเคิล แบบย้อนกลับของขวดเบียร์

2.2 เพื่อลดความสูญเปล่าจากกระบวนการรีไซเคิลแบบย้อนกลับของขวดเบียร์

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้มีทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหลายหัวข้อ โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ได้ถูกนำมาอธิบายดังนี้”

3.1 ความสูญเปล่าจากการผลิต [1] คือ กิจกรรม กระบวนการ หรือทรัพยากรที่ถูกใช้ไปโดยไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มต่อผลิตภัณฑ์หรือบริการ ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพลดลง โดยทั่วไป ความสูญเปล่าในระบบการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 7 ประเภทหลัก ตามแนวคิดของ Toyota Production System (TPS) ได้แก่:

1. การผลิตเกินความต้องการ (Overproduction) คือ ผลิตมากเกินไปหรือเร็วกว่าที่ลูกค้าต้องการ

2. การรอคอย (Waiting) คือ เวลาที่สูญเสียไปจากการรอคอยเครื่องจักร วัสดุ หรือข้อมูล

3. การขนส่ง (Transportation) คือ การเคลื่อนย้ายวัสดุหรือผลิตภัณฑ์โดยไม่จำเป็น

4. กระบวนการที่ไม่จำเป็น (Overprocessing) คือ การทำงานเกินความจำเป็นหรือใช้ทรัพยากรมากเกินไป

5. สินค้าคงคลังเกิน (Inventory) คือการเก็บสต็อกวัตถุดิบหรือสินค้าสำเร็จรูปมากเกินไป

6. การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Motion) คือ การเคลื่อนไหวของพนักงานหรือเครื่องจักรที่ไม่มีประสิทธิภาพ

7. ของเสียและการแก้ไขงาน (Defects) คือผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องและต้องทำการซ่อมหรือผลิตใหม่

3.2 การจัดสมดุลสายการผลิต หมายถึง กระบวนการจัดสมดุลภาระงานในแต่ละสถานีการผลิตภายในสายการผลิตให้มีความสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อหลีกเลี่ยงความล่าช้า ลดความสูญเปล่า และเพิ่มกำลังการผลิตโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ลดความสูญเปล่า – ลดเวลารอคอยและการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็น

2. เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน – ทำให้ทุกสถานีการผลิตทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

3. ลดคอขวด (Bottleneck) – กระจายภาระงานให้เหมาะสมเพื่อลดข้อจำกัดของกระบวนการ

4. ปรับปรุงเวลารอบการผลิต (Cycle Time) – ทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้าต่อหน่วยสั้นลง

5. เพิ่มความยืดหยุ่นของการผลิต – ทำให้สามารถปรับตัวตามความต้องการของตลาดได้ง่ายขึ้น

3.3 การลดความสูญเปล่าด้วยเทคนิค ECRS หมายถึง ระบวนการทำงานเพื่อลดความสูญเปล่า (Waste) ในระบบการผลิต โดยประกอบด้วย 4 หลักการ ได้แก่

1. E – Eliminate (การกำจัดออก) ตัดกระบวนการหรือกิจกรรมที่ไม่จำเป็นออกจากสายการผลิต

2. C – Combine (การรวมขั้นตอน) ผสานกระบวนการที่คล้ายกันเข้าด้วยกันเพื่อลดเวลาและทรัพยากรที่ใช้

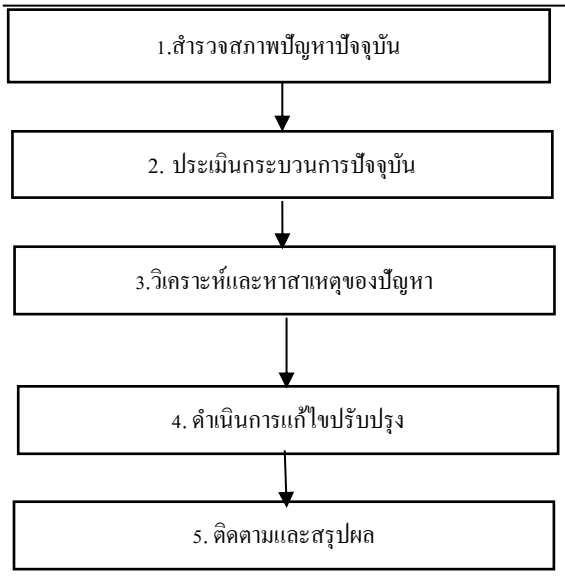
3. R – Rearrange (การจัดลำดับใหม่) จัดลำดับหรือรูปแบบการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

4. S – Simplify (การทำให้ง่ายขึ้น) ปรับปรุงกระบวนการให้เรียบง่ายขึ้นเพื่อลดความซับซ้อนและลดโอกาสเกิดข้อผิดพลาด

โดยจากการทบทวน วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่ามีงานวิจัย ที่นำทฤษฎี ดังกล่าวไว้ขั้นต้นไปประยุกต์ใช้เพื่อ ลดความสูญเปล่า จากการผลิตและ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการผลิตรถยนต์ [2], จัดสมดุลกระบวนการติดตั้งดั๊มพ์ [3] จัดสมดุลกระบวนการบรรจุถั่วลิสงคั่วทราย [4] และ จัดสมดุลสายการผลิตปลาแซลมอลแช่แข็ง [5]

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้แยกวิธีการดำเนินการวิจัยออกเป็นขั้นตอน ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 1



รูปที่ 1 : แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิจัย

โดยในขั้นตอนต่าง ๆ ที่แสดงในรูปที่ 1 ระหว่างการทำวิจัยได้มีการนำเครื่องมือต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมตามชนิดของงานดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

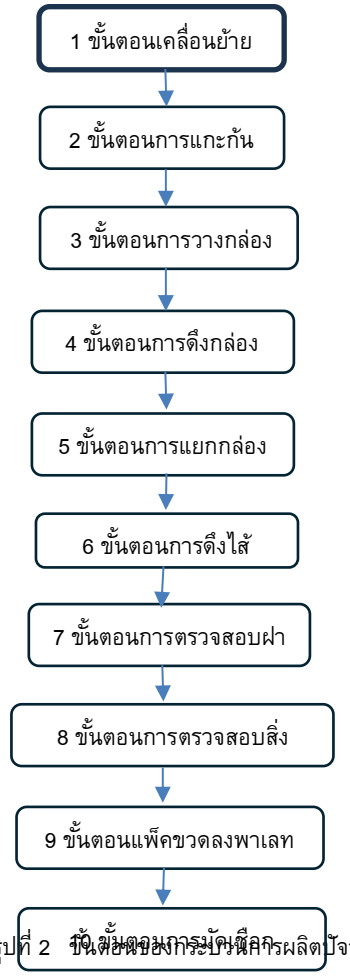
ขั้นที่	ขั้นตอน	เครื่องมือที่ใช้
1	สำรวจสภาพปัญหาปัจจุบัน	แผนภูมิพาเรโต
2	ประเมินกระบวนการปัจจุบัน	แผนภูมิการไหล และการจัดสมดุลสายการผลิต
3	วิเคราะห์สาเหตุ	การจัดสมดุลสายการผลิตและผังก้างปลา
4	ปรับปรุงแก้ไข	การจัดสมดุลสายการผลิตและ ECRS
5	ติดตามและสรุปผล	มาตรฐานขั้นตอนการทำงาน

โดยในขั้นตอนต่าง ๆ ที่แสดงในรูปที่ 1 ระหว่างการทำวิจัยได้มีการนำเครื่องมือต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมตามชนิดของงานดังแสดงในตารางที่ 2 เช่นในขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา งานวิจัยนี้นำเครื่องมือ แผนภูมิก้างปลา (Fish bone diagram) มาใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อนำไปสู่แนวทางการแก้ไขและปรับปรุง

5. ผลการวิจัย

ขอขอบคุณผู้แต่งบทความทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและรักษาระเบียบการเขียนบทความอย่างเคร่งครัด

5.1 การวิเคราะห์กระบวนการผลิตปัจจุบัน จากผลการวิเคราะห์กระบวนการผลิตพบว่ามีขั้นตอนการผลิตเป็นไปตามขั้นตอนของกระบวนการผลิตในปัจจุบันดังแสดงในภาพที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตปัจจุบัน

จากผลการวิเคราะห์กระบวนการผลิตพบว่ามีขั้นตอนการผลิตเป็นไปตามขั้นตอนของกระบวนการผลิตในปัจจุบันดังแสดงในรูปที่ 2

1) ขั้นตอนเคลื่อนย้ายกล่องเบียร์จากที่จุดเก็บพักมาป้อนสายการผลิตโดยการเคลื่อนย้ายใช้แฮนด์ลิฟท์เพื่นขนถ่าย

2) ขั้นตอนการแกะกันกล่อง เพื่อให้สามารถนำขวดเบียร์ออกจากกล่องได้ในขั้นตอนถัดไปด้วยการยกกล่องออก

3) ขั้นตอนการวางกล่องลงราง เป็นขั้นตอนที่พนักงานนำกล่องที่แกะกันกล่องเรียบร้อยแล้ววางลงบนรางลำเลียงเพื่อป้อนเข้าสู่สายพานการผลิต

4) ขั้นตอนการดึงกล่องขึ้นให้ขวดตกลงเป็นขั้นตอนที่พนักงานดึงกล่องขึ้นให้แยกออกจากขวดด้านใน

5) ขั้นตอนการเก็บกล่องออกจากขวดเป็นขั้นตอนที่พนักงานแยกประเภทของกล่องระหว่างกล่องที่นำไปพับและขายต่อได้ทันทีออกจากแบบที่สภาพไม่สามารถพับและนำไปขายได้ทันที่แต่ต้องนำไปผ่านกระบวนการบีบอัดเป็นก้อนก่อนนำไปขายในราคาที่ถูกลง

6) ขั้นตอนการดึงไส้ เป็นขั้นตอนที่พนักงานดึงไส้ที่เป็นกระดาษขั้นระหว่างขวดเบียร์ออก

7) ขั้นตอนการตรวจสอบฝาขวดเป็นขั้นตอนที่พนักงานตรวจสอบขวดเบียร์ทุกขวดว่ามีฝาปิดขวดติดมาด้วยหรือไม่หากพบว่ามีฝาขวดติดมาจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เปิดฝาขวดเปิด

8) ขั้นตอนการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมทั้งภายในและภายนอกขวดเบียร์เพื่อคัดแยกขวดที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานออกเช่น ขวดแตกบิ่น และมีสิ่งแปลกปลอมภายใน โดยการคัดแยกทำภายใต้อุโมงค์ไฟที่ทำให้เห็นสิ่งแปลกปลอมได้ชัดเจนมากขึ้น

9) ขั้นตอนแพ็คขวดลงพาเลทโดยเครื่องจักรซึ่งเป็นขั้นตอนที่เครื่องจักรทำหน้าที่จับขวดเบียร์ที่ถูกลำเลียงมาด้วยสายพานขึ้นและบรรจุลงในถาดและซ้อนกันบนพาเลทจนครบจำนวนตามมาตรฐาน (สิงห์ 6 ถาดและลีโอ 7 ถาด)

10) ขั้นตอนการมัดเชือกเป็นขั้นตอนที่พนักงานนำเชือกมามัดพาเลทเบียร์ที่ถูกจัดเรียงเรียบร้อยแล้วเพื่อเตรียมไว้สำหรับนำส่งย้อนกลับไปใช้ใหม่ที่โรงงานผลิตเบียร์

5.2 การระบุปัญหาของกระบวนการ

จากการเข้าศึกษาและวัดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในปัจจุบันโดยการจับเวลาของขั้นตอนการทำงานทั้ง 10 ขั้นตอนเพื่อทราบถึงกำลังการผลิตและปัญหาที่ทำให้เกิดความสูญเปล่าระหว่างการทำงานพบว่ามีรายละเอียดของแผนผังการจัดวางขั้นตอนการผลิตตามภาพที่ 5 และเวลาในการทำงาน จำนวนพนักงานพร้อมทั้งกำลังการผลิตในปัจจุบันเป็นไปตามตารางที่ 2 และรูปที่ 4 ซึ่งแสดงตามด้านล่าง

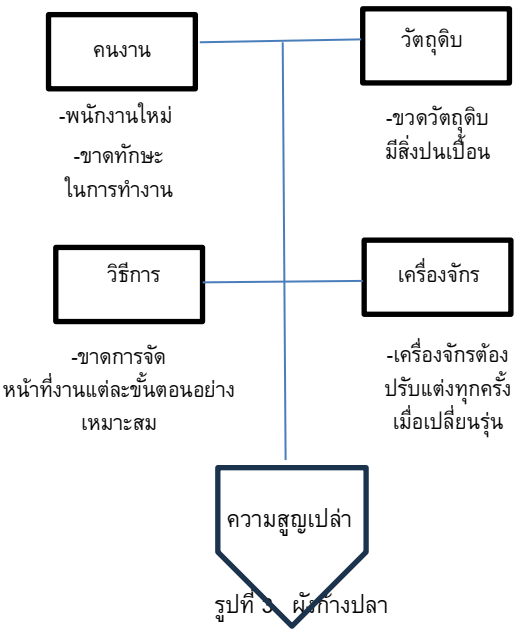
โดยจากข้อมูลตามตารางที่ 2 พบว่าขั้นตอนทั้ง 8 ขั้นตอนที่ทำงานต่อเนื่องเป็นสายการผลิต มีเวลาการทำงานที่ใช้ต่อการผลิตใกล้เคียงกัน โดยสังเกตุจากเวลาต่อขวดต่อคน ที่อยู่ระหว่าง 0.12 ถึง 0.18 วินาทีต่อขวดต่อคนโดยจากเวลาดังกล่าวสามารถนำไปคำนวนเป็นประสิทธิภาพของการจัดสมดุลสายการผลิตได้ โดยใช้สูตร

สมดุลสายการผลิต = เวลารวมทุกขั้นตอน/(จำนวนขั้นตอนการทำงานทั้งหมด X เวลาของขั้นตอนคอขวด)

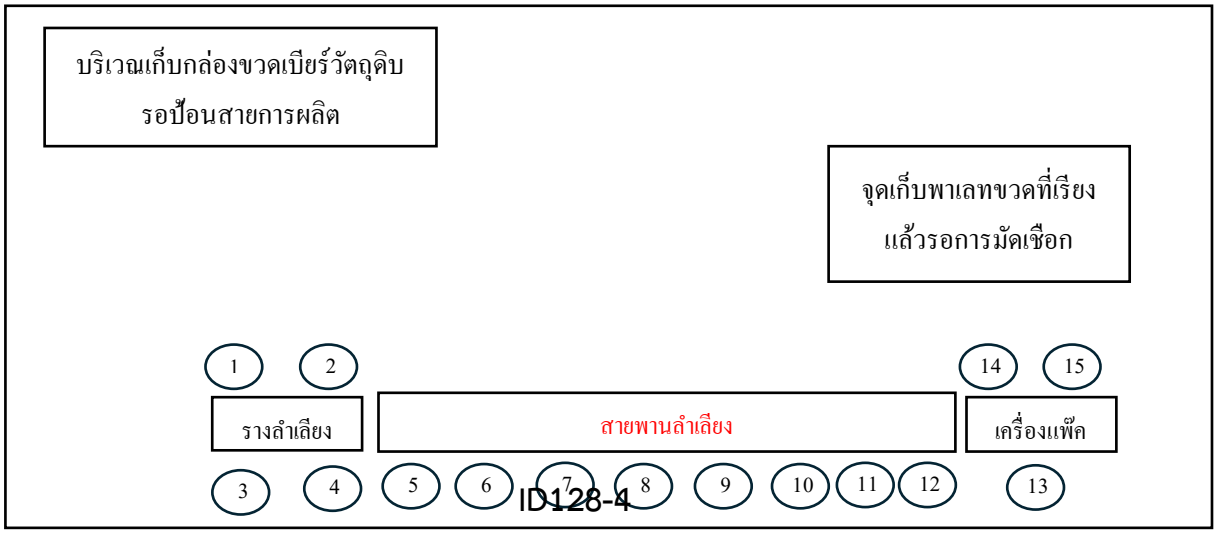
จะได้ประสิทธิภาพจากสมดุลสายการผลิตของการทำงานของขั้นตอนการผลิตในกรณีจำนวนวัตถุดิบเพียงพอตามปกติเท่ากับ 82.8% (0.17+0.15+0.12+0.14+0.16+0.12+0.15+0.18)/(8*0.18) และมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 10.43 พาเลทต่อชั่วโมง

จากข้อมูลตามตารางที่ 3 และผังก้างปลาตามรูปที่ 3 พบสาเหตุของความสูญเปล่าหลักเกิดขึ้นเนื่องจากขาดวิธีการจัดหน้าที่งานในแต่ละขั้นตอนอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะในกรณีที่วัตถุดิบขวดเบียร์ถูกใช้ป้อนสายการผลิตจนหมดสำหรับพนักงานคนใดคนหนึ่งในจำนวน 4 คนที่มีทำให้จำเป็นต้องมีพนักงาน 1 คน ที่ต้องทำหน้าที่ออกจากสายการผลิตเพื่อไปทำหน้าที่ขนถ่ายกล่องขวดเบียร์เพื่อมาป้อนสายการผลิตต่อ จึงทำให้กำลังการผลิตของขั้นตอน แกะกันกล่องซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการตกลงเนื่องจากจำนวนคนงานในขั้นตอนนี้ลดลงจาก 4 เป็น 3 คน จนทำให้คอขวดของสายการผลิตย้ายจากขั้นตอนแพ็คขวดลงถาดด้วยเครื่องจักรมาเป็นขั้นตอนแกะกันกล่องดังกล่าว ซึ่งเป็นสาเหตุให้ขั้นตอนสุดท้ายจำเป็นต้องรอขั้นตอนแรกโดยแสดงให้เห็นได้จากเวลาการทำงานของขั้นตอนแพ็คขวดลงถาดด้วยเครื่องจักรปรับเพิ่มขึ้นจาก 0.18 วินาทีต่อขวดต่อคนมาเป็น 0.27 วินาทีต่อขวดต่อคน ผลจากขั้นตอนคอขวดที่เปลี่ยนไปและมีเวลาสูงขึ้นทำให้ สมดุลสายการผลิตตกลงจาก 82.8% มาเป็น 61.8% และกำลังการผลิตตกลงจาก 10.43 พาเลทต่อชั่วโมงมาเป็น 6.91 พาเลทต่อชั่วโมง

โดยสำหรับขั้นตอนที่ 1 และ ขั้นตอนที่ 10 ตามรูปที่ 2 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตปัจจุบันได้ถูกวิเคราะห์การทำงานแยกโดยการใช้การวิเคราะห์งานด้วยแผนภูมิการไหลดังแสดงผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 4 แผนภูมิการไหลของขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนเคลื่อนย้ายกล่องเบียร์จากที่จุดเก็บพักและขั้นตอนที่ 10 ขั้นตอนการมัดเชือก



รูปที่ 3 ผังก้างปลา



รูปที่ 4 แผนผังการจัดวางขั้นตอนการผลิตในปัจจุบัน

ตารางที่ 2 เวลาในการทำงานของขั้นตอนการผลิตในกรณีจำนวนวัตถุดิบเพียงพอตามปกติ

เวลากรณีปกติ (วินาที)	แกะกันกล่อง (กล่อง) (1-4)		วางกล่องลงราง (กล่อง) (5)		ดึงกล่องให้ขวดตก (กล่อง) (6)		เก็บกล่องและแยก (กล่อง) (7)		ดึงไส้ (กล่อง) (8)		QC เปิดฝา (ขวด) (9-10)		QC ขวด (ขวด) (11-12)		เครื่องแพ็ค (ถาด) (13-15)	
งานย่อย	นำกล่องลงจากพาเลท	2.37	วางกล่องลงราง	1.80	ดึงกล่องขึ้น	1.45	ดึงกล่องออกและแยก	1.64	ดึงไส้	1.90	ตรวจสอบฝา	0.16	ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในขวด	0.16	เวลาเครื่องจักร	49.32
	ดึงกันกล่อง	5.69									แยกขวดผิดประเภท	1.09	แยกขวดมีสิ่งสกปรก	1.09		
											เปิดฝาขวด	0.38	ทำความสะอาด	4.4		
	รวมต่อกล่อง	**8.06**		**1.80**		**1.45**		**1.64**		**1.90**						
	รวมต่อขวด	**0.67**		**0.15**		**0.12**		**0.14**		**0.16**		**0.23**		**0.29**		**0.18**
	เวลาต่อขวดต่อคน	**0.17**		**0.15**		**0.12**		**0.14**		**0.16**		**0.12**		**0.15**		**0.18**
จำนวนคนงาน	4		1		1		1		1		2		2		2	

ตารางที่ 3 เวลาในการทำงานของขั้นตอนการผลิตในกรณีจำนวนวัตถุดิบขาดและคนงานออกไปเติมวัตถุดิบ

เวลากรณีปกติ (วินาที)	แกะกันกล่อง (กล่อง)		วางกล่องลงราง (กล่อง)		ดึงกล่องให้ขวดตก (กล่อง)		เก็บกล่องและแยก (กล่อง)		ดึงไส้ (กล่อง)		QC เปิดฝา (ขวด)		QC ขวด (ขวด)		เครื่องแพ็ค (ถาด)	
งานย่อย	นำกล่องลงจากพาเลท	2.37	วางกล่องลงราง	1.80	ดึงกล่องขึ้น	1.45	ดึงกล่องออกและแยก	1.64	ดึงไส้	1.90	ตรวจสอบฝา	0.16	ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในขวด	0.16	เวลาเครื่องจักร	74.40

	ดึงก้นกล่อง	5.69									แยกขวดผิดประเภท	1.09	แยกขวดมีสิ่งสกปรก	1.09		
											เปิดฝาขวด	0.38	ทำความสะอาด	4.4		
	รวมต่อกล่อง	**8.06**		**1.80**		**1.45**		**1.64**		**1.90**						
	รวมต่อขวด	**0.67**		**0.15**		**0.12**		**0.14**		**0.16**		**0.23**		**0.29**		**0.27**
	เวลาต่อขวดต่อคน	**0.22**		**0.15**		**0.12**		**0.14**		**0.16**		**0.12**		**0.15**		**0.27**
จำนวนคนงาน	3		1		1		1		1		2		2		2	

โดยสำหรับขั้นตอนที่ 1 และ ขั้นตอนที่ 10 ตามรูปที่ 2 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตปัจจุบันได้ถูกวิเคราะห์การทำงานแยกโดยการใช้การวิเคราะห์งานด้วยแผนภูมิการไหลดังแสดงผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 4 แผนภูมิการไหลของขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนเคลื่อนย้ายกล่องเบียร์จากที่จุดเก็บพักและขั้นตอนที่ 10 ขั้นตอนการมัดเชือก จากข้อมูลในตารางที่ 4 พบว่าขั้นตอนการทำงานตามขั้นตอนที่ 1 เคลื่อนย้ายกล่องเบียร์จากที่จุดเก็บพักใช้เวลารวมทั้งกระบวนการ 130 วินาทีโดยมีเวลาสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการขนย้ายกล่องขวดเบียร์จากจุดเก็บมาป้อนสายการผลิตที่มีระยะทางไกลถึง 30 เมตรโดยใช้เวลาในการเคลื่อนย้ายนะขั้นตอนนี้ทั้งไปและกลับถึง 250 วินาทีซึ่งคิดเป็น 85% (250/295) ของเวลาทั้งหมด ในขณะเดียวกันในขั้นตอนที่ 10 การมัดเชือกพบความสูญเปล่าจากการเคลื่อนย้ายพาเลทขวดเบียร์ที่เรียงแล้วไปบริเวณจุดเก็บพักรอการมัดเชือกซึ่งใช้เวลา 39 วินาทีคิดเป็น 13% (39/301) โดยแผนผังบริเวณการผลิตแสดงไว้ตามรูปที่ 4

5.3 การหาแนวทางปรับปรุงด้วยการลดความสูญเปล่าจากการทำงาน

จากข้อมูลที่พบว่ามีความสูญเปล่าจากกระบวนการทำงานทั้ง 10 ขั้นตอนทั้ง ความสูญเปล่าจากการรอคอยวัตถุดิบเพื่อป้อนสายการผลิต ระหว่างคนงานออกจากสายการผลิตไปทำหน้าที่ขนถ่ายกล่องขวดเบียร์วัตถุดิบ ความสูญเปล่าจากการเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็นเช่นการขนถ่ายกล่องเบียร์วัตถุดิบจากบริเวณที่เก็บซึ่งอยู่ห่างจากสายการผลิตถึง 30 เมตร และความสูญเปล่าจากการรอคอย พนักงานประจำเครื่องแพ็คขนถ่ายพาเลทที่เรียงขวดเรียบร้อยแล้วไปรอมัดเชือก ซึ่งแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าด้วยเทคนิค ECRS จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ดังแสดงในตารางที่ 5 ด้านล่าง

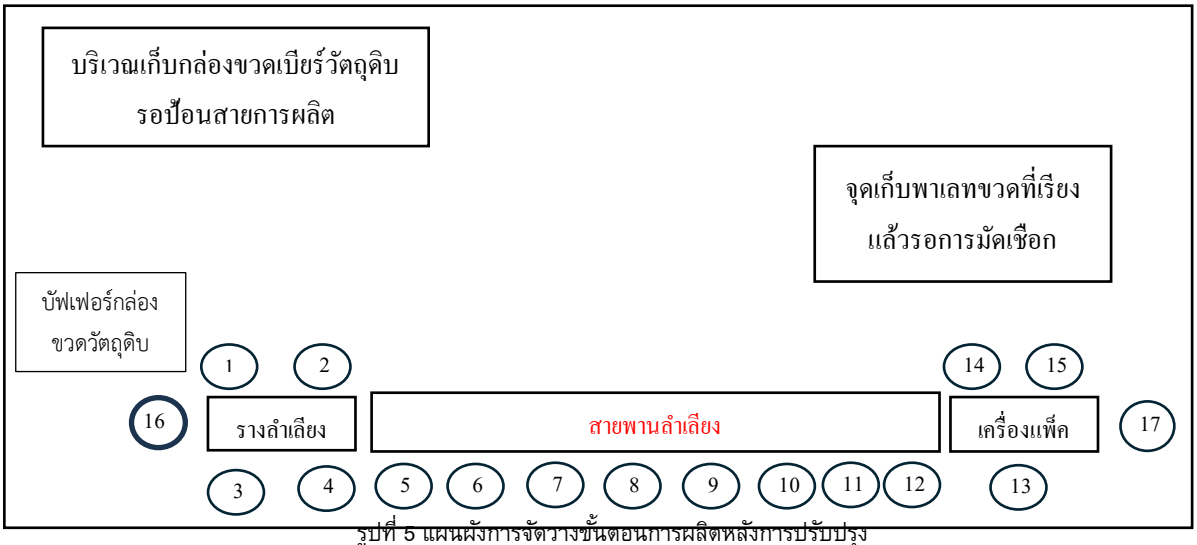
5.4 ผลจากการนำแนวทางปรับปรุงด้วยการลดความสูญเปล่าจากการทำงานไปปฏิบัติจริง

จากแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่า ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิค ECRS ที่ระบุในตารางที่ 5 โรงงานกรณีศึกษาได้ทดลองนำแนวทางการปรับปรุงดังกล่าวไป ปฏิบัติจริง โดยมีการปรับ เปลี่ยนแผนผังการวาง ตำแหน่งขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 5 และ เพิ่มบัฟเฟอร์กล่องขวดเบียร์วัตถุดิบ ใกล้บริเวณ สายการผลิต รวมถึง มีการกำหนด พนักงานซึ่งทำหน้าที่ คนถ่าย วัตถุดิบ และพาเลท สำเร็จรูป โดยเฉพาะเพื่อไม่ให้ สายการผลิตหยุดชะงัก ระหว่างการรอพนักงานออกไปทำหน้าที่การขนถ่าย โดยการจัดให้มีพนักงานที่ทำหน้าที่ขนถ่ายวัสดุโดยตรงนี้ทำให้สมดุลสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 61.8% เป็น 82.8% เนื่องจากรอบเวลาในการแกะก้นกล่องที่ลดลงจาก 0.22 เป็น 0.17 วินาทีต่อขวดต่อคน และส่งผลให้ขั้นตอนสุดท้ายที่เป็นคอขวดในขั้นตอนเครื่องแพ็คลดลงจาก 0.27 เป็น 0.18 วินาทีต่อขวดต่อคน โดยรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงและผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามตาราง ที่ 6 ด้านล่าง

ซึ่งจากข้อมูลผลของเวลาในการผลิตหลังการนำวิธีการปรับปรุงไปทดลองการปฏิบัติจริง วิธีการปรับปรุงสามารถลด เวลาในการเรียงขวดเบียร์ จากค่าเฉลี่ย 12 นาทีต่อ พาเลท เป็นค่าเฉลี่ย 6 นาทีต่อพาเลท ซึ่งทำให้กำลังการผลิตต่อชั่วโมงเพิ่มขึ้นจาก 4.92 พาเลทต่อชั่วโมงเป็น 9.62 พาเลทต่อชั่วโมง คิดเป็นความเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น 95% จากวิธีการปัจจุบัน โดย วิธีการปรับปรุงจำเป็นต้องเพิ่ม พนักงาน 2 คน เพื่อทำหน้าที่ขนถ่ายวัตถุดิบและ สินค้าสำเร็จรูป โดยตรง เพื่อลดการรอคอยวัตถุดิบ ซึ่งเป็นต้นทุนที่เพิ่มขึ้น 18,000 บาทต่อเดือนแต่เนื่องจากประสิทธิภาพของกระบวนการเพิ่มขึ้นจึงทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 10 pallet ต่อชั่วโมง ซึ่งเพิ่มรายได้จากค่าจ้างผลิตที่ได้รับเพิ่มขึ้น 270,219 บาทต่อเดือนเมื่อนำมาหักค่าใช้จ่าย 18,000 บาทต่อเดือนจากค่าแรงที่เพิ่มขึ้นยังคงมีผลประโยชน์ที่ได้รับทั้งสิ้น 252,219 บาทต่อเดือน โดย หากคิดเป็น ผลประโยชน์ที่ได้รับ ต่อปีจะอยู่ที่ 3,026,628 บาทต่อปี

ตารางที่ 4 แผนภูมิการไหลของขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนเคลื่อนย้ายกล่องเบียร์จากที่จุดเก็บพักและขั้นตอนที่ 10 ขั้นตอนการมัดเชือก

ลำดับ	ขั้นตอน		เครื่องหมาย	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)
1	ขั้นตอนที่ 1	เดินไปนำแฮนด์ลิฟท์จากจุดเก็บ		7	30
2		เดินลากแฮนด์ลิฟท์จากจุดเก็บไปบริเวณกล่องเบียร์		30	120
3		ใช้แฮนด์ลิฟท์ยกลังเบียร์ขึ้น			15
4		เคลื่อนย้ายจากจุดเก็บมาป้อนสายการผลิต		30	130
รวมเวลาทั้งหมดของขั้นตอนที่ 1 เคลื่อนย้ายกล่องเบียร์จากที่จุดเก็บพัก					295
1	ขั้นตอนที่ 10	เดินไปนำแฮนด์ลิฟท์จากจุดเก็บ		5	20
2		เดินลากแฮนด์ลิฟท์จากจุดเก็บมาบริเวณเครื่องแพ็คขวด		7	10
3		ใช้แฮนด์ลิฟท์ยกพาเลทบรรจุเบียร์ขึ้นและปิดชั้นบนสุดด้วยฝา			30
4		เคลื่อนย้ายจากบริเวณเครื่องแพ็คขวดมาบริเวณรอมัดเชือก		7	29
5		มัดเชือก			212
รวมเวลาทั้งหมดขั้นตอนที่ 10 ขั้นตอนการมัดเชือก					301



รูปที่ 5 แผนผังการจัดวางขั้นตอนการผลิตหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 5 แนวทางการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าด้วยเทคนิค ECRS

รายละเอียดของความสูญเปล่า	ประเภท	รายละเอียดการปรับปรุง	รูปที่
1 ความสูญเปล่าจากการรอคอยวัตถุดิบระหว่างคนงานออกจากสายการผลิตขนถ่ายกล่องขวดเบียร์	จัดเรียงใหม่ (Rearrange)	กำหนดให้มีคนงานทำหน้าที่เฉพาะสำหรับป้อนวัตถุดิบให้สายการผลิตเพื่อลดเวลารอคอยวัตถุดิบจากการที่พนักงานในสายการผลิตต้องหยุดงานประจำในสายการผลิตเพื่อไปทำหน้าที่ขนถ่ายเป็นระยะ ๆ	5
2 ความสูญเปล่าจากการเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็นเช่นการขนถ่ายวัตถุดิบจากบริเวณที่เก็บซึ่งอยู่ห่าง 30 เมตร	กำจัด (Eliminate)	จัดให้มีวัตุดิบบัฟเฟอร์ บริเวณใกล้ (3-4 เมตร) กับสายการผลิตเพื่อให้การขนถ่ายวัตถุดิบป้อนสายการผลิตทำได้เร็วขึ้นเมื่อเทียบกับแบบเดิมที่ต้องเดินไกลถึง 30 เมตร	6
3 ความสูญเปล่าจากการรอคอยพนักงานประจำเครื่องแพ็คขนถ่ายพาเลทที่เรียงขวดแล้วไปรอมัดเชือก	จัดเรียงใหม่ (Rearrange)	กำหนดให้มีคนงานทำหน้าที่เฉพาะสำหรับขนถ่ายพาเลทที่เรียงขวดแล้วไปเก็บบริเวณรอมัดเชือกให้สายการผลิตเพื่อลดเวลารอคอยจากการที่พนักงานในสายการผลิตต้องหยุดงานประจำในสายการผลิตเพื่อไปทำหน้าที่ขนถ่ายเป็นระยะ ๆ	7
4 ความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหวเพื่อไปนำแฮนด์ลิฟท์ที่ถูกย้ายจากจุดจัดเก็บไปทำหน้าที่อื่นกลับมาใช้บริเวณที่เดิม	ทำให้ง่ายขึ้น (Simplify)	จัดหาแฮนด์ลิฟท์เพิ่มเติมเพื่อรองรับการใช้งานในเวลาที่จำเป็นได้ทันที	



รูปที่ 6 คนงานออกจากการผลิตไปทำหน้าที่ขนถ่ายกล่องวัตถุดิบ


รูปที่ 7 การขนถ่ายกล่องวัตถุดิบจากบริเวณที่เก็บซึ่งอยู่ห่าง 30 เมตร


รูปที่ 8 พนักงานประจำเครื่องแพ็คขนถ่ายพาเลทที่เรียงขวดเรียบร้อยแล้วไปรอมัดเชือก

ตารางที่ 6 ผลของเวลาในการผลิตหลังจากการนำวิธีการปรับปรุงไปทดลองปฏิบัติจริง

เวลาการเรียงขวด (นาที/พาเลท)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	กำลังการผลิต (พาเลท/ชั่วโมง)
วิธีปรับปรุง	9	8	8	6	5	6	5	6	5	4	6	5	6	5	5	6	6	6	6	7	5	5	10	9	7	6	6	6	1.51	9.62
วิธีปัจจุบัน	7	8	9	11	7	16	35	20	16	10	6	7	9	11	10	11	8	14	14	11	23	8	11	11	10	17	9	12	6.15	4.92

ตารางที่ 7 ผลกระทบทางทางด้านต้นทุนจากความเปลี่ยนแปลงหลังจากการนำวิธีการปรับปรุงไปทดลองปฏิบัติจริง

ผลกระทบจากความเปลี่ยนแปลง	วิธีปรับปรุง	วิธีปัจจุบัน	ลดลง/เพิ่มขึ้น	%เปลี่ยนแปลง
แกะก้นกล่องและนำกล่องลงราง	6 คน (รวมคนขนถ่าย)	5 คน		
เครื่องแพ็ค	3 คน (รวมคนขนถ่าย)	2 คน		
กำลังการผลิต ((พาเลท/ชั่วโมง)	9.62	4.92	5	95%
ค่าจ้างผลิตที่ได้รับ (บาทต่อชม)	2,198	1,126	1,072	95%
ค่าจ้างผลิตที่ได้รับ (บาทต่อเดือน)	527,492	257,274	270,219	105%

6. สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการรีไซเคิล แบบย้อนกลับของขวดแก้วเบียร์ โดยประยุกต์ใช้เทคนิค ECRS และการจัดสมดุลสายการผลิต ในการลดความสูญเปล่าจาก การทำงาน โดยผลจากการศึกษา ขั้นตอนการผลิตในปัจจุบันพบว่า มีความสูญเปล่าเกิดขึ้น ในขั้นตอน การรอคอยวัตถุดิบ กล่องขวดเบียร์ ระหว่างที่ มีพนักงาน ในขั้นตอนการแกะกล่องอย่างน้อย 1 คนที่ต้องทำหน้าที่ไปคนถ่ายกล่องวัตถุดิบ และ พนักงานที่ ขั้นตอน เครื่องแพ็ค ที่ต้องทำหน้าที่ไป ขนถ่ายพาเลทขวดที่เรียงเรียบร้อยแล้วไปจุดที่เก็บรอการมัดจึงทำให้ประสิทธิภาพจากสมดุลสายการผลิตระหว่างรอคอยตกลง จาก 82.8% ลงมาเป็น 61.8% ส่งผลให้กำลังการผลิต น้อยกว่า ปกติ จาก 10.43 พาเลทต่อชั่วโมงเป็น 6.91 พาเลทต่อชั่วโมง รวมถึงยังมีความสูญเปล่า จากการวางผัง ขั้นตอนการทำงานที่ ก่อให้เกิด ความสูญเปล่าจากการเคลื่อนย้าย วัตถุดิบที่ วางอยู่ห่างจากสายการผลิต ถึง 30เมตร การรอคอย อุปกรณ์ ช่วยขนถ่ายแฮนด์ลิฟท์ที่มีไม่เพียงพอ สำหรับการขนถ่ายวัตถุดิบ โดยหลังจากนำเสนอแนวทางการปรับปรุง ด้วย การกำหนดให้มี พนักงานซึ่งทำหน้าที่ขนถ่ายวัตถุดิบ และพาเลทขวดสำเร็จรูปที่เรียงเรียบร้อยแล้วโดยตรงและปรับปรุงการวางผังการผลิตโดยจัดให้มีบัฟเฟอร์วัตถุดิบในบริเวณที่ใกล้กับสายการผลิตมากขึ้น ทำให้ เวลาในการ เรียงขวดลดลงจาก 12 นาทีต่อพาเลทเป็น 6 นาทีต่อพาเลท ส่งผลให้กำลังการผลิต เพิ่มขึ้นจาก 4.92 เป็น 9.62 พาเลทต่อชั่วโมง ซึ่งคิดเป็น 95% ที่เพิ่มขึ้น โดยความเปลี่ยนแปลงนี้สามารถ เพิ่มผลประโยชน์ จากค่าจ้างการผลิตที่เพิ่มขึ้น ทั้งสิ้น 270,219 บาทต่อเดือน เมื่อนำมาหักลบกับค่าจ้างแรงงานที่เพิ่มขึ้น 18,000 บาทต่อเดือน พบว่ายังเหลือผลประโยชน์สุทธิจำนวน 252,219 บาท ต่อเดือน ซึ่งคิดเป็นเงิน 3,026,628 บาทต่อปี

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงงานรีไซเคิลแบบย้อนกลับของขวดแก้วเบียร์กรณีศึกษาในการให้ความร่วมมือและสนับสนุนข้อมูลระหว่างการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

[1] นิพนธ์ บัวแก้ว. (2549). รู้จัก ระบบการผลิตแบบลีน. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทยญี่ปุ่น)

[2] จันจิรา คงชื่นใจ, เชฏฐา ชำนาญหล่อ. 2561. “การจัดสมดุลสายการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.” วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1: 13-21.

[3] ยุทธณรงค์ จงจันทร์, ยอดนภา เกตุเมือง, นรา บุริพันธ์. การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตติดตั้งดั้มพ์, การประชุมวิชาการ ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. ขะอำ, จังหวัดเพชรบุรี; 2555. หน้า 281-288

[4] มงคล กิตติญาณขจร, 2565. “การลดความสูญเปล่าในกระบวนการบรรจุถั่วลิสงคั่วทรายโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิต และ ECRS” วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, ปีที่ 15, ฉบับที่ 1: 11-22.

[5] ธัชณนท์ แดนเขต, ธนภัทร แซ่ลี้, ชาณิดา พิทยานนท์. การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดความสูญเปล่าใน กระบวนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตปลาแซลมอนแช่แข็ง, การประชุม

วิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. อุบลราชธานี, จังหวัด
อุบลราชธานี; 2560. หน้า 23.

การวิเคราะห์ความเสี่ยงการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการผลิตโครงสร้างยานยนต์

RISK ANALYSIS OF DUST EXPLOSION IN THE AUTOMOTIVE STRUCTURE MANUFACTURING INDUSTRY

ปวีนัส คูณกันหา [1*] เพ็ญสุดา พันฤทธิ์ตำ [2]
[1]หลักสูตรวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
E-mail: Pavenus.k@ku.th*

Pavenus Khoonkunha[1*], Pensuda Phanritdum[2]
[1]Safety Engineering and Environmental Management Program, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus.
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus.
E-mail: Pavenus.k@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงกระบวนการที่สามารถเกิดฝุ่นระเบิดได้และเพื่อหามาตรการในการป้องกันฝุ่นระเบิด สำหรับกระบวนการผลิตโครงสร้างยานยนต์ โดยการเข้าไปศึกษาในกระบวนการที่มีองค์ประกอบของฝุ่นระเบิด ทั้ง 5 องค์ประกอบ ตามคู่มือการจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้ สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ เชื้อเพลิง การฟุ้งกระจายของฝุ่น ขอบเขตของหมอกฝุ่น ออกซิเจน และแหล่งจุดติดไฟ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความเสี่ยงกระบวนการผลิตที่สามารถเกิดฝุ่นระเบิดขึ้นได้ เพื่อมาตรการจัดการความเสี่ยง โดยพิจารณาในการจัดการที่ต้นเหตุ เป็นลำดับแรก ตามด้วยการทำให้เจือจาง การควบคุมโดยใช้หลักวิศวกรรม การควบคุมโดยใช้เอกสาร และการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองภัยส่วนบุคคล ตามลำดับ ผลการประเมินความเสี่ยงพบว่ากระบวนการขัดชิ้นงานด้วยเม็ดเหล็ก (Shot blasting) มี 9 จุด ที่อยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ และพบว่า 4 จุด อยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงที่สามารถยอมรับได้ และกระบวนการพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน (Powder booth) มี 8 จุด ที่อยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ และ พบว่า 3 จุด อยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงที่สามารถยอมรับได้ จึงนำข้อมูลที่ได้ไปหามาตรการการควบคุมและป้องกันเพิ่มเติม เพื่อลดความเสี่ยงของฝุ่นระเบิดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในกระบวนการผลิต ตัวอย่างมาตรการที่แนะนำ เช่น (1) ติดตั้งตัวกั้น Buffer ที่รางป้อน เพื่อลดความเร็ว ป้องกันไม่ให้วัสดุกระทบกับลูกกระพ้อโดยตรง (2) เพิ่มการตรวจสอบสายกราวด์ มีความต้านทาน < 5 โอร์ม และค่าไฟฟ้าสถิต < 3 Kv และ(3) เปลี่ยนฟิลเตอร์กรองฝุ่นเป็นแบบป้องกันไฟฟ้าสถิต และเกิดการลุกไหม้ เป็นต้น

คำสำคัญ: ฝุ่นระเบิด, องค์ประกอบของฝุ่นระเบิด, การประเมินความเสี่ยง

Abstract

The objective of the research to analyze the risk in processes can lead to dust explosions and identify measures for preventing dust explosions in the automotive structural manufacturing process. The research involves studying processes contain the five components of explosive dust, as outlined in the "Guidelines for Managing Safety in Facilities with Explosive Dust" by the Industrial Safety Technology Promotion Division of the Department of Industrial Works. These components include fuel, dust dispersion, dust cloud boundaries, oxygen, and ignition sources. The data obtained analyze the risk of production processes can result in dust explosions and develop risk management measures. The first consideration given to root cause management, followed by dilution, engineering control, document control, and wearing of personal protective equipment. The risk assessment results found that The Shot blasting process had 9 points were in the unacceptable risk criteria and 4 points were in the acceptable risk criteria. The Powder coating process (Powder booth) had 8 points were in the unacceptable risk criteria and 3 points were in the acceptable risk criteria. Therefore, The obtained information was used to find additional control and prevention measures to reduce the risk of dust explosions might occur in the process. The examples of recommended measures (1) Install a buffer barrier at the feed chute to reduce speed and prevent materials from directly hitting the bucket. (2) Increase the inspection of the ground wire, with a resistance of < 5 ohm and a static charge of < 3 Kv. and (3) Change the dust filter to an anti-static type and prevent fire, etc.

Keywords: Dust explosion, Components of explosive dust, Risk Assessment

1. บทนำ

เนื่องด้วยในปัจจุบันมีภาคอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นภาคอุตสาหกรรมอาหาร ภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ หรือภาคอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น เมื่อมีกระบวนการผลิตเกิดขึ้น สิ่งที่ตามมาคือความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุ การเกิดเหตุเพลิงไหม้ และส่งผลกระทบต่อบริษัทฯ พนักงาน ผู้รับเหมา ผู้เยี่ยมชม ชุมชนและบริษัทฯ รอบข้าง ที่จะได้รับผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม หากไม่มีการประเมินความเสี่ยงที่ครอบคลุม เหมาะสม และป้องกันไว้ล่วงหน้า

ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมผลิตโครงสร้างยานยนต์ มีการนำสารเคมีวัตถุดิบต่างๆ เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งในกระบวนการเหล่านี้บางกระบวนการเป็นพื้นที่อับอากาศ เช่น กระบวนการล้างวัตถุดิบในแท็งค์ การขัดชิ้นงานในถังไซโล การพ่นสีลงบนชิ้นงานในห้องที่มีฝุ่นขนาดเล็กฟุ้งกระจาย หรือการอบชิ้นงานในเตา เป็นต้น และในบางกระบวนการทำให้เกิดฝุ่นขนาดเล็ก มีการใช้เชื้อเพลิง และการสัมผัสกับความร้อน เมื่อครบองค์ประกอบทั้ง 5 องค์ประกอบฝุ่นระเบิด คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน การฟุ้งกระจาย และขอบเขตหมอกฝุ่น ตามที่ได้ศึกษาจากสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย [1] อาจทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ ถึงแม้สถิติในประเทศไทยและต่างประเทศ จะมีสถิติในการเกิดฝุ่นระเบิดในอุตสาหรรมยานยนต์ไม่มากนัก แต่หากเมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้นก็อาจทำให้เกิดผลกระทบในวงกว้างขึ้นได้ และในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ดำเนินการศึกษา ข้อมูลสถิติการเกิดเหตุเพลิงไหม้ 3 ปี ย้อนหลัง พบว่าส่วนมากเกิดขึ้นในกระบวนการที่มีการฟุ้งกระจายของฝุ่น คือกระบวนการใช้เม็ดเหล็กขัดผิวชิ้นงาน จำนวน 4 ครั้ง จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้มีทรัพย์สินชำรุดและเสียหายเป็นจำนวนมาก และสาเหตุหลักของการเกิดเหตุเพลิงไหม้มาจากกระทำของผู้ปฏิบัติงานเอง ที่มีการทำงานเกี่ยวกับประกายไฟใกล้เชื้อเพลิงฝุ่นเหล็ก เมื่อสะเก็ดไฟกระเด็นไปโดนฝุ่นที่สามารถเกิดการลุกไหม้ขึ้นได้ จึงทำให้เกิดการลุกลามและไหม้ไปยังเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆในเครื่องจักร เช่น ฟิลเตอร์กรองอากาศ แผ่นยางในตัวเครื่อง และทำให้มอเตอร์ของเครื่องจักรชำรุด เป็นต้น และในกระบวนการพ่นสีฝุ่น ซึ่งเป็นห้องปิดและมีถังไซโลใส่สีฝุ่นเพื่อพ่นลงชิ้นงานก่อนส่งไปยังกระบวนการอบสี ซึ่งในห้องนี้ขณะดำเนินการพ่นสีฝุ่น จะมีฝุ่นขนาดเล็กฟุ้งกระจายเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งถ้าอยู่ในสภาพวะที่เหมาะสมและสัมผัสกับความร้อนหรือประกายไฟก็อาจจะเกิดการระเบิดที่รุนแรงขึ้นได้

ดังนั้นหากมีการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่ครอบคลุม และหามาตรการในการป้องกันที่เหมาะสม ก็จะสามารถป้องกันการเกิดฝุ่นระเบิดขึ้นได้ในอุตสาหกรรมผลิตโครงสร้างยานยนต์ และสามารถป้องกันทรัพย์สินเสียหายและชีวิตของบุคคลได้

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงกระบวนการที่สามารถเกิดฝุ่นระเบิดได้

1.1.2 เพื่อหามาตรการในการป้องกันฝุ่นระเบิด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย [1] การเกิดการระเบิดของฝุ่น จะเกิดขึ้นได้ต้องมีองค์ประกอบครบทั้ง 5 องค์ประกอบ จึงจะสามารถเกิดการระเบิดของฝุ่นได้ ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบ พื้นฐานการเกิดไฟ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน และความร้อน แล้วยังต้องเพิ่มอีกสององค์ประกอบคือ การฟุ้งกระจาย และขอบเขตหมอกฝุ่น ซึ่งเรียกว่าห้าเหลี่ยมการเกิดการระเบิดของฝุ่น

พจน์ [2] ฝุ่นระเบิด หรือ Dust Explosion คือปรากฏการณ์ที่สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ หรือโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า 420 ไมครอนฟุ้งกระจายตัวในอากาศที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม และถ้าได้รับความร้อนจะสามารถติดไฟและเกิดการระเบิดได้ ฝุ่นระเบิดเกิดขึ้นได้ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและกิจกรรมต่างๆ เช่น เหตุระเบิดที่สวนน้ำในประเทศไต้หวันเมื่อปี 2558 ทำให้มีผู้บาดเจ็บเป็นจำนวนหลายร้อยคน ปรากฏการฝุ่นระเบิดเกิดขึ้นในหลายๆ ประเทศทั่วโลก ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น สาธารณรัฐประชาชนจีน แคนนาดา และอินเดีย สำหรับประเทศไทยเองก็มีเหตุระเบิดฝุ่นหลายครั้งในสถานประกอบการต่างๆ ก่อให้เกิดสูญเสียชีวิตของพนักงานและทรัพย์สินเสียหายเป็นจำนวนเงินหลายล้านบาท ซึ่งแนวทางในการป้องกันฝุ่นระเบิดคือป้องกันที่ตัวเชื้อเพลิง(ฝุ่น) ขจัดแหล่งความร้อน ลดก๊าซออกซิเจนในพื้นที่ และป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น ดังนั้นจึงควรมีวิธีการที่เหมาะสมเพื่อป้องกันฝุ่นระเบิดในประเทศไทย

นุจารีย์ [3] การพิจารณากระบวนการที่มีโอกาสการเกิดระเบิดฝุ่น จะพิจารณากระบวนการที่มีอุปกรณ์ลักษณะเป็นภาชนะปิด และกระบวนการที่มีการเกิดการสะสมของฝุ่นเกิดขึ้น อุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่มีลักษณะเป็นภาชนะปิดจะเกิดหมอกฝุ่นในพื้นที่จำกัดภายในภาชนะ เช่น สายพานลำเลียง ลิฟต์กะพ้อ เครื่องดักฝุ่น เครื่องผสม เครื่องบดไซโล เป็นต้น เมื่อเกิดการระเบิดของฝุ่นจะมีความรุนแรงมากกว่าการระเบิดในที่โล่งหลายเท่า ซึ่งแต่ละอุปกรณ์มีรายละเอียด ดังนี้ (1) สายพานลำเลียง (Chain conveyor) (2) ลิฟต์กะพ้อ (Bucket elevator) มีลักษณะการลำเลียงในแนวดิ่ง ลำเลียงผลิตภัณฑ์โดยมี กะพ้อ (Bucket) (3) อุปกรณ์ดักฝุ่น (Dust collector) (4) ไซโลหรือถังบรรจุ (Silo) (5) ถังชั่งน้ำหนักรวม (Weight hopper) (6) เครื่องผสม (Mixer machine) และ (7) เครื่องตีบดละเอียด (Hammer mill machine)

ศิริพร [4] การระเบิดในขั้นแรก (Primary explosion) ที่เกิดในกระบวนการทำงานของอุปกรณ์หรือในพื้นที่ใดที่มีฝุ่นสะสม (Dust accumulation) กันอยู่ จะทำความเสียหายต่อระบบจำกัด (Containment systems) ต่าง ๆ ที่มีอยู่ เช่น ท่อนำอากาศ ท่อส่ง หรืออุปกรณ์กำจัดฝุ่น

และทำให้เกิดคลื่นระเบิด (Blast wave) ตามมาที่อาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนของฝุ่นสะสมจำนวนมากที่ทับถมกันอยู่อย่างหลวม ๆ แล้วเป็นผลให้เกิดการแพร่กระจายของฝุ่นนี้ขึ้นไปในอากาศ ในลักษณะของกลุ่มฝุ่นขนาดใหญ่ (Dust cloud formed) และอาจเคลื่อนย้ายไปยังพื้นที่ใกล้เคียงและเมื่อกลุ่มฝุ่นที่ว่านี้เกิดจุดติดไฟขึ้นมาจากความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากการระเบิดในขั้นแรก ก็อาจก่อให้เกิดการระเบิดขั้นที่สอง (Secondary explosion) หรือระเบิดระลอกอื่นตามมา ซึ่งจะสร้างความเสียหายที่รุนแรงมากกว่าการระเบิดในขั้นแรก อันเนื่องมาจากปริมาณและความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของฝุ่นติดไฟได้ที่แพร่กระจายออกมา ประกอบกับแหล่งจุดติดไฟที่ใหญ่กว่าเดิมด้วย

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ดำเนินการศึกษากระบวนการผลิตในปัจจุบัน

จากการศึกษากระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตโครงสร้างยานยนต์ จำนวน 22 กระบวนการ พบว่า มี 3 กระบวนการ ที่มีฝุ่นเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ได้แก่ กระบวนการตัดชิ้นงานด้วย พลาสม่า (Plasma cutting) กระบวนการขัดชิ้นงานด้วยเม็ดเหล็ก (Shot blasting) และกระบวนการพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน (Powder booth) จึงนำทั้ง 3 กระบวนนี้ไปพิจารณาปัจจัยที่ทำให้เกิดฝุ่นระเบิดขึ้น

3.2 พิจารณาปัจจัยที่ทำให้เกิดฝุ่นระเบิด

วัตถุที่จะสามารถเกิดฝุ่นระเบิดขึ้นได้นั้น ต้องมีองค์ประกอบครบทั้ง 5 ตามองค์ประกอบของฝุ่นระเบิดได้ตามสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย [1] ดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 เชื้อเพลิง

ขนาดของฝุ่นละออง เชื้อเพลิงที่สามารถเกิดการระเบิดได้นั้นจะต้องเป็นฝุ่นที่สามารถติดไฟได้ มีขนาดเล็กกว่า 420 ไมครอน โดยใช้ตะแกรงเบอร์ 40 US หากร่อนผ่าน แสดงว่าฝุ่นมีขนาด $\leq$ 420 ไมครอน

องค์ประกอบที่ 2 การฟุ้งกระจายของฝุ่น

ความหนาของฝุ่นละออง ที่สามารถเกิดฝุ่นระเบิดขึ้นได้นั้นต้องมีความหนา มากกว่า 0.8 mm ขึ้นไป ดำเนินการวัดความหนาของฝุ่นโดยใช้ฟิลเลอร์เกจ โดยการวัดความหนาของฝุ่นที่สะสมตามเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ และความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (Minimum explosion concentration : MEC) ค่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศจนมีสภาพเป็นกลุ่มหมอกฝุ่น (Dust Cloud) ต่ำสุดที่สามารถเกิดการระเบิดขึ้นได้ จะอยู่ในช่วง 25 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรขึ้นไป

องค์ประกอบที่ 3 ขอบเขตของหมอกฝุ่น

ขอบเขตหมอกฝุ่น หมายถึงเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตที่มีฝุ่นแขวนลอยอยู่ภายใน เช่น เครื่องผสม เครื่องอบ ไซโคลน สายพานลำเลียง ไซโล กะพ้อลำเลียง และห้องปิดจะช่วยเพิ่มแรงดันของการระเบิด หรือพื้นที่เปิดโล่งที่มองเห็นเป็นกลุ่มของฝุ่นฟุ้งกระจายอยู่ก็เป็นขอบเขตหมอกฝุ่นเช่นกัน

องค์ประกอบที่ 4 ออกซิเจน

ออกซิเจน อากาศที่มีปริมาณมากกว่า 20.9% ทำให้ฝุ่นลุกติดไฟได้อย่างรวดเร็ว แต่ปริมาณออกซิเจนลดลง ความเร็วในการเผาไหม้ก็จะลดลงตาม ปริมาณออกซิเจนต่ำสุดในบรรยากาศที่ต้องการเพื่อให้เกิดการลุกไหม้ คือ 14 – 16%

องค์ประกอบที่ 5 แหล่งจุดติดไฟ

ค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดติดไฟ (Minimum ignition energy : MIE)ค่าพลังงานต่ำที่สุดที่จะจุดระเบิดฝุ่น ถ้าความชื้นของฝุ่นมากต้องใช้พลังงานในการจุดติดไฟ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงงานสถิต หรือการเสียดสีของวัตถุ ก็เป็นแหล่งความร้อนที่ทำให้เกิดการระเบิดของฝุ่นได้ และค่าอุณหภูมิต่ำสุดในการจุดติดไฟ (Minimum ignition temperature : MIT) ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ฝุ่นสามารถติดไฟได้ ปกติจะมี 2 ค่า คือ อุณหภูมิต่ำสุดในการจุดติดไฟที่เป็นหมอกฝุ่น (Dust cloud) กับเป็นกองฝุ่น (Layer)

ตารางที่ 1 การพิจารณาการเกิดฝุ่นระเบิดตามองค์ประกอบ

ชนิดฝุ่น	เชื้อเพลิง			การฟุ้งกระจายของฝุ่น	ขอบเขตหมอกฝุ่น	ออกซิเจน	แหล่งจุดติดไฟ	สรุปผล
	สันดาปได้	$\leq$ 420 ไมครอน	หนา > 0.8 มม	ความเข้มข้น $\geq$ MEC ($\geq$25 g/m3)	ภาชนะปิด	20.9%	อุณหภูมิ $\geq$ MIT, MIE	
ฝุ่นเหล็กจากกระบวนการ Plasma	ใช่	ใช่ บางส่วน	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ใช่	ใช่	ไม่ระเบิด
ฝุ่นเหล็กจากกระบวนการ Steel Shot	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ระเบิดได้
PU Powder coatings	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ระเบิดได้

จากการพิจารณาการเกิดฝุ่นระเบิดตามองค์ประกอบของเชื้อเพลิง การฟุ้งกระจายของฝุ่น ขอบเขตหมอกฝุ่น ออกซิเจน และแหล่งจุดติดไฟ พบว่ามี 2 กระบวนการที่มีโอกาสที่ฝุ่นจะสามารถระเบิดได้ คือ กระบวนการขัดชิ้นงานด้วยเม็ดเหล็ก (Shot blast process) และกระบวนการพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน (Powder booth) ส่วนอีก 1 กระบวนการไม่เกิดฝุ่นระเบิดขึ้น คือ กระบวนการตัดชิ้นงานด้วยลำแสงพลาสม่า (Plasma cutting process) จากการสำรวจพื้นที่ไม่เข้าข่ายพื้นที่อับอากาศ เพราะมีประตูทางเข้าออกหลายทาง และพนักงานต้องเปิดประตูคอยตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน ทำให้อากาศไหลเข้าสู่ห้องตัดชิ้นงานตลอดเวลา และทำให้มีฝุ่นบางส่วนสามารถกระจายตัวออกจากห้อง

ดังนั้นจากข้อมูลตามตารางที่ 1 จึงนำข้อมูลกระบวนการขัดชิ้นงานด้วยเม็ดเหล็ก (Shot blast process) และกระบวนการพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน (Powder booth) ไปประเมินความเสี่ยงต่อเพื่อหามาตรการในการควบคุมและแก้ไข ไม่ให้เกิดฝุ่นระเบิดขึ้นในกระบวนการโดยการประเมินความเสี่ยงจะพิจารณาจาก องค์ประกอบที่ 2 โอกาสการเกิดฝุ่นฟุ้งกระจายและองค์ประกอบที่ 5 แหล่งความร้อน เพื่อมองหาจุด

อุปกรณ์หรือเครื่องจักร ที่มี 2 องค์ประกอบนี้ เพื่อควบคุม ป้องกัน หรือแก้ไข ไม่ให้เกิดฝุ่นระเบิดขึ้น

3.3 เครื่องมือการประเมินความเสี่ยงการเกิดฝุ่นระเบิด

การประเมินความเสี่ยงพิจารณาจาก 2 ปัจจัย คือ โอกาสการเกิดฝุ่นฟุ้งกระจาย และแหล่งความร้อน และนำไปประเมินความเสี่ยงดังตารางที่ 2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

โอกาสการเกิดฝุ่นฟุ้งกระจาย

A คือ โซนที่เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองในอากาศอย่างต่อเนื่องหรือเป็นเวลานานหรือเกิดด้วยความถี่สูง มากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน เช่น ไซโล เครื่องบด เป็นต้น

B คือ โซนที่เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองในอากาศที่จะเกิดขึ้นในการผลิตปกติ แต่ไม่บ่อยครั้งและเพียงระยะเวลาสั้น น้อยกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน เช่น สายพานลำเลียง เป็นต้น

C คือ โซนที่เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองน้อยมาก เกิดขึ้นภายนอกอุปกรณ์ เช่น พื้น ผนัง เป็นต้น

D คือ ไม่ใช่พื้นที่เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง

แหล่งความร้อน

1 คือ เกิดความร้อนขึ้นปกติในกระบวนการผลิต อย่างต่อเนื่องมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน

2 คือ เกิดความร้อนขึ้นปกติในกระบวนการผลิตเป็นครั้งคราวหรือระยะสั้นน้อยกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน

3 คือ เกิดความร้อนขึ้นน้อยกว่า 5 ชั่วโมงต่อวัน เช่น การซ่อมบำรุง การบำรุงรักษา เป็นต้น

4 คือ ไม่เกิดความร้อนขึ้นในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 2 การประเมินความเสี่ยงของการเกิดฝุ่นระเบิด

การประเมินความเสี่ยงของการเกิดฝุ่นระเบิด		โอกาสการเกิดฝุ่นฟุ้งกระจาย			
		A	B	C	D
แหล่งความร้อน	1				
	2	ความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้			
	3			ความเสี่ยงที่ยอมรับได้	
	4				

หลังจากการนำข้อมูลมาใส่ในตารางการประเมินความเสี่ยงกระบวนการที่มีฝุ่นระเบิดหากพบว่าข้อมูลนั้นอยู่ในพื้นที่สีเทาจะเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากอุปกรณ์/เครื่องจักร ณ จุดนั้นอาจมีโอกาสการฟุ้งกระจายตัวของฝุ่นหรือเป็นแหล่งที่เกิดความร้อนจะต้องดำเนินการหามาตรการเพื่อควบคุมความเสี่ยง

3.4 ผลการประเมินความเสี่ยงการเกิดฝุ่นระเบิด

จากการศึกษาโอกาสการเกิดฝุ่นฟุ้งกระจายและแหล่งการเกิดความร้อนในกระบวนการผลิตทั้ง 2 กระบวนการ เพื่อค้นหาอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นแหล่งกำเนิดทั้ง 2 ปัจจัย ก่อนนำข้อมูลดังกล่าวมาประเมินความเสี่ยง เพื่อหามาตรการควบคุม ป้องกัน ไม่ให้เกิดฝุ่นระเบิดขึ้น จึงนำข้อมูลที่ได้มาลงในตารางการประเมินความเสี่ยงโดยแบ่งตามกระบวนการดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินความเสี่ยงกระบวนการขัดชิ้นงานด้วยเม็ดเหล็ก (Shot blast process) และกระบวนการพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน (Powder booth)

การประเมินความเสี่ยงของการเกิดฝุ่นระเบิด		โอกาสการเกิดฝุ่นฟุ้งกระจาย			
		A	B	C	D
แหล่งความร้อน	1	A1,A2,A3, A8,A10,A11, B3,B7,B8	A4, A5, B4,B5		A9, B9
	2				
	3	A13,B1,B2,B6		B10	
	4	A12		A6,A7, B11	

หมายเหตุ : A1-A13 คือ กระบวนการขัดชิ้นงานด้วยเม็ดเหล็ก
B1-B11 คือ กระบวนการพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน

กระบวนการขัดชิ้นงานด้วยเม็ดเหล็ก (Shot blast process) มีความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ ได้แก่ A1,A2,A3,A4,A5,A8,A10,A11 และ A13 ต้องมีมาตรการในการดำเนินการปรับปรุง แก้ไข หรือควบคุมความเสี่ยง ส่วนความเสี่ยงที่สามารถยอมรับได้ ได้แก่ A6,A7,A9 และA12 ไม่ต้องมีมาตรการในการดำเนินการปรับปรุง แก้ไข หรือควบคุม

กระบวนการพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน (Powder booth) มีความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ ได้แก่ B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7และB8 ต้องมีมาตรการในการดำเนินการปรับปรุง แก้ไข หรือควบคุมความเสี่ยง ส่วนความเสี่ยงที่สามารถยอมรับได้ ได้แก่ B9,B10 และB11 ไม่ต้องมีมาตรการในการดำเนินการปรับปรุง แก้ไข หรือควบคุม

3.5 การกำหนดมาตรการในการลดความเสี่ยง

เมื่อดำเนินการประเมินความเสี่ยงในกระบวนการเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาถึงมาตรการในการจัดการกับความเสี่ยงรวมกับวิศวกรรมในโรงงาน โดยพิจารณาในการจัดการที่ต้นเหตุเป็นลำดับแรก ตามด้วยการทำให้เจือจาง การควบคุมโดยใช้หลักวิศวกรรม การควบคุมโดยใช้เอกสาร และการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองภัยส่วนบุคคล ตามลำดับNIOSH [5] บางอุปกรณ์/เครื่องจักร อาจมีการใช้หลายมาตรการในการควบคุม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อทรัพย์สินและบุคลากรมากที่สุดดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ด้านล่าง

ตารางที่ 4 มาตรการในการลดความเสี่ยงกระบวนการขัดชิ้นงานด้วยเม็ดเหล็ก (Shot blast process)

รหัส	เครื่องจักร/อุปกรณ์	มาตรการแนะนำ	ความเสี่ยงที่ลดลง	
			1	2
A1	ลูกกระพ้อ	ติดตั้งตัวกั้น Buffer ที่รางป้อน เพื่อลดความเร็ว ป้องกันไม่ให้วัสดุกระทบกับลูกกระพ้อโดยตรง	✓	✓
A2	สายพานกระพ้อ		✓	✓
A1	ลูกกระพ้อ	ออกแบบให้มีการติดตั้งลูกกระพ้อตักเม็ดเหล็ก/สายพานกระพ้อจากด้านนอกและเทเม็ดเหล็กเข้าไปในตัวเครื่อง		✓
A2	สายพานกระพ้อ			✓
A3	ชุดจ่ายเม็ดเหล็กเข้าหัวยิง	เพิ่มการเปลี่ยนชุดจ่ายเม็ดเหล็กเข้าหัวยิงทุก 1 ปี	✓	
A3	ชุดจ่ายเม็ดเหล็กเข้าหัวยิง	เพิ่มชุดจ่ายหัวยิงเม็ดเหล็กโดยดำเนินการสลับใช้งานกับชุดหัวจ่ายเม็ดเหล็กปัจจุบัน	✓	
A10	หัวเครื่องยิงเม็ดเหล็ก		✓	
A4	ลูกกลิ้งลำเลียงชิ้นงานเข้า	เพิ่มการตรวจสอบสายกราวด์ มีความต้านทาน < 5 โอร์ม และค่าไฟฟ้าสถิต < 3 Kv	✓	
A5	ลูกกลิ้งลำเลียงชิ้นงานออก		✓	
A10	หัวเครื่องยิงเม็ดเหล็ก		✓	
A11	เครื่องไซโคลน		✓	
A4	ลูกกลิ้งลำเลียงชิ้นงานเข้า	ติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ลูกกลิ้งลำเลียงชิ้นงานเข้า/ออกเพื่อตรวจจับเวลาที่มีชิ้นงานลูกกลิ้งถึงทำงาน ไม่เคลื่อนที่ตลอดเวลา	✓	
A5	ลูกกลิ้งลำเลียงชิ้นงานออก		✓	
A8	เครื่องดักฝุ่น	เปลี่ยนฟิลเตอร์กรองฝุ่นเป็นแบบป้องกันไฟฟ้าสถิต และเกิดการลุกไหม้	✓	
A8	เครื่องดักฝุ่น	กำหนดเวลาในการเปิดระบบบำบัดอากาศ	✓	✓
A11	เครื่องไซโคลน		✓	✓

ตารางที่ 4 (ต่อ)

รหัส	เครื่องจักร/อุปกรณ์	มาตรการแนะนำ	ความเสี่ยงที่ลดลง	
			1	2
A11	เครื่องไซโคลน	ย้ายเครื่องไซโคลนไปไว้ภายนอกโรงงาน (New dust collector project)	✓	
A13	พื้นที่ใต้เครื่องขัดชิ้นงาน	เพิ่มการนำฝุ่นเหล็กที่สะสมใต้เครื่องขัดชิ้นงานไปกำจัดทุกวัน และมีการตรวจสอบโดยใช้เอกสาร Daily check sheet		✓

หมายเหตุ : 1 คือ แหล่งความร้อน
2 คือ โอกาสการเกิดฝุ่นฟุ้งกระจาย

ตารางที่ 5 มาตรการในการลดความเสี่ยงกระบวนการพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน (Powder booth)

รหัส	เครื่องจักร/อุปกรณ์	มาตรการแนะนำ	ความเสี่ยงที่ลดลง	
			1	2
B1	ถังเหล็กเก็บสีฝุ่น	เพิ่มการตรวจสอบสายกราวด์ มีความต้านทาน < 5 โอร์ม และค่าไฟฟ้าสถิต < 3 Kv	✓	
B2	ท่อดูดสีฝุ่นเข้าไปในตัวเครื่อง		✓	
B3	ถังไซโลเก็บสีฝุ่น		✓	
B4	ลูกกลิ้งลำเลียงชิ้นงานเข้า		✓	
B5	ลูกกลิ้งลำเลียงชิ้นงานออก		✓	
B6	เครื่องพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน		✓	
B7	เครื่อง AHU		✓	
B8	เครื่องดักฝุ่น		✓	
B1	ถังเหล็กเก็บสีฝุ่น	กรณีที่มีการซ่อมถังเหล็กเก็บสีฝุ่นให้ดำเนินการถอดถังฝุ่นไปซ่อมด้านนอกกระบวนการก่อนนำเข้ามาประกอบในห้อง ประเมินไว้ในเอกสาร JSA และ Work permit	✓	

ตารางที่ 6 (ต่อ)

รหัส	เครื่องจักร/อุปกรณ์	มาตรการแนะนำ	ความเสี่ยงที่ลดลง	
			1	2
B2	ท่อดูดสีฝุ่นเข้าไปในตัวเครื่อง	ท่อสีดูดฝุ่น กรณีชำรุดให้ดำเนินการเปลี่ยนใหม่ ไม่ดำเนินการแก้ไข และทำให้เกิดประกายไฟภายในห้อง ประเมินไว้ในเอกสาร JSA และ Work permit	✓	
B3	ถังไซโลเก็บสีฝุ่น	กรณีดำเนินการซ่อมแซมถังไซโลให้ถ่ายเทสีฝุ่นออกจากถัง ประเมินไว้ในเอกสาร JSA และ Work permit		✓
B3	ถังไซโลเก็บสีฝุ่น	มีการติดป้าย และเพิ่มลงใน WI เพื่อควบคุมอุณหภูมของห้องไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส	✓	
B6	เครื่องพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน	มีการติดป้าย และเพิ่มลงใน WI เพื่อควบคุมอุณหภูมของห้องไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส	✓	
B3	ถังไซโลเก็บสีฝุ่น	ติดตั้งประตูระบายความดันแรงระเบิด		✓
B4	ลูกกลิ้งลำเลียงชิ้นงานเข้า	ติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ลูกกลิ้งลำเลียงชิ้นงานเข้า/ออก เพื่อตรวจจับเวลาที่มีชิ้นงานลูกกลิ้งถึงทำงาน ไม่เคลื่อนที่ตลอดเวลา	✓	
B5	ลูกกลิ้งลำเลียงชิ้นงานออก		✓	
B6	เครื่องพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน	มีการใช้เอกสาร Hot Work สำหรับงานความร้อน และมีการระบายฝุ่นและทำความสะอาดก่อนการซ่อมบำรุง	✓	✓
B7	เครื่อง AHU	เปลี่ยนฟิลเตอร์กรองฝุ่นเป็นแบบป้องกันไฟฟ้าสถิต และเกิดการลุกไหม้	✓	
B8	เครื่องดักฝุ่น		✓	
B7	เครื่อง AHU	กำหนดระยะเวลาในการทำงานของเครื่อง	✓	✓
B8	เครื่องดักฝุ่น		✓	✓

หมายเหตุ : 1 คือ แหล่งความร้อน
2 คือ โอกาสการเกิดฝุ่นฟุ้งกระจาย

4. สรุปผล

การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาความเสี่ยงการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการผลิตโครงสร้างยานยนต์ พบว่า มี 2 กระบวนการที่สามารถเกิดฝุ่นระเบิดได้ คือ กระบวนการขัดชิ้นงานด้วยเม็ดเหล็ก (Shot blasting) และกระบวนการพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน (Powder booth) จากการนำทั้ง 2 กระบวนการไปประเมินความเสี่ยงพบว่ากระบวนการขัดชิ้นงานด้วยเม็ดเหล็ก (Shot blasting) มี 9 จุด ที่อยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ และกระบวนการพ่นสีฝุ่นลงบนชิ้นงาน (Powder booth) มี 8 จุด ที่อยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ จึงนำข้อมูลที่ได้ไปหามาตรการการควบคุมและป้องกันเพิ่มเติม สามารถสรุปได้ดังนี้

มาตรการที่สามารถลดแหล่งความร้อน เช่น (1) ติดตั้งตัวกั้น Buffer ที่รางป้อน เพื่อลดความเร็ว ป้องกันไม่ให้วัสดุกระทบกับลูกกระพ้อโดยตรง (2) เพิ่มการเปลี่ยนชุดจ่ายเม็ดเหล็กเข้าหัวยิงทุก 1 ปี (3) เพิ่มชุดจ่ายหัวยิงเม็ดเหล็ก โดยดำเนินการสลับใช้งานกับชุดหัวจ่ายเม็ดเหล็กปัจจุบัน (3) เพิ่มการตรวจสอบสายกราวด์ มีความต้านทาน < 5 โอร์ม และค่าไฟฟ้าสถิต < 3 Kv (4) ติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ลูกกลิ้งลำเลียงชิ้นงานเข้า เพื่อตรวจจับเวลาที่มีชิ้นงาน ลูกกลิ้งถึงทำงาน ไม่เคลื่อนที่ตลอดเวลา (5) เปลี่ยนฟิลเตอร์กรองฝุ่นเป็นแบบป้องกันไฟฟ้าสถิต และเกิดการลุกไหม้ เป็นต้น

มาตรการที่สามารถลดโอกาสการเกิดฝุ่นฟุ้งกระจาย เช่น (1) ติดตั้งตัวกั้น Buffer ที่รางป้อน เพื่อลดความเร็ว ป้องกันไม่ให้วัสดุกระทบกับลูกกระพ้อโดยตรง (2) ออกแบบให้มีการติดตั้งลูกกระพ้อตักเม็ดเหล็กจากด้านนอกและเทเม็ดเหล็กเข้าไปในตัวเครื่อง (3) ติดตั้งสายพานที่ติดกับลูกกระพ้อด้านนอกเครื่องจักร (4) กำหนดเวลาในการเปิดระบบบำบัดอากาศ (5) กำหนดเวลาในการเปิดเครื่องไซโคลน และ(6) เพิ่มการนำฝุ่นเหล็กที่สะสมใต้เครื่องขัดชิ้นงานไปกำจัดทุกวัน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย.(2553). คู่มือการจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้.
[2] พจน์ ภาคภูมิ. (2562). ฝุ่นระเบิดปัญหาสาเหตุและแนวทางป้องกันในประเทศไทย.
[3] นุจารีย์ สุดสงวน. (2560). การพัฒนาแนวทางประเมินความเสียงการเกิดฝุ่นระเบิด กรณีศึกษาโรงงานผลิตอาหารสัตว์เลี้ยง
[4] ศิริพร วันพั่น. (2554). การจัดการอันตรายจากการระเบิดของฝุ่น. http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=15594
[5] (NIOSH), N. I. f. O. S. a. H. (2024). The Hierarchy of Controls.

การออกแบบสถานีการทำงานบรรจุแผ่นโฟมโพลีโอเลฟีนของพนักงานแผนกลามิเนต โดยการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์

Work Improvement of Polyolefin Foam Sheet Packing of Laminate Department Operators by Ergonomics Risk Assessment

อรอุมา ชุมปัญญา[1*] เพ็ญสุดา พันฤทธิ์ดำ[2]
[1]หลักสูตรวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
E-mail: onuma.chum@ku.th*

On-uma Chumpanya[1*] Pensuda Phanritdum[2]
[1]Safety Engineering and Environmental Management Program, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus
E-mail: onuma.chum@ku.th*

บทคัดย่อ

การทำงานบรรจุแผ่นโพลีโอเลฟีน ซึ่งเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อนที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง การบรรจุแผ่นโพลีโอเลฟีนเป็นการทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดชั่วโมงการทำงาน จากการศึกษาและการทำแบบสอบทางด้านสุขภาพขั้นต้นด้วยเครื่องมือมาตรฐานวิชาการ ISO/TS 20646-1 รวมถึงการประเมินความเสี่ยงท่าทางในการทำงานด้วยเทคนิค Rapid Entire Body Assessment (REBA) โดยทำการศึกษาและประเมินท่าทางการทำงานของพนักงานแผนกลามิเนตทั้งหมด 6 ท่าน โดยในขั้นตอนการทำงานพนักงานจะต้องยืนปฏิบัติงานตลอดชั่วโมงการทำงานและโน้มตัวเพื่อจับแผ่นโพลีโอเลฟีนเข้าบรรจุในถุงจนครบ 10 แผ่น แล้วจึงเริ่มบรรจุในถุงใหม่ซ้ำๆ ส่งผลให้พนักงานมีความเมื่อยล้าและบาดเจ็บจากท่าทางการทำงานโดยเฉพาะส่วนขา มือ และข้อมือ และผลจากการประเมินด้วยเทคนิค REBA พบว่าระดับคะแนนความเสี่ยงสูงมาก ผลจากการออกแบบสถานีการทำงานบรรจุแผ่นโพลีโอเลฟีนเพื่อลดปัญหาความเมื่อยล้าและการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ พบว่า หากมีการใช้งานเครื่องบรรจุแผ่นโพลีโอเลฟีนกึ่งอัตโนมัติ จะส่งผลให้พนักงานไม่จำเป็นต้องยืนปฏิบัติงานตลอดชั่วโมงการทำงานและไม่ต้องโน้มตัวเพื่อจับแผ่นโพลีโอเลฟีนเข้าบรรจุในถุงจนครบจำนวน รวมถึงจะช่วยลดความเมื่อยล้าและการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะส่วนขา มือ และข้อมือได้

คำสำคัญ: การยศาสตร์, การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์, การออกแบบสถานีการทำงาน

Abstract

Polyolefin sheet packing work, which is a heat insulation sheet used in the construction industry. Polyolefin sheet packing is a continuous work throughout the working hours. From the study and the initial health examination with the standard academic tool ISO/TS 20646-1, including the risk assessment of working postures with the Rapid Entire Body Assessment (REBA) technique, the working postures of all 6 employees in the laminate department were studied and assessed. In the working process, the employees had to stand and work throughout the working hours and bend over to grab the polyolefin sheets into the bags until all 10 sheets were filled and then start packing them into new bags repeatedly. This resulted in the employees being tired and injured from the working postures, especially the legs, hands, and wrists. The results of the assessment using the REBA technique showed that the risk score was very high. The result of the design of the polyolefin sheet packing workstation to reduce the problem of fatigue and muscle injuries found that if a semi-automatic polyolefin sheet packing machine is used, the employees will not have to stand and work throughout the working hours and will not have to bend over to grab the polyolefin sheets into the bags until all the sheets are filled, and it will also help reduce fatigue and muscle injuries, especially in the legs, hands, and wrists.

Keywords: Ergonomics, Ergonomics risk assessment, Workstation design

1. บทนำ

จากงานด้านการยศาสตร์ ในประเทศไทย [1] ได้อธิบายมาตรฐาน ISO/TS 20646-1 ว่าเป็นการดำเนินการแบบมีส่วนร่วม (Participation Approach) ของบุคคลที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและอาชีวอนามัยขององค์กรและผู้ที่รับผิดชอบหรือปฏิบัติงานในพื้นที่ที่จะทำการประเมินเพื่อการปรับปรุงแก้ไขวิธีการทำงานและสถานีงานนั้น ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการศึกษางานประเมินความเสี่ยงทางด้านการยศาสตร์ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นโฟมโพลีโอเลฟีน ซึ่งเป็นฉนวนกันความร้อน ที่ยังมีบางกระบวนการทำงานที่ยังคงต้องใช้แรงงานคนในการทำงานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยมีการทำงานท่าเดิมซ้ำๆ การทำงานในท่านั่งหรือยืนในระยะเวลานาน การยกสิ่งของที่มีลักษณะใหญ่และมีน้ำหนักไม่เหมาะสม ท่าทางเอี้ยวตัวขณะทำการยกหรือเคลื่อนย้ายสิ่งของ ส่งผลให้พนักงานจะมีอาการปวดเมื่อยตามส่วนร่างกายบางส่วน หากอาการเหล่านี้สะสมและเพิ่มระดับขึ้น ก็จะส่งผลต่อสุขภาพอนามัย สมรรถภาพในการทำงาน และคุณภาพชีวิตของพนักงานในอนาคต ดังนั้นเพื่อลดความเมื่อยล้าและการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อจากการทำงาน ลดอัตราการเกิดโรคจากการประกอบอาชีพและเกิดความปลอดภัยในการทำงาน ผู้วิจัยจึงเลือกทำการศึกษาและประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานในกระบวนการบรรจุแผ่นโฟมโพลีโอเลฟีนของพนักงานแผนกลามิเนต โดยใช้แบบสอบถามตามมาตรฐานวิชาการ ISO/TS 20646-1 และการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยเทคนิค Rapid Entire Body Assessment (REBA) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลการวิเคราะห์ความเสี่ยงมาเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงสภาพการทำงานและออกแบบสถานีการทำงานให้ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานโดยการใช้แบบประเมิน Rapid Entire Body Assessment (REBA) ที่ถูกพัฒนาโดย Lynn Mc.atamney and Nigel Corlett โดยถูกออกแบบสำหรับการประเมินระดับปัญหาทางการยศาสตร์ ที่เหมาะสำหรับการประเมินส่วนต่างๆ ของร่างกาย มีการประเมินทั้งหมด 15 ขั้นตอน ซึ่งมีการจัดทำเป็นรูปแบบประเมินเพื่อให้ง่ายต่อผู้ประเมินในการประเมินพื้นที่ปฏิบัติงาน มีการประเมินเป็น 2 ส่วนหลัก คือ กลุ่ม A ประกอบด้วยการประเมินคอ ลำตัว และขากลุ่ม B ประกอบด้วยการประเมินส่วนแขนและข้อมือ [2]

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การศึกษาผลการวิจัยของยุพาวดี [3] กล่าวถึงการประเมินความเสี่ยงท่าทางในการทำงานด้วยเทคนิค REBA พบว่ามีระดับความเสี่ยงสูง พนักงานมีความรู้สึกเมื่อยล้าของทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของร่างกาย โดยเฉพาะส่วนของหลังส่วนล่าง คอ ไหล่ และได้ปรับปรุงวิธีการทำงานบรรจุมอเตอร์เครื่องปรับอากาศโดยใช้เครื่องทุ่นแรง พบว่าการประเมินความเสี่ยงท่าทางในการทำงานหลังการปรับปรุงวิธีการทำงานลดลง และพนักงานมีความพึงพอใจต่อการปรับปรุงในครั้งนี้

การศึกษาผลการวิจัยของชาญวิทย์ [4] ที่ได้ทำการศึกษาและวิจัยประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานของการผลิตกระบอกสูบเครื่องยนต์ด้วยเทคนิค REBA พบว่าในการประเมินส่วนของหลังและแขนท่อนบนของพนักงานมีท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม และได้ปรับปรุงสถานีงานโดยปรับระยะความสูงของเครื่องจักรให้มีความเหมาะสม และออกแบบให้สามารถปรับระดับความสูงได้ หลังการปรับปรุงพบว่าการประเมินความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ลดลง และพนักงานมีความพึงพอใจต่อการปรับปรุงในครั้งนี้เป็นอย่างมาก

การศึกษาผลการวิจัยของศริยา [5] ที่ได้ทำการศึกษาและวิจัยประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยเทคนิค REBA ของพนักงานผสมวัตถุดิบในกระบวนการผลิตสีน้ำมัน ร่วมกับการทำแบบสำรวจภาระงานของกล้ามเนื้อจากการทำงานตามมาตรฐาน ISO/TS 20646-1 พบว่าระดับความเสี่ยงท่าทางการทำงานสูง และพนักงานรู้สึกปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะส่วนคอ ข้อศอก มือ/ข้อมือ จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการทำงาน และนำเครื่องทุ่นแรงมาใช้ในการทำงาน พบว่าระดับความเสี่ยงหลังการปรับปรุงลดลง และพนักงานพึงพอใจต่อการปรับปรุงวิธีการทำงานในระดับดี

การศึกษาผลการวิจัยของวีระ [6] ที่ได้ทำการศึกษาการออกแบบอุปกรณ์เพื่อลดการบาดเจ็บจากการทำงานอบเบ้าปูนโดยเฉพาะกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ จากการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยเทคนิค REBA พบว่าก่อนการออกแบบเครื่องมือ ระดับความเสี่ยงท่าทางในการทำงานอยู่ในระดับความเสี่ยงสูงมากต้องดำเนินการปรับปรุงทันที จึงได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ โดยการปรับระดับความสูงของรถเข็นให้อยู่ในระดับที่พอดีกับสรีระร่างกายของพนักงาน และเมื่อทำการประเมินความเสี่ยงหลังการปรับปรุง พบว่าระดับความเสี่ยงลดลงและช่วยลดอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อโดยเฉพาะกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างได้

และการศึกษาผลการวิจัยของศราวุฒิ [7] ที่ได้ทำการศึกษาการออกแบบระบบการทำงานอัตโนมัติของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนชุดประกอบร่วมห้ามล้อรถบรรทุก พบว่าสามารถลดจำนวนพนักงานในสายการผลิตจากเดิม 8 คน/วัน ลดเหลือ 2 คน/วันเพื่อทำงานควบคุมระบบการทำงาน โดยการออกแบบและติดตั้งกระบวนการผลิตอัตโนมัติในครั้งนี้ไม่ส่งผลต่อคุณภาพการผลิต และยังลดต้นทุนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งคาดว่าจะคืนทุนภายใน 2.5 ปี

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้มีเครื่องมือและขั้นตอนแสดงรายละเอียด ดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- ภาพถ่ายและวีดีโอบันทึกข้อมูลท่าทางในการทำงาน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงท่าทางในการทำงาน

- โปรแกรม KINOVEA ใช้ในการวัดมุมองศาท่าทางการทำงานให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น
- แบบสอบถามตามมาตรฐานวิชาการ ISO/TS 20646-1 เพื่อสอบถามสภาพปัญหาและความเมื่อยล้าและปวดกล้ามเนื้อของพนักงาน
- แบบฟอร์ม Rapid Entire Body Assessment (REBA) ใช้ในการประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานของพนักงาน

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

ในขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการใช้วิธีการศึกษาข้อมูลขั้นตอนการทำงานและสังเกตท่าทางการทำงานของพนักงานแผนกลามิเนตดัง แสดงในตารางที่ 1 ดำเนินการรวบรวมข้อมูลและขออนุญาตงานวิจัยในมนุษย์ จากนั้นจึงเก็บผลแบบสอบถามตามมาตรฐานวิชาการ ISO/TS 20646-1 เพื่อสอบถามข้อมูลการชี้บ่งอันตรายที่เกี่ยวข้องกับการรับภาระงานของกล้ามเนื้อ สอบถามความต้องการดำเนินการแก้ไขสถานีการทำงานของพนักงาน และสอบถามความเมื่อยล้าหรือบาดเจ็บจากการทำงานในส่วนต่างๆ ของร่างกาย แล้วทำการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์โดยใช้เทคนิค REBA แล้วจึงทำการเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงสถานีการทำงานและออกแบบสถานีการทำงานให้พนักงานมีความเสี่ยงทางด้านการยศาสตร์ลดลง

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการทำงานบรรจุแผ่นโฟมโพลีโอเลฟิน

ขั้นตอน	ภาพประกอบ
ขั้นตอนที่ 1 พนักงานยืนรอแผ่นโฟมโพลีโอเลฟินขนาดความกว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 230 เซนติเมตร และหนา 5 เซนติเมตร น้ำหนักแผ่นโฟมมีน้ำหนักไม่เกิน 2 กิโลกรัม เคลื่อนออกจากเครื่องจักรและถูกตัดโดยเครื่องตัดอัตโนมัติ	
ขั้นตอนที่ 2 พนักงาน 2 ท่าน รับแผ่นโฟมโพลีโอเลฟินที่ถูกตัดด้วยเครื่องตัดอัตโนมัติ	
ขั้นตอนที่ 3 พนักงาน 2 ท่าน หยิบแผ่นโฟมโพลีโอเลฟิน เพื่อบรรจุเข้าถุงจนครบจำนวน 10 แผ่น แล้วทำการบรรจุแผ่นโฟมในถุงถัดไป	

4. ผลการศึกษาวิจัย

ผลการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ผลการวิเคราะห์จากแบบสอบถามตามมาตรฐานวิชาการ ISO/TS 20646-1 และผลจากการประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยเทคนิค REBA โดยมีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์จากแบบสอบถามตามมาตรฐานวิชาการ ISO/TS 20646-1

4.1.1 ผลจากแบบสอบถามข้อมูลการชี้บ่งอันตรายที่เกี่ยวข้องกับการรับภาระงานของกล้ามเนื้อ

พบว่าพนักงานทั้งหมด 6 ท่านมีความคิดเห็นตรงกันว่าการปฏิบัติงานบรรจุแผ่นโฟมโพลีโอเลฟินมีชั่วโมงการทำงานในแต่ละครั้งยาวนานและความมากน้อยของงานไม่เท่ากัน เป็นการทำงานที่ซ้ำซากในท่าทางเดิมๆ โดยที่สภาพแวดล้อมในการทำงาน หรือพื้นที่การทำงาน เช่น เสียงดัง พื้นไม่เลียบ ไม่มีผลต่อความเมื่อยล้าและบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลจากแบบสอบถามข้อมูลการชี้บ่งอันตรายที่เกี่ยวข้องกับการรับภาระงานของกล้ามเนื้อ

งานที่ทำเกี่ยวข้องกับสภาพการทำงานต่อไปนี้หรือไม่	จำนวนพนักงาน	
	ใช่	ไม่ใช่
มีชั่วโมงการทำงานที่ยาวนาน	6	0
มีการทำงานล่วงเวลาบ่อยครั้งและยาวนาน	5	1
มีเวลาในการปฏิบัติงานที่ต่อเนื่องยาวนาน	6	0
มีวันหยุดที่ไม่เพียงพอ	2	4
มีจำนวนงานหรือความมากน้อยของงานไม่สม่ำเสมอ	6	0
มีจำนวนงานหรือความมากน้อยของงานระหว่างพนักงานแต่ละคนไม่เท่ากัน	4	2
มีการขนย้ายวัตถุที่หนัก	4	2
มีการทำงานที่ต้องออกแรงมาก	5	1
มีการทำงานที่ซ้ำซาก	4	2
มีลักษณะของงานที่ต้องใช้นิ้วมือหรือมือบ่อยครั้งหรือต้องเคลื่อนไหวที่มือบ่อยครั้ง	5	1
มีการใช้เครื่องมือที่สั่นสะเทือน	0	6
มีท่าทางการเคลื่อนไหวที่ไม่ถนัดและฝืนธรรมชาติ	1	5
มีการเปลี่ยนมุมของข้อต่อบ่อยครั้งอย่างต่อเนื่อง	2	4

งานที่ทำเกี่ยวข้องกับสภาพการทำงานต่อไปนี้หรือไม่	จำนวนพนักงาน	
	ใช่	ไม่ใช่
มีการทำงานในท่าทางเดิมๆ เป็นระยะเวลานาน	6	0
พื้นที่การทำงานไม่เพียงพอ ทำให้ทำงานในท่าทางที่ไม่ถนัดหรือมีการเคลื่อนไหวจำกัด	4	2
มีการวางผังพื้นที่ทำงานหรือวัตถุที่จับถืออยู่ไม่เหมาะสม ทำให้เคลื่อนไหวมากเกินไป	3	3
พื้นที่หน้างานมีขนาดความสูงไม่เหมาะสมกับรูปร่างและไม่สัมพันธ์กับตำแหน่งที่ปฏิบัติงาน	4	2
วัตถุที่จับอยู่สูงเหนือไหล่	2	4
ลักษณะการทำงานอยู่ในท่าทางเดิม	5	1
วัตถุที่มือจับมีน้ำหนักมากหรือต้องออกแรงมาก	4	2
วัตถุจับถือยากหรือลื่น	4	2
พื้นที่ในการทำงานมีสภาพลื่นหรือไม่เรียบ	2	4
สิ่งแวดล้อมในการทำงานมีเสียงดัง	2	4

4.1.2 ผลจากแบบสอบถามข้อมูลความต้องการในการแก้ไขสถานีการทำงานของพนักงาน

พบว่าพนักงานทั้งหมด 6 ท่าน มีความต้องการในการปรับปรุงสถานีการทำงานโดยต้องการให้มีเครื่องทุ่นแรงเข้ามาช่วยในการปฏิบัติงานบรรจุแผ่นโฟมโพลีโอเลฟีน ดังแสดงในตารางที่ 3 แสดงผลลำดับความต้องการ 3 ลำดับแรก

ตารางที่ 3 ผลจากแบบสอบถามข้อมูลความต้องการในการแก้ไขสถานีการทำงานของพนักงาน 3 ลำดับแรก

ลำดับ	รายการสำรวจ	คะแนนรวม
1	ให้มีการใช้รถเข็น รถลาก อุปกรณ์มีล้ออื่นๆ สายพาน ลูกกลิ้ง เมื่อต้องการย้ายวัตถุ	24
2	ลดการเคลื่อนย้ายวัตถุด้วยแรงคน โดยการใช้เครื่องกลต่างๆ ช่วยในการเคลื่อนย้าย	23
3	ขจัดการทำงานที่ต้องก้มหลัง หรือบิดเอี้ยวตัวในขณะที่ยกเคลื่อนย้ายวัตถุ	22

4.1.3 ผลจากแบบสอบถามความเหนื่อยหรือเจ็บปวดกล้ามเนื้อของพนักงานในระหว่างทำงาน

พบว่า พนักงานมีอาการมากที่สุดในด้านซ้ายและขวาในส่วนของมือ/ข้อมือ และเท้า เท่าๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 4

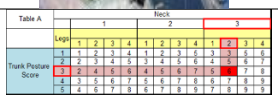
ตารางที่ 4 ผลจากแบบสอบถามความเหนื่อยหรือเจ็บปวดกล้ามเนื้อของพนักงานในระหว่างทำงาน

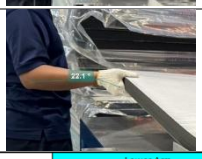
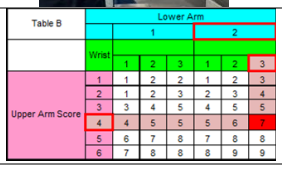
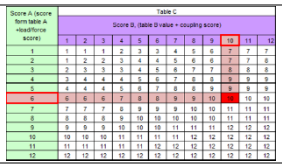
ส่วนของร่างกาย	ด้านซ้าย	ด้านขวา
	เฉลี่ย	เฉลี่ย
คอ	0.75	0.75
ไหล่	0.75	1.00
หลังส่วนบน	0.75	0.75
หลังส่วนล่าง	1.00	1.00
แขนส่วนบน	1.00	0.75
ข้อศอก	0.50	0.50
แขนส่วนล่าง	1.00	1.00
มือ/ข้อมือ	1.25	1.25
สะโพก/ต้นขา	1.00	1.00
หัวเข่า	0.75	0.75
น่อง	1.00	1.00
เท้า	1.25	1.25

4.2 ผลจากการประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยเทคนิค REBA

ในการประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยเทคนิค REBA มีขั้นตอนและคำอธิบายตามผล โดยสรุปข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งแสดงคะแนนแต่ละขั้นตอนและความหมายของการประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยเทคนิค REBA ดังนี้

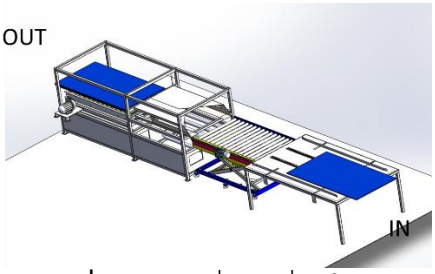
ตารางที่ 5 ผลการประเมินความเสี่ยงด้วยเทคนิค REBA

กลุ่ม	ส่วนของร่างกาย	ลักษณะท่าทางการทำงาน	คะแนนท่าทาง
A	คอ (Neck)		3
	ลำตัว (Trunk)		3
	ขา (Legs)		2
	รวมคะแนนจากตารางกลุ่ม A		6

กลุ่ม	ส่วนของร่างกาย	ลักษณะท่าทางการทำงาน	คะแนนท่าทาง
	แรงที่ใช้หรือภาระงาน (Force/Load)	แผ่นโฟมมีน้ำหนักไม่เกิน 5 กิโลกรัม ไม่มีการกระแทกหรือไม่มีการกระชากเร็ว	0
	รวมคะแนน กลุ่ม A + แรงที่ใช้หรือภาระงาน		6
B	แขนส่วนบน (Upper arm)		4
	แขนส่วนล่าง (Lower arm หรือ forearm)		2
	ข้อมือ (Wrist)		3
	รวมคะแนนจากตาราง กลุ่ม B		7
	การจับยึดวัตถุ (Coupling)	แผ่นโฟมไม่มีมือจับและวัตถุจับยึดได้ยาก ผิวลื่นมัน	3
	รวมคะแนน กลุ่ม B + การจับยึดวัตถุ		10
	การประเมินการเคลื่อนไหวและกิจกรรมของงาน	มีการเคลื่อนไหวส่วนของแขนและมือซ้ำๆ ไม่น้อยกว่า 5 ครั้ง/นาที	1
	ค่าคะแนนจากตาราง C		10
	รวมคะแนนจากการประเมินการเคลื่อนไหวและกิจกรรมของงานกับค่าคะแนนจากตาราง C		11
	สรุปผลคะแนน		11
	ระดับความเสี่ยง	**มีความเสี่ยงสูงมาก**	

5. การเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงแก้ไขและออกแบบสถานีการทำงาน

จากผลแบบสอบถามและผลการประเมินความเสี่ยงด้วยเทคนิค REBA ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการออกแบบสถานีการทำงาน โดยพิจารณาในการลดการทำงานท่าทางเดิมๆ ซ้ำ ๆ เพื่อขจัดอาการเมื่อยล้าหรือเจ็บปวดของกล้ามเนื้อในการทำงานโดยเฉพาะส่วนของมือ/ข้อมือ และเท้า รวมถึงเพื่อลดความเสี่ยงทางการยศาสตร์ให้อยู่ในระดับค่าความเสี่ยงลดลง โดยใช้เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ สำหรับบรรจุแผ่นโพลีโอเลฟีนทดแทน ซึ่งส่งผลให้จำนวนพนักงานที่สัมผัสความเสี่ยงลดลง จากเดิมมีจำนวนพนักงาน 6 ท่าน จะคงเหลือเพียง 2 ท่าน เพื่อทำการควบคุมเครื่องจักร ดังตัวอย่างเครื่องจักรที่แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ

วิธีการทำงานกับเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ สำหรับบรรจุแผ่นโพลีโอเลฟีน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 วิธีการทำงานกับเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ

ขั้นตอน	ปัญหาการยศาสตร์ที่ได้รับการแก้ไข
ขั้นตอนที่ 1 พนักงานทำงานบรรจุม้วนถุงแพ็คแผ่นโฟมโพลีโอเลฟีนเข้าเครื่องจักร และประกอบถุงเข้ากับอุปกรณ์เตรียมบรรจุแผ่นโฟมโพลีโอเลฟีน	ลดการทำงานในท่าทางเดิมๆ ซ้ำๆ และการยืนปฏิบัติงานตลอดชั่วโมงการทำงาน ลดการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อโดยเฉพาะส่วนของมือ/ข้อมือ และเท้า
ขั้นตอนที่ 2 พนักงานกดปุ่มควบคุมเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ และรอแผ่นโฟมโพลีโอเลฟีนเคลื่อนออกจากเครื่องจักรและถูกตัดโดยเครื่องตัดอัตโนมัติเข้าสู่กระบวนการแพ็ค	ลดการเอี้ยวตัวเพื่อรับแผ่นโฟมและลดการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อโดยเฉพาะส่วนของมือ/ข้อมือ และเท้า
ขั้นตอนที่ 3 พนักงานสังเกตการทำงานของเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติจนกว่าจะบรรจุแผ่นโฟมจนครบจำนวนแล้วดำเนินการส่งไปยังแผนกคลังสินค้าต่อไป	ลดการทำงานในท่าทางเดิมๆ ซ้ำๆ และการยืนปฏิบัติงานตลอดชั่วโมงการทำงาน ลดการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อโดยเฉพาะส่วนของมือ/ข้อมือ และเท้า

จากการวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานกับเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติข้างต้น พบว่าในการทำงานกับเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสามารถขจัดปัญหาความปวดเมื่อยของกล้ามเนื้อ และลดวิธีการทำงานในท่าทางเดิมๆ ซ้ำๆ รวมถึงการยืนทำงานตลอดชั่วโมงการทำงานได้ และเมื่อหากดำเนินการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานที่ปฏิบัติงาน 2 ท่าน คาดว่าความเมื่อยล้าและการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อจากการทำงานโดยเฉพาะส่วนของมือ/ข้อมือ และเท้าจะลดลง จนระดับค่าคะแนนความเสี่ยงอยู่ในระดับน้อย ซึ่งการทำงานกับเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติยังคงพบปัญหาทางด้านการยศาสตร์จากการทำงานกับเครื่องจักรที่ออกแบบอยู่ ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 บรรจุม้วนถุงแพ็คแผ่นโฟมโพลีโอเลฟินเข้าเครื่องจักร อาจมีการก้มหรือบิดเอี้ยวตัวขณะทำงาน เนื่องจากตำแหน่งติดตั้งม้วนถุงแพ็คอยู่ด้านล่างของเครื่องจักร จะต้องมีการประเมินความเสี่ยงเพื่อค้นหาระดับความเสี่ยงและเฝ้าระวังต่อไปในอนาคต

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยเทคนิค REBA พบว่าพนักงานมีท่าทางการทำงานในระดับคะแนนความเสี่ยงสูงมาก โดยเฉพาะส่วนของขา มือและข้อมือ ซึ่งสอดคล้องกับผลจากแบบสอบถามตามมาตรฐานวิชาการ ISO/TS 20646-1 พนักงานมีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อทั้งด้านซ้ายและด้านขวา ในส่วนมือ/ข้อมือและเท้า ผู้วิจัยจึงดำเนินเสนอแนะการออกแบบสถานีการทำงานเป็นการใช้เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับบรรจุแผ่นโพลีโอเลฟินของพนักงานแผนกลามิเนต ทำให้มีการเปลี่ยนขั้นตอนการทำงานจากเดิมต้องยืนปฏิบัติงานตลอดชั่วโมงการทำงานและใช้มือ/ข้อมือในการหยิบจับแผ่นโฟมเพื่อบรรจุลงถุง ในท่าทางการทำงานเดิมๆ ซ้ำๆ เปลี่ยนเป็นการควบคุมและกดปุ่มควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติแทนตลอดชั่วโมงการทำงาน ส่งผลให้ช่วยลดความเสี่ยงท่าทางในการทำงานซ้ำๆ เดิมๆ ลดอาการเมื่อยล้าและบาดเจ็บของกล้ามเนื้อในขณะทำงาน โดยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับบรรจุแผ่นโพลีโอเลฟิน ยังสามารถช่วยลดจำนวนพนักงานที่ปฏิบัติงานจากเดิมปฏิบัติงานและได้รับสัมผัสความเสี่ยงจากท่าทางที่ไม่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ทั้งหมด 6 ท่าน ลดจำนวนพนักงานลงเหลือเพียง 2 ท่าน ซึ่งเมื่อทำการศึกษาความสอดคล้องผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของศราวุฒิ [7]แล้วพบว่า การออกแบบและติดตั้งกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติช่วยนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยคาดว่าหลังจากพนักงานได้ทำงานกับเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติที่ออกแบบในครั้งนี้ จะส่งผลให้ลดต้นทุนการผลิตและลดความเมื่อยล้าจากการทำงานได้เช่นกัน

แต่อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติงานในสถานีการทำงานกับเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัตินี้ยังมีการใช้พนักงานในการติดตั้งถุงและควบคุมเครื่องจักร ดังนั้นยังคงต้องมีการเฝ้าระวังและสังเกตท่าทางในการทำงาน เพื่อประเมินความเสี่ยงท่าทางในการทำงานและความเสี่ยงอื่นๆ รวมถึงการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนและระยะเวลาในการคืนทุนเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] งานด้านการยศาสตร์ ในประเทศไทย, การตรวจประเมินโดยใช้แบบประเมิน ISO, ข้อมูลจาก https://thai-ergonomic-assessment.blogspot.com/2014/04/iso_25.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 พฤศจิกายน 2567)

[2] งานด้านการยศาสตร์ ในประเทศไทย, การประเมินความเสี่ยงโดยวิธีREBA, ข้อมูลจาก https://thai-ergonomic-assessment.blogspot.com/2014/04/iso_25.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 พฤศจิกายน 2567)

[3] ยุพาวดี ดวงอุปะ. การปรับปรุงวิธีการทำงานของพนักงานบรรจุมอเตอร์เครื่องปรับอากาศโดยการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์, 2559.

[4] ชาญวิทย์ เลิศฤทธิ์. การปรับปรุงสถานีงานของการผลิตกระบอกสูบเครื่องยนต์ โดยใช้วิธี NIOSH Lifting Equation และ REBA, 2559.

[5] ศริยา ประเสริฐฤทธิ์. การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์เพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานของพนักงานผสมวัตถุดิบในกระบวนการผลิตสีน้ำมัน, 2561.

[6] วีระ สุรศัพท์. การศึกษาการออกแบบอุปกรณ์เพื่อลดการบาดเจ็บจากกระบวนการอบเบ้าปูนในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ, 2561.

[7] ศราวุฒิ ทองมะหา. การออกแบบระบบการทำงานอัตโนมัติของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนชุดประกอบร่วมห้ามล้อรถบรรทุก, 2561.

การจัดตารางการทำงานซ่อมบำรุงรักษาของห้องปฏิบัติการทดลองด้านพอลิเมอร์ โดยใช้เทคนิคหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

Job Scheduling of Maintenance Work for Polymer Laboratory by Using Optimization Techniques

ราตรี จุลวรรณ[1] เชฏฐา ชำนาญหล่อ[2*] ศิริรัตน์ ชุติชูเดช[2]
[1]สาขาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: ratree.j@ku.th, Corresponding author E-mail: chettha.c@ku.th*

Ratree Junlawan[1], Chettha Chamnanlor[2*], Sirirat Juttijudata[2]
[1]Program 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: ratree.j@ku.th, Corresponding author E-mail: chettha.c@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการวางแผนการจัดตารางการทำงาน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อลดระยะเวลาแล้วเสร็จของงานที่คงค้างในระบบของการจัดตารางงานซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์โดยสร้างกำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming) เพื่อแสดงคุณลักษณะของปัญหาและให้คำตอบที่ดีสำหรับปัญหาดังกล่าว ซึ่งรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดในปัญหาขนาดเล็ก ดังนั้น การพัฒนากระบวนการฮิวริสติก จึงได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนที่หนึ่งการสร้างลำดับของงาน ขั้นตอนที่สองทำการกระจายงานให้พนักงานแต่ละบุคคล และในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการหาเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มและสิ้นสุดของงานของพนักงานแต่ละบุคคล ผลการเปรียบเทียบคำตอบที่ดีที่สุดจากปัญหาตัวอย่าง 35 ปัญหา แสดงให้เห็นว่า PSO สามารถลดเวลาแล้วเสร็จของงาน (Makespan) ได้เฉลี่ย 22.3% เมื่อเทียบกับการจัดตารางแบบ FIFS (First-In-First-Serve)

คำสำคัญ: วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค, การจัดตารางการทำงานซ่อมบำรุงรักษา, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Abstract

This research studies work schedule planning with the objective of reducing the completion time of pending tasks in maintenance scheduling systems. A Mixed Integer Linear Programming (MILP) model is developed to characterize the problem and provide optimal solutions. The mathematical model formulated can yield optimal solutions for small-scale problems. Therefore, a heuristic approach has been developed to enhance efficiency in solving larger problems. This approach consists of three main steps: (1) generating a job sequence, (2) assigning tasks to individual workers, and (3) determining the optimal start and finish times for each worker's tasks. A comparison of the best solutions across 35 test cases shows that Particle Swarm Optimization (PSO) reduces the makespan by an average of 22.3% compared to the First-In-First-Serve (FIFS) scheduling method.

Keywords: Particle Swarm Optimization, Maintenance scheduling, Mathematical modeling

1. บทนำ

การซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเป็นสิ่งสำคัญในการรักษาประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือ โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์ที่ต้องการความแม่นยำและเสถียรภาพ การจัดตารางการซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิภาพช่วยลดเวลาหยุดทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานอุปกรณ์ ป้องกันความเสียหาย และลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมฉุกเฉิน รวมถึงลดความเสี่ยงด้านความปลอดภัยและการเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ ปัญหาการจัดตารางซ่อมบำรุงรักษามีความซับซ้อน เนื่องจากต้องพิจารณาหลายปัจจัย เช่น การใช้ทรัพยากรที่จำกัดและเวลาที่ต้องใช้ในการทำงานต่าง ๆ ทำให้เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง (NP-hard) ซึ่งต้องใช้วิธีการประมาณหรือฮิวริสติก เช่น เมตาฮิวริสติก (Meta-Heuristic) เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยวิธีที่ได้รับความนิยมได้แก่ อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA), การจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing), การค้นหาแบบทาบู (Tabu Search), การเพิ่มประสิทธิภาพแบบอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization), อัลกอริทึมแบบอาณานิคมผึ้งเทียม(Artificial Bee Colony Algorithm) และ การเพิ่มประสิทธิภาพแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) ที่ถูกใช้ในการจัดตารางซ่อมบำรุงในหลายงานวิจัย ซึ่ง PSO ได้รับการพิสูจน์ในงานวิจัยจำนวนมากว่ามีศักยภาพในการแก้ปัญหาการจัดตารางงานซ่อมบำรุงที่มีความซับซ้อน และ ยังมีการเปรียบเทียบ การเพิ่มประสิทธิภาพแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) กับ อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม(GA) และพบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) ให้ผลลัพธ์ที่รวดเร็วและคงที่มากกว่าในบางกรณี [1] ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาวิธีการจัดตารางงานซ่อมบำรุงโดยใช้การสร้างกำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming: MILP) เพื่อจำลองปัญหาและหาคำตอบที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม MILP อาจใช้เวลาคำนวณนานเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ จึงพัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติก โดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาในการทดลอง PSO ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม (First-In-First-Serve: FIFS) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการปฏิบัติงานในปัจจุบัน โดยมีเป้าหมายหลักในการลดระยะเวลาแล้วเสร็จของงานทั้งหมด (Makespan) และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบซ่อมบำรุง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้พิจารณาการจัดตารางการทำงานซ่อมบำรุงรักษา โดยระบบประกอบไปด้วยงาน n งาน มีเวลาในการทำงานที่แตกต่างกันไปในงานแต่ละงานและมีความเป็นอิสระต่อกัน มีความต้องการใช้พนักงานตามจำนวนที่จำกัด ซึ่งระยะเวลาดำเนินงานแล้วเสร็จจะขึ้นอยู่กับจำนวนพนักงานที่ถูกจัดสรร วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นการหาตารางการซ่อมบำรุงรักษา ที่ทำให้เวลาดำเนินงานแล้วเสร็จต่ำที่สุด (Makespan minimization) เพื่อให้บรรลุเป้าหมายในการหาตารางการซ่อมบำรุงที่ทำให้เวลาดำเนินงานแล้วเสร็จต่ำที่สุด [1] สามารถใช้แนวทางวิธีหาคำตอบได้หลากหลาย เช่น

วิธีหาคำตอบแบบแม่นตรง (Exact algorithm) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าคำตอบที่มีประสิทธิภาพที่สุดตัวอย่างเช่น หากวัตถุประสงค์ในการหาค่าคำตอบคือการลดเวลาดำเนินการแล้วเสร็จของระบบให้น้อยที่สุด คำตอบที่ได้ก็คือการจัดตารางงานซ่อมบำรุงให้ค่าคำตอบของเวลาการดำเนินการเสร็จสิ้นต่ำที่สุดโดยที่ไม่มีตารางงานซ่อมบำรุงที่จะให้ค่าคำตอบได้ดีกว่านี้ ซึ่งส่วนมากจะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ การเขียนโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม Mixed Integer Linear Programming (MILP) เป็นวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีตัวแปรบางส่วนเป็นจำนวนเต็มและบางส่วนเป็นตัวแปรต่อเนื่อง ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัดใน MILP มักเป็นแบบเชิงเส้น จึงเหมาะสำหรับการแก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรที่มีโครงสร้างชัดเจนและข้อจำกัดที่แน่นอน [2] การประยุกต์ใช้ MILP ในการจัดตารางการทำงานสามารถให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดในกรณีที่ปัญหามีขนาดเล็กหรือขนาดกลาง ได้ระบุว่า MILP มีประสิทธิภาพในกรณีที่มีทรัพยากรและข้อจำกัดที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน [3]

วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) เป็นอัลกอริทึมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากพฤติกรรมของฝูงสัตว์ เช่น ฝูงนกหรือฝูงปลา อัลกอริทึมนี้ค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยการเคลื่อนที่ของอนุภาคในพื้นที่การค้นหา โดยใช้สมการอัปเดตตำแหน่งและความเร็วที่คำนึงถึงค่าที่ดีที่สุดของอนุภาคและฝูง [4] ซึ่งคุณสมบัติเด่นของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) คือ คำนวณได้รวดเร็วเมื่อเทียบกับวิธีเมตาฮิวริสติกอื่น ๆ เช่น อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) เหมาะสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงและมีพื้นที่การค้นหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น [5] ได้แสดงให้เห็นว่า PSO สามารถใช้ในการจัดตารางงานซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ [6] ชี้ให้เห็นว่า PSO ที่พัฒนาขึ้นช่วยลดเวลาสิ้นสุดสูงสุด (Makespan) ได้ดีกว่าอัลกอริทึมแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบอัลกอริทึม PSO และ GA สำหรับการจัดตารางการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า PSO สามารถลดเวลาที่เครื่องจักรไม่ได้ใช้งานได้มากกว่า GA และช่วยเพิ่มความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดตารางแบบดั้งเดิม PSO ยังมีความยืดหยุ่นสูงและสามารถปรับเปลี่ยนตารางการทำงานได้ตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการจัดการและวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ [7] จึงได้นำวิธีการ PSO นี้มาใช้ในปัญหาการจัดตารางซ่อมบำรุงอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการผลิตพอลิเมอร์ที่มีความซับซ้อนและข้อมูลไม่เป็นระเบียบ โดยใช้ข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์และบันทึกการซ่อมบำรุงที่ผ่านมาเพื่อสร้างแบบจำลองปัญหาของการทำงาน จากนั้นจึงใช้ PSO ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาของตารางการซ่อมบำรุง และวัดผลการปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงาน นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ PSO เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการซ่อมบำรุงเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า PSO สามารถลดเวลาการซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยให้สามารถจัดการทรัพยากรได้ดีขึ้น เพื่อให้บรรลุเป้าหมายในการหาตารางการซ่อมบำรุงที่ทำให้เวลาดำเนินงานแล้วเสร็จต่ำที่สุด (Makespan minimization) [8] สามารถใช้แนวทางวิธีหาคำตอบแบบแม่นตรง (Exact

algorithm) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าคำตอบที่มีประสิทธิภาพที่สุด ตัวอย่างเช่น หากวัตถุประสงค์ในการหาค่าคำตอบคือการลดเวลาทำงานของเครื่องจักรให้น้อยที่สุด [9, 10] วิธีเหล่านี้สามารถให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด แต่ในปัญหาที่มีขนาดใหญ่ วิธีการนี้อาจใช้เวลาประมวลผลสูงมาก ทำให้มีการนำแนวทางเชิงฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติก เช่น PSO มาใช้แทน [11, 12]

การศึกษาของ [13] แสดงให้เห็นว่า PSO สามารถลด Makespan ได้มากกว่าวิธีเชิงฮิวริสติกอื่น ๆ ในกรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง, ในขณะที่ [14] แสดงให้เห็นว่า PSO สามารถนำไปใช้กับปัญหาการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance Scheduling) ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม

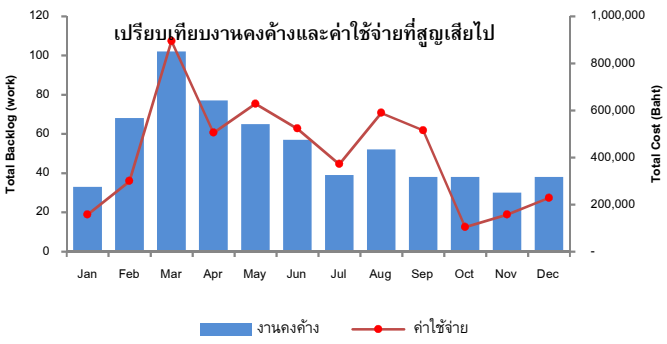
3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนงานของงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) หมายถึง การดำเนินการซ่อมบำรุงตามแผนเพื่อลดโอกาสเกิดความเสียหายของอุปกรณ์ และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (CM) เป็นการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหายแล้ว เพื่อให้สามารถกลับมาใช้งานได้ตามปกติ, จำนวนพนักงานที่ต้องทำงานในแต่ละงาน และเวลาการทำงานของแต่ละงานของอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ รวมถึงการบันทึกข้อมูลการซ่อมบำรุงที่ผ่านมา ซึ่งข้อมูลในการดำเนินงานซ่อมบำรุงรักษานี้จะมีงานที่ต้องใช้ทักษะพนักงานทั้งสิ้น 4 ทักษะ คือ ช่างซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้า (EE), ช่างซ่อมบำรุงระบบเครื่องกล (ME), หัวหน้าช่างที่มีความเชี่ยวชาญในการซ่อมบำรุงรักษา (Sr) และ ผู้รับเหมา Subcontractor (Sub)

ลักษณะปัญหาการจัดตารางซ่อมบำรุงในปัจจุบันของบริษัท

ปัญหางานบำรุงรักษาเครื่องจักรของบริษัทกรณีศึกษาในปัจจุบันไม่ได้ถูกทำตามรอบที่กำหนด อาจทำให้เครื่องเกิดการชำรุดหรือหยุดทำงานโดยไม่คาดคิด ส่งผลให้การทดลองหยุดชะงักและไม่สามารถใช้งานเครื่องจักรได้ตามแผน สาเหตุหลักมาจากการจัดลำดับงานซ่อมบำรุงรักษาที่ไม่สอดคล้องกัน ทำให้เกิดเวลารอคอยที่ไม่จำเป็น งานซ่อมล่าช้า และเกิดงานค้างสะสม และ ยังเพิ่มค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้วางแผนล่วงหน้า ส่งผลให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายตามที่ระบุในรูปที่ 1



รูปที่ 1 จำนวนงานที่ล่าช้า และ ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไป

จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่า งานคงค้าง (Backlog) ของทั้งการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (CM) นั้น มีค่าค่อนข้างมาก เมื่อคำนวณออกมาเป็นค่าใช้จ่ายทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไป สามารถคำนวณได้จากจำนวนชั่วโมงของงานที่คงค้าง คูณด้วยค่าใช้จ่ายของพนักงานต่อชั่วโมง ตัวอย่างเช่น ในเดือนมกราคม มีงานคงค้างทั้งหมด 33 งาน หากคำนวณชั่วโมงการทำงานสำหรับงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) พบว่าแต่ละงานใช้เวลา 4 ชั่วโมง และในเดือนนั้นมีงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันทั้งหมด 3 งาน ทำให้ใช้เวลาทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง สำหรับงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (CM) จะคำนวณจากเวลาที่ใช้ไปกับงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) โดยคิดเป็นร้อยละ 20 ของงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) ส่งผลให้จำนวนชั่วโมงของงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไขอยู่ที่ 25 ชั่วโมง เมื่อนำเวลาของทั้งสองประเภทมารวมกัน จะได้จำนวนชั่วโมงรวม 37 ชั่วโมง สุดท้าย ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปสามารถคำนวณได้โดยนำจำนวนชั่วโมงรวมของงานคงค้าง คูณกับค่าใช้จ่ายของพนักงานต่อชั่วโมง ซึ่งในกรณีนี้ เท่ากับ 37 ชั่วโมง คูณด้วย 597 บาทต่อชั่วโมง ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปเป็นจำนวน 21,853 บาท โดยที่แต่ละงานเป็นอิสระต่อกัน สามารถดำเนินงานใดก่อนหรือหลังได้และสามารถทำงานพร้อมกันได้ ซึ่งการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) มักจะพบปัญหาคือการกำหนดช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมของการบำรุงรักษา ส่วนใหญ่แล้ว ช่วงระยะเวลาจะกำหนดขึ้นมาเองตามความสะดวกในการดำเนินงาน ซึ่งระยะเวลาในการดำเนินงานแต่ละงานมีค่าขึ้นอยู่กับจำนวนพนักงานที่ถูกจัดสรรให้กับงานนั้น ๆ และในขณะเดียวกันเมื่อมีงานที่อุปกรณ์หรือเครื่องจักร เกิดการเสียหายลงเร่งด่วน ทรัพยากรบุคคลต้องถูกนำไปใช้ก่อนโดยทันที เป็นในส่วนของงานการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (CM) นั่นเอง การจัดตารางการทำงานซ่อมบำรุงรักษาของห้องปฏิบัติการ โดยแต่ละงานจะถูกดำเนินการตามทักษะพนักงานที่มีอยู่ 4 ทักษะ ตามแต่ละงานที่กำหนด และมีข้อจำกัดของงานบางประเภทจะต้องให้ช่างซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้า (EE) เข้าดำเนินการก่อน ตามด้วยช่างซ่อมบำรุงระบบเครื่องกล (ME) ในลำดับถัดไปและหากงานใดที่ต้องใช้ผู้รับเหมาภายนอกเข้ามาดำเนินการ จะต้องมีพนักงานทักษะอื่น ๆ เข้าร่วมดูแลหรือทำงานร่วมกันเพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานของผู้รับเหมาตรงตามมาตรฐาน และเพื่อป้องกันความเสี่ยงหรือข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างดำเนินการ

3.2 การกำหนดวิธีการแก้ปัญหา

จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของแต่ละกรณีศึกษา ทำให้ทราบว่า การจัดตารางการทำงานซ่อมบำรุงเป็นการจัดลำดับงานเพื่อให้ได้ค่าวัตถุประสงค์ที่ต่ำที่สุด จากข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการสร้างแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ โดยทำการกำหนดลักษณะของปัญหา เพื่อใช้สำหรับใช้ในการสร้างตัวแปรสำหรับคำนวณหาคำตอบ ในการกำหนดให้ระบบการทำงานซ่อมบำรุงจะประกอบด้วยระบบที่เป็นกลุ่มปัญหาขนาดเล็ก 5 งาน, เป็นกลุ่มปัญหากลาง 10 งาน และ เป็นกลุ่มปัญหาขนาดใหญ่ 20 งาน โดยแต่ละงานเป็นอิสระต่อกัน สามารถดำเนินงานใดก่อนหรือหลังได้และสามารถทำงานพร้อมกันได้ ซึ่งในการจัดการลำดับงานซ่อมบำรุงในบริษัทกรณีศึกษาทำการดำเนินการตามลำดับ FIFS เป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้กันอย่าง

แพร่หลาย จะทำการจัดการงานตามลำดับที่งานถูกเข้ามา โดยงานที่ถูกส่งเข้ามาก่อนจะได้รับการดำเนินการก่อนเสมอ วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและตรงไปตรงมาในการจัดลำดับการทำงานตามลำดับที่เข้ามาโดยไม่พิจารณาความสำคัญหรือความเร่งด่วนของงาน อย่างไรก็ตาม จากการทดลองและประเมินผล พบว่า FIFS ไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เนื่องจากการจัดลำดับเช่นนี้ไม่ได้คำนึงถึงลำดับความสำคัญของงานหรือข้อจำกัดอื่น ๆ ซึ่งทำให้บางงานที่มีความเร่งด่วนหรือความสำคัญสูงอาจจะได้รับการดำเนินการล่าช้า เพื่อแก้ไขปัญหานี้ในงานวิจัยจึงได้มุ่งเน้นศึกษาวิธีการที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา ดังนั้น การพัฒนาวิธีทางคณิตศาสตร์ และ การปรับใช้ PSO ในการแก้ปัญหา ได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อหาค่าการทำงานสุดท้ายได้ต่ำที่สุด และได้ค่าเหมาะสมที่สุด โดยการปรับปรุงการจัดการทำงานที่มีอยู่เดิมและการออกแบบอัลกอริทึมใหม่ ได้แก่

3.2.1 การพัฒนาวิธีทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

วิธีการทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางการทำงานซ่อมบำรุงที่ได้ทำการยกตัวอย่างมานี้ มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทราบค่าต่าง ๆกับตัวแปรสำหรับการตัดสินใจได้ จึงได้พัฒนาวิธีการทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม โดยแสดงสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. พนักงานทุกคนมีทักษะที่จำเป็นและเฉพาะเจาะจง คือ ช่างซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้า (EE), ช่างซ่อมบำรุงระบบเครื่องกล(ME), หัวหน้าช่างที่มีความเชี่ยวชาญในการซ่อมซ่อมบำรุง (Sr) และ ผู้รับเหมา Subcontractor (Sub)
2. งานซ่อมบำรุงทั้งหมดพร้อมสำหรับการดำเนินการตั้งแต่เวลาเริ่มต้น และ เวลาที่ใช้ในการเตรียมงาน เช่น การรวบรวมเครื่องมือ และ เวลาที่เกี่ยวข้องกับการส่งมอบข้อมูลหรือการจัดการเครื่องมือระหว่างงานถูกรวมอยู่ในเวลาการดำเนินงานแล้ว
3. พนักงานแต่ละคนสามารถดำเนินการได้ครั้งละหนึ่งงานเท่านั้น
4. งานที่เริ่มต้นแล้วจะต้องดำเนินการจนเสร็จสิ้นก่อนที่จะเริ่มงานอื่น
5. หากงานต้องการทักษะหลายประเภท จะจัดสรรพนักงานที่มีทักษะที่เหมาะสมมาทำงานร่วมกัน
6. ลำดับความสำคัญของงานกำหนดไว้ล่วงหน้าและไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ค่าดัชนี (Indices)

n คือ จำนวนงานทั้งหมดในระบบ
m คือ จำนวนพนักงาน
k คือ ทักษะของของพนักงาน
K คือ ชุดทักษะของของพนักงาน
i, j คือ ดัชนีแสดงถึงงาน; i, j = 0,1,...n

ค่าคงที่ (Parameters)

C_{jkm} คือ เวลาเสร็จสิ้นของการทำงาน j ของการดำเนินงานในพนักงานทักษะ k ถูกทำด้วยพนักงาน m
P_{jk} คือ เวลาของงาน j ในการทำงานของพนักงานทักษะ k (นาที)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

Y_{ijkm} คือ ตัวแปรของการมอบหมายงาน ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงงาน i ถูกทำก่อนงาน j ที่ดำเนินงานในพนักงาน k มอบหมายงานให้พนักงาน m และเท่ากับ 0 ในทางตรงกันข้าม
S_{jk} คือ เวลาเริ่มต้นของงาน j ในการทำงานของพนักงานทักษะ k (นาที)
C_{jk} คือ เวลาเสร็จงานของงาน j ที่การดำเนินงานในพนักงานทักษะ k (นาที)

วัตถุประสงค์ (Objective Function)

สมการวัตถุประสงค์ สำหรับลดเวลาเสร็จงานให้ต่ำที่สุดตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในสมการข้อจำกัด

Minimize C_{max}

ข้อจำกัด (Constraints)

สมการ (1)-(2) แสดงการมอบหมายงานและทักษะพนักงานให้กับพนักงานในการทำงาน โดยที่

สมการ (1) กำหนดให้ในช่วงเวลาใดช่วงเวลาหนึ่ง งานหนึ่งๆ จะต้องถูกเริ่มต้นโดยพนักงานที่มีทักษะเฉพาะ (k) เพียงคนเดียว จากพนักงานที่เป็นไปได้ในกลุ่ม ให้แน่ใจว่าในช่วงเวลาเดียวกันจะไม่มีงานซ้อนกันเกิดขึ้น

สมการ (2) กำหนดให้งานแต่ละงานต้องสิ้นสุดในช่วงเวลาใดช่วงเวลาหนึ่ง โดยพนักงานในทักษะ (k) ที่เหมาะสม ซึ่งช่วยให้สามารถควบคุมลำดับการทำงานและลดการรอคอยของงานถัดไป

$$\sum_{j=1}^{N} Y_{0jkm} = 1 \qquad \forall k \epsilon K, m \epsilon M(k) \qquad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{N} Y_{i0km} = 1 \qquad \forall k \epsilon K, m \epsilon M(k) \qquad (2)$$

สมการ (3)-(4) ในแต่ละลำดับของการทำงาน กำหนดให้แต่ละงานมีการดำเนินการเพียงครั้งเดียวและไม่ทับซ้อนกับงานอื่นในช่วงเวลาเดียวกัน โดยคำนึงถึงลำดับของการทำงานในพนักงานที่มีทักษะและช่วงเวลาที่เหมาะสม

$$1 - Y_{0jkm} - \sum_{i=1}^{N} Y_{ijkm} = 0 \quad \forall j \epsilon N, k \epsilon K, m \epsilon M(k) \qquad (3)$$

$$1 - Y_{i0km} - \sum_{i=1}^{N} Y_{ijkm} = 0 \quad k \epsilon K, m \epsilon M(k) \qquad (4)$$

สมการ (5)-(7) แสดงการหาเวลาเสร็จงานของการจัดตารางงานซ่อมบำรุง โดย

สมการ (5) กำหนดให้เวลาสิ้นสุดของงานแต่ละงานจะต้องไม่น้อยกว่าเวลาที่จำเป็นสำหรับงานนั้น (เวลาที่ใช้ทำงาน P_{jk}) โดยพนักงานที่มีทักษะเฉพาะทาง เพื่อให้มั่นใจว่ามีเวลาเพียงพอสำหรับการดำเนินงานจริง ๆ

สมการ (6) เวลาสิ้นสุดของงาน j จะต้องไม่น้อยกว่าผลรวมของเวลาสิ้นสุดของงาน i และเวลาที่ต้องใช้ในการดำเนินงาน j หากงานนั้นถูกดำเนินการตามหลังงาน i เพื่อให้แน่ใจว่างานต่าง ๆ จะถูกดำเนินการในลำดับที่เหมาะสมโดยไม่ซ้อนทับหรือขัดแย้งกับงานอื่น

สมการ (7) เวลาสิ้นสุดสูงสุดต้องไม่น้อยกว่าเวลาสิ้นสุดของงานใด ๆ ที่ดำเนินการโดยพนักงานทุกคนที่มีทักษะทุกประเภทในช่วงเวลาทุกช่วง ซึ่งจะช่วยให้สามารถกำหนดกรอบเวลาของทุกงานได้ครอบคลุม

$$C_{jkm} \geq P_{jk} \times Y_{0jk} \qquad \forall jkm \qquad (5)$$

$$C_{jkm} \geq C_{ikm} + P_{jk} - \left(1 - Y_{ijkm}\right) \qquad \forall jkm \qquad (6)$$

$$C_{max} \geq C_{jkm} \qquad \forall jkm \qquad (7)$$

สมการ (8)-(9) แสดงการหาเวลาเริ่มต้นของแต่ละงานซ่อมบำรุงรักษา โดยสมการ (8) กำหนดให้เวลาเริ่มต้นของงานเป็นค่าของเวลาสิ้นสุดของงานนั้นลบกับเวลาที่ใช้ในการทำงาน เพื่อให้การจัดการระยะเวลาการทำงานเป็นไปตามที่กำหนดและช่วยในการประเมินเวลาเริ่มต้นที่เหมาะสม

สมการ (9) กำหนดให้เวลาเริ่มต้นของงานต้องเท่ากันไม่ว่าพนักงานในทักษะอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจะเป็นผู้ดำเนินงานนั้น เพื่อความสอดคล้องในการจัดการเวลาให้เป็นระบบเดียวกัน

$$S_{jk} = C_{jk} - P_{jk} \qquad \forall jkm \qquad (8)$$

$$S_{jK} = S_{jk} \qquad \forall jkm \qquad (9)$$

3.2.2 การแก้ปัญหาคำตอบโดยใช้วิธีการแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO)

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ PSO ถูกนำมาใช้แทนการแก้ปัญหาแบบดั้งเดิม โดยมีเป้าหมายเพื่อลดเวลาการทำงานรวมให้น้อยที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้ ในการใช้งาน PSO นั้น จะยกตัวอย่างปัญหาการจัดตารางซ่อมบำรุงจากตางรางที่ 2 มาเพื่ออธิบายขั้นตอนการคำนวณ ในขั้นตอนการทำงานของ PSO โดยทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ประกอบด้วย องค์ประกอบการเร่งที่ใช้ในการคำนวณประกอบด้วยสองค่า คือ องค์ประกอบการเร่งแรก (c1) และ องค์ประกอบการเร่งสอง (c2) มีค่าเท่ากับ 0.1, ค่าถ่วงน้ำหนัก (w) ที่ใช้ในการคำนวณประกอบด้วยสองค่า ได้แก่ ค่าถ่วงน้ำหนักแรก (w1) มีค่าเท่ากับ 0.6 และค่าถ่วงน้ำหนักที่สอง (w2) มีค่าเท่ากับ 0.4 และ ค่าโอเมก้า (omega) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 โดยที่วิธีการที่นำเสนอนั้นมีสมมติฐานเหมือนกับวิธีการทางคณิตศาสตร์ MPIL ซึ่งขั้นตอนการคำนวณตาม PSO ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 : กำหนดจำนวนอนุภาคเริ่มต้น และสร้างลำดับงาน

1. กำหนดจำนวนอนุภาคให้เท่ากับจำนวนงานที่ต้องจัดตาราง
2. สุ่มค่าเริ่มต้นของแต่ละอนุภาค ได้แก่

ตำแหน่งเริ่มต้น x_i ซึ่งแทนลำดับของงาน เช่น x_i = [0.78,0.23,0.91,0.45] และทำการเข้ารหัสลำดับงาน (Encoding) โดยใช้ค่าของ x_i เพื่อกำหนดลำดับของงานที่ต้องดำเนินการ เช่น [J2, J4, J1, J3]

3. กำหนดค่าความเร็วเริ่มต้น v_i สำหรับแต่ละอนุภาค เพื่อใช้กำหนดการเคลื่อนที่ของอนุภาค ในการอัปเดตตำแหน่งของการค้นหาวิธีแก้ปัญหา โดยแปลงค่า x_i ให้เป็นลำดับงานที่สามารถนำไปคำนวณ Makespan ได้ เช่น หากได้ x_i = [0.78,0.23,0.91,0.45] จะถูกเรียงใหม่เป็นลำดับงานจริง [J3, J2, J4, J1] ซึ่งจะได้ลำดับการจัดงานที่แตกต่างกันจะให้ค่าผลลัพธ์ Makespan ที่แตกต่างกัน

ขั้นที่ 2 : ประเมินค่าความเหมาะสม นำลำดับงานที่ได้จาก x_i มาเรียงลำดับใหม่โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หาเวลาทำงานเสร็จสิ้นของงานรวมเพื่อเก็บเป็นค่า Fitness function ของแต่ละอนุภาค เพื่อหาค่าที่ทำให้ Makespan ต่ำที่สุด ซึ่งจะทำการประเมินผลว่าลำดับการทำงานปัจจุบันของอนุภาคเหมาะสมเพียงใด

ขั้นที่ 3 : ปรับปรุงค่า P_{best} โดยเปรียบเทียบจากค่า Fitness Value กับค่าของ P_{best} หากค่า ใดให้คำตอบที่ดีกว่า จะทำการเก็บค่า นั้นเป็น P_{best} แต่เนื่องจากรอบนี้เป็นรอบแรกยังไม่มีค่า P_{best} จึงให้ P_{best} มีค่าเท่ากับ Fitness Value

ขั้นที่ 4 : ปรับปรุงค่า G_{best} โดยเปรียบเทียบจากค่า P_{best} ทั้งหมด จะเลือกค่าที่ดีที่สุดในกลุ่มเป็น G_{best} เช่น หากอนุภาคที่ 1 มีค่าที่ดีที่สุด ก็จะกำหนดค่า G_{best} เป็นค่าของอนุภาคที่ 1

ขั้นที่ 5 : ปรับปรุงความเร็วใหม่ โดยคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$v_i(t+1) = \omega * v_i(t) + c1 * r1 * (P_{best,i} - x_i(t)) + c2 * r2 * \left(g_{best} - x_i(t)\right))$$

ขั้นที่ 6 : ปรับปรุงตำแหน่งใหม่ โดยคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$$

ขั้นที่ 7 : การตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด โดยกำหนดหยุดการทำงานเมื่อถึงจำนวนรุ่นที่กำหนด จำนวนรอบการทำซ้ำที่กำหนดไว้ 1000 รุ่นต่อเนื่องกันไม่ถูกปรับปรุง หรือการที่ค่าฟิตเนสที่ดีที่สุดไม่เปลี่ยนแปลงในหลายรอบการทำซ้ำ ถ้าเงื่อนไขการหยุดถูกเติมเต็มให้หยุดการทำงาน ถ้าไม่เช่นนั้นให้ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2

ขั้นที่ 8 : การเลือกคำตอบที่ดีที่สุด โดยนำ G_{best} ไปคำนวณค่า Fitness Value จะได้ผลลัพธ์ คือ ลำดับงานที่ทำให้เวลาล่าช้าของงานรวมน้อยที่สุด เลือกคำตอบที่มีค่า Fitness Value ต่ำสุดจากอนุภาคทั้งหมด เป็นคำตอบที่ดีที่สุด จากนั้นจึงหยุดการทำงาน

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองแก้ปัญหา โดยได้ทำการพัฒนาวิธีการทางคณิตศาสตร์บนโปรแกรม MPL (Maximal Software) และการหาค่าที่เหมาะสมของการจัดตารางการทำงานบนโปรแกรม MATHLAB งานในที่นี้ต้องอาศัยพนักงานที่มีทักษะเฉพาะในการดำเนินงาน ได้ทำการทดสอบทั้งหมด 35 โจทย์ ที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหา โดยมีการทดลองกับโจทย์ปัญหา 3 ระดับ ได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยมีจำนวนซ้ำของการคำนวณเท่ากัน10 รอบ ซึ่งแบ่งออกตามจำนวนงานของขนาดข้อมูล รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลในการทดลองในแต่ละขนาดข้อมูล

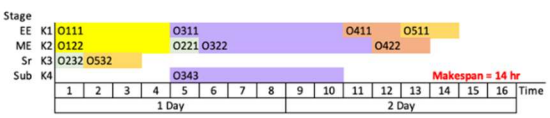
ขนาดข้อมูล	จำนวนงาน (งาน)
ขนาดเล็ก	5
ขนาดกลาง	10
ขนาดใหญ่	20

ซึ่งจากการทดลองได้ยกตัวอย่างปัญหาขนาดเล็ก ซึ่งเป็นกรณีตัวอย่างแบบง่าย (Simple Case) ได้กำหนดให้มีจำนวน 5 งาน โดยแต่ละงานมีข้อกำหนดเกี่ยวกับทักษะพนักงานและเวลาทำงานที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาในการทำงาน (ชั่วโมง) และทักษะของพนักงาน ของตัวอย่างปัญหาที่ทำการทดลอง

ทักษะพนักงาน	งาน 1	งาน 2	งาน 3	งาน 4	งาน 5
ไฟฟ้า	4	0	6	2	2
เครื่องกล	4	1	6	2	0
หัวหน้าช่าง	0	1	0	0	2
ผู้รับเหมา	0	0	6	0	0

ผลการทดสอบของตัวอย่างปัญหา โดยได้ทำการพัฒนาวิธีการทางคณิตศาสตร์ สามารถแสดงผลคำตอบของการจัดตารางการทำงานซ่อมบำรุงที่เวลาการทำงานรวมน้อยที่สุดเท่ากับ 14 ชั่วโมง พบว่าได้คำคำตอบที่เหมาะสม (อาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด) และแสดงเป็นแผนภูมิแกนต์ในรูปที่ 2 คำตอบตัวอย่างสำหรับตารางการทำงานซ่อมบำรุงรักษา พบว่างาน 1 ถูกทำเสร็จ 4 ชั่วโมง งาน 2 ถูกทำเสร็จ 5 ชั่วโมง ส่วนงาน 3, 4 และงาน 5 ถูกทำเสร็จล่าช้า 2 วัน ใช้เวลา 11 ชั่วโมง, 13 ชั่วโมง และ 14 ชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 2 Gantt chart ของค่าคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาที่กำหนด

ซึ่งในการทดลองปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลางสามารถหาค่า optimal ได้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มขนาดปัญหาพบว่าไม่สามารถแก้โจทย์ที่มีจำนวนงานมากกว่า 10 งานได้ และไม่สามารถรองรับโจทย์ที่มีจำนวนงานมากกว่า 10 งานได้ แต่ในวิธีการ PSO สามารถหาค่าได้มากกว่า 10 งาน ตามเงื่อนไขที่กำหนดให้ โดยที่วิธี PSO จะเริ่มลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมได้เร็ว เนื่องจากปัญหานี้มีลักษณะที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ค่าฟิตเนส (fitness) สามารถหาค่าคำตอบได้เร็วขึ้นในรอบแรก ๆ จึงต้องมีการเพิ่มเงื่อนไขในงานที่มีทักษะพนักงานไฟฟ้าและทักษะพนักงานเครื่องกลที่ต้องทำด้วยกัน โดยต้องให้ทักษะพนักงานไฟฟ้าทำก่อนทักษะพนักงานเครื่องกล และคิดจำนวนพนักงานในแต่ละทักษะทั้งหมด 8 คน คือ จำนวนพนักงานทักษะไฟฟ้ามี 3 คน จำนวนพนักงานทักษะเครื่องกลมี 2 คน จำนวนพนักงานหัวหน้าช่างมี 2 คน และ ผู้รับเหมามี1 คน เพื่อให้ PSO สามารถค้นหาคำตอบที่ดีและเหมาะสมได้ในระยะยาว โดยที่ยังคงรักษาประสิทธิภาพในการหาคำตอบ รายละเอียดดังตารางที่ 3

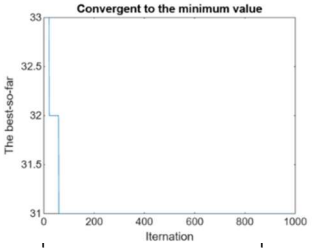
ตารางที่ 3 ข้อมูลในการทดลองในแต่ละขนาดข้อมูลที่มีการเพิ่มเงื่อนไขใหม่

ขนาดข้อมูล	จำนวนงาน (งาน)	จำนวนทักษะพนักงาน	จำนวนพนักงาน (คน)
ขนาดเล็ก	5	4	8
ขนาดกลาง	10	4	8
ขนาดใหญ่	20	4	8

ผลการทดลองแก้ปัญหาจากการเพิ่มเงื่อนไขในทั้ง 3 ขนาดข้อมูล ได้ทำการทดสอบทั้งหมด 35 โจทย์ปัญหา และผลที่ได้จากการเฉลี่ยจากการรันซ้ำ 10 ครั้ง สามารถแสดงได้ด้วยตารางที่ 4

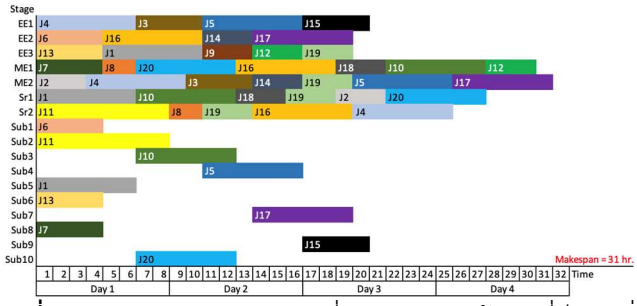
ตารางที่ 4 ผลการทดลองโดยการค้นหาคำตอบด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาคมีการเพิ่มเงื่อนไขใหม่

ขนาดข้อมูล	จำนวนงาน (งาน)	จำนวน Solution	วิธี PSO (ชั่วโมง)
ขนาดเล็ก	5	10	10
ขนาดกลาง	10	10	16
ขนาดใหญ่	20	10	34



รูปที่ 3 ค่าคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาที่กำหนด โดยใช้โปรแกรม MATLAB

จากกราฟรูปที่ 3 เป็นตัวอย่างของผลการทดลองโดยได้ทำการพัฒนาวิธี PSO สามารถแสดงผลคำตอบของการจัดตารางการทำงานซ่อมบำรุงที่เวลาการทำงานรวมน้อยที่สุดเท่ากับ 31 ชั่วโมง พบว่าได้คำตอบที่เหมาะสม ที่แสดงการพัฒนาคำตอบสามารถหาค่าที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วภายใน 200 รอบ และค่าดังกล่าวคงที่จนเป็นค่าที่ดีที่สุดของรอบการรันนี้ และสามารถแสดงเป็นแผนภูมิแกนต์ในรูปที่4 คำตอบตัวอย่างสำหรับตารางการทำงานซ่อมบำรุงรักษา พบว่างาน 17 ถูกทำเสร็จสุดท้ายที่ 31 ชั่วโมง



รูปที่ 4 Gantt chart ของค่าคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาที่มีการเพิ่มเงื่อนไข

ในการทดลองนี้ ปัญหาที่นำมาทดสอบเป็นลักษณะของ Job Scheduling ดังที่กล่าวไปเบื้องต้น ซึ่งเป็นปัญหาการจัดลำดับงานที่ต้องมีการกำหนดลำดับของแต่ละงานตามข้อกำหนดที่เฉพาะเจาะจง โดยแต่ละงานจะต้องใช้ทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัดในช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อประเมินแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา งานวิจัยนี้ได้ เปรียบเทียบวิธีการจัดตารางงานระหว่างวิธี FIFS และ วิธีการที่พัฒนาโดยใช้ PSO โดยมีเป้าหมายเพื่อพิจารณาว่า PSO สามารถลดเวลาทำงานรวม (Makespan) ได้ดีขึ้นหรือไม่ แสดงผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบผลการทดลองโดยเฉลี่ยของวิธีเดิม และวิธีการทาง PSO

ขนาดข้อมูล	วิธีการเดิม FIFS (ชั่วโมง)	วิธีการทาง PSO (ชั่วโมง)	เปอร์เซนต์ผลต่าง
5	20	10	50%
10	18	16	11.11%
20	38	34	10.53%

จากผลการเปรียบเทียบในตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงค่าคำตอบที่แตกต่างกันระหว่างวิธีการ FIFS (First-In-First-Serve) และวิธีการหาค่าเหมาะสุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) พบว่าเวลาแล้วเสร็จของการดำเนินงานลดลงอย่างเห็นได้ชัด สามารถลดเวลาลงเฉลี่ยได้ 22.3% และจะเห็นได้ว่า PSO สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้ดีกว่าวิธีเดิม ในการจัดตารางการซ่อมบำรุงในสถานการณ์ที่มีเงื่อนไขที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยผลลัพธ์ที่ได้จาก PSO มีความแม่นยำและสามารถตอบโจทย์ในระยะยาวได้ดีกว่า

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ วิธี FIFS และ PSO ในการจัดลำดับงานได้ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยเปรียบเทียบเวลาในการทำงานระหว่างสองวิธี เพื่อทดสอบว่ามีความแตกต่างหรือไม่ โดยกำหนดสมมติฐานที่ทดสอบดังนี้ H_0 (สมมติฐานศูนย์): ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเวลาทำงานระหว่าง FIFS และ PSO และ H_1 (สมมติฐานทางเลือก): มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเวลาทำงานระหว่าง FIFS และ PSO กำหนดระดับนัยสำคัญ α = 0.05 และใช้ t-test สำหรับกลุ่มที่จับคู่กัน (Paired t-test) เนื่องจากเปรียบเทียบวิธีการทั้งสองที่ใช้ชุดข้อมูลเดียวกันทดสอบด้วย โปรแกรม Minitab

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของเวลาทำงานรวม (ชั่วโมง) ที่มีค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบทางสถิติ ของการทดลอง

ขนาดข้อมูล (งาน)	วิธีการเดิม (FIFO)	วิธีการทาง PSO	การทดสอบทางสถิติ p-value	เปอร์เซ็นต์ผลต่าง
5	20	10	0.001	50%
10	18	16	0.025	11.11%
20	38	34	0.032	10.53%
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.02	12.49	-	-
ค่าเฉลี่ยรวม	25.33	20.00	-	-

จากตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของเวลาแล้วเสร็จของการดำเนินงานลดลงที่มีค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบทางสถิติ (t-test) พบว่า p-value ที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดต่ำกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวิธี FIFS และ PSO ในทุกขนาดข้อมูล (5, 10, 20 งาน) โดยเปอร์เซ็นต์ผลต่างที่พบมีค่าดังนี้ 50%, 11.11%, และ 10.53% ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยรวมของ FIFS คือ 25.33 ชั่วโมง และ PSO คือ 20.00 ชั่วโมง ขณะที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ FIFO คือ 11.02 ชั่วโมง และ PSO คือ 12.49 ชั่วโมง

5. สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะการดำเนินงานวิจัย

5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัญหาการจัดตารางการทำงานซ่อมบำรุงรักษา ทำการการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการ FIFS (First-In-First-Serve) และ วิธีหาค่าเหมาะสุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) ที่ใช้ในการหาเวลาของงานที่แล้วเสร็จสุดท้ายที่เหมาะสมและต่ำที่สุด ในปัญหาที่ไม่ซับซ้อน และเมื่อมีการเพิ่มเงื่อนไขการทำงานร่วมกัน

ระหว่างพนักงานไฟฟ้าและเครื่องกล โดยกำหนดให้พนักงานไฟฟ้าทำงานก่อนพนักงานเครื่องกล ผลการทดลองพบว่า PSO ยังสามารถรักษาประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีในระยะยาว สามารถลดเวลาแล้วเสร็จได้ในบางกรณีแม้ในสถานการณ์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการ FIFS พบว่า PSO สามารถลดเวลาแล้วเสร็จเฉลี่ยได้ถึง 22.3% ในทุกระดับของพารามิเตอร์ที่ทดสอบ และได้มีการทดสอบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นและความสามารถของ PSO ในการปรับปรุงการจัดตารางการทำงานให้เหมาะสมกับข้อกำหนดที่เปลี่ยนแปลงไป

5.2 การอภิปรายผล

จากผลการทดลอง พบว่า PSO สามารถลดเวลาแล้วเสร็จของการดำเนินงานได้ดีกว่าวิธี FIFS เนื่องจากอัลกอริทึมสามารถสำรวจ (exploration) และใช้ประโยชน์จากค่าที่ดีที่สุด (exploitation) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ ได้แก่ พฤติกรรมการลู่เข้า (convergence behavior) ซึ่งช่วยให้ PSO หลีกเลี่ยง local optimum ผ่านการอัปเดตตำแหน่งอนุภาคโดยใช้ Best-so-far และ Global Best นอกจากนี้ ความเหมาะสมของการตั้งค่าพารามิเตอร์ เช่น inertia weight และค่าการเรียนรู้ (c1, c2) ยังช่วยให้การกระจายตัวของอนุภาคสมดุลระหว่าง exploration และ exploitation ทำให้การหาคำตอบมีเสถียรภาพและรวดเร็วขึ้น อีกทั้ง PSO ยังมีความยืดหยุ่นในการปรับลำดับงาน ทำให้สามารถลดเวลาแล้วเสร็จของการดำเนินงาน ได้มีประสิทธิภาพกว่าวิธี FIFS ที่ใช้ลำดับคงที่ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของ PSO ยังคงขึ้นอยู่กับ การปรับค่าพารามิเตอร์ และ initial population ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่อาจต้องได้รับการปรับปรุงในอนาคต และ ในการศึกษานี้ ยังไม่ได้มีการดำเนินการทดสอบ Sensitivity Analysis เพื่อศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ PSO ต่อประสิทธิภาพในการคำนวณ Makespan สำหรับระบบ Job Scheduling อย่างไรก็ตาม ในอนาคตจะมีการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ค่าถ่วงน้ำหนัก (w) องค์ประกอบการเร่งแรก (c1) และองค์ประกอบการเร่งสอง (c2) ซึ่งคาดว่าจะช่วยให้เข้าใจถึงแนวโน้มและปัจจัยที่มีผลต่อการลด Makespan

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาของบริษัทกรณีศึกษาที่ดำเนินการพบว่า การใช้วิธีการที่พัฒนาในงานวิจัยนี้สามารถจัดการการซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้ผลลัพธ์ที่ดีเมื่อทดสอบในบริษัทกรณีศึกษาที่เลือกไว้ อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่จำกัดบางประการยังไม่สามารถสะท้อนถึงการทำงานในสถานการณ์จริงที่หลากหลายได้อย่างเต็มที่ ดังนั้น เพื่อแสดงศักยภาพการประยุกต์ใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม ควรมีการขยายขอบเขตของกรณีศึกษาไปยังสภาพแวดล้อมที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อทดสอบความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพของระบบในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ในสถานที่ที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรและเงื่อนไขที่แตกต่าง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาและผู้ที่เกี่ยวข้องที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ขอบคุณหน่วยวิจัยการจัดการผลิตและอุตสาหกรรม ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยและขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการให้ทุนสนับสนุนการนำเสนอผลงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Chen, H. et al., A comparison of PSO and GA for scheduling, International Journal of Production Research, vol. 57, no. 8, pp. 2420-2432, 2019.

[2] Tang, L. and Wang, X., MILP approaches for maintenance scheduling, Computers & Industrial Engineering, vol. 139, pp. 106-117, 2020.

[3] Gupta, A. et al., Optimization in job shop scheduling using MILP, Journal of Manufacturing Systems, vol. 57, pp. 125-137, 2021.

[4] Kennedy, J. and Eberhart, R., Particle swarm optimization, Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 1942-1948, 1995.

[5] Liao, T. et al., Comparative study of PSO and GA in maintenance task scheduling, Applied Soft Computing, vol. 92, pp. 106-132, 2020.

[6] สุรศักดิ์ วงศ์ศิริ, “การใช้ PSO ในการจัดตารางซ่อมบำรุงเครื่องจักรอุตสาหกรรม,” วารสารวิศวกรรมอุตสาหการไทย, ปีที่ 35, ฉบับที่ 2, หน้า 55-72, 2565.

[7] พิชญะ กิตติวัฒน์ และ อมรเทพ ศรีสุวรรณ, “การเปรียบเทียบอัลกอริทึม PSO และ GA สำหรับการจัดตารางการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม,” วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ปีที่ 30, ฉบับที่ 1, หน้า 10-25, 2564.

[8] ณัฐพงษ์ จันทร์สม และ สุเทพ วัฒนกิจ, “การใช้ PSO เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการซ่อมบำรุงเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการ,” การประชุมวิชาการวิศวกรรมแห่งชาติ, หน้า 85-92, 2563.

[9] Kumar, A. et al., PSO for Job Shop Scheduling, Journal of Operational Research, vol. 48, no. 7, pp. 365-376, 2018.

[10] Li, Z. et al., Optimization algorithms for maintenance scheduling, Journal of Maintenance Engineering, vol. 34, no. 5, pp. 567-578, 2021.

[11] Ding, Y. et al., Energy-Efficient Scheduling using PSO, Energy Systems, vol. 29, no. 2, pp. 405-418, 2022.

[12] Tang, Q. and He, Z., Multi-objective PSO for Scheduling, Journal of Systems Engineering, vol. 45, no. 4, pp. 478-489, 2019.

[13] Fang, Y. et al., PSO for Dynamic Scheduling, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 66, no. 8, pp. 1893-1905, 2023.

[14] Jiang, L. et al., PSO in Preventive Maintenance Scheduling, Journal of Maintenance Management, vol. 58, no. 2, pp. 234-245, 2021.

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปข้อต่อท่อส่งลมแบบข้องอ

Parameter Design for Analyzing Factors Affecting the Production of Elbow Air Pipe Connectors

ณัฏฐพัชร์ พงษ์วิมลพรรณ[1] พงศธร ลิ้มจุมจัง[1] จิราภรณ์ ประดับวงษ์[1]*

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
E-mail: jiraporn@eng.src.ku.ac.th*

Natthapat Phongwimolphan[1], Phongsathon Limjungjang[1], Jiraporn Pradabwong[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus
E-mail: jiraporn@eng.src.ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อลดการเกิดของเสียประเภทขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ข้อต่อแบบข้องอในระบบปรับอากาศ โดยพบว่ามีของเสียเกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละ 2.46 ของยอดการผลิตทั้งหมด หรือคิดเป็นมูลค่าของเสียเท่ากับ 29,120 บาทต่อเดือน จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภาพก้างปลาพบว่าสาเหตุของปัญหาเกิดจากการปรับตั้งค่าแรงกดและระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงาน จึงทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป จำนวน 2 ปัจจัย 4 ระดับ และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยทำการทดลองทั้งหมด 48 การทดลอง พบว่าผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยแรงกดและระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานมีผลต่อการเกิดของเสียประเภทขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่าขอบชิ้นงานได้ตามมาตรฐาน 4.5 มิลลิเมตร คือค่าแรงกดเท่ากับ 2.5 เมกะปาสคาล และระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานเท่ากับ 0.5 วินาที จากการติดตามผลการนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตเป็นระยะเวลา 3 เดือนพบว่าของเสียประเภทขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานลดลงจากเดิมเหลือร้อยละ 0.73 หรือคิดเป็นจำนวนต้นทุนที่ลดลงจากเดิมเท่ากับ 20,160 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง แฟคทอเรียลเต็มรูป ข้อต่อแบบข้องอ การลดของเสีย

Abstract

This research aims to analyze factors that affect the production of elbow air pipe connectors in air conditioning systems. The main problem is that the edge of the elbow joint is shorter than the standard, creating a high defect rate of 2.46%, which is equivalent to a value of 29,120 baht per month. The research was carried out using a fishbone diagram to identify causes of why the elbow joint was shorter than the standard. It was found that an adjustment to the pressure and time of the edge-making process were the two main causes of this problem. Therefore, a full factorial design experiment was conducted with 2 factors, 4 levels, and 3 replications, with a total of 48 experiments being conducted. The results showed that the interaction between the pressure and time of the edge making process had a significant impact on the defective edges at a significant level of 0.05. The appropriate level of each parameter was identified as, a pressure of 2.5 MPa and the time of the edge making process of 0.5 seconds. From the monitoring of the results, regarding the use of these appropriate levels of parameters in the production process, for 3 months, it was found that the defect rate of the edge of the elbow joint was reduced to 0.73%, which was the equivalent of a cost reduction of 20,160 baht per month.

Keywords: Experimental design Full factorial design Elbow joint Reducing defect

1. บทนำ

การดำเนินการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอยู่บนพื้นฐานภายใต้ข้อตกลงทางการค้าและความพึงพอใจของลูกค้าเป็นหลัก ทั้งนี้กระบวนการทำงานในการผลิตสินค้า เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงไป จึงต้องมุ่งเน้นที่การลดต้นทุนและลดความสูญเปล่าที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการทำงานให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ความสูญเสียที่เกิดจากของเสียมากเกินไป (Waste of defect) ถือเป็นหนึ่งในความสูญเปล่า 7 ประการ (7 Waste) ที่มักเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยจะส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น [1-2] บริษัทกรณีศึกษาซึ่งประกอบธุรกิจผลิต จัดจำหน่ายและติดตั้งท่อและอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ จากข้อมูลการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา 3 เดือนย้อนหลัง (ตุลาคม – ธันวาคม 2566) พบว่าผลิตภัณฑ์ข้อต่อแบบข้องอ ซึ่งมีปริมาณการผลิตสูงที่สุดเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ คือ 12,664 ชิ้น และมีประมาณการเกิดของเสียเกิดขึ้นมากกว่าผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ คือ 620 ชิ้น โดยคิดเป็นร้อยละ 4.90 คิดมูลค่าของเสียเท่ากับ 57,866 บาทต่อเดือน

จากการศึกษากระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ข้อต่อแบบข้องอ พบว่ากระบวนการผลิตมีทั้งหมด 6 กระบวนการตามลำดับ ดังนี้ กระบวนการตัด กระบวนการม้วน กระบวนการเชื่อม กระบวนการขึ้นรูป กระบวนการประกอบ และกระบวนการพ่นสี โดยแต่ละกระบวนการย่อยจะมีการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานให้ได้ตามมาตรฐานของโรงงานกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ จากการเก็บข้อมูลพบว่ากระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ประเภทข้อต่อแบบข้องอมีปริมาณของเสียเกิดขึ้นมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 3.02 หรือคิดเป็นมูลค่าของเสียเท่ากับ 35,653 บาทต่อเดือน

ทั้งนี้งานวิจัยนี้จึงเลือกทำการศึกษากระบวนการขึ้นรูป ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการย่อยคือ กระบวนการทำร่องและกระบวนการทำขอบชิ้นงาน จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบชิ้นงานก่อนที่จะส่งไปกระบวนการประกอบ ซึ่งในกระบวนการตรวจสอบชิ้นงานนั้นจะทำการตรวจสอบด้วยสายตาทุกชิ้นและทุกครั้งเมื่อผลิตเสร็จ หากพบของเสียที่เกิดจากการขึ้นรูป พนักงานจะทำการคัดออกทันที จากการศึกษาพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการขึ้นรูปมีดังนี้คือ (1) ขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานคือ 4.5 มิลลิเมตร (2) ร่องปืน คือร่องชิ้นงานที่ไม่บรรจบกันเป็นวงเดียว และ (3) ขอบชิ้นงานกว้างเกินกว่ามาตรฐานคือ 6 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 แสดงของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูป จากการเก็บข้อมูลเดือน ตุลาคม ถึง ธันวาคม 2566 พบว่าของเสียประเภทขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานคือ 4.5 มิลลิเมตร เกิดขึ้นมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 2.46 ของยอดการผลิตทั้งหมด หรือคิดเป็นมูลค่าของเสียเท่ากับ 29,120 บาทต่อเดือน โดยตัวอย่างของเสียประเภทขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานสามารถแสดงดังในรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทของเสียในกระบวนการขึ้นรูป

ลำดับ	ลักษณะของเสีย	ร้อยละ	มูลค่า (บาท/เดือน)
1	ขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน	2.46	29,120
2	ร่องปืน	0.39	4,573
3	ขอบชิ้นงานกว้างเกินกว่ามาตรฐาน	0.17	1,960
	รวม	3.02	35,653



รูปที่ 1 ขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน เพื่อปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพโดยการลดปริมาณของเสียอันมีสาเหตุมาจากปัญหาดังกล่าวให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์คือ

1. เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการขึ้นรูป โดยทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ข้องอ
2. เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ข้องอ

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบสาเหตุของการเกิดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ข้องอ
2. ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปขอบชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ข้องอ
3. สามารถลดของเสียที่เกิดจากการขึ้นรูปขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ข้องอ

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย/ทดลอง

จากปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน คือ 4.5 มิลลิเมตร ของผลิตภัณฑ์ข้องอนั้น จึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยการเริ่มระดมความคิดเห็นจากทีมวิศวกรและพนักงานที่เกี่ยวข้องในกระบวนการขึ้นรูป และนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา

โดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Fish-Bone Diagram) สามารถจำแนกสาเหตุของปัญหาได้ดังนี้

คน (Man) พนักงานขาดประสบการณ์ในการทำงาน เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีอัตราการเข้า-ออกของพนักงานสูง ทำให้ขาดประสบการณ์ในการทำงาน อีกทั้งยังต้องทำการอบรมพนักงานเกี่ยวกับการใช้เครื่องจักรในกระบวนการและกระบวนการทำงานที่ถูกต้อง

เครื่องจักร (Machine) เครื่องจักรไม่พร้อมใช้งาน เนื่องจากมีการใช้งานของเครื่องติดต่อกันเป็นเวลานาน และเปิดเครื่องจักรไว้ตลอดเวลาถึงแม้ไม่มีการใช้งานก็ตาม จึงทำให้ขาดการบำรุงรักษาและเกิดเหตุเครื่องรวนและเครื่องจักรทำงานติดขัด

วัสดุ (Materials) การเลือกใช้แผ่นสังกะสีขนาดไม่เหมาะสม การใช้แผ่นสังกะสีที่มีความหนามากเกินไปเมื่อนำเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปอาจทำให้แรงกดของเครื่องจักรไม่เพียงพอที่จะกดชิ้นงานให้ขอบมีขนาดความกว้างตามมาตรฐานที่กำหนด

วิธีการ (Method) ไม่มีค่าที่เป็นมาตรฐานสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรให้เหมาะสมกับกระบวนการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับตั้งระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงาน และการปรับตั้งค่าแรงกดไม่เหมาะสม

การวิเคราะห์หาสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน ได้ข้อสรุปดังนี้คือ การปรับตั้งค่าแรงกดไม่เหมาะสม เนื่องจากมีการใช้แรงกดที่ไม่สัมพันธ์กับเวลาในการทำขอบชิ้นงาน เช่น การปรับตั้งแรงกดที่มากเกินไป เมื่อเครื่องทำงาน เครื่องจะกดชิ้นงานให้มีขอบชิ้นงานกว้างเกิน 4.5 มิลลิเมตร [3] ตั้งแต่จังหวะแรกและการปรับแรงกดที่น้อยเกินจะทำให้ขอบชิ้นงานมีความกว้างน้อยกว่า 4.5 มิลลิเมตร เพราะแรงกดของเครื่องน้อยจึงกดขอบชิ้นงานไม่ได้ขนาดตามมาตรฐานที่ต้องการ โดยที่ช่วงแรงกดที่สามารถปรับตั้งได้คือ 2.5 – 4.5 เมกะปาสคาล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการศึกษาที่ 4 ระดับคือ 2.5, 3.5, 4 และ 4.5 เมกะปาสคาล โดยกำหนดให้ระดับ 4.5 เมกะปาสคาล เป็นระดับสูงสุดเพราะถ้ากำหนดค่าเกินจากระดับนี้ แม่พิมพ์ A จะไม่สามารถเคลื่อนเข้ามาหาแม่พิมพ์ B ได้ เนื่องจากระยะการเคลื่อนที่เข้ามาถึงขีดจำกัดที่แม่พิมพ์ A ที่สามารถทำได้ จากนั้นปรับระดับลงมาทีละ 0.5 เมกะปาสคาล เพราะเครื่องสามารถปรับค่าละเอียดได้ครั้งละ 0.5 เมกะปาสคาล จะได้แรงกดที่ระดับ 4 เมกะปาสคาล และ 3.5 เมกะปาสคาล ซึ่งระดับของปัจจัยทั้ง 3 ระดับนี้มีค่าไม่แตกต่างกันมากเพราะการออกแบบระดับของปัจจัยที่แตกต่างกันมากทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการบดบังอิทธิพลของปัจจัยที่พิจารณาได้ [3] ส่วนแรงกดที่ 2.5 เมกะปาสคาล เป็นระดับปัจจัยที่โรงงานใช้อยู่ นำมาเป็นปัจจัยที่ทำการศึกษาด้วย เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบระดับปัจจัยที่โรงงานใช้อยู่กับระดับปัจจัยอื่นๆที่ทำการศึกษา

การปรับตั้งระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงาน คือระยะเวลาที่แม่พิมพ์ A เคลื่อนที่เข้าหาแม่พิมพ์ B ซึ่งเป็นจังหวะแรกในการขอบชิ้นงาน หากปรับตั้งระยะเวลามากเกินไปจะทำให้แม่พิมพ์ A เคลื่อนที่เข้าหาแม่พิมพ์ B มากเกินไปตั้งแต่จังหวะแรก ส่งผลให้ชิ้นงานถูกกดเข้าไปมาก ทำให้การทำขอบชิ้นงานกว้างเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 4.5 มิลลิเมตร และหากปรับตั้งค่าระยะเวลาน้อยเกินไปจะทำให้แม่พิมพ์ A ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าหาแม่พิมพ์ B ได้ ทำให้ไม่มีการกดชิ้นงาน ซึ่งเป็นเหตุให้ขอบชิ้นงานขั้นที่ 1 มีความกว้างน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้เพราะแรงกดที่ใช้ไม่เพียงพอ ทั้งนี้ช่วงระยะเวลาที่สามารถปรับตั้งได้คือ 0.48 - 0.6 วินาที ซึ่งปัจจุบันโรงงานตั้งค่าระยะเวลาไว้ที่ 0.58 วินาที ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการศึกษาระดับของระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานที่ 4 ระดับคือ 0.48, 0.5, 0.54 และ 0.58 วินาที ดังนั้นปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษา

ปัจจัย	ระดับปัจจัย				หน่วย
	ต่ำ	กลาง	สูง	สูงที่สุด	
แรงกด (Pressure: A)	2.5	3.5	4	4.5	เมกะปาสคาล
ระยะเวลา (Time: B)	0.48	0.5	0.54	0.58	วินาที

จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ทำให้ขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน และเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการปรับตั้งค่าในกระบวนการขึ้นรูป โดยทำการศึกษาที่ 2 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยทำการศึกษาที่ 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลา ทรัพยากรและงบประมาณที่ใช้ ดังนั้นสามารถคำนวณจำนวนการทดลองทั้งหมดได้เท่ากับ $4^2*3 = 48$ การทดลอง

การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปคือ รูปแบบการทดลองที่ผู้ทำการทดลองจะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขตามที่ออกแบบไว้ ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลายตัว (Factors) โดยที่แต่ละปัจจัยมีหลายระดับ และทำการวิเคราะห์ผลกระทบร่วมต่อค่าตอบสนอง [4-5] ซึ่งวัตถุประสงค์หลักคือศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยจำนวนระดับของการทดลองจะขึ้นอยู่กับความสำคัญของปัจจัย กล่าวคือถ้าเป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษาโดยละเอียดก็จะใช้จำนวนระดับการทดลองมาก [4-5] เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ เช่น การออกแบบการทดลองวิธีทากูชิเป็นการออกแบบการทดลองโดยทำการปรับปัจจัยที่ควบคุมได้ (Control factors) เพื่อศึกษาค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการ และนำ Orthogonal Array มาตรฐานมาใช้งานเพื่อลดจำนวนการทดลองเพื่อทำให้ประหยัดต้นทุนและลดเวลาในการทดลอง [4,5] ทั้งนี้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปเพื่อหาปัจจัยและระดับที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดของเสีย [1,3, 6-9] เช่น กวิน สนธิเพิ่มพูน และคณะ [10] ได้ทำการหาค่าพารามิเตอร์

ที่เหมาะสมในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป 2^3 พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเชื่อมคือ ค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อมที่ 17.50 กิโลแอมแปร์ เวลาในการเชื่อม 200 มิลลิวินาที และแรงกดที่หัวอิเล็กโทรด 591.50 เดคานิวตัน ซึ่งจำทำให้ได้ค่าแรงดึงเฉือน (Y) เฉลี่ยอยู่ที่ 2.76 กิโลนิวตัน ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้จุดรอยเชื่อมแข็งแรงที่สุด นอกจากนี้ ศุภกิจ เศิกศิริ และคณะ [11] ได้ทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี โดยพบว่าค่ากระแสไฟฟ้า 600 แอมป์ และระยะเชื่อมที่ 5 มิลลิเมตรจะทำให้ค่าแรงดึงเฉลี่ย (Y) สูงที่สุดคือ 72.6852 กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

กระบวนการวิเคราะห์ผลโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปเริ่มจากการทดสอบข้อสมมติเกี่ยวกับค่าความผิดพลาด (Assumptions of ANOVA) โดยมี 4 ข้อดังนี้

1. ค่าความผิดพลาด (ε) มีการแจกแจงปกติ
2. ค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดเท่ากับศูนย์ $E(\varepsilon_{ij}) = 0$
3. ค่าความแปรปรวนของค่าผิดพลาดคงที่ $V(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2$ และ
4. ค่าความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองจะทำการวิเคราะห์ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยก่อนแล้วจึงวิเคราะห์ผลกระทบหลัก ซึ่งถ้าผลกระทบร่วมของปัจจัยมีผลต่อค่าตอบสนองจะไม่พิจารณาผลกระทบหลักที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบร่วมนั้น [4,6] ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถตั้งสมมติฐานดังนี้

H_0: ผลกระทบร่วมระหว่างแรงกดและระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานไม่มีผลต่อการเกิดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน

H_1: ผลกระทบร่วมระหว่างแรงกดและระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานมีผลต่อการเกิดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน

H_0: แรงกดไม่มีผลต่อการเกิดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน

H_1: แรงกดมีผลต่อการเกิดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน

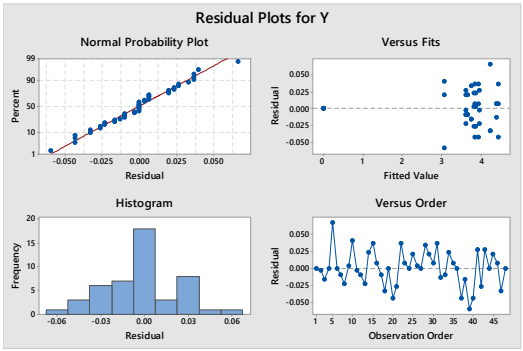
H_0: ระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานไม่มีผลต่อการเกิดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน

H_1: ระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานมีผลต่อการเกิดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน

จากนั้นจึงทำการทดลองตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ทีละการทดลอง เพื่อทำการเก็บข้อมูลค่าความยาวเฉลี่ยของขอบชิ้นงาน ซึ่งเป็นค่าตอบสนอง (Response: Y) ของงานวิจัยนี้ โดยทำการเลือกการทดลองแบบสุ่ม (Random) เพื่อลดอคติที่อาจเกิดขึ้นจากการทำการทดลอง [4,6] ทั้งนี้แต่ละการทดลองจะทำการทดสอบชิ้นงาน 20 ชิ้น แล้วจึงทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าความยาวเฉลี่ยของขอบชิ้นงาน โดยในการวัดค่าความยาวของขอบชิ้นงานของชิ้นงานแต่ละชิ้นจะทำการวัดเพียง 1 จุด คือบริเวณรอยตะเข็บของชิ้นงาน ตามข้อกำหนดของโรงงานกรณีศึกษา

3. ผลการวิจัย/ทดลองและการอภิปรายผล

เมื่อทำการเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรมมินิแทบ 17 โดยเริ่มจากการตรวจสอบข้อสมมุติของค่าความผิดพลาด (Residuals) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 2 สามารถอธิบายได้ว่าค่าความผิดพลาดเป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติเกี่ยวกับค่าความผิดพลาดทั้ง 4 ประการข้างต้น $\varepsilon \sim NID(0, \sigma^2)$ ดังนั้นจึงสามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนได้



รูปที่ 2 การทดสอบข้อสมมติเกี่ยวกับค่าความผิดพลาด

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน กำหนดการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Factorial Regression: Y versus Pressure, Time

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	15	113.819	7.5879	8022.49	0.000
Linear	6	86.460	14.4100	15235.28	0.000
Pressure	3	7.757	2.5856	2733.72	0.000
Time	3	78.703	26.2344	27736.84	0.000
2-Way interaction	9	27.359	3.0399	3213.97	0.000
Pressure*Time	9	27.359	3.0399	3213.97	0.000
Error	32	0.030	0.0009		
Total	47	113.849			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0307544	99.97%	99.96%	99.94%

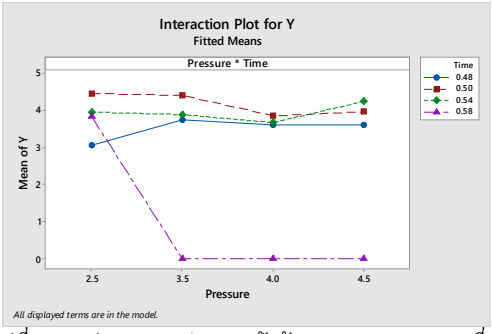
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยคือแรงกดและระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานมีผลต่อการเกิดขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน (P-value = 0.000) ดังนั้นจึงไม่ทำการพิจารณาผลกระทบหลักของปัจจัยทั้งสอง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า R^2 ของการทดสอบมีค่าเท่ากับ 99.97% สามารถอธิบายได้ว่าปัจจัยแรงกดและระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานสามารถอธิบายค่าตอบสนองได้ถึงร้อยละ 99.97

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของผลกระทบร่วมระหว่างแรงกดและระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงาน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุดของค่าตอบสนอง และกราฟผลกระทบร่วมดังแสดงในรูปที่ 3 และสามารถสรุปได้ว่าเพื่อให้ค่ายาวของขอบชิ้นงานมีค่าใกล้เคียงกับค่าความยาวของขอบชิ้นงานมาตรฐานมากที่สุด คือ 4.5 มิลลิเมตร ควรปรับตั้งค่าแรงกดให้อยู่ในระดับต่ำคือ 2.5 เมกะปาสคาล และค่าระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานที่ระดับกลางคือ 0.5 วินาที จะได้ค่าความยาวของขอบชิ้นงานเฉลี่ยเท่ากับ 4.4417 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากที่สุด

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุดของค่าตอบสนอง

Least Squares Means for Y			
Pressure*Time			
2.5	0.48	3.0583	0.01748
2.5	**0.5**	**4.4417**	0.01748
2.5	0.54	3.9416	0.01748
2.5	0.58	3.8250	0.01748
3.5	0.48	3.7433	0.01748
3.5	0.5	4.3917	0.01748
3.5	0.54	3.8750	0.01748
3.5	0.58	0.0000	0.01748
4	0.48	3.6100	0.01748
4	0.5	3.8417	0.01748
4	0.54	3.6583	0.01748
4	0.58	0.0000	0.01748
4.5	0.48	3.6017	0.01748
4.5	0.5	3.9517	0.01748
4.5	0.54	4.2333	0.01748
4.5	0.58	0.0000	0.01748

จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยทำการตั้งค่าตั้งค่าแรงกดที่ระดับ 2.5 เมกะปาสคาลและระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานที่ระดับ 0.5 วินาที โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 20 ครั้ง และใช้จำนวนชิ้นงานในการทดลองเท่ากับ 20 ชิ้นงานต่อการทดลอง และทำการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยของความยาวของขอบชิ้นงาน เพื่อทำการวิเคราะห์ว่าเมื่อตั้งค่าระดับปัจจัยตามผลการทดลองแล้วจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความยาวของขอบชิ้นงานเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 4.5 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 3 กราฟผลกระทบร่วมของปัจจัยแรงกดและระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงาน

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบเพื่อยืนยันผลคือ

H_0: $\mu = 4.5$ (ค่าเฉลี่ยของความยาวของขอบชิ้นงานเท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร)

H_1: $\mu \neq 4.5$ (ค่าเฉลี่ยของความยาวของขอบชิ้นงานไม่เท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมมินิแทบ 17 ได้ผลดังรูปที่ 4 สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของความยาวของขอบชิ้นงานเท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร (P-value = 0.056) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเป็นความยาวตามมาตรฐานตามที่บริษัทกรณีศึกษากำหนด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าระดับปัจจัยที่แรงกดที่ 2.5 เมกะปาสคาล และระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานที่ระดับ 0.5 วินาที เป็นระดับที่เหมาะสม โดยให้ค่าเฉลี่ยของความยาวของขอบชิ้นงานเท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร

One-Sample T

Test of $\mu = 4.5$ vs $\neq 4.5$

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
20	4.48750	0.02751	0.00615	(4.47462, 4.50038)	-2.03	0.056

รูปที่ 4 การทดสอบค่าเฉลี่ยของความยาวของขอบชิ้นงาน

จากนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่ามีชิ้นงานที่ค่าเฉลี่ยของความยาวของขอบชิ้นงานไม่เป็นไปตามมาตรฐานจำนวน 96 ชิ้น จากจำนวนการผลิตทั้งหมด 13,128 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 0.73 หรือคิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงเมื่อเทียบกับก่อนทำการปรับปรุงเท่ากับ 20,160 บาทต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการทดลอง

ข้อมูล	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	หน่วย
แรงกด	2.50	2.50	เมกะปาสคาล
ระยะเวลา	0.58	0.50	วินาที
ร้อยละของเสีย	2.46	0.73	ร้อยละ
มูลค่าของเสีย	29,120	8,960	บาท/เดือน
ร้อยละของเสียที่ลดลง	1.73		ร้อยละ
มูลค่าของเสียที่ลดลง	20,160		บาทต่อเดือน

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ข้องอ จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป 2 ปัจจัย 4 ระดับ และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยทำการทดลองทั้งหมด 48 การทดลอง พบว่าผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยแรงกดและระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานมีผลต่อค่าขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐาน (ค่าตอบสนอง: Y) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย พบว่าควรตั้งค่าแรงกดเท่ากับ 2.5 เมกะปาสคาล และระยะเวลาที่กระบวนการทำขอบชิ้นงานเท่ากับ 0.5 วินาที จากการติดตามผลการนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวไปใช้ในกระบวนการผลิตเป็นระยะเวลา 3 เดือนพบว่าจำนวนของเสียประเภทขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานลดลงจากเดิมเหลือร้อยละ 0.73 หรือคิดเป็นจำนวนต้นทุนที่ลดลงจากเดิมเท่ากับ 20,160 บาทต่อเดือน

5. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำความรู้เชิงสถิติมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการขึ้นรูปในโรงงานกรณีศึกษา โดยสามารถหาปัจจัยและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปเพื่อลดปัญหาขอบชิ้นงานสั้นกว่ามาตรฐานและสามารถนำไปใช้ในกระบวนการขึ้นรูปได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ผลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับกรณีการศึกษากระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ข้อต่อแบบข้องอ เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการประกอบของโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้น สำหรับสภาวะของสายการผลิตอื่นๆอาจต้องพิจารณาเงื่อนไขหรือสภาวะอื่นๆที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] นิวัฒน์ชัย ใจคำ ชลิดา อุดมรักษาสกุล และ ชลากร อุดมรักษาสกุล. 2567. “การลดมูลค่าของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรทางการเกษตร” วารสารวิจัยราชมงคลกรุงเทพ, ปีที่ 18, ฉบับที่ 1: 68-80.

[2] ศุภกาล ตุ้ยเต็มวงศ์ อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล วรพจน์ ศิริรักษ์ ณัฐพล ศิริรักษ์ และ กิตติชัย จินะไชย. 2567. “การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่ โดยการลดความสูญเปล่าตามหลักการ ECRS” วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, ปีที่ 10 ฉบับที่ 1: 67-77.

[3] ธีระพล บุญธรรม และ บพิธ บุปผโชติ. 2567. “อิทธิพลของแรงดันกลับต่อการยุบตัวของชิ้นงานในกระบวนการอัดขึ้นรูปโลหะแผ่น” วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา, ปีที่ 8 ฉบับที่ 2: 39-50.

[4] ประไพศรี สุทัศนณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง, พิมพครั้งที่ 1, บริษัทสำนักพิมพ์ทอป จำกัด กรุงเทพฯ, 2551.

[5] D.C Montgomery, Design and Analysis of Experiments. 7th ed., John Wiley & Sons, INC, 2009.

[6] เมธี วานิชดี วลัญชญา สาลีกงชัย และ จิราภรณ์ ประดับวงษ์. 2563. “การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณของเสียอันเกิดจากรอยทางน้ำไหลในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก” วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย, ปีที่ 9 ฉบับที่ 1: 32-45.

[7] ธนวันต์ บุญเพ็ง ณัฐสุดา สงมา ศุภณัฐฤทธิ์ ประเสริฐ และ พีรพงษ์ กาสุริยะ. 2567. “การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวสำเร็จอลูมิเนียมอัลลอย เกรด 7075 ด้วยกระบวนการล้อเดี่ยวกดรีดปัดเงา” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 20 ฉบับที่ 2: 125-140.

[8] ณัฐชนันท์ ชูสมบัติ และ นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์. 2564. “การลดค่าใช้จ่ายรวมที่เกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องประเภทครีบในกระบวนการขึ้นรูปฝาครอบถังน้ำมัน” วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, ปีที่ 7 ฉบับที่ 1: 79-92.

[9] ประเสรฐิ ศรีบุญจันทร์ เจนจิรา ธราพร ณัฐนารี สุดตา และ ธนภรณ์ เรืองสา, การลดของเสียในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้า กรณีศึกษา: บริษัท แอดแวนเทจ ฟุตแวร์ จำกัด (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2023, 11-12 May 2023, Chonburi, Thailand.

[10] กวิน สนธิเพิ่มพูน ชลลดา เรือนอินทร์ เดชฤทธิ์ กิติเดช และ ปริญญา ดวงจิตร. 2566. "การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมจุดของอลูมิเนียมอลัลอย 6061-T6 ในอุตสาหกรรมยานยนต์” วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 18 ฉบับที่ 2: 96-110.

[11] ศุภกิจ เศิกศิริ อามิณฑ์ หล้าวงศ์ วิชยุทธ จันทะรี อุทัย ธารพรศรี ไทยทัศน์ สุดสวนสี และ ปิยณัฐ โตอ่อน. 2567. "การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบสามระดับ,” วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 2, ฉบับที่ 5: 34-43.

การพัฒนามีดตัดหนังด้วยกระบวนการทางความร้อน

Improvement of leather cutting knife craft with heat treatment processes

ปรวิทย์ เจียนดอน[1] ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว[1] ภูริพัส แสนพงษ์[1] ธีรวัฒน์ เหล่านภากุล[2*]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
E-mail: Teerla@kku.ac.th*

Porawit Jiandon[1], Teerawut Khuenkaew[1], Bhuriphat Saenpong[1], Teerawat Laonapakul[2*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
E-mail: Teerla@kku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบการพัฒนามีดตัดหนังด้วยกระบวนการทางโลหะวิทยาให้มีประสิทธิภาพมากกว่ามีดเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากอุตสาหกรรมเครื่องหนังที่นิยมในประเทศไทยจึงมีความต้องการเครื่องหนังจำนวนมาก ในกระบวนการการทำเครื่องหนังพบว่ามีการใช้มีดตัดหนังอยู่ตลอดทั้งกระบวนการเป็นผลให้มีดตัดหนังเกิดความสึกหรออย่างรวดเร็ว ทำให้อายุการใช้งานของมีดสั้น เสียเวลาลับคมมีด และต้นทุนทางด้านมีดสูงขึ้น ผู้วิจัยจึงศึกษาวัสดุที่ใช้ผลิตใบมีดตัดหนังกรณีศึกษา พบว่า มีดตัดหนังที่ใช้ในปัจจุบันเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) เกรด SUS 420J ที่มีความแข็ง 48.36 HRC จึงนำใบมีดตัดหนังกรณีศึกษามาเข้ากระบวนการทางความร้อน โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ อบชุบ และ อบคืนตัว ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การอบชุบสามารถเพิ่มความแข็งของเหล็กได้ถึง 57.38 HRC ส่วนการอบคืนตัวสามารถเพิ่มความแข็งให้กับเหล็กได้ถึง 53.5 HRC และเมื่อทำการทดสอบตัดเฉือน พบว่า ใบมีดตัดหนังกรณีศึกษาสามารถทดสอบได้ 50 ครั้ง ก่อนเกิดการสึกหรอ ใบมีดตัดหนังที่ผ่านกระบวนการอบชุบ สามารถทดสอบได้ 200 ครั้ง จากผลการวิจัยพบว่าการชุบแข็งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของมีดตัดหนังกรณีศึกษาได้ถึง 4 เท่า

คำสำคัญ: การอบคืนตัว การอบชุบ ค่าความแข็ง เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติค

Abstract

This research aims to study and design the development of a leather cutting knife to have a better efficiency in cutting letters .Because of leather goods industry are so popular in Thailand so we have a high demand of leather goods and in the process of making leather goods all the small process must have a cutting that using a knife involve in the process, so the knife are always dull and they always have to sharpen the knife which wasting a lot of time. The Researcher have studied that the leather cutting knife example are martensitic stainless steel SUS 420J that have a hardness of 48.36 HRC, So we continue give a metal a heat treatment which divided into two cases that are quenching and tempering, Which was found in the experiment that quenching gave steel a hardness of 57.38 HRC and tempering gave a hardness of 53.5 HRC and we continue testing the efficiency which the original knife can cut 50 time before the wear were seen and the quenching knife can cut 200 time, so the researcher know that quenching can develop the efficiency of leather cutting knife by 4 time.

Keyword: tempering, heat treatment, hardness, martensitic stainless steel

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องหนังแฮนด์เมดเป็นที่นิยมในหมู่คนภายในประเทศไทย ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องหนังแฮนด์เมดเจริญเติบโตมากขึ้น การที่ความต้องการเครื่องหนังเพิ่มสูงขึ้นทำให้ต้องมีการใช้เครื่องมือในการผลิตที่มากขึ้น ดังนั้นเครื่องมือย่อมมีการเสื่อมสภาพที่รวดเร็วมากขึ้น โดยเฉพาะใบมีดตัดหนังถือเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สำคัญของช่างทำเครื่องหนังที่ใช้ในการตัดหนัง เพราะการที่จะทำเครื่องหนังได้จะต้องมีการตัดหนังตลอดเวลา ซึ่งถ้าใบมีดนั้นไม่มีความทนทานมากพอจะทำให้ใบมีดนั้นหมดความคมอย่างรวดเร็วทำให้เกิดงานเสียจากผิวตัดที่ไม่สวยงามและผลผลิตลดลงจากเดิมเนื่องจากเสียเวลากับการลับมีด โดยที่วัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำมีดตัดหนัง คือ เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic stainless steels) ซึ่งเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกที่มีคาร์บอนต่ำ มักใช้ในการผลิตชิ้นส่วนที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีและทนต่อการกัดกร่อนได้ เหล็กกล้าประเภทนี้จึงมักใช้งาน เช่น เครื่องกำเนิดไอน้ำ ถังแรงดัน ใบมีดตัดเครื่องมือตัด และแท่นขุดเจาะน้ำมันนอกชายฝั่ง [1-2] ซึ่งโลหะกลุ่มนี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีเหมาะสำหรับการนำไปผลิตเป็นเครื่องมือตัดเฉือน [3-4] นอกจากนี้ เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกยังสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคได้ด้วยกระบวนการทางความร้อน ยกตัวอย่างเช่น กระบวนการชุบแข็ง (quenching) และ กระบวนการอบคืนตัว (tempering treatment) เพื่อเพิ่มความแข็งให้กับเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก [5-7] เนื่องจากโครงสร้างของเหล็กชนิดนี้สามารถเปลี่ยนเป็นโครงสร้างมาเทนไซต์และมีโครเมียมคาร์ไบด์ที่ช่วยเพิ่มความแข็งและการทนต่อการสึกหรอได้ [8-9] ซึ่งการตอบสนองต่อกระบวนการทางความร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้สามารถเพิ่มความแข็งและการทนต่อการสึกหรอได้ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกกระบวนการอบชุบที่เหมาะสมกับวัสดุ เช่น อุณหภูมิ สารชุบ และเวลาในการอบแช่ ก็เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการได้มาซึ่งสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคที่ต้องการและตอบสนองต่อการนำไปใช้งาน

มีดตัดหนังของช่างทำเครื่องหนังในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก เกรด SUS 420J ที่ต้องพบปัญหาในการลับคมมีดตลอดเพื่อให้กรีดหนังได้โดยไม่ต้องออกแรงมากหลีกเลี่ยงการทำให้เกิดความเสียหายกับตัวหนังและและเกิดรอยตัดที่สวยงาม ซึ่งในการลับคมมีดต้องอาศัยความชำนาญของผู้ปฏิบัติและใช้เวลาในการลับคมนาน ส่วนการตัดหนังจำเป็นต้องใช้ความชำนาญของช่างแต่ละคนด้วย หากกรีดเบาไปก็ต้องกรีดซ้ำใหม่ใบมีดก็จะหมดเร็วกว่า หรือกรีดแรงมากเกินไปใบมีดก็จะสัมผัสกับพื้นที่รองหนังอยู่ใบมีดก็จะหมดความคมเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการกรีดแบบพอดี ในกรณีที่คมของใบมีดชำรุดก็จะต้องเปลี่ยนใหม่ จากการสำรวจพบว่าปัญหาหลักเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้งานของมีดตัดหนัง คือ ความคมที่ไม่สม่ำเสมอ และคมมีดที่ไม่ทนทาน ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการศึกษากระบวนทางความร้อนที่เหมาะสมต่อการพัฒนามีดตัดหนังที่นิยมใช้อยู่ในประเทศไทย เพื่อให้ได้มีดตัดหนังที่มีความแข็ง รักษาความคมตัดความคงทนต่อการสึกหรอ และอายุการใช้งานที่ยาวนานยิ่งขึ้น

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานการศึกษาการพัฒนามีดตัดหนังด้วยกระบวนการทางโลหะวิทยา จะมุ่งเน้นไปที่ศึกษาเกี่ยวกับพัฒนาความแข็ง และความคมของ มีดตัดหนังด้วยกระบวนการทางอบชุบ เนื่องจากมีดตัดหนังในท้องตลาดมีความคมที่ต่ำและสึกหรอทำให้หมดคมเร็ว ทำให้การใช้งานเป็นไปได้ลำบากเนื่องจากต้องมีการลับมีดทำคมใหม่ตลอดเวลาในกระบวนการตัดหนัง ดังนั้นผู้ดำเนินโครงการ จึงได้ศึกษาการพัฒนาใบมีดตัดหนัง เพื่อช่วยลดเวลาที่เสียไปกับการลับคมมีดใหม่เพื่อความสม่ำเสมอในการทำงานตัดหนังของผู้ใช้มีด

2.1 ตรวจหาส่วนประกอบทางเคมีของใบมีดตัดหนัง

เพื่อเป็นการตรวจสอบว่ามีดตัดหนังที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็กกล้ากลุ่มไหน และเพื่อที่จะสามารถออกแบบกระบวนการอบชุบที่เหมาะสมกับวัสดุ ได้แก่ อุณหภูมิการทำออสเทนไนซิ่ง (austenitizing) สารชุบแข็ง (quenching media) และ อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัว (tempering treatment) หาส่วนประกอบทางเคมีของมีดตัดหนังด้วย Optical Emission Spectrometer (รุ่น ARL 3460) โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วนำส่วนประกอบทางเคมีไปเปรียบเทียบกับเกรดมาตรฐานของ JIS แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของมีดตัดหนังและมาตรฐาน JIS [10]

การทดสอบ	C	Si	Mn	P (max)	S	Cr
1	0.23	0.61	0.45	0.021	0.004	12.45
2	0.30	0.61	0.46	0.021	0.004	12.40
3	0.30	0.61	0.46	0.021	0.004	12.36
เฉลี่ย	0.29	0.61	0.46	0.021	0.004	12.40
420J (JIS)	0.26-0.35	<1.0	<1.50	0.04	<0.015	12 to 14

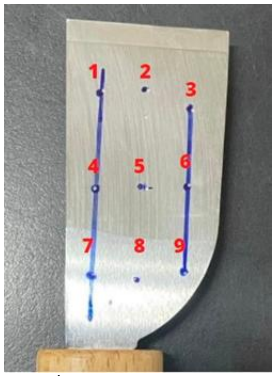
จากตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม มาตรฐาน JIS พบว่ามีส่วนผสมใกล้เคียง เหล็กกล้าไร้สนิม 420J ซึ่งเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก

2.2 การทดสอบค่าความแข็งและการสึกหรอของมีดตัดหนัง

2.2.1 การทดสอบค่าความแข็ง

การทดสอบความแข็งของใบมีดด้วย Rockwell Hardness Test โดยเลือกเงื่อนไขการทดสอบเป็นหัวกดเพชร และนำหนักกด 1471 นิวตัน โดยทดสอบกับมีดตัดหนังตัวอย่างจากท้องตลาดและมีดตัดหนังที่

ผ่านกระบวนการอบชุบจากการทดลอง และเพื่อเป็นการยืนยันการอบชุบของมีดตัดหนังในท้องตลาด เนื่องจากเหล็กที่ใช้ทำมีดในการตัดเฉือนต้องผ่านกระบวนการทางความร้อนการชุบแข็ง จึงได้แบ่งจุดที่ทำการทดสอบเป็น 9 จุดบนใบมีด เพื่อให้ทราบว่าใบมีดตัวอย่างนั้นได้ผ่านกระบวนการเดียวกันทั้งใบมีดหรือไม่ ดังรูปที่ 1 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 การกำหนดจุดเพื่อทดสอบความแข็งของมีดตัดหนังตัวอย่าง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแข็งด้วย Rockwell Hardness Test ทั้ง 9 จุด บนใบมีดตัดหนังตัวอย่างในท้องตลาด

จุดที่	ความแข็ง(HRC)
1	48.6
2	48.6
3	48.4
4	47.2
5	48.1
6	48.0
7	48.6
8	49.2
9	48.5

จากตารางที่ 2 พบว่า ทั้ง 9 จุดบนใบมีดตัวอย่าง มีความแข็งใกล้เคียงกัน ทำให้ทราบว่าใบมีดตัวอย่างได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนเดียวกันทั้งใบมีด โดยได้ค่าเฉลี่ยความแข็งของใบมีดตัวอย่างอยู่ที่ 48.36 HRC ดังนั้นในการทดลองสามารถเลือกหรือตัดส่วนต่างๆของใบมีดไปใช้ในการทดลองได้ทุกส่วนและสร้างมีดตัวอย่างที่ผ่านการอบชุบทั้งใบมีดเหมือนมีดตัดหนังตัวอย่างในท้องตลาด เพื่อนำไปทดสอบการทดสอบการรักษาความคมของมีด

2.2.2 การทดสอบการรักษาความคมของมีด ด้วยวิธีการตัดเฉือน

นำมีดตัดหนังไปผ่านกระบวนการทางความร้อนตามเงื่อนไขที่ศึกษาในการพัฒนา และนำมาทดสอบโดยการเฉือนกับเชือกมะนิลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร โดยมีผู้ทำการทดสอบ 1 คน จากนั้นเก็บผลที่ได้วัดจากจำนวนครั้งในการเฉือนเชือกก่อนที่จะเกิดความเสียหายกับใบมีดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือไม่สามารถตัดเฉือนเชือกมะนิลาต่อไปได้ จากนั้นเก็บผลเพื่อหาประสิทธิภาพที่ได้เทียบกับใบมีดตัวอย่างตามท้องตลาด โดยผลที่ได้วัดจากจำนวนครั้งในการเฉือนเชือกก่อนที่คมของใบมีดจะหมดลง โดยการตรวจสอบคมตัดด้วยกล้องกำลังขยายสูง (macro stereo scope)

2.3 การออกแบบกระบวนการอบชุบ

2.3.1 การทดลองการชุบแข็ง

ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อนำมาชุบแข็ง ทำการตัดมีดตัดหนังเป็นชิ้นขนาด 20x20x3 mm จำนวน 8 ชิ้น เพื่อทำการชุบแข็ง 2 ชิ้นในแต่ละเงื่อนไข โดยเงื่อนไขการชุบแข็งมีดังนี้ แบ่งกลุ่มชิ้นงานทดสอบในการทำออสเทนไนท์ซิ่งเป็น 2 กลุ่ม ที่อุณหภูมิออสเทนไนท์ซิ่ง 1025 และ 1075 องศาเซลเซียส ตามคำแนะนำของมาตรฐาน UNS [11] เมื่อถึงอุณหภูมิเป้าหมายแล้วทำการอบแช่ไว้ 15 นาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการทำออสเทนไนท์ซิ่งทั้งสองกลุ่มไปชุบแข็งในสารชุบโดยแบ่งการชุบแข็งในสรชุบออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่น้ำและน้ำน้ำมัน เพื่อดูแนวโน้มความแข็งของเหล็กต่ออุณหภูมิชุบแข็งและการเลือกใช้สารชุบ

2.3.2 การทดลองการอบคืนตัว

ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อนำมาอบคืนตัว ทำการตัดเหล็กเป็นชิ้นขนาด 20x20x3 mm จำนวน 4 เพื่อทำการชุบแข็ง 2 ชิ้นในแต่ละเงื่อนไขการชุบแข็ง จากนั้นอบคืนตัวที่อุณหภูมิคือ 400 และ 500 องศาเซลเซียส [8-9] ที่อุณหภูมิอบคืนตัวชี้ให้เห็นว่าช่วงอุณหภูมิ 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่ทำให้เกิด secondary hardening หรือการเกิดคาร์ไบด์ที่สามารถเพิ่มความแข็งให้กับเหล็กกลุ่มนี้ [8] โดยทำการอบคืนไฟ 2 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศนอกเตา

2.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การทดลองโดยการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ได้แก่ เฟสโครงสร้าง และคาร์ไบด์เหล็กกล้าไร้สนิม 420J ตามแนวขวาง นำชิ้นส่วนของใบมีดตัวอย่างมาหล่อเรซิ่น แล้วนำไปขัดเพื่อส่องดูโครงสร้าง โดยไล่ระดับความละเอียดของกระดาษทรายจากเบอร์ 320 400 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ แล้วขัดด้วยผงอลูมิน่าขนาด 1 และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ จากนั้นทำการกัดผิวโลหะด้วยสารละลาย Vilella แล้วนำไปส่องโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

3.1 ผลการทดลองการชุบแข็ง

จากการนำชิ้นงานทดสอบทำออสเทนไนท์ซิ่งที่อุณหภูมิ 1025 และ 1075 องศาเซลเซียส ตามคำแนะนำของมาตรฐาน UNS [11] เพื่อดูแนวโน้มความแข็งของเหล็กต่ออุณหภูมิชุบแข็ง จากนั้นชุบแข็งในน้ำและน้ำมัน และเลือกการเย็นตัวในน้ำมันและน้ำ ผลการทดสอบความแข็งใบมีดตัดหนังหลังผ่านกระบวนการชุบแข็ง ให้ผลตามเงื่อนไขตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความแข็งหลังผ่านกระบวนการชุบแข็งตามเงื่อนไขที่กำหนด

เงื่อนไข	ชิ้นที่	เย็นตัวในน้ำ/ความแข็ง(HRC)			เย็นตัวในน้ำมัน/ความแข็ง(HRC)		
1025 °C	1	53.3	58.1	58.2	51.5	51.8	51.1
	2	56.8	58.2	57.6	50.2	53	48.2
1075 °C	1	50.2	56.0	56.3	58.6	59.1	58.8
	2	59.5	60.3	60.5	54.0	57.6	56.2

จากผลการทดลองทราบว่าเงื่อนไขที่ทำให้เหล็กกล้าไร้สนิม 420J มีความแข็งเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ การชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำและน้ำมันในการชุบ ซึ่งให้ค่าความแข็งโดยเฉลี่ย 57.1 และ 57.3 HRC ตามลำดับ ซึ่งจะถูกนำไปอบคืนตัวในขั้นตอนถัดไป

3.2 ผลการทดลองการอบคืนตัว

นำชิ้นงานที่ผ่านชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำและน้ำมันในการชุบ ไปทำการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และสูงสุดเมื่ออุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และเผาแช่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการทดสอบค่าความแข็งชิ้นงานหลังจากอบคืนตัว แสดงดังตารางที่ 4

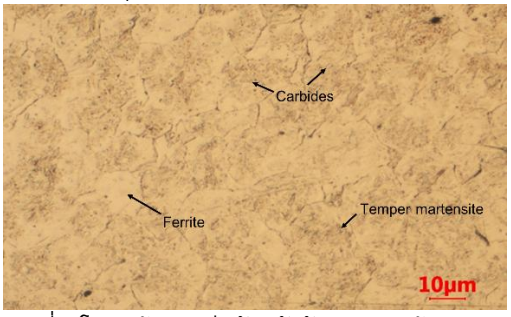
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความแข็งหลังผ่านการอบคืนตัวตามเงื่อนไขที่กำหนด

อบคืนตัว	เย็นตัวในน้ำ/ความแข็ง(HRC)			เย็นตัวในน้ำมัน/ความแข็ง(HRC)		
400 °C	52.3	53.0	53.5	46.0	52.4	53.2
500 °C	53.2	52.7	53.7	53.0	54.5	53.0

จากผลการทดลองพบว่าการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งสูงกว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนตัวที่ 400 องศาเซลเซียส โดยที่ค่าความแข็งจากการอบคืนตัวที่ 500 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 53.2 และ 53.5 HRC จากชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำและน้ำมัน ตามลำดับ

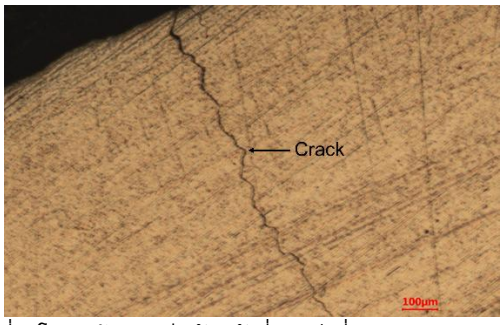
3.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

เพื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้าง เฟส และขนาดและการกระจายตัวของคาร์ไบด์ของมีดตัดหนังตัวอย่างตามท้องตลาดและมีดตัดหนังที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกระบวนการทางความร้อน พบว่ามีดตัดหนังตัวอย่างตามท้องตลาดมีโครงสร้างประกอบไปด้วย เทมเปอร์มาร์เทนไซต์และเฟอร์ไรต์กระจายตัวอยู่ในโครงสร้างและพบการกระจายตัวของคาร์ไบด์อยู่ทั่วไป ซึ่งเฟอร์ไรต์ที่พบในมีดตัดหนังตัวอย่างมีผลึกขนาดใหญ่ ทำให้ความแข็งโดยรวมของใบมีดตัดหนังมีค่าต่ำ นอกจากนั้นยังพบเทมเปอร์มาร์เทนไซต์ที่จะเกิดขึ้นเมื่อเหล็กผ่านกระบวนการชุบแข็งและอบคืนตัว จากการตรวจสอบโครงสร้างทำให้ทราบว่ามีดตัดหนังตัวอย่างได้ผ่านกระบวนการชุบแข็งและอบคืนตัวมาแล้ว



รูปที่ 2 โครงสร้างของมีดตัดหนังตัวอย่างตามท้องตลาด

เมื่อตรวจสอบมีดตัดหนังที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส และชุบแข็งในน้ำ พบว่า เกิดการแตกร้าวขึ้นที่ขอบของชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งเกิดจากอัตราการเย็นตัวที่สูงทำให้ชิ้นงานเกอดการหดตัว บิดเบี้ยวและแตกหัก จึงทำให้การพิจารณาการใช้กระบวนการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียสและเย็นตัวในน้ำแล้วนำไปผ่านกระบวนการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเงื่อนไขที่ไม่เหมาะสมต่อการปรับปรุงใบมีดตัดหนัง

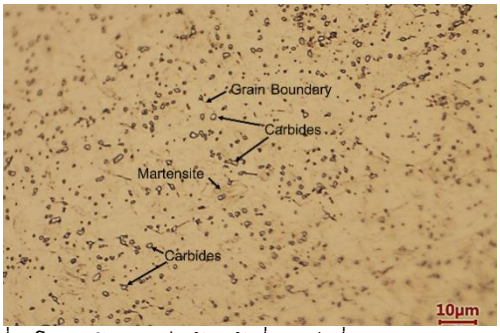


รูปที่ 3 โครงสร้างของมีดตัดหนังที่ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียสและเย็นตัวในน้ำ

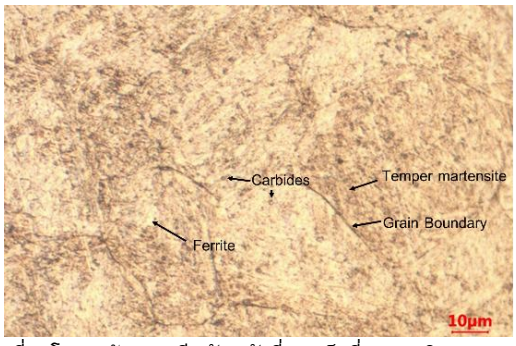
เมื่อตรวจสอบโครงสร้างมีดตัดหนังที่ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียสและเย็นตัวในน้ำมันแสดงดังรูปที่ 4 พบว่า มีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่มีความละเอียดมากและมีขนาดเล็กกระจายทั่วทั้งโครงสร้างและพบเฟอร์ไรต์ซึ่งขนาดเกรนโดยรวมทั้งโครงสร้างมีขนาดเล็กสังเกตได้จากการกระจายตัวของคาร์ไบด์ที่มักเกิดขึ้นตามขอบเกรนทำให้คาร์ไบด์กระจายตัวได้มากที่สุดในการทดสอบ

จากรูปที่ 5 เมื่อตรวจสอบโครงสร้างของมีดตัดหนังที่ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียสและเย็นตัวในน้ำมัน และอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างที่ปรากฏคือ เทมเปอร์มาร์เทนไซต์จำนวนมากและโครงสร้างเฟอร์ไรต์แทรกตามโครงสร้างเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อตรวจสอบพบว่าขนาดเกรนที่ปรากฏมี

ขนาดใหญ่ขึ้นและพบคาร์ไบด์ที่มีขนาดเล็กลงและการกระจายตัวของคาร์ไบด์ที่น้อยลงส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งลดลง



รูปที่ 4 โครงสร้างของมีดตัดหนังที่ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียสและเย็นตัวในน้ำมัน



รูปที่ 5 โครงสร้างของมีดตัดหนังที่ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียสและเย็นตัวในน้ำมัน และอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

3.3 การทดสอบการรักษาความคมของมีด ด้วยวิธีการตัดเฉือน

นำมีดตัดหนังตัวอย่างจากท้องตลาดและมีดตัดหนังที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนตามเงื่อนไขที่ตัดสินใจใช้ในการพัฒนา ได้แก่ มีดตัดหนังที่ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส และเย็นตัวในน้ำมัน และมีดตัดหนังที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส และเย็นตัวในน้ำมันและผ่านการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นำมาทดสอบการตัดเฉือนกับเชือกมะนิลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร โดยมีผู้ทำการทดสอบ 1 คน การเฉือนจะเฉือนในแนวเดียวโดยเข้าหาตัวผู้ทำการทดลอง แสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งการทดสอบนี้เป็นการตัดเฉือนไปจนกว่ามีดตัดหนังจะเกิดการสึกหรอจนไม่สามารถตัดต่อไปได้ หรือผู้ทดสอบอาจจะต้องเพิ่มแรงในการตัดที่แตกต่างไปจากเดิมจากการตัดครั้งแรกในการตัดเฉือน

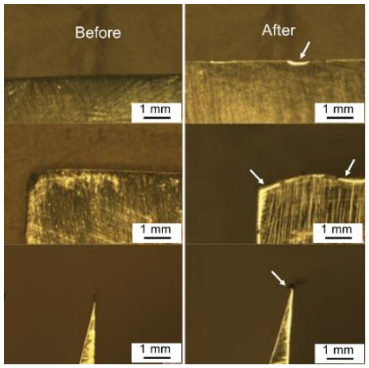


รูปที่ 6 การทดสอบการตัดเฉือนกับเชือกมะนิลา

ตารางที่ 5 การทดสอบการรักษาความคมของมีด ด้วยวิธีการตัดเฉือน

เงื่อนไข	จำนวนครั้งในการตัดเฉือน
มีดตัวอย่างตามท้องตลาด	50
มีดตัดหนังที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส และเย็นตัวในน้ำมัน	200
เหล็กกล้าไร้สนิมผ่านกระบวนการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส และเย็นตัวในน้ำมัน แล้วนำไปผ่านกระบวนการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	30

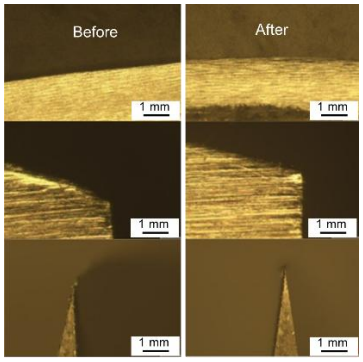
จากตารางที่ 5 หลังจากการทดสอบการรักษาความคมของมีด ด้วยวิธีการตัดเฉือน พบว่า มีดตัดหนังตัวอย่างตามท้องตลาดหลังผ่านการทดสอบประสิทธิภาพการรักษาความคมของมีดด้วยการตัดเฉือนกับเชือกมะนิลา ใบมีดหลังผ่านการตัดเฉือนแล้ว 50 ครั้ง จะเห็นได้ว่าคมของใบมีดเกิดการบิ่นทั้งบริเวณกลางและขอบของใบมีด แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งทำให้การตัดเฉือนของใบมีดมีประสิทธิภาพลดจนไม่สามารถตัดเฉือนเชือกมะนิลาได้



รูปที่ 7 มีดตัดหนังตัวอย่างตามท้องตลาดก่อนและหลังทำการทดสอบการรักษาความคมของมีด

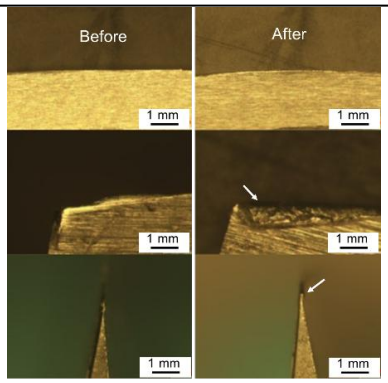
จากการตรวจสอบมีดตัดหนังผ่านกระบวนการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส และเย็นตัวในน้ำมัน ก่อนและหลังทำการทดสอบการรักษาความคมของมีดด้วยวิธีการตัดเฉือน จากตารางที่ 5 พบว่า

หลังผ่านการทดสอบประสิทธิภาพการรักษาความคมของมีดด้วยการตัดเฉือนกับเชือกมะนิลา ใบมีดหลังผ่านการตัดเฉือนแล้ว 200 ครั้ง มีการสึกหรอเล็กน้อยที่บริเวณขอบของใบมีด แต่ยังมีประสิทธิภาพมากพอที่จะตัดเฉือนต่อไปได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์โครงสร้าง พบว่าโครงสร้างมาร์เทนไซต์และขนาดของเกรนที่ละเอียด ซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญในการเพิ่มความแข็งให้กับเหล็กกล้า ทำให้ใบมีดมีความแข็ง นอกจากนี้ยังมีคาร์ไบด์ที่มีขนาดใหญ่และมีการกระจายตัวของเม็ดคาร์ไบด์ในโครงสร้างมาก ซึ่งช่วยให้เนื้อเหล็กป้องกันการสึกหรอจากการเสียดสีได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพการรักษาความคมของใบมีดสูงขึ้น



รูปที่ 8 มีดตัดหนังผ่านกระบวนการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส และเย็นตัวในน้ำมัน ก่อนและหลังทำการทดสอบการรักษาความคมของมีด

เมื่อตรวจสอบมีดตัดหนังผ่านกระบวนการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส และเย็นตัวในน้ำมัน แล้วนำไปผ่านกระบวนการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ก่อนและหลังทำการทดสอบการรักษาความคมของมีดด้วยวิธีการตัดเฉือน พบว่าการรักษาความคมของมีดด้วยการตัดเฉือนกับเชือกมะนิลา ใบมีดหลังผ่านการตัดเฉือนแล้ว 30 ครั้ง ทำให้คมของใบมีดเกิดการพับเข้ามาหาตัวมีดในบริเวณขอบของใบมีด แสดงดังรูปที่ 9 ซึ่งทำให้การตัดเฉือนของใบมีดมีประสิทธิภาพลดลงและไม่สามารถตัดเฉือนเชือกมะนิลาได้ ซึ่งเป็นผลจากการอบคืนตัวทำให้เกิดเทมเปอร์มาร์เทนไซต์มากทำให้ความแข็งลดลงและคาร์ไบด์มีขนาดเล็กลง แม้ว่าคาร์ไบด์จะมีสมบัติที่แข็ง ช่วยให้เนื้อเหล็กป้องกันการสึกหรอจากการเสียดสีได้ แต่ด้วยขนาดของเกรนที่หยาบขึ้นทำให้เนื้อเหล็กเกิดการแปรรูปถาวรได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการรักษาความคมของใบมีดลดลง



รูปที่ 9 มีดตัดหนังผ่านการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ก่อนและหลังทำการทดสอบการรักษาความคมของมีด

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการพัฒนาใบมีดตัดหนังด้วยกระบวนการทางโลหะวิทยา และทดสอบประสิทธิภาพการรักษาความคมของใบมีดด้วยวิธีการตัดเฉือน ใบมีดตัดหนังตัวอย่างตามท้องตลาดที่นำมาศึกษามีความแข็งอยู่ที่ 48.36 HRC และสามารถตัดเฉือนเชือกมะนิลาได้ 50 ครั้ง ก่อนที่คมของใบมีดจะเกิดการสึกหรอจนไม่สามารถตัดเฉือนต่อไปได้ ซึ่งเมื่อผ่านการพัฒนาด้วยกระบวนการทางโลหะวิทยา โดยผ่านกระบวนการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส โดยเผาแช่ระยะเวลา 15 นาทีแล้วเย็นตัวในน้ำมัน มีดมีความแข็งอยู่ที่ 57.3 HRC และสามารถตัดเฉือนเชือกมะนิลาได้ 200 ครั้ง ซึ่งมีความแข็งมากโดยการพัฒนาใบมีดตัดหนังสามารถรักษาความคมได้ดีกว่ามีดตัดหนังเดิมสามารถเพิ่มจำนวนการตัดเฉือนได้มากกว่า 4 เท่า ส่งผลให้ลดปัญหาการสึกหรออย่างรวดเร็วและลดปัญหาการเสียเวลาในการลับมีด รวมทั้งยืดอายุการใช้งาน ดังนั้นกระบวนการทางโลหะวิทยาที่เหมาะสมในการพัฒนามีดตัวอย่าง คือ กระบวนการทางโลหะวิทยา โดยผ่านกระบวนการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาอบแช่ระยะเวลา 15 นาที และใช้สารชุบคือน้ำมัน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการนำเสนอผลงาน วิจัยสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

[1] Song, Y.Y., Li, X.Y., Rong, L.J., Ping, D.H., Yin, F.X. and Li, Y.Y., 2010. Formation of the reversed austenite during intercritical tempering in a Fe–13% Cr–4% Ni–Mo martensitic stainless steel. Materials letters, Vol. 64(13): 1411-1414.

[2] Ettefagh, A.H., Guo, S. and Raush, J., 2021. “Corrosion performance of additively manufactured stainless steel parts: A review. Additive manufacturing”, Vol. 37:101689.

[3] C.A. Gervasi, C.M. Mendez, P.D. Bilmes, and C.L. Liorente. 2011. “Analysis of the Impact of Alloy Microstructural Properties on Passive Films Formed on Low-C 13CrNiMo Martensitic Stainless Steels”. Mater. Chem. Phys., Vol. 126: 178–182.

[4] Karaçali, Ö. 2018. “Finite Element Analysis of the Model of Mechanical Behavior of SUS420 Steel Scraping Blade in Printing Engineering”. Acta Physica Polonica: A, Vol.134(1).

[5] A.K. Bijan. and A. Mollaahmadi. 2017. “Rapid tempering of martensitic stainless steel AISI420: microstructure, mechanical and corrosion properties”. Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 26: 1626-1633.

[6] Isfahany, A.N., Saghafian, H. and Borhani, G., 2011. “The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behavior of AISI420 martensitic stainless steel”. Journal of alloys and compounds, Vol. 509(9): 3931-3936.

[7] García de Andrés, C., Alvarez, L.F., López, V. and Jiménez, J.A., 1998. “Effects of carbide-forming elements on the response to thermal treatment of the X45Cr13 martensitic stainless steel”. Journal of materials science, Vol. 33: 4095-4100.

[8] Bonagani, S.K., Bathula, V. and Kain, V., 2018. “Influence of tempering treatment on microstructure and pitting corrosion of 13 wt.% Cr martensitic stainless steel”. Corrosion Science, Vol.131: 340-354.

[9] Lu, S.Y., Yao, K.F., Chen, Y.B., Wang, M.H., Liu, X. and Ge, X., 2015. “The effect of tempering temperature on the microstructure and electrochemical properties of a 13 wt.% Cr-type martensitic stainless steel”. Electrochimica Acta, Vol. 165: 45-55.

[10] Klar, Erhard, and Prasan K. Samal. Powder metallurgy stainless steels: processing, microstructures, and properties. ASM international, 2007.

[11] Unterweiser, Paul M., Howard E. Boyer, and James J. Kubbs, eds. Heat treater's guide: standard practices and procedures for steel. ASM International (OH), 1982.

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตที่เหมาะสม กรณีศึกษาของกระบวนการตัดเหล็ก

MATHEMATICAL MODELING FOR OPTIMAL PRODUCTION PLANNING A CASE STUDY OF THE STEEL CUTTING PROCESS

บุษรินทร์ เจริญสมบัติ[1] เจษฎา จันทวงษ์โส[1] พร้อมพงษ์ ปานดี[1] และ สุริยพงศ์ นิลสังข์[1]*
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mail: suriyaphong.nils@kmutt.ac.th*

Budsarin Charoensombut[1], Jessada Juntawongso[1], Phromphong Pandee[1], and Suriyaphong Nilsang[1]*
[1] Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
E-mail: suriyaphong.nils@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมเหล็กและกระบวนการแปรรูปโลหะเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย บริษัทกรณีศึกษาต้องการวางแผนสำหรับกระบวนการตัดเหล็กด้วยแก๊สที่ไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งมอบให้กับลูกค้า ดังนั้นผู้วิจัยได้นำเสนอการประยุกต์วิธีการทางสถิติด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เพื่อการประเมินเวลาในกระบวนการตัดเหล็กต่อความยาวและความหนาของแผ่นเหล็ก นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) สำหรับการวางแผนการผลิตในกระบวนการตัดเหล็กที่เหมาะสม ผลการดำเนินงานวิจัยพบว่า ความยาวและความหนาของแผ่นเหล็กมีผลต่อระยะเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากนั้นนำสมการที่ได้สำหรับประเมินระยะเวลาการตัดตามความต้องการของลูกค้า จากนั้นนำเวลาการตัดที่ได้เพื่อกำหนดกำลังการผลิตในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยได้กำหนดสมการเป้าหมายเป็นการได้กำไรสูงสุด เพื่อคำนวณหาเวลาและจำนวนชั่วโมงการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในการตัดเหล็กในแต่ละวัน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยในการวางแผนกระบวนการตัดเหล็กสามารถเพิ่มกำไรสูงสุดหลังจากส่งมอบงานให้ลูกได้ เพิ่มขึ้น 65.88 เปอร์เซ็นต์จากการวางแผนการผลิตเดิม และสามารถนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิตจริงของบริษัทตามความต้องการของลูกค้าได้

Abstract

The steel industry and metal processing process are one of the important industries in Thailand. The case study company wanted to plan for the gas steel cutting process that did not go as planned, causing delays in delivery to customers. Therefore, the researcher presented the application of statistical methods using Multiple Linear Regression analysis to evaluate the time in the steel cutting process based on the length and thickness of the steel plate. In addition, the mathematical modeling was applied for appropriate steel cutting production planning. The research results found that the length and thickness of the steel plate had a statistically significant effect on the time. After that, the obtained equation was used to evaluate the cutting time according to customer requirements. Then, the cutting time was used to determine the production capacity in the mathematical model. The target equation was set as the maximum profit to calculate the most appropriate time and number of production hours for steel cutting each day. The mathematical model obtained from the research operation in planning the steel cutting process can increase the maximum profit after delivering the work to the customer, increasing by 65.88 percent from the original production plan. This model can be applied to the company's actual production planning according to customer needs.

Keywords: Steel Cutting Process; Production Planning; Multiple Linear Regression, Mathematical Model

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตมีความสำคัญต่อภาคธุรกิจและการใช้ชีวิตของผู้คนจำนวนมาก [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเหล็กและกระบวนการแปรรูปโลหะเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย บริษัท แอล พี เอ็น เพลทมิล จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ผลิตเหล็กรีดร้อนชนิดแผ่น ต้องการพัฒนาแนวทางการวางแผนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำยิ่งขึ้น เพื่อลดความล่าช้าในกระบวนการตัดเหล็ก และส่งมอบสินค้าได้ตรงตามข้อกำหนดด้านปริมาณและระยะเวลาของลูกค้า นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นให้การวางแผนสามารถรองรับความผันผวนของคำสั่งซื้อได้อย่างมีประสิทธิผลมากขึ้น

เป้าหมายสำคัญของงานวิจัยนี้ คือ การเพิ่มผลกำไรสูงสุดให้กับบริษัท ผ่านการวางแผนการผลิตที่มีความรัดกุมมากขึ้น กระบวนการวางแผนจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญหลายประการตามที่บริษัทต้องการ ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการตัดเหล็กให้เสร็จสมบูรณ์ของลูกค้าแต่ละรายในแต่ละรอบเวลาการผลิตการผลิต (Cycle Time), วันและเวลาที่ลูกค้าต้องการรับมอบสินค้า (Deadline), ความสามารถในการผลิตของบริษัทต่อวัน (Capacity) และผลิตภาพ (Productivity) ในที่นี้คือ จำนวนน้ำหนักของเหล็กที่ตัดได้วัดเป็นตันต่อชั่วโมงทำงาน

การวางแผนการผลิตสำหรับกระบวนการตัดเหล็กมีการศึกษาอย่างแพร่หลาย วิธีการวางแผนการผลิตถูกนำมาแก้ปัญหาบนหน่วยงานโดยให้ความสนใจด้านเวลาในการผลิตต่ำสุด และอีกหนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยมในการวางแผนการผลิตโดยนำทฤษฎีการโปรแกรมเชิงเส้น [2] มาใช้เป็นเทคนิคในการแก้ไขปัญหาซึ่งเป็นเทคนิคที่มีลักษณะเกี่ยวข้องกับการจัดสรรปัจจัยและทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดทั้ง ขนาด ปริมาณ และขอบเขตของการใช้งาน ที่มีลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปร ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นเชิงเส้นตรงนั้น โดยมีจุดหมายเพื่อแก้ปัญหาและตัดสินใจให้ เกิดผลตามแนวทางการดำเนินงานที่ดีที่สุด (Optimal)

ปัญหาการวางแผนการผลิตและการมอบงาน เป็นปัญหาที่พัฒนามาจากรูปแบบปัญหาการขนส่ง Transportation Problem ได้แก่ ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรบุคลากร อุปกรณ์ เครื่องจักร ให้เหมาะสมกับงานหน้าที่สถานที่ การแจกแจงจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด จากแหล่งทรัพยากรต่างๆ ไปสู่จุดหมายที่ได้กำหนดไว้แล้ว ให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด มักจะเป็นรูปแบบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นรูปแบบที่ใช้มากที่สุดในการดำเนินงาน ซึ่งอยู่ในรูปของสมการหรืออสมการต่างๆ เป็นการหาผลลัพธ์ตามจุดประสงค์ (Objective Function) คือ สูงสุดหรือต่ำสุด จะประกอบด้วย 2 ตัวแปรคือ 1) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) เป็นค่าที่กำหนดขึ้นหรือ ควบคุมได้ (Controllable Variable) เช่น ราคา ปริมาณการสั่งซื้อ งบประมาณเส้นทาง เป็นต้น จัดเป็นแนวทางที่เลือกกระทำได้ 2) ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) เป็นองค์ประกอบของระบบที่ไม่อยู่ภายใต้การกำหนดหรือการควบคุม (Uncontrollable Variable) แต่มีผลกระทบกับผลลัพธ์ของระบบ เช่น ราคาของคู่ต่อสู้ฝ่ายตรงข้าม ระดับความต้องการสินค้า นโยบายของรัฐบาล การกระทำหรือเหตุการณ์อื่นๆ ที่เกิดขึ้นภายนอกระบบ เพื่อหาผลลัพธ์ของระบบที่เหมาะสมที่สุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์วิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตด้วยแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Programming: MILP) โดยได้กำหนดสมการเป้าหมายเป็นการได้กำไรสูงสุด (Maximize Profit) และเครื่องมือช่วยหาคำตอบจากแบบจำลอง จะทำให้สามารถคำนวณคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) สำหรับเวลาที่ใช้ในการตัดเหล็กในแต่ละวัน ผลลัพธ์ที่คาดหวังจากงานวิจัยนี้ คือ การได้แผนการผลิตที่มีความแม่นยำมากขึ้นและสอดคล้องกับเงื่อนไขที่บริษัทต้องการ รวมไปถึงการบริหารจัดการทรัพยากรการผลิตได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้สามารถนำตัวอย่างหรือเป็นแนวทางให้กับบริษัทสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดการวางแผนการผลิตอื่นๆ ได้ในอนาคต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearity) ถ้าศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัวเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยว หรือการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ถ้าตัวแปรอิสระมีมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัวเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) วัตถุประสงค์ของการใช้การวิเคราะห์การถดถอยคือ นำไปใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม และศึกษาปัจจัยหรือตัวแปรอิสระที่ร่วมกันทำนาย โดยมีสมการพยากรณ์ คือ

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \ldots + b_kX_k \quad (1)$$

เมื่อ Y คือ ค่าของตัวแปรตาม
$X_1, X_2, \ldots, X_k$ คือ ค่าของตัวแปรอิสระแต่ละตัว
k คือ จำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอย
b_0 คือ ค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย

สำหรับ $b_1 + b_2 + \ldots + b_k$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวแปรอิสระแต่ละตัว โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยนี้จะแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีต่อค่าตัวแปรตาม [3]

หลักการทดสอบสมมติฐานเป็นการทดสอบเพื่อสรุปหรือพิสูจน์ข้อความซึ่งเป็นข้อสมมติเกี่ยวกับระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษาว่า เป็นไปตามที่คาดคะเนไว้หรือไม่ในการทดสอบ สมมติฐานนั้น จะ

แบ่งข้อสมมติเป็นสองส่วน ดังนี้ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis, H_0) ประกอบด้วยข้อสมมติหรือข้อความที่ต้องการพิสูจน์ว่าเท็จ หรือข้อความที่ต้องการปฏิเสธ และสมมติฐานรอง (Alternate Hypothesis, H_a หรือ H_1) ประกอบด้วยข้อสมมติหรือข้อความที่ต้องการจะพิสูจน์ว่าจริง หรือต้องการยอมรับ ยกเว้น กรณีที่พิสูจน์ว่าเท่ากัน เครื่องหมายเท่ากับจะปรากฏในสมมติฐานหลัก

ระดับนัยสำคัญ (P-Value) ที่น้อยที่สุดที่จะสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ในการทดสอบสมมติฐาน ดังนั้นการใช้ P-Value ในการทดสอบสมมติฐาน จะทำให้ทราบความเชื่อมั่นที่แท้จริง โดยจะทำการปฏิเสธ H0 เมื่อค่า P-Value < α [4]

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิต (Mathematical Modeling for Production Planning)

การตัดสินใจเกี่ยวกับการวางแผนและควบคุมการผลิต เป็นการค้นหาคำตอบจากคำถามที่ว่า ควรผลิตอะไรต่อไปและขีดความสามารถที่จะทำการผลิตได้หรือไม่ การวางแผนการผลิตจะต้องมาก่อนการวางแผนกำลังการผลิต ซึ่งก็คือการวางแผนลำดับความสำคัญของการทำงานและตามด้วยการวางแผนกำลังการผลิต หลังจากนั้นเป็นการควบคุมกิจกรรมการผลิตชิ้นส่วน และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เสร็จตามเป้าหมายและเวลาที่วางไว้ตามแผน [5]

รูปแบบโปรแกรมเชิงเส้นมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นที่พิจารณาอยู่นั้น เป็นปัญหาในลักษณะที่ต้องการหาค่าต่ำสุดหรือสูงสุด (Maximize, Minimize) โปรแกรมเชิงเส้นโดยทั่วไป แบ่งออกเป็น 3 ส่วน 1) ฟังก์ชั่นเป้าหมายหรือ จุดประสงค์ 2) สมการแสดงเงื่อนไข (Constrains) ซึ่งแสดงถึงปัจจัยหรือทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด 3) สมการข้อจำกัดตัวแปรตัดสินใจที่จะต้องเป็นค่าที่ไม่ติดลบ แต่ทั้งนี้ตัวแปรที่กำหนดจะต้องเป็นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming) ดังแสดงต่อไปนี้

Objective Function

$$c^T x = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

ที่สอดคล้องกับ Constraints

$$\left.\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\le b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\le b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\le b_n \\ x_i \ge 0,\ i = 1, 2, \dots, n & \end{aligned}\right\} (Ax \le b)$$

จะได้แบบฟอร์มทั่วไปของปัญหาในการหาค่าสูงสุด คือ

Maximize $c^T x$

Subject to: $Ax \le b$

$x_i \ge 0$

การวางแผนการผลิตด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการวางแผนการผลิตในหลายๆ อุตสาหกรรม ธีรวัฒย์ คำพรมมี และคณะ [6] ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต โดยสามารถลดการใช้งานเครื่องจักรโดยไม่จำเป็นได้ถึงร้อยละ 29 และสามารถลดเวลาปิดงานรวมจากตารางการผลิตแบบเดิมได้ร้อยละ 36.48 นมิดา ศรีผล [7] ได้พัฒนาเครื่องมือเพื่อช่วย ในการจัดลำดับงานโดยใช้หลักการการจัดตามกำหนดการส่งมอบ (EDD) และใช้หลักการดำเนินการมากเข้าดำเนินการก่อน (LPT) จัดลำดับงานของทั้งเครื่องจักรเดียวและเครื่องจักรแบบขนาน โดยสามารถลดการเกิดความล่าช้าลงได้ร้อยละ 22 และเวลาการผลิตรวมลดลง 8.79 วัน สามารถลดระยะเวลาล่าช้าสูงสุดได้ 3 วัน และอรรถประโยชน์ของการใช้เครื่องจักรเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 11.5

Fattahi, Jolai and Arkat [8] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดตารางงานด้วยวิธีการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed-integer linear programming: MILP) ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพสำหรับปัญหาการจัดตารางงานที่มีความยืดหยุ่นซึ่งมีการทำงานซ้ำซ้อนกันในเวลาอันสั้น Meng, Zhang, Ren, Zhang, and Lv [9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาการจัดตารางงานแบบยืดหยุ่นด้วยการใช้เวลาเสร็จสิ้นสูงสุดให้น้อยที่สุดด้วยการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (MILP) 4 รูปแบบ เพื่อทำการเปรียบเทียบ จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการเขียนโปรแกรมข้อจำกัด (CP) มีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึม อื่น ๆ ที่มีอยู่ทั้งหมด

เครื่องมือที่ช่วยในการคำนวณ ประเภท Linear Programming การคิดแก้ปัญหาการคำนวณใน Excel ถ้าปัญหาหนึ่งๆมีคำตอบเพียงคำตอบเดียว Excel มีสูตรที่สามารถนำมาใช้คำนวณหาคำตอบที่ต้องการนั้นได้ ซึ่งจะไม่สามารถใช้สูตรสำเร็จรูปที่Excel เตรียมไว้ให้ใช้ได้โดยตรง ก็สามารถนำสูตรมาซ้อนต่อกัน หรือใช้หลายสูตรมาคำนวณร่วมกันเพื่อแก้ปัญหานั้น แต่ถ้าปัญหาหนึ่งๆอาจจะมีหลายคำตอบก็จำเป็นต้องใช้สูตรคำนวณของ Excel นำมาใช้ร่วมกับคำสั่ง Solver โดยต้องสร้างสูตรคำนวณที่เกี่ยวข้องจากนั้นจึงใช้ Solver คำนวณหาผลลัพธ์ ทั้งนี้ในตัวคำสั่ง Solver เองจะไม่สามารถรับสูตรคำนวณได้ ดังนั้นจึงต้องสร้างสูตรไว้ในเซลล์ต่างๆเพื่อ Solver จะทำหน้าที่ค้นหาตัวเลขคำตอบที่เป็นไปได้แล้วนำผลลัพธ์ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบระหว่างเซลล์สูตรคำนวณที่เกี่ยวข้องว่าได้คำตอบตามขอบเขตเงื่อนไขที่กำหนดทั้งหมดแล้วหรือไม่ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีงานวิจัยด้านการวางแผนการผลิตโดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กโดยมีงานวิจัยการวางแผนการผลิตรวมในรูปแบบการผลิตทั่วไป สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้ Solver ในการหาค่าที่เหมาะสม [10,11,12]

3. การดำเนินงานวิจัย

วิธีการวิจัยจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดลักษณะของปัญหาให้ชัดเจน ก่อนที่จะเก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องการใช้ในการคำนวณหาคำตอบ เมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนแล้ว ผู้วิจัยก็จะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตในกระบวนการตัดเหล็ก จากนั้นหาคำตอบที่เหมาะสม โดยรายละเอียดของวิธีการวิจัยมีดังนี้

3.1 การกำหนดลักษณะของปัญหางานวิจัย

การวางแผนการตัดเหล็กในแต่ละรอบคำสั่งซื้อในปัจจุบัน ดูแค่จำนวนน้ำหนักรวมของเหล็กในหน่วยตันของลูกค้าแต่ละรายที่ทำการสั่งซื้อ มาทำการวางแผนการตัดเท่านั้น ทำให้ในบางครั้งเกิดปัญหาไม่สามารถทำการตัดเหล็กได้ตามแผนที่วางไว้ ดังนั้นทางบริษัทเลยอยากได้เงื่อนไขที่จะนำเข้ามาพิจารณาเพิ่มเติมในการวางแผน เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในปัจจุบันยังมีความครอบคลุมไม่เพียงพอ ซึ่งค่าที่จะนำมาพิจารณาเพิ่มเติม ได้แก่ ค่า Productivity, เวลาที่ใช้ในการตัดเหล็กของลูกค้าแต่ละรายในหน่วยชั่วโมง และค่า Capacity ของโรงตัดว่าใน 1 วัน สามารถตัดได้กี่ตันต่อวัน และต้องการนำเงื่อนไขการจ่ายเงิน (Payment Conditions) ของลูกค้าแต่ละรายมาทำการพิจารณาในการวางแผนการผลิต

โดยบริษัทต้องการได้เงินคืนจากลูกค้าเร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เพราะทางบริษัทต้องเอากำไรที่ได้ไปสั่งซื้อ Slab (เหล็กแท่งแบน: เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อน) เพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับการรีดในรอบต่อ ๆ ไป

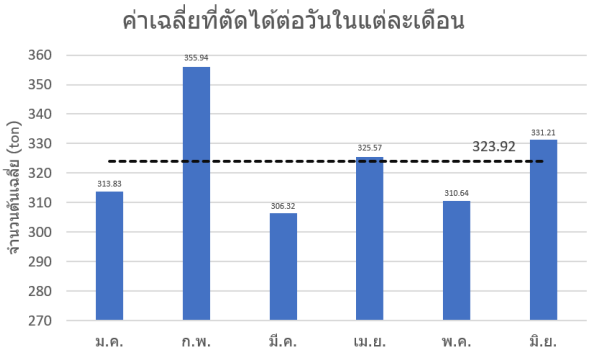
1. ใช้ข้อมูลรายละเอียดคำสั่งซื้อของลูกค้าในเดือนตุลาคม 2567
2. ใช้ Solver ใน Microsoft Excel สำหรับการวางแผนการผลิต
3. ตรวจสอบสมมติฐานโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามด้วย Multiple Linear Regression

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนตันของเหล็กที่ตัดได้ในแต่ละวันย้อนหลัง 6 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน เพื่อนำมาหาค่า Capacity ที่บริษัทสามารถตัดเหล็กได้ใน 1 วัน ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการพิจารณาจำนวนลูกค้าสำหรับการรับการผลิตในกระบวนการตัดเหล็ก ซึ่งค่าเฉลี่ยของจำนวนตัดเหล็กที่บริษัทกรณีศึกษาตัดได้ต่อวันอยู่ที่ 323.92 ตัน ต่อ วัน

$$\text{Productivity} = \frac{\text{น้ำหนักของเหล็ก (ตัน)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการตัดเหล็ก (ชั่วโมง)}} \quad (2)$$

การคำนวณหาเวลาในกระบวนการตัดเหล็ก เนื่องจากในปัจจุบันทางบริษัทไม่ได้มีแนวคิดหรือวิธีการคำนวณหาเวลาที่แน่นอน ดังนั้นผู้วิจัยจะพิจารณาระยะเวลาในกระบวนการตัดเหล็กโดยการคำนวณหาค่าผลิตภาพในการผลิต (Productivity) ที่วัดเป็นตันต่อชั่วโมงทำงานได้จากสมการที่ (2) และประเมินประเมินเวลาในกระบวนการตัดเหล็ก ต่อความยาวและความหนาของแผ่นเหล็กด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ Multiple Linear Regression มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (Independent Variable) และตัวแปรตาม (Dependent Variable) เพื่อให้ได้สมการมาคำนวณหาเวลา



รูปที่ 1 จำนวนตันเฉลี่ยต่อวันของเหล็กที่ตัดได้แต่ละเดือน ตั้งแต่ ม.ค.-มิ.ย. 2567

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้มีการตั้งสมมติฐานเพื่อให้ได้สมการมาคำนวณหาเวลา *"เวลาที่ใช้ในการตัดเหล็กไม่ควรพิจารณาที่ความยาวของเหล็กเพียงอย่างเดียว แต่ต้องพิจารณาความหนาของเหล็กแผ่นด้วย"* โดยกำหนดให้ตัวแปรต้น/อิสระ คือ ความยาวของเหล็ก (Length) และความหนาของแผ่นเหล็ก (Thickness) ส่วนตัวแปรตาม คือ เวลาที่ใช้ในการตัดในหน่วยนาที (Time) ข้อมูลที่นำมาทดสอบมีทั้งหมด 16 ตัว เป็นข้อมูลที่ได้ทำการจับเวลาจริงของเหล็กแต่ละขนาดและความยาว มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

ซึ่งความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการตัดเหล็กจากสมการ Linear Regression จะถูกนำไปคำนวนค่าผลิตภาพ (Productivity) ในการตัดเหล็ก (ตันต่อชั่วโมงทำงาน) เพื่อนำไปใช้เป็นพารามิเตอร์กำลังการผลิตของลูกค้า (P_i) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป

ตารางที่ 1 ข้อมูลการจับเวลาจริงของเหล็กแต่ละขนาด

Thickness (mm)	Length (mm)	Time (min)	Thickness (mm)	Length (mm)	Time (min)
8	5400	8	19	5600	13
9	7315	13	20	7600	21
10	2438	3	22	4900	13
12	3658	6	23	6096	20
13	6096	14	25	5685	19
15	12192	28	28	7750	24
16	6945	15	30	12192	47
18	6189	15	32	5114	20

3.3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution)

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตด้วยแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Programming: MILP) เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) สำหรับเวลาที่ใช้ในการตัดเหล็กในแต่ละวัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้กำไรสูงที่สุด (Maximize Profit) รายละเอียดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหามีดังต่อไปนี้

ดัชนี (Indices)

i คือ รายชื่อลูกค้า โดยที่ i = {1,2,3,…,N}

j คือ วันที่พร้อมผลิต โดยที่ j = {1,2,3,…,M}

พารามิเตอร์ (Parameter)

P_i คือ กำลังการผลิตของลูกค้า i (ตัน/ชั่วโมง)

R_i คือ กำไรจากการผลิต (บาท/ตัน) ของลูกค้า i

D_i คือ ความต้องการผลิตของลูกค้า i

H คือ จำนวนชั่วโมงที่ทำงานใน 1 วัน (20 ชั่วโมง ต่อ วัน)

T_{ij} คือ จำนวนชั่วโมงที่ทำการผลิต ของลูกค้า i ในวันที่ j

ED_i คือ เซตของวันที่สามารถผลิตได้ก่อนสิ้นสุดการส่งมอบงานให้ลูกค้า i

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

โดย X_{ij} = 1 คือ สามาถทำการผลิตให้กับลูกค้า i ในวันที่ j

X_{ij} = 0 คือ ไม่สามารถทำการผลิตให้กับลูกค้า i ในวันที่ j

Objective Function

$$\textbf{Maximize Profit} = \sum_{i=1}^{N} R_i P_i T_{ij} \quad (3)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{j \in ED_i} T_{ij} X_{ij} \leq H \qquad \forall i \in \{1,2,3,\ldots,N\} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{N} P_i T_{ij} = D_i \qquad \forall i \in \{1,2,3,\ldots,N\} \quad (5)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in \{1,2,3,\ldots,N\}, \ \forall j \in \{1,2,3,\ldots,M\} \quad (6)$$

สมการที่ (3) เป็นสมการเป้าหมายกำไรสูงสุด ซึ่งเป็นผลรวมของราคากำไร (บาท/ตัน) ของลูกค้าแต่ละรายและจำนวนตันของเหล็ก สมการที่ (4) เป็นสมการเงื่อนไขบังคับว่าจำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการผลิตให้กับลูกค้า i ในวันที่ j ห้ามเกินจำนวนชั่วโมงที่ทำงานใน 1 วัน (20 ชั่วโมงต่อวัน) โดยกำหนดให้ลูกค้าแต่ละราย ที่มีวันกำหนดส่งมอบ (Deadline) ต้องเสร็จภายในเซตของวัน ED_i และต้องหยุดผลิตให้ลูกค้า i หลังเซตของวันที่ ED_i สมการที่ (5) ผลรวมจำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการผลิตให้กับลูกค้า i ในวันที่ j และกำลังการผลิตของลูกค้า i (ตัน/ชั่วโมง) ต้องเท่ากับความต้องการของลูกค้า i ในการผลิตทั้งหมด และสมการที่ (6) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจ X_{ij} เป็นตัวแปรที่สามารถเป็นได้สองค่า 0 หรือ 1 (Binary variable) เพื่อกำหนดวันที่สามารถทำการผลิตได้

4. ผลลัพธ์การดำเนินงานวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยประกอบไปด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกการประเมินเวลาในกระบวนการตัดเหล็ก โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของแผ่นเหล็กและความหนาของแผ่นเหล็ก ด้วยวิธีการสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) และผลการทดลองการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงในลักษณะตารางผลของกระบวนการตัดเหล็ก

4.1 ผลการประเมินเวลาในกระบวนการตัดเหล็ก ต่อความยาวและความหนาของแผ่นเหล็ก

ทำการทดสอบสมมติฐาน ด้วยถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ กำหนดให้ระดับทดสอบหรือระดับนัยสำคัญ คือ 5% หรือ α = 0.05

H_0: ความยาวของเหล็กและความหนาของแผ่นเหล็ก ไม่มีผลต่อเวลาในการตัด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

H_1: ความยาวของเหล็กและความหนาของแผ่นเหล็ก มีผลต่อเวลาในการตัด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

หาก P-value < α : ปฏิเสธสมมติฐาน H0 (ความยาวของเหล็กและความหนาของแผ่นเหล็ก มีผลต่อเวลาในการตัด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) หาก P-value ≥ α : ยอมรับสมมติฐาน H0 (ความยาวของเหล็กและความหนาของแผ่นเหล็ก ไม่มีผลต่อเวลาในการตัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

ตัวแปร	Coefficient	P-value	ผลการทดสอบ
Intercept	-13.3370	3.3914E-05	P-value < 0.05
Thickness (mm)	0.6238	1.2725E-05	P-value < 0.05
Length (mm)	0.0024	6.5452E-08	P-value < 0.05

จะเห็นได้ว่าค่า P-value ของตัวแปรทั้ง 3 ตัวมีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 คือ ความยาวของเหล็กและความหนาของแผ่นเหล็ก มีผลต่อเวลาในการตัด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากตารางที่ 2 มีค่า R_2 เท่ากับ 94.6% แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่าตัวแปรอิสระทั้งสอง (ความยาวของเหล็ก และความหนาของแผ่น) มีความสามารถในการทำนายตัว

แปรตาม (เวลาที่ใช้ในการตัดเหล็ก) ทำให้ได้สมการในการหาเวลาตามรูปแบบของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ออกมา คือ

Time = -13.337 + (0.624 x Thickness) + (0.002 x Length)

นอกจากนี้รวบรวมข้อมูลวันที่ต้องส่งมอบ (Deadline) และเงื่อนไขการจ่ายเงินจากฝ่ายการตลาดว่ามีลักษณะการจ่ายเงินของลูกค้าหลักๆ อยู่ 3 แบบ แต่ละประเภทมีระยะเวลาในการรอรับเงินหลังจากส่งสินค้าไปแล้ว ดังนี้ CASH ได้รับเงินทันที (0 วัน), BILL ได้รับเงินภายใน 7 วันหลังส่งสินค้า และ DLC ได้รับเงินภายใน 14 วันหลังส่งสินค้า เมื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องหมดแล้ว จะนำข้อมูลคำสั่งซื้อเดือนตุลาคม 2567 มาคำนวณหาเวลาดังรูปที่ 2

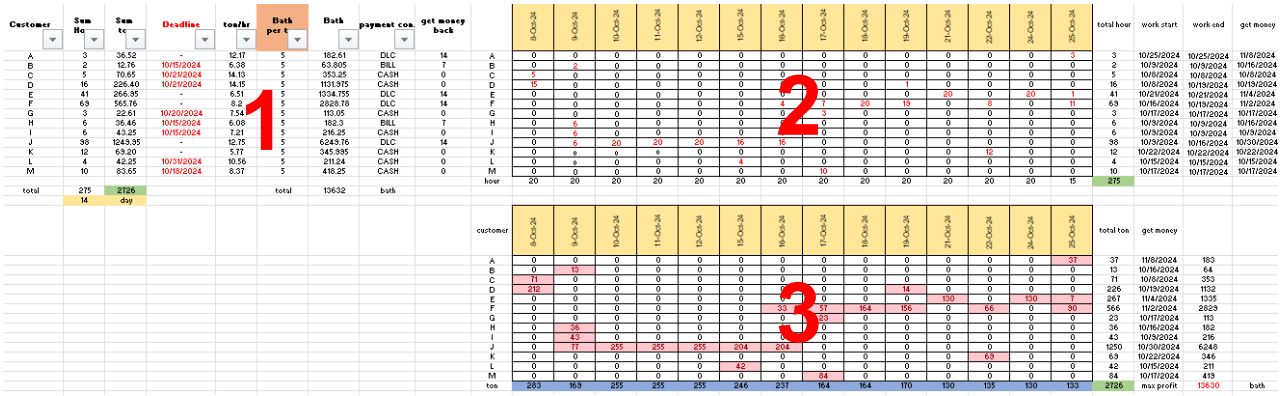
Customer	pcs	Thk. (mm)	Width (mm)	Length (mm)	Ton	min	min x pcs	hour
A	20	12	2400	5600	25.32	5.34	106	1.77
A	6	16	2438	6096	11.202	8.82	52	0.87
K	8	16	2000	3000	6.032	2.63	21	0.35
K	6	19	2000	3000	5.37	4.5	27	0.45
K	5	28	2000	3000	6.595	10.1	50	0.83
K	4	32	2000	3000	6.028	12.6	50	0.83
K	4	35	2000	3000	6.596	14.47	57	0.95
K	3	38	2000	3000	5.37	16.33	48	0.8
G	10	16	2000	9000	22.61	14.63	146	2.43
J	212	20.5	3048	12020	1249.952	23.47	4975	82.92
I	50	12	1530	6000	43.25	6.14	307	5.12
E	16	10	1524	6096	11.664	5.08	81	1.35
E	14	12	1524	6096	12.25	6.33	88	1.47
E	15	12.7	1524	6096	13.89	6.76	101	1.68
E	12	15	1524	6096	13.128	8	96	1.6
E	12	16	1524	6096	14.004	8	96	1.6
E	6	25	1524	6096	10.938	14	84	1.4
E	10	28	1524	6096	20.42	16	160	2.67
E	5	30	1524	6096	10.94	17	85	1.42

รูปที่ 2 คำสั่งซื้อของลูกค้าที่มีการหาเวลา

จากการวิจัยได้มีการนำเทคนิคทางสถิติ Multiple Linear Regression มาประยุกต์ใช้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความหนาของเหล็ก (Thickness) และ ความยาวของเหล็ก (Length) กับตัวแปรตาม คือ เวลาที่ใช้ในการตัดเหล็ก (Time) ผลการวิเคราะห์พบว่าสมการเชิงเส้นพหุคูณที่ได้มีลักษณะ

ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเวลาที่ใช้ในการตัดเหล็ก โดยมีค่า P-Value ของทั้งตัวแปรความหนาและความยาวน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งสองตัวแปรส่งผลกระทบโดยตรงต่อเวลาในการตัดเหล็ก เมื่อนำสมการที่ได้ไปคำนวณเวลาที่ใช้การตัดเหล็ก และนำผลลัพธ์มาประมวลผลร่วมกับ Excel Solver เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตโดยมีวัตถุประสงค์หลักในการ หากำไรรวมสูงสุด ภายใต้ข้อจำกัดที่บริษัทต้องการ

การสร้างเทมเพลตเพื่อการหาคำตอบมีทั้งหมด 3 ส่วน (รูปที่ 3) ในการเตรียมความพร้อมของข้อมูลสำหรับใช้คำตอบที่เหมาะสมด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้แสดงข้างต้น โดยส่วนที่ 1 ที่แสดงรายละเอียดชื่อลูกค้า, เวลาที่ใช้ในการตัดเหล็กของลูกค้าแต่ละราย (ชั่วโมง), น้ำหนักของเหล็ก (ตัน), วันสุดท้ายที่ผลิตเพื่อส่งมอบ (Deadline), ค่ากำลังการผลิตของลูกค้า ตันต่อชั่วโมง (Productivity: P_i), กำไรจากการผลิต (บาท/ตัน) (R_i), เงื่อนไขการจ่ายเงิน (Payment Condition) และระยะเวลาที่จะได้รับเงินจากลูกค้าหลังส่งสินค้าไปแล้วตามเงื่อนไขการจ่ายเงิน จะทำการรวมคำสั่งซื้อในส่วนเวลา(hour) จำนวนตัน(ton) ของลูกค้าแต่ละราย



รูปที่ 3 องค์ประกอบสำหรับการหาคำตอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย 3 ส่วน: ส่วนที่ 1 การกรอกข้อมูลเงื่อนไขต่างๆในการวางแผนการผลิต ส่วนที่ 2 แสดงผลลัพธ์การวางแผนการผลิตและจำนวนชั่วโมงที่ทำการผลิตของลูกค้าแต่ละรายและช่วงที่เวลาที่วางแผน ส่วนที่ 3 จำนวนตันที่ผลิตได้ของลูกค้าแต่ละรายและกำไรที่ได้จากการตัดเหล็ก ด้วยการหาคำตอบผ่าน Excel Solver

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้กรอกลงในส่วนที่ 1 (ดังแสดงในรูปที่ 4) ถัดมาส่วนที่ 2 ส่วนการวางแผนการผลิตตามรายการลูกค้าและวันที่สามารถทำการผลิตได้ (X_{ij}) และจำนวนชั่วโมงการทำงาน (T_{ij}) โดยจะต้องไม่เกิดไปกว่าวันสุดท้ายที่ผลิตเพื่อส่งมอบ รวมถึงมีการแสดงวันที่เริ่มตัดวันที่ตัดจบ และวันที่จะได้รับเงินจากลูกค้าแต่ละราย และส่วนที่ 3 แสดงจำนวนตันการผลิตที่ผลิตได้ของลูกค้าแต่ละรายและแต่ละช่วงเวลาการผลิต นอกจากนี้ยังแสดงรายได้ทั้งหมดจากการผลิตเมื่อพิจารณา

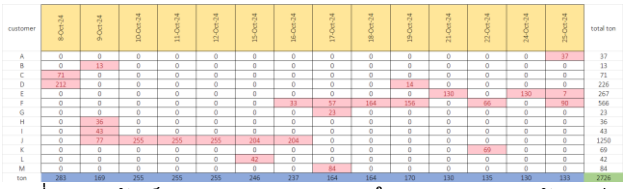
ร่วมกับกำไรจากการผลิต (R_i) เพื่อหากำไรสุทธิสูงสุดจากการวางแผนการผลิต ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

capacity per day	320	ton/day	ใน1วันทำงาน	20	hr			
กำลังผลิตต่อชั่วโมง	16	ton/hr						
Profit	5	bath/ton						
Customer	Sum Hour	Sum ton	Deadline	ton/hr	Bath per ton	Bath	payment con.	get money back
A	3	36.52	-	12.17	5	182.61	DLC	14
B	2	12.76	10/15/2024	6.38	5	63.805	BILL	7
C	5	70.65	10/21/2024	14.13	5	353.25	CASH	0
D	16	226.40	10/21/2024	14.15	5	1131.975	CASH	0
E	41	266.95	-	6.51	5	1334.755	DLC	14
F	69	565.76	-	8.2	5	2828.78	DLC	14
G	3	22.61	10/20/2024	7.54	5	113.05	CASH	0
H	6	36.46	10/15/2024	6.08	5	182.3	BILL	7
I	6	43.25	10/15/2024	7.21	5	216.25	CASH	0
J	98	1249.95	-	12.75	5	6249.76	DLC	14
K	12	69.20	-	5.77	5	345.995	CASH	0
L	4	42.25	10/31/2024	10.56	5	211.24	CASH	0
M	10	83.65	10/18/2024	8.37	5	418.25	CASH	0
total	275	2726			total	13632	bath	
	14	day						

รูปที่ 4 ข้อมูลเงื่อนไขต่างๆในการวางแผนการผลิต สำหรับกระบวนการตัดเหล็ก

4.2 ผลลัพธ์การวางแผนการผลิตที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการตัดเหล็ก

จากการแก้ปัญหาด้วยการประเมินเวลาในกระบวนการตัดเหล็ก ต่อความยาวและความหนาของแผ่นเหล็กและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตในกระบวนการตัดเหล็กที่เหมาะสม โดยผลลัพธ์ของคำตอบจาก Excel Solver หลักจากกำหนดเงื่อนไขต่างๆในการวางแผนการผลิต แสดงดังรูปที่ 5 โดยมีการระบุทั้งวันที่ทำการผลิต จำนวนชั่วโมงที่ทำการผลิตแต่ละวัน จำนวนการผลิตของลูกค้าแต่ละรายและแต่ละช่วงวันของการผลิต



รูปที่ 5 ผลลัพธ์การวางแผนการผลิตในกระบวนการตัดเหล็ก ประกอบด้วย จำนวนการตัดเหล็ก และกำไรที่ได้จากการตัดเหล็ก

พบว่าผลลัพธ์การประเมินเวลาในกระบวนการตัดเหล็ก ต่อความยาวและความหนาของแผ่นเหล็กและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตในกระบวนการตัดเหล็ก ทำให้สามารถผลิตได้ 2730 ตัน ในระยะเวลา 14 วัน (เฉลี่ย 195 ตัน/วัน) คิดเป็นกำไรรวมสูงสุดเท่ากับ 13,602 บาท, การวางแผนการผลิตจากแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถทำให้การผลิตต่อวันที่ได้ไม่เกินขีดความสามารถของบริษัท (Capacity) ที่ทำการตัดเหล็กได้ประมาณ 323 ตัน/วัน หรือ 4522 ตันในระยะเวลา 14 วัน หมายความว่าบริษัทสามารถรับงานตัดเหล็กเพิ่มเติมอีก 1792 ตัน คิดเป็นการผลิตที่เพิ่มขึ้น 65.88% ของการวางแผนการผลิตแบบเดิม ซึ่งจากผลลัพธ์สามารถนำมากำหนดแผนการผลิตในกระบวนการตัดเหล็ก วันที่เริ่มผลิต, วันที่ผลิตเสร็จ และวันที่จะได้รับเงินคืนจากลูกค้าจะเป็นไป ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แผนการผลิตในกระบวนการตัดเหล็ก และวันที่จะได้รับเงินคืนจากลูกค้าตามเงื่อนไขการจ่ายเงิน

ลูกค้า	เงื่อนไขการจ่ายเงิน	ระยะเวลารอรับเงินหลังจากส่งสินค้า (วัน)	วันที่เริ่มผลิต	วันสุดท้ายที่ผลิต	วันที่ได้รับเงิน
A	DLC	14	25/10/2024	25/10/2024	08/11/2024
B	BILL	7	09/10/2024	09/10/2024	16/10/2024
C	CASH	0	08/10/2024	08/10/2024	08/10/2024
D	CASH	0	08/10/2024	19/10/2024	19/10/2024
E	DLC	14	21/10/2024	21/10/2024	04/11/2024
F	DLC	14	16/10/2024	19/10/2024	02/11/2024
G	CASH	0	17/10/2024	17/10/2024	17/10/2024
H	BILL	7	09/10/2024	09/10/2024	16/10/2024
I	CASH	0	09/10/2024	09/10/2024	09/10/2024
J	DLC	14	09/10/2024	16/10/2024	30/10/2024
K	CASH	0	22/10/2024	22/10/2024	22/10/2024
L	CASH	0	15/10/2024	15/10/2024	15/10/2024

และวันที่เริ่มผลิต, วันสุดท้ายที่ผลิต และวันที่ได้รับเงินคืนจากลูกค้า (โดยพิจารณาจากวันสุดท้ายที่ผลิตรวมกับระยะเวลารอรับเงินหลังจากส่งสินค้าตามประเภทของของเงื่อนไขการจ่ายเงิน DLC ระยะเวลา 14 วัน, BILL ระยะเวลา 7 วัน และ CASH ระยะเวลา 0 วัน) ถูกวางแผนไว้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับเงื่อนไขการจ่ายเงินที่ลูกค้าและสอดคล้องกับวันกำหนดส่งมอบสินค้า (Deadline) แม้ว่าในงานวิจัยนี้จะสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) ออกมาได้ แต่ยังมีข้อจำกัดหลายๆ อย่างที่ยังไม่ได้นำมาพิจารณาในการวางแผน เช่น

ความชำนาญของพนักงาน, การบำรุงรักษาเครื่องจักร และความผิดพลาดในการทำงาน สิ่งเหล่านี้อาจส่งผลให้เวลาจริงแตกต่างจากเวลาที่คำนวณได้ นอกจากนี้การใช้โปรแกรม Excel Solver ช่วยแก้ปัญหาได้ดีในขนาดข้อมูลที่มีจำนวนตัวแปรน้อยและไม่ซับซ้อนมาก แต่หากมีจำนวนคำสั่งซื้อเพิ่มขึ้นหรือเงื่อนไขซับซ้อนขึ้น ควรพัฒนาเครื่องมือหรือซอฟต์แวร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า

5. สรุป

เนื่องจากต้องการแก้ไขปัญหาการวางแผนสำหรับกระบวนการตัดเหล็กด้วยแก๊สที่ไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ทำให้บางครั้งเกิดความล่าช้าในการส่งมอบให้กับลูกค้า ดังนั้นผู้วิจัยได้นำเสนอการประยุกต์วิธีการทางสถิติด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เพื่อการประเมินเวลาในกระบวนการตัดเหล็กต่อความยาวและความหนาของแผ่นเหล็ก พบว่า ความยาวและความหนาของแผ่นเหล็กมีผลต่อระยะเวลาในกระบวนการตัดเหล็ก ผู้วิจัยได้นำสมการที่ได้ใช้สำหรับประเมินเวลาการตัดตามความต้องการของลูกค้า และนำไปกำหนดเวลาในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิต โดยได้กำหนดสมการเป้าหมายเป็นการได้กำไรสูงสุด และใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบของแบบจำลองด้วย Excel Solver ทำให้สามารถคำนวณคำตอบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อคำนวณหาเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการตัดเหล็กในแต่ละวัน ผลการดำเนินงานพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนกระบวนการตักเหล็กสามารถเพิ่มกำไรสูงสุดหลังจากส่งมอบงานให้ลูกได้ เพิ่มขึ้น 65.88 เปอร์เซ็นต์จากการวางแผนการผลิตเดิม และสามารถนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิตจริงของบริษัทได้

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยภายใต้การปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท แอล พี เอ็น เพลทมิล จำกัด (มหาชน) ทั้งนี้คณะผู้ดำเนินการขอขอบบุคลากรของบริษัท และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้อนุเคราะห์ให้ความช่วยเหลือ ทั้งมีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลเป็นที่ปรึกษาในการทำโครงการนี้จนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] Grešová, E., & Svetlík, J. (2020). Economic impact of industrial segment in the selected country. Management Systems in Production Engineering.

[2] Thipsena, R., Songkroh, E., Muparang, S., Nutkhum, W., Kanchanakarn, P., & Joommanee, B. (2567). การวางแผนการผลิตด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษาท่อเหล็กที่เป็นส่วนประกอบช่วงล่างของรถยนต์. Frontiers in Engineering Innovation Research, 22(1), 115-123.

[3] ศศิธร คงอุดมทรัพย์, พงศิษฎ์ ทวิชพงศ์ธร, (2564), “ความแม่นยำของการใช้แบบจำลองการถดถอยพหุคูณในการวิเคราะห์ฐานข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบมีเงื่อนไขเพื่อการคาดการณ์ผลการเรียนของนักเรียนนายเรือ.” วารสารวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1, หน้า 79

[4] Chiang Mai University Library, 2555, “บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง”, Online document https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2555/inma30555pn_ch2.pdf

[5] พิภพ ลลิตาภรณ์, 2556, การวางแผนและควบคุมการผลิต, กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

[6] ธีรวัฒย์ คำพรมมี, สุทธิพงษ์ ครุฑพาหะ, ณัฐพร ตั้งเจริญชัย, สุกฤษฎิ์ เพชรสวัสดิ์ และ ธัชชัย เทพกรณ์. (2562). การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ กรณีศึกษาสถานประกอบการผลิตชิ้นส่วนรถบรรทุกในจังหวัดพิษณุโลก. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 1(3 (2019)), 47-66.

[7] นมิดา ศรีผล, บุษบาพฤกษา พันธุ์รัตน์. (2560). การจัดตารางการผลิตเพื่อปรับปรุงปริมาณงานล่าช้า: กรณีศึกษา (No. 126642). มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์.

[8] Fattahi, P., Jolai, F., & Arkat, J. (2009). Flexible job shop scheduling with overlapping in operations. *Applied Mathematical Modelling*, *33*(7), 3076-3087.

[9] Meng, L., Zhang, C., Ren, Y., Zhang, B., & Lv, C. (2020). Mixed-integer linear programming and constraint programming formulations for solving distributed flexible job shop scheduling problem. *Computers & industrial engineering*, *142*, 106347.

[10] Bülbül, K., & Kaminsky, P. (2013). A linear programming-based method for job shop scheduling. *Journal of Scheduling*, *16*, 161-183.

[11] Techawiboonwong, A., & Yenradee, P. (2002). Aggregate production planning using spreadsheet solver: model and case study. Science Asia, 28(3), 291-300.

[12] Microsoft Support, “การกำหนดและแก้ไขปัญหาโดยใช้ Solver”, Online document https://support.microsoft.com/th-th/office/การกำหนดและแก้ไขปัญหาโดยใช้-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040

การศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่กรณีศึกษา

Feasibility Study of Establishing an Unmanned Aerial Vehicle Training Center in Case Study Area

เพชราภรณ์ คุ้มเจริญวงษ์[1] ธนวัฒน์ ธรรมสนธิเจริญ[1] รมิดายุ อยู่สุข[2*]
[1]นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: ramidayu.y@ku.th*

Petcharaphon Kumcharoenwong[1], Thanawat Thammasonthijarean[1], Ramidayu Yousuk[2*]
[1]Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: ramidayu.y@ku.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่กรณีศึกษา โดยครอบคลุม 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านการบริหารจัดการ และด้านการเงิน รวมถึงการประเมินความเสี่ยงของโครงการ โดยประมาณเงินลงทุนทั้งหมดในส่วนของเจ้าของจำนวน 6,600,000 บาท ทั้งนี้ในด้านการตลาดพบว่าอุปสงค์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่ดังกล่าวยังสามารถแข่งขันได้อย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมนี้ โดยโครงการนี้มีการวางแผนรายละเอียดในด้านเทคนิคและการบริหารจัดการอย่างเหมาะสม สำหรับด้านการเงินพบว่าโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 7,350,497 บาท และระยะเวลาคืนทุน 6 ปี 10 เดือน ซึ่งน้อยกว่าอายุโครงการ และอัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุนคือร้อยละ 14.27 ซึ่งมากกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่น่าพึงพอใจ แสดงให้เห็นว่า การจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่กรณีศึกษาเป็นโครงการที่มีความเป็นไปได้ และมีความน่าสนใจในการลงทุน

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ ศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับ การศึกษาความเป็นไปได้

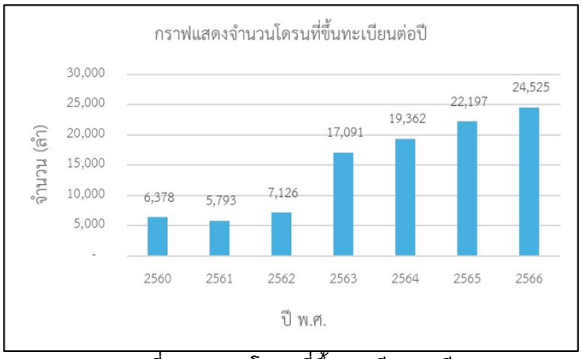
Abstract

This study aims to assess the feasibility of establishing an unmanned aerial vehicle (UAV) training center in case study area, covering four key aspects: market analysis, technical feasibility, management, and financial evaluation, along with project risk assessment. The total estimated investment from the owner amounts to 6,600,000 THB. The market analysis indicates a continuous increase in demand, and the UAV training center in the area is expected to maintain a competitive position in the industry. The project has been meticulously planned in terms of technical and managerial aspects. Financial analysis reveals a net present value (NPV) of 7,350,497 THB, a payback period of 6 years and 10 months shorter than the project's lifespan and an internal rate of return (IRR) of 14.27%, exceeding the minimum acceptable return. These findings demonstrate that the establishment of the UAV training center in case study area is a viable and attractive investment opportunity.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, UAV Training Center, Feasibility Study

1. บทนำ

ประเทศไทยมีการใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) หรือโดรนมาอย่างยาวนาน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเห็นได้จากจำนวนโดรนที่ขึ้นทะเบียนต่อปี [1] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 จำนวนโดรนที่ขึ้นทะเบียนต่อปี

ประเทศไทยมีการใช้งานโดรนที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 25 กิโลกรัม เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงได้มีการประกาศกระทรวงคมนาคม เพื่อใช้ในการควบคุมการใช้งานโดรนที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 25 กิโลกรัม โดยมีเนื้อหาสำคัญ คือ การปล่อยอากาศยานไร้คนขับจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับการปฏิบัติการบิน และต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อความปลอดภัยของชีวิต และทรัพย์สิน แต่สำหรับโดรนที่มีน้ำหนักมากกว่า 25 กิโลกรัม จะต้องมีการดำเนินการเพิ่มเติมซึ่งมีความซับซ้อนและใช้เวลานาน

ปัจจุบัน มีการพัฒนา และนำโดรนที่มีน้ำหนักมากกว่า 25 กิโลกรัม มาใช้ทำการบินเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ จำนวนมาก ซึ่งมีความเสี่ยงมากกว่าการใช้งานโดรนที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 25 กิโลกรัม ซึ่งกฎหมายเดิมไม่ครอบคลุมมากนัก จึงได้มีประกาศกระทรวงคมนาคมฉบับล่าสุด ซึ่งทำให้ศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับมีบทบาทมากขึ้นในอุตสาหกรรมโดรนของประเทศไทย โดยเป็นส่วนสำคัญในการช่วยให้ผู้ใช้งานโดรนทั้งสองประเภทมีความรู้ และความเข้าใจเกี่ยวกับการปล่อยอากาศยานไร้คนขับอย่างถูกต้อง และครบถ้วน ส่งผลให้การใช้งานโดรนในประเทศไทยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

พื้นที่กรณีศึกษา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor, EEC) จึงมีความสนใจในการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมฯ ในพื้นที่ดังกล่าว เนื่องจากมีความเหมาะสมในด้านสภาพแวดล้อม และโครงสร้างพื้นฐานในการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรม เช่น การมีสนามบินส่วนตัว มีสิ่งอำนวยความสะดวกภายในพื้นที่ เป็นต้น อีกทั้งเป็นพื้นที่ที่ได้รับความร่วมมือจากสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (กพท.) และคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) จึงสามารถจัดตั้งหลักสูตรได้ตั้งแต่หลักสูตรขั้นพื้นฐาน คือ การใช้งานโดรนเพื่อความบันเทิง ไปจนถึงหลักสูตรขั้นสูง คือ การใช้งานโดรนเพื่อการพานิชย์ และอื่น ๆ ดังนั้น โครงงานนี้จึงต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับบนพื้นที่ดังกล่าว

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่กรณีศึกษา โดยพิจารณาด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านการจัดการ และด้านการเงิน รวมทั้งศึกษาความไวของปัจจัยที่อาจส่งผลต่อความเป็นไปได้ของโครงการ

3. วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นที่การจัดตั้งหลักสูตรขั้นพื้นฐานสำหรับโดรนที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 25 กิโลกรัม เนื่องจากผู้ดำเนินการยังไม่มีประสบการณ์ในการดำเนินงานด้านศูนย์ฝึกอบรม ดังนั้น การเริ่มต้นธุรกิจด้วยระดับพื้นฐานจึงมีความเหมาะสมในการประเมินความสามารถและพัฒนาความชำนาญ เพื่อหาแนวทางในการต่อยอดธุรกิจในอนาคต โดยจะศึกษากฎหมายและมาตรการที่เกี่ยวข้องกับอากาศยานไร้คนขับและการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมฯ เพื่อใช้เป็นกรอบในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ และศึกษาความเป็นไปได้ใน 4 ด้านหลัก ได้แก่ ด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านการจัดการ และด้านการเงิน นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ความไวของปัจจัยที่อาจมีผลกระทบต่อความเป็นไปได้ของโครงการ รวมทั้งการประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของศูนย์ฝึกอบรม เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการดำเนินโครงการอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดการศึกษาดังนี้

3.1 การศึกษากฎหมายและมาตรการที่เกี่ยวข้อง

การศึกษากฎหมายและมาตรการที่เกี่ยวข้องกโดรน และการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมฯ มีการศึกษาหลัก 3 ประการ คือ ประกาศกระทรวงคมนาคม เรื่อง หลักเกณฑ์การขออนุญาตและเงื่อนไขในการบังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน ประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินภายนอก พ.ศ. 2558 [2] และประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินภายนอกที่มีน้ำหนักเกิน 25 กิโลกรัม พ.ศ. 2567 [2] รวมถึงแนวทางการขอรับรองศูนย์ฝึกอบรมและหลักสูตรการฝึกอบรมผู้บังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน จาก กพท. [2]

3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการตลาด

การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการตลาด ประกอบด้วยการวิเคราะห์คู่แข่ง การศึกษาอุปสงค์เพื่อทราบขนาดและแนวโน้มของตลาด เพื่อให้กำหนดส่วนแบ่งทางการตลาดได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ได้ศึกษากลุ่มเป้าหมายผ่านการสำรวจข้อมูลจากแบบสอบถาม เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และใช้ในการกำหนดส่วนประสมทางการตลาด [3] รวมถึงวางแผนกลยุทธ์ในการดำเนินงานและคาดการณ์ความเป็นไปได้ในการเปิดกิจการ โดยผู้ทำการศึกษาได้รับความช่วยเหลือจากผู้ใช้งานโดรนผ่านกลุ่มเฟซบุ๊ก จำนวน 66 ราย ในการตอบแบบสอบถาม

3.3 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค

การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค เป็นการพิจารณารายละเอียดของหลักสูตรให้สอดคล้องกับส่วนแบ่งทางการตลาดและแนวทางฯ ของ กพท. [2] การเช่าอาคารและสิ่งปลูกสร้างภายในพื้นที่กรณีศึกษา การจัดซื้อและวางแผนการทดแทนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง การจัดการอาหารและเครื่องดื่ม และการว่าจ้างแรงงาน

3.4 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการจัดการ

การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการจัดการ [4] คือการกำหนดรูปแบบการดำเนินงานของศูนย์ฝึกอบรมฯ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้การดำเนินโครงการประสบความสำเร็จ ซึ่งมีรายละเอียดในการพิจารณาดังนี้ แผนการดำเนินงานและแผนการใช้เงินทุนก่อนการเปิดให้บริการ การจัดการโครงการในขั้นตอนเปิดให้บริการ ซึ่งประกอบด้วยนโยบายและสวัสดิการ รวมถึงพิจารณารูปแบบโครงสร้างองค์กร

3.5 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการเงิน

การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการเงิน จะศึกษาการประมาณเงินลงทุนเริ่มแรก ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและผลตอบแทนของโครงการ โดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจ ได้แก่ วิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR)

3.6 การประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้อง

การประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้อง คือการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของปัจจัยที่อาจส่งผลต่อความน่าลงทุนของโครงการ รวมถึงการศึกษาความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในการดำเนินงานของศูนย์ฝึกอบรมฯ และหาแนวทางการป้องกัน เพื่อประกอบการตัดสินใจในการลงทุน และประเมินความมั่นคงของโครงการ

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษากฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ประกาศกระทรวงคมนาคมฯ พ.ศ. 2558 [2] กำหนดให้ผู้ปล่อยอากาศยานไร้คนขับต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับการปฏิบัติการบินและปฏิบัติตามเงื่อนไขอย่างเคร่งครัด เพื่อป้องกันอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ต่อมา ประกาศกระทรวงคมนาคมฯ พ.ศ. 2567 [2] ได้เพิ่มมาตรการด้านการควบคุม โดยกำหนดให้ผู้ปล่อยอากาศยานต้องผ่านการทดสอบความรู้และผ่านการอบรมจากหลักสูตรที่ได้รับการรับรองโดย กพท.

นอกจากนี้ กพท. ได้กำหนดแนวทางสำหรับการจัดตั้งหลักสูตรพื้นฐานและศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับ [2] เช่น ข้อกำหนดด้านจำนวนชั่วโมงเรียนในแต่ละภาคของหลักสูตร โครงสร้างเนื้อหาการฝึกอบรม บุคลากรสำคัญ เป็นต้น เพื่อให้มั่นใจว่าผู้เข้ารับการฝึกอบรมมีความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับการใช้งานอากาศยานไร้คนขับอย่างปลอดภัย และการดำเนินงานของศูนย์ฝึกอบรมฯ เป็นไปตามมาตรฐานสากล

4.2 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ด้านการตลาด

4.2.1 ผลการวิเคราะห์จากแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 58.5 ใช้งานอากาศยานไร้คนขับที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 25 กิโลกรัม รองลงมาคือผู้ที่ใช้งานอากาศยานไร้คนขับที่มีน้ำหนักมากกว่า 25 กิโลกรัม และผู้ที่ใช้งานทั้งสองประเภทคิดเป็นร้อยละ 26.2 และ 15.4 ตามลำดับ

ในประเด็นด้านการอบรม พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 33.3 เคยเข้ารับการอบรม ขณะที่ร้อยละ 12.1 ไม่เคยและไม่มีความสนใจ ส่วนร้อยละ 54.5 ไม่เคยแต่มีความสนใจที่จะเข้ารับการฝึกอบรม

นอกจากนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามบางส่วนเห็นควรให้มีการเพิ่มจำนวนศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งสะท้อนถึงโอกาสในการพัฒนาธุรกิจศูนย์ฝึกอบรม อย่างไรก็ตาม ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ต้องการให้หลักสูตรมีค่าใช้จ่ายไม่เกิน 15,000 บาท และมีระยะเวลาการอบรมที่กระชับ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ท้าทายในการดำเนินธุรกิจศูนย์ฝึกอบรมให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผ่านการรับรองหลักสูตร

4.2.2 ผลการวิเคราะห์คู่แข่ง

ศูนย์ฝึกอบรมฯ ในพื้นที่กรณีศึกษามีข้อได้เปรียบเชิงโครงสร้างพื้นฐานที่โดดเด่น โดยเป็นพื้นที่ที่สามารถพัฒนาอุตสาหกรรมเทคโนโลยีขั้นสูงได้และมีสนามบินส่วนตัว ซึ่งสนับสนุนการพัฒนาหลักสูตรได้อย่างหลากหลาย อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านที่ตั้งทางภูมิศาสตร์เป็นข้อจำกัดสำคัญ เนื่องจากศูนย์ฝึกอบรมตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลจากกรุงเทพฯ และมีระบบขนส่งสาธารณะที่จำกัด ซึ่งอาจส่งผลต่อการเข้าถึงของผู้เข้าอบรม

โดยในเชิงการแข่งขัน ศูนย์ฝึกอบรมแห่งนี้เป็นผู้เล่นรายใหม่ในตลาด แม้ว่าจะมีข้อได้เปรียบด้านโครงสร้างพื้นฐาน แต่ยังคงต้องเผชิญกับการแข่งขันจากศูนย์ฝึกอบรมที่มีชื่อเสียงและประสบการณ์มากกว่า

4.2.3 ผลการวิเคราะห์อุปสงค์

พิจารณาให้จำนวนผู้ใช้งานโดรน คือ อุปสงค์ของศูนย์ฝึกอบรมฯ โดยมีสมมติฐานว่าผู้ใช้งานโดรน 1 คน ครอบครองโดรน 1 ลำ และได้ทำการขึ้นทะเบียนทุกคน ซึ่งจากข้อมูลสถิติ [1] พบว่าจำนวนโดรนที่ขึ้นทะเบียนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 14,638 ลำ

โดยศูนย์ฝึกอบรมฯ ในพื้นที่กรณีศึกษาเป็นผู้ประกอบการใหม่ในอุตสาหกรรมนี้ จึงคาดการณ์ส่วนแบ่งทางการตลาดในช่วงเริ่มต้น ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี หรือประมาณ 60 คนต่อเดือน

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ส่วนประสมทางการตลาด

ผลิตภัณฑ์ คือ หลักสูตรที่ครอบคลุมทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ โดยพัฒนาเนื้อหาตามแนวทางการรับรองของ กพท.[2] พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกอาหารกลางวัน อาหารว่าง และเครื่องดื่ม

ราคาหลักสูตรกำหนดที่ 20,000 บาท โดยอ้างอิงจากราคาต่ำสุดของคู่แข่งที่ได้รับการรับรองหลักสูตร ทั้งนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งให้ความสำคัญกับราคาหลักสูตรที่เหมาะสมและเข้าถึงได้

ช่องทางการจำหน่ายและช่องทางการชำระเงิน ใช้ช่องทางออนไลน์ผ่านทางเว็บไซต์ของศูนย์ฝึกอบรมฯ เพียงช่องทางเดียว เพื่อให้สามารถจัดการข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ รวดเร็ว และลดโอกาสเกิดข้อผิดพลาดในการดำเนินงาน ทั้งนี้ ลิงก์ไปยังเว็บไซต์จะถูกเผยแพร่ผ่านสื่อออนไลน์ต่าง ๆ ของศูนย์ฝึกอบรมฯ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้สนใจ

การส่งเสริมการตลาดของศูนย์ฝึกอบรมฯ [4] มุ่งเน้นการใช้แพลตฟอร์มดิจิทัลเป็นเครื่องมือหลัก โดยจัดทำช่องทางประชาสัมพันธ์ผ่านเว็บไซต์ อีเมล และโซเชียลมีเดีย (Facebook, Line, YouTube)

เพื่อเผยแพร่ข้อมูลหลักสูตร อำนวยความสะดวกในการติดต่อสอบถาม และเพิ่มการเข้าถึงกลุ่มเป้าหมาย ในด้านกลยุทธ์การกระตุ้นยอดขาย และการสร้างการรับรู้ ศูนย์ฝึกอบรมฯ ใช้โปรโมชั่นและโค้ดส่วนลดเป็นเครื่องมือดึงดูดผู้เรียน พร้อมทั้งเพิ่มความยืดหยุ่นทางการเงินผ่านระบบผ่อนชำระค่าหลักสูตร เพื่อลดอุปสรรคด้านค่าใช้จ่ายสำหรับกลุ่มเป้าหมายที่สนใจ นอกจากนี้ ศูนย์ฝึกอบรมฯ ให้ความสำคัญกับการให้บริการหลังการอบรม โดยจัดให้มีการให้คำปรึกษาด้านเทคนิคและดำเนินการสำรวจความพึงพอใจของผู้เข้าอบรม เพื่อนำข้อมูลที่ได้รับมาพัฒนาคุณภาพหลักสูตรและยกระดับประสบการณ์ของผู้ใช้บริการ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างความภักดีของลูกค้าในระยะยาว

ทั้งนี้ จะเกิดค่าใช้จ่ายในด้านการตลาดจากการจัดทำเว็บไซต์ ประมาณ 60,000 บาท และกำหนดงบประมาณด้านการตลาดที่ 10% ของยอดขาย ตามแนวทางธุรกิจเปิดใหม่ เพื่อเพิ่มการรับรู้และขยายฐานลูกค้าอย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.5 ความเป็นไปได้ด้านการตลาด

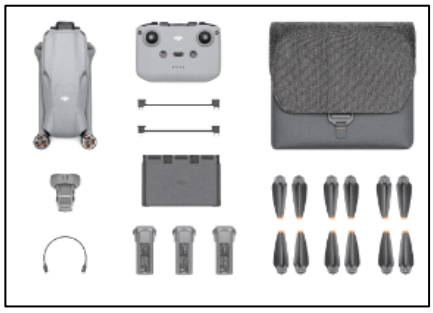
จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าอุปสงค์ในตลาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และกลุ่มเป้าหมายส่วนใหญ่เห็นควรให้มีศูนย์ฝึกอบรมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พื้นที่กรณีศึกษายังมีข้อได้เปรียบในด้านโครงสร้างพื้นฐาน แม้ว่าจะมีข้อจำกัดเกี่ยวกับทำเลที่ตั้ง แต่การใช้ส่วนประสมทางการตลาดที่เหมาะสม เช่น การจัดระบบผ่อนชำระและการให้บริการอาหารและเครื่องดื่ม สามารถดึงดูดลูกค้าได้ดี ทำให้สามารถแข่งขันได้อย่างมีประสิทธิภาพในตลาดนี้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ด้านการตลาดในการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมฯ ในพื้นที่กรณีศึกษา

4.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค

4.3.1 ผลการวิเคราะห์รายละเอียดหลักสูตร

ศูนย์ฝึกอบรมฯ ในพื้นที่กรณีศึกษา วางแผนจัดการฝึกอบรมจำนวน 3 รุ่นต่อเดือน เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายส่วนแบ่งทางการตลาด โดยกำหนดจำนวนผู้เข้าอบรมที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 คนต่อรุ่น ซึ่งประกอบด้วยหลักสูตรวันธรรมดา 2 รุ่น และหลักสูตรวันเสาร์-อาทิตย์ 1 รุ่น เพื่อเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายที่มีข้อจำกัดด้านเวลา

หลักสูตรการฝึกอบรมได้รับการออกแบบให้มีระยะเวลา 8 วัน เพื่อให้สามารถดำเนินการฝึกอบรมหลักสูตรวันเสาร์-อาทิตย์ให้จบภายใน 1 เดือน ทั้งนี้ การจัดตารางการฝึกอบรมเป็นไปตามแนวทางฯ ของ กพท. โดยผู้เข้าอบรมที่ผ่านการฝึกอบรมจะได้รับประกาศนียบัตรรับรองตามมาตรฐานสากลจาก กพท. ซึ่งสามารถใช้เป็นหลักฐานแสดงความสามารถในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการบินโดรนได้ โดยโดรนที่วางแผนจะใช้ในการอบรม คือ DJI Air 3 รุ่น Fly More Combo (DJI RC-N2) แสดงดังรูปที่ 2 เนื่องจากเป็นเซตตัวโดรนพร้อมแบตสำรองและแท่นชาร์จ ซึ่งฟังก์ชันของโดรนมีความเหมาะสมกับหลักสูตร และการมีแบตสำรองพร้อมแท่นชาร์จทำให้กำหนดการฝึกอบรมเป็นไปอย่างราบรื่น



รูปที่ 2 โดรนที่ใช้ในการอบรม

4.3.2 ผลการวิเคราะห์การเช่าอาคารและสิ่งปลูกสร้าง

การเช่าอาคารและสิ่งปลูกสร้างแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนของสำนักงานและส่วนของศูนย์ฝึกอบรม โดยจะเช่าพื้นที่สำนักงานรวมถึงห้องประชุมสัมมนาสำหรับการอบรมภาคทฤษฎีและภาคจำลอง สำหรับภาคปฏิบัติจะใช้สนามบินที่เช่าพร้อมอาคารพักคอย โดยทั้งหมดตั้งอยู่ภายในพื้นที่กรณีศึกษา ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานและรองรับการฝึกอบรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่าเช่าอาคารและสิ่งปลูกสร้างต่อปีอยู่ที่ 3,468,000 บาท

4.3.3 ผลการวิเคราะห์การจัดซื้อและวางแผนการทดแทนอุปกรณ์

ภายในห้องประชุมสัมมนามีอุปกรณ์ที่เพียงพอและพร้อมสำหรับการฝึกอบรมภาคทฤษฎี ดังนั้น การจัดหาอุปกรณ์จึงมุ่งเน้นไปที่อุปกรณ์สำหรับการฝึกอบรมภาคจำลองและภาคปฏิบัติ รวมถึงอุปกรณ์เบ็ดเตล็ดที่จำเป็น พร้อมทั้งพิจารณาจัดซื้ออุปกรณ์สำนักงานเพื่อรองรับการดำเนินงานของศูนย์ฝึกอบรม โดยค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์ครั้งแรกอยู่ที่ 880,020 บาท นอกจากนี้ ยังมีการวางแผนให้มีการทดแทนอุปกรณ์เมื่อหมดอายุการใช้งาน

4.3.4 ผลการวิเคราะห์การจัดการอาหารและเครื่องดื่ม

อาหารกลางวัน อาหารว่าง และเครื่องดื่ม จะถูกจัดซื้อตามจำนวนผู้เข้ารับการฝึกอบรมและบุคลากรที่เกี่ยวข้องในแต่ละวัน ทั้งนี้ ได้กำหนดงบประมาณไว้ที่คนละ 200 บาทต่อวัน ซึ่งเป็นอัตราที่เหมาะสมกับราคาของร้านอาหารในพื้นที่ โดยอยู่ที่ 1,382,400 บาทต่อปี

4.3.5 ผลการวิเคราะห์การว่าจ้างแรงงาน

บุคลากรของศูนย์ฝึกอบรมมีจำนวน 14 คน ซึ่งกำหนดตามแนวทางของ กพท. และความเหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นดำเนินธุรกิจ โดยตำแหน่งที่มีความสำคัญคือครูฝึกอบรม ซึ่งจากการวิเคราะห์กำลังคน (Workforce Analysis) พบว่าควรมีครูฝึกอบรมจำนวน 4 คน ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพ ศูนย์ฝึกอบรมจะดำเนินการจ้างบุคคลทั่วไปจำนวน 3 คน และส่งเข้ารับการฝึกอบรมในหลักสูตรครูการบินที่ได้รับการรับรองโดย กพท. เนื่องจากการจ้างวิทยากรการบินแบบรายชั่วโมงส่งผลให้ต้นทุนดำเนินงานสูงและไม่คุ้มค่าในระยะยาว โดยอีก 1 คน จะเป็นบุคคลที่มีประสบการณ์ในอุตสาหกรรมอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งจะเข้ามาทำหน้าที่เป็นครูฝึกอบรมหลักและหัวหน้าครูฝึกอบรม เพื่อให้แน่ใจว่าการฝึกอบรมเป็นไปตามมาตรฐานและสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะได้ว่าค่าใช้จ่ายในการว่าจ้าง

แรงงานมาจากเงินเดือน 4,104,000 บาทต่อปี และจากการส่งบุคลากรเข้ารับการฝึกอบรมในหลักสูตรครูการบินจำนวน 225,000 บาทในช่วงก่อนดำเนินการ

4.3.6 ความเป็นไปได้ด้านเทคนิค

จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า การออกแบบหลักสูตรและการจัดการด้านพื้นที่ รวมถึงการจัดหาอุปกรณ์และบุคลากรสามารถรองรับการฝึกอบรมและการดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการวางแผนรายละเอียดทางเทคนิคตามความเหมาะสมและแนวทางฯ ของ กพท. ทำให้มีความเป็นไปได้ด้านเทคนิคในการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมฯ ในพื้นที่กรณีศึกษา

4.4 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ด้านการจัดการ

การวางแผนการดำเนินงานและการจัดสรรงบประมาณตามระยะเวลาก่อนเปิดให้บริการได้ถูกออกแบบอย่างเป็นระบบ เพื่อให้การดำเนินงานมีความคล่องตัว และได้มีการกำหนดนโยบายสำคัญ รวมถึงการจัดสวัสดิการที่สอดคล้องกับข้อกำหนดทางกฎหมายและมาตรฐานสวัสดิการที่ได้รับการยอมรับในอุตสาหกรรม ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างความมั่นคงและรักษาความพึงพอใจของบุคลากร โดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดสรรสวัสดิการอยู่ที่ปีละ 362,380 บาท สำหรับการดำเนินงานของศูนย์ฝึกอบรมฯ ถือเป็นโครงการใหม่ของผู้ดำเนินการ แต่ผู้ดำเนินการมีประสบการณ์จากการดำเนินธุรกิจอื่น จึงสามารถปรับตัวและดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อรองรับการดำเนินงานในระยะยาว ได้มีการจัดทำแผนผังโครงสร้างองค์กรที่ชัดเจน ซึ่งกำหนดบทบาทและความรับผิดชอบของแต่ละตำแหน่ง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและรองรับการขยายตัวในอนาคต ดังนั้น การจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมฯ ในพื้นที่กรณีศึกษาจึงมีความเป็นไปได้ในด้านการจัดการ

4.5 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ด้านการเงิน

การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการเงินอยู่ภายใต้ข้อสมมติฐาน ดังนี้

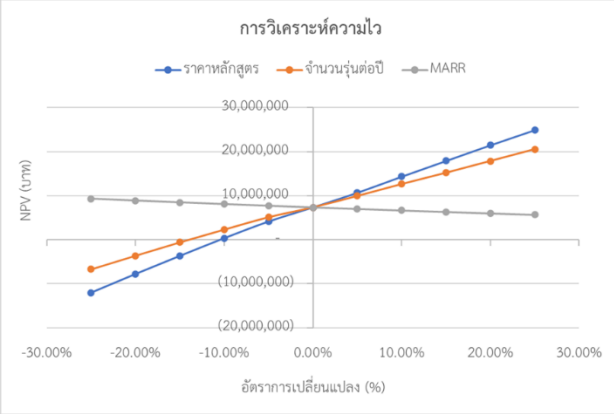
1) กำหนดอายุโครงการ 12 ปี ซึ่งเป็นสองเท่าของอายุการใช้งานโดรนที่เป็นอุปกรณ์หลักของโครงการ โดยไม่รวมระยะเวลาก่อสร้างอีก 2 ปี
2) อัตราส่วนจำนวนผู้เข้าอบรมเริ่มจากร้อยละ 50 และเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ต่อปี โดยคงที่ที่ร้อยละ 100 ตั้งแต่ปีที่ 6 เป็นต้นไป
3) ประมาณการลงทุนทั้งหมดเป็นส่วนของเจ้าของจำนวน 6,600,000 บาท โดยกำหนดจากเงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร ค่าใช้จ่ายก่อนดำเนินการ และเงินทุนหมุนเวียนในปีแรกของช่วงดำเนินการ
4) กำหนดผลตอบแทนขั้นต่ำที่น่าพึงพอใจจากอัตราดอกเบี้ยบัญชีเงินฝากสูงสุดของธนาคารพาณิชย์ [5] (ร้อยละ 5.55)
5) คำนวณค่าเสื่อมราคาตามอัตราที่กรมสรรพากรกำหนด
6) คำนวณภาษีเงินได้นิติบุคคลแบบขั้นบันได

จากการศึกษาที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่า โครงการนี้มีรายจ่ายทั้งในด้านการตลาด ด้านเทคนิค และด้านการจัดการ แต่มีรายรับเพียงช่องทางเดียวจากการจำหน่ายหลักสูตรจำนวน 14,400,000 บาทต่อปี

เมื่อนำข้อมูลที่มีมาวิเคราะห์ด้านการเงินจะได้ว่า โครงการสามารถคืนทุนได้ภายใน 6 ปี 10 เดือน ซึ่งสั้นกว่าอายุโครงการที่กำหนดไว้ที่ 12 ปี จากการคำนวณระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด นอกจากนี้ การวิเคราะห์ทางการเงินระบุว่าโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 7,350,497 บาท และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 14.27 ซึ่งสูงกว่าผลตอบแทนขั้นต่ำที่น่าพึงพอใจ ดังนั้น การจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมฯ ในพื้นที่กรณีศึกษาจึงมีความเป็นไปได้ในด้านการเงิน

4.6 ผลการประเมินความเสี่ยง

จากการวิเคราะห์ความไวของ 3 ตัวแปร ได้แก่ ราคาต่อหลักสูตร จำนวนรุ่นที่เปิดสอนต่อปี และอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่น่าพึงพอใจ โดยแต่ละตัวแปรมีค่าเริ่มต้นดังนี้ ราคาต่อหลักสูตร 20,000 บาท จำนวนรุ่นที่เปิดสอนต่อปี คือ 36 รุ่น และอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่น่าพึงพอใจ คือ ร้อยละ 5.55 ซึ่งช่วงของการวิเคราะห์คือ -25% - 25% และประเมินความน่าลงทุนของโครงการจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) สามารถแสดงผลลัพธ์ได้ดังรูปที่ 3 โดยสรุปได้ว่าโครงการไม่น่าลงทุนเมื่อราคาต่อหลักสูตรลดลงจากเดิม 10% หรือจำนวนรุ่นที่เปิดสอนต่อปีลดลงจากเดิม 15% เนื่องจากทำให้ NPV น้อยกว่า 0 สำหรับผลตอบแทนขั้นต่ำที่น่าพึงพอใจไม่ส่งผลต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ แต่หากผลตอบแทนขั้นต่ำที่น่าพึงพอใจเพิ่มขึ้นจะทำให้ความน่าสนใจของโครงการลดลง



รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความไว

และจากการศึกษาความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในการดำเนินงานของศูนย์ฝึกอบรมฯ พบว่ามีปัจจัยหลายด้านที่ต้องพิจารณา เช่น การเปลี่ยนแปลงกฎระเบียบที่อาจกระทบต่อการปฏิบัติการ ความท้าทายทางเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว และความเสี่ยงจากสภาพอากาศและเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตาม สามารถรับมือได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการติดตามกฎหมายและเทคโนโลยีอย่างใกล้ชิด รวมถึงการกระจายรายได้จากบริการรูปแบบอื่น ๆ และการพัฒนาหลักสูตร เพื่อเสริมความมั่นคงในการดำเนินงานของศูนย์ฝึกอบรมฯ ในระยะยาว

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่กรณีศึกษา โดยครอบคลุมตั้งแต่การศึกษากฎหมายที่เกี่ยวข้อง การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้าน

การจัดการ และด้านการเงิน จนถึงการประเมินความเสี่ยง พบว่ามีความเป็นไปได้ในการจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมดังกล่าวและมีศักยภาพสูงในการเป็นศูนย์ฝึกอบรมอากาศยานไร้คนขับที่สามารถแข่งขันในอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากได้รับการบริหารจัดการที่เหมาะสมพร้อมทั้งปรับปรุงหลักสูตรให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากลและความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ก็จะสามารถรองรับความต้องการของตลาดพร้อมทั้งสร้างบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญได้ ซึ่งช่วยเสริมสร้างให้อุตสาหกรรมโดรนของประเทศไทยเติบโตอย่างมั่นคง

6. ข้อเสนอแนะ

ศูนย์ฝึกอบรมฯ ควรพัฒนาหลักสูตรอย่างต่อเนื่องให้ตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มเป้าหมายและภาคอุตสาหกรรม โดยอาจมีการปรับราคาหลักสูตรให้เหมาะสมกับคุณภาพของเนื้อหาและสภาวะเศรษฐกิจ พร้อมทั้งควรจัดทำงบประมาณเพื่อรองรับความไม่แน่นอนของต้นทุน และหากโครงการดำเนินการภายใต้หน่วยงานที่มีชื่อเสียงอาจสามารถลดค่าใช้จ่ายบางส่วนได้ซึ่งจะช่วยให้ผลตอบแทนจากการลงทุนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ การสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกยังเป็นแนวทางที่ช่วยเสริมโอกาสทางธุรกิจและลดภาระในการดำเนินงาน

7. กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ หน่วยวิศวกรรม และบริหารการก่อสร้าง บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) นำโดย ดร. จิรายุส ไวยนันท์ ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม และบริหารการก่อสร้าง ที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษาในด้านที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินโครงงานนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.รมิดายุ อยู่สุข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้คำแนะนำ และแนวทางในการดำเนินงาน ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่อง จนโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะ และคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงโครงงานให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, ชุดข้อมูลการขึ้นทะเบียนเครื่องวิทยุคมนาคมสำหรับอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน, ข้อมูลจาก https://bit.ly/4k1hKlr (วันที่สืบค้นข้อมูล 29 สิงหาคม 2567)

[2] สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, เอกสารเกี่ยวกับอากาศยาน ซึ่งไม่มีนักบิน, ข้อมูลจาก https://uav.caat.or.th/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 5 สิงหาคม 2567)

[3] ศิริวรรณ เสรีรัตน์ และคณะ. การบริหารการตลาดยุคใหม่, บริษัท ธีระฟิล์ม และไซเทกซ์ จำกัด, 2541.

[4] ชัยยศ สันติวงษ์. การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ, พิมพ์ครั้งที่ 3, บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, 2539.

[5] แลนด์แอนด์เฮาส์, บัญชีออมทรัพย์ดิจิทัล B-You Wealth ให้ล้านแรก ต่อยอด ล้านต่อไป, ข้อมูล https://shorturl.asia/mtSFB (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2567)

การวิเคราะห์ภาระงานทางจิตใจของผู้ใช้สื่อการเรียนรู้ในงานการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและผลิตชิ้นงาน

Analysis of Learners' Mental Workload Using Instructional Media in Computer-Aided Design and Manufacturing.

ประจวบ กล่อมจิตร[1*], กณภัทร พุ่มทอง[1], ตรัยฤทธิ์ บัวชุมสุข[1], กิตติพงศ์ ศรีสวาท[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: klomjit_p@su.ac.th*

Prachuab Klomjit[1*], Kanaput Pumthong[1], Trilit Buachumsuk[1], Kittipong Srisawat[1]
[1]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: klomjit_p@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสื่อการเรียนรู้สองรูปแบบ ได้แก่ คู่มือเอกสารและคู่มือวิดีโอ กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยนักศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 20 คน แบ่งเป็นสองกลุ่ม กลุ่มละ 10 คน ทำการทดลองใช้งานเครื่อง 3D Scanner โปรแกรมออกแบบ และเครื่อง CNC ผลการทดลองพบว่าสื่อการเรียนรู้แบบคู่มือวิดีโอสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทำความเข้าใจและปฏิบัติตามขั้นตอนได้ดีกว่าสื่อการเรียนรู้แบบคู่มือเอกสาร นอกจากนี้การศึกษาภาระงานทางจิตใจของผู้เรียนโดยใช้แบบประเมิน NASA-TLX พบว่า การใช้คู่มือเอกสารส่งผลให้ผู้เรียนต้องใช้กระบวนการคิดและการวิเคราะห์ข้อมูลมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดภาระงานทางจิตใจสูง ในขณะที่การใช้คู่มือวิดีโอช่วยลดภาระงานด้านการคิด แต่กลับเพิ่มภาระงานในด้านความพยายามที่ต้องใช้ในการติดตามเนื้อหาและจดจำข้อมูล ข้อสรุปจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสื่อการเรียนรู้แบบคู่มือวิดีโอเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากกว่าสื่อคู่มือเอกสารทั้งในแง่ของการลดระยะเวลาในการเรียนรู้ การทำความเข้าใจเนื้อหา และการลดภาระงานทางจิตใจของผู้ทดลอง

คำสำคัญ: คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ, คอมพิวเตอร์ช่วยผลิต, โปรแกรมออกแบบ 3 มิติ, การสแกน 3 มิติ, ภาระงานทางจิตใจ

Abstract

This research focuses on developing learning materials related to Computer-Aided Design (CAD) and Computer-Aided Manufacturing (CAM) by comparing the effectiveness of two types of learning materials: manuals and video tutorials. The sample consisted of 20 undergraduate students, divided into two groups of 10. The experiment involved using a 3D scanner, design software, and a CNC machine. The results showed that video tutorials were more effective in reducing the time needed to understand and follow the steps compared to manual documents. Moreover, a mental workload assessment using the NASA-TLX questionnaire revealed that using manual documents required more cognitive processes and data analysis, resulting in a higher mental workload. In contrast, video tutorials helped reduce cognitive workload but increased the effort needed to follow and retain information. The study concluded that video tutorials are a more effective learning tool than manuals in terms of reducing learning time, enhancing understanding, and lowering the mental workload of participants.

Keywords: Computer-Aided Design (CAD), Computer-Aided Manufacturing (CAM), 3D Design Software, 3D Scanning, Mental Workload

1. บทนำ

ปัจจุบัน การพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้นำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เทคโนโลยีใหม่ เช่น คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยผลิต (CAM) มีบทบาทสำคัญในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ แทนที่กระบวนการดั้งเดิมที่อาจล่าช้าและไม่มีประสิทธิภาพ หลังการออกแบบและร่างแบบ ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างต้นแบบ ซึ่งอาจใช้เวลานาน แต่เทคโนโลยีใหม่สามารถลดระยะเวลาให้เหลือเพียงไม่กี่ชั่วโมง [1] การใช้ CAD/CAM ร่วมกับเครื่อง CNC ช่วยให้กระบวนการผลิตรวดเร็วขึ้น โดยใช้ 3D Scanner เช่น EXS-SCAN และซอฟต์แวร์ออกแบบอย่าง Fusion 360 เพื่อปรับแต่งชิ้นงาน จากนั้นสร้างรหัสคำสั่งเพื่อให้เครื่อง CNC ผลิตชิ้นงานตามแบบที่ออกแบบไว้ เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบสามมิติได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น วิศวกรรม การแพทย์ และสถาปัตยกรรม [2] ข้อดีคือสามารถขึ้นรูปชิ้นงานซับซ้อนอย่างแม่นยำและรวดเร็ว โดยเริ่มจากการออกแบบผ่านซอฟต์แวร์ CAD หรือการใช้ 3D Scanner สแกนชิ้นงานจริง แล้วนำข้อมูลไปผลิตผ่านเครื่องพิมพ์สามมิติหรือหุ่นยนต์ อย่างไรก็ตาม คู่มือการใช้งาน 3D Scanner, Fusion 360 และ CNC ยังไม่มีการเผยแพร่อย่างแพร่หลาย ทำให้ผู้ใช้ขาดความเข้าใจและอาจใช้งานผิดพลาดจนส่งผลเสียต่ออุปกรณ์ ดังนั้นสื่อการเรียนรู้ที่ทันสมัยและอัปเดตตามเทคโนโลยีจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อช่วยให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพและลดความผิดพลาด งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ระบบ CAD/CAM สำหรับการจำลองงานและศึกษาภาระงาน โดยใช้ความรู้ทางวิศวกรรมและทักษะด้านการออกแบบและการผลิต เพื่อให้กระบวนการเรียนรู้เป็นระบบและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดการออกแบบสื่อการเรียนรู้

สื่อการเรียนรู้ วัสดุ อุปกรณ์ หรือเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการส่งเสริมกระบวนการเรียนการสอน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น และเกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ สื่อการเรียนรู้มีบทบาทสำคัญในการช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงและซึมซับข้อมูลได้หลากหลายวิธี ตามลักษณะของสื่อที่นำมาใช้ ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของข้อความ ภาพ เสียง วิดีโอ หรือเทคโนโลยีเชิงโต้ตอบ ทั้งนี้ การเลือกใช้สื่อที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ กลุ่มเป้าหมาย และลักษณะของเนื้อหาที่ต้องการถ่ายทอด สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามลักษณะและคุณสมบัติของการนำเสนอ [3] ได้แก่ 1.สื่อสิ่งพิมพ์ เช่น หนังสือเรียน เอกสารประกอบการสอน แบบฝึกหัด และแผ่นพับ ซึ่งเป็นสื่อที่สามารถใช้ได้สะดวกและเหมาะสำหรับการเรียนรู้ด้วยตนเอง 2.สื่อดิจิทัล เช่น สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เว็บไซต์ บทเรียนออนไลน์ และแอปพลิเคชันที่สามารถเข้าถึงได้ผ่านอุปกรณ์ดิจิทัล ช่วยให้การเรียนรู้มีความสะดวกและเข้าถึงได้จากทุกที่ 3.สื่อโต้ตอบ เช่น เกมการเรียนรู้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนและเนื้อหา ซึ่งสามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมและเพิ่มประสบการณ์การเรียนรู้ที่สนุกสนาน 4.สื่อเสมือนจริง เช่น Virtual Reality (VR) และ Augmented Reality (AR) ที่ช่วยสร้างประสบการณ์การเรียนรู้แบบสมจริงและสามารถจำลองสถานการณ์ให้ผู้เรียนมีโอกาสทดลองและปฏิบัติจริงในสภาพแวดล้อมเสมือน [4]

การออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพควรพิจารณาถึงความเหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย ความน่าสนใจ และการส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้ที่ลึกซึ้ง นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ ๆ สามารถช่วยให้การเรียนรู้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถตอบสนองต่อรูปแบบการเรียนรู้ที่หลากหลายของผู้เรียน

2.2 แนวคิดการออกแบบตามทฤษฎีการเรียนรู้

การเรียนรู้เป็นกระบวนการที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยมีหลายแนวคิดที่อธิบายถึงวิธีการเรียนรู้ของมนุษย์ แนวคิดสำคัญที่ได้รับความนิยม ได้แก่ พฤติกรรมนิยม (Behaviorism), ปัญญานิยม (Cognitivism), คอนสตรักติวิสต์ (Constructivism), และเชื่อมโยงนิยม (Connectivism)

1. พฤติกรรมนิยม (Behaviorism) แนวคิดนี้เน้นพฤติกรรมที่เกิดจากการตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยใช้การเสริมแรงและการทำซ้ำเพื่อส่งเสริมพฤติกรรมที่พึงประสงค์ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ ได้แก่ การใช้แบบฝึกหัดที่มีรางวัลและการทดสอบวัดผล

2. ปัญญานิยม (Cognitivism) เน้นกระบวนการประมวลผลข้อมูลของสมอง มุ่งให้ผู้เรียนเข้าใจและจัดโครงสร้างความรู้ได้อย่างมีระบบ วิธีการสอนมักใช้การลำดับเนื้อหาอย่างเหมาะสม และการใช้เครื่องมือช่วยจำ เช่น แผนผังแนวคิด

3. คอนสตรักติวิสต์ (Constructivism) สนับสนุนให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการสำรวจ ทดลอง และปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม รูปแบบการเรียนรู้ที่ใช้แนวคิดนี้ ได้แก่ การเรียนรู้แบบโครงงาน (Project-Based Learning) และกิจกรรมที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา

4. เชื่อมโยงนิยม (Connectivism) เหมาะกับยุคดิจิทัล โดยเน้นการเรียนรู้ผ่านเครือข่ายและการเชื่อมโยงแหล่งข้อมูลออนไลน์ เช่น แพลตฟอร์มการเรียนรู้ออนไลน์และโซเชียลมีเดีย การเรียนรู้เกิดจากการเข้าถึงและเชื่อมโยงข้อมูลที่หลากหลาย

2.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับแบบประเมินภาระงาน NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX)

แบบประเมินการจัดการภาระงาน NASA-TLX ขององค์การบริหารการบิน และอวกาศแห่งชาติสหรัฐ (NASA/National Aeronautics and Space Administration) นี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มศักยภาพในการทำงานและความปลอดภัยในภาระงาน ใช้ในการประเมิน ศักยภาพการจัดการภาระงานของผู้ดำเนินงานทางอากาศ การประเมินสามารถหาจุดแข็งและจุดอ่อนในการจัดการภาระงานได้อย่างแม่นยำ แบบประเมินในยุค

แรกนั้น ประกอบไปด้วยข้อคำถาม 9 ข้อ ต่อมามีการปรับลดข้อคำถามที่ซ้ำซ้อน หรือวัดในสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องออก จนเหลือเพียง 6 ข้อในปัจจุบัน แบบประเมินนี้ถูกออกแบบมา เพื่อลดความแปรปรวนระหว่างผู้ประเมิน (Between Rater Variability) โดยการใช้การให้น้ำหนัก (Weights) ควบคู่ไปกับการประเมินคะแนนตามลำดับ (Rating) การให้น้ำหนักนั้น ทำได้โดยให้ผู้ประเมินเลือกสาเหตุของภาระงานที่เป็นไปได้ และทำการเปรียบเทียบ เป็นรายคู่ (Pair Wise Comparison) ข้อคำถามทั้งหมด 6 ข้อนั้น ทำให้เกิดการเปรียบเทียบรายคู่ ได้ 15 คู่ การประเมินในขั้นตอนการให้น้ำหนักนี้ทำได้โดยการใช้บัตรคำ เพื่อให้ผู้ถูกประเมินได้เลือก ว่าปัจจัยหรือด้านใดที่มีผลมากกว่า และมีความเกี่ยวข้องกับภาระงาน การนับคะแนนมักใช้วิธีการ บันทึกคะแนนแบบนับแต้ม (Tally) ซึ่งค่าคะแนนในแต่ละหัวข้อนั้น มีตั้งแต่ 0 (ไม่เกี่ยวข้องเลย) ถึง 5 (มีความจำเป็นมากกว่าอย่างอื่น) สำหรับในการวิจัยครั้งนี้นั้น ต้องการวัดค่าเฉลี่ยคะแนนการรับรู้ ภาระงานของผู้ถูกประเมินโดยรวม จากปัจจัยด้านภาระงานทั้ง 6 ด้าน จึงเลือกใช้เฉพาะส่วนของการ ประเมินคะแนนตามลำดับ (Rating) ซึ่งได้ค่าเป็นตัวเลขของการประเมินแต่ละด้านของงานที่ทำ ซึ่ง เทคนิคการใช้วิธีการให้น้ำหนัก และการประเมินคะแนนตามลำดับนี้ นี้เรียกว่า NASA Bipolar Rating Scale ซึ่งนำมาใช้แล้วประสบความสำเร็จในการลดความแปรปรวนระหว่างผู้ประเมินลงได้ และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการวินิจฉัยถึงสาเหตุของภาระงานที่ต่างกันได้ด้วย [5] การประเมินออกเป็น 6 ด้าน คือ

1) การใช้ความคิด (Mental Demand) ระดับความรู้สึกของกิจกรรมต่างๆ ภายในจิตใจ รวมถึงกระบวนการรับรู้ เช่น การคิด, การจำ, การตัดสินใจ, การคำนวณ, การมองหรือค้นหา ฯ

2) การใช้แรงกาย (Physical Demand) ระดับความรู้สึกของความจำเป็นในการใช้แรงกาย เช่น การผลัก, การดึง, การควบคุม

3) การใช้เวลา (Temporal Demand) ระดับความรู้สึกกดดันด้านเวลา ทั้งจากตัวงานและ องค์ประกอบอื่น

4) ความรู้สึกพอใจกับผลสำเร็จ (Performance) ระดับความรู้สึกพึงพอใจในความสามารถ ของตนเอง, ทำงานบรรลุเป้าหมาย

5) ความพยายามที่ใช้ (Effort) ระดับความรู้สึกพยายามทั้งด้านร่างกายและจิตใจในการ ทำงานให้สำเร็จ

6) ความรู้สึกคับข้องใจ (Frustration) ระดับความรู้สึกคับข้องใจที่เกิดในช่วงเวลาการ ทำงาน เช่น รู้สึกไม่ปลอดภัย, เครียด, ท้อแท้, หงุดหงิด

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhang, S., & Wang, Y. (2024) งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อสำรวจกระบวนการดำเนินการและประสิทธิภาพของการออกแบบสภาพแวดล้อมอัจฉริยะผ่านการทดลองรูปแบบจำลอง เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย โดยเริ่มต้นด้วยการอธิบายถึงความสำคัญของการออกแบบสภาพแวดล้อมอัจฉริยะ สถานะการวิจัยปัจจุบันในสาขา และเสนอวิธีการวิจัยที่ผสมผสานระหว่างการสร้างแบบจำลอง CAD และอัลกอริทึมการเรียนรู้เสริมกำลัง ในระหว่างกระบวนการวิจัยได้มีการออกแบบกระบวนการดำเนินงานที่ครอบคลุมตั้งแต่การวิเคราะห์ความต้องการ การสร้างแบบจำลอง CAD การเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการเรียนรู้เสริมกำลัง และการสรุปผลลัพธ์การออกแบบ โดยให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับการปรับและเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดลอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและคุณภาพของแนวทางการออกแบบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การผสมผสานอย่างมีประสิทธิภาพระหว่างเทคโนโลยีการสร้างแบบจำลอง CAD และอัลกอริทึมการเรียนรู้เสริมกำลังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบสภาพแวดล้อมอัจฉริยะได้อย่างมาก พร้อมทั้งปรับปรุงแนวทางการออกแบบให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ที่หลากหลาย คะแนนเฉลี่ยของวิธีการออกแบบอัจฉริยะอยู่ที่ 9.3 คะแนน ในขณะที่วิธีการออกแบบแบบดั้งเดิมมีค่าเฉลี่ยเพียง 7.5 คะแนน การศึกษานี้นำเสนอแนวคิดใหม่และแนวทางเชิงระเบียบวิธีที่สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในงานวิจัยและการประยุกต์ใช้ในภาคปฏิบัติที่เกี่ยวข้อง

Zhang, X., & Li, W. (2024) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ (3D printing) ในการออกแบบและผลิตเซรามิกเฉพาะบุคคลมีลักษณะเด่นในด้าน ความยืดหยุ่น ประสิทธิภาพ และความแม่นยำ ซึ่งก่อให้เกิดคุณค่าอย่างมีนัยสำคัญต่อแนวโน้มและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงของการสร้างสรรค์เซรามิกลวดลายที่ซับซ้อนและประณีตในกระบวนการผลิตเซรามิกต้องการความแม่นยำสูง ทำให้เทคนิคการวาดแผนที่แบบดั้งเดิมไม่สามารถตอบสนองความต้องการของการผลิตในปัจจุบันได้ การผสานซอฟต์แวร์ออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ (CAD) ทำให้ ประสิทธิภาพและความคิดสร้างสรรค์ในการผลิตเซรามิกเพิ่มขึ้นอย่างมาก เพื่อผลักดันความก้าวหน้าในการออกแบบเซรามิก บทความนี้นำเสนอแนวทางการออกแบบใหม่ที่ ผสมผสานเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติและการออกแบบร่วมด้วย CAD วิธีการแบบไฮบริดนี้ใช้จุดแข็งของทั้งสองเทคโนโลยีเพื่อ ส่งเสริมนวัตกรรมในการออกแบบเซรามิก นอกจากนี้ บทความยังได้ผนวก อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm - GA) เพื่อปรับปรุงแผนการออกแบบ โดยการใช้ GA สามารถ เพิ่มประสิทธิภาพของการออกแบบในขณะที่ยังคงรักษาคุณภาพของผลงาน ส่งผลให้กระบวนการออกแบบเซรามิกมีประสิทธิภาพและคุณภาพที่สูงขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแนวทางที่นำเสนอในบทความนี้สามารถยกระดับประสิทธิภาพและคุณภาพของการออกแบบเซรามิกได้อย่างมีประสิทธิผล

Chen, X., Xu, L., Wang, W., Li, X., Sun, Y., & Politis, C. (2016) ศึกษาแม่แบบศัลยกรรมเป็นอุปกรณ์นำทางที่ช่วยกำหนดตำแหน่งการฝังรากฟันเทียม การตัดเนื้องอก การตัดกระดูก และการจัดตำแหน่งกระดูกใหม่ ด้วยการใช้แม่แบบนี้ แผนการผ่าตัดที่วางไว้ล่วงหน้าสามารถถ่ายทอดไปยังตำแหน่งผ่าตัดจริงได้ ทำให้การผ่าตัดมีความแม่นยำ ปลอดภัย และเชื่อถือได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการออกแบบและการผลิตแม่แบบศัลยกรรมก่อนนำไปใช้ทางคลินิกจริงนั้นค่อนข้างซับซ้อน ขอบเขตของบทความ คือ เป้าหมายหลักของบทความ

นี้คือการให้ข้อมูลอ้างอิงที่ครอบคลุมเกี่ยวกับการพัฒนาในปัจจุบันและแนวโน้มอนาคตของการออกแบบและการผลิตแม่แบบศัลยกรรมสำหรับนักวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทความนี้มุ่งนำเสนอการทบทวนกระบวนการที่จำเป็นในการผ่าตัดโดยใช้แม่แบบเป็นแนวทาง ซึ่งรวมถึงกระบวนการประมวลผลภาพ การสร้างภาพ 3 มิติ การวางแผนก่อนการผ่าตัด การออกแบบแม่แบบศัลยกรรม และการผลิต นอกจากนี้ ยังมีการทบทวนการประยุกต์ใช้แม่แบบศัลยกรรมในหัตถการประเภทต่างๆ และแสดงให้เห็นว่าความแม่นยำของการผ่าตัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการผ่าตัดที่ไม่ได้ใช้แม่แบบนำทาง

Devos, H., Gustafson, K., Ahmadnezhad, P., & Liao, K. (2020) ภาระงานทางปัญญา (Cognitive workload) ได้รับการยอมรับมากขึ้นว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทดสอบทางปัญญาและกิจกรรมในชีวิตประจำวัน ภาระงานทางปัญญาเป็นการวัดระดับความพยายามทั้งทางร่างกายและจิตใจที่ใช้ไปกับงาน ซึ่งสามารถประเมินได้ผ่านการรายงานตนเองหรือมาตรการทางสรีรวิทยา อย่างไรก็ตาม ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของมาตรการเหล่านี้ยังไม่ได้รับการยืนยันในผู้สูงอายุที่มีความสามารถทางปัญญาหลากหลาย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของการทดสอบซ้ำของ National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TLX) และ Index of Cognitive Activity (ICA) ซึ่งได้จากขนาดของรูม่านตา นอกจากนี้ ยังได้ตรวจสอบความตรงเชิงบรรจบของมาตรการเหล่านี้กับศักย์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ (event-related potentials, ERPs) การศึกษานี้ดำเนินการในกลุ่มตัวอย่าง 38 คน ซึ่งมีคะแนนการประเมินทางปัญญา Montreal Cognitive Assessment อยู่ระหว่าง 17 ถึง 30 โดยผู้เข้าร่วมทำแบบทดสอบความจำใช้งาน (n-back) ที่มีสามระดับความยาก ทั้งในช่วงเริ่มต้นและหลังจากสองสัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบซ้ำ (intraclass correlation coefficient, ICC) ของ NASA-TLX อยู่ระหว่าง 0.71 ถึง 0.81 ซึ่งบ่งชี้ว่ามีความน่าเชื่อถือในระดับดีถึงดีเยี่ยม ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของ ICA แสดงความน่าเชื่อถือในระดับปานกลางถึงดี โดยมีค่า ICC อยู่ระหว่าง 0.56 ถึง 0.73 นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยของ ICA และ NASA-TLX ยังมี ความสัมพันธ์ในระดับปานกลางและมีนัยสำคัญทางสถิติ กับคลื่น ERP จุดพีคที่สามในช่องกลางศีรษะ (midline channels) โดยมีค่า Pearson's r อยู่ระหว่าง 0.30 ถึง 0.33 จากผลการศึกษานี้ เราสรุปได้ว่า ICA และ NASA-TLX เป็นมาตรการที่น่าเชื่อถือในการประเมินภาระงานทางปัญญาในผู้สูงอายุ อย่างไรก็ตาม ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อแยกแยะองค์ประกอบของภาระงานทางปัญญาในแง่ของการประเมินแบบอัตวิสัย (subjective) และปรนัย (objective)

3. การดำเนินงานวิจัย

ในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ และคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต มีเป้าหมายเพื่อส่งเสริมทักษะกระบวนการคิด การออกแบบ และการวางแผนของผู้เรียน รวมถึงช่วยให้สามารถมองเห็นภาพรวมของกระบวนการทำงานได้อย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางการดำเนินงานวิจัยอย่างเป็นลำดับขั้น โดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาและออกแบบสื่อการเรียนรู้ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย และกำหนดแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือ รวมถึงการทดสอบและปรับปรุงให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้จริง ทั้งนี้การดำเนินงานทุกขั้นตอนจะอยู่บนหลักการวิจัยที่เป็นระบบ มีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลลัพธ์เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อยอดในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

3.1 ศึกษาข้อมูล หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการสร้างชิ้นงานเริ่มต้นจากการออกแบบโมเดล 3 มิติในโปรแกรม Fusion ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับออกแบบและสร้างแบบจำลองเชิงกล ในขั้นตอนนี้จะกำหนดขนาด รูปร่าง และรายละเอียดของชิ้นงานให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน จากนั้นทำการสร้าง G-code ซึ่งเป็นรหัสที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรสำหรับกระบวนการผลิต นำโค้ดที่ได้ไปประมวลผลในโปรแกรม RoboDK ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับจำลองและควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม รวมถึงเครื่อง CNC (Computer Numerical Control)

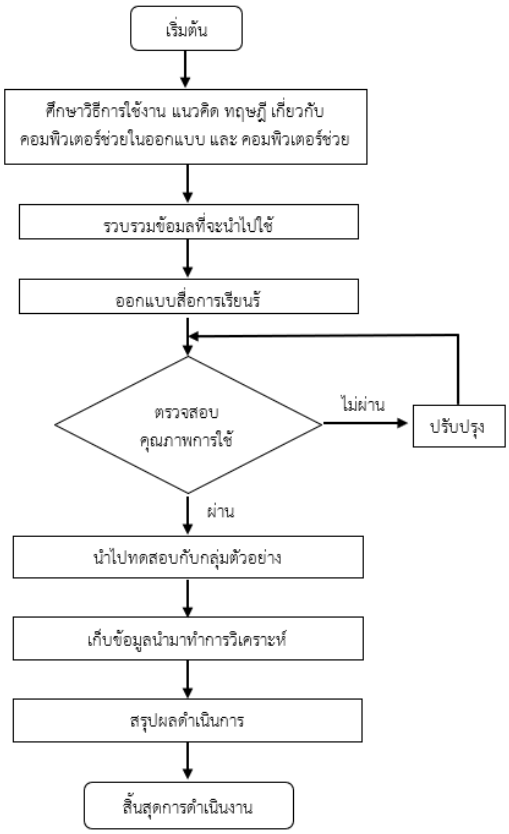
เมื่อได้ G-code ที่เหมาะสม ระบบจะนำไปใช้ควบคุมเครื่อง CNC เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานจริงตามแบบที่กำหนด เครื่อง CNC สามารถตัด เจาะ และขึ้นรูปวัสดุได้อย่างแม่นยำสูง ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและสอดคล้องกับแบบจำลองที่ออกแบบไว้ เทคโนโลยีนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิต เนื่องจากช่วยลดข้อผิดพลาดจากการผลิตแบบดั้งเดิม เพิ่มความแม่นยำ และลดเวลาในการทำงาน

เนื่องจากเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการนี้มีความซับซ้อน การศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องเรียนรู้หลักการทำงานของเครื่อง CNC, G-code และซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสมในกระบวนการผลิต

การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เกี่ยวกับกระบวนการนี้เริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จากนั้นรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบสื่อ เมื่อได้แนวทางที่เหมาะสมแล้ว จะทำการออกแบบเนื้อหาและโครงสร้างของสื่อการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับเป้าหมายการเรียนรู้

หลังจากออกแบบเสร็จสิ้น จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพการใช้งานของสื่อ หากพบว่ายังไม่ผ่านเกณฑ์ จะต้องปรับปรุงและตรวจสอบใหม่จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นเป้าหมายในการใช้งานจริง เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ ปรับปรุง และพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น

สุดท้ายจะเป็นการสรุปผลการดำเนินงาน นำเสนอข้อดี ข้อเสีย และข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป เพื่อให้ได้สื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเรียนรู้และฝึกฝนทักษะด้านการออกแบบและการผลิตด้วยระบบคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปที่ 1



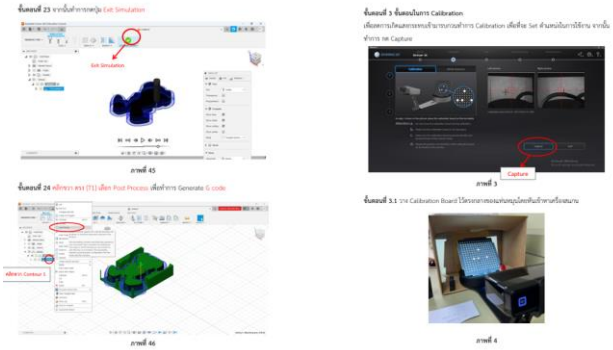
รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการทดลองนี้ ผู้ทดลองจะได้รับมอบหมายให้ศึกษาเนื้อหาจากสื่อการเรียนรู้ที่จัดเตรียมไว้ ซึ่งประกอบด้วยคู่มือเอกสารและคู่มือวิดีโอ โดยมีระยะเวลาในการศึกษาเท่ากัน เพื่อให้แน่ใจว่าผู้ทดลองได้รับข้อมูลในปริมาณและรูปแบบที่สอดคล้องกัน หลังจากศึกษาสื่อการเรียนรู้แล้ว ผู้ทดลองจะต้องนำความรู้ที่ได้รับไปปฏิบัติตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในคู่มือ โดยดำเนินการใช้งาน 3 การทดลอง ได้แก่เครื่อง 3D Scanner, โปรแกรม Fusion 360 (สำหรับ Generator Code) และเครื่อง CNC ตามลำดับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่จำลองการใช้งานจริงของเครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง ผู้ทดลองจะต้องทำแบบประเมิน NASA-TLX ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดภาระงานด้านจิตใจที่เกิดขึ้นจากการเรียนรู้และการปฏิบัติงาน โดยผลการประเมินนี้จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบของสื่อการเรียนรู้แต่ละรูปแบบ

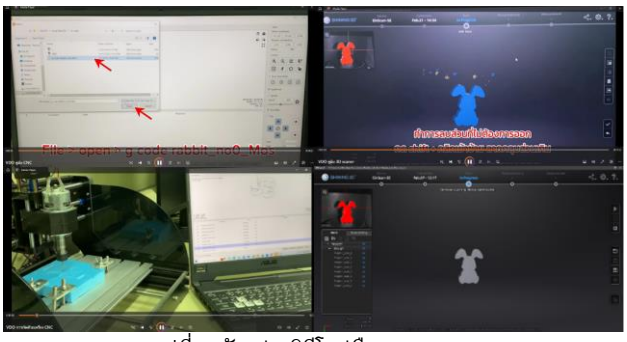
สำหรับการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ และคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต และการใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ เริ่มต้นจากการออกแบบการทดลอง พร้อมทำการวัดผลจากการเรียนรู้ จากชุดสื่อการเรียนรู้ที่เป็นคู่มือเอกสาร และสื่อการเรียนรู้แบบคู่มือวีดีโอ โดยเนื้อหาของทั้ง 2 ชุดสื่อการเรียนรู้เหมือนกันทุกประการ และมีแบบประเมินภาระงานด้านจิตใจ NASA-TLX ให้ผู้ทดลองทำการประเมินหลังการทดลอง โดยชุดสื่อการเรียนรู้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) คู่มือเอกสารการทดลองใช้ชุดสื่อการเรียนรู้การใช้งาน เครื่อง 3D Scanner, โปรแกรม Fusion360 (การ Generator Code) และการใช้เครื่อง CNC ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างเอกสารคู่มือการทดลอง

2) คู่มือวิดีโอการทดลองใช้ชุดสื่อการเรียนรู้การใช้งาน เครื่อง 3D Scanner, โปรแกรม Fusion360 (การ Generator Code) และ การใช้เครื่อง CNC ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างวิดีโอคู่มือการทดลอง

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

การทดลองจะมีผู้ทดลองทั้งหมด 20 คน ได้แก่ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ด้วยวิธีการสุ่มโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น เป็นการศึกษาจากกลุ่มที่เฉพาะเจาะจง โดยใช้การคัดเลือกแบบอาสาสมัคร แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 เป็นผู้ทดลองการใช้คู่มือเอกสารชุดสื่อการเรียนรู้ จำนวน

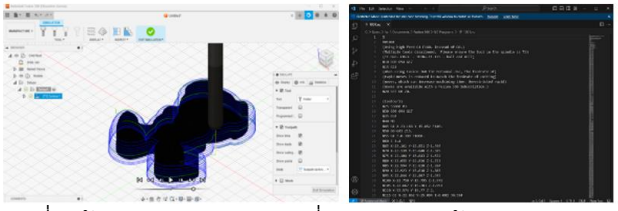
10 คน และกลุ่มที่ 2 เป็นผู้ทดลองการใช้คู่มือวิดีโอชุดสื่อการเรียนรู้ จำนวน 10 คน และการวิจัยนี้ได้กำหนดแบบแผนการทดลองไว้ คือ อธิบายรายละเอียดการทดลองและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ควบคู่การทดลองให้กับผู้ทดลองก่อนเข้าร่วมการทดลอง และผู้ทดลองทุกคนจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 3 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 เป็นการใช้งานเครื่อง 3D Scanner รุ่น EinScan SE โดยใช้โปรแกรม EXScan เพื่อดำเนินการสแกนตัวชิ้นงานต้นแบบ และจัดการข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องสแกน เมื่อสแกนเสร็จส่งออกข้อมูลเป็นไฟล์ .STL เพื่อนำไปใช้ในการปรับแต่งด้วยโปรแกรม Fusion 360 และ นำไปสร้างงานกัดด้วยเครื่อง CNC ดังรูปที่ 4



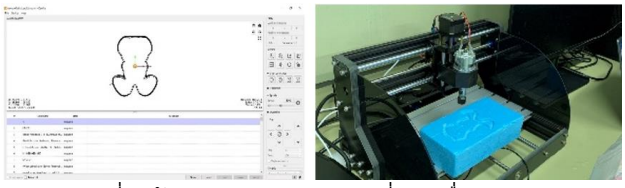
รูปที่ 4 ตัวอย่างการทำการทดลองที่ 1 (3D Scanner)

การทดลองที่ 2 เป็นปรับตกแต่งขนาดชิ้นงานให้เหมาะสมและจำลองการกัด แล้วทำการนำออกค่า G – code ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างการทำการทดลองที่ 2 (จำลองการกัด และ G–code)

การทดลองที่ 3 การใช้งาน โปรแกรม Candle เพื่อสร้างงานกัดด้วยเครื่อง CNC



รูปที่ 6 ตัวอย่างการทำการทดลองที่ 3 (เครื่อง CNC)

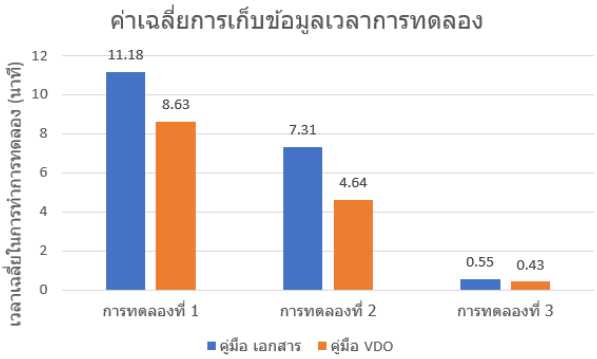
4. ผลการทดลอง

การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) รวมถึงการวัดประสิทธิภาพของสื่อการเรียนรู้ดังกล่าว โดยทำการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่ใช้สื่อการเรียนรู้ในรูปแบบที่แตกต่างกัน กระบวนการวิจัยเริ่มจากการออกแบบและพัฒนาสื่อการเรียนรู้ในทั้งสองรูปแบบ จากนั้นทำการทดลองโดยให้กลุ่มตัวอย่างเรียนรู้ตามวิธีที่กำหนด และดำเนินการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยแบบทดสอบก่อนและหลังการเรียนรู้

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสื่อแต่ละรูปแบบ ผลการวิจัยที่ได้จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนด้าน CAD และ CAM เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของผู้ใช้ในอนาคต โดยการวิเคราะห์ผลการวิจัยมีดังนี้

4.1 ผลการเก็บข้อมูลเวลาการทดลองการใช้ชุดคู่มือการเรียนรู้แบบเอกสารและวิดีโอ

จากการเก็บข้อมูลเวลาของแต่ละการทดลองสามารถนำมาทำเป็นกราฟแสดงเวลาทั้งหมดได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยการเก็บข้อมูลเวลาของแต่ละการทดลอง

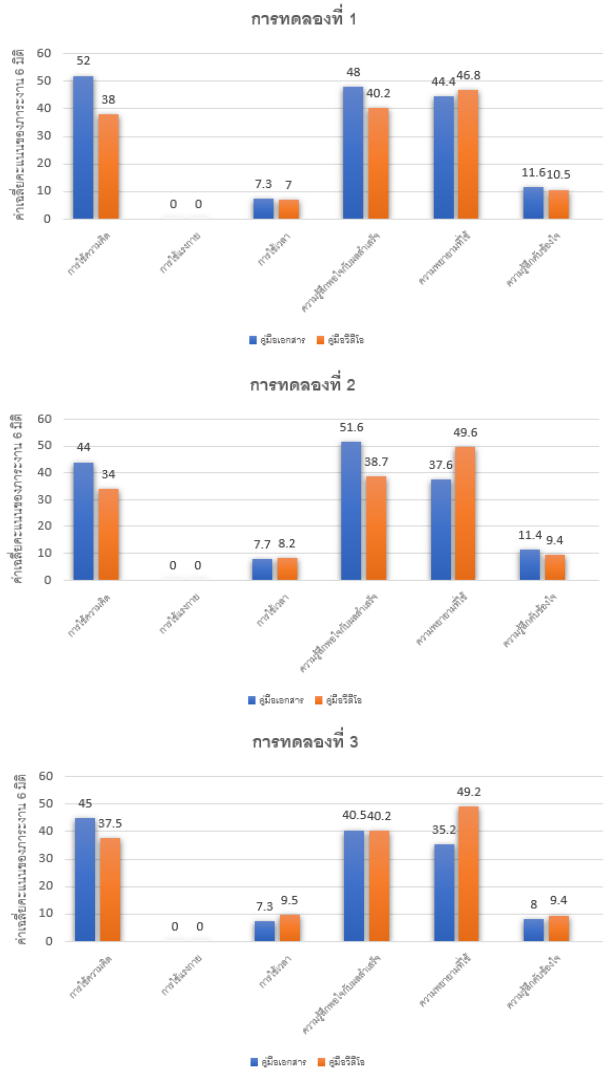
จากรูปที่ 7 ผลการทดลองเกี่ยวกับการใช้ชุดคู่มือการเรียนรู้ในรูปแบบเอกสารและวิดีโอ พบว่าการใช้วิดีโอช่วยลดระยะเวลาในการทำแบบทดสอบลงเมื่อเทียบกับการใช้เอกสารคู่มือ โดยในการทดลองที่ 1 ผู้ทดลองที่ใช้เอกสารคู่มือใช้เวลาเฉลี่ย 11.18 นาที ขณะที่ผู้ที่ใช้วิดีโอใช้เวลาเพียง 8.63 นาที ในการทดลองที่ 2 เวลาที่ใช้ลดลงเหลือ 7.31 นาที สำหรับเอกสารคู่มือ และ 4.64 นาทีสำหรับวิดีโอ และในการทดลองที่ 3 เวลาที่ใช้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เหลือเพียง 0.55 นาทีสำหรับเอกสารคู่มือ และ 0.43 นาทีสำหรับวิดีโอ

จากแนวโน้มดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า การใช้วิดีโอช่วยให้ผู้ทดลองสามารถทำความเข้าใจและปฏิบัติตามได้เร็วกว่าเอกสารคู่มือ สรุปได้ว่าวิดีโอเป็นสื่อที่มีประสิทธิภาพมากกว่าสำหรับการเรียนรู้และฝึกปฏิบัติเมื่อเปรียบเทียบกับเอกสารคู่มือ

4.2 ผลการเก็บข้อมูลจากแบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA-TLX

จากการเก็บข้อมูลจากแบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA-TLX สามารถเปรียบเทียบผลของภาระงานทั้ง 6 มิติ ได้แก่ ด้านที่ 1 การใช้

ความคิด (Mental Demand), ด้านที่ 2 การใช้แรงกาย (Physical Demand), ด้านที่ 3 การใช้เวลา (Temporal Demand), ด้านที่ 4 ความรู้สึกพอใจกับผลสำเร็จ (Performance), ด้านที่ 5 ความพยายามที่ใช้ (Effort) และด้านที่ 6 ความรู้สึกคับข้องใจ (Frustration) ของชุดการเรียนรู้ด้วยค่าเฉลี่ยคะแนนของแต่ละมิติ จากทั้ง 3 การทดลอง ระหว่างคู่มือเอกสารกับคู่มือวิดีโอ จะได้ผลสรุปดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยคะแนนของภาระงาน 6 มิติ ทั้ง 3 การทดลอง จากแบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX)

จากรูปที่ 8 ผลการทดลองเกี่ยวกับภาระงานที่เกิดขึ้นจากการใช้คู่มือเอกสารและคู่มือวิดีโอ พบว่าแต่ละรูปแบบมีผลต่อภาระงานที่แตกต่างกันไปในแต่ละการทดลอง

ในการทดลองที่ 1 การใช้คู่มือเอกสารส่งผลให้เกิดภาระงานสูงสุดในด้านการใช้ความคิด โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 52 คะแนน แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ต้องใช้กระบวนการคิดและการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก ขณะที่การใช้คู่มือวิดีโอพบว่าภาระงานที่เกิดขึ้นสูงสุดคือความพยายามที่ใช้ โดยมีคะแนนเฉลี่ย 46.8 คะแนน ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผู้ใช้ต้องใช้ความพยายามในการติดตามและทำความเข้าใจข้อมูลจากวิดีโอเป็นอย่างมาก

สำหรับการทดลองที่ 2 การใช้คู่มือเอกสารมีภาระงานสูงสุดในด้านความรู้สึกพอใจกับผลสำเร็จ โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 51.6 คะแนน ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าผู้ใช้สามารถเข้าใจเนื้อหาและดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่คู่มือวิดีโอทำให้เกิดภาระงานสูงสุดในด้านความพยายามที่ใช้ โดยมีคะแนนเฉลี่ย 49.6 คะแนน ซึ่งยังคงสะท้อนถึงความท้าทายในการทำความเข้าใจกระบวนการผ่านวิดีโอ

สุดท้ายในการทดลองที่ 3 การใช้คู่มือเอกสารทำให้เกิดภาระงานสูงสุดในด้านการใช้ความคิด โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 45 คะแนน ซึ่งยังคงเป็นแนวโน้มเดิมที่ผู้ใช้ต้องอาศัยการคิดวิเคราะห์เนื้อหา ขณะที่คู่มือวิดีโอส่งผลให้เกิดภาระงานสูงสุดในด้านความพยายามที่ใช้ โดยมีคะแนนเฉลี่ย 49.2 คะแนน

จากข้อมูลทั้งหมดนี้ สามารถสรุปได้ว่าการใช้คู่มือเอกสารมักทำให้ผู้ใช้เกิดภาระงานด้านการใช้ความคิดสูงกว่าการใช้คู่มือวิดีโอ ในขณะที่การใช้คู่มือวิดีโอทำให้ผู้ใช้ต้องใช้ความพยายามในการทำความเข้าใจมากกว่า ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะของสื่อที่แตกต่างกัน โดยคู่มือเอกสารต้องอาศัยการอ่านและทำความเข้าใจด้วยตนเอง ในขณะที่คู่มือวิดีโอต้องใช้ความพยายามในการติดตามและจดจำข้อมูลที่ได้รับ

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลการทดลองเกี่ยวกับสื่อการเรียนรู้ที่ใช้ในการศึกษาด้าน CAD และ CAM พบว่าการใช้คู่มือวิดีโอมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้คู่มือเอกสารในการเรียนรู้ เนื่องจากสามารถลดระยะเวลาที่ผู้เรียนใช้ในการทำแบบทดสอบได้อย่างมีนัยสำคัญ การทดลองแสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนที่ใช้วิดีโอสามารถเข้าใจเนื้อหาและทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องได้รวดเร็วกว่าผู้เรียนที่ใช้เอกสาร

นอกจากนี้ การศึกษาภาระงานทางจิตใจของผู้เรียนโดยใช้แบบประเมิน NASA-TLX พบว่า การใช้คู่มือเอกสารส่งผลให้ผู้เรียนต้องใช้กระบวนการคิดและการวิเคราะห์ข้อมูลมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดภาระงานทางจิตใจสูง ในขณะที่การใช้คู่มือวิดีโอช่วยลดภาระงานด้านการคิด แต่กลับเพิ่มภาระงานในด้านความพยายามที่ต้องใช้ในการติดตามเนื้อหาและจดจำข้อมูล

เมื่อพิจารณาผลการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า คู่มือวิดีโอเป็นสื่อการเรียนรู้ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ CAD และ CAM ได้ดีขึ้น เนื่องจากสามารถลดระยะเวลาในการทำความเข้าใจเนื้อหาได้อย่างไรก็ตาม คู่มือวิดีโอก็ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากต้องใช้ความพยายามสูงในการติดตามเนื้อหาและทำความเข้าใจขั้นตอนต่าง ๆ ทำให้การออกแบบวิดีโอให้มีโครงสร้างที่ชัดเจนและกระชับเป็นสิ่งสำคัญ

เพื่อให้การใช้สื่อการเรียนรู้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ควรมีการปรับปรุงการออกแบบคู่มือวิดีโอให้เหมาะสมกับผู้เรียน โดยอาจเพิ่ม

องค์ประกอบที่ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจได้ง่ายขึ้น เช่น การใช้ไฮไลต์ข้อความสำคัญ การแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนย่อยที่ชัดเจน หรือการเสริมเอกสารประกอบเพื่อช่วยลดภาระงานที่เกิดจากการพยายามจดจำข้อมูล

นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาต่อไปเกี่ยวกับปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของสื่อการเรียนรู้ เช่น ระดับความรู้พื้นฐานของผู้เรียน หรือรูปแบบการเรียนรู้ที่แตกต่างกันของแต่ละบุคคล เพื่อให้สามารถออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Zhang, Y., & Wang, L. (2022). Rapid prototyping technologies in modern product development: Reducing time-to-market with advanced manufacturing techniques. Journal of Cleaner Production, 345, 131174.

[2] Kim, J. H., Park, S. Y., Lee, J. W., & Choi, H. S. (2023). Applications of 3D prototyping technologies across multiple industries: A systematic review. Journal of Engineering Design, 34(2), 178-195

[3] ศิริวรรณ เสรีรัตน์, และคนอื่น ๆ. (2562). การพัฒนาสื่อดิจิทัลร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริมโดยอาศัยการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD ในรายวิชาคอมพิวเตอร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. วารสารโครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ, 5(2)

[4] โกษาพันธุ์ ป., & ไชยสิงห์ ภ. (2564). การพัฒนาสื่อการเรียนรู้แบบตอบสนองสำหรับเด็กปฐมวัยด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 11(2), 15–26

[5] Noyes, J. M., & Bruneau, D. P. J. (2007). A self-analysis of the NASA-TLX workload measure. Ergonomics, 50(4), 512-527

[6] Zhang, S., & Wang, Y. (2024). Intelligent exploration of environmental design: Combining CAD modeling and reinforcement learning technology. CAD Journal, 21(S23), 268-283.

[7] Chen, X., Xu, L., Wang, W., Li, X., Sun, Y., & Politis, C. (2016). Computer-aided design and manufacturing of surgical templates and their clinical applications: a review. Expert Review of Medical Devices, 13(9), 853–864

[8] Devos, H., Gustafson, K., Ahmadnezhad, P., & Liao, K. (2020). Psychometric properties of NASA-TLX and index of cognitive activity as measures of cognitive workload in older adults. Brain Sciences, 10(12), 994.

การพัฒนาและวิเคราะห์ชุดการเรียนรู้ของหุ่นยนต์สำหรับการหยิบจับวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ

Development and Analysis of a Learning Set for Robot Object Grasping Using Image Processing

ประจวบ กล่อมจิตร[1*], ชนิดา โต๊ะเงิน[1], มณฑิรา เผือกทอง[1], กิตติพงศ์ ศรีสวาท[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: klomjit_p@su.ac.th*

Prachuab Klomjit[1*], Chanida Thognoen[1], Monthira Phauktong[1], Kittipong Srisawat[1]
[1]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: klomjit_p@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาชุดการเรียนรู้เกี่ยวกับหุ่นยนต์สำหรับการหยิบจับวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ (Image Processing) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมหุ่นยนต์และลดภาระงานทางจิตใจของผู้ปฏิบัติงาน การทดลองแบ่งออกเป็นสองรูปแบบ ได้แก่ การควบคุมหุ่นยนต์ ABB IRB 120 ด้วยวิธี Manual และการควบคุมผ่านระบบ Image Processing โดยใช้กล้อง Vision Sensor Visor V10-S ผลการทดลองพบว่า ระบบ Image Processing ช่วยลดภาระงานทางจิตใจของผู้ควบคุมลงประมาณ 15.6% เมื่อเทียบกับวิธี Manual รวมถึงช่วยลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานเฉลี่ยลงประมาณ 2 นาทีต่อรอบ นอกจากนี้ ระบบยังช่วยให้หุ่นยนต์สามารถตรวจจับและกำหนดตำแหน่งของวัตถุได้อย่างแม่นยำโดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดจากมนุษย์และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต จากผลลัพธ์ที่ได้รับ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยี Image Processing มีศักยภาพสูงในการช่วยเพิ่มความแม่นยำ ลดภาระงาน และปรับปรุงประสิทธิภาพของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติในอนาคต

คำสำคัญ: หุ่นยนต์อุตสาหกรรม, การประมวลผลภาพ, การควบคุมหุ่นยนต์, เซ็นเซอร์การตรวจจับด้วยภาพ, ภาระงานทางจิตใจ

Abstract

This research focuses on developing a learning module about robotic object grasping using Image Processing to enhance robot control efficiency and reduce the operator's cognitive workload. The experiment was divided into two methods: manually controlling the ABB IRB 120 robot and controlling it through an Image Processing system using the Vision Sensor Visor V10-S camera. The results showed that the Image Processing system reduced the operator's cognitive workload by approximately 15.6% compared to the manual method. It also decreased the average operation time by about 2 minutes per cycle. Additionally, the system enabled the robot to detect and position objects accurately, reducing human errors and improving the efficiency of the production process. Based on these findings, this research demonstrates that Image Processing technology has significant potential to enhance accuracy, reduce workload, and improve the efficiency of industrial robots. It can be applied in the industrial sector to further develop automation technology in the future.

Keywords: Industrial robot, Image Processing, Robot control, Vision Sensor, Mental workload

1. บทนำ

ในปัจจุบันหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มผลผลิต ปรับปรุงคุณภาพ และยกระดับความปลอดภัยในภาคอุตสาหกรรม ความก้าวหน้าของปัญญาประดิษฐ์ (AI) เซ็นเซอร์ และระบบอัตโนมัติช่วยขับเคลื่อนศักยภาพของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม โดยเฉพาะในงานที่ต้องการความแม่นยำและความรวดเร็ว ซึ่งเดิมอาศัยแรงงานมนุษย์เป็นหลัก เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image Processing) ไม่ได้จำกัดอยู่แค่บนสมาร์ทโฟนหรือการรักษาความปลอดภัย แต่ยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ ลดข้อผิดพลาดจากแรงงานมนุษย์ และเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมเครื่องจักร [1] หรือในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรม กล้องสามารถช่วยระบุข้อบกพร่องของสินค้าได้แบบเรียลไทม์ จากความสำคัญของหุ่นยนต์และ Image Processing ในภาคอุตสาหกรรม ผู้วิจัยมีความสนใจในการพัฒนาและวิเคราะห์ชุดการเรียนรู้สำหรับหุ่นยนต์ที่สามารถหยิบจับวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือการพัฒนาแนวทางการเรียนรู้ของหุ่นยนต์ที่สามารถตรวจจับและหยิบจับวัตถุได้อย่างแม่นยำโดยอาศัยข้อมูลภาพ [2] รวมถึงการปรับปรุงความสามารถของหุ่นยนต์ให้สามารถจัดการกับวัตถุที่มีลักษณะต่างๆ [3] การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของหุ่นยนต์เพื่อให้สามารถแยกแยะรูปร่างของวัตถุ ซึ่งจะช่วยให้หุ่นยนต์สามารถวางแผนการหยิบจับได้อย่างมีประสิทธิภาพ การผสานเทคโนโลยีในกระบวนการเรียนรู้จะช่วยให้หุ่นยนต์สามารถปรับตัวกับสถานการณ์ใหม่ ๆ ได้ดีขึ้น ลดข้อผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในภาคอุตสาหกรรม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

หุ่นยนต์อุตสาหกรรมเป็นเครื่องจักรอัตโนมัติที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดภาระงานของมนุษย์ในสายการผลิตและอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ แนวคิดของหุ่นยนต์ในงานอุตสาหกรรมเริ่มต้นจากความต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดความผิดพลาดในการทำงาน และลดต้นทุนแรงงาน โดยเฉพาะในงานที่ต้องทำซ้ำ ๆ หรืองานที่มีความเสี่ยงสูง การศึกษาหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ ซึ่งในเชิงทฤษฎีมักพิจารณาหุ่นยนต์เป็นวัตถุชิ้นเดียวเพื่อให้สามารถวิเคราะห์และออกแบบการเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริง หุ่นยนต์ส่วนใหญ่มักประกอบขึ้นจากหลายชิ้นส่วนที่สามารถเคลื่อนที่สัมพันธ์กันได้ ส่งผลให้เกิดความซับซ้อนในการควบคุมและการเขียนโปรแกรมสั่งการ [4]

การเพิ่มประสิทธิภาพของแขนกลอุตสาหกรรมเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแขนกล 6 แกน โดยใช้เทคนิคการปรับแต่งเส้นทางการเคลื่อนที่แบบ Whale Optimization Algorithm (WOA), Genetic Algorithm (GA) และเทคนิคใหม่ที่เรียกว่า WGA ซึ่งสามารถช่วยลดเวลาการทำงานและเพิ่มความแม่นยำของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมได้อย่างมีนัยสำคัญ หุ่นยนต์อุตสาหกรรมสามารถจำแนกออกเป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ หุ่นยนต์เคลื่อนที่ และแขนกลอุตสาหกรรม หุ่นยนต์เคลื่อนที่มักถูกนำมาใช้ในการขนส่งสินค้าในคลังสินค้า การสำรวจพื้นที่อุตสาหกรรม หรือแม้แต่ในภารกิจพิเศษ เช่น การเก็บกู้วัตถุอันตราย ในขณะที่แขนกลอุตสาหกรรมถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในสายการผลิต เช่น การประกอบชิ้นส่วน การเชื่อมโลหะ หรือการบรรจุสินค้า ซึ่งสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว

ในยุคปัจจุบัน แขนกลอุตสาหกรรมไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่ในโรงงานเท่านั้น แต่ยังขยายบทบาทเข้าสู่ชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น หุ่นยนต์เหล่านี้ถูกพัฒนาให้สามารถทำงานในด้านการแพทย์ เช่น หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดที่สามารถทำหัตถการได้อย่างแม่นยำและลดความเสี่ยงจากความผิดพลาดของมนุษย์ นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น หุ่นยนต์ที่สามารถประกอบอาหารหรือเสิร์ฟอาหารในร้านอาหาร รวมถึงภาคการบริการอื่น ๆ ที่ต้องการระบบอัตโนมัติเพื่อช่วยลดภาระของแรงงานมนุษย์

อนาคตของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีแนวโน้มที่จะพัฒนาไปในทิศทางของหุ่นยนต์ที่สามารถทำงานร่วมกับมนุษย์ได้อย่างปลอดภัย (Collaborative Robots หรือ Cobots) หุ่นยนต์เหล่านี้ถูกออกแบบให้สามารถเรียนรู้และปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้นผ่านระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการประมวลผลข้อมูลขั้นสูง ซึ่งจะช่วยให้หุ่นยนต์สามารถทำงานร่วมกับมนุษย์ได้โดยไม่ต้องมีระบบป้องกันที่เข้มงวดเหมือนแขนกลอุตสาหกรรมแบบเดิม ซึ่งเป็นอีกหนึ่งตัวอย่างของการนำหุ่นยนต์มาประยุกต์ใช้ในการผลิตยุคใหม่
การพัฒนาเทคโนโลยีหุ่นยนต์ในปัจจุบันไม่เพียงแต่ช่วยยกระดับภาคอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์ในหลาย ๆ ด้าน หุ่นยนต์กลายเป็นส่วนหนึ่งของสังคมมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะพัฒนาไปในทิศทางที่สามารถทำงานได้อย่างเป็นอิสระมากขึ้น พร้อมทั้งสามารถปรับตัวให้เข้ากับการทำงานร่วมกับมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

2.2 แนวคิดการประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพเป็นกระบวนการที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์และปรับปรุงภาพ เพื่อนำไปใช้ในงานต่าง ๆ ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยมีเป้าหมายหลักคือการทำให้ภาพมีความชัดเจนมากขึ้น ลดสัญญาณรบกวน แยกวัตถุที่สนใจออกจากภาพ และนำข้อมูลจากภาพไปใช้วิเคราะห์ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางของวัตถุ กระบวนการประมวลผลภาพประกอบด้วยหลายขั้นตอน เช่น การปรับปรุงคุณภาพภาพ (Image Enhancement) เพื่อเพิ่มความคมชัดและปรับปรุงแสงสี การกรองสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) เพื่อลดสิ่งรบกวนที่อาจทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาด การแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) เพื่อตัดเฉพาะวัตถุที่สนใจ และการวิเคราะห์ภาพ

(Image Analysis) เพื่อคำนวณข้อมูลสำคัญ เช่น พื้นที่ เส้นรอบวง หรือทิศทางของวัตถุ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีการประมวลผลภาพได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในด้านการแพทย์และการเกษตร ตัวอย่างเช่น Ngugi และคณะได้ศึกษาการใช้เทคนิคประมวลผลภาพสำหรับการจดจำโรคและศัตรูพืชในใบพืชโดยใช้ภาพ RGB ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ปัญหาด้านเกษตรกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ [5] นอกจากนี้ ในด้านการแพทย์ Tournier และคณะได้พัฒนาแพลตฟอร์มซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า MRtrix3 ซึ่งเป็นเฟรมเวิร์กสำหรับการประมวลผลภาพทางการแพทย์ที่มีความรวดเร็วและยืดหยุ่นสูง โดยรองรับการวิเคราะห์ภาพสมองด้วยเทคนิคที่หลากหลายและสามารถปรับแต่งการใช้งานได้ตามความต้องการของนักวิจัยและแพทย์ [6] การประมวลผลภาพถูกนำมาใช้ในหลายสาขา เช่น การแพทย์ วิศวกรรม อุตสาหกรรม และปัญญาประดิษฐ์ โดยอาศัยพลังการคำนวณของคอมพิวเตอร์ที่สามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

2.3 การมองเห็นของหุ่นยนต์ (Robot Vision)

การมองเห็นของหุ่นยนต์ (Robot Vision) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้หุ่นยนต์สามารถรับรู้และเข้าใจสภาพแวดล้อมผ่านกล้องและเซนเซอร์ต่าง ๆ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากในงานอุตสาหกรรม การควบคุมคุณภาพ และระบบอัตโนมัติ กล้องที่ใช้ในงานร่วมกับหุ่นยนต์สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ กล้อง 2D และ กล้อง 3D โดยแต่ละประเภทมีลักษณะและการใช้งานที่แตกต่างกัน

กล้อง 2D เป็นกล้องที่ใช้สำหรับการประมวลผลภาพในระนาบสองมิติ ซึ่งหมายถึงการมองเห็นในแนวระนาบที่ประกอบไปด้วยความกว้างและความสูงของวัตถุเท่านั้น กล้องประเภทนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องตรวจสอบวัตถุที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันและไม่มีระดับความลึกที่แตกต่างกันมาก เช่น การตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุ การอ่านบาร์โค้ด การตรวจหาข้อบกพร่อง หรือการควบคุมคุณภาพในสายพานการผลิต ข้อดีของกล้อง 2D คือสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว และสามารถใช้เพื่อตรวจสอบชิ้นงานหลายจุดพร้อมกันในเวลาเดียวกัน
Tang และคณะศึกษาการใช้ระบบการมองเห็นด้วยกล้อง 2D และ 3D ในการตรวจจับและระบุตำแหน่งผลไม้สำหรับหุ่นยนต์เก็บเกี่ยว พบว่ากล้อง 2D สามารถใช้เพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของผลไม้ได้อย่างแม่นยำ แต่ยังมีข้อจำกัดเมื่อผลไม้อยู่ในตำแหน่งที่ซ้อนกัน [7]

กล้อง 3D เป็นกล้องที่สามารถตรวจจับรายละเอียดของวัตถุในเชิงลึกและความสูงได้ ซึ่งทำให้หุ่นยนต์สามารถมองเห็นและเข้าใจรูปร่างของวัตถุในลักษณะสามมิติ กล้องประเภทนี้เหมาะสำหรับการตรวจสอบชิ้นงานที่มีระดับความสูงต่างกันหรือมีรูปร่างซับซ้อน เช่น การหยิบจับชิ้นงานที่กระจัดกระจาย การตรวจสอบรูปร่างและขนาดของวัตถุ หรือการใช้ในระบบที่ต้องการความแม่นยำสูงในการกำหนดตำแหน่งของวัตถุ Wang และคณะได้ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้กล้อง 3D ในการนำทางของหุ่นยนต์ในภาคเกษตรกรรม และพบว่ากล้อง 3D สามารถช่วยให้หุ่นยนต์ระบุตำแหน่งของผลไม้หรือพืชได้อย่างแม่นยำมากขึ้น โดยลดข้อผิดพลาดจากการซ้อนทับของวัตถุในฉากเดียวกัน [8]

โดยรวมแล้ว กล้อง 2D เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความเร็วและอยู่ในระนาบเดียวกัน ส่วน กล้อง 3D จะช่วยให้หุ่นยนต์สามารถรับรู้ความลึกและรูปร่างของวัตถุได้อย่างละเอียดมากขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการทำงานของหุ่นยนต์ให้สูงขึ้น

2.4 แนวคิดการออกแบบสื่อการเรียนรู้

แนวคิดการออกแบบสื่อการเรียนรู้ เป็นกระบวนการวางแผนและพัฒนาสื่อเพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอน โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาได้ง่าย เกิดการจดจำและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง สื่อการเรียนรู้ที่ดีต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ เหมาะสมกับผู้เรียน และช่วยส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบสื่อการเรียนรู้ต้องพิจารณาจากแนวคิดทางการศึกษาหลายประการ โดยเฉพาะแนวคิดทางทฤษฎีการเรียนรู้ เช่น ทฤษฎีพฤติกรรมนิยม ซึ่งเน้นการกระตุ้นและเสริมแรงผ่านสิ่งเร้าจากภายนอก เช่น แบบฝึกหัดที่ให้รางวัลเมื่อผู้เรียนทำได้ถูกต้อง หรือทฤษฎีพุทธินิยม ซึ่งให้ความสำคัญกับกระบวนการคิด ความเข้าใจ และการจัดระบบของข้อมูล โดยมักใช้สื่อที่ช่วยให้ผู้เรียนมองเห็นภาพรวมของเนื้อหา เช่น แผนผังความคิดหรือสื่อภาพประกอบ ขณะที่ทฤษฎีสร้างสรรค์นิยมเน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการสร้างองค์ความรู้จากประสบการณ์ตรง ผ่านกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้เรียนรู้ด้วยตนเอง

นอกจากแนวคิดทางการเรียนรู้แล้ว การออกแบบสื่อยังต้องพิจารณาด้านการนำเสนอ เช่น การใช้สื่อหลายรูปแบบร่วมกัน (Multimedia) ที่ประกอบด้วยข้อความ เสียง ภาพเคลื่อนไหว และองค์ประกอบอินเทอร์แอคทีฟ เพื่อกระตุ้นความสนใจและส่งเสริมการเข้าใจเนื้อหาอย่างลึกซึ้ง อีกทั้งยังมีแนวคิดเรื่องการออกแบบเพื่อทุกคน (Universal Design for Learning) ซึ่งคำนึงถึงความแตกต่างของผู้เรียน เช่น การใช้ตัวอักษรขนาดใหญ่ สีที่ชัดเจน หรือคำบรรยายใต้ภาพ เพื่อให้ผู้เรียนที่มีข้อจำกัดสามารถเข้าถึงสื่อได้อย่างเท่าเทียม นอกจากนี้ยังมีแนวคิดการออกแบบโดยเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ซึ่งให้ความสำคัญกับความสนใจ ความสามารถ และลักษณะเฉพาะของผู้เรียน โดยเน้นให้ผู้เรียนได้เลือกวิธีเรียนรู้ตามแบบของตนเองมากกว่าการเรียนแบบตายตัว

การออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพควรเริ่มต้นจากการวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมาย วัตถุประสงค์การเรียนรู้ และบริบทการใช้งาน เพื่อให้สามารถกำหนดเนื้อหา รูปแบบ และเทคนิคการนำเสนอที่เหมาะสม สื่อควรมีความชัดเจน กระชับ น่าสนใจ และช่วยให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ เช่น การออกแบบคำถามเพื่อกระตุ้นการคิด การใช้ภาพหรือกราฟิกที่ช่วยอธิบายเนื้อหาได้ชัดเจน และการใช้กิจกรรมเสริมที่สอดคล้องกับเนื้อหาหลัก รูปแบบของสื่อที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ แผ่นพับหรือโปสเตอร์ (Infographic) ที่ช่วยสรุปข้อมูลให้เข้าใจง่าย สื่อ

วิดีโอที่แสดงขั้นตอนหรือกระบวนการอย่างชัดเจน สื่ออินเทอร์แอคทีฟที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดลอง หรือแม้กระทั่งเกมการเรียนรู้ที่ช่วยสร้างแรงจูงใจ นอกจากนี้เทคโนโลยีเสมือนจริง (VR/AR) ก็เป็นอีกทางเลือกที่ทันสมัยและสามารถสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่สมจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5 แนวคิดแบบประเมินภาระงาน NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความพยายามทางจิต (Mental Workload) ที่พัฒนาโดย Human Performance Group ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินความต้องการในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับความต้องการทางจิตใจ และความต้องการที่เชื่อมโยงกับความพยายามทางจิตที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานใดๆ โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อภาระงานด้านจิตใจของบุคคลมี และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการวินิจฉัยถึงสาเหตุของภาระงานที่ต่างกันได้ด้วย [9] การประเมินออกเป็น 6 ด้าน คือ

1) การใช้ความคิด (Mental Demand) ระดับความรู้สึกของกิจกรรมต่างๆ ภายในจิตใจ รวมถึงกระบวนการรับรู้ เช่น การคิด, การจำ, การตัดสินใจ, การคำนวณ, การมองหรือค้นหา ฯ

2) การใช้แรงกาย (Physical Demand) ระดับความรู้สึกของความจำเป็นในการใช้แรงกาย เช่น การผลัก, การดึง, การควบคุม

3) การใช้เวลา (Temporal Demand) ระดับความรู้สึกกดดันด้านเวลา ทั้งจากตัวงานและ องค์ประกอบอื่น

4) ความรู้สึกพอใจกับผลสำเร็จ (Performance) ระดับความรู้สึกพึงพอใจในความสามารถ ของตนเอง, ทำงานบรรลุเป้าหมาย

5) ความพยายามที่ใช้ (Effort) ระดับความรู้สึกพยายามทั้งด้านร่างกายและจิตใจในการ ทำงานให้สำเร็จ

6) ความรู้สึกคับข้องใจ (Frustration) ระดับความรู้สึกคับข้องใจที่เกิดในช่วงเวลาการ ทำงาน เช่น รู้สึกไม่ปลอดภัย, เครียด, ท้อแท้, หงุดหงิด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภูเบศร์ พิพิธหิรัญการ , ธีรวัฒน์ สัตตะโส , วิภาพร บุญหล้า และวีรศักดิ์ วิริยนามชัย (2564) ศึกษาเรื่องการออกแบบและสร้างแขนกลเก็บผลมะเขือเทศแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการประมวลผลภาพ และหาประสิทธิภาพการทำงานของแขนกลที่สร้างขึ้น ออกแบบแขนกลเป็นแบบ SCARA Robot Arm มี 4 องศาอิสระ (PPRR) ประกอบด้วยท่อนแขน 2 ท่อน ข้อต่อ มือจับ ใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์เคลื่อนแขนกลในแนวดิ่ง (แกน z) แนวราบ (แกน x) และเคลื่อนแขนทั้ง 2 ท่อนแบบเชิงมุม แขนกลติดตั้งกล้อง 2 ตัว กล้องตัวที่ 1 จับภาพระยะไกลเพื่อนำไปประมวลผลภาพหาตำแหน่งของผลมะเขือเทศ กล้องตัวที่ 2 และเซนเซอร์อินฟาเรดตรวจวัดระยะห่างระหว่างแขนกล มือจับ และผลมะเขือเทศ

มณีนุช นาถาดทอง และนิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์ (2563) ศึกษาเรื่องการสร้างเครื่องมือที่ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและการใช้โปรแกรมเอ็นไอวิชัน เพื่อช่วยเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ จำแนกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือที่ผ่านการ ถอดประกอบ โดยที่การจัดกลุ่มจำแนกออกเป็น 7 กลุ่ม โดยทำวิจัยการจำแนกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ มีจุดประสงค์ ที่จะประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพจากโปรแกรมเอ็นไอวิชัน มีการใช้เทคนิคในการจำแนก 3 เทคนิค ประกอบด้วย 1) เทคนิคการแพตเทิร์นแมทชิง 2) เทคนิคการนับจำนวนพิกเซล และ 3) เทคนิคการอ่านบาร์โค้ด จากผลที่ได้จากการทดสอบการใช้เทคนิคนี้ในการจำแนก การจำแนก ชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ 99.29% และสามารถลดเวลาการทำงานได้ถึง 70.90% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้ผู้ปฏิบัติงานทำงาน

Parmar, D., Rajak, S., Patil, S., & Satpute, R. (2024) กล่าวว่าการขยายตัวของอุตสาหกรรมในปัจจุบันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ซึ่งการประมวลผลภาพมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์และระบบฝังตัว โดยปกติแล้ว การคัดแยกวัตถุเป็นงานที่ต้องใช้แรงงานมนุษย์ ซึ่งต้องใช้ทั้งเวลาและความพยายามเป็นอย่างมาก แต่ด้วยการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับเซ็นเซอร์ที่เหมาะสม ทำให้สามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้แขนกลสามารถนำมาใช้ในการคัดแยกวัตถุต่างๆ ได้โดยอัตโนมัติ วิธีนี้ช่วยลดภาระของมนุษย์และช่วยให้สินค้าสามารถเข้าสู่ตลาดได้เร็วขึ้น โมเดลที่นำเสนอประกอบด้วย ระบบสายพานลำเลียง ระบบตรวจจับและจดจำวัตถุ รวมถึงการจัดวางวัตถุในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ภาพที่ได้รับจะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลเกี่ยวกับพื้นผิวและสีของวัตถุ เมื่อประมวลผลเสร็จสิ้น แขนกลจะถูกควบคุมให้นำวัตถุไปวางในตำแหน่งที่กำหนด ในกรณีที่ภาพที่จับได้ไม่ตรงกับวัตถุที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ระบบจะสั่งให้สายพานลำเลียงทำงานต่อไปจนกว่าวัตถุจะถูกเคลื่อนย้ายไปยังจุดสิ้นสุดของระบบลำเลียง โมเดลนี้ใช้ Arduino เป็นตัวประมวลผลภาพที่จับได้ เพื่อควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด

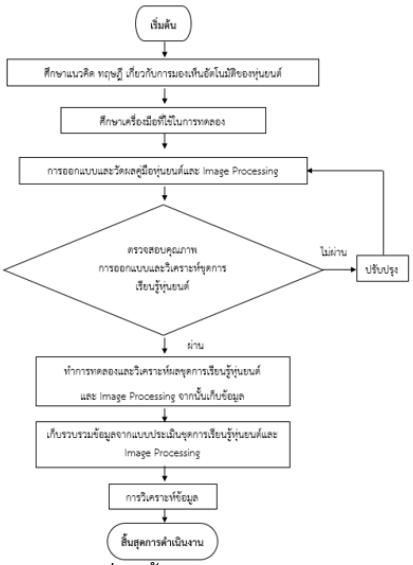
Yu, H., Krarup Møller, V., Frandsen, R. J. N., & Mansourvar, M. (2023) กล่าวว่าในยุคเทคโนโลยีสมัยใหม่ การประมวลผลภาพ มีบทบาทสำคัญในฐานะเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและขาดไม่ได้ในหลากหลายอุตสาหกรรม ธุรกิจ ระบบตรวจสอบ และแอปพลิเคชันต่างๆ การศึกษานี้มุ่งเน้นการใช้ เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรม Opentrons เพื่อควบคุมคุณภาพระหว่างกระบวนการผลิต โดยอาศัย โมเดล YOLOv5 เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถจำแนกประเภทของปลายปิเปต ระบุของเหลวตามสี และ วัดระดับของเหลวเพื่อคำนวณปริมาณในแต่ละปลายปิเปต ได้อย่างแม่นยำ ผลลัพธ์จากการตรวจจับเหล่านี้จะถูกใช้เป็นแนวทางในการควบคุมหุ่นยนต์ที่ตั้งโปรแกรมได้ เพื่อให้สามารถดำเนินการกับปลายปิเปตได้

ตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า บทความนี้นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับ ระเบียบวิธี การดำเนินงาน และ การประเมินผล ของระบบควบคุมหุ่นยนต์ที่พัฒนา พร้อมทั้งเน้นย้ำถึงศักยภาพของระบบในการเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำอย่างมากในสภาพแวดล้อมห้องปฏิบัติการ

3. การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้เครื่องมือหลักในการทดลอง ได้แก่ หุ่นยนต์ ABB รุ่น IRB 120 ซึ่งเป็นหุ่นยนต์แขนกลที่ใช้สำหรับการทดลองเกี่ยวกับการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของ, โปรแกรม VISOR Vision Sensor ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพและวิเคราะห์การเคลื่อนไหว, ชุดการเรียนรู้เกี่ยวกับหุ่นยนต์และ Image Processing เพื่อใช้เป็นสื่อในการศึกษาและพัฒนาโมเดลการวิเคราะห์ภาพ, และแบบประเมินภาระงานทางจิตใจ (NASA-TLX) ซึ่งใช้ในการประเมินความเครียดและภาระงานทางจิตใจของผู้เข้าร่วมการทดลอง กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จำนวน 20 คน และมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังรูปที่ 1



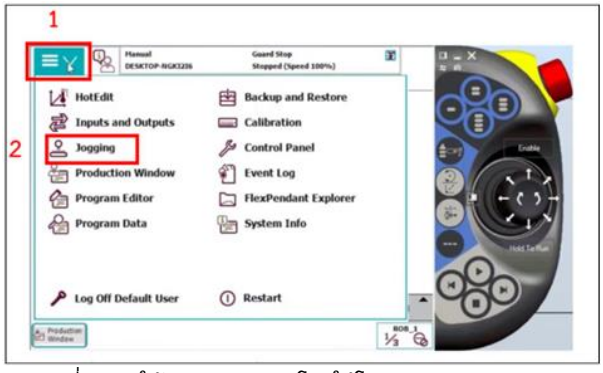
รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 ระเบียบและวิธีที่ใช้ในการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาการพัฒนาชุดการเรียนรู้เกี่ยวกับหุ่นยนต์สำหรับการหยิบจับวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ ซึ่งในกระบวนการทดลองมีการออกแบบการทดลองทั้งหมด 2 การทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

การทดลองที่ 1 เป็นการควบคุมหุ่นยนต์ ABB รุ่น IRB 120 ด้วยวิธี Manual Jogging เพื่อหยิบจับชิ้นงาน โดยใช้ชุดการเรียนรู้ในการทดลองการหยิบจับและการตอบสนองของหุ่นยนต์ ประเภท Articulated ABB รุ่น IRB 120 โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติการทำงาน 3 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 ในการทดลองนี้ได้มีการเลือกใช้โหมด Jogging เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในลักษณะแมนนวล โดยเป็นการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของแขนกล ตามแนวระนาบของระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ได้แก่ แกน X, แกน Y และแกน Z ซึ่งช่วยให้สามารถควบคุมตำแหน่งของหุ่นยนต์ได้อย่างแม่นยำและตรงตามที่ต้องการ โดยใช้โหมด Jogging สำหรับขั้นตอนการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ในแต่ละทิศทาง ดังรูปที่ 2



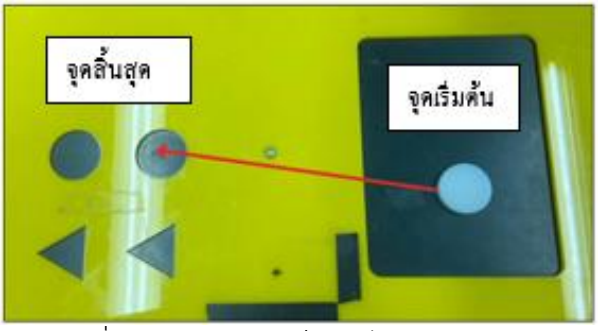
รูปที่ 2 การใช้ Flex pendant โดยใช้โหมด Manual Jogging

ขั้นตอนที่ 2 การใช้ Flex Pendant ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในรูปแบบ Manual Jogging ช่วยให้สามารถกำหนดทิศทางและตำแหน่งของหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วิธี Manual Jogging เพื่อหยิบจับชิ้นงาน

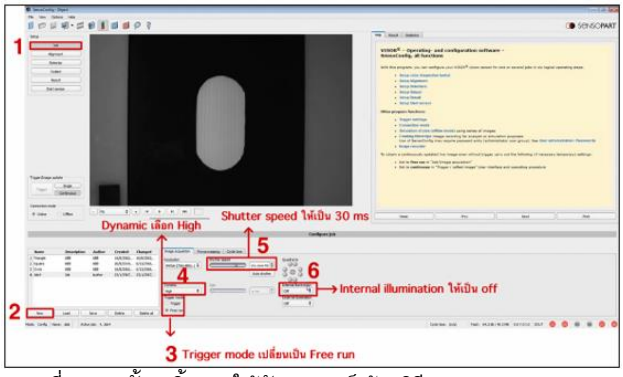
ขั้นตอนที่ 3 ให้ผู้ทดลองเริ่มทำการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งของวัตถุเพื่อหยิบจับในจุดเริ่มต้นและทำการเคลื่อนที่วัตถุไปไว้ในจุดสิ้นสุด ผ่านรูปแบบ Manual Jogging ที่กำหนด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การควบคุมหุ่นยนต์ ด้วยวิธี Manual Jogging

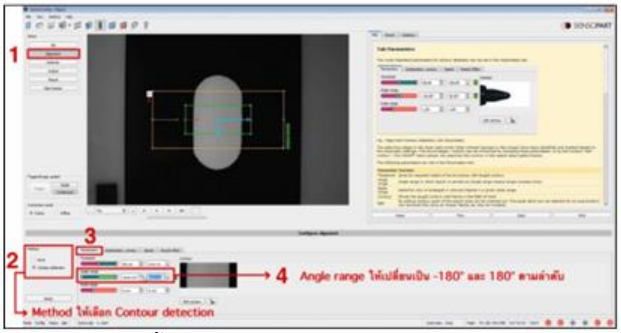
การทดลองที่ 2 เป็นการควบคุมหุ่นยนต์ ABB ผ่านระบบ Image Processing วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบประมวลผลภาพในการช่วยให้หุ่นยนต์สามารถหยิบจับชิ้นงาน เปรียบเทียบกับรูปแบบ Manual โดยใช้อุปกรณ์กล้องและโปรแกรม Vision Visor Sensor V10-S ควบคู่กับหุ่นยนต์ ประเภท Articulated ABB IRB 120 โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติการทำงาน 3 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การตั้งค่าชิ้นงานที่ต้องการให้หุ่นยนต์สามารถรับรู้ชิ้นงานผ่านโปรแกรม Vision Visor Sensor มีทั้งหมด 6 ขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ 1) การเพิ่มความจำชิ้นงานใหม่ เพื่อให้ระบบสามารถจดจำรูปแบบของชิ้นงานได้ 2) การสร้างไฟล์ชิ้นงานใหม่ สำหรับจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานนั้น 3) การตั้งค่า Trigger mode เพื่อกำหนดลักษณะการรับสัญญาณเริ่มต้นการตรวจจับ 4) การตั้งค่า Dynamic ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปรับความไวในการตรวจจับ 5) การตั้งค่า Shutter speed หน่วยเป็นมิลลิวินาที เพื่อควบคุมเวลาเปิดรับแสงของกล้อง และ 6) การตั้งค่า Internal illumination เพื่อควบคุมแสงภายในให้เหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงานและสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อให้การรับรู้ชิ้นงานของหุ่นยนต์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังรูปที่ 5



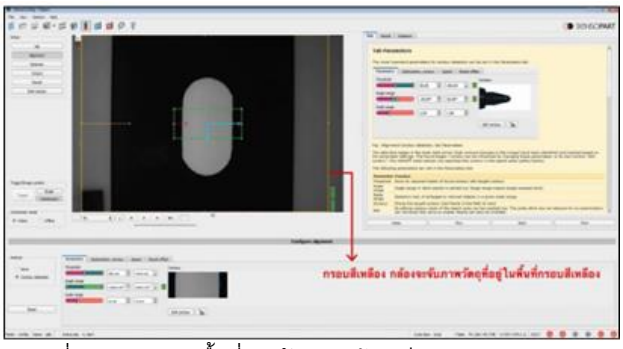
รูปที่ 5 การตั้งค่าชิ้นงานให้กับหุ่นยนต์ ด้วยวิธี Image Processing

ขั้นตอนที่ 2 การตั้งค่าการจัดตำแหน่งเริ่มจากขั้นตอน Alignment โดยใช้วิธี Contour detection เพื่อระบุตำแหน่งขอบของชิ้นงานอย่างแม่นยำ จากนั้นกำหนดค่า Angle range เพื่อวิเคราะห์ทิศทางการเอียงหรือหมุนของชิ้นงาน ช่วยให้ระบบประมวลผลตำแหน่งได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 6



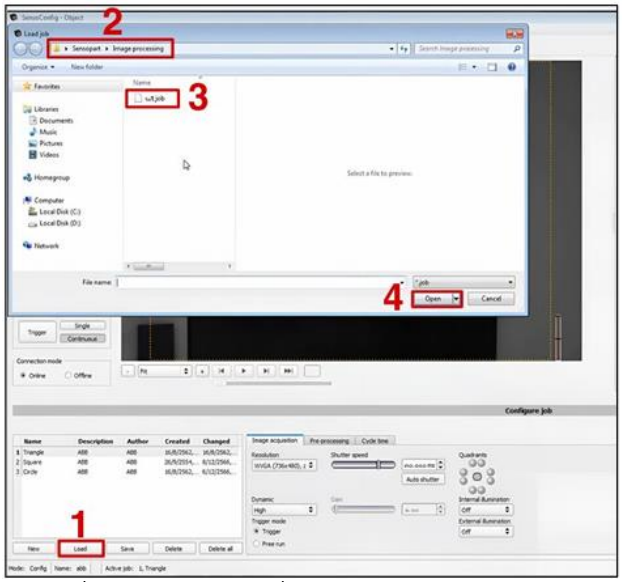
รูปที่ 6 การตั้งค่าการจัดตำแหน่ง ด้วยวิธี Image Processing

หลังจากนั้นให้ทำการกำหนดพื้นที่ของการจับภาพและวาง โดยกรอบสีเหลืองจะเป็นการสร้างพื้นที่ให้กับการจับภาพของชิ้นงานที่อยู่ภายในกรอบและวางในจุดที่เราต้องการให้วาง และบันทึกการทำงาน ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การกำหนดพื้นที่การจับภาพ ด้วยวิธี Image Processing

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากที่ระบบได้ทำการประมวลผลภาพชิ้นงานเสร็จสิ้นแล้ว ให้เริ่มจากการโหลดไฟล์ที่ได้ทำการบันทึกไว้ก่อนหน้านี้ โดยเข้าไปยังตำแหน่งที่จัดเก็บไฟล์ดังกล่าว จากนั้นเลือกไฟล์ที่ถูกสร้างขึ้นในขั้นตอนการประมวลผลภาพ เมื่อเลือกไฟล์เรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม “Open” หรือ “Upload” เพื่ออัปโหลดไฟล์เข้าสู่ระบบของหุ่นยนต์ เมื่อการโหลดไฟล์สำเร็จ หุ่นยนต์จะสามารถมองเห็นและรับรู้ตำแหน่งของวัตถุได้โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การอัปโหลดไฟล์เพื่อให้หุ่นยนต์รับรู้ตำแหน่งของวัตถุ

ในส่วนท้าย เป็นการนำโปรแกรมเส้นทางและไฟล์ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการดังกล่าว โหลดเข้าสู่ Flex Pendant เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถตรวจจับและมองเห็นวัตถุได้โดยอัตโนมัติ โดยการเข้า Program Editor บน Flex pendant แล้วเลือก Module ที่ได้สร้างหรืออัปโหลดไว้ แล้วทำการ Run หรือเริ่มดำเนินการอัตโนมัติ ดังรูปที่ 9

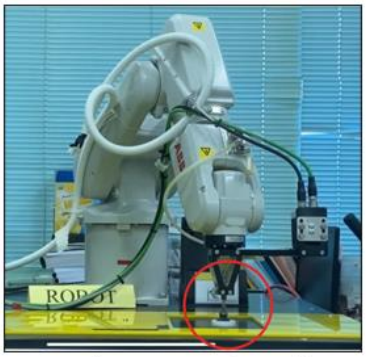


รูปที่ 9 การนำโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นเข้าไปยัง Flex pendant

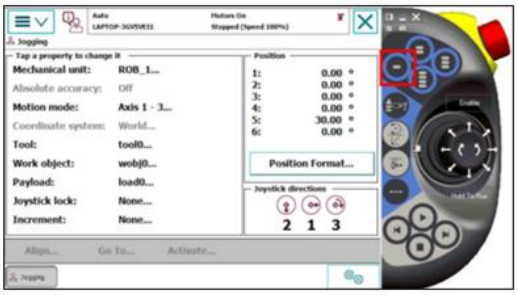
3.3 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชุดการเรียนรู้หุ่นยนต์และการประมวลผลภาพ (Image Processing) โดยใช้คู่มือที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อให้กลุ่มตัวอย่างทำการฝึกฝนและทดสอบทักษะต่าง ๆ โดยการทดลองจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ซึ่งดำเนินการกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน โดยในระหว่างการทดลองนี้จะมีการฝึกอบรมและทดสอบตามขั้นตอนที่กำหนด และจะมีการบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น เวลาที่ใช้ในการทำแต่ละการทดลอง เพื่อให้ทุกคนได้รับประสบการณ์ที่คล้ายคลึงกัน ในการทดลอง กลุ่มตัวอย่างจะได้รับชุดการเรียนรู้ที่พัฒนาไว้ ซึ่งประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด 2 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองจะเน้นไปที่การเรียนรู้เกี่ยวกับหุ่นยนต์และการประมวลผลภาพ ผู้ทดลองจะทำตามคู่มือและใช้เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในแต่ละการทดลอง โดยให้ผู้ทดลองเริ่มทำการทดองในส่วนของชุดที่ 1 เป็นการทดลองที่ 1 ดังรูปที่ 5

7) กดปุ่ม Joystick เพื่อควบคุมทิศทางหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปอย่างช้า ๆ จนลงมาสัมผัสกับชิ้นงาน ดังภาพ



8) เมื่อเคลื่อนที่หุ่นยนต์จนสัมผัสกับชิ้นงานแล้ว ให้กดปุ่ม – เพื่อทำการดูดชิ้นงาน ดังภาพ

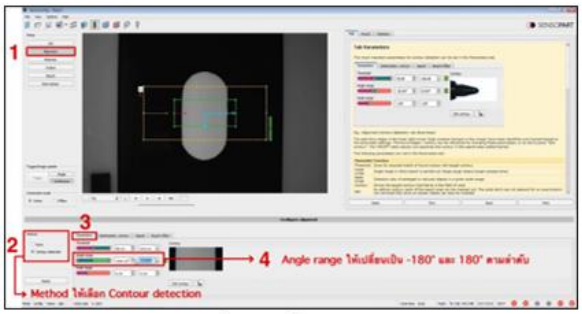


ภาพที่ จ-10 การกดปุ่ม Programable key เพื่อดูดชิ้นงาน

รูปที่ 10 ตัวอย่างชุดการทดลองที่ 1 (Manual)

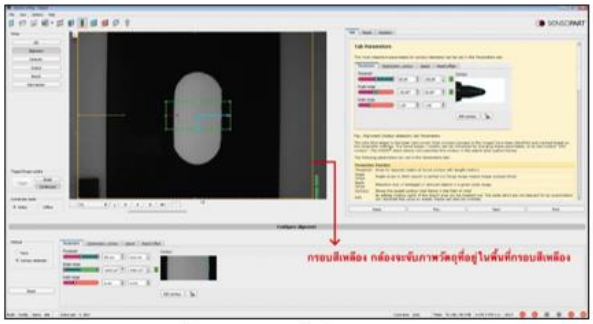
และเมื่อเสร็จสิ้นจากการทดลองที่ 1 ให้ผู้ทดลองทำต่อในชุดที่ 2 เป็นการทดลองที่ 2 ดังรูปที่ 11

5) การตั้งค่า Alignment



ภาพที่ จ-18 การตั้งค่า Alignment

6) ลากกรอบสีเหลืองให้ครอบพื้นที่ที่ต้องการจะตรวจจับภาพ



ภาพที่ จ-19 การกำหนดพื้นที่ของการจับภาพ

รูปที่ 11 ตัวอย่างชุดการทดลองที่ 2 (Image Processing)

ในระหว่างการทดลอง ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น เวลาที่ใช้ในการทำแต่ละการทดลองจะถูกบันทึกเพื่อนำไปวิเคราะห์ หลังจากที่ผู้ทดลองทำการทดลองทั้งสองเสร็จสิ้น ผู้ทดลองจะต้องทำแบบประเมิน NASA Task Load Index (NASA-TLX) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินภาระงานทางด้านจิตใจและร่างกายที่เกิดขึ้นจากการใช้ชุดการเรียนรู้ ทั้งนี้ ข้อมูลจากแบบประเมินและเวลาที่ใช้ในการทำแต่ละการทดลองจะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของชุดการเรียนรู้

4. ผลการทดลอง

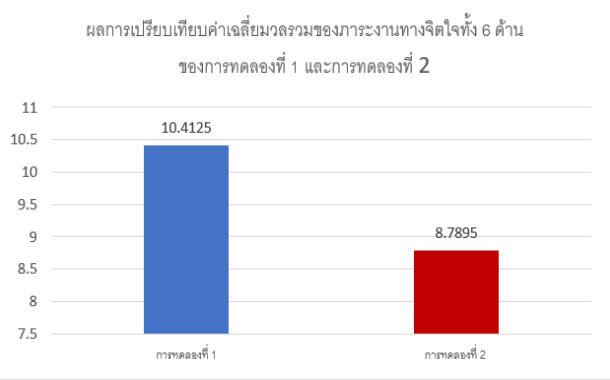
4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA TASK LOAD INDEX

ผลการเปรียบเทียบมวลรวมภาระงานทั้ง 6 มิติ ด้วยคะแนนรวมสุทธิที่ผ่านการถ่วงน้ำหนัก ของแต่ละชุดการทดลองโดยการเปรียบเทียบการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ว่าการทดลองทั้งสองมีภาระงานทางจิตใจแตกต่างกันอย่างไร (ข้อมูลหน่วยเป็นนาที)

ตารางที่ 1 ตารางคะแนนรวมสุทธิที่ผ่านการถ่วงน้ำหนักของการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2

คนที่	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2
1	10.60	9.40
2	11.07	8.73
3	9.27	8.93
4	11.00	9.53
5	10.33	9.87
6	9.93	9.87
7	10.33	7.40
8	10.80	9.53
9	9.60	8.07
10	11.00	9.00
11	9.33	8.73
12	10.47	9.47
13	9.53	8.53
14	12.60	9.00
15	10.13	9.07
16	10.47	8.40
17	9.53	7.53
18	9.73	7.60
19	11.93	9.53
20	10.60	7.60
ค่าเฉลี่ย	10.4125	8.7895

จากตารางนำข้อมูลค่าเฉลี่ยที่ได้มาทำกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการเปรียบเทียบมวลรวมภาระงานทั้ง 6 มิติ ด้วยคะแนนรวมสุทธิที่ผ่านการถ่วงน้ำหนัก ได้ดังรูปที่ 9



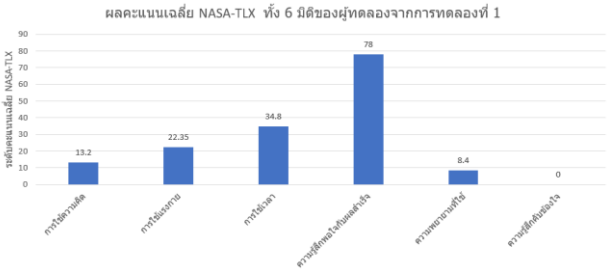
รูปที่ 9 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมวลรวมของภาระงานทางจิตใจทั้ง 6 ด้าน ของการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2

จากรูป สามารถสรุปได้ว่า การทดลองที่ 1 เป็นการควบคุมหุ่นยนต์ ABB รุ่น IRB 120 ด้วยวิธี Manual โดยผู้ควบคุมต้องใช้มือสั่งการหุ่นยนต์โดยตรงเพื่อหยิบจับและเคลื่อนย้ายชิ้นงาน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่ามีค่าเฉลี่ยของภาระงานทางจิตใจมีค่าอยู่ที่ 10.4125 นั่นหมายความว่าผู้ควบคุมต้องใช้สมาธิ ความคิด และความพยายามในการควบคุมหุ่นยนต์ในระดับที่สูง ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่ต้องมีการประเมินตำแหน่งของชิ้นงาน การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อย่างแม่นยำ รวมถึงต้องมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน

การทดลองที่ 2 เป็นการควบคุมหุ่นยนต์ ABB ผ่านระบบ Image Processing ซึ่งเป็นระบบที่ช่วยให้หุ่นยนต์สามารถประมวลผลภาพและตรวจจับตำแหน่งของชิ้นงานได้โดยอัตโนมัติ สามารถทำให้ผู้ควบคุมไม่จำเป็นต้องสั่งการหุ่นยนต์ด้วยตนเองในทุกขั้นตอน และผลการวิเคราะห์พบว่าค่าเฉลี่ยของภาระงานทางจิตใจลดลงเหลือค่าเพียง 8.7895 ซึ่งต่ำกว่าการควบคุมด้วยวิธี Manual

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของทั้งสองการทดลองมาเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่าการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบ Image Processing ช่วยลดภาระงานทางจิตใจของผู้ควบคุมได้ประมาณ 15.6% เมื่อเทียบกับการควบคุมด้วยวิธี Manual โดยตรง ซึ่งแสดงให้เห็นถึง ประสิทธิภาพของระบบประมวลผลภาพ ที่สามารถช่วยลดภาระทางจิตใจ ความเครียด และความเหนื่อยล้าทางสมองของผู้ปฏิบัติงานได้

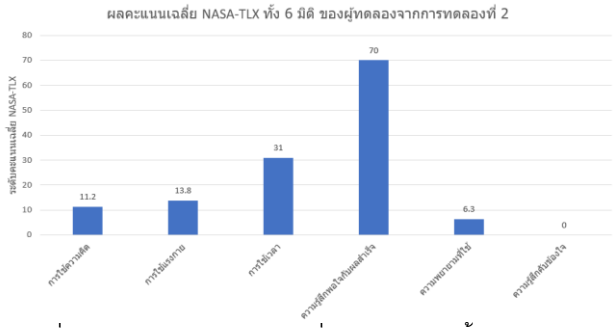
และเมื่อนำการทดลองทั้ง 2 มาแยกพิจารณาภาระงานทั้ง 6 มิติ จะได้การสรุปการทดลองที่ 1 ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟแสดงผลคะแนนเฉลี่ย NASA-TLX ทั้ง 6 มิติ ของผู้ทดลองจากการทดลองที่ 1

จากรูปที่ 10 จากผลการประเมินภาระงานตามแบบสอบถาม NASA-TLX ในการทดลองครั้งที่ 1 พบว่า ผู้ทดลองมีความพึงพอใจในผลลัพธ์มากที่สุด (คะแนนเฉลี่ย 78) ขณะที่ภาระด้านเวลาอยู่ในระดับปานกลาง (คะแนนเฉลี่ย 34.8) และการใช้แรงกาย (คะแนนเฉลี่ย 22.35) กับการใช้ความคิด (คะแนนเฉลี่ย 13.2) อยู่ในระดับต่ำ ความพยายามที่ใช้มีเพียงเล็กน้อย (คะแนนเฉลี่ย 8.4) และไม่มีผู้ทดลองรายใดรู้สึกไม่พึงพอใจ (คะแนนเฉลี่ย 0 คะแนน) แสดงให้เห็นว่าภาระงานโดยรวมอยู่ในระดับต่ำ และผู้ทดลองมีทัศนคติที่ดีต่อการทำงานในครั้งนี้

จากนั้นนำการทดลองที่ 2 มาแยกพิจารณาภาระงานทั้ง 6 มิติ จะได้การสรุปการทดลองที่ 2 ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 กราฟแสดงผลคะแนนเฉลี่ย NASA-TLX ทั้ง 6 มิติ ของผู้ทดลองจากการทดลองที่ 2

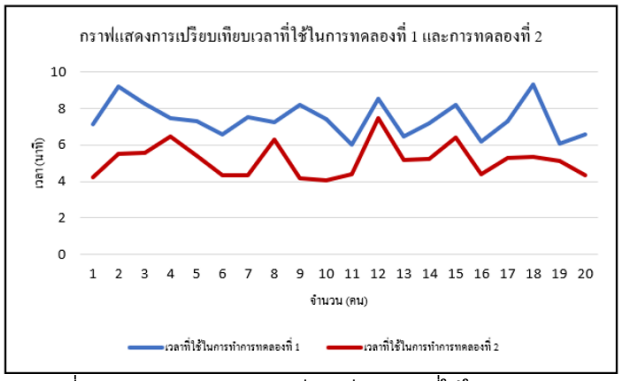
จากรูปที่ 11 จากผลคะแนนเฉลี่ย NASA-TLX ของผู้เข้าร่วมการทดลองครั้งที่ 2 พบว่า ผู้ทดลองรู้สึกพอใจกับผลสำเร็จมากที่สุด มีคะแนนเฉลี่ยสูงถึง 70 คะแนน รองลงมาคือ ภาระงานด้านเวลาที่มีคะแนนเฉลี่ย 31 คะแนน ขณะที่ด้านร่างกาย, ความคิด, และ ความพยายามที่ใช้ มีคะแนนต่ำตามลำดับ แสดงถึงภารกิจที่ไม่หนักทางกายและไม่ต้องใช้ความพยายามมาก ส่วน ความคับข้องทางจิตใจ มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ แสดงว่าไม่มีความคับข้องใจเกิดขึ้น

จากผลลัพธ์ที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ระบบการประมวลผลด้วยภาพ (Image Processing) ทำให้ระบบมีศักยภาพในการช่วยให้การทำงานร่วมกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม อีกทั้งยังลดความซับซ้อนในการควบคุม ลดภาระงานที่ต้องอาศัยความแม่นยำของมนุษย์ และช่วยให้ผู้ควบคุมสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่เกิดความเหนื่อยล้าทางจิตใจมากเกินไป

ซึ่งส่งผลให้เป็นประโยชน์ต่อทั้งผู้ปฏิบัติงานและกระบวนการผลิตโดยรวมในอุตสาหกรรม ทั้งยังช่วยเพิ่มความปลอดภัย ลดข้อผิดพลาด และเพิ่มความสามารถในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

4.2 ผลการวิเคราะห์เวลาในการทำการทดลอง

ผลการบันทึกเวลาการทำการทดลอง จากการบันทึกผลของเวลาการทำการทดลอง จะนำค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยมาพิจารณาระหว่างการทดลอง ได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 12 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทดลอง

จากกราฟที่แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 พบว่าการทดลองที่ 1 ซึ่งแสดงด้วยเส้นสีน้ำเงินนั้นใช้เวลาโดยเฉลี่ยมากกว่าการทดลองที่ 2 ที่แสดงด้วยเส้นสีแดงอย่างชัดเจนตลอดทั้ง 20 ครั้งของการทดลอง ทั้งสองการทดลองมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่คล้ายคลึงกัน โดยมีการเพิ่มขึ้นและลดลงในลักษณะที่สอดคล้องกัน ซึ่งสังเกตได้จากจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดที่ปรากฏในช่วงการทดลองคล้ายกัน การทดลองที่ 1 มีค่าเวลาอยู่ในช่วงประมาณ 6-9.5 นาที โดยมีค่าสูงสุดในการทดลองครั้งที่ 2 และครั้งที่ 18 ในขณะที่การทดลองที่ 2 มีค่าเวลาอยู่ในช่วงประมาณ 4-7.5 นาที โดยมีค่าสูงสุดในการทดลองครั้งที่ 12

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพมากกว่าการทดลองที่ 1 ในแง่ของการใช้เวลา เนื่องจากใช้เวลาน้อยกว่าโดยเฉลี่ยประมาณ 2 นาทีในแต่ละครั้งของการทดลอง

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มุ่งเน้นการพัฒนาชุดการเรียนรู้เกี่ยวกับหุ่นยนต์สำหรับการหยิบจับวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้รับแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบ Image Processing ในการช่วยให้การทำงานของหุ่นยนต์มีความแม่นยำและลดภาระงานของผู้ปฏิบัติงานได้อย่างชัดเจน จากผลการทดลองพบว่าการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบ Image Processing มีข้อได้เปรียบเหนือกว่าการควบคุมแบบ Manual ในหลายด้าน ประการแรกคือ การลดภาระงานทางจิตใจของผู้ควบคุมหุ่นยนต์ จากแบบประเมิน NASA-TLX พบว่าค่าภาระงานทางจิตใจลดลงจากค่าเฉลี่ย 10.4125 ในการควบคุมแบบ Manual เหลือ 8.7895 ในการควบคุมด้วยระบบ Image Processing คิดเป็นการลดลงประมาณ 15.6% การลดภาระงานทางจิตใจนี้ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดความเหนื่อยล้า และช่วยเพิ่มความต่อเนื่องในการทำงาน

นอกจากนี้ ระบบ Image Processing ยังช่วยลดเวลาในการทำงานลง จากการทดลองพบว่าผู้ควบคุมใช้เวลาน้อยลงโดยเฉลี่ยประมาณ 2 นาทีต่อรอบเมื่อใช้ระบบ Image Processing แทนการควบคุมแบบ Manual ส่งผลให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการทำงาน ลดเวลาสูญเสีย และช่วยให้กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างราบรื่น ผลการศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นว่า Image Processing ช่วยให้หุ่นยนต์สามารถตรวจจับและกำหนดตำแหน่งของวัตถุได้อัตโนมัติ ทำให้ลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากมนุษย์ และทำให้กระบวนการควบคุมหุ่นยนต์มีความแม่นยำมากขึ้น

อีกทั้งการทดลองทั้งสองการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผู้ทดลองรับรู้ว่าภาระงานโดยรวมอยู่ในระดับต่ำ มีความพึงพอใจต่อผลลัพธ์สูง และไม่มีความคับข้องใจทางจิตใจ แสดงถึงประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานหรือระบบที่นำมาใช้ในแต่ละการทดลอง ว่าสามารถช่วยลดภาระและความเครียดในการปฏิบัติงานได้อย่างชัดเจน

จากผลลัพธ์ที่ได้รับ สามารถสรุปได้ว่า การนำระบบ Image Processing มาใช้กับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีประโยชน์อย่างมากต่อกระบวนการทำงาน ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ในอนาคต อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อไป เช่น การขยายขอบเขตของระบบให้สามารถรองรับวัตถุที่มีลักษณะและขนาดที่แตกต่างกันได้มากขึ้น การปรับปรุงอัลกอริทึมให้สามารถประมวลผลได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบของระบบนี้ต่อกระบวนการผลิตในระยะยาว เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยสรุป ระบบ Image Processing ช่วยให้การทำงานร่วมกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดความซับซ้อนในการควบคุม ลดภาระงานที่ต้องอาศัยความแม่นยำของมนุษย์ และช่วยให้ผู้ควบคุมสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่เกิดความเหนื่อยล้าทางจิตใจมากเกินไป เทคโนโลยีนี้จึงมีศักยภาพสูงในการพัฒนาและปรับใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการระบบอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Feng, Q., Martinez Lema, D. S., Malmir, M., Li, H., Feng, J., Chen, Z., & Knoll, A. (2024). DexGANGrasp: Dexterous generative adversarial grasping synthesis for task-oriented manipulation. IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots.

[2] Aliyeva, Y., & Mammadli, A. (2023). Development of image processing algorithm utilizing neural networks and fuzzy logic.

[3] Yu, H., Møller, V. K., Frandsen, R. J. N., & Mansourvar, M. (2023). Image processing for robotic control in life science laboratory automation. IEEE.

[4] Oktaviani, C. Z., & Bulba, A. T. (2024). Analysis of Automation and Robotics Application in Construction Project Implementation in Provinsi Aceh. Journal of Physics: Conference Series, 2916(2024), 012021.

[5] Lawrence C. Ngugi, Moataz Abelwahab, Mohammed Abo-Zahhad (2021), Recent advances in image processing techniques for automated leaf pest and disease recognition – A review, Information Processing in Agriculture, Volume 8, Issue 1, Pages 27-51

[6] J-Donald Tournier, Robert Smith, David Raffelt, Rami Tabbara, Thijs Dhollander (2019), Maximilian Pietsch, Daan Christiaens, Ben Jeurissen, Chun-Hung Yeh, Alan Connelly, MRtrix3: A fast, flexible and open software framework for medical image processing and visualisation, NeuroImage, Volume 202, 116137

[7] Tang, Y., Chen, M., Wang, C., Luo, L., Li, J., & Lian, G. (2020). Recognition and localization methods for vision-based fruit picking robots: A review. Frontiers in Plant Science, Volume 11

[8] Tianhai Wang, Bin Chen, Zhenqian Zhang, Han Li, Man Zhang (2022), Applications of machine vision in agricultural robot navigation: A review, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 198, 107085

[9] Firmansyah, D., Erliana, C. I., & Sayuti, M. (2025). Analysis of the influence of work shifts on employee workload using the NASA-TLX methods. International Journal of Engineering, Science and Information Technology, 5(2).

[10] ภูเบศร์ พิพิธหิรัญการ, ธีรวัฒน์ สัตตะโส, วิภาพร บุญหล้า และ วีรศักดิ์ วิริยนามชัย. (2565). การออกแบบและสร้างแขนกลเก็บผลมะเขือเทศแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการประมวลผลภาพ. อุดรธานี. : คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีEnvironmental Research and Public Health, 18(19), 10550

[11] มณีนุช นาถาดทอง และนิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์. (2563). การจำแนกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ. มหาสารคาม: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[12] Parmar, D., Rajak, S., Patil, S., & Satpute, R. (2024). Robotic Arm for Segregation Using Image Processing.

[13] Yu, H., Krarup Møller, V., Frandsen, R. J. N., & Mansourvar, M. (2023). Image Processing for Robotic Control in Life Science Laboratory Automation. 305–309

การพัฒนาระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับระบบการกรองน้ำแบบออสโมซิสป้อนกลับของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา

Development of Preventive Maintenance System for Reverse Osmosis Water Filtration System of Power Plant Case Study

พฤษ์วิสาข์ บุญยอด[1] สุริยา จิรสถิตสิน[2*] วนิดา รัตนมณี[2] ชุกรี แดสา[2]
[1]หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[2]ศูนย์วิจัยอุตสาหกรรมอัจฉริยะ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: suriya.j@psu.ac.th*

Pruewisa Bunyod[1], Suriya Jirasatitsin[2*], Wanida Rattanamanee[2], Chukree Daesa
[1]Master of Engineering Program in Industrial Management, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
[2]Smart Industry Research, Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
E-mail: suriya.j@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

ระบบการกรองน้ำแบบออสโมซิสป้อนกลับเป็นแหล่งเริ่มต้นของน้ำบริสุทธิ์ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยกังหันไอน้ำ หากระบบเกิดหยุดการทำงานหรือขัดข้องระหว่างการทำงาน จะส่งผลให้ต้องหยุดการผลิตกระแสไฟฟ้าไปด้วย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เพื่อรักษาความพร้อมเดินเครื่องจักร (Machine Availability Factor: MAF) และลดการเกิดความเสียหายฉุกเฉิน (Breakdown: BD) โดยทำการวางแผนระบบงานบำรุงรักษาใหม่ให้เป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน สร้างระบบสารสนเทศการบำรุงรักษาที่รวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษาของแต่ละเครื่องจักร กำหนดแผนงานบำรุงรักษาประจำปี และแสดงข้อมูลสถานภาพของเครื่องจักร ผลการพัฒนาระบบและการนำไปใช้งาน พบว่า ค่า MAF เป็น 100% และ BD เป็น 0 แสดงให้ว่า ระบบการกรองน้ำแบบออสโมซิสป้อนกลับของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา สามารถดำเนินเครื่องได้โดยไม่ต้องหยุดซ่อมหรือเกิดการขัดข้องชำรุดในระหว่างการผลิตกระแสไฟฟ้า ทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตามเป้าหมายของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา

คำสำคัญ: การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ออสโมซิสป้อนกลับ โรงไฟฟ้า

Abstract

The reverse osmosis water filtration system is the initial source of pure water in the steam turbine power generation process. If the system malfunctions or stops working during operation, it will lead to the termination of power generation. This research aims to develop a preventive maintenance system to maintain machine availability (Machine Availability Factor: MAF) and reduce emergency damage (Breakdown: BD). A new preventive maintenance system is planned and developed that collects maintenance data for each machine, sets annual maintenance plans, and displays machine status information. The results found that the MAF value was 100% and BD was 0, indicating that the reverse osmosis water filtration system of the case study power plant can operate without having to stop for repair or malfunction while making electricity, which is what the power plant's goal was.

Keywords: Preventive maintenance, Reverse Osmosis, Power Plant

1. บทนำ

ระบบการกรองน้ำแบบออสโมซิสป้อนกลับหรือระบบรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis: RO) เป็นส่วนสำคัญของการผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่จำเป็นสำหรับการเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ เพื่อป้องกันการเกิดตะกรันและการกัดกร่อนของอุปกรณ์ หากระบบ RO ไม่พร้อมใช้งานหรือคุณภาพน้ำไม่ถึงเกณฑ์ จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในกระบวนการผลิตทั้งหมด โดยทั่วไปแล้วโรงไฟฟ้าจะใช้น้ำจืดจากแหล่งธรรมชาติมาผ่านระบบ Micro Filtration (MF) และ RO ร่วมกับระบบ Continuous Electro-Deionization (CEDI) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมก่อนส่งเข้าเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า

ในปัจจุบัน ระบบ RO ที่ใช้ในการผลิตน้ำบริสุทธิ์ สำหรับโรงไฟฟ้ากรณีศึกษายังคงขาดระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่มีประสิทธิภาพ โดยกระบวนการซ่อมบำรุงในปัจจุบันเป็นแบบซ่อมบำรุงเมื่อเกิดความขัดข้อง (Breakdown Maintenance) ซึ่งดำเนินการก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ในระบบเกิดการชำรุดเสียหายและได้รับแจ้งจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเท่านั้น นอกจากนี้ อุปกรณ์ในระบบยังไม่ได้รับการบำรุงรักษาอย่างเพียงพอและขาดมาตรฐานการตรวจสอบที่สามารถป้องกันความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นซ้ำได้ ส่งผลให้ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ต้องหยุดชะงักเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากต้องรอการซ่อมแซมหรือจัดหาอะไหล่ทดแทน ซึ่งกระทบต่อกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าและอาจนำไปสู่การหยุดการเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งพบว่าการหยุดการผลิตไฟฟ้าจากปัญหาดังกล่าวส่งผลให้เกิดความสูญเสียรายได้เฉลี่ยประมาณ 7.8 ล้านบาทต่อวัน นอกจากนี้ หากเกิดภาวะฉุกเฉินที่ต้องใช้บริการเครื่องผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุชนิดเคลื่อนที่ (Mobile Demineralization Water Transportation) เพื่อทดแทนน้ำบริสุทธิ์ที่ขาดหาย จะส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมประมาณ 1 ล้านบาทต่อเดือน และจากการศึกษาข้อมูลประวัติการแจ้งซ่อมของหน่วยงานเดินเครื่องที่จัดเก็บผ่านระบบ Enterprise Resource Planning (ERP) ย้อนหลัง 10 ปี พบว่าระบบ RO ที่เป็นกรณีศึกษามีจำนวนใบแจ้งซ่อมมากถึง 138 รายการ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความถี่ของปัญหาที่เกิดขึ้น และส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุงขององค์กร

จากข้อมูลดังกล่าว จึงมีแนวคิดในการนำระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) มาประยุกต์ใช้กับระบบ RO โดยดำเนินการภายใต้นโยบายของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา ได้แก่ จำนวนพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงเท่าเดิมและงบประมาณในการซ่อมบำรุงที่ลดลง เพื่อพัฒนาและกำหนดมาตรฐานของงานบำรุงรักษาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ การดำเนินการดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อ รักษาความพร้อมในการเดินเครื่องจักร (Machine Availability Factor: MAF) และลดโอกาสของการเกิดความขัดข้องระหว่างกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ช่วยเพิ่มเสถียรภาพของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ ลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมแซมฉุกเฉิน และลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อกระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยรวม นอกจากนี้ยังนำไปใช้เป็นแบบอย่างสำหรับการซ่อมบำรุงของโรงไฟฟ้าสาขาอื่น ๆ ได้อีกด้วย

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเป็นแนวทางที่สำคัญในการรักษาความเสถียรและประสิทธิภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในอุตสาหกรรม โดยมีเป้าหมายเพื่อป้องกันความเสียหายก่อนที่จะเกิดขึ้น ลดเวลาหยุดทำงานที่ไม่ได้วางแผน และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยได้เริ่มต้นจากแนวคิดการบำรุงรักษาแบบทวีผล (Total Productive Maintenance: TPM) ที่ให้พนักงานทุกคนมีส่วนร่วมในการบำรุงรักษาเครื่องจักร เพื่อลดความเสียหายและเพิ่มผลผลิต [1] และนำไปประยุกต์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์และอวกาศ [2] และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การบำรุงรักษาเชิงป้องกันจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การใช้ Failure Modes and Effect Analysis ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่อาจทำให้เครื่องจักรเกิดความล้มเหลว และนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาซ้ำซ้อน [3-4] การใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรแบบเรียลไทม์และคาดการณ์การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ล่วงหน้า ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร [5] ในส่วนของโรงไฟฟ้าได้นำการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมาทดแทนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance) เช่น การวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบหลายปัจจัย [6] ที่หาตารางการบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าความพร้อมของเครื่องจักรสูงสุดและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำสุด รวมถึงการพัฒนาระบบการบำรุงรักษาเชิงทำนาย (Predictive Maintenance) โดยการอาศัยค่าที่ได้จากการติดตามข้อมูลแรงสั่นสะเทือน การตรวจสอบความร้อน การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น การวิเคราะห์เสียง เป็นต้น เพื่อทำนายความเสียหายที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7-8] จากการดำเนินการพัฒนาระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง พบว่า สามารถลดค่าเฉลี่ยของการหยุดกะทันหันได้ถึง 54% และมีค่าความพร้อมจ่ายของโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 7% [9] อย่างไรก็ตามการดำเนินงานด้านการบำรุงรักษาที่จะนำไปสู่การบำรุงรักษาแบบทวีผลนั้น จะต้องมีปัจจัยสำคัญได้แก่ การสนับสนุนด้านการบริหารจัดการ การตระหนักถึงการบำรุงรักษาแบบทวีผล การวางแผนกลยุทธ์ การมีส่วนร่วมของพนักงาน การจัดสภาพแวดล้อมการทำงาน การให้ความรู้และการฝึกอบรม การบำรุงรักษาตามแผน การบำรุงรักษาด้วยตนเอง การบำรุงรักษาเชิงคุณภาพ การบริหารจัดการอุปกรณ์ตั้งแต่ต้น การปรับปรุงอย่างต่อเนื่องและการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเง้า [10] จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นจะเห็นได้ว่า การบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร ลดต้นทุนในการซ่อมแซม และเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน นำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น IoT และ AI เข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาแนวทางการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกันของระบบ RO ของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เก็บรวบรวมข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องจักร อุปกรณ์ของระบบ RO โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มของอุปกรณ์ ได้แก่ RO Vertical multistage pump, RO Cartridge filter, RO Membranes, RO Permeate hoses, RO Tank, และ RO I&C

2) เก็บรวบรวมประวัติใบแจ้งซ่อมที่เกี่ยวกับระบบ RO จากระบบ Enterprise Resource Planning (ERP) ย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2557 – 2566) โดยมีใบแจ้งซ่อมทั้งสิ้น 138 รายการ แต่ละรายการจะประกอบไปด้วย หมายเลขใบแจ้งซ่อม หมายเลขใบสั่งงาน รายละเอียดแจ้งซ่อม Functional Location วันที่แจ้งซ่อม วันที่ซ่อม ตัวอย่างรายการแจ้งซ่อมดังตารางที่ 1 ทั้งนี้ในระยะเวลาที่ผ่านมาโรงงานไฟฟ้ากรณีศึกษา ไม่มีการเปลี่ยนเครื่องจักรระบบ RO จึงยังคงดำเนินการในการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างต่อเนื่องตั้งแต่การเริ่มดำเนินงานผลิตไฟฟ้าครั้งแรกของโรงงานไฟฟ้ากรณีศึกษา

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลรายการแจ้งซ่อม

ใบแจ้งซ่อม	ใบสั่งงาน	รายละเอียดแจ้งซ่อม	Functional Location	วันที่แจ้งซ่อม	วันที่ซ่อม
120016	134429	ตัววัด CONDUCRO แจ้งเรื่อง Claim ด่วน	CHN-C02GCB22CQ002	15/07/2557	1/10/2557
120322	134349	Cartridge Filter for RO No.1 ตัน	CHN-C02GCB21AT001	18/7/2557	18/07/2557

3) วิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์การซ่อมของอุปกรณ์แต่ละกลุ่มเพื่อจัดทำแผนการบำรุงรักษาและการจัดหาอะไหล่สำรองให้เพียงพอในการดำเนินงานตามแผนและการซ่อมบำรุง ซึ่งพบว่า กลุ่ม RO Cartridge filter มีการแจ้งซ่อมมากที่สุด ดังตารางที่ 2

4) กำหนดมาตรฐานการบำรุงรักษา โดยจัดทำเอกสารมาตรฐานการบำรุงรักษาแยกตามกลุ่มของอุปกรณ์ และวางแผนงานระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกันรายปี

5) จัดทำระบบสารสนเทศงานบำรุงรักษาแบบออนไลน์ เพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าถึงข้อมูลมาตรฐานการทำงาน และแผนงานประจำวันที่ใช้ในการดำเนินงานบำรุงรักษา พร้อมทั้งการเก็บข้อมูลสถาพภาพของอุปกรณ์ จากเครื่องมือตรวจวัดต่าง ๆ เช่น ความดันตรกคร่อม อุณหภูมิ อัตราการไหล ค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิของตลับลูกปืน เป็นต้น เพื่อติดตามและวิเคราะห์สภาพอุปกรณ์และทำนายความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น ก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายรุนแรง โดยระบบสามารถแจ้งเตือนผ่าน Line Notify หากสถานะของอุปกรณ์อยู่ในเกณฑ์ที่อาจจะเกิดความเสียหายหรือชำรุด

ตารางที่ 2 จำนวนใบแจ้งซ่อม จำแนกตามกลุ่ม

กลุ่มของอุปกรณ์	จำนวนใบแจ้งซ่อม
RO Vertical multistage pump	4
RO Cartridge filter	74
RO Membranes	0
RO Permeate hoses	0
RO Tank	0
RO I&C	60

6) ดำเนินงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามแผนงานและมาตรฐานการบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยเก็บผลการดำเนินงานจำนวน 3 เดือน และประเมินประสิทธิภาพของระบบจากค่าความพร้อมเดินเครื่องจักร (MAF) [9] ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$MAF = \frac{\text{เวลาที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้}}{\text{เวลารวมที่เครื่องจักรควรจะทำงานได้}} \times 100 \quad (1)$$

- เวลาที่เครื่องจักรสามารทำงานได้ หมายถึง เวลาที่เครื่องจักรพร้อมและสามารถทำงานได้จริง
- เวลารวมที่เครื่องจักรควรจะทำงานได้ หมายถึงเวลาที่เครื่องจักรควรจะพร้อมทำงานทั้งหมดในช่วงเวลา (รวมทั้งเวลาที่มีการหยุดซ่อมแซมและหยุดพัก)

โดยก่อนการปรับปรุงระบบเป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน พบว่าระบบทำงานจริง 21 ชั่วโมงต่อวัน จากเป้าหมาย 24 ชั่วโมงต่อวัน หรือมีค่า MAF เท่ากับ 87.5% เนื่องจากมีการหยุดทำงานของเครื่องจักรเพื่อซ่อม RO Cartridge filter ประมาณ 3 ชั่วโมงต่อครั้ง

7) วิเคราะห์ผลการดำเนินงานและสรุปผลดำเนินงาน

4. ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 มาตรฐานการบำรุงรักษา

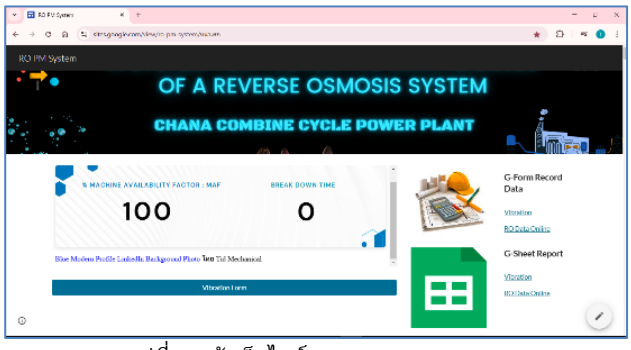
การกำหนดมาตรฐานการบำรุงรักษาของแต่ละอุปกรณ์ อ้างอิงจากคู่มือของอุปกรณ์และประสบการณ์ของช่างชำนาญการ เพื่อให้เจ้าหน้าที่ทุกคนสามารถปฏิบัติงานบำรุงรักษาได้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยรายละเอียดมาตรฐาน จะประกอบไปด้วย ชื่อเครื่องจักร รหัส KKS ข้อมูลเทคนิค รายละเอียดการตรวจสอบ และมาตรฐานการตรวจสอบ โดยจัดทำข้อมูลผ่านโปรแกรม Google Sheets ดังแสดงในรูปที่ 1



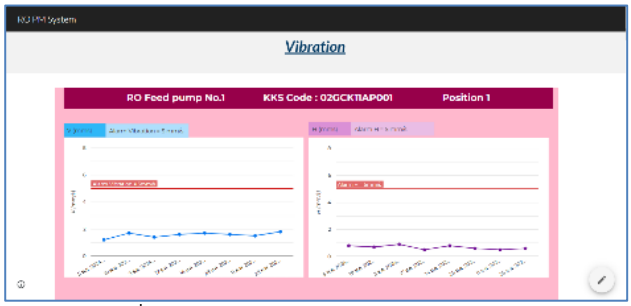
รูปที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลมาตรฐานการบำรุงรักษาเครื่องจักร อุปกรณ์ Pump ใน Google Sheets

4.2 สารสนเทศงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

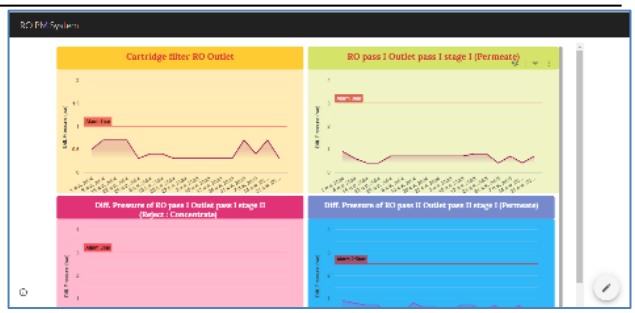
ข้อมูลงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา ได้จัดทำเป็น Google Sites แสดงดังรูปที่ 2 เพื่อให้เจ้าหน้าที่ฝ่ายงานซ่อมบำรุงรักษาทุกคนสามารถเก็บข้อมูล ปฏิบัติงานตามแผน และรายงานผลได้ทันที โดยข้อมูลการดำเนินงานทั้งหมดจะสามารถแสดงผลแบบออนไลน์ เช่น สถานะการสั่นสะเทือน (รูปที่ 3) และ ค่าแรงดัน (รูปที่ 4) เป็นต้น พร้อมทั้งสามารถแจ้งเตือนสถานะของอุปกรณ์ที่อาจจะอยู่ในสภาวะที่จะเกิดความเสียหายหรือชำรุด ผ่าน Line Notify ทำให้หัวหน้างานสามารถติดตามการดำเนินงานและวิเคราะห์ข้อมูลสถานะอุปกรณ์สำหรับการวินิจฉัยเพื่อวางแผนการบำรุงรักษาต่อไป



รูปที่ 2 หน้าเว็บไซต์ของ RO PM System



รูปที่ 3 ตัวอย่าง Dashboard แสดงค่า Vibration



รูปที่ 4 ตัวอย่าง Dashboard แสดงค่า RO Diff. Pressure

4.3 การดำเนินงานตามแผนงานระบบซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน

เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบงานซ่อมบำรุงดำเนินงานตามแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันประจำปี และบันทึกข้อมูลการตรวจวัดค่าของอุปกรณ์ผ่านระบบ RO Online โดยจะทำการบำรุงรักษาตามมาตรฐานการทำงาน (รูปที่ 5) และเก็บค่าสถานะของอุปกรณ์ (รูปที่ 6) เพื่อบันทึกค่าต่าง ๆ ของอุปกรณ์ลงในระบบ RO PM System



รูปที่ 5 การบำรุงรักษา Grease Fill ของ RO Pump



รูปที่ 6 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิของ RP Pump

4.4 ผลการวิเคราะห์และติดตามค่าตรวจวัดจากอุปกรณ์หลักที่สำคัญในระบบ RO PM System

จากการติดตามข้อมูลสถานะ 3 เดือน (พ.ย. 67 - ม.ค. 68) ของอุปกรณ์แต่ละกลุ่ม พบว่า สถานะของอุปกรณ์ทุกตัวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ไม่มีการแจ้งซ่อมจากหน่วยงานเดินเครื่อง ผ่านโปรแกรม Maximo ของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา ทำให้ระบบ RO สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่เกิดการหยุดหรือเสียหาย โดยแสดงค่า เป็น % Machine Availability Factor: MAF = 100 % และ Break Down Time = 0 ตามที่แสดงในหน้าเว็บไซต์ ดังรูปที่ 7 จากเดิมที่ค่าความพร้อมเดินเครื่องจักรอยู่ที่ 87.5% หรือเพิ่มขึ้น 12.5%



รูปที่ 7 Dashboard แสดงค่า MAF และ BD

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำหลักการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมาใช้ในการพัฒนาระบบบำรุงรักษาสำหรับระบบ RO โดยมีเป้าหมายเพื่อกำหนดมาตรฐานระบบงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน รักษาความพร้อมของเครื่องจักร (Machine Availability Factor: MAF) ให้คงอยู่ที่ 100% และลดอัตราความเสียหายฉุกเฉิน (Break Down: BD) ให้เป็นศูนย์ หลังจากนำระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกันมาใช้ พบว่าในช่วงเวลาการติดตามผลสามารถรักษาความพร้อมของเครื่องจักรได้ 100% หรือเพิ่มขึ้นจากเดิม 12.5% และไม่เกิดความเสียหายฉุกเฉิน ระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่พัฒนาขึ้นได้นำมาสู่การจัดทำระบบในรูปแบบดิจิทัล ลดการใช้กระดาษ ซึ่งเป็นผลดีต่อองค์กรและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่น ๆ ภายในองค์กรต่อไปในอนาคต ทั้งยังสามารถเป็นแนวทางพื้นฐานสำหรับงานบำรุงรักษาในหน่วยงานหรือระบบอื่น ๆ โดยสามารถเพิ่มเติมระบบตรวจจับค่าต่าง ๆ ด้วยเทคโนโลยี IoT ทำให้ลดความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลและเวลาในการติดตามสถานะของอุปกรณ์ และการสร้างระบบตรวจสอบความถูกต้องและน่าเชื่อถือของข้อมูลสารสนเทศ ทั้งนี้การบำรุงรักษาเชิงป้องกันจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือของทุกฝ่ายทั้งผู้บริหาร วิศวกร และฝ่ายช่าง ในการจัดทำแผนและปฏิบัติตาม พร้อมทั้งจัดเตรียมอะไหล่สำรองไว้อย่างเพียงพอ ต่อยอดไปสู่การบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Nakajima. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance, Cambridge, MA, Productivity Press, 1988.

[2] V. Vyas and Z. Xu. 2024. “Maintenance in Automotive and Aerospace Applications-An Overview” IJASCIS, Vol 3 (2): 349-361.

[3] A.M. Smith and G.R. Hinchcliffe. Reliability Centered Maintenance Gateway to World Class Maintenance, Oxford: Butterworth Heinemann, 2004.

[4] มธุรส มิ่งมงคล และ จิตรา รู้กิจการพานิช. 2563. “การประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงรุกสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., ปีที่ 43, ฉบับที่ 1: 31-48.

[5] J. Lee, J. Ni, J. Singh and B. Jiang. 2020. “Intelligent Maintenance Systems and Predictive Manufacturing” JMSEFK, Vol. 142 (11): 1-40.

[6] G.K. Bose, D.K. Jana, D. Bose and S. Mitra. 2016. “Avaliability and Cost-centered Preventive Maintenance Scheduling of Continuous Operating Series Systems using Multi-objective Genetic Algorithm: A Case Study”. Quality Engineering, Vol. 36 (1): 191-206.

[7] M. Moleda, B. Malysiak-Mrozek, W. Ding, V. Sunderam and D. Mrozekl. 2023. “From Corrective to Predicive Maintaenance-A Review of Maintenance Approaches for the Power Industry”. Sensors, Vol. 23: 1-47.

[8] J.F. Olesen and H.R. Shaker. 2020. “Predictive Maintenance for Pump Systems and Thernal Power Plants”. Sensors, Vol. 20(8), 2425; https://doi.org/10.3390/s20082425

[9] จิตรา รู้กิจการพานิช และ ปุณณวิช ฤทธิเดช. 2564. “การเลือกกลยุทธ์การบำรุงรักษาสำหรับระบบเครื่องกังหันก๊าซในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.” วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 32, ฉบับที่ 1: 113-133.

[10] I.H. Danguche and I.W.R. Taifa. 2023. “Factors Influencing Total Productive Maintenance Implementation for Thermal Generation Plants.” Tanzania Journal of Engineering and Technology, Vol 42 (1) :Special Issue- Seventh International Conference on Mechanical and Industrial Engineering (MIE) 2022: 97-112.

Data Collection Method from Video Footage for Production Line Productivity Analysis using Vision-Based Tracking

Sitichai Srioon[1], Praewpran Prayadsab[2]
[1]Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: sitichai.s@ku.th, praewpran.p@ku.th

Abstract

This paper presents a method that helps calculating worker utilization in a workstation using vision-based tracking. The proposed system leverages computer vision to track workers' movements and analyze their efficiency. The system provides a robust solution for monitoring worker productivity throughout the day from available complete video footages. The methodology involves detecting workers from the video footages, tracking their movements, and analyzing changes in their positions. This approach addresses the limitations of traditional random sampling methods and offers a scalable solution for continuous productivity monitoring in industrial settings.

Keywords: Computer Vision, Vision-Based Tracking, Productivity, Efficiency Analysis, Worker Utilization

1. Introduction

In industrial settings, measuring worker efficiency is crucial for optimizing production processes. Traditional methods often involve random time sampling, where supervisors manually observe workers for short periods and extrapolate their findings to estimate overall productivity. However, these methods are prone to inaccuracies, as the sampled periods may not reflect the actual working conditions throughout the day. Moreover, the manual observation process is time-consuming and cannot be scaled to monitor all workers continuously. Vision-based tracking systems have been proposed as a solution for continuous monitoring to address these limitations. These systems use cameras to record workers' activities throughout the day, providing a comprehensive dataset for analysis. However, the sheer volume of video data makes it impractical for human supervisors to review and analyze manually. This paper proposes an approach that combines automated vision-based tracking to calculate worker utilization in a workstation accurately.

For our particular settings at a factory, it has multiple production lines with uneven workloads and inefficiencies. To address this, we would like to find out the efficiency of each production line to find workers that can be shifted to another production line. This aims to increase production capacity while reducing employee workload and improving efficiency.

2. Literature Review

2.1 Vision-Based Tracking

Vision-based tracking has emerged as a powerful tool for monitoring human activities in various environments, including industrial settings. Instead of a single image, a sequence of images is required in tracking applications, and a detector must be applied independently on every frame to find candidate objects that are then associated across frames [1]. A foundational technique in this domain is kernel detection, which simplifies the process of tracking multiple objects or individuals by representing them as "blobs" in video footage. It is considered as association problems emphasize more on solving a class of problem with minimal time while maintaining low error rate. Moeslund et al. [2] provided a comprehensive overview of vision-based tracking techniques, including kernel detection and motion analysis. It also demonstrated the effectiveness of kernel-based methods for tracking humans in complex scenarios. Their work highlighted the ability of kernel detection to handle occlusions and dynamic backgrounds, making it suitable for industrial environments where workers may move unpredictably. These studies form the basis for the kernel detection and tracking approach proposed in this research.

2.2 Worker Efficiency Analysis in Industrial Settings

The analysis of worker efficiency has been a long-standing challenge in industrial settings. Traditional methods, such as time-motion studies, have been widely used but are limited by their reliance on manual observation and random sampling. Recent advancements in technology have enabled more continuous and automated monitoring of worker activities. Kumar et al. proposed a system that integrates IoT sensors and computer vision to measure worker efficiency in real-time [3]. Their work demonstrated the potential of vision-based systems to provide more accurate and scalable solutions for productivity analysis. Similarly, Lee et al. explored the use of real-time monitoring systems to provide feedback to workers, thereby improving their efficiency [4]. These studies highlight the growing interest in using vision-based systems for worker efficiency analysis, which aligns with the goals of this research.

2.3 Computer Vision in Factory Automation

The application of computer vision in factory automation has seen significant growth in recent years, with a focus on tasks such as quality control, object detection, and worker tracking. Various ways computer vision is being used to optimize industrial processes [5]. They highlighted the potential of vision-based systems to improve efficiency and reduce costs in manufacturing environments. Although computer vision can enhance manufacturing capability, challenges of implementing vision-based systems in industrial settings, such as occlusion, lighting conditions, and the need for robust algorithms are still being explored [6]. These studies provide valuable insights into the opportunities and challenges of using computer vision in factory automation, which are relevant to the proposed system.

The application of vision-based tracking in manufacturing has shown promising results in improving productivity and efficiency. Chen et al. demonstrated how vision-based systems can be used to implement lean manufacturing principles by continuously monitoring worker activities [7]. Similarly, Yadav et al. explored the use of real-time monitoring systems to track worker activities and provide actionable insights. These studies demonstrate the practical applications of vision-based tracking in industrial settings, which align with the goals of this research [8].

3. Methodology

The proposed system uses vision-based tracking to detect and track workers in a workstation. The system captures video footage from multiple cameras and processes the data to identify workers

as kernel or "blobs." Each blob represents a worker, and the system tracks their movements over time.

3.1 Environment Settings

Our problem is based on actual environment in an actual factory. The problem at this factory settings is that their production capacity across different factories fluctuates due to inconsistent worker availability. On average, 65% of workers are present, while 35% are absent. Of the available workforce, 20% is idle due to equipment waiting time, and 15% is engaged in non-production tasks such as resting and organizing workspaces. This results in an effective production capacity lower than the available workforce, requiring adjustments to optimize efficiency.

Initial solution before using computer vision, a study of workload using work sampling technique was done at the factory to enhance workforce utilization. However, this manual observation process is time-consuming and cannot be scaled to monitor all workers continuously throughout the factory.

3.2 Settings for Vision-Based Detection and Tracking

Video system is installed to use for both surveillance by the factory and for this purpose. The video settings include multiple views throughout the factory. We used a dataset that contains video sequence from recorded footage with frame size of 1080 × 720. An example of a video setting is as shown in Figure 1.



Figure 1 An example of a video setting at the factory

For this paper, we put some restrictions and requirements for our video footage so that our problem can be simplified:

- each worker has their own working space that does not overlap with any other working spaces,
- occlusion must not occur,
- worker must not leave video frame,
- workers of our interest must not be too far from the camera, and
- it is assumed that worker within their workspace is considered as working.

3.3 Detection, Data Association and Tracking

The system employs a tracking algorithm to identify workers in the video footage. For this algorithm, it is divided into three phrases: detection, data association and tracking:

- **Detection**: In tracking scenario, an object can be defined as anything that is of interest for further analysis. We must first find a way to represent objects in the scene as well as how we can recognize these objects. In general, there is a strong relationship between the object representations, feature selections and the tracking algorithm [4]. Generally, there are two ways to represent objects in the scene—by shape or by appearance.
- **Data Association**: While data association and tracking are two topics that is difficult to separate, they in fact deal with different issues. The goal of tracking is to generate the trajectory of an object over time. On the other hand, data association deals with the problem of selecting the measurement that most probable is originated from the object of interest. It simply tells how detected objects in adjacent frames are associated with each other. Tracking uses this information altogether to find the highest probability of a track. A common step in solving data association problem is the selection of valid region as shown in Figure 2. In the figure, points $Z_1(k)$, $Z_2(k)$, $Z_3(k)$ and $Z_4(k)$ in the ellipse are candidates because they are within the region of interest, while $Z_5(k)$ is not.

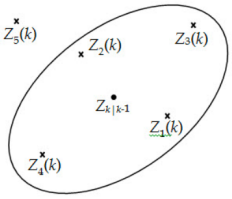


Figure 2 Region of interest for data association

- **Tracking**: The aim of an object tracking is to generate the trajectory of an object over time by locating its position in every frame of the video. The tasks of detecting the object and establishing correspondence between the object instances across frames can either be performed separately or jointly. In the first case, possible object regions in every frame are obtains by means of an object detection algorithm, and then the tracker corresponds objects across frames. In the latter case, the object region and correspondence is jointly estimated by iteratively updating object location and region information obtained from previous frames.

Tracking can be classified into three main approaches based on how objects are represented—point, kernel and silhouette—as shown in Figure 3 [9].

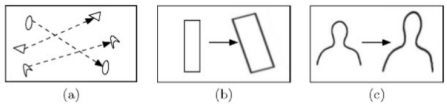


Figure 3 Various tracking methods: a) point tracking, b) kernel tracking and c) silhouette tracking

3.4 Model and Implementation

The system uses a simple mathematical model to calculate the difference between the current frame and previous frames. The model calculates the average position and kernel size over a specified time window and compares it to the current values. If the difference exceeds a predefined threshold, it is considered as leaving workers' workspace.

We use kernel detection algorithms to identify workers in the video footage so that 1) we can locate workers using pixel location and 2) how far they are from the camera using kernel size. Let x be a vector-valued random variable that represents the location of a particular object, as given by a pixel location, scale and time [10]. This can be denoted by $x = (p, \sigma, t)$ where $x \in V$, where V is the denotes the set of all spatiotemporal locations in a video, p is pixel location, σ is scale and t is time or frame number.

For tracking, detections are done in advance in kernel. To reduce unnecessary computational workloads, we used every one of 10 frames for detections and tracking. A trellis graph is then created based on all detections in every frame. An application is implemented on MATLAB using TORSCHE toolbox to solve the minimum flow graph. It provides a function that solves minimum cost flow problem as well as data structures for directed graph [11]. TORSCHE toolbox provides functions and tools to create and modify graph data structure as well. We have found that TORSCHE toolbox coverts the minimum flow problem to a linear programming problem to solve it.

3.5 Data Analysis

The system analyzes the tracked data to calculate worker utilization. The key metrics used for analysis include:

- **Coordinate Changes**: The system monitors changes in the worker's position coordinates over time. Significant changes may indicate active work, while minimal changes may suggest idle periods.
- **Kernel Size Changes**: Change in the kernel size is possible to indicate changes in the worker's posture or movement. For example, a larger kernel size may suggest that the worker is bending or reaching, while a smaller kernel size may indicate standing still. However, this is the part that our current work does not include.

4. Result and Discussion

When using selected video footages, we can use vision-based tracking to collect data and analyze it for efficiency calculation per the requirements we mentioned earlier—basically, workers have to be at designated stations. However, there are some limitations as we will discuss in the following sections.

4.1 Quantitative Validation and Evaluation

To validate the accuracy of the proposed system, we performed a comparative analysis between the system's output and ground-truth data collected via manual observation by trained supervisors. In our experiment, we selected a subset of the recorded data, consisting of 6 workstations over a total of 3 hours, and manually annotated work and idle periods for each worker.

The vision-based system achieved an average accuracy of 91.2% in detecting active work states, with a false positive rate of 4.5%, and a false negative rate of 4.3%. The Pearson correlation coefficient between the system's measured utilization and the manual observation was 0.93, indicating a strong correlation. This demonstrates that the proposed method can provide reliable approximations of worker utilization.

We also calculated the mean absolute error (MAE) of the utilization estimation to be ±3.2%, which is acceptable for high-level productivity analysis in industrial environments.

4.2 Additional Results of Efficiency Determination

The worker utilization was analyzed across three departments: assembly, packing, and inspection. The average utilization rates were 78%, 64%, and 71%, respectively. Based on the vision-based analysis, we identified a redistribution opportunity by shifting two workers from packing to assembly, which resulted in a projected productivity increase of 7.5% for assembly with no loss in packing efficiency due to improved task balancing.

4.3 Advantages of Vision-Based Tracking

The proposed system offers several advantages over traditional methods:

- **Continuous Monitoring**: Unlike random sampling, the system provides continuous monitoring of worker activities throughout the day.
- **Scalability**: The system can be scaled to monitor multiple workstations simultaneously, making it suitable for large industrial environments.

- **Reduced Human Effort**: By automating the tracking process, the system reduces the need for manual observation, allowing supervisors to focus on decision-making rather than data collection.

4.4 Limitations and Challenges

Despite its advantages, the system has several limitations:

- **Over-Simplified Assumptions**: The current system is based on ideal conditions such as non-overlapping workspaces and the absence of occlusion. In future work, the methodology will be adapted for more realistic factory environments. We plan to integrate depth sensors and occlusion-handling algorithms.
- **Occlusion**: Workers may be partially or fully occluded by objects in the workstation, making it difficult to track their movements accurately.
- **False Positives**: Changes in position or kernel size may not always indicate changes in productivity, leading to false positives that will require human intervention in future works. Examples of the difficulties of identifying if workers are doing their tasks are as shown in Figure 4 and Figure 5.
- **Initial Setup**: The system requires an initial setup phase to calibrate the cameras and define the thresholds for position and kernel size changes.

4.3 Future Works

Future research could focus on improving the system's ability to handle occlusion and reduce false positives. Additionally, algorithms that involves human supervision could be incorporated to enhance the system's ability to interpret worker actions and predict productivity levels automatically.

While the system can automatically detect and track workers, it cannot determine whether their actions are productive or not. Therefore, the system incorporates human supervision to make final decisions on worker efficiency. The system alerts supervisors when significant changes in position or kernel size are detected, allowing them to assess whether the worker is being productive during that period.

When using selected video footages, we can use vision-based tracking to collect data and analyze it for efficiency calculation per the requirements we mentioned earlier—basically, workers have to be at designated stations. However, there are some limitations as we will discuss in the following sections.

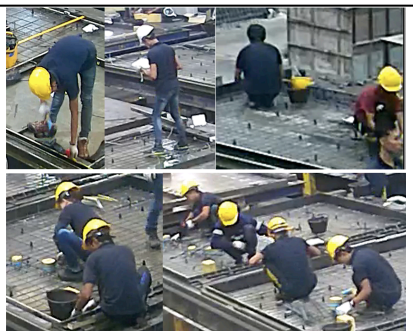


Figure 4 Examples showing as workers are doing their jobs



Figure 5 Examples showing as not working or difficult to tell

5. Conclusion

This paper presents a vision-based tracking system for calculating worker utilization in a workstation. The system provides a practical and scalable solution for monitoring worker efficiency in industrial settings. The system's ability to continuously monitor workers and alert supervisors to significant changes in their activities makes it a valuable tool for optimizing production processes. Future works will focus on addressing the system's limitations and further enhancing its capabilities through human supervision.

References

[1] M. Andriluka, S. Roth, and B. Schiele. 2008. People-tracking-by-detection and people-detection-by-tracking. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June 2008.

[2] T. B. Moeslund, A. Hilton, and V. Krüger. 2006. A Survey of Advances in Vision-Based Human Motion Capture and Analysis. Computer Vision and Image Understanding Volume 104, Issues 2–3, November–December 2006: 90-126.

[3] N. Kumar, and J. Kumar. 2013. A Framework for Human Efficiency Measurement in Advanced Manufacturing: HCI in INDUSTRY4.0. A National Conference on Manufacturing: Vision for Future MVF2013, October 2013.

[4] J. Lee, S. D. Noh, H. J. Kim, and Y. S. Kang. 2018. Implementation of Cyber-Physical Production Systems for

Quality Prediction and Operation Control in Metal Casting. Special Issue Design and Implementation of Future CPS, May 2018.

[5] A. Gupta. 2019. Current Research Opportunities for Image Processing and Computer Vision. Computer Science, 20(4) 2019. https://doi.org/10.7494/csci.2019.20.4.3163

[6] J. Yang, C. Wang, B. Jiang, H. Song, and Q. Meng. 2021. Visual Perception Enabled Industry Intelligence: State of The Art, Challenges and Prospects. IEEE Transactions on Industrial Informatics. Volume: 17, Issue: 3, March 2021.

[7] X. Chen, Y. Wang, J. Wang. A. Bouferguene, and M. Al-Hussein. 2024. Vision-Based Real-time Process Monitoring and Problem Feedback for Productivity-Oriented Analysis in Off-site Construction. Automation in Construction. Volume 162, June 2024.

[8] N. Yadav, V. Gupta, and A. Garg. 2024. Industrial Automation Through AI-Powered Intelligent Machines—Enabling Real-Time Decision-Making. Recent Trends in Artificial Intelligence Towards a Smart World. Springer 2024.

[9] A. Yilmaz, O. Javed and M. Shah. 2006. Object tracking: A survey. Journal in ACM Computing Surveys (CSUR), Volume 38 Issue 4, 2006.

[10] L. Zhang, Y. Li, and R. Nevatia. 2008. Global Data Association for Multi-Object Tracking Using Network Flows. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 523- 538, June 2008.

[11] R. Capek, Z. Hanzalek, P. Sucha, and M. Sojka. 2006. TORSCHE Scheduling Toolbox for Matlab. IEEE International Symposium on Computer-Aided Control Systems Design, Munich, Germany, 2006.

ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมบัติทางไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-xCu-xNi สำหรับวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Effects of Temperature on the Electrical Properties of Sn-58Bi-xCu-xNi Lead-Free Solders for Eco-Friendly Electronic Materials

อภิสิทธิ์ ชื่นบาล[1] ศุภกฤต เอ่งฉ้วน[1] อนวัช ราตรี[1] ไพโรจน์ สังขไพฑูรย์[2] สุชาติ จันทรมณีย์[1*]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
[2]สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: suchart.c@rmutsv.ac.th*

Apisit Chuenban[1] Supakit Aengchuan[1] Anawat Ratri[1] Phairote Sungkhaphaitoon[2] Suchart Chantaramanee[1*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya
[2]Division of Physical Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University
E-mail: suchart.c@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมบัติทางไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-xCu-xNi สำหรับวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดให้โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi เป็นเนื้อเมทริกซ์หลักมีตัวแปรของธาตุเจือ คือ ทองแดง และนิกเกิล และอุณหภูมิที่ทดสอบ 25 50 และ 75 °C ทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า ประกอบด้วย ความต้านทานไฟฟ้า สภาพความต้านทานไฟฟ้า และสภาพการนำไฟฟ้า ทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ส และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า สมบัติทางไฟฟ้าด้านสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C ของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi และที่เติมธาตุเจือ ทองแดง และนิกเกิล ที่ 0.5 wt% มีค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเติมธาตุเจือทั้งทองแดงกับนิกเกิลรวมกัน Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 5.162±0.010 x10^{-7} 5.713±0.073 x10^{-7} และ 6.052±0.052 x10^{-7} $\Omega.M$ เปรียบเทียบกับ Sn-58Bi สภาพความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 7.69 9.39 และ 10.15 % ตามลำดับ ความแข็งก็เพิ่มขึ้น 6.4 9.5 และ 17.1 % เมื่อวิเคราะห์จากโครงสร้างจุลภาคความแข็งที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการทำให้เป็นสารละลายของแข็งและเกิดจากการเพิ่มความแข็งโดยการตกตะกอนในวัสดุเนื้อเมทริกซ์และพบสารประกอบเชิงโลหะ คือ Cu_6Sn_5 และ Ni_3Sn_4 ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni ส่งผลให้สภาพการนำไฟฟ้าลดลงกว่าโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดอื่นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น สภาพการนำไฟฟ้าที่ลดต่ำลงเนื่องจากสารมลทิน ความร้อน และการเปลี่ยนรูป จึงไม่ควรเติมธาตุเจือทั้งทองแดงและนิกเกิลรวมกันกับโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi จะทำให้สภาพความต้านทานไฟฟ้าสูงขึ้นไม่เหมาะกับวัสดุตัวนำ

คำสำคัญ: ความต้านทานไฟฟ้า สภาพความต้านทานไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้า

Abstract

This research aimed to study the effect of temperatures on the electrical properties of Sn-58Bi-xCu-xNi lead-free solder for environmentally friendly electronic materials. Sn-58Bi lead-free solder was used as the main matrix with the variables of copper and nickel elements as fillers and the test temperatures were 25, 50 and 75 °C. The electrical properties were tested, including electrical resistance, electrical resistivity and electrical conductivity, micro-Vicker's hardness test and microstructure examination by microscope. It was found that the electrical resistivity at 25, 50 and 75 °C of Sn-58Bi lead-free solder and the one with 0.5 wt% copper and nickel elements had similar electrical resistivity at 25, 50 and 75 °C. However, when both copper and nickel elements were added together, Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni at 25, 50 and 75 °C had electrical resistivity values of 5.162±0.010 x10^{-7}, 5.713±0.073 x10^{-7} and 6.052±0.052 x10^{-7} $\Omega.M$ respectively. Compared with Sn-58Bi, the electrical resistivity was increased by 7.69, 9.39 and 10.15 % respectively. The

hardness also increased by 6.4, 9.5 and 17.1 %. From the microstructure analysis, the increased hardness was due to solid solution strengthening and precipitation strengthening in the matrix material. The Intermetallic compounds, Cu_6Sn_5 and Ni_3Sn_4, were found in Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni lead-free solder, which resulted in lower electrical conductivity than other lead-free solders with increasing temperature. Therefore, the lower electrical conductivity due to impurities, heat and deformation. Therefore, copper and nickel elements should not be added together with Sn-58Bi lead-free solder metal, as this will increase the electrical resistivity and is not suitable for conductive materials.

Keywords: Electrical resistance, Electrical resistivity, Electrical conductivity

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ได้นำโลหะบัดกรีซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวัสดุผสมที่มีดีบุกเป็นส่วนผสมหลัก (Sn-Based Solder Alloys) มาใช้ในการบัดกรี (Soldering) กับส่วนประกอบของอิเล็กทรอนิกส์ [1, 2] กับแผงวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Boards, PCBs) ด้วยกระบวนการหรือวิธีการ Reflow Soldering โดยทั่วไปเป็นกระบวนการ (Surface Mount Technology, SMT) ด้วยการใช้โลหะบัดกรีชนิดเพสต์มีจุดหลอมเหลวสูงมีความเป็นไปได้จะเกิดความเสียหายกับส่วนประกอบของอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่บนแผงวงจรพิมพ์ สำหรับ Wave และ Rework Soldering มีความแตกต่างกันในระยะเวลา 3-10 s และ 15-120 s ตามลำดับ และอัตราการไหลที่สูงมากของโลหะบัดกรีที่พุ่งขึ้นมาจากอ่างโลหะบัดกรีเพื่อให้เกิดการละลายของแผ่นทองแดงที่แผงวงจรพิมพ์แต่เมื่อทองแดงละลายได้ระหว่างนั้นอาจเกิดความบกพร่องที่บริเวณส่วนต่อระหว่างอุปกรณ์กับแผงวงจรพิมพ์ได้ และ Hand Soldering ในกระบวนการนี้เป็นการนำโลหะบัดกรีชนิดลวดกับฟลักซ์มาเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับแผงวงจรพิมพ์เช่นเดียวกันซึ่งต้องพิจารณาในเรื่องของการเปียก (Wetting) [3] ในขณะเดียวกันยังมีโอกาสเกิดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับบริเวณของการเชื่อมต่อจากการขนส่ง การเปลี่ยนแปลงทางกลอย่างฉับพลันระหว่างการผลิต เกิดความล้าจากการสั่นระหว่างการใช้งาน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างการเปิด-ปิดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น [2] ซึ่งมากกว่า 50 ปี อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้นิยมใช้โลหะบัดกรีชนิดยูเทคติก Sn-Pb เพราะว่ามีสมบัติการเชื่อมต่อดี มีความสามารถในการผลิต มีความน่าเชื่อถือ และราคาต่ำ นอกจากนี้ ยังมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 183 °C แต่ด้วยโลหะบัดกรีชนิด Sn-Pb มีสมบัติที่ดีมีโลหะหนักคือ ตะกั่ว เป็นส่วนผสมส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ ประกอบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศจึงถูกมาตรการกีดกันทางการค้าและกฎหมายจากสหภาพยุโรป คือ (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive, WEEE) [4] และ (Restriction of Hazardous Substances, RoHS) เป็นข้อกำหนดที่ 2002/95/EC ว่าด้วยเรื่องของการใช้สารที่เป็นอันตรายในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ [3] ทำให้เกิดการศึกษาวิจัยของนักวัสดุศาสตร์และนักวิจัยในการนำโลหะบัดกรีที่ไร้สารตะกั่วทดแทนโลหะบัดกรีดั้งเดิมแต่ยังคงสมบัติต่าง ๆ เช่น Sn-Ag [5, 6] Sn-Cu [7] Sn-Bi [8-12] เป็นต้น โดยเฉพาะโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-Bi มีสมบัติที่ดีจุดหลอมเหลวต่ำเท่ากับ 139 °C ความต้านทานแรงดึง ความน่าเชื่อถือ และความต้านทานการคืบดี แต่หากนำมาประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะมีข้อจำกัด 2 ประเด็น คือ ความเปราะบางและความเหนียวไม่ดี [4] ทำให้มีสมบัติที่เปราะจะส่งผลต่อความแข็งแรงหากเกิดข้อบกพร่องจากการผลิตหรือจากการใช้งานขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของโลหะบัดกรีที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับแผงวงจรพิมพ์ด้อยสมบัติทางไฟฟ้าได้จึงได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้มีการนำธาตุเจือเพื่อมาปรับปรุงสมบัติของโลหะบัดกรี Sn-Bi ทางด้านสมบัติไฟฟ้า ในปี ค.ศ. 2009 Babaghorbani Nai and Gupta [6] ศึกษาสภาพความต้านทานไฟฟ้าจากการเติมวัสดุเสริมแรง (Reinforcements) SnO_2 Cu Y_2O_3 ZrO_2 TiB_2 ชนิดผงในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-3.5Ag และ Sn-3.5Ag-0.7Cu พบว่า สภาพความต้านทานไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-3.5Ag-0.7Cu ที่เติม TiB_2 มีผลเพิ่มขึ้นเมื่อเติมอนุภาคเพิ่มขึ้นประมาณ 30 % ต่อมา ปี ค.ศ. 2019 Zhou et al. [13] ศึกษาโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล สภาพความต้านทานไฟฟ้าจากการเติมไทเทเนียม (Ti) ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดยูเทคติก Sn-58Bi Sn-58Bi-0.5Ti และ Sn-58Bi-0.5Ti พบว่าในขณะที่เติมไทเทเนียมเพิ่มขึ้นมีผลต่อสภาพความต้านทานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 72.3 69.9 และ 65.0 $\mu\Omega$ cm สำหรับ ปี ค.ศ. 2024 Li et al. [14] ศึกษาโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกลทั้งการทดสอบแรงดึงและแรงเฉือน จากการเติมแกลเลียม (Ga) ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดยูเทคติก Sn-58Bi Sn-58Bi-0.5Ga พบว่า ในขณะที่เติมแกลเลียมเพิ่มขึ้นมีผลต่อสมบัติทางกลทั้งการทดสอบแรงดึงและแรงเฉือนเพิ่มขึ้น ในปีเดียวกัน ค.ศ. 2024 Tan et al. [8] ศึกษาสภาพความต้านทานไฟฟ้าจากโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดไฮโปยูเทคติก (Hypo-Eutectic Sn37Bi และ Near-Eutectic Sn57Bi) พบว่า สภาพความต้านทานไฟฟ้าจากโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทั้งสองชนิดจะมีสภาพความต้านทานไฟฟ้าเมื่อได้รับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเชิงเส้น ในปีล่าสุด 2025 [12] ศึกษาโครงสร้างจุลภาค ความร้อน สมบัติทางกล และสมบัติการเปียกจากการเติมทองแดงและนิกเกิล ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดยูเทคติก Sn-58Bi พบว่า สารประกอบเชิงโลหะชนิด Cu_6Sn_5 เมื่อเติมธาตุทองแดง และ Ni_3Sn_4 เมื่อเติมธาตุนิกเกิล แต่ยังไม่ได้ทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า ดังนั้น นักวิจัยมีความสนใจศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมบัติทางไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-xCu-xNi

โดยมีปัจจัยของธาตุตัวเติมและอุณหภูมิเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความต้านทานไฟฟ้า สภาพความต้านทานไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้า โครงสร้างจุลภาค และความแข็ง ที่ช่วยในการเลือกและประยุกต์ใช้กับการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับแผงวงจรพิมพ์และมีประสิทธิภาพการใช้งานยิ่งขึ้น

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุ

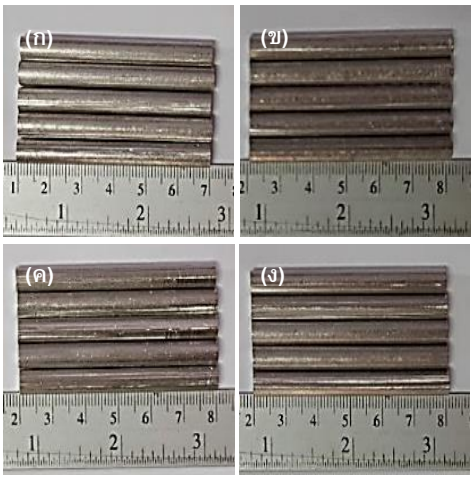
โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi Sn-58Bi-0.5Cu Sn-58Bi-0.5Ni และ Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni (wt%) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากโลหะบริสุทธิ์ (99.99 %) ของธาตุดีบุก (Sn) บิสมัท (Bi) ทองแดง (Cu) และนิกเกิล (Ni) ที่ผ่านกระบวนการหล่อ (Casting) เป็นชิ้นงานหล่อที่มีลักษณะเป็นแท่งกลมตันเรียวซึ่งเป็นส่วนของรูเท (Sprue) จากการหล่อตัวอย่างเพื่อทดสอบสมบัติทางกล ซึ่งไม่ได้นำวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด (ก) Sn-58Bi (ข) Sn-58Bi-0.5Cu (ค) Sn-58Bi-0.5Ni และ (ง) Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni ในงานวิจัยนี้

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties) โดยนำชิ้นงานหล่อในส่วนของรูเทจากรูปที่ 1 มาหลอมใหม่ (Re-melted) ด้วยเตาไฟฟ้าขนาดกำลัง 1,000 W ใส่ชิ้นงานหล่อลงในเบ้าหลอมแกรไฟต์ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 200 °C ภายใต้บรรยากาศโดยรอบ (Ambient Temperature) และให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์อะลูมิเนียม (Preheating) ด้วยเปลวแก๊สเมื่อได้อุณหภูมิที่ 100 °C แล้วจึงเทน้ำโลหะเหลวจากเบ้าหลอมแกรไฟต์ลงในแม่พิมพ์รอจนกระทั่งตัวอย่างแข็งตัวแล้ว นำโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วออกจากแม่พิมพ์นำมาตัดให้ได้ตัวอย่างเป็นแท่งเพลาตันทรงกลมขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ความยาว 60 mm แล้วจึงไปนำขัดบริเวณส่วนปลายทั้งสองด้านด้วยกระดาษทราย (Silicon Carbide Grinding Papers, SiC Papers) เบอร์ #1200 และ #2500 ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด (ก) Sn-58Bi (ข) Sn-58Bi-0.5Cu (ค) Sn-58Bi-0.5Ni และ (ง) Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni สำหรับทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า

2.3 การทดสอบตัวอย่าง

2.3.1 การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า

การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าโดยการนำตัวอย่างของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วในหัวข้อที่ 2.2 วัดค่าความต้านทาน (Resistant, R) โดยใช้เครื่องวัดไมโครโอห์มมิเตอร์ดิจิทัล (UNI-T UT620C Digital Micro Ohm Meter) ใช้กระแส DC ความต้านทานต่ำช่วงการวัด 0.001 $m\Omega$ - 300.0 $K\Omega$ ค่าความละเอียด 1 $\mu\Omega$ ด้วยการนำปากจับของสายวัดแบบสี่สาย (Four-wire test leads) [6] จับส่วนปลายของตัวอย่างทั้งสองด้าน การให้ความร้อนด้วยเตาแผ่นความร้อน (Hotplate) กระทั่งได้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 90 °C และวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมันติมิเตอร์ดิจิทัล (FLUKE 175 True RWS Digital Mutimeter) โดยปรับเป็นโหมดวัดอุณหภูมิ วัดด้วยเทอร์โมคับเปิลชนิด K (K-Type) ขั้นตอนการวัดความต้านทานเมื่อให้ความร้อนถึงอุณหภูมิสูงสุดนำตัวอย่างวางบนวัสดุฉนวนอิฐทนไฟ แล้วนำปากจับของสายวัดแบบสี่สายจับที่ส่วนปลายทั้งสองด้านของตัวอย่างแท่งโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วโดยทดสอบวัดค่าความต้านทานในขณะอุณหภูมิลดลงที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ 75 50 และ 25 °C ทดสอบจำนวน 5 ชิ้นต่อชนิดตัวอย่าง แล้วจึงนำข้อมูลค่าความต้านทานที่ได้วิเคราะห์คำนวณหาค่าสภาพต้านไฟฟ้า (Resistivity, ρ) ดังสมการที่ 1 และ สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity, σ) ดังสมการที่ 2 [6, 8] ดังนี้

$$\rho = \frac{S}{L} R \qquad (1)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

โดยที่ S คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง L คือความยาวของตัวอย่าง R คือค่าความต้านทานที่วัดได้

2.3.2 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ส ด้วยวิธี MicroVicker's hardness test กับเครื่องยี่ห้อ (INNOVATEST, NOVA 130/240) ของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว จากการตัดตัวอย่างของเพลาตันทรงกลมขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ความยาว 6 mm ที่ผ่านการทดสอบค่าความต้านทานที่อุณหภูมิ 90 °C ในหัวข้อที่ 2.3.1 นำมาขึ้นเรือนตัวอย่างแบบเย็น (Cold Mounting) โดยใช้ Epoxy resin (ES-X105) ผสมกับ Epoxy hardener (ES-X105) ในอัตราส่วน 2 : 1 รอกระทั่งเรซินแข็งตัวจึงถอดชิ้นตัวอย่างออกจากแบบหล่อแล้วนำไปขัดผิวให้เรียบด้วยเครื่องขัดเตรียมตัวอย่างใช้กระดาษทรายละเอียดเบอร์ #1200 และ #2000 และผงขัดละเอียดด้วยออกไซด์ของอะลูมิเนียม (Al_2O_3) ขนาดความละเอียด 0.3 μm และทำการทดสอบความแข็งของชิ้นตัวอย่างใช้แรงกดคงที่ 50 gf ระยะเวลาการกดแช่ 10 s ทำการวัดค่าความแข็ง 5 จุด ต่อ 1 ชิ้นตัวอย่าง

2.3.3 การทดสอบโครงสร้างจุลภาค

การทดสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว เตรียมโดยการตัดตัวอย่างจากเพลาตันทรงกลมขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ความยาว 6 mm ที่ผ่านการทดสอบค่าความต้านทานที่อุณหภูมิ 90 °C ในหัวข้อที่ 2.3.1 นำมาขึ้นเรือนตัวอย่างแบบเย็นด้วยวิธีเดียวกันกับข้อย่อย 2.3.2 แล้วนำไปขัดผิวให้เรียบด้วยเครื่องขัดเตรียมตัวอย่างยี่ห้อ Leco ใช้กระดาษทรายละเอียดเบอร์ #240 #400 #600 #1200 และ #2500 และผงขัดละเอียดออกไซด์ของอะลูมิเนียมขนาดความละเอียด 1 และ 5 μm และนำทำการกัดกรด (Etching) ด้วยกรดที่ใช้ 92%CH_3OH+3%HNO_3+5%HCl เวลาจุ่มแช่ในการกัดกรด 5 s ที่ผิวหน้าชิ้นตัวอย่าง และทำการตรวจดูโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลแบบตั้งตรงรุ่น OM Olympus BX53 กำลังขยาย 200x

3. ผลวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า

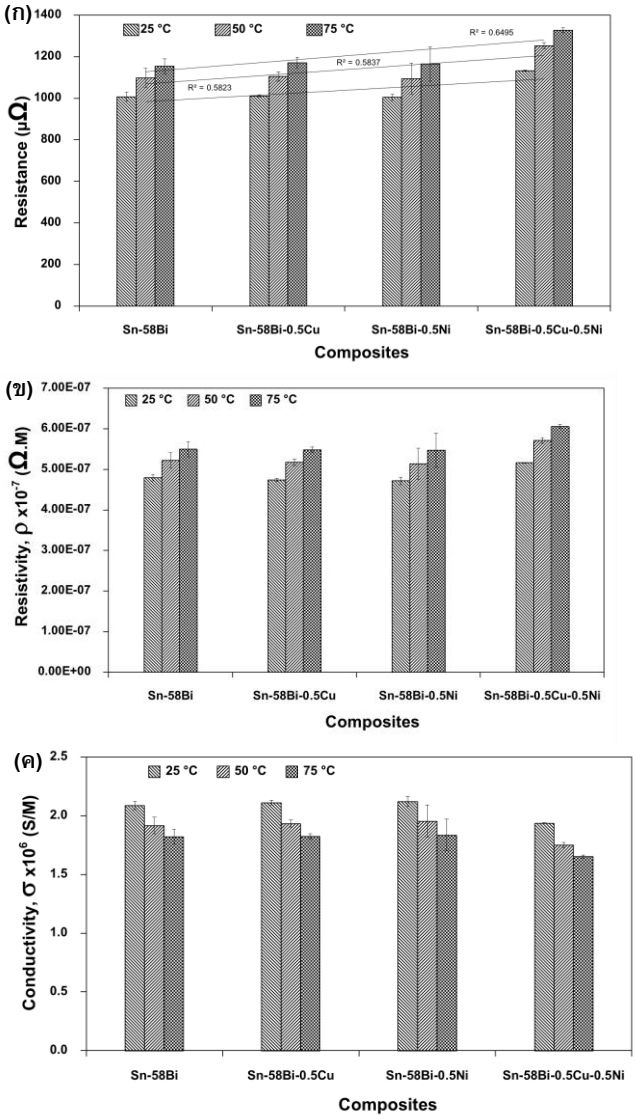
ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ในรูปที่ 3 ประกอบด้วย ความต้านทานไฟฟ้า สภาพความต้านทานไฟฟ้า และสภาพการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C ในรูปที่ 3(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุผสมของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วกับความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C พบว่า ค่าความต้านทานของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ 1,006.8±21.84 1,097.2±46.15 และ 1,154.0±35.67 $\mu\Omega$ ตามลำดับ Sn-58Bi-0.5Cu ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ 1,010.8±5.07 1,104.6±23.51 และ 1,170.2±26.70 $\mu\Omega$ ตามลำดับ และ Sn-58Bi-0.5Ni ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ 1,004.2±14.94 1,094.4±75.81 และ 1,164.8±83.23. $\mu\Omega$ ตามลำดับ สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 และ 75 °C มีช่วงกว้างมากเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างตลอดความยาวมีความกลมไม่สม่ำเสมอจากหล่อตัวอย่างส่งผลให้ได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ในขณะที่โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ 1,131.6±2.70 1,252.4±16.18 และ 1,326.8±11.17 $\mu\Omega$ ตามลำดับ ซึ่งโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทุกชนิดวัสดุผสมมีค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้น โดยค่าความต้านทานไฟฟ้ามีลักษณะเป็นแนวโน้มเชิงเส้นตรง (Linear Trend) ที่สูงขึ้น ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่า R^2 เท่ากับ 0.5823 0.5837 และ 0.6495 สอดคล้องกับงานวิจัยของ [15] แต่อย่างไรก็ตาม โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni มีค่าความต้านทานสูงกว่าโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดอื่น เนื่องจากเมื่อโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วเย็นตัวภายหลังการหลอมได้เกิดเฟสและสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic Compound: IMCs) ต่าง ๆ ขึ้น ประกอบด้วย β-Sn, [9, 12, 15-17] Bi, [9, 12, 17] β-SnBi, [9, 12] Cu_6Sn_5 [12, 15-17] (Cu, Ni_6)Sn_5 [12, 16] และ Ni_3Sn_4 [9, 12] ซึ่งเฟสและสารประกอบเชิงโลหะจะส่งผลต่อความต้านทานไฟฟ้าของโลหะบัดกรีทั้งสิ้น ต่อมา รูปที่ 3(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุผสมของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วกับค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C พบว่า ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ 4.793±0.082 x10^{-7} 5.223±0.185 x10^{-7} และ 5.494±0.182 x10^{-7} $\Omega.M$ ตามลำดับ Sn-58Bi-0.5Cu ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ 4.736±0.042 x10^{-7} 5.174±0.080 x10^{-7} และ 5.481±0.065 x10^{-7} $\Omega.M$ ตามลำดับ และ Sn-58Bi-0.5Ni ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ 4.714±0.096 x10^{-7} 5.139±0.386 x10^{-7} และ 5.470±0.421 x10^{-7} $\Omega.M$ ตามลำดับ และโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ 5.162±0.010 x10^{-7} 5.713±0.073 x10^{-7} และ 6.052±0.052 x10^{-7} $\Omega.M$ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางไฟฟ้ากับโลหะบัดกรีชนิดยูเทคติก Sn37Pb มีค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 1.45 x10^{-7} $\Omega.M$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทุกสูตร แต่จากผลของค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าเป็นการนำค่าความต้านทานไฟฟ้ามาวิเคราะห์ทางด้านวัสดุวิศวกรรม ผลของสภาพความต้านทานไฟฟ้าจึงมีลักษณะแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่าความต้านทานไฟฟ้า เนื่องจากสภาพความต้านทานไฟฟ้าโดยรวมที่จะเกิดขึ้นประกอบด้วย

องค์ประกอบหลักที่สำคัญ 3 ประการ คือ (1) สารมลทิน (Impurity) หมายถึง ธาตุหรือสารที่ไม่พึงประสงค์ในวัสดุเนื้อเมทริกซ์ (2) ความร้อน (Thermal) หมายถึง สมบัติทางความร้อน ในงานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวอย่างซึ่งโดยทั่วไปสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นมีสาเหตุจากการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นนั้นเอง เพราะว่าความร้อนที่ตัวอย่างได้รับจะทำให้การสั่นอะตอมของวัสดุตัวนำเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มอุณหภูมิ การกระเจิงของโฟนอนอิเล็กตรอน (Phonon-electron) เพิ่มขึ้นจึงไปรบกวนทิศทางการไหลของอิเล็กตรอน [8] และ (3) การเปลี่ยนรูป (Deformation) หมายถึง วัสดุหรือชิ้นงานของแข็งเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างตามกฎของ Matthiessen's rule [6] แต่เมื่อนำโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วแต่ละชนิดกับอุณหภูมิที่แตกต่างกันวิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA: Two-Factor With Replication ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) เท่ากับ 0.5 พบว่า P-value ของ Sample = $2.18 \times 10^{-10} < 0.05$ ปฏิเสธ H0 นั้นคือ โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วส่งผลให้ค่าทางความต้านทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน สำหรับ P-value ของ Columns = $1.95 \times 10^{-16} < 0.05$ ปฏิเสธ H0 นั้นคือ อุณหภูมิต่างกันส่งผลให้ค่าทางความต้านทางไฟฟ้ามีความแตกต่างกัน และ P-value ของ Interaction = $0.95 > 0.05$ ยอมรับ H0 นั้นคือ โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วกับอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าทางความต้านทางไฟฟ้า ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. การวิเคราะห์ ANOVA: Two-Factor With Replication

ANOVA						
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Sample	2.91121E-14	3	9.70404E-15	27.043	2.18E-10	2.79806
Columns	6.05311E-14	2	3.02655E-14	84.3432	1.95E-16	3.19073
Interaction	5.59393E-16	6	9.32322E-17	0.25982	0.95279	2.2946
Within	1.72242E-14	48	3.58838E-16			
Total	1.07427E-13	59				

ในรูปที่ 3(ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุผสมของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วกับค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C พบว่า ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ $2.087 \pm 0.035 \times 10^6$ $1.917 \pm 0.070 \times 10^6$ และ $1.822 \pm 0.061 \times 10^6$ S/M ตามลำดับ Sn-58Bi-0.5Cu ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ $2.112 \pm 0.019 \times 10^6$ $1.933 \pm 0.029 \times 10^6$ และ $1.825 \pm 0.022 \times 10^6$ S/M ตามลำดับ และ Sn-58Bi-0.5Ni ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ $2.122 \pm 0.0428 \times 10^6$ $1.954 \pm 0.137 \times 10^6$ และ $1.836 \pm 0.134 \times 10^6$ S/M ตามลำดับ และโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าเท่ากับ $1.937 \pm 0.004 \times 10^6$ $1.751 \pm 0.022 \times 10^6$ และ $1.652 \pm 0.014 \times 10^6$ S/M ตามลำดับ ซึ่งผลของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi Sn-58Bi-0.5Cu Sn-58Bi-0.5Ni มีค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกันและเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงด้วย ในขณะเดียวกัน โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni มีค่าความต้านทานไฟฟ้าทุกอุณหภูมิสูงที่สุดส่งผลให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าลดต่ำลงและจะยิ่งลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามกฎของ Matthiessen's rule [6]



รูปที่ 3 สมบัติทางไฟฟ้าโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด (ก) ความต้านทานไฟฟ้า (ข) สภาพความต้านทานไฟฟ้า และ (ค) สภาพการนำไฟฟ้า อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C

3.2 ผลการทดสอบความแข็ง

ในรูปที่ 4 ผลการทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์สของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi Sn-58Bi-0.5Cu Sn-58Bi-0.5Ni และ Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นตัวอย่างที่สุ่มเลือก 1 ชิ้นจากจำนวนทั้งหมด 5 ชิ้น ในลำดับที่ 2 ของตัวอย่างทดสอบความต้านทาน

ไฟฟ้า พบว่า ค่าความแข็งไมโครวิกเกอร์สที่ปรากฏของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi Sn-58Bi-0.5Cu Sn-58Bi-0.5Ni และ Sn-58Bi-0. 5Cu-0. 5Ni มีค่าความแข็งเท่ากับ 18.30±0.39 19.47±0.42 20.03±0.63 และ 21.42±0.79 HV ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับความแข็งของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi กับโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดอื่นซึ่งมีความแข็งเฉลี่ยสูงกว่า เพิ่มขึ้น 6.4 9.5 และ 17.1 % เกิดจากการเพิ่มความแข็งโดยการทำให้เป็นสารละลายของแข็ง (Solid Solution Strengthening) สาเหตุจากความแตกต่างขนาดอะตอมของตัวทำละลายและสารละลาย เช่น ขนาดอะตอมของนิกเกิลเท่ากับ 124 $1x10^{-12}$ m ทองแดงเท่ากับ 128 $1x10^{-12}$ m ดีบุกเท่ากับ 140 $1x10^{-12}$ m และบิสมัทเท่ากับ 156 $1x10^{-12}$ m [10] หรือเกิดจากค่าคงที่ของแลตทิซ (Lattice Constant) เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเติมธาตุเจือ คือ ทองแดงและนิกเกิล นอกจากนี้ ยังเกิดจากการรวมตัวของสารประกอบเชิงโลหะ [17] และเกิดจากการเพิ่มความแข็งโดยการตกตะกอน (Precipitation Strengthening) [11] ประกอบด้วย β-Sn, Bi, β-SnBi, Cu_6Sn_5 (Cu, Ni_6)Sn_5 และ Ni_3Sn_4 ในวัสดุเนื้อเมทริกซ์ทำให้ความแข็งเพิ่มสูงขึ้น เป็นส่วนหนึ่งให้สภาพความต้านทานไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni สูงกว่าชนิดอื่น เนื่องจากสารประกอบเชิงโลหะ Ni_3Sn_4 เป็นสาเหตุของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระภายในเนื้อเมทริกซ์ สามารถพบได้ที่ 2θ คือ 30.44, 31.69, 43.44, และ 44.65° [12] และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA พบว่า ค่า P-value ของ Between Groups มีค่าเท่ากับ 0.000 < 0.05 หมายถึง ค่าความต้านทานไฟฟ้ามีผลจากความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2. การวิเคราะห์ ANOVA: Single Factor

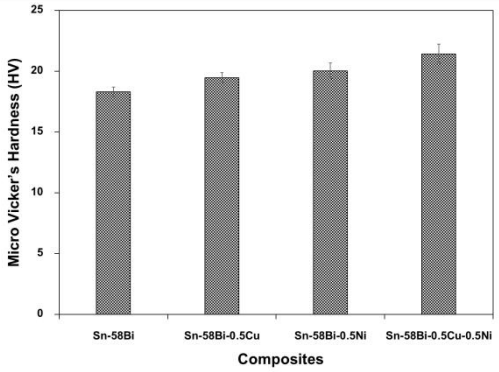
Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Resistivity 90 °C	20.0000000	0.0000112	0.0000006	0.0000000
Micro Vicker's Hardness (HV	20.0000000	396.0900000	19.8045000	1.6138576

ANOVA

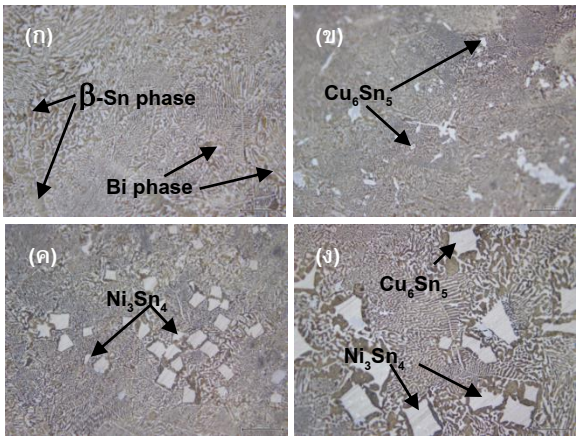
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3922.1819797	1.0000000	3922.1819797	4860.6294669	0.0000000	4.0981717
Within Groups	30.6632950	38.0000000	0.8069288			
Total	3952.8452747	39.0000000				



รูปที่ 4 ผลความแข็งของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่อุณหภูมิ 90 °C

3.3 ผลการทดสอบโครงสร้างจุลภาค

ในรูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด (ก) Sn-58Bi (ข) Sn-58Bi-0.5Cu (ค) Sn-58Bi-0.5Ni และ (ง) Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni ที่อุณหภูมิ 90 °C รูปที่ 5(ก) ผลของโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi พบว่า ในโครงสร้างจุลภาคปรากฏเป็น 2 พื้นที่ คือ เฟสของเบต้าดีบุก (β-Sn phase) มีลักษณะสีทึบ (Dark) และเฟสของบิสมัท Bi phase สีมีความสว่าง (Bright) กว่าเฟสของเบต้าดีบุก เฟสทั้ง 2 ในโครงสร้างจุลภาคมีลักษณะโครงสร้างสลับกัน (Lamella Structure) ซึ่งเฟสของบิสมัทจะละลายเข้าในเฟสของเบต้าดีบุกเกิดเป็นเฟส β-SnBi สาเหตุการเกิดจากการละลายรวมตัวเข้าด้วยกัน เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Yang et al. [9] ที่ศึกษาสมบัติทางกลของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi เติมธาตุเจือนิกเกิลแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 0 120 และ 240 h ต่อมาในรูปที่ 5(ข) โครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu พบว่า เฟสของเฟสบิสมัทมีการกระจายตัวในเนื้อเมทริกซ์ของเบต้าดีบุก และพบการละลายของธาตุบิสมัทในเบต้าดีบุกเป็นเฟสของ β-SnBi นอกจากนี้ ในโครงสร้างจุลภาคพบสารประกอบเชิงโลหะ คือ Cu_6Sn_5 มีโครงสร้างผลึก Hexagonal [17] ในรูปที่ 5(ค) โครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Ni พบว่า เฟสของเฟสบิสมัทมีการกระจายตัวในเนื้อเมทริกซ์ของเบต้าดีบุกและพบการละลายของธาตุบิสมัทในเบต้าดีบุกเป็นเฟสของ β-SnBi นอกจากนี้ พบสารประกอบเชิงโลหะจากการตกตะกอนจึงเกิดของแข็งขึ้นระหว่างการเย็นตัวของของเหลวหรือขณะให้ความร้อนกับชิ้นตัวอย่าง คือ Ni_3Sn_4 [9] มีลักษณะหยาบในโครงสร้าง



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 200x ของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด ก) Sn-58Bi (ข) Sn-58Bi-0.5Cu (ค) Sn-58Bi-0.5Ni และ (ง) Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni ที่อุณหภูมิ 90 °C

และ ในรูปที่ 5(ง) โครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni พบว่า เฟสของเฟสบิสมัทมีการกระจายตัว

ในเนื้อเมทริกซ์ของเบต้าดีบุก และพบการละลายของธาตุบิสมัทในเบต้าดีบุกเป็นเฟสของ β-SnBi นอกจากนี้พบสารประกอบเชิงโลหะ คือ Cu_6Sn_5 [17] $(Cu, Ni_6)Sn_5$ ที่เกิดจากนิกเกิลแทนที่ทองแดงในอนุภาค Cu_6Sn_5 [3] และ Ni_3Sn_4 [9] เป็นสารมลทินที่ส่งผลทำให้สมบัติทางไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้สภาพการต้านไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni สูงกว่าชนิดอื่น และสภาพการนำไฟฟ้าลดลงกว่าโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดอื่นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสภาพการนำไฟฟ้ายิ่งลดต่ำลง

4. สรุป

จากผลการวิจัยผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมบัติทางไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi Sn-58Bi-0.5Cu Sn-58Bi-0.5Ni และ Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni สำหรับวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมีรายละเอียด ดังนี้

การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วโดยเฉพาะสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi และที่เติมธาตุเจือทองแดง นิกเกิล ที่ 0.5 wt% มีค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเติมธาตุเจือทั้งทองแดงกับนิกเกิลรวมกันของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni ที่อุณหภูมิ 25 50 และ 75 °C มีค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ $5.162\pm0.010 \times 10^{-7}$ $5.713\pm0.073 \times 10^{-7}$ และ $6.052\pm0.052 \times 10^{-7}$ $\Omega.M$ หากเปรียบเทียบกับโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi สภาพความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 7.69 9.39 และ 10.15 % ตามลำดับ จึงไม่ควรเติมธาตุเจือทั้งทองแดงและนิกเกิลรวมกันกับโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi จะทำให้สภาพความความต้านทานไฟฟ้าสูงขึ้นไม่เหมาะกับวัสดุตัวนำ นอกจากนี้ได้วิเคราะห์ทางสถิติ โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วส่งผลให้ค่าทางความต้านทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีความแตกต่างกันและอุณหภูมิต่างกันส่งผลให้ค่าทางความต้านทางไฟฟ้ามีความแตกต่างกัน

การทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์สของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi Sn-58Bi-0.5Cu Sn-58Bi-0.5Ni และ Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni มีค่าความแข็งเท่ากับ 18.30±0.39 19.47±0.42 20.03±0.63 และ 21.42±0.79 HV เมื่อเปรียบเทียบกับความแข็งของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi กับโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดอื่นซึ่งมีความแข็งเฉลี่ยสูงกว่าเพิ่มขึ้น 6.4 9.5 และ 17.1 % เกิดจากการเพิ่มความแข็งโดยการทำให้เป็นสารละลายของแข็งและเกิดจากการเพิ่มความแข็งโดยการตกตะกอนในวัสดุเนื้อเมทริกซ์ทำให้ความแข็งเพิ่มสูงขึ้น เป็นส่วนหนึ่งให้สภาพความต้านทานไฟฟ้าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni สูงกว่าชนิดอื่นจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระยากขึ้นจากสารประกอบเชิงโลหะที่กระจายตัวอยู่วัสดุเนื้อเมทริกซ์

โครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni พบสารประกอบเชิงโลหะ คือ Cu_6Sn_5 พบที่ 2θ คือ 30.15, 43.00, และ 53.40° และ Ni_3Sn_4 พบที่ 2θ คือ 30.44, 31.69, 43.44, และ 44.65° [12] ของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-58Bi-0.5Cu-0.5Ni สภาพการนำไฟฟ้าลดลงกว่าโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดอื่นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสภาพการนำไฟฟ้ายิ่งลดต่ำลง

โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่เหมาะสมในการนำเป็นสภาพตัวนำไฟฟ้าสามารถนำมาใช้ได้ดี คือ Sn-58Bi-0.5Ni

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสาขาวิชาอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สนับสนุนอุปกรณ์สำหรับการเตรียมตัวอย่าง นอกจากนี้ ขอขอบคุณ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ วัสดุ อุปกรณ์การเตรียมขึ้นรูปตัวอย่าง เครื่องทดสอบความแข็ง และการตรวจโครงสร้างจุลภาค ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] A. Kar, M. Ghosh, R. N. Ghosh, B. S. Majumdar, and A. K. Ray. 2008. “Evolution of Mechanical and Electrical Properties of Tin–Lead and Lead Free Solder to Copper Joint Interface”. Materials Letters, Vol. 62: 151–154.

[2] K.H. Prakash, and T. Sritharan. 2004. “Tensile Fracture of Tin–Lead Solder Joints in Copper”. Materials Science and Engineering A, Vol. 379: 277–285.

[3] S. Cheng, C. M. Huang, and M. Pecht. 2017. “A Review of Lead-Free Solders for Electronics Applications”. Microelectronics Reliability. Vol, 75: 77-95.

[4] F. Yang, L. Zhang, Z.Q. Liu, S. J. Zhong, J. Ma, and L. Bao. 2016. “Properties and Microstructures of Sn-Bi-X Lead-Free Solders”. Advances in Materials Science and Engineering. Vol, 2016(1): 1-15.

[5] J. S. Bhavan, G. Kadavath, D. Honecker, A. Pazhan. 2024. “Small-Angle Neutron Scattering Analysis in Sn-Ag Lead-Free Solder Alloys: A Focus on the Ag_3Sn Intermetallic Phase”. Materials Characterization. Vol, 217: 114385.

[6] P. Babaghorbani, S.M.L. Nai, and M. Gupta. 2009. “Reinforcements at Nanometer Length Scale and the Electrical Resistivity of Lead-Free Solders”. Journal of Alloys and Compounds. Vol, 478: 458–461.

[7] J. Fan, Z. Liu, H. Zhai, X. Wang, Y. Wang, Y. Li, X. Zhou, S. Wu, and J. Liu. 2016. “Effect of Co content on the microstructure, spreadability, conductivity and corrosion resistance of Sn-0.7Cu alloy”. Microelectronics Reliability, Vol.07, 113615.

[8] X. F. Tan, Q. Hao, J. Zhou, S. D. McDonald,·K. Sweatman and K. Nogita. 2024. “The Effect of Temperature on the Electrical Resistivity of Sn-Bi Alloys”. Journal of Electronic Materials. Vol, 53: 1183–1191.

[9] L. Yang, W. Zhou, Y. Ma, X. Li, Y. Liang, W. Cui, and P. Wu. 2016. “Effects of Ni Addition on Mechanical Properties of Sn58Bi Solder Alloy During Solid-State Aging”. Materials Science & Engineering A. Vol, 667: 368–375.

[10] O. Mokhtari, and H. Nishikawal. 2014. “Effects of In and Ni Addition on Microstructure of Sn-58Bi Solder Joint”. Journal of Electronic Materials. Vol, 43 (11): 1458-1470.

[11] J. Yang, Q. Zhang, and Z. Song. 2021. “Influences of Ag and In Alloying on Microstructure and Mechanical Properties of Sn-58Bi Solder”. Journal of Electronic Materials. Vol, 50 (1): 283–290.

[12] P. Sungkhaphaitoon, and S. Chantaramanee. 2025. “Effects of Minor Addition of Cu and Ni on the Microstructure, Thermal and Mechanical Properties, and Wettability of Sn-58Bi Solder Alloys”. Journal of Electronic Materials. https://doi.org/10.1007/s11664-025-11861-3

[13] S. Zhou, C. H.Yang, S. K. Lin, A. N. AlHazaa, O. Mokhtari, X. Liu and H. Nishikawa. 2019. “Effects of Ti Addition on the Microstructure, Mechanical Properties and Electrical Resistivity of Eutectic Sn58Bi Alloy”. Materials Science and Engineering: A, Vol. 744: 560-569.

[14] F. Li, L. Xu, M. Chen, F. Zhang, Z. Wang, X. Liu, and H. He. 2024. “Effects of Ga Addition on the Microstructure and Mechanical Performance of Sn-58Bi Based Alloys and the Solder Joints”. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, Vol. 35: 2159.

[15] H. Al-sorory, M. S. Gumaan, and R. M. Shalaby. 2023. “Effect of Al_2O_3 Nanoparticle Addition on the Microstructure, Mechanical, Thermal, and Electrical Properties of Melt-Spun SAC355 Lead-Free Solder for Electronic Packaging”. Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 32 (19): 8600–8611.

[16] A. A. El-Daly, A. A. Ibrahiem and N. A. M. Eid. 2021. “Development of Sn-1.0Ag-0.7Cu Composite Solder with Improved Resistivity and Strength–Ductility Synergy Through Additions of Ni, Te and MWCNT”. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, Vol. 32: 19871–19889.

[17] R. Rashidi, and H. Naffakh-Moosavy. 2021. “Metallurgical, Physical, Mechanical and Oxidation Behavior of Lead-Free Chromium Dissolved Sn-Cu-Bi Solders”. Journal of Materials Research and Technology. Vol, 13: 1805-1825.

Bus Routing Problem with Time Windows for Tourists (BRPTWT)

Wipoo Sovapark[1*], Pisit Jarumaneeroj[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: 6570232421@student.chula.ac.th *

Abstract

The tourism industry in Thailand has experienced significant fluctuations in recent years, due largely to changes in geopolitics that, in turn, impact most tourism-related businesses, including tourist transportation services between airports and hotels. Efficient transportation planning is essential to accommodate varying tourist demands while ensuring cost-effective and reliable services. One of the key challenges in tourist transportation is optimizing bus routes while considering time windows, ensuring that buses operate efficiently within scheduled arrival and departure times. This study presents a mathematical model to address the Bus Routing Problem with Time Windows for Tourists (BRPTWT), in which tourists from various flights are transported to designated hotels in such a way that the total cost of transportation is minimized. For practicality, the model includes time window constraints at both hotels and the airport, ensuring that tourists are properly served within the operational time window. We find that small BRPTWT instances could be solved to optimality by CPLEX. Yet, large BRPTWT instances may require advanced heuristics, due to its complexity, worth exploring in future research studies.

Keywords: Bus Routing Problem, Time Windows, Tourist Transportation, Mathematical model, Optimization

1. Introduction

The rapid expansion of tourism in urban centers—like Bangkok—necessitates efficient transportation solutions to help facilitate the movement of visitors between major transit hubs, such as airports and hotels [1]. The Bus Routing Problem with Time Windows for Tourists (BRPTWT) addresses this challenge by optimizing bus routes and their respective schedules, while adhering to various operational constraints, including time windows for tourist arrivals, vehicle capacity, and the equitable allocation of tourists to different destinations [2]. Unlike traditional Vehicle Routing Problems (VRP), the BRPTWT investigated herein requires a more detailed consideration on passenger flow dynamics and service quality to better enhance the tourist experience [3].

For ease of discussion, the main objective of this research is to develop a mathematical model for the BRPTWT that helps minimize the total cost of transportation—primarily derived from traveling and operating costs of buses—while ensuring efficient fleet utilization and service reliability [4]. Yet, the underlying BRPTWT could be further extended by including additional service-related constraints. Based on this fact, we expect that the mathematical formation of BRPTWT and results presented herein would be useful for future research studies, particularly the development of more sustainable urban transit systems that offer seamless and timely transportation services for tourists in busy metropolitan areas [5].

2. Literature Review

The Bus Routing Problem with Time Windows for Tourists (BRPTWT) is a variant of the Vehicle Routing Problem (VRP) that integrates vehicle capacity and time window constraints to optimize transportation planning of tourists between major transit hubs. Various models have been proposed, in the literature, to address different problem aspects, including cost, service, and operational perspectives. Keskin et al. [6], for instance, presented a model to optimize the cost of transportation incurred in the traversing and vehicle costs—simply by determining the most cost-efficient routes satisfying all problem constraints. Likewise, Sacramento et al. [7] developed a model to help minimize the overall costs incurred in the vehicle routing problem with drones.

In terms of service, customer waiting time has played a crucial role in ensuring service quality. In this regard, Keskin et al. [6]

quantified waiting time as the total duration spent on a route. They found that, to improve customer satisfaction, waiting time should be effectively managed and minimized.

Besides these works, there are also research studies that focus on utilizing combinatorial optimization methods in solving variants of VRP with time constraints—similar to the underlying bus routing problem with time windows for tourists (BRPTWT) investigated herein. Guo et al. [2], for example, explored the bus routing problem that took passenger's time window preference at a station into account and, accordingly, developed a mixed-integer programming model to customized bus routes with comprehensive spatial-temporal constraints. With this model, the authors could concurrently optimize both bus routes and passenger assignment, which, in turn, improved vehicle capacity utilization and service quality at the same time.

Sacramento et al. [7], on the other hand, investigated the vehicle routing problem with drones, considering drone-vehicle collaboration, where a drone could be launched and recovered at specific nodes visited by the vehicle. To address this problem, the authors proposed a mathematical model based on a variation of the Flying Sidekick Traveling Salesman Problem. The authors found that solving large instances to optimality was computationally challenging and time-consuming. Therefore, they proposed a metaheuristic approach to efficiently solve large-scale problems.

Based on the aforementioned research, it could be seen that optimizing route efficiency and minimizing operational costs remain critical objectives in the VRPTW—and so the BRPTWT. By leveraging mathematical optimization techniques, the BRPTWT could potentially enhance transportation planning and service quality for tourism-related businesses.

3. Problem Description

3.1 Mathematical Formulation

The Bus Routing Problem with Time Windows for Tourists (BRPTWT) is a variant of the Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW), where a bus is operated in a multiple trip manner—or rounds—on a daily basis. To this end, the bus must start and end its trips at the airport; and it is possible for a hotel to be visited multiple times by the same bus, but on different rounds. The objective of this problem is simply to determine the minimum cost of transportation derived from operational costs of buses, including both fixed and variable costs [8,9].

3.1.1 Sets and Parameters

- $G = (N, E)$ is a transportation network with sets of nodes (N) and edges (E).
- $N = \emptyset \cup I$ is a set of nodes, where $\emptyset$ denotes an airport and I is a set of hotels.
- $E = \{(i,j) \mid i,j \in N, i \neq j\}$ is a set of edges linking nodes in N.
- K is a set of buses used for transporting tourists from the airport to each hotel.
- R is a set of trips performed by a bus (each bus may be used to transport tourists multiple times a day).
- T is a set of flights.
- c_{ij} denotes the Euclidean distance between node $i \in N$ and node $j \in N$.
- c_k denotes a fixed cost for utilizing bus $k \in K$.
- $time_t$ denotes the time that tourists from flight $t \in T$ arrive at the bus stop.
- M is a massive number.
- q_{jt} denotes the number of tourists from flight $t \in T$ visiting hotel $j \in I$.
- Q denotes the capacity of each bus.
- t_{ij} denotes the travel time from node $i \in N$ to node $j \in N$.
- $e_\emptyset$ is the starting time of planning horizon.
- $l_\emptyset$ is the ending time of the planning horizon.
- e_i is the earliest time that tourists could visit hotel $i \in I$ (*i.e.*, check-in time).
- l_i is the latest time that tourists could visit hotel $i \in I$.
- $\beta_\emptyset$ denotes the tourist loading time at the airport.
- β_i denotes the tourist unloading time at hotel $i \in I$.

3.1.2 Decision Variables

- x_{ij}^{kr} is a binary decision variable indicating whether bus $k \in K$ traverses on edge $(i,j) \in E$ in trip $r \in R$.
- $Z_\emptyset^{kr}$ is a binary decision variable indicating whether trip $r \in R$ of bus $k \in K$ departs the airport.
- $Z_\emptyset^{k,r+1}$ is a binary decision variable indicating whether trip $r+1 \in R$ of bus $k \in K$ departs the airport.
- $d_\emptyset^{kr}$ is the ready time for trip $r \in R$ of bus $k \in K$ to start loading tourists at the airport.
- d_i^{kr} is the arrival time of trip $r \in R$ of bus $k \in K$ at hotel $i \in I$.

- $b_{\emptyset}^{kr}$ is the departure time of trip $r \in R$ of bus $k \in K$ at the airport.
- b_{i}^{kr} is the departure time of trip $r \in R$ of bus $k \in K$ at hotel $i \in I$.
- A_{t}^{kr} is a binary decision variable indicating whether the trip $r \in R$ of bus $k \in K$ departs the airport after the arrival of tourists from flight $t \in T$.
- y_{jt}^{kr} denotes the number of tourists from flight $t \in T$ destined to hotel $j \in I$ on trip $r \in R$ of bus $k \in K$.

3.1.3 Objective Function

Equation (3.1) defines the BRPTWT objective function, aiming to minimize of total transporting cost of tourists to hotels. This function comprises of two cost components: the first is the total traveling cost—incurred when of trip $r \in R$ of bus $k \in K$ traverses on any link (i,j) in E—and the latter is the total fleet cost—incurred only when bus $k \in K$ is dispatched (*i.e.*, $Z_{\emptyset}^{k1}$= 1).

- Minimizing total cost of transportation:

$$\min \sum_{r\in R}\sum_{k\in K}\sum_{(i,j)\in E} c_{ij}x_{ij}^{kr} + \sum_{k\in K} c_k Z_{\emptyset}^{k1} \quad (3.1)$$

3.1.4 Constraints

Constraints (3.2) - (3.4) are flow conservation constraints that help control the movement of bus $k \in K$ in performing their r^{th} trip. Particularly, if trip $r \in R$ of bus $k \in K$ is dispatched (*i.e.*, $Z_{\emptyset}^{kr}$= 1), it must visit some hotels in I, before returning to the airport. Else, when $Z_{\emptyset}^{kr}$= 0, no hotels would be visited by trip $r \in R$ of bus $k \in K$.

$$\sum_{i\in I} x_{\emptyset i}^{kr} = Z_{\emptyset}^{kr}; \forall k \in K, \forall r \in R \quad (3.2)$$

$$\sum_{i\in I, i\neq h, h\neq\emptyset} x_{ih}^{kr} = \sum_{j\in I, h\neq j, h\neq\emptyset} x_{hj}^{kr}; \quad \forall h \in I, \forall k \in K, \forall r \in R \quad (3.3)$$

$$\sum_{j\in I} x_{j\emptyset}^{kr} = Z_{\emptyset}^{kr}; \forall k \in K, \forall r \in R \quad (3.4)$$

Constraint (3.5) stipulates that each hotel can be visited multiple times by different bus trips; but, in each trip, each hotel could be visited only once. Constraint (3.6), on the other hand, helps prevent the traversing of self-loop link (i,i).

$$\sum_{i\in I, i\neq j, j\neq\emptyset} x_{ij}^{kr} \leq 1; \forall j \in I, \forall k \in K, \forall r \in R \quad (3.5)$$

$$x_{ii}^{kr} = 0; \forall j \in I, \forall k \in K, \forall r \in R \quad (3.6)$$

Constraint (3.7) ensures that trip $r+1 \in R$ of bus $k \in K$ could be dispatched only when trip $r \in R$ of bus $k \in K$ has already been dispatched.

$$Z_{\emptyset}^{k,r+1} \leq Z_{\emptyset}^{kr}; \forall k \in K, \forall r \in R \quad (3.7)$$

Constraints (3.8) – (3.10) link the arrival time of tourists from flight $t \in T$ at the bus stop with the departure time of trip $r \in R$ of bus $k \in K$ via the logical decision variable A_{t}^{kr}. To be precise, A_{t}^{kr} will be set to one if the tourists from flight $t \in T$ arrive before the departure of trip $r \in R$ of bus $k \in K$. In such a case, tourists from flight $t \in T$ destined to hotel $j \in J$ may board the bus, according to Constraint (3.10). Conversely, A_{t}^{kr}= 0 implies that the tourists from flight $t \in T$ arrive after the departure of trip $r \in R$ of bus $k \in K$. As such, no tourists from such flight could board the bus (y_{jt}^{kr}= 0).

$$b_{\emptyset}^{kr} - time_t - \beta_{\emptyset} \leq MA_{t}^{kr}; \quad \forall k \in K, \forall r \in R, \forall t \in T \quad (3.8)$$

$$b_{\emptyset}^{kr} - time_t - \beta_{\emptyset} \geq M(A_{t}^{kr} - 1); \quad \forall k \in K, \forall r \in R, \forall t \in T \quad (3.9)$$

$$y_{jt}^{kr} \leq MA_{t}^{kr}; \quad \forall j \in I, j \neq \emptyset, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall r \in R \quad (3.10)$$

Regarding the demand constraint, Constraint (3.11) ensures that the number of tourists from flight $t \in T$ destined to hotel $j \in I$ has been properly transported to such a hotel via multiple bus trips.

$$\sum_{r\in R}\sum_{k\in K} y_{jt}^{kr} = q_{jt}; \forall j \in I, \forall t \in T \quad (3.11)$$

Constraints (3.12) – (3.13), on the other hand, are capacity constraints ensuring that, in each bus trip, a maximum of Q tourists could be on board. Note that, these constraints also serve as logical constraints that well link boarded tourists with destined hotels in the tour of trip $r \in R$ of bus $k \in K$. In particular, Constraint (3.12) states that tourists destined to hotel $j \in I$ from various flights could be transported by a bus trip that indeed visits

hotel $j \in I$. Likewise, these tourists could be on board only when the underlying bus trip exists by Constraint (3.13).

$$\sum_{t\in T} y_{jt}^{kr} \le Q \sum_{i\in I} x_{ij}^{kr}; \quad \forall j \in I, j \neq \emptyset, \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.12}$$

$$\sum_{j\in I}\sum_{t\in T} y_{jt}^{kr} \le Q Z_{\emptyset}^{kr}; \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.13}$$

Constraints (3.14) – (3.16) are time window constraints for the departure of buses. Note that the decision variable $d_{\emptyset}^{kr}$ represents the ready time of trip $r \in R$ of bus $k \in K$ at the airport—or equivalently its arrival time at the airport. Based on this definition, Constraint (3.14) states that all buses are initially ready at the airport at time $e_{\emptyset}$. Furthermore, for any trip $r \in R$ of bus $k \in K$, tourists must complete boarding by time $b_{\emptyset}^{kr}$, according to Constraint (3.15). Once departed the airport, the bus will visit hotel $j \in I$, whose arrival time (*i.e.*, d_j^{kr}) is controlled by Constraint (3.16).

$$d_{\emptyset}^{k1} = e_{\emptyset}; \forall k \in K \tag{3.14}$$

$$b_{\emptyset}^{kr} \ge d_{\emptyset}^{kr} + \beta_{\emptyset}; \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.15}$$

$$b_{\emptyset}^{kr} + t_{\emptyset j} x_{\emptyset j}^{kr} - M\left(1 - x_{\emptyset j}^{kr}\right) \le d_j^{kr}; \quad \forall j \in I, \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.16}$$

The arrival and departure times at hotel $j \in I$ by trip $r \in R$ of bus $k \in K$ are preserved by Constraints (3.17) – (3.18), which could be regarded as another set of time window constraints for each hotel. Note that, as d_i^{kr} and b_i^{kr} define the arrival and departure times of trip $r \in R$ of bus $k \in K$ at hotel $i \in I$, Constraint (3.17) therefore ensures that the departure time of trip $r \in R$ of bus $k \in K$ at hotel $i \in I$ (d_i^{kr}) must be at least the arrival time plus unloading time for tourists at hotel $i \in I$, denoted as β_i. Constraints (3.18) – (3.19) follow the same principle as Constraint (3.16), but they have been applied to the arrivals at other hotels and the airport, respectively.

$$b_i^{kr} \ge d_i^{kr} + \beta_i; \forall j \in I, \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.17}$$

$$b_i^{kr} + t_{ij} x_{ij}^{kr} - M\left(1 - x_{ij}^{kr}\right) \le d_j^{kr}; \quad \forall i, j \in I, i \neq j, \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.18}$$

$$b_j^{kr} + t_{j\emptyset} x_{j\emptyset}^{kr} - M\left(1 - x_{j\emptyset}^{kr}\right) \le d_{\emptyset}^{k,r+1}; \quad \forall j \in I, \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.19}$$

Table 1
The Optimal Solutions Based on Three Decision Variables—y, d, and b—from Instance 23

y					d				b			
I	T	K	R	Value	I	K	R	Value	I	K	R	Value
1	1	1	1	2	0	1	1	0	0	1	1	8.5
1	1	2	1	6	0	1	2	15.8	0	1	2	16.3
1	2	2	1	8	0	2	1	0	0	2	1	10.5
1	3	2	1	8	0	2	2	14.8	0	2	2	15.3
1	4	2	1	8	0	3	1	0	0	3	1	10.5
1	5	2	1	8	0	3	2	17.6	0	3	2	18.1
1	6	2	1	8	0	4	1	0	0	4	1	12.5
1	7	1	1	8	0	4	2	17.4	0	4	2	17.9
1	8	2	1	4	1	1	1	10	1	1	1	10.1
1	8	3	2	4	1	1	2	0	1	1	2	0.1
1	9	3	2	8	1	2	1	13.2	1	2	1	13.3
1	10	3	2	8	1	2	2	0	1	2	2	0.1
2	1	4	1	8	1	3	1	0	1	3	1	0.1
2	2	3	2	6	1	3	2	19.6	1	3	2	19.7
2	2	4	1	2	1	4	1	0	1	4	1	0.1
2	3	4	1	8	1	4	2	0	1	4	2	0.1
2	4	3	2	8	2	1	1	21.9	2	1	1	22
2	5	4	1	8	2	1	2	0	2	1	2	0.1
2	6	4	1	8	2	2	1	0	2	2	1	22
2	7	4	1	8	2	2	2	0	2	2	2	0.1
2	8	4	1	8	2	3	1	0	2	3	1	0.1
2	9	3	2	8	2	3	2	21.9	2	3	2	22
2	10	3	2	8	2	4	1	15.3	2	4	1	15.4
3	1	1	1	8	2	4	2	0	2	4	2	0.1
3	2	1	2	8	3	1	1	13.2	3	1	1	13.3
3	3	1	1	8	3	1	2	18.8	3	1	2	18.9
3	4	2	2	8	3	2	1	0	3	2	1	0.1
3	5	1	1	8	3	2	2	17.8	3	2	2	17.9
3	6	1	1	8	3	3	1	0	3	3	1	0.1
3	7	1	1	8	3	3	2	21.4	3	3	2	21.5
3	8	1	2	4	3	4	1	0	3	4	1	0.1
3	8	2	2	4	3	4	2	0	3	4	2	0.1
3	9	2	2	8	4	1	1	20.9	4	1	1	21
3	10	1	2	8	4	1	2	20.9	4	1	2	21
4	1	1	2	6	4	2	1	0	4	2	1	0.1
4	1	4	2	2	4	2	2	20.9	4	2	2	21
4	2	4	2	8	4	3	1	20.9	4	3	1	21
4	3	4	2	8	4	3	2	0	4	3	2	0.1
4	4	4	2	8	4	4	1	20.9	4	4	1	21
4	5	4	2	8	4	4	2	20.9	4	4	2	21
4	6	1	2	8	5	1	1	0	5	1	1	20.5
4	7	1	2	8	5	1	2	0	5	1	2	0.1
4	8	1	2	8	5	2	1	20.4	5	2	1	20.5
4	9	4	2	8	5	2	2	20.4	5	2	2	20.5
4	10	4	2	8	5	3	1	14	5	3	1	14.1
5	1	2	2	6	5	3	2	0	5	3	2	0.1
5	1	3	1	2	5	4	1	0	5	4	1	0.1
5	2	3	1	8	5	4	2	0	5	4	2	0.1
5	3	3	1	8								
5	4	3	1	8								
5	5	2	2	8								
5	6	3	1	8								
5	7	3	1	8								
5	8	3	1	8								
5	9	2	2	8								
5	10	2	2	8								

To make sure that all buses return to the airport/parking lot before its closure time, Constraint (3.20) is needed. Likewise, trip $r \in R$ of bus $k \in K$ should visit hotel $i \in I$ during its operational times, as mandated by Constraints (3.21) – (3.22).

$$b_j^{kr} + t_{j\emptyset} \le l_{\emptyset}; \forall j \in I, \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.20}$$

$$d_j^{kr} \ge e_j; \forall j \in I, \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.21}$$

$$b_j^{kr} \le l_j; \forall j \in I, \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.22}$$

Lastly, Constraints (3.23) and (3.24) define domain BRPTW decision variables.

$$x_{ij}^{kr}, Z_{\emptyset}^{kr}, Z_{\emptyset}^{k,r+1}, A_t^{kr} \in \{0,1\}; \quad \forall i, j \in I, i \neq j, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.23}$$

$$d_{\emptyset}^{kr}, d_i^{kr}, b_{\emptyset}^{kr}, b_i^{kr}, y_{jt}^{kr} \ge 0; \quad \forall i, j \in I, \forall t \in T, \forall k \in K, \forall r \in R \tag{3.24}$$

4. Results

We have tested the developed BRPTWT model based on 24 BRPTWT instances, with different parameters as summarized in Appendix A. All experiments are solved by CPLEX using a computer with CPU Intel Core i7 14700K Ram 64GB DDR5. The optimal values and computational times of these instances could also be found in Appendix A.

From Table A1, it could be seen that small BRPTWT instances could be solved to optimality within minutes, except for Instances 12 and 24, with larger numbers of hotels and buses. We expect that if the problem grows larger, in terms of these parameters, CPLEX might not be able to solve the problems within an acceptable time limit, thereby requiring efficient heuristics—which will be explored in future research studies.

For ease of understanding, Figure 1 and Table 1 show the optimal solutions to Instance 23, in which a total of 400 tourists from 10 different flights are transported to 5 hotels via a fleet of 4 buses, each of which could accommodate up to 50 tourists in one trip.

Based on Figure 1 and Table 1, 4 buses are dispatched, each with 2 rounds. The first round of bus 1, for instance, is assigned with a total of 50 tourists from flights 1, 3, 5, 6, and 7, destined to hotels 1 and 3. This bus departs from the airport at time 8.5 and arrives at hotels 1 and 3 at time 10 and 13.2, respectively. Once completed, the bus returns to the airport and it is ready for the second round at time 15.8. Similar to the first round, the second round of bus 1 is assigned with a total of 50 tourists from flights 1, 2, 6, 7, 8, and 10, destined to hotels 3 and 4. This bus departs from the airport at time 16.3 and arrives at hotels 3 and 4 at time 18.8 and 20.9, respectively. Once completed, the bus returns to the airport.

The interpretation of other bus rounds follows this fashion until we reach the last bus round, which is the round 2 of bus 4.

5. Conclusion

This paper presents a mathematical formulation model for the BRPTWT, in which tourists from different flights are transported to hotels by a homogeneous fleet of buses in a multi-trip manner so that the total cost of tourist transportation is minimized. Based on our computational results, we find that small BRPTWT instances could be solved to optimality within seconds; but, when its size grows larger, the computational time required by CPLEX tends to exponentially rise. We expect that, if the problem size further grows, CPLEX may not be able to provide the optimal solutions, within an acceptable period of time, thereby requiring an efficient heuristic to help solve the BRPTWT of larger sizes.

We also find that, when the total cost is of concern, tourist waiting times tend to rise, as CPLEX tends to combine all tourists destined to the same hotel in the same bus trip. While cost-effective, these solutions may be, however, impractical, especially for service-oriented applications. To further improve the BRPTWT's practicability, one may include waiting time as additional BRPTWT's evaluation metrics. Besides waiting time, some additional metrics may be further incorporated into the model—such as equity among bus trips so that total workload is evenly



Fig. 1. Optimized Bus Routes Generated by CPLEX OPL for a Scenario with Five Hotels and an Airport (Depot), Categorized by Different Buses and Rounds.

distributed to each bus trip—all of which are worth exploring in subsequent studies.

References

[1] Pechpakdee, Pechladda. (2024). "Enhancing Urban Tourism in Bangkok: Challenges and Opportunities." Asian Review, 37(1), 53-84.

[2] Guo, R., Guan, W., Zhang, W., Meng, F., & Zhang, Z. (2019). Customized bus routing problem with time window restrictions: Model and case study. *Transportmetrica A: Transport Science, 15*(2), 1804-1824.

[3] Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research, 225*(1), 1-11.

[4] Sarna, N. J., Ahmed, M., Rithen, F. A., & Islam, M. M. (2023). A framework of vehicle usage optimization for tour purposes. *Applied Sciences, 13*(19), 10973.

[5] Permana, A. S., & Petchsasithon, A. (2019). Assessing the seamlessness of Bangkok metropolitan public transport by using modified quantitative gap analysis. *International Journal of Built Environment and Sustainability, 7*(1), 81–97.

[6] Keskin, M., Laporte, G., & Çatay, B. (2019). *Electric vehicle routing problem with time-dependent waiting times at recharging stations*. Computers & Operations Research, 105, 233-249.

[7] Sacramento, D., Pisinger, D., & Ropke, S. (2019). An adaptive large neighborhood search metaheuristic for the vehicle routing problem with drones. Transportation Research Part C, 102, 289–315.

[8] BektaŞ, T., & ElmastaŞ, S. (2007). Solving school bus routing problems through integer programming. *Journal of the Operational Research Society, 58*(12), 1599–1604.

[9] Hulagu, S., & Celikoglu, H. B. (2022). Environment-friendly school bus routing problem with heterogeneous fleet: A large-scale real case. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(4), 3461-3471.*

Appendix A. Information of 24 Problem Instances Applied to Mathematical Formulation

Table A1 The Parameter Setting, Result of Optimal Value, and Runtime for Each Problem Instance

Instance	Problem Instance Data Modification							Optimal CPLEX	CPLEX Runtime
	Number of Hotels	Number of Buses	Number of Rounds	Number of Flights	Number of Tourists from Each Flight to Each Hotel	Hotel Opening hours	Hotel Closing Hours		
1	3	1	2	6	5	0	24	223 (relaxed)	00.00 min
2	3	2	2	6	5	0	24	315	00.00 min
3	3	2	2	6	8	0	24	320	00.00 min
4	3	6	2	6	10	0	24	402	00.00 min
5	4	2	2	6	5	0	24	387	00.00 min
6	4	3	2	6	5	0	24	387	00.01 min
7	4	2	2	6	8	0	24	456	00.02 min
8	4	6	2	6	10	0	24	587	00.05 min
9	5	2	2	6	5	0	24	497	00.12 min
10	5	3	2	6	5	0	24	497	00.39 min
11	5	3	2	6	8	0	24	590	00.05 min
12	5	6	2	6	10	0	24	unknown	>60.00 min
13	3	2	2	10	5	0	24	320	00.00 min
14	3	3	2	10	5	0	24	320	00.00 min
15	3	3	2	10	8	0	24	535	00.00 min
16	3	4	2	10	8	0	24	535	00.01 min
17	4	2	2	10	5	0	24	456	00.01 min
18	4	3	2	10	5	0	24	456	00.03 min
19	4	4	2	10	8	0	24	755	00.08 min
20	4	5	2	10	8	0	24	755	00.24 min
21	5	3	2	10	5	0	24	590	00.05 min
22	5	4	2	10	5	0	24	590	00.09 min
23	5	4	2	10	8	0	24	875	04.06 min
24	5	8	2	10	8	0	24	unknown	>60.00 min

การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งมาใช้ใหม่ในระบบระบายความร้อน เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

Enhancement of Water Recycling in Cooling System for Sustainable Development

จีระวุฒิ จินตกวี[1] นัฏฐวิกา จันทร์ศรี[2*]
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
E-mail: natthavika@eng.src.ku.ac.th*

Jeerawuth Jintakawee[1], Natthavika Chansri[2*]
[1]Engineering and Technology Management Program, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus
E-mail: natthavika@eng.src.ku.ac.th*

บทคัดย่อ

การใช้น้ำในกระบวนการผลิตสารผสมพลาสติก (Masterbatch) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในปี 2567 มีการใช้น้ำเฉลี่ย 0.5 ลิตรต่อกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์ เพื่อส่งเสริมความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงตั้งเป้าหมายเพื่อลดการใช้น้ำประปาให้ต่ำกว่า 0.35 ลิตรต่อกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์ โดยมุ่งเน้นการพัฒนาระบบบำบัดน้ำทิ้งเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในระบบระบายความร้อน งานวิจัยนี้ใช้วิธีการทดสอบการตกตะกอน (Jar Test) ร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design) และแฟกทอเรียล 3 ระดับ (Three-Level Full Factorial Design) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณของแข็งในน้ำทิ้ง (Total Solid) ผลการทดลองพบว่า การควบคุมค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) ให้อยู่ระหว่าง 6–8 และการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium Chloride: PAC) ที่ความเข้มข้น 2,000 ppm ร่วมกับโพลีอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide: PAM) ที่ความเข้มข้น 500 ppm และใช้เวลาการตกตะกอน 9,100 วินาที สามารถลดปริมาณของแข็งในน้ำทิ้งให้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ ผลลัพธ์ดังกล่าวทำให้สามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ในระบบระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยลดการใช้น้ำประปาได้ต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า วิธีการทดสอบการตกตะกอนสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ สนับสนุนการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และสามารถเป็นต้นแบบให้อุตสาหกรรมอื่นนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: การทดสอบการตกตะกอน (Jar Test), ลดการใช้น้ำประปา, การพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสีย

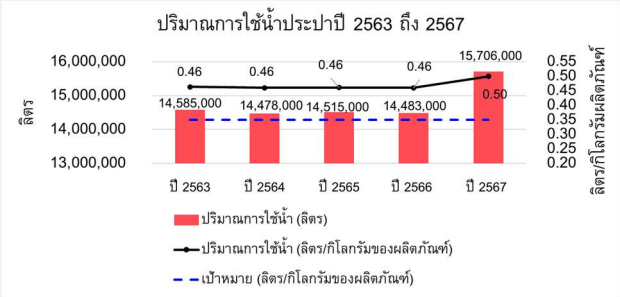
Abstract

The water usage in the masterbatch production process in this case study is projected to increase, with an estimated water consumption of 0.5 liters per kilogram of product in 2024. To promote sustainability and efficient resource use, the goal is to reduce water consumption to below 0.35 liters per kilogram of product by developing a wastewater treatment system to recycle water for reuse in the cooling system. The study utilized a Jar Test method and designed factorial experiments, including fractional and full 3-level factorials, to determine the optimal conditions for reducing the total solids in the wastewater. The results indicated that controlling the pH between 6-8, using 2,000 ppm of polyaluminum chloride (PAC) combined with 500 ppm of polyacrylamide (PAM), and a sedimentation time of 9,100 seconds effectively reduced the total solids to below the standard of 500 mg/L. This allowed the treated water to be reused in the cooling system efficiently, thus reducing water consumption below the target. This study demonstrates that the Jar Test method is an effective approach to improving the wastewater treatment process, promoting sustainable and efficient resource use, and providing a model for other industries to adopt for sustainable development.

Keywords: Jar Test, Water Reduction, Wastewater Treatment System Development

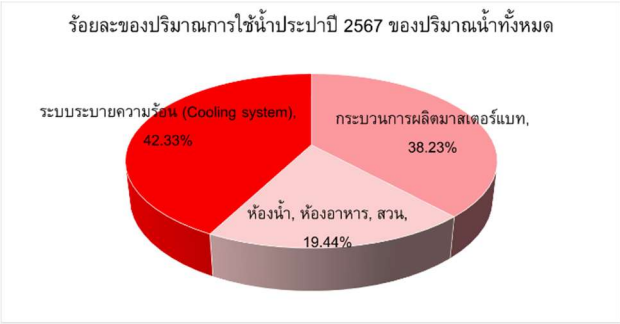
1. บทนำ

ทรัพยากรน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิต แต่หากไม่มีการจัดการอย่างเหมาะสม อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงของแหล่งน้ำในระยะยาว จากข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตสารผสมพลาสติก (รูปที่ 1) พบว่าในปี 2567 ปริมาณการใช้น้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการใช้น้ำสูงถึง 0.50 ลิตรต่อกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเกินกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ที่ 0.35 ลิตรต่อกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์ สถานการณ์นี้สะท้อนถึงความจำเป็นในการปรับปรุงระบบบริหารจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืน จึงมีแนวคิดในการลดการใช้น้ำในกระบวนการผลิตสารผสมพลาสติก



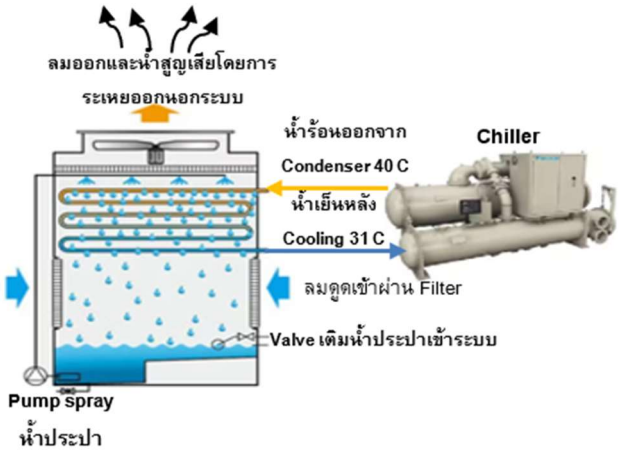
รูปที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำประปาปี 2563 ถึง 2567

เพื่อให้สามารถลดการใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของโรงงาน จากการวิเคราะห์ข้อมูลในปี 2567 (รูปที่ 2) พบว่า ระบบระบายความร้อน (Cooling System) เป็นแหล่งที่มีการใช้น้ำสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 42.33 ของปริมาณน้ำทั้งหมด 15.7 ล้านลิตร ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของระบบระบายความร้อน



รูปที่ 2 ร้อยละของปริมาณการใช้น้ำประปาปี 2567

ระบบระบายความร้อน (รูปที่ 3) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ถูกส่งมาจากระบบทำน้ำเย็น (Chiller) จาก 40°C ลงเหลือ 31°C ก่อนส่งน้ำกลับไปยังระบบทำน้ำเย็น กระบวนการนี้ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องเพื่อรักษาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นให้คงที่ อย่างไรก็ตาม การทำงานของระบบทำให้เกิดการสูญเสียน้ำจากการระเหยตลอดเวลา ส่งผลให้ต้องมีการเติมน้ำดีเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง จึงมีแนวคิดนำน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตสารผสมพลาสติก ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 38.23 ของปริมาณน้ำทั้งหมด มาหมุนเวียนใช้ในระบบระบายความร้อน



รูปที่ 3 ระบบระบายความร้อน (Cooling System)

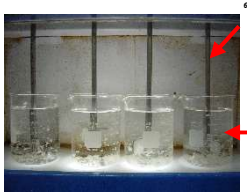
คุณภาพน้ำทิ้งปัจจุบันยังไม่เพียงพอสำหรับใช้ในระบบระบายความร้อน เนื่องจากน้ำมีค่าความเป็นกรด–ด่างระหว่าง 5.5-9.0 และปริมาณของแข็งในน้ำทิ้ง 620 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐาน จะทำให้เกิดตะกอนอุดตันในระบบกรอง และลดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน รวมถึงเร่งการกัดกร่อนของครีบระบายอากาศ (Fin) (รูปที่ 4) น้ำที่เหมาะสมควรมีค่าความเป็นกรด–ด่างระหว่าง 6-8 และปริมาณของแข็งในน้ำต้องไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามมาตรฐาน เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4 การอุดตันตัวกรองอากาศและการกัดกร่อนของสนิมที่ครีบ (Fin)

หลักการการบำบัดน้ำทิ้งมี 3 วิธี ได้แก่ วิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยวิธีชีวภาพใช้เวลานานและมีข้อจำกัดในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีสารแขวนลอยเข้มข้นสูง ดังนั้น การบำบัดด้วยวิธีกายภาพและเคมีจึงเหมาะสมกว่า เพราะสามารถกำจัดสารแขวนลอย ปรับค่าความเป็นกรด–ด่าง และลดสารอินทรีย์ในน้ำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

วิธีการทดสอบการตกตะกอน (Jar Test) (รูปที่ 5) เป็นการบำบัดน้ำทิ้งที่ผสมผสานวิธีทางกายภาพและเคมี โดยใช้สารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และโพลีอะคริลาไมด์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารแขวนลอยในน้ำจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดความขุ่น ปริมาณของแข็งในน้ำ และความต้องการออกซิเจนทางเคมี เมื่อเทียบกับสารตกตะกอนอื่น เช่น อัลลัม (Alum) และ เฟอริกคลอไรด์ (Ferric Chloride: $FeCl_3$)



รูปที่ 5 การทดสอบการตกตะกอน

ในการกำจัดไมโครพลาสติกจากน้ำธรรมชาติ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำทิ้งและน้ำดิบ โดยสามารถกำจัดไมโครพลาสติกได้มากกว่า 95% [1] และในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1% ลดค่าความขุ่น 90%, สี 91% และของแข็งแขวนลอย 99.5% ดีกว่า อัลลัม ทั้งด้านประสิทธิภาพและต้นทุน [2-3] ในโรงงานผลิตสี โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ สามารถกำจัด ความต้องการออกซิเจนทางเคมี ได้ถึง 39.7% ดีกว่าการใช้ เฟอริกคลอไรด์ ซึ่งกำจัดความต้องการออกซิเจนทางเคมี ได้เพียง 33.04% [4] การบำบัดน้ำดิบโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 20 ppm ลดความขุ่นเหลือ 2.62 NTU และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างได้ดีกว่า อัลลัม [5] และในโรงบำบัดน้ำที่โรงบำบัดสุลต่านอิสกันดาร์ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ มีประสิทธิภาพ 83.74% สูงกว่า อัลลัม 83.35% ลดอลูมิเนียมตกค้างและต้นทุนดำเนินงาน [6] สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับ โพลีอะคริลาไมด์ มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด ความต้องการออกซิเจนทางเคมี, ของแข็งในน้ำ และโลหะหนัก เหล็ก, สังกะสี [7] ในการบำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋อง ใช้วิธีตกตะกอนร่วมกันระหว่าง โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ (Tube Settler) ทำให้ลดความขุ่นได้ 96%, ของแข็งในน้ำเหลือ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ความต้องการออกซิเจนทางเคมี เหลือ 27 มิลลิกรัมต่อลิตร อีกทั้งยังช่วยลดการใช้สารเคมีและต้นทุนก่อสร้างได้ 78.17% คืนทุนภายใน 9 เดือน 4 วัน และให้อัตราผลตอบแทน 77.89% จึงเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่า [8]

จากการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าวพบว่า โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์และโพลีอะคริลาไมด์ เป็นสารตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าที่สุด จึงเลือกปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์และโพลีอะคริลาไมด์ พร้อมการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนและแฟกทอเรียล 3 ระดับ ร่วมกับการทดสอบการตกตะกอน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณของแข็งในน้ำทิ้งและทำให้น้ำที่บำบัดแล้วสามารถนำกลับมาใช้ในระบบระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งนี้ช่วยลดการใช้น้ำและสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็งในน้ำทิ้ง

งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็งในน้ำ โดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งในช่วง 6-8 และพิจารณาปัจจัยหลักในการทดสอบการตกตะกอน 7 ปัจจัย ได้แก่ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (500 และ 1500 ppm), ความเร็วในการกวนเร็ว (90 และ 150 rpm), เวลากวนเร็ว (60 และ 300 วินาที), โพลีอะคริลาไมด์ (500 และ 1500 ppm), ความเร็วในการกวนช้า (10 และ 20 rpm), เวลากวนช้า (60 และ 300 วินาที), และเวลาการตกตะกอน (300 และ 900 วินาที) (ตารางที่ 1) โดยทำการทดลอง 16 การทดลอง ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งหมด 32 การทดลอง

ตารางที่ 1 ระดับปัจจัยที่ออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน

ปัจจัย	ต่ำ	สูง
โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) (ppm)	500	1500
ความเร็ว กวนเร็ว (rpm)	90	150
เวลากวนเร็ว (วินาที)	60	300
โพลีอะคริลาไมด์ (PAM) (ppm)	500	1500
ความเร็ว กวนช้า (rpm)	10	20
เวลากวนช้า (วินาที)	60	300
เวลาการตกตะกอน (วินาที)	300	900

2.2 การศึกษาการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 3 ระดับ เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม โดยมีข้อกำหนดว่าปริมาณของแข็งในน้ำต้องต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือมีค่าต่ำที่สุด (Minimizes) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด การศึกษานี้จึงเพิ่มค่าระดับกลางให้กับปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ได้แก่ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และเวลาการตกตะกอน เนื่องจากการเพิ่มค่าระดับปัจจัยของ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และเวลาการตกตะกอน มีแนวโน้มช่วยลดปริมาณของแข็งในน้ำได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงเพิ่มค่าระดับของปัจจัยทั้งสองขึ้นจากการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (ตารางที่ 2) โดยใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 3 ระดับ 3^k ทำการทดลองทั้งหมด 9 การทดลอง และทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมการทดลองทั้งหมด 18 การทดลอง

ตารางที่ 2 ระดับปัจจัยที่ออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 3 ระดับ

ปัจจัย	ต่ำ	กลาง	สูง
PAC (ppm)	1500	2000	2500
เวลาการตกตะกอน (วินาที)	900	5000	9100

2.3 การยืนยันผลการทดลอง และเปรียบเทียบผลการทดลอง

นำค่าปัจจัยที่เหมาะสม มาทำการทดสอบการตกตะกอน (Jar test) จำนวน 5 การทดลอง โดยมีสมมติฐาน ดังนี้

H_0= ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งในน้ำ เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

H_1= ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งในน้ำ น้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

และทำการเปรียบเทียบผล ก่อนและหลังการทดลอง

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็งในน้ำทิ้ง

ผลการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (ตารางที่ 3) และผลการวิเคราะห์พบว่า โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และเวลาการตกตะกอน มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณของแข็งในน้ำ (P-Value ≤ 0.05) (รูปที่ 6)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	15	347735	23182	147.63	0.000
Linear	7	343486	49069	312.48	0.000
PAC (ppm)	1	211088	211088	1344.24	0.000
PAM (ppm)	1	0	0	0.00	0.967
ความเร็ว กวนเร็ว (rpm)	1	102	102	0.65	0.433
เวลากวนเร็ว (sec)	1	53	53	0.33	0.571
ความเร็ว กวนช้า (rpm)	1	2	2	0.01	0.923
เวลากวนช้า (sec)	1	17	17	0.11	0.750
เวลาการตกตะกอน (sec)	1	132227	132227	842.04	0.000
2-Way Interactions	7	4132	590	3.76	0.013
PAC (ppm)*PAM (ppm)	1	3	3	0.02	0.901
PAC (ppm)*ความเร็ว กวนเร็ว	1	58	58	0.37	0.553
PAC (ppm)*เวลากวนเร็ว (sec)	1	20	20	0.12	0.729
PAC (ppm)*ความเร็ว กวนช้า	1	34	34	0.22	0.648
PAC (ppm)*เวลากวนช้า (sec)	1	205	205	1.31	0.270
PAC (ppm)*เวลาการตกตะกอน	1	3806	3806	24.24	0.000
PAM (ppm)*เวลากวนเร็ว (sec)	1	7	7	0.04	0.835
3-Way Interactions	1	116	116	0.74	0.402
PAC *PAM *เวลากวนเร็ว	1	116	116	0.74	0.402
Error	16	2512	157		
Total	31	350247			

รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์การทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน

ตารางที่ 3 ผลการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน 32 การทดลอง

RunOrder	PAC (ppm)	PAM (ppm)	ความเร็ว กวนเร็ว (rpm)	เวลากวนเร็ว (sec)	ความเร็ว กวนช้า (rpm)	เวลากวนช้า (sec)	เวลาตกตะกอน (sec)	ปริมาณของแข็งในน้ำเสีย (mg/L)
1	500	1500	150	60	10	60	900	492
2	1500	500	90	300	20	300	300	457
3	500	500	90	300	10	300	900	483
4	1500	500	150	300	10	60	900	298
5	500	1500	90	60	20	300	300	591
6	1500	1500	150	300	20	300	900	306
7	1500	1500	150	60	20	60	300	470
8	500	1500	150	300	10	300	300	598
9	500	1500	90	60	20	300	300	609
10	500	1500	90	300	20	60	900	494
11	500	500	90	300	10	300	900	508
12	500	500	150	60	20	300	900	503
13	1500	500	90	60	20	60	900	310
14	500	1500	90	300	20	60	900	487
15	1500	500	90	300	20	300	300	464
16	1500	1500	90	300	10	60	300	448
17	1500	1500	90	60	10	300	900	318
18	500	500	90	60	10	60	300	600
19	500	1500	150	300	10	300	300	627
20	1500	500	150	300	10	60	900	328
21	1500	1500	90	300	10	60	300	472
22	500	500	150	60	20	300	900	507
23	500	1500	150	60	10	60	900	499
24	500	500	150	300	20	60	300	615
25	500	500	150	300	20	60	300	584
26	1500	1500	90	60	10	300	900	308
27	500	500	90	60	10	60	300	603
28	1500	500	150	60	10	300	300	451
29	1500	500	90	60	20	60	900	320
30	1500	1500	150	60	20	60	300	469
31	1500	1500	150	300	20	300	900	311
32	1500	500	150	60	10	300	300	471

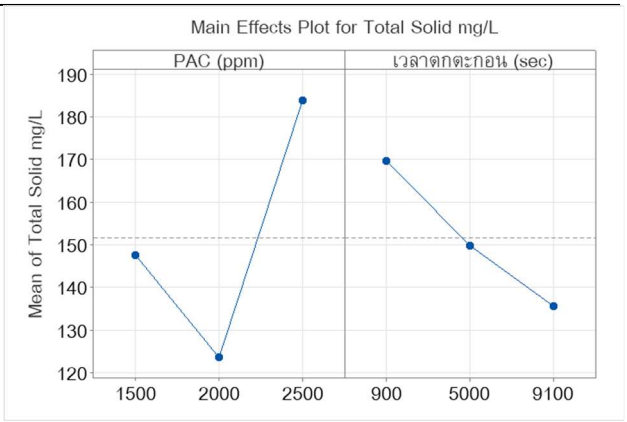
3.2 ผลการศึกษาการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

ผลการทดลองแฟกทอเรียล 3 ระดับ (ตารางที่ 4) และผลวิเคราะห์ (รูปที่ 7) ชี้ให้เห็นว่า โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และเวลาการตกตะกอน มีนัยสำคัญและมีอิทธิพลร่วมกันต่อการลดปริมาณของแข็งในน้ำ (P-Value ≤ 0.05) จาก กราฟแสดงอิทธิพลหลักของปัจจัย (รูปที่ 8) พบว่า โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 2000 ppm และ เวลาการตกตะกอน 9100 วินาที ให้ค่าปริมาณของแข็งในน้ำต่ำที่สุด ดังนั้น ออกแบบกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งพิจารณาระดับของ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และเวลาการตกตะกอน ควบคู่กัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการการลดปริมาณของแข็งในน้ำให้ลดลงเหลือ 102.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 9)

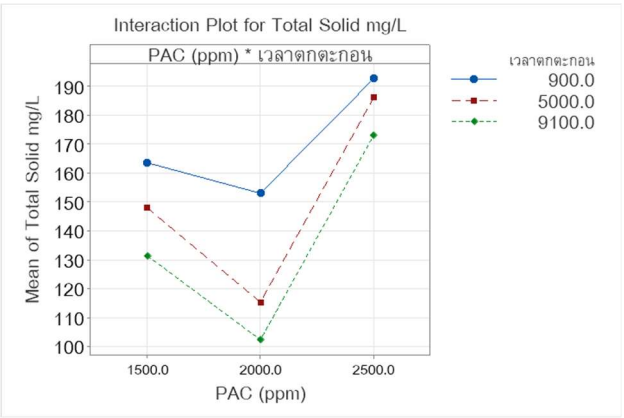
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	15177.1	1897.14	599.10	0.000
Linear	4	14508.2	3627.06	1145.39	0.000
PAC (ppm)	2	11008.1	5504.06	1738.12	0.000
เวลาการตกตะกอน	2	3500.1	1750.06	552.65	0.000
2-Way Interactions	4	668.9	167.22	52.81	0.000
PAC * เวลาการตกตะกอน	4	668.9	167.22	52.81	0.000
Error	9	28.5	3.17		
Total	17	15205.6			

รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์การทดลองแฟกทอเรียล 3 ระดับ



รูปที่ 8 อิทธิพลหลักของ 2 ปัจจัยต่อปริมาณของแข็งในน้ำ



รูปที่ 9 อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยต่อปริมาณของแข็งในน้ำ

ตารางที่ 4 ผลการทดลองแฟกทอเรียล 3 ระดับ 18 การทดลอง

RunOrder	PAC (ppm)	เวลาตกตะกอน (sec)	ปริมาณของแข็งในน้ำเสีย (mg/L)
1	1500	9100	130
2	2000	5000	117
3	1500	9100	133
4	1500	5000	147
5	2500	900	192
6	2000	5000	114
7	2500	9100	171
8	2000	900	154
9	1500	5000	149
10	2500	5000	187
11	2500	9100	175
12	2000	9100	102
13	1500	900	162
14	2000	900	152
15	2500	900	193
16	2000	9100	103
17	1500	900	165
18	2500	5000	185

3.3 ผลการยืนยันผลการทดลองและผลการเปรียบเทียบผลการทดลอง

ทดสอบการตกตะกอน โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ระดับ 2000 ppm และ เวลาการตกตะกอนที่ระดับ 9100 วินาที จำนวน 5 การทดลอง ผลการวิเคราะห์ (รูปที่ 10) one sample t test พบว่า P value ต่ำกว่า 0.05 ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก H_0 ยอมรับสมมุติฐานรอง H_1 การปรับระดับของปัจจัยตามค่าที่เหมาะสมจะส่งผลให้ปริมาณของแข็งในน้ำ (103.4 มิลลิกรัมต่อลิตร) ต่ำกว่าค่ามาตราฐาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญ

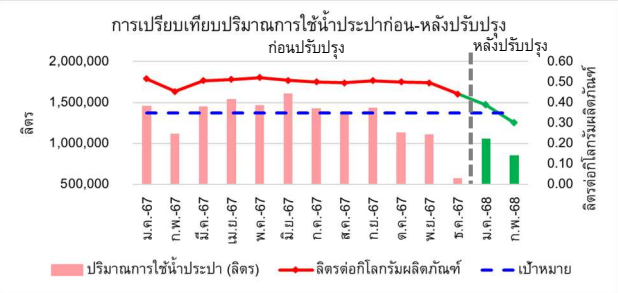
One-Sample T: ปริมาณของแข็งในน้ำเสีย (Total solid) (mg/L)

Null hypothesis	H_0: $\mu = 500$
Alternative hypothesis	H_1: $\mu < 500$

T-Value	P-Value
-427.66	0.000

รูปที่ 10 One sample t-Test ทดสอบการตกตะกอน (Jar test)

ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงให้เห็นว่า หลังการปรับปรุงสามารถนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ในระบบระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยลดการใช้น้ำประปาให้ต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ที่ 0.35 ลิตรต่อกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์ (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำประปาก่อน-หลังปรับปรุง
หมายเหตุ เดือน ธ.ค.-67 เป็นช่วงหยุดซ่อมบำรุงประจำปี

4. สรุปผล และ ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มุ่งปรับปรุงระบบบำบัดน้ำทิ้งเพื่อหมุนเวียนน้ำใช้ในระบบการระบายความร้อน โดยใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 2,000 ppm และโพลีอะคริลาไมด์ 500 ppm ควบคุมค่ากรด-ด่าง ระหว่าง 6-8 และเวลาการตกตะกอน 9,100 วินาที ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถลดปริมาณของแข็งในน้ำทิ้งเหลือ 103.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ต่ำกว่าค่ามาตราฐาน ลดปริมาณการใช้น้ำ 0.30 ลิตรต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ หรือลดการใช้น้ำได้ 567,073 ลิตรต่อเดือน

นอกจากนี้เพิ่มการติดตั้งแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์ ในถังตกตะกอนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน ลดความขุ่นและปริมาณของแข็งในน้ำ ทำให้น้ำที่บำบัดสามารถหมุนเวียนใช้ในระบบระบายความร้อนได้ดีขึ้น และลดการใช้สารเคมี ส่งผลให้ต้นทุนลดลง [8] สามารถประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมการผลิตอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมเคมี และอุตสาหกรรมอาหาร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ผู้จัดการฝ่ายผลิต ทีมวิศวกรฝ่ายตรวจสอบคุณภาพ ผลิตและซ่อมบำรุง รวมถึงบิดามารดาและทุกท่านที่ให้ข้อมูลและการสนับสนุนในการดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] C. Li, R. Busquets, and L. C. Campos, "Enhancing microplastic removal from natural water using coagulant aids," Chemosphere, vol. 364, p. 143145, 2024.

[2] M. A. Karim, M. R. Rahman, S. S. Dipti, and M. M. E. Elahi, “Economical viable liquid poly aluminium chloride (PAC) coagulation agent used to treat ceramic industries effluent to remove suspended solid,” Journal of Water and Environment Technology, vol. 22, no. 1, pp. 41–52, 2024.

[3] M. R. Rahaman, S. S. Dipti, M. M. E. Elahi, and M. A. Karim, “Cost effective liquid poly-aluminium chloride (PAC) used as a coagulant agent for treatment and recycling industrial waste water,” ICTSE 2022 Proceedings, pp. 104–115, 2022.

[4] อนุภัทร สุดบรรฑิตย์ และ ณัฏฐวี ชังชัย, “การกำจัดซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี,” วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, vol. 6, no. 2, pp. 171–181, 2018.

[5] R. Komala, Subroto, Sisnayati, H. Dwipayana, and Nurlela, “Comparison of alum and poly aluminum chloride coagulant performance on turbidity and pH of Lematang Enim PDAM raw water,” Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, vol. 21, no. 1, pp. 30–38, June 2024.

[6] A. A. Azhar, N. F. Haron, and H. B. Ismail, “Efficiency assessment of poly-aluminium chloride (PAC) in water treatment plant process: A case study at Sultan Iskandar Water Treatment Plant, Johor,” Journal of Sustainable Civil Engineering and Technology, vol. 1, no. 2, pp. 8–16, Sep. 2022.

[7] A. F. Abu Bakar and A. A. Halim, “Treatment of automotive wastewater by coagulation-flocculation using poly-aluminum chloride (PAC), ferric chloride ($FeCl_3$), and aluminum sulfate (alum),” AIP Conference Proceedings, vol. 1571, pp. 524–529, Nov. 2013.

[8] วัฒนา หงษี, “การเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้กระป๋องโดยประยุกต์ใช้เทคนิคแผ่นทิวบ์เซ็ตเทิลเลอร์,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, ปทุมธานี, 2564

Traveling Route with Limited Opening Stations in Healthcare System

Kanchala Sudtachat[1*], Nitirut Phongsirimethi[1]
[1*]School of Manufacturing Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
E-mail: kanchala@g.sut.ac.th *

Abstract

A rapid delivery of vaccines and essential medical supplies presents a significant health and economic challenge within healthcare transportation systems. A critical issue is the development of strategies to enhance the efficiency of healthcare service delivery. A decision at hand involves determining an optimal selection of healthcare stations should be established to service delivery medical to patients from a set of candidate healthcare stations under a limited number of stations that could be opened. This problem is complex, as it requires careful consideration of a sequence of travel routes for delivering medical supplies to each established healthcare station. In this paper, we propose an integrated approach that combines covering and routing within the healthcare system. The objective is to minimize the total system cost associated with station openings, delivery, and access to all demand zones while maintaining a high level of coverage. A performance measure of the model is a total system cost, which includes an established station cost, routing cost for delivery medical supplies to established stations and access cost for delivery medical supplies to all zones. We formulate the problem as a mixed-integer programming model and generate random small-scale data sets to test the model and obtain the optimal solution. Our findings suggest that increasing the number of established healthcare stations may improve coverage slightly, but it also leads to a rise in the total system cost. Therefore, healthcare transportation management must evaluate the trade-off between these two criteria (total system cost and coverage) to determine the most appropriate solution, ensuring that patients have access to high-quality services.

Keywords: Traveling salesman problem (TSP), covering problem, mixed integer programming model

1. Introduction

The primary objective of healthcare service systems is to provide timely medical care to patients within hospitals and to ensure the rapid distribution of services to those outside hospital settings in order to save lives. One of the critical challenges in this context is determining optimal locations for establishing healthcare distribution stations to enable the efficient delivery of vaccines and medical supplies. A major complexity in such models arises from the decision-making process associated with selecting which healthcare stations to open, given limitations in the number of operational stations and available resources. Coverage is related to the proportion of patients (demand zones) that can be responded to within a pre-specified distance standard threshold. We consider the coverage as the minimum criterial requirement of the system. However, prior research has predominantly focused on optimizing the placement of individual healthcare stations and making station-opening decisions without integrating the travel routing necessary for delivering vaccines and medical supplies—first to each healthcare station and then to the patients. In this paper, we address station-opening and distributing vaccine and medical service decisions that have been made within the framework of facility coverage models, incorporating these decisions into a comprehensive transport routing problem. A Traveling Salesman Problem (TSP) is a well-known decision-making model that effectively addresses transport routing problem for the healthcare system. This model is utilized to optimize transportation, particularly in scenarios where the number of stations distributing medical supplies to patients is limited. The TSP involves determining a single-sequence route for healthcare stations responsible for delivering medical supplies to all designated demand zones while minimizing the total travel distance cost. The concept of a single delivery route is increasingly significant in various contemporary transportation problems.

In this study, we examine integrated models that combine the Traveling Salesman Problem (TSP) with the covering problem within the context of the transport and distribute vaccine and medical service management for healthcare systems. Specifically, our model incorporates the decision-making process for establishing healthcare stations and sequenced travel routing with priority considerations while ensuring compliance with a minimum coverage criteria requirement for patients. The covering models are utilized to determine which stations should be established and to decide the priority-sequence traveling route of vehicles to these operational stations.

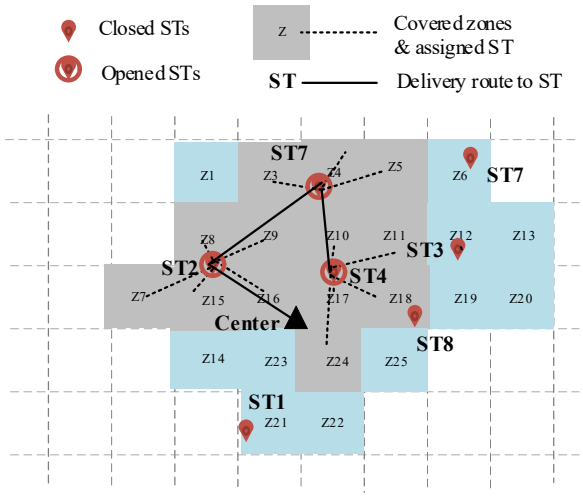


Figure 1. Transport management for healthcare system

2. Literature Reviews

The TSP represents a basic mathematical formulation model of routing problems. Allaoua et al. [1] examined the integration of location selection and delivery routing within the context of a home healthcare system. They developed a metaheuristic approach to address optimization challenges in home healthcare logistics. This model was later extended to incorporate scheduling decisions, as presented by Cappanera [2], who introduced a framework for scheduling operators assigned to patient care. Under this model, nurses and/or public health officers would visit patients according to a predefined schedule. In addition, previous research of location problems has explored covering location problems, with applications primarily in service industries such as emergency medical services (EMS) location planning and 911 emergency response systems. The foundational coverage model was developed by Toregas et al. [3], aiming to minimize the number of vehicles required to cover all demand nodes. This model was later extended by Church and ReVelle [4] to address scenarios in which the available number of vehicles was insufficient to cover all demand zones, introducing the Maximal Covering Location Problem (MCLP). As demonstrated by Pirkul and Schilling [5], the MCLP incorporated two key decision variables: location selection under capacity constraints and the allocation of backup ambulance coverage. The Maximum Expected Covering Location Problem (MEXCLP) was introduced by Batta et al. [6], incorporating the consideration of server availability within the model. The objective

was to maximize the number of covered demand zones while accounting for the possibility of servers being occupied. Subsequent advancements in location models introduced multiple types of ambulances to enhance coverage efficiency. Mandell [7] proposed a model that included two types of ambulances to optimize coverage objectives. Further extensions of the Maximal Covering Location Problem (MCLP) integrated both location selection and resource allocation decisions under uncertain conditions, as demonstrated by Shahanaghi and Ghezavati [8]. Additionally, Erkut et al. [9] examined location problems with a focus on maximizing reliability in coverage. Sudtachat et al. [10] considered the covering model with different call priorities but the model focused on determining the dispatching policies.

Our model is formulated as a mixed-integer programming (MIP) model that integrates travel route optimization with the decision-making process with constraint of the limited number of established stations for the healthcare system. Section 2, we discuss literature reviews. In Section 3, we provide a detailed problem description and present the mathematical formulation. Section 4 discusses computational experiments conducted on small-scale problem instances. The final section concludes with the study and outlines directions for future research.

3. Problem Description

3.1 Mathematical formulation

Considering the practical aspects of transporting medical supplies from a healthcare center to various demand zones, we integrate location selection and single-route travel problems into our model. The healthcare system consists of a single healthcare center, multiple healthcare stations, and multiple demand zones. The primary decision is to determine an optimal selection of healthcare stations that should be established to service delivery medical to patients from a set of candidate healthcare stations under a limited number of stations that could be opened, given a constraint on the maximum number of operational stations. Additionally, we establish an optimized travel route sequence for delivering medical supplies to all established stations. However, the common performance measure used to evaluate the efficiency of healthcare systems is coverage, which is the proportion of patients (demand zones) that can be responded to within a pre-specified distance standard threshold. So, we consider the coverage as minimum requirement of our system. The objective is to minimize the total system cost while maintaining a high level of coverage. The model is formulated based on the following assumptions.

- We define a demand zone as a square area.
- Each demand zone (z) $\{i, i = 1, 2, \ldots, I\}$ is located in the vicinity of the healthcare center. We consider the healthcare system comprising multiple stations. (ST) $\{j, j = 1, 2, \ldots, J\}$.
- The number of demand zones, stations, and their respective locations are known.
- The decision involves selecting which healthcare stations should be established to service delivery medical to patients from a set of candidate healthcare stations, subject to a constraint on the maximum number of stations that could be opened and their locations within the system.
- There exists a finite set $x = \{x_1, \ldots, x_j, \ldots, x_J\}$, where a station j is decided to remain to be established, then x_j equal to 1.
- There exists a finite set $y = \{y_{11}, \ldots, y_{ij}, \ldots, y_{nj}, \ldots, y_{IJ}\}$, where the established healthcare station j is assigned to transport medical supplies to demand zone i.
- There exists a finite set $\alpha = \{\alpha_1, \ldots, \alpha_j, \ldots, \alpha_J\}$, where the established healthcare station j must be assigned to a specific position in the single travel route sequence, corresponding to the selected established healthcare station x_j.
- There exists a finite set $\delta = \{\delta_{11}, \ldots, \delta_{vw}, \ldots, \delta_{IJ}\}$, where the sequence of the single travel route is determined, from station v to station w based on precedence.
- There exists a finite set $c = \{c_1, \ldots, c_w, \ldots, c_J\}$, where c_w is completion time station w, p_w is processing time at station w and $t(v, w)$ is traveling time between station v and station w, assuming station v precedes station w.

We formulate the model using the mixed-integer programming approach within a finite horizon framework. The objective is to minimize the total system cost, which includes the setup cost for establishing healthcare stations, the delivery cost for transporting supplies from stations to demand zones, and the total travel time cost until completion. The process flow that integrates location selection and travel routes within healthcare systems is illustrated in Figure 1, as shown above. We generate randomly a small data set from real-world data collected from an actual healthcare system in Prachinburi province to investigate the mathematical model. The

entire service area was divided by grids into smaller squares, each of which represents a demand zones (z1 – z22), while the circles are healthcare statin ST1 -ST8. Figure 1 shows one of the possible solutions that the system chooses ST2, ST4 and ST7 to establish distributing healthcare stations. The delivery routing of medical transports is subsequently determined and priority -sequence travel route is Center – ST2 – ST 7 – ST4 – Center. We consider the coverage as the minimum requirement of our system. The grey color of square demand zones represents that they are covered within a pre-specified distance standard threshold (z3, z4, z5, z7, z8, z9, z10, z11, z15, z16, z17, z18 and z24).

3.2 Notation

The model is formulated using the notation below:

1) Indices

I	the number of demand zones
J	the number of stations
i	of demand zone index as i = 1, 2, …., I
j, v, w, a	existing stations index as j, v, w, a =1, 2,… , J

2) Parameters

ρ_i		intensity or fraction of patients in demand zone i
d_{ij}		traveling cost of the established healthcare station j to demand zone i
s_j		setup cost of open station j, if we decide to establish healthcare station j
p_w		processing time of established healthcare station w
τ_{vw}		traveling time from established healthcare station v to established healthcare station w
u_v		total travel time cost until completion per unit of established healthcare station v
ε_i	1	if demand zone i is located within the pre-specified distance threshold (covered) to established healthcare station j and system assigns station j to deliver the medical supplies to the demand zone i,
	0	otherwise
β_{ij}	1	if demand zone i is located within the pre- pre-specified distance threshold (covered) to established healthcare station j
	0	otherwise
BigM		a large integer number
LCovering		minimum coverage criteria requirement of our system which is the proportion of patients (demand zones) that can be responded to within a pre-specified distance standard threshold.
# of opened ST		upper bound on the number of healthcare stations that can be established at a heathcare service area location which is an integer number

3) Decision variables

x_j	1	if we decide to establish a healthcare station j
	0	otherwise
y_{ij}	1	if we assign station j to deliver the medical supplies to the demand zone i
	0	otherwise
w_i	1	if we assign established healthcare station j to deliver medical supplies to demand zone i and demand zone i located within the covered distance of established healthcare station j
	0	otherwise
α_v, α_w	1	if we decide to establish healthcare station v or w that need to assign to the sequence single traveling route and corresponding to the established healthcare station x_v, x_w
	0	otherwise
δ_{vw}	1	if we determine the sequence of the single travel route from station v to station w, based on precedence
	0	otherwise
c_v, c_w		completion time of established healthcare station v or w that consists of processing time and traveling time from precedence established healthcare station to established healthcare station v or w
F		optimal value

The objective function (Minimizing the established healthcare station cost, routing cost for delivery medical supplies to establish healthcare station and access cost for delivery medical supplies to all zones)

$$\text{(Obj) Minimize } F = \sum_{j=2}^{J} s_j x_j + \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=2}^{J} a_{ij} d_{ij} y_{ij} + \sum_{v=1}^{J}\sum_{w=2}^{J} u_v \cdot c_v \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^{I} \rho_i \varepsilon_i \geq LCovering \quad (2)$$

$$\beta_{ij} y_{ij} \geq \varepsilon_i \qquad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{j=2}^{J} x_j \leq \#of\ Opened\ ST \quad (4)$$

$$y_{ij} \leq x_j \qquad \forall i,j : j \neq 1 \quad (5)$$

$$\alpha_v \leq BigM * x_v \qquad \forall v \quad (6)$$

$$\delta_{vw} \leq BigM * x_w \qquad \forall v,w \quad (7)$$

$$\sum_{w=2,v\neq w}^{J} \delta_{vw} = x_w \qquad \forall v : v \neq 1 \quad (8)$$

$$\sum_{w=2,v\neq w}^{J} \delta_{vw} \leq BigM * \alpha_w \qquad \forall w : w \neq 1 \quad (9)$$

$$\sum_{w=2,v\neq w}^{J} \delta_{vw} \leq BigM * \alpha_v \qquad \forall v : v \neq 1 \quad (10)$$

$$\sum_{v=1}^{J} \delta_{vw} - \sum_{a=1}^{J} \delta_{wa} = 0 \qquad \forall w : v \neq w, w \neq a \quad (11)$$

$$\delta_{vw} + \delta_{wv} \leq 1 \qquad \forall v,w : v \neq w \quad (12)$$

$$\delta_{ww} = 0 \qquad \forall w \quad (13)$$

$$\sum_{w=2}^{J} \delta_{1w} = 0 \quad (14)$$

$$\sum_{v=2}^{J} \delta_{v1} = 0 \quad (15)$$

$$c_w - c_v + BigM * (1 - \delta_{vw}) \geq \rho_w + \tau_{vw} * x_w \qquad \forall v,w : v \neq w, w \neq 1 \quad (16)$$

$$c_1 = 0 \quad (17)$$

$$x_1 = 0 \quad (18)$$

As expressed in equation (1), the objective is to minimize the total system cost, which includes the established healthcare station cost, the routing cost for delivering medical supplies to the established healthcare stations, and the access cost for delivering supplies to all demand zones. Constraints (2) is the minimum coverage or proportion, that system performance is measured as the fraction of patients (demand zones) that can be reached in pre-specified distance threshold. Constraint (3) ensures that demand zone *i* is located within the pre-specified distance threshold (covered) to established healthcare station *j* and system assigns station *j* to deliver the medical supplies to the demand zone *i*, then system calculates intensity of demand zones *i* to be demand zone covered. Constraint (4) limits the number of established healthcare stations. Constraint (5) assigns healthcare stations to each demand zone. Constraints (6), (7), and (8) define the sequence of the delivery route for the established healthcare stations. Constraints (9), (10), (11), and (12) establish the specific delivery route sequence for the established healthcare stations. Constraint (13) ensures that the delivery route does not return to the same starting healthcare station. Constraints (14) and (15) define the start and end points of the delivery route at the first established healthcare station. Constraint (16) calculates the completion time for the established healthcare station. Constraint (17) ensures that the completion time of the starting route is equal to zero. Finally, constraint (18) ensures that the starting healthcare station is established.

4. Computational Results

Table 1 presents the results of the mixed-integer programming model under the finite-horizon framework, detailing the optimal selection of established healthcare stations and the corresponding vaccine and medical service delivery based on the priority-sequence traveling route. While the proportion of patients (demand zones) that can be responded to within a pre-specified distance standard threshold (coverage) remained as minimum criteria requirement of our system. The results indicate that if the delivery demand covers 25 zones, it is necessary to establish three distributions for healthcare stations (ST2, ST4, and ST8) while maintaining the minimum coverage threshold greater than 0.045. Under these conditions, the total system cost incurred is 2,125 Baht. Similarly, if the coverage threshold is reduced to 0.005, the required number of distribution stations decreases to two (ST2 and ST6), leading to the total system cost reduction of 81.36% compared to the initial scenario. Furthermore, if the delivery demand increases to 50 zones, three distribution stations (ST2, ST4, and ST8) must be established, ensuring the minimum coverage threshold of at least 0.125. Under these conditions, the total system cost amounts to 2,449 Baht, which represents a 14.16% increase compared to the total system cost incurred when covering 25 zones at the minimum coverage threshold of 0.045 (Minimum coverage criteria requirement of system >= 0.045).

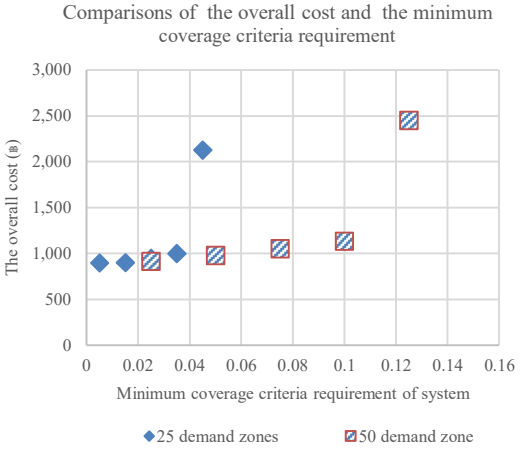


Figure 2. The results of optimal model of location with a delivery route

Table 1 The results of the optimal number of established healthcare stations and sequence of route

Input parameters			Result (฿)			
# Of zones	Max Coverage	Min. coverage criteria requirement.	# of opened ST	Opened ST	Optimal of location with a delivery route	Delivery route
25	0.047	0.045	3	ST2, ST4, ST8	2,125	1- 2- 4- 8- 1
		0.035	2	ST2, ST4	999	1- 2- 4- 1
		0.025	2	ST2, ST6	946	1- 2- 6- 1
		0.015	2	ST2, ST6	901	1- 2- 6- 1
		0.005	2	ST2, ST6	896	1- 2- 6- 1
50	0.126	0.125	3	ST2, ST4, ST8	2,449	1- 2- 4- 8- 1
		0.100	2	ST2, ST4	1,133	1- 2- 4- 1
		0.075	2	ST2, ST4	1,049	1- 2- 4- 1
		0.050	2	ST6, ST8	979	1- 8- 6- 1
		0.025	2	ST2, ST6	914	1- 2- 6- 1

However, if the coverage threshold for the delivery demand of 50 zones is reduced from 0.125 to 0.0025, the required number of established distribution stations decreases to two (ST2 and ST6). Under these conditions, the total system cost incurred is 914 Baht, representing a 91.29% total system cost reduction compared to the scenario where the coverage threshold is 0.125 for 50 zones. Additionally, this results in only a 1.99% increase in the total system cost compared to the scenario where the coverage threshold is 0.005 for 25 zones. Overall, the results of the optimal location and delivery routing model are presented in Figure 2. The Pareto optimal graph illustrates the objective function in terms of overall cost (฿), while ensuring that service coverage remains above the system's minimum required threshold. The findings indicate that the model can achieve cost-efficient solutions (an advantage); however, this is accompanied by a trade-off—a lower proportion of patients (or demand zones) can be reached within the predefined distance threshold, which has been set at the minimum acceptable coverage criterion (a disadvantage).

5. Conclusion

In this paper, we formulated the mixed-integer programming model to address the integrated covering and travel routing problems. The optimal solution was obtained based on the performance criterion of minimizing total system cost while ensuring that the covered demand zones exceeded the required threshold. The model determines the optimal set of established healthcare stations and their corresponding delivery route sequence, including the assignment of each healthcare station to serve specific demand zones. The results indicate that the selection of established healthcare stations is influenced by their locations and the coverage requirements. Additionally, future research, several potential extensions of the model can be explored. One key improvement is the development of metaheuristic approaches to enhance computational efficiency, given computational complexity and runtime limitations. The incorporation of metaheuristics will be considered in future studies. We would develop an approach to address the real-world dataset version of the problem that would be a substantial contribution to the field and may require a expending study to fully explore.

References

[1] Allaoua, H., Borne, S., Létocart, L. and Calvo, R.W. 2013. A matheuristic approach for solving a home health care problem. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 41, pp.471-478.

[2] Cappanera, P. and Scutellà, M.G. 2015. Joint assignment, scheduling, and routing models to home care optimization: A pattern-based approach. Transportation Science, 49(4), pp.830-852.

[3] Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. and Bergman, L. 1971. The location of emergency service facilities. Operations research, 19(6), pp.1363-1373.

[4] Church, R., and Velle, C. R. 1974. The maximal covering location problem. Papers in regional science, 32(1), 101-118.

[5] Pirkul, H., and Schilling, D. 1989. The capacitated maximal covering location problem with backup service. Annals of Operations Research, Vol. 18, Issue 1, 141 – 154.

[6] Batta, R., Dolan, J.M., and Krishnamurthy, N.N. 1989. The maximal expected covering location problem: Revisited. Transportation Science, Vol. 23, No. 4, 277–287.

[7] Mandell, M.B. 1998. Covering models for two-tiered emergency medical services systems. Location Science, Vol. 6, Issues 1-4, 355 – 368.

[8] Shahanaghi, K., and Ghezavati, V.R. 2008. Efficient solution procedure to develop maximal covering location problem under uncertainty (using GA and simulation). International Journal of Engineering and Production Research, Vol. 19, No. 4, 21 – 29.

[9] Erkut, E., Ingolfsson, A., and Erdoğan, G. 2008. Ambulance location for maximum survival. Naval Research Logistics (NRL), Vol. 55, Issue 1, 42-58.

[10] Sudtachat, K., Mayorga, M. E., & McLay, L. A. 2014. Recommendations for dispatching emergency vehicles under multitiered response via simulation. International Transactions in Operational Research, 21(4), 581-617.

ตัวแบบในการแก้ปัญหาขนาดล็อตแบบพลวัตที่คิดค่าเสียโอกาส

Dynamic lot sizing optimization model considering loss sales

แพรวพรรณ ประหยัดทรัพย์[1*] นราภรณ์ เภาประเสริฐ[1] อนันต์ มุ่งวัฒนา[1] กฤษติยภัทร อนันตมี[1] ภูมิพัฒน์ ไชยสาร[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: praewpran.p@ku.th*

Praewpran Prayadsap[1*], Naraphorn Paoprasert[1], Anan Mungwattana[1], Krittiyaphat Anantamee[1], Poomipat Chaisarn[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: praewpran.p@ku.th*

บทคัดย่อ

ในโลกธุรกิจที่เต็มไปด้วยการแข่งขัน การบริหารจัดการสินค้าคงคลังอย่างมีประสิทธิภาพถือเป็นกลยุทธ์สำคัญที่ช่วยลดต้นทุน และเพิ่มผลกำไรได้ ระบบการจัดการวัตถุดิบที่ดีจำเป็นต้องสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเหมาะสม โดยคำนึงถึงข้อจำกัดด้านการขนส่งและการจัดซื้อ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด งานวิจัยนี้ได้นำเสนอโมเดลการแก้ปัญหาการกำหนดขนาดล็อตแบบพลวัต ซึ่งมีการกำหนดระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำ รวมถึงกรณีที่ผู้ตัดสินใจไม่ได้กำหนดปริมาณสินค้าคงคลังขั้นต่ำ แต่ยอมรับการสูญเสียโอกาสในการขาย นอกจากนี้ ยังได้ขยายขอบเขตของปัญหาให้ใหญ่ขึ้น โดยไม่จำกัดให้ผู้ตัดสินใจเลือกเพียงขนาดตู้ขนส่งสินค้าเท่านั้น แต่ยังอนุญาตให้ผู้ผลิตมีต้นทุนตู้ขนส่งที่แตกต่างกันได้ ทำให้ผู้ตัดสินใจสามารถเลือกทั้งขนาดตู้ขนส่งและผู้ผลิตได้อย่างยืดหยุ่น เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจดังกล่าว ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบการวางแผนจัดการวัตถุดิบและสินค้าคงคลังโดยใช้ภาษาไพธอน (Python) ซึ่งช่วยในการคำนวณและรองรับเงื่อนไขต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องแก้ไขข้อมูลในไฟล์ไมโครซอฟต์ เอ็กเซล (Microsoft Excel) ทีละรายการ ระบบนี้ได้รับการออกแบบให้สามารถจัดการเงื่อนไขด้านการขนส่ง เช่น พาเลท และขนาดตู้คอนเทนเนอร์ต่าง ๆ ตามที่ผู้ใช้งานกำหนด ช่วยให้กระบวนการจัดซื้อ และการบริหารสินค้าคงคลังเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การใช้ กูโรบิ โซลเวอร์ (Gurobi solver) ในภาษาไพธอนช่วยให้สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดแตกต่างกันได้อย่างคล่องตัว รวมถึงปรับเปลี่ยนขนาดและค่าพารามิเตอร์ได้ง่าย นอกจากนี้ ยังให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าในกรณีศึกษาที่อาจมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากการตั้งค่า แม้ในกรณีของโมเดลขนาดไม่ใหญ่ การเขียนโปรแกรมก็ช่วยให้การแก้ปัญหาทำได้รวดเร็วขึ้น งานวิจัยนี้ยังมีศักยภาพในการต่อยอดไปสู่การประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต โดยอาจขยายขอบเขตไปสู่การพิจารณาปัญหาการเติมวัตถุดิบ และการกำหนดเส้นทางการขนส่งจากคลังสินค้าไปยังสายการผลิต

คำสำคัญ: ผลลัพธ์ดีที่สุด, จัดการวัตถุดิบ, ต้นทุนต่ำ

Abstract

In today's highly competitive business environment, efficient inventory management is a critical strategy for reducing costs and maximizing profits. An effective raw material management system must meet customer demands while optimizing transportation and procurement constraints. This research presents a dynamic lot-sizing model that addresses minimum inventory level requirements, as well as scenarios where decision-makers allow for potential lost sales due to the absence of minimum inventory thresholds. The study expands the problem scope by enabling decision-makers to select not only the size of shipping containers but also suppliers with varying container costs, enhancing flexibility in decision-making. A Python-based raw material and inventory planning system is developed to support this, eliminating the need for manual Excel adjustments. The system is designed to accommodate transportation constraints, such as pallet and container sizes, as defined by users, ensuring optimal procurement and inventory management processes. Utilizing the Gurobi solver in Python, the model efficiently handles problems of varying scales, offering flexibility in adjusting parameters and delivering accurate solutions even in cases with minor deviations. The results demonstrate that programming significantly accelerates problem-solving, even for smaller-scale models. This research lays the groundwork for further applications in production processes, such as raw material replenishment and optimizing transportation routes from warehouses to production lines.

Keywords: Optimal results, Material management, Low cost

1. บทนำ

ปัญหาด้านการตัดสินใจหาจุดสั่งซื้อวัตถุดิบ ปริมาณการสั่งซื้อ และการเลือกผู้ผลิตที่จะสั่งซื้อ เป็นองค์ประกอบของภาคการผลิตที่สำคัญที่จะช่วยลดต้นทุนในการทำธุรกิจ ตลอดจนเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันได้ มีงานวิจัยมากมายที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการหาจุดสั่งซื้อ และปริมาณการสั่งซื้อ ที่เป็นปัญหาที่เรียกว่า ปัญหาการกำหนดขนาดล็อต (Lot sizing problems)

ปัญหาการกำหนดขนาดล็อตเป็นปัญหาในการวางแผนการสั่งซื้อหรือการวางแผนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดช่วงเวลาที่ควรสั่งซื้อหรือผลิตและปริมาณที่ควรสั่งซื้อหรือผลิตเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการได้ ในขณะที่ลดต้นทุนการสั่งซื้อหรือผลิตให้ต่ำที่สุด ที่รวมถึงต้นทุนการตั้งค่าเมื่อมีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ในระหว่างการผลิต ต้นทุนการตั้งค่าใหม่ ต้นทุนคงที่ต่อการสั่งซื้อหนึ่งครั้ง ต้นทุนแปรผันและต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง

งานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตไว้ที่ปัญหาการสั่งซื้อ และพิจารณาปัญหาแบบพลวัต (Dynamic lot sizing problems) นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ขยายขอบเขตของการศึกษาให้ผู้ประกอบการสามารถเลือกขนาดของตู้ขนส่งสินค้าที่มีราคาที่แตกต่างกันออกไป หรือเลือกผู้ผลิตที่จะสั่งซื้อ (Supplier selection) ทำให้สามารถนำตัวแบบจำลองที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ไปใช้ได้ในกรณีที่กว้างขวางมากขึ้น

ปัญหาการกำหนดขนาดล็อตได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางมาตั้งแต่ปีค.ศ. 1950 Wagner and Whitin (1958) ได้เสนออัลกอริทึมเชิงเดินหน้า (Forward algorithm) สำหรับเวอร์ชันไดนามิกทั่วไปของโมเดลการกำหนดขนาดล็อตทางเศรษฐศาสตร์แบบไม่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต (Uncapacitated economic lot-sizing model) หลังจากงานวิจัยของ Wagner and Whitin งานวิจัยที่พัฒนาตัวแบบนี้ต่อให้สามารถใช้กับปัญหาในรูปแบบที่กว้างขึ้น หรือพัฒนาวิธีการหาคำตอบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น Bitran et al. (1984) นำเสนอวิธีการหาคำตอบแบบใหม่ต่อยอดจากวิธีของ Wagner and Whitin (1958) Chen et al. (1994) นำเสนอวิธีงานวิจัยเพื่อหาคำตอบด้วยวิธีการหาผลลัพธ์ที่ให้ต้นทุนสูงที่สุดก่อน แล้วจึงใช้ขอบเขตนั้นหาคำตอบ Dogramaci et al. (2007) ขยายขอบเขตของตัวแบบให้สามารถใช้กับปัญหาที่มีสินค้าหลายชนิด

งานวิจัยในช่วงปีล่าสุด จะเน้นไปที่การพัฒนาตัวแบบที่พิจารณาปัญหาที่มีความซับซ้อนขึ้น อนุญาตให้ค่าพารามิเตอร์บางตัวมีความไม่แน่นอนได้ ตัวอย่างเช่น Seyfi et al. (2025) เสนอแนวทางการวางแผนการผลิตเชิงสุ่มหลายขั้นตอนสำหรับปัญหาการกำหนดขนาดล็อตร่วมกับการจัดตารางกำลังคนภายใต้ความไม่แน่นอนของอุปสงค์

สำหรับปัญหาการเลือกผู้ผลิต งานวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การพิจารณาปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ เช่น Shang et al. (2022) ใช้วิธีฟัซซีหลายแบบหาน้ำหนักของวัตถุประสงค์แต่ละด้าน หรือ Tayyab and Sarkar (2021) นำเสนอตัวแบบที่ใช้ในการบริหารผู้ผลิตในห่วงโซ่แบบหลายช่วงเวลาและหลายวัตถุประสงค์ เพื่อให้สามารถประเมินผู้ผลิตและตัดสินใจจัดสรรคำสั่งซื้อได้พร้อมกัน

ตัวแบบที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้คือ Alejo-Reyes et al. (2020) ที่เสนอตัวแบบในการแก้ไขปัญหาการคัดเลือกผู้ผลิตและการจัดสรรปริมาณคำสั่งซื้อ ที่กำหนดให้ฟังก์ชันต้นทุนไม่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้มีการเสนอตัวแบบใหม่ในการเลือกผู้ผลิตให้ต้นทุนต่ำที่สุด และทดสอบความสามารถในการรองรับจำนวนตัวแปร และการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัญหา โดยในตัวแบบ ผู้วิจัยนำเสนอปัญหาเป็นแบบพลวัต มีการเลือกผู้ผลิต เลือกขนาดของตู้ขนส่งสินค้า มีการนำต้นทุนการเสียโอกาสในการขายมาพิจารณาในตัวแบบ

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 ตัวแบบในการแก้ปัญหาขนาดล็อตแบบพลวัตที่คิดค่าเสียโอกาส

ในงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอตัวแบบในการแก้ปัญหาขนาดล็อตแบบพลวัตไว้ ที่ได้ศึกษาถึงกรณีที่ผู้ตัดสินใจไม่ได้กำหนดปริมาณสินค้าคงคลังขั้นต่ำ แต่ยินยอมให้เกิดการเสียโอกาสในการขายสินค้าไป นอกจากนั้น ในงานวิจัยนี้ ได้ขยายขนาดของปัญหาให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยแทนที่จะให้ผู้ตัดสินใจเลือกได้เพียงขนาดของตู้ขนสินค้า งานวิจัยนี้อนุญาตให้ตู้ขนสินค้าของผู้ผลิตมีต้นทุนที่แตกต่างกันได้ ทำให้ผู้ตัดสินใจ สามารถเลือกขนาดของตู้ขนส่งสินค้า และเลือกผู้ผลิตได้ ในตัวแบบนี้ กำหนดให้สินค้ามีหน่วยเป็นกิโลกรัม แต่ตัวแบบสามารถปรับให้ใช้หน่วยใดๆ ก็ได้ในอนาคต โดยเริ่มจากการนำเสนอสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้

ตัวแปรตัดสินใจ

a_{ti} = ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารีว่ามีการสั่งแบบ Less than a Container Load (LCL) ที่ช่วงเวลา t จากผู้ผลิต i หรือไม่ (ใช่ = 1, ไม่ใช่ = 0)

b_{ti} = ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารีว่ามีการสั่งซื้อที่ช่วงเวลา t จากผู้ผลิต i หรือไม่ (ใช่ = 1, ไม่ใช่ = 0)

x_{tij} = จำนวนพาเลทที่สั่งซื้อจากการขนส่งแบบ LCL ที่ช่วงเวลา t จากผู้ผลิต i ของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ j (พาเลท)

y_{htij} = จำนวนพาเลทที่สั่งซื้อจากการขนส่งแบบเต็มตู้ในการขนส่ง หรือ Full-Container Load (FCL) โดยใช้ตู้ขนส่งสินค้าขนาด h ฟุต ที่ช่วงเวลา t จากผู้ผลิต i ของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ j (พาเลท)

z_{hti} = จำนวนตู้ขนส่งสินค้าขนาด h ฟุต ที่ช่วงเวลา t จากผู้ผลิต i (ตู้คอนเทนเนอร์)

v_{tj} = ปริมาณสินค้าคงคลังที่ช่วงเวลา t ของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ j (กิโลกรัม)

v_{tj}^{+} = ปริมาณสินค้าคงคลังที่มีค่าเป็นบวกที่ช่วงเวลา t ของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ j (กิโลกรัม)

v_{tj}^{-} = ปริมาณสินค้าคงคลังที่ขาด (เป็นกรณีที่สั่งซื้อมาไม่พอกับอุปสงค์) ในช่วงเวลา t ของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ j (กิโลกรัม)

พารามิเตอร์

β_{0i} = ต้นทุนคงที่สำหรับการขนส่งแบบ LCL จากผู้ผลิต i (บาท)

β_{1i} = ต้นทุนการขนส่งต่อพาเลทสำหรับการขนส่งแบบ LCL จากผู้ผลิต i (บาท)

γ_{hi} = ต้นทุนการขนส่งต่อจำนวนตู้ขนส่งสินค้าในการขนส่งโดยใช้ตู้ขนาด h ฟุต จากผู้ผลิต i (บาท)

ε_{ti} = ต้นทุนการสั่งซื้อจากผู้ผลิตที่ช่วงเวลา t จากผู้ผลิต i (บาท)
α_{tj} = ต้นทุนการถือครองสินค้าที่ช่วงเวลา t ของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ j (บาท)
κ_{tj} = ต้นทุนของรายได้ที่สูญเสียไปต่อชิ้นจากการขาดแคลนสินค้าที่ช่วงเวลา t ของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ j (บาท)
ρ_{ij} = น้ำหนักสูงสุดที่สามารถบรรจุได้ในพาเลทจากผู้ผลิต i ของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ j (กิโลกรัม)
ϖ_{ij} = ราคาต้นทุนต่อกิโลกรัมของสินค้าจากการขนส่งแบบ LCL จากผู้ผลิต i และของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ j (บาท)
ω_{hij} = ราคาต้นทุนต่อกิโลกรัมของสินค้าจากการขนส่งแบบเต็มตู้ขนส่งสินต้าในการขนส่งด้วยตู้ขนาด h ฟุต จากผู้ผลิต i และของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ j (บาท)
τ_{hi} = ข้อกำหนดที่ตู้คอนเทนเนอร์หนึ่งตู้ที่สามารถจุจำนวนพาเลทมากที่สุดตามที่กำหนดไว้ในการขนส่งด้วยตู้ขนาด h ฟุต จากผู้ผลิต I (จำนวนพาเลท)
M = ค่าคงที่ที่มีขนาดใหญ่ หรือที่มีค่ามาก

จากสัญลักษณ์ที่ได้กำหนด ผู้วิจัยได้สร้างสมการวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณต้นทุนรวม ดังนี้

Objective Function =

$$\min [\sum_{i=1}^{I}\beta_{0i}\sum_{t=1}^{T}a_{ti}+\sum_{i=1}^{I}\beta_{1i}\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J}x_{tij}+\sum_{h=1}^{H}\sum_{i=1}^{I}\gamma_{hi}\sum_{t=1}^{T}z_{hti}+\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\varepsilon_{ti}b_{ti}+\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J}\alpha_{tj}v_{tj}^{+}+\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J}\kappa_{tj}v_{tj}^{-}+\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\rho_{ij}\times(\varpi_{ij}x_{tij})+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\rho_{ij}\sum_{h=1}^{H}\omega_{hij}\sum_{t=1}^{T}y_{htij}] \quad (1)$$

จากสมการที่ 1 ต้นทุนรวมประกอบด้วยต้นทุนในแต่ละค่าดังนี้

- ต้นทุนประเภทการขนส่งแบบ LCL
- ต้นทุนประเภทการขนส่งแบบเต็มตู้ขนส่งสินค้า
- ต้นทุนที่เกิดจากการสั่งซื้อจากผู้ผลิตในแต่ละที่ในช่วงเวลาต่างๆ
- ต้นทุนการถือครองสินค้าของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ในช่วงเวลาต่างๆ
- ต้นทุนที่เกิดจากการสูญเสียรายได้จากการขาดประโยชน์ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ในช่วงเวลาต่างๆ
- ต้นทุนการสั่งซื้อสินค้าที่จะคิดจากจำนวนกิโลกรัมที่สั่ง และจะขึ้นอยู่กับแต่ละผู้ผลิต ช่วงเวลาต่างๆ ประเภทการขนส่ง และชนิดของผลิตภัณฑ์นั้น

โดยจะต้องมีสมการข้อจำกัดในแต่ละด้านดังนี้

- ด้านความสัมพันธ์ของปริมาณวัตถุดิบคงคลังที่มีค่าเป็นบวกและค่าเป็นลบ โดยในสมการวัตถุประสงค์ ค่าบวกจะใช้ในการคำนวณต้นทุนสินค้าคงคลัง ส่วนค่าลบใช้ในการคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาส จึงต้องกำหนดสมการข้อจำกัด ดังนี้

$$v_{tj}^{+} \geq v_{tj};\ \forall t, j \quad (2)$$

$$v_{tj}^{-} \geq -v_{tj};\ \forall t, j \quad (3)$$

$$v_{tj}^{+} \geq 0;\ \forall t, j \quad (4)$$

$$v_{tj}^{-} \geq 0;\ \forall t, j \quad (5)$$

- ข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัตถุดิบคงคลังที่ช่วงเวลาปัจจุบัน กับช่วงเวลาก่อนหน้ารวมกับที่ซื้อมาเพิ่มและหักอุปสงค์ออก สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (6)

$$v_{tj} = v_{t\text{-}1j} + \rho_{ij}x_{ij} + \rho_{ij}\sum_{h=1}^{H}y_{htij}\ ;\ \forall t, i, j \quad (6)$$

- ข้อจำกัดที่กำหนดว่าจำนวนพาเลทจะต้องไม่เกินกว่าขนาดของตู้ขนส่งรวมกันทุกตู้ ดังสมการที่ (7)

$$\sum_{j=1}^{J}y_{htij} \leq \tau_{hi}z_{hti}\ ;\ \forall h, t, i \quad (7)$$

- ข้อจำกัดที่จำกัดพื้นที่เก็บวัตถุดิบแต่ละประเภท หากจำเป็นข้อจำกัดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามประเภทสินค้า ตามช่วงเวลา แต่เพื่อให้สะดวกในการตรวจสอบตัวแบบ ในงานวิจัยนี้กำหนดให้พื้นที่เก็บสำหรับทุกประเภทสินค้าทุกช่วงเวลาเท่ากัน ดังสมการที่ (8)

$$v_{max} \geq v_{tj};\ \forall t, j \quad (8)$$

- ข้อจำกัดที่กำหนดว่าจะเกิดค่าใช้จ่ายที่คิดจำนวนพาเลทสำหรับการขนส่งแบบ LCL ได้ก็ต่อเมื่อมีการสั่งแบบ LCL ในช่วงเวลานั้นสำหรับสินค้านั้นๆ แต่เนื่องจากสำหรับ LCL ไม่ได้มีข้อจำกัดด้านปริมาณพาเลทที่ LCL ที่สั่งได้ ข้อจำกัดนี้จึงคูณตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารีด้วยค่าคงที่ที่สูงมากๆ (M) ดังสมการที่ (9)

$$\sum_{j=1}^{J}x_{tij} \leq Ma_{ti}\ ;\ \forall t, i \quad (9)$$

- ข้อจำกัดลำดับที่ใช้ตรวจสอบว่าได้มีการสั่งซื้อสินค้า i ในช่วงเวลา t หรือไม่ หากมี ก็สามารถที่จะสั่งแบบ LCL หรือแบบตู้ขนส่งสินค้าแบบเต็มตู้คอนเทนเนอร์ได้ ดังแสดงในสมการที่ (10)

$$\sum_{j=1}^{J} x_{tij} + \sum_{h=1}^{H}\sum_{t=1}^{T} y_{htij} \leq M b_{ti};\ \forall i \qquad (10)$$

ในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดประเภทของตัวแปร ดังแสดงในข้อจำกัดในสมการที่ (11) – (14) ดังนี้

$$x_{tij}, y_{htij}, z_{hti} \in Integer;\ \forall h, t, i, j \qquad (11)$$

$$x_{tij}, y_{htij}, z_{hti} \geq 0;\ \forall h, t, i, j \qquad (12)$$

$$a_{ti} \in \{0,1\};\ \forall i,t \qquad (13)$$

$$b_{ti} \in \{0,1\};\ \forall i,t \qquad (14)$$

หลังจากผู้วิจัยได้พัฒนาตัวแบบในการแก้ปัญหาดังที่ได้อธิบายมา ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมภาษาไพธอน (Python) เพื่อสร้างปัญหานี้ เพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดของปัญหาได้ และใช้กูโรบิ โซลเวอร์ (Gurobi Solver) เป็นวิธีในการแก้ปัญหา ซึ่งเหตุผลที่ใช้ภาษาไพธอนในการสร้างปัญหานี้ก็เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถขยายหรือลดขนาดของตัวแปรได้ โดยที่ไม่ต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาใหม่ ซึ่งจะเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับการสร้างปัญหาด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์ เอ็กเซล (Microsoft Excel) หรือโปรแกรม CPLEX

2.2 ข้อมูลที่ใช้ทดสอบตัวแบบ

จากตัวแบบที่ได้นำเสนอในหัวข้อก่อนหน้า ผู้วิจัยได้กำหนดปัญหาขึ้นมาจากการเก็บข้อมูล และสอบถามบริษัทแห่งหนึ่ง เพื่อทดสอบตัวแบบที่เขียนด้วยภาษาไพธอน โดยผู้วิจัยได้สร้างปัญหาในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคำตอบ เนื่องจากโปรแกรมไมโครซอฟต์ เอ็กเซล ผู้วิจัยได้ใช้ Open solver ในการแก้ปัญหา ที่จะมี Engine ที่ต่างจากกูโรบิ โซลเวอร์ โดยมีข้อมูลแต่ละประเภทดังนี้

ข้อมูลด้านอุปสงค์ของสินค้าของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ที่ช่วงเวลาต่างๆ ดังตารางที่ 1

ข้อมูลด้านต้นทุนของการสั่งซื้อสินค้าที่คิดจากจำนวนน้ำหนักในหน่วยกิโลกรัม โดยค่าต้นทุนของการสั่งซื้อสินค้าจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ การขนส่งแต่ละประเภทโดย LCL คือการขนส่งแบบไม่เต็มตู้ขนส่งสินค้า และ FCL คือการขนส่งแบบเต็มตู้ขนส่งสินค้าขนาด 20 ฟุต และจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งได้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 อุปสงค์ของสินค้า

	อุปสงค์สินค้าที่แต่ละช่วงเวลา (กิโลกรัม)			
ชนิดของผลิตภัณฑ์	1	2	3	4
A	15,000	6,000	14,000	5,000
B	5,000	5,000	8,000	8,000
C	12,000	10,000	9,000	5,000
D	5,000	5,000	8,000	5,000
E	8,000	4,000	14,000	3,000
F	5,000	4,000	4,000	3,000

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าต้นทุนการสั่งซื้อสินค้า

	ราคาต้นทุนแต่ละวัตถุดิบ (บาท)			
	ผู้ผลิต 1		ผู้ผลิต 2	
ชนิดของผลิตภัณฑ์	LCL	FCL	LCL	FCL
A	141	136	150	135
B	140	135	145	130
C	208	203	210	205
D	271	266	275	265
E	102	97	100	95
F	123	118	123	115

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ในด้านต่างๆ เกี่ยวกับสินค้า ซึ่งได้แก่ ข้อจำกัดปริมาณสินค้ามากสุด น้ำหนักที่พาเลทสามารถบรรจุได้สูงสุด ค่าต้นทุนการถือครองสินค้า และค่าต้นทุนที่เกิดจากการสูญเสียรายได้จากการขาดประโยชน์ ซึ่งจะได้ข้อมูลแสดงออกมาดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ในด้านต่างๆ

ชนิดของผลิตภัณฑ์	ข้อจำกัดสินค้าคงคลังสูงสุด (กิโลกรัม)	น้ำหนักสูงสุดที่พาเลทบรรจุ (กิโลกรัม)	ค่าต้นทุนการถือครองสินค้า (บาท)	ค่าการสูญเสียรายได้จากการขาดประโยชน์ (บาท)
A	21,000	1,000	28.2	500
B	7,000	1,000	28	350
C	3,000	1,000	41.6	820
D	5,000	1,000	54.2	750
E	7,000	1,000	20.4	800
F	3,000	1,000	24.6	910

ข้อมูลด้านข้อจำกัดของการขนส่งแต่ละประเภทดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อจำกัดของการจุพาเลทในตู้ขนส่งสินค้า

ประเภทการขนส่ง	ความจุพาเลทในตู้สูงสุดของผู้ผลิต 1	ความจุพาเลทในตู้สูงสุดของผู้ผลิต 2	ค่าต้นทุนผันแปรของการขนส่งประเภทนั้นๆ (บาท)
LCL	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด	1,200
FCL (20 ft)	14	15	18,000
FCL (30 ft)	21	22	22,000
FCL (40 ft)	28	29	25,000

3. ผลการวิจัย

จากการหาคำตอบให้กับตัวแบบทั้งในภาษาไพธอนโดยใช้กูโรบิ โซลเวอร์ และในโปรแกรมไมโครซอฟต์ เอ็กเซล ซึ่งการใช้วิธีทั้งสองรูปแบบเป็นการแก้ปัญหาในรูปแบบคณิตศาสตร์ของ Mixed-integer linear programming (MIP) พบว่าผลคำตอบมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้จากกูโรบิ โซลเวอร์หาคำตอบได้ต่ำกว่า Opensolver อยู่ที่ 50,460 บาท ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ขยายขนาดของปัญหา โดยพิจารณาเพิ่มจำนวนผู้ผลิตเป็น 10, 50, 100 และ 500 และเพิ่มจำนวนประเภทการขนส่งจาก 4 ประเภทเป็น 7 ประเภทด้วย โดยการเพิ่มจำนวน Supplier จะเป็นการสุ่มค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ขึ้นมา เพื่อใช้ในการทดสอบขีดความสามารถของโปรแกรม ในด้านของต้นทุนต่อกิโลกรัมของสินค้าในแต่ละผู้ผลิต ทั้งในด้านการขนส่งแบบ LCL และ FCL และในการเพิ่มจำนวนของประเภทการขนส่ง จะเป็นการสุ่มในด้านของข้อจำกัดที่สามารถจุจำนวนพาเลทได้สูงสุดในแต่ละขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ และสุ่มในด้านของต้นทุนการขนส่งในแต่ละตู้คอนเทนเนอร์ขนาดต่างๆ ในส่วนของการใช้วิธีกูโรบิ โซลเวอร์ในการคำนวณเนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถปรับเปลี่ยนข้อมูล และโมเดลได้ง่ายกว่าการใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์ เอ็กเซล ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เวลาที่ใช้ และผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ

	ประเภทการขนส่งสินค้า			
	4 ประเภท		7 ประเภท	
จำนวนผู้ผลิต	เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (วินาที)	ผลลัพธ์ของต้นทุนต่ำสุดที่ได้ (บาท)	เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (วินาที)	ผลลัพธ์ของต้นทุนต่ำสุดที่ได้ (บาท)
10	6	18,429,300	9	18,393,300
50	36	18,371,700	76	18,357,900
100	67	18,371,700	182	18,357,900
500	1,770	18,372,700	5,498	18,354,300

จากตารางที่ 5 พบว่า สำหรับปัญหาขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ มีสินค้า 7 ประเภทและมีจำนวนผู้ผลิต 500 โปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถหาคำตอบได้ในเวลาประมาณ 92 นาที ซึ่งผลการศึกษาเป็นเวลาที่รันโปรแกรมไพธอนด้วยโปรแกรม Visual Studio บน คอมพิวเตอร์ที่มี Processor 3.20 GHz, RAM 16.0 GB บนระบบปฏิบัติการ 64-bit Windows 11 ซึ่งในความเป็นจริง ผู้ใช้งานสามารถขยายปัญหาที่มีขนาดใหญ่กว่างานวิจัยนี้ได้ แต่เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบที่ใช้ในการแก้ปัญหาขนาดล็อตแบบพลวัตที่คิดค่าเสียโอกาสในกรณีที่เกิดการขาดแคลนสินค้า และมีทางเลือกในการเลือกผู้ผลิต

ผลการศึกษาพบว่าการใช้กูโรบิ โซลเวอร์ ในภาษาไพธอนจะช่วยให้สามารถแก้ปัญหาได้หลายขนาด มีความคล่องตัวในการปรับเปลี่ยนขนาดและค่าพารามิเตอร์ อีกทั้งยังให้คำตอบที่ดีกว่าในกรณีศึกษาที่อาจจะเกิดจากการตั้งค่าความคลาดคลื่อนที่แตกต่างกันเล็กน้อย แต่ถึงแม้ว่าสำหรับตัวแบบขนาดไม่ใหญ่นัก ก็แสดงให้เห็นว่าการเขียนโปรแกรมสามารถช่วยให้แก้ปัญหาได้เร็วมากขึ้น ดังแสดงในขีดความสามารถของการหาคำตอบที่มีขนาดใหญ่

งานวิจัยนี้สามารถต่อยอดไปใช้กับส่วนของการผลิต ที่อาจจะขยายขอบเขตไปพิจารณาปัญหาการเติมวัตถุดิบ เส้นทางการขนส่งวัตถุดิบจากที่เก็บไปยังสายการผลิต หรือเปรียบเทียบการขยายขนาดของสินค้า เทียบกับการขยายขนาดของจำนวนผู้ผลิต อีกทั้งยังสามารถขยายขอบเขตของปัญหา ให้เพิ่มความไม่แน่นอนไปในค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดจนพิจารณาสร้างตัวแบบที่มีสินค้าที่สามารถเสียได้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] H. M. Wagner and T. M. Whitin. 1958. “Dynamic version of the economic lot size model”. Management Science, Vol. 5 (1): 89-96.

[2] G. R. Bitran, T. L. Magnanti and H. H. Yanasse. 1984. “Approximation method for the uncapacitated lot size problem”. Management Science, Vol 30 (9): 1121-1140.

[3] H-D Chen, D. W. Hearn and C-Y Lee. 1995. “Minimizing the error bound for the dynamic lot size model”. Operations Research Letters, Vol. 17 (2): 57-68.

[4] A. Dogramaci, J. C. Panayiotopoulos and N. R. Adam. 1981. “The dynamic lot-sizing problem for multiple items under limited capacity”. A I I E Transactions, Vol. 13 (4): 294-303.

[5] S. A. Seyfi, I. Yanıkoglu and G. Yilmaz. 2025. “Multi-stage scenario-based stochastic programming for managing lot sizing and workforce scheduling at Vestel”. Annals of Operations Research, Vol. 344: 911-936.

[6] Z. Shang, X. Yang, D. Barnes and C. Wu. 2022. “Supplier selection in sustainable supply chains: Using the integrated BWM, fuzzy Shannon entropy, and fuzzy MULTIMOORA methods”. Expert Systems with Applications, Vol. 195: 116567.

[7] M. Tayyab and B. Sarkar. 2021. “An interactive fuzzy programming approach for a sustainable supplier selection under textile supply chain management”. Computer & Industrial Engineering, Vol. 155: 107164.

[8] A. Alejo-Reyes, A. Mendoza and E. Olivares-Benitez. 2021. “A heuristic method for the supplier selection and order quantity allocation problem”. Applied Mathematical Modelling, Vol. 90: 1130-1142.

การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ร่วมกับระบบติดตามรถเข็น : กรณีศึกษาโรงพยาบาลสงขลานครินทร์

Analysis Using a Simulation Model with Trolley Tracking System : Case Study of Songklanagarind Hospital

ธรรมศักดิ์ อิสโร[1], ชุกรี แดสา[2*], ดลยา บัวคำ[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: chukree.d@psu.ac.th

Thammasak Itsaro[1], Chukree Daesa[2*], Dollaya Buakum[2]
[1]Department of Industrial and Systems Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
[2]Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
E-mail: chukree.d@psu.ac.th

บทคัดย่อ

การบริหารจัดการทรัพยากรในโรงพยาบาลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบบริการสุขภาพ อย่างไรก็ตามปัญหาด้านการกระจายตัวของทรัพยากรที่ไม่มีประสิทธิภาพ เช่น รถเข็นผู้ป่วย ยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการให้บริการ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง(Discrete Event Simulation: DES) ร่วมกับระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ เพื่อปรับปรุงการจัดการรถเข็นผู้ป่วยภายในโรงพยาบาลโดยเลือกใช้โรงพยาบาลสงขลานครินทร์เป็นกรณีศึกษา

งานวิจัยเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องในโรงพยาบาล จากการศึกษาพบว่าการบริหารทรัพยากรเป็นกลุ่มที่มีการใช้การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องมากที่สุด (23%) อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่นำการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ในการบริหารจัดการรถเข็นผู้ป่วยซึ่งเป็นช่องว่างสำคัญของการศึกษา เพื่อทดสอบแนวทางดังกล่าวได้มีการพัฒนาระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ FlexSim Healthcare ร่วมกับเราเตอร์ (Router) และป้ายระบุพิกัดแบบพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy Tag: BLE Tag) เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของรถเข็นผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ ผลการศึกษาพบว่าระบบสามารถช่วยระบุจุดที่รถเข็นถูกใช้งาน หรือจอดว่าง หรือกระจายตัวไม่เหมาะสม ซึ่งช่วยให้โรงพยาบาลสามารถบริหารจัดการรถเข็นได้ดีมากขึ้น

คำสำคัญ: การจัดการรถเข็นผู้ป่วย, การจำลองสถานการณ์, การติดตามตำแหน่งเรียลไทม์, เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ

Abstract

Resource management in hospitals is a key factor affecting the efficiency of healthcare service systems. However, inefficient distribution of resources such as patient trolleys remains a major obstacle causing service delays. This study focuses on the application of Discrete Event Simulation (DES) in combination with a Real-Time Location System (RTLS) to improve the management of patient trolleys in hospitals, using Songklanagarind Hospital as a case study. The research began with a review of literature related to the use of DES in hospital settings. The study found that resource management was the most common application area for DES (23%). However, there has been no research integrating DES with RTLS specifically for managing patient trolleys, which represents a significant research gap. To test this approach, a real-time tracking system was developed using FlexSim Healthcare software together with routers and Bluetooth Low Energy (BLE) tags to monitor the movement of patient trolleys in real time. The results revealed that the system could identify where trolleys were in use, idle, or unevenly distributed, enabling the hospital to manage trolley resources more effectively.

Keywords: Patient trolley management, Discrete event simulation, Real-time location tracking, Bluetooth Low Energy technology

1. บทนำ

โรงพยาบาลเป็นองค์กรที่มีระบบการทำงานที่ซับซ้อนและต้องอาศัยการบริหารจัดการทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพ การบริหารจัดการที่ดีสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพการให้บริการ ลดเวลารอคอย และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ อย่างไรก็ตาม ปัญหาด้านการจัดสรรทรัพยากร เช่น การกระจายตัวของอุปกรณ์ทางการแพทย์ และรถเข็นผู้ป่วยที่ไม่มีประสิทธิภาพ ยังคงเป็นความท้าทายที่หลายโรงพยาบาลต้องเผชิญ

การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง เป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยจำลองกระบวนการทำงานในโรงพยาบาลเพื่อระบุปัญหาและหาแนวทางปรับปรุงได้อย่างแม่นยำ งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องถูกนำมาใช้ในการบริหารทรัพยากร การติดตามผู้ป่วย การจัดการคิว การออกแบบโครงสร้าง การจัดตารางบุคลากร และการบริหารโลจิสติกส์ ซึ่งช่วยให้โรงพยาบาลสามารถจัดการระบบงานได้อย่างเป็นระบบมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่ายังไม่มีงานวิจัยที่นำการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น รถเข็นผู้ป่วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองระบบด้านสุขภาพ และศึกษาการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ในการติดตามและจัดการรถเข็นผู้ป่วยในโรงพยาบาล โดยเลือกใช้โรงพยาบาลสงขลานครินทร์เป็นกรณีศึกษา

2. ทบทวนวรรณกรรม

การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง ถูกนำมาใช้ในโรงพยาบาลเพื่อช่วยวิเคราะห์และปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยพบว่า DES สามารถนำมาใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น การบริหารทรัพยากร การติดตามผู้ป่วย การจัดการระบบคิว การออกแบบโครงสร้าง การวางแผนบุคลากร และการบริหารระบบโลจิสติกส์ ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพบริการและลดต้นทุนในการดำเนินงาน (Chouba et al., 2022; Agalianos et al., 2020; Poursoltan et al., 2020)

การบริหารทรัพยากร เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้โรงพยาบาลสามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น การจัดสรรเตียงผู้ป่วย ห้องผ่าตัด และอุปกรณ์ทางการแพทย์ งานวิจัยหลายชิ้นพบว่า DES สามารถช่วยคาดการณ์ความต้องการเตียงและปรับปรุงตารางเวลาการใช้ห้องผ่าตัดให้เหมาะสม ลดเวลาว่างที่ไม่จำเป็น (Badilla-Murillo et al., 2020; Pu et al., 2024) นอกจากนี้ DES ยังถูกใช้ในการวางแผนรับมือกับเหตุการณ์ฉุกเฉิน เช่น อุบัติเหตุหมู่หรือโรคระบาด ช่วยให้โรงพยาบาลกระจายทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Staribacher et al., 2023)

การติดตามผู้ป่วย และการจัดการกระบวนการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยภายในโรงพยาบาลเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญ การใช้ DES ช่วยให้โรงพยาบาลเข้าใจเส้นทางการเดินของผู้ป่วย และสามารถปรับปรุงกระบวนการให้มีความคล่องตัวมากขึ้น เช่น การลดระยะเวลารอคอยระหว่างแผนก และการจัดการเตียงในหอผู้ป่วยอย่างเหมาะสม (Karakra et al., 2022; Meephu et al., 2023) นอกจากนี้ DES ยังถูกนำมาใช้ในแผนกฉุกเฉินเพื่อช่วยปรับปรุงกระบวนการรับและดูแลผู้ป่วย ลดความแออัดและเพิ่มความสามารถในการรองรับผู้ป่วยที่มีอาการรุนแรง (Liperda, 2022; Zamani, 2022)

การจัดการระบบคิวและการลดระยะเวลารอคอย (Queue and Waiting Time Management) เป็นความท้าทายที่สำคัญของโรงพยาบาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแผนกที่มีผู้ป่วยจำนวนมาก งานวิจัยพบว่า DES สามารถช่วยออกแบบระบบคิวที่ลดระยะเวลาการรอคอย เช่น การเพิ่มช่องทางให้บริการ การปรับตารางนัดหมาย และการบริหารบุคลากรให้สอดคล้องกับความต้องการ (Krisnawati et al., 2022) นอกจากนี้ DES ยังสามารถใช้เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าของการตรวจสุขภาพเชิงป้องกันและการคัดกรองโรค เพื่อหาแนวทางการให้บริการที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Wang et al., 2023)

การออกแบบโครงสร้างโรงพยาบาล (Hospital Infrastructure Design) สามารถใช้ DES ในการจำลองรูปแบบการใช้งานพื้นที่จริงก่อนการก่อสร้าง เพื่อลดปัญหาคอขวดและเพิ่มความสะดวกในการให้บริการ งานวิจัยแสดงให้เห็นว่า DES ถูกใช้เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของแผนผังอาคารโรงพยาบาล รวมถึงการออกแบบแผนกฉุกเฉินให้สามารถรองรับผู้ป่วยจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Cubukcuoglu et al., 2020; Dong et al., 2021)

การวางแผนตารางเวลาบุคลากรทางการแพทย์ (Staff Scheduling and Workforce Management) เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพบริการและประสิทธิภาพการทำงานของโรงพยาบาล งานวิจัยพบว่า DES สามารถช่วยจัดสรรเวลาทำงานของแพทย์และพยาบาลให้เหมาะสม ลดภาระงานที่มากเกินไป และช่วยให้บุคลากรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Mangoni & Li, 2020; Kim, 2024) นอกจากนี้ DES ยังสามารถใช้ร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อพัฒนาระบบการจัดตารางเวลาที่สามารถปรับเปลี่ยนได้อัตโนมัติและตอบสนองต่อสถานการณ์ฉุกเฉินได้ดีขึ้น (Yang et al., 2022)

สุดท้าย การบริหารระบบโลจิสติกส์และซัพพลายเชน (Hospital Logistics and Supply Chain Management) เป็นอีกหนึ่งด้านที่ DES มีบทบาทสำคัญ งานวิจัยแสดงให้เห็นว่า DES สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบขนส่งยาและอุปกรณ์ทางการแพทย์ ลดเวลาการขนส่ง และทำให้ห่วงโซ่อุปทานของโรงพยาบาลมีความมั่นคงยิ่งขึ้น (Agalianos et al., 2020) นอกจากนี้ DES ยังสามารถใช้ร่วมกับแบบจำลองดิจิทัลฝาแฝด (Digital Twin) เพื่อช่วยบริหารจัดการระบบโลจิสติกส์ให้มีความแม่นยำและคล่องตัวมากขึ้น (Lyu et al., 2022)

โดยสรุปการใช้การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องในโรงพยาบาลสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการ ลดต้นทุน และปรับปรุงการดำเนินงานในหลายด้าน ตั้งแต่การบริหารทรัพยากร ระบบติดตามผู้ป่วย การจัดการคิว การออกแบบโครงสร้าง การจัดตารางบุคลากร ไปจนถึงการบริหารโลจิสติกส์ งานวิจัยจำนวนมากยืนยันว่า DES เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการช่วยให้โรงพยาบาลดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถปรับใช้กับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคตได้ (Chouba et al., 2022; Pu et al., 2024; Zamani, 2023)

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ดำเนินการโดยใช้วิธีการศึกษาเอกสารและการทดลองเชิงประยุกต์ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

3.1 การวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองระบบด้านสุขภาพ

การวิเคราะห์งานวิจัยเริ่มต้นด้วยการค้นหางานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยใช้คีย์เวิร์ดที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องในโรงพยาบาลจากฐานข้อมูลวิชาการชั้นนำ ได้แก่ ScienceDirect และ Scopus โดยกำหนดช่วงเวลาของงานวิจัยที่ศึกษา ตั้งแต่ปี 2019 ถึง 2024 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความทันสมัยและสอดคล้องกับแนวโน้มปัจจุบัน จากการค้นคว้าพบว่า มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 30 ฉบับ ซึ่งครอบคลุมหัวข้อการนำ DES มาใช้ในโรงพยาบาล จากนั้นทำการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา เพื่อจำแนกและจัดกลุ่มตามประเภทของการประยุกต์ใช้ DES ในโรงพยาบาล หลังจากการทบทวนวรรณกรรมและการวิเคราะห์ข้อมูล ได้ทำการวิเคราะห์ช่องว่างของงานวิจัยเพื่อระบุประเด็นที่ยังไม่ได้รับการศึกษาอย่างเพียงพอ

3.2 การสร้างแบบจำลองต้นแบบ

เพื่อทดสอบแนวคิดเกี่ยวกับระบบติดตามตำแหน่งของรถเข็นผู้ป่วย ได้ทำการสร้างระบบต้นแบบโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ FlexSim Healthcare ร่วมกับเราเตอร์ และป้ายระบุพิกัดแบบพลังงานต่ำ เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของรถเข็นผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ โดยเลือกใช้โรงพยาบาล-สงขลานครินทร์เป็นกรณีศึกษา โดยแบบจำลองนี้ถูกออกแบบให้เชื่อมต่อโดยตรงกับระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ที่ใช้เทคโนโลยี BLE ซึ่งข้อมูลที่ได้จากระบบติดตามนี้จะถูกนำเข้าสู่โปรแกรม FlexSim Healthcare ผ่านฟังก์ชันที่สำคัญสองส่วนหลัก ได้แก่ Global Table และ Dashboard

Global Table ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูลกลางที่ใช้ในการเก็บและดึงข้อมูลตำแหน่งของรถเข็นผู้ป่วยซึ่งถูกส่งเข้ามาจากระบบ ติดตามตำแหน่ง โดยข้อมูลนี้จะถูกจัดเก็บไว้สำหรับใช้งานในแบบจำลอง

Dashboard เป็นส่วนที่แสดงผลข้อมูลสถานะและตำแหน่งของรถเข็นผู้ป่วยในรูปแบบกราฟิกที่เข้าใจง่ายและแสดงผลแบบเรียลไทม์เพื่อให้ผู้ใช้งานหรือบุคลากรของโรงพยาบาลสามารถติดตามตำแหน่งของรถเข็นและวางแผนการบริหารจัดการได้สะดวกมากขึ้น

กระบวนการภายในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะมีขั้นตอนที่ชัดเจนในการไหลของข้อมูล (Flow Logic) ประกอบไปด้วยขั้นตอนสำคัญดังต่อไปนี้ 1.การสร้าง Token ทำหน้าที่รับข้อมูลตำแหน่งจากอุปกรณ์ BLE Tag ที่ติดตั้งอยู่บนรถเข็นแต่ละคัน 2.การประมวลผลข้อมูลด้วย CustomCode เพื่ออัปเดตสถานะล่าสุดของรถเข็นแต่ละคันอย่างแม่นยำ 3.การใช้ Decide Node เพื่อกระจายข้อมูลที่ประมวลผลแล้วไปยังจุดที่กำหนดไว้ในโมเดลจำลอง เช่น Floor Spot หรือสถานที่ต่าง ๆภายในโรงพยาบาล 4.การแสดงผลผ่าน Dashboard เพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถเห็นภาพรวมการใช้งานรถเข็นทั้งหมดในลักษณะเรียลไทม์

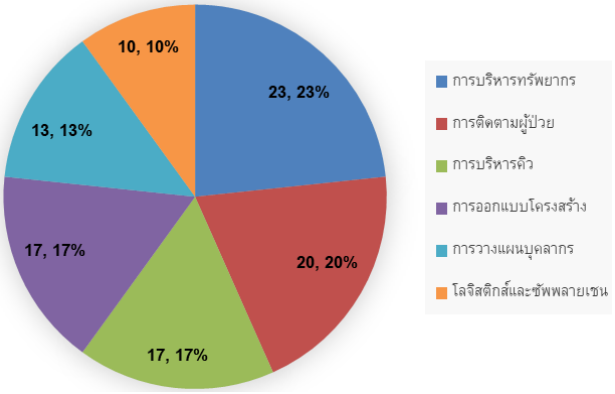
3.3 การทดสอบระบบ

การทดสอบระบบถูกดำเนินการเพื่อประเมินความถูกต้องของตำแหน่งรถเข็นผู้ป่วยที่แสดงในระบบติดตามตำแหน่ง และเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริงของรถเข็นในพื้นที่โรงพยาบาลโดยเลือกใช้รถเข็น 3 คัน ได้แก่ รถเข็นรหัส 605 691 และ 692 ในการทดสอบตำแหน่ง

จากนั้นทำการตรวจสอบตำแหน่งของรถเข็นในระบบติดตามโดยพิจารณาตำแหน่งที่แสดงในระบบและรหัสของรถเข็นที่ได้รับการบันทึกไว้ หลังจากนั้นจึงเปรียบเทียบตำแหน่งจริงของรถเข็นที่อยู่ในพื้นที่กับข้อมูลที่ปรากฏในระบบติดตามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของระบบติดตามตำแหน่ง หากพบความคลาดเคลื่อนจะมีการบันทึกผลและวิเคราะห์ข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ

4. การอภิปรายผลและสรุปผล

4.1 จากการทบทวนวรรณกรรมมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษา 30 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง ในโรงพยาบาล โดยสามารถจัดกลุ่มออกเป็น 6 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1.การบริหารทรัพยากร 2.การติดตามผู้ป่วย 3.การบริหารระบบคิว 4.การออกแบบโครงสร้าง 5.การจัดตารางเวลา-บุคลากร และ6.การบริหารระบบโลจิสติกส์ โดยพบว่าการใช้ DES มีสัดส่วนที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม โดยการบริหารทรัพยากรโรงพยาบาลเป็นกลุ่มที่มีการใช้มากที่สุด (23%) รองลงมาคือการติดตามผู้ป่วย (20%) การบริหารระบบคิวและการออกแบบโครงสร้าง (17%) ในขณะที่การจัดตารางเวลาบุคลากรทางการแพทย์ และการบริหารระบบโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มีสัดส่วนการใช้ใกล้เคียงกัน (10-13%) ดังแสดงในรูปที่ 1.



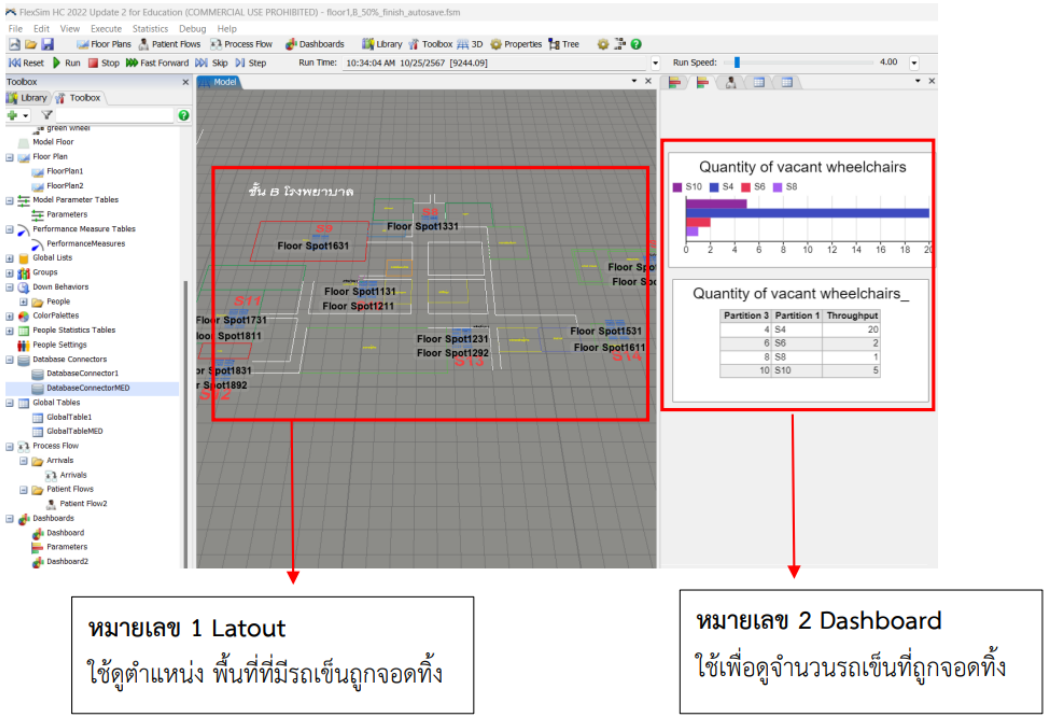
รูปที่ 1 สัดส่วนงานวิจัยที่ใช้การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง

ผลการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและจัดกลุ่มตามประเภทของการประยุกต์ใช้ DES ในโรงพยาบาล แสดงให้เห็นว่าการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในโรงพยาบาล โดยส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการบริหารทรัพยากร (23%) เช่น การจัดสรรเตียงและห้องผ่าตัด อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่นำ DES มาใช้ร่วมกับระบบติดตามตำแหน่งของรถเข็นผู้ป่วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่านี่เป็นช่องว่างของงานวิจัยที่ยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจัง

4.2 เพื่อทดสอบแนวคิดนี้ได้มีการเลือกใช้โรงพยาบาลสงขลานครินทร์เป็นกรณีศึกษาเนื่องจากเป็นโรงพยาบาลขนาดใหญ่ การดำเนินการวิจัยจึงอาศัยโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ของโรงพยาบาลแห่งนี้เป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาระบบการจัดการรถเข็นผู้ป่วย ซึ่งเป็นทรัพยากรสำคัญในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยระหว่างแผนกต่างๆ โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ FlexSim Healthcare ร่วมกับระบบติดตามตำแหน่งผ่านเราเตอร์ และป้ายระบุพิกัดแบบพลังงานต่ำ เพื่อจำลองและวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของรถเข็นผู้ป่วยดังแสดงในรูปที่ 2.

ผลการศึกษาพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถติดตามตำแหน่งของรถเข็นผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ ทำให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบและนำรถเข็นกลับมาใช้งานได้มากขึ้น นอกจากนี้ระบบสามารถแสดงตำแหน่งของรถเข็นที่จอดอยู่ รวมถึงจำนวนรถเข็นว่างในแต่ละจุดภายในโรงพยาบาล ช่วยให้บุคลากรสามารถจัดการทรัพยากรได้รวดเร็วยิ่งขึ้นและลดเวลาค้นหา

4.3 จากการทดสอบระบบสามารถแสดงผลในตารางที่ 1 โดยระบบติดตามตำแหน่งสามารถระบุตำแหน่งของรถเข็นได้ถูกต้องใน 4 สถานี ได้แก่ 1.ทางเข้าด้านหน้า 2.จุดจอดรถเข็นหน้าโรงพยาบาล 3.บันไดหน้าเซเว่น และ4.โรงอาหาร อย่างไรก็ตาม มี 8 สถานีที่ระบบติดตามยังไม่สามารถระบุตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากปัญหาการจับสัญญาณที่ไม่เสถียรจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณ ที่ติดตั้งอยู่สูงหรืออยู่ในพื้นที่ปิด ส่งผลให้ไม่สามารถรับสัญญาณป้ายระบุพิกัดแบบพลังงานต่ำของรถเข็นได้ในบางจุด นอกจากนี้อายุการใช้งานของป้ายระบุพิกัดแบบพลังงานต่ำเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความต่อเนื่องของระบบติดตามตำแหน่ง หากแบตเตอรี่หมดระบบจะไม่สามารถตรวจจับตำแหน่งของรถเข็นได้



รูปที่ 2 แบบจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องสำหรับระบบติดตามรถเข็นผู้ป่วยภายในโรงพยาบาล

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการระบุตำแหน่งของระบบติดตาม

Station	Station Name	ความถูกต้องของระบบ (Flexsim) กับสถานที่จริง	
		ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
S1	THR-ER ทางเข้าด้านหน้า	✓	
S2	OTH-จุดเก็บรถเข็นชั้น B หน้าลิฟต์ตึก 13 ชั้น (สหกรณ์ออมทรัพย์)		✓
S3	SRV-จุดจอดรถเข็นทางเข้า Premium		✓
S4	CHB-จุดจอดรถเข็นทางเข้าตึกเฉลิมพระบารมี		✓
S5	HOS-จุดจอดรถเข็นหน้าโรงพยาบาล ใกล้กับศูนย์บริการเบ็ดเสร็จ (ด่านหน้า)	✓	
S6	THR-ชั้น B1 (ที่จอดรถยนต์) ตึก ER		✓
S7	CHB-บันไดหน้าเซเว่น (7-11)	✓	
S8	CHB-โรงอาหาร	✓	
S9	OTH-หน้าห้อง X-ray ใกล้ๆ MRI		✓
S10	MB-ทางออกตึกแดง		✓
S11	AMBUTORY (ตรงข้ามตึกฉุกเฉิน)		✓
S12	จุดเก็บรถเข็นหน้าหน่วยขนย้ายผู้ป่วย		✓

แม้ว่าการผสานการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องและระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ เป็นแนวทางช่วยให้การบริหารจัดการรถเข็นผู้ป่วยมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่จากการทดสอบระบบติดตามสถานะรถเข็นต้นแบบยังพบข้อจำกัดด้านสัญญาณของระบบติดตามและปัญหาแบตเตอรี่ของป้ายระบุพิกัด ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการแก้ไขเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างเสถียร และแม้ว่าระบบจะสามารถใช้งานได้จริงในบางพื้นที่ แต่ยังจำเป็นต้องมีการทดสอบเพิ่มเติม และควรดำเนินการในหลายช่วงเวลา ภายใต้เงื่อนไขแวดล้อมที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อให้สามารถแสดงผลได้อย่างแม่นยำ น่าเชื่อถือ และรองรับการใช้งานจริงในระยะยาวได้ดียิ่งขึ้น

การศึกษาต่อไปควรมุ่งเน้นการเพิ่มความแม่นยำของระบบติดตามตำแหน่ง โดยการปรับปรุงการติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณ ให้ครอบคลุมพื้นที่ ลดจุดอับสัญญาณ และอาจใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณในพื้นที่ที่มีปัญหาสัญญาณรบกวน เพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับตำแหน่งของรถเข็นได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น อีกประเด็นสำคัญคือควรมีแนวทางการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ของป้ายระบุพิกัดแบบพลังงานต่ำ เพื่อลดความเสี่ยงที่แบตเตอรี่หมดจนส่งผลกระทบต่อระบบติดตาม และช่วยให้ป้ายระบุพิกัดสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

[1] Agalianos, K., Ponis, S., Aretoulaki, E., Plakas, G., & Efthymiou, O. (2020). Discrete event simulation and digital twins: Review and challenges for logistics. Procedia Manufacturing, 51, 1636-1641.

[2] Angler, Y., Lossin, A., & Goetz, O. (2024). The importance of discrete event simulation as a methodology for performance evaluation in the emergency department. Emergency Care Journal.

[3] Badilla-Murillo, F., Vargas-Vargas, B., Víquez-Acuña, O., & García-Sanz-Calcedo, J. (2020). Analysis of the installed productive capacity in a medical angiography room through discrete event simulation. Processes.

[4] Chouba, I., Amodeo, L., Arbaoui, T., Yalaoui, F., Laplanche, D., & Sanchez, S. (2022). Optimization of French hospital department activities using an efficient discrete event simulation model. Applied Sciences.

[5] Cubukcuoglu, C., Nourian, P., Sariyildiz, I., & Tasgetiren, M. F. (2020). A discrete event simulation procedure for validating programs of requirements: The case of hospital space planning. SoftwareX, 12, 100539.

[6] Dong, Y., Day, T., & Gopakumar, B. (2021). How many of those things do we really need? Discrete event simulation. Comprehensive Healthcare Simulation.

[7] Fadjar, A., & Ali, A. A. (2024). The utilization of the discrete event simulation method in scheduling repetitive

construction. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

[8] Hajlasz, M., & Mielczarek, B. (2020). Simulation-based hospital infrastructure planning using DES. Operations Research and Decisions.

[9] Karakra, A., Fontanili, F., Lamine, E., & Lamothe, J. (2022). A discrete event simulation-based methodology for building a digital twin of patient pathways in hospitals. Digital Twin.

[10] Kim, J.-K. (2024). Enhancing patient flow in emergency departments: A machine learning and simulation-based resource scheduling approach. Applied Sciences.

[11] Krisnawati, F., Anugroho, D. M. R., Rachmawati, L. Y., & Asrol, M. (2022). Discrete event simulation modeling with ARENA for combination of manual queue and fast track queue in hospital. Jurnal PASTI (Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri).

[12] Liperda, R. (2022). Analysis of patient flows using discrete-event simulation: Case study of emergency department of hospital X. Jurnal Logistik Indonesia.

[13] Liu, S., Li, Y., Triantis, K., Xue, H., & Wang, Y. (2020). The diffusion of discrete event simulation approaches in healthcare management. MDM Policy & Practice, 5.

[14] Lyu, Z., Pons, D., Chen, J., & Zhang, Y. (2022). Developing a stochastic two-tier architecture for modeling last-mile delivery and implementing in discrete-event simulation. Systems, 10, 214.

[15] Mangoni, S. L., & Li, X. (2020). Discrete event simulation of a specialty outpatient clinic to improve patient flow. UF Journal of Undergraduate Research, 22.

[16] Meephu, E., Arwatchananukul, S., & Aunsri, N. (2023). Enhancement of intra-hospital patient transfer in medical center hospital using discrete event system simulation. PloS One, 18(4), e0282592.

[17] Mogollon, J., Goepp, V., Avila, O., & Guio, R. (2023). Automated input data management for discrete event simulation models of emergency departments.

[18] Poursoltan, M., Masmoudi, M., & Albert, P. (2020). Application of risk management for discrete event simulation projects in healthcare systems. Engineering Management Journal, 34, 24-36.

[19] Pu, Z., Wu, S., & Han, Y. (2024). A discrete-event simulation model for assessing operating room efficiency of thoracic, gastrointestinal, and orthopedic surgeries. World Journal of Surgery.

[20] Staribacher, D., Rauner, M. S., & Niessner, H. (2023). Hospital resource planning for mass casualty incidents: Limitations for coping with multiple injured patients. Healthcare, 11.

[21] Yang, S., Wang, J. Y., Xin, L., & Xu, Z. G. (2022). Verification of intelligent scheduling based on deep reinforcement learning for distributed workshops via discrete event simulation. Advances in Production Engineering & Management.

[22] Zamani, Z. (2022). Leveraging discrete event simulation modeling to evaluate design and process improvements of an emergency department. Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning.

[23] Zamani, Z. (2023). Discrete event simulation for clinic design. International Journal of Environment, Architecture, and Societies.

[24] Wang, J. M., Liu, Q., Gong, C., Zhang, M. L., Gao, P., Tang, X., & Hu, Y. (2023). Application of discrete event simulation model in analysis on cost-effectiveness of epidemiology screening. Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi, 44(3), 463-469.

[25] Kramer, A., Dosi, C., Iori, M., & Vignoli, M. (2020). Successful implementation of discrete event simulation: The case of an Italian emergency department. ArXiv.

[26] Strauss, M., Bildstein, A., & Pflaum, A. (2021). Optimizing emergency medical service structures using a rule-based discrete event simulation approach. Journal of Emergency Medicine, 60(2), 218-229.

[27] Oliveira-Santos, M., Lima, R., & Azevedo, C. (2023). A facilitated discrete event simulation framework to support online studies and patient care modeling. Journal of Simulation Research, 12(1), 89-104.

[28] Embse, N., & Jenkins, A. (2021). Evaluating the cost of prevention programming and universal screening with discrete event simulation. Journal of Healthcare Policy and Economics, 14(3), 77-94.

[29] Karakra, A., Fontanili, F., Lamine, E., & Lamothe, J. (2022). A discrete event simulation-based methodology for building a digital twin of patient pathways in hospitals. Digital Twin.

[30] Li, Y., & Wang, X. (2020). The diffusion of discrete event simulation approaches in healthcare management: A systematic review. Journal of Healthcare Operations Management, 18(2), 45-62.

การศึกษานโยบายการจัดการพัสดุคงคลังประเภทชิ้นส่วนสำหรับผลิตเครื่องมือตรวจสอบคุณภาพ

A STUDY OF INVENTORY MANAGEMENT POLICY OF PARTS FOR QUALITY INSPECTION TOOLS

บรรหาญ ลิลา ธัญวรัตม์ พรไพศาลวิจิต อดิศักดิ์ นาวเหนียว วิศณุ บุญรอด*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: wisanu@eng.buu.ac.th*

Banhan Lila, Tanvarat Pornpaisanvichit, Adisak Nowneow, Wisanu Boonrawd*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: wisanu@eng.buu.ac.th *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์ของนโยบายการจัดการพัสดุคงคลังของชิ้นส่วนสำหรับผลิตเป็นเครื่องมือเพื่อใช้ในงานตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ ระหว่างตัวแบบ Q, r กับนโยบายเดิมของกรณีศึกษา โดยประเมินจากดัชนีต้นทุนรวม และระดับบริการ การศึกษาข้อมูลย้อนหลัง 43 สัปดาห์พบว่านโยบายเดิมซึ่งเป็นการสั่งผลิตชิ้นส่วนแต่ละรายการรายสัปดาห์ มีการสั่งผลิตรวม 540 ครั้ง เกิดเหตุการณ์ชิ้นส่วนบางรายการไม่เพียงพอ ส่งผลให้ต้องสั่งผลิตแบบเร่งด่วนจำนวน 37 ครั้ง มีต้นทุนการจัดการรวมต่อ 43 สัปดาห์เท่ากับ 1,846,408 บาท และระดับบริการเฉลี่ยเท่ากับ 0.992 ในขณะที่ผลลัพธ์ของการจัดการพัสดุคงคลังตามความต้องการ 43 สัปดาห์นี้ถ้ามีการประยุกต์ตัวแบบ *Q, r* จะส่งผลให้จำนวนครั้งการสั่งผลิตลดลงเหลือ 208 ครั้ง โดยไม่ต้องมีการผลิตเร่งด่วน ในภาพรวมต้นทุนการจัดการรวมลดลงเหลือ 1,363,033 บาท หรือลดลงร้อยละ 26.18 ด้วยระดับบริการ 1.0 จึงเห็นได้ว่าตัวแบบ *Q, r* จะส่งผลดีกว่าการสั่งผลิตรายสัปดาห์ตามนโยบายเดิม ทั้งด้านต้นทุนและระดับบริการ ดังนั้นถ้ามีพื้นที่จัดเก็บชิ้นส่วนเพียงพอและความต้องการชิ้นส่วนยังคงมีพฤติกรรมแบบเดิม คาดว่าตัวแบบ *Q, r* จะช่วยให้สถานประกอบการกรณีศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการชิ้นส่วนนี้ได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การจัดการพัสดุคงคลัง ปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัด EMQ ตัวแบบ *Q, r*

Abstract

This research aims to compare the effectiveness of inventory management policies for parts used in product quality inspection of the Q, r model against the existing policy of the case study. Analysis of the 43 weeks historical data with the existing policy revealed that there were 540 times of manufacturing orders and 37 times of expediting orders to avoid part shortages, with the total management cost of 1,846,408 baht and the average service level of 0.992. On the contrary, if the *Q, r* model was implemented, the number of manufacturing orders could be reduced to 208 without any urgent production with the overall inventory management cost of 1,363,033 baht, representing a 26.18% decrement, while maintaining a service level of 1.0 over those 43 weeks with the same demands. The findings indicate that the *Q, r* model is more effective than the existing weekly ordering policy in terms of both cost and service level. Therefore, if the company has sufficient storage space and the demand behavior for parts remains consistent, the *Q, r* model is expected to significantly enhance parts management efficiency.

Keywords: Inventory Management, Economic Manufacturing Quantity (EMQ), Q, r Model

1. ที่มาและความสำคัญ

พัสดุคงคลัง (Inventory) มีบทบาทต่อการสร้างความสมดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทานของห่วงโซ่ การจัดการพัสดุคงคลังที่ดีจะส่งผลต่อระดับสินค้าคงคลังเหมาะสมโดยไม่กระทบต่อระดับการให้บริการ พัสดุคงคลังประกอบด้วย วัตถุดิบ ชิ้นส่วนเพื่อการประกอบหรือผลิต สินค้าสำเร็จรูป ชิ้นส่วนอุปกรณ์เพื่อการซ่อมบำรุง และพัสดุอื่น ๆ ที่จัดเตรียมไว้เพื่อรองรับการใช้งานในอนาคต [1] พัสดุคงคลังโดยปกติจัดเป็นสินทรัพย์หมุนเวียนที่มีมูลค่าสูงขององค์กร มีประโยชน์ด้านการรับมือกับความผันแปรของความต้องการในอนาคต แต่ถ้าจัดการไม่เหมาะสมจะส่งผลลบด้านต้นทุนได้เช่นกัน [2]

สถานประกอบการกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นผู้ผลิตเครื่องพิมพ์ เครื่องถ่ายเอกสาร และชิ้นส่วนที่ประกอบ โดยทำการศึกษาในส่วนการผลิตชิ้นส่วนสำหรับการประกอบอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพเครื่องถ่ายเอกสารของแผนกควบคุมคุณภาพจำนวน 15 รายการ จากการเก็บข้อมูล 43 สัปดาห์ พบว่าสถานประกอบการใช้นโยบายการจัดการกับชิ้นส่วนทั้ง 15 รายการนี้ โดยการสั่งผลิตวันจันทร์ของทุกสัปดาห์ ปริมาณที่สั่งผลิตจะพิจารณาจากแผนความต้องการวัสดุ (Material Requirements Planning: MRP) ในระหว่างสัปดาห์ถ้าพบว่ามีชิ้นส่วนรายการใดไม่พอใช้ เนื่องจากความต้องการจริงมากกว่าที่ระบุไว้ใน MRP จะมีการผลิตเร่งด่วนซึ่งจะมีต้นทุนมากว่าการสั่งผลิตปกติ จากข้อมูลของ 43 สัปดาห์พบว่าการสั่งผลิตทุกต้นสัปดาห์ทำให้มีความถี่ในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อการผลิตสูง ทั้งยังพบเหตุการณ์ชิ้นส่วนบางรายการไม่เพียงพอ ส่งผลต่อต้นทุนรวมของการจัดการสูงถึง 1,846,408 บาท/ปี

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการศึกษาแนวทางและผลลัพธ์ของการจัดการชิ้นส่วนคงคลัง 15 รายการ ถ้าใช้นโยบายการจัดการโดยใช้ตัวแบบ *Q*, *r* ซึ่งจะกำหนดให้สั่งผลิตชิ้นส่วนแต่ละรายการในปริมาณคงที่ *Q* หน่วย ตามแนวทางของการกำหนดปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัด (Economic manufacturing quantity: EMQ) เมื่อปริมาณชิ้นส่วนที่จัดเตรียมไว้เหลือน้อยกว่าหรือเท่ากับ *r* หน่วย เมื่อ *r* แทนจุดสั่งผลิตเพิ่ม (Reorder point: ROP)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจัดการพัสดุคงคลังเป็นการควบคุมระดับหรือปริมาณของพัสดุคงคลัง ด้วยการกำหนดปริมาณการสั่งแต่ละครั้งและจุดที่จะต้องสั่งมาเพิ่ม ซึ่งโดยทั่วไปแบ่งได้เป็นระบบต่อเนื่องหรือปริมาณการสั่งคงที่ (Continuous or fixed order quantity system) และระบบช่วงเวลาหรือระยะเวลาการสั่งคงที่ (Periodic or fixed time period system) [1, 3]

2.1 ระบบต่อเนื่องหรือปริมาณการสั่งคงที่

โดยหลักการระบบนี้จะประเมินปริมาณการสั่ง (Order size, *Q*) จากความต้องการของพัสดุแต่ละรายการ ระหว่างที่มีการใช้งานพัสดุต้องมีระบบติดตามปริมาณหรือระดับพัสดุคงคลังคงเหลือตลอดเวลา (แบบต่อเนื่อง) เมื่อปริมาณพัสดุลดลงถึงหรือต่ำกว่าที่กำหนดซึ่งแทนด้วย *r* จะสั่งมาเพิ่มในปริมาณ *Q* จึงมักพบว่ามีการอ้างถึงนโยบายนี้ว่าตัวแบบ *Q*, *r* [4] ทั้งนี้วิธีการกำหนดปริมาณ *Q* นิยมทำบนพื้นฐานที่ทำให้ต้นทุนรวมของการจัดการซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการสั่งและต้นทุนดูแลรักษาพัสดุไว้ต่ำที่สุด เช่นการใช้ตัวแบบปริมาณการสั่งที่ประหยัด (Economic order quantity: EOQ) กรณีสั่งซื้อ และปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัด (Economic manufacturing quantity: EMQ) กรณีสั่งผลิตส่วน *r* จะกำหนดเพื่อป้องกันพัสดุไม่เพียงพอในขณะที่รอพัสดุล็อตใหม่จึงจะส่งผลโดยตรงต่อระดับบริการ (Service Level: *SL*)

2.2 ระบบช่วงเวลาหรือระยะเวลาการสั่งคงที่

ระบบนี้จะกำหนดรอบเวลาตรวจนับปริมาณพัสดุคงคลังตามช่วงเวลาคงที่เช่น ทุกต้นสัปดาห์หรือทุกวันที่ 15 ของแต่ละเดือน เป็นต้น หลังจากนั้นจะสั่งพัสดุเข้ามาเพิ่มในปริมาณที่ทำให้ปริมาณคงคลังเท่ากับระดับที่ต้องการ ในระหว่างช่วงเวลาที่กำหนดจะไม่มีการตรวจนับ จึงเป็นการตรวจติดตามแบบไม่ต่อเนื่อง เป็นการลดภาระด้านการควบคุมแต่ก็อาจทำให้เกิดการขาดมือซึ่งกระทบต่อทั้งต้นทุนและระดับบริการได้

2.3 ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพัสดุคงคลัง

ภายใต้สมมติฐานของราคาที่ซื้อหรือต้นทุนการผลิตต่อหน่วยคงที่ ไม่พิจารณามูลค่าของเงินทุนที่อาจเปลี่ยนแปลงตามเวลา และทรัพยากรที่ใช้สำหรับจัดการพัสดุด้านอื่น ๆ เช่น พื้นที่จัดเก็บ กำลังการผลิตของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น มีเพียงพอ วิเคราะห์เพื่อการจัดการพัสดุคงคลังจะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อหรือสั่งผลิต (Ordering or setup cost: P) เป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพื่อให้ได้มาซึ่งพัสดุสุดคงคลังที่ต้องการซึ่งมีค่าคงที่ต่อครั้งการสั่ง

2) ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (Holding cost: *H*) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากเงินจม และ การดูแลรักษาพัสดุที่จัดเตรียมไว้ในคลังสินค้า

3) ค่าใช้จ่ายเมื่อพัสดุขาดมือ (Shortage cost: *S*) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากพัสดุไม่เพียงพอ และ/หรือ การสั่งซื้อหรือสั่งผลิตแบบเร่งด่วน

การจัดการพัสดุคงคลังที่ระบบต่อเนื่องและระบบระยะเวลาการสั่งคงที่มีตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) คือปริมาณการสั่ง *Q* และจุดสั่งมาเพิ่ม *r* ที่ทำให้ต้นทุนรวมของการจัดการ (Total cost: TC) ต่ำที่สุดด้วยระดับบริการ *SL* ที่ยอมรับได้ [1, 5] ภายใต้เงื่อนไขที่เป็นจริงของแต่ละสถานการณ์ที่พิจารณา ที่พบได้บ่อยคือความต้องของพัสดุไม่คงที่และไม่ทราบค่าที่แน่นอน ในกรณีเช่นนี้ตัวแปร *Q* และ *r* ที่ได้ภายใต้สมมติฐานของทั้ง EOQ และ EMQ จะส่งผลให้มีต้นทุนและระดับบริการแตกต่างไปจากที่คำนวณทางทฤษฎี ถ้าสามารถประเมินพฤติกรรมความต้องการของพัสดุได้ด้วยตัวแบบการแจกแจงทางสถิติจะช่วยให้สามารถประเมินผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้นเมื่อนำตัวแปร *Q* และ *r* ไปประยุกต์ใช้ ด้วยการใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ได้ ดังตัวอย่างที่พบได้ในงานวิจัยของ วรัญญา ลิ้มบ้วน และบรรหาญ ลิลา [4] และ อมเรศ สมุทรานุกูล และคณะฯ [6] ซึ่งเป็นการศึกษาตัวแบบการจัดการพัสดุคงคลังที่เหมาะสมสำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และ ยางรถยนต์ของร้านให้บริการขายและเปลี่ยนยางรถยนต์ ตามลำดับ

2.4 ตัวแบบ Q, r เพื่อการจัดการพัสดุคงคลัง

เนื่องจากปัญหากรณีศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นการสั่งผลิตพัสดุคงคลังซึ่งเป็นชิ้นส่วนจำนวน 15 รายการ หากผลิตแล้วใช้ไม่หมดชิ้นส่วนที่เหลือจะถูกนำมาเก็บในคลังพัสดุแบบแยกพื้นที่ (Dedicated storage) ในหัวข้อนี้จึงจะอธิบายถึงการประเมินตัวแปร Q ซึ่งแทนปริมาณการสั่งการสั่งผลิตแบบประหยัด (EMQ) จุดสั่งผลิตเพิ่ม *r* ต้นทุนรวม *TC* และระดับบริการ ที่จะใช้กับปัญหากรณีศึกษา ด้วยสัญลักษณ์แทนดัชนีและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

ดัชนี

j แทนพัสดุหรือชิ้นส่วนรายการที่ *j*, *j* = 1, 2,...,15

t แทนสัปดาห์ที่ *t*, *t* =1, 2,..., *T*

พารามิเตอร์

Q_j^* แทนปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัดของรายการที่ *j* (ชิ้น)

D_j แทนความต้องการชิ้นส่วนรายการที่ *j* (ชิ้น/ปี)

d_{jt} แทนความต้องการของชิ้นส่วนรายการที่ *j* ในสัปดาห์ *t* (ชิ้น)

$\bar{d}_j$ แทนความต้องการเฉลี่ยของชิ้นส่วนรายการที่ *j* (ชิ้น/สัปดาห์)

F_{jt} แทนจำนวนชิ้นส่วนรายการ *j* ที่เบิกได้จริงในสัปดาห์ *t* (ชิ้น)

P_j แทนค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อหรือสั่งผลิต (บาท/ครั้ง)

S_j แทนต้นทุนชิ้นส่วนขาดมือและต้องผลิตเร่งด่วน (บาท/ครั้ง)

C_j แทนต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ชิ้น)

i แทนอัตราดอกเบี้ย (% ของต้นทุนต่อหน่วย/ปี)

I_j แทนค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเงินจม (บาท/ชิ้น/ปี) คำนวณได้จาก $I_j = iC_j$

W_j แทนค่าใช้จ่ายของการเก็บรักษาในคลังพัสดุ (บาท/ชิ้น/ปี)

H_j แทนต้นทุนในการถือครองพัสดุคงคลัง ($I_j + 2W_j$) (บาท/ชิ้น/ปี)

n_j แทนจำนวนครั้งที่เกิดชิ้นส่วนขาดมือและต้องผลิตเร่งด่วน (ครั้ง)

k_j แทนจำนวนครั้งที่มีการสั่งผลิตแบบปกติ (ครั้ง)

$\bar{B}_{jt}$ แทนปริมาณชิ้นส่วนคงคลังเฉลี่ยของชิ้นส่วน *j* สัปดาห์ *t* (ชิ้น)

$B_{max,j}$ แทนปริมาณชิ้นส่วนคงคลังสัปดาห์ที่มีค่าสูงสุด *j* (ชิ้น)

r_j แทนจุดสั่งผลิตเพิ่ม (ชิ้น)

M_j แทนอัตราการผลิต (ชิ้น)

SL_j แทนระดับบริการจากการจัดการชิ้นส่วนรายการ *j*

TC แทนต้นทุนรวมของการจัดการพัสดุคงคลังสำหรับชิ้นส่วนทุกรายการ (บาท)

ปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัด (Q_j^*) เมื่อจัดเก็บแบบแยกพื้นที่ จุดสั่งผลิตเพิ่ม (r_j) และระดับบริการ (SL_j) สำหรับชิ้นส่วนรายการ *j* ประเมินได้ด้วยสมการที่ (1), (2) และ (3) ตามลำดับ ต้นทุนรวม (*TC*) ของการจัดการให้มีชิ้นส่วนคงคลังประเมินได้ด้วยสมการที่ (4) และ (5) สำหรับต้นทุนรวมทางทฤษฎีและจากความต้องการจริง ตามลำดับ [1, 7]

$$Q_j^* = \sqrt{\frac{2D_jP_j}{H_j\left(1-\frac{\bar{d}_j}{M_j}\right)}}\,\forall_j \quad (1)$$

$$r_j = Max_j\left[d_{jt}\right]\forall_j \quad (2)$$

$$SL_j = \frac{\sum F_{jt}}{\sum d_{jt}}\,\forall_j \quad (3)$$

$$TC = \sum_j\left[\frac{D_jP_j}{Q_j^*} + \frac{H_j\left[Q_j^*\left(1-\frac{\bar{d}_j}{M_j}\right)\right]}{2D_j} + n_jS_j\right] \quad (4)$$

$$TC = \sum_j\left[k_jP_j + n_jS_j + T\cdot W_jB_{max} + \sum_t(I_j\bar{B}_{j,t})\right] \quad (5)$$

$\forall_j$ = 1, 2, 3,....., 15

สมการที่ (1) ประเมินปริมาณการสั่งผลิตภายใต้เงื่อนไขที่ทำให้ต้นทุนการสั่งผลิตรวมเท่ากับต้นทุนการเก็บรักษารวมซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนรวมของการจัดการต่ำที่สุดถ้าสมมติฐานต่าง ๆ ของ EMQ [3, 5] เป็นจริง สมการที่ (2) กำหนดจุดสั่งผลิตเพิ่มเมื่อปริมาณชิ้นส่วนคงคลังเหลือเท่ากับหรือน้อยกว่าความต้องการต่อสัปดาห์สูงที่สุดของชิ้นส่วน *j* เพื่อให้มั่นใจว่าชิ้นส่วนที่มีจะเพียงพอต่อความต้องการในขณะที่รอการผลิตล็อตใหม่ เมื่อเครื่องจักรที่ใช้มีกำลังการผลิตเพียงพอและมีอัตราการผลิต $M_j >> \bar{d}_j$ สมการที่ (3) ใช้ในการประเมินระดับบริการของชิ้นส่วนรายการ *j* จากสัดส่วนของความต้องการที่ตอบสนองได้ทั้งหมดเปรียบเทียบกับความต้องการรวมตลอด 43 สัปดาห์ สมการที่ (4) ประเมินต้นทุนการจัดการรวมทางทฤษฎี สมการที่ (5) เป็น *TC* จากผลลัพธ์ของการใช้ Q_j^* และ r_j ของชิ้นส่วนแต่ละรายการวิเคราะห์จากความต้องการจริงตลอด 43 (*T* = 43) สัปดาห์

3. ข้อมูลสถานประกอบการกรณีศึกษา

ปัญหากรณีศึกษาเป็นการจัดการพัสดุประเภทชิ้นส่วนจำนวน 15 รายการที่ต้องจัดเตรียมโดยใช้เครื่องจักร 11 เครื่อง ซึ่งมีอัตราการผลิตสูงกว่าอัตราการใช้ชิ้นส่วนมาก จึงกำหนดเงื่อนไขระยะเวลานำการผลิตได้เท่ากับ 1 สัปดาห์ทุกครั้งที่มีการสั่งผลิต ชิ้นส่วนที่ผลิตได้และเหลือจากเบิกใช้แต่ละสัปดาห์จะถูกนำไปจัดเก็บในคลังพัสดุตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ให้สำหรับชิ้นส่วนแต่ละรายการ

ชิ้นส่วนทั้ง 15 รายการนี้ใช้เพื่อประกอบเป็นอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ นโยบายเดิมที่ใช้เพื่อจัดการพัสดุของสถานประกอบการกรณีศึกษาคือจะสั่งทุกเช้าวันจันทร์ของแต่ละสัปดาห์ กำหนดให้มีชิ้นส่วนสำรองไว้รายการละ 4 ชิ้นเสมอ หากพบว่าสินค้าคงคลังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน จะทำการสั่งผลิตชิ้นส่วนแบบเร่งด่วนซึ่งมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการสั่งผลิตแบบปกติ

ปริมาณสั่งผลิต เบิกใช้จริง ชิ้นส่วนเหลือ (คงคลัง ณ ปลายสัปดาห์) และ การสั่งผลิตเร่งด่วนของชิ้นส่วนรายการที่ 1 ย้อนหลัง 43 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่านโยบายเดิมมีการสั่งผลิต 42 ครั้ง เป็นการสั่งผลิตปกติ 38 ครั้ง และ จากการเบิกใช้จริง 39 ครั้ง รวม 669 ชิ้น มีชิ้นส่วนขาดและต้องผลิตเร่งด่วน 4 ครั้ง นับเป็นจำนวนชิ้นที่ไม่เพียงพอรวม 14 ชิ้น (เนื่องจากข้อจำกัดด้านพื้นที่การนำเสนอทำให้ไม่สามารถแสดงข้อมูลสำหรับชิ้นส่วนรายการที่ 2-15 ได้) หากรวมชิ้นส่วนทั้งหมด 15 รายการ จะพบว่ามีการสั่งผลิตทั้งสิ้น 577 ครั้ง ซึ่งเป็นการผลิตเร่งด่วนรวมอยู่ด้วย 37 ครั้ง

ตารางที่ 1 ความต้องการและพัสดุคงคลัง (ชิ้น) ชิ้นส่วนรายการที่ 1

สัปดาห์	สั่งผลิต	เบิก	เหลือ	สั่งผลิตเร่งด่วน	สัปดาห์	สั่งผลิต	เบิก	เหลือ	สั่งผลิตเร่งด่วน
1	30	30	4	0	23	0	0	4	0
2	30	30	4	0	24	0	0	4	0
3	26	36	-6	10	25	0	0	4	0
4	30	30	4	0	26	2	2	4	0
5	30	30	4	0	27	5	5	4	0
6	30	30	4	0	28	6	6	4	0
7	36	36	4	0	29	5	5	4	0
8	24	24	4	0	30	4	4	4	0
9	30	30	4	0	31	0	5	-1	5
10	30	30	4	0	32	5	5	4	0
11	36	36	4	0	33	5	5	4	0
12	30	30	4	0	34	5	5	4	0
13	36	36	4	0	35	5	5	4	0
14	36	36	4	0	36	5	5	4	0
15	0	0	4	0	37	5	5	4	0
16	36	36	4	0	38	5	5	4	0
17	30	30	4	0	39	5	5	4	0
18	12	12	4	0	40	0	6	-2	6
19	15	15	4	0	41	4	4	4	0
20	9	18	-5	9	42	5	5	4	0
21	12	12	4	0	43	5	5	4	0
22	3	3	4	0					

3.1 ข้อมูลและต้นทุน บ่งชี้ปัญหา

ข้อมูลและต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนทั้ง 15 รายการ มีดังแสดงในตารางที่ 2 ประกอบด้วยความต้องการชิ้นส่วน (D_j) ซึ่งได้มาจากการเทียบความต้องการจริงจาก 43 สัปดาห์ เป็นความต้องการต่อปี (50 สัปดาห์) ความต้องการเฉลี่ยต่อสัปดาห์ ($\bar{d}_j$) ราคาต่อหน่วย (C_j) ต้นทุนในการถือครองชิ้นส่วนแต่ละรายการ (H_j) อัตราการผลิต (M_j) ต้นทุนการสั่งผลิตปกติ (P_j) ต้นทุนการผลิตเร่งด่วน (S_j) จำนวนครั้งที่มีการสั่งผลิตปกติ (k_j) และจำนวนครั้งที่สั่งผลิตเร่งด่วน (n_j) เรียงจากคอลัมน์ที่ 2-10 ตามลำดับ

ต้นทุนในการถือครองชิ้นส่วนแต่ละรายการแบบแยกพื้นที่ คำนวณจากอัตราผลตอบแทนการลงทุน i ร้อยละ 7.58 ของราคาต่อหน่วย ซึ่งแทนเงินจม และต้นทุนในการเก็บรักษาในคลังพัสดุ (W_j) เท่ากับ 5.31 บาท/ชิ้น/สัปดาห์เท่ากันทุกรายการ ต้นทุนการสั่งผลิตปกติและการสั่งผลิตเร่งด่วน ประเมินจากต้นทุนการปฏิบัติงานจริงที่เพิ่มขึ้นเพื่อเตรียมชิ้นส่วน ซึ่งประกอบด้วยค่าแรง ค่าเครื่องจักร วัสดุสิ้นเปลือง

3.2 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของนโยบายเดิม

สำหรับนโยบายเดิม จากข้อมูลความต้องการเบิกชิ้นส่วนของรายการที่ 1 และคำสั่งผลิตของสถานประกอบการทั้งแบบปกติและแบบเร่งด่วน ส่งผลให้มีต้นทุนการสั่งผลิตของชิ้นส่วนรายการที่ 1 เท่ากับ 87,586 บาท ต้นทุนการถือครองพัสดุคงคลัง 9,685 บาท รวมเป็นต้นทุนการจัดการ 96,271 บาท และระดับบริการ 0.98 สำหรับชิ้นส่วนรายการที่ 2-15 วิเคราะห์ในลักษณะเดียวกันมีผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ปัญหาที่พบจากการวิเคราะห์นโยบายเดิมที่ดำเนินการเพื่อตอบสนองความต้องการจริงช่วง 43 สัปดาห์ดังตารางที่ 1 พบว่า มีต้นทุนการจัดการรวมสูงถึง 1,846,408 บาท ทุกชิ้นส่วนมีระดับบริการ (SL_j) ต่ำกว่า 1.00 เนื่องจากนโยบายเดิมนี้มีการสั่งผลิตบ่อยครั้ง

ตารางที่ 2 ข้อมูลและต้นทุนของการจัดการพัสดุคงคลังแบบเดิม

j	D_j	$\bar{d}_j$	C_j	H_j	M_j	P_j	S_j	k_j	n_j
1	789	15.78	760.13	588.82	592	2,015.86	2,745.86	38	4
2	789	15.78	760.07	588.81	590	2,027.58	2,757.58	38	4
3	789	15.78	760.22	588.82	590	2,016.05	2,746.05	39	1
4	1,121	22.42	467.59	566.64	870	1,698.23	2,428.23	39	3
5	1,121	22.42	461.22	566.16	870	1,680.86	2,410.86	39	3
6	1,119	22.38	760.35	588.83	590	2,016.32	2,746.32	26	2
7	1,119	22.38	760.25	588.83	590	2,027.96	2,757.96	26	3
8	2,189	43.78	467.16	566.61	870	1,697.06	2,427.06	26	2
9	2,189	43.78	467.16	566.61	870	1,697.06	2,427.06	26	2
10	2,556	51.12	1062.05	611.70	590	2,739.58	3,469.58	42	2
11	2,556	51.12	1062.05	611.70	590	2,756.51	3,486.51	42	2
12	2,556	51.12	1062.05	611.70	870	2,779.48	3,509.48	42	2
13	4,467	89.34	1062	611.70	870	3,850.99	4,580.99	42	1
14	10,224	204.48	875.55	597.57	580	5,930.42	6,660.42	42	4
15	1,911	38.22	874.84	597.51	580	2,308.03	3,038.03	33	2

ด้วยล็อตขนาดเล็ก ถึงแม้จะทำให้จำนวนชิ้นส่วนคงคลังต่ำแต่ก็ทำให้ต้นทุนการสั่งผลิตค่อนข้างสูง จึงควรพิจารณากำหนดแนวทางการจัดการที่จะช่วยลดต้นทุนลงโดยไม่มีเหตุการณ์ชิ้นส่วนไม่พอใช้งานต่อไป

4. การประยุกต์ตัวแบบ *Q, r*

จากปัญหาที่บ่งชี้ได้จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ด้านต้นทุนและระดับบริการของนโยบายเดิม ประกอบกับความต้องการจริงที่ไม่คงที่แต่ผันแปรไม่มากนักสำหรับสัปดาห์ที่อยู่ในช่วงเดียวกัน เช่นความต้องการของชิ้นส่วนที่ 1 (ตารางที่ 1) ช่วงสัปดาห์ที่ 1-17 มีค่าระหว่าง 24-36 ชิ้นต่อสัปดาห์ ต่อมาในช่วงสัปดาห์ที่ 18-21 มีค่าระหว่าง 12-18 ชิ้นต่อสัปดาห์ และสัปดาห์ที่เหลือ มีค่าไม่เกิน 6 ชิ้นต่อสัปดาห์ จึงเป็นไปได้ที่การควบคุมพัสดุคงคลังตามแนวทางของตัวแบบ *Q, r* จะใช้ได้ผลดีเช่นเดียวกับ [4] และ [6, 7] งานวิจัยนี้จึงเลือกประยุกต์ตัวแบบ *Q, r* เพื่อการจัดการชิ้นส่วนคงคลังทั้ง 15 รายการ ภายใต้เงื่อนไขที่ทราบความต้องการแต่ไม่คงที่ (Known but nonstationary demands) และประเมินผลลัพธ์ด้านต้นทุนและระดับบริการ โดยใช้ความต้องการจริง 43 สัปดาห์ ที่ใช้เพื่อการประเมินผลลัพธ์ของนโยบายเดิม

การควบคุมด้วยตัวแบบ *Q, r* สำหรับชิ้นส่วนรายการที่ j ใด ๆ จะสั่งผลิตครั้งละ Q_j^* ชิ้น และจะสั่งผลิตเพิ่มเมื่อชิ้นส่วนคงคลังมีปริมาณ ณ ปลายสัปดาห์น้อยกว่าหรือเท่ากับระดับ r_j ภายใต้นบายการจัดเก็บชิ้นส่วนคงเหลือในคลังพัสดุแบบแยกพื้นที่ และกำลังการผลิตของเครื่องที่ใช้มีเพียงพอ อัตราการผลิตสูงกว่าอัตราการใช้มาก จึงกำหนดระยะเวลานำการผลิตเท่ากับ 1 สัปดาห์ ถ้าพบว่ามีชิ้นส่วนไม่พอใช้ในสัปดาห์จะต้องปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อทำการผลิตเร่งด่วนเช่นเดียวกับนโยบายเดิม

สำหรับชิ้นส่วนรายการ j ใด ๆ คำนวณปริมาณ Q_j^*, r_j, SL_j ได้โดยใช้สมการที่ (1), (2) และ (3) ตามลำดับ ต้นทุนรวมของการจัดการเป็นผลรวมของต้นทุนการจัดการทุกชิ้นส่วน j คำนวณได้โดยใช้สมการที่ (4) และ (5) เพื่อเป็นตัวอย่างจะใช้ข้อมูลของชิ้นส่วน 1 (j =1) ดังนี้

ตารางที่ 3 ต้นทุนรวมการจัดการพัสดุคงคลังด้วยนโยบายเดิมและตัวแบบ *Q, r*

j	นโยบายเดิม							นโยบาย *Q, r* (EMQ)								
	ต้นทุน (บาท)			SL_j	k_j	n_j	$\bar{B}_{jt}$	Q_j^*	r_j	ต้นทุน (บาท)			SL_j	k_j	n_j	$\bar{B}_{jt}$
	การปรับตั้งเครื่องจักร	การถือครองพัสดุ	รวม							การปรับตั้งเครื่องจักร	การถือครองพัสดุ	รวม				
1	87,586	9,685	97,271	0.976	38	4	476	75	36	20,159	27,392	47,551	1.00	10	-	2,562
2	88,078	9,698	97,777	0.985	38	4	488	75	36	20,276	27,392	47,668	1.00	10	-	2,562
3	81,372	9,709	91,081	0.994	39	1	497	75	36	20,161	27,393	47,553	1.00	10	-	2,562
4	73,516	12,320	85,836	0.981	39	3	624	85	48	22,077	32,388	54,465	1.00	13	-	3,156
5	72,786	12,317	85,103	0.989	39	3	628	85	48	21,851	32,358	54,209	1.00	13	-	3,156
6	57,917	12,604	70,521	0.991	26	2	630	90	48	24,196	34,000	58,196	1.00	12	-	3,339
7	61,001	61,001	122,002	0.992	26	3	629	90	48	24,336	33,999	58,335	1.00	12	-	3,339
8	48,978	23,604	72,582	0.996	26	2	1,077	120	96	28,850	51,052	79,902	1.00	17	-	5,000
9	48,978	23,602	72,580	0.993	26	2	1,074	120	96	28,850	51,052	79,902	1.00	17	-	5,000
10	122,002	16,600	138,601	0.998	42	2	1,231	160	60	41,094	56,605	97,698	1.00	15	-	4,797
11	122,746	16,601	139,347	0.998	42	2	1,231	160	60	41,348	56,605	97,952	1.00	15	-	4,797
12	123,757	16,601	140,359	0.999	42	2	1,232	160	60	41,692	56,605	98,297	1.00	15	-	4,797
13	166,323	31,585	197,908	0.997	42	1	2,026	250	120	65,467	95,723	161,190	1.00	17	-	8,097
14	275,719	61,587	337,306	0.997	42	4	4,410	560	240	100,817	197,489	298,306	1.00	17	-	17,312
15	82,241	15,894	98,136	0.997	33	2	962	125	60	34,620	47,191	81,812	1.00	15	-	4,237
		รวม	**1,846,408**	-	540	37	17,215				**รวม**	**1,363,033**	-	208	-	74,713

Q_1^* จากสมการที่ (1) จะได้

$$Q_1^* = \sqrt{\frac{2 \times 789 \times 2{,}015.86}{(588.82)\left(1 - \frac{15.78}{592}\right)}}$$
$$= 74.5 \text{ หรือ } 75 \text{ ชิ้นต่อครั้ง}$$

r_1 จากสมการที่ (2) และ $d_{1,t}$ ตลอด 43 สัปดาห์ (ตารางที่ 1) จะได้

$$r_1 = Max\,[30, 30, 36, \ldots\ldots, 4, 5, 5]$$
$$= 36 \text{ ชิ้น}$$

การกำหนดจุดสั่งผลิตเพิ่มเมื่อระยะเวลานำการผลิตเท่ากับ 1 สัปดาห์จะทำให้โอกาสที่ชิ้นส่วนจะไม่เพียงพอมีน้อยมาก สำหรับกรณีศึกษาปริมาณที่กำหนดนี้จะเพียงพอเสมอจึงส่งผลให้ SL_1 เท่ากับ 1.00 ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้จากสมการที่ (3)

$$SL_1 = \frac{657}{657} = 1.00$$

ต้นทุนรวมของการจัดการพัสดุคงคลังของชิ้นส่วนรายการที่ 1 จากตัวแบบ *Q, r* ถ้าประเมินตามทฤษฎีด้วยสมการที่ *(4)* จะได้

$$TC_1 = \left\{\frac{789 * 2015.86}{75} + \frac{588.82 * 75\left(1 - \frac{15.78}{592}\right)}{2 * 789} + 0\right\}$$
$$= 21206.8 + 21515.6 + 0$$

เมื่อประเมินรวมทั้ง 15 รายการ *TC* จะมีค่าเท่ากับ
$$= 565077.8 + 585753.6 + 0$$
$$= 1{,}150{,}831.36 \text{ บาทต่อ } 43 \text{ สัปดาห์}$$

ทั้งกรณีชิ้นส่วนรายการที่ 1 รายการเดียว และรวม 15 รายการ ต้นทุนพจน์แรกแทนต้นทุนการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อผลิต และ พจน์ที่ *2* แทนต้นทุนการถือครองพัสดุ พจน์ที่ 3 เป็นต้นทุนชิ้นส่วนขาดมือและต้องผลิตเร่งด่วนซึ่งมีค่าเป็น 0 เนื่องจากการประเมินตามสมการที่ (4) นี้ทำภายใต้สมมติฐานที่ความต้องการคงที่ ซึ่งไม่เป็นจริงในกรณีศึกษานี้ ดังนั้นต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงหากมีการประยุกต์ตัวแบบ *Q, r* จึงต้องประเมินจากสมการที่ (5) ดังนี้

$$TC_1 = (10 * 2015.86) + 0 + (43 * 5.312 * 107)$$
$$+(1.1524 * 2561.5)$$
$$= 47{,}550.87 \text{ บาทต่อ } 43 \text{ สัปดาห์}$$

เมื่อประเมินรวมทั้ง 15 รายการ *TC* จะมีค่าเท่ากับ

$$TC = 47550.87 + 47667.84 + \cdots + 298305.77$$
$$+ 81811.51$$
$$= 1{,}363{,}033 \text{ บาทต่อ } 43 \text{ สัปดาห์}$$

ผลลัพธ์ของการประเมินต้นทุนรวมของการจัดการพัสดุ และระดับบริการของนโยบายเดิมและตัวแบบ *Q, r* ของชิ้นส่วนทั้ง 15 รายการมีดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งบ่งชี้ว่าถ้ามีการประยุกต์ตัวแบบ *Q, r* ในการควบคุมพัสดุคงคลังในช่วง 43 สัปดาห์นี้ จะส่งผลให้มีต้นทุนรวมเท่ากับ1,363,033 บาท ด้วยระดับบริการ 1.00 ทุกรายการ

5. สรุปและอภิปรายผล

การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์ของการจัดการพัสดุคงคลังประเภทชิ้นส่วนสำหรับประกอบเป็นอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์จำนวน 15 รายการ ของปัญหากรณีศึกษา ระหว่างการใช้นโยบายเดิม ซึ่งเป็นการสั่งผลิตรายสัปดาห์ กับตัวแบบ *Q, r* ซึ่งจะสั่ง

ผลิตปริมาณคงที่ครั้งละ Q_j^* ชิ้น และจะสั่งผลิตเพิ่มเมื่อชิ้นส่วนคงคลังมีปริมาณ น้อยกว่าหรือเท่ากับระดับ r_j ภายใต้นบายการจัดเก็บชิ้นส่วนคงเหลือในคลังพัสดุแบบแยกพื้นที่ และทรัพยากรที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ที่ใช้มีเพียงพอ ทั้งนโยบายเดิมและตัวแบบ *Q, r* จะต้องสั่งผลิตเร่งด่วนเมื่อมีชิ้นส่วนรายการใด ๆ ไม่เพียงพอ การวิเคราะห์เปรียบเทียบทำโดยอ้างอิงข้อมูลความต้องการจริงย้อนหลัง 43 สัปดาห์ชุดเดียวกัน จึงเป็นการศึกษาภายใต้เงื่อนไขทราบความต้องการแต่ไม่คงที่ ด้วยดัชนีต้นทุนและระดับบริการ ที่ประเมินต่อ 43 สัปดาห์

ผลลัพธ์จากการใช้ตัวแบบ *Q, r* มีต้นทุนรวมลดลงจากของนโยบายเดิมเหลือเท่ากับ 1,363,033 บาท หรือลดลงร้อยละ 26.18 ของต้นทุนรวมของนโยบายเดิม ซึ่งเป็นผลมาจากความถี่ในการสั่งลงลงเหลือเพียง 208 ครั้งโดยไม่ต้องสั่งผลิตเร่งด่วนเลย จึงส่งผลให้ระดับบริการเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 ข้อเสียเปรียบของการใช้ตัวแบบ *Q, r* คือมีสินค้าคงคลังเฉลี่ย ณ ปลายสัปดาห์รวมสูงถึง 74,713 ชิ้น ซึ่งอาจบ่งชี้ว่าต้องใช้พื้นที่และภาระการจัดเก็บเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาของงานวิจัยนี้บ่งใช้ให้เห็นว่าการประเมินการสั่งผลิตที่ประหยัดสามารถใช้กับตัวแบบ *Q, r* ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับการสั่งผลิตรายสัปดาห์ของนโยบายเดิม โดยบ่งชี้ได้จากต้นทุนการจัดการรวมที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญและระดับบริการที่ประเมินได้ 1.00 สำหรับชิ้นส่วนทุกรายการ สอดคล้องกับผลศึกษาในปัญหากรณีศึกษาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันใน [4], [6, 7] เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลลัพธ์อาจเปลี่ยนไปถ้าความต้องการชิ้นส่วนและระยะเวลานำมีความผันแปรสูง หรือพฤติกรรมความต้องการของชิ้นส่วน ระยะเวลานำ ตลอดจนพารามิเตอร์ด้านต้นทุนต่าง ๆ ที่แตกต่างไป จึงเป็นสิ่งที่ผู้ที่จะเลือกตัวแบบ *Q, r* ไปใช้ต้องพิจารณาด้วยความรอบคอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] บรรหาญ ลิลา. การวางแผนการควบคุมการผลิต, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ท้อป, 2553.

[2] L.J. Krajewski and L.P. Ritzman. Operations Management Process and Value Chains, 7th ed., Pearson Prentice Hall, 2005.

[3] R.S. Russel and B.W. Taylor. Operations Management, 3rd ed., Prentice-Hall, 2000.

[4] วรัญญา ลิ้มบ้วน และบรรหาญ ลิลา, การศึกษานโยบายการควบคุมวัสดุคงคลังประเภทชิ้นส่วนอะไหล่ (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2018, 23 – 26 July 2023, Ubonrachathani, Thailand

[5] J. Heizer and B. Render. Principles of Operations Management, 5th ed., Pearson Prentice Hall, 2004.

[6] อมเรศ สมุทรานุกูล, บรรหาญ ลิลา, จิตติมา พันธุ์วิจิตรศิริ, อดิศักดิ์ นาวเหนียว และบัญชา อริยะจรรยา, การศึกษานโยบายการจัดการสินค้าคงคลังประเภทยางรถยนต์ กรณีศึกษาร้านบริการขายและเปลี่ยนยางรถยนต์ (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2023, 11 – 12 May 2023, Chonburi, Thailand.

[7] Banhan Lila*, Adisak Nowneow and Sanya Yimsiri, Excel Based Monte Carlo Simulation for the (Q, r) Inventory Control Model, วิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 39 ฉบับที่ 2 มิถุนายน 2565.

การประยุกต์ใช้โมเดลของคาโนเพื่อศึกษาปัจจัยการออกแบบผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนม

Application of the Kano's model to study the factors design of breast milk storage bag

โสภิดา ท้วมมี[1] ปิยะ รนต์ละออง[2]* ศุภพัชร พวงแก้ว[3]

[1]ภาควิชาการจัดการเทคโนโลยีการผลิตและสารสนเทศ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการโซ่อุปทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
E-mail: piya.ro@bsru.ac.th *

Sopida Tummee[1], Piya Rontlaong[2]*, Supapat Phuangkaew[3]

[1]Department of Information and Production Tecnology Management, College of Industrial Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
[2*]Department of Industrial Engineering and Supply Chain Management, Faculty of Engineering and Technology
Bansomdejchaopraya Rajaphat University
[3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: piya.ro@bsru.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของคุณแม่ต่อการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนม แบบจำลองของคาโน ถูกนำไปใช้ในการศึกษาปัจจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนม จำนวนคุณแม่ทั้งหมด 50 คนเข้าร่วมการศึกษานี้ แบบจำลองนี้ถูกนำไปใช้ในการออกแบบแบบสอบถามเพื่อสำรวจความพึงพอใจของคุณแม่ที่มีต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของถุงเก็บน้ำนม คุณลักษณะที่ส่งผลให้มีความพึงพอใจสูงจะถูกนำเข้าไปในการออกแบบถุงเก็บน้ำนม การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองของคาโน แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของคุณแม่ต่อการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนมมีดังนี้ ความหนา รูปแบบบรรจุภัณฑ์ ปากถุง ซิปอกปิดปากถุง แถบเขียนข้อมูล ขีดบอกปริมาณจำนวนน้ำนมที่ถุง ราคา วัสดุที่นำมาผลิตย่อยสลายได้ และความจุต่อถุง การศึกษาครั้งนี้ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความต้องการของคุณแม่ ซึ่งจะช่วยแนะนำการออกแบบถุงเก็บน้ำนมที่ส่งผลให้ลูกค้ามีความพึงพอใจเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: โมเดลของคาโน ถุงเก็บน้ำนม ความพึงพอใจของลูกค้า

Abstract

This study aimed to identify the factors that influence mothers' decisions on the choice of milk bag products. Kano's model was used to study factors to develop milk collection bag products. A total of 50 mothers participated in the study. This model was used in the design of a questionnaire to explore the satisfaction of mothers with the various features of milk collection bags. Features that result in high satisfaction are incorporated into the design of the milk bag. Analysis using Kano's model shows that the factors influencing a mother's decision to choose a milk bag product are as follows: thickness, packaging design, bag mouth, zipper closure bag, information strip, indicating the amount of milk, price, materials are biodegradable, and capacity per bag. This study provides insight into the needs of mothers, which will help guide the design of milk bags that result in increased customer satisfaction.

Keywords: Kano Model, Breast Milk Storage Bag, Customer Satisfaction

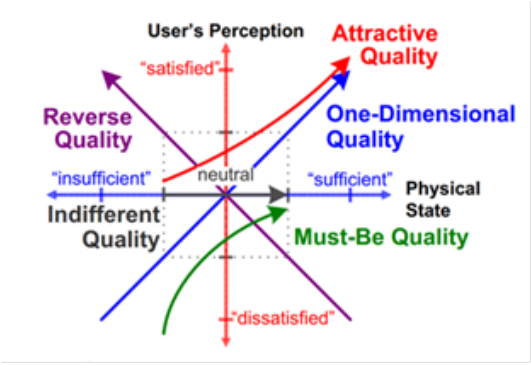
1. บทนำ

ปัจจุบันการสนับสนุนการเลี้ยงลูกด้วยนมแม่ได้รับความร่วมมือจากหลายภาคส่วน เช่น ภาครัฐและเอกชน เพื่อนำร่องสนับสนุนการเลี้ยงลูกด้วยนมแม่ โดยการจัดมุมนมแม่ในสถานประกอบการ ซึ่งเมื่อคุณแม่ที่กำลังให้นมบุตรต้องไปทำงานจึงต้องมีการเก็บน้ำนมสต็อกไว้โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการเก็บน้ำนมประกอบด้วย เครื่องปั๊มนมรูปแบบต่างๆ ถุงเก็บน้ำนม ขวดเก็บน้ำนม กระติกน้ำแข็ง ตู้เย็น เป็นต้น อุปกรณ์หลายอย่างมีการลงทุนซื้อครั้งเดียวแต่สามารถใช้ได้จนเลิกให้นม แต่จะมีอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่คุณแม่ต้องทำการเลือกซื้อตลอดช่วงระยะเวลาให้นมบุตรนั้นก็คือ ถุงเก็บน้ำนม ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญและถูกใช้เป็นจำนวนมาก จากการสำรวจผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนมที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาด พบว่ามีการจัดจำหน่ายถุงเก็บน้ำนมหลากหลายแบรนด์ ซึ่งแต่ละแบรนด์ล้วนมีคุณสมบัติ รูปร่าง ขนาดที่แตกต่างกันออกไป ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการของคุณแม่ผู้ให้นมบุตรต่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ถุงน้ำนมให้สามารถตอบสนองความต้องการที่แท้จริงของผู้บริโภคหรือลูกค้า หรือเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้นโดยประยุต์ใช้โมเดลของคาโน เนื่องจากแบบจำลองคาโนเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า โดยจำแนกประเภทของคุณสมบัติของสินค้า/บริการออกเป็นหมวดหมู่ต่างๆ ตามผลกระทบที่มีต่อความพึงพอใจของลูกค้า จุดประสงค์คือเพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าสิ่งใดควรให้ความสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าโมเดลของคาโนได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในศึกษาปัจจัยเพื่อใช้ออกแบบทั้งผลิตภัณฑ์ และการบริการ ได้แก่ การศึกษาปัจจัยในการออกแบบผลิตภัณฑ์กระเป๋าเก็บถุงน้ำนม [2] การออกแบบผลิตภัณฑ์ช่วยการนอนหลับของผู้สูงอายุ [3] การออกแบบเก้าอี้สำนักงานเพื่อสุขภาพ [4] การวิเคราะห์คุณภาพบริการสายการบินต้นทุนต่ำ [5] การวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการของรถแท็กซี่ [6] การวิเคราะห์ความต้องการและความพึงพอใจของผู้โดยสารต่อการให้บริการรถไฟความเร็วสูงของประเทศไทย [7] จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยได้นำเทคนิคโมเดลของคาโนมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ถุงน้ำนม ดังนั้นผู้วิจัยได้นำโมเดลของคาโนมาประยุกต์ใช้ เพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการของคุณแม่ผู้ให้นมบุตรต่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ถุงน้ำนม และนำปัจจัยดังกล่าวที่ผ่านการวิเคราะห์มาพัฒนาออกแบบผลิตถุงเก็บน้ำนมได้ตรงความต้องการของผู้บริโภคและเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการธุรกิจเกี่ยวกับของใช้แม่และเด็กในการพัฒนาออกแบบผลิตถุงเก็บน้ำนมได้ตรงความต้องการของผู้บริโภคอย่างทั่วถึงในอนาคต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองของคาโน (Kano Model)

แบบจำลองคาโนเครื่องมือในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับคุณลักษณะของสินค้าหรือบริการที่ลูกค้ารับรู้ต่อระดับ ความพึงพอใจของลูกค้า โดยการนำเสนอรูปแบบความต้องการของลูกค้า ซึ่งรูปแบบแรกเป็นรูปแบบพื้นฐานคือ จำเป็นต้องมี (Must-Be) รูปแบบที่สองเป็นรูปแบบทิศทางเดียวกันหรือหนึ่งมิติ (One-Dimensional) และรูปแบบที่สามเป็นรูปแบบน่าสนใจหรือดึงดูดใจ (Attractive) ต่อมาได้มีการนำเสนอเพิ่มรูปแบบเพิ่มอีกสอง รูปแบบคือรูปแบบไม่มีความแตกต่าง (Indifference) และรูปแบบทิศทางตรงกันข้าม (Reverse) ซึ่งทั้ง 5 รูปแบบมีรายละเอียด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวแบบโมเดลของคาโน [1]

1. คุณลักษณะพื้นฐาน (Must-be Attributes) เป็นคุณลักษณะที่ผลิตภัณฑ์และบริการ “ต้องมี” ซึ่งหากคุณลักษณะ นี้ไม่ตอบสนองต่อลูกค้า ลูกค้าจะเกิดความไม่พึงพอใจทันที และแม้ว่าลูกค้าจะได้รับในคุณลักษณะนี้แล้วก็ตาม ลูกค้าก็ไม่ได้มี ความพึงพอใจเพิ่มขึ้น

2. คุณลักษณะมิติเดียว (One-dimensional Attributes) เป็นคุณลักษณะที่มีผลต่อความพึงพอใจเป็นสัดส่วนกัน กล่าวคือ หากผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการส่งมอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ดีมากยิ่งขึ้นเท่าไร ความพึงพอใจของลูกค้า จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น โดยความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงแบบแปรผันตรง

3. คุณลักษณะแบบดึงดูด (Attractive Attributes) เป็นคุณลักษณะที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากความคาดหวังของลูกค้า แต่อยู่นอกเหนือสิ่งที่คาดการณ์ไว้ หากไม่มีคุณลักษณะนี้ ก็ไม่ได้ส่งผลต่อความไม่พึงพอใจของลูกค้า แต่หากสามารถตอบสนอง ได้ จะส่งผลให้ลูกค้าเกิดความประทับใจและดึงดูดใจ คุณลักษณะนี้สามารถสร้างประสบการณ์ที่ดีแก่ลูกค้าเกิดความภักดีต่อ ตราผลิตภัณฑ์และบริการ หากต้องการเป็นผู้นำเหนือคู่แข่งในตลาด จำเป็นต้องสร้างคุณลักษณะนี้

4. คุณลักษณะแบบเฉย ๆ (Indifferent Attributes) เป็นคุณลักษณะที่ลูกค้ารู้สึกเฉย ๆ แม้ว่าจะส่งมอบคุณภาพ ประเภทนี้ให้แก่ลูกค้าก็ตาม คุณลักษณะประเภทนี้ก็ไม่ส่งผลให้ลูกค้ารู้สึกพึงพอใจหรือไม่พึงพอใจแต่อย่างใด

5. คุณลักษณะแบบตรงข้าม (Reverse Attributes) เป็นคุณลักษณะที่ลูกค้าเมื่อได้รับ ทำให้ลูกค้ารู้สึกไม่พอใจ ในทางกลับกัน หากลูกค้าไม่ได้รับคุณลักษณะประเภทนี้ ลูกค้าจะรู้สึกพอใจ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาความต้องการของลูกค้า

ดำเนินการนำข้อมูลความต้องการของคุณแม่ผู้ให้นมบุตรต่อผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนม จากผู้ตอบแบบสอบถามออนไลน์ (Google Form) มาแปลผลข้อมูลด้วยการใช้ตารางประเมินความต้องการคาโน (Kano Evaluation Table) เพื่อกำหนดคุณลักษณะตามข้อมูลความต้องการของผู้ตอบแบบสอบถามแต่ละคนเพื่อมาหาคุณลักษณะของระดับความพึงพอใจ A O M I R และ Q ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางประเมินความต้องการของคาโน (Kano Evaluation Table)

Service Requirement		Dysfunctional form of question				
		I like it that way	It must be that way	I am neutral	I can live with it that way	I dislike it that way
Functional form of question	I like it that way	Q	A	A	A	O
	It must be that way	R	I	I	I	M
	I am neutral	R	I	I	I	M
	I can live with it that way	R	I	I	I	M
	I dislike it that way	R	R	R	R	Q

หมายเหตุ:

M (Must-be): คือคุณลักษณะที่ลูกค้าคาดหวังว่าต้องมี ถ้าไม่มีจะไม่พอใจมาก แต่ถ้ามีไม่ได้รู้สึกพิเศษ

O (One-dimensional): คือคุณลักษณะยิ่งทำได้ดี ลูกค้ายิ่งพอใจ ถ้าทำไม่ดีจะไม่พอใจ

A (Attractive): คือคุณลักษณะถ้ามี ลูกค้าจะพอใจมาก ถ้าไม่มีลูกค้าก็ไม่รู้สึกอะไร

I (Indifferent): คือคุณลักษณะลูกค้าเฉย ๆ ไม่ว่ามีหรือไม่มี

R (Reverse): คือคุณลักษณะลูกค้าไม่ต้องการสิ่งนี้ ถ้ามีจะไม่พอใจ

Q (Questionable): คำตอบขัดแย้งกัน หรือผิดพลาด

3.2 ประเมินสัดส่วนความพึงพอใจและความไม่พึงพอใจ (Customer satisfaction coefficient)

นำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมานับจำนวนความถี่ที่เกิดให้อยู่ในรูปร้อยละความถี่ นำค่าร้อยละของแต่ละระดับความพึงพอใจ A O M I R และ Q มาคำนวณหาสัดส่วนความพึงพอใจและความไม่พึงพอใจ (Customer satisfaction coefficient) ในแต่ละคุณลักษณะดังสมการที่ 1 และ 2

$$Satisfaction = \frac{A+O}{A+O+M+I} \quad (1)$$

$$Dissatisfaction = \frac{M+O}{A+O+M+I} \quad (2)$$

3.3 ประเมินค่าดัชนีความพึงพอใจ (Customer satisfaction Index)

คำนวณค่าดัชนีความพึงพอใจ (Customer satisfaction Index) ด้วยการเปรียบเทียบหาสัดส่วนความแตกต่างกันของค่าสมบูรณ์ของค่าความไม่พึงพอใจ (|Dissatisfaction|) กับค่าความพึงพอใจ (Satisfaction) ดังสมการที่ 3

$$Customer\ satisfaction\ index = \frac{|Dissatisfaction|}{Satisfaction} \quad (3)$$

3.4 จัดกลุ่มของปัจจัยตามคุณลักษณะโมเดลของคาโน

นำค่า Dissatisfaction และ Satisfaction ของแต่ละคุณลักษณะที่ได้จากการคำนวณมาสร้างกราฟโดยให้แกน Y เป็น Satisfaction และแกน X เป็น Dissatisfaction จะเป็นการพิจารณาการกระจายของคุณลักษณะต่าง ๆ ด้วยกราฟ และดำเนินการแบ่งช่วงความพึงพอใจของคุณลักษณะต่าง ๆในกราฟวิธี Analytical Kano (A-Kano) Classification เพื่อทำการจำแนกคุณลักษณะเพื่อจัดคุณสมบัติว่าอยู่ในกลุ่มประเภทใด

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมถึงการค้นพบจากการพัฒนาแบบสอบถามที่ออกแบบมาเพื่อประเมินความต้องการของคุณแม่ผู้ให้นมบุตรต่อผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนม โดยก่อนที่ผู้วิจัยจะนำแบบสอบถามไปใช้งาน ได้ทำการตรวจสอบ ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของแบบสอบถามด้วยค่า Cronbach 's Alpha ได้เท่ากับ 0.8806 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.80 สรุปผลได้ว่า แบบสอบถามมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) ส่งผลให้แบบสอบถามมีความเหมาะสมในการเก็บข้อมูล [9-11] โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 50 คน โดยเป็นผู้ที่เคยใช้ผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนมในที่ทำงานเดียวกับผู้วิจัย ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างอายุระหว่าง 25 ถึง 40 ปี จากนั้นข้อมูลที่รวบรวมได้จะถูกวิเคราะห์เพื่อกำหนดดัชนีความพึงพอใจ โดยปัจจัยเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนมได้มาจากการสำรวจคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนมที่วางจำหน่ายในตลาดปัจจุบัน รวมถึงคุณลักษณะที่ได้มาจากแบบสอบถามที่ผู้ตอบมีความต้องการคุณลักษณะนอกเหนือเพิ่มเติม แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์

No.	Attribute
A1	ความหนา (M)
A2	มีแถบบ่งชี้คุณภาพน้ำนม (I)
A3	รูปแบบบรรจุภัณฑ์ (O)
A4	ปากถุง (M)
A5	ซิปอกปิดปากถุง (M)
A6	ลวดลายบรรจุภัณฑ์ (I)

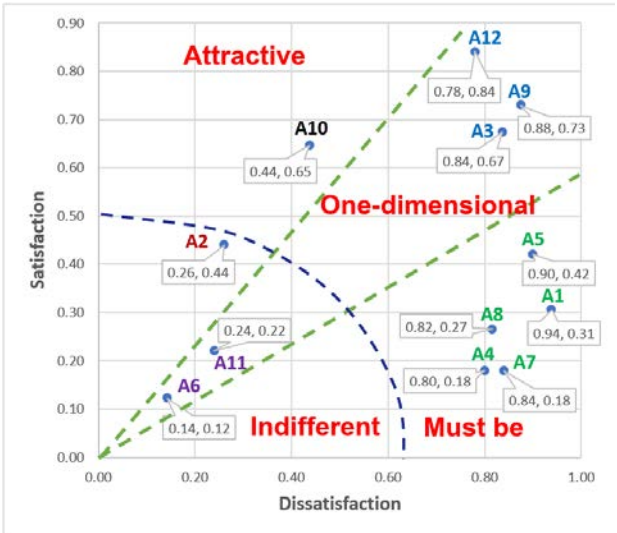
No.	Attribute
A7	แถบเขียนข้อมูล (M)
A8	ขีดบอกปริมาณจำนวนน้ำนมที่ถุง (M)
A9	ราคา (O)
A10	วัสดุที่นำมาผลิตย่อยสลายได้ (A)
A11	สามารถใช้ซ้ำได้ (I)
A12	ความจุต่อถุง (O)

ข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถาม 50 ชุดได้รับการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความถี่ของระดับความพึงพอใจแต่ละระดับ ได้แก่ A O M I R และ Q จากนั้นจึงคำนวณอัตราส่วนความพึงพอใจ (Satisfaction: S) และความไม่พอใจ (Dissatisfaction: D) และค่าดัชนีความพึงพอใจ (CSI) สำหรับแต่ละคุณลักษณะของปัจจัย ดังสมการ 1, 2 และ 3 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ถุงน้ำนม

No	Attribute	A	O	M	I	R	Q	Total	D	S	CSI	Categories
A1	ความหนา	0	15	***31***	3	0	1	50	0.94	0.31	3.07	M
A2	มีแถบบ่งชี้คุณภาพน้ำนม	12	10	3	***25***	0	0	50	0.26	0.44	0.59	I
A3	รูปแบบบรรจุภัณฑ์	5	***28***	13	3	0	1	50	0.84	0.67	1.24	O
A4	ปากถุง	0	9	***31***	10	0	0	50	0.80	0.18	4.44	M
A5	ซิปอกปิดปากถุง	1	20	***25***	4	0	0	50	0.90	0.42	2.14	M
A6	ลวดลายบรรจุภัณฑ์	2	4	3	***40***	0	1	50	0.14	0.12	1.17	I
A7	แถบเขียนข้อมูล	2	7	***35***	6	0	0	50	0.84	0.18	4.67	M
A8	ขีดบอกปริมาณจำนวนน้ำนมที่ถุง	3	10	***30***	6	0	1	50	0.82	0.27	3.08	M
A9	ราคา	6	***29***	13	0	0	2	50	0.88	0.73	1.20	O
A10	วัสดุที่นำมาผลิตย่อยสลายได้	***22***	9	12	5	2	0	50	0.44	0.65	0.68	A
A11	สามาถใช้ซ้ำได้	5	6	6	***33***	0	0	50	0.24	0.22	1.09	I
A12	ความจุต่อถุง	10	***32***	7	1	0	0	50	0.78	0.84	0.93	O

จากตารางที่ 3 ค่าความไม่พึงพอใจ (D) และความพึงพอใจ (S) ของแต่ละคุณลักษณะจะถูกวาดลงบนกราฟ แกน Y แสดงถึงความพึงพอใจ ในขณะที่แกน X แสดงถึงความไม่พึงพอใจ ซึ่งแสดงการกระจายของคุณลักษณะต่างๆ จากนั้นช่วงความพึงพอใจของแต่ละคุณลักษณะจะถูกกำหนดบนกราฟโดยใช้วิธีการจำแนกประเภทแบบวิเคราะห์คาโน (A-Kano) วิธีนี้ทำให้สามารถจำแนกคุณลักษณะปัจจัยทั้ง 12 ประเภทเป็นหมวดหมู่ A O M I R และ Q ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การจำแนกประเภทปัจจัยด้วยกราฟแบบจำลองคาโน (A-Kano)

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ชัดว่าไม่มีคุณลักษณะใดได้รับการจัดประเภทภายใต้หมวดหมู่ R และ Q ตามหลักการของ Kano Model คุณลักษณะส่วนใหญ่ ได้แก่ A1, A4, A5, A7 และ A8 ได้รับการจัดประเภทเป็น Must be (M) "จำเป็น" คุณลักษณะ A10 ได้รับการจัดประเภทเป็น Attrative (A) "น่าดึงดูด" คุณลักษณะ A3, A9 และ A12 ได้รับการจัดประเภทเป็น One-dimentional (O) "มิติเดียว" นอกจากนี้ คุณลักษณะ A2, A6 และ A11 ได้รับการจัดประเภทเป็น Indifference (I) "เฉย ๆ" จากรูปที่ 2 สรุปได้ว่าคุณลักษณะที่จัดอยู่ในกลุ่มประเภท Must be (M) ได้แก่ ความหนา ปากถุง ซิปอกปิดปากถุง แถบเขียนข้อมูล และขีดบอกปริมาณจำนวนน้ำนมที่ถุง คุณลักษณะที่จัดอยู่ในกลุ่มประเภท Attrative (A) ได้แก่ วัสดุที่นำมาผลิตย่อยสลายได้ และคุณลักษณะที่จัดอยู่ในกลุ่มประเภท One-dimentional (O) ได้แก่ รูปแบบบรรจุภัณฑ์ ราคา และความจุต่อถุง เป็นคุณลักษณะที่จำเป็นของผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ถุงน้ำนมที่จะต้องนำมาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ถุงน้ำนมเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยคาโนโมเดลกลุ่มประเภท Must be (M) Attrative (A) และ One-dimentional (O) เป็นคุณลักษณะที่ผู้ใช้งานให้ความสำคัญและเป็นสิ่งจำเป็นต่อการใช้งานของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะตอบสนองความพึงพอใจต่อการใช้ผลิตภัณฑ์นั้น

5. อภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความต้องการและความพึงพอใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนมสำหรับคุณแม่ ผ่านการใช้แบบจำลอง Kano ซึ่งประกอบด้วยคุณลักษณะ 12 ประการ พบว่าคุณลักษณะต่าง ๆ เช่น วัสดุที่นำมาผลิตย่อยสลายได้ (A10) อยู่ในหมวดหมู่ของความน่าดึงดูด (Attractive: A) ซึ่งบ่งชี้ว่ามีอิทธิพลอย่างมากต่อความพึงพอใจของลูกค้าในระดับของบริการที่ให้ [8] คุณลักษณะเหล่านี้ถือว่าน่าดึงดูดใจและสามารถใช้เป็นส่วนประกอบของกลยุทธ์การตลาดเชิงรุกและกลวิธีดึงดูดลูกค้าเมื่อเทียบกับคู่แข่ง ในทางกลับกัน ความหนา (A1) ปากถุง (A4) ซิปอกปิดปากถุง (A5) แถบเขียนข้อมูล (A7) ขีดบอกปริมาณจำนวนน้ำนมที่ถุง (A8) จัดอยู่ในประเภทจำเป็น (Must be: M) ซึ่งแสดงถึงการรับรู้ที่คุณลักษณะของบริการจำเป็นต้องมี เพราะถ้าไม่มีจะส่งผลต่อความไม่พึงพอใจของลูกค้า ในทางกลับกัน รูปแบบบรรจุภัณฑ์ (A3) ราคา (A9) และความจุต่อถุง (A12) จัดอยู่ในประเภทมิติเดียว (One-dimentional: O) ซึ่งแสดงถึงการรับรู้ที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์และบริการ ซึ่งนำไปสู่ความพึงพอใจของลูกค้าที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน เมื่อการรับรู้ที่ลดลงเกี่ยวกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์และบริการ ความพึงพอใจของลูกค้าก็ลดลง สุดท้าย คุณลักษณะมีแถบบ่งชี้คุณภาพน้ำนม (A2) ลวดลายบรรจุภัณฑ์ (A6) และสามารถใช้ซ้ำได้ (A11) ถูกจัดประเภทเป็นไม่สนใจ (Indifference: I) ซึ่งบ่งชี้ว่าการมีหรือไม่มีคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์และบริการเหล่านี้ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้าอย่างมีนัยสำคัญ จากมุมมองอื่น ไม่ว่าจะมีคุณลักษณะเหล่านี้หรือไม่ก็ตาม ระดับความพึงพอใจยังคงไม่เปลี่ยนแปลง

6. สรุปผล

การศึกษานี้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนมกับความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้าโดยใช้แบบจำลอง Kano พบว่าคุณลักษณะกลุ่ม กลุ่มประเภท Must be (M) ได้แก่ ความหนา ปากถุง ซิปอกปิดปากถุง แถบเขียนข้อมูล และขีดบอกปริมาณจำนวนน้ำนมที่ถุง คุณลักษณะที่จัดอยู่ในกลุ่มประเภท Attrative (A) ได้แก่ วัสดุที่นำมาผลิตย่อยสลายได้ และคุณลักษณะที่จัดอยู่ในกลุ่มประเภท One-dimentional (O) ได้แก่ รูปแบบบรรจุภัณฑ์ ราคา และความจุต่อถุง เป็นคุณลักษณะที่จำเป็นของผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ถุงน้ำนมที่จะต้องนำมาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ถุงน้ำนมเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานส่งผลต่อระดับความพึงพอใจโดยตรง ในขณะที่กลุ่ม Indifference (I) ได้แก่ คุณลักษณะมีแถบบ่งชี้คุณภาพน้ำนม ลวดลายบรรจุภัณฑ์ และสามารถใช้ซ้ำได้ ไม่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การวิเคราะห์คุณลักษณะปัจจัยผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนม จึงมุ่งหวังที่จะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำนมสำหรับคุณแม่ที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเหมาะสมที่สุดและแข่งขันในตลาดได้

7. ข้อจำกัดและการวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ดำเนินการด้วยขนาดตัวอย่างที่จำกัด เพื่อเพิ่มความสามารถในการสรุปผลและความแข็งแกร่งของผลการวิจัย การวิจัยในอนาคตจะขยายขนาดตัวอย่างให้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น และทำการหาน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย พร้อมทั้งออกแบบผลิตภัณฑ์ถุงน้ำนมโดยมีการประยุกต์ใช้ฟังก์ชันคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ถุงเก็บนำนมที่ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น และส่งผลให้ความสามารถในทางธุรกิจสำหรับผู้จำหน่ายสามารถแข่งขันทางการตลาดเพิ่มสูงมากขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโครงการยกระดับขีดความสามารถคณาจารย์สู่ความเป็นเลิศทางการสอนและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 4.0 หัวข้อ อบรมเรื่อง “Innovative Product Design and Development-PDD” ซึ่งอยู่ภายใต้โครงการ Reinforcing Non-University Sector at the Tertiary Level in Engineering and Technology to Support Thailand Sustainable Smart Industry - ReCap 4.0

เอกสารอ้างอิง

[1] R. E. Zultner and G. H. Mazur, "The Kano model: recent developments," in Transactions from The Eighteenth Symposium on Quality Function Deployment, 2006.

[2] S. Phuangkaew, P. Phuangkaew and P. Rontlaong "Application of the Kano Model in the Design and Development of a Breastmilk Cooler Bag" in 2024 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2024.

[3] L. Liu, A. Zhang, L. Zhang, and J. Xu, "Research on emotional design of intelligent sleep products for the elderly based on Kano model and customer satisfaction and dissatisfaction coefficients," in 2021 2nd International Conference on Intelligent Design (ICID), 2021, pp. 528-531.

[4] ดลฤทธิ์ สมอุปฮาด พงษ์เพชร สังฆมะณี วันชัย แหลมหลักสกุล และศิริชัย ยศวังใจ. (2567). “การประยุกต์กรอบวิธีวิศวกรรมคันเซกับแบบจาลองคาโนสาหรับเก้าอี้สำนักงานเพื่อสุขภาพ.” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 20(2), 47-65.

[5] ศุภฤกษ์ ประวรรณะ. (2568). “การวิเคราะห์คุณภาพบริการสายการบินต้นทุนต่ำด้วยคุณลักษณะของแบบจำลองคาโน.” วารสารสังคมพัฒนศาสตร์, 8(2), 165-175.

[6] T. Dhiratanuttdilok and P. Pasunon (2021). “Analysis of Service Quality of Taxi Passengers through Kano Model: Developing from Customer’s Perspective.” Creative Business and Sustainability Journal, 43(3), 64–82.

[7] กฤษฎา ดลปัญญา. (2023). “การวิเคราะห์ความต้องการและความพึงพอใจของผู้โดยสารต่อการให้บริการรถไฟความเร็วสูงของประเทศไทยด้วยโมเดลของคาโน.” วารสารวิทยาการจัดการมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, ปีที่ 5 ฉบับที่ 3, 116–130.

[8] K. Matzler, H. Hinterhuber, F. Bailom, and E. Sauerwein. (1996). "How to delight your customers," Journal of Product & Brand Management, vol. 5, pp. 6-18.

[9] G. Sittironnarit, R. Sripen, and S. Phattharayuttawat. (2022), Psychometric Properties of the Thai Mental Health Literacy Scale in Sixth-Year Medical Students. *Siriraj Medical Journal*, *74*(2), 100–107.

[10] ศุภามณ จันทร์สกุล และอนันต์ตรี สมิทธิ์นราเศรษฐ์. (2022). “การพัฒนาแบบวัดคุณภาพชีวิตสำหรับนักศึกษาพยาบาล.” วารสารวิจัยการพยาบาลและวิทยาศาสตร์สุขภาพ, ปีที่ 14 ฉบับที่ 2, 67-82.

[11] พิชญกร วโรตมะกุล สงวน ลือเกียรติบัณฑิต และวรนุช แสงเจริญ. (2020). “การพัฒนาแบบวัดความแตกฉานทางสุขภาพสาหรับชาวไทยโดยประเมินจากทักษะที่สาคัญ.” Thai Journal of Pharmacy Practice, ปีที่ 12 ฉบับที่ 2, 364-378.

การศึกษาเวลามาตรฐานของระบบเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก: กรณีศึกษา ห้องจ่ายยาโรงพยาบาลเอกชนแห่งหนึ่ง

A Study of Outpatient Pharmaceutical Dispensing System: A Case Study of the Medication Dispensary at a Private Hospital

สหัสวรรษ มุสิกะ[1*] สิริรัตน์ พึ่งชมภู[1,2] สิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์ [1,2]
[1]หลักสูตรวิศวกรรมโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[2]ศูนย์วิจัยอุตสาหกรรมอัจฉริยะ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: 6610120032@psu.ac.th*

Sahadsawat Musika[1*], Sirirat Pungchompoo[1,2], Sirirat Suwatcharachaitiwong[1,2]
[1]Logistics and Supply Chain Engineering Program, Department of Industrial and Manufacturing Engineering,
Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
[2]Smart Industry Research Center, Department of Industrial and Manufacturing Engineering,
Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
E-mail: 6610120032@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำเวลามาตรฐานของระบบเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอกโดยใช้วิธีการศึกษาเวลา โดยได้ศึกษาการจับเวลาโดยตรงจากการทำงานของเจ้าหน้าที่ ในช่วงเวลาเร่งด่วนของห้องจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลเอกชนแห่งหนึ่ง งานวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการศึกษากระบวนการทำงานของระบบเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก ทำการแบ่งงานย่อย ประเมินอัตราเร็วของการทำงานของเจ้าหน้าที่ตามหลักวิธีของ Westing House กำหนดค่าเวลาเผื่อ หาค่าเวลาตัวแทน คำนวณหาเวลาปกติ และคำนวณหาเวลามาตรฐานของการทำงาน จากการศึกษาเวลามาตรฐานของกระบวนการเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก ได้ผลรวมของเวลามาตรฐานของรายการยา 1-5 รายการ เท่ากับ 13 นาที 24 วินาที และเวลามาตรฐานของรายการยา 6-10 รายการ เท่ากับ 21 นาที 42 วินาที การศึกษาเวลามาตรฐานครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นมาตรฐานในการทำงาน และสามารถใช้ในการจัดสรรอัตรากำลังของระบบเบิกจ่ายยาให้เหมาะสม

คำสำคัญ: การศึกษาเวลา, เวลามาตรฐาน, ผู้ป่วยนอก

Abstract

The purpose of this study is to calculate the standard time for the outpatient drug dispensing system using the time study method. The study involves direct time measurement of employees' work during peak hours at a private hospital. This research began by studying the process in outpatient pharmaceutical dispensing system and identifying the elements, evaluating the rating factor using the Westinghouse method, determining allowance time, calculating representative time and normal time, and finally calculating the standard time for the process. From the study, it was found that the total standard for dispensing 1-5 drug items is 13 minutes and 24 seconds, while for 6-10 drug items, it is 21 minutes and 42 seconds. The results of this standard time study can serve as a guideline for work instruction and the appropriate manpower allocation to optimize the outpatient pharmaceutical dispensing systems.

Keywords: Time Study, Standard Time, Outpatient

1. บทนำ

จากสถานการณ์ปัจจุบันนั้นโรงพยาบาลและสถานพยาบาลภาครัฐที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่ออัตราความต้องการใช้บริการโรงพยาบาลที่มีมากขึ้น ส่งผลให้ธุรกิจโรงพยาบาลเอกชนเกิดขึ้นเพื่อรองรับผู้ป่วยจากสถานพยาบาลของรัฐที่มีข้อจำกัดเนื่องจาก 1.อัตราการใช้เตียง 2.ความแออัดในการเข้าใช้บริการ เมื่อผู้ป่วยเข้ารับบริการเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดปัญหาความไม่สะดวกสบายในการให้บริการ และเสียเวลาในการรอคอยนาน [1] การเข้ารับบริการโรงพยาบาลเอกชนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีการให้บริการที่มีประสิทธิภาพและทั่วถึง อีกทั้งใช้เวลาในการเข้ารับบริการที่น้อยกว่าโรงพยาบาลรัฐ แม้ว่าค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลของโรงพยาบาลเอกชนเมื่อเปรียบเทียบกับโรงพยาบาลรัฐแล้ว จะมีค่าใช้จ่ายสูงมากก็ตาม ธุรกิจโรงพยาบาลเอกชนมีการเติบโตควบคู่ไปกับการเติบโตของเศรษฐกิจเนื่องจากประชาชนมีกำลังซื้อที่สูงขึ้น อีกทั้งพฤติกรรมที่ต้องการความสะดวกสบายและรวดเร็วมากขึ้น ทำให้ประชาชนหันมาเข้าใช้บริการโรงพยาบาลเอกชน ซึ่งมีเครื่องมือที่ทันสมัย จากข้อมูลการสำรวจจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ ในปี พ.ศ. 2565 พบว่ามีโรงพยาบาลและสถานพยาบาลเอกชนทั่วประเทศ ทั้งสิ้น 399 แห่ง ซึ่งแบ่งเป็นโรงพยาบาลทั่วไป 254 แห่ง หรือร้อยละ 88.7 และโรงพยาบาลเฉพาะโรค 45 แห่ง หรือร้อยละ 11.3 [2]

สัดส่วนของผู้เข้ารับบริการในโรงพยาบาลเอกชนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จำนวนผู้ป่วยเพิ่มขึ้นทำให้การดูแลต้องใช้ทรัพยากรต่าง ๆ เช่น ยา เวชภัณฑ์ หรืออุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ รวมทั้งการขนส่งสิ่งส่งตรวจอยู่ภายใต้การจัดการของหน่วยงานต่าง ๆ ที่รับผิดชอบ ทำให้เกิดการบริหารจัดการไม่เป็นระบบ ข้อมูลไม่มีความเชื่อมโยงกัน ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในโรงพยาบาลที่เพิ่มขึ้นโดยที่ในปี 2565 มีผู้ป่วยที่เข้ารับการบริการในโรงพยาบาลเอกชนทั่วประเทศมีจำนวนทั้งสิ้น 60.8 ล้านราย ซึ่งในจำนวนนี้เป็นผู้รับบริการผู้ป่วยใน 2.3 ล้านราย เป็นชาวไทย 2.2 ล้านราย ชาวต่างชาติ 0.1 ล้านราย ส่วนผู้รับบริการผู้ป่วยนอกมีจำนวน 58.5 ล้านรายโดยเป็นชาวไทย 53.4 ล้านราย และชาวต่างชาติ 5.1 ล้านราย [2] เนื่องด้วยจำนวนผู้รับบริการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทำให้เกิดระยะเวลาในการรอคอยเพิ่มขึ้น ซึ่งระยะเวลาในการรอคอยเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจของผู้ป่วยที่เข้ารับบริการและเป็นส่วนสำคัญในการสะท้อนคุณภาพของการให้บริการของโรงพยาบาล ระยะเวลาในการรอคอยที่เหมาะสมมีผลเพิ่มให้ระดับความพึงพอใจของผู้รับบริการและเป็นตัวชี้วัดที่แสดงถึงคุณภาพและประสิทธิภาพการให้บริการ ในขณะเดียวกันระยะเวลาในการรอคอยที่ยาวนานส่งผลให้ผู้รับบริการเกิดความเครียดและความผิดหวังจากการใช้บริการ และอาจส่งผลต่อการตัดสินใจไม่รับบริการในสถานพยาบาลเนื่องจากไม่สามารถทนรอด้วยความทุกข์ทรมานจากอาการป่วยได้ [3]

งานวิจัยนี้สนใจศึกษากระบวนการให้บริการในโรงพยาบาลเอกชนแห่งหนึ่ง ซึ่งเป็นโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ สามารถให้บริการทางการพยาบาลในกลุ่มโรคที่ซับซ้อนที่มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง การดูแลรักษาตามมาตรฐานมีเครื่องมือทางการแพทย์ที่ทันสมัย สำหรับแผนกจ่ายยาผู้ป่วยนอกนั้น โรงพยาบาลได้กำหนดตัวชี้วัดของระยะเวลารอคอยรับยาไว้ที่ 5 นาทีหลังจากผู้ป่วยชำระเงิน แต่พบว่าตัวชี้วัดดังกล่าวอาจไม่เหมาะสม ซึ่งไม่เป็นไปตามลักษณะหรือพฤติกรรมที่เป็นไปตามธรรมชาติของกระบวนการ ส่งผลให้ระยะเวลารอคอยรับยาของผู้ป่วยไม่เป็นไปตามตัวชี้วัด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาหาเวลามาตรฐานของระบบเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก ในการกำหนดตัวชี้วัดที่เป็นไปตามกระบวนการ เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลที่นำเสนอแก่ผู้บริหารโรงพยาบาล เช่น การจัดอัตรากำลังสำหรับระบบเบิกจ่ายยาของห้องยา วิธีปฏิบัติ และการจัดการที่ได้มาตรฐาน เป็นต้น

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 รูปแบบการศึกษา

การศึกษาในรูปแบบการวิจัยเชิงพรรณนา เพื่อศึกษาเวลามาตรฐานของการทำงาน และเป็นแนวทางให้กับโรงพยาบาล

2.2 กลุ่มตัวอย่าง

เจ้าหน้าที่ผู้ช่วยเภสัชกรและเภสัชกรที่ปฏิบัติงานอยู่ในห้องเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก ซึ่งเป็นตัวแทนในการหาเวลามาตรฐานในแต่ละงานย่อย โดยต้องมีคุณสมบัติคือ เป็นผู้ที่มีประสบการณ์และมีความชำนาญในงาน โดยมีความสม่ำเสมอไม่เร่งรีบหรือช้าเกินไป และมีทัศนคติที่ดีต่องานนั้น รวมถึงเข้าใจเป้าหมายของการศึกษาเวลามาตรฐาน

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

แบบบันทึกเวลา ที่ใช้บันทึกการศึกษาการเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก โดยใช้เทคนิควิธีการจับเวลา โดยผู้ศึกษาเป็นผู้จับเวลาในทุกขั้นตอนของการศึกษาแต่เพียงผู้เดียวในขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.3.1 การคัดเลือกผู้ปฏิบัติงาน

คัดเลือกผู้ปฏิบัติงานที่เหมาะสมร่วมกับหัวหน้างานที่ดูแลเกี่ยวกับการเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก

2.3.2 การศึกษากระบวนการทำงาน

ศึกษาการงานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก โดยรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับงานที่ศึกษา ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับงาน ข้อมูลผู้ปฏิบัติงาน แบ่งสถานีการทำงาน แจกแจงงานย่อยของการเบิกจ่ายยา ออกเป็นลำดับขั้นตอน กำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของแต่ละงานย่อย [4]

2.3.3 ประเมินอัตราเร็ว

การประเมินอัตราในการทำงานโดยใช้วิธีการของ Westing House [5] แสดงดังตารางที่ 1 โดยผู้ประเมินคือ หัวหน้างาน ซึ่งทำการประเมินทั้งหมด 4 ด้าน ดังนี้

1) ความชำนาญ (Skill)
2) ความพยายาม (Effort)
3) สภาพการทำงาน (Consistency)
4) ความสม่ำเสมอการทำงาน (Condition)

ตารางที่ 1 ตารางคะแนนในการประเมินอัตราเร็วตามวิธีของ Westing House

ทักษะ(Skill)			ความพยายาม (Effort)		
0.15	A1	ชำนาญสูงมาก	0.13	A1	ชำนาญสูงมาก
0.13	A2		0.12	A2	
0.11	B1	ดีมาก	0.1	B1	ดีมาก
0.08	B2		0.08	B2	
0.06	C1	ดี	0.05	C1	ดี
0.03	C2		0.02	C2	
0	D	เฉลี่ย	0	D	เฉลี่ย
-0.05	E1	พอใช้	-0.04	E1	พอใช้
-0.1	E2		-0.08	E2	
-0.16	F1	ควรปรับปรุง	-0.12	F1	ควรปรับปรุง
-0.22	F2		-0.17	F2	
สภาพการทำงาน (Consistency)			ความสม่ำเสมอการทำงาน (Condition)		
0.06	A	ดีเยี่ยม	0.04	A	ดีเยี่ยม
0.04	B	ดีมาก	0.03	B	ดีมาก
0.02	C	ดี	0.01	C	ดี
0	D	เฉลี่ย	0	D	เฉลี่ย
-0.03	E	พอใช้	-0.02	E	พอใช้
-0.07	F	ควรปรับปรุง	-0.04	F	ควรปรับปรุง

2.3.4 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลโดยการจับเวลาของการทำงานในแต่ละงานย่อย ซึ่งทำการจับเวลาแต่ละครั้งของงานย่อยนั้น ๆ นาฬิกาจะถูกเซ็ตไว้ที่ตำแหน่งเริ่มต้นหรือ 0 ทุกครั้ง ผู้จับเวลาจะเริ่มจับเวลาเมื่อผู้ปฏิบัติลงมือปฏิบัติในงานย่อยแรก แล้วกดหยุดเวลาเมื่องานแรกสิ้นสุด อ่านค่าเวลาเป็นหน่วยวินาที ทำการจับเวลาจนครบทุกงานย่อย โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บเฉพาะวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ยกเว้นวันหยุดนักขัตฤกษ์ ในการจับเวลาการเบิกจ่ายยาในช่วงเวลา 10.00 – 13.00 น.

2.3.5 การประมาณการจำนวนครั้งของการจับเวลา

การประมาณการจำนวนครั้งของการจับเวลาโดยใช้สมการ ดังนี้

$$n = \frac{40\left[N\sqrt{\sum X^2 - (\sum X)^2}\right]^2}{\sum X} \quad (1)$$

โดยที่ n คือจำนวนครั้งที่ต่ำสุดของการจับเวลาที่ต้องการ, N คือจำนวนครั้งของการจับเวลาจริง X คือเวลาที่จับได้ในแต่ละครั้งในหน่วยวินาทีที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

2.3.6 การคำนวณหาเวลาตัวแทน

ใช้การหาค่าเฉลี่ย คือ ผลรวมเวลาทั้งหมดหารด้วยจำนวนรอบ [6]

2.3.7 การคำนวณหาเวลาปกติ

เวลาปกติ คือเวลาเฉลี่ยของการทำงานย่อยรวมกับค่าอัตราความสามารถของการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน สามารถคำนวณเพื่อหาเวลาปกติของแต่ละงานย่อย [6]

$$NT = RT \times \text{Rating Factor} \quad (2)$$

โดยที่ NT คือเวลาปกติ, RT คือเวลาตัวแทน

2.3.8 การกำหนดค่าเวลาเผื่อ

เวลาเผื่อ คือ เวลาที่บวกเพิ่มให้กับเวลาการทำงานจริง เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานมีโอกาสฟื้นตัวจากความเมื่อยล้าทางร่างกาย และเพื่อหยุดทำกิจส่วนตัว [6] การกำหนดชนิดของเวลาเผื่อ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1) เวลาเผื่อกิจส่วนตัว (Personal Allowance) เป็นการพิจารณาเวลาเผื่อในการทำกิจส่วนตัวของผู้ปฏิบัติงาน เช่น เข้าห้องน้ำ ดื่มน้ำ ซึ่งเวลาเผื่อจะถูกกำหนดโดยขึ้นอยู่กับลักษณะความหนักเบาของการทำงาน ระยะเวลาการทำงาน และเงื่อนไขของการทำงาน โดยทั่วไปมักใช้เวลาเผื่อกิจส่วนตัวประมาณ 5% ของเวลาปกติ

2) เวลาเผื่อความเมื่อยล้า (Fatigue Allowance) เป็นการพิจารณาเวลาเผื่อที่เกิดจากความเมื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน เช่น การทำงานที่มีระยะเวลาการทำงานที่นานเกินไป

3) เวลาเผื่อความล่าช้า (Delay Allowance) เป็นการพิจารณาเวลาเผื่อที่เกี่ยวข้องกับความล่าช้าที่เกิดจากเครื่องมือ

2.3.9 การคำนวณหาเวลามาตรฐานการทำงาน [6]

เวลามาตรฐานการทำงาน คือ เวลาที่ใช้ในการทำงานเฉพาะขั้นตอนหนึ่ง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Standard Time} = NT + (NT \times A) \quad (3)$$

โดยที่ NT คือเวลาปกติ, A คือเวลาเผื่อ

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

3.1 กระบวนการทำงานของห้องจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก

กระบวนการทำงานของห้องจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลกรณีศึกษาแบ่งกระบวนการทำงานของห้องยาเป็น 3 สถานีงาน 8 ขั้นตอน โดยสถานีงานที่ 1 ประกอบด้วย สถานีที่ 1 ขั้นตอนการตรวจสอบใบรายการยา ขั้นตอนการจัดยาตามใบรายการยา และขั้นตอนการส่งยาที่จัดเสร็จให้กับเภสัช สถานีงานที่ 2 ประกอบด้วย ขั้นตอนรอตรวจสอบยา และขั้นตอนตรวจสอบความถูกต้องของยา สถานีงานที่ 3 ประกอบด้วย ขั้นตอนตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งก่อนจ่ายยา ขั้นตอนยารอจ่าย และขั้นตอนจ่ายยาให้คำปรึกษาด้านยา แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงกระบวนการทำงานของระบบเบิกจ่ายยา

สถานี	ขั้นตอน	งานย่อย	สัญลักษณ์
1	1	ตรวจสอบใบรายการยา	○
	2	จัดยาตามใบรายการยา	○
	3	ส่งยาที่จัดเสร็จให้กับเภสัช	⇨
2	4	ยารอตรวจสอบ	D
	5	ตรวจสอบความถูกต้องของยา	□
3	6	ตรวจสอบอีกครั้งก่อนจ่ายยา	□
	7	รอจ่ายยา	D
	8	จ่ายยาและให้คำปรึกษาด้านยา	○

3.2 ประเมินค่าอัตราเร็ว

ในการศึกษาครั้งนี้มีผู้ปฏิบัติงานที่คัดเลือกมาเพื่อเป็นตัวแทนในการศึกษาเวลามาตรฐานในห้องยาและห้องจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก โดยที่ในช่วงเวลาเร่งรีบ 10.00 น. – 13.00 น. ในสถานที่ 1 มีผู้ช่วยเภสัชกรทั้งหมด 5 คน สถานที่ 2 มีเภสัชกร 2 คน และสถานที่ 3 มีเภสัชกร 2 คน จึงได้คัดเลือกผู้ช่วยเภสัชกร 3 คน และเภสัชกร 4 คน เพื่อเป็นตัวแทนในการหาเวลามาตรฐาน และประเมินค่าอัตราเร็วจากหัวหน้างาน ผลการประเมินอัตราเร็วแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลผู้ปฏิบัติงานที่เป็นตัวแทนในการศึกษาเวลามาตรฐานและการประเมิน %Rating

ตำแหน่ง	ชนิดของงานย่อย	%Rating
ผู้ช่วยเภสัชกร	สถานีที่ 1 1. ตรวจสอบใบรายการยา 2. จัดยาตามใบรายการยา 3. ส่งยาที่จัดเสร็จให้กับเภสัช	112
เภสัชกร	สถานีที่ 2 4. ยารอตรวจสอบ 5. ตรวจสอบความถูกต้องของยา	125
เภสัชกร	สถานีที่ 3 6. ตรวจสอบอีกครั้งก่อนจ่ายยา 7. รอจ่ายยา 8. จ่ายยาและให้คำปรึกษาด้านยา	119

3.3 การหาค่าเวลาเผื่อ

ในการหาค่าเวลาเผื่อของการศึกษาแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) เวลาเผื่อส่วนบุคคลที่ร้อยละ 5

2) เวลาเผื่อสำหรับความเมื่อยล้าร้อยละ 5

3) เวลาเผื่อสำหรับความล่าช้าร้อยละ 5

ดังนั้นเวลาเผื่อรวมทั้ง 3 ส่วน คือร้อยละ 15 ซึ่งได้รับการยอมรับจากหัวหน้างานแล้วว่ามีความเหมาะสม

3.4 ผลการศึกษาเวลามาตรฐาน

จากการศึกษาเวลามาตรฐานของกระบวนการเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก จะใช้เวลาตัวแทนที่ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยของงานย่อยแต่ละงานแสดงดังตารางที่ 4 เพื่อใช้ในการคำนวณหาเวลามาตรฐานของกระบวนการเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก

ตารางที่ 4 แสดงว่าเวลาตัวแทนที่ใช้ในการหาเวลามาตรฐาน

สถานี	**งานย่อย**	**ยา 1-5 รายการ**	**ยา 6-10 รายการ**
		เวลาตัวแทน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นาที)	**เวลาตัวแทน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นาที)**
1	ตรวจสอบใบรายการยา	00.20 ± 00.17	00.20 ± 00.17
	จัดยาตามใบรายการยา	05.41 ± 03.45	10.11 ± 05.27
	ส่งยาที่จัดเสร็จให้กับเภสัช	00.05 ± 00.03	00.09 ± 00.12
2	ยารอตรวจสอบ	00.25 ± 00.15	00.25 ± 00.15
	ตรวจสอบความถูกต้องของยา	02.13 ± 01.31	03.28 ± 02.05
3	ตรวจสอบอีกครั้งก่อนจ่ายยา	00.48 ± 00.33	01.55 ± 01.06
	รอจ่ายยา	00.14 ± 00.08	00.14 ± 00.09
	จ่ายยาและให้คำปรึกษาด้านยา	04.30 ± 03.18	06.17 ± 04.41

ผลการคำนวณเวลามาตรฐานของรายการยา 1-5 รายการ พบว่าได้เวลามาตรฐานรวมอยู่ที่ 13 นาที 24 วินาที แสดงดังตารางที่ 5 และเวลามาตรฐานของรายการยา 6-10 รายการอยู่ที่ 21 นาที 42 วินาที แสดงดังตารางที่ 6 โดยที่ขั้นตอนการทำงานที่ใช้เวลามากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ขั้นตอนการจัดยาตามใบรายการยา ในขั้นตอนนี้ต้องใช้ความละเอียดรอบคอบและความชำนาญ ไม่ว่าจะเป็นการนับจำนวนยา แยกชนิดยา ยาน้ำ หรือยาเม็ด ทำให้ต้องใช้เวลามากกว่าขั้นตอนอื่น ๆ ต่อมาคือขั้นตอนการจ่ายยาและให้คำปรึกษา เป็นขั้นตอนที่ตรวจสอบความถูกต้องของยาซ้ำเพื่อให้มั่นใจว่าถูกต้อง มีการปรึกษาเกี่ยวกับการใช้ยาแตกต่างกันในแต่ละเคส และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของยา ตรวจสอบผ่านคอมพิวเตอร์ สายตาของเภสัชกรเพื่อตรวจสอบจำนวนยา

เวลามาตรฐานรวมของกระบวนการเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก คือ เวลาที่ใช้ในกระบวนการงานย่อยทั้งหมด 8 งานย่อย สำหรับ 1 ใบสั่งยาหรือเคส โดยที่เวลามาตรฐานสามารถนำไปกำหนดตัวชี้วัดที่ถูกต้องให้เป็นไปตามธรรมชาติของงาน

ตารางที่ 5 แสดงเวลาปกติ เวลาเผื่อ และเวลามาตรฐานของระบบเบิกจ่ายยา

งานย่อย	เวลาปกติ (นาที)	เวลาเผื่อ (นาที)	เวลามาตรฐาน (นาที)
ตรวจสอบใบรายการยา	0.17	0.03	0.20
จัดยาตามใบรายการยา	5.00	0.45	5.45
ส่งยาที่จัดเสร็จให้กับเภสัช	0.05	0.01	0.05
ยารอตรวจสอบ	0.18	0.03	0.21
ตรวจสอบความถูกต้องของยา	1.40	0.15	1.55
ตรวจสอบอีกครั้งก่อนจ่ายยา	0.37	0.06	0.43
รอจ่ายยา	0.11	0.02	0.13
จ่ายยาและให้คำปรึกษาด้านยา	3.30	0.32	4.02
เวลามาตรฐานรวม			13.24

ตารางที่ 6 แสดงเวลาปกติ เวลาเผื่อ และเวลามาตรฐานของระบบเบิกจ่ายยา

งานย่อย	เวลาปกติ (นาที)	เวลาเผื่อ (นาที)	เวลามาตรฐาน (นาที)
ตรวจสอบใบรายการยา	0.17	0.03	0.20
จัดยาตามใบรายการยา	8.58	1.21	10.18
ส่งยาที่จัดเสร็จให้กับเภสัช	0.08	0.01	0.09
ยารอตรวจสอบ	0.19	0.03	0.21
ตรวจสอบความถูกต้องของยา	2.36	0.23	2.59
ตรวจสอบอีกครั้งก่อนจ่ายยา	1.30	0.14	1.44
รอจ่ายยา	0.11	0.02	0.13
จ่ายยาและให้คำปรึกษาด้านยา	4.54	0.44	5.38
เวลามาตรฐานรวม			21.42

5. สรุป

จากการจัดทำเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงานของระบบเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลเอกชนแห่งหนึ่ง สามารถนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานในการทำงาน ที่ใช้ในการควบคุมเวลาการปฏิบัติงานของพนักงาน และนำไปใช้กำหนดอัตรากำลังที่เหมาะสมกับงาน ในส่วนของห้องจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอก สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณงานของเจ้าที่ที่ปฏิบัติงานห้องยา โดยข้อมูลที่ได้จากการหาเวลามาตรฐานจะมีประโยชน์ในการประมาณอัตรากำลังให้มีความเหมาะสมกับภาระงาน และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปหารือกับผู้ปฏิบัติงาน เพื่อตอบสนองต่อนโยบายของโรงพยาบาล

6. ข้อเสนอแนะ

การจัดทำเวลามาตรฐานทำให้ทราบรายละเอียดที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการให้บริการที่แตกต่างกัน เช่น จำนวนรายการยาที่ไม่เท่ากัน ลักษณะของยาที่ไม่เหมือนกัน หรือแม้กระทั่งปริมาณยาที่แพทย์สั่งไม่เท่ากัน เหล่านี้เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการให้บริการ ทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของการทำงาน ได้ด้วยการปรับเปลี่ยนผังห้องยา การปรับใช้เทคโนโลยี หรือการเพิ่มหรือลดเจ้าหน้าที่ให้เหมาะสมต่อภาระงาน เนื่องจากเวลามาตรฐานสามารถใช้ในการคำนวณภาระงานและวิเคราะห์อัตรากำลังของเจ้าหน้าที่ในห้องเบิกจ่ายยาสำหรับผู้ป่วยนอกให้มีความเหมาะสมสอดคล้องกับความต่อเนื่องของงาน และนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ ทั้งในด้านการพัฒนางาน หรือปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน และเป็นข้อมูลที่นำเสนอต่อผู้บริหารโรงพยาบาล

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โรงพยาบาลกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์การเข้าไปเก็บข้อมูลกระบวนการทำงานและการจับเวลา รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูล และให้คำแนะนำด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] สกล อยู่วิทยา, สุภัททา ปิณฑะแพทย์, ทวีศักดิ์ รูปสิงห์ และธนาธิป ศุภประดิษฐ์. (2564). การพัฒนารูปแบบการบริหารการให้บริการสุขภาพของโรงพยาบาลเอกชนในประเทศไทย. วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 12(3), 75-78.

[2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, "การสำรวจโรงพยาบาลและสถานพยาบาลเอกชน พ.ศ. 2565," กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม, 2566. [Online]. Available: www.nso.go.th

[3] K. N. Alrajhi, N. A. Aljerian, R. N. Alazaz, L. B. Araier, L. S. Alqahtani, and S. O. Almushawwah, "Effect of waiting time estimates on patients satisfaction in the emergency department in a tertiary care center," Saudi Medical Journal, vol. 41, no. 8, p. 883, 2020. [Online]. Available: www.ncbi.nlm.nih.gov

[4] ยศวริศกร รณเศอัครพงษ์, "การศึกษาการทำงานและลดกำลังคนในไลน์การผลิตน้ำอัดลม กรณีศึกษา บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด," ปริญญาบริหารธุรกิจบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2559.

[5] ธนะรัตน์ รัตนกูล, กันต์ธมน สุขกระจ่าง, วันเพ็ญ ลับแสง, และอัญชลีพร ด้วงเจริญ, "เวลามาตรฐานการปฏิบัติงานของพนักงานบริการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา", นำเสนอที่ การประชุมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติ, ปี 2018.

[6] ญาณิศา สุรพันธ์, "การปรับปรุงอัตราความพร้อมใช้งานเครื่องจักรในกระบวนการติดดาย," ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2565.

การจำลองสถานการณ์เพื่อหาจำนวนสถานีรับและส่งมอบสินค้าของเครื่องจักรจัดเก็บและหยิบอัตโนมัติแบบคู่

Simulation for Determining the Number of Picking-and-Delivery Station in Automated Dual Storage-and-Retrieval Machines

ชนิสา ชั้นประเสริฐ[1*] โอพาร กิตติธีรพรชัย[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: 6670046121@student.chula.ac.th *

Chanisa Chanprasert[1*] Oran Kittithreerapronchai[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: 6670046121@student.chula.ac.th *

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัญหาขาดแคลนแรงงานและบรรยากาศการแข่งขันของผู้ค้าปลีกที่เปลี่ยนแปลงไป ศูนย์กระจายสินค้าต่างประยุกต์ใช้ระบบจัดเก็บและเติมสินค้าอัตโนมัติ (Automatic Storage and Replenishment System: AS/RS) เพื่อลดต้นทุนและตอบสนองได้รวดเร็ว สำหรับศูนย์กระจายสินค้าที่ลักษณะเรียวยาวและต้องการปริมาณงานสูง งานวิจัยนี้นำเสนอระบบเครื่องจักรจัดเก็บและเติมสินค้าแบบคู่ หรือ ระบบ Dual SRM (Storage and Replenishment Machine) ซึ่งแต่ละช่องจัดเก็บสินค้าจะติดตั้ง เครื่อง SRM จำนวน 2 เครนทำงานร่วมกันบนรางเดียว เครื่อง SRM หลักทำหน้าที่รับและขนย้ายสินค้าไปตำแหน่งจัดเก็บรวมถึงนำสินค้าออกจากระบบเพื่อส่งให้กับร้านสาขา ในขณะที่เครื่อง SRM รองจัดการคำสั่งซื้อบริการจัดส่งจากลูกค้าออนไลน์ที่มีช่วงเวลาดำเนินการที่สั้นและเร่งด่วน สินค้าอาจขนส่งระหว่าง SRM ทั้งสองโดยการวางพาเลทสินค้าชั่วคราวในตำแหน่งสถานีรับและส่งมอบสินค้า เรียกกว่า P&D Station (Picking and Delivery Station) ทำให้เกิดคำถามเกี่ยวกับจุดสมดุลระหว่างปริมาณงานและเวลาการรอของเครื่อง SRM งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์จำนวนของ P&D Station ด้วยแบบจำลองสถานการณ์แบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง ผลลัพธ์จากแบบจำลองเสนอว่า ควรเลือกใช้ P&D Station แบบ 2 ตำแหน่ง เนื่องจากมีความแตกต่างกับ P&D Station 1 ตำแหน่ง ทั้งในด้านอรรถประโยชน์ของระบบที่สูงขึ้น ระยะเวลารอของงานที่ลดลง และ จำนวนงานที่รอที่น้อยกว่า

คำสำคัญ: ระบบจัดเก็บและเติมสินค้าอัตโนมัติ ระบบเครื่องจักรจัดเก็บและเติมสินค้าแบบคู่ ตำแหน่งสถานีรับและส่งมอบสินค้า แบบจำลองสถานการณ์แบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง

Abstract

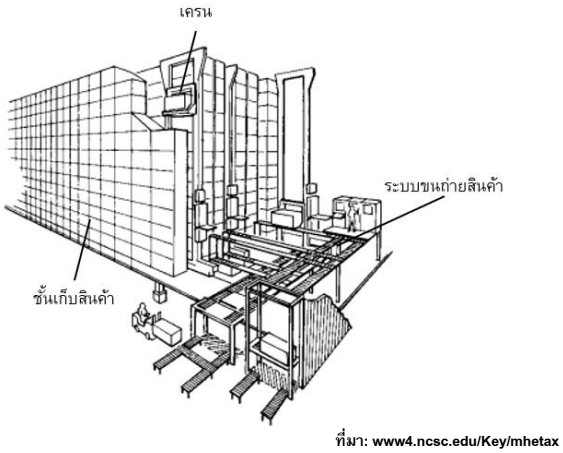
Because of the labor shortage and the evolving competition landscape of retailers, many distribution centers have implemented automated storage and replenishment system to reduce logistic costs and ensure responsiveness. One interesting variation for a high-throughput DC with an elongated shape is called Dual SRM (Storage and Retrieval Machine) system-- an automated storage and retrieval system (AS/RS) where each aisle is equipped with two SRMs and operated in tandem using the same rail. In this variation, the primary SRM transports products to a storage location and retrieves products for retail outlets. On the other hand, the secondary SRM handles delivery service orders for online customers with short and urgent operational time windows. The products may be transshipped between these SRMs by temporary positioning at a storage location equipped with a guided system called Pickup-and-Delivery or P&D Station. These configurations lead to questions on the suitable trade-off between throughput and waiting time. This research aims to analyze numbers of P&D Station using a discrete event simulation model. The result suggests that the two-position P&D Station is the preferable choice, as it demonstrates significant differences compared to the single-position P&D Station in terms of higher system utilization, reduced job waiting time, and fewer queued tasks.

Keywords: Automatic Storage and Replenishment System, Dual Storage and Replenishment Machine, Picking and Delivery Station, Discrete- Event Simul

1. บทนำ

เนื่องจากปัญหาขาดแคลนแรงงานจากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างประชากร อาทิเช่น อัตราการเกิดต่ำ และ จำนวนประชากรผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้น อุตสาหกรรมโลจิสติกส์จึงประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงาน [1] โดย กระทรวงแรงงานประมาณการว่าอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ในประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2567 – 2571 จะเกิดความไม่สมดุลทางแรงงาน กล่าวคือ มีอัตราความต้องการแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5 ขณะที่ อัตราการเติบโตของปริมาณแรงงานลดลงร้อยละ 1.5 จากการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างของประชากรที่เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลในตลาดแรงงาน จึงทำให้ภาคอุตสาหกรรมรวมถึงภาคโลจิสติกส์เผชิญกับปัญหาการขาดแคลนแรงงานในระยะยาว โดยเฉพาะในงานที่ต้องใช้แรงงานจำนวนมาก เช่น งานจัดเก็บและหยิบสินค้าในศูนย์กระจายสินค้า นอกจากนี้ บรรยากาศการแข่งขันของผู้ค้าปลีกที่เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ผู้บริโภคนิยมการซื้อสินค้าจากแพลตฟอร์มออนไลน์ (Online Platform) มากขึ้น จากร้อยละ 4.9 ของมูลค่าค้าปลีกในประเทศในปี พ.ศ.2561 เป็นร้อยละ 21.3 ในปี 2566 [2] การแข่งขันด้านการค้าปลีกออนไลน์จึงเน้นไปที่การตอบสนองความต้องการที่รวดเร็ว ความสะดวกและถูกต้องในการกระจายสินค้า ประกอบกับราคาเทคโนโลยีอัตโนมัติที่มีแนวโน้มราคาลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้บริษัทค้าปลีกหลายรายเริ่มประยุกต์นำเทคโนโลยีอัตโนมัติมาใช้ในศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งสามารถลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์ ตอบสนองที่รวดเร็ว และ เพิ่มศักยภาพในการแข่งขันได้ [3]

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัตโนมัติในศูนย์กระจายสินค้ามุ่งเน้นไปยังกิจกรรมขนถ่ายวัสดุเนื่องจากใช้แรงงานมาก และ ง่ายต่อการประยุกต์หากสินค้าถูกจัดเก็บในวัสดุขนาดมาตรฐาน เช่น พาเลท หรือ ตะกร้า ตัวอย่างที่สำคัญของเทคโนโลยีอัตโนมัติในการขนถ่ายวัสดุ ได้แก่ ระบบจัดเก็บและเติมสินค้าอัตโนมัติ (Automatic Storage and Replenishment System: AS/RS) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1



ที่มา: www4.ncsc.edu/Key/mhetax

รูปที่ 1 ตัวอย่างของระบบ AS/RS [4]

ระบบ AS/RS ระบบจัดเก็บสินค้าและขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่ใช้เครนที่ทำงานจัดเก็บและหยิบสินค้าในช่องเก็บสินค้าแคบ ๆ ของพาเลทแร็ค (Pallet Rack) หรือชั้นวางสินค้าที่มีความสูง [5] ประกอบด้วย

- **ระบบขนถ่ายสินค้า (Transfer System)** เป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุที่เชื่อมการทำงานของพนักงานภายนอกระบบ AS/RS เข้ากับ เครน ภายใน ระบบ AS/RS ระบบขนถ่ายสินค้า อาจจะเป็นสายพาน หรือ รถอัตโนมัติ ขึ้นกับปริมาณงาน
- **ชั้นเก็บสินค้า** เป็นอุปกรณ์จัดเก็บสินค้าเพื่อรอการหยิบ ความสูงและความลึกของแต่ละชั้นขึ้นกับความต้องการการจัดเก็บ และปริมาณงาน โดยทั่วไป ชั้นเก็บสินค้าจะมีความสูงมากกว่า 15 เมตร เพื่อความคุ้มค่าในการลงทุน
- **เครน** หรือ เครื่องจักรจัดเก็บและเติมสินค้า (Storage and Retrieval Machine: SRM) เป็นอุปกรณ์ที่นำสินค้าจากระบบขนถ่ายสินค้าเข้าจัดเก็บในชั้นเก็บสินค้า SRM ถูกติดตั้งบนรางโลหะระหว่างชั้นเก็บสินค้าและสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งในแนวราบและแนวดิ่งพร้อมกัน

ความคุ้มค่าในการลงทุนขึ้นของระบบ AS/RS ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สภาวะแวดล้อมการทำงาน ระยะเวลาทำงานต่อวัน และ ข้อจำกัดด้านพื้นที่ของศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น ในกรณีของศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษามีข้อจำกัดด้านพื้นที่ กล่าวคือพื้นที่มีลักษณะเรียวยาวและต้องการปริมาณงานสูงจึงมีการประยุกต์ระบบ AS/RS ลักษณะพิเศษเพื่อจัดเก็บสินค้าบนพาเลทไม้ขนาด 2400x1000mm สำหรับการค้าปลีกแบบทุกช่องทาง (Omni-Channel Retailing) โดยมีเครื่อง SRM จำนวน 2 เครนทำงานในรางเดียวกัน หรือ ระบบ Dual SRM

ระบบ Dual SRM ถูกออกแบบให้รองรับพฤติกรรมการหยิบสินค้า 2 ลักษณะในเวลาเดียวกัน (1) การหยิบเพื่อจัดส่งร้านสาขา ซึ่งมีปริมาณงานเกือบสม่ำเสมอตลอด 24 ชั่วโมง เนื่องจากการแบ่งร้านสาขาในแต่ละรอบการหยิบสินค้า (Wave Picking) และ (2) การหยิบส่งค้าเพื่อบริการจัดส่ง (Delivery Service: DS) ไปยังบ้านลูกค้าในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งมีความเร่งด่วน ต้องดำเนินการในช่วงเวลาดำเนินการที่สั้น และ ปริมาณงานเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาและการทำการตลาด

ในแต่ละช่องเก็บสินค้าของระบบประกอบไปด้วย SRM 2 เครน โดยเครื่อง SRM หลักทำหน้าที่รับและขนย้ายสินค้าไปตำแหน่งจัดเก็บที่ระบุไว้ รวมถึงนำสินค้าออกจากระบบเพื่อส่งให้กับร้านสาขา จึงถูกเรียกว่า Store SRM ในขณะที่เครื่อง SRM รองจัดการคำสั่งซื้อบริการจัดส่งไปยังบ้านลูกค้า จึงถูกเรียกว่า DS SRM เนื่องจากระหว่างวันปริมาณงานของร้านสาขาและบริการจัดส่งไม่เท่ากัน ดังนั้นสินค้าอาจขนส่งระหว่าง SRM ทั้งสองโดยการวางพาเลทสินค้าในตำแหน่งสถานีรับและส่งมอบสินค้า เรียกกว่า P&D Station (Picking and Delivery Station) ซึ่งเป็นตำแหน่งจัดเก็บชั่วคราวที่มีการติดตั้งอุปกรณ์นำทางพาเลทเพื่อปรับตำแหน่งพาเลทให้เป็นมาตรฐาน ก่อนทำการเคลื่อนย้ายพาเลทสินค้าระหว่าง SRM ในรางเดียวกัน ตลอดการทำงานของระบบ

SRM แต่ละตัวจะทำหน้าที่รับผิดชอบการทำงานแต่ละฝั่งของชั้นเก็บสินค้าโดยไม่มีการเคลื่อนที่แซงกัน

ระบบ Dual SRM ยังแยกตำแหน่งจัดเก็บออกเป็น 2 ประเภทตามปริมาณสินค้า (1) ตำแหน่งจัดเก็บสินค้าเต็มพาเลท (Full Pallet) ซึ่งมีสินค้าเพียง 1 ชิ้นต่อพาเลท หรือ ไม่เคยผ่านการหยิบสินค้าออกจากระบบเลย และ (2) ตำแหน่งจัดเก็บสินค้าไม่เต็มพาเลท (Partial Pallet) ซึ่งเคยมีการหยิบและคืนกลับเข้าสู่ระบบอีกครั้ง โดยสินค้าเต็มพาเลทจะถูกจัดเก็บในบริเวณตอนกลางของชั้นจัดเก็บสินค้า ในขณะที่ สินค้าไม่เต็มพาเลท ถูกจัดเก็บในบริเวณตอนปลายของชั้นจัดเก็บสินค้าทั้งสองด้านของระบบ

นอกจากนี้ระบบ Dual SRM ยังสามารถแยกสินค้าตามช่องทางการกระจายสินค้า กล่าวคือ สินค้าชนิดเดียวกันสำหรับร้านสาขา และ สินค้าสำหรับบริการจัดส่งไปยังบ้านลูกค้า จะถูกแยกตำแหน่งและพื้นที่จัดเก็บและการจัดการและควบคุมปริมาณสินค้าออกจากกัน โดยการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บและปริมาณสินค้าขั้นต่ำในระบบ การจัดสรรสินค้าดังกล่าวดำเนินในระบบจัดการคลังสินค้า หรือ ระบบ WMS (Warehouse Management System) ซึ่งผู้จัดการคลังสินค้าสามารถเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข หรือ กำหนดให้มีการยืมสินค้าระหว่างช่องทางการกระจายสินค้าได้ เมื่อพิจารณาประเภทของสินค้า ร่วมกับ ช่องทางการกระจายสินค้า แล้ว การทำงานของระบบ Dual SRM สามารถแจกแจงกิจกรรมได้ดังต่อไปนี้

- **กิจกรรมการจัดเก็บสินค้า** สินค้าเต็มพาเลทที่รับจากผู้ผลิตจะถูกรับเข้าชั้นจัดเก็บโดย Store SRM เนื่องจากอยู่ใกล้ประตูรับ โดยการทำงานต่อไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีขึ้นอยู่กับตำแหน่งจัดเก็บและช่วงเวลา ได้แก่ (1) พาเลทสินค้าอาจถูกจัดเก็บยังตำแหน่งที่กำหนดโดย Store SRM หากอยู่ระหว่างรอบการหยิบสินค้า DS หรือ (2) พาเลทสินค้าอาจถูกจัดเก็บยังตำแหน่งที่กำหนดโดย DS SRM โดยมีการจัดเก็บชั่วคราวที่ P&D Station ก่อน หากอรรถประโยชน์ของ DS SRM ต่ำในช่วงเวลานอกรอบการหยิบสินค้า DS ในกรณีของสินค้าไม่เต็มพาเลท พาเลทสินค้าจะคืนกลับเข้าสู่ระบบ โดยถูกจัดเก็บในตำแหน่งใหม่ที่ว่างอยู่บริเวณตอนปลายของชั้นจัดเก็บโดยเครื่อง SRM ที่ทำการหยิบสินค้า
- **กิจกรรมการหยิบสินค้า** เนื่องจากสินค้าไม่เต็มพาเลทถูกจัดเก็บในบริเวณตอนปลายของชั้นจัดเก็บ ดังนั้นสินค้าไม่เต็มพาเลท จะถูกหยิบโดย SRM แต่ละฝั่ง ในทางตรงกันข้าม การหยิบสินค้าเต็มพาเลท ซึ่งจัดเก็บในตอนกลางของชั้นจัดเก็บ SRM ทั้งสองตัวอาจมีช่วยเหลือซึ่งกัน โดยการนำพาเลทสินค้าที่ต้องการจัดเก็บชั่วคราวที่ P&D Station เพื่อลดเวลาการทำงาน และ จัดสมดุลอรรถประโยชน์ เช่น DS SRM นำพาเลทสินค้าที่ร้านสาขาต้องการจัดเก็บชั่วคราวที่ P&D Station นอกรอบการหยิบสินค้า DS ก่อน เพื่อเพิ่มอรรถประโยชน์ และลดระยะการเคลื่อนที่ของ Store SRM เป็นต้น
- **กิจกรรมการเคลื่อนย้ายสินค้าในชั้นเก็บ** นอกเหนือจากกิจกรรมการจัดเก็บสินค้า และ การหยิบสินค้าแล้ว หากปริมาณสินค้าเต็มพาเลท ของแต่ละฝั่งต่ำกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ ระบบอาจกำหนดให้ DS SRM ช่วยเคลื่อนย้ายสินค้าในชั้นเก็บไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อตอบสนองกับความต้องการในอนาคต

จากลักษณะกิจกรรมที่ซับซ้อนดังกล่าวในข้างต้น คณะผู้วิจัยทำให้เกิดคำถามเกี่ยวกับอรรถประโยชน์ของ SRM ในแต่ละรอบการหยิบสินค้า และ การใช้งาน P&D Station ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้การจำลองสถานการณ์แบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation) ด้วยโปรแกรม Simio [6] วิเคราะห์จำนวน P&D Station ที่เหมาะสมเพื่อให้เวลาการทำงานและเวลาการทำงานของเครื่อง SRM สมดุลกัน

เพื่อเป็นพื้นฐานก่อนการนำเสนอการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ คณะผู้วิจัยใคร่ขอทบทวน ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ AS/RS

ระบบ AS/RS ได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายในสภาพแวดล้อมการกระจายสินค้าและการผลิต นับตั้งแต่มีการนำมาใช้ครั้งแรกในช่วงทศวรรษ 1950 การใช้ระบบ AS/RS มีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่ได้ใช้ระบบอัตโนมัติ ตัวอย่างเช่น การประหยัดต้นทุนแรงงานและพื้นที่ใช้สอยที่ลดลง เพิ่มความน่าเชื่อถือ และลดอัตราความผิดพลาด [7]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีนักวิจัยได้พัฒนาการออกแบบและการควบคุม AS/RS หลายด้าน เช่น การศึกษาความเชื่อถือได้ของระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลและการกำหนดค่าของปัจจัยของระบบ AS/RS โดยสร้างแบบจำลองสถานการณ์ [8] การแยกส่วนสำหรับระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติแบบรถรับส่งคู่ เพื่อลดเวลาการรอคอยที่มีลำดับความสำคัญสำหรับคำขอการจัดเก็บและเรียกคืน [9] การเพิ่มประสิทธิภาพการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บสำหรับระบบ AS/RS แบบ Unit-Load ที่ใช้รถรับส่งคู่เพื่อลดระยะทางการเดินทางและเวลาการเดินทางให้สั้นที่สุด [10] แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพสองระดับสองวัตถุประสงค์สำหรับการจัดชั้นเก็บสินค้าและการจัดตารางเครนรับส่งคู่ในระบบ AS/RS โดยคำนึงถึงการใช้พลังงาน ความสมดุลของปริมาณงาน และกรอบเวลาการทำงาน เพื่อลดต้นทุนรวม ลดการใช้พลังงานและลดเวลาการเดินทางรวม [11] ระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติแบบหลายรถรับส่ง เพื่อลดเวลาการเดินทาง [12]

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการออกแบบและการควบคุม AS/RS สามารถนำประยุกต์ใช้และแก้ปัญหาได้ ดังนั้นในบทความนี้ผู้วิจัยจึงเลือกและนำหลักการมานำเสนอและประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบ

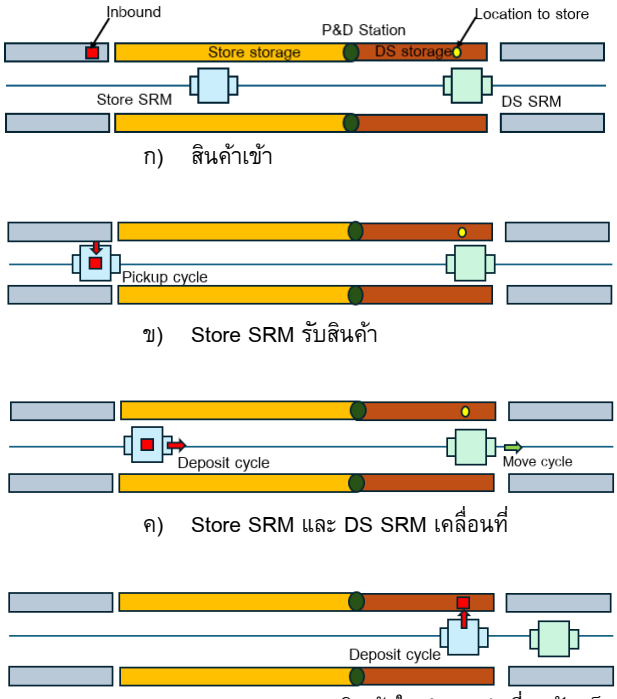
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ เริ่มต้นจากการศึกษาหลักการทำงานของเครนจัดเก็บและเติมสินค้า (SRM) ภายในระบบ Dual SRM

เพื่อให้เข้าใจรูปแบบการทำงานร่วมกันของ Store SRM และ DS SRM จากนั้นจึงดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกรณีศึกษา โดยมุ่งเน้นข้อมูลเชิงปริมาณเกี่ยวกับจำนวนการรับสินค้าเข้าและการเบิกสินค้าเฉลี่ยในแต่ละประเภท เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์แบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง ที่สะท้อนลักษณะการทำงานจริงของระบบ Dual SRM ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ ต่อมาได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์จากแบบจำลองสถานการณ์ ก่อนนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของจำนวน P&D Station ที่เหมาะสม

3.1 การทำงานของเครน

การทำงานของระบบ Dual SRM AS/RS ประกอบด้วยขั้นตอน ดังรูปที่ 2



ก) สินค้าเข้า

ข) Store SRM รับสินค้า

ค) Store SRM และ DS SRM เคลื่อนที่

ง) Store SRM วางสินค้าในตำแหน่งที่จะจัดเก็บ

รูปที่ 2 รูปแบบการทำงานของเครน

จากรูปที่ 2 แสดงตัวอย่างรูปแบบการทำงานของเครน ซึ่งอธิบายการทำงานของเครนได้ดังนี้

ก) **สินค้าเข้า** หลังจากที่รับสินค้าจากผู้ผลิต สินค้าจะถูกวางที่พื้นที่รับสินค้า

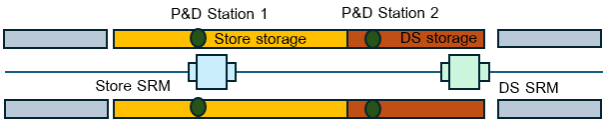
ข) **Store SRM รับสินค้า** Store SRM เคลื่อนที่เพื่อรับสินค้าจากพื้นที่รับสินค้า

ค) **Store SRM และ DS SRM เคลื่อนที่** หลังจากที่รับสินค้า Store SRM เคลื่อนที่พร้อมกับสินค้าและ เนื่องจากพื้นที่ที่จะวางสินค้าถูกขัดขวางด้วย DS SRM ดังนั้น DS SRM จึงต้องเคลื่อนที่ด้วย

ง) **Store SRM วางสินค้าในตำแหน่งที่จะจัดเก็บ** Store SRM พร้อมสินค้าเคลื่อนที่มายังตำแหน่งที่จะจัดเก็บสินค้าเพื่อวางสินค้า

นอกจากตัวอย่างการทำงานของเครนที่กล่าวมาข้างต้นแล้วซึ่งเป็นกรณีที่รับสินค้าเข้ามาแล้วนำเข้าไปเก็บทันที เป็นช่วงเวลาที่มีงานทั้งด้าน Store และ ด้าน DS อีกกรณีหนึ่งคือรับสินค้าแล้วมีการรอของสินค้าเกิดขึ้นแล้วจึงไปเก็บ ซึ่งเกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาที่มีงานเฉพาะด้าน Store ซึ่ง Store SRM จะส่งสินค้าของด้าน DS ที่ P&D Station ก่อนที่ DS SRM จะนำไปเก็บยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งหากวิเคราะห์จำนวน P&D Station ที่เหมาะสมเพื่อให้เวลาการทำงานและเวลาการทำงานของเครื่อง SRM สมดุลกัน

3.2 การจัดวาง P&D Station 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 3 การจัดวาง P&D Station 2 ตำแหน่ง

การวาง P&D Station สองตำแหน่ง คือที่จุด 25% ของเส้นทางหนึ่งจุด และที่จุด 75% ของเส้นทางอีกหนึ่งจุด

3.3 เครื่องมือ

เครื่องมือในโปรแกรม Simio ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วยดังนี้

- เครื่องมือ Source ทำหน้าที่เป็นจุดกำเนิดสินค้า จากการเก็บข้อมูลมีสินค้าเต็มพาเลทที่เข้ามาเฉลี่ยต่อวัน คือ 305 พาเลท/วัน
- เครื่องมือ Entity ใช้แทนสินค้าสินค้า โดย Entity จะถูกกำเนิดจาก Source
- เครื่องมือ Server เป็นเครื่องมือที่ใช้จำลองกระบวนการที่มีการประมวลผล สำหรับงานวิจัยนี้ ในระบบที่มี P&D Station 1 ตำแหน่ง ประกอบไปด้วย Server 5 ตัว แทนพื้นที่จัดเก็บสินค้าเต็มพาเลทด้าน Store 1 ตัว , พื้นที่จัดเก็บสินค้าไม่เต็มพาเลทด้าน Store 1 ตัว, พื้นที่จัดเก็บสินค้าเต็มพาเลทด้าน DS 1 ตัว, พื้นที่จัดเก็บสินค้าไม่เต็มพาเลทด้าน DS 1 ตัวและ P&D Station 1 ตัว ส่วนระบบที่มี P&D Station 2 ตำแหน่ง ประกอบไปด้วย Server 6 ตัว แทน พื้นที่จัดเก็บสินค้าเต็มพาเลทด้าน Store 1 ตัว, พื้นที่จัดเก็บสินค้าไม่เต็มพาเลทด้าน Store 1 ตัว, พื้นที่จัดเก็บสินค้าเต็มพาเลทด้านDS 1 ตัว, พื้นที่จัดเก็บสินค้าไม่เต็มพาเลทด้าน DS 1 ตัว และ P&D Station 2 ตัว จากการเก็บข้อมูลมีด้านฝั่ง Store มีการหยิบสินค้าเต็มพาเลทเฉลี่ย16 พาเลท/วัน สินค้าไม่เต็ม

พาเลทเฉลี่ย 41 พาเลท/วัน ด้านฝั่ง DS มีการหยิบสินค้าเต็มพาเลทเฉลี่ย 26 พาเลท/วัน สินค้าไม่เต็มพาเลทเฉลี่ย 35 พาเลท/วัน

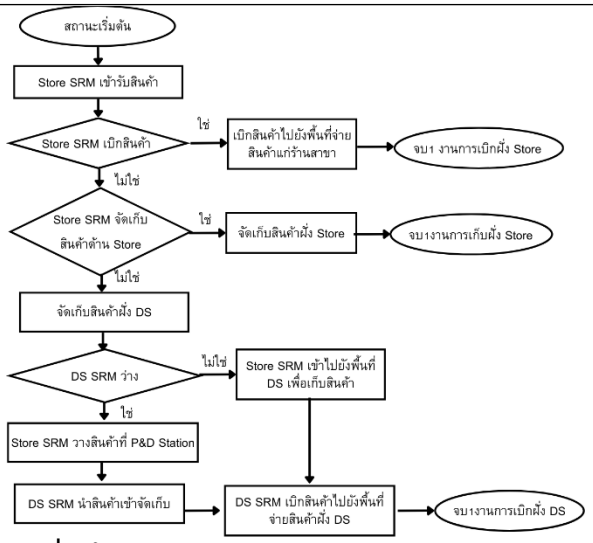
- เครื่องมือ Vehicle ใช้จำลองการขนส่งสินค้า ระหว่างจุดต่าง ๆ ในระบบ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือ Vehicle 2 ตัวแทน Store SRM และ DS SRM โดยกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ 160 เมตร/นาที
- เครื่องมือ Sink เป็นเครื่องมือที่ใช้ทำลาย Entities โดยงานวิจัยนี้มี Sink 2 ตัว แทนจุดรับสินค้าฝั่ง Store และจุดรับสินค้าฝั่ง DS
- เครื่องมือ Path ในกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของ SRM ซึ่งมีระยะทางรวม 270 เมตร

3.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์

งานวิจัยนี้สร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ Dual SRM โดยพิจารณาการจัดวาง P&D Station ในสองรูปแบบ ได้แก่

1. การวาง P&D Station ตำแหน่งเดียวที่จุดกึ่งกลางระหว่าง Store SRM และ DS SRM
2. การวาง P&D Station สองตำแหน่ง คือที่จุด 25% ของเส้นทางหนึ่งจุด และที่จุด 75% ของเส้นทางอีกหนึ่งจุด

แบบจำลองสถานการณ์ประยุกต์ข้อมูลปริมาณสินค้าที่เข้าและสินค้าที่ต้องการทั้งฝั่ง Store และ DS ซึ่งโครงสร้างและการจัดวางระบบนี้เริ่มต้นจากสินค้าเข้าสู่พื้นที่จัดเก็บสินค้าเต็มพาเลท Store SRM เข้ารับสินค้า หากมีคำสั่งซื้อสินค้าด้าน Store เพื่อส่งแก่ร้านค้าสาขา Store SRM จะเบิกสินค้าซึ่งการเบิกสินค้ามี 2 รูปแบบคือ การเบิกสินค้าแบบ Full Pallet และการเบิกสินค้าแบบ Partial Pallet ระบบจะเบิกสินค้าบางส่วน สินค้าที่ถูกเบิกจะถูกส่งต่อไปยังพื้นที่จ่ายสินค้าแก่ร้านสาขาเพื่อส่งไปยังสาขาต่อไป และ Store SRM มีหน้าที่จัดเก็บสินค้าทางฝั่งของ Store อีกทั้ง Store SRM สามารถทำงานร่วมกับ DS SRM เพื่อให้สินค้าไปอยู่ฝั่ง DS แต่ถ้าหาก DS SRM ว่าง Store SRM ต้องพักสินค้าที่ P&D Station ก่อนที่ DS SRM จะมารับที่ P&D Station แบบจำลองสถานการณ์อาจพิจารณาให้สินค้าวางที่จุด P&D Station ซึ่งโครงสร้างและการจัดวางระบบแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 4 โครงสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของระบบ Dual SRM

4. ผลการทดลอง

ผลการจำลองสถานการณ์จำนวน 30 Replications ด้วยโปรแกรม Simio เก็บข้อมูลอรรถประโยชน์ ระยะเวลารอของงานและจำนวนงานที่รอรับที่ฝั่ง DS ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้เวลาในการจำลองสถานการณ์การทำงาน 24 ชั่วโมง หลังจากกำหนดช่วงเวลาที่จะเข้าสู่สภาวะคงตัว (Warm-up Period) ทำโดยการจำลองสถานการณ์ในปัจจุบัน 1,440 ชั่วโมง และเก็บผลของค่าอรรถประโยชน์ของ SRM แบบจำลองสถานการณ์ ช่วง Warm-up Period ของการจำลองสถานการณ์อยู่ที่ 120 ชั่วโมง ซึ่งค่าเฉลี่ยผลการทดลองจากแบบจำลองสถานการณ์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบจำนวน P&D Station ทั้งสองแบบ

ตัวชี้วัด	จำนวน P&D Station	
	1 ตำแหน่ง	2 ตำแหน่ง
อรรถประโยชน์ของ SRM (ร้อยละ)	0.80±0.004	0.83±0.002
ระยะเวลารอของงาน (นาที)	6.57±0.87	5.32±0.73
จำนวนงานที่รอ (พาเลท)	3.86±0.09	2.94±0.05

5. การตรวจสอบถูกต้องของแบบจำลองสถานการณ์

แบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้นจะถูกทำการทดสอบความถูกต้องก่อนนำไปประยุกต์ใช้งาน ด้วยการทดสอบสมมติฐานสองทาง (Two-Tailed Hypothesis Test หรือ t-test) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel วิเคราะห์ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตัวชี้วัดของระบบระหว่าง P&D Stationจำนวน 1 ตำแหน่ง และ 2 ตำแหน่ง คณะผู้วิจัยกำหนดสมมติฐานทางสถิติดังนี้

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดไม่แตกต่างกัน)

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดแตกต่างกัน)

โดยที่

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดเมื่อใช้ P&D Station 1 ตำแหน่ง

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดเมื่อใช้ P&D Station 2 ตำแหน่ง

ผลการทดสอบ t-test การเปรียบเทียบระบบที่มี P&D Station 1 ตำแหน่ง กับ 2 ตำแหน่ง แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบ สำหรับการเปรียบเทียบระบบที่มี P&D Station 1 ตำแหน่ง กับ 2 ตำแหน่ง

ตัวชี้วัด	ค่า p-value
อรรถประโยชน์ของ SRM	6.43×10^{-34}
ระยะเวลารอของสินค้า	1.34×10^{-7}
จำนวนพาเลทที่รอในระบบ	6.75×10^{-41}

จากการวิเคราะห์ด้วยการทดสอบ t-test สำหรับตัวชี้วัดที่สำคัญ ได้แก่ อรรถประโยชน์ของระบบ ระยะเวลารอของสินค้า และจำนวนพาเลทที่รอ พบว่าค่า p-value ของทั้งสามตัวชี้วัดมีค่าน้อยกว่า 0.05 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ได้ในทุกกรณี ซึ่งบ่งชี้ว่า ระบบที่ใช้ P&D Station จำนวน 2 ตำแหน่งมีค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดแตกต่างจากระบบที่ใช้เพียง 1 ตำแหน่งอย่างมีนัยสำคัญ และแสดงประสิทธิภาพที่ดีกว่าในเชิงการลดเวลารอ ลดปริมาณงานที่รอ และเพิ่มอรรถประโยชน์ของระบบ

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากปัญหาการขาดแคลนแรงงานและเพื่อการตอบสนองที่รวดเร็ว ลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์ ศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษาจึงได้ประยุกต์ใช้ AS/RS ที่เป็นระบบ Dual SRM มาใช้ตามลักษณะศูนย์กระจายสินค้าเรียวยาว

จากการวิเคราะห์จำนวน P&D Station ด้วยแบบจำลองสถานการณ์ พบว่าจำนวน P&D Station 2 ตำแหน่ง มีอรรถประโยชน์ที่มากกว่า ระยะเวลารอของงานและจำนวนงานที่รอน้อยกว่าระบบที่มี P&D Station 1 ตัว จึงควรเลือก P&D Station 2 ตำแหน่ง ทั้งนี้ยังไม่ได้ศึกษาเรื่องต้นทุน

นอกจากปัจจัยด้านการกำหนดจำนวน P&D Station ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผล เช่น ปัจจัยด้านนโยบายการกำหนดลำดับความสำคัญงานของแต่ละประเภท เป็นต้น ซึ่งสามารถนาเข้ามาพิจารณาเพิ่มเติมสำหรับการทดลองในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคุณชัยยุทธ กรัณยโสภณ และ คุณวรา ปัทมาลัย ที่อำนวยความสะดวกในการเข้าไปศึกษากระบวนการทำงานศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักปลัดกระทรวงแรงงาน กองวิจัยตลาดแรงงาน, รายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลอุปสงค์และอุปทานแรงงานระดับประเทศประจำปีงบประมาณพ.ศ.2566 ข้อมูลจาก https://www.mol.go.th/wp-content/uploads/sites (วันที่สืบค้นข้อมูล 6 มกราคม 2568)

[2] Euromonitor International. 2024 “Retail in Thailand”. Online document -com.chula.idm.oclc.org/Analysis/Tab accessed on Dec 26, 2024

[3] สำนักปลัดกระทรวงพาณิชย์. ธนาคารแห่งประเทศไทย, สังคมสูงวัยกับความท้าทายของตลาดแรงงานไทย, ข้อมูลจาก https://www.dop.go.th/download/knowledge/th1614761244-457_0.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 6 มกราคม 2568)

[4] M. Kay. “Material handling equipment”. Online document https://people.engr.ncsu.edu/kay/Material_Handling_Equipment.pdf, 2012. accessed on Feb 4, 2025

[5] โอพาร กิตติธีรพรชัย. คลังสินค้าและการจัดการคลังสินค้า, พิมพ์ครั้งที่ 2, โรงพิมพ์สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2565.

[6] Simio. “Simio Software Products” (2025.January). Online document https://www.simio.com/ accessed on Dec 16, 2024

[7] Roodbergen, Kees Jan, and Iris FA Vis. 2009. "A survey of literature on automated storage and retrieval systems." European journal of operational research, Vol. 194 (2): 343-362.

[8] K. Lewczuk, “The study on the automated storage and retrieval system dependability,” Maintenance and Reliability, vol. 23, no. 4, pp. 709-718,

[9] T. Wauters a, F. Villa, J. Christiaens, R. Alvarez-Valdes, and Greet Vanden Berghe 2016. “Decomposition approach to dual shuttle automated storage and retrieval systems,” Computers & Industrial Engineering, Vol. 101: 325-337.

[10] M. Cunkas and O. Ozer. 2019. “Optimization of location assignment for unit-load as/rs with a dual-shuttle,” International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, Vol. 7 (2): 66-71.

[11] H. Habibi, H. Haleh, S.M. Hadji Molana and F.M. Sobhani “A Bi-Level Bi-Objective optimization model for the integrated storage classes and dual shuttle cranes scheduling in AS/RS with energy consumption, workload balance and time windows," Journal of Cleaner Production, 2020.

[12] A.Mostofi and H.Erfanian. 2018. "Multi-shuttle automated storage and retrieval system," Industrial Engineering, Vol. 4(1): 12-20.

Developing a Conceptual Framework to Assess Export Readiness of Thai Processed Food Industry SMEs in the Chiang Mai Province

Xaythasone Malivanh[1], Phavika Mongkolkittaveepol, Ph.d.[2*]
[1]Department of Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
E-mail: Xaythasone_m@cmu.ac.th*, phavika.m@cmu.ac.th

Abstract

Small and medium-sized enterprises (SMEs) in the processed food industry in Thailand significantly contribute to the national economy, with food exports valued at approximately 1.274 trillion THB in 2022. However, international expansion remains challenging due to logistical constraints, regulatory compliance, limited market positioning, and technological adoption. The Thai government aims to position the country among the top ten processed food exporters by 2027, emphasizing the need for SMEs to enhance their export capabilities. Chiang Mai, a key hub for processed food SMEs in northern Thailand, faces additional barriers such as high production costs and infrastructure limitations. Assessing export readiness is crucial for SMEs seeking to compete globally. However, current assessment models either lack contextual relevance to Thailand or fail to integrate both strategic and operational dimensions highlighting a critical gap this research aims to fill. To address this gap, this study develops an integrated assessment model using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Balanced Scorecard (BSC). The framework categorizes key internal and external factors influencing export readiness, aligning them with BSC's four perspectives: Financial, Customer, Internal Business Processes, and Learning & Growth. AHP structures and prioritizes these factors, facilitating systematic decision-making. This paper presents the initial development of the conceptual framework, which will be refined through expert validation and stakeholder input. The proposed model serves as a strategic tool for SMEs to assess their strengths, identify areas for improvement, and align specific global market demands such as food safety standards, international certifications (e.g., HACCP, ISO), and traceability requirements. It also fills a literature gap by offering a multidimensional assessment framework integrating operational and strategic factors. Future research will focus on empirical validation and benchmarking applications to support SME internationalization. The findings provide insights for policymakers and industry stakeholders to develop targeted interventions for enhancing SME export competitiveness.

Keywords: SME, Export readiness, Processed food industry, Analytic hierarchy process, Balanced scorecard.

1. Introduction

Thailand's processed food industry significantly contributes to employment and trade. Chiang Mai, a key northern hub, supports a vibrant ecosystem of processed food SMEs. However, high production costs, regulatory barriers, and infrastructure issues hinder their global competitiveness.

Export readiness, defined as the ability of SMEs to engage in international trade with adequate resources, competencies, and strategy, is key to overcoming export barriers and identifying areas for improvement. However, existing tools such as the Short-Term Export Performance (STEP), and competitiveness indices often target large firms in developed economies. These models follow a one-size-fits-all design, lacking sensitivity to local or sector-specific conditions. They also overlook strategic and operational aspects such as internal efficiency, organizational learning, and customer relationship management, which are vital for SMEs facing complex export environments [1-2].

To bridge this gap, this study introduces a framework integrating AHP and BSC to assess SME export readiness. AHP prioritizes key factors, while BSC provides a structured base

tailored to the processed food sector, The model focuses not only on initial readiness but also long-term sustainability, strategic alignment, and market engagement.

This research addresses the following key question: What are the key strategic and operational factors that influence the export readiness of processed food SMEs in Chiang Mai, and how can these be systematically assessed using an integrated AHP-BSC framework?

The research develops a conceptual framework to evaluate export readiness among processed food SMEs in Chiang Mai. Integrating AHP and BSC, it offers a tool to assess export potential, address barriers, and align strategies with global demands. A comprehensive literature review will also examine existing frameworks, common challenges, key factors, and policy measures supporting SME internationalization in the processed food sector.

2. Literature review

2.1. Export Readiness: Definition and Key Determinants

Export readiness is an SME's ability to engage in international trade across financial, operational, managerial, and regulatory areas [3]. Firms with strategic adaptability, international marketing skills, and strong operations tend to perform better in global markets [4]. These capabilities help SMEs meet international standards, adapt to changes, and compete globally. Export readiness is a dynamic process shaped by internal factors like finance, human capital, and technology, as well as external factors such as trade policies, market access, and global trends [5-7]. Due to this complexity, structured tools are essential to evaluate readiness and guide improvement. Combining AHP and BSC supports a multidimensional assessment and helps ensure long-term export sustainability.

2.2. Theoretical Foundations

2.2.1. Analytic Hierarchy Process (AHP) in Assessment

The Analytic Hierarchy Process (AHP), developed by Saaty (1980), is a multi-criteria decision-making (MCDM) tool that breaks down complex problems into a hierarchy of decisions [8-9]. In exports and logistics, AHP helps evaluate both qualitative and quantitative trade-offs, such as financial stability, compliance, and market adaptability [10]. It is especially relevant for SMEs dealing with limited resources and fragmented data. Hybrid approaches like MDM–AHP have enhanced decision-making in areas like IT and risk management [11]. AHP's flexibility makes it suitable for assessing the diverse factors affecting Thai SME export readiness.

This study applies AHP to processed food SMEs, which often involve non-technical stakeholders. It enables systematic prioritization, while BSC organizes these factors across four strategic dimensions. While other MCDM methods exist, AHP offers a balanced mix of usability, participation, and contextual fit.

2.2.2 Balanced Scorecard (BSC) as a Strategic Framework

BSC, developed by Kaplan and Norton (1998), offers a structured framework for evaluating organizational performance across four key dimensions: Financial, Customer, Internal Processes, and Learning & Growth [12]. As a strategic tool, BSC enables a holistic assessment of business capability. This study applies the BSC framework to synthesize literature and identify key criteria for evaluating export readiness among SMEs in the processed food sector. Figure 1 demonstrates how BSC supports a comprehensive and systematic analysis of export capability.

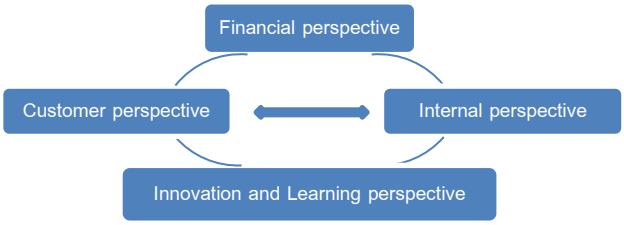


Figure 1 The Balanced Scorecard 1.0
Source: [13]

Empirical studies emphasize that SMEs with formalized BSC frameworks achieve higher export performance by enhancing alignment between strategic planning and execution [14]. This study integrates internal and external determinants, aligning them with strategic performance management principles.

2.2.3 Factors Influencing SME Export Readiness

Based on prior research [14-15], export readiness is influenced by internal and external factors, which are structured within the BSC framework. These factors shape an SME's ability to compete globally and sustain growth by assessing resource management, regulatory compliance, innovation capacity, and market positioning. Internal factors reflect the firm's capabilities and resources essential for operational effectiveness and competitiveness. They are grouped into three core dimensions: Operational Efficiency (OE), Innovation and Development (ID), and Entrepreneurial Capacity (EC), each comprising specific sub-factors as shown in Table 1.

Table 1 Model for Internal capacity factors for export readiness.

	Main	Sub	Definition
Internal Capacity	OE	PE	Maximizing output, minimizing waste, ensuring quality.
		CM	Optimizing resource for profitability.
		TE	Reducing production delays.
		IM	Balancing supply and demand.
	ID	PDI	Developing/improving products.
		PI	Improving production methods.
		TI	Adopting advanced technologies.
		NON-TI	Enhancing business strategies.
	EC	MC	Owner's investment in export activities.
		SA	Ability to adapt strategies for market inter-demand.
		OC	Managing internal resources.
		TIF	Using tech to enhance business.
		RTB	Willingness to take risks to gain benefit.

Table 2 external capacity factors for export readiness.

	Main	Sub	Definition
External Capacity	MK	BR	Trustworthiness among buyers.
		MP	Competitive differentiation.
		MO	Market intelligence for strategy.
	RE	CIS	Meeting ISO, HACCP, etc.
		EDC	Preparing necessary export paperwork and certifications.
		ISU	Leveraging government facilitate.
		TSS	Supply chain transparency.
		RC	Adhering to trade laws.
		RA	Adapting ability to changing regulations
	CB	TRQ	Building strong partnerships.
		NO	Expanding market connections.
		CE	Effective stakeholder engagement
		SE	Industry and government cooperation
		SGI	Financial and training assistance

Operational Efficiency (OE) includes Production Efficiency (PE), Cost Management (CM), Time Efficiency (TE), and Inventory Management (IM). PE emphasizes high output with minimal waste. CM optimizes resources for profitability. TE reduces delays in production, while IM balances supply and demand. Innovation and Development (ID) is critical for enhancing SMEs' adaptability and sustaining competitiveness in dynamic markets. It includes four sub-dimensions: Product Innovation (PDI), Process Innovation (PI), Technological Innovation (TI), and Non-Technological Innovation (NON-TI), all supporting market responsiveness. Entrepreneurial Capacity (EC) is vital for managing the complexities of international expansion, reflecting leadership, strategic vision, and adaptability within SME management. Key sub-factors include Managerial Commitment (MC), Strategic Adaptability (SA), Organizational Capacity (OC), Technological Infrastructure (TIF), and Risk-Taking Behavior (RTB). Systematic evaluation of these elements helps SMEs identify strengths and weaknesses, supporting the development of strategies for export growth, and enhancing their ability to align with market demands and conditions.

External factors reflect the broader business environment that shapes SME export readiness. These are categorized into three main dimensions: Market (MK), Regulatory Environment (RE), and Collaboration (CB), each comprising specific sub-factors as outlined in Table 2. These dimensions interact with internal capabilities and often determine the opportunities and constraints that SMEs face when entering international markets, especially in a dynamic and competitive global trade environment.

Market (MK) affects competitiveness and positioning in foreign markets. Key sub-factors under this category include Brand Reputation (BR), Market Position (MP), and Market Orientation (MO). A strong market presence enhances credibility and facilitates international expansion. The Regulatory Environment (RE) determines SMEs' ability to meet legal requirements and trade regulations. Compliance with international standards helps overcome barriers and improve global operations. Key sub-factors include Compliance with Compliance with International Standards (CIS), Export Documentation & Certification Readiness (EDC), Institutional Support Utilization (ISU), Traceability & Safety Standards (TSS), Regulatory Compliance (RC), and Regulatory Adaptability (RA). Collaboration (CB emphasizes the importance of partnerships and networks in internationalization. This dimension includes Trust & Relationship Quality (TRQ), Networking Opportunities (NO), Communication Effectiveness (CE), Stakeholder Engagement (SE), and Support from Government and Institutions (SGI). Strong collaboration improves access to market intelligence, resources, and adaptability to industry changes. external factors allows SMEs to identify both opportunities and challenges in their export readiness strategies. As Table 2 presents a structured overview of the external dimensions and their associated sub-factors.

3. Methodology

This study uses a structured process and mixed-methods approach to develop and validate a framework for assessing export

readiness among processed food SMEs in Chiang Mai. First, the index of item objective congruence (IOC) method, validated by five academic experts in SME development and international business, along with five experienced SME exporters. This ensures both theoretical depth and practical applicability. Subsequently, a separate group of SME owners applies the AHP to prioritize the validated criteria. These are then mapped onto the four BSC perspectives for strategic analysis. Finally, a Likert-scale survey based on AHP results is used to benchmark readiness across SMEs at different export stages (pre-, post-, and non-exporting). This survey supports self-assessment and guides internationalization strategies.

3.1 Literature review

A comprehensive literature review was conducted to establish the theoretical foundation of this study. Key research on export readiness, trade barriers, and SME internationalization strategies was analyzed to identify factors influencing export preparedness. AHP and BSC were reviewed for their suitability in assessing readiness. Reports from trade organizations, government agencies, and industry bodies ensured the framework reflects real-world conditions in the processed food sector.

3.2 Framework Development using AHP and BSC

The development of the conceptual framework follows a structured decision-making approach, integrating AHP and BSC to systematically assess SME export readiness. AHP structures and prioritizes internal and external factors into a hierarchy of criteria and sub-criteria for data-driven evaluation. BSC aligns these factors across four dimensions: Financial Performance, Customer Engagement, Internal Processes, and Learning & Growth. The Financial dimension includes CM, MC, and SGI, emphasizing cost efficiency, managerial commitment, and financial support. The Customer dimension comprises BR, MP, MO, TRQ, and NO, highlighting market orientation and relationship-building. Internal Business Processes include PE, TE, IM, CIS, EDC, RC, and TSS, focusing on operational efficiency and regulatory compliance. The Learning and Growth dimension captures innovation, adaptability, and long-term development through PDI, PI, TI, NON-TI, SA, OC, TIF, ISU, RA, RTB, and CE. This integrated model helps SMEs assess readiness, pinpoint gaps, and improve strategic alignment for global competitiveness.

3.3 Expert Validation using IOC

Expert validation is conducted using IOC, a widely recognized method for assessing questionnaire content validity [16]. Five academic experts and five SME specialists in export related fields will rate the criteria using a three-point scale: +1 (clearly measures the objective), 0 (unclear), and –1 (does not measure the objective). The IOC for each item is calculated using the formula:

$$\mathrm{IOC} = \frac{\sum \mathrm{R}}{\mathrm{N}} \quad (1)$$

When IOC refers to the Index of Item-Objective Congruence, its value ranges between -1 and +1, $\sum R$ represents the total score given by the experts, and N refers to the number of experts involved in the evaluation (1). An IOC score of $\geq$ 0.50 indicates acceptable content validity (retain the item), while scores below 0.50 are typically rejected or removed.

This method retains only relevant criteria, increasing the framework's reliability and real-world fit. It supports empirical validation and helps SMEs align strategies with global demands.

4. Discussion

4.1 AHP-Based Hierarchical Framework for SME Export Readiness

This study develops a conceptual model using AHP to categorize and prioritize internal and external factors influencing export capabilities. Integrating AHP with BSC framework provides a hierarchical structure that aligns export readiness factors with key strategic business dimensions. The model goes beyond measurement, it clarifies relationships among key readiness determinants. The hierarchy logically organizes criteria and sub-criteria to support comprehensive understanding. Figure 3 illustrates the model for assessing SME preparedness for international expansion.

4.2 Hierarchical Structure and Factor Categorization

The AHP framework groups export readiness into six criteria, aligned with the BSC. These are divided into sub-criteria to show their relationships and contribution to preparedness. Validation involves expert review and empirical testing using pairwise comparisons. This approach ensures the model accurately reflects SME challenges and offers actionable insights for improving international trade performance.

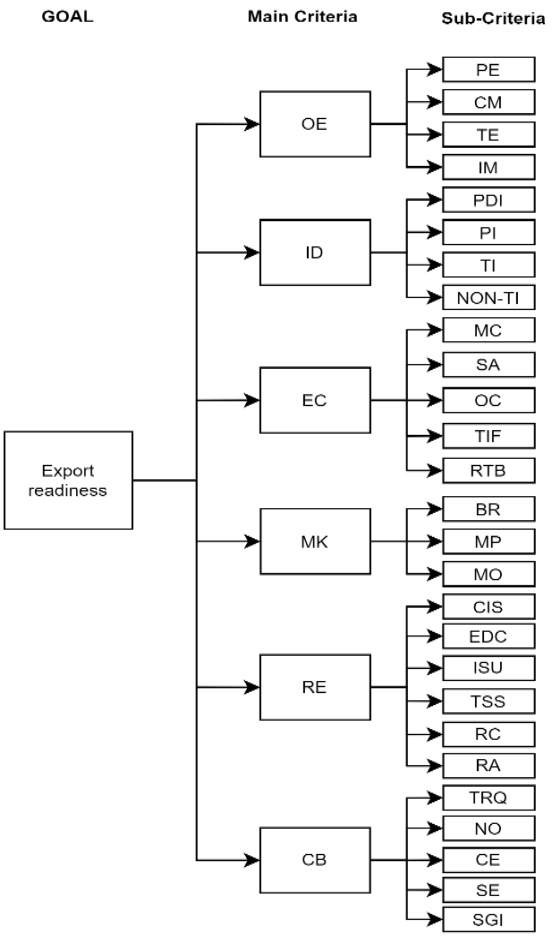


Figure 3 Framework of Factors Related to Export Readiness

Although Figure 3 does not explicitly map criteria to BSC perspectives, each factor aligns with one of its four dimensions. The Financial perspective includes CM, MC, and SGI, reflecting cost efficiency, managerial investment in exports, and institutional support. The Customer perspective includes BR, MP, MO, TRQ, and NO, covering branding, market positioning, customer orientation, and relationship development. The Internal Business Process perspective comprises PE, IM, TE, CIS, EDC, RC, and TSS, focusing on operational efficiency and regulatory compliance. Finally, the Learning & Growth perspective includes PDI, PI, TI, NON-TI, SA, OC, TIF, ISU, RA, RTB, and CE, addressing innovation capacity, adaptability, technology use, and long-term development.

After defining these dimensions, AHP is used to assign priority weights based on SME owner judgments. The weighted results highlight critical dimensions and sub-criteria. These weights inform a Likert-scale survey distributed to processed food SMEs in Chiang Mai, enabling a detailed assessment of BSC dimension impacts on export readiness. The findings help policymakers and support agencies identify key barriers whether financial, customer-related, internal inefficiencies, or strategic limitations and guide targeted interventions for sustainable export support strategies.

4.3 Validation and Empirical Testing

Following the development of the conceptual model, empirical validation will be conducted using pairwise comparisons with SME participants involved in international trade and processed food activities, ensuring the relevance of the findings.

Participants compare criteria using Saaty's 1–9 scale based on relative importance. The normalized eigenvector of each matrix represents the priority weights, For example, preliminary expectations based on initial SME feedback suggest that factors such as PDI weight $\approx$ 0.260 and EDC weight $\approx$ 0.210 may emerge as the most critical elements influencing export readiness. These indicative results are intended to visualize the likely outcome of the AHP process and will be further validated through full-scale data collection.

To ensure reliability, analysis include Consistency Ratio (CR): Ensuring that paired comparisons maintain logical coherence, with a CR value of $\leq$ 0.10 indicating acceptable consistency. The Consistency Index (CI): Measuring the degree of logical consistency in the pairwise comparisons. Then, Random Index (RI), a accounting for variations in judgment, ensuring decision-making is systematic and data driven. These metrics improve model reliability and produce valid export readiness insights.

Beyond AHP analysis, benchmarking to compare SME performance against industry leaders at the provincial and national levels, identifying strengths, weaknesses, and key areas for improvement. A structured scoring system determines factor importance, enabling systematic export readiness evaluation.

5. Conclusion and Future Research Directions

This study presents a reliable framework for assessing SME export readiness by integrating AHP and benchmarking methodologies. The conceptual model prioritizes key factors and evaluates SME performance, providing a practical decision-making tool. Expert validation ensures relevance, while benchmarking highlights performance gaps and guides strategic improvement. This structured approach helps SMEs navigate export challenges, align with best practices, and enhance global competitiveness.

The findings are particularly valuable for Thai processed food SMEs, a vital sector in the economy and trade The framework helps firms identify strengths, optimize resources, and improve planning for international expansion. In the face of growing global competition, this evaluation enhances compliance with international standards, operational efficiency, and market positioning.

Additionally, this study fills a literature gap by creating a multidimensional framework combining AHP and BSC. Prior research often lacks comprehensive models linking internal and external factors, limiting SMEs' ability to assess readiness. The proposed model clarifies relationships between export success factors, enhancing both theoretical understanding and providing a practical tool for policymakers and stakeholders.

After data collection and analysis, the study will assess SME export readiness, identifying key challenges and improvement areas. It will offer practical recommendations for policymakers, stakeholders, and SME to boost export competitiveness. Findings will inform strategies for training, technology, and policy reform. Implementing these can help Thai food SMEs expand exports and enhance long-term sustainability.

However, limitations exist. Data collection is limited to SMEs in Chiang Mai, which may affect the generalizability of findings to other regions or sectors in Thailand. While Chiang Mai is strategically important in Northern Thailand's processed food industry, differences in infrastructure, government support, and export behavior across provinces may limit the applicability of the findings elsewhere.

References

[1] Falciola J, Jansen M, Rollo V. (2020) Defining firm competitiveness: A multidimensional framework. World Development, Vol. 129

[2] Lages LF, Lages CR. (2004) The STEP Scale: A Measure of Short-Term Export Performance Improvement. Journal of International Marketing, Vol. 12 (1): 36–56.

[3] Mohammadzadeh, M., Poloee, M., & Ghari, T. (2016). Export Readiness Assessment of Ten Iranian Pharmaceutical Companies and Comparison With Their Export Performance. Pharmaceutical Sciences, Vol. 22 (3): 203–209.

[4] Ayob, A. H., Freixanet, J., & Shahiri, H. I. (2022). Innovation, Trade Barriers and Exports: Evidence From Manufacturing Firms in ASEAN Countries. Journal of Asia Business Studies, Vol. 17 (1): 203–223.

[5] Leonidou, E., Christofi, M., Vrontis, D., & Thrassou, A. (2020). An integrative framework of stakeholder engagement for innovation management and entrepreneurship development. Journal of Business Research, Vol 119: 245–258.

[6] Haddoud, M. Y., Onjewu, A.-K. E., Nowiński, W., & Jones, P. (2021). The determinants of SMEs' export entry: A systematic review of the literature. Journal of Business Research, Vol.125: 262–278.

[7] Sun, M. (2021). The Internet and SME Participation in Exports. Information Economics and Policy, 57.

[8] Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process (AHP). The Journal of the Operational Research Society, Vol 41 (11): 1073–1076.

[9] Abolghasemi, S. J. (2018). Identifying and ranking the factors associated with supply chain management improvement using AHP method. International Journal of Business, Economics & Management.

[10] Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, Vol 161.

[11] Chen, Y.-S., Chou, J. C.-L., Lin, Y.-S., Hung, Y.-H., & Chen, X.-H. (2023). Identification of SMEs in the Critical Factors of an IS Backup System Using a Three-Stage Advanced Hybrid MDM–AHP Model. Sustainability, Vol.15 (4): 3516.

[12] Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1998). Putting the Balanced Scorecard to Work. In The Economic Impact of Knowledge 315–324.

[13] Perkins, M., Grey, A., & Remmers, H. (2014). What do we really mean by "Balanced Scorecard"? International Journal of Productivity and Performance Management, Vol 63 (2): 148–169.

[14] Gerschewski, S., Scott-Kennel, J., & Rose, E. L. (2020). Ready to Export? The Role of Export Readiness for Superior Export Performance of Small and Medium-sized Enterprises. World Economy, Vol. 43 (5): 1253–1276.

[15] L. C. Leonidou. (2004). An Analysis of the Barriers Hindering Small Business Export Development. Journal of Small Business Management, Vol 42: 279–302.

[16] Rovinelli, R. J., & Hambleton, R. K. (1977). On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity. Educational and Psychological Measurement, Vol. 37 (2): 249–307.

การวิเคราะห์ความรู้สึกในการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ใช้บริการบริษัทหลักทรัพย์แห่งหนึ่งในประเทศไทย ด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง

Sentiment Analysis in the Evaluation of User Opinions Toward a Securities Company in Thailand Using Machine Learning Method

ภาติยะ ไล้สวน[1*] นันทชัย กานตานันทะ[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: 6570177621@student.chula.ac.th*

Phatiya Laisuan[1*], Nantachai Kantanantha[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: 6570177621@student.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันสื่อสังคมออนไลน์เป็นช่องทางสำคัญที่ผู้บริโภคใช้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับสินค้าและบริการของธุรกิจต่างๆ อย่างแพร่หลาย ทำให้การบริหารความสัมพันธ์กับลูกค้า (Customer Relationship Management: CRM) ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการวิเคราะห์ข้อมูลความคิดเห็นของผู้ใช้บริการ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ความรู้สึก (Sentiment Analysis) ของนักลงทุนที่มีบัญชีซื้อขายหลักทรัพย์กับบริษัทหลักทรัพย์แห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ได้แก่ การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรง (Linear Support Vector Machine) และต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) การศึกษานี้ใช้ข้อมูลความคิดเห็นของผู้ใช้บริการจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 970 คน ผลการวิเคราะห์พบว่า เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจมีค่าความแม่นยำสูงสุดที่ 96.19% รองลงมาคือการถดถอยโลจิสติกที่ 95.36% และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรงที่ 88.66% โดยต้นไม้ตัดสินใจสามารถพยากรณ์ความรู้สึกเชิงลบ (Negative Sentiment) ได้แม่นยำที่สุด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ใช้บริการ ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนากลยุทธ์ทางการตลาดและปรับปรุงคุณภาพการให้บริการของบริษัทหลักทรัพย์ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้กับธุรกิจอื่น ๆ ที่ต้องการวิเคราะห์ความคิดเห็นของลูกค้าผ่านสื่อสังคมออนไลน์เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันและดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ความรู้สึก, การเรียนรู้ของเครื่อง, บริษัทหลักทรัพย์, พฤติกรรมผู้บริโภค, การวิเคราะห์ข้อความ

Abstract

Currently, social media has become a crucial platform for consumers to express their opinions about various businesses' products and services extensively. This shift necessitates the use of technology in Customer Relationship Management (CRM) to analyze customer feedback effectively. This research focuses on sentiment analysis of investors with trading accounts at a securities company in Thailand, utilizing machine learning techniques such as Logistic Regression, Linear Support Vector Machine, and Decision Tree. The study analyzed feedback from a sample group of 970 participants. The findings revealed that the Decision Tree technique achieved the highest accuracy rate at 96.19%, followed by Logistic Regression at 95.36%, and Linear Support Vector Machine at 88.66%. Notably, the Decision Tree was the most accurate in predicting negative sentiment, a key factor in understanding customer feedback. The results of this study can be leveraged to develop marketing strategies and enhance the quality of services provided by securities companies to better meet customer needs. Additionally, these findings can be adapted for other businesses aiming to analyze customer feedback through social media, thereby enhancing competitiveness and fostering sustainable business practices.

Keywords: Sentiment Analysis, Machine Learning, Securities Company, Consumer Behavior, Text Analysis

1. บทนำ

ปัจจุบันสื่อสังคมออนไลน์เป็นช่องทางที่ทำให้คนสามารถติดต่อกันได้สะดวก รวดเร็วมากขึ้น ผู้ใช้บริการสามารถเข้าถึงและมีส่วนร่วมแสดงความคิดเห็นต่างๆ อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือในการ ติดต่อสื่อสารแบบสองทาง (Two-way Communication) [1] ในด้านการดำเนินธุรกิจองค์ประกอบหนึ่งของการดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืน คือการบริหารลูกค้าสัมพันธ์ (Customer Relationship Management: CRM) เพื่อดำเนินธุรกิจและทำกำไรอย่างยั่งยืน [2] กลยุทธ์ที่ผู้ประกอบการเข้าใจลูกค้านั่นคือการรับฟังเสียงของลูกค้า (Customer Voice) แต่ในปัจจุบันผู้บริโภคแสดงความเห็นผ่านช่องทางสื่อสังคมออนไลน์เป็นจำนวนมาก จึงเป็นเรื่องยากที่จะเข้าใจความคิดเห็นของลูกค้าได้ทั้งหมด ผู้วิจัยจึงใช้การวิเคราะห์ความรู้สึก (Sentiment Analysis) เพื่อวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้บริโภคโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องเพื่อวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้บริโภค ทำให้ผลงานวิจัยชิ้นนี้สามารถนำไปพัฒนาและดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืนได้

2. ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพฤติกรรมผู้บริโภค

พฤติกรรมผู้บริโภค หมายถึง การกระทำหรือการตัดสินใจของผู้บริโภคที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการได้รับและใช้สินค้าและบริการทางเศรษฐกิจ รวมทั้งกระบวนการตัดสินใจที่เกิดขึ้นและตัวกำหนดให้เกิดการกระทำต่าง ๆ ขึ้น [3]

ปัจจัยที่มีอิทธิพลในการกำหนดพฤติกรรมการซื้อที่แตกต่างกันของผู้บริโภคแต่ละคน มีทั้งปัจจัยที่เกิดขึ้นจากผู้บริโภคเองและปัจจัยที่มาจากความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลหรือปัจจัยด้านจิตวิทยา [4]

2.2 ทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance)

การที่มนุษย์ให้ความมั่นใจจนเกิดการยอมรับและใช้เทคโนโลยีนั้นในชีวิตประจำวัน ทั้งในด้านการลงทุนรวมไปถึงในด้านต่าง ๆ จนสามารถเกิดการรับรู้ถึงประโยชน์ ความสะดวก ความรวดเร็ว ในงานนั้นได้ และเกิดผลสำเร็จจึงทำให้มนุษย์นั้นเกิดความเชื่อมั่นและยอมรับในสิ่งที่นำมาใช้ [5]

2.3 ประโยชน์จากการศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภค [6]

2.3.1 ช่วยให้นักการตลาดหรือนักวางกลยุทธ์เข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อการซื้อสินค้าของผู้บริโภค

2.3.2 ช่วยให้นักวางกลยุทธ์หรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถหาแนวทางในการแก้ไขพฤติกรรมการซื้อสินค้าของผู้บริโภคได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับการดำเนินธุรกิจมากยิ่งขึ้น

2.3.3 ช่วยให้การทำและพัฒนาแผนการตลาด รวมถึงพัฒนาให้ตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคมากที่สุด

2.3.4 เพื่อสร้างส่วนแบ่งทางการตลาดที่มากขึ้น เนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ตรงกับความต้องการ

2.3.5 เพื่อปรับปรุงกลยุทธ์การตลาดของธุรกิจ เพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันให้เหนือกว่าคู่แข่ง

2.4 การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Programming, NLP)

การประมวลผลภาษาธรรมชาติ คือ การวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของข้อความต่าง ๆ โดยคอมพิวเตอร์จะถูกใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ จากการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจข้อความเหล่านั้นได้เช่นเดียวกับมนุษย์ [7] ประกอบด้วยหลายขั้นตอนย่อย ตั้งแต่การจัดเรียงข้อมูลไปถึงการเปลี่ยนแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและนำไปประมวลในรูปแบบตัวเลขที่นำไปคำนวณต่อได้

การประมวลผลภาษาธรรมชาติ เป็นส่วนหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ที่ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ในการสร้างแบบจำแนกข้อความ [8] นอกจากนี้การเรียนรู้ของเครื่องยังมีการพัฒนาไปเป็นการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่มีจุดเด่นในการเรียรู้คุณลักษณะได้อย่างหลากหลายและเรียนรู้ได้เป็นจำนวนมาก [9]

2.5 การวิเคราะห์ความรู้สึกและการตรวจจับ (Sentiment Analysis and Detection)

การวิเคราะห์ความรู้สึกเป็นการวิเคราะห์เพื่อเข้าใจเกี่ยวกับอารมณ์ความรู้สึกของผู้เขียน หรือเข้าของประโยคนั้น ๆ การวิเคราะห์ความรู้สึกเป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ข้อความ (Text Analysis) และเป็นส่วนหนึ่งของการประมวลผลภาษาธรรมชาติ โดยการวิเคราะห์ความรู้สึกจะแบ่งความรู้สึกออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ความรู้สึกเชิงบวก (Positive Sentiment) เขียนแทนด้วย +1 ความรู้สึกเชิงลบ (Negative Sentiment) เขียนแทนด้วย -1 และความรู้สึกปกติ (Neutral Sentiment) เขียนแทนด้วย -1 [10]

การวิเคราะห์ความรู้สึกของลูกค้าช่วยให้ธุรกิจทราบถึงอารมณ์และความรู้สึกของลูกค้าได้ละเอียดและแม่นยำว่าลูกค้ามีความพึงพอใจในสินค้าและบริการหรือไม่ ซึ่งช่วยให้ธุรกิจสามารถปรับปรุงและปรับเปลี่ยนเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว [11]

2.6 การทำเหมืองข้อความ (Text Mining)

การทำเหมืองข้อความเป็นเทคนิคการค้นหาและจัดเก็บความรู้ใหม่จากข้อมูลประเภทข้อความที่มีปริมาณมากโดยอัตโนมัติ โดยการค้นหารูปแบบและความสัมพันธ์ที่อยู่ในชุดข้อความ เพื่อให้เกิดความหมายและนำมาใช้ประโยชน์ได้ ขั้นตอนการทำเหมืองข้อความประกอบด้วยการเตรียมข้อมูล การค้นหาความสัมพันธ์เชิงกฎ และขั้นตอนการ

นำเสนอผลที่ชัดเจน ประโยชน์ของการทำเหมืองข้อความคือการทำให้สารสรเทศในรูปของข้อความสามารถเข้าถึง วิเคราะห์ และประมวลผลได้ภายในระยะเวลาอันสั้น [12] จุดประสงค์หลักของการทำเหมืองข้อความคือทำให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจข้อมูลได้ เช่นเดียวกับมนุษย์ โดยอาศัยความรู้ด้านสถิติและความรู้ทางด้านคอมพิวเตอร์มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อความต่าง ๆ ข้อดีคือสามารถวิเคราะห์ข้อความได้อย่างรวดเร็วกว่ามนุษย์

การวิเคราะห์ข้อความจำเป็นต้องมีการจัดเตรียมข้อมูลก่อน เนื่องจากเป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของข้อความ สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นการวิเคราะห์ความรู้สึกโดยการสร้างคุณลักษณะ (Feature) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ ขั้นตอนประกอบด้วย การทำความสะอาดข้อความ (Text Cleaning) การตัดคำ (Word Tokenization) การสร้างคลังคำศัพท์ (Bag of Words)

2.6.1 การทำความสะอาดข้อความ (Text Cleaning)

การทำความสะอาดข้อความ ถือว่าเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนที่จะข้อมูลไปวิเคราะห์ เพื่อสร้างประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ที่ดีและลดความซับซ้อนของแบบจำลอง [13] ในงานวิจัยชิ้นนี้จะประกอบไปด้วย การลบเครื่องหมายปีกกา ลบเครื่องหมาย # ลบช่องว่าง ลบเครื่องหมายคำพูด (“ ”) และลบเครื่องหมายวรรคตอน

2.6.2 การตัดคำ (Word Tokenization)

การตัดคำคือขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลที่จะตัดคำที่อยู่ติดกันในประโยคให้อยู่ในรูปแบบของคำเดี่ยวหรือคำกลุ่มที่มีจำนวนตามที่เราสนใจ โดยเรียกคำหรือกลุ่มคำที่แบ่งออกมานั้นว่า “โทเคน”

2.6.3 การสร้างคลังคำศัพท์ (Bag of Words)

การสร้างคลังคำศัพท์เป็นหนึ่งในวิธีการวิเคราะห์ข้อความธรรมชาติในการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ในคอมพิวเตอร์ โดยการสร้างคลังคำศัพท์นั้นเป็นวิธีการในการสร้างคุณลักษณะของข้อความขึ้นมาโดยใช้หลักการของ One-Hot Encoding [14] เพื่อเข้ารหัสข้อมูลในทุกคำของชุดข้อมูล โดยเป็นการเข้ารหัสโทเคนที่ได้จากขั้นตอนการตัดคำจะเป็นการแทนที่ 1 เมื่อคำเหล่านั้นปรากฏในชุดข้อมูล และ 0 เมื่อคำเหล่านั้นไม่ปรากฏในชุดข้อมูล

2.7 การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

การเรียนรู้ของเครื่องเป็นศาสตร์อย่างหนึ่งที่อยู่ภายใต้ปัญญาประดิษฐ์ [15] หลักการสำคัญคือการนำเข้าข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นการสอนคอมพิวเตอร์ได้เรียนรู้ โดยคอมพิวเตอร์จะสร้างองค์ความรู้จากข้อมูลที่มี ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถจำแนกความแตกต่าง จัดกลุ่มข้อมูล หาความสัมพันธ์ของข้อมูลได้

2.7.1 การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression)

การถดถอยโลจิสติกเป็นเทคนิคการวิเคราะห์สถิติเชิงคุณภาพ ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ตัว) กับตัวแปรตาม วัตถุประสงค์คือเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีต่อเหตุกาณ์(ตัวแปรตาม) เพื่อพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ ข้อดีคือมีประสิทธิภาพในการฝึกฝน แต่ข้อเสียคือไวต่อการถูกรบกวนด้วยค่าสุดโต่ง [16] ขั้นตอนในการวิเคราะห์มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกตัวแปรอิสระที่คาดการณ์ว่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม
ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบความผิดปกติของตัวแปรแต่ละตัว
ขั้นตอนที่ 3 สร้างสมการ พร้อมตรวจสอบความถูกต้อง
ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบเงื่อนไข
ขั้นตอนที่ 5 ถ้าวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์เหตุการณ์ใหม่ว่าจะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจหรือไม่ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

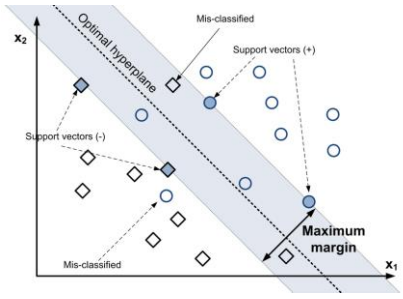
$$P = \frac{e^{\beta_0+\beta_1 x_1+\ldots+\beta_p x_p}}{1+e^{\beta_0+\beta_1 x_1+\ldots+\beta_p x_p}} \quad (1)$$

โดยที่ P หมายถึง โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์นั้น

ถ้า P < 0.5 จะได้ Y = 0 หรือไม่เกิดเหตุการณ์ และ $P \geq$ 0.5 จะได้ Y = 1 หรือเกิดเหตุการณ์ [17]

2.7.2 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine, SVM)

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการจำแนก (Classification Problem) [18] จุดมุ่งหมายสำคัญของวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน คือ หาเส้นแบ่งที่เหมาะสมที่สุด เรียกว่า เส้นไฮเปอร์เพลน (Hyperplane) เพื่อแบ่งข้อมูลเป็นคลาสตามที่ต้องการ และซัพพอร์ตเวคเตอร์จะทำการค้นหาจุดของข้อมูลที่อยู่ใกล้เส้นไฮเปอร์เพลนนนี้ เรียกว่า ซัพพอร์ตเวคเตอร์ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การจำแนกแบบไบนารี โดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์เวกเตอร์ [19]

2.7.3 ซัพพอร์ตเวคเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรง (Linear Support Vector Machine, Linear SVM)

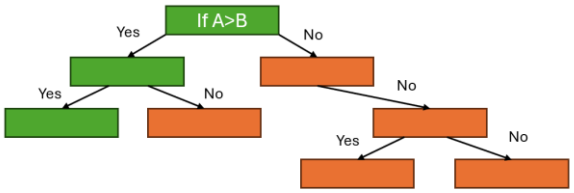
ซัพพอร์ตเวคเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรงถูกนำไปใช้กับการแก้ปัญหาหลายคลาส (Multi-Class) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีข้อดีคือผลลัพธ์ที่ได้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ และมีความแม่นยำเมื่อเป็นงานจำแนกแบบทวิภาค [20] โดยกำหนดค่าคำตอบดังสมการที่ 2 โดยวิธีนี้เป็นวิธีการพิจารณาคลาสใดคลาสหนึ่งเทียบกับคลาสที่เหลือทั้งหมด [21]

$$y_i = \begin{cases} +1, x \in C_k \\ -1, x \notin C_k \end{cases} \quad (2)$$

เมื่อ C_k คือ คลาสใดคลาสหนึ่งที่ถูกพิจารณาในแต่ละครั้ง โดย $1 \leq k$ และถูกพิจารณาทั้งหมดจำนวน k คลาส

2.7.4 ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

ต้นไม้ตัดสินใจเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยข้อมูลจะถูกนำมาสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ในรูปแบบของต้นไม้ที่แตกกิ่งออกไป ซึ่งสามารถพยากรณ์ชุดข้อมูลกลุ่มของรายการที่ยังไม่เคยนำมาจัดหมวดหมู่ได้ด้วย แนวคิดดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แนวคิดส่วนประกอบของต้นไม้ตัดสินใจ

โดยปกติแนวคิดของต้นไม้ตัดสินใจจะประกอบด้วยกฎในรูปแบบ “ถ้าเงื่อนไข แล้วผลลัพธ์” [22]

2.8 มาตรวัดประสิทธิภาพ

ค่าความแม่นยำเป็นค่าสถิติใช้เปรียบเทียบข้อมูลการทำนายระหว่างผลลัพธ์ที่ควรจะเป็นและผลลัพธ์ที่ได้ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยการคำนวณค่าความถูกต้องจะต้องทำการสร้างเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) [23] มีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เมทริกซ์ความสับสน

		Actual	
		Positive	**Negative**
Prediction	**Positive**	TP	FP
	Negative	FN	TN

โดย TP คือ True Positive (ทำนายบวกและผลลัพธ์เป็นบวก) FP คือ False Positive (ทำนายบวกแต่ผลลัพธ์เป็นลบ) FN คือ False Negative (ทำนายลบแต่ผลลัพธ์เป็นบวก) และ TN คือ True Negative (ทำนายลบและผลลัพธ์เป็นลบ)

ค่าความแม่นยำสามารถนำมาคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP+FP+FN+TN} \quad (3)$$

3. วิธีการดำเนินการ

3.1 แหล่งที่มาของข้อมูล

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลด้วยการทำแบบสอบถามออนไลน์กับกลุ่มนักลงทุนที่มีบัญชีลงทุนหรือบัญชีซื้อขายหลักทรัพย์กับบริษัทหลักทรัพย์แห่งหนึ่งในประเทศไทยและมีเจ้าหน้าที่แนะนำการลงทุนประจำตัว ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลจำนวน 2 เดือน ประกอบด้วยเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ นักลงทุนที่มีบัญชีลงทุนหรือบัญชีซื้อขายหลักทรัพย์กับบริษัทหลักทรัพย์แห่งหนึ่งในประเทศไทยของผู้ลงทุนที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป

3.2.2 กลุ่มตัวอย่าง

ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$n = \frac{P(1-P)Z^2}{E^2} \quad (4)$$

โดย n คือ ขนาดตัวอย่าง P คือ สัดส่วนประชากรที่สนใจ Z คือระดับความเชื่อมั่นและ E คือ สัดส่วนความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้เกิดขึ้นได้

เมื่อคำนวณตามสมการที่ 4 โดยกำหนดค่า P เท่ากับ 0.5 (เนื่องจากไม่ทราบค่าสัดส่วนประชากรที่สนใจ) Z มีค่า 1.96 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ E เท่ากับ 0.05 จะได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 384 ตัวอย่าง

3.3 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลจะถูกเก็บโดยแบบสอบถามผ่าน Microsoft Form

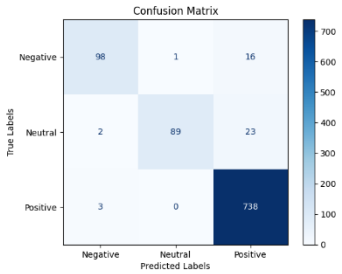
3.4 เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจำนวน 3 เทคนิคประกอบด้วย การถดถอยโลจิสติก ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรง และต้นไม้ตัดสินใจ

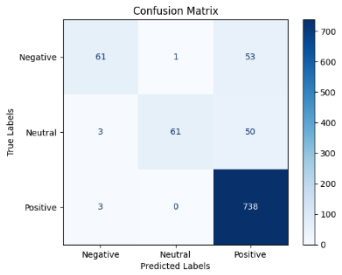
4. ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 ผลจากการพยากรณ์โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง

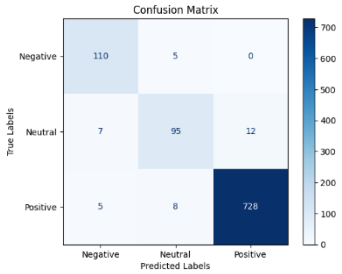
ผลจากการพยากรณ์ความรู้สึก (Sentiment) ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง 3 เทคนิคพบว่ามีผลการทำนายดังรูปที่ 3-5 และสามารถคำนวณค่าความแม่นยำในการทำนายดังแสดงในตารางที่ 2 จะพบว่าวิธีการต้นไม้ตัดสินใจให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด



รูปที่ 3 เมทริกซ์ความสับสนของเทคนิคการถดถอยโลจิสติก



รูปที่ 4 เมทริกซ์ความสับสนของเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรง



รูปที่ 5 เมทริกซ์ความสับสนของเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ

ตารางที่ 2 ค่าความแม่นยำของการพยากรณ์ในแต่ละเทคนิค

Method	Accuracy(%)
การถดถอยโลจิสติก	95.36
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรง	88.66
ต้นไม้ตัดสินใจ	96.19

4.2 การเปรียบเทียบผลจากการพยากรณ์ของแต่ละเทคนิค

จากผลการพยากรณ์จะเห็นได้ว่าเทคนิคที่มีค่าความแม่นยำสูงที่สุดคือ ต้นไม้ตัดสินใจ รองลงมาคือ การถดถอยโลจิสติก และต่ำที่สุดคือ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรง

ดังนั้นจึงพิจารณาจากเมทริกความสับสนของวิธีต้นไม้การตัดสินใจพบว่าใน Negative Sentiment TN มีค่า 110 และ FN มีค่า 5 Positive Sentiment TP มีค่า 728 และ FP มีค่า 13 เทคนิคการถดถอยโลจิสติกพบว่าใน Negative Sentiment TN มีค่า 98 และ FN มีค่า 17 Positive Sentiment มีค่า TP 738 และ FP มีค่า 3 และเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรงใน Negative Sentiment TN มีค่า 61 และ FN มีค่า 54 Positive Sentiment TP มีค่า 738 และ FP มีค่า 3 ทำให้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจสามารถพยากรณ์ Negative Sentiment ได้แม่นยำที่สุดเนื่องจากมีค่า TN สูงที่สุดและ FN ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับอีกสองเทคนิค รองลงมาคือเทคนิคการถดถอยโลจิสติกที่มีค่า TN ต่ำกว่าและ FN สูงกว่าเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจเล็กน้อย ขณะที่เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรง มีค่า FN สูงที่สุดทำให้พยากรณ์ Negative Sentiment ได้ไม่ดีนัก สำหรับการพยากรณ์ Positive Sentiment พบว่า เทคนิคการถดถอยโลจิสติก มีความแม่นยำสูงที่สุดเนื่องจากมีค่า TP สูงที่สุด และ FP ต่ำที่สุด ตามมาด้วย เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรง ที่มีค่า TP เท่ากันแต่มี FP สูงกว่าเล็กน้อย ส่วนเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ มีความแม่นยำต่ำที่สุดในการพยากรณ์ Positive Sentiment เนื่องจากค่า TP ต่ำที่สุดและ FP ที่สูงกว่าเทคนิคอื่น

ซึ่งในการนำเทคนิคเหล่านี้มาวิเคราะห์ข้อมูลจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนที่เป็น Negative Sentiment หรือความรู้สึกเชิงลบเป็นหลัก ดังนั้นการเลือกเทคนิคที่ให้ความแม่นยำในการพยากรณ์ความรู้สึกเชิงลบแม่นยำกว่าย่อมเหมาะสมกว่า เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจมีความเหมาะสมในการใช้ในการทำนายที่สุดสอดคล้องกับค่า Accuracy ที่มีค่าสูงที่สุดด้วย

5. สรุปผล

จากการศึกษาพบว่าเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจมีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่สุด และสอดคล้องกับความต้องการในการใช้งานสูงที่สุด เนื่องจากผู้วิจัยต้องการความแม่นยำในการพยากรณ์ Negative Sentiment สูงที่สุดเพื่อการตรวจจับเรื่องร้องเรียนที่เกิดขึ้นอันส่งผลต่อชื่อเสียงและความน่าเชื่อถือของบริษัท หรือความคิดเห็นที่สามารถนำไปพัฒนาการทำธุรกิจอย่างยืนและพัฒนาการให้บริการ แต่หากต้องการความแม่นยำในการพยากรณ์ Positive Sentiment สามารถใช้เทคนิคการถดถอยโลจิสติกหรือ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบเส้นตรงได้ด้วยเช่นเดียวกัน จากการนำการเรียนรู้ของเครื่องด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจไปใช้ในการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้บริโภคในองค์กร

พบว่าสามารถลดระยะเวลาในการอ่าน วิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดความผิดพลาดของมนุษย์ที่เกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Leasbounchoo, T. (2559). Social Network สังคมออนไลน์ สังคมลวงโลก. ข้อมูลจาก http://carmagira.blogspot.com/. (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567)

[2] วนัสวรรณ มีประเสริฐ และเอกรัฐ รัฐกาญจน์. (2564). “การวิเคราะห์ความคิดเห็นจากทวิตเตอร์ของลูกค้าชอปปี้ ประเทศไทย”. วารสารระบบสารสนเทศด้านธุรกิจ (JISB), ปีที่ 7, ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน - ธันวาคม 2564, หน้า 6 – 18.

[3] สมจิตร ล้วนคำเจริญ. (2556). พฤติกรรมผู้บริโภค. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

[4] สุดาดวง เรืองรุจิระ และปราณี พรรณวิเชียร. (2543). หลักการตลาด. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: ประกายพรึก.

[5] เอกลักษณ์ ธนเจริญพิศาล. (2554). ความตระหนักและการยอมรับการนำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (ISO 14001) มาใช้ในองค์การภาครัฐ: ศึกษากรณีสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

[6] สุดาดวง เรืองรุจิระ และปราณี พรรณวิเชียร. (2543). หลักการตลาด. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: ประกายพรึก.

[7] Chowdhury, G. G. (2003). Natural language processing. Annual Review of Information Science and Technology, 37(1), 51-89.

[8] Aone, C., Okurowski, M. E., & Gorlinsky, J. (1998). Trainable, scalable summarization using robust NLP and machine learning. Proceedings of the 17th International Conference on Computational Linguistics, 1, 62-66. Tainan, Taiwan.

[9] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT press.

[10] Allouch, N. (2018). Sentiment and Emotional Analysis: The Absolute Difference. Emojis Blog. Retrieved from https://www.emojics.com/blog/ (Access on Feb 20, 2024)

[11] Pisinee, T. (2024). Sentiment Analysis เมื่อความรู้สึกของลูกค้าสามารถวิเคราะห์ได้ผ่านข้อความ, ข้อมูลจาก: https://contentshifu.com/blog/what-is-sentiment-analysis. (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 กุมภาพันธ์ 2567)

[12] วรรณวิภา วงศ์วิไลสกุล. (2556). “เหมืองข้อความและการประยุกต์ใช้”. วารสารปัญญาภิวัฒน์. ปีที่ 4, 157 – 165.

[13] Nader, R. (2019). Creating a Custom Classifier for Text Cleaning. ข้อมูลจาก https://towardsdatascience.com/creating-a-custom-classifier-for-text-cleaninga2a1fc818935. (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2567)

[14] Zhang, Y., Jin, R., & Zhou, Z. H. (2010). Understanding bag-of-words model: a statistical framework. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 1(1-4), 43 - 52.

[15] Suthaharan, S. (2016) Machine Learning Models and Algorithms for Big Data Classification. Springer.

[16] Narut, S. (2565). Pros & Cons ของ Machine Learning Algorithms ที่นิยมใช้. ข้อมูลจาก https://www.nerd-data.com/pros-cons-ml-algorithms/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 กรกฎาคม 2567)

[17] กัลยา วานิชย์บัญชา. (2559). การวิเคราะห์สถิติ: สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. (พิมพ์ครั้งที่ 16). กรุงเทพฯ: ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[18] Wang, S., Chen, T., Xi, L., & Ma, L. (2009). Empirical analysis of support vector machine ensemble classifiers. Expert Systems with Applications, 36 (3, Part 2), 6466-6476.

[19] Nguyen-Duc, H., Tran-Hoai, L. & Cao-Duc, H. (2017). An approach to solve transient stability-constrained optimal power flow problem using support vector machines. Electric Power Components and Systems, 45(6), 624 – 632.

[20] Sulaiman, S., Wahid, R. A., Ariffin, A. H., & Zulkifli, C. Z. (2020). Question classification based on cognitive levels using linear SVC. Test Engineering and Management, 83, 6463-6470.

[21] Broenlee, J. (2016). Master Machine Learning Algorithms. V 1.1. https://machine learningmastery.com/

[22] พยูน พาณิชย์กุล. (2548). การพัฒนาระบบดาต้าไมน์นิ่งโดยใช้ Decision Tree. โครงการพัฒนา ระบบงานปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ แขนงวิทยาการสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.

[23] โกเมศ อัมพวัน. (2558). เอกสารประกอบการสอน วิชาการออกแบบคลังข้อมูล (Data Warehouse Design): มหาวิทยาลัยบูรพา, บทที่ 6 การจำแนกประเภทและการทำนายข้อมูล.

การลดเวลาการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊ม

Reducing Assembly Time for Solar Pump Control Panels

เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร์[1] ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์[1*] จิรวัฒน์ ณ พัทลุง[2] ฤทธิชัย สังฆทิพย์[3]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ การผลิต และกระบวนการเคมี และสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
E-mail: kaona.j@en.rmutt.ac.th*

Chalermsak Thavornwat[1], Kaona Jonguwuttanaruk[1*], Chirawat Na-Badalung[2], Rittichai Sangkatip[3]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[2] Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok
[3] Department of Industrial Engineering, Production and Chemical and Environmental, Faculty of Engineering,
Pathumwan Institute of Technology
E-mail: kaona.j@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊มของบริษัทกรณีศึกษา โดยใช้แนวคิด ECRS เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดความสูญเปล่า และลดระยะเวลาการประกอบ โดยกระบวนการประกอบเดิมประกอบด้วย 15 ขั้นตอน โดยใช้เวลา 213 นาที 58 วินาที และมีเวลานำ (Lead Time) เท่ากับ 131 นาที 35 วินาที การปรับปรุงกระบวนการผ่านการปรับลำดับขั้นตอนและการใช้เครื่องมือช่วย คือการใช้จิ๊ก (Jig) และการปรับลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่ ทำให้เวลาทำงานลดลงและประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยในที่สุด เวลานำลดลงจาก 131 นาที 35 วินาที เหลือ 72 นาที 51 วินาที และประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มจากร้อยละ 69.07 เป็น 78.18 ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้แนวคิด ECRS สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เวลามาตรฐาน สมดุลสายการผลิต อีซีอาร์เอส

Abstract

This research focuses on improving the assembly process of solar pump control panels for the case study company by applying the ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) principles to enhance efficiency, reduce waste, and shorten assembly time. The original process consisted of 15 steps, taking 213 minutes 58 seconds, with a lead time of 131 minutes 35 seconds. Process improvements involved rearranging the sequence of tasks and using tools like jigs to streamline operations. As a result, work time decreased, and production line efficiency increased significantly. Ultimately, lead time was reduced from 131 minutes 35 seconds to 72 minutes 51 seconds, and the production line efficiency improved from 69.07% to 78.18%. The research demonstrates that applying ECRS principles can effectively improve manufacturing processes, and these techniques can be adapted for use in other industrial processes as well.

Keywords: Standard Time, Line Balancing, ECRS

1. บทนำ

ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต กระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันขององค์กร บริษัทกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าสำหรับภาคอุตสาหกรรมและการเกษตร รวมถึงระบบโซล่าร์ปั๊ม อย่างไรก็ตาม กระบวนการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊มในปัจจุบันยังประสบปัญหาด้านประสิทธิภาพ เนื่องจากมีความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต อาทิ การรอคอย การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น และการทำงานที่ขาดมาตรฐาน ส่งผลให้ระยะเวลาการประกอบยาวนานกว่าที่ควรจะเป็น จากการศึกษาข้อมูลพบว่ากระบวนการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊มประกอบด้วย 15 ขั้นตอน โดยมีพนักงานประกอบ 4 คน ใช้เวลาทำงานรวม 213:58 นาที หรือ 213 นาที 58 วินาที และมีเวลานำ (Lead Time) เท่ากับ 131:35 วินาที ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและต้นทุนการดำเนินงานของบริษัท [1] ดังนั้นการลดเวลาการประกอบจึงเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มขึ้น

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการลดเวลาการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊ม โดยประยุกต์ใช้หลักการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มศักยภาพในการดำเนินงานของบริษัท ซึ่งจะเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมต่อไป [2]

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 กระบวนการปัจจุบัน

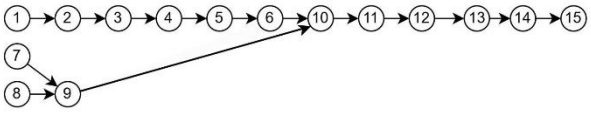
กระบวนการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊มในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 15 ขั้นตอน พร้อมทั้งแสดงเวลามาตรฐานของแต่ละขั้นตอนในตารางที่ 1 สำหรับลำดับการประกอบถูกนำเสนอในรูปแบบแผนภูมิลูกศร (Arrow Diagram) [3] ตามที่แสดงในรูปที่ 1 และการแบ่งงานของพนักงานทั้ง 4 คน แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เวลามาตรฐานของขั้นตอนการประกอบตู้ควบคุม

ขั้นตอน	รายละเอียด	เวลามาตรฐาน (นาที:วินาที)
1	ถอดแผ่นเหล็กออกจากตู้ควบคุม	01:09
2	วัดตำแหน่งติดอุปกรณ์ที่แผ่นเหล็ก	11:02
3	ติดปุ่มควบคุมที่หน้าบานตู้ควบคุม	03:30
4	ตัดรางเก็บสายไฟ	07:01
5	ติดรางเก็บสายไฟกับแผ่นเหล็ก	02:14
6	ติดอุปกรณ์ไฟฟ้ากับแผ่นเหล็ก	06:43
7	ตัดสายไฟ	02:45
8	ปอกสายไฟ	01:29

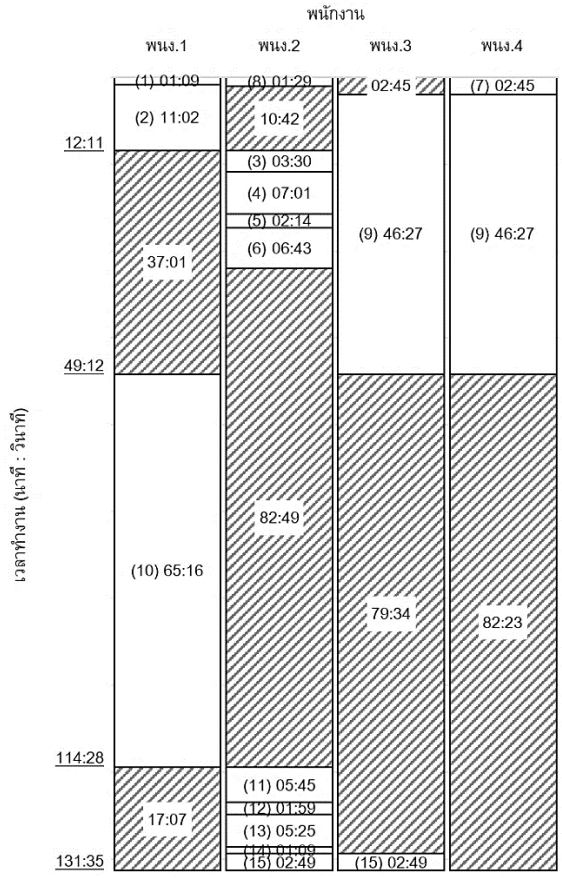
ตารางที่ 1 เวลามาตรฐานของขั้นตอนการประกอบตู้ควบคุม (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด	เวลามาตรฐาน (นาที:วินาที)
9	ย้ำหางปลาทองแดง	92:54
10	วางระบบสายไฟ	65:16
11	ประกอบกลับเข้าตู้ควบคุม	05:45
12	ตรวจสอบความถูกต้อง	01:59
13	ปิดฝารางเก็บสายไฟ	05:25
14	ทำความสะอาด	01:09
15	แพ็คตู้ควบคุมรอจัดส่ง	05:37
รวมเวลาทำงาน		213:58



รูปที่ 1 ลำดับขั้นตอนการประกอบตู้ควบคุม

ตารางที่ 2 การแบ่งงานประกอบตู้ควบคุม (ก่อนปรับปรุง)



การคำนวณประสิทธิภาพของสายการผลิต [4] เท่ากับร้อยละ 69.07 ตามที่แสดงในสมการที่ 1 และข้อมูลเวลาการทำงาน ร้อยละเวลาการทำงานของพนักงานทั้ง 4 คน เวลาทำงานรวม และเวลานำแสดงในตารางที่ 3

$$Line\ Efficiency = \frac{Total\ Cycle\ Time}{Number\ of\ Station * Bottleneck} \quad (1)$$

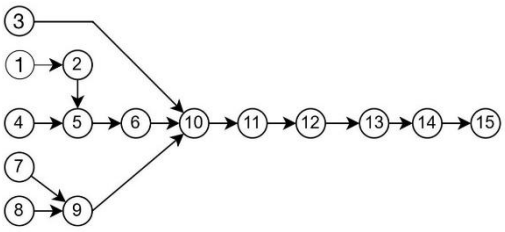
$$Line\ Efficiency = \frac{77{:}27 + 38{:}03 + 49{:}15 + 49{:}12}{4 * 77{:}27} = 69.07$$

ตารางที่ 3 ข้อมูลการประกอบตู้ควบคุม (ก่อนปรับปรุง)

รายละเอียด	เวลาทำงาน (นาที:วินาที)	เวลาทำงาน (%)
เวลาทำงาน พนง.1	77:27	58.86
เวลาทำงาน พนง.2	38:03	28.92
เวลาทำงาน พนง.3	49:15	37.44
เวลาทำงาน พนง.4	49:12	37.39
เวลาทำงานรวม	213:58	-
เวลานำ	131:35	-

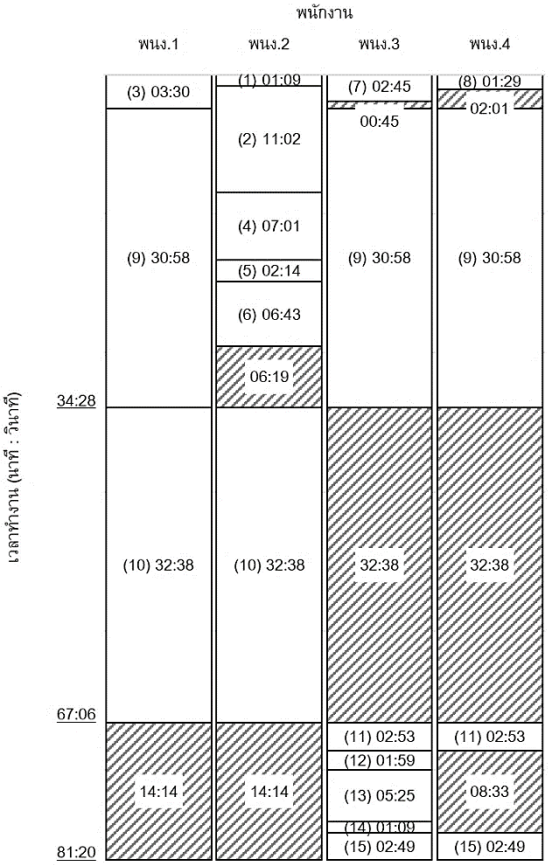
2.2 การปรับปรุงกระบวนการประกอบครั้งที่ 1

จากการวิเคราะห์กระบวนการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊ม พบว่าเวลาการทำงานของพนักงานทั้ง 4 คนแตกต่างกัน อันเป็นผลจากการแบ่งงานและลำดับขั้นตอนการประกอบที่ไม่เหมาะสม เพื่อแก้ไขปัญหานี้จึงนำหลักการ Rearrange ตามแนวคิด ECRS มาใช้ในการปรับลำดับขั้นตอนใหม่ โดยปรับขั้นตอนที่ 3 (ติดปุ่มควบคุมที่หน้าบานตู้ควบคุม) มาทำก่อน เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่สามารถทำแยกจากขั้นตอนที่ 1-6 ได้ แล้วทำงานการแบ่งงานให้เหมาะสม โดยนำเสนอในรูปแบบแผนภูมิลูกศรดังแสดงในรูปที่ 2 และการแบ่งงานของพนักงานทั้ง 4 คน แสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 2 ลำดับขั้นตอนการประกอบตู้ควบคุม (ปรับปรุง 1)

ตารางที่ 4 การแบ่งงานประกอบตู้ควบคุม (ปรับปรุง 1)



ผลการปรับปรุงกระบวนการประกอบครั้งที่ 1 โดยการนำหลักการ Rearrange มาปรับลำดับขั้นตอนการประกอบตู้ควบคุมใหม่ พบว่าเวลานำลดลงจาก 131:35 นาที เหลือ 81:20 นาที และประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 69.07 เป็น 79.72 แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลการประกอบตู้ควบคุม (ปรับปรุง 1)

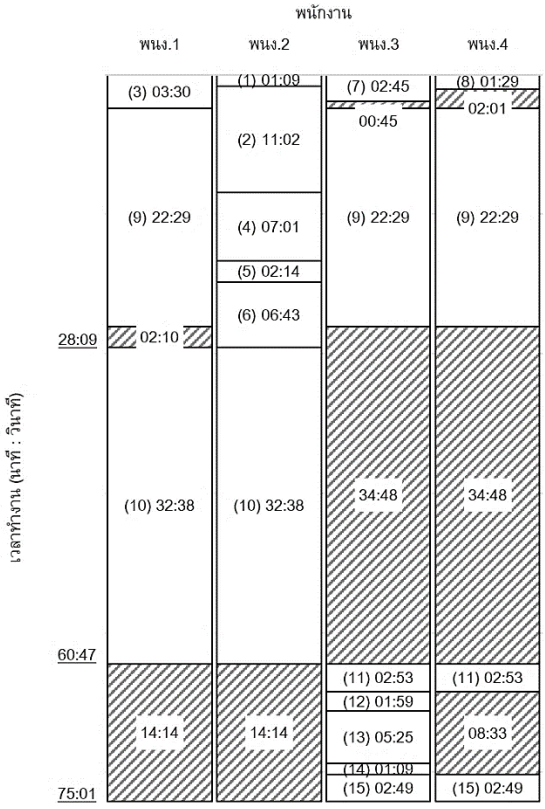
รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง 1
เวลาทำงาน พนง.1 (นาที:วินาที)	77:27	67:06
เวลาทำงาน พนง.2 (นาที:วินาที)	38:03	60:47
เวลาทำงาน พนง.3 (นาที:วินาที)	49:15	47:57
เวลาทำงาน พนง.4 (นาที:วินาที)	49:12	38:08
เวลาทำงานรวม (นาที:วินาที)	213:58	213:58
เวลานำ (นาที:วินาที)	131:35	81:20
ประสิทธิภาพของสายการผลิต (%)	69.07	79.72

2.3 การปรับปรุงกระบวนการประกอบครั้งที่ 2

จากการวิเคราะห์กระบวนการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊ม พบว่าขั้นตอนที่ 9 (ย้ำหางปลาทองแดง) เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุด โดยใช้เวลาถึง 92:54 นาที เนื่องจากพนักงานต้องย้ำหางปลา 74 เส้นต่อตู้ควบคุมหนึ่งตู้ โดยทำงานทีละเส้นตามลำดับดังนี้ 1) หยิบหางปลาทองแดงสวมเข้ากับปลายสายไฟ แล้วใช้คีมย้ำหางปลา 2) หยิบปลอกสายไฟ 2 ชิ้น สวมเข้ากับสายไฟทั้งสองด้าน 3) หยิบหางปลาทองแดงอีกด้าน สวมเข้ากับสายไฟ แล้วใช้คีมย้ำหางปลา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ จึงนำหลักการ Rearrange ตามแนวคิด ECRS มาปรับลำดับการทำงานใหม่ โดยให้พนักงานดำเนินการ ทีละขั้นตอนจนครบ 74 เส้น แทนการทำแบบเส้นต่อเส้น ซึ่งช่วยลดเวลาการทำงานและเพิ่มความต่อเนื่องของกระบวนการ

ผลการปรับปรุงกระบวนการประกอบครั้งที่ 2 จากการปรับลำดับขั้นตอนในขั้นตอนที่ 9 (ย้ำหางปลาทองแดง) ด้วยหลักการ Rearrange พบว่าเวลาการทำงานลดลงจาก 92:54 นาที เหลือ 67:27 นาที โดยมอบหมายงานให้พนักงานคนที่ 1, 3 และ 4 แสดงในตารางที่ 6 ส่งผลให้เวลาการทำงานโดยรวมลดลง ตามรายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 การแบ่งงานประกอบตู้ควบคุม (ปรับปรุง 2)



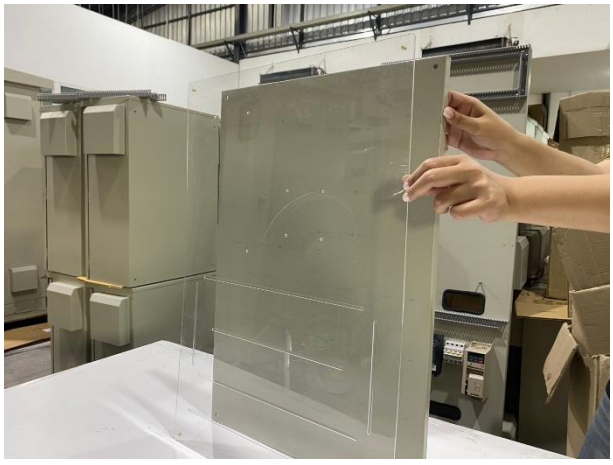
ตารางที่ 7 ข้อมูลการประกอบตู้ควบคุม (ปรับปรุง 2)

รายละเอียด	หลังปรับปรุง 1	หลังปรับปรุง 2
เวลาทำงาน พนง.1 (นาที:วินาที)	67:06	58:37
เวลาทำงาน พนง.2 (นาที:วินาที)	60:47	60:47
เวลาทำงาน พนง.3 (นาที:วินาที)	47:57	39:28
เวลาทำงาน พนง.4 (นาที:วินาที)	38:08	29:39
เวลาทำงานรวม (นาที:วินาที)	213:58	188:31
เวลานำ (นาที:วินาที)	81:20	75:01
ประสิทธิภาพของสายการผลิต (%)	79.72	77.54

2.4 การปรับปรุงกระบวนการประกอบครั้งที่ 3

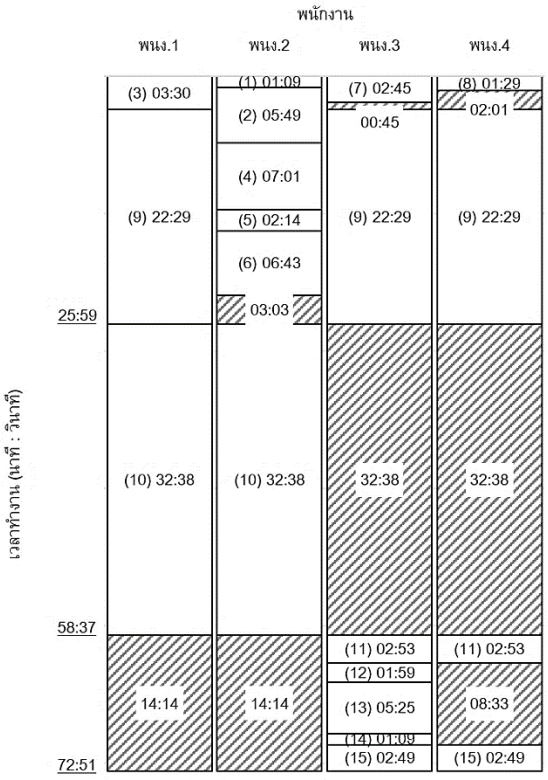
จากการวิเคราะห์กระบวนการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊ม พบว่าขั้นตอนที่ 2 (วัดตำแหน่งติดอุปกรณ์ที่แผ่นเหล็ก) เกิดความสูญเปล่า เนื่องจากพนักงานต้องใช้ตลับเมตรวัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า ตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง และทำเครื่องหมายบนพื้นผิวชิ้นงานด้วยดินสอ ก่อนนำสว่านมาเจาะรูตามตำแหน่งที่กำหนด กระบวนการนี้ใช้เวลาและอาจเกิดข้อผิดพลาดในการวัดและทำเครื่องหมาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ จึงนำหลักการ Simplify ตามแนวคิด ECRS มาปรับปรุงกระบวนการ โดยออกแบบจิ๊ก (Jig) สำหรับกำหนดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแทนการวัดด้วยตลับเมตร [5] แสดงในรูปที่ 3

ผลการปรับปรุงกระบวนการประกอบครั้งที่ 3 จากการนำจิ๊กมาใช้กำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ในขั้นตอนที่ 2 ด้วยหลักการ Simplify พบว่าเวลาการทำงานลดลงจาก 11:02 นาที เหลือ 5:49 นาที โดยมอบหมายงานให้พนักงานคนที่ 2 ส่งผลให้เวลาการทำงานโดยรวมลดลง ตามรายละเอียดในตารางที่ 8-9



รูปที่ 3 การวัดตำแหน่งติดอุปกรณ์ด้วยจิ๊ก

ตารางที่ 8 การแบ่งงานประกอบตู้ควบคุม (ปรับปรุง 3)



ตารางที่ 9 ข้อมูลการประกอบตู้ควบคุม (ปรับปรุง 3)

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
เวลาทำงาน พนง.2 (นาที:วินาที)	60:47	55:34
เวลาทำงานรวม (นาที:วินาที)	188:31	183:18
เวลานำ (นาที:วินาที)	75:01	72:51
ประสิทธิภาพของสายการผลิต (%)	77.54	78.18

3. ผลการวิจัย

จากการศึกษากระบวนการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊มของบริษัทกรณีศึกษา พบว่ากระบวนการเดิมประกอบด้วย 15 ขั้นตอน มีพนักงานประกอบ 4 คน ใช้เวลาทำงานรวม 213 นาที 58 วินาที และมีเวลานำ (Lead Time) เท่ากับ 131 นาที 35 วินาที คิดเป็นประสิทธิภาพของสายการผลิตร้อยละ 69.07 การวิจัยนี้ได้ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการประกอบโดยใช้แนวคิด ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดความสูญเปล่า และลดระยะเวลาการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊ม

การปรับปรุงครั้งที่ 1: นำหลักการ Rearrange มาใช้ในการปรับลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่ ทำให้เวลานำลดลงจาก 131 นาที 35 วินาที เหลือ 81 นาที 20 วินาที และเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตจากร้อยละ 69.07 เป็น 79.72

การปรับปรุงครั้งที่ 2: มุ่งเน้นไปที่การลดเวลาของขั้นตอนที่ 9 (ย้ำหางปลาทองแดง) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุด โดยการจัดลำดับการทำงานใหม่ ส่งผลให้เวลาทำงานรวมลดลงจาก 213 นาที 58 วินาที เหลือ 188 นาที 31 วินาที และเวลานำลดลงเหลือ 75 นาที 1 วินาที อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของสายการผลิตลดลงเล็กน้อยจากร้อยละ 79.72 เป็น 77.54

การปรับปรุงครั้งที่ 3: ปรับปรุงขั้นตอนที่ 2 (วัดตำแหน่งติดอุปกรณ์ที่แผ่นเหล็ก) โดยใช้จิ๊ก (Jig) แทนการวัดด้วยตลับเมตร ส่งผลให้เวลาการทำงานลดลงจาก 11 นาที 2 วินาที เหลือ 5 นาที 49 วินาที ทำให้เวลานำลดลงเหลือ 72 นาที 51 วินาที และประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 78.18

4. สรุป

การประยุกต์ใช้แนวคิด ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการประกอบตู้ควบคุมระบบโซล่าร์ปั๊มช่วยลดเวลาการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการใช้แนวทาง Rearrange และ Simplify ซึ่งช่วยลดเวลานำจาก 131 นาที 35 วินาที เหลือ 72 นาที 51 วินาที และเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตจากร้อยละ 69.07 เป็น 78.18 ตามรายละเอียดในตารางที่ 10 การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการปรับลำดับขั้นตอนและการใช้เครื่องมือช่วยสามารถลดความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหว (Motion) ของพนักงานในขั้นตอนที่ 2 และ 9 และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิต ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์อื่นของบริษัทต่อไป

ตารางที่ 10 สรุปผลการวิจัย

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
เวลาทำงาน พนง.1 (นาที:วินาที)	77:27	58:37
เวลาทำงาน พนง.2 (นาที:วินาที)	38:03	55:34
เวลาทำงาน พนง.3 (นาที:วินาที)	49:15	39:28
เวลาทำงาน พนง.4 (นาที:วินาที)	49:12	29:39
เวลาทำงานรวม (นาที:วินาที)	213:58	183:18
เวลานำ (นาที:วินาที)	131:35	72:51
ประสิทธิภาพของสายการผลิต (%)	69.07	78.18

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และขอบคุณนางสาวสุภาพร แก่นแก้ว และนางสาวภัทราภรณ์ หนูเสน สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] นริศ สาวะจันทร์. (2560). การลดเวลานำในการตรวจผลิตภัณฑ์ก่อนส่งมอบ. การค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์.

[2] Suhardi, B., Anisa, N., and Laksono, P. W. 2019. “Minimizing waste using lean manufacturing and ECRS principle in Indonesian furniture industry”. Cogent Engineering, Vol.6 (1): Online document https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1567019 accessed on Jan 17, 2025

[3] William Malsam. “Arrow Diagrams for Projects: Activity on Node vs. Activity on Arrow. Free Press”. Online document https://www.projectmanager.com/blog/arrow-diagrams-activity-on-node-activity-on-arrow accessed on Jan 20, 2025

[4] เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร์, ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์, ฤทธิชัย สังฆทิพย์, ศรันย์ คัมภีร์ภัทร และศุภวัฒน์ ลาวัณย์วิสุทธิ์, “การลดรอบเวลาการประกอบโคมไฟส่องสว่างยานยนต์ด้วยเทคนิค ECRS”, การประชุมวิชาการราชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการประจำปี พ.ศ. 2567, 1-3 พฤษภาคม 2567 เชียงราย, (2567), หน้า 287-292.

[5] เษกสรร สิงห์ธนู, ปริวรรต นาสวาสดิ์, นพดล ศรีพุทธา, เสกสรรค์ สุชัยพร และ ลคนา เพิ่มพูล, “การปรับปรุงกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟคั่วโดยหลัก ECRS”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2567, 15-17 พฤษภาคม 2567 อุบลราชธานี, (2567), หน้า 915-921.

การพยากรณ์และวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพจิตของเยาวชนในสหรัฐอเมริกา ด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง

Predicting and Analyzing Factors Related to Mental Health of American Adolescents Using Machine Learning

นิธิพล เฮงวิวัฒนชัย[1*], ดาริชา สุธีวงศ์[2]
[1*,2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: nithipol21@gmail.com[1*], daricha.s@chula.ac.th[2]

Nithipol Hengwiwatthanachai[1*], Daricha Sutivong[2]
[1*,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: nithipol21@gmail.com[1*], daricha.s@chula.ac.th[2]

บทคัดย่อ

ปัญหาสุขภาพจิตในเยาวชนกำลังเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่อคุณภาพชีวิตและพฤติกรรมการเรียนรู้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพยากรณ์ระดับสุขภาพจิตของเยาวชนโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) แบบการจำแนกประเภท (Classification) ซึ่งใช้ข้อมูลพฤติกรรมเสี่ยงของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในสหรัฐอเมริกา จากศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคแห่งสหรัฐอเมริกา โดยใช้แบบจำลอง 5 เทคนิค ได้แก่ Logistic Regression, Support Vector Machine, Decision Tree, Random Forest และ XGBoost รวมทั้งวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับสุขภาพจิต ผลการดำเนินงานพบว่า XGBoost ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยให้ค่า Accuracy ได้ถึง 45.6% ในการจำแนกระดับสุขภาพจิต 5 ระดับและให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยแบบสัมบูรณ์ (MAE) เพียง 0.693 จากชุดข้อมูลที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) 1.2 นอกจากนี้ การวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องต่อระดับสุขภาพจิตพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากที่สุดประกอบด้วย ความรู้สึกเศร้าและหมดหวังอย่างต่อเนื่อง ปัญหาด้านสมาธิ การถูกผู้ปกครองดูถูก ตามมาด้วยเพศ และปัญหาสุขภาพจิตของผู้ปกครอง นอกจากนี้ประสบการณ์กับความรุนแรง การถูกล่วงละเมิดทางเพศ ชั่วโมงการนอนและความใกล้ชิดกับเพื่อนก็เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระดับสุขภาพจิตเช่นกัน องค์ความรู้เหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาแนวทางป้องกันปัญหาสุขภาพจิตในเยาวชนได้อย่างมีประสิทธิผลมากขึ้น

คำสำคัญ: สุขภาพจิต, การเรียนรู้ของเครื่อง, การจำแนกประเภท, ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อสุขภาพจิต, XGBoost

Abstract

Mental health problems among adolescents are on a rise and can significantly impact the quality of life and learning behavior. This study aims to predict adolescent mental health levels using machine-learning classification techniques based on risk behavior data of high school students in the United States from the Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Five machine learning models were employed, namely Logistic Regression, Support Vector Machine, Decision Tree, Random Forest, and XGBoost. Additionally, feature importance analysis was conducted to identify the most predictive factors related to mental health. The experimental results indicate that XGBoost achieved the best performance with an accuracy of 45.6% in classifying into five mental health levels, with a Mean Absolute Error (MAE) of 0.693 while the dataset's standard deviation (SD) is 1.2. Furthermore, the feature importance analysis reveals that the most significant predictors of mental health levels include: experiencing persistent sadness and hopelessness, concentration difficulties, being insulted by parents, followed by their gender and whether their parents have mental health problems. Moreover, experiences with violence, nonconsensual sexual contact, sleep hours and closeness with friends were also highly relevant to mental health levels. These findings could lead to more effective strategies in preventing mental health problems in adolescents.

Keywords: Mental health, Machine learning, Classification, Mental-health related factors, XGBoost

1. บทนำ

สุขภาพจิต (Mental Health) เป็นภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของจิตใจที่เอื้อให้บุคคลสามารถรับมือกับความเครียดของชีวิต ตระหนักถึงศักยภาพของตนเองที่สามารถเรียนรู้และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในปัจจุบันปัญหาสุขภาพจิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเยาวชนกำลังเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญซึ่งเป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญในระดับสากล โดยพบว่าประมาณ 14% ของเด็กอายุ 10-19 ปีทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาทางด้านสุขภาพจิต ซึ่งส่วนใหญ่ยังไม่ได้รับการรักษาอย่างเหมาะสม [1] และในประเทศสหรัฐอเมริกาถือเป็นประเทศที่เยาวชนพบปัญหาทางด้านสุขภาพจิตจำนวนมาก โดยมีรายงานว่านักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายมากกว่า 42% มีภาวะความรู้สึกเศร้าและความรู้สึกหมดหวังอย่างต่อเนื่อง [2] ปัญหานี้จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตความเป็นอยู่ ความสามารถทางการเรียนรู้ รวมถึงพฤติกรรมของเยาวชนในทางที่ไม่ดี ซึ่งเกิดได้จากหลายปัจจัยและอาจนำไปสู่ปัญหาที่ร้ายแรงในอนาคต เช่น ภาวะซึมเศร้าและการฆ่าตัวตาย ที่เป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับต้น ๆ ของวัยรุ่นทั่วโลก

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาสุขภาพจิต

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดปัญหาทางด้านสุขภาพจิตในเยาวชนนั้น เกิดได้จากหลายปัจจัยซึ่งส่วนใหญ่คือปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม ทั้งสภาพแวดล้อมทางกายภาพ สังคม การศึกษา รวมถึงพฤติกรรมในการดำเนินชีวิตโดยเฉพาะพฤติกรรมเสี่ยง [3] ซึ่งการมีสภาพแวดล้อมความเป็นอยู่ในครอบครัวที่ไม่มั่นคงและมีพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงจะเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดปัญหาสุขภาพจิต [4] การถูกกลั่นแกล้งในโรงเรียนหรือผ่านทางสื่อสังคมออนไลน์ก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผล [5] รวมถึงแรงกดดันทางการศึกษาก็เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสุขภาพจิตในกลุ่มของเยาวชน นอกจากนี้พฤติกรรมเสี่ยงในการดำเนินชีวิต เช่น การใช้สารเสพติด การดื่มแอลกอฮอล์และการนอนหลับพักผ่อนไม่เพียงพอก็เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับภาวะซึมเศร้าและความวิตกกังวล [2,6] โดยพฤติกรรมเสี่ยงดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านสุขภาพจิตเนื่องจากทำให้ความสามารถในการรับมือกับสถานการณ์ที่ตึงเครียดและกดดันลดลง

2.2 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลพฤติกรรมเสี่ยงของเยาวชน

จากการศึกษาข้างต้นบ่งชี้ว่าพฤติกรรมการดำเนินชีวิตโดยเฉพาะพฤติกรรมเสี่ยงมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดปัญหาสุขภาพจิตในเยาวชน ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษา งานวิจัยนี้จึงศึกษาการสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ระดับสุขภาพจิตของเยาวชนโดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจพฤติกรรมเสี่ยงในเยาวชน (Youth Risk Behavior Surveillance System Survey: YRBSS) ปี 2023 ซึ่งเป็นข้อมูลจากศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคหรือ CDC ในประเทศสหรัฐอเมริกา ข้อมูล YRBSS ได้มีการนำมาศึกษาในหลายมิติ เช่น ศึกษาพฤติกรรมเสี่ยงที่ส่งผลต่อการใช้กัญชาในวัยรุ่น [7] ศึกษาการใช้กัญชาและบุหรี่ไฟฟ้าต่อการถูกกลั่นแกล้งทางเชื้อชาติ [8] และศึกษาความเสี่ยงในการถูกกลั่นแกล้งหรือการใช้ความรุนแรงในเยาวชน [9] เป็นต้น แต่ยังไม่เคยมีการนำข้อมูล YRBSS ไปศึกษาเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับสุขภาพจิต โดยรวมงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำข้อมูล YRBSS มาพัฒนาสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ระดับสุขภาพจิต โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคต่าง ๆ และวิเคราะห์ปัจจัยที่สัมพันธ์ต่อระดับสุขภาพจิต

2.3 เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องกับปัญหาด้านสุขภาพจิต

งานวิจัยส่วนใหญ่นำเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับพยากรณ์สุขภาพจิต โดยใช้วิธีการจำแนกประเภท จากข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยทางสังคมและพฤติกรรมการดำเนินชีวิต Rahman และคณะ ได้สร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์สุขภาวะทางใจจากพฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษา 7 ประเทศในอาเซียน พบว่า Random Forest ให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือ K-Nearest Neighbor [10] ขณะที่ Tate และคณะ ใช้ข้อมูลแบบสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมของเด็กและวัยรุ่น พบว่า Random Forest และ Support Vector Machine มีประสิทธิภาพดีที่สุด [11] นอกจากนี้ Qasrawi และคณะ ศึกษาการพยากรณ์ภาวะซึมเศร้าในสตรีมีครรภ์ช่วงโควิด-19 ซึ่งพบว่า Gradient Boosting และ Random Forest มีประสิทธิภาพสูงสุด [12] จากงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองในกลุ่มของ Tree-Based โดยเฉพาะ Random Forest ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาการสร้างแบบจำลองพยากรณ์ระดับสุขภาพจิตในเยาวชนด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง โดยใช้วิธีการจำแนกแบบหลายประเภท (Multiclass Classification) เนื่องจากการเรียนรู้ของเครื่องสามารถรับมือกับปัญหาสุขภาพจิตที่มีความซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับปัจจัยจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเทคนิคที่จะนำมาศึกษาประกอบด้วย Logistic Regression, Support Vector Machine, Decision Tree, Random Forest และ XGBoost

3. ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

3.1 การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression)

การถดถอยโลจิสติกเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติที่ใช้สำหรับการจำแนกประเภท โดยสามารถใช้ได้กับทั้งปัญหาการจำแนกแบบสองประเภท (Binary Classification) ที่มีผลลัพธ์เป็น 0 หรือ 1 ซึ่งจะอาศัยฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function) ในการแปลงผลลัพธ์ให้เป็นความน่าจะเป็นของแต่ละคลาสเพื่อใช้ในการพยากรณ์และในปัญหาการจำแนกแบบหลายประเภท (Multiclass Classification) ที่มีผลลัพธ์มากกว่าสองคลาสจะใช้การถดถอยแบบซอฟต์แมกซ์ (Softmax Regression) แทนฟังก์ชันซิกมอยด์

3.2 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine)

ซัพพอร์ตเวคเตอร์แมชชีนเป็นเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องที่นิยมใช้สำหรับการจำแนกประเภท หลักการทำงานทั่วไปของซัพพอร์ตเวคเตอร์แมชชีนคือจะกำหนดเส้นแบ่งกลุ่ม (Hyperplane) ที่สามารถแยกข้อมูลออกจากกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่เส้นแบ่งจะอยู่ระหว่างกลุ่มของข้อมูลและต้องการให้ระยะห่างระหว่างกลุ่มข้อมูลทั้งสองด้าน (Margin) มีค่ามากที่สุด

3.3 ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

ต้นไม้ตัดสินใจเป็นเทคนิคที่ใช้วิธีการแบ่งข้อมูลตามลำดับขั้นตอนอย่างเป็นระบบ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในปัญหาการจำแนกประเภทและการถดถอย กระบวนการสร้างแบบจำลองอาศัยหลักการแยกข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อยตามคุณลักษณะ (features) ที่มีความสำคัญต่อการแบ่งแยกข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาจากค่าความไม่บริสุทธิ์ (Impurity) ของข้อมูลในแต่ละโหนด ซึ่งค่าที่นิยมใช้โดยทั่วไป เช่น ค่าความไม่บริสุทธิ์จีนี (Gini Impurity) คุณลักษณะที่ทำให้ค่าความไม่บริสุทธิ์ต่ำสุดจะถูกเลือกเป็นเกณฑ์ในการแบ่งข้อมูลที่โหนดนั้น

3.4 ป่าแบบสุ่ม (Random Forest)

เทคนิคป่าแบบสุ่มเป็นอัลกอริทึมในกลุ่มของการเรียนรู้แบบกลุ่ม (Ensemble Learning) ที่ใช้แบบจำลองหลายตัวร่วมกันเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนาย สามารถใช้ได้ทั้งกับปัญหาการจัดกลุ่มและปัญหาการถดถอย โดยเทคนิคป่าแบบสุ่มจะประกอบด้วยกลุ่มของต้นไม้ตัดสินใจหลาย ๆ ต้นที่อาศัยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบมีการนำกลับ (Bagging) ซึ่งจะแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นหลายชุดแล้วนำไปเรียนรู้ด้วยแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ ในแต่ละโหนดจะสุ่มเลือกคุณลักษณะบางส่วนมาพิจารณา โดยเลือกคุณลักษณะที่ให้ค่าความไม่บริสุทธิ์ต่ำที่สุด เช่น การใช้ค่าความไม่บริสุทธิ์จีนี (Gini Impurity) จากนั้นใช้การลงคะแนนเสียงส่วนใหญ่ (Majority Voting) สำหรับการจัดกลุ่ม และการหาค่าเฉลี่ย (Averaging) สำหรับการถดถอย เพื่อสรุปผลลัพธ์ของแบบจำลอง

3.5 เอกซ์ตรีม เกรเดียนต์ บูสติง (Extreme Gradient Boosting)

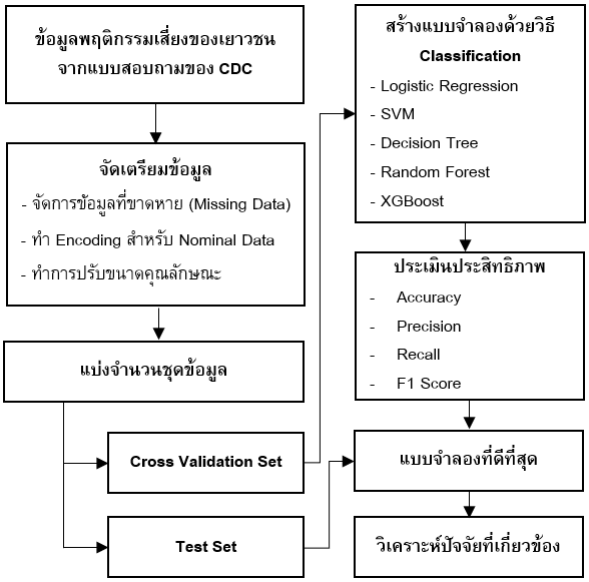
เอกซ์ตรีม เกรเดียนต์ บูสติง หรือ XGBoost เป็นวิธีการเรียนรู้แบบกลุ่มที่ทำการพัฒนามาจาก Gradient Boosting สามารถใช้ได้กับปัญหาการจัดกลุ่มและปัญหาการถดถอย โดยมีหลักการคือเป็นการเรียนรู้แบบลำดับขั้นที่อาศัยการสร้างต้นไม้ตัดสินใจหลาย ๆ ต้นมาต่อกันและสร้างการเรียนรู้ ซึ่งเป็นการนำค่าความผิดพลาด (Residual) ที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองก่อนหน้ามาปรับปรุงในการสร้างแบบจำลองถัดไปทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพดีขึ้น

3.6 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง เป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยวัดความสามารถของแบบจำลองในการจำแนกข้อมูลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งจะอาศัยเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) สำหรับนำค่าไปคำนวณหาค่าความแม่นยำ (Accuracy), ค่าความเที่ยง (Precision), ค่ารีคอล (Recall) และค่าความแม่นยำถ่วงน้ำหนัก (F1 Score)

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ภาพรวมการดำเนินงานวิจัยจะเริ่มจากทำการเก็บรวบรวมข้อมูล จัดเตรียมข้อมูลและแบ่งชุดข้อมูลเป็นชุดเรียนรู้และทดสอบ จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ระดับสุขภาพจิตทั้ง 5 ระดับ รวมถึงประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง เมื่อได้แบบจำลองที่ดีที่สุดจะนำไปวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อสุขภาพจิต ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมการดำเนินงานวิจัย

4.1 แหล่งที่มาของข้อมูล (Data Source)

ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลของศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคแห่งสหรัฐอเมริกา (CDC) ซึ่งเป็นข้อมูลแบบสอบถามเกี่ยวกับการเฝ้าระวังพฤติกรรมเสี่ยงในเยาวชนของปี 2023 (Youth Risk Behavior Surveillance System 2023: YRBSS) โดยทำการเก็บข้อมูลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (Grade 9-12) จาก 36 รัฐ 3 ชุมชนของชนพื้นเมือง 5 ดินแดนในปกครองของสหรัฐฯและ 21 เขตการศึกษาท้องถิ่นในสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีโรงเรียนที่เข้าร่วม 155 แห่งจาก 311 แห่งและมีนักเรียนเข้าร่วมทำแบบสอบถามจำนวน 20,386 คน

4.2 การจัดเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

4.2.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น (Data Exploration)

จากข้อมูลการสำรวจพฤติกรรมเสี่ยงปี 2023 ที่เป็นข้อมูลแบบสอบถามซึ่งประกอบด้วย 107 คำถาม บางคำถามจะถูกคัดออกเนื่องจากความไม่สอดคล้องของคำถามต่อตัวแปรเป้าหมาย โดยตัวแปรเป้าหมาย (Target Variable) คือ ระดับสุขภาพจิต (Mental Health Levels) จากคำถามข้อที่ 84 คือ “สุขภาพจิตของคุณไม่ดีบ่อยเพียงใดในช่วงระยะเวลา 30 วัน” สามารถแบ่งได้เป็น 5 ระดับ ดังตารางที่ 1

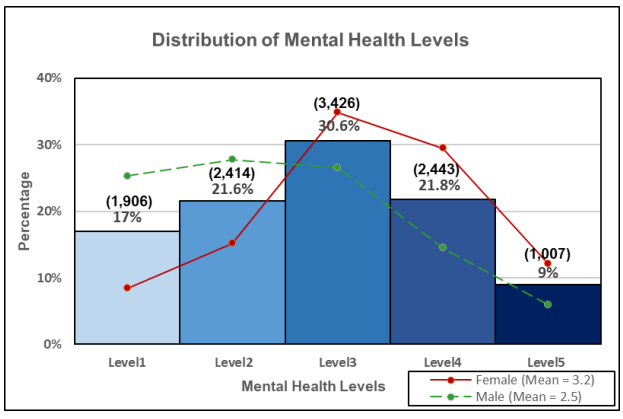
ตารางที่ 1 คำอธิบายของสุขภาพจิตในแต่ละระดับ

ระดับสุขภาพจิต (Mental Health Levels)	คำอธิบาย
ระดับ 1 (Level 1)	ไม่มีปัญหาสุขภาพจิต
ระดับ 2 (Level 2)	แทบจะไม่ค่อยมีสุขภาพจิตที่ไม่ดี
ระดับ 3 (Level 3)	มีสุขภาพจิตไม่ดีอยู่บ้างเป็นครั้งคราว
ระดับ 4 (Level 4)	มีสุขภาพจิตไม่ดีเกือบตลอดเวลา
ระดับ 5 (Level 5)	มีสุขภาพจิตไม่ดีตลอดเวลา

หมายเหตุ สุขภาพจิตไม่ดีครอบคลุมถึงความทุกข์ทางจิตใจ ความเครียด ความวิตกกังวลและภาวะซึมเศร้าที่เกิดขึ้น

4.2.2 การจัดการข้อมูลที่ขาดหาย (Handling Missing Data)

ข้อมูลของตัวแปรเป้าหมายที่ขาดหายไปจะอาศัยวิธีการลบข้อมูลทั้งแถว (Listwise Deletion) ซึ่งจะทำให้เหลือ 15,705 ข้อมูล จากนั้นทำการเติมเต็มข้อมูลที่ขาดหาย (Imputation) หากข้อมูลขาดหายเกิน 30% ของคำถามทั้งหมด ข้อมูลนั้นจะไม่ถูกนำมาพิจารณา โดยค่าของตัวแปรน้ำหนักและส่วนสูงจะใช้ค่าเฉลี่ยในการเติมเต็ม (Mean Imputation) ส่วนตัวแปรอื่น ๆ จะอาศัยฐานนิยมในการเติมเต็ม (Mode Imputation) หลังจากดำเนินการจัดการข้อมูลที่ขาดหายเรียบร้อยแล้ว จะมีข้อมูลที่ไว้ใช้สำหรับการดำเนินงานวิจัยทั้งสิ้น 11,196 ข้อมูลและมี 77 ตัวแปร โดยมีการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การกระจายตัวของระดับสุขภาพจิตในเยาวชน

ข้อมูลทั้งหมดมีค่าเฉลี่ย (Mean) ของระดับสุขภาพจิตอยู่ที่ 2.8 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) อยู่ที่ 1.2 เมื่อจำแนกข้อมูลตามเพศ จะเห็นว่าเพศหญิงมีปัญหาสุขภาพจิตในระดับที่สูงกว่าเพศชาย นั่นคือมีค่าเฉลี่ย 3.2 และ SD 1.1 ในขณะที่เพศชายมีการกระจายตัวกว้างกว่าเพศหญิงเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.5 และ SD เท่ากับ 1.2

4.2.3 การจัดการคุณลักษณะข้อมูล (Feature Processing)

ข้อมูลจากแบบสอบถามที่เป็นข้อมูลนามบัญญัติ (Nominal Data) ซึ่งคือข้อมูลที่ไม่มีลำดับจะถูกเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธี One-Hot Encoding และในแบบจำลอง Logistic Regression และ Support Vector Machine ที่มีความไวต่อขนาดของข้อมูล จะมีการปรับขนาดของคุณลักษณะด้วย Min-Max Scaling ก่อนนำไปใช้งาน

4.2.4 การแบ่งชุดข้อมูล (Data Splitting)

ข้อมูลทั้งหมดจะแบ่งออกเป็น 85% สำหรับชุดเรียนรู้ (Training set) โดยใช้การตรวจสอบแบบไขว้ (Cross Validation) แบบ 5-Fold เพื่อปรับแต่งแบบจำลอง และข้อมูลอีก 15% ไว้สำหรับทดสอบแบบจำลอง (Test set) ซึ่งเป็นข้อมูลที่แบบจำลองไม่เคยเห็นมาก่อน (Unseen Data)

4.3 การสร้างแบบจำลอง (Model Building)

การสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ระดับสุขภาพจิตด้วย Multiclass Classification จะอาศัยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง 5 เทคนิค ได้แก่ Logistic Regression (Logit), Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), Random Forest (RF) และ XGBoost (XGB) เพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับการนำไปใช้งาน

5. ผลการดำเนินงานวิจัย

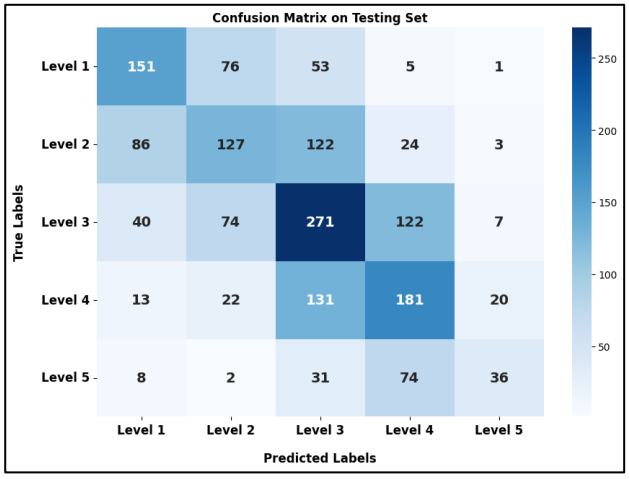
5.1 ผลการพยากรณ์โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง

จากการสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ระดับสุขภาพจิต 5 ระดับ โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องแบบ Classification ทั้ง 5 เทคนิค ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพของ Cross Validation Set แบบค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average) ของทั้ง 5 ระดับ พบว่าเทคนิค XGBoost ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด มี accuracy อยู่ที่ 0.466 (46.6%) รวมถึง Precision, Recall และ F1 Score ก็มีค่าสูงกว่าแบบจำลองอื่นเช่นกัน เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นปัญหา Multiclass Classification ซึ่งจำแนกระดับสุขภาพจิตที่มีถึง 5 ระดับ accuracy ของ XGBoost ที่มีค่า 46.6% นั้น จึงถือว่าอยู่ในระดับที่ดี (เมื่อเทียบกับการทำนายแบบสุ่มซึ่งมี accuracy ที่ 20%) ในขณะเดียวกัน Random Forest, Support Vector Machine, Logistic Regression และ Decision Tree เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับ

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของแบบจำลองในแต่ละเทคนิค

Models	Cross Validation Performance			
	Accuracy	Precision	Recall	F1 Score
Logit	0.449	0.448	0.449	0.438
SVM	0.452	0.454	0.452	0.436
DT	0.442	0.437	0.442	0.427
RF	0.457	0.463	0.457	0.434
XGB	**0.466**	**0.464**	**0.466**	**0.458**

เมื่อนำแบบจำลองที่ดีที่สุดซึ่งคือ XGBoost ไปพยากรณ์กับข้อมูลชุดทดสอบ (Test set) ที่เป็นข้อมูลที่แบบจำลองไม่เคยเห็นมาก่อน (Unseen Data) ได้ผลการทดสอบเป็นดังรูปที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในกรณีที่แบบจำลองพยากรณ์ระดับสุขภาพจิตผิดพลาด ส่วนใหญ่จะคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับใกล้เคียงกับระดับที่ถูกต้อง



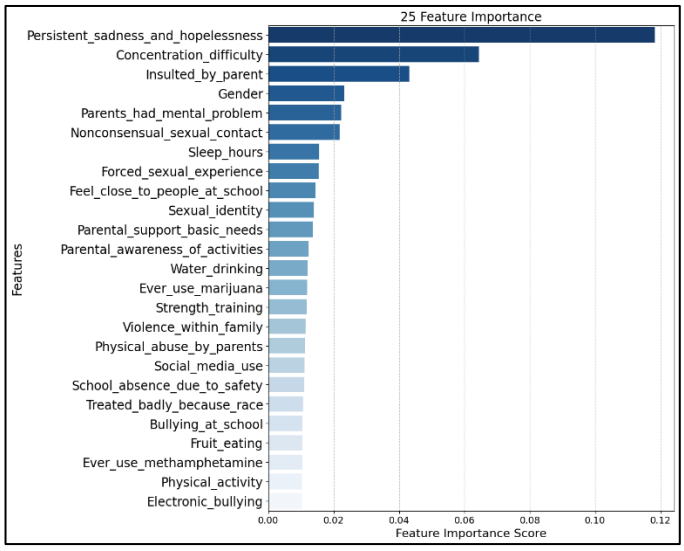
รูปที่ 3 เมทริกซ์ความสับสนของแบบจำลอง XGBoost

ตารางที่ 3 สรุปผลของแบบจำลอง XGBoost บนชุดทดสอบ พบว่ามีค่า accuracy ลดลงมาเพียงเล็กน้อย อยู่ที่ 0.456 (45.6%) แสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความสามารถที่ดีในการพยากรณ์ระดับสุขภาพจิตโดยไม่เกิดการฟิตกับข้อมูลชุดเรียนรู้มากเกินไป (Overfitting) และจากค่า F1 Score ของแต่ละระดับจะเห็นได้ว่า XGBoost สามารถพยากรณ์สุขภาพจิตระดับที่ 1, 3 และ 4 ได้ดีกว่าในระดับที่ 2 และ 5 นอกจากนี้แบบจำลอง XGBoost ที่ได้ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยแบบสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) อยู่ที่ 0.693 บ่งชี้ว่าการพยากรณ์ผิดพลาดของแบบจำลองโดยเฉลี่ยไม่เกิน 1 ระดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่า SD ของข้อมูลซึ่งเท่ากับ 1.2 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองทำงานได้ค่อนข้างดี

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง XGBoost บนข้อมูลทดสอบ

XGBoost	Test Set Performance			
	Precision	Recall	F1 Score	Support
Level 1	0.507	0.528	0.517	286
Level 2	0.422	0.351	0.383	362
Level 3	0.446	0.527	0.483	514
Level 4	0.446	0.493	0.468	367
Level 5	0.537	0.238	0.330	151
Weighted Avg	0.459	0.456	0.450	1680
Accuracy	**0.456 (45.6%)**			1680
MAE	**0.693**			1680

5.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาสุขภาพจิต



รูปที่ 4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อระดับสุขภาพจิตจากแบบจำลอง XGBoost

รูปที่ 4 แสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อระดับสุขภาพจิตของเยาวชนจากแบบจำลองที่ดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับสุขภาพจิตมากที่สุดคือ การมีความรู้สึกเศร้าและสิ้นหวังอย่างต่อเนื่อง ตามมาด้วยปัญหาด้านสมาธิและการโดนดูถูกจากผู้ปกครอง เพศและปัญหาสุขภาพจิตของผู้ปกครอง บ่งชี้ให้เห็นว่าปัจจัยส่วนบุคคลและสภาพแวดล้อมในครอบครัวมีผลสำคัญต่อสุขภาพจิตเยาวชน นอกจากนี้ การเผชิญกับประสบการณ์ความรุนแรงทางเพศที่ไม่ได้รับการยินยอม ชั่วโมงการนอน ความใกล้ชิดกับเพื่อน และปัจจัยด้านการใช้สารกระตุ้น เช่น เคยใช้กัญชา ก็มีความเกี่ยวข้องต่อสุขภาพจิตเช่นกัน ดังตารางที่ 4 สรุปปัจจัยสำคัญ 25 ปัจจัยแรก โดยแบ่งกลุ่มของปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับสุขภาพจิตได้เป็น 6 ประเภท

ตารางที่ 4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อระดับสุขภาพจิตแบ่งตามประเภท

ปัจจัยส่วนบุคคล	สภาพแวดล้อมครอบครัว
- ความรู้สึกเศร้าและสิ้นหวัง (1) - การจดจ่อหรือมีสมาธิ (2) - เพศ (4) - อัตลักษณ์ทางเพศ (10)	- การโดนดูถูกจากผู้ปกครอง (3) - ปัญหาสุขภาพจิตในผู้ปกครอง (5) - การสนับสนุนจากผู้ปกครอง (11) - ผู้ปกครองรับรู้สถานที่ไป (12)
ประสบการณ์ความรุนแรง	**พฤติกรรมสุขภาพ**
- ถูกล่วงละเมิดทางเพศโดยไม่ยินยอม (6) - ถูกบังคับทางเพศ (8) - ความรุนแรงในครอบครัว (16) - การโดนทำร้ายร่างกายจากผู้ปกครอง (17) - การถูกกลั่นแกล้งจากเชื้อชาติ (20) - การถูกกลั่นแกล้งในโรงเรียน (21) - การถูกกลั่นแกล้งทางอิเล็กทรอนิกส์ (25)	- ชั่วโมงการนอน (7) - การดื่มน้ำสะอาด (13) - การออกกำลังเพื่อสร้างความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ (15) - การกินผลไม้ (22) - กิจกรรมทางกาย (24)
	สภาพแวดล้อมทางสังคม
	- ความใกล้ชิดกับเพื่อน (9) - การขาดเรียนจากความไม่ปลอดภัย (19) - การใช้สื่อสังคมออนไลน์ (18)
การใช้สารกระตุ้น	
- เคยใช้กัญชา (14) - เคยใช้เมทแอมเฟตามีน (23)	

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงลำดับความสำคัญของปัจจัย

6. สรุปผล

จากการศึกษาพบว่าแบบจำลอง XGBoost เป็นเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการพยากรณ์ระดับสุขภาพจิตของเยาวชน แม้ว่าต้องจำแนกระดับสุขภาพจิตถึง 5 ระดับ แต่ยังให้ค่า Accuracy 45.6% และมี MAE อยู่ที่ 0.693 บนข้อมูลที่มี SD เท่ากับ 1.2 โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อสุขภาพจิตมากที่สุดคือ ความรู้สึกเศร้าและสิ้นหวังอย่างต่อเนื่อง รองลงมาคือ ปัญหาสมาธิและการถูกพ่อแม่ดูถูก อีกทั้งปัจจัยอื่น ๆ เช่น เพศ ปัญหาสุขภาพจิตของผู้ปกครอง รวมถึงเคยได้รับประสบการณ์ความรุนแรง เช่น การโดนล่วงละเมิดทางเพศและการถูกบังคับทางเพศ นอกจากนี้ปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพและสภาพแวดล้อมทางสังคม เช่น ชั่วโมงการนอน ความใกล้ชิดกับเพื่อน ก็มีผลกระทบต่อระดับสุขภาพจิตเช่นกัน โดยองค์ความรู้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้พัฒนาแนวทางการป้องกันปัญหาสุขภาพจิตในเยาวชน เช่น แนวทางการคัดกรองความเสี่ยงให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization. *World Mental Health Report: Transforming Mental Health*. World Health Organization, 2022.

[2] Centers for Disease Control and Prevention. (2023). *2021 YRBS data user's guide*. National Center for HIV, Viral Hepatitis, STD, and TB Prevention.

[3] Basu, S., & Banerjee, B. (2020). Impact of environmental factors on mental health of children and adolescents: A systematic review. *Children and Youth Services Review, 119*.

[4] Cummings, E. M., & Miller-Graff, L. E. (2021). The role of family conflict in adolescent mental health. *Current Directions in Psychological Science, 30*(4), 303-308.

[5] Hamm, M. P., Newton, A. S., Chisholm, A., Shulhan, J., Milne, A., Sundar, P., & Hartling, L. (2015). Prevalence and effect of cyberbullying on children and young people: A systematic review update. *JAMA Pediatrics, 169*(8), 770-777.

[6] Rioux, C., Huet, A.S., Castellanos-Ryan, N., Fortier, L., Le Blanc, M., Hamaoui, S., et al. (2021). Substance use disorders and suicidality in youth. *PLOS ONE, 16*(8).

[7] Mitra, A. K., Zhang, Z., & Schroeder, J. A. (2024). Cannabis use and associated risk behavior factors among high school students in Mississippi: Youth Risk Behavior Surveillance System 2021. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 21*(1109).

[8] Caves, K. N., Chavan, P. P., & Harrell, P. T. (2024). Effects of racial teasing on adolescent marijuana use and nicotine vaping: An analysis of the Virginia Youth Risk Behavior Surveillance System. *Addictive Behaviors, 160*, 108186.

[9] Semprevivo, L. K. (2023). Protection and connection: Negating depression and suicidality among bullied, LGBTQ youth. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 20*(6388).

[10] Rahman, H. A., Kwicklis, M., Ottom, M., Amornsriwatanakul, A., Abdul-Mumin, K. H., Rosenberg, M., & Dinov, I. D. (2023). Machine learning-based prediction of mental well-being using health behavior data from university students. *Bioengineering, 10*(5), 575.

[11] Tate, A. E., McCabe, R. C., Larsson, H., Lundström, S., Lichtenstein, P., & Kuja-Halkola, R. (2020). Predicting mental health problems in adolescence using machine learning techniques. *PLOS ONE, 15*(4).

[12] Qasrawi, R., Amro, M., VicunaPolo, S., et al. (2022). Machine learning techniques for predicting depression and anxiety in pregnant and postpartum women during the COVID-19 pandemic. *F1000Research, 11:390*.

การลดปริมาณของเสียในกระบวนการบรรจุครีมโดยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทเครื่องสำอาง

Reduction of Waste in the Filling Process Classed by Design of Experiment Case Study: Cosmetic Industry

วรินทร์ เกียรตินุกูล[1], ชัชพล มงคลิก[2*] , ธนกฤต โชติภาวริศ[3], พิพัฒน์พงศ์ เทพมณี[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมกระบวนการและอุตสาหการ สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
[2]วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช
[3]แขนงวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
E-mail: warin@mut.ac.th, chatpon@nmu.ac.th*, thanakrit.cho@stou.ac.th, piphatpong@mut.ac.th

Warin Keaitnukul[1], Chatpon Mongkalig[2*], Thanakrit Chotibhawaris[3], Piphatpong Thapmanee[1]
[1] Department of Process and Industrial Engineering, School of Engineering and IndustrialTechnology, Mahanakorn University of Technology
[2]Institute of Metropolitan Development, Navamindradhiraj University
[3]Branch of Industrial Technology, School of Science and Teachnology, Sukhothai Thammathirat Open University
E-mail: warin@mut.ac.th, chatpon@nmu.ac.th*, thanakrit.cho@stou.ac.th, piphatpong@mut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดขอเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยศึกษาข้อมูลของกระบวนการบรรจุครีมในสายการผลิต พบว่ามีปริมาณบรรจุครีมไม่ตรงตามข้อกำหนดเท่ากับ 70,951 ชิ้น/3 เดือน (5 กรัมต่อชิ้น) ดังนั้นจึงได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ (3^k Factorial Design) เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการบรรจุครีม จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และ Main effect plot พบว่าปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับของเสียที่เกิดขึ้น ได้แก่ 1) อุณหภูมิของครีม 2) เวลาในการบรรจุ และ 3) รูปแบบหัวบรรจุ โดยผลการทดลองสรุปได้ว่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิของครีมที่ 22.4 °C เวลาในการบรรจุที่ 0.57 วินาที และหัวบรรจุขนาด 2 มม. ซึ่งสามารถลดปัญหาปริมาณบรรจุครีมไม่ตรงตามข้อกำหนดลงจาก 21.65% เหลือเพียง 4.91% สามารถลดต้นทุนคิดเป็นมูลค่า 2,450,000 บาท ต่อปี

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง, การลดของเสีย, การทดลองเชิงแฟคทอเรียล, การปรับปรุงกระบวนการ, อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

Abstract

This research aims to reduce waste in the production process by studying the cream-filling process in the production line. It was found that 70,951 units over three months did not meet the specified filling requirements (5 grams per unit). To address this, a 3-level factorial design (3^k Factorial Design) was applied to investigate the influence of factors contributing to waste in the cream-filling process. Through the analysis of the problem's root causes using a Cause and Effect Diagram and Main Effect Plot, three critical factors were identified: 1) cream temperature, 2) filling time, and 3) nozzle size. The experimental results concluded that the optimal parameter settings were a cream temperature of 22.4°C, a filling time of 0.57 seconds, and a nozzle size of 2 mm. These adjustments reduced the defect rate from 21.65% to 4.91% and decrease cost around 2,450,000 Baht per years.

Keywords: Design of Experiments, Waste Reduction, Factorial Design, Process Optimization, Cosmetic Industry.

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องสำอางมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ครีมซึ่งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย กระบวนการผลิตครีมนั้นมีหลายขั้นตอน โดยขั้นตอนการบรรจุครีมถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดขั้นตอนหนึ่ง เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และความพึงพอใจของลูกค้า จากการศึกษาข้อมูลของกระบวนการบรรจุครีมในโรงงานกรณีศึกษา พบว่ามีปริมาณครีมที่บรรจุไม่ตรงตามข้อกำหนดที่ 5 กรัม การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียและหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการบรรจุครีมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การวิเคราะห์ Process capability analysis หรือการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ จะช่วยให้อุตสหกรรมเข้าใจและทราบถึงศักยภาพปัจจุบันก่อนที่จะทำการปรับปรุง

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเพื่อจะทำการควบคุม และหาปัจจัยที่เหมาะสมกับการผลิต สามารถลดของเสียให้ลดลง เพื่อจะเป็นแนวทางในการพัฒนา กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตที่ใกล้เคียงเพื่อพัฒนาประเทศต่อไป

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการดำเนินงาน

2.1 การออกแบบการทดลอง

[1], [2], [3] อธิบายแนวทางการทำให้การทดลองมีประสิทธิภาพสูงสุดในการวิเคราะห์ผล จำเป็นต้องใช้แนวทางทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผน การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หมายถึงกระบวนการกำหนดแผนการทดลองที่ช่วยให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะช่วยให้สามารถสรุปผลที่มีเหตุผลและน่าเชื่อถือ การออกแบบการทดลองทางสถิติเป็นสิ่งจำเป็นโดยเฉพาะเมื่อมีความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการทดลอง ซึ่งวิธีการทางสถิติเป็นเครื่องมือเดียวที่สามารถใช้วิเคราะห์ผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติจึงเป็นสององค์ประกอบสำคัญที่เกี่ยวข้องกันโดยตรง ทั้งนี้ การเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับรูปแบบของการออกแบบการทดลองที่นำมาใช้ การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลส่วนใหญ่แล้ว การทดลองในงานวิจัยมักเกี่ยวข้องกับการศึกษาผลกระทบของปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไป ในกรณีนี้ การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) เป็นหนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเป็นแนวทางที่พิจารณาผลกระทบของปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาการรวมกันของระดับต่าง ๆ ของปัจจัยที่กำหนดไว้ ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่มีสองปัจจัย หากปัจจัย A มี a ระดับ และปัจจัย B มี b ระดับ การทดลองหนึ่งรอบ (replication) จะประกอบด้วย a × b การทดลอง และหากปัจจัยทั้งหมดถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล จะถือว่าปัจจัยเหล่านั้นมีความสัมพันธ์กันแบบไขว้ (crossed)
รูปแบบทั่วไปของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ได้แก่

1. 2^k **Factorial Design** – ใช้สำหรับการทดลองที่มีหลายปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยถูกกำหนดให้มีเพียงสองระดับ
2. 3^k **Factorial Design** – ใช้สำหรับการทดลองที่มีหลายปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยถูกกำหนดให้มีสามระดับ

2.2 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ Process capability analysis เป็นการวิเคราะห์ คุณภาพ ความสามารถ และประสิทธิภาพของกระบวนการ เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการประเมินความสามารถของกระบวนการ โดยมีข้อกำหนดของลูกค้าเข้ามาร่วมในการใช้เป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาวัดผลลัพธ์การปรับปรุงได้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[4] ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial เพื่อลดจำนวนจุดบกพร่องประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลาย ปัจจัยที่ศึกษามี 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิหลอมพลาสติก ที่ Mixing rolls และ Warming roll และปริมาณเศษพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิหลอม 180°C ที่ Mixing rolls และปริมาณเศษพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ 30 กก./Batch [5] ศึกษาการหาอายุการใช้งานของมีดกลึงปอกหยาบและคำนวณหาต้นทุนในการกลึงปอกหยาบชิ้นงานของแต่ละระดับพารามิเตอร์ โดยใช้มีดกลึงปอกหยาบ รูปทรงสามเหลี่ยมรัศมีมุมมีด 0.8 องศาในการทดลองและใช้แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k ซึ่งมี 3 ปัจจัยหลัก คือ ความเร็วตัด (Cutting speed) อัตราป้อน (Feed) และความลึกในการตัดเฉือน (Depth of cut)พบว่าที่ระดับค่าความเร็วตัดเท่ากับ 80 เมตร/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.20 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเฉือนเท่ากับ 0.6 มิลลิเมตรนั้น มีอายุการใช้งานของมีดกลึงยาวนานที่สุด คือ 83.8 นาที จำนวนชิ้นงานที่สามารถกลึงได้สูงที่สุด คือ 92 ชิ้น ต้นทุนในการกลึงชิ้นงาน คือ 13.8 บาท [6] การออกแบบการทดลองเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตโดยการลดเวลาในการพลาสมาและหาพารามิเตอร์ในสภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำไม่เกิน 30 องศา ตามข้อกำหนดของลูกค้า โดยปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการพลาสมา ได้แก่ เวลาในการพลาสมา กำลังไฟฟ้า อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนและก๊าซอาร์กอน ผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ได้แก่ เวลาในการพลาสมา 6.37 นาที กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 4.20 กิโลวัตต์อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 0.10 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 0.60 ลิตรต่อนาที ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของหยดน้ำจะมีค่าไม่เกิน 10.357 องศา ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ลดเวลาในการพลาสมาลงจาก 16.00 นาที เป็น 6.37 นาที ส่งผลให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 52.97 เปอร์เซ็นต์ งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวทาง [4][5][6] ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อลดความสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเครื่องสำอาง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

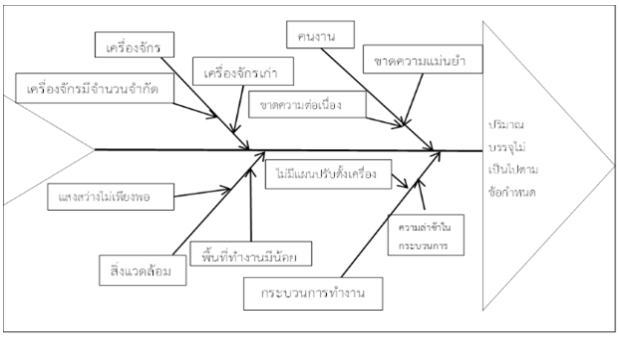
3.1 ระบุปัญหา

บริษัทกรณีศึกษาอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง พบปัญหาปริมาณเครื่องสำอางไม่เป็นไปตามข้อกำหนด จำนวน เท่ากับ 70,951 ชิ้น/3 เดือน (5 กรัมต่อชิ้น) เกิดงานที่ไม่ก่อมูลค่า ทำให้เกิดกระบวนการเพิ่มเติม และมีผลกระทบต่อความเชื่อมั่นลูกค้า

จากการศึกษากระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางดังกล่าว มีปัญหาจากกระบวนการบรรจุ งานวิจัยครั้งนี้ต้องการทดลองเพื่อค้นหาปัจจัย และระดับที่เหมาะสม จากการออกแบบการทดลองเชิง แฟคทอเรียลแบบสามระดับ จากสมมติฐานว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแต่ละระดับ

3.2 กำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

เพื่อให้การปรับปรุงเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเข้าใจถึงสาเหตุการเกิดปัญหาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพิจารณาถึงวิธีแก้ไข การวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรม อาทิ แผนภาพสาเหตุและผล หรือ Cause and Effect Diagram หรือ แผนภาพก้างปลา Fish Bone Diagram จากผู้เชี่ยวชาญและผู้ปฏิบัติงานเพื่อให้ได้มาซึ่งสาเหตุหลักของปัญหา จากการระดมความคิดจึงได้ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้อง ส่งผลให้เกิดปัญหาปริมาณที่ไม่เหมาะสม ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพสาเหตุและผลของการบรรจุครีมเครื่องสำอาง

จากแผนภาพ Case and Effect Diagram พบว่าปัญหาปริมาณเครื่องสำอางไม่ได้ตามข้อกำหนด ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ 1.อุณหภูมิครีมขณะบรรจุ(°C) 2.เวลาในการบรรจุ (วินาที) 3.ขนาดหัวบรรจุ (มม.)

3.3 การออกแบบการทดลองเชิง Factorial

จากปัจจัยที่ได้วิเคราะห์ผ่านแผนภาพแสดงเหตุและผล ปริมาณไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เกิดจากสาเหตุหลัก 3 ปัจจัยได้แก่ 1.อุณหภูมิครีมขณะบรรจุ 2.เวลาในการบรรจุ 3.ขนาดหัวบรรจุ จากปัจจัยข้างต้นมาทำการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร

โดยระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง จะทำการแบ่งระดับออกเป็น 3 ระดับ 1. ระดับต่ำ(-1) 2. ระดับกลาง (0) 3. ระดับสูง (1) ซึ่งปัจจัยและระดับของปัจจัยสรุปดังตาราง 1

ตารางที่ 1 แสดงระดับและปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเชิง Factorial

ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
	ต่ำ	กลาง	สูง	
1.อุณหภูมิครีม	20	25	30	°C
2.เวลา	0.5	0.75	1	วินาที
3.ขนาดหัวบรรจุ	2	3	4	มม.

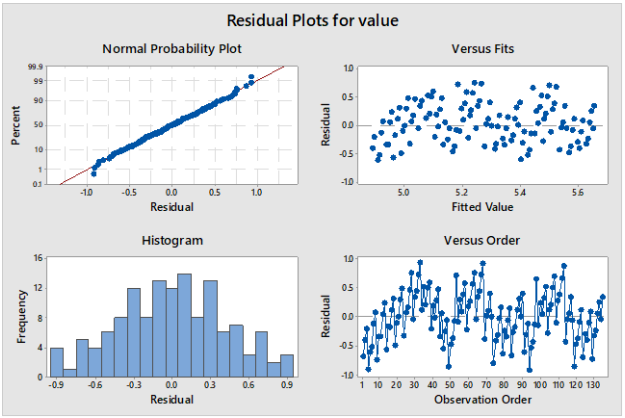
จากตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองเชิง Factorial แบบ 3 ระดับ 3^k มีปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ โดยการทดลองนี้ผู้วิจัยทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ ซึ่งจะต้องมีการทดลองทั้งหมด $(3^3) \times 5 = 135$ หน่วยการทดลอง

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัยข้างต้นนั้น ต่อมาได้ทำการทดลองดังแผนการทดลองดังกล่าว และได้มีการบันทึกผลการทดลองตามแผนที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งแสดงรายละเอียดถึงผลการดำเนินการได้ดังนี้

4.1 ตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล

ตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลโดยทำการตรวจสอบการแจกแจงปกติของค่า Residuals ซึ่งการ Plot ค่า Residuals ลงบนกราฟ Normal Probability plot ดังรูป 2



รูปที่ 2 กราฟวิเคราะห์ Residuals จากการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงลักษณะจุดแต่ละจุดของค่า Residuals โดย Normal Probability plot แสดงผลที่กระจายตามแนวเส้นตรงและมีกราฟ Histogram ที่แสดงถึงความสามาตรที่จุดกึ่งกลาง ทั้งนี้กล่าวได้ว่า ค่า Residuals มีการแจกแจงแบบปกติ และเมื่อพิจารณากราฟด้านขวา ที่

เปรียบเทียบ ค่า Residuals กับ ค่าที่ทำนาย พบว่า การกระจายตัวของค่าส่วน Residuals มีการกระจายที่ต่างกัน เป็นอิสระไม่ขึ้นกับค่าที่ถูกทำนาย โดยช่วงระยะห่างความกว้างของข้อมูลคงที่ การทดลองมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ เนื่องจาก Residuals มีการกระจายตัวแบบปกติอิสระ และมีความเสถียรของความแปรปรวน

4.2 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสม

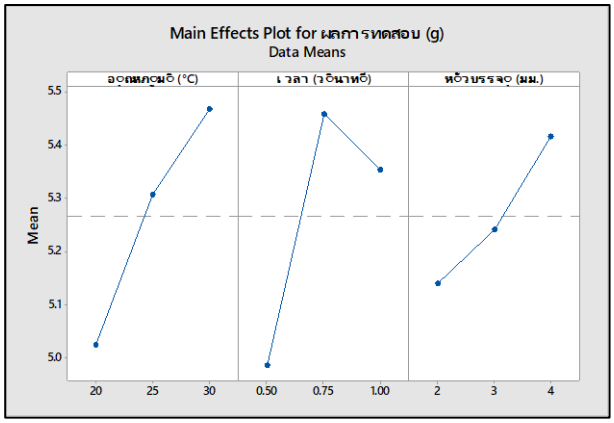
ในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม จะวิเคราห์ผ่านโปรแกรมเฉพาะทางสถิติ Minitab Version 17 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน หรือ ANOVA กับปัญหาปริมาณการบรรจุที่ไม่ได้ตามข้อกำหนด โดยแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์เชิงผ่าน ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
อุณหภูมิ	2	4.51	2.25	18.71	0.00
เวลา	2	5.51	2.75	22.84	0.00
หัวบรรจุ	2	1.74	0.87	7.24	0.01
Error	128	15.43	0.12		
Total	134	27.21			

S = 0.347 R-sq = 43.26% R-sq*(adj)* = 36.88%

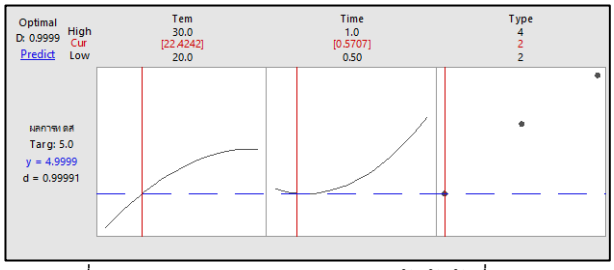
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณการบรรจุเครื่องสำอาง โดยใช้หลักการทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อค่าจำนวนของเสียอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) ได้แก่ อุณหภูมิ, เวลา, หัวบรรจุ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอิทธิพลหลักจากรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอิทธิพลหลักทั้ง 3 ปัจจัย

โดยอุณหภูมิของเนื้อครีมเครื่องสำอางเมื่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความหนืดลดลงส่งผลตรงกับการไหลเมื่อเข้าสู่กระบวนการบรรจุ ขนาดหัวบรรจุเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นก็ส่งผลต่อปริมาณการเติมเครื่องสำอางได้มากขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาในการบรรจุเมื่อเพิ่มเวลา ปริมาณเครื่องสำอางก็จะมากขึ้นจนกระทั่งผ่าน 0.75 วินาที ดังนั้น ทั้งสามปัจจัย ส่งผลต่อปริมาณการบรรจุเครื่องสำอางอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อทราบถึง Main Effect ในกระบวนการแล้ว เพื่อให้การทำงานเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงต้องอาศัยการวิเคราะห์ความเหมาะสมด้วย Respond Optimizer ซึ่งจะทำการคำนวณผ่าน โปรแกรม Minitab 17 เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเติมปริมาณเครื่องสำอาง โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมผ่าน Respond Optimizer ในการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า เตรียมครีมที่อุณหภูมิ 22.4 องศา ปรับตั้งเวลาการบรรจุ 0.57 วินาที และเลือกใช้หัวบรรจุที่ 2 มม. จะทำให้ได้ผลตอบสนองเป็นที่น่าพอใจ (Desirability: D) มากที่สุดที่ D=0.9999 (99.99%) และการค้นหาจุดร่วมกันของปัจจัยป้อนเข้าต่างๆ ของกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมต่อผลตอบสนอง ปริมาณการบรรจุ (Wedge Target) เท่ากับ Y = 4.9999 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงข้อกำหนดมากที่สุด

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการบรรจุครีมเครื่องสำอาง โดยใช้การออกแบบการทดลอง ผลการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ผลการทดลองพบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียได้แก่ อุณหภูมิของครีม (°C) เวลาในการบรรจุ (วินาที) และขนาดหัวบรรจุ (มม.) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และการปรับปรุงกระบวนการด้วยโปรแกรม Minitab 17 พบว่าการตั้งค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิ 22.4°C เวลาในการบรรจุ 0.57 วินาที และหัวบรรจุขนาด 2 มม. ซึ่งช่วยลดปริมาณของเสียจากเดิม 21.65% เหลือเพียง 4.91% คิดเป็นมูลค่า 2,450,000 บาท ต่อปี นอกจากนี้ การวิเคราะห์ Residuals และ Respond Optimizer ช่วยยืนยันความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของโมเดล สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ ผลการศึกษานี้สะท้อนให้

เห็นถึงประสิทธิภาพของการออกแบบการทดลองในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต ลดต้นทุน และยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้: ควรนำวิธีการออกแบบการทดลองไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่น การผสมส่วนผสมหรือการบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดความแปรปรวนและเพิ่มความแม่นยำ

5.2.2 การศึกษาปัจจัยเพิ่มเติม: ควรศึกษาปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลต่อกระบวนการบรรจุ เช่น ความชื้นในห้องผลิตหรือความเร็วของสายการผลิต เพื่อพัฒนาความครอบคลุมของโมเดล

5.2.3 การตรวจสอบความยั่งยืน: ควรทำการทดลองซ้ำในระยะยาว เพื่อประเมินความเสถียรของกระบวนการภายใต้สภาวะที่เหมาะสม และตรวจสอบผลกระทบจากปัจจัยภายนอกที่อาจเกิดขึ้น

5.2.4 การประยุกต์เทคโนโลยีอัจฉริยะ: ควรบูรณาการระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automation) และ IoT เพื่อปรับตั้งพารามิเตอร์การผลิตแบบเรียลไทม์ ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพการทำงานได้ทันที

5.2.5 การขยายขอบเขตการศึกษา: ควรนำวิธีการนี้ไปทดลองในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีกระบวนการผลิตคล้ายคลึงกัน เช่น อุตสาหกรรมอาหารหรือยา เพื่อยืนยันประสิทธิภาพในบริบทที่หลากหลาย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษา และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เอกสารอ้างอิง

[1] D. C. Montgomery, Design and Analysis of Experiments, 10th ed., Wiley, 2019.

[2] ปารเมศ ชุติมา, การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[3] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง, สำนักพิมพ์ท้อป, 2551

[4] โสภิดา ท้วมมี, การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 18 ฉบับที่ 3, ก.ย.-ธ.ค.2551

[5] วรินทร์ เกียรตินุกูล, การหาอายุการใช้งานของมีดกลึงปอกหยาบที่เหมาะสม, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2562, 21-24 กรกฎาคม 2562, กรุงเทพมหานคร.

[6] ชนาภรณ์ อาจหาญ. สุวิชภรณ์วิชกูล. และ รมิดายุ อยู่สุข. 2023. “การออกแบบการทดลองเพื่อลดรอบเวลาของกระบวนการทำความสะอาดพื้นผิวแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นโดยเครื่องพลาสมา”. Thai Journal of Operations Research: TJOR, Vol. 11 (1): 1-10.

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต กรณีศึกษา บริษัท ผลิตเครื่องสำอาง

Production Efficiency Improvement: A Case Study of Cosmetic Factory

พิพัฒน์พงศ์ เทพมณี[1], ชัชพล มงคลิก[2*], ธนิดา สุนารักษ์[3], วรินทร์ เกียรตินุกูล[1]
[11]ภาควิชาวิศวกรรมกระบวนการและอุตสาหการ สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
[2]วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช
[3]สาขาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
E-mail: piphatpong@mut.ac.th, chatpon@nmu.ac.th*, thanida.sun@rmutr.ac.th, warin@mut.ac.th

Warin Keaitnukul[1], Chatpon Mongkalig[2*], Thanida Sunarak[3], Piphatpong Thapmanee[1]
[1] Department of Process and Industrial Engineering, School of Engineering and IndustrialTechnology, Mahanakorn University of Technology
[2]Institute of Metropolitan Development, Navamindradhiraj University
[3]Department of Management, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: piphatpong@mut.ac.th, chatpon@nmu.ac.th*, thanida.sun@rmutr.ac.th, warin@mut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในสายการบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ผลการศึกษาพบว่าการปรับเปลี่ยนรูปแบบสายการผลิตเป็น U-Shape และการปรับจำนวนพนักงานตามความต้องการของลูกค้าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ การปรับปรุงดังกล่าวช่วยลดเวลารอคอย (Waiting Time) ในสถานีงานที่ 3 จาก 90.77% เป็น 65.55% นอกจากนี้ ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์สามารถได้มาซึ่งแผนในการรองรับการทำงานที่เหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าที่มีความแปรปรวนสูง การทดสอบทางสถิติ (t-test) ยังยืนยันว่าแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำและสามารถใช้แทนสถานการณ์จริงได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คำสำคัญ: การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต, สายการผลิต U-Shape, แบบจำลองสถานการณ์, การจัดสมดุลสายการผลิต, การวิเคราะห์เชิงสถิติ

Abstract

This study aims to improve production efficiency in the packaging line of cosmetic products by using simulation modeling and quantitative data analysis. The results indicate that adopting a U-Shape production line and adjusting the number of workers based on customer demand can significantly enhance production efficiency. These improvements reduce waiting time at Station 3 from 90.77% to 65.55%. Furthermore, the simulation results provide a suitable plan to accommodate highly variable customer demand. Statistical testing (t-test) confirms that the simulation model is accurate and can represent the actual production scenario at a 95% confidence level.

Keywords: Production efficiency improvement, U-Shape production line, Simulation modeling, Line balancing, Statistical analysis

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอางมีมูลค่าทางการตลาดสูงถึง 10,780 ล้านบาท มีบริษัทที่จดทะเบียนมากกว่า 1,781 ราย ทำให้มีการแข่งขันกันสูงมาก ผู้ประกอบการแต่ละรายล้วนแล้วแต่ต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อตอบโจทย์ให้ตรงตามความต้องการที่ไม่แน่นอนของผู้ซื้อ บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจผลิตเครื่องสำอางที่ใช้สำหรับบำรุงผิวพรรณ เช่น ครีมกันแดด ครีมรองพื้น และครีมบำรุงผิว เป็นต้น โดยมีกระบวนการผลิตหลัก ๆ ประกอบด้วย การเตรียมสูตรครีม การเลือกวัสดุตามสูตรครีม การผสมสูตร การบรรจุสินค้า ด้วยสถานการณ์ปัจจุบัน สถานประกอบการต้องการสายการผลิตที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้โดยใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การมีสายการผลิตที่สามารถปรับเปลี่ยนและจัดการได้ตรงต่อความต้องการที่ไม่แน่นอนของลูกค้าจึงเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือสำคัญที่ช่วยสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันในสภาวะการปัจจุบัน

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่กระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดำเนินงาน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว จึงได้ใช้แนวทางการวิจัยเชิงปริมาณ โดยใช้รูปแบบการศึกษากับสายการผลิตที่ได้รับการคัดเลือกจะได้รับการวิเคราะห์อย่างละเอียดเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับประสิทธิภาพและระบุจุดที่สามารถปรับปรุงได้

2.1 การศึกษาเวลา (Time Study) [1][2]

การหาเวลาที่เป็นมาตรฐานในการทำงานใช้ในการวัดผลงานเป็นเวลาที่ทำงานได้ โดย เวลามาตรฐาน (Standard Time) หมายถึง ค่าเวลาของงานโดยพนักงานซึ่งได้รับการฝึกฝนงานนั้นมาเป็นอย่างดี ทำงานนั้นภายใต้เงื่อนไขการทำงานปกติด้วยอัตราความเร็วมาตรฐาน

สมการหาเวลามาตรฐานแสดงดังสมการที่ 1.

$$\text{Std.Time} = \text{NT} + \left(\frac{\%\text{AF}}{100} \times \text{NT}\right) \quad (1)$$

โดยที่ Std.Time (Std.T.) = เวลามาตรฐาน
Normal Time (NT) = เวลาปกติ
%AF = % ค่าเผื่อต่างๆ

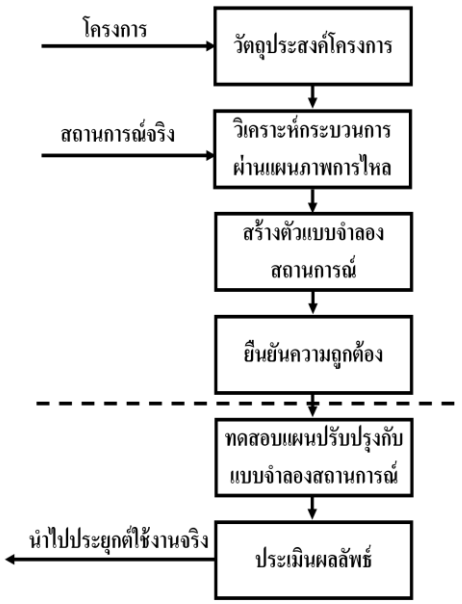
2.2 การจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing)

เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการจัดวางผังผลิตภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาว่างงานลง เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตเป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับงาน การรวมงานเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานแต่ละสถานีงานได้ตามความเหมาะสม โดยใช้แรงงาน และอุปกรณ์ต่างๆ น้อยที่สุด หรืออาจกล่าวว่าวัตถุประสงค์ของการจัดสมดุลสายการผลิต คือ ทำให้จำนวนสถานีทำงาน หรือคนงานต่ำสุดตามรอบเวลาการผลิตที่กำหนดให้

2.3 การจำลองสถานการณ์ (Simulation modeling) [3]

การปรับปรุงการผลิตด้วยการใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Modeling) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยทั่วไปมีขั้นตอนดังนี้ 1)การกำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ 2)รวบรวมข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริง เช่น เวลาการดำเนินงาน ความแปรปรวน ปริมาณการผลิต การไหลของวัสดุ จำนวนพนักงาน เป็นต้น 3)สร้างแบบจำลองสถานการณ์นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาสร้างแบบจำลองสถานการณ์บนซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์ โดยสร้างแบบจำลองให้สามารถจำลองกระบวนการผลิตได้อย่างละเอียด 4)ตรวจสอบและปรับแก้แบบจำลองรวมถึงทดสอบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงจากกระบวนการผลิตและปรับแก้แบบจำลองจนกระทั่งได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับสภาพการณ์จริง 5) นำไปปฏิบัติและประเมินผล การนำผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตจริง รวมถึงติดตามและประเมินผลหลังการปรับปรุงเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น

การใช้แบบจำลองสถานการณ์ช่วยให้สามารถทดลองและวิเคราะห์สถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัยโดยไม่ต้องรบกวนกระบวนการผลิตจริง ทำให้สามารถหาวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสมก่อนนำไปปฏิบัติจริง ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงและประหยัดทรัพยากรแสดงดังรูปที่ 1.



รูปที่ 1 แบบจำลองสถานการณ์ช่วยให้สามารถทดลองและวิเคราะห์สถานการณ์

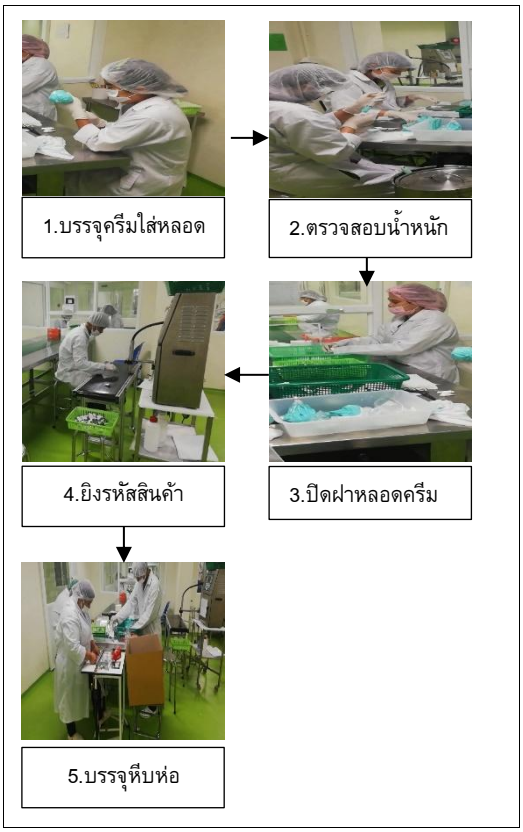
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[4] ได้ศึกษางานวิจัยเรื่อง Creating Flexible Simulation Models โดยใช้การจำลองสถานการณ์ในกระบวนการของ Lithography cluster tool ซึ่งเครื่องมือนี้ใช้สำหรับพิมพ์รูปแบบเส้นวงจรลงบนแผ่นwafer โดยเมนูการป้อนข้อมูลได้ถูกออกแบบมาสำหรับกระบวนนี้เพื่อให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลคือ การใช้การประมวลผล, จำนวนของแผ่น wafer ที่ทำงานหนึ่งครั้งในเครื่องมือ, ความเร็วของเครื่องและกฎการลำดับความสำคัญของการผลิตของ wafer ซึ่งทั้งหมดนี้ได้ถูกนำไปจำลองสถานการณ์บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาวิธีการที่ดีที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่า แรงงานจะลดลงไปได้ถึง 100 ชั่งโมงการทำงาน, equipment utilization เพิ่มขึ้นมากกว่า 20% [5] เป็นวิจัยที่เกี่ยวกับการจำลองสถานการณ์สำหรับการปรับปรุงกระบวนการและผังโรงงานผลิตกาแฟชนิดผง เพื่อลดปัญหาคอขวดในกระบวนการผลิต โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการผลิตที่มุ่งเน้นให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด หรือ ระบบลีน รวมถึงใช้หลักการ ECRS หลักการจัดสมดุลสายการผลิต และการจัดผังการทำงานแบบเซลล์ โดยงานวิจัยนี้ใช้หลักการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบและตัดสินใจเลือกด้วยหลักเกณฑ์ AHP หลังการปรับปรุงอัตราผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 40.13 ชิ้น/ชั่วโมง/คน เป็น 74.92 ชิ้น/ชั่วโมง/คน และประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 37.3% เป็น 53.7% [6] วิจัยเกี่ยวข้องกับการออกแบบผังโรงงานสำหรับผลิตภาชนะบรรก๊าซแรงดันโดยทำการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในขั้นต้นได้ศึกษาวิธีการ SLP หรือ Systematic Layout Planning และการออกแบบผังโดยใช้การคำนวณจาก จำนวนรอบการขนย้ายชิ้นงานระหว่างแผนกคูณกับระยะทาง หลังการปรับปรุงแผนผังโรงงานพบว่า ผังทางเลือกที่ทำการวางผังตามผลิตภัณฑ์ (Product Layout) มีเวลาเฉลี่ยของชิ้นงานในระบบของผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 270.7 นาทีเป็น 258.83 นาทีซึ่งคิดเป็น 4.27%

3. วิธีการดำเนินงาน

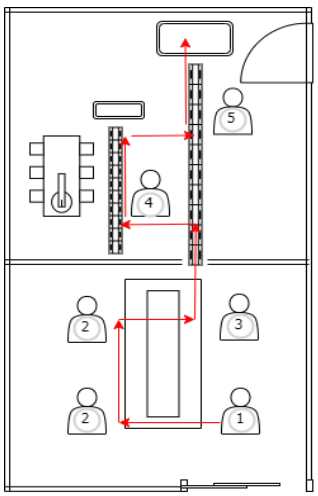
3.1 ศึกษาข้อมูล

การผลิตเครื่องสำอางบริษัทกรณีศึกษา ในแต่ละสายการผลิตมีพนักงาน 6 คน เวลาในการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง และเวลาในการทำงานล่วงเวลามีทั้งสิ้น 2:30 ชั่วโมง โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปยังส่วนงานบรรจุ มีกระบวนการทำงานรูปที่ 1 มีสถานีงาน 5 สถานีงานและมีงานย่อย 13 กระบวนการทำงาน ที่ใช้ในกระบวนการบรรจุ ดังรูปที่ 1 ในแต่ละสถานีมีระยะเวลาในการดำเนินงานที่แตกต่างกัน โดยบริษัทกรณีศึกษา เริ่มเข้างานตั้งแต่ 8:00 – 17:00 น. และมีการทำงานล่วงเวลาในช่วง 17:30-20:00 น. โดยมีพนักงานฝ่ายผลิตในแผนกดังกล่าว จำนวน 6 คน ทั้งนี้พบว่า ชั่วโมงการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง และมีเวลาทำงานล่วงเวลา 2:30 ชั่วโมงต่อวัน กระบวนการบรรจุมี 5 สถานีงาน เริ่มจากสถานีงานที่ 1 บรรจุครีมจากถังครีมเครื่องสำอางที่เตรียมไว้นำมาใส่หลอดบรรจุภัณฑ์ตามปริมาณที่กำหนด จากนั้น สถานีงานที่ 2 ตรวจสอบน้ำหนักจากการบรรจุให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐาน และส่งไปยังสถานีงานที่ 3 ปิดผนึกบรรจุภัณฑ์เพื่อเข้าสู่สถานีงานที่ 4 ยิงรหัสผลิตภัณฑ์ ตัวรหัสจะประกอบไปด้วยข้อมูลจำเพาะของสินค้าและข้อมูลการผลิต เมื่อเสร็จสิ้นจะส่งไปยังสถานีงานที่ 5 รวบรวมเพื่อบรรจุหีบห่อต่อไป ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงสถานีงานการบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล



รูปที่ 3 ผังกระบวนการบรรจุเครื่องสำอาง (ก่อนปรับปรุง)

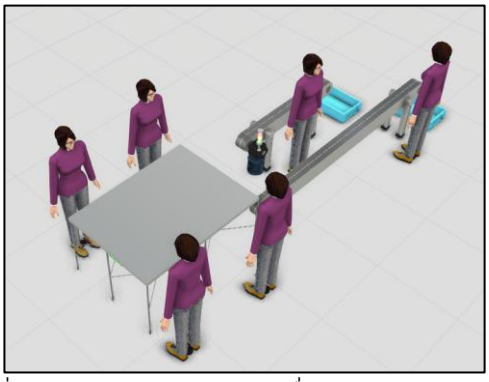
ตารางที่ 1 แสดงเวลามาตรฐานในแต่ละขั้นตอน

สถานีงาน	กระบวนการ	ระยะทาง (m)	เวลามาตรฐาน (sec)
1	1)หยิบจากบรรจุครีมใส่หลอด	0.40	1.88
	2)บรรจุครีมใส่หลอด	-	29.38
	3)ส่งไปให้ตรวจสอบน้ำหนักตามกำหนด	0.42	1.88
2	4)ตรวจสอบน้ำหนักตามกำหนด	-	38.62
	5)ส่งไปปิดฝาหลอดครีม	0.45	1.98
3	6)หยิบจากตรวจสอบน้ำหนักตามกำหนด	0.47	1.90
	7)ปิดฝาหลอดครีม	-	2.24
4	8)ส่งไปยิงรหัสสินค้า	1.36	1.36
	9)หยิบจากสายพาน	0.4	1.82
	10)ยิงรหัสสินค้า	-	6.46
	11)หยิบออกจากสายพาน	0.48	1.85
5	12)หยิบพร้อมแพ็ค	0.46	1.79
	13)แพ็ค	-	11.60

ในการศึกษาระบบการบรรจุเครื่องสำอางเพื่อทราบถึงสถานการณ์ปัจจุบัน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นคือ นาฬิกาจับเวลา กล้องวีดีโอ และใบ check-sheet เพื่อเก็บรายละเอียดตั้งแต่เริ่มบรรจุจนสิ้นสุดกระบวนการ โดยมีการเก็บข้อมูลอาทิ จำนวนคนในแต่ละสถานีงาน เวลาเฉลี่ยและเวลามาตรฐานในกระบวนการ แสดงดังตารางที่ 1 ยอดการผลิต และการจัดผังการผลิต เป็นต้น ดังแสดงผังกระบวนการบรรจุเครื่องสำอาง (ก่อนปรับปรุง) ตามรูปที่ 3

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเก็บข้อมูล กระบวนการละ 50 ข้อมูล ทั้ง 13 กระบวนการ จากนั้นนำข้อมูลมาจำแนกประเภทการแจกแจง Data distribution เพื่อหาการกระจายตัวทางสถิติของข้อมูลด้านเวลาในแต่ละสถานีงานเพื่อมาเป็นข้อมูลนำเข้าให้ตัวแบบจำลองสถานการณ์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 4 ตัวแบบจำลองสายการผลิตเครื่องสำอาง (ก่อนปรับปรุง)

ตารางที่ 2 ค่าการกระจายตัวทางสถิติแต่ละกระบวนการ

กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้า
1)หยิบจากบรรจุครีมใส่หลอด	z_binomial(5, 0.5)
2)บรรจุครีมใส่หลอด	z_binomial(26, 0.82126)
3)ส่งไปให้ตรวจสอบน้ำหนักตามกำหนด	z_uniform(1.04, 3.52)
4)ตรวจสอบน้ำหนัก	z_poisson(37.3286)
5)ส่งไปปิดฝาหลอดครีม	z_binomial(3, 0.690533)
6)หยิบออก	z_binomial(5, 0.5)
7)ปิดฝาหลอดครีม	z_binomial(3, 0.753933)
8)ส่งไปยิงรหัสสินค้า	z_binomial(5, 0.5)
9)หยิบจากสายพาน	z_geom(0.6448611407)
10)ยิงรหัสสินค้า	z_poisson(6.3996)
11)หยิบออกจากสายพาน	z_binomial(5, 0.5)
12)หยิบพร้อมแพ็ค	z_geom(0.6364429579)
13)แพ็ค	z_poisson(8.2078)

3.4 การสร้างตัวแบบจำลองสถานการณ์

แบบจำลองสถานการณ์ถูกสร้างขึ้นผ่านโปรแกรมจำลองสถานการณ์การผลิต โดยทำการจำลองสายการผลิตทั้ง 5 สถานีงาน

3.5 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)

Model validation ถูกใช้เพื่อยืนยันว่าแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้น รูปที่ 4 มาสามารถใช้แทนสถานการณ์จริงได้ โดยทำการเปรียบเทียบกำลังการผลิตที่สามารถผลิตได้ ในช่วงเวลา 10 วัน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กำลังการผลิตสถานการณ์จริงเทียบกับแบบจำลอง 10 กะ

การผลิตวันที่	กำลังการผลิต (ชิ้น)	
	สถานการณ์จริง	แบบจำลองสถานการณ์
1	1136	1134
2	1142	1142
3	1142	1141
4	1134	1138
5	1146	1143
6	1133	1131
7	1147	1142
8	1134	1131
9	1132	1128
10	1139	1140
ค่าเฉลี่ย	1138.5	1137
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	5.502525	5.517648

สถานการณ์จริงและแบบจำลองได้รับการตรวจสอบผ่านกระบวนการทดสอบที (t-test) เป็นการทดสอบสมมติฐานทางสถิติที่ใช้เพื่อตรวจสอบข้อมูลตัวอย่าง นอกจากนี้ การทดสอบนี้ยังเป็นหนึ่งในเครื่องมือทางสถิติสำหรับการยืนยันข้อมูลแบบจำลองว่าสามารถใช้แทนสถานการณ์จริงได้ สมการที่ใช้ในการคำนวณแสดงไว้ในสมการที่ (2) และ (3)

$$H_0: \mu_R - \mu_M = 0$$

$$H_1: \mu_R - \mu_M \neq 0 \qquad (2)$$

โดย

μ_R คือกำลังการผลิตสถานการณ์จริง

μ_M คือกำลังการผลิตจากตัวแบบจำลองสถานการณ์

$$\text{t-test} = \frac{(\mu_R - \mu_M)}{\sqrt{\frac{(SD_R)^2}{n} + \frac{(SD_M)^2}{n}}} \qquad (3)$$

ที่ช่วงเชื่อมั่น 95% มีค่า P-Value = 0.55 ซึ่งมากกว่าค่า α (*0.05*) ยอมรับ H_0 ผลลัพธ์ของสถานการณ์จริงและผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่ช่วงเชื่อมั่น 95%

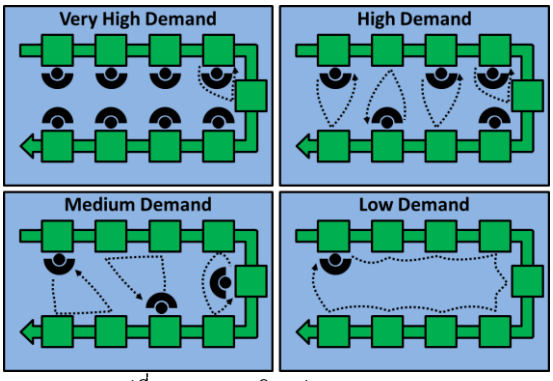
3.6 การวิเคราะห์สภาพปัญหาและแนวทางการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์กระบวนการบรรจุเครื่องสำอางสถานการณ์จริง พบว่าสถานีงานที่ 2 กำลังการผลิตที่ต่ำที่สุด มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 1862 ชิ้น(929 ชิ้น/คน) ทำให้ทางสถานประกอบการใช้ แรงงาน 2 คนในการดำเนินงาน รองลงมาคือสถานีงานที่ 1 และ 1138 ชิ้นตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวและวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองสถานการณ์ ดังตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า สถานีงานที่ 2 (S2)สถานประกอบการเลือกใช้ 2 คน(L2-1,L2-2) แต่กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นมาเพียง 22% โดยจุดคอขวดจะย้ายไปยังสถานีงานที่ 1 กำลังการผลิค 1140 ซึ่งเป็นจุดควบคุมผลผลิตหลักของสายการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

ตารางที่ 4 ข้อมูลกำลังการผลิตในแต่ละสถานีงานต่อกะ

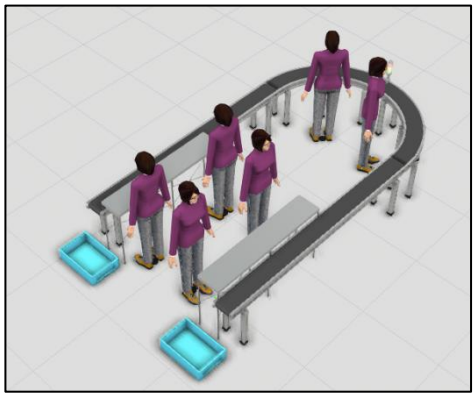
Station	S1	S2		S3	S4	S5
	L1	L2-1	L2-2	L3	L4	L5
Working	100.00%	60.92%	60.72%	9.23%	34.45%	40.15%
Waiting	0%	39.08%	39.28%	90.77%	65.55%	59.85%
Blocking	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Throughput	1140	573	573	1146	1145	1145
Total. Throughput	1140	1146		1146	1145	1145

จากการวิเคราะห์ปัญหาความไม่แน่นอนของปริมาณความต้องการและสถานประกอบการต้องการสายการผลิตที่สามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ที่ไม่แน่นอน จึงได้เสนอปรับสายการผลิตให้อยู่ในรูปแบบ U-shape เพื่อความ Flexible ในการบริหารจัดการ ดังรูป ที่ 5



รูปที่ 5 สายการผลิตรูปแบบ U-Shape

การปรับสายการผลิตในตัวแบบจำลองหลังการปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แนวทางการปรับปรุงสายการผลิตรูปแบบ U-Shape

โดยสายการผลิตรูปแบบ U-Shape นั้นจะมีความคล่องตัวด้านการจัดการกำลังการผลิต สถานประกอบการสามารถจัดวางกำลังคนได้ตามกำลังการผลิตที่เปลี่ยนแปลง แต่ต้องทำการวิเคราะห์ผลกระทบของจำนวนแรงงานที่เปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นส่วนถัดไปจะเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบที่มีผลในแต่ละกระบวนการเมื่อจำนวนคนเปลี่ยนไป

4. การดำเนินงานและผลการปรับปรุง

แบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้นได้สร้าง แผนการปรับปรุง (scenarios)โดยมีเป้าหมายในการทดสอบการใช้ทรัพยากรในสถานการณ์ความต้องการต่างๆ โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่จำนวนคนตามเป้าหมายการผลิตที่เปลี่ยนไป โดยเมื่อทำการปรับสายการผลิตแบบ U-shape ทำให้พนักงาน สามารถทำงานข้ามตำแหน่งกันได้ง่ายมากขึ้น โดยมีข้อมูลสถิติด้านการทำงาน (Working), รอคอย (Waiting) ที่เกิดขึ้นในแต่ละสถานีงาน แสดงดังหัวข้อย่อยด้านล่าง

4.1 วิเคราะห์ผลกระทบเมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนกำลังคน

4.1.1 แผนที่ 1 จำนวนพนังาน 5 คน: เมื่อวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์ พนักงาน 3 คน จะทำงานประจำหลักอยู่ที่สถานีงานที่ 1 และ 2 ส่วน คนที่เหลือจะสลับกันช่วย ในสถานีงานที่ 3, 4 และ 5 ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลกำลังการผลิต จำนวนพนักงาน 5 คน

Station	S1	S2		S3	S4	S5
Working	99.99%	61.00%	60.63%	9.22%	34.45%	40.15%
Waiting	0.01%	39.00%	39.37%	90.78%	65.55%	59.89%
Throughput	1147	573	572	1146	1145	1144
Total. Throughput	1147	1146		1145	1145	1144

4.1.2 แผนที่ 2 จำนวนพนังาน 4 คน: เมื่อวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์ พนักงาน 1 คน จะทำงานประจำหลักอยู่ที่สถานีงานที่ 1 คนที่เหลือจะสลับกันช่วย ในสถานีงานที่ 2, 3, 4 และ 5 ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลกำลังการผลิต จำนวนพนักงาน 4 คน

Station	S1	S2		S3	S4	S5
Working	99.29%	60.58%	60.21%	9.16%	34.21%	39.79%
Waiting	0.71%	39.42%	39.79%	90.84%	65.79%	60.21%
Throughput	1147	569	568	1137	1136	1136
Total. Throughput	1147	1137		1137	1136	1136

4.1.3 แผนที่ 3 จำนวนพนังานต่ำกว่า 3 คน: เมื่อวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์ โดยพนักงานจะทำงานสลับกันช่วย ในทุกสถานีงาน แต่สัดส่วนหลักอยู่ที่สถานีงานที่ 1 69% และลดหลั่นกันไปตามจำนวนคน โดยจำนวนสายการผลิตที่มีพนักงาน 3, 2 และ 1 คน จะมีกำลังการผลิตที่ 792, 512 และ 274 ตามลำดับ ดังตารางที่ 7, 8และ 9

ตารางที่ 7 ข้อมูลกำลังการผลิต จำนวนพนักงาน 3 คน

Station	S1	S2		S3	S4	S5
Working	69.23%	42.61%	41.88%	6.41%	23.90%	27.76%
Waiting	30.77%	57.39%	58.12%	93.59%	76.10%	72.24%
Throughput	796	397	397	793	792	792
Total. Throughput	796	794		793	792	792

ตารางที่ 8 ข้อมูลกำลังการผลิต จำนวนพนักงาน 2 คน

Station	S1	S2		S3	S4	S5
Working	44.95%	27.64%	27.25%	4.13%	15.54%	17.98%
Waiting	55.05%	72.36%	72.75%	95.87%	84.46%	82.02%
Throughput	517	258	258	515	514	512
Total. Throughput	517	516		515	514	512

ตารางที่ 9 ข้อมูลกำลังการผลิต จำนวนพนักงาน 1 คน

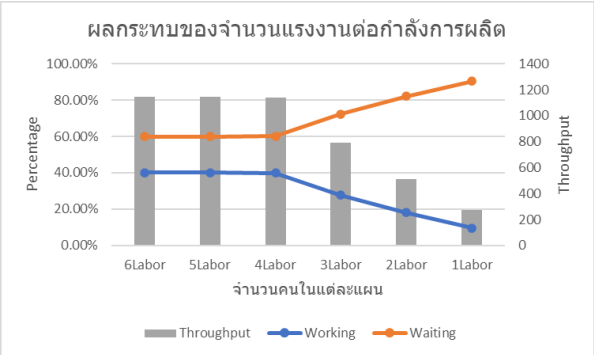
Station	S1	S2		S3	S4	S5
Working	24.20%	14.83%	14.77%	2.20%	8.38%	9.63%
Waiting	75.80%	85.17%	85.23%	97.80%	91.62%	90.37%
Throughput	279	139	139	277	275	274
Total. Throughput	279	278		277	275	274

4.2 ผลลัพธ์ที่ได้

จากการวิเคราะห์และปรับปรุงสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ พบว่าการปรับเปลี่ยนรูปแบบสายการผลิตเป็นรูปแบบ U-Shape และการปรับจำนวนพนักงานในแต่ละสถานีงานส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ การปรับเปลี่ยนรูปแบบสายการผลิตเป็น U-Shape: ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการกำลังคนและทรัพยากร โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ความต้องการของลูกค้ามีความไม่แน่นอน สายการผลิตรูปแบบ U-Shape ช่วยให้สามารถกระจายงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดเวลารอคอย (Waiting Time) และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานในแต่ละสถานีงาน

การเสนอแผนการจัดการกำลังคนเมื่อลูกค้ามีความต้องการ 1,000 ชิ้นขึ้นไป พบว่ากำลังการผลิตอยู่ที่ 1,137 ชิ้นต่อกะ สามารถใช้พนักงาน 4 คนเพียงพอในการทำงาน (จากเดิมใช้ 6 คน) โดยสถานีงานที่ 1 มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด (99.29%) ในขณะที่สถานีงานอื่น ๆ มีเวลารอคอยสูง (90.84% ที่สถานีงานที่ 3)

เมื่อลูกค้ามีความต้องการในช่วง 500-1000 ชิ้น การใช้พนักงาน 2-3 คน กำลังการผลิตลดลงเล็กน้อยอยู่ที่ 792 ชิ้นต่อกะ (สำหรับพนักงาน 3 คน) และ 512 ชิ้นต่อกะ (สำหรับพนักงาน 2 คน) โดยสถานีงานที่ 1 มีประสิทธิภาพลดลงเหลือ 69.23% และ 44.95% ตามลำดับ ในกรณีใช้พนักงาน 1 คน จะถูกพิจารณาเมื่อลูกค้ามีความต้องการต่ำ กำลังการผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญเหลือ 274 ชิ้นต่อกะ โดยสถานีงานที่ 1 มีประสิทธิภาพลดลงเหลือ 24.20% รายละเอียดดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบผลกระทบของกำลังการผลิตในแต่ละกำลังพล

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในสายการบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Modeling) และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ผลการศึกษาพบว่าการปรับเปลี่ยนรูปแบบสายการผลิตเป็น U-Shape และการปรับจำนวนพนักงานตามความต้องการของลูกค้ามีผลกระทบเชิงบวกต่อประสิทธิภาพการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ดังนี้

1. **ประสิทธิภาพการผลิตที่เพิ่มขึ้น**: การปรับเปลี่ยนสายการผลิตเป็น U-Shape ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการกำลังคนและทรัพยากร ส่งผลให้สามารถลดเวลารอคอย (Waiting Time) และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละสถานีงาน โดยเฉพาะในสถานีงานที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นจุดคอขวดหลักของสายการผลิต
2. **การปรับจำนวนพนักงานตามความต้องการ**: การปรับจำนวนพนักงานให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงานและเพิ่มความคุ้มทุนในระยะยาว อาทิ เมื่อลูกค้ามีความต้องการ 1,000 ชิ้นขึ้นไป การใช้พนักงาน 4 คนช่วยให้กำลังการผลิตอยู่ที่ 1,137 ชิ้นต่อกะ ในขณะที่การลดจำนวนพนักงานเหลือ 1 คนเมื่อความต้องการต่ำ(ต่ำกว่า 280 ชิ้นต่อกะ)ช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางตรงลงลงปีละ 980,000 บาท

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษา และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เอกสารอ้างอิง

[1] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. การศึกษางานอุตสาหกรรม (Work Study). สำนักพิมพ์ ท็อป. 2550.

[2] วันชัย ริจิรวนิช. การศึกษาการทำงาน หลักการและกรณีศึกษา. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.

[3] รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ. คู่มือสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena, พิมพ์ครั้งที่ 2, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2553.

[4] R. E. A. Schelasin and J. L. Mauer., 1995. Creating flexible simulation models. IIE SOLUTIONS. vol. 27, no. 5 (1995), p. 50-55.

[5] สาระวารี ดำรงเกียรติ. 2556. การจำลองสถานการณ์สำหรับการปรับปรุงกระบวนการและผังโรงงาน กรณีศึกษาโรงงานผลิตกาแฟชนิดผง. วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[6] นฤวรรณ ปานพวงแก้ว. 2561. การออกแบบผังโรงงานส าหรับการผลิตภาชนะบรรจุก๊าซแรงดัน. วิทยานิพนธ์สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Evacuation Plan Assessment Using Agent-Based Simulation: A Case of Mixed-Use Building in Bangkok, Thailand

Peerada Tangprasert[1*], Natt Leelawat[1,2,3], and Jing Tang[2,4]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
[2]Center of Excellence in Disaster and Risk Management Information Systems
[3]Graduate School of System Design and Management, Keio University
[4]International School of Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: 6572903221@student.chula.ac.th *

Abstract

Emergency evacuation planning for mixed-use high-rise buildings presents significant challenges due to diverse occupant behaviors, fluctuating occupancy levels, and complex structural layouts. This study examines a high-density, multifunctional mixed-use building in Bangkok, Thailand, which accommodates commercial, residential, and public spaces, making evacuation efficiency a critical concern. To assess the effectiveness of the current fire evacuation plan, this research utilizes an Agent-Based Simulation (ABS) model, which enables a comprehensive evaluation of individual decision-making processes, pedestrian movement, and congestion effects. The simulation results indicate that total evacuation times range from 5.11 to 5.47 minutes, with an average evacuation time of 5.315 minutes. Key factors influencing evacuation efficiency include population density, exit placement, and walking speed levels. The study identifies areas where the current evacuation strategy performs well while also highlighting potential bottlenecks that could hinder emergency egress. By analyzing real-world evacuation dynamics, this research provides valuable insights into the strengths and limitations of the existing evacuation plan, offering data-driven recommendations to enhance overall safety and emergency preparedness for future incidents.

Keywords: Agent-Based Simulation, Fire Evacuation, Mixed-Use Building, Emergency Preparedness

1. Introduction

Emergency evacuations in complex urban structures, such as mixed-use building case study in Pathumwan, Bangkok, Thailand, present significant challenges due to the high population density, mixed-use functionality, and intricate layouts commonly associated with such buildings. Fires in these environments have historically resulted in substantial property damage and loss of life, underscoring the urgent need for effective evacuation strategies. Despite advances in evacuation planning, many current approaches fail to adequately address dynamic human behavior, environmental variables, and real-time adaptability during emergencies. For instance, human tendencies to follow familiar routes or exhibit herding behavior during high-stress scenarios can exacerbate congestion and delays, reducing the efficiency of evacuation efforts [1].

Mixed-use building case study, a multi-functional high-rise complex in Bangkok, Thailand, is an archetype of such challenges. With its mix of commercial, residential, and public spaces, coupled with high daily foot traffic, it demands an evacuation plan capable of accounting for diverse occupant characteristics, varying occupancy levels, and the unique risks posed by its structural design. Previous studies highlight the importance of integrating behavioral factors, such as walking speeds, decision-making processes, and evacuee familiarity with the environment, into evacuation models to ensure both safety and efficiency [2,3]. However, traditional evacuation planning methods often fail to capture the complexity of these variables, limiting their applicability in real-world scenarios.

To address these gaps, this study employs an Agent-Based Simulation (ABS) model tailored to the specific context of mixed-use building case study. ABS has been recognized for its ability to model individual behaviors and interactions within dynamic systems, offering a more nuanced approach to evacuation planning compared to traditional methods like Discrete Event Simulation (DES) or Monte Carlo Simulation [4,5]. This study's model integrates critical factors such as crowd density, walking speed, age, and knowledge levels of evacuees, enabling a comprehensive analysis of evacuation dynamics. The model aims to reflect real-world complexities and provide actionable insights for safety improvements.

The objectives of this research are threefold. First, it seeks to identify potential bottlenecks and inefficiencies in current evacuation plans. Second, it aims to optimize evacuation routes by leveraging data-driven insights and adaptive modeling techniques. Finally, it strives to enhance our understanding of human behavior during emergencies, offering a robust methodological framework for improving evacuation strategies. For example, studies have demonstrated that advanced guidance systems and real-time monitoring can significantly reduce evacuation times and risks, further validating the potential impact of simulation-based approaches [6].

By leveraging real-world data from mixed-use building case study in Pathumwan, Bangkok, Thailand and the adaptive capabilities of ABS, this study contributes to the growing body of knowledge on fire evacuation planning. Its findings not only offer practical applications for mixed-use building case study but also serve as a scalable framework for enhancing safety in other high-risk urban environments, ensuring preparedness for emergencies in increasingly complex architectural settings.

2. Literature review

Fire evacuation in large, multi-functional buildings presents unique challenges due to the dynamic interplay of human behavior, environmental factors, and building layouts. Effective evacuation planning is crucial to ensure occupant safety, particularly in densely populated structures like mixed-use building case study. Prior research underscores the importance of addressing critical factors such as evacuation time, human behavior, and crowd density to optimize evacuation strategies.

2.1 Critical factors in fire evacuation

Fire evacuation in large, multi-functional buildings presents unique challenges due to the dynamic interplay of human behavior, environmental factors, and building layouts. Effective evacuation planning is crucial to ensure occupant safety, particularly in densely populated structures like mixed-use building case study. Prior research underscores the importance of addressing critical factors such as evacuation time, human behavior, crowd density, and route selection to optimize evacuation strategies.

Evacuation time is a key metric in evaluating evacuation efficiency. Studies reveal that providing clear and bespoke evacuation instructions can significantly reduce total evacuation time. For example, tailored instructions in high-rise residential buildings have been shown to decrease evacuation time by up to 50% compared to scenarios without guidance [7]. Moreover, access to direct outdoor exits further enhances evacuation speed, highlighting the importance of strategic exit placement and route

accessibility [8]. In crowded environments, evacuation modeling has demonstrated the impact of improved route signage and simulation-based guidance systems on reducing delays and enhancing safety [9].

Human behavior during evacuations plays a pivotal role in determining the overall success of evacuation plans. Behavioral studies suggest that occupants tend to prefer familiar routes even when shorter alternatives are available, emphasizing the need for well-designed signage and pre-evacuation training to guide individuals effectively [1]. Response times, including recognition and movement initiation, are significant factors in evacuation scenarios. Research indicates that the average recognition time accounts for 25% of the total evacuation duration, with individuals taking an average of 57 seconds to begin moving toward a safe area after an alarm [10]. Additionally, individual walking speeds, influenced by factors such as age, physical condition, and familiarity with the environment, vary widely and must be considered in evacuation modeling [2].

Crowd density is another critical factor influencing evacuation outcomes. As density increases, individual walking speeds decrease, leading to bottlenecks and delays in evacuation processes [11]. Research on crowd dynamics highlights the importance of controlling flow rates and designing exit pathways to accommodate varying levels of density [12]. Studies have also demonstrated the role of "leader-follower" patterns and herding behaviors, where individuals tend to follow others during emergencies, further complicating crowd movement dynamics [13].

Evacuee-selected evacuation routes significantly impact the success of fire evacuation plans. Safe and effective route selection aims to minimize both evacuation time and risk exposure, particularly to hazards like toxic smoke and heat. Algorithms for evacuation route selection often employ graph models to evaluate the shortest and safest paths during emergencies [14]. However, psychological factors, such as herding behavior and the preference for familiar routes, often influence evacuees' decisions, highlighting the need for strategies that integrate behavioral tendencies into route optimization [15]. Advanced techniques, like real-time monitoring of fire spread and adaptive routing, further enhance the efficiency of evacuation processes, ensuring safer outcomes for building occupants [16].

2.2 Agent-Based Simulation for Fire Evacuation

Agent-Based Simulation (ABS) has emerged as a preferred tool for modeling evacuation scenarios due to its ability to replicate complex human behaviors and interactions. ABS allows researchers to simulate various "what-if" scenarios, providing valuable insights into evacuation dynamics under diverse conditions [17]. For example, ABS models validated through real-world evacuation drills have demonstrated their reliability, with simulated evacuation times closely matching observed results [5]. These models excel in representing pedestrian interactions, bottlenecks, and adaptive behaviors, making them particularly suitable for high-density, multi-functional buildings [18]. Additionally, ABS applications have revealed counterintuitive evacuation patterns, such as the impact of stress and spatial familiarity on route selection, offering deeper insights into occupant behavior during emergencies [3].

This study extends the application of ABS by focusing on a mixed-use building case study, complex urban structure located in Bangkok, Thailand. By integrating variables such as walking speed, age, and varying occupancy levels, the research aims to identify bottlenecks and evaluate the effectiveness of the current evacuation plan. The ABS approach in this study involves categorizing agents by age group and assigning corresponding walking speeds. Three distinct agent types, defined by specific age ranges, are incorporated into the AnyLogic model to simulate human behavior during evacuation scenarios.

3. Methodology

This study employs ABS to analyze fire evacuation scenarios in mixed-use building case study, a high-rise mixed-use complex in Bangkok, Thailand. The ABS model is developed using AnyLogic software, integrating real-world data on pedestrian movement, structural constraints, and fire safety conditions. The methodology follows a structured process, including data collection, scenario design, model development, and validation.

3.1 Study Area and Data Collection

Mixed-use building case study is a high-density, multi-functional building that experiences fluctuating occupancy levels due to its mix of commercial, residential, and transit connectivity. This study focuses on the underground and ground floors, where fire hazards are significant due to high pedestrian volume and the presence of food outlets. Provided data on pedestrian flows from January to December 2023. Additionally, a visitor movement survey was conducted to assess entry points, exit selection

behavior, and demographic characteristics such as age, familiarity with the building, and walking speed.

3.2 Simulation Model Assessment

The model incorporates key factors affecting evaluation dynamics, including pedestrian characteristics, crowd density effects, and scenario-based analysis. Pedestrian characteristics account for age-based variations in walking speed [2], while crowd density effects consider the reduction in movement speed in high-traffic areas [11]. Evacuation route selection is influenced by factors such as signage, familiarity, and congestion levels [6]. The simulation incorporated real-world data on the number of people entering the building and its structure. However, mock-up data was used for walking speed and the probability distribution of age groups. Additionally, the model evaluates three distinct evacuation scenarios. Consists of the normal case, which represents weekday conditions with typical foot traffic. The holiday case, which simulates increased visitors due to leisure and shopping activities and the extreme case, which reflects high-density conditions during an event. Each scenario is simulated multiple times to assess evacuation time, congestion points, and route efficiency, providing insights into the effectiveness of evacuation strategies. This study, the evacuation plan in this model follows the current building evacuation plan. According to this plan, occupants are instructed to exit through designated doors located on the ground floor. The model is configured to follow these specified exit routes in accordance with the current evacuation layout, with the purpose of evaluating the effectiveness of the existing building evacuation plan.

3.3 Parameter Settings for Simulation Model

Age and walking speed play a crucial role in fire evacuation efficiency within crowded environments. This study categorizes individuals in mixed-use building case study into four distinct groups based on walking speed estimates: juveniles (under 30 years) at 1.34 m/s (4.82 km/h), adults (31–65 years) at 1.25 m/s, and elderly individuals (over 65 years) at 1.21 m/s [19]. These variations significantly impact overall evacuation efficiency, underscoring the necessity for age-specific fire safety protocols and evacuation strategies.

To ensure realistic demographic representation, a probability distribution is applied based on Bangkok's 2024 population data [20]. The city's population is categorized as follows: juveniles (ages 15–30) make up 23.8% (2.5 million), adults (ages 31–65) constitute 61.9% (6.5 million), and elderly individuals (over 65) account for 14.3% (1.5 million). These demographic distributions offer valuable insights for urban planning, emergency response frameworks, and policy development, ensuring that evacuation strategies effectively incorporate age-based movement characteristics and real-world walking speed variations.

3.4 Model Validation and Performance Assessment

The accuracy of the ABS model is validated by comparing its simulation results with real-world evacuation drills and empirical data [5]. The validation process relies on key performance metrics, including total evacuation time (TET), bottleneck identification, and behavioral accuracy. TET is assessed by comparing the simulated evacuation duration with benchmark studies [7], ensuring that the model produces realistic time estimates. Bottleneck identification focuses on detecting congestion points in escape routes, highlighting areas where movement is restricted [12]. Additionally, behavioral accuracy is evaluated by comparing the movement patterns of simulated evacuees with observed behaviors in similar environments [18]. These validation steps ensure that the model accurately represents real-world evacuation dynamics and can provide reliable insights for emergency planning and decision-making.

4. Results

The study employed an ABS model to evaluate fire evacuation scenarios, incorporating real-world data on the number of people entering the building and its structure. However, iterative-based data was used for walking speed and the probability distribution of age groups. Figure 1 illustrates the simulation model of pedestrian movement in AnyLogic, 3D representation of the floor plan of mixed-use building case study within the simulation.

The evacuation analysis considered key factors such as population density and walking speed across three sections of the building. The results, shown in Table 1, present the total evacuation times obtained from multiple simulation runs. To ensure consistency and reliability, the simulation was executed ten times under identical conditions, representing an extreme case scenario. The total evacuation times ranged from 5.11 to 5.47 minutes, with an average of 5.315 minutes.

These results suggest that the current evacuation plan implemented in mixed-use building case study in Pathumwan,

Bangkok, Thailand enables an efficient evacuation process within a reasonable time range, given the building's layout and population density. The observed variation in evacuation times can be attributed to factors such as pedestrian flow, congestion points, and minor differences in individual movement behavior modeled within the agent-based simulation.



Figure 1 3D Model in AnyLogic

Table 1 The results from running the simulation model

Run	Total evacuation time (minutes)
1	5.47
2	5.41
3	5.46
4	5.19
5	5.30
6	5.27
7	5.15
8	5.36
9	5.43
10	5.11
Average	5.315

5. Conclusion

This research highlights the importance of integrating real-world data with agent-based simulations to evaluate fire evacuation effectiveness in mixed-use buildings. According to [21], evacuation times vary significantly depending on the evacuation method and building characteristics. For instance, when using stairs only, evacuation times can range from 4 to 17 minutes, influenced by factors such as building height and population density. Additionally, [22] reports a significant increase in evacuation time under congested conditions; for example, 1,500 people walking at 0.5 m/s may require 15.9 to 30.9 minutes to evacuate. These findings underscore the impact of variables such as building occupancy, walking speed, and congestion on evacuation performance. In this study, the ABS-based evacuation assessment for a mixed-use building showed an average evacuation time of 5.315 minutes, with walking speeds between 1.21 and 1.34 m/s aligning with previous research. The findings confirm that ABS, when using realistic parameters, offers a reliable tool for evaluating evacuation strategies. They also highlight the need for adaptive plans that consider population diversity and congestion, offering useful insights for improving fire safety in dense urban areas.

Agent-based simulation enables detailed analysis of evacuation dynamics, helping identify bottlenecks and improving evacuation times. Future work can optimize plans by testing scenarios like more exits, better flow management, or added routes.

In conclusion, this study provides actionable insights for improving evacuation plans in large-scale public buildings, ultimately enhancing occupant safety during fire emergencies. The implementation of agent-based simulations offers a robust framework for analyzing evacuation dynamics and optimizing emergency preparedness strategies.

While this study provides valuable insights into fire evacuation planning using ABS for mixed-use building, certain limitations should be acknowledged. One key limitation is the reliance on data from reference studies rather than real-world observational data for some parameters in the simulation model. Due to constraints in data collection, this study incorporates approximated values for factors such as pedestrian movement patterns and behavioral responses during emergencies.

In the next phase of this research, a comprehensive survey and direct data collection process will be conducted to obtain real-world movement and behavioral data. These empirical inputs will allow for a more precise calibration of the simulation model, enhancing its accuracy and applicability. Future research will also explore additional factors such as the impact of emergency guidance systems and real-time evacuation monitoring to further optimize fire evacuation strategies.

6. Acknowledgments

We would like to express our sincere gratitude to our professor for their invaluable guidance, expert advice, and continuous encouragement throughout this study. Additionally, we sincerely thank Prarunchai Ruttanaprasert, Isoon Chanchongkham, and

Teerawat Riensuwon for their valuable support and assistance in our research.

References

[1] L. Benthorn and H. Frantzich. 1999. *Fire alarm in a public building: How do people evaluate information and choose an evacuation exit?* Fire and Materials, 23(6), 311-315.

[2] N. Wang, Y. Gao, C.-y. Li, and W.-m. Gai. 2021. *Integrated agent-based simulation and evacuation risk-assessment model for underground building fire: A case study.* Journal of Building Engineering, 40, 102609.

[3] L. Tan, M. Hu, and H. Lin. 2015. *Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency.* Information Sciences, 295, 53-66.

[4] F. B. Zhan and X. Chen. 2008. *Agent-based modeling and evacuation planning.* Geospatial Technologies and Homeland Security: Research Frontiers and Future Challenges, pp. 189-208.

[5] M. Marzouk and B. Mohamed. 2019. *Integrated agent-based simulation and multi-criteria decision-making approach for buildings evacuation evaluation.* Safety Science, 112, 57-65.

[6] Y. Song, L. Niu, P. Liu, and Y. Li. 2022. *Fire hazard assessment with indoor spaces for evacuation route selection in building fire scenarios.* Indoor and Built Environment, 31(2), 452-465.

[7] M. Gerges, P. Demian, and Z. Adamu. 2021. *Customising evacuation instructions for high-rise residential occupants to expedite fire egress: Results from agent-based simulation.* Fire, 4(2), 21.

[8] M. D'Orazio, S. Longhi, P. Olivetti, and G. Bernardini. 2015. *Design and experimental evaluation of an interactive system for pre-movement time reduction in case of fire.* Automation in Construction, 52, 16-28.

[9] H.-F. Lyu, C.-P. Wang, J. Deng, Y. Xiao, and W.-F. Wang. 2023. *Human behaviour and evacuation time for large underground comprehensive buildings during fire risk process.* Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 84, 105134.

[10] de Lama, C., González-Gaya, C., & Sánchez-Lite, A. (2020). An experimental test proposal to study human behavior in fires using virtual environments. Sensors, 20(12), 3607.

[11] S. Heliövaara, T. Korhonen, S. Hostikka, and H. Ehtamo. 2012. *Counterflow model for agent-based simulation of crowd dynamics.* Building and Environment, 48, 89-100.

[12] Z. Xiaoping, S. Jiahui, and C. Yuan. 2010. *Analysis of crowd jam in public buildings based on cusp-catastrophe theory.* Building and Environment, 45(8), 1755-1761.

[13] J. Shi, A. Ren, and C. Chen. 2009. *Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions.* Automation in Construction, 18(3), 338-347.

[14] M. Choi and S. Chi. 2019. *Optimal route selection model for fire evacuations based on hazard prediction data.* Simulation Modelling Practice and Theory, 94, 321-333.

[15] Y. Song, L. Niu, P. Liu, and Y. Li. 2022. *Fire hazard assessment with indoor spaces for evacuation route selection in building fire scenarios.* Indoor and Built Environment, 31(2), 452-465.

[16] Z. Han, W. Weng, Q. Zhao, X. Ma, Q. Liu, and Q. Huang. 2013. *Investigation on an integrated evacuation route planning method based on real-time data acquisition for high-rise building fire.* IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 14(2), 782-795.

[17] F. B. Zhan and X. Chen. 2008. *Agent-based modeling and evacuation planning. Geospatial Technologies and Homeland Security: Research Frontiers and Future Challenges,* pp. 189-208.

[18] N. Zarboutis and N. Marmaras. 2007. *Design of formative evacuation plans using agent-based simulation.* Safety Science, 45(9), 920-940.

[19] F. Alves, S. Cruz, A. Ribeiro, A. B. Silva, J. Martins, and I. Cunha. 2020. *Walkability Index for Elderly Health: A Proposal.* Sustainability, 12, 7360.

[20] World Population Review. *Bangkok Population 2024.* Retrieved from https://worldpopulationreview.com/cities/thailand/bangkok (March 2, 2025).

[21] M.-L. Siikonen and H. Hakonen. 2002. *Efficient evacuation methods in tall buildings.* Elevcon Milan 2002, Council on Tall Buildings and Urban Habitat.

[22] A. Sheeba and R. Jayaparvathy. 2024. Modeling of emergency evacuation in high rise buildings considering congestion at stairs based on Markov chains. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 633, 129352

การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มผ่านการเปลี่ยนแปลงสู่ระบบดิจิทัล: การพัฒนา Checklist E-Form ด้วย Power Apps

Enhancing Raw Material Quality Control in the Beverage Industry Through Digital Transformation: Development of a Checklist E-Form Using Power Apps

พนิดา สุระพร[1] และ อนินทยา คำกันยา[2*]
[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: Panida.sur@dome.tu.ac.th, Kanintaya@engr.tu.ac.th*

Panida Suraporn[1], and Anintaya Khamkanya[2*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University
E-mail: Panida.sur@dome.tu.ac.th[1], Kanintaya@engr.tu.ac.th[2*]

บทคัดย่อ

การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตเครื่องดื่ม เพื่อให้มั่นใจว่าสินค้ามีมาตรฐานและปลอดภัยต่อผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม วิธีการตรวจรับวัตถุดิบแบบดั้งเดิมที่อาศัยการบันทึกข้อมูลด้วยเอกสารหรือไฟล์อิเล็กทรอนิกส์มักมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำ ความล่าช้า และความยุ่งยากในการจัดเก็บและเรียกดูข้อมูล การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชัน Checklist E-Form โดยใช้ พาวเวอร์ แอป (Power Apps) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตรวจรับวัตถุดิบ ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถ บันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ จัดเก็บในฐานข้อมูลกลาง และลดการพึ่งพางานเอกสารแบบกระดาษ ซึ่งช่วยเพิ่มความถูกต้องและความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล ด้วยการปรับกระบวนการให้เป็นระบบดิจิทัล ระบบนี้ช่วยลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน และอำนวยความสะดวกในการติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ผลการศึกษาพบว่า การใช้แอปพลิเคชัน Checklist E-Form สามารถลดระยะเวลาการดำเนินงานลงได้เฉลี่ยร้อยละ 64.89 ลดข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล และเพิ่มความรวดเร็วและความแม่นยำในการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ นอกจากนี้ การเข้าถึงข้อมูลแบบเรียลไทม์ยังช่วยให้สามารถติดตามและวิเคราะห์แนวโน้มของวัตถุดิบที่รับเข้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนานี้สอดคล้องกับแนวทางการนำเอาเทคโนโลยีและกลยุทธ์การทำงานแบบดิจิทัล เข้ามาช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมเครื่องดื่มในตลาดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสู่ระบบดิจิทัล, การควบคุมคุณภาพ, แบบฟอร์มตรวจสอบอิเล็กทรอนิกส์, พาวเวอร์ แอป, การเพิ่มประสิทธิภาพ

Abstract

Quality control of raw materials is a critical aspect of beverage production, ensuring product consistency and consumer safety. However, traditional methods of raw material inspection, which rely on paper-based records or electronic files, often suffer from inefficiencies such as data inaccuracy, delays, and difficulties in data retrieval. This study aims to develop a digital Checklist E-Form using Power Apps to streamline the raw material inspection process. The proposed system enables real-time data recording, integrates with a centralized database, and reduces reliance on manual documentation, thereby enhancing accuracy and accessibility. By digitizing the process, the system minimizes redundancy, improves workflow efficiency, and facilitates seamless data tracking and analysis. The findings indicate that implementing the Checklist E-Form reduces processing time by an average of 64.89 percent, decreases data entry errors, and enhances the speed and accuracy of quality assessments. Additionally, real-time data access allows for more effective monitoring and trend analysis of incoming raw materials. This initiative aligns with Digital Transformation strategies, reinforcing the beverage industry's ability to improve operational efficiency and maintain a competitive edge in the evolving market landscape.

Keywords: Digital Transformation, Quality Control, Checklist E-form, Power Apps, Efficiency Improvement

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเครื่องดื่มเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูง และต้องการมาตรฐานการควบคุมคุณภาพที่เข้มงวด โดยเฉพาะในกระบวนการตรวจรับวัตถุดิบ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของการผลิต เพื่อให้มั่นใจว่าวัตถุดิบที่นำมาใช้มีคุณภาพตรงตามข้อกำหนด อย่างไรก็ตาม ระบบการตรวจรับแบบดั้งเดิมที่บันทึกข้อมูลโดยใช้เอกสารหรือการบันทึกข้อมูลแบบอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปมักประสบปัญหาด้านความแม่นยำ ความล่าช้า และความยุ่งยากในการจัดเก็บและเรียกคืนข้อมูล ทำให้เกิดความผิดพลาดและอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว จึงได้มีการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพมากขึ้น โดยเฉพาะระบบ Checklist E-form ที่พัฒนาด้วย Power Apps ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่ช่วยให้การบันทึกข้อมูลมีความเป็นระบบและสามารถเข้าถึงข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ การจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบฐานข้อมูลดิจิทัลช่วยลดความผิดพลาดในการบันทึก ลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน และเพิ่มความรวดเร็วในการตรวจสอบและอนุมัติข้อมูล ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงจากการใช้เอกสารไปสู่ระบบดิจิทัลยังเป็นการสนับสนุนแนวทาง Digital Transformation ขององค์กร และเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการข้อมูล

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาแอปพลิเคชัน Checklist E-form สำหรับการตรวจรับวัตถุดิบในโรงงานเครื่องดื่ม โดยศึกษาประสิทธิภาพของระบบในด้านการลดเวลาและข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล ซึ่งคาดว่าแอปพลิเคชันนี้จะช่วยยกระดับมาตรฐานการตรวจสอบวัตถุดิบและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมเครื่องดื่มในระยะยาว บทความนี้จึงประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในหัวข้อที่ 2 มีโครงสร้างของแอปพลิเคชันที่พัฒนาแล้วดังแสดงในหัวข้อที่ 3 จากนั้นเมื่อพัฒนาแล้วเสร็จได้มีการทดสอบการใช้งาน (Usability assessment testing) ดังแสดงในหัวข้อที่ 4 รวมถึงการสรุปผลการดำเนินงานในหัวข้อที่ 5

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาแอปพลิเคชัน เพื่อนำมาช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ได้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ พัฒนาและหาประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการคำร้องออนไลน์ (E-Form) และเปรียบเทียบความพึงพอใจของกลุ่มผู้ใช้งานที่มีสถานภาพต่างกัน เพื่อนำผลการวิจัยไปประกอบการวางแผน/กลยุทธ์ การปรับปรุงพัฒนาระบบสารสนเทศต่อการให้บริการออนไลน์ที่คล่องตัวทุกกลุ่มผู้ใช้งาน มีความเหมาะสมรองรับต่อยุคปัจจุบัน ตามนโยบายการบริหารจัดการด้านการบริการรูปแบบออนไลน์ [1] การวิเคราะห์และออกแบบระบบการจองผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเพื่อวางแผนการผลิต โดยพัฒนาระบบการจองบนระบบออนไลน์ และประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ด้วยการทำแบบสอบถามความคิดเห็นจากผู้ใช้งานทั้งหมด 31 คน และแปลผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยการนำค่าทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาระบบการจองผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเพื่อวางแผนการผลิต สามารถช่วยจัดการและวางแผนการผลิตได้เป็นอย่างดี ผู้ใช้งานสามารถบันทึกข้อมูลการจอง ค้นหาข้อมูลจากระบบ และสามารถนำข้อมูลมาวางแผนการผลิตได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว โดยเครื่องมือที่ใช้พัฒนาได้แก่ Microsoft Power Platform ซึ่งประกอบไปด้วย Microsoft SharePoint, Power Apps และ Power BI โดยผู้ใช้งานมีความคิดเห็นต่อการใช้งานระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ซึ่งระบบนี้ช่วยให้ให้บริษัทมีการวางแผนการผลิตที่ดี สามารถช่วยลดต้นทุนในการดำเนินงาน และช่วยผู้บริหารตัดสินใจวางแผนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2] การศึกษาการออกแบบและพัฒนาการรายงานข้อมูลผลการดำเนินงานโรงพยาบาลทันตกรรมโดยใช้ โปรแกรม Power BI โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือโปรแกรม Microsoft Power BI เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลในอดีตจนถึงปัจจุบันในรูปแบบที่เข้าใจง่าย แสดงสารสนเทศการวิเคราะห์ข้อมูล แสดงผลเป็นแผนภูมิ กราฟ ฮิสโตแกรม เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร และประเมินความพึงพอใจโดยใช้แบบสอบถาม โดยระดับความพึงพอใจต่อผลการออกแบบและพัฒนาการรายงานข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Power BI รวมทุกด้านอยู่ในระดับดี [3] การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นในงานอุตสาหกรรม ที่สามารถใช้งานได้ทั้งในโทรศัพท์มือถือและคอมพิวเตอร์ ครอบคลุมทั้งระบบปฏิบัติการ Android, IOS และ Windows สามารถจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบ Histograms, Pie Chart เป็นต้น [4] การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบจัดการงานซ่อมบำรุง กรณีศึกษาหน่วยไอที เป็นแอปพลิเคชันที่สร้างขึ้นเพื่อเพิ่มความสะดวกในการแจ้งซ่อมอุปกรณ์ไอที โดยสามารถเก็บประวัติการแจ้งซ่อมและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ครุภัณฑ์ เพื่อใช้วิเคราะห์การวางแผนการแจ้งซ่อมบำรุงในอนาคต โดยผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจในด้านประสิทธิภาพและประโยชน์ของแอปพลิเคชันอยู่ในระดับสูงมากที่สุด ด้านความสวยงามและด้านการสนับสนุนการให้บริการอยู่ในระดับมาก และภาพรวมความพึงพอใจ โดยรวมอยู่ในระดับมาก [5]

2.2 ดัชนีวัดประสิทธิภาพของการดำเนินงาน

การวัดประสิทธิภาพของการใช้งานแอปพลิเคชัน Checklist E-Form ที่พัฒนาโดย Power Apps โดยวัดจากระยะเวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล การจัดเก็บเอกสาร และการสืบค้นข้อมูลเพื่อการทวนสอบกลับ ของการตรวจสอบคุณภาพรับเข้าวัตถุดิบก่อนและหลังการนำแอปพลิเคชันเข้ามาช่วยในการดำเนินการ โดยวัดจากคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งานแอปพลิเคชันจากการทำแบบสอบถาม และการลดลงของระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ

โดยกำหนดให้ การบันทึกข้อมูล การจัดเก็บเอกสาร และการสืบค้นข้อมูลเพื่อการทวนสอบกลับ คิดเป็น 1:1 ของจำนวนรอบการรับเข้าวัตถุดิบทั้งหมด จะสามารถคำนวนดัชนีวัดประสิทธิภาพได้ดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าความแตกต่างระยะเวลาที่ใช้ในการทวนสอบข้อมูล (\%)} = \frac{\text{เวลาก่อนใช้แอปพลิเคชัน} - \text{เวลาหลังใช้แอปพลิเคชัน}}{\text{เวลาก่อนใช้แอปพลิเคชัน}} \times 100\%$$

เมื่อเวลาก่อนใช้แอปพลิเคชัน คือเวลาการทวนสอบแบบใช้ระบบเดิม และเวลาหลังใช้แอปพลิเคชัน คือ เวลาการทวนสอบแบบใช้แอปพลิเคชัน Checklist E-form

2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัย เริ่มจากศึกษาทฤษฎี ความเป็นไปได้และวิธีการพัฒนาแอพพลิเคชันเพื่อรวบรวมข้อมูลและวิธีการพัฒนาแอปพลิเคชันที่เหมาะสมและตอบโจทย์กับการใช้งานให้มากที่สุด จากนั้นออกแบบและพัฒนารูปแบบฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องใน SharePoint และพัฒนาหน้าจอส่วนผู้ใช้งานและการจัดการข้อมูลในแอปพลิเคชันด้วยโปรแกรม Power Apps ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มพัฒนาแอปพลิเคชันแบบ Low-Code ที่พัฒนาโดย Microsoft เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างแอปพลิเคชันที่ปรับแต่งได้เองโดยไม่จำเป็นต้องมีทักษะการเขียนโค้ดขั้นสูง เหมาะสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อใช้ภายในองค์กร เช่น ระบบบันทึกข้อมูล ระบบตรวจสอบคุณภาพ และระบบอนุมัติเอกสาร เป็นต้น

ในการทดสอบการใช้งานเบื้องต้นหลังการปรับปรุงเป็นการทดลองนำแอปพลิเคชันใช้ในการทำงาน พร้อมทั้งทำแบบประเมินผลการใช้งาน และนำข้อผิดพลาดและข้อเสนอแนะที่พบมาทำการปรับปรุงและพัฒนาระบบเพิ่มเติม ก่อนนำไปใช้งานจริงในปัจจุบัน

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบแอปพลิเคชัน

การตรวจสอบคุณภาพรับเข้าแบบเดิมก่อนนำแอปพลิเคชันเข้ามาช่วยในการทำงานมีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 1 เมื่อวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานปัจจุบันพบปัญหาของการตรวจสอบคุณภาพรับเข้า ที่ยังคงพึ่งพาแบบฟอร์มที่เป็นกระดาษทำให้เกิดความล่าช้าในขั้นตอนการบันทึกข้อมูลรวมทั้งความไม่เป็นมาตรฐาน และความเสี่ยงจากการบันทึกข้อมูลผิดพลาดหรือไม่ครบถ้วน อีกทั้งยังพบความซ้ำซ้อนของการทำงานในขั้นตอนการจัดเก็บเอกสาร นอกจากนี้ยังใช้เวลามากในการสืบค้นข้อมูลเพื่อการทวนสอบกลับ

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบแอปพลิเคชัน Checklist E-Form สำหรับการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลเพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการสืบค้นและการทวนสอบกลับของข้อมูล โดยออกแบบให้แต่ละขั้นตอน มีการดำเนินการผ่านแอปพลิเคชันทั้งหมด ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2 ซึ่งจะช่วยลดความล่าช้าและข้อผิดพลาดในการขึ้นทึกข้อมูล จัดเก็บเอกสารและสืบค้นเพื่อการทวนสอบกลับลงได้ รวมทั้งเป็นการจัดเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบฐานข้อมูลดิจิทัลเข้าถึงและดาวน์โหลดข้อมูลไปใช้งานได้ง่าย ทำให้ช่วยลดเวลาการทำงานในด้านการจัดการข้อมูลลงได้

นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาระบบการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและพัฒนาหน้าจอแสดงผลการสรุปและวิเคราะห์ข้อมูล (Dashboard) ที่สามารถสามารถวิเคราะห์และเข้าถึงข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2 และรูปแบบโครงสร้างฐานข้อมูลของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3

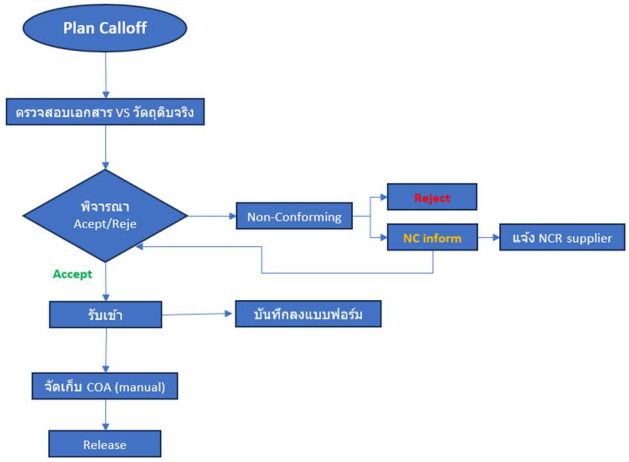
3.2 ฟังก์ชันของระบบหน้าจอและผู้ใช้งาน

Checklist E-Form เป็นแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความซ้ำซ้อนในการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบรับเข้า โดยมีเป้าหมายเพื่อลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความสะดวกในการทำงาน ในหน้าหลักของแอปพลิเคชันประกอบด้วยฟังก์ชันสำหรับบันทึก ตรวจสอบ และบริหารจัดการข้อมูล ได้แก่ Checklist for Material Receiving, Incoming Data, Certificate of Analysis (COA) และ Dashboard ดังแสดงในรูปที่ 4

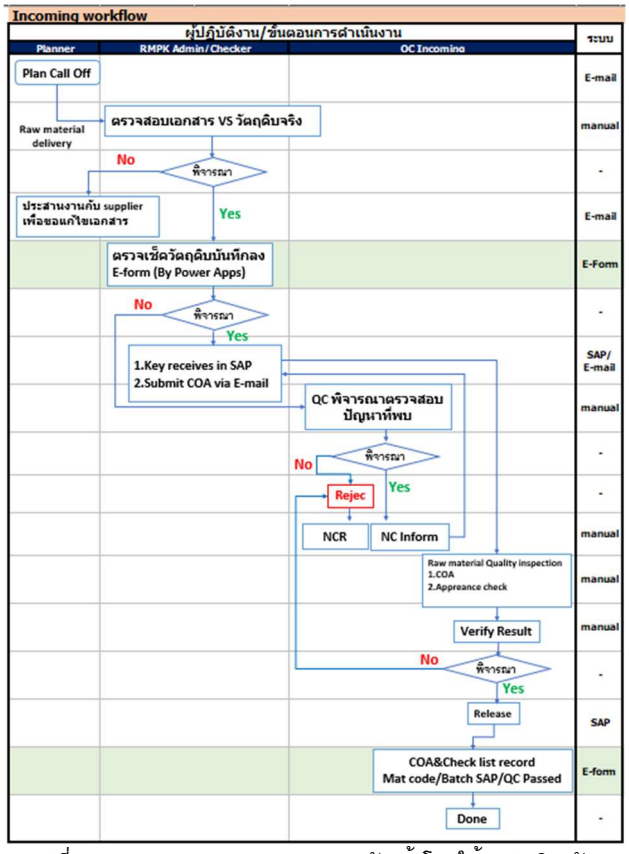
การบันทึกข้อมูลดำเนินการผ่านหน้า Checklist for Material Receiving โดยมีแบบฟอร์มให้กรอกข้อมูลตามที่ระบบกำหนด ดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อกรอกข้อมูลเรียบร้อย ระบบจะจัดเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์และแสดงผลในรูปแบบ Dashboard ต่อไป

ข้อมูลจะถูกจัดเก็บในหน้า Incoming Data ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลประวัติการรับเข้า (Raw Materials Incoming Records) ที่ได้มีการบันทึกไว้ในระบบก่อนหน้านี้ รวมถึงสามารถดำเนินการทบทวนข้อมูล (Review) และแนบเอกสารประกอบคุณภาพวัตถุดิบ (Certificate of Analysis: COA) เพื่อจัดเก็บในรูปแบบดิจิทัลผ่านหน้า COA ดังแสดงในรูปที่ 7

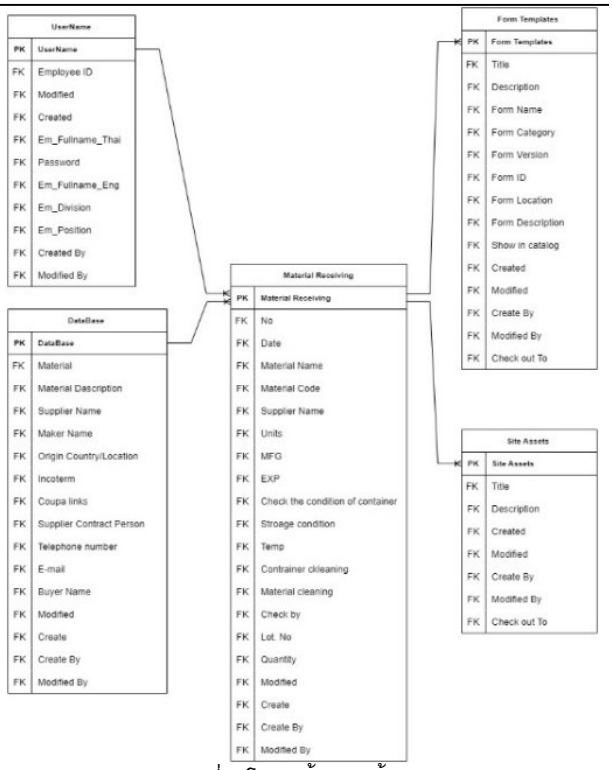
นอกจากนี้ ข้อมูลทั้งหมดที่ผู้ใช้งานกรอกผ่านแบบฟอร์มอิเล็กทรอนิกส์ จะถูกนำไปวิเคราะห์และแสดงผลในรูปแบบหน้าจอสรุปข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 8 โดยหน้าจอสรุปข้อมูลจะทำหน้าที่วิเคราะห์และสรุปผลข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ จำนวนการรับเข้า วัตถุดิบ, จำนวนวัตถุดิบที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด, อัตราส่วนของเสีย และอัตราส่วนของเสียในระดับล้านหน่วย (PPM Rate) ทั้งนี้ ผู้ใช้งานสามารถเลือกแสดงผลข้อมูลผ่านหน้าจอสรุปข้อมูลได้หลากหลายมิติ อาทิ การแสดงผลรายเดือน รายปี หรือการแสดงผลเฉพาะกลุ่มของผู้ส่งมอบ (Supplier) ตามที่ต้องการ



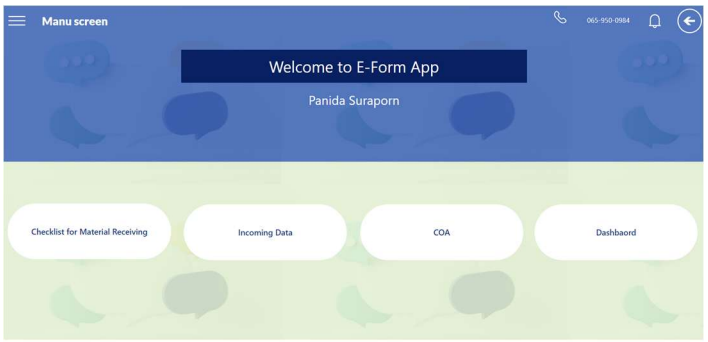
รูปที่ 1 กระบวนการตรวจสอบคุณภาพรับเข้าแบบรับแบบเดิม



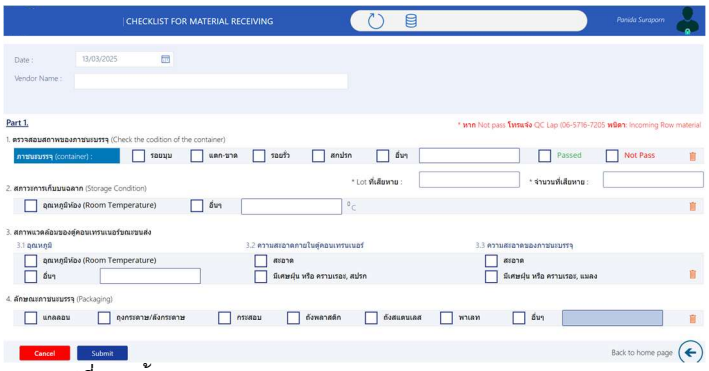
รูปที่ 2 กระบวนการตรวจสอบคุณภาพรับเข้าโดยใช้แอปพลิเคชัน Checklist E-form



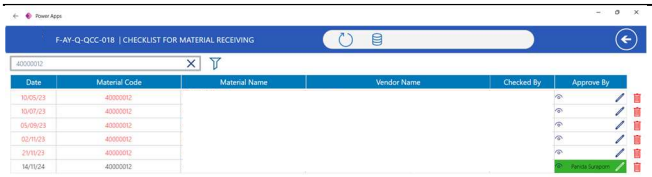
รูปที่ 3 โครงสร้างฐานข้อมูล



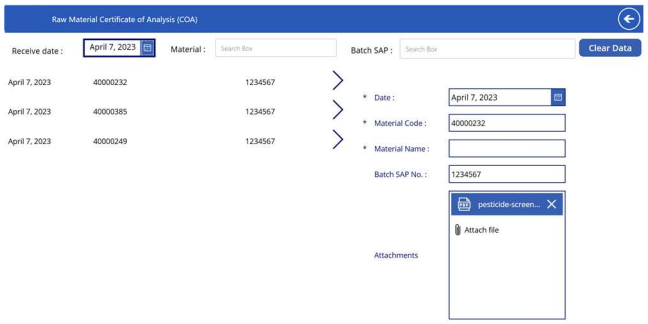
รูปที่ 4 หน้าจอหลักของระบบ



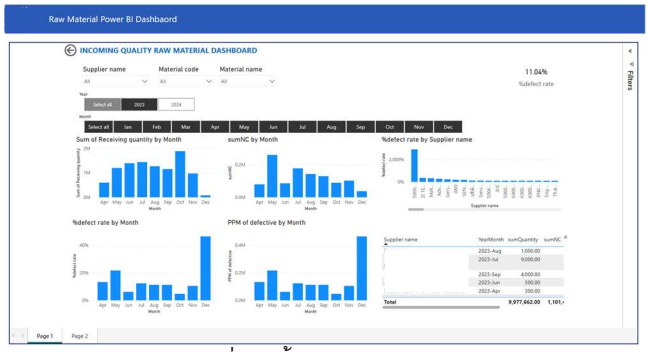
รูปที่ 5 หน้าจอ Checklist for Material receiving (E-Form)



รูปที่ 6 หน้าจอ Incoming Data



รูปที่ 7 หน้าจอ COA



รูปที่ 8 หน้าจอ Dashboard

4. การทดสอบการใช้งาน

จากการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของผู้ใช้งาน ซึ่งมีการทดลองใช้งานแอปพลิเคชัน โดยเจ้าหน้าทุกคน จำนวน 7 คน ในตำแหน่งงานต่างๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการใช้งานแอปพลิเคชันตอบแบบสอบถามทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 100 ของผู้ใช้งานจริง โดยมีเกณฑ์การแปลผลคะแนนความพึงพอในดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 และสรุปผลการทดสอบการใช้งานแอปพลิเคชัน ดังตารางที่ 2 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจโดยรวมของแอปพลิเคชัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.607 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.550 เมื่อพิจารณาความพึงพอใจโดยรวมของแอปพลิเคชันพบว่าอยู่ในระดับสูง แปลความหมายเกี่ยวกับความพึงพอใจ คือแอปพลิเคชันใช้งานได้ดีตรงตามวัตถุประสงค์และตอบโจทย์การใช้งาน อาจมีการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ โดยที่จากแบบสอบถามมีข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น คือ การปรับความเร็วในการเรียกดูข้อมูล โดยอยากให้มีความรวดเร็วในการเรียกดูข้อมูลมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ เมื่อทดสอบด้านประสิทธิภาพการทำงาน โดยให้ผู้ปฏิบัติงานทำการค้นหาข้อมูลและสรุปข้อมูล ด้วยวิธีการทำงานแบบเดิม เทียบกับวิธีการทำงานแบบใหม่ผ่านระบบ Checklist E-form ที่พัฒนาขึ้นมา โดยมีผู้ทดสอบจำนวน 5 คน ที่ต้องค้นหาข้อมูลที่แตกต่างกัน 10 กรณี พบว่าการค้นหาและสรุปข้อมูลใช้เวลาลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 64.89 โดยสรุปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 เกณฑ์การแปลผลคะแนนความพึงพอใจ

ช่วงชั้นของค่าคะแนน	ระดับความพึงพอใจ
4.20 - 5.00	สูงมาก
3.40 - 4.19	สูง
2.60 - 3.39	ปานกลาง
1.80 - 2.59	น้อย
1.00 - 1.79	น้อยมาก

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดสอบการใช้งาน

หัวข้อการประเมิน ปัจจัยโดยรวมของแอปพลิเคชัน	ระดับความพึงพอใจ		
	Mean	S.D.	การแปลผล
1.ปัจจัยด้านประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน	3.714	0.488	สูง
2.ปัจจัยด้านประโยชน์ของแอปพลิเคชัน	3.571	0.535	สูง
3.ปัจจัยด้านการออกแบบและความสวยงามของแอปพลิเคชัน	3.286	0.488	สูง
4.ปัจจัยความพึงพอใจด้านการสนับสนุนและการให้บริการการใช้งานแอปพลิเคชัน	3.857	0.690	สูง
5.สรุปผลรวมของความพึงพอใจด้านปัจจัยโดยรวมของแอปพลิเคชัน	3.607	0.550	สูง

ตารางที่ 3 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพเวลาเฉลี่ยรวมในการทวนสอบข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพรับเข้า 10 กรณีที่แตกต่างกัน

ผู้ปฏิบัติงาน	วิธีการทำงาน (นาที)		ความแตกต่าง	
	แบบเดิม	แบบใหม่	นาที	%
คนที่ 1	40	14	26	65.00%
คนที่ 2	50	17	33	66.00%
คนที่ 3	42	15	27	64.29%
คนที่ 4	39	13	26	66.67%
คนที่ 5	40	15	25	62.50%
ค่าเฉลี่ย	42.2	14.8	27.4	64.89%

Two-Sample T-Test and CI: Paper-based, Digital-based

Method

μ_1: population mean of Paper-based
μ_2: population mean of Digital-based
Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Paper-based	5	42.20	4.49	2.0
Digital-based	5	14.80	1.48	0.66

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
27.40	(21.52, 33.28)

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
12.95	4	0.000

รูปที่ 9 ผลการทดสอบทางสถิติแบบ Two-Sample T-Test

เมื่อนำค่าเวลาการทวนสอบข้อมูลจากการทดลองใช้งานแอปพลิเคชัน Checklist E-Form มาเปรียบเทียบกับเวลาการทวนสอบจากวิธีการแบบเดิมโดยใช้การทดสอบทางสถิติ Two-Sample T-Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยค่าเฉลี่ยระยะเวลาการทวนสอบของวิธีการบันทึกข้อมูลแบบกระดาษ (Paper-based) และแบบดิจิทัล (Digital-based) เท่ากับ 42.20 นาที และ 14.80 นาที ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.49 และ 1.48 นาที และพบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสองกลุ่มอยู่ที่ 27.40 นาที โดยมีช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ (21.52, 33.28) นาที

ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ค่า p-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และสรุปได้ว่า ระยะเวลาการทวนสอบระหว่างสองวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแอปพลิเคชัน Checklist E-Form ช่วยลดเวลาในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสะท้อนถึงศักยภาพของระบบในการเพิ่มประสิทธิผลในการปฏิบัติงานอย่างชัดเจน

5.สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการศึกษาพบว่า ผู้ใช้งานมีระดับความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันในทุกด้านอยู่ในระดับสูง ทั้งในด้านประสิทธิภาพ ประโยชน์ที่ได้รับ ความสวยงามของการออกแบบ ตลอดจนการให้บริการและการสนับสนุนที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในภาพรวมของแอปพลิเคชัน Checklist E-Form อยู่ในระดับสูงอย่างชัดเจน

การพัฒนาแอปพลิเคชันดังกล่าวไม่เพียงแต่ช่วยลดความล่าช้า ความผิดพลาด และความซ้ำซ้อนในกระบวนการทำงานด้านการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มเท่านั้น แต่ยังช่วยให้สามารถจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ เพื่อสนับสนุนการติดตามคุณภาพวัตถุดิบ การคาดการณ์แนวโน้มอัตราของเสียในช่วงเวลาต่างๆ รวมถึงการประเมินศักยภาพของผู้ส่งมอบได้อย่างเป็นรูปธรรม

นอกจากนี้ แนวทางการพัฒนาระบบ Checklist E-Form ยังสามารถนำไปต่อยอดและประยุกต์ใช้กับหน่วยงานหรือกระบวนการอื่นๆ ภายในโรงงานที่ต้องการระบบบันทึกข้อมูลหน้างานและวิเคราะห์ผลแบบเรียลไทม์ เพื่อเสริมศักยภาพในการบริหารจัดการข้อมูล รองรับการตัดสินใจเชิงรุก และวางแผนป้องกันปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันสถานการณ์

6.กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนโดย คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] ศรินทร์ยา เกียงขวา (2567). การพัฒนาระบบบริหารจัดการคำร้องออนไลน์ (e-Form) ระดับบัณฑิตศึกษาของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. วารสารครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ปีที่ 18 ฉบับที่1 (มกราคม - มิถุนายน พ.ศ. 2567)

[2] จรัสชัย สิทธิศักดิ์ และคณะ (2566). ศึกษาการวิเคราะห์และออกแบบระบบการจองผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเพื่อวางแผนการผลิต

[3] ดวงใจ ใจกล้าและคณะ (2567). การ ประยุกต์ ใช้ งาน โปรแกรม Power BI ใน การ วิเคราะห์ ข้อมูล ผล การ ดำเนิน งาน โรงพยาบาล ทันต กรรม มหาวิทยาลัย พะเยา. วารสาร ศิลปศาสตร์ราช มงคล พระนคร, 4(1), 1-18.

[4] ณัฐภัท ศรีอรุณสว่างและสันติภาพ เจ๊ะมิน (2566). การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นในงานอุตสาหกรรม

[5] วริษา อรรถาเพ็ชร ชนาภา รองเดช และอนินทยา คำกันยา (2566). การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบจัดการงานซ่อมบำรุง กรณีศึกษาหน่วยไอที การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรม ครั้งที่ 14

[6] Laaksonen, J. (2024). Best practices for Microsoft Power Apps implementation.

[7] Leung, T., & Leung, T. (2021). Introducing Power Apps. Beginning Power Apps: The Non-Developer's Guide to Building Business Applications, 3-1

Process Improvement of Motorcycle Wiring Harness Production Line

Sanya Yimsiri[1*], Banhan Lila[1], Adisak Nowneow[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: syimsiri@eng.buu.ac.th*

Abstract

This research investigates methods of improving the motorcycle wire harness production line at a studied company to enhance efficiency and productivity. Through the implementation of Lean principle including ECRS principles (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify), Time and Motion Study and line balancing techniques, the study aimed to address bottlenecks, minimize waste, and improve cycle time. Initial analysis of the production line revealed inefficiencies, including work-in-process accumulation and bottlenecks at specific workstation. These issues hindered production capacity and resulted in increased cycle time and production costs. Through the application of ECRS principles, unnecessary steps and movements were eliminated, tasks were combined and rearranged for better flow, and processes were simplified to reduce complexity. Moreover, line balancing techniques were employed to distribute work evenly across workstations, minimizing idle time and maximizing production line efficiency.

The results of the study were significant. Post-improvement analysis showed a substantial increase in production line efficiency, rising from 69.27% to 91.60%. This improvement came from a reduction in cycle time, decreasing from 93.31 minutes to 87.50 minutes. Consequently, the daily output increased from 119 units to 170 units, allowing the company to meet higher customer demand. Furthermore, the implementation of ECRS and line balancing led to a decrease in labor cost per unit, dropping from 125.22 baht to 91.43 baht. This cost reduction contributed to an overall increase in profitability, with the company projected to achieve an annual profit increase of 1,217,160 baht. The successful application of these principles and techniques in this study demonstrates their effectiveness in improving production line efficiency and profitability. The findings can be applied to other manufacturing settings to optimize processes, reduce waste, and enhance overall performance.

Keywords: Wire harness, Lean principles, Line balancing, ECRS, Process improvement

1. Introduction

The automotive industry is one of the largest and most competitive sectors in Thailand. To remain viable in such a competitive market, manufacturers must continuously improve quality, reduce costs, and enhance efficiency. Equally important is optimizing production processes to minimize cycle time and increase output. [8]

The case study focuses on a manufacturer that is a supplier of automotive components producing wiring harnesses for vehicles, including automobiles and motorcycles. Within its "Production 2" unit, the company operates 15 production lines. However, it was identified that the wiring harness at one production line underperformed, failing to meet planned output targets.

Through detailed process study, bottlenecks were identified slowing the flow, leading to excessive production times, work-in-progress accumulation, and excess worker movement. Moreover, some workstations exhibited a cycle time that exceeds the takt time.

To address these challenges, this study aims to optimize the production line by implementing Lean principles including line balancing techniques and the ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) principles. These approaches are expected to eliminate bottlenecks, enhance efficiency, and ensure that production meets customer demands on time. [6,10]

2. Literature Review

Automotive wiring harness production is challenged by high labor intensity, long cycle times, and quality issues. Lean manufacturing principles have been widely adopted in this field to eliminate waste, improve workflow, and enhance efficiency. Researchers have used tools such as value stream mapping, 5S, and line balancing to re-engineer production processes, streamline operations, and reduce defects. [1]

Lean Process Improvement in Wiring Harness Production

1. Elimination of Waste and Process Optimization

Lean methods aim to remove non-value-adding activities (Muda) from production. In wiring harness assembly, studies have identified waste in material handling, waiting time, and unbalanced workstations. Applying the ECRS principles (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) can reorganize workstations, significantly reducing process turnaround and waiting times while improving overall balance.

2. Line Balancing and Layout Optimization

Optimizing the distribution of tasks among workstations has proven to be critical. Through detailed time studies and process mapping, rebalancing operations not only reduces labor requirements but also minimizes ergonomic risks. Improved workstation layout helps eliminate unnecessary motion and waiting, leading to higher production rates and reduced defects [2].

3. Integration of Lean Tools and Digital Technologies

Recent research has integrated digital tools (such as real-time audits using digital 5S systems) with lean practices to ensure continuous compliance and improvement on the shop floor. Digital tools support lean principles by providing consistent monitoring and rapid feedback, leading to sustained improvements in production efficiency and quality [3,4].

4. Sustainability and Recycling

Lean production in wiring harness assembly also considers sustainable practices. Reducing scraps and enabling recycling of valuable materials like copper and aluminum not only cuts costs but also minimizes the environmental footprint of production. This aspect is increasingly important as manufacturers balance production efficiency with ecological responsibility [5].

Academic studies consistently show that applying lean manufacturing principles in automotive wiring harness production yields significant benefits—improved process efficiency, reduced waste, balanced workstations, and enhanced product quality. Integrating lean tools with digital monitoring systems further reinforces these gains and supports sustainable production practices.

3. Methodology

This study employs a structured approach to analyze and improve the motorcycle wiring harness production line. The methodology integrates Lean principle and time-motion studies to identify inefficiencies, propose solutions, and measure improvements. The following steps outline the process:

3.1 Process Analysis

3.1.1 Data Collection

Gather data on the current production processes, including workflow, time measurements, and layout. Conduct on-site observations to identify bottlenecks, delays, and inefficiencies in

worker movements and task execution. The layout of this production line and flow of the process are shown in figure 1 and 2 accordingly.

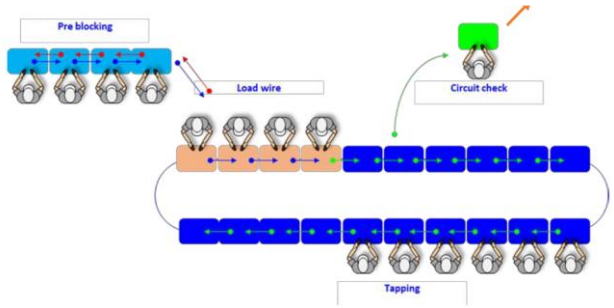


Figure 1 Layout of wire harness production line



Figure 2 Wire harness assembly steps

3.1.2 Production Flow Mapping

Use Flow Process Charts to visualize the current production flow. Document key activities, transportation, inspections, delays, and storage points.

3.1.3 Time and Motion Study

Measure the time required for tasks at each workstation.

Use standard time measurement techniques, including continuous timing and repetitive timing, to evaluate worker performance and equipment usage. The average standard time at each station is shown in table 1.

Table 1 average cycle time at each work station (existing)

workstation	Avg cycle time (min)
Pre-Blocking1	4.13
Pre-Blocking2	4.26
Pre-Blocking3	5.91
Pre-Blocking4	5.52
Load Wire1	6.47
Load Wire2	6.23
Load Wire3	3.51
Load Wire4	5.24
Tapping1	8.98
Tapping2	8.39
Tapping3	4.47
Tapping4	8.20
Tapping5	8.44
Tapping6	8.59
Circuit Check	4.97
Total	93.31

3.2 Problem Identification

3.2.1 Bottleneck Analysis

Analyze workstations with cycle times exceeding takt time (the time available per unit to meet customer demand).

Identify tasks contributing to delays and inefficiencies. The bottle were found at Tapping1 workstation. However, there were 7 stations that exceeded takt time at 6 minutes as shown in figure 3.

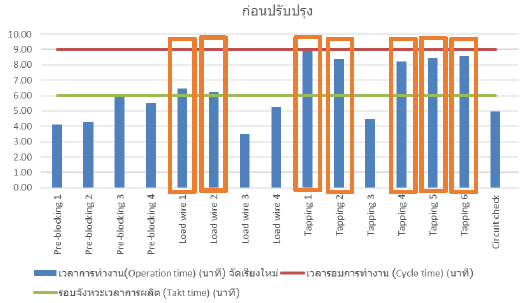


Figure 3 This graph shows cycle time (8.98 min) in a red line, takt time (6 min) in a green line and workstation time in blue bars

3.2.2 Waste Identification

Line efficiency at 69.27% were calculated showing that there were wastes in workstations. According to categorized waste types using Lean principles, focusing on the 8 types of waste (e.g., waiting, overproduction, unnecessary motion).

3.3 Improvement Design

3.3.1 Application of ECRS Principles

Eliminate: Remove unnecessary steps or redundant processes.

Combine: Integrate tasks that can be performed concurrently.

Rearrange: Adjust workflows to minimize worker and material movement.

Simplify: Redesign processes to make tasks straightforward and intuitive. [8]

3.3.2 Line Balancing

Redistribute tasks across workstations to ensure a balanced workload and minimize idle time.

Adjust the number of workstations as needed to meet takt time and achieve production goals. [9]

4. Implementation

The implementation phase focused on translating the proposed improvements into actionable steps on the motorcycle wiring harness production line. It was carried out in two stages: workstation improvement and line balancing.

4.1 workstation improvement

The initial phase involved testing the proposed changes on a smaller scale to validate feasibility and effectiveness. Firstly, adjustments were made to task assignments and workstation layouts based on ECRS principles. Secondly, introducing tools, such as pre-blocking fixtures, to streamline operations and reduce worker movement as shown in figure 3 and 4. Thirdly, operators were trained in new procedures and tools to ensure smooth adoption of changes. Cycle times and worker performance were monitored to identify potential bottlenecks or deviations from expectations.

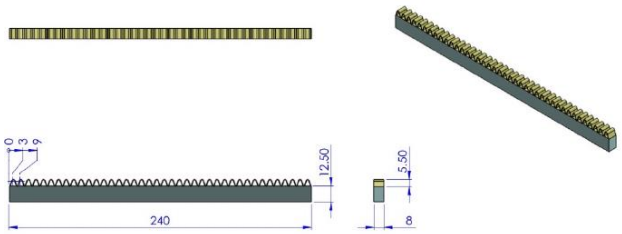


Figure 4 drawing of a pre-blocking fixtures

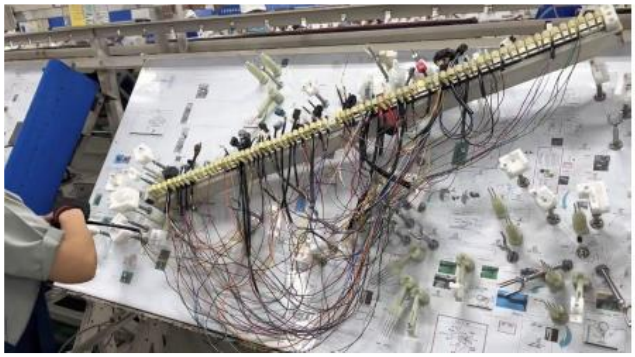


Figure 5 a pre-blocking fixture in action

Worker feedback was gathered to assess ease of implementation and highlight areas requiring further adjustment.

The reconfigured workflow resulted in immediate reductions in cycle time and worker idle periods. Minor adjustments were needed for the layout of specific tools to maximize accessibility.

4.2 line balancing

After successful pilot testing, the full-scale implementation was carried out across the entire production line. Workload was evenly distributed across 16 workstations, up from the original 15, to balance task durations and eliminate bottlenecks as shown in figure 6. Non-value-added activities were removed or minimized, including unnecessary worker movements and redundant steps. Stations were equipped with improved fixtures and layouts to simplify operations and reduce task completion times.

Comprehensive training sessions were conducted to familiarize workers with the new workflows and procedures.

Supervisors were trained to oversee the new processes and address issues promptly during the transition.

A continuous monitoring system was established to track key performance metrics such as cycle time, output, and efficiency.

Feedback from workers and supervisors was collected regularly to address any challenges during the initial implementation phase.

Finalized improvement is shown in figure 7 and 8 causing the production line achieved an efficiency of 91.60%, up from 69.27%. In addition, time at each workstation is improved significantly as shown in table 2.

Daily production output increased by 42.86%, rising from 119 units to 170 units.

Labor productivity improved to 0.63 units per person-hour, reducing labor costs by 27.01%.

The successful implementation of these changes demonstrates the value of structured methodologies, such as ECRS and line balancing, in improving production efficiency and achieving operational excellence. These enhancements also created a scalable framework for future process optimizations.

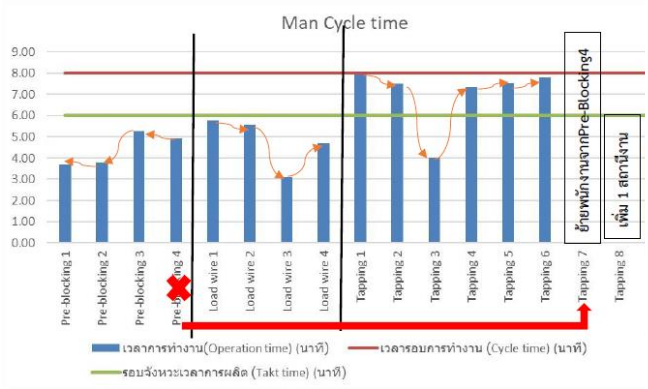


Figure 6 shows planned improvements

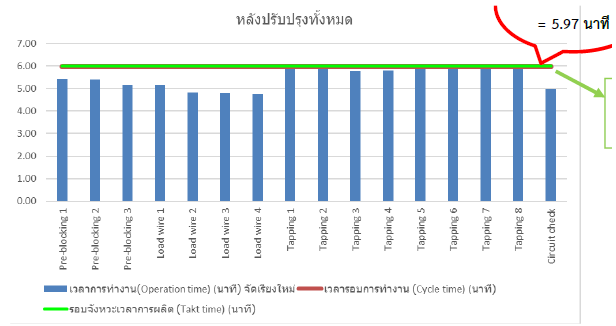


Figure 7 Resulted showed cycle time (5.79 min), takt time (6 min) and workstation times

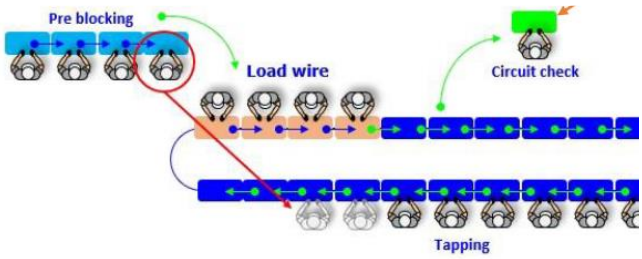


Figure 8 Improved workstation layout

Table 2 average cycle time at each work station (after improvement)

workstation	Avg cycle time (min)
Pre-Blocking1	5.42
Pre-Blocking2	5.38
Pre-Blocking3	5.15
Pre-Blocking4	0 (eliminated)
Load Wire1	5.17
Load Wire2	4.82
Load Wire3	4.79
Load Wire4	4.74
Taping1	5.89
Taping2	5.95
Taping3	5.78
Taping4	5.80
Taping5	5.94
Taping6	5.97
Taping7	5.86
Taping8	5.87
Circuit Check	4.97
Total	87.5

5. Summary

This project aimed to optimize the motorcycle wiring harness production line to overcome inefficiencies and bottlenecks that impeded the company's ability to meet production targets. Using line balancing techniques and the ECRS principles (Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify), the study identified and addressed key inefficiencies in the production process.

Key Outcomes

Efficiency Improvement:

Increased production line efficiency from 69.27% to 91.60%.

Productivity Gains:

Daily output increased by 42.86%, from 119 units to 170 units.

Labor productivity rose from 0.46 to 0.63 units per person-hour.

Cost Reduction:

Labor cost per unit decreased by 27.01%, from 125.22 THB to 91.43 THB.

Financial Impact:

Achieved an annual profit increase of 1,217,160 THB.

Process Adjustments:

Reconfigured workflow and increased workstations from 15 to 16.

The project successfully optimized the production line, resulting in higher efficiency, reduced costs, and increased profitability. These improvements demonstrate the value of structured methodologies in manufacturing and provide a foundation for future process enhancements.

References

[1] Liu, W., & Lu, S. (2023). Optimization of Automotive Wire Harness Production Process Based on Lean Manufacturing. International Conference on Engineering Management and Information Science, EMIS 2023, February 24-26, 2023, Chengdu, China

[2] Jebbor, I., Benmamoun, Z., Hachimi, H., Raouf, Y., Haqqi, M., & Akikiz, M. (2023). Improvement of an Assembly Line in the Automotive Industry: A Case Study in Wiring Harness Assembly Line. ICIEA 2023.

[3] Mrabti, A., et al., Digital 5S: a case study of an Automotive wiring industry. ITM Web Conf., 2023. 52: p. 01005.

[4] Popa, C. L., Iorga, I., Cotet, C. E., Ifrim, A. M., Popescu, C. A., & Dobrescu, T. G. (2024). Optimization of Wiring Harness Logistics Flow in the Automotive Industry. Applied Sciences, 14(22), 10636.

[5] Czarnecka-Komorowska, D., et al. (2021). Recycling of Plastics from Cable Waste from Automotive Industry in Poland as an Approach to the Circular Economy. Polymers.

[6] วิโรจน์ ลักขณา อดิศร 2552 ลีน (Lean) เป็นแนวคิดในการบริหารกระบวนการผลิต. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[7] ปภัสรา แซ่มสายทอง, พรรณราย สังคะพันธ์, นฤมล ลำจวน (2564). การปรับปรุงและจัดสมดุลของสายการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศรถยนต์. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยบูรพา

[8] พรชิตา เจนดง (2562). การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตเข็มขัดนิรภัย. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยบูรพา

[9] สาวิตรี วันหากิต (2558). การจัดสมดุลสายการผลิตของผลิตภัณฑ์ชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสไดร์ฟแบบ 4 หัว 2 แผ่น. การค้นคว้าอิสระวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[10] อดิการ ม่วงเงิน (2562). การประยุกต์ใช้เทคนิคลีน (ECRS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานระบบตู้รับคืนหนังสืออัตโนมัติ. สำนักบรรณสารการพัฒนา สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

การเพิ่มประสิทธิภาพทางการขนส่งโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา : โรงผลิตน้ำดื่มตรามินิ จังหวัดนราธิวาส

Improving Transportation Efficiency Using Mathematical Models Case Study: Mini Drinking Water Plant, Narathiwat Province

ชญาดา เชี่ยวภาษา[1] นัตพงศ์ โชติพันธ์[1*] รัชตา โชติพันธ์[1]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
E-mail: nattapong.c@pnu.ac.th*

Chayada Cheawpasa[1], Nattapong Chotipan[1*], Ratta Chotipan[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
E-mail: nattapong.c@pnu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปัญหาและสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการขนส่งของโรงผลิตน้ำดื่มตรามินิ จังหวัดนราธิวาส โดยใช้ Transport Model เพื่อจัดลำดับการขนส่งน้ำดื่มของ โรงผลิตน้ำดื่มตรามินิ จังหวัดนราธิวาส ที่มีจุดส่งลูกค้าจำนวน 8 จุด โดยส่งครบทุกจุดส่งภายในครั้งเดียวและใช้ระยะทางน้อยที่สุด โดยได้ เส้นทางการขนส่งมีลำดับดังนี้ เริ่มต้นจากโรงน้ำดื่มมินิ ไปส่งที่ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ หอพักหญิง เย็นตาโฟปลักปลา สหกรณ์ตำรวจ โรงพยาบาลนราธิวาสราชนครินทร์ ตลาดบางนาค วัดพนาสณฑ์ วิทยาลัยสารพัดช่าง และกลับมายัง โรงน้ำดื่มมินิ โดยใช้ระยะทางรวม 38.4 กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่สั้นที่สุด

คำสำคัญ: ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ การจัดเส้นทางขนส่ง โลจิสติกส์ โรงผลิตน้ำดื่ม

Abstract

This research analyzed the problem and created a mathematical model for the transportation of a Mini drinking water factory in Narathiwat Province by using the Transport Model to arrange the transportation sequence of drinking water from the Mini drinking water factory in Narathiwat Province, which has 8 delivery points, by delivering to all delivery points at one time and using the least distance. The transportation route is as follows: starting from Mini drinking water factory to the Faculty of Science, Princess of Naradhiwas University, female dormitory, Yen Ta Fo Plak Pla, Police Cooperative, Naradhiwasrajanagarindra Hospital, Bang Nak Market, Wat Phanason, Saraphat Chang, and returning to Mini drinking water factory, using a total distance of 38.4 kilometers, which is the shortest distance.

Keywords: Mathematical models, Transportation routing, logistics, Drinking water plants

1. บทนำ

อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าปริมาณมาก เช่น อุตสาหกรรมน้ำดื่ม ที่มีการจัดส่งสินค้าจำนวนมากไปยังลูกค้าหลายแห่งในแต่ละวัน หากระบบการขนส่งไม่มีการวางแผนที่ดีอาจทำให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น การขาดแคลนสินค้า การล่าช้าในการส่งมอบและต้นทุนการขนส่งที่สูงขึ้น โรงผลิตน้ำดื่มตรามินิ จังหวัดนราธิวาส เป็นหนึ่งในโรงงานที่มีการผลิตน้ำดื่มเพื่อจำหน่ายในหลายพื้นที่ โดยโรงผลิตน้ำดื่มตรามินิ มีกระบวนการผลิตที่ดีอยู่แล้ว แต่การขนส่งและการวางแผนเส้นทางยังอาศัยประสบการณ์ของพนักงานและจะส่งทันทีหลังจากมีออเดอร์ ไม่มีการวางแผนไว้ล่วงหน้า ทำให้เกิดการขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ การบริหารจัดการการขนส่งที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้สามารถลดต้นทุนและเวลาในการขนส่งได้

การใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เช่น การกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed Integer Linear Programming - MILP) ทฤษฎีที่เกี่ยวกับอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm - GA) ทฤษฎีทาบู (Tabu Search-TS) และทฤษฎี Vehicle Routing Problem (VRP) ในการขนส่งเป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการขนส่ง โดยการคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ เช่น จำนวนรถขนส่ง เส้นทางการขนส่ง ปริมาณสินค้าที่ต้องการส่ง และเวลาในการจัดส่ง ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เหล่านี้สามารถช่วยหาวิธีการที่ดีที่สุดในการจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสม เพื่อให้การขนส่งดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า

การศึกษาครั้งนี้จึงมีความสำคัญในเชิงการพัฒนาระบบการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการขนส่ง การวิเคราะห์ปัญหาด้านการขนส่งในโรงผลิตน้ำดื่มตรามินิจะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถปรับปรุงกระบวนการขนส่งให้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้การดำเนินธุรกิจมีความสามารถในการแข่งขันที่สูงขึ้น อีกทั้งยังสามารถสร้างมาตรฐานใหม่ให้กับอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าในพื้นที่ต่างๆ ได้ โดยกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการขนส่งของโรงผลิตน้ำดื่มตรามินิ จังหวัดนราธิวาส

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ณัฐสิริน มีสุขและชุติระ ระบอบ (2566) ได้ทำศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางขนส่งชิ้นส่วนยานยนต์ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล [1] โดยมีเป้าหมายเพื่อศึกษาว่าการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวางแผนเส้นทางขนส่งนั้น จะช่วยให้ดีกว่าการใช้ประสบการณ์ของคนในการวางแผน โดยที่วิธีการศึกษาจะใช้การเก็บข้อมูลทำการสัมภาษณ์พนักงานขับรถสี่ล้อขนส่งสินค้าจำนวน 37 คน และเจ้าหน้าที่วางแผนขนส่ง 3 คน รวม 40 คน เพื่อสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับกระบวนการวางแผนเส้นทางขนส่ง และปัญหาที่พบในการทำงาน เมื่อเก็บข้อมูลเสร็จก็จะนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรม Excel Solver และฟังก์ชัน Evolutionary ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาเส้นทางขนส่งที่ดีที่สุด นำมาเปรียบเทียบระยะทางในการขนส่งระหว่างการใช้วิธีการแบบเดิมที่ใช้ความชำนาญในการวางแผน กับวิธีการใหม่ที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณพบว่าส่วนใหญ่บริษัทใช้ความชำนาญในการวางแผนเส้นทางขนส่ง (80%) มากกว่าการใช้แผนที่ชัดเจน (20%) เมื่อใช้โปรแกรม Excel Solver และฟังก์ชัน Evolutionary พบว่าสามารถลดระยะทางการขนส่งได้จาก 116 กิโลเมตร เหลือ 105 กิโลเมตร

และนอกจากนี้ จิรวดี อินทกาญจน์ (2565) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนารูปแบบการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ในเขตสายไหม กรุงเทพมหานคร [3] โดยใช้โปรแกรม VRP Solver เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบเส้นทางการขนส่งก่อนและหลังการใช้โปรแกรม โดยใช้ทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ครอบคลุมและน่าเชื่อถือ โดยเก็บข้อมูลเชิงปริมาณเก็บรวบรวมข้อมูลเส้นทางการขนส่งสินค้าของ SMEs ในเขตสายไหม และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม VRP Solver2 โปรแกรมนี้ใช้ในการคำนวณหาระยะทางที่สั้นที่สุดในการขนส่ง โดยพิจารณาจากพิกัดทางภูมิศาสตร์ (ละติจูด ลองจิจูด) ของจุดส่งสินค้า ข้อมูลที่เก็บรวบรวมประกอบด้วยระยะทาง, ปริมาณเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายในการขนส่ง มีการเก็บข้อมูลจาก 116 จุดส่งสินค้าและเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพโดยสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interviews) กับพนักงานใน SMEs จำนวน 5 คน เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับปัญหาและอุปสรรคในการขนส่งนอกจากนี้ยังมีการใช้ Five Forces Model และ SWOT Analysis เพื่อวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทางธุรกิจ นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบเส้นทางการขนส่งได้ดังนี้ ก่อนใช้โปรแกรม VRP Solver มี 46 เส้นทาง ระยะทางรวม 9,377 กิโลเมตร ใช้ปริมาณเชื้อเพลิง 1,042 ลิตร และมีค่าขนส่ง 31,224 บาท หลังใช้โปรแกรม VRP Solver มี 39 เส้นทาง ระยะทางรวม 5,346 กิโลเมตร ใช้ปริมาณเชื้อเพลิง 594 ลิตร และมีค่าขนส่ง 17,784 บาท ผลต่าง จำนวนเส้นทางลดลง 7 เส้นทาง, ระยะทางลดลง 4,031 กิโลเมตร, ปริมาณเชื้อเพลิงลดลง 448 ลิตร และค่าขนส่งลดลง 13,440 บาท นำข้อมูลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพมาสรุปได้ดังนี้ พบว่าธุรกิจขนส่งสินค้ามีการแข่งขันสูง ผู้ซื้อมีอำนาจต่อรองสูง18 SMEs มีจุดแข็งด้านทำเลที่ตั้งและมีรถสำหรับขนส่งสินค้า แต่มีจุดอ่อนด้านกลยุทธ์การตลาดและเทคโนโลยี กลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับธุรกิจคือการเป็นผู้นำด้านต้นทุน (Cost Leadership) ซึ่งเน้นการลดต้นทุนในการดำเนินงาน

ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการจัดการขนส่งจะทำให้ได้เส้นทางขนส่งที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และการใช้เครื่องมือโปรแกรม Solver จะทำให้สามารถหาคำตอบได้รวดเร็ว

3. การดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยจะระบุรายละเอียดในการศึกษาการดำเนินการศึกษา ประกอบด้วยภาพรวมขั้นตอนในดำเนินการศึกษาและเพื่อวิเคราะห์เลือกใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มตรามินิระหว่างโรงงานผู้ผลิตกระจายไปยังลูกค้าที่ทำการสั่งสินค้าจำนวน 8 ราย โดยใช้เส้นทางการขนส่งจากโรงน้ำดื่มมินิไปยังสหกรณ์ตำรวจ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ เย็นตาโฟปลักปลา วิทยาลัยสารพัดช่าง 5 วัดพนาสณฑ์ โรงพยาบาลนราธิวาสราชนครินทร์ธิวาสราชนครินทร์ ตลาดบางนาค หอพักหญิงมนร ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานจะทำให้ทราบรายละเอียดที่สำคัญของปัญหาและสามารถนำมากำหนดกรอบแนวคิดการออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหาให้สอดคล้องกับสภาพของปัญหาโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 การศึกษากระบวนการธุรกิจ
3.2 วิเคราะห์ปัญหาการจัดการเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำดื่มตรามินิ
3.3 วิเคราะห์ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

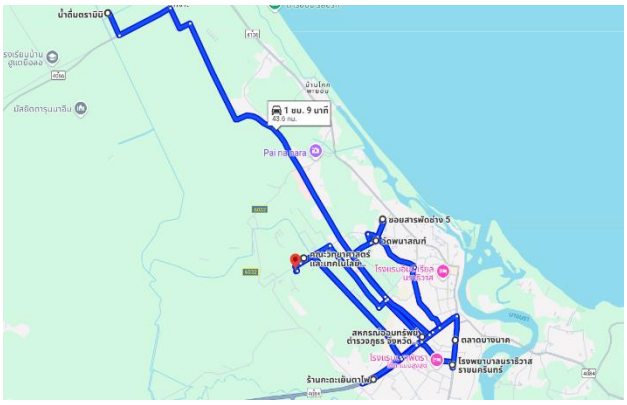
3.1 การศึกษากระบวนการธุรกิจ

การสำรวจสภาพทั่วไปของโรงงานตัวอย่าง เช่น ปัญหาหรือรายละเอียดของ กระบวนการวางแผนการจัดเส้นทางต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะการสำรวจทำให้ สามารถเข้าใจถึงรายละเอียดของปัญหาในการปฏิบัติงาน โรงงานตัวอย่างเป็นโรงงานบริการเกี่ยวกับการผลิตน้ำดื่ม โดยมีสินค้าประเภทเดียวแต่แบ่งเป็นหลายชนิดหลายรูปแบบซึ่งโรงงานจะต้องจัดส่งสินค้าตามคำสั่งซื้อที่สั่งเข้ามาผ่านระบบทางเบอร์โทรศัพท์ร้าน ติดต่อหน้าร้านโดยตรง สินค้าดังกล่าวจะส่งไปตามร้านค้าที่โทรเข้ามาติดต่อซื้อน้ำดื่มหรือติดต่อผ่านหน้าร้านโดยตรง ปัจจุบันโรงงานตัวอย่างเน้นถึงความพึงพอใจของลูกค้าเป็นปัจจัยหลักซึ่งการบริหารงานของแต่ละแผนกจึงต้องทำงานด้วยความแม่นยำและ ข้อมูลที่ส่งต่อต้องเชื่อถือได้เพราะถ้าเกิดความผิดพลาดขึ้นจะมีผลทำให้การขนส่งสินค้ามีต้นทุนที่สูง ดังนั้นการจัดเส้นทางจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนภาพรวมของการปฏิบัติงานได้ดังนี้

1. ลูกค้าแจ้งความต้องการสั่งซื้อ ผ่านโทรศัพท์ หรือแพลตฟอร์มอื่นๆ ให้กับฝ่ายจัดส่งของบริษัทก่อนวันส่งสินค้า
2. ฝ่ายจัดส่งตรวจสอบคำสั่งซื้อและวางแผนเส้นทาง โดยพิจารณาปัจจัยสำคัญ เช่น ปริมาณสินค้า ที่อยู่ของลูกค้า และเวลาที่ต้องการรับสินค้า จากนั้นจึงจัดลำดับการขนส่ง และแจ้งแผนเส้นทางให้พนักงานขับรถทราบ
3. ก่อนออกเดินทาง พนักงานขับรถต้องตรวจสอบความพร้อมของรถ เช่น ระบบเบรก น้ำมัน และยางรถยนต์ รวมถึงตรวจสอบระบบ GPS และอุปกรณ์ที่จำเป็นเพื่อให้มั่นใจว่าสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. ระหว่างการเดินทาง พนักงานขับรถต้องตรวจสอบเส้นทาง โดยใช้ GPS และข้อมูลจราจรแบบเรียลไทม์เพื่อหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีปัญหา พร้อมทั้งแจ้งสถานะการขนส่งให้ฝ่ายจัดส่งทราบ
5. เมื่อถึงจุดหมายปลายทาง พนักงานขับรถต้องตรวจสอบรายการสินค้าและส่งมอบให้ลูกค้า พร้อมให้ลูกค้าลงนามรับสินค้า และบันทึกข้อมูลการส่งสินค้า
6. หลังจากเสร็จสิ้นการส่งสินค้า พนักงานขับรถต้องรายงานผลการขนส่งให้กับบริษัท รวมถึงปัญหาที่พบระหว่างทาง เพื่อให้ฝ่ายจัดส่งนำข้อมูลไปปรับปรุงเส้นทางขนส่งในอนาค

3.2 วิเคราะห์ปัญหาการจัดการเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำดื่มตรามินิ

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มุ่งเน้นที่การปรับปรุงระบบการจัดเส้นทางการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งปัจจุบันพบปัญหาจากการใช้ประสบการณ์ของพนักงานเพียงอย่างเดียวในการวางแผนเส้นทางขนส่ง ทำให้เกิดต้นทุนในการจัดส่งที่สูงและระยะทางการขนส่งที่ยาวเกินจำเป็น เนื่องจากไม่มีการนำทฤษฎีหรือการวางแผนทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการกำหนดเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสม ผู้จัดทำโครงงานจึงทำการเก็บข้อมูลรายการลูกค้าได้ดังนี้ สหกรณ์ตำรวจ คณะวิทยาศาสตร์ มนร เย็นตาโฟปลักปลา วิทยาลัยสารพัดช่าง 5 วัดพนาสณฑ์ โรงพยาบาลนราธิวาสราชนครินทร์ธิวาสราชนครินทร์ ตลาดบางนาค และ หอพักหญิงมนร รวม 8 จุด เพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทาง จึงจำเป็นต้องหาตำแหน่งที่ตั้งลูกค้า ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งพบว่าลูกค้าทั้งหมดกระจายทั่วในจังหวัดนราธิวาส



รูปที่ 1 แผนที่ตำแหน่งลูกค้าในพื้นที่ที่ส่งสินค้า
ที่มา : Google maps

ผู้จัดทำได้ทำการเก็บข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ระยะทางทั้งก่อนและหลังการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย

ระยะทาง (กิโลเมตร)	สหกรณ์ตำรวจ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์	เย็นตาโฟปลักปลา	วิทยาลัยสารพัดช่าง	วัดพนาสณฑ์	โรงพยาบาลนราธิวาสราชนครินทร์	ตลาดบางนาค	หอพักหญิง	โรงน้ำดื่มมินิ
สหกรณ์ตำรวจ	0	4.7	2.2	4	3.6	1.9	1.5	4.8	14
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์	4.7	0	5	3	2.6	6.1	6.2	0.6	12
เย็นตาโฟปลักปลา	2.4	5	0	6.5	5.8	3.5	3.7	4.8	15
วิทยาลัยสารพัดช่าง	4	3	6.5	0	0.8	5.5	4.5	3.1	12
วัดพนาสณฑ์	3.6	2.6	5.8	0.8	0	5.1	4.2	2.7	11
โรงพยาบาลนราธิวาสราชนครินทร์	1.9	6.1	3.5	5.5	5.1	0	0.7	6	15
ตลาดบางนาค	1.5	6.2	3.7	4.5	4.2	0.7	0	6.3	15
หอพักหญิง	4.8	0.6	4.8	3.1	2.7	6	6.3	0	12
โรงน้ำดื่มมินิ	14	12	15	12	11	15	15	12	0

จากตารางที่ 1 การขนส่งในปัจจุบันใช้ประสบการณ์จากพนักงานขนส่งโดยมีลำดับการขนส่งดังนี้

1.สหกรณ์ตำรวจ

2.คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

3.เย็นตาโฟปลักปลา

4.วิทยาลัยสารพัดช่าง

5. วัดพนาสณฑ์

6. โรงพยาบาลนราธิวาสราชนครินทร์

7. ตลาดบางนาค

8. หอพักหญิง

9. กลับโรงน้ำดื่มมินิ

จากลำดับเส้นทางที่กล่าวมาใช้ระยะทางรวม 48.75 กิโลเมตร

3.3 การวิเคราะห์ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

จากตารางข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Math Model) เพื่อหาเส้นทางการเดินทางที่สั้นที่สุด หรือวิเคราะห์ลักษณะการเดินทางได้ดังนี้

3.3.1 กำหนดตัวแปร

ให้ n เป็นจำนวนสถานที่ทั้งหมด (ในที่นี้ n=9)

ให้ Li แทนสถานที่ i โดยที่:

L_1 = สหกรณ์ตำรวจ

L_2 = คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

L_3 = เย็นตาโฟปลักปลา

L_4 = วิทยาลัยสารพัดช่าง

L_5 = วัดพนาสณฑ์

L_6 = โรงพยาบาลนราธิวาสราชนครินทร์ธิวาสราชนครินทร์

L_7 = ตลาดบางนาค

L_8 = หอพักหญิง

L_9 = โรงน้ำดื่มมินิ

ให้ dij แทนระยะทางระหว่างสถานที่ Li และ Lj ซึ่งสามารถอ่านค่าได้จากตารางระยะทาง

3.3.2 ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)

ต้องการหาเส้นทางการเดินทางที่สั้นที่สุดที่ผ่านทุกสถานที่และกลับมาที่จุดเริ่มต้น (ปัญหา Traveling Salesperson Problem - TSP), ฟังก์ชันเป้าหมายคือการ minimize ระยะทางรวม:

$$\text{Minimize} \quad Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} d_{ij} x_{ij}$$

โดยที่ xij เป็นตัวแปรตัดสินใจ:

Xij =1 ถ้ามีการเดินทางจากสถานที่ Li ไปยังสถานที่ Lj

Xij =0 ถ้าไม่มีการเดินทางจากสถานที่ Li ไปยังสถานที่ Lj

3.3.3 ข้อจำกัด (Constraints)

- ต้องออกจากแต่ละสถานที่หนึ่งครั้ง: $\sum_{j=1,j\neq i}^{n} x_{ij} = 1$

สำหรับทุก i=1,2,...,n

- ต้องเข้าสู่แต่ละสถานที่หนึ่งครั้ง: $\sum_{i=1,i\neq j}^{n} x_{ij} = 1$

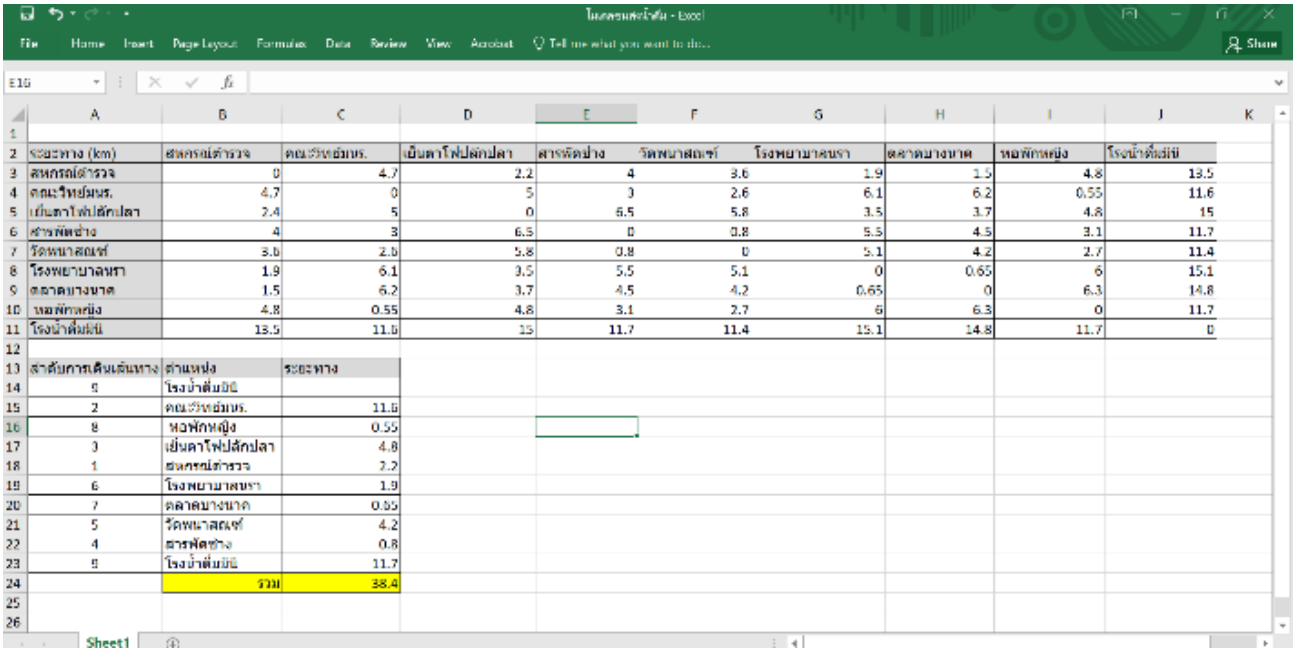
สำหรับทุก j=1,2,...,n

- ข้อจำกัดเส้นทางที่เชื่อมต่อกันเป็นวงเดียว: ui-uj +nxij $\leq$ n-1

สำหรับทุก 2 $\leq i \neq j \leq n$ โดยที่ ui เป็นตัวแปรเสริม

4. ผลการวิจัย

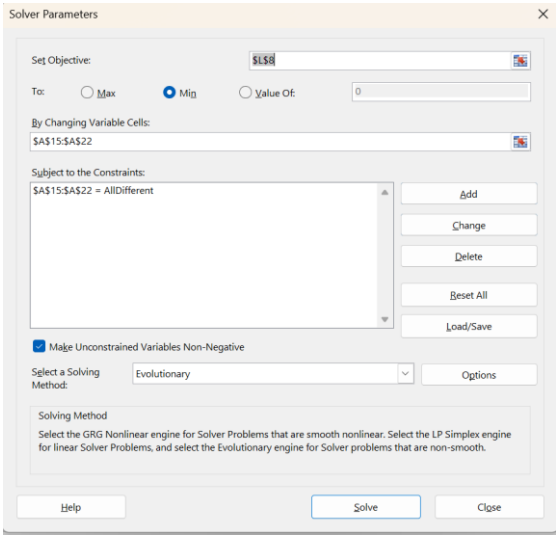
จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Excel Solver 2013 ในการคำนวณ ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3



ระยะทาง (km)	สหกรณ์ตำรวจ	คณะวิทย์มทร.	เย็นตาโฟปลักปลา	สารพัดช่าง	วัดพนาสณฑ์	โรงพยาบาลนรา	ตลาดบางนาค	หอพักหญิง	โรงน้ำดื่มบิ๊
สหกรณ์ตำรวจ	0	4.7	2.2	4	3.6	1.9	1.5	4.8	13.5
คณะวิทย์มทร.	4.7	0	5	3	2.6	6.1	6.2	0.55	11.6
เย็นตาโฟปลักปลา	2.4	5	0	6.5	5.8	3.5	3.7	4.8	15
สารพัดช่าง	4	3	6.5	0	0.8	5.5	4.5	3.1	11.7
วัดพนาสณฑ์	3.6	2.6	5.8	0.8	0	5.1	4.2	2.7	11.4
โรงพยาบาลนรา	1.9	6.1	3.5	5.5	5.1	0	0.65	6	15.1
ตลาดบางนาค	1.5	6.2	3.7	4.5	4.2	0.65	0	6.3	14.8
หอพักหญิง	4.8	0.55	4.8	3.1	2.7	6	6.3	0	11.7
โรงน้ำดื่มบิ๊	13.5	11.6	15	11.7	11.4	15.1	14.8	11.7	0

ลำดับการเดินเส้นทาง	สถานที่	ระยะทาง
0	โรงน้ำดื่มบิ๊	
2	คณะวิทย์มทร.	11.6
8	หอพักหญิง	0.55
3	เย็นตาโฟปลักปลา	4.8
1	สหกรณ์ตำรวจ	2.2
6	โรงพยาบาลนรา	1.9
7	ตลาดบางนาค	0.65
5	วัดพนาสณฑ์	4.2
4	สารพัดช่าง	0.8
9	โรงน้ำดื่มบิ๊	11.7
	รวม	38.4

รูปที่ 2 การระบุข้อมูลในโปรแกรม Excel 2013



รูปที่ 3 การระบุสมการเป้าหมายและข้อจำกัดใน Excel Solver

จากรูปที่ 2 ผู้วิจัยใช้วิธีเชิงวิวัฒนาการ (evolutionary algorithm) ซึ่งเป็นการคำนวณหาค่าคำตอบที่เหมาะสมในเวลาที่จำกัดแบบเมตาฮิวริสติก เป็นวิธีการในการสร้างโอกาสให้เกิดประชากรใหม่ เพื่อใช้ในการประเมินค่าความเหมาะสม วิธีการนี้ถูกดำเนินการไปจนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสม โดยให้เกินการเดินทางแบบเส้นทางเดียวจนจบด้วยการเลือกใช้ฟังก์ชั่น evolutionary ผลการคำนวณแสดงให้เห้นว่าเส้นทางการขนส่งมีลำดับดังนี้ เริ่มต้นจากโรงน้ำดื่มมินิ ไปส่งที่ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ หอพักหญิงเย็นตาโฟปลักปลา สหกรณ์ตำรวจ โรงพยาบาลนราธิวาสราชนครินทร์ธิวาสราชนครินทร์ ตลาดบางนาค วัดพนาสณฑ์ วิทยาลัยสารพัดช่างและกลับมายัง โรงน้ำดื่มมินิ โดยใช้ระยะทางรวม 38.4 กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่สั้นที่สุด จากเดิมใช้ระยะทางรวม 48.75 กิโลเมตร แสดงว่าต้นทุนการขนส่งลดลงร้อยละ 21.23

5. บทสรุปข้อเสนอแนะ

การขนส่งโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดลำดับเส้นทางการขนส่งของโรงน้ำดื่มมินิทำให้มี ระยะทางรวม 38.4 กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่สั้นที่สุด จากเดิมใช้ระยะทางรวม 48.75 กิโลเมตร ส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งลดลงร้อยละ 21.23 ในงานวิจัยนี้ ยังไม่ได้กล่าวถึง ศึกษา ปริมาณการบรรทุก และคำนวณต้นทุนการขนส่ง ในงานวิจัยถัดไปควรศึกษา ปริมาณการบรรทุก และคำนวณต้นทุนการขนส่ง จะทำให้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์มีความสมบูรณ์มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฐสิริน มีสุขและชุติระ ระบอบ. 2566. การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางขนส่งชิ้นส่วนยานยนต์ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

[2] ศิริชัย ยศวังใจและขวัญนิธิ คำเมือง. 2559. ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problem หรือ DVRP)

[3] จิรวดี อินทกาญจน์. 2565. การพัฒนารูปแบบการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ในเขตสายไหม กรุงเทพมหานคร.

[4] ปารณัท กัญวิมลและผศ.ดร.สราวุธ จันทร์สุวรรณ. 2562. การวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางการขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์ในรูปแบบ Milk run สำหรับโรงงานประกอบรถยนต์ ABC

[5] นฤนาท ทิพย์นาง , ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ , ดร.ฐิติพงศ์ จำรัสและดร.กานต์ มูลศรี. 2565. ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุกในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายของประเทศไทย

[6] กนกพชิญ์ โมลวีรรณและวรินทร์ วงษ์มณี. 2563. การปรับปรุงการบริหารจัดการบริษัทขนส่งน้ำมันทางทะเลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและรายได้

[7] ปฏิพันธ์ หงส์สุวรรณ , วิชัย จันทรรักษาและสรรวิทย์ เชื้อพิสุทธิ์กุล. 2556. การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำดื่มในจังหวัดสมุทรสงคราม

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางกรีนโลจิสติกส์ กรณีศึกษา : โรงถ่านแบนอร์

Development of Eco-Friendly Charcoal Products According to the Green Logistics approach Case study : Charcoal plant Beanor

โนรซาดัะห์ สามะ[1] นัตพงศ์ โชติพันธ์[1*] ณัฐพร เทพพรหม[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
E-mail: nattapong.c@pnu.ac.th*

Norsadah sama[1], Nattapong Chotipan[1*], Nuttaporn Tepprom[2]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
[2]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University
E-mail: nattapong.c@pnu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตถ่านไม้ของโรงถ่านแบนอร์ จังหวัดนราธิวาส เพื่อวิเคราะห์การปรับปรุงกระบวนการทางด้านโลจิสติกส์ในทุกกระบวนการ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้แนวทางกรีนโลจิสติกส์ ซึ่งได้นำเสนอแนวทางการพัฒนากระบวนการผลิต ดังนี้ การตัดไม้ที่สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้โดยการหาเศษไม้จากโรงเลื่อยมาทดแทนการตัดไม้ธรรมชาติในบางส่วน เพื่อลดการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงของเลื่อยยนต์ การขนส่งไม้ที่สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้โดยการวางแผนการขนส่ง ลดจำนวนเที่ยวขนส่ง เพื่อให้การขนส่งมีประสิทธิภาพสูงสุด การเผาถ่านที่สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้โดยการวางไม้ให้สม่ำเสมอ เพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และทั่วถึงมากที่สุด ส่งผลต่อการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการเผาได้ การบรรจุที่สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้โดยการกำหนดปริมาณการบรรจุที่เหมาะสม ลดการใช้ถุงหรือกระสอบบรรจุให้ใช้น้อยที่สุด การขนส่งขายที่สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้โดยการวางแผนการขนส่ง ลดจำนวนเที่ยวขนส่ง เพื่อให้การขนส่งมีประสิทธิภาพสูงสุด
คำสำคัญ: ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กรีนโลจิสติกส์ คาร์บอนฟุตปริ้นท์

Abstract

This research studied the charcoal production process of Bannor Charcoal Factory, Narathiwat Province, to analyze the improvement of all logistics processes to lead to the development of environmentally friendly charcoal products using the green logistics approach. The development of the production process is presented as follows: Cutting wood that can reduce greenhouse gas emissions can be done by finding wood chips from the sawmill to replace some natural wood cutting to reduce the use of fuel energy from the chainsaw. Transporting wood that can reduce greenhouse gas emissions can be done by planning the transport and reducing the number of transport trips to make the transport most efficient. Charcoal burning that can reduce greenhouse gas emissions can be done by placing the wood evenly for the most complete and thorough combustion, resulting in reducing the amount of greenhouse gas from the burning process. Packaging that can reduce greenhouse gas emissions can be done by determining the appropriate amount of packaging and reducing the use of bags or sacks to the least. Transportation that can reduce greenhouse gas emissions can be done by planning the transport and reducing the number of transport trips to make the transport most efficient.
Keywords: Eco-Friendly Charcoal, Green Logistics, Carbon Footprint

1. บทนำ

ปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นภัยคุกคามที่สำคัญต่อโลก ปัจจุบันสังคม ตระหนักถึงความสำคัญของการลดการปล่อยก๊าซ เรือนกระจกมากขึ้น ภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้กลายเป็นปัญหาเร่งด่วนในศตวรรษที่ 21 โดยมีสาเหตุมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งจากภาคการขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ ก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นก๊าซสำคัญที่ก่อให้เกิดการสะสมความร้อนในชั้นบรรยากาศ ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางสิ่งแวดล้อม เช่น ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น การเกิดพายุที่รุนแรง และการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล ในระดับท้องถิ่น ประเทศไทยในฐานะประเทศเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น ภัยแล้งและน้ำท่วม ส่งผลกระทบต่อทั้งภาคการผลิตและคุณภาพชีวิตของประชาชน การแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนจึงต้องเริ่มต้นจากทุกระดับ โดยเฉพาะในภาคการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณมากโดยเฉพาะ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น อุตสาหกรรมถ่าน การผลิตถ่านซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ ใช้กันอย่างแพร่หลายยังคงมีส่วนในการปล่อยก๊าซ เรือนกระจก

ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสำคัญกับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากภาคการผลิตและการบริโภค โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและใช้ทรัพยากรธรรมชาติในปริมาณมาก แนวคิด Eco-Design และ Carbon Footprint Assessment ได้รับการพัฒนาเพื่อลดการใช้พลังงาน ลดของเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ทั้งนี้ไม่เพียงแต่ภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เท่านั้นที่ต้องปรับตัว แต่อุตสาหกรรมขนาดเล็ก โรงถ่านซึ่งเป็นธุรกิจท้องถิ่นที่มีบทบาทสำคัญในหลายพื้นที่ของจังหวัดนราธิวาส โดยผลิตภัณฑ์ถ่านจากโรงถ่านชุมชน แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ถ่านจากโรงถ่านชุมชน

โรงถ่าน และอุตสาหกรรมอื่นๆในเขตพื้นที่จังหวัดนราธิวาสก็ได้รับคำชี้แนะจากสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้วัตถุดิบจากแหล่งที่ยั่งยืน การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาถ่านเพื่อลดการปล่อยก๊าซ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยให้อุตสาหกรรมโรงถ่านสามารถเติบโตควบคู่ไปกับการดูแลสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืนในจังหวัดนราธิวาสได้ ด้วยเหตุนี้ โครงการนี้จึงมีเป้าหมายสำคัญในการออกแบบและพัฒนาถ่านที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยอาศัยหลักการ Carbon Footprint Assessment เพื่อทำการวิเคราะห์และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน ไปจนถึงการกำจัดถ่านหลังการใช้งาน ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามแนวทางกรีนโลจิสติกส์ใช้ในการวิเคราะห์วงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถ่านตั้งแต่ ต้นน้ำถึงปลายน้ำ โดยจะพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุกขั้นตอน เช่น การผลิตวัตถุดิบ การขนส่ง การแปรรูป การเผาไหม้ และการจัดการขยะที่เกิดขึ้นจากการใช้งานผลิตภัณฑ์ ผลการ ประเมินจะช่วยให้เราสามารถระบุขั้นตอนที่มีการ ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด และนำข้อมูลดังกล่าว ไปใช้ในการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ต่ำลง เช่น การเลือกใช้วัตถุดิบที่ย่อยสลายได้ง่าย การปรับปรุง ประสิทธิภาพของเตาเผา หรือการส่งเสริมการนำถ่านที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยงานวิจัยได้กำหนดวัตถุประสงค์คือ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางกรีนโลจิสติกส์

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าถ่านไม้มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าก๊าซหุงต้มในงานวิจัยของ อมร วิสิทธิวงค์ (2563) ซึ่งได้ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการนำเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรในสวนไม้ผลเพื่อผลิตถ่านอัดแท่ง [1] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นจากการนำเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรในสวนไม้ผลมาใช้ประโยชน์ในการผลิตถ่านอัดแท่ง ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพในการลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล วิธีการวิจัย:ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการผลิตถ่านอัดแท่ง ตั้งแต่การเก็บรวบรวมเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร การขนส่ง การผลิตถ่านอัดแท่ง ไปจนถึงการใช้งาน ผลการวิจัย: ผลการวิจัยพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรมีค่าเท่ากับ 0.8602 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO2-eq) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งออกเป็น: การผลิต: 0.5136 kg CO2-eq , การใช้งาน: 0.3466 kg

CO2-eq เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านไม้และก๊าซหุงต้ม พบว่าถ่านอัดแท่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1.0054 kg CO2-eq และก๊าซหุงต้มมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3.1133 kg CO2-eq งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้เศษเหลือทิ้งทางการเกษตรในการผลิตถ่านอัดแท่ง ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ อย่างรอบคอบ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ยังพบว่าการพัฒนาสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจะต้องดำเนินการศึกษาทุกกระบวนการตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ ดังเช่นงานวิจัยของ นวพร เหลืองยวง และดร.สุพรรณนิกา (2565) วัฒนะการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม [2] งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ของโรงงาน ตั้งแต่กระบวนการผลิต การขนส่ง ไปจนถึงการจัดการของเสีย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุแหล่งกำเนิดหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวางแผนและดำเนินมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยพบว่าแหล่งกำเนิดหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตและการเผาไหม้เชื้อเพลิง นอกจากนี้การขนส่งและการจัดการของเสียก็มีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยเช่นกัน ซึ่งเห็นได้ว่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ครอบคลุมทั้งระบบจะต้องทำในระดับองค์กร เช่นงานวิจัยเรื่อง การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างยั่งยืนของสำนักงานสิ่งแวดล้อม [3] ของ พัชรี ศรีรอด การเผาไหม้และการปล่อยก๊าซมลพิษของถ่านไม้ในเตาหุงต้มในครัวเรือนแบบต่างๆ [4] ของ ตรีกิตติ ไตรบุตร และการศึกษาการลดก๊าซเรือนกระจกในองค์กรโรงงานผลิตชิ้นส่วนพลาสติก [5] พุทธิพรรณ ปาลกะวงษ์ ณ อยุธยา

จากกงานวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีการประเมินทั้งระบบการผลิตและระบบโลจิสติกส์ จึงมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางกรีนโลจิสติกส์

3. การดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาและการประยุกต์ใช้แนวทางการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเน้นการวิเคราะห์ กรณีศึกษาโรงถ่านแบนอร์ โดยประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ของผลิตภัณฑ์ถ่านตั้งแต่ ต้นน้ำถึงปลายน้ำ โดยจะพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุกขั้นตอน ผลการประเมินจะช่วยให้เราสามารถระบุขั้นตอนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด และนำข้อมูลดังกล่าว ไปใช้ในการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อหาแนวทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตถ่าน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานเป็นลำดับ ดังนี้

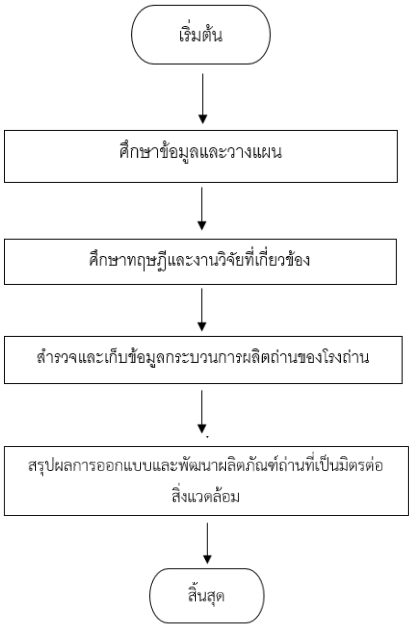
3.1 วิธีการวิจัย

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3 การวิเคราะห์กระบวนการผลิตเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางกรีนโลจิสติกส์

3.1 วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) โดยมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่มีประสิทธิภาพและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีระเบียบวิธีและการดำเนินการดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ระเบียบวิธีและการดำเนินการ

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ และการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ

3.2.1 การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ

การจัดหาวัตถุดิบ : จำนวนไม้ที่ใช้ต่อรอบการเผา, น้ำมันที่ใช้ในเลื่อยยนต์, ระยะทางการขนส่งจากแหล่งไม้ถึงโรงถ่าน

การเผาถ่าน : เวลาที่ใช้ในการเผา (6-8 ชั่วโมง), อุณหภูมิระหว่างการเผา, ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

การบรรจุและขนส่ง : ปริมาณถ่านต่อถุง, การใช้พลังงานในขั้นตอนการขนส่งไปยังร้านค้า

3.2.2 การเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ

สัมภาษณ์เจ้าของโรงถ่านและแรงงานเกี่ยวกับกระบวนการผลิต สังเกตการณ์การปฏิบัติงานจริงของแต่ละขั้นตอน ประเมินความรู้และความเข้าใจของแรงงานต่อการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยโรงถ่านแบนอร์ ดำเนินธุรกิจผลิตถ่านโดยใช้แรงงานจำนวน 5 คน และจำหน่ายผลิตภัณฑ์ให้กับร้านค้าในพื้นที่ใกล้เคียง กระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการจัดหาวัตถุดิบหลัก คือ ไม้จากพื้นที่บริเวณคลองบ้านยูโย โดยใช้เลื่อยยนต์ในการตัดไม้ ก่อนลำเลียงวัตถุดิบด้วยรถกระบะมายังโรงถ่าน เมื่อวัตถุดิบมาถึงโรงถ่าน จะถูกตัดแต่งและจัดเรียงในเตาเผาให้เหมาะสม กระบวนการเผาถ่านเริ่มต้นด้วยการจุดไฟในเตาเผาแบบปิด ซึ่งใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 6-8 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดของวัตถุดิบ ระหว่างการเผา มีการควบคุมอุณหภูมิและการไหลเวียนอากาศอย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพสูง เมื่อการเผาสิ้นสุดลง เตาจะถูกปล่อยให้เย็นลงก่อนที่จะนำถ่านออกมาตรวจสอบ โดยกระบวนการผลิตถ่าน แสดงดังรูปที่ 3

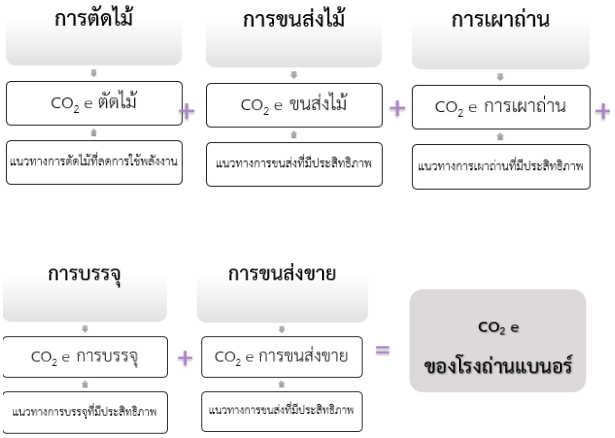


รูปที่ 3 กระบวนการผลิตถ่านไม้

จากรูปที่ 3 ถ่านที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว จะถูกบรรจุลงในถุงหรือภาชนะที่เหมาะสมสำหรับการจัดจ่ายและส่งมอบไปยังร้านค้าต่างๆ ในพื้นที่ใกล้เคียง อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมของโรงถ่านยูโยยังคงมีการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงในทุกขั้นตอน ซึ่งส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะในกระบวนการเผาและการจัดการวัตถุดิบที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามแนวทางกรีนโลจิสติกส์

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางกรีนโลจิสติกส์จะต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์ตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลจากการลงพื้นที่ มีรายละเอียดตั้งแต่การตัดไม้ การขนส่งไม้ การเผาถ่าน การบรรจุ และการขนส่งขาย ซึ่งในทุกกระบวนการจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจะต้องมีแนวทางในการจัดการในรายละเอียดของทุกกระบวนการ เพื่อให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอย่างน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กรอบการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางกรีนโลจิสติกส์

4. ผลการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ทำให้ได้กรอบการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางกรีนโลจิสติกส์ ผู้วิจัยสามารถนำเสนอแนวทางการพัฒนาได้ดังนี้

การตัดไม้ที่สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้โดยการหาเศษไม้จากโรงเลื่อยมาทดแทนการตัดไม้ธรรมชาติในบางส่วน เพื่อลดการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงของเลื่อยยนต์

การขนส่งไม้ที่สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้โดยการวางแผนการขนส่ง ลดจำนวนเที่ยวขนส่ง เพื่อให้การขนส่งมีประสิทธิภาพสูงสุด

การเผาถ่านที่สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้โดยการวางไม้ให้สม่ำเสมอ เพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และทั่วถึงมากที่สุด ส่งผลต่อการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการเผาได้

การบรรจุที่สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้โดยการกำหนดปริมาณการบรรจุที่เหมาะสม ลดการใช้ถุงหรือกระสอบบรรจุให้ใช้น้อยที่สุด

การขนส่งขายที่สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้โดยการวางแผนการขนส่ง ลดจำนวนเที่ยวขนส่ง เพื่อให้การขนส่งมีประสิทธิภาพสูงสุด

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตถ่านไม้ของโรงถ่านแบนอร์ จังหวัดนราธิวาส โดยได้วิเคราะห์การปรับปรุงกระบวนการทางด้านโลจิสติกส์ในทุกกระบวนการ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้แนวทางกรีนโลจิสติกส์ ซึ่งได้

นำเสนอแนวทางการพัฒนากระบวนการผลิตของแต่ละกระบวนการดังกล่าวมา

ในงานวิจัยถัดไปควรมีการนำกรอบการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางกรีนโลจิสติกส์ เป็นแนวทางในการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อเป็นตัวชี้วัดของการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อการพัฒนาต่อเนื่องในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] อมร วิสิทธิวงค์. 2563. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการนำเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรในสวนไม้ผลเพื่อผลิตถ่านอัดแท่ง

[2] นวพร เหลืองยวง และดร.สุพรรณนิกา. 2565. วัฒนะการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม

[3] พัชรี ศรีรอด. 2567. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างยั่งยืนของสำนักงานสิ่งแวดล้อม.

[4] ตรีกิตติ ไตรบุตร. 2567. การเผาไหม้และการปล่อยก๊าซมลพิษของถ่านไม้ในเตาหุงต้มในครัวเรือนแบบต่างๆ.

[5] พุทธิพรรณ ปาลกะวงษ์ ณ อยุธยา. 2555. การศึกษาการลดก๊าซเรือนกระจกในองค์กรโรงงานผลิตชิ้นส่วนพลาสติก

การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทโซฟาสำหรับผู้สูงอายุ

APPLICATION OF QUALITY FUNCTION DEPLOPMENT IN THE CONCEPTUAL FURNITURE DESIGN OF SOFA PRODUCT FOR THE ELDERLY

อภิชล ทองมั่ง กำเนิดวั้ำ[1] ธยา ภิรมย์[1] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์[1*] ดาวิช สงชัย[1] ภัทรนันท์ สาเมาะ[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
E-mail: surasit.r@rmutsv.ac.th*

Apichon Thongmung Kamnerdwam[1], Thaya Pirom1, Surasit Rawangwong[1*], Davich Songchai[1], Phattaranan samuah[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya
E-mail: surasit.r@rmutsv.ac.th *

บทคัดย่อ

การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพเป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำข้อมูลของลูกค้ามาใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทโซฟาสำหรับผู้สูงอายุโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ เริ่มต้นด้วยการสำรวจความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมายที่มีต่อผลิตภัณฑ์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุ เพื่อให้ทราบถึงประเด็นความต้องการของลูกค้า ที่ประกอบด้วย ด้านลักษณะภายนอก ด้านคุณภาพการใช้งาน ด้านระบบอัจฉริยะ ด้านวัสดุ และด้านการตลาด โดยนำความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมายมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment; QFD) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 เมทริกซ์ คือ เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยทำการแปลงความต้องการเป็นคุณลักษณะทางเทคนิค ซึ่งได้คุณลักษณะเชิงเทคนิค 26 ข้อกำหนด และเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ โดยทำการแปลงคุณลักษณะทางเทคนิคให้เป็นคุณลักษณะส่วนประกอบย่อย ซึ่งได้คุณลักษณะส่วนประกอบย่อย 21 ข้อกำหนด โดยผลที่ได้นำไปออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และกำหนดค่าขนาดสัดส่วนของผู้สูงอายุเพื่อให้ภาพต้นแบบผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้สูงอายุ จากนั้นสำรวจความพึงพอใจของกลุ่มลูกค้าเป้าหมายที่มีต่อผลิตภัณฑ์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุ พบว่าประเด็นความพึงพอใจที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดเป็นอันดับแรก คือ ด้านส่งเสริมความสะดวกในการใช้งานระบบอัจฉริยะ (ระบบปรับเอนหลัง) 4.49 คะแนน และความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์โดยรวม เท่ากับ 4.09 คะแนน

คำสำคัญ: การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ โซฟา ผู้สูงอายุ

Abstract

The Quality Function Deployment (QFD) technique is an effective method for translating customer needs into key inputs for product development. This research studies the design of a conceptual furniture product specifically a sofa for the elderly, by applying the Quality Function Deployment technique and ergonomic principles. The study begins with exploring the target customers' needs regarding elderly-friendly sofas, covering aspects such as external appearance, functional quality, smart system integration, materials, and market feasibility. The collected customer requirements were analyzed using the QFD technique, and divided into two matrices. The first matrix, the product planning matrix, transforms customer needs into 26 technical specifications. The second matrix, the design transformation matrix, converts these technical specifications into 21 component specifications. The results were then utilized to design a prototype product, ensuring that the dimensional proportions align with the anthropometric data of elderly users. Subsequently, customer satisfaction with the elderly sofa product was assessed. The findings indicate that the highest-rated aspect of enhancing convenience in using the smart system (reclining system) had an average score of 4.46, while the overall product satisfaction score was 4.09.

Keywords: Quality Function Deployment Sofa Elderly

1. บทนำ

จากรายงานสถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2565 ของมูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย พบว่า ในปี 2565 ประเทศไทยมีประชากรตามหลักฐานการทะเบียนราษฎรของกระทรวงมหาดไทย จำนวน 66 ล้านคน โดยในจำนวนนี้ มีผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป จำนวน 13 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 19 ของประชากรทั้งหมด [1] นอกจากนี้ ข้อมูลจากสำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง ณ เดือนธันวาคม 2566 ระบุว่า ประเทศไทยมีผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไปทั่วประเทศจำนวน 13,064,929 คน คิดเป็นร้อยละ 20.17 ของประชากรทั้งหมด [2] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยได้เข้าสู่สังคมสูงอายุอย่างสมบูรณ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว และมีแนวโน้มที่จำนวนประชากรสูงอายุจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ด้วยเหตุนี้จึงมีการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้สูงอายุมากขึ้น ซึ่งปัญหาหนึ่งที่พบในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุคือ การนั่งพักผ่อนและการลุกนั่งจากโซฟา โดยจากข้อมูลการวิจัยเกี่ยวกับการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันที่จำกัดของผู้สูงอายุไทย พบว่า มีผู้สูงอายุจำนวนไม่น้อยที่ต้องการความช่วยเหลือในกิจกรรมประจำวันที่เกี่ยวข้องกับการลุกนั่ง เช่น การลุกจากเตียงหรือโซฟา รวมถึงการเคลื่อนที่ไปยังจุดต่าง ๆ ภายในบ้าน จากการศึกษากลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป พบว่า ร้อยละ 29.4 ของผู้สูงอายุไม่สามารถปฏิบัติกิจวัตรประจำวันได้เอง หรือ ต้องการความช่วยเหลืออย่างน้อย 1 กิจกรรม ซึ่งรวมถึงการลุกจากที่นั่ง โซฟา หรือเฟอร์นิเจอร์ที่มีระดับต่ำเกินไปหรือไม่มีที่รองรับที่เหมาะสม นอกจากนี้ อัตราของผู้สูงอายุที่ต้องการความช่วยเหลือเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 14.9 เป็นร้อยละ 15.4 ในช่วงเวลาที่ศึกษา [3] ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดเหล่านี้ ได้แก่ ความสูงของที่นั่งที่ไม่เหมาะสม ความนุ่มของเบาะที่ทำให้ลุกลำบาก หรือการขาดจุดรองรับที่ช่วยให้สามารถลุกขึ้นได้อย่างมั่นคง [4] ดังนั้น การออกแบบโซฟาที่รองรับการใช้งานของผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อช่วยลดข้อจำกัดเหล่านี้ และทำให้ผู้สูงอายุสามารถดำเนินชีวิตประจำวันได้อย่างสะดวกและปลอดภัยมากขึ้น

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เชิงแนวคิดประเภทโซฟาสำหรับผู้สูงอายุโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment; QFD) เพื่อสำรวจความต้องการของลูกค้า และความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ประเภทโซฟา

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎีการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) เป็นเครื่องมือที่สามารถแปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยนำข้อมูลที่ได้ไปออกแบบและพัฒนาให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างตรงจุดและยังสามารถทำให้การออกแบบและพัฒนาเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว และมีต้นทุนในการดำเนินงานลดลง โดยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพมีทั้งหมด 4 เฟส ดังนี้ [5] เฟสที่ 1 การวางแผนการผลิต (Product Planning) เป็นการแปลงความต้องการของลูกค้าให้เป็นข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirements) เฟสที่ 2 การออกแบบส่วนประกอบย่อย (Part Development) เป็นการถ่ายทอดข้อกำหนดทางเทคนิคให้อยู่ในรูปของข้อกำหนดทางด้านส่วนประกอบ เฟสที่ 3 การวางแผนกระบวนการ (ProcessPlanning) เป็นการแปลงข้อกำหนดทางด้านส่วนประกอบให้อยู่ในรูปของข้อกำหนดทางด้านกระบวนการผลิต และเฟสที่ 4 การวางแผนการผลิต (Production Planning) เป็นการแปลงข้อกำหนดทางด้านกระบวนการผลิตมาออกแบบและกำหนดวิธีในการควบคุม ในส่วนของงานวิจัยนี้ใช้ในส่วนของเฟส 1 การวางแผนการผลิต (Product Planning) ในส่วนของบ้านคุณภาพ (House of Quality; HOQ) เพื่อให้ได้ข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ และเฟส 2 ในส่วนการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design) เป็นการถ่ายทอดข้อกำหนดทางเทคนิคให้อยู่ในรูปของข้อกำหนดทางด้านส่วนประกอบ โดยเทคนิค QFD ดังกล่าวข้างต้นยังเป็นกระบวนการที่สนับสนุนแนวคิดการออกแบบที่เน้นมนุษย์เป็นศูนย์กลาง (Human-Centered Design) และออกแบบเพื่อทุกคน (Universal Design) ได้อย่างเป็นระบบ

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในส่วนของบ้านคุณภาพ เฟส 1 และเฟส 2 เพื่อออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ประเภทโซฟาให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกระบวนการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมข้อมูลก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) สำรวจความต้องการของลูกค้า โดยใช้วิธีการสำรวจด้วยการสัมภาษณ์ พูดคุย และเก็บแบบสอบถามที่ 1 ซึ่งเป็นแบบสอบถามแบบปลายเปิด ประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม และแบบสำรวจความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุ สำหรับการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการสำรวจความต้องการของลูกค้า ได้เลือกใช้ระดับความเชื่อมั่น 90% และใช้สมการกรณีไม่ทราบจำนวนประชากรของ W.G. Cochran ซึ่งสอดคล้องกับวิธีดำเนินการวิจัยของ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะ [5] กล่าวคือ ในการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่าง พบว่ามีการคำนวณจากสมการกรณีไม่ทราบจำนวนประชากรของ W.G. Cochran และเลือกใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีการกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ P = 0.20 เป็นค่าที่นิยมใช้, Z = 1.96, และ d = 0.05 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการกำหนดระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังสมการที่ 1

$$n = \frac{P(1-P)Z^2}{d^2} \quad (1)$$

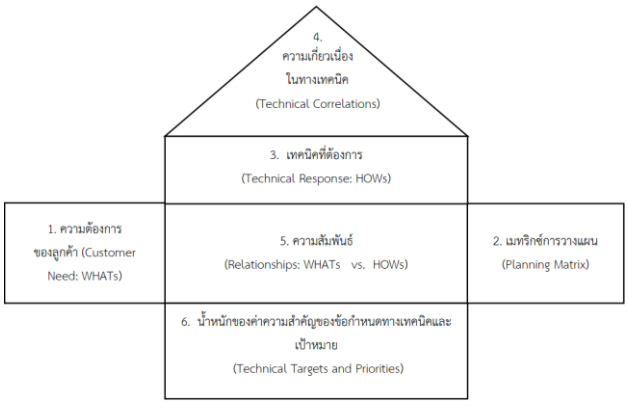
เมื่อ n คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ P คือ สัดส่วนของประชากรที่ต้องการสุ่ม Z คือ ระดับนัยสำคัญทางสถิติ และ d คือ สัดส่วนความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้น

ดังนั้น ในขั้นตอนของการสำรวจความต้องการของลูกค้า ได้จำนวนขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากการคำนวณเท่ากับ 246 ตัวอย่าง แต่ในการเก็บข้อมูลจริงได้เพิ่มจำนวนการเก็บข้อมูลเป็น 250 ตัวอย่าง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบด้วยผู้สูงอายุเพศชาย และเพศหญิงช่วงอายุ 55 ปีขึ้นไป พื้นที่ภายใน อำเภอเมืองสงขลา และอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2) จัดเรียงถ้อยคำความต้องการของลูกค้าใหม่ โดยนำเสียงของลูกค้ามาจัดเรียงถ้อยคำใหม่และทำการจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) และ แผนผังต้นไม้ (Tree Diagram) มาช่วยในการจัดข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ปัญหา

3) สร้างแบบสอบถามที่ 2 เพื่อหาระดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ โดยมีลักษณะเป็นการให้ระดับคะแนน (Rating) จากนั้นคำนวณ ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต จากแบบสอบถามที่ 2 เพื่อนำไปใช้เป็นค่าความสำคัญ (Importance; IMP) ใน เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning Matrix) หรือบ้านคุณภาพ

ขั้นตอนที่ 2 ประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์สำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในส่วนของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) จะเป็นการสร้างบ้านคุณภาพ (House of Quality; HOQ) แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยเมทริกซ์ย่อย ๆ 6 ส่วน และมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้ [6]



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเมทริกซ์การวางแผน [7]

1) ส่วนความต้องการของลูกค้าหรือส่วนที่ 1 ในบ้านคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 1 เป็นการนำความต้องการของลูกค้าที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมการมาใส่ในเมทริกซ์การวางแผนของบ้านคุณภาพ

2) ส่วนเมทริกซ์การวางแผนหรือส่วนที่ 2 ในบ้านคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมและรูปแบบใหม่ เพื่อกำหนดอัตราการปรับปรุงในผลิตภัณฑ์

3) ส่วนเทคนิคที่ต้องการ หรือส่วนที่ 3 ในบ้านคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 1 เป็นการระดมสมองของคณะผู้วิจัยร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์เพื่อกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิค (Design Attributes) ที่ตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย รวมทั้งกำหนดเป้าหมายทางเทคนิคและค่าการเคลื่อนไหวของเป้าหมายเบื้องต้น เพื่อให้ทราบถึงทิศทางในการปรับปรุง โดยจะเป็นการให้สัญลักษณ์ ดังนี้ ↑ยิ่งมากยิ่งดี ○ เป้าหมายเหมาะสม และ ↓ยิ่งน้อยยิ่งดี

4) ส่วนความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิคหรือส่วนที่ 4 ในบ้านคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 1 เป็นการระดมสมองร่วมกันทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อแสดงถึงความเกี่ยวเนื่องของเทคนิคที่นำมาใช้ในตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ โดยจะเป็นการระบุว่าเทคนิคใดที่มีความเกี่ยวข้องกันบ้างและมีความเกี่ยวข้องกันมากน้อยเพียงใดโดยใช้สัญลักษณ์ “O” หมายถึงมีความสัมพันธ์ต่อกันมาก “X” หมายถึง มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย และ “ช่องว่าง” หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

5) ส่วนความสัมพันธ์หรือส่วนที่ 5 ในบ้านคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 1 เป็นการระดมสมองร่วมกันทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคกับความต้องการของลูกค้าในแต่ละคู่ โดยในการให้ค่าคะแนนความสัมพันธ์จะนิยมใช้ตัวเลข 0, 1, 3 และ 9 แทนความสัมพันธ์ คือ ไม่มีความสัมพันธ์ มีความสัมพันธ์น้อย มีความสัมพันธ์ปานกลาง และมีความสัมพันธ์มาก ตามลำดับ

6) ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ หรือส่วนที่ 6 บ้านคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 1 เป็นการบ่งบอกถึงความสำคัญในปริมาณต่าง ๆ เพื่อให้ทราบว่าความต้องการใดที่ต้องให้ความสำคัญสูงสุด โดยประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์และส่วนของค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ

ขั้นตอนที่ 3 ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในส่วนของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ เป็นการพิจารณาถึงส่วนประกอบย่อยที่สามารถตอบสนองต่อเทคนิคที่นำมาใช้ที่ได้จากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ การดำเนินงานจะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ [8]

1) เลือกเทคนิคที่นำมาใช้ ซึ่งเป็นการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคจากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์แปลงเป็นข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ โดยได้ทำการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อกำหนดโดยข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อมีความสำคัญและมีผลต่อความต้องการของลูกค้า จากนั้นจะนำข้อกำหนดทางเทคนิคทั้งหมดมาใส่ทางช่องซ้ายมือของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

2) นำค่าความสำคัญ IMP มาใส่ในเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ โดยค่า IMP นี้มาจากค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิค

โดยเปรียบเทียบของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยจะนำมาใส่ทางด้านซ้ายของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบติดกับข้อกำหนดทางเทคนิค

3) กำหนดข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) โดยจะได้มาจากการระดมสมองในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยและข้อกำหนดทางเทคนิคที่จะส่งผลต่อความต้องการของลูกค้า

4) สร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ ซึ่งจะให้ค่าระดับคะแนนความสัมพันธ์แบบตัวเลข 0, 1, 3, 9 เช่นเดียวกับในขั้นตอนการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

5) คำนวณหาลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ ซึ่งจะมีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบผลิตภัณฑ์ เป็นการนำข้อมูลข้อกำหนดในการออกแบบที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าให้กับทีมออกแบบ เพื่อกำหนดเป็นแนวทางข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุ

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ชุดโซฟาสำหรับผู้สูงอายุ

3. ผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

3.1 ผลการเตรียมก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

จากการสำรวจความต้องการของลูกค้าด้วยแบบสอบถามชุดที่ 1 จำนวน 250 ท่าน พบว่าการจัดหมวดหมู่ความต้องการโดยใช้แผนผังเชื่อมโยง สามารถจัดหมวดหมู่ได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ ด้านลักษณะภายนอก ด้านคุณภาพการใช้งาน ด้านระบบอัจฉริยะ ด้านวัสดุ และด้านการตลาด โดยนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาเป็นแบบสอบถามชุดที่ 2 เพื่อประเมินระดับความสำคัญของแต่ละประเด็น โดยผลการวิเคราะห์พบว่าประเด็นที่ลูกค้าให้ความสำคัญมากที่สุด คือ ระบบอัจฉริยะอำนวยความปลอดภัย โดยมีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต เท่ากับ 4.91

3.2 ผลการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

เป็นการนำผลข้อมูลต่างๆ ที่ได้มาข้างต้นเข้าสู่เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 2 โดยสามารถอธิบายผลแต่ละส่วนได้ดังนี้

1) ความต้องการของลูกค้า เป็นการนำคุณลักษณะความต้องการทั้ง 5 กลุ่ม มาใส่ทางด้านซ้ายมือของเมทริกซ์พร้อมกำหนดหมายเลข

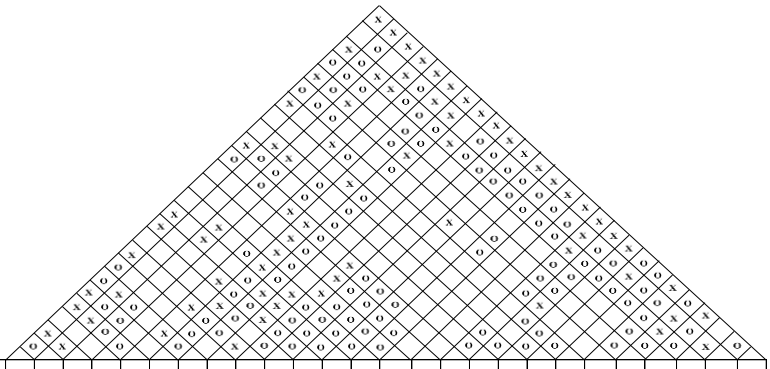
2) เมทริกซ์การวางแผน เป็นการนำค่า (IMP) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 2 มาใส่ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าแต่ละตัว

3) กำหนดความต้องการทางเทคนิค จากการระดมสมองพบว่าข้อกำหนดทางเทคนิคที่สามารถตอบสนองแต่ละความต้องการของลูกค้าให้อยู่ในรูปข้อมูลเชิงเทคนิคมีทั้งหมด 26 ข้อกำหนด

4) ความเกี่ยวเนื่องของข้อกำหนดทางเทคนิคกำหนดความสัมพันธ์ของเทคนิคต่าง ๆ ที่นำมาใช้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า

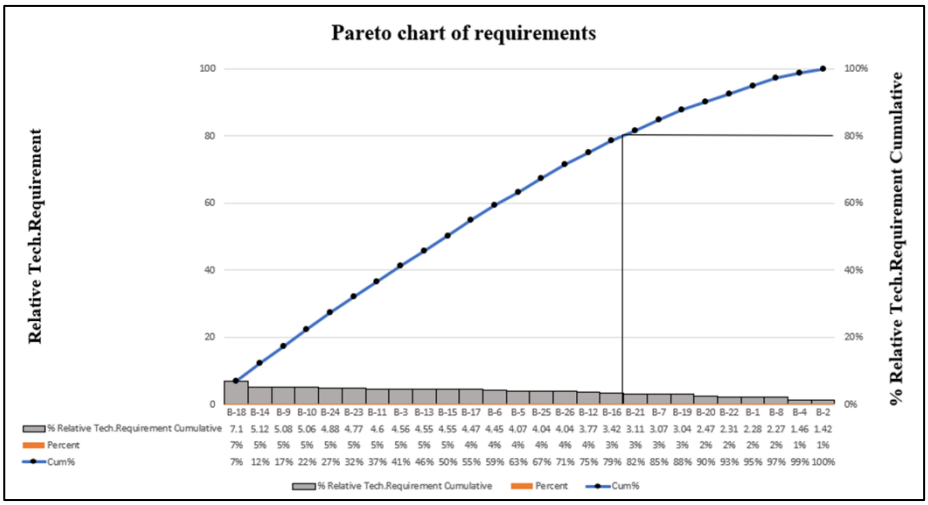
5) เมทริกซ์ความสัมพันธ์ เป็นการเปรียบเทียบแบบและให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้าและข้อกำหนดทางเทคนิคเป็นคู่ ๆ โดยผลจากการให้คะแนนความสัมพันธ์ของ
ผลิตภัณฑ์

6) ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ ซึ่งจากรูปที่ 3 สามารถสรุปผลได้ว่ามีข้อกำหนดทางเทคนิคที่ผ่านการจัดเรียงค่าน้ำหนักความสำคัญที่อยู่ในระดับ 80% ตามแผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) จำนวน 17 ข้อ โดยข้อกำหนดที่มีคะแนนมากที่สุดคือ วัสดุมีคุณภาพ 7.10% อันดับสอง ระบบตรวจจับควันและความร้อน 5.12% อันดับสาม การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบอัจฉริยะ 5.08% อันดับสี่ ความเสถียรของระบบอัจฉริยะ 5.06% อันดับห้า ราคาของผลิตภัณฑ์ 4.88% อันดับหก ความสามารถในการรองรับน้ำหนัก 4.77% อันดับเจ็ด ส่งเสริมความสะดวกในการใช้งานระบบอัจฉริยะ 4.60% อันดับแปด ขนาดของโซฟา 4.56% อันดับเก้า ฟังก์ชันปิดอัตโนมัติ 4.55% อันดับสิบ ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหว 4.55% อันดับสิบเอ็ด ความแข็งแรงของโซฟา 4.47% อันดับสิบสอง ความสะดวกสบาย 4.45% อันดับสิบสาม ความสวยงามของโซฟา 4.07% อันดับสิบสี่ การรับประกัน 4.04% อันดับสิบห้า การบริการหลังการขาย 4.04% อันดับสิบหก ความสามารถของระบบอัจฉริยะ 3.77% อันดับสิบเจ็ด ความมั่นคงของโครงสร้างฐานโซฟา 3.42% จากนั้นจะนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้ผ่านการจัดเรียงลำดับแล้วมาทำการสร้างเมทริกซ์ที่ 2 คือ เมทริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์ต่อไป



ความต้องการของลูกค้า		No.	IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
		ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement)		รูปแบบการใช้งาน	ความปลอดภัยของการใช้งาน	ขนาดของโซฟา	สีสัน	ความสบายของโซฟา	ความสะดวกสบาย	การบำรุงรักษา	การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์	การเชื่อมต่อชุดโซฟาของระบบอัจฉริยะ	ความเสถียรของระบบอัจฉริยะ	ส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้งานระบบอัจฉริยะ	ความแม่นยำของระบบอัจฉริยะ	ฟังก์ชันปิดไฟอัตโนมัติ	ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหว	ระบบตรวจจับการกลิ้งตกโซฟา	ความมั่นคงของโครงสร้างชุดโซฟา	ความหรูหราของโซฟา	วัสดุที่คุณภาพ	ความสะดวกของน้ำหนักเคลื่อน	วัสดุป้องกัน	โครงสร้างของผลิตภัณฑ์	ความแข็งแรงของการประกอบ	ความแข็งแรงในการรับน้ำหนัก	ราคาของผลิตภัณฑ์	การรับประกัน	การบริการหลังการขาย	
ลักษณะภายนอก	ลักษณะรูปแบบโซฟา	A-1	4.59	9	3	9		3	9	1	1								9	3						9	3			
	ขนาดของโซฟา	A-2	4.15	9	3	9		3	9		3								9	3	3			3	3	9	3			
	ความสวยงาม	A-3	4.23	3			9	9															9							
คุณภาพการใช้งาน	สมรรถนะในการใช้งาน	A-4	4.58		3				9	1	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3		9	9	3			
	การซ่อมแซมและดูแลรักษา	A-5	4.47	1	1	3	3		1	9	9	9	9	9	9	9	9	9								9		3	9	9
	ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	A-6	4.26			9			1	3	9			1					3	3					9	9				
ระบบอัจฉริยะ	ความทันสมัยของระบบอัจฉริยะ	A-7	4.54			1		1			1	9	3	9	3	1	1	1	1	1				1	1	1	9	3	3	
	ความแม่นยำของระบบอัจฉริยะ	A-8	4.58			1				3		9	9	3	9	3	9	3			9						9	9	9	
	ระบบอัจฉริยะช่วยเสริมการใช้งาน	A-9	4.38					1	9	3		3	9	9	3	9	3	9			9			1		1	9	9	9	
	ระบบอัจฉริยะอำนวยความปลอดภัย	A-10	4.91		1				9	9		3	1	1	3	3	9	3	1	1	9			1	1	1	9	9	9	
วัสดุ	วัสดุแข็งแรง	A-11	4.70	3	3	3			3		1								9	9	9	3		9	9	9	3			
	วัสดุมีคุณภาพ	A-12	4.78			3	3			3		9	9	3		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3			
	วัสดุป้องกันแมลง	A-13	4.53							1									3	3	9	9		9	9	3	1			
	ความเหมาะสมในการใช้ใม้ยางพารา	A-14	4.31			9		9											9	9	9	9	9	9	9	9	3			
อื่นๆ	ความเหมาะสมของราคา	A-15	4.32	3	3	9	3	9	3	3	3	9	9	9	9	9	9	9	3	3	9	3	3	3	3	3	9	9	9	
ลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์				23	26	10	25	21	12	19	24	6	8	13	18	14	7	14	3	11	1	20	22	5	2	9	4	16	16	รวม
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์				122.9	76.4	245.6	78.7	150.8	239.3	165.1	122.3	273.3	262.5	237.8	203.0	235.7	266.4	235.7	292.7	240.3	382.3	163.3	132.8	283.6	319.4	256.9	290.2	217.6	217.6	5712.34
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ				2.15	1.34	4.30	1.38	2.64	4.19	2.89	2.14	4.78	4.60	4.16	3.55	4.13	4.66	4.13	5.12	4.21	6.69	2.86	2.32	4.96	5.59	4.50	5.08	3.81	3.81	100.00
เป้าหมายทางเทคนิค				โซฟาแบบโครงสร้างปรับเอนได้ (ปรับได้หลายองศา)	มีความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องกันความคลาดเคลื่อน	ออกแบบตามหลักการยศาสตร์	สีสันสดใส	กลุ่มลูกค้าส่วนมากชอบความสบายและนั่งสบาย	มีระบบแนะนำการใช้งานให้อย่างชัดเจน	มีส่วนประกอบที่ถอดเปลี่ยนทำความสะอาดได้ง่าย	ออกแบบลูกล้อและอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนย้ายที่สะดวกและปลอดภัย	รองรับการเชื่อมต่อแบบไร้สาย	ทำงานได้อย่างเสถียรตามความต้องการของลูกค้า	ระบบปรับอุณหภูมิที่ตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว	สามารถทำงานร่วมกับระบบเครื่องซ่อมบำรุงอื่นๆ ได้	สามารถปิดไฟอัตโนมัติเมื่อไม่มีการใช้งาน	โซฟามีระบบป้องกันไม่ให้ตกจากโซฟาและมีโครงสร้างแข็งแรงเพื่อรองรับน้ำหนักได้	มีไฟปิดอัตโนมัติเมื่อมีการลุกขึ้นจากโซฟาและมีไฟสว่างเมื่อมีการใช้งานโซฟา	มีการตรวจสอบการทำงานอย่างสม่ำเสมอ	มีการใช้วัสดุที่ทนทานต่อการใช้งานหนัก	ใช้ผ้าที่มีคุณภาพดีและทนทาน	ใช้ผ้าที่ป้องกันแมลงได้และสามารถซักทำความสะอาดได้ง่าย	ใช้ผ้าที่ทนทานต่อการขีดข่วนและรอยขีดข่วนได้ดี	ฟองน้ำที่ใช้มีความหนาแน่นสูงและมีคุณภาพสูง	มีการใช้ระบบควบคุมคุณภาพที่เข้มงวดในการผลิตทุกขั้นตอน	สามารถรับน้ำหนักของการใช้งานที่หลากหลายได้	ราคามีความเหมาะสมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์	มีการประกันคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ชัดเจนและน่าเชื่อถือ	ให้บริการหลังการขายและมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างสม่ำเสมอหลังการขาย	

รูปที่ 2 เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ



รูปที่ 3 การจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิค

3.3 ผลการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

เป็นการนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ผ่านการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบจากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์มาทำการแปลงให้เป็นข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยแสดงดังรูปที่ 4 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) การเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคและค่า (IMP) ที่นำมาใช้ ซึ่งได้จากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการจัดเรียงลำดับความสำคัญจากค่ามากไปหาค่าน้อย โดยเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อ จากนั้นนำข้อกำหนดทางเทคนิคและค่า (IMP) ทั้งหมดมาใส่ทางด้านซ้ายมือของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

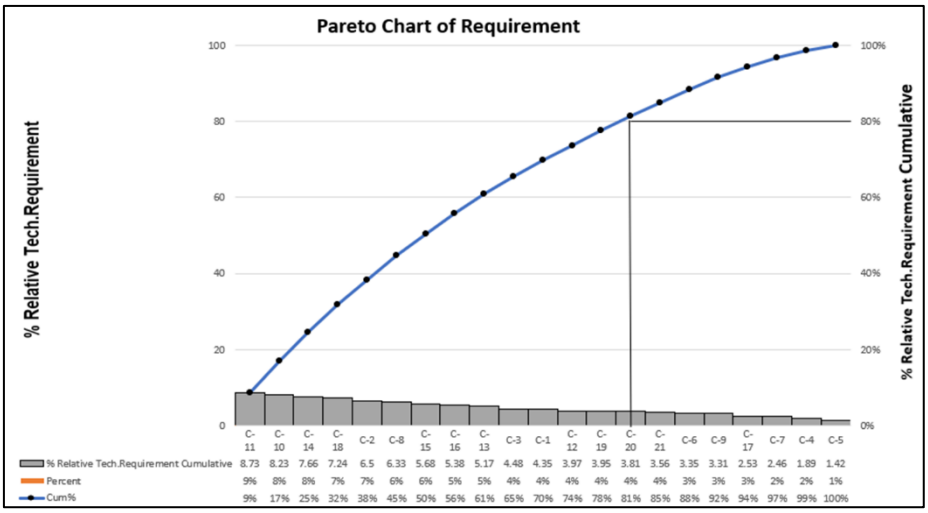
2) ข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย จากการระดมสมองพบว่าข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยที่สามารถทำให้ตอบสนองต่อข้อกำหนดทางเทคนิคมีทั้งหมด 21 ข้อกำหนด

3) ความเกี่ยวเนื่องของข้อกำหนดทางเทคนิคและข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย โดยจะได้ผลจากการให้คะแนนความสัมพันธ์

4) ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ ในส่วนนี้สามารถสรุปผลได้ว่าข้อกำหนดของชิ้นส่วนประกอบย่อยที่ผ่านการจัดเรียงค่าน้ำหนักความสำคัญที่อยู่ในระดับ 80% ตามหลักการแผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) จำนวน 14 ข้อ ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยข้อกำหนดของชิ้นส่วนประกอบย่อยที่มีคะแนนมากที่สุด คือ การทำงานของฟังชั่นปิดอัตโนมัติ 8.73% อันดับรองลงมา คือ ระบบปรับเอนนั่ง 8.23% อันดับสาม ความแข็งแรงในการเชื่อมต่อส่วนประกอบย่อย 7.66% อันดับสี่ คุณภาพของชิ้นส่วนโครงสร้าง 7.24% อันดับห้า ความปลอดภัยของที่พักแขน 6.50% อันดับหก ราวจับเอนกประสงค์ 6.33% อันดับเจ็ด วัสดุเสริม 5.68% อันดับแปด คุณภาพของชิ้นส่วนระบบอัจฉริยะ 5.38% อันดับเก้า ตำแหน่งของเซนเซอร์ 5.17% อันดับสิบ ขนาดสัดส่วนของจุดพนักพิง 4.48% อับดับสิบเอ็ด ชนิดของวัสดุหุ้ม 4.35% อันดับสิบสอง ตำแหน่งของระบบตรวจจับควันและความร้อน 3.97% อันดับสิบสาม ราคาของชิ้นส่วน 3.95% และอันดับสุดท้าย อายุการใช้งานของชิ้นส่วนประกอบ 3.81%

ข้อกำหนดทางเทคนิค	No.	IMP	ข้อกำหนดของชิ้นส่วนประกอบย่อย	○	○	↑	○	○	↑	○	↑	↑	○	○	↑	↑	○	○	↑	○	○	○	○	○
			พื้นผิวของวัตถุหุ้ม	ความทนต่อสิ่งแวดล้อม	ขนาดที่สำคัญของชุดชิ้นส่วน	ปีของวัสดุ	การจัดเก็บและการใช้งานระบบอัจฉริยะ	ระบบควบคุมด้วยมือ	การทำงานของเซ็นเซอร์	ราคาเป้าหมาย	ข้อจำกัดของการซื้อชิ้นส่วน	ระบบปรับอากาศ	การทำงานของฟังก์ชันปิดอัตโนมัติ	ค่าแข็งของระบบควบคุมความร้อนและความชื้น	ค่าแข็งของเซนเซอร์	ความเข้มแข็งของชิ้นส่วนประกอบย่อย	วัสดุอะไร	ชุดแบตเตอรี่สำหรับระบบอัจฉริยะ	น้ำหนักที่ชิ้นส่วนประกอบย่อยต้องรองรับได้	ชุดแบตเตอรี่สำหรับโครงสร้าง	รายละเอียดชิ้นส่วน	อายุการใช้งานของชิ้นส่วนประกอบ	ชิ้นส่วนประกอบสามารถเปลี่ยนได้
			No.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21
วัสดุมีคุณภาพ	B-18	7.1	9				1				3		9					3	9	9	9	3	3	
ระบบตรวจจับควันและความร้อน	B-14	5.1						1							9			3	9				3	
การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบอัจฉริยะ	B-9	5.1						3				3	3						3				3	
ความเสถียรของระบบอัจฉริยะ	B-10	5.1							1					9	9	9			9					
ราคาของผลิตภัณฑ์	B-24	4.9	9				1		3			3	3	9			3	9	9		9	9		3
ความสามารถในการรองรับน้ำหนัก	B-23	4.8		9							9		9				9	9			3			
ส่งเสริมความสะดวกในการใช้งานระบบอัจฉริยะ	B-11	4.6	3	3	3		3	9			3	3	3	9		3	1	1	1			3	3	1
ขนาดของโซฟา	B-3	4.6	3		9					3	3		3	3	1	1	9	3	1		9	3		
ฟังก์ชันปิดอัตโนมัติ	B-13	4.6													9	9	3		3					3
ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหว	B-15	4.6												9		9	3	3	3					
ความแข็งแรงของโซฟา	B-17	4.5	9	9	3					3	3	3	9	9	9	9	9	3	9		9	1	9	3
ความสะดวกสบาย	B-6	4.5		9	9				1	9	9	9	9	3	3				3		3	0	1	3
ความสวยงามของโซฟา	B-5	4.1	9		3	9	3											3		3				
การรับประกัน	B-25	4.0										3	9	9					9				3	9
การบริการหลังการขาย	B-26	4.0										3	9	9									3	9
ความสามารถของระบบอัจฉริยะ	B-12	3.8							3			3	9	3	3	1			9					3
ความมั่นคงของโครงสร้างฐานโซฟา	B-16	3.4		9	3						9		9	3	1	1	9	3		1	9	3	9	
โครงสร้างของผลิตภัณฑ์	B-21	3.1		3							3		9	3	1	1	9	3			9	3	3	
การบำรุงรักษา	B-7	3.1	3			1	1		9				9	9						9				9
ความคงทนของน้ำยาเคลือบ	B-19	3.0				3														9		3		
วัสดุท้องถิ่น	B-20	2.5				3			3												9	1	3	
ความทนทานของการประกอบ	B-22	2.3		9				3			9		3	3			9	9			3	3	3	1
รูปแบบการใช้งาน	B-1	2.3		9	9		1	9	3	3	3		9	9	1	1	3	3	3					
การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์	B-8	2.3									9						3	3			3			1
ซีสัน	B-4	1.5	9			9														3		3		
ลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์			11	5	10	19	20	15	18	6	16	2	1	12	9	3	7	8	17	4	13	14	15	รวม
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์			170.61	255.06	175.71	74.25	55.78	131.43	96.64	248.67	129.84	322.92	342.84	155.84	203.05	300.58	222.85	211.36	99.42	284.22	154.99	149.56	139.80	3925.42
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ			4.35	6.50	4.48	1.89	1.42	3.35	2.46	6.33	3.31	8.23	8.73	3.97	5.17	7.66	5.68	5.38	2.53	7.24	3.95	3.81	3.56	100.00
เป้าหมายของส่วนประกอบย่อย			หน้างหรือคำที่ใช้ในการรับรู้หุ่นส่วนโครงสร้าง	ควรมีชั้นเคลือบที่สามารถต้านทานต่อสิ่งแวดล้อม	ตรวจสอบอัตราการเสื่อมสภาพ	มีอัตราการสึกหรอของอุปกรณ์ไม่เกิน หรือ ต้องการมากกว่า 5 ปี	มีการจัดการกับน้ำหนักและ	ใช้สำหรับปรับระบบแอกซ์	สามารถต่ำความแรงของแสงของอุปกรณ์ต่างๆได้ง่าย	ใช้สำหรับเลื่อนสำหรับใช้ประสงค์	สามารถเชื่อมต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ	สามารถล็อกปรับอากาศได้ตามความต้อง	ทำการใช้งานระบบอัจฉริยะเมื่อไม่มีน้ำหนักบนกระทบต่อผลิตภัณฑ์	ใช้ในชุดที่มีการต่างกันของระบบปฏิบัติและชุดที่มีการตรวจสอบการเคลื่อนที่	ติดตั้งในชุดที่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยอัตโนมัติ	ตรวจสอบชุดชิ้นส่วนและการประกอบให้ได้มาตรฐานป้องกันการโยกหรือล้ม	แต่ให้มีเครื่องมือในการเข้าถึงที่ง่ายตามที่ต้องการเพื่อสนับสนุนโครงสร้าง	ให้วัสดุมีคุณภาพที่มีความทนทานต่อการใช้งานได้ตามมาตรฐาน	ป้องกันป้องกัน ของ และ	เลือกใช้วัสดุที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนและสึกหรอได้ดีเยี่ยม	เหมาะสมกับคุณสมบัติของวัสดุ	ไม่ต่ำกว่า 10 ปี หากมีการใช้งานตามวัตถุประสงค์	ออกแบบชิ้นส่วนประกอบย่อยให้สามารถ

รูปที่ 4 เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ



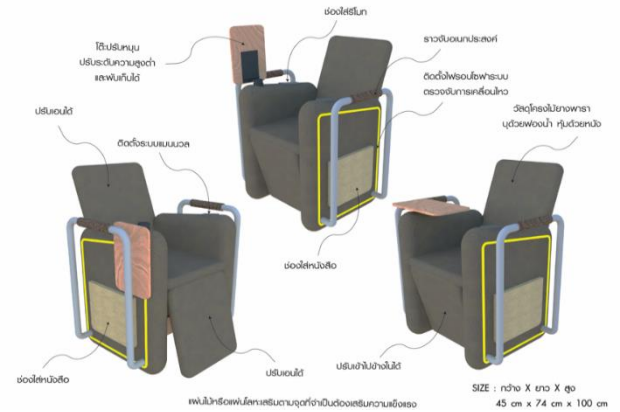
รูปที่ 5 การจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดชิ้นส่วนประกอบย่อย

3.4 ผลการออกแบบผลิตภัณฑ์

หลังจากสำรวจข้อมูลและประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ เพื่อทำการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุ จนได้ข้อกำหนดทางเทคนิคในด้านที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยได้นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์เข้าสู่กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความสอดคล้องกับข้อกำหนดที่ได้จากการวิเคราะห์ในเชิงเทคนิคเพื่อนำเสนอรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความตรงกับความต้องการของลูกค้า โดยในการออกแบบได้คำนึงถึงขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้สูงอายุชายและหญิง โดยผลการออกแบบผลิตภัณฑ์แบบร่างเฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุ แสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งเกิดจากกระบวนการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ตามความต้องการของลูกค้า มาเป็นลักษณะของเฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุดังกล่าว

3.5 ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุแล้ว จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบไปสำรวจความพึงพอใจด้วยแบบสอบถามชุดที่ 3 ซึ่งเป็นการประเมินปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจจะแบ่งออกเป็น 5 ระดับ เพื่อให้ลูกค้าประเมินความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ผลลัพธ์จากการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาผู้สูงอายุ พบว่าประเด็นความต้องการที่ลูกค้าให้ความสำคัญและมีความพึงพอใจมากที่สุดเป็นอันดับแรก คือ ด้านส่งเสริมความสะดวกในการใช้งานระบบอัจฉริยะ (ปรับเอนหลัง) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 และในส่วนระดับความพึงพอใจในประเด็นรองลงมา คือ ระบบตรวจจับควันและความร้อน โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 จะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์ได้รับความพึงพอใจจากผู้ประเมินไปในทิศทางที่ดีมาก โดยผู้ประเมินในงานวิจัยนี้คือ ผู้สูงอายุและผู้ที่สนใจผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุในจังหวัดสงขลา โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 4.09 คะแนน



รูปที่ 6 ผลการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุ

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุ ผลจากการวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ จากการสำรวจความต้องการของลูกค้าทำให้ทราบถึงความต้องการที่แท้จริงของลูกค้าหลังจากนั้นนำความต้องการมาจัดเรียงถ้อยคำใหม่และจัดกลุ่มคุณลักษณะของความต้องการที่มีความหมายซ้ำซ้อนเข้าด้วยกันแล้วนำความต้องการมาจัดทำเป็นแบบสอบถามเพื่อให้ลูกค้าได้ทำการประเมินความสำคัญ จากนั้นนำความต้องการของลูกค้าเข้าสู่เมทริกซ์ที่ 1 ของเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ทำให้ผู้ออกแบบทราบถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ จากนั้นนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้จากเมทริกซ์ที่ 1 เข้าสู่เมทริกซ์ที่ 2 การแปลงการออกแบบ ทำให้ทราบถึงคุณลักษณะของชิ้นส่วนประกอบย่อยของผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุ จากการวิจัยพบว่า ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุได้รับความพึงพอใจในคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 4.09 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจที่ดี ซึ่งผลลัพธ์จากการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาหรับผู้สูงอายุในงานวิจัยนี้ จะเป็นแนวทางในการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าในอนาคตต่อไป สำหรับแนวทางการวิจัยเพื่อต่อยอดในอนาคตนั้น ควรพิจารณาการนำออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์โซฟาสำหรับผู้สูงอายุที่ได้ไปขึ้นรูปจริง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ รวมถึงการวิเคราะห์และทดสอบในประเด็นอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณ ประจำปี 2567 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เอกสารอ้างอิง

[1] มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย. 2565. รายงานสถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2565. สืบค้นจาก https://www.thaitgri.org

[2] สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง. 2566. รายงานจำนวนประชากรไทยตามทะเบียนราษฎร. สืบค้นจาก https://www.bora.dopa.go.th

[3] กรมกิจการผู้สูงอายุ. 2564. รายงานข้อมูลผู้สูงอายุประจำปี 2564. สืบค้นจาก https://www.dop.go.th/th/know/5/277

[4] สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล. 2566. การศึกษาสัดส่วนร่างกายและการใช้เฟอร์นิเจอร์ของผู้สูงอายุ. สืบค้นจากhttps://ipsr.mahidol.ac.th/ipsrthai/?page_id=6141

[5] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, ชาตรี หอมเขียว, ซูไฮดี สนิ, วรพงศ์ บุญช่วยแทน, อภิชล ทองมั่ง กำเนิดว้ำ, และมูฮำหมัด เต๊ะยอ. 2564. “การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ประเภทของใช้จากลำต้นไม้ปาล์มน้ำมันโดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ: กรณีศึกษาผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ปาล์มน้ำมัน จังหวัดสตูล.” วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, ปีที่ 13, ฉบับที่ 2: 199-220.

[5] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, ชาตรี หอมเขียว, จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล และทิพยสุคนธ์ บุญญโส. 2565. “การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทชุดโซฟา.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1: 1–11.

[7] Y. Akao. 2016. “Engineering Approach with Quality Function Deployment for an ABET Accredited Program: A Case Study”, American Journal of Mechanical Engineering, Vol. 4(2): 65-70.

[8] ธยา ภิรมย์, สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, อภิรัตน์ตา ทองแกมแก้ว และ ฉารีฝ๊ะ หัดยี, 2562. “การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้เรียนระดับอนุบาลจากไม้ยางพาราโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ,” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 15, ฉบับที่ 3: 82-83.

การพัฒนาวิธีการติดตามงานผลิตและปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อตัดสินใจในการวางแผนผลิต : กรณีศึกษาบริษัทผลิตน็อตสกรูแห่งหนึ่ง

Development of Production Tracking and Inventory Management Methods for Production Planning Decision-Making : A Case Study of Screw Manufacturing Company

อรรถวิชญ์ คำปวง[1] มัณยาภรณ์ ภูริปัญญาคุณ[1*] ธีรภัทร์ อิ่มใจ[1]
[1]ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: munyaporn.p@itm.kmutnb.ac.th

Athawith Khampong[1] , Munyaporn Pooripanyakun[1*] , Teerapat Aimjai[1]
[1]Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: munyaporn.p@itm.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการตรวจสอบสถานะงานผลิตที่ไม่สามารถทราบสถานะของการผลิตในแต่ละวัน อันส่งผลให้เกิดการผลิตที่เกินความจำเป็น จากการศึกษาข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าปัญหาหลักในการผลิตคือไม่สามารถตรวจสอบน้ำหนักรวมของน็อตสกรูที่ผลิตแต่ละงานได้อย่างแม่นยำ งานวิจัยนี้ได้ใช้แนวคิด 5W1H ซึ่งเป็นแนวทางในการตั้งคำถามเพื่อระบุถึงปัญหา นอกจากนี้ยังใช้แนวคิด ECRS ซึ่งเป็นหลักการปรับปรุงกระบวนการทำงาน งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาระบบติดตามงานผลิตผ่าน Microsoft Excel โดยช่วยให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบข้อมูลน้ำหนักของการผลิตในแต่ละรอบได้แบบรวดเร็ว ลดระยะเวลาในการตรวจสอบข้อมูลและเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบน้ำหนักจากการผลิต ผลความพึงพอใจโดยรวมต่อระบบ พบว่าผู้ใช้งานให้ความพึงพอใจอยู่ในระดับพึงพอใจมาก โดยให้คะแนนเฉลี่ยที่ 4.25 จาก 5 คะแนน และระบบช่วยลดระยะเวลาการตรวจสอบเลขงานจากกลุ่มตัวอย่าง 5 เลขงาน จะใช้เวลาเฉลี่ย 7:19 นาทีต่อเลขงาน หลังปรับปรุงเหลือเพียง 26 วินาที คิดเป็นการลดลงประมาณ 94.07% และหากตรวจสอบมากกว่า 1 เลขงานก็จะใช้เวลาตรวจสอบเพียง 26 วินาที นอกจากนี้ผลจากการใช้งานระบบสารสนเทศยังแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการควบคุมกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปริมาณการผลิตเกินจากเป้าหมายต่อเลขงานลดลงจากเดิม 500–1,500 กิโลกรัม เหลือเพียง 100–300 กิโลกรัม หรือลดลงได้ 80% ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าระบบสามารถช่วยให้การผลิตเป็นไปอย่างใกล้เคียงกับเป้าหมายที่กำหนดมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การติดตามงานผลิต, การผลิตเกินความจำเป็น, ระบบสารสนเทศ

Abstract

This research aims to address the issue of monitoring production status, where the inability to track daily production progress has led to unnecessary overproduction. Based on a case study, the main production problem identified was the inability to accurately monitor the total weight of screws produced for each job. This study applied the 5W1H method as a framework for identifying the root cause of the problem, along with the ECRS principle to improve the workflow process. A production tracking system was designed and developed using Microsoft Excel to enable users to quickly access and verify the weight data of each production batch. This system helped reduce the time needed for data verification and improved the accuracy of production weight tracking. The overall user satisfaction toward the system was at a high level, with an average rating of 4.25 out of 5. Additionally, the system significantly reduced the average time required to check job numbers for a sample of five jobs-from 7 minutes and 19 seconds per job to only 26 seconds-representing a reduction of approximately 94.07%. Moreover, regardless of the number of job numbers being checked, the system requires only 26 seconds for verification. Furthermore, the implementation of the system demonstrated its effectiveness in production control. The amount of overproduction per job decreased from a previous range of 500–1,500 kilograms to only 100–300 kilograms, reduced by 80%. This result reflects the system's capability to support production that is more aligned with target objectives.

Keywords: Production tracking, Overproduction, Information system

1. บทนำ

การติดตามงานผลิต (Production Tracking) คือกระบวนการที่ใช้ในการตรวจสอบและบันทึกสถานะของกระบวนการผลิตต่าง ๆ ภายในโรงงานหรือระบบการผลิต ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงการผลิตเสร็จสิ้น กระบวนการนี้มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้จัดการหรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบและปรับปรุงการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1] บริษัทกรณีศึกษา เป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำการผลิตน็อตสกรู เช่น สกรูเกลียวเหล็ก สกรูปลายสว่าน สกรูไดวอร์ และสกรูชนิดต่าง ๆ เพื่อจัดจำหน่ายทั้งในประเทศและนอกประเทศ บริษัททำการผลิตน็อตสกรูหลากหลายรูปแบบในแต่ละวัน สามารถผลิตน็อตสกรูชนิดต่าง ๆ โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยรวมต่อวันที่ผลิตได้คือ 5-6 ตันต่อวัน ปัญหาที่พบจากการผลิตคือในการผลิตงานแต่ละงานนั้น ไม่สามารถทราบสถานะการผลิตของงานแต่ละชนิดได้ เนื่องจากไม่สามารถตรวจสอบน้ำหนักได้แบบวันต่อวัน ทำให้เกิดการผลิตจำนวนมาก เกินกำหนดของน้ำหนักที่ได้วางแผนไว้ ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้หาแนวทางในการแก้ไขปัญหา โดยได้มีการออกแบบระบบการบันทึกข้อมูลการผลิตในแต่ละวันเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะของการทำงานในปัจจุบัน โดยจะให้มีการแสดงสถานะน้ำหนักของงานผลิตแบบวันต่อวันเพื่อนำข้อมูลที่แสดงผลมานั้นมาใช้ตัดสินใจ และจัดทำระบบสต็อกของบริษัทเพื่อให้มีมาตรฐานในระบบสินค้าคงคลัง

การดำเนินการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการตรวจสอบสถานะงานผลิตที่ไม่สามารถทราบสถานะของการผลิตในแต่ละวัน อันส่งผลให้เกิดการผลิตที่เกินความจำเป็น (Overproduction) ปัญหาการผลิตเกินความจำเป็น เป็นหนึ่งในความสูญเปล่าหลักของกระบวนการผลิต อันเกิดจากการขาดข้อมูลที่ถูกต้องเกี่ยวกับสถานะของงานผลิตในแต่ละวัน การผลิตมากเกินไปส่งผลให้เกิดสินค้าคงคลังส่วนเกิน ทำให้เกิดต้นทุนในการจัดเก็บและการบริหารจัดการเพิ่มขึ้น ปัญหานี้ยังอาจส่งผลให้สินค้าเสื่อมสภาพลงจากการจัดเก็บไว้นาน ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะช่วยให้สามารถติดตามสถานะของงานผลิตแบบวันต่อวัน ทำให้สามารถควบคุมปริมาณการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริง ลดปัญหาการผลิตเกินความจำเป็น อีกทั้งพัฒนาระบบสารสนเทศของโรงงานให้มีมาตรฐานเป็นปัจจัยสำคัญในการบริหารจัดการโรงงานอุตสาหกรรม ระบบที่ดีต้องสามารถรวบรวมและแสดงผลข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และเป็นปัจจุบัน เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนและตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบสารสนเทศที่ได้รับการพัฒนานี้จะช่วยให้ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต การจัดเก็บสินค้า และการวางแผนการผลิตสามารถเข้าถึงได้สะดวก และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดียิ่งขึ้น และลดปัญหาความสูญเปล่าจากการทำงาน กระบวนการผลิตที่ไม่มีระบบติดตามที่ดีอาจส่งผลให้เกิดความสูญเปล่าในหลายด้าน เช่น การใช้วัตถุดิบมากเกินไป การใช้แรงงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ หรือการเกิดงานค้างในสายการผลิต ระบบที่ออกแบบมาจะช่วยลดความสูญเปล่าโดยให้ข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับสถานะของงานผลิต ทำให้สามารถปรับปรุงการดำเนินงานผลิต ลดการทำงานซ้ำซ้อน และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรภายในโรงงาน

ขอบเขตในการศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการงานผลิตและสต็อกสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเน้นการศึกษาระบบสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการอุตสาหกรรม เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามสถานะของงานผลิต นอกจากนี้ยังมีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel เป็นเครื่องมือหลักในการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ขอบเขตของการศึกษายังครอบคลุมถึงการจัดทำระบบติดตามสถานะของงานผลิตและสต็อกสินค้า นอกจากนี้ ยังมีการออกแบบระบบเบิกวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิต เพื่อให้สามารถบริหารจัดการวัตถุดิบได้อย่างเป็นระบบ และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยรวม

การพัฒนาระบบติดตามงานผลิตจะนำมาซึ่งประโยชน์ที่สำคัญต่อบริษัท โดยช่วยให้สามารถติดตามสถานะของงานผลิตในแต่ละเลขงานได้อย่างชัดเจนและรวดเร็ว ทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลที่รวบรวมจากระบบจะช่วยให้การวางแผนการผลิตในครั้งต่อไปมีความแม่นยำและสอดคล้องกับความต้องการ ลดความเสี่ยงในการผลิตสินค้าล้นสต็อกหรือการผลิตสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ การจัดการสินค้าคงคลังจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสต็อกสินค้าจะอยู่ในระดับที่พอดี ไม่มากหรือน้อยเกินไป ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการจัดเก็บและเพิ่มความคล่องตัวในการบริหารจัดการทรัพยากร

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แนวคิด ECRS เป็นกรอบความคิดที่ช่วยลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงาน โดยมุ่งเป้าไปที่การตัดทอนค่าใช้จ่ายที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มให้กับองค์กร พร้อมทั้งยกระดับประสิทธิภาพการผลิตและผลกำไรให้สูงขึ้น แนวคิดนี้ประกอบด้วยหลักการ 4 ด้าน ได้แก่ 1) การกำจัด (Eliminate) สิ่งที่ไม่จำเป็น 2) การรวม (Combine) ขั้นตอนหรือกระบวนการที่คล้ายคลึงกัน 3) การจัดลำดับใหม่ (Rearrange) เพื่อให้เกิดความสมเหตุสมผล และ 4) การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) เพื่อลดความซับซ้อน ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักการ LEAN ที่เน้นการจัดการองค์กรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยการตัดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อนหรือไม่สร้างมูลค่า แนวคิด ECRS ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม และได้พิสูจน์แล้วว่าสามารถสร้างผลลัพธ์ที่ชัดเจนในการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [2]

2.1.2 ทฤษฎี 5W1H คือ ตัวอักษรตัวแรกของคำภาษาอังกฤษ 6 คำ ประกอบด้วย Who , What , When , Where , Why และ How วิธีการใช้เครื่องมือนี้ประกอบด้วยการถามชุดคำถามอย่างเป็นระบบเพื่อรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็นในการจัดทำรายงานสถานการณ์ที่

เกิดขึ้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อระบุลักษณะที่แท้จริงของปัญหาและอธิบายออกมาอย่างแม่นยำและครบถ้วน [3]

1) What (อะไร) คำถามนี้มุ่งเน้นไปที่หัวใจของเรื่องหรือปัญหา ตัวอย่างเช่น หากมีปัญหาเกี่ยวกับการผลิตที่เกินความจำเป็น คำถามแรกที่ควรถามคือ ปัญหาที่เกิดขึ้นคืออะไร?

2) Why (ทำไม) คำถามนี้ช่วยหาสาเหตุหรือเหตุผลเบื้องหลัง ตัวอย่างเช่น ทำไมจึงเกิดการผลิตที่เกินความจำเป็น?

3) Who (ใคร) คำถามนี้ระบุบุคคลหรือกลุ่มคนที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ใครเป็นผู้ดูแลกระบวนการผลิต?

4) When (เมื่อไหร่) คำถามนี้กำหนดเวลา ตัวอย่างเช่น การผลิตที่เกินความจำเป็นเกิดขึ้นในช่วงไหนของการผลิต?

5) Where (ที่ไหน) คำถามนี้ระบุสถานที่หรือตำแหน่งที่เกิดเหตุการณ์ ตัวอย่างเช่น การผลิตมากเกินไปเกิดขึ้นที่ส่วนใดของสายการผลิต?

6) How (อย่างไร) คำถามนี้มุ่งเน้นไปที่วิธีการหรือกระบวนการ ตัวอย่างเช่น เราจะแก้ไขปัญหาการผลิตที่เกินความจำเป็นได้อย่างไร?

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธิดาพร และนริศรา [4] ได้ศึกษาการพัฒนาโปรแกรมวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ ซึ่งมีลักษณะการผลิตแบบ Job shop ที่ซับซ้อน โดยใช้เครื่องมือ VBA ใน Microsoft Excel เพื่อช่วยผู้วางแผนคำนวณวันและเวลาในการเริ่ม–สิ้นสุดงาน รวมถึงข้ามเวลาพักและวันหยุด โปรแกรมสามารถระบุวันที่พร้อมสำหรับการประกอบแม่พิมพ์ได้ในการรันครั้งเดียว โดยจัดตารางการผลิตจากข้อมูล Job และ Machine เพื่อคำนวณเวลาทำงานอย่างแม่นยำ การทดสอบกับ Test case มาตรฐาน 4 กรณี พบว่าโปรแกรมมีค่า Make span สูงกว่าคำตอบที่ดีที่สุดในช่วง 0.18% ถึง 11.99% แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถวางแผนได้ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในเชิงประสิทธิภาพ

จัตพล ชลดา และปฐมพงศ์ [5] ได้ศึกษาการปรับปรุงระบบเบิกจ่ายสินค้าคงคลังในแผนกซ่อมบำรุงของบริษัท ทิมฟู้ด จำกัด โดยพบปัญหาความเข้าใจผิดของตัวเลขจากลายมือจำนวน 19 ครั้งต่อเดือน และปัญหาการเบิกของแล้วไม่มีของในคลังจำนวน 15 ครั้งต่อเดือน ส่งผลให้กระบวนการทำงานเกิดความล่าช้า จากนั้นจึงได้ปรับปรุงระบบด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ร่วมกับหลักการ ECRS และ 5W1H เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดข้อผิดพลาด ผลจากการทดลองใช้งานระบบใหม่พบว่าสามารถลดความเข้าใจผิดของตัวเลขเหลือเพียง 2 ครั้งต่อเดือน คิดเป็น 89.47% และลดปัญหาการหาอุปกรณ์ไม่พบเหลือ 5 ครั้งต่อเดือน คิดเป็น 66.67% โดยพนักงานมีความพึงพอใจต่อระบบใหม่ในระดับมาก

มานะ และ วงศกร [6] ศึกษาการพัฒนาประสิทธิภาพในการวางแผนจัดซื้อวัตถุดิบของแผนกโลจิสติกส์ในบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยมีปัญหาหลักคือข้อมูลสินค้าคงคลังในระบบ SAP ไม่ตรงกับการตรวจนับจริง ส่งผลให้แผนจัดซื้อคลาดเคลื่อน และสายการผลิตต้องหยุดถึง 15 ครั้ง ผู้ศึกษาจึงนำ Microsoft Excel มาประยุกต์ใช้เพื่อติดตามการเคลื่อนไหวของวัตถุดิบและวิเคราะห์ความเสี่ยงในการขาดวัตถุดิบล่วงหน้า ส่งผลให้จำนวนครั้งที่สายการผลิตหยุดลดลงเหลือ 3 ครั้ง (ลดลง 80%) เพิ่มความแม่นยำในการจัดซื้อและลดความสูญเสียได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม มีข้อเสนอแนะให้พัฒนาระบบ SAP ให้รองรับข้อมูลแผนการผลิตมากขึ้น และปรับปรุงระบบตรวจสอบสต็อกอย่างต่อเนื่อง

3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้กำหนดวิธีการดำเนินงานเป็น 7 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1



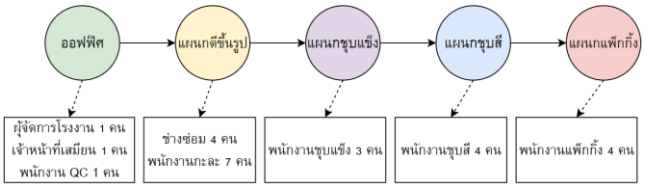
รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เริ่มต้นด้วยการศึกษาขั้นตอนการทำงานในปัจจุบันของบริษัท โดยใช้วิธีสังเกต และสอบถามขั้นตอนการทำงานของแต่ละแผนกอย่างละเอียด จากนั้นศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น โดยเก็บข้อมูลขั้นตอนวิธีการผลิตในทุก ๆ กระบวนการ เพื่อให้เข้าใจในกระบวนการผลิต ผู้ศึกษาได้พบเห็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาโดยในขั้นตอนการบันทึกข้อมูล อันเกี่ยวเนื่องกับลักษณะของการทำงานที่ไม่สอดคล้องกับระบบสารสนเทศในการจัดเก็บบันทึกข้อมูลคือไม่สามารถติดตามงานผลิตในแต่ละงานได้ว่าผลิตไปได้จำนวนที่ต้องการแล้วหรือยัง ส่งผลทำให้ผลิตเกินความต้องการ เกิดความสูญเปล่าเนื่องจากการผลิตมากเกินไป และได้มีการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักทฤษฎี 5W1H และ ECRS เพื่อหาวิธีในการแก้ไขปัญหา จากนั้นจึงเสนอแนวทางในการพัฒนาวิธีการติดตามงานผลิตและปริมาณสินค้าคงคลัง ออกแบบระบบงานต่าง ๆ ในการบันทึกข้อมูล โดยมีฟังก์ชัน เปิดงานผลิต บันทึกรายงานน็อตแต่ละวันและแต่ละส่วนงาน ดูสถานะของงานผลิต ตรวจสอบสินค้าคงคลังที่พร้อมทำการบรรจุลงกล่อง ระบบการรับกล่องเบิกกล่อง ระบบสต็อก จากนั้นทดลองใช้งานระบบสารสนเทศที่ได้ทำการปรับปรุงพัฒนาในการทำงานจริง และทำการสรุปผลโดยทำการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร สามารถนำไปใช้ในการทำงานได้มีประสิทธิภาพมากแค่ไหน และมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมอะไรจากผู้ปฏิบัติงาน

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ศึกษาขั้นตอนการทำงานปัจจุบัน

ผลการศึกษาทำให้ทราบขั้นตอนการทำงาน โดยกระบวนการจะเกี่ยวข้องกับส่วนของออฟฟิศ ซึ่งมีผู้จัดการโรงงานทำหน้าที่เปิดใบงานสั่งผลิต เจ้าหน้าที่เสมียนและพนักงาน QC ที่คอยตรวจสอบงานและบันทึกข้อมูล และส่วนงานผลิต 4 แผนก มีขั้นตอนและผู้ที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในรูปที่ 2

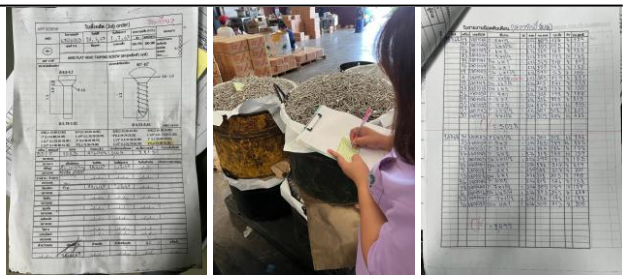


รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานในปัจจุบันและผู้ที่เกี่ยวข้อง

บริษัทนี้มีพนักงาน 2 กะ ยอดรวมโดยประมาณ 32 คน ลักษณะของสถานประกอบการจะมีการผลิตเพื่อจัดจำหน่ายเอง และผลิตให้กับลูกค้าเพื่อนำไปจัดจำหน่ายภายใต้แบรนด์ของลูกค้า หรือเรียกว่า OEM (Original Equipment Manufacturer) โดยมีการผลิตเพื่อรอจัดจำหน่าย (Made-to-stock) ตามความต้องการของกลุ่มลูกค้าส่วนใหญ่ การจัดหาวัตถุดิบและเตรียมการผลิตเป็นการเตรียมไว้ล่วงหน้า ถ้ามีคำสั่งซื้อสินค้า สถานประกอบการพร้อมที่จะจัดส่งสินค้าไปยังลูกค้า และเมื่อสินค้าในสต๊อกลดลง สถานประกอบการจะเปิดงานการผลิตเพื่อชดเชยสินค้าที่ถูกซื้อไป เพื่อให้สต๊อกสินค้ามีสินค้าพร้อมที่จะจัดส่งได้ตลอด วิธีการผลิตน็อตสกรูของสถานประกอบการจะมีลำดับขั้นตอนการผลิตแบ่งเป็น 4 แผนก ได้แก่ แผนกตีขึ้นรูปและทำเกลียว แผนกชุบแข็ง แผนกชุบสี และแผนกแพ็กกิ้ง โดยแผนกตีขึ้นรูปจะทำการตีขึ้นรูปและทำเกลียวน็อตออกมา จากนั้นจะส่งไปชุบแข็ง และเมื่อชุบแข็งเสร็จเรียบร้อย น็อตสกรูจะถูกส่งไปยังแผนกชุบสี และจะถูกนำไปยังแผนกแพ็คกิ้ง เพื่อทำการบรรจุลงกล่องเป็นขั้นตอนสุดท้าย รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มใบเปิดงาน การบันทึกและใบรายงานการผลิต

4.2 ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น

จากลักษณะกระบวนการผลิตที่กล่าวมาข้างต้น จะสามารถสรุปปัญหาได้ว่าในการผลิตงานในแต่ละงานนั้น ไม่สามารถบอกได้ว่างานผลิตนั้นมีน้ำหนักรวมเท่าไร และกระบวนการผลิตดำเนินไปถึงขั้นตอนใดแล้ว ซึ่งค่อนข้างที่จะยากในการตรวจสอบ เพราะจะต้องไปตรวจสอบที่โกดังสินค้าหรือต้องนำใบรายงานการผลิตประจำวัน มาหาเลขงานและบวกน้ำหนักของแต่ละงาน จากที่ได้จับเวลาในการตรวจสอบเลขงานจำนวน 5 เลขงาน จะใช้เวลาเฉลี่ยในการตรวจสอบประมาณ 7:19 นาทีต่อเลขงาน ดังตารางที่ 1



รูปที่ 3 ตัวอย่างใบเปิดงาน การบันทึกและใบรายงานการผลิต

ตารางที่ 1 ผลการจับเวลาในการค้นหาเลขงานผลิตจำนวน 5 เลขงาน

รหัสงานสำหรับค้นหา	เวลาที่ใช้
6701016	7:42 นาที
6701032	6:51 นาที
6701018	7:21 นาที
6701022	7:11 นาที
6701038	7:34 นาที
เวลาเฉลี่ยรวม 5 เลขงาน	**7:19 นาที**

หากต้องการตรวจสอบสถานะงานในหลายเลขงานจะใช้เวลาเพิ่มขึ้น การทำในลักษณะนี้จะทำให้ผู้ตรวจสอบเกิดความล่าช้าในการทำงาน และอาจเกิดความผิดพลาดได้ จะทำให้ได้ข้อมูลที่ไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง และระบบบันทึกข้อมูลที่สถานประกอบการใช้อยู่ในปัจจุบันไม่มีระบบการรายงานสต๊อกของชิ้นงาน โดยสต๊อกชิ้นงานของสถานประกอบการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบกระดาษเท่านั้น ทำให้ยากต่อการวางแผนในการผลิตในแต่ละครั้งเนื่องจากขาดระบบสารสนเทศในการจัดการข้อมูลที่เป็นระบบ และการลงบันทึกรายงานข้อมูลในแต่ละกระบวนการผลิตของสถานประกอบการเป็นการลงบันทึกที่ไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

4.3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักทฤษฎี

ผู้ศึกษาได้ใช้เทคนิค 5W1H ในการตั้งคำถามเพื่อให้ทราบต้นตอของปัญหา และนำมาวิเคราะห์ต่อด้วยหลักการ ECRS ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ปัญหาด้วย 5W1H

ประเด็น	คำถาม	คำตอบ
What	สถานะของงานผลิตที่ต้องการตรวจสอบคืออะไร?	คือข้อมูลน้ำหนักและความคืบหน้าของงานผลิตในแต่ละวัน
Why	ทำไมถึงไม่สามารถตรวจสอบน้ำหนักของงานผลิตได้ทุกวัน?	เนื่องจากไม่มีระบบบันทึกหรือรายงานที่อัปเดตแบบวันต่อวัน

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ประเด็น	คำถาม	คำตอบ
When	ปัญหานี้เกิดขึ้นในขั้นตอนใดของกระบวนการผลิต?	เกิดขึ้นในขั้นตอนหลังการผลิตที่ต้องบันทึกข้อมูลและตรวจสอบน้ำหนัก
Where	ปัญหาเกิดขึ้นช่วงเวลาใดบ่อยที่สุด?	ระหว่างและหลังการผลิต โดยเฉพาะช่วงสิ้นวันเมื่อสรุปข้อมูล
Who	ใครเป็นผู้รับผิดชอบในการตรวจสอบสถานะงานผลิต?	ผู้จัดการโรงงานและพนักงานที่เกี่ยวข้อง
How	จะสามารถติดตามสถานะการผลิตให้มีประสิทธิภาพได้อย่างไร?	ควรใช้ระบบสารสนเทศที่สามารถแสดงผลข้อมูลน้ำหนักได้ได้แบบถูกต้องหลังจากบันทึกข้อมูล

ตารางที่ 3 การแก้ไขปัญหาด้วย ECRS

ECRS	ปัญหาที่เกิดขึ้น
Eliminate	ไม่สามารถตัดขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Combine	ไม่สามารถรวมขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Rearrange	ไม่สามารถจัดลำดับขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Simplify	สามารถทำให้ง่ายขึ้นได้
การทำงานใหม่ที่ปรับปรุง	สามารถทำให้ง่ายขึ้นโดยออกแบบให้มีระบบสต็อก เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ผ่านโปรแกรม Microsoft Excel โดยไม่ต้องไปตรวจสอบสินค้าที่คลัง

ผู้ศึกษาได้หาแนวทางในการแก้ไขปัญหานี้ โดยได้ออกแบบระบบการบันทึกข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel ใหม่ให้สอดคล้องกับลักษณะการทำงานในปัจจุบัน เพื่อให้สามารถติดตามงานผลิตแต่ละรายการโดยใช้เลขงานในการอ้างอิงเพื่อใช้สำหรับเชื่อมโยงข้อมูลกันในแต่ละกระบวนการผลิต และยังสามารถตรวจสอบดูสต็อกว่ามีปริมาณน็อตสกรูแต่ละรายการที่พร้อมทำการแพ็กเพื่อจัดส่งไปยังลูกค้ามีน้ำหนักเท่าไร อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลนั้น มาช่วยในเรื่องของการตัดสินใจในการผลิต เพื่อลดต้นทุนในการผลิตที่เกินความจำเป็น (Over Production) อันเกิดจากข้อมูลที่ไม่มีความเป็นระบบ

4.4 เสนอแนวทางวิธีการพัฒนา

จากการวิเคราะห์ด้วยการตั้งคำถาม 5W1H ทำการแก้ไขด้วยหลัก ECRS ผู้ศึกษาได้เสนอวิธีการพัฒนาและสามารถสรุปขั้นตอนวิธีการทำงานที่ปรับปรุงใหม่ได้ ดังตารางที่ 4

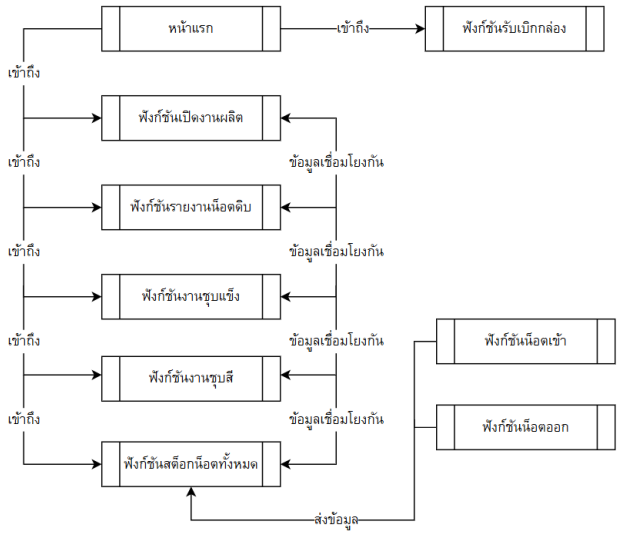
ตารางที่ 4 การปรับปรุงขั้นตอนการผลิต

ขั้นตอนหลังการปรับปรุง
1) พนักงานตรวจสอบสินค้าจากโปรแกรม Microsoft Excel หากมีเพียงพอไม่เปิดงานผลิต หากมีไม่เพียงพอให้เปิดงานผลิต
2) เปิดงานผลิต
3) ทำการผลิตน็อต
4) บันทึกงานผลิต
5) พนักงานตรวจสอบน้ำหนักของงานผลิต ผ่านโปรแกรม Microsoft Excel หากมีเพียงพอให้หยุดผลิตและแพ็กลงกล่อง หากน้ำหนักยังไม่เพียงพอให้ทำการผลิตต่อไป
6) แพ็กน็อตลงกล่อง
7) จัดเก็บเข้าคลัง

ก่อนการปรับปรุงระบบ กระบวนการตรวจสอบและเปิดงานผลิตยังคงใช้วิธีการแบบดั้งเดิม โดยพนักงานต้องไปตรวจสอบสินค้าคงคลังด้วยตนเอง หากพบว่ามีน็อตเพียงพอ ก็จะไม่เปิดงานผลิต แต่หากปริมาณน็อตไม่เพียงพอจึงจะมีการเปิดงานผลิตขึ้น จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการผลิตและบันทึกข้อมูลการผลิตประจำวัน อย่างไรก็ตาม การผลิตไม่ได้อ้างอิงตามน้ำหนักที่ต้องการ เนื่องจากการตรวจสอบน้ำหนักทำได้ยาก พนักงานต้องรวบรวมข้อมูลจากใบบันทึกการผลิตของแต่ละวัน แล้วนำมาคำนวณน้ำหนักรวมของแต่ละเลขงาน ส่งผลให้การผลิตเป็นไปแบบต่อเนื่องโดยไม่มีเกณฑ์ที่แน่นอน และต้องอาศัยการประเมินด้วยสายตาว่าควรหยุดผลิตเมื่อใด เมื่อเห็นว่าผลิตเพียงพอแล้วจึงหยุดผลิต จากนั้นน็อตที่ผลิตได้จะถูกแพ็กลงกล่องและนำไปจัดเก็บเข้าคลังสินค้า หลังจากปรับปรุงระบบ พนักงานสามารถตรวจสอบจำนวนน็อตที่มีอยู่ผ่านระบบในโปรแกรม Microsoft Excel ได้โดยไม่ต้องไปเช็คที่คลังสินค้าด้วยตนเอง หากพบว่าน็อตไม่เพียงพอ ให้เปิดงานผลิต จากนั้นจึงเริ่มการผลิตและบันทึกข้อมูลการผลิตในแต่ละวัน ข้อมูลน้ำหนักของน็อตที่ผลิตในแต่ละงานจะถูกบันทึกและคำนวณใน Microsoft Excel ทำให้สามารถตรวจสอบได้ง่ายว่าน้ำหนักน็อตเพียงพอหรือไม่ หากยังไม่พอ ก็จะดำเนินการผลิตต่อไป แต่หากเพียงพอแล้ว ก็จะหยุดผลิตและเข้าสู่กระบวนการอื่น ๆ จนถึงกระบวนการแพ็คลงกล่องก่อนนำไปจัดเก็บในคลังสินค้า วิธีนี้ช่วยลดปัญหาการผลิตเกินความจำเป็น ควบคุมปริมาณสต็อกให้เหมาะสม และลดต้นทุนจากการผลิตที่ไม่จำเป็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.5 พัฒนาวิธีการติดตามงานผลิต

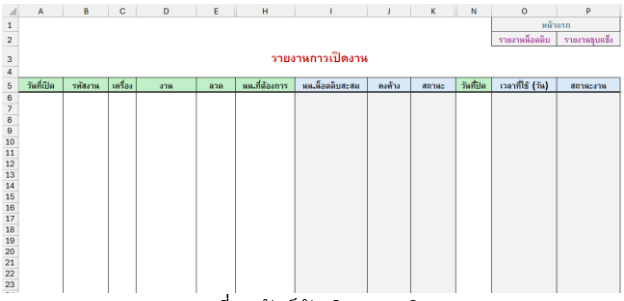
จากการทำงานในปัจจุบันที่ไม่สามารถตรวจสอบสถานะของงานผลิตได้ ผู้ศึกษาจึงได้เสนอแนวทางการปรับปรุงโดยออกแบบระบบสารสนเทศของโรงงานให้มีมาตรฐาน ให้สามารถตรวจสอบสถานะงานได้อย่างรวดเร็ว และยังสามารถทำการตรวจสอบสินค้าคงคลังได้ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยแต่ละฟังก์ชันจะมีรายละเอียดการทำงานดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผังแสดงการเชื่อมโยงของแต่ละฟังก์ชันงาน

1) หน้าแรก ใช้สำหรับเลือกฟังก์ชันสำหรับการทำงานของโปรแกรม ประกอบไปด้วย ฟังก์ชันเปิดงานผลิต ฟังก์ชันรายงานน็อตดิบ ฟังก์ชันงานชุบแข็ง ฟังก์ชันงานชุบสี ฟังก์ชันน็อตเข้า ฟังก์ชันน็อตออก ฟังก์ชันสต็อกน็อตทั้งหมด และฟังก์ชันรับเบิกกล่อง

2) ฟังก์ชันเปิดงานผลิต เป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้สำหรับกำหนดและเริ่มต้นการผลิต โดยผู้ใช้งานต้องป้อนข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น รหัสงาน และน้ำหนักที่ต้องการผลิต เพื่อให้กระบวนการดำเนินไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เมื่อมีการบันทึกรายงานการผลิตประจำวันผ่านฟังก์ชันรายงานน็อตดิบ ระบบจะทำการรวบรวมและคำนวณน้ำหนักสะสมของน็อตดิบโดยอัตโนมัติ ตามเลขงานที่ระบุไว้ ซึ่งช่วยให้สามารถติดตามความคืบหน้าของกระบวนการผลิตได้อย่างแม่นยำ ลดความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล และเพิ่มความสะดวกในการบริหารจัดการข้อมูลการผลิตภายในโรงงาน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ฟังก์ชันเปิดงานผลิต

3) ฟังก์ชันรายงานน็อตดิบ ฟังก์ชันนี้จะใช้สำหรับกรอกข้อมูลประจำวันจากการผลิตน็อตดิบ โดยจะกรอกเลขงานการผลิต ระบบจะทำการดึงข้อมูล เช่น ชื่อชิ้นงาน ลวดที่ใช้ เครื่องที่ใช้โดยอัตโนมัติ จากนั้นผู้ใช้จะทำการกรอกข้อมูลเพื่อบันทึกน้ำหนักจากการผลิตน็อตดิบประจำวัน และน้ำหนักที่ผู้ใช้บันทึกไปในแต่ละครั้งจะถูกบวกสะสมเข้าไปยังฟังก์ชันเปิดงานผลิตตามแต่ละรหัสงาน

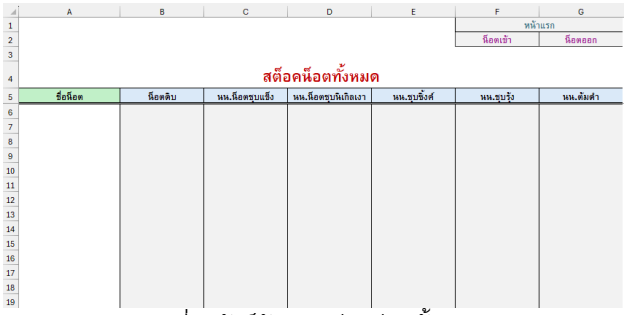
4) ฟังก์ชันงานชุบแข็ง ฟังก์ชันนี้จะใช้สำหรับกรอกข้อมูลน็อตที่ส่งไปยังแผนกชุบแข็ง เมื่อทำการกรอกข้อมูลแล้วระบบจะรายงานไปยังฟังก์ชันสต็อกน็อตว่าน็อตชนิดนี้อยู่ในกระบวนการไหนของการผลิต

5) ฟังก์ชันงานชุบสี ฟังก์ชันนี้จะใช้สำหรับกรอกข้อมูลน็อตที่ผ่านการชุบแข็ง จากนั้นจึงส่งไปชุบสี

6) ฟังก์ชันน็อตเข้า ฟังก์ชันนี้จะใช้สำหรับบันทึกน็อตที่รับเข้ามายังสต็อก จากนั้นระบบจะทำการเพิ่มสต็อกที่ได้รับเข้ามาโดยอัตโนมัติในฟังก์ชันสต็อกน็อตทั้งหมด

7) ฟังก์ชันน็อตออก ฟังก์ชันนี้จะใช้สำหรับบันทึกน็อตที่ส่งออก และระบบจะทำการตัดสต็อกน็อตที่ได้ส่งออกในฟังก์ชันสต็อกน็อตทั้งหมด

8) ฟังก์ชันสต็อกน็อตทั้งหมด ฟังก์ชันนี้จะใช้สำหรับแสดงผลรายงานว่าน็อตแต่ละชนิดอยู่กระบวนการผลิตใดบ้าง และแสดงข้อมูลของสินค้าในคลังที่จัดเก็บทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ฟังก์ชันของสต็อกน็อตทั้งหมด

9) ฟังก์ชันรับเบิกกล่อง ฟังก์ชันนี้ใช้สำหรับรับกล่องเข้าโกดังหรือเบิกกล่องออกไปเพื่อทำการแพ็กน็อต

4.6 ทดลองใช้งาน



รูปที่ 7 ตัวอย่างที่แสดงข้อมูลน้ำหนักของแต่ละเลขงานผลิต

หลังจากที่ได้นำไปทดลองใช้กับบริษัทกรณีศึกษาโดยมีระยะเวลาทดลองใช้งาน 5 สัปดาห์ 5 วัน (1 กุมภาพันธ์ 2568 ถึง 10 มีนาคม 2568) พบว่าจากเดิมหากต้องการตรวจสอบว่าน็อตที่ได้ผลิตได้น้ำหนักตามแผนที่วางไว้หรือยังจะต้องไปตรวจสอบที่โกดังสินค้า หรือนำใบรายงานการผลิตประจำวันมาคำนวณหาเลขงานและบวกน้ำหนักสะสมซึ่งใช้เวลานาน โดยหลังจากนำระบบสารสนเทศมาทดลองใช้งานสามารถ

ตรวจสอบได้ทันทีจากโปรแกรม Microsoft Excel โดยไม่ต้องไปตรวจสอบที่คลังสินค้า หรือนำใบรายงานมาค้นหาเลขงานแล้วบวกน้ำหนัก และสามารถทราบน้ำหนักของน็อตสกรูแต่ละเลขงานว่ามีน้ำหนักจากการผลิตเท่าไร ดังรูปที่ 7 นอกจากนี้ระบบที่ปรับปรุงแล้วยังช่วยให้สามารถตรวจสอบปริมาณสต็อกของน็อตสกรูได้อย่างแม่นยำ ทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถวางแผนการผลิตครั้งต่อไปได้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดความเสี่ยงจากการผลิตที่มากหรือน้อยเกินไป และช่วยให้การบริหารจัดการสินค้าคงคลังเป็นระบบมากยิ่งขึ้น

4.7 สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาในการตรวจสอบสถานะงานผลิตที่ไม่สามารถทราบสถานะของการผลิตในแต่ละวัน อันส่งผลให้เกิดการผลิตที่เกินความจำเป็น (Overproduction) จากการทดลองใช้งานระบบสารสนเทศที่ได้พัฒนา พบว่าระบบใหม่ช่วยให้การตรวจสอบน้ำหนักและการจัดการสต็อกมีความสะดวกและแม่นยำมากขึ้น โดยจากการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบสารสนเทศ พบว่าระบบสามารถช่วยให้การติดตามน้ำหนักและสต็อกมีความสะดวกมากขึ้น โดยผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนในระดับพึงพอใจมาก (ค่าเฉลี่ย 4 จาก 5) นอกจากนี้ ระบบยังช่วยลดปัญหาการจัดการสต็อกผิดพลาดได้เป็นอย่างดี โดยได้รับคะแนนความพึงพอใจอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับระดับสูงสุดที่ 5 คะแนน ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังไม่พบปัญหาหรือข้อผิดพลาดขณะใช้งานระบบ และไม่มีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับฟังก์ชันเพิ่มเติมในขณะนี้ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบโจทย์การใช้งานได้ดี สำหรับความพึงพอใจโดยรวมต่อระบบ พบว่าผู้ใช้งานให้ความพึงพอใจอยู่ในระดับพึงพอใจมาก โดยให้คะแนนเฉลี่ยที่ 4.25 จาก 5 คะแนน สะท้อนให้เห็นว่าระบบสามารถช่วยให้การทำงานสะดวกขึ้น ลดข้อผิดพลาด และช่วยให้การจัดการสต็อกมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการตรวจสอบข้อมูล พบว่าระบบใหม่ช่วยลดเวลาในการตรวจสอบเลขงาน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เวลาตรวจสอบเลขงานผลิตก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

รหัสงาน	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
6701016	7:42 นาที	26 วินาที
6701032	6:51 นาที	26 วินาที
6701018	7:21 นาที	26 วินาที
6701022	7:11 นาที	26 วินาที
6701038	7:34 นาที	26 วินาที
เวลาเฉลี่ยรวม	**7:19 นาที**	**26 วินาที**

จากตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบจำนวน 5 เลขงาน เดิมจะใช้เวลาตรวจสอบเฉลี่ยประมาณ 7:19 นาทีต่อเลขงาน หลังปรับปรุงเหลือเพียง 26 วินาที คิดเป็นการลดลงประมาณ 94.07% และหากตรวจสอบมากกว่า 1 เลขงานก็จะใช้เวลาตรวจสอบเพียง 26 วินาที ระบบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน ลดความซ้ำซ้อนของกระบวนการ และยังช่วยให้สามารถวางแผนการผลิตได้อย่างแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าหลังจากการใช้งานระบบสารสนเทศดังกล่าว ปริมาณการผลิตเกินจากเป้าหมายต่อเลขงานจากเดิมเคยอยู่ที่ประมาณ 500-1,500 กิโลกรัม ลดลงเหลือเพียง 100-300 กิโลกรัม หรือลดลงได้ 80% แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถช่วยควบคุมการผลิตให้ใกล้เคียงกับเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] AccCloud. 2568. ระบบติดตามงานผลิตคืออะไร. ข้อมูลจาก https://acccloud.tech (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 มีนาคม 2568)

[2] ประเสริฐ อัครประถมพงศ์. 2552. การลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS. ข้อมูลจาก https://cpico.wordpress.com (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 มีนาคม 2568)

[3] เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์. 2553. การคิดเชิงวิเคราะห์ Analytical Thinking.พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: ซัคเซสมีเดีย. เทมการพิมพ์

[4] ธิดาพร อุทัยศรี และนริศรา ภู่ยิ้ม. 2564. การพัฒนาโปรแกรมจัดตารางการผลิตแบบ Job Shop ใน Microsoft Excel ด้วย VBA, ปริญญานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[5] จัตพล พรมทา และคณะ. 2565. การปรับปรุงระบบเบิกจ่ายสินค้าคงคลังในแผนกซ่อมบำรุง กรณีศึกษา: บริษัท ทิมฟู้ด จำกัด, ปริญญานิพนธ์หลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[6] มานะ ขาวเงิน และคณะ. 2567. การเพิ่มประสิทธิภาพการวางแผนจัดซื้อวัตถุดิบหน่วยงาน Procurement แผนก Logistics กรณีศึกษา: บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบรถยนต์แห่งหนึ่งในนิคมอุตสาหกรรมอมตะซิตี้ ชลบุรี จ.ชลบุรี. วารสารพัฒนาธุรกิจและอุตสาหกรรม ปีที่ 4, ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2567

Optimizing Buffing Weight Control in Manual Buffing: A Case Study

Wijitta Kaewpan[1], Sittichok Sinprasit[1], Kiatipat Srinak[1], Ramawadee Nampassa[1], Yanawit Mueangcharoen[1], Prasert Aengchuan[1*]
[1]School of Manufacturing Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
E-mail: prasert.a@sut.ac.th*

Abstract

This study focuses on improving buffing weight control in the manual buffing process within a case study company, aiming to reduce process variability and enhance overall operational efficiency. Manual buffing inconsistencies were identified as a key contributor to product defects and process inefficiencies, directly impacting product quality and production performance. To address these challenges, a structured methodology was implemented, integrating Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Six Sigma principles, and statistical quality control techniques to systematically analyze and improve the process. Initial process capability analysis revealed a high defect rate of 635,992.62 parts per million (ppm), corresponding to a 1-sigma level. Following the application of improvement strategies, including root cause analysis, operator performance evaluation, and the development of standardized work instructions (WI), the defect rate was successfully reduced to 294,735.78 ppm, achieving a 2-sigma level. This represented a 54% reduction in process defects and a significant decrease in process variation. The improvements led to greater adherence to product specifications, increased production efficiency, and enhanced quality consistency. This study offers a novel contribution by integrating statistical analysis with structured standardization in a manual operation context. The approach not only addresses immediate quality issues but also establishes a sustainable framework for ongoing improvement. The findings demonstrate the effectiveness of data-driven methodologies in reducing defects, promoting process standardization, and supporting long-term sustainability in manual manufacturing environments. This framework can be adapted and replicated across similar industries where manual operations significantly influence product quality and process performance.

Keywords: Buffing weight control, Manual buffing, Process optimization, Quality improvement

1. Introduction

The golf grip produced by a case study company undergoes a multi-step manufacturing process to ensure high-quality standards. The process begins with the receipt of raw materials from suppliers, which are then mixed and used for injection molding. After molding, the products proceed through painting and buffing, where excess edges formed during the molding process are removed. Following buffing, the grips are sent for quality control (QC) and Universal Product Code (UPC) wrap processing before final packaging and distribution.

A critical issue identified in the current production process is bad buffing, a defect caused by excessive manual buffing, leading to variations in product quality. The manual buffing process, which relies on workers to remove excess edges before the grips enter the auto-buff process, is a key factor contributing to this problem. Excessive buffing not only affects product consistency but also leads to material wastage and increased production time.

This research analyzes the manual buffing process to identify the root causes of defects and implement solutions to improve process consistency. The optimization of buffing weight control aims to systematically improve the manual buffing process by regulating buffing weight, reducing variability, and implementing standardized work instructions (WI). The goal is to minimize defects caused by excessive or inconsistent buffing, ensure adherence to quality specifications, and increase production efficiency. To achieve these objectives, statistical quality control methods, including Six Sigma and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), are applied to identify process deviations and implement data-driven corrective actions.

2. Literature review

The optimization of manufacturing processes to reduce defects and improve efficiency has been widely studied in various industries. This section reviews relevant literature on quality improvement methodologies such as Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Six Sigma, preventive maintenance, and statistical analysis, which were applied in this study to enhance the buffing process.

2.1 FMEA for Defect Reduction

The application of FMEA in identifying and prioritizing defects in a motorcycle engine manufacturing process [1]. By assessing severity, error probability, and detectability, the study utilized the Risk Priority Number (RPN) to determine critical issues and implement corrective actions. A recalculation of RPN values post-improvement demonstrated a reduction in defects, confirming the effectiveness of FMEA in quality control. Similarly, this study applied FMEA to analyze defects in the buffing process, identifying key factors for process enhancement. A study by Alamri and Mo [2] optimized preventive maintenance schedules using Failure Mode System Modelling, incorporating reliability analyses to enhance maintenance strategies.

2.2. Six Sigma for Process Optimization

Six Sigma has been widely applied to minimize process variation and improve quality. Sinthavalai et al. [3] implemented Six Sigma methodologies in glove manufacturing, utilizing the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) framework to identify production inefficiencies and reduce waste. Another study by Jiamton and Sirikulvadhana [4] applied Six Sigma principles and Pareto analysis to mitigate defects in sanitary napkin production, reducing waste per production process by 2.53%. Cica and Kramar [5] analyzed and optimized process parameters affecting surface roughness in ball burnishing of AISI O_2 hardened steel. By employing optimization techniques, they achieved significant improvements in surface quality. In this research, the Six Sigma framework was employed to standardize the buffing process, ensuring reduced variance and improved quality.

2.3 Root Cause Analysis and Preventive Maintenance

Root cause analysis tools such as the fishbone diagram have proven effective in diagnosing process inefficiencies. Meksagul et al. [6] examined cost reduction strategies in logistics by identifying maintenance-related issues using a fishbone diagram. Wichayapornjarat and Kampoon [7] used similar cause-and-effect analysis to optimize a nitrocellulose manufacturing process, significantly reducing product nonconformity. Bunpheng et al. [8] developed a single roller burnishing tool for automatic finishing of Al 7075, studying the effects of various parameters on surface quality. In this study, fishbone diagrams were utilized to systematically assess factors affecting the buffing process, guiding improvements.

2.4 Process Efficiency and Waste Reduction

The implementation of industrial engineering techniques for efficiency improvement has been demonstrated in multiple studies. Theeraviriya [9] analyzed waste reduction strategies in biscuit production, applying quality tools to align production output with factory specifications. Mohsin et al. [10] utilized the Taguchi method and ANOVA to optimize polishing efficiency and torque in robotic polishing systems. Their findings emphasize the role of systematic experimentation in reducing waste and improving process efficiency. Similarly, insights from this research contributed to refining the buffing process at a case study company, minimizing defects and improving process reliability.

2.5 Statistical Analysis for Quality Control

Statistical methodologies are essential for ensuring process stability and quality improvement. Montgomery [11] introduced statistical quality control techniques, emphasizing random sampling to analyze process variation. In this study, random sampling principles were employed to evaluate the buffing process before and after improvements, ensuring data-driven decision-making.

The reviewed literature highlights the effectiveness of FMEA, Six Sigma, root cause analysis, preventive maintenance, and statistical techniques in optimizing production processes. This study integrates these methodologies to analyze and improve buffing weight control at a case study company, ensuring enhanced quality, efficiency, and process standardization.

3. Method

3.1 Current data analysis

Figure 1 shows the current buffing weight of the manual buffing process. The histogram of buffing weight shows a normal distribution with a high center and symmetrical distribution on both sides. However, the issue identified from this graph is that the mean value exceeds the Upper Specification Limit (USL) of 0.3 grams, and the graph also displays a wide lateral distribution. To address this, we will explore ways to improve the process by shifting the mean value closer to the midpoint between the Lower Specification Limit (LSL) and Upper Specification Limit (USL), and reducing the variance.

The next step is to understand the details of this process. To determine the current sigma level of the manual buffing process, we have selected a process capability analysis tool for evaluation. Figure 2 illustrates the process capability of buffing weight, with an overall defective rate of 635,992.62 ppm. As compared to Table 1, the current manual buffing process operates at 1 sigma, resulting in approximately 697,700 ppm of out-of-spec products. Although these products are not classified as waste at this stage, they carry a risk of becoming waste, as they will require reprocessing in the automated buffing process for finalization.

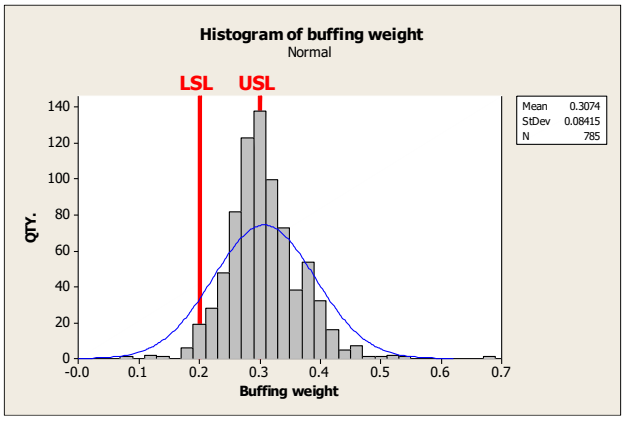


Fig.1 Histogram of buffing weight

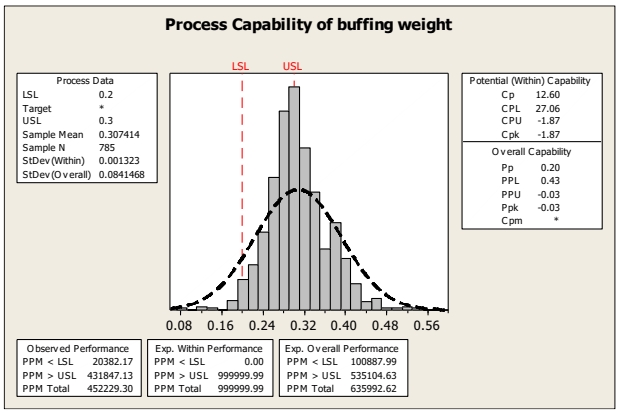


Fig. 2 Process capability analysis of buffing weight

Table 1 Comparison of PPM defective and sigma in cases where the mean value is not equal to the target. [11]

Spec Limit	PPM Defective
± 1 Sigma	697700
± 2 Sigma	608700
± 3 Sigma	66810
± 4 Sigma	6210
± 5 Sigma	233
± 6 Sigma	3.4

3.2 Formulation of the Problem

After understanding the details of the problem, the next step is to analyze the issue to determine the root cause of bad buffing. This analysis will help us make targeted improvements. The tools selected for this analysis are the Fishbone diagram (Figure 3) and FMEA as shown on table 2.

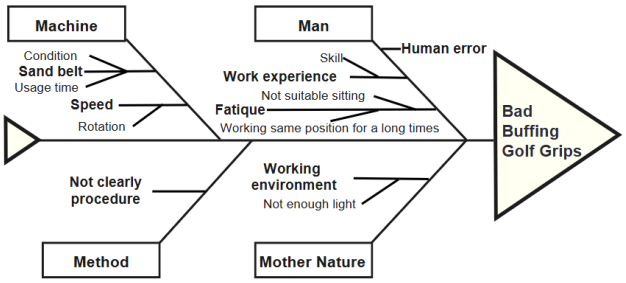


Fig. 3 Fishbone diagram

Figure 3 illustrates the analysis of the factors contributing to the bad buffing problem. Based on the analysis, these factors can be categorized into four main groups: (1) Human factors, including work experience, human error, and fatigue; (2) Machine factors, including the condition of the sand belt and the machine's usage time; (3) Method factors, referring to the lack of a clearly defined buffing procedure for golf grips; and (4) Environmental factors, encompassing the working environment.

Table 2 Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Effects of Failure	S	Potential Cause	O	Current Controls	D	RPN
Manual Buffing	Man	Human error	Bad buffing	3	Lack of concentration during work	6	Call attention	3	54
		Work experience		3	Lack of working experience	6	Training	1	18
		Fatique		2	Long time of working	5	Take break	3	30
	Machine	Duration of sand belt usage		3	Prolonged use of the sand belt	4	Change sand belt every 8 hr.	3	36
		Rotation speed		2	Improper speed setting	1	Set up speed	2	4
	Method	Unclear procedure		4	Each operator buffs differently	7	No precise buffing guidlines	5	140
	Mother Nature	Not enough light		1	Unclear vision	2	Set up light	2	4

Table 2 shows that the FMEA for the bad buffing issue identifies the method process as having the highest RPN of 140. The unstructured buffing process, dependent on individual employees without a clear plan, is the main cause. The Severity score is 4, Occurrence is 7, and the solution is to create a work instruction (WI) to establish a structured approach, improving control and reducing bad buffing with a detection value of 5. The Method step requires the most attention, with an RPN value of 54, 86 points below the recommended level.

Definitions:

Severity (S): Rates the failure's consequences (1 = minor, 10 = catastrophic).

Occurrence (O): Rates the likelihood of failure (1 = unlikely, 10 = almost certain).

Detection (D): Rates the effectiveness of controls (1 = highly effective, 10 = ineffective).

Risk Priority Number (RPN): A tool used to assess the risk associated with potential failure modes of a process, product, or system. It helps prioritize issues based on their likelihood and potential impact. The RPN is calculated as:

RPN = Severity × Occurrence × Detection

After analyzing the cause of the problem, we identified that the variation in buffing methods among operators should be addressed first. The next step involved comparing the buffing weight data from each operator using a boxplot graph as shown in Figure 4.

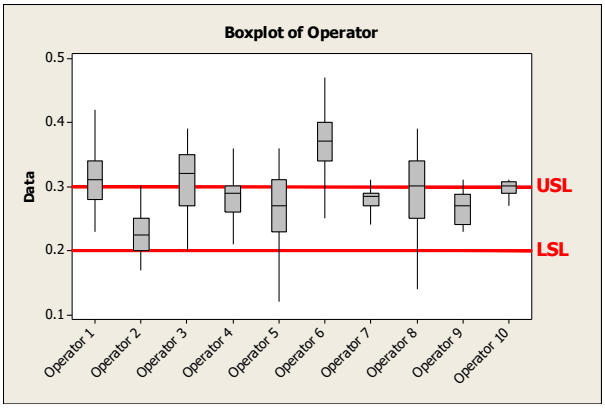


Fig. 4 Box plot of operator

Figure 4 shows the mean and variance of buffing weight for each employee. Analysis reveals that each employee has different mean and variance values. Operator 2's mean is closest to the

midpoint between the USL and LSL, which is ideal. However, operator 2 still has a higher variance compared to operators 7 and 10, who show lower variance. Based on this, we suggest studying operator 2's buffing method to maintain a mean closer to the midpoint and examining operators 7 and 10's methods to reduce variance.

After analyzing the data, we observed the buffing methods of the second operator (whose mean buffing weight was closest to the spec midpoint) and the seventh operator (with the least variance). We also studied the sixth operator, who had the highest mean buffing weight. It was found that the second and seventh operators used different methods, particularly in how they fed the workpiece when buffing the logo area.

After observing and collecting data on buffing methods, differences were found between operators with good and poor results. The next step is to gather information on the methods of the skilled operators and create a Work Instruction (WI) to improve the workpiece feeding technique when buffing.

Once the WI is created, operators will undergo a test to follow the process. This will help determine whether the mean buffing weight is closer to the target, if the variance is reduced, and if marks at the tip of the workpiece are minimized.

4. Results and discussion

After obtaining the experimental data, we created plots to compare buffing weights before and after the improvement (as shown in Figure 6). From Figure 6, before the improvement, the buffing weight mean was close to the USL and not centered within the specification, with high variance. After the improvement (Figure 7), the mean moved closer to the target, and the variance decreased. Following the experimental results, we tested the following hypotheses:

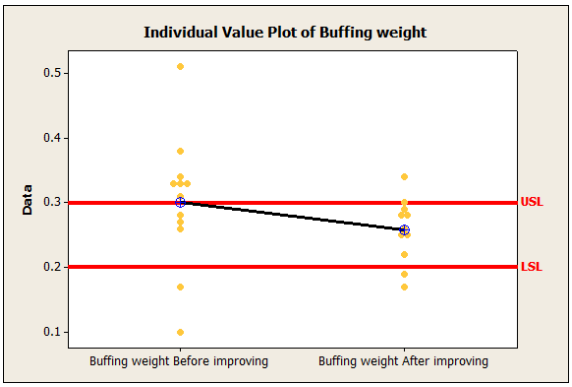


Fig. 5 Individual value plot of buffing weight

4.1 Two-Sample T-Test and CI: Buffing weight Before, Buffing weight After

H_0: μ Before = μ After

H_1: μ Before ≠ μ After

Two-sample T for Buffing weight Before improving vs Buffing weight After improving.

	N	Mean	StDev	SE Mean
Buffing weight Before imp	12	0.301	0.102	0.029
Buffing weight After imp	12	0.257	0.047	0.014

Difference = mu (Buffing weight Before improving) - mu (Buffing weight After improving)

Estimate for difference: 0.0433

95% CI for difference: (-0.0259, 0.1125)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.33 P-Value = 0.202

DF = 15

A two-sample t-test was conducted to compare whether the mean values before and after the improvement differ (α = 0.05). The obtained p-value was 0.202, which is greater than the alpha value. Therefore, we fail to reject the null hypothesis (H_0), indicating that the mean values before and after the improvement are not significantly different. It is recommended to continue improvement efforts and collect additional data.

4.2 Test and CI for Two Proportions

H_0 : p1 = p2

H_1 : p1 ≠ p2

Sample	X	N	Sample p
1	6	12	0.500000
2	2	12	0.166667

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0.333333

95% CI for difference: (-0.0195005, 0.686167)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 1.85 P-Value = 0.064

A Two Proportions test was conducted to compare whether the marks at the bell end before and after the improvement differ (α = 0.05). The test yielded a p-value of 0.064, which is greater than the alpha value. Therefore, we fail to reject the null hypothesis

(H_0), indicating that the marks before and after the improvement do not differ significantly. It is recommended to continue the improvement efforts and collect additional data.

4.3 Test and CI for Two Variances: Buffing weight B, A

H_0: (σ(Buffing weight Before improving))/(σ(Buffing weight After improving)) = 1

H_1: (σ(Buffing weight Before improving))/(σ(Buffing weight After improving)) ≠ 1

Method

Null hypothesis Sigma (Buffing weight Before improving) / Sigma (Buffing weight After improving) = 1

Alternative hypothesis Sigma (Buffing weight Before improving) / Sigma (Buffing weight After improving) not = 1

Significance level Alpha = 0.05

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
Buffing weight Before improving	12	0.102	0.010
Buffing weight After improving	12	0.047	0.002

Ratio of standard deviations = 2.167

Ratio of variances = 4.696

95% Confidence Intervals.

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(1.163, 4.039)	(1.352, 16.311)
Continuous	(0.664, 5.062)	(0.441, 25.619)

Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F Test (normal)	11	11	4.70	0.016

The Two Variances test yielded a p-value of 0.016 (α = 0.05), which is less than the alpha value. Therefore, we reject the null hypothesis (H_0), indicating a significant difference in variances before and after the adjustment.

After the improvement, Process Capability Analysis was used to determine the overall PPM defective value and assess the process sigma level.

Figure 7 illustrates the process capability of buffing weight after the improvement. The mean buffing weight is now closer to the target, and the overall defective parts per million (ppm) has decreased to 294,735.78 ppm. Compared to Table 1, the post-improvement process operates at a 2-sigma level, up from a 1-sigma level prior to the improvement.

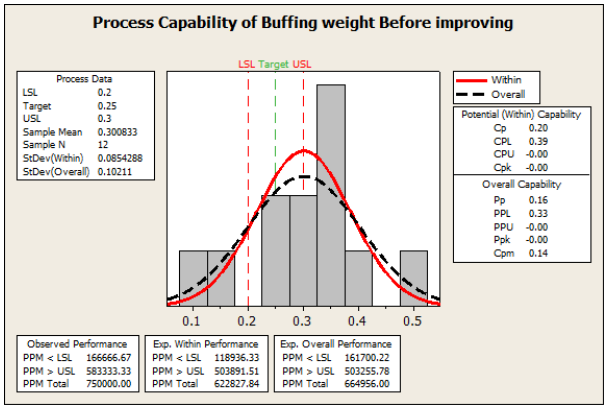


Fig.6 Process capability of buffing weight before improving

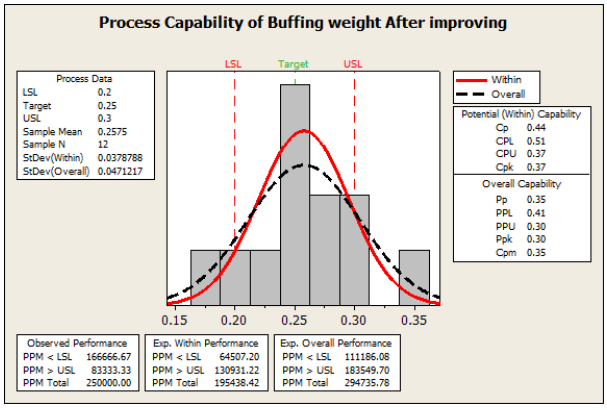


Fig. 7 Process capability of buffing weight after improving

5. Conclusion

The improvements made to the buffing process have resulted in a more consistent buffing weight, with the mean value now closer to the target. The variance has decreased, and the overall ppm defective value has significantly reduced. While the mean difference and marks at the bell end were not significantly impacted, the reduction in variance indicates that process improvements were effective. The process has improved from 1 sigma to 2 sigma, demonstrating positive progress. Further improvements and additional data collection are recommended to continue enhancing process control and reducing defects.

References

[1] R. Sinthavalai, S. Sudjan, and N. Meemongkol. 2023. Application of FMEA in New Engine Production Line: A Case Study in Motorcycle Manufacturer (in Thai). Proceedings of the

Industrial Engineering Network Conference 2023, 11-12 May 2023, Chonburi, Thailand.

[2] T. O. Alamri, and J. P. T. Mo. 2023. Optimisation of Preventive Maintenance Regime Based on Failure Mode System Modelling Considering Reliability. Arabian Journal for Science and Engineering, 48, 3455–3477.

[3] R. Sinthavalai, A. Nuprim, and N. Meemongkol. 2023. Defect Reduction in a Manufacturing Process: A Case Study in Glove Manufacturing (in Thai). Proceedings of the Industrial Engineering Network Conference 2023, 11-12 May 2023, Chonburi, Thailand.

[4] P. Jiamton and S. Sirikulvadhana. 2019. Pad waste reduction in SANPRO (in Thai). Proceedings of the Industrial Engineering Network Conference 2019, 21-24 July 2019, Bangkok, Thailand.

[5] D. Cica, and D. Kramar. 2023. Analysis and optimization of the process parameters on surface roughness in ball burnishing of AISI O2 hardened steel. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 128, 345–356.

[6] K. Meksagul, S. Prakaiwichian, and A. Boonsue. 2023. Preventive Maintenance for Cost Reduction in Logistic Business A Case Study of Khwanchai 2013 Limited Partnership in Chiang Rai Province (in Thai). Proceedings of the Industrial Engineering Network Conference 2023, 11-12 May 2023, Chonburi, Thailand.

[7] W. Wichayapornjarat, and U. Kampoon. 2018. Parameter optimization in a Nitrocellulose Manufacturing Process for Reducing the Proportion of Nonconforming Product. Proceedings of the Industrial Engineering Network Conference 2018, 23-26 July 2018, Ubon Ratchathani, Thailand.

[8] T. Bunpheng, N. Songma, S. Ritpraseart, and P. Kasuriya. 2024. An Optimization Process of Automatic Finishing Surface Treatment Al 7075 by a Single Roller Burnishing Tool (in Thai). The Journal of Industrial Technology, 20(2), 125-140.

[9] C. Theeraviriya. 2018. Efficiency improvement of Production Process to Reduce Waste in Biscuit Factory (in Thai). Proceedings of the Industrial Engineering Network Conference 2018, 23-26 July 2018, Ubon Ratchathani, Thailand.

[10] I. Mohsin, K. He, Z. Li, F. Zhang, and R. Du. 2020. Optimization of the Polishing Efficiency and Torque by Using Taguchi Method and ANOVA in Robotic Polishing. Applied Sciences, 10(3), 824.

[11] D. C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, 8th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2017.

ศึกษาผลกระทบของการเติมไทเทเนียมต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของเหล็กหล่อเหนียว

Effect of titanium addition on microstructure and mechanical properties of Ductile Cast Iron

ศักดิ์สิทธิ์ โรจน์ฤทธากร[1*] และ ผศ.พิสิษฐ์ ศรีน้อย[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ขอนแก่น
[*]E-mail: saksit.roj@gmail.com

Saksit Rojritthakorn[1*] and Phisit Srinoi [2]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Lanna Nan Campus
[2] Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus
[*]E-mail: saksit.roj@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมไทเทเนียมต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของเหล็กหล่อเหนียว โดยปัญหาหลักที่พบคือการลดลงของความกลมของกราไฟต์ ซึ่งส่งผลให้สมบัติเชิงกลของวัสดุต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้า เหล็กหล่อเหนียวถูกผลิตโดยใช้เตาหลอมเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยมีการปรับปริมาณคาร์บอนและซิลิกอนในเตาหลอม จากนั้นเติมไทเทเนียมในรูปของโลหะผสม Fe-Ti alloy ในเตาหลอมก่อนเทเหล็กหลอมเหลวลงในแบบหล่อทรายคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 molds) การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคดำเนินการโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และทดสอบคุณสมบัติทางกลเพื่อหาความต้านทานแรงดึง ผลการทดลองพบว่า การเติมไทเทเนียมในช่วง 0.151–0.210% โดยน้ำหนัก ทำให้ความกลมของกราไฟต์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เหลือต่ำกว่า 80% โดยมีการเกิดโครงสร้างกราไฟต์ที่ไม่พึงประสงค์ (deleterious nodules หรือ grab graphite) ซึ่งส่งผลเสียอย่างมากต่อโครงสร้างจุลภาค และทำให้ความเหนียวของวัสดุลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่า การเติมไทเทเนียมในช่วงดังกล่าวส่งผลเสียต่อรูปร่างของกราไฟต์และสมบัติเชิงกลของเหล็กหล่อเหนียว ทำให้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดทางอุตสาหกรรม.

คำหลัก เหล็กหล่อเหนียว / ปริมาณไทเทเนียม / ค่าความกลมอนุภาคแกรไฟต์

Abstract

This paper aims to study the effect of titanium addition on the microstructure and mechanical properties of ductile cast iron. The main issue is the reduction in graphite nodularity, which leads to mechanical properties falling below customer specifications. Ductile cast iron castings were produced using an induction furnace. The carbon and silicon content were adjusted, and titanium added in the form of a Fe-Ti alloy was introduced into the pouring ladle, thoroughly stirred and then poured into CO_2 molds. Samples for microstructure observation were examined

using an optical microscope and graphite morphology was analyzed through image analysis. The results indicated that titanium addition in the range of 0.151–0.210% significantly reduced graphite nodularity to below 80%. The presence of deleterious nodules or grab graphite had a considerable negative effect on the microstructure, which also resulted in a decrease in ductility. In conclusion, the addition of titanium within this range adversely affects the graphite morphology and mechanical properties, making it unsuitable for meeting industrial specifications.

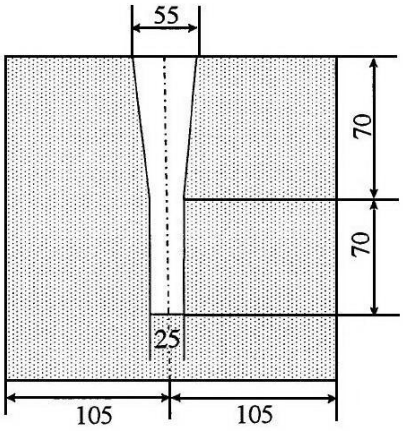
Keywords: Ductile Cast Iron, titanium , graphite nodularity

1. บทนำ

ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญทั้งในแง่การจ้างงาน การผลิต การส่งออกที่สามารถนำเข้าเงินตราเข้าประเทศเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศและเป็นฐานการผลิตรายใหญ่ในภูมิภาคเอเชียที่สามารถผลิตรถยนต์ได้สูงสุดของอาเซียน [1] ภาคอุตสาหกรรมงานหล่อโลหะเหล็กหล่อเหนียวหรือเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม (Ductile Cast Iron, Nodular Cast Iron, Spheroidal Graphite Cast Iron) ภาคอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เป็นที่นิยมใช้มากเนื่องจากมีลักษณะเด่นเป็นพิเศษในการผลิตชิ้นส่วนที่มีรูปร่างสลับซับซ้อนมีสมบัติทางกลสูงเป็นที่ยอมรับและที่สำคัญคุณสมบัติที่โดดเด่นในเรื่องความเหนียวเป็นเลิศ อาทิ ผลิตเพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft), ดุมล้อช่วยแรง (Flywheel), ดรัมเบรก (Drum brake), จานเบรก (Disc-Brake) และเสื้อชุดเกียร์ (Gear box) ปกติโดยทั่วไปโครงสร้างจุลภาคเหล็กหล่อเหนียวจะประกอบด้วยโครงสร้างจุลภาคเพิร์ลไลต์และเฟอร์ไรต์เป็นส่วนใหญ่ ที่เหลือเป็นอนุภาคแกรไฟต์กระจายอยู่ทั่วไปประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ของโครงสร้างจุลภาค และมีอนุภาคแกรไฟต์ ที่มีลักษณะแกรไฟต์ทรงกลมที่ตกผลึกอยู่ภายในโครงสร้างเหล็กหล่อ [2,3] ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างเหล็กหล่อเหนียวมี 3 ประการ คือส่วนผสมเคมีที่เติมเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ลูกค้าตรงการ โครงสร้างฐานวิทยาของแกรไฟต์ (Morphology of graphite) และขนาดความหนาที่มีผลต่ออัตราการเย็นตัว (Cooling rate) [2,4] ธาตุไทเทเนียมเป็นธาตุที่ต่อต้านการเกิดสเฟอโรอิไดซ์ (anti-spheroidizing element) และเป็นตัวช่วยสร้างคาร์ไบด์ ในเหล็กหล่อเหนียว [4] ในงานควบคุมคุณภาพการผลิตเหล็กหล่อเหนียวให้ได้คุณภาพคือต้องควบคุมปริมาณอนุภาคแกรไฟต์ไม่ควรต่ำกว่า 100 อนุภาคต่อตารางมิลลิเมตร (โดยประเมินปริมาณอนุภาคแกรไฟต์ โดย Foundrymen Guide to Ductile Iron Microstructures) และต้องมีการกระจายปริมาณอนุภาคแกรไฟต์อย่างสม่ำเสมอ เม็ดกลมของอนุภาคแกรไฟต์ควรจะเป็นชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 (อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM A247-67) มีเปอร์เซ็นต์ความกลมของอนุภาคแกรไฟต์ (%Nodularity) เท่ากับหรือมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นงานหล่อปราศจากคาร์ไบด์หรือซีเมนไตต์อิสระ (Cementite, Fe_3C) และชิ้นงานหล่อต้องมีปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรท์ โครงสร้างเพิร์ลไลท์ อยู่ในกรอบที่ต้องการ [5,6,7] ลักษณะของอนุภาคแกรไฟต์ในเหล็กหล่อเหนียว อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM A247-67 ได้แบ่งรูปร่างของแกรไฟต์เป็น 7 ประเภท อาทิ แกรไฟต์ประเภทที่ 1 และ 2 ให้สมบัติทางกลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ประเภทที่ 3 มักพบในเหล็กหล่ออบเหนียวที่ผ่านการอบอ่อน (Annealing) ประเภทที่ 4 แกรไฟต์ตัวหนอนซึ่งเป็นชนิดล่าสุดที่ถูกจัดให้อยู่ในมาตรฐาน ประเภทที่ 5 และ 6 เกิดจากการเสียรูปของแกรไฟต์ก้อนกลม ประเภทที่ 7 คือแกรไฟต์แผ่น (Flake graphite) [1,8] จากผลกระทบเหล็กหล่อเหนียวเมื่อส่วนผสมเคมีที่เติมเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ลูกค้าตรงการมีปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เกิดปริมาณสัดส่วนโครงสร้างในเหล็กหล่อไม่เหมาะสม ส่งผลให้เหล็กหล่อเหนียวมีความแข็งแรงต่ำด้วย ปริมาณอนุภาคแกรไฟต์ไม่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด จึงทำให้เกิดปริมาณยูเทคติกคาร์ไบด์ก็มากขึ้นด้วยทำให้เหล็กหล่อมีคุณสมบัติความสามารถด้านการกลึงตัดไม่ดี ส่งผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่ผลิตมีความแข็งแรงต่ำ [7,9] ในปัจจุบันปัญหาโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์มัก พบว่า ส่วนผสมทางเคมีที่เติมมีปริมาณที่ไม่เหมาะสม ซึ่งมีผลต่อปริมาณสัดส่วนของโครงสร้างจุลภาคเพิร์ลไลต์และเฟอร์ไรต์ในชิ้นงานหล่อ และทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่ผลิตไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า ดังนั้นบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณไทเทเนียมที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคโดยเฉพาะค่าความกลมอนุภาคแกรไฟต์ของเหล็กหล่อเหนียวเป็นหลัก ดังนั้นทดลองผลิตเหล็กหล่อเหนียวควบคุมกระบวนการอินนอคคูเลชั่น (Inoculation) ในช่วง 0.30-0.32 % โดยน้ำหนัก กับกระบวนการแมกนีเซียมทรีทเมนท์ (Nodulization) พร้อมกันในเบ้าผสมที่อุณหภูมิ 1500 – 1520 องศาเซลเซียส และทำการเติม Fe-Ti alloy ในเบ้าหลอมก่อนเทเหล็กหลอมเหลวลงในแบบหล่อทรายคาร์บอนไดออกไซด์ ในแบบทดสอบ Y-Block ขนาดหน้าตัด 25 มิลลิเมตร ที่ทำมาจากแบบหล่อทรายคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยทำการควบคุมปริมาณไทเทเนียม 2 ช่วง ได้แก่ 0.002-0.150 %, 0.151-0.210 %Ti โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เพราะปริมาณไทเทเนียมเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเหล็กหล่อเหนียวจะขึ้นโดยตรงกับลักษณะของแกรไฟต์กลม (Graphite shape) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานภายหลังการแข็งตัวของเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม หลังจากนั้นตรวจสอบปริมาณอนุภาคแกรไฟต์และโครงสร้างจุลภาค โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพทำการประเมินคุณภาพชิ้นงานหล่อในภาคอุตสาหกรรมยังใช้การเปรียบเทียบภาพโครงสร้างจุลภาค (Comparator charts) อ้างอิงจากคู่มือการตรวจสอบของมาตรฐานโรงงานที่เป็นข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตกับลูกค้า

2.1 การเตรียมแบบหล่อ [15]

การทดสอบในแบบหล่อชิ้นงานทดสอบ Y-Block ขนาดหน้าตัด 25 มิลลิเมตร อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM A 536-84 : Standard Specification for Ductile Iron Casting ใช้แบบหล่อทรายคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ดังรูปที่ 1 แล้วทำการทดสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคตามลำดับ



รูปที่ 1 รูปภาพตัดชิ้นงานทดสอบแท่ง Y-Block

2.2 การเตรียมวัตถุดิบ [15]

กลุ่มที่หนึ่ง : วัตถุดิบหลัก (Main materials) ที่สำคัญ อาทิ 1) เศษเหล็กเหนียว (Steel scrap) ใช้ปริมาณ 70 % โดยน้ำหนัก 2) เหล็กหล่อใช้ซ้ำ ใช้ปริมาณ 30 % โดยน้ำหนักและทำการปรับปรุงและควบคุมส่วนผสมทางเคมีขั้นสุดท้ายกำหนดที่ 3.48±0.02 %C, 2.52±0.02 %Si, <0.11 %Mn, <0.010 %S, <0.015 %P, และ 3.95-4.45 %CE และทำการตรวจส่วนผสมทางเคมีโดยเครื่อง Emission Spectrometer

กลุ่มที่สอง : วัตถุดิบที่ใช้ปรับส่วนผสม (Control materials) ได้แก่ 1) Fe-Si alloy 2) Carbon powder

กลุ่มที่สาม : วัตถุดิบที่ใช้ปรับโครงสร้าง (Nodularising treatment) เป็นสารเกิดแกรไฟต์กลมได้แก่ FeSi 4.8%Mg alloy โดยใช้วิธี Sandwich Opened Laddle นิยมใช้กันมากในภาคอุตสาหกรรม เป็นเทคนิคที่ง่าย ต้นทุนต่ำที่สุด การเตรียมเบ้าผสมโดยใช้วัสดุกรุเบ้าเป็นปูนทนความร้อนแล้วเผาให้แห้ง และใช้ตะปูเหล็กเหนียวทับ FeSi 4.8%Mg alloy ดังรูปที่ 2 และกำหนดช่วงอุณหภูมิ Superheat 1535-1550 °C, อุณหภูมิน้ำโลหะในเตาหลอม 1500-1525 °C, อุณหภูมิเทลงแบบหล่อ 1420-1430 °C ตามลำดับ

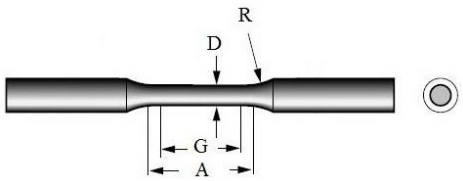
กลุ่มที่สี่ : วัตถุดิบที่ใช้ทำ Inoculated ชนิด FeSi–Ba เป็นสาร Inoculant ปริมาณ 0.30-0.32 % โดยน้ำหนัก โดยพร้อมกับการทรีทเมนท์แมกนีเซียมเป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการผลิตเหล็กหล่อเหนียวซึ่งจะทำให้การกระจายตัวของสารอินนอคคูแลนท์ในน้ำเหล็กได้อย่างทั่วถึง



รูปที่ 2 การเตรียมเบ้าเทน้ำโลหะ วิธี Sandwich Opened Ladle [15]

2.3 การทดสอบสมบัติทางกล [6]

การทดสอบความแข็ง(Hardness tests) ตามมาตรฐาน ASTM E 10-96 วัดแบบบริเนล (Brinell hardness) หัวกดลูกบอลขนาด 2.5 มม. แรงกด 187.5 กก.ใช้เวลากดประมาณ 15 วินาที และทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ยี่ห้อ Instron model 8801 ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้องโดยบันทึกความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้นของชิ้นงานทดสอบ เพื่อนำไปคำนวณหาความต้านแรงดึง ณ จุดคราก (σ_y) และความต้านทานแรงดึงสูงสุด (σ_u) จากภาระแรงที่กระทำ (P) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (A_o) ส่วนความเหนียว (Ductile) ของวัสดุจะคำนวณจากค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation,%EL) หรือเปอร์เซ็นต์การลดลงของพื้นที่หน้าตัดในชิ้นทดสอบ โดยการกำหนดพิกัดความยาว (Gauge length) เริ่มต้นให้ชิ้นทดสอบมีค่า L_o และกำหนดพิกัดความยาวตำแหน่งที่ชิ้นทดสอบเกิดแตกหักมีค่า L_f การเตรียมชิ้นงานโดยวิเคราะห์ชิ้นงานที่ตำแหน่งกลางของหน้าตัด Y-Block อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E8M (Small-Size tensile test) ความยาว 112 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มม. กำหนด Test Speed 3 มม./นาที ดังรูปที่ 3



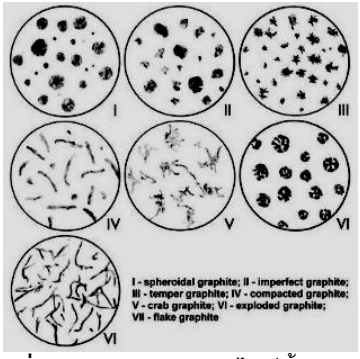
รูปที่ 3 มาตรฐานชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึง ASTM E8M (Small-Size tensile test) [6]

2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

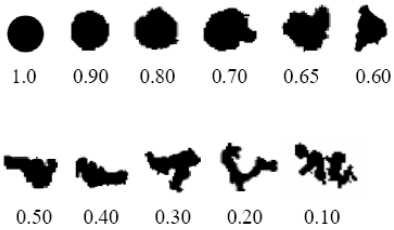
การศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) เหล็กหล่อเหนียว เป็นการตรวจสอบโครงสร้างของโลหะที่ผ่านการเตรียมชิ้นงานด้วยการขัดกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 220 ถึง 1200 ขัดละเอียดด้วยผ้าสักหลาด (Polishing) ด้วยผงขัดที่ทำจากอลูมิน่า

(Alumina oxide) ผ่านการกัดกรด (Etching) แล้วล้างด้วยแอลกอฮอล์และถ่ายภาพโครงสร้างภายในเนื้อโลหะ การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคปริมาณอนุภาคแกรไฟต์และโครงสร้างพื้น ประเมินโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพเป็นซอฟท์แวร์ กำหนดเลือกพื้นที่ภาพถ่ายโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์ใช้รูปภาพขนาด 640 x 480 pixels x 8 bit grey images ที่กำลังขยาย 100 เท่า [11,12,13] เลือกภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคจำนวนเฉลี่ยจากจำนวน 5 ภาพ การประเมินยอมรับอนุภาคของแกรไฟต์ พิจารณาจากขนาดอนุภาคแกรไฟต์ (Graphite particle size) มากกว่า 5 µm [13] จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการวัดปริมาณอนุภาคแกรไฟต์แสดงถึงจำนวนของอนุภาคแกรไฟต์กลมบนหนึ่งหน่วยพื้นที่อนุภาคต่อตารางมิลลิเมตร โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis Program) วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคในเชิงปริมาณวิเคราะห์หรือจำนวนอนุภาคแกรไฟต์(Quantitation Metallography) การประเมินลักษณะรูปร่างของแกรไฟต์ (Graphite shape หรือ Shape factor) ได้จาก Sphericity เป็นสำคัญ มักนิยมใช้ในงานวิจัยที่ให้ผลถูกต้องและแม่นยำเพื่อประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพในการผลิตเหล็กหล่อเหนียว [6,10] และลักษณะรูปร่างของแกรไฟต์ (Shape factor) ประเมินจาก Sphericity มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 0.65 [11] โดยสูตรสมการประเมินค่า Shape factor (S) ดังสมการที่ 1 [13] ผลการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ พบว่าอนุภาคแกรไฟต์เม็ดกลม (Nodular) ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM A247-67 ดังรูปที่ 4 ลักษณะอนุภาคแกรไฟต์เม็ดกลมที่ให้การยอมรับมีค่า Shape factor ตั้งแต่ 1- 0.65 ดังรูปที่ 5 แสดงตัวอย่าง Shape factor ทั้งนี้จะเห็นว่าสอดคล้องกับการประเมินค่า Shape factor $\geq$ 0.65 [7,8] ที่ให้ผลเปอร์เซ็นต์ความกลมของอนุภาคแกรไฟต์ (%Nodularity By Count) มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานการยอมรับสำหรับการผลิตเหล็กหล่อเหนียว มีค่าความกลมของอนุภาคแกรไฟต์ $\geq$ 80 เปอร์เซ็นต์ [2] ดังรูปที่ 6 และ 7 และส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อเหนียวที่ใช้ในการทดลองตามตารางที่ 1

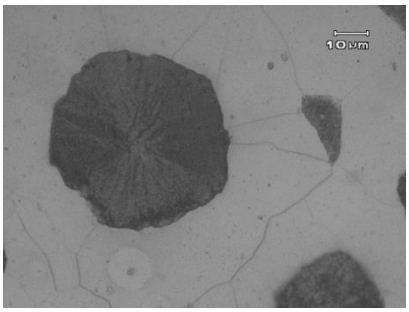
$$S=\text{Sphericity}=\frac{4\cdot\pi\cdot\text{Area}}{(\text{Perimeter})^2} \quad \text{.....(1)}$$



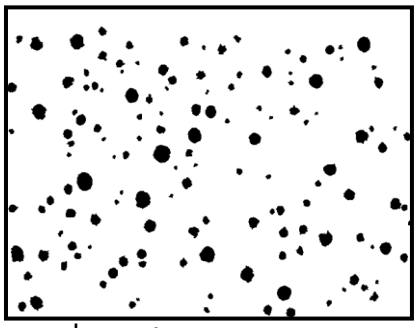
รูปที่ 4 ลักษณะอนุภาคแกรไฟต์ทั้ง 7 แบบ อ้างอิงตาม ASTM A 247-67 [2,8]



รูปที่ 5 ผลการประเมินลักษณะอนุภาคแกรไฟต์ที่มี Shape factor ตั้งแต่ 0.1 - 1.0 (Image Analysis) [10]



รูปที่ 6 อนุภาคแกรไฟต์ มีค่าความกลมของอนุภาคแกรไฟต์ $\geq$ 80 เปอร์เซ็นต์ และมี Shape factor มากกว่า 0.65



รูปที่ 7 ภาพโครงสร้างเหล็กหล่อเหนียว Shape factor 0.65 - 1.0 [3]

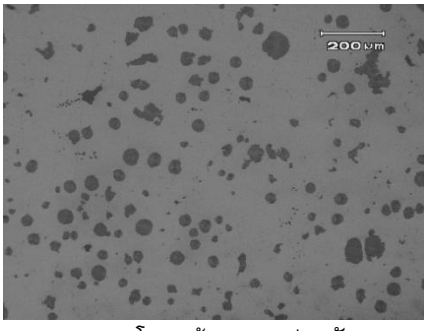
ตารางที่ 1 ตารางส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อเหนียว

%C	%Si	%Mn	%P	%Mg	%CE	%Ti (addition)
3.42	2.48	0.10	0.011	0.039	4.15	0.002-0.150
3.44	2.50	0.03	0.013	0.040	4.10	0.151-0.210

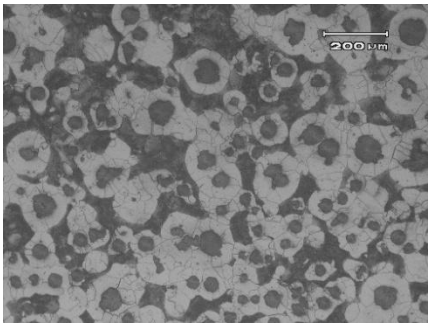
3. ผลการวิจัย

3.1. ผลกระทบของปริมาณไทเทเนียมที่มีต่อลักษณะรูปร่างแกรไฟต์กลม (Graphite shape)

ผลจากการทดลอง พบว่า เมื่อช่วงปริมาณไทเทเนียมมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากช่วง 0.002-0.150 %, 0.151-0.210 %Ti โดยน้ำหนักตามลำดับ พบว่ามีแนวโน้มทำให้ความกลมอนุภาคแกรไฟต์ลดลงต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 9 ค) และ ง) มีโครงสร้างเหล็กหล่อเหนียวมีอนุภาคแกรไฟต์คล้ายก้ามปู (Grab graphite) และแกรไฟต์แผ่น (Flake graphite) มีลักษณะปลายแหลม [6] ผลจากธาตุไทเทเนียมเป็นธาตุที่ต่อต้านการเกิดสเฟอโรอิไดซ์ (anti-spheroidizing element) และเป็นตัวช่วยสร้างคาร์ไบด์ในเหล็กหล่อเหนียว [4] ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ไปขัดขวาง (Barriers) การเคลื่อนไหวอะตอมของคาร์บอนทำให้อะตอมของคาร์บอนไม่สามารถแพร่ซึม (Diffussion) ไปยังอนุภาคแกรไฟต์ข้างเคียงได้ จึงทำให้เกิดแกรไฟต์แผ่นมากขึ้น [2,7] และจากใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis Program) วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค โดยกำหนด Shape factor น้อยกว่า 0.65 ทำให้ พบว่าโครงสร้างอนุภาคแกรไฟต์ที่ผิดปกติ (Deleterious nodule) มีลักษณะไม่กลม ชนิดที่ 4,5 และชนิดที่ 7 มีปริมาณมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังรูปที่ 4 (อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM A247-67) [6,10] และเป็นผลให้เปอร์เซ็นต์ความกลมของอนุภาคแกรไฟต์ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 9 ภาพ ค) และ ง) และจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังรูปที่ 10

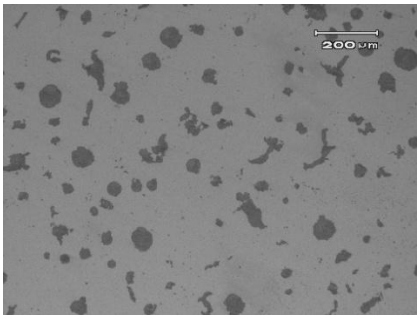


ก) ภาพโครงสร้างจุลภาคก่อนกัดกรด
กำลังขยาย 100X

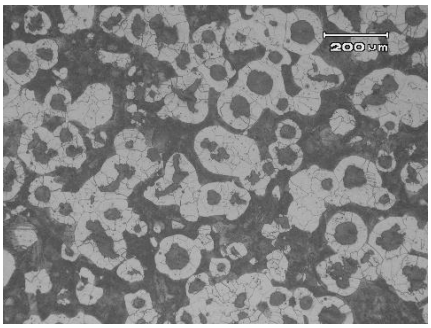


ข) ภาพโครงสร้างจุลภาคหลังกัดกรด
กำลังขยาย 100X

รูปที่ 8 ภาพ ก) และ ข) แสดงโครงสร้างจุลภาค ปริมาณไทเทเนียม 0.002-0.150 %Ti , ค่าความกลมอนุภาคแกรไฟต์มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

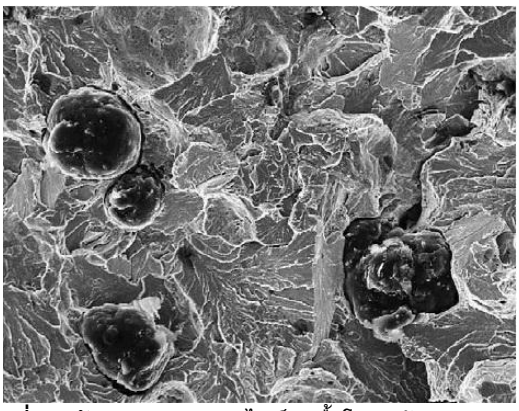


ค) ภาพโครงสร้างจุลภาคก่อนกัดกรด
กำลังขยาย 100X

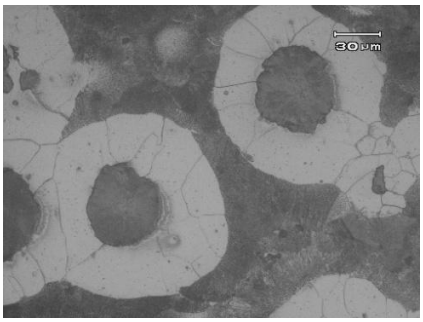


ง) ภาพโครงสร้างจุลภาคหลังกัดกรด
กำลังขยาย 100X

รูปที่ 9 ภาพ ค) และ ง) แสดงโครงสร้างจุลภาค ปริมาณไทเทเนียม 0.151-0.210 %Ti, ค่าความกลมอนุภาคแกรไฟต์ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 10 ลักษณะอนุภาคแกรไฟต์บนพื้นโครงสร้าง ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

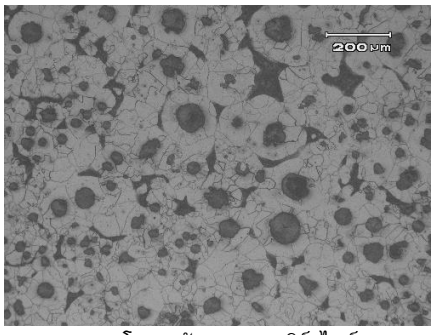


ข) ภาพโครงสร้างจุลภาคเพิร์ลไลต์
กัดกรด Nital 2% ที่กำลังขยาย 500X

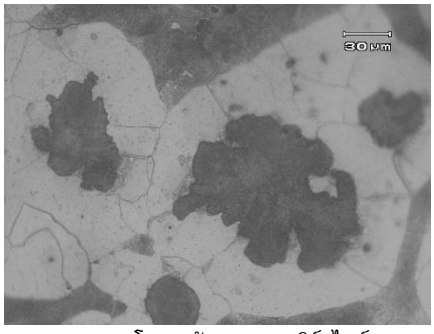
รูปที่ 11 ภาพ ก) และ ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคจุลภาคเพิร์ลไลต์, ปริมาณไทเทเนียม 0.002-0.150 %Ti

3.2. ผลกระทบของปริมาณไทเทเนียมที่มีผลต่อสัดส่วนโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

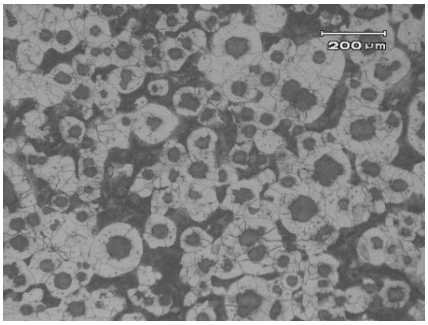
ผลจากการทดลอง พบว่า เมื่อช่วงปริมาณไทเทเนียมมีค่าเพิ่มมากขึ้นจาก 0.002-0.150 %, 0.151-0.210 %Ti โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่ามีแนวโน้มทำให้ปริมาณสัดส่วนโครงสร้างปริมาณเพิร์ลไลต์ในเมทริกซ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 12 ค) และ ง) ทั้งนี้เป็นเพราะจากการประเมิน Shape factor มากกว่า 0.65 ทำให้ปริมาณอนุภาคแกรไฟต์เม็ดกลมที่มีสภาพปกติทั้งชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 (อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM A247-67) มีจำนวนลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน และขนาดอนุภาคแกรไฟต์มีแนวโน้มเล็กลง ลักษณะอนุภาคแกรไฟต์คล้ายก้ามปู (Grab graphite) และแกรไฟต์แผ่น (Flake graphite) มีลักษณะปลายแหลมมากขึ้น [6] และการกระจายอนุภาคแกรไฟต์ไม่สม่ำเสมอมากขึ้น ดังรูปที่ 12 ภาพ ค) และ ง)



ค) ภาพโครงสร้างจุลภาคเพิร์ลไลต์
กัดกรด Nital 2% ที่กำลังขยาย 100X



ง) ภาพโครงสร้างจุลภาคเพิร์ลไลต์
กัดกรด Nital 2% ที่กำลังขยาย 500X

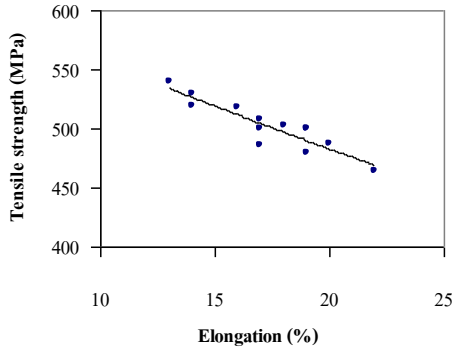


ก) ภาพโครงสร้างจุลภาคเพิร์ลไลต์
กัดกรด Nital 2% ที่กำลังขยาย 100X

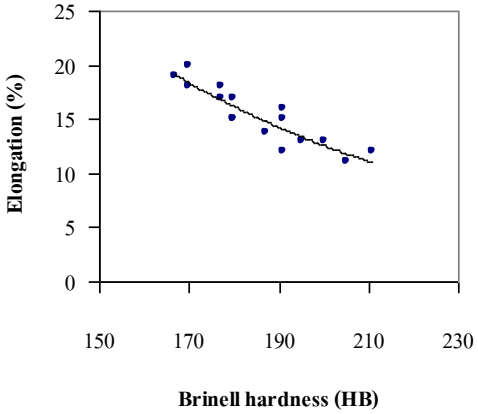
รูปที่ 12 ภาพ ค) และ ง) แสดงโครงสร้างจุลภาคจุลภาคเพิร์ลไลต์, ปริมาณไทเทเนียม 0.151-0.210 %Ti

3.3. ผลกระทบของปริมาณไทเทเนียมที่มีผลต่อสมบัติทางกล (mechanical properties)

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณไทเทเนียมที่เพิ่มขึ้น ทำให้แนวโน้มปริมาณสัดส่วนโครงสร้างจุลภาคเพิร์ลไลต์ในเมทริกซ์ลดลง และมีปริมาณยูเทคติกคาร์ไบด์เพิ่มขึ้น [7] ส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวในชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลงลด อย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 13 [4] ทั้งนี้เพราะธาตุไทเทเนียมเป็นธาตุที่ต่อต้านการเกิดสเฟอโรอิไดซ์ (anti-spheroidizing element) และเป็นตัวทำให้เกิดคาร์ไบด์ในโครงสร้าง ดังนั้นปริมาณไทเทเนียมที่เพิ่มขึ้นในเหล็กหล่อเหนียว จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงและความแข็งลดลง ขณะที่การยืดตัวเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 13 และ 14 ตามลำดับ



รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวและค่าความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

4. สรุป

4.1 ปริมาณไทเทเนียมเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อลักษณะรูปร่างแกรไฟต์กลม (Graphite shape) พบว่า เมื่อช่วงปริมาณไทเทเนียมมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากช่วง 0.002-0.150 %, 0.151-0.210 %Ti โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่ามีแนวโน้มทำให้ค่าความกลมอนุภาคแกรไฟต์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้อนุภาคแกรไฟต์มีลักษณะคล้ายก้ามปู (Grab graphite) และมีแกรไฟต์แผ่น (Flake graphite) ปลายแหลมมากขึ้น มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความกลมของอนุภาคแกรไฟต์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

4.2 ปริมาณไทเทเนียมเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) พบว่า เมื่อช่วงปริมาณไทเทเนียมมีค่าเพิ่มมากขึ้นจาก 0.002-0.150 %, 0.151-0.210 %Ti โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่ามีแนวโน้มทำให้ปริมาณสัดส่วนโครงสร้างปริมาณเพิร์ลไลต์ในเมทริกซ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

4.3 ปริมาณไทเทเนียมเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อสมบัติทางกล (mechanical properties) พบว่าปริมาณไทเทเนียมที่เพิ่มขึ้น ทำให้แนวโน้มปริมาณสัดส่วนโครงสร้างจุลภาคเพิร์ลไลต์ในเมทริกซ์ลดลง ทำให้ปริมาณยูเทคติกคาร์ไบด์เพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวในชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลงลดอย่างมีนัยสำคัญ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] http://www.thaiautoparts.or.th/

[2] J.R. Davis, “Cast Iron ASM Specialty Handbook”, ASM International Handbook, 2019, pp. 1-146.

[3] G. Nicoletto, R. Konecna, B. Hadzimovea and L. Collini, “Microstructure and Mechanical Strength of Nodular Cast Iron”, Journal of AISI, 2020, pp.18-21.

[4] ASM Metals Handbook, “ Metallography and Microstructures”, Volume 9, The Materials Information Company, 2018, pp.10-1383.

[5] SORELMETAL, “ Suggestions for Ductile Iron Production”, DI Techniques, Published by Rio Tinto iron & Titanium INC, Canada, 2021, pp.1-55.

[6] “Foundrymen’s Guide To Ductile Iron Microstructures”, American Foundrymen’s Society, USA, 2022, pp.11-39.

[7] SORELMETAL, “ Ductile Iron Data for Design Engineering”, Published by Rio Tinto Iron & Titanium INC, Canada, 2020, pp.1-170.

[8] Annual Book of ASTM Standards , “ASTM A 247-67 : Standard Method for Evuating the Microstructure of Graphite in Iron Castings”, 2021, pp.319-323.

[9] R. Salazar, M. Herrera-Trejo and N. Mendez, “Effect of Nodule Count and Cooling Rate on As - Cast Matrix of a Cu- Mo Spheroidal Graphite” , Journal of Materials Engineering and Performance, 2020, pp.325-329.

[10] B. Juan Miguel and S. Jorge Antonio, “Shape and Count of free Graphite Particles in Thin Wall Ductile Iron Castings”, ISIJ International, Vol.42, 2021, pp.257-263.

[11] K. K. Schrems and J.A. Hawk, “Microstructure of Thin Wall Ductile Castings”, Journal of AISI, 2021, pp.18-21.

[12] R. E. L. Ruxanda, D. M. Stefanescu, and T. S. Piwonka, “ Quantification of the Solidification Microstructurc of Ductile Iron Through Image Analysis” , Journal, 2019, pp.361-368.

[13] S. Charoenvilai and D.M. Stefanescu, “The Possibility on Prediction of Graphite Shape in Mg- treated Irons by Mean of Thermal Analysis”, Proceedings, Taiwan, 2018, pp.91-100.

[14] D. SHENG and C. Shao-chun, “Critical Content of MgO in Spheroidisers” , Journal of Science Direct, 2019, pp.1-5.

[15] B. Rojrittakorn and S. Charoenvilai, “The Study on the Effect of Zinc Contaminated Using the Steel Scrap of Ductile Iron Casting” , The Graduate Research Conference, KMITL, 2020, pp.1-99.

การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอาหารในร้านอาหารขนาดเล็ก โดยใช้ลีนซิกซ์ซิกม่า: กรณีศึกษาร้านแจ่วฮ้อนวัวน้อย

Improving the Efficiency of Food Production Processes in Small Restaurants Using Lean Six Sigma: A Case Study of Jaew Hon Wua Noi Restaurant

คณิศร ภูนิคม[1*] ปฏิมาพร แก่นทอง[2] ณัฐชา พิกุลดก[3] และ นรินทร์พร นาถาบำรุง[4]
[1,2,3,4]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
E-mail: kanitsorn.p@ubu.ac.th*

Kanitsorn Poonikom[1*], Patimaporn Kaenthong[2], Natcha Phikhundok[3] and Narinphon Nathabamrung[4]
[1,2,3,4]Department of Industrial, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University.
E-mail: kanitsorn.p@ubu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอาหารในร้านอาหารขนาดเล็กโดยใช้แนวคิด Lean Six Sigma กรณีศึกษาร้านแจ่วฮ้อนวัวน้อย โดยใช้กรอบแนวคิด DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) ในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการดำเนินงาน ผลการศึกษาพบว่า ร้านอาหารขนาดเล็กประสบปัญหาหลัก ได้แก่ ความล่าช้าในการให้บริการ การขาดมาตรฐานการทำงาน และการบริหารจัดการวัตถุดิบที่ไม่มีประสิทธิภาพ การประยุกต์ใช้แนวคิด Lean Six Sigma และเครื่องมือทางวิศวกรรม เช่น 7 Waste Analysis และ Value Stream Mapping ช่วยลดเวลาการให้บริการจาก 30 นาทีเหลือ 15 นาที เพิ่มความสามารถในการรองรับลูกค้าในช่วงพีคไทม์จาก 20 คนเป็น 35 คน และลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ส่งผลให้รายได้ของร้านเพิ่มขึ้น 20% ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า Lean Six Sigma เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มขีดความสามารถของร้านอาหารขนาดเล็ก ช่วยลดต้นทุน ปรับปรุงคุณภาพการให้บริการ และเพิ่มโอกาสในการแข่งขันในอุตสาหกรรมร้านอาหารที่มีการแข่งขันสูง

คำสำคัญ: ลีนซิกซ์ซิกม่า การวิเคราะห์ความสูญเปล่า 7 ประการ แผนที่สายธารแห่งคุณค่า การปรับปรุงประสิทธิภาพ ร้านอาหารขนาดเล็ก

Abstract

This research aims to improve the efficiency of food production processes in small restaurants using the Lean Six Sigma approach, with a case study of Jaew Hon Wua Noi restaurant. The DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) framework was applied to analyze and enhance the restaurant's operational processes. The study found that small restaurants face key issues such as service delays, a lack of standardized work procedures, and inefficient raw material management. By integrating Lean Six Sigma with industrial engineering tools like 7 Waste Analysis and Value Stream Mapping, the restaurant successfully reduced service time from 30 minutes to 15 minutes, increased peak-time customer capacity from 20 to 35 customers, and minimized waste in production processes. These improvements led to a 20% increase in revenue. The findings suggest that Lean Six Sigma is an effective strategy for enhancing small restaurant operations, reducing costs, improving service quality, and strengthening competitiveness in the highly competitive restaurant industry

Keywords: Lean Six Sigma, 7 Waste Analysis, Value Stream Mapping, Efficiency Improvement, Small Restaurant

1. บทนำ

ธุรกิจร้านอาหารเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูงและต้องปรับตัวอยู่เสมอเพื่อตอบสนองต่อพฤติกรรมของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันลูกค้าให้ความสำคัญกับคุณภาพอาหาร ความรวดเร็วในการให้บริการ และความสะดวกในการเข้าถึงร้านอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการ (FTPI, 2021) ด้วยเหตุนี้ ผู้ประกอบการในธุรกิจร้านอาหารจึงจำเป็นต้องพัฒนากระบวนการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตาม ร้านอาหารขนาดเล็กมักเผชิญกับข้อจำกัดด้านการจัดการกระบวนการภายใน ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการและประสิทธิภาพการดำเนินธุรกิจร้านแจ่วฮ้อนวัวน้อย ซึ่งเป็นกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้ ประสบปัญหาหลักหลายประการ ได้แก่ ปริมาณการผลิตอาหารที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลาที่มีคนใช้บริการมากที่สุด การขาดมาตรฐานการทำงานที่แน่ชัด การบริหารจัดการวัตถุดิบที่ไม่มีประสิทธิภาพ และการขาดช่องทางให้บริการแบบเดลิเวอรี่ ปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้ร้านไม่สามารถให้บริการลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอาจสูญเสียโอกาสทางธุรกิจ

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้แนวคิดลีนซิกซ์ซิกม่า ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับในการปรับปรุงกระบวนการทำงานในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจบริการ โดยใช้กรอบแนวคิด DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) เป็นแนวทางในการระบุปัญหา วิเคราะห์สาเหตุ ปรับปรุงกระบวนการ และควบคุมผลลัพธ์ให้มีความยั่งยืน (Antony, 2021). แม้ว่าจะมีงานวิจัยหลายชิ้นเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพร้านอาหารโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ แต่ส่วนใหญ่มักมุ่งเน้นไปที่ร้านอาหารขนาดใหญ่หรือแฟรนไชส์ และยังไม่มีการศึกษาที่บูรณาการลีนซิกซ์ซิกม่ากับเครื่องมือทางวิศวกรรม เช่นการวิเคราะห์ความสูญเปล่า 7 ประการ และแผนที่สายธารแห่งคุณค่า ในบริบทของร้านอาหารขนาดเล็ก (Sreedharan & Raju, 2022) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในการเติมเต็มช่องว่างทางวิชาการ และสร้างแนวทางปฏิบัติที่สามารถนำไปใช้ได้จริง โดยช่วยให้ร้านอาหารขนาดเล็กสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการ ลดความสูญเปล่า ปรับปรุงการบริหารจัดการวัตถุดิบ และเพิ่มโอกาสทางธุรกิจผ่านการขยายช่องทางการให้บริการ เช่น ระบบเดลิเวอรี่ ผลการวิจัยที่ได้รับสามารถนำไปเป็นแนวทางให้กับร้านอาหารขนาดเล็กอื่น ๆ ที่ต้องการพัฒนากระบวนการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถเติบโตได้อย่างยั่งยืนในอุตสาหกรรมร้านอาหารที่มีการแข่งขันสูงขึ้นเรื่อย ๆ (Lameijer et al., 2023)

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

จากปัญหาที่ระบุข้างต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 4 ประการ คือ 1) วิเคราะห์ปัญหาที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของร้านอาหารขนาดเล็ก 2) ลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานของร้านอาหาร 3) ปรับปรุงกระบวนการผลิตและการให้บริการ และ 4) เพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการวัตถุดิบ

3. ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการดำเนินงานของร้านแจ่วฮ้อนวัวน้อย ตั้งอยู่ที่แยกกุดลาด ทางไปตาลสุม ติดสถานีวิทยุ สทร.9 ตลาดกกยางใหญ่ อ.เมืองอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี ซึ่งเป็นร้านอาหารขนาดเล็กที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับความล่าช้าในการให้บริการ การจัดการวัตถุดิบ และประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตอาหาร

ขอบเขตด้านข้อมูลและการเก็บรวบรวมข้อมูลของงานวิจัยนี้ประกอบด้วยข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของร้านแจ่วฮ้อนวัวน้อย โดยข้อมูลเชิงปริมาณมุ่งเน้นการวัดค่าที่เป็นตัวเลขเพื่อระบุประสิทธิภาพของกระบวนการ ได้แก่ เวลารอคอยของลูกค้า ตั้งแต่สั่งอาหารจนถึงได้รับบริการ ต้นทุนต่อหน่วยการผลิต และ อัตราการใช้ทรัพยากร ข้อมูลเหล่านี้จะถูกรวบรวมผ่านการจับเวลาการทำงาน การสังเกต และการบันทึกข้อมูลภาคสนาม ในส่วนของข้อมูลเชิงคุณภาพ งานวิจัยจะมุ่งศึกษามุมมองของพนักงานและลูกค้าเกี่ยวกับประสิทธิภาพการให้บริการและปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจ ผ่านการสัมภาษณ์เชิงลึก กับพนักงานและผู้จัดการร้าน เพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานและการจัดการวัตถุดิบ รวมถึงการใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของลูกค้า เพื่อตรวจสอบความคิดเห็นเกี่ยวกับคุณภาพอาหาร เวลารอคอย และประสบการณ์การใช้บริการ นอกจากนี้ จะมีการสนทนากลุ่ม กับลูกค้าเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้บริการและข้อเสนอแนะในการปรับปรุง ข้อมูลทั้งหมดจะนำไปวิเคราะห์ร่วมกับเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ อย่างเช่น การวิเคราะห์พาเรโต และการวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เพื่อระบุปัญหาหลักและแนวทางปรับปรุงที่เหมาะสม

4. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 การวิเคราะห์ SWOT

แนวคิด: SWOT เป็นเครื่องมือวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์ที่ใช้ประเมินจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และภัยคุกคามขององค์กรหรือโครงการ (Gürel & Tat, 2017) โดยมีข้อดีคือช่วยให้เข้าใจสถานะขององค์กรอย่างรอบด้าน และสามารถกำหนดกลยุทธ์ที่เหมาะสมได้ อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของ SWOT คือการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับมุมมองของผู้ประเมิน และไม่สามารถวัดเชิงปริมาณได้โดยตรง ประโยชน์หลักของเครื่องมือนี้คือการใช้กำหนดกลยุทธ์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการวางแผนธุรกิจ การวิเคราะห์ตลาด และการพัฒนาผลิตภัณฑ์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: 1. ธนภณ นิธิเชาวกุล (2565) ผสาน SWOT Analysis กับการวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อเพิ่มความแม่นยำ โดยใช้แบบสอบถามและข้อมูลเชิงปริมาณ พบว่าช่วยลดอคติของผู้ประเมินและเพิ่มความเป็นระบบ 2. สมชาย ใจดี (2563) ใช้ SWOT วิเคราะห์บริษัท ABC เพื่อวางกลยุทธ์ทางการตลาด พบว่าสามารถระบุจุดอ่อนและเพิ่มศักยภาพการแข่งขันได้

4. ลีน ซิกส์ซิกมา (Lean Six Sigma)

แนวคิด: เป็นการบูรณาการแนวคิดลีนที่เน้นลดความสูญเปล่ากับซิกส์ซิกมาที่มุ่งลดความผันแปรและควบคุมคุณภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน (Antony, 2021) โดยแนวคิดนี้ช่วยให้องค์กรปรับปรุงกระบวนการให้คล่องตัว ลดต้นทุน และเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าอย่างยั่งยืน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: 1. Sreedharan และ Raju (2022) พบว่า Lean Six Sigma ช่วยลดข้อผิดพลาดในการบริการได้ 25%
2. Lameijer และคณะ (2023) รายงานว่าสามารถลดเวลารอคอยลง 30% และลดความสูญเปล่าของวัตถุดิบ ส่งผลให้ต้นทุนลดลงและรายได้เพิ่มขึ้น

4.3 DMAIC

แนวคิด: กระบวนการเชิงระบบที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพของกระบวนการภายในองค์กรอย่างต่อเนื่อง (Antony, 2021) โดยมีขั้นตอนสำคัญคือ การระบุและกำหนดเป้าหมายของปัญหา(Define) การเก็บรวบรวมข้อมูลและวัดผลที่เกี่ยวข้อง (Measure) การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา (Analyze) การออกแบบและดำเนินการปรับปรุงเพื่อแก้ไขปัญหา (Improve) และการควบคุมและติดตามผลลัพธ์เพื่อรักษามาตรฐานไว้ให้อย่างยั่งยืน (Control) (Sreedharan & Raju, 2022)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: Sreedharan และ Raju (2022) พบว่า DMAIC สามารถลดข้อผิดพลาดในการให้บริการในร้านอาหารได้ถึง 25% และช่วยลดเวลารอคอย ทำให้การบริการตรงตามความต้องการของลูกค้ามากขึ้น

4.4 การวิเคราะห์ความสูญเปล่า 7 ประการ (7 Waste Analysis)

แนวคิด: เป็นแนวคิดหลักของ Lean ที่มุ่งลดความสูญเปล่าในกระบวนการ โดยแบ่งเป็น 7 ประเภท ได้แก่ Overproduction, Waiting, Transportation, Overprocessing, Inventory, Motion และ Defects (Ohno, 1988) การวิเคราะห์นี้ช่วยให้องค์กรลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพ และยกระดับคุณภาพในกระบวนการผลิตหรือบริการอย่างเป็นระบบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: Lameijer และคณะ (2023) ศึกษาการใช้ Seven Waste Analysis ในร้านอาหาร พบว่าสามารถลดเวลาการให้บริการลงได้ 20% และลดความสูญเปล่าของวัตถุดิบได้อย่างชัดเจน ขณะที่ Antony (2021) พบว่าแนวคิดนี้ช่วยให้ธุรกิจบริการลดต้นทุนและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.5 กระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาที่เกิดขึ้น (Root Cause Analysis: RCA)

แนวคิด: เน้นการวิเคราะห์เชิงลึกเพื่อแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ ไม่ใช่แค่ที่อาการหรือผลลัพธ์ที่ปรากฏภายนอก โดยทั่วไปนิยมใช้เครื่องมือหลัก เช่น 5 Whys และ Fishbone Diagram หรือที่เรียกว่า Ishikawa Diagram (Ishikawa, 1986) ซึ่งช่วยให้องค์กรสามารถเข้าใจถึงที่มาของปัญหาได้อย่างเป็นระบบ นำไปสู่แนวทางการแก้ไขที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสูงสุด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: Sreedharan และ Raju (2022) ที่ศึกษาการใช้ RCA ร่วมกับ Pareto Analysis ในธุรกิจร้านอาหารขนาดเล็ก พบว่าสามารถลดของเสียจากวัตถุดิบและเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการสต็อกสินค้าได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยการระบุสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการดำเนินงานของร้าน

4.6 Pareto Analysis

แนวคิด: เป็นการประยุกต์ใช้หลัก 80/20 Rule ที่ชี้ว่า “80% ของปัญหามักเกิดจาก 20% ของสาเหตุหลัก” (Juran, 1954) ช่วยให้องค์กรสามารถจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและมุ่งแก้ไขที่ต้นเหตุสำคัญก่อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และลดระยะเวลาในการดำเนินงาน โดยมักใช้งานร่วมกับ Root Cause Analysis เพื่อเสริมความแม่นยำในการวางแผนและปรับปรุงกระบวนการ (Antony, 2021)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: Lameijer และคณะ (2023) พบว่า Pareto Analysis สามารถระบุปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความล่าช้าในการให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการปรับปรุงเพียงไม่กี่ปัจจัยสำคัญ ช่วยลดระยะเวลาการให้บริการ และเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าได้อย่างชัดเจน

4.7 การออกแบบวางผังอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning: SLP)

แนวคิด: เป็นกระบวนการวางผังที่มุ่งเน้นการจัดการพื้นที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อลดการเคลื่อนไหวของวัสดุ คน และข้อมูลที่ไม่จำเป็น ส่งผลให้สามารถลดความสูญเปล่าและเพิ่มผลิตภาพในการทำงาน (Muther, 1973)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: Kumar & Suresh (2008) ประยุกต์ใช้ SLP ในธุรกิจบริการ พบว่าการออกแบบผังงานอย่างเป็นระบบช่วยลดระยะทางการเดินของพนักงานได้ถึง 15% และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมในการให้บริการลูกค้าได้อย่างชัดเจน

4. **ขั้นการดำเนินงานดำเนินงานวิจัย**

การศึกษานี้ใช้ Lean Six Sigma พร้อมหลัก DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการที่มีปัญหาหลัก 3 ประการ ได้แก่ ความล่าช้าในการให้บริการ, การบริหารจัดการวัตถุดิบที่ไม่มีประสิทธิภาพ, และความพึงพอใจของลูกค้าที่ลดลง โดยเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม, สัมภาษณ์เชิงลึก, และการสังเกตการณ์กระบวนการทำงาน การใช้ Root Cause Analysis (RCA) ช่วยระบุสาเหตุของปัญหาและใช้ Pareto Analysis เพื่อลำดับความสำคัญของปัญหา นอกจากนี้ยังใช้ Value Stream Mapping (VSM) เพื่อหาจุดที่ต้องปรับปรุงในกระบวนการต่างๆ การศึกษาแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงกระบวนการทำงานและลดความสูญเปล่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการและการบริหารจัดการวัตถุดิบ



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงการดำเนินงานวิจัยตามกรอบแนวคิด DMAIC

จากรูปที่ 1 เป็นการแสดงถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเริ่มจาก
1) การศึกษานี้ใช้ Lean Six Sigma และหลัก DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) เพื่อปรับปรุงกระบวนการที่มีปัญหาหลัก 3 ประการ ได้แก่ ความล่าช้าในการให้บริการ, การบริหารจัดการวัตถุดิบที่ไม่มีประสิทธิภาพ, และความพึงพอใจของลูกค้าที่ลดลง เริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลด้วยการสังเกตการณ์กระบวนการทำงาน, สัมภาษณ์ผู้ประกอบการ, และการทำแบบสอบถามลูกค้า เพื่อระบุปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น การขาดมาตรฐานการทำงานที่ชัดเจนและการจัดการวัตถุดิบที่ไม่เป็นระเบียบ

การวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมใช้เครื่องมือเช่น Root Cause Analysis (RCA) และ Pareto Analysis เพื่อลำดับความสำคัญของปัญหา พบว่าการขาดระบบการฝึกอบรมพนักงานและการจัดการวัตถุดิบที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการบริการและสูญเสียวัตถุดิบ การใช้ Value Stream Mapping (VSM) ช่วยระบุจุดที่ต้องปรับปรุงในกระบวนการทำงาน

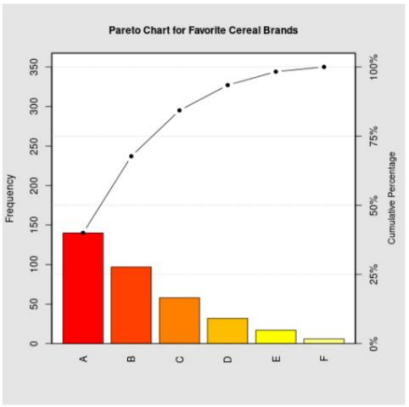
แนวทางการปรับปรุงได้แก่การกำหนดมาตรฐานการทำงาน (SWP), การใช้ Kanban ในการควบคุมวัตถุดิบ, และการออกแบบพื้นที่ทำงานอย่างเป็นระบบ (SLP) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความสูญเสีย หลังจากทดลองใช้แนวทางเหล่านี้แล้ว มีการติดตามผลลัพธ์ผ่านตัวชี้วัด เช่น เวลาการให้บริการเฉลี่ย, อัตราการสูญเสียวัตถุดิบ, และระดับความพึงพอใจของลูกค้า เพื่อตรวจสอบว่าแนวทางที่ใช้สามารถปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในระยะยาว

6. ผลการศึกษา

จากการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการดำเนินงานของร้านอาหารขนาดเล็กโดยใช้ Lean SixSigma กรณีศึกษาร้านแจ่วฮ้อนวัวน้อย ได้ผลลัพธ์ดังนี้

6.1 ปัญหาหลักในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ

การนำ Pareto Analysis ที่ใช้หลักการ 80/20 Rule (Juran, 1954) มาใช้ในการวิเคราะห์ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและพบว่าสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบสูงสุดมีเพียงไม่กี่สาเหตุ



รูปที่ 2 การวิเคราะห์ปัจจัย ตามหลักพาเรโต

จากรูปที่ 2 ได้มีการจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหา ได้แก่

1. ปัญหา A: การจำกัดวัตถุดิบเพื่อสร้างเอกลักษณ์ทางการตลาดโดยไม่มีการวิเคราะห์ต้นทุน-กำไรที่ชัดเจน,

2. ปัญหา B: ความล่าช้าในการให้บริการแจ่วฮ้อนและผลิตภัณฑ์เนื้อสด

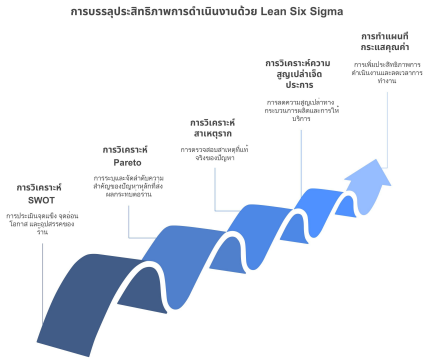
3. ปัญหา C: การขาดช่องทางการจำหน่ายนอกเหนือจากหน้าร้านส่งผลให้ร้านสูญเสียโอกาสทางธุรกิจและไม่สามารถรองรับปริมาณลูกค้าได้อย่างเต็มที่ในช่วงพีค

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แนวคิด Lean Six Sigma และแนวทาง DMAIC โดยดำเนินการวิเคราะห์

กระบวนการทำงานและระบุปัญหาหลักของร้านผ่านเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ

6.2 โมเดลเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตและให้บริการอาหาร

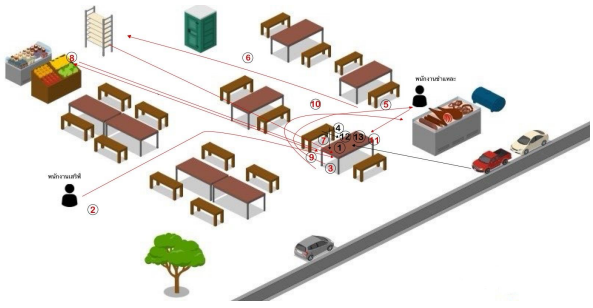
ผลลัพธ์จากการปรับปรุงกระบวนการเพื่อให้บรรลุประสิทธิภาพการดำเนินงานด้วย Lean Six Sigma สามารถแสดงถึงโมเดลเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอาหารในร้านอาหารขนาดเล็ก กรณีศึกษาร้านแจ่วฮ้อนวัวน้อย อุบลราชธานี ได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินด้วย Lean Six Sigma

6.3 การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการให้บริการแจ่วฮ้อน

การศึกษานี้วิเคราะห์การให้บริการร้านแจ่วฮ้อนโดยจัดทำผังร้านปัจจุบัน (รูปที่ 4) และกำหนดทิศทางการไหลของผู้ให้บริการและอาหาร พร้อมจับเวลาการให้บริการตั้งแต่ลูกค้าเข้าร้านจนเริ่มรับประทานอาหาร (รูปที่ 5) จากนั้นนำเทคนิค 5W1H, 5 Why และแนวคิด SLP มาปรับปรุงผังการให้บริการ (รูปที่ 6) พร้อมกำหนดทิศทางการไหล จับเวลา และวัดระยะการเคลื่อนที่ (รูปที่ 7) ผลลัพธ์พบว่าสามารถลดเวลาการให้บริการจาก 30 นาที เหลือ 15 นาที ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ



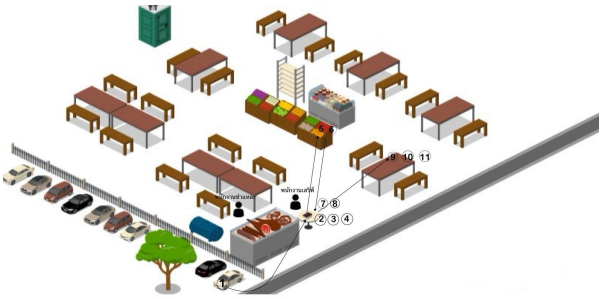
รูปที่ 4 ผังการให้บริการแจ่วฮ้อนและทิศทางการไหล (ก่อนปรับปรุง)

แผนภูมิการไหลกระบวนการให้บริการ
Flow Process Chart

ผลิตภัณฑ์ / วัสดุ / พนักงาน: การให้บริการ ก่อนปรับปรุง	สรุปผล			
	Activity	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง
	ปฏิบัติงาน	7	6	1
	การจัดเก็บชั่วคราว	6	4	2
	การตรวจสอบ	2	2	0
	การรอคอย	8	6	2
	ระยะทาง	80 เมตร	65 เมตร	15 เมตร
	เวลาทั้งหมด	30 นาที	15 นาที	15 นาที

คำอธิบาย	เวลา(นาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
1. ลูกค้าเดินจากจุดจอดรถมายังจุดรับออเดอร์	1	5		
2. พนักงานยืนไปเสิร์ฟอาหารให้ลูกค้า	1			
3. ลูกค้าเลือกประเภทและปริมาณเนื้อที่ต้องการ	1			
4. พนักงานใช้พนักและอธิบายรายการอาหารที่สั่ง	0.5			
5. ลูกค้าเดินไปรับอาหาร	1	10		
6. หยิบอาหาร พร้อมน้ำซุปและผัก ใช้เวลา 2 นาที	2			
7. ลูกค้าเดินไปที่โต๊ะเพื่อนั่ง 0.5 นาที ระยะทาง 5 เมตร	0.5	5		
8. ลูกค้านั่งรอเห็นที่ออเดอร์ 2 นาที	2			
9. ลูกค้าเดินไปนั่งที่โต๊ะที่เลือกไว้ ใช้เวลา 1 นาที ระยะทาง 3 เมตร	1	3		
10. ลูกค้าเลือกเปลี่ยนประเภทเนื้อที่ต้องการ และเพิ่มน้ำซุปลงไป	2			
11. รอจนน้ำซุปเดือดก่อนเริ่มรับประทาน ใช้เวลา 3 นาที	3			
รวม	15	23		

รูปที่ 5 แผนภูมิการไหลของกระบวนการให้บริการ (ก่อนปรับปรุง)



รูปที่ 6 ผังการให้บริการแจ่วฮ้อนและทิศทางการไหล (หลังปรับปรุง)

แผนภูมิการไหลกระบวนการให้บริการ
Flow Process Chart

ผลิตภัณฑ์ / วัสดุ / พนักงาน: การให้บริการ ก่อนปรับปรุง	สรุปผล			
	Activity	ปัจจุบัน	หลังปรับปรุง	ลดลง
	ปฏิบัติงาน	7		
	การจัดเก็บชั่วคราว	6		
	การตรวจสอบ	2		
	การรอคอย	8		
	ระยะทาง	80 เมตร		
	เวลาทั้งหมด	30 นาที		

คำอธิบาย	เวลา(นาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
1. ลูกค้าเดินจากจุดจอดรถมายังจุดรับประทานอาหาร	2	10		
2. พนักงานยืนไปเสิร์ฟอาหารให้ลูกค้า	1			
3. ลูกค้าเลือกสั่งแจ่วฮ้อนในปริมาณที่ต้องการ และรับจานผู้รับประทาน	3			
4. พนักงานรับออเดอร์จากลูกค้า	1			
5. พนักงานตักเนื้อไปต้มและเนื้อ	2	10		
6. พนักงานเสิร์ฟแจ่วฮ้อนรับประทานร้านแจ่วฮ้อนเนื้อ	2			
7. พนักงานแจ่วเนื้อให้เหมาะสมกับการรับประทาน	3			
8. พนักงานเสิร์ฟเดินไปรับซุปกระดูกและกระดูกไฟฟ้าจากชั้นวาง	2	8		
9. พนักงานนำกระดูกไฟฟ้ามาที่โต๊ะลูกค้า	2	8		
10. พนักงานเดินไปรับน้ำซุปและน้ำซุปมาน้ำเสิร์ฟให้ลูกค้า	2	12		
11. พนักงานเดินไปนำเนื้อที่สั่งมาส่งให้ลูกค้า	2	10		
12. ลูกค้าเลือกปรึกระดูกไฟฟ้าและเพิ่มน้ำซุปลงไป	2			
13. รอจนน้ำซุปเดือดก่อนเริ่มรับประทาน ใช้เวลา 6 นาที	6			
รวม	30	58		

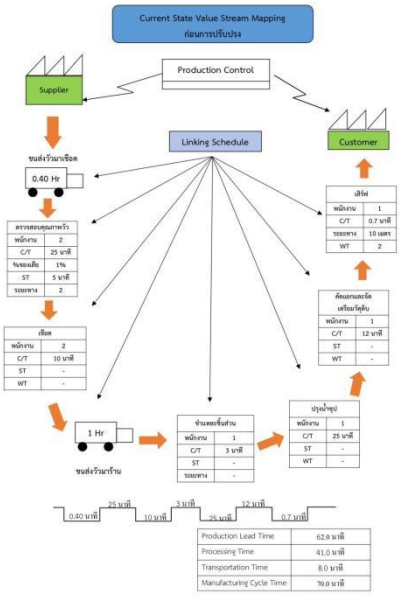
รูปที่ 7 แผนภูมิการไหลของกระบวนการให้บริการ (หลังปรับปรุง)

จากการนำเทคนิค 5W1H, 5 Why และแนวคิด SLP มาช่วยในการเพิ่มพื้นที่การให้บริการมากขึ้นด้วยการปรับปรุงผังบริการเล็กน้อย โดยการขยายพื้นที่ด้านหลังและวางโต๊ะเพิ่มเติม พร้อมทั้งตั้งโต๊ะ (ชั่วคราว) เพื่อรับประทานแจ่วฮ้อนด้านหน้า ทำให้เพิ่มปริมาณการผลิต

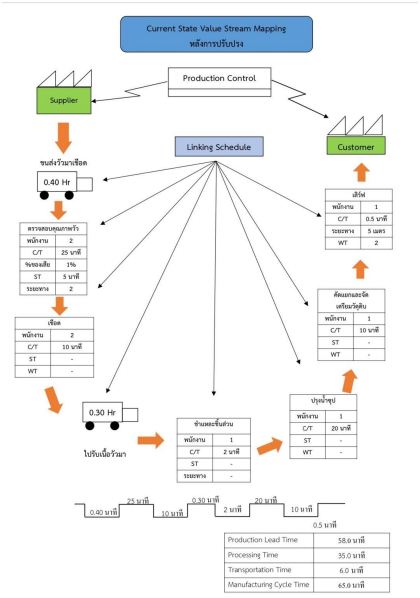
และรองรับลูกค้าในช่วงพีคไทม์ (11:00 – 13:00 น.) จาก 20 คน เป็น 35 คน

นอกจากการปรับปรุงผังให้บริการด้วยการวางตำแหน่งโต๊ะวางเนื้อและเครื่องเคียงแจ่วฮ้อนไว้ตรงกลางร้าน การนำหลักการให้บริการกึ่งบุฟเฟต์และการใช้หลัก Kanban มาช่วยกำหนดตำแหน่งชุดแจ่วฮ้อนที่ลูกค้าต้องการ ยังช่วยลดระยะทางในการเคลื่อนที่ของผู้ให้บริการ ลดจำนวนแรงงาน และลดความสูญเปล่าจากการรอคอยได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังได้มีการวิเคราะห์สายธารคุณค่า (Value Stream Mapping: VSM) เพื่อค้นหาความสูญเปล่าในกระบวนการจัดหาวัตถุดิบ (เช่น เนื้อวัวน้อย) และดำเนินการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าดังแสดงไว้ในรูปที่ 8 และ 9 ทั้งในสถานะปัจจุบันและแนวทางพัฒนาในอนาคต

จากการวิเคราะห์แผนภาพสายธารคุณค่า (VSM) พบว่า ก่อนการปรับปรุง ร้านมีเวลารวมในการจัดหาและให้บริการอาหารเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 30 นาที และสามารถรองรับลูกค้าได้เพียง 20 คนในช่วงพีคไทม์ โดยไม่มีระบบการทำงานมาตรฐาน ส่งผลให้เกิดความสูญเปล่าในรูปแบบ Overprocessing และ Waiting อย่างชัดเจน หลังการปรับปรุงโดยใช้เครื่องมือ Lean Six Sigma และการออกแบบกระบวนการใหม่ เช่น การใช้ SWP, Kanban และการปรับผังร้าน ทำให้เวลาลดลงเหลือเพียง 15 นาที และรองรับลูกค้าได้เพิ่มขึ้นเป็น 35 คน พร้อมทั้งลดความสูญเปล่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการส่งเสริมการตลาดผ่านช่องทางออนไลน์และเพิ่มบริการเดลิเวอรี่ ซึ่งช่วยลดต้นทุนและเพิ่มรายได้ของร้านถึง 20% หลังการปรับปรุง



รูปที่ 8 ผัง VSM การจัดหาวัตถุดิบ (ปัจจุบัน)



รูปที่ 9 ผัง VSM การจัดหาวัตถุดิบ (อนาคต)

7. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้แนวคิดลีนซิกซ์ซิกมา เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตและให้บริการอาหารในร้านอาหารขนาดเล็ก โดยเฉพาะกรณีศึกษาร้านแจ่วฮ้อนวัวน้อย ผ่านกระบวนการ DMAIC และเครื่องมือต่าง ๆ เช่น SWOT Analysis, 7 Waste Analysis, VSM, Pareto Analysis และ SLP ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงดังกล่าวช่วยลดเวลาให้บริการลง 50% เพิ่มจำนวนลูกค้าที่ให้บริการได้ในช่วงพีคไทม์จาก 20 คนเป็น 35 คน ลดความสูญเปล่าในกระบวนการ และเพิ่มรายได้ของร้านถึง 20% บทความนี้จึงเสนอเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพสำหรับผู้ประกอบการร้านอาหารขนาดเล็กที่ต้องการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในอุตสาหกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

8. เอกสารอ้างอิง

- Gürel, E., & Tat, M. (2017). SWOT analysis: A theoretical review. Journal of International Social Research, 10(51), 994–1006.
- ธนภณ นิธิเชาวกุล. (2565). การผสาน SWOT Analysis กับการวิเคราะห์เชิงสถิติในการประเมินองค์กร. วารสารการจัดการและกลยุทธ์ธุรกิจ, 10(2), 112–130.
- สมชาย ใจดี. (2563). การใช้ SWOT Analysis เพื่อประเมินปัญหาและโอกาสทางธุรกิจ: กรณีศึกษาบริษัท ABC. วารสารบริหารธุรกิจและการจัดการยุทธศาสตร์, 8(1), 85–102.
- Antony, J. (2021). Lean Six Sigma for Small and Medium Sized Enterprises: A Practical Guide. CRC Press.

- Sreedharan, V. R., & Raju, R. (2022). Application of Lean Six Sigma in food service industry: A case-based review. International Journal of Lean Six Sigma, 13(2), 256–274.
- Lameijer, B., Vermeulen, R., & Jansen, T. (2023). Reducing waste in small restaurant operations through Lean Six Sigma techniques. Journal of Service Improvement, 8(1), 45–60.
- Ohno, T. (1988). Toyota production system: Beyond large-scale production. Productivity Press.
- Ishikawa, K. (1986). Guide to quality control. Asian Productivity Organization.
- Juran, J. M. (1954). Pareto principle applied to quality control. Juran Institute.
- Kumar, S., & Suresh, N. (2008). Production and operations management (2nd ed.). New Age International Publishers.
- ธนพล สมบัติ และคณิศร ภูนิคม. (2566). การประยุกต์การผลิตแบบลีนโดยการจำลองสถานการณ์ในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป. วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, 9(1), 62–74.
- FTPI. (2021). Food and Beverage Industry Trends Report. Foundation for Thailand Productivity Institute.1954). Pareto principle applied to quality control. Juran Institute

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปจากวัตถุดิบภายในฟาร์มสเตย์ โดยใช้แนวคิด QFD และ Kansei Engineering

Development of Semi-Instant Food Products from Farmstay Ingredients Using QFD and Kansei Engineering

คณิศร ภูนิคม[1] นัชชา โอชา[2] และเพชรน้ำหนึ่ง บุญทอง[3*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
E-mail: natcha.phi.64@ubu.ac.th*

Kanitsorn Poonikom[1], Natcha Ocha[2], Phetnamnueng Boonthong[3*]
[1]Department of Industrial Faculty of Engineering, Ubonratchathani University.
E-mail: natcha.phi.64@ubu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาน้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูปจากวัตถุดิบฟาร์มสเตย์ เพื่อลดปัญหารายได้ไม่แน่นอนจากการพึ่งพานักท่องเที่ยวตามฤดูกาล กลุ่มเป้าหมายได้แก่ นักท่องเที่ยว ผู้บริโภคในชุมชน และร้านอาหารที่มีศักยภาพเป็นลูกค้าเชิงพาณิชย์ โดยใช้การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ(QFD) และวิศวกรรมคันเซย์(Kansei Engineering) เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการและอารมณ์ผู้บริโภค การเก็บข้อมูลประกอบด้วยแบบสอบถาม 100 ชุด การประเมินประสาทสัมผัสจากกลุ่มเป้าหมาย 50 คน และ การทดสอบเปรียบเทียบสามกลุ่ม (A/B/C Testing) บรรจุภัณฑ์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าสูตรที่มี Brix 12–13 และเนื้อปลา 60–70% ได้คะแนนความพึงพอใจสูงสุด ($p = 0.031$) การใช้ Retort Pouch ยืดอายุผลิตภัณฑ์จาก 6 เป็น 12 เดือน และลดต้นทุน 15% ผลการวิเคราะห์ถดถอย (Regression) แสดงว่ารสชาติ ($\beta = 0.43$), อายุการเก็บรักษา ($\beta = 0.31$), ความสะดวก ($\beta = 0.25$) และภาพลักษณ์บรรจุภัณฑ์ ($\beta = 0.21$) มีผลต่อการตัดสินใจซื้อโดยตรง ทั้งนี้ การติดตามสายตา (Eye Tracking) และแผนที่ความร้อน (Heatmap Analysis) ชี้ว่าชื่อผลิตภัณฑ์และภาพอาหารดึงดูดความสนใจ ส่งผลให้ยอดขายเพิ่มขึ้น 35% ฐานลูกค้าเพิ่ม 40% และรายได้ฟาร์มสเตย์เพิ่มขึ้น 30% ภายใน 6 เดือน งานวิจัยนี้ยืนยันว่าเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการสามารถช่วยเพิ่มรายได้ ลดความไม่แน่นอน และยกระดับความสามารถในการแข่งขันของฟาร์มสเตย์อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การพัฒนาผลิตภัณฑ์, อาหารกึ่งสำเร็จรูป, ฟาร์มสเตย์, การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ, วิศวกรรมคันเซย์

Abstract

This study aimed to develop a semi-ready-to-eat rice noodle curry sauce product using farmstay-sourced ingredients to reduce income instability caused by the seasonal reliance on tourism. The target groups included tourists, local community consumers, and restaurant operators with commercial purchasing potential. The research integrated Quality Function Deployment (QFD) and Kansei Engineering to design the product in alignment with consumer needs and emotional preferences. Data were collected through 100 questionnaires, sensory evaluation from 50 target participants, and A/B/C packaging testing. The analysis of variance (ANOVA) revealed that the formula containing curry paste with Brix 12–13 and 60–70% fish content received the highest satisfaction scores ($p = 0.031$). The use of retort pouches extended shelf life from 6 to 12 months and reduced packaging costs by 15%. Regression analysis showed that taste ($\beta = 0.43$), shelf life ($\beta = 0.31$), convenience ($\beta = 0.25$), and packaging image ($\beta = 0.21$) directly influenced purchasing decisions. Moreover, eye tracking and heatmap analysis indicated that product names and food images attracted the most visual attention, resulting in a 35% increase in sales, a 40% expansion of the customer base, and a 30% rise in farmstay revenue within six months. This study confirms that industrial engineering tools can effectively enhance product value, reduce income uncertainty, and strengthen the competitive capability of farmstay businesses in a sustainable way.

Keywords: Product Development, Semi-Processed Food, Farmstay, Quality Function Deployment (QFD), Kansei Engineering.

1. บทนำ

ฟาร์มสเตย์เป็นธุรกิจที่ได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวที่ต้องการสัมผัสวิถีชนบทและเกษตรกรรมเชิงอนุรักษ์ อย่างไรก็ตาม การแข่งขันที่เพิ่มขึ้นจากโฮมสเตย์และคาเฟ่เชิงเกษตรทำให้ผู้ประกอบการต้องหาแนวทางสร้างมูลค่าเพิ่มเพื่อความอยู่รอดทางธุรกิจ ในกรณีของดีเคฟาร์มสเตย์ ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมรวมทั้งศึกษาบริบทและสภาพปัญหาจากสื่อมัลติมีเดีย แล้วนำไปให้ผู้ประกอบการดีเคฟาร์มสเตย์ยืนยันปัญหา ทำให้ทราบว่าดีเคฟาร์มสเตย์พึ่งพารายได้จากนักท่องเที่ยวเป็นหลัก และมีความไม่แน่นอนของตลาด [1] จึงได้เสนอแนวทางลดความเสี่ยงในการดำเนินธุรกิจดีเคฟาร์มสเตย์ด้วยการทำฟาร์มปลาเพื่อจำหน่ายปลาให้แก่แผนกหรือฝ่ายจัดหารายได้ รวมถึงการขายอาหารพร้อมรับประทานของฟาร์มให้แก่นักท่องเที่ยว นอกเหนือจากการจัดกิจกรรมดึงดูดนักท่องเที่ยวที่มีอยู่ ทำให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบในฟาร์มเป็นกลยุทธ์สำคัญในการเพิ่มรายได้และสร้างความยั่งยืนทางธุรกิจ ปัจจุบัน งานวิจัยเกี่ยวกับฟาร์มสเตย์ส่วนใหญ่มุ่งเน้นด้านการจัดการท่องเที่ยวมากกว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ในขณะที่กลุ่มเป้าหมายมีแนวโน้มต้องการอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่สะดวกและมีอัตลักษณ์เฉพาะถิ่น อย่างไรก็ตาม การออกแบบผลิตภัณฑ์อาหารในฟาร์มสเตย์ยังขาดการบูรณาการแนวคิดเชิงวิศวกรรมที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ตอบโจทย์ตลาดอย่างเป็นระบบ แม้ว่าการใช้ การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) และวิศวกรรมคันเซย์จะได้รับการยอมรับในอุตสาหกรรมอาหาร แต่การนำแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้กับฟาร์มสเตย์ยังมีการศึกษาอย่างจำกัด

เพื่อให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปมีประสิทธิภาพมากขึ้น QFD ถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ขณะที่วิศวกรรมคันเซถูกนำมาใช้ในการออกแบบบรสชาติและบรรจุภัณฑ์เพื่อสร้างประสบการณ์ที่สอดคล้องกับอารมณ์ของกลุ่มเป้าหมาย [2] งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาน้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูปจากดีเคฟาร์มสเตย์ ซึ่งคาดหวังว่าจะเป็นต้นแบบสำหรับการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อาหารของฟาร์มสเตย์อื่น ๆ และช่วยเสริมศักยภาพการแข่งขันของธุรกิจ นอกจากนี้ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังสามารถสนับสนุนเศรษฐกิจชุมชนและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรอย่างยั่งยืน [3]

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อรายได้และความไม่แน่นอนของธุรกิจฟาร์มสเตย์ โดยเน้นวิเคราะห์พฤติกรรมการตัดสินใจซื้อของกลุ่มเป้าหมาย

2. ประยุกต์ใช้แนวคิดการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) เพื่อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปจากวัตถุดิบในฟาร์มสเตย์ ให้สอดคล้องกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย

3. ใช้วิศวกรรมคันเซย์ (Kansei Engineering) เพื่อออกแบบรสชาติและบรรจุภัณฑ์ให้สะท้อนภาพลักษณ์ท้องถิ่น และตอบสนองต่ออารมณ์ความรู้สึกของกลุ่มเป้าหมาย

4. วิเคราะห์ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นต่อรายได้และโอกาสการเข้าถึงตลาดใหม่ของฟาร์มสเตย์ ผ่านการทดสอบกลุ่มเป้าหมายจริงและการประเมินทางการตลาด

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพิ่มโอกาสทางธุรกิจและความยั่งยืนของฟาร์มสเตย์ผ่านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ตลาด พร้อมทั้งเพิ่มมูลค่าและสร้างเอกลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์เพื่อความสามารถในการแข่งขันที่สูงขึ้น

4. ขอบเขต

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปจากวัตถุดิบของดีเคฟาร์มสเตย์ บ้านโคกศรี อ.ยางตลาด จ.กาฬสินธุ์ เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และลดความเสี่ยงทางธุรกิจ ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อรายได้ของฟาร์มสเตย์ พร้อมพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ตลาดโดยใช้ การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) กำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ และวิศวกรรมคันเซย์ (Kansei Engineering) ออกแบบรสชาติและบรรจุภัณฑ์ให้สอดคล้องกับอารมณ์กลุ่มเป้าหมาย การวิจัยนี้ใช้ ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ผ่านการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ สำรวจพฤติกรรมกลุ่มเป้าหมาย และทดสอบผลิตภัณฑ์กับกลุ่มเป้าหมาย โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วย การวิเคราะห์ความแปรปรวน และการวิเคราะห์ถดถอย (ANOVA,Regression Analysis) เพื่อตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ ดำเนินการภายใน 12 เดือน ครอบคลุมการศึกษาบริบท พัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์ ทดสอบและปรับปรุงต้นแบบเพื่อนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับบริบทฟาร์มสเตย์ เพิ่มศักยภาพการแข่งขัน และสร้างความยั่งยืนทางธุรกิจ

5. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

5.1 การวิเคราะห์ SWOT

แนวคิด: เป็นเครื่องมือวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์ที่ใช้ประเมิน จุดแข็ง (Strengths), จุดอ่อน (Weaknesses), โอกาส (Opportunities), และภัยคุกคาม (Threats) ขององค์กรหรือผลิตภัณฑ์[4] จุดเด่นของ SWOT คือช่วยให้เข้าใจสถานะปัจจุบันขององค์กรหรือผลิตภัณฑ์เพื่อกำหนดกลยุทธ์ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม จุดอ่อนของแนวคิดนี้คือการพึ่งพาการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ซึ่งอาจมีอคติจากผู้ประเมิน และไม่มีการวัดผลเชิงปริมาณที่แน่ชัด การนำไปใช้มักอยู่ในรูปของการวางแผนเชิงกลยุทธ์และการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง:1.Sreedharan & Raju (2022) ศึกษาการใช้ SWOT Analysis ร่วมกับ Lean Six Sigma ในอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าสามารถลดต้นทุนและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ 2.วราภรณ์

และคณะ (2564) วิเคราะห์ศักยภาพทางการตลาดของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปในประเทศไทย โดยพบว่าการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสามารถเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน

5.2 Quality Function Deployment (QFD)

แนวคิด:QFD เป็นแนวทางที่ช่วยแปลง ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย (Customer Needs) เป็น ข้อกำหนดเชิงเทคนิค (Technical Requirements) โดยใช้ House of Quality (HOQ) [5] แนวคิดนี้ช่วยลดความเสี่ยงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และทำให้ตรงกับตลาดมากขึ้น จุดเด่นของ QFD คือสามารถจัดลำดับความสำคัญของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่กลุ่มเป้าหมายให้ความสำคัญมากที่สุด แต่ข้อจำกัดคือกระบวนการซับซ้อนและต้องการข้อมูลที่แม่นยำ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: 1. Kumar et al. (2019) พบว่า QFD ช่วยเพิ่มความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมาย โดยพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับตลาด 2. ปรียานุช และคณะ (2563) ศึกษาการใช้ QFD ในการพัฒนาอาหารกึ่งสำเร็จรูป พบว่าการเชื่อมโยงความต้องการของกลุ่มเป้าหมายกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน

5.3 วิศวกรรมคันเซย์ (Kansei Engineering)

แนวคิด:เป็นแนวทางออกแบบผลิตภัณฑ์โดยเชื่อมโยง อารมณ์และความรู้สึกของกลุ่มเป้าหมาย กับคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น รสชาติและบรรจุภัณฑ์ เพื่อเพิ่มความดึงดูดของสินค้า [6] จุดแข็งของแนวคิดนี้คือช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถตอบสนองความต้องการของกลุ่มเป้าหมายได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น แต่ข้อเสียคือการเก็บข้อมูล Kansei ต้องใช้กระบวนการเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณร่วมกัน ทำให้ต้องใช้ทรัพยากรและเวลาในการศึกษา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: 1. Schütte et al. (2016) พบว่า Kansei Engineering ช่วยเพิ่มความพึงพอใจด้านรสชาติและดีไซน์ 2.สุพัตรา และคณะ (2565) ศึกษาการออกแบบบรรจุภัณฑ์อาหารไทยโดยใช้ Kansei Engineering พบว่าการใช้สีและลวดลายที่สะท้อนวัฒนธรรมไทยช่วยสร้างภาพลักษณ์พรีเมียมให้กับผลิตภัณฑ์

5.4 การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

แนวคิด: เป็นกระบวนการทดสอบคุณภาพอาหารโดยใช้ประสาทสัมผัส เช่น รสชาติ, กลิ่น, เนื้อสัมผัส และวัดผลด้วย Likert Scale เพื่อประเมินความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมาย [7] จุดเด่นของแนวคิดนี้คือช่วยให้สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับรสนิยมของกลุ่มเป้าหมาย แต่ข้อเสียคือขึ้นอยู่กับปัจจัยทางจิตวิทยาของกลุ่มเป้าหมาย ทำให้ผลลัพธ์อาจมีความผันแปรสูง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: 1. Stone & Sidel (2018) พบว่า Sensory Evaluation ช่วยปรับปรุงรสชาติให้ตรงกับความต้องการตลาด 2.ณัฐวุฒิ และคณะ (2561) ศึกษาการใช้ Sensory Evaluation กับผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทย พบว่าการปรับระดับความเข้มข้นของรสชาติช่วยเพิ่มคะแนนความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมายได้

5.5 การติดตามสายตา (Eye Tracking) และแผนที่ความร้อน (Heatmap Analysis)

แนวคิด: Eye Tracking และ Heatmap Analysis เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมของกลุ่มเป้าหมายโดยวิเคราะห์ จุดที่ได้รับความสนใจมากที่สุด บนบรรจุภัณฑ์ เพื่อช่วยปรับปรุงดีไซน์และกระตุ้นการตัดสินใจซื้อ [8] จุดเด่นคือสามารถเก็บข้อมูลเชิงปริมาณที่แม่นยำเกี่ยวกับพฤติกรรมของกลุ่มเป้าหมายได้โดยตรง แต่ข้อเสียคือเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มีต้นทุนสูง

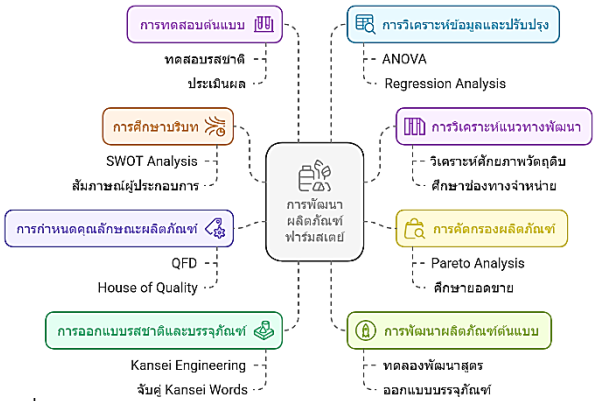
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: 1. Wedel & Pieters (2019) พบว่า Eye Tracking ช่วยออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ดึงดูดกลุ่มเป้าหมายได้ดีขึ้น 2. อรัญญา และคณะ (2564) ใช้ Heatmap Analysis วิเคราะห์บรรจุภัณฑ์อาหารไทย พบว่ากลุ่มเป้าหมายให้ความสนใจชื่อผลิตภัณฑ์และภาพอาหารเป็นหลัก

5.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

แนวคิด:งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ ANOVA วิเคราะห์ความแตกต่างของสูตรน้ำยาขนมจีน และ Regression Analysis เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ เช่น รสชาติ, อายุการเก็บรักษา และบรรจุภัณฑ์ [9,10] จุดแข็งของแนวคิดนี้คือช่วยให้ได้ข้อสรุปที่แม่นยำจากข้อมูลเชิงปริมาณ แต่ข้อเสียคือจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ถูกต้องและครบถ้วนเพื่อให้ผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: 1.Friedman et al. (2020) พบว่า ANOVA ช่วยเลือกสูตรอาหารที่ได้รับคะแนนสูงสุด 2.ชาญชัย และคณะ (2563) ใช้ Regression Analysis วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการซื้อผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป พบว่าปัจจัยด้านรสชาติและความสะดวกในการใช้มีผลมากที่สุด

6. วิธีดำเนินการวิจัย



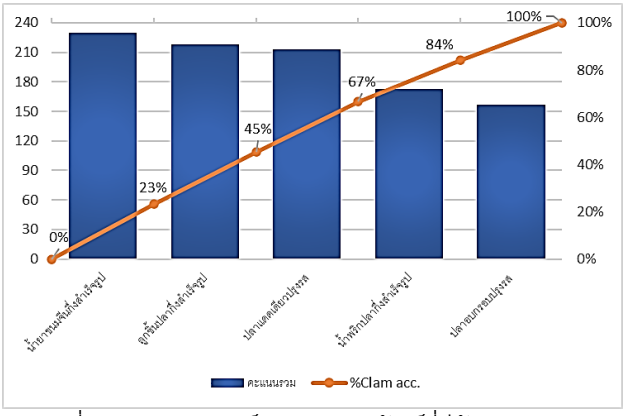
รูปที่ 1 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ฟาร์มสเตย์

วิธีดำเนินการวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์น้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูปจากดีเคย์ฟาร์มสเตย์ โดยใช้แนวทางเชิงวิศวกรรมเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับตลาดและสามารถแข่งขันได้อย่างยั่งยืน ขั้นแรกทำการศึกษาบริบทของฟาร์มสเตย์ผ่านการ

สัมภาษณ์ผู้ประกอบการ วิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และภัยคุกคาม (SWOT Analysis) พร้อมสำรวจพฤติกรรมกลุ่มเป้าหมายด้วยแบบสอบถาม 100 ชุดและสนทนากลุ่ม (Focus Group) เพื่อระบุปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเลือกซื้อ โดยกลุ่มเป้าหมายหลักได้แก่ (1) นักท่องเที่ยวที่เคยเข้าพักหรือมีแนวโน้มจะใช้บริการฟาร์มสเตย์, (2) กลุ่มเป้าหมายในชุมชนท้องถิ่นที่มีโอกาสเข้าถึงผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป, และ (3) ผู้ประกอบการร้านอาหารหรือผู้จัดจำหน่ายที่เป็นกลุ่มเป้าหมายในเชิงพาณิชย์ ข้อมูลเชิงพฤติกรรมจากกลุ่มเป้าหมายเหล่านี้มีนัยสำคัญต่อการวิเคราะห์แนวโน้มการตัดสินใจซื้อ ซึ่งสะท้อนถึงโอกาสในการสร้างรายได้ของฟาร์มสเตย์และความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นตามกระแสความนิยมของผลิตภัณฑ์ จากนั้นใช้หลักการ QFD และวิศวกรรมคันเซย์ เพื่อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เช่น รสชาติ ความสะดวก อายุการเก็บรักษา และบรรจุภัณฑ์ โดยพัฒนาและทดสอบสูตรน้ำยาขนมจีนต้นแบบ 3 สูตร ผ่านการประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) การวิเคราะห์คุณภาพด้านรสชาติและสมบัติกายภาพ ทดสอบความพึงพอใจด้วย Likert Scale และวิเคราะห์ด้วย ANOVA การออกแบบบรรจุภัณฑ์ใช้หลัก Kansei Engineering และทำ A/B/C Testing กับกลุ่มเป้าหมาย 50 คน พร้อมใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสรุปแนวทางปรับปรุงผลิตภัณฑ์ และพัฒนาโมเดลต้นแบบที่สามารถขยายผลกับฟาร์มสเตย์อื่นได้

7. ผลการวิจัย

จากงานวิจัยพบว่ารายได้ของฟาร์มสเตย์พึ่งพานักท่องเที่ยวเป็นหลัก และขาดช่องทางจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ การวิเคราะห์ SWOT ชี้ให้เห็นว่าฟาร์มสเตย์มีจุดแข็งด้านวัตถุดิบสดใหม่และประสบการณ์เชิงเกษตรที่แตกต่าง แต่มีจุดอ่อนเรื่องรายได้ที่ไม่แน่นอนและการแข่งขันจากโฮมสเตย์ จากแบบสอบถาม 100 ชุดและสนทนากลุ่มพบว่า 65% ของกลุ่มเป้าหมายให้ความสำคัญกับรสชาติและคุณภาพวัตถุดิบ ขณะที่ 55% ต้องการผลิตภัณฑ์ที่สะดวกและพกพาได้ และสนใจบรรจุภัณฑ์ที่สะท้อนเอกลักษณ์ท้องถิ่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบในฟาร์มช่วยลดของเสียและเพิ่มมูลค่า แต่ต้องคำนึงถึงต้นทุนบรรจุภัณฑ์และมาตรฐานอายุการเก็บรักษา แนวทางเพิ่มศักยภาพของฟาร์มสเตย์ควรมุ่งเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปที่ตอบโจทย์ตลาด เพื่อสร้างรายได้เสริมและเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมสำหรับดีเคฟาร์มสเตย์ ควรมุ่งเน้นไปที่การใช้วัตถุดิบจากปลาเพื่อเพิ่มมูลค่าและตอบสนองความต้องการของตลาด โดยผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพสูงสุดได้แก่ น้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อปลา, ลูกชิ้นปลากึ่งสำเร็จรูป, และ ปลาแดดเดียวปรุงรสกึ่งสำเร็จรูป จากการวิเคราะห์หลักการ Pareto พบว่า น้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อปลา เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพสูงสุด (คะแนน 230) รองลงมาคือ ลูกชิ้นปลากึ่งสำเร็จรูป (คะแนน 218) และ ปลาแดดเดียวปรุงรส (คะแนน 213) ซึ่งควรพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์รอง ส่วน น้ำพริกปลา และ ปลาอบกรอบปรุงรส ควรเป็นผลิตภัณฑ์เสริมในอนาคต จากแบบสอบถาม 100 ชุดและสนทนากลุ่มพบว่า กลุ่มเป้าหมายให้ความสำคัญกับ รสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ (80%), ความสะดวกในการบริโภค (70%), อายุการเก็บรักษา (72%), และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานง่ายและคงทน (65%) อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ Pareto Chart ในรูปที่ 2 พบว่าไม่ปรากฏลักษณะสัดส่วน 80:20 อย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการจัดลำดับผลิตภัณฑ์พิจารณาจาก 3 ปัจจัยประกอบกัน ได้แก่ ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย, โอกาสทางการตลาด และความคุ้มค่าทางต้นทุน ซึ่งแต่ละผลิตภัณฑ์มีคะแนนรวมค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยผลิตภัณฑ์อันดับ 1 ถึง 3 มีคะแนนรวมอยู่ในช่วง 213–230 หรือคิดเป็นเพียง 74–80% ของคะแนนรวมทั้งหมด ส่งผลให้รูปแบบกราฟไม่ได้แสดงความชันชัดเจนในช่วง 20% ของผลิตภัณฑ์แรกตามหลักการ 80:20 อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ยังสะท้อนให้เห็นถึงลำดับความสำคัญเชิงกลยุทธ์ที่สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 แผนภูมิวิเคราะห์ Pareto ผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพสูงสุด

7.1 การกำหนดคุณลักษณะผลิตภัณฑ์โดยใช้ การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD)

การกำหนดคุณลักษณะเชิงเทคนิคของผลิตภัณฑ์ ความต้องการของกลุ่มเป้าหมายจะถูกแปลงเป็น ข้อกำหนดเชิงเทคนิค ที่สามารถวัดและพัฒนาได้ ดังรูปที่ 5

รูปที่ 10 แสดงการประยุกต์ใช้ House of Quality (HOQ) เพื่อเชื่อมโยงความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย (Customer Needs) กับข้อกำหนดเชิงเทคนิค (Technical Requirements) โดยผู้วิจัยได้จัดกลุ่มความต้องการของกลุ่มเป้าหมายออกเป็น 5 หมวดหลัก ได้แก่ รสชาติ (เช่น ความเข้มข้นและความกลมกล่อม), คุณภาพของวัตถุดิบ (เช่น เนื้อปลาสดและไม่มีสารกันบูด), ความสะดวก (เช่น การอุ่นง่ายและพกพาง่าย), อายุการเก็บรักษา และภาพลักษณ์ของบรรจุภัณฑ์ จากนั้นจึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการเหล่านี้กับข้อกำหนดเชิงเทคนิค อาทิ ค่าความเข้มข้นของเครื่องแกง (Brix 10–15%) ที่มีความสัมพันธ์สูงกับรสชาติที่เข้มข้น, ปริมาณสมุนไพร (5–7%) ที่สัมพันธ์กับกลิ่นหอมเครื่องเทศในระดับปานกลาง, และการเลือกใช้

บรรจุภัณฑ์แบบ Retort Pouch หรือ Vacuum Pack เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาซึ่งมีความสัมพันธ์สูง ทั้งยังมีการพิจารณาความสะดวกในการอุ่นร้อน ≤ 3 นาที และการควบคุมค่า pH และ Water Activity (Aw ≤ 0.85) เพื่อความปลอดภัยของอาหาร รวมถึงขนาดบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับการพกพา โดยการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ใน HOQ แบ่งเป็นสูง (●●●), ปานกลาง (●●), ต่ำ (●) และไม่มีความสัมพันธ์ (-) ดังรูปที่ 6 ซึ่งช่วยให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของข้อกำหนดเชิงเทคนิค เช่น อายุการเก็บรักษา รสชาติ และปริมาณเนื้อปลา ได้อย่างเป็นระบบ โดยอ้างอิงจากข้อมูลแบบสอบถาม การสนทนากลุ่ม และผลการทดลองผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์สามารถตอบโจทย์ตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7.2 การออกแบบรสชาติและบรรจุภัณฑ์โดยใช้ Kansei Engineering

จากการวิจัยโดยใช้แนวทาง Kansei Engineering พบว่าการออกแบบรสชาติและบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์น้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูปสามารถเชื่อมโยงกับอารมณ์และความต้องการของกลุ่มเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำ Kansei ที่กลุ่มตัวอย่างเลือกมากที่สุด ได้แก่ “เข้มข้น”, “หอมเครื่องเทศ”, “ดั้งเดิม”, “พรีเมียม”, “สะดวก” และ “ร่วมสมัย” ซึ่งสะท้อนถึงรสชาติที่ต้องการความเข้มข้นและกลิ่นหอมของเครื่องแกง ควบคู่ไปกับความสะดวกในการบริโภคและบรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานง่าย ผลการพัฒนาสูตรน้ำยาแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเครื่องแกงและสมุนไพรขึ้น 10% ช่วยเพิ่มกลิ่นหอมและรสชาติให้เข้มข้นขึ้น ในขณะที่การใช้เนื้อปลาสด 60-70% ของปริมาณทั้งหมดช่วยให้เนื้อสัมผัสดีขึ้นและรสชาติมีความสมดุล การทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) พบว่า 90% ของกลุ่มตัวอย่างพึงพอใจกับรสชาติที่พัฒนาใหม่ และ 85% ให้คะแนนสูงกับกลิ่นหอมของเครื่องแกง ส่วนในด้านบรรจุภัณฑ์ รูปแบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือบรรจุภัณฑ์ Retort Pouch ที่ออกแบบให้สะท้อนความเป็นไทยแบบพรีเมียม โดยใช้สีทองและลายไทยเพื่อดึงดูดสายตา ผลการทดสอบ Eye Tracking และ Heatmap Analysis พบว่ากลุ่มเป้าหมายให้ความสนใจชื่อผลิตภัณฑ์และภาพอาหารเป็นลำดับแรก และสีบรรจุภัณฑ์ที่ให้ความรู้สึกพรีเมียมช่วยเสริมการตัดสินใจซื้อได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มเป้าหมายมีแนวโน้มเลือกผลิตภัณฑ์ที่สื่อถึง “ความเข้มข้น”, “ดั้งเดิม”, “พรีเมียม” และ “สะดวก” ซึ่งยืนยันว่าการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองต่อคำ Kansei มีผลต่อการตัดสินใจซื้อโดยตรง การนำ Kansei Engineering มาใช้ช่วยให้ดีเคฟาร์มสเตย์สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ตลาดทั้งในแง่ของรสชาติ ความสะดวก และคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

การพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์น้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูปเริ่มจากการกำหนดคุณลักษณะสำคัญโดยใช้ House of Quality (HOQ) และ Kansei Engineering เพื่อแปลงความต้องการของกลุ่มเป้าหมายเป็นข้อกำหนดเชิงเทคนิค พบว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ รสชาติที่เข้มข้นและหอมเครื่องเทศ, เนื้อสัมผัสของปลา, อายุการเก็บรักษา, ความสะดวกในการใช้งาน และรูปแบบบรรจุภัณฑ์ โดยกำหนดค่าความเข้มข้นของเครื่องแกงที่ 10-15 Brix, ปริมาณเนื้อปลา 60-70% และเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ Retort Pouch หรือถุงสูญญากาศ เพื่อยืดอายุผลิตภัณฑ์ 6-12 เดือน จากนั้นพัฒนา 3 สูตรต้นแบบผ่านกระบวนการลองผิดลองถูก (Trial & Error) และทดสอบคุณภาพอาหาร (Food Quality Testing) พบว่าสูตรที่มีค่า Brix 12-13, pH 4.6-5.0 และ Water Activity (Aw) ต่ำกว่า 0.85 ให้รสชาติและอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสม Shelf-Life Testing แสดงให้เห็นว่า Retort Pouch สามารถเก็บได้นาน 12 เดือน, (ถุงสูญญากาศ) Vacuum Pack 6 เดือน และ พลาสติกซีลรูปถ้วย (Plastic Cup Seal) 3 เดือน ด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ได้พัฒนา 3 รูปแบบ ได้แก่ Retort Pouch (อายุเก็บรักษายาวนาน), Vacuum Pack (รักษาคุณภาพดี) และ Plastic Cup Seal (เหมาะกับการจำหน่ายในพื้นที่) โดยใช้ Kansei Engineering และ กระบวนการคิดเชิงออกแบบ ในการออกแบบ ผลการทดสอบ A/B/C Testing พบว่ากลุ่มเป้าหมายให้ความสนใจ Retort Pouch มากที่สุด เนื่องจากสะดวกต่อการใช้งานและสามารถเก็บรักษาได้นาน

7.4 การทดสอบต้นแบบผลิตภัณฑ์

การทดสอบรสชาติและคุณภาพผลิตภัณฑ์ดำเนินการผ่าน การทดสอบแบบปกปิดข้อมูล (Blind Test) กับกลุ่มตัวอย่าง 50 คน โดยใช้ Likert Scale 5 ระดับ พบว่าสูตรที่มีรสชาติเข้มข้นและหอมเครื่องเทศได้รับคะแนนเฉลี่ย 4.6/5 ขณะที่สูตรที่ใช้เนื้อปลาสด 60-70% ได้รับคะแนนสูงสุดด้านเนื้อสัมผัสที่ 4.4/5 ด้านความสะดวกในการใช้งาน 90% ของผู้ทดสอบชอบสูตรที่อุ่นร้อนได้ใน 3 นาที สำหรับการทดสอบบรรจุภัณฑ์ A/B/C Testing พบว่า Retort Pouch ได้รับคะแนนสูงสุด 85% เนื่องจากสะดวกต่อการเก็บรักษาและพกพา Vacuum Pack ได้ 75% เพราะช่วยรักษาคุณภาพของน้ำยาได้ดี ส่วน Plastic Cup Seal ได้คะแนนต่ำสุด 60% เนื่องจากอายุการเก็บรักษาสั้น

7.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและปรับปรุงผลิตภัณฑ์

หลังจากการวิเคราะห์และปรับปรุงผลิตภัณฑ์โดยใช้ Eye Tracking & Heatmap Analysis พบว่า ชื่อผลิตภัณฑ์และภาพอาหาร เป็นจุดที่ดึงดูดสายตากลุ่มเป้าหมายมากที่สุด และ สีบรรจุภัณฑ์โทนทองและน้ำตาล ช่วยเพิ่มการรับรู้ถึงความเป็นอาหารไทยแท้ ส่งผลให้ยอดสั่งซื้อเพิ่มขึ้น 35% ภายใน 3 เดือน

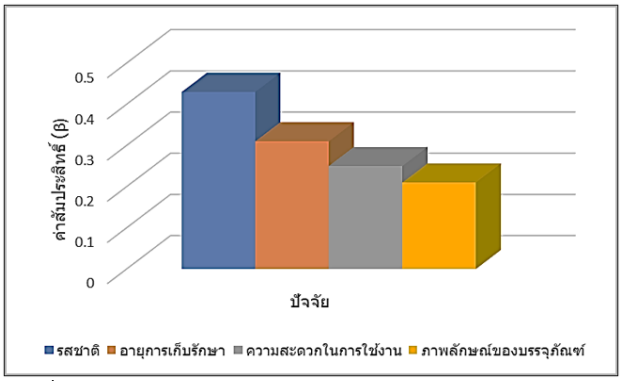
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จากการทดสอบความพึงพอใจของสูตรน้ำยาขนมจีนต้นแบบ 3 สูตร โดยใช้แบบสอบถามแบบ Likert scale กับกลุ่มผู้บริโภค 50 คน พบว่าสูตรที่มีค่าความเข้มข้นของเครื่องแกง (Brix 12–13) และสัดส่วนเนื้อปลา 60–70% ให้คะแนนเฉลี่ย

ด้านรสชาติสูงที่สุด และแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p-value = 0.031)

สูตร	ค่าความเข้มข้น (Brix)	สัดส่วนเนื้อปลา (%)	คะแนนเฉลี่ยรสชาติ	p-value
สูตรที่ 1	11–12	50%	3.5	0.082
สูตรที่ 2	12–13	60–70%	4.3	0.031*
สูตรที่ 3	13–14	70–80%	3.8	0.074

รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของสูตรน้ำยาขนมจีนต้นแบบในด้านความพึงพอใจด้านรสชาติ

ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ทั้งนี้ แม้การวิเคราะห์ House of Quality จะจัดกลุ่มความต้องการของลูกค้าไว้ 5 หมวด แต่ในผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณพบเพียง 4 ปัจจัยหลักที่มีค่าสัมประสิทธิ์เชิงนัยสำคัญทางสถิติ โดยหมวด “คุณภาพวัตถุดิบ” อาจมีความสัมพันธ์ซ้อนทับกับ “รสชาติ” หรือไม่ได้ถูกรับรู้โดยผู้บริโภคในฐานะปัจจัยแยก จึงไม่ปรากฏในโมเดลถดถอย จากแบบสอบถาม 100 ชุด พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อมากที่สุด ได้แก่ รสชาติ (β = 0.43, $p < 0.01$), อายุการเก็บรักษา (β = 0.31, $p < 0.05$), ความสะดวกในการใช้งาน (β = 0.25, $p < 0.05$) และภาพลักษณ์ของบรรจุภัณฑ์ (β = 0.21, $p < 0.05$)
ตัวแปรเหล่านี้สะท้อนพฤติกรรมการซื้อซ้ำของผู้บริโภค มีความสัมพันธ์โดยตรงกับยอดขายและรายได้ของฟาร์มสเตย์ โดยเฉพาะการใช้บรรจุภัณฑ์แบบ Retort ที่สามารถยืดอายุผลิตภัณฑ์และเพิ่มความมั่นใจในการพกพาและอุ่นร้อน ซึ่งสามารถยกระดับศักยภาพการแข่งขันในตลาดอาหารกึ่งสำเร็จรูปได้อย่างยั่งยืน



รูปที่ 4 กราฟผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression) ต่อปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์น้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูป

8. สรุปข้อมูลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาน้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูปจากวัตถุดิบของฟาร์มสเตย์ โดยประยุกต์ใช้ QFD และ Kansei Engineering แปลงความต้องการผู้บริโภคเป็นข้อกำหนดเชิงเทคนิคได้อย่างเป็นระบบ สูตรที่มี Brix 12–13 และเนื้อปลา 60–70% ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงสุดจากกลุ่มตัวอย่าง 50 คน (p-value = 0.031) และการใช้บรรจุภัณฑ์แบบ Retort Pouch ช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์จาก 6 เป็น 12 เดือน พร้อมลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์ลง 15% ผลการทดสอบ Eye Tracking และ Heatmap Analysis ระบุว่าชื่อผลิตภัณฑ์และภาพอาหารเป็นจุดที่ดึงดูดสายตามากที่สุด ขณะที่สีทอง–น้ำตาลของบรรจุภัณฑ์ช่วยเสริมภาพลักษณ์อาหารไทยแท้ ส่งผลให้ยอดสั่งซื้อเพิ่มขึ้น 35% ภายใน 3 เดือน ขยายฐานลูกค้าใหม่ 40% ภายใน 6 เดือน เพิ่มรายได้ฟาร์มสเตย์ 30% และจำนวนผู้เข้าชมเพิ่มขึ้น 20% การวิเคราะห์ Regression จากแบบสอบถาม 100 ชุดชี้ชัดว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อได้แก่ รสชาติ (β = 0.43), อายุการเก็บรักษา (β = 0.31), ความสะดวกในการใช้งาน (β = 0.25) และภาพลักษณ์บรรจุภัณฑ์ (β = 0.21) ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมการซื้อซ้ำและรายได้โดยตรง ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยคือ ควรต่อยอดการพัฒนาไปสู่ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง อาหารสุขภาพ หรือสำหรับผู้สูงอายุ เพื่อขยายตลาดเฉพาะกลุ่ม พร้อมศึกษาความเป็นไปได้ด้านโลจิสติกส์และต้นทุนการผลิตแบบครบวงจร รวมถึงการส่งออกในอนาคต ทั้งนี้ ภาครัฐควรส่งเสริมการบูรณาการองค์ความรู้ทางวิศวกรรมอุตสาหการเข้ากับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ OTOP และอาหารท้องถิ่น เพื่อเพิ่มรายได้ชุมชนอย่างยั่งยืน

9. เอกสารอ้างอิง

[1] สรจักร สุรมิาศย์ & ณฐกร ทองเฟื่อง. (2566). การออกแบบกิจกรรมฟาร์มสเตย์ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ กรณีศึกษา : บ้านโคกศรี อ.ยางตลาด จ.กาฬสินธุ์. รายงานโครงงานหมายเลข QME-1/2566, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2] Huang, X., Zhang, Y., Wang, L., & Chen, J. (2020). Title of the article or book. Journal Name or Publisher, Volume(Issue), pages.
[3] Li, Y., Zhou, B., Ma, H., & Sun, K. (2019). Title of the article or book. Journal Name or Publisher, Volume(Issue), pages.
[4] E. Gürel and M. Tat, “Title of the article or book,” Journal Name, vol. X, no. X, pp. X–X, 2017, doi: XXXX.
[5] Y. Akao, Title of the book, Publisher, 1990.
[6] M. Nagamachi, “Title of the article or book,” Journal Name, vol. X, no. X, pp. X–X, 2002.
[7] M. Meilgaard, G. V. Civille, and B. T. Carr, Title of the book, Publisher, 2016.
[8] A. T. Duchowski, Title of the book, Publisher, 2017.
[9] D. C. Montgomery, Title of the book, Publisher, 2017.
[10] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin, and R. E. Anderson, Title of the book, Publisher, 2019.

ความต้องการของลูกค้า	ข้อกำหนดเชิงเทคนิค	เกณฑ์ที่กำหนด	ที่มา
รสชาติที่เข้มข้น	ค่าความเข้มข้นของเครื่องแกง (Brix)	10-15%	อ้างอิงจากมาตรฐานอุตสาหกรรมอาหารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอาหารไทย
เนื้อสัมผัสที่ดี	ปริมาณสมุนไพร	5-7%	วิเคราะห์จากความต้องการของผู้บริโภคผ่านแบบสอบถามและสนทนากลุ่ม
อายุการเก็บรักษายาวนาน	ปริมาณเนื้อปลา	60-70% ของน้ำหนักรวม	อ้างอิงจากมาตรฐานอุตสาหกรรมและแนวทางการผลิตอาหารกึ่งสำเร็จรูป
บรรจุภัณฑ์ใช้งานง่าย	การใช้เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ Retort Pouch หรือ Vacuum Pack	Retort Pouch / Vacuum Pack	อ้างอิงจากมาตรฐานบรรจุภัณฑ์อาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา
ความสะดวกในการอุ่นร้อน	การควบคุมค่า pH และ Water Activity (Aw)	pH 5.5-6.5 / Aw ≤ 0.85	อ้างอิงจากมาตรฐานการควบคุมจุลินทรีย์ในอาหารแปรรูป
รสชาติที่มีความเป็นเอกลักษณ์	การออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่สะดวกต่อการพกพา	ขนาด 150-250 กรัม	วิเคราะห์จากพฤติกรรมผู้บริโภคที่นิยมบรรจุภัณฑ์ขนาดพกพา
ไม่มีสารกันบูด	ไม่มีการใช้สารกันบูด	0% Preservative	อ้างอิงจากแนวโน้มตลาดอาหารเพื่อสุขภาพที่ต้องการผลิตภัณฑ์ปลอดสารกันบูด
เหมาะสำหรับทุกเพศทุกวัย	สามารถอุ่นร้อนได้ใน 3 นาที	≤ 3 นาที	วิเคราะห์จากพฤติกรรมของผู้บริโภคที่ต้องการความสะดวกในการบริโภค
สามารถพกพาและจัดเก็บง่าย	บรรจุภัณฑ์ที่ช่วยรักษาคุณภาพและอายุการเก็บรักษา	เก็บรักษาได้นาน 6-12 เดือน	อ้างอิงจากมาตรฐานอุตสาหกรรมอาหารกึ่งสำเร็จรูป
เหมาะกับการรับประทานร่วมกับเมนูอื่น ๆ	ความเหมาะสมกับรูปแบบการรับประทานร่วมกับอาหารอื่น	คงสภาพรสชาติเมื่อนำไปรับประทานร่วมกับเมนูอื่น	วิเคราะห์จากการทดสอบประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

รูปที่ 5 ตารางการแปลงความต้องการของลูกค้าเป็นข้อกำหนดเชิงเทคนิคของผลิตภัณฑ์น้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูป

Customer Needs	ค่าความเข้มข้นของเครื่องแกง (Brix)	ปริมาณสมุนไพร	ปริมาณเนื้อปลา	อายุการเก็บรักษา	pH & Water Activity	การออกแบบบรรจุภัณฑ์	ความสะดวกในการอุ่นร้อน	ไม่มีสารกันบูด	ความเหมาะสมกับการรับประทาน
รสชาติที่เข้มข้น	●●●	●●●	●	-	-	-	-	-	●●
เนื้อสัมผัสที่ดี	-	●	●●●	-	-	-	-	-	●
อายุการเก็บรักษา	-	-	-	●●●	●●	-	-	-	-
บรรจุภัณฑ์ใช้งานง่าย	-	-	-	-	-	●●●	-	-	-
ความสะดวกในการอุ่นร้อน	-	-	-	-	-	-	●●●	-	-
รสชาติที่มีเอกลักษณ์	●●	●●	●	-	-	-	-	-	-
ไม่มีสารกันบูด	-	-	-	-	-	-	-	●●●	-
เหมาะสำหรับทุกเพศทุกวัย	-	-	-	-	-	-	●●	-	-
สามารถพกพาและจัดเก็บง่าย	-	-	-	●●●	-	●●	-	-	-
เหมาะกับการรับประทานร่วมกับเมนูอื่นๆ	-	-	-	-	-	-	-	-	●●●

รูปที่ 6 House of Quality (HOQ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้าและข้อกำหนดเชิงเทคนิคของผลิตภัณฑ์น้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูป

ข้อกำหนดเชิงเทคนิค	ค่าความเข้มข้นของเครื่องแกง (Brix)	ปริมาณสมุนไพร	ปริมาณเนื้อปลา	อายุการเก็บรักษา	pH & Water Activity	การออกแบบบรรจุภัณฑ์	ความสะดวกในการอุ่นร้อน	ไม่มีสารกันบูด	ความเหมาะสมกับการรับประทาน
ค่าความเข้มข้นของเครื่องแกง (Brix)		●	●●	-	●	-	-	-	●
ปริมาณสมุนไพร	●		●●	-	-	-	-	-	-
ปริมาณเนื้อปลา	●●	●●		●	-	-	-	-	●●
อายุการเก็บรักษา	-	-	●		●●	●	-	●●	-
pH & Water Activity	●	-	-	●●		●	●●	●●	-
การออกแบบบรรจุภัณฑ์	-	-	-	●	●		●	-	-
ความสะดวกในการอุ่นร้อน	-	-	-	-	●●	●		-	●
ไม่มีสารกันบูด	-	-	-	●●	●●	-	-		-
ความเหมาะสมกับการรับประทาน	●	-	●●	-	-	-	●	-	

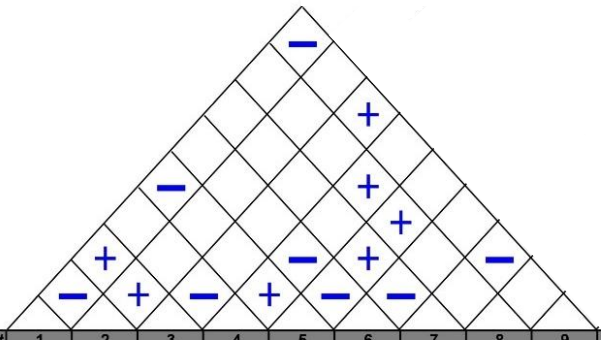
รูปที่ 7 ตาราง House of Quality ส่วนหลังคา (Technical Correlation Matrix)
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดเชิงเทคนิคของผลิตภัณฑ์น้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูป

ข้อกำหนดเชิงเทคนิค	Direction of Improvement	**หมายเหตุ**
ค่าความเข้มข้นของเครื่องแกง (Brix)	▲ เพิ่มขึ้น	เพื่อให้รสชาติเข้มข้นขึ้น
ปริมาณสมุนไพร	▲ เพิ่มขึ้น	เพื่อให้กลิ่นและรสชาติชัดเจนขึ้น
ปริมาณเนื้อปลา	▲ เพิ่มขึ้น	เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสที่ดี และคงรสชาติดั้งเดิม
อายุการเก็บรักษา	▲ เพิ่มขึ้น	เพื่อให้สามารถเก็บได้นานขึ้นโดยไม่เสียคุณภาพ
pH & Water Activity	× กำหนดค่ามาตรฐาน	ควบคุมค่า pH 5.5-6.5 และ Aw ≤ 0.85 เพื่อความปลอดภัยของอาหาร
การออกแบบบรรจุภัณฑ์	× กำหนดค่ามาตรฐาน	ต้องเลือกวัสดุที่เหมาะสม เช่น Retort Pouch หรือ Vacuum Pack
ความสะดวกในการอุ่นร้อน	▲ เพิ่มขึ้น	ลดเวลาในการอุ่นร้อนให้สะดวกมากขึ้น (≤ 3 นาที)
ไม่มีสารกันบูด	× กำหนดค่ามาตรฐาน	ต้องเป็น 0% ไม่มีสารกันบูด
ความเหมาะสมกับการรับประทาน	▲ เพิ่มขึ้น	คงรสชาติเมื่อรับประทานร่วมกับอาหารอื่น

รูปที่ 8 ตารางทิศทางการปรับปรุงข้อกำหนดเชิงเทคนิคของผลิตภัณฑ์น้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูป

ข้อกำหนดเชิงเทคนิค	**เป้าหมายหรือค่าจำกัด (Target or Limit Value)**	**ค่าความยากง่ายของการพัฒนา (Difficulty Rating, 0-10)**
ค่าความเข้มข้นของเครื่องแกง (Brix)	10-15%	6
ปริมาณสมุนไพร	5-7%	5
ปริมาณเนื้อปลา	60-70% ของน้ำหนักรวม	7
อายุการเก็บรักษา	เก็บรักษาได้นาน 6-12 เดือน	8
pH & Water Activity (Aw)	pH 5.5-6.5 / Aw ≤ 0.85	7
การออกแบบบรรจุภัณฑ์	ขนาด 150-250 กรัม	5
ความสะดวกในการอุ่นร้อน	≤ 3 นาที	4
ไม่มีสารกันบูด	0% Preservative	6
ความเหมาะสมกับการรับประทานร่วมกับเมนูอื่น	คงสภาพรสชาติเมื่อเข้ากับเมนูอื่น	4

รูปที่ 9 ตารางเป้าหมายและความยากง่ายของการพัฒนาข้อกำหนดเชิงเทคนิคของผลิตภัณฑ์น้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูป



Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows") / Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	ค่าความชื้นของเครื่องแกง (Brix)	ปริมาณเส้นใหญ่	ปริมาณน้ำมันปลา	อายุการเก็บรักษา	pH & Water Activity	การออกแบบบรรจุภัณฑ์	ความสะดวกในการอุ่นร้อน	ไม่มีสารกันบูด	ความเหมาะสมกับการรับประทาน
				Column #	1	2	3	4	5	6	7	8	9
				Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	▲	▲	▲	▲	x	x	▲	x	▲
1	9			รสชาติที่เข้มข้น	Θ	Θ	▲						O
2	9			เนื้อสัมผัสที่ดี		▲	Θ						▲
3	9			อายุการเก็บรักษา				Θ	O				
4	9			บรรจุภัณฑ์ใช้งานง่าย						Θ			
5	9			ความสะดวกในการอุ่นร้อน							Θ		
6	3			รสชาติที่มีเอกลักษณ์	O	O	▲						
7	9			ไม่มีสารกันบูด								Θ	
8	3			เหมาะสำหรับทุกเพศทุกวัย							O		
9	9			สามารถพกพาและจัดเก็บง่าย				Θ		O			
10	9			เหมาะกับการรับประทานร่วมกับเมนูอื่น ๆ									Θ
				Target or Limit Value	10 - 15%	5 - 7%	60 - 70% ของน้ำหนักรวม	เก็บรักษาได้นาน 6 - 12 เดือน	pH 5.5 - 6.5 / Aw <= 0.85	ขนาด 150 - 250 กรัม	<= 3 นาที	0% Preservative	คงลักษณะรสชาติเมื่อเข้ากับเมนูอื่น
				Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	6	5	7	8	7	5	4	6	4
				Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	3	9	9	9	9

รูปที่ 10 House of Quality (HOQ) แบบสมบูรณ์สำหรับการพัฒนาน้ำยาขนมจีนกึ่งสำเร็จรูป

ข้อกำหนดเชิงเทคนิค	น้ำหนักจาก HOQ (%)	Relative Weight (%)	ลำดับความสำคัญ
ค่าความเข้มข้นของเครื่องแกง (Brix)	20%	18%	2
ปริมาณสมุนไพร	10%	8%	6
ปริมาณเนื้อปลา	15%	15%	3
อายุการเก็บรักษา	25%	22%	1
pH & Water Activity	18%	17%	4
การออกแบบบรรจุภัณฑ์	12%	10%	5
ความสะดวกในการอุ่นร้อน	10%	8%	6
ไม่มีสารกันบูด	8%	7%	7
ความเหมาะสมกับการรับประทาน	7%	5%	8

รูปที่ 11 ลำดับความสำคัญของข้อกำหนดเชิงเทคนิคจากการวิเคราะห์ House of Quality (HOQ)

Improving Spare Parts Retrieval Process with ABC Classification: A Case Study in Automotive Warehouse

Korapin Jirapong[1] Nattida Tachaboon[2] Nattakitta Rueangjantee[3] Nattanan Saensri[4] Tinnakorn Phongthiya[5 *]
[1,2,3,4,5] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
E-mail: korapin.j@cmu.ac.th[1], nattida.t@cmu.ac.th[2], nattanansaensri@gmail.com[3], nutkittarjt@gmail.com[4], tinnakorn.phongthiya@cmu.ac.th[5 *]

Abstract

This study investigates spare parts retrieval inefficiencies in a multi-floor automotive warehouse in Chiang Mai, where disorganized storage layouts have led to increased retrieval time and labor costs. With rising demand for vehicle maintenance, the complexity of managing spare parts has intensified, requiring more systematic approaches. To address this, the research applied ABC Analysis, Warehouse Management System (WMS) principles, and rectilinear distance measurement to redesign the storage layout. The analysis utilized 30 recorded repair orders from January to December 2022, which were used to measure retrieval distances before and after implementing the layout improvement. The results showed a reduction in average retrieval distance from 10.01 meters to 8.79 meters—a 12.19% decrease. The results underscore the value of structured inventory strategies in significantly enhancing operational efficiency within automotive service environments.

Keywords: Parts retrieval process, Warehouse management, ABC classification, Storage optimization

1. Introduction

Automobiles are regarded as necessary conveniences for day-to-day living. Given that cars need part replacements and usage-based maintenance, this expansion highlights the importance of the automobile repair and maintenance industry.

This study focuses on a major automotive repair and maintenance center in Chiang Mai, where inefficiencies in spare parts retrieval have been identified. The repair center operates a large-scale warehouse that spans three floors, making the retrieval process complex and time-consuming. Observations revealed that frequently used spare parts were often stored in less accessible areas, increasing retrieval time and labor requirements. Additionally, as new car models are introduced, new spare parts continuously enter the inventory, further complicating storage and organization.

The objective of this research is to optimize the spare parts retrieval process by reducing retrieval distance and improving storage efficiency. This study focuses specifically on the maintenance department's warehouse, which is responsible for handling spare parts issuance and repair work.

The structure of this paper is as follows: Section 2 provides a review of relevant literature, Section 3 details the research methodology, Section 4 presents the results, Section 5 discusses the conclusions, and Section 6 outlines the study's limitations and directions for future research.

2. Related Principles and Theories

This section provides an overview of key principles and theories that guide warehouse optimization and spare parts retrieval improvement.

2.1 Warehouse Management

Efficient warehouse management plays a vital role in supply chain processes, significantly impacting both logistics performance and customer satisfaction [1, 2]. It involves multiple aspects such as warehouse layout, strategic planning systems, inventory management, storage allocation, and decision-making for inbound and outbound processes [3]. Properly managing warehouses ensures streamlined operations, supports investment justification, maintains quality during storage and retrieval, reduces losses, lowers operational expenses, and optimizes space usage. Well-designed warehouse layouts contribute to improved operational efficiency. According to Harmon (1993), organizing zones based on product categories and frequency of use can greatly reduce travel time, streamlining the workflow [1]. Similarly, Faber et al. (2013) argue that proper organization minimizes mistakes and enhances overall productivity [3].

2.2 Warehouse Planning System

Warehouse planning systems serve as essential tools for guiding operational decision-making [3]. They support various tasks, including demand forecasting, inventory management, stock planning, storage location designation, and transportation planning [2].

- **Stock Planning:** Involves deciding which products to keep in stock, determining their quantities, and scheduling replenishment.
- **Storage Location Planning:** Focuses on identifying suitable storage methods and allocating zones for product placement. Effective planning helps reduce costs by optimizing inventory levels, minimizing space usage, decreasing travel times for storage and retrieval, and improving the efficiency of order-picking processes.

2.3 ABC Analysis

ABC Analysis categorizes inventory based on value and consumption rate [4]. It prioritizes products as follows:

- Group A (60-80%): High-value items with low quantity
- Group B (15-20%): Moderate-value items with medium quantity
- Group C (5-10%): Low-value items with high quantity

This prioritization helps optimize resource allocation by focusing on high-value items stored closer to packing areas to minimize picking times [4]. Numerous studies have underscored the utility of ABC Classification in enhancing warehouse operations. Opassuwan et al, (2025) demonstrated the application of ABC Classification in a small-scale manufacturing context to address issues such as disorganized storage and inefficient retrieval [5]. The study employed industrial engineering tools—including cause-and-effect analysis and visual controls—to redesign the layout and standardize inventory practices, resulting in a reduction in daily operational costs.

Mongkolkittaveepol et al. (2023) emphasized incorporating multiple criteria into ABC Classification, combining it with spatial considerations to ensure frequently used spare parts were stored closer to the entrance [6]. This approach improved efficiency by factoring in both product importance and location.

Phongthiya et al. (2022) further applied ABC Analysis with linear programming and AHP to design alternative warehouse layouts, ultimately selecting one that minimized retrieval distance and costs while maximizing space utilization [7]. Together, these studies underscore the practicality of integrating ABC Analysis with optimization tools to enhance warehouse performance, especially for small and medium-sized enterprises.

3. Methodology

This section describes the research design, including company workflow analysis, measurement techniques, warehouse layout optimization, warehouse layout development, and the evaluation of retrieval performance before and after the improvements.

3.1 Analyzing Workflow of the Case Study

The first stage focuses on examining and collecting data related to the existing warehouse management system. The study involved observing key operational processes, inventory storage arrangements, and spare parts retrieval workflows. Once the data was gathered, a thorough analysis was conducted to pinpoint inefficiencies and determine the root causes of retrieval delays. The assessment particularly emphasized storage organization, retrieval distances, and the placement of frequently used spare parts. These insights served as the basis for developing an optimized layout aimed at enhancing retrieval efficiency.

3.2 Measuring Average Distance for Parts Retrieval Process

The average distance for spare parts retrieval will be measured before the improvement using the Rectilinear Distance Method. Thirty repair orders requiring at least five spare parts will be selected as samples to calculate the employee's movement distance from receiving the repair order to delivering the spare parts to the inspection area.

The Rectilinear Distance Method measures distance along the X and Y axes, suitable for walking paths between departments, as shown in equation (1) as follows.

$$d_{ij} = |\Delta x| + |\Delta y| + |\Delta z| \quad (1)$$

Where d_{ij} is the distance between department i to department j, Δx is the difference in distance along the X-axis, Δy is the difference in distance along the Y-axis.

3.3 Warehouse Layout Analysis and Design

The warehouse layout is analyzed and designed based on cumulative usage frequency, part size, and weight to categorize spare parts according to ABC Analysis principles.

- **Usage Frequency Classification:** Spare parts are categorized based on cumulative usage frequency from issuance data between January and December 2022.
- **Size Classification:** Parts are grouped according to size using ABC Analysis, combined with Warehouse Management System (WMS) principles and inventory storage design theories.
- **Weight Classification:** Parts are classified by weight using ABC Analysis alongside manual handling guidelines to comply with maximum weight limits in the workplace.

3.4 Warehouse Layout Development

A new warehouse layout is created by grouping frequently used spare parts close together and arranging them based on cumulative usage frequency, size, and weight. The average retrieval distance for each repair order is recalculated without physically relocating spare parts in the actual warehouse.

3.5 Distance Comparison Before and After Improvement

The average distance of the spare parts retrieval process is compared before and after the layout improvement. The effectiveness of the new layout is evaluated by comparing the average retrieval distance from 30 repair orders before and after the improvement.

4. Research Result

This section outlines the research results, including workflow of the case study, measurement techniques, warehouse layout analysis and design, warehouse layout development, and pre- and post-improvement evaluation.

4.1 Analyzing Workflow of the Case Study

The study focuses on the maintenance department, specifically on reducing the distance traveled during the spare parts retrieval process. The analysis starts with receiving repair orders from technicians. The repair order submission point serves as a reference for measuring the distance of each spare part across different axes. This reference is also used to assess the three storage levels in the building, tracking the process from retrieving spare parts from the shelves to verifying them at the designated submission point.

Through this workflow analysis, the study identifies a major issue in spare parts retrieval. The company services all vehicle models under its brand, requiring a large inventory of spare parts. This leads to delays in locating parts, as some items on the repair orders are stored far apart. Additionally, larger spare parts are stored on the second and third floors due to space limitations on the first floor, making transportation and retrieval more challenging.

4.2 Measuring Average Distance for Parts Retrieval Process

Prior to making improvements, the average distance for retrieving spare parts was measured using the Rectilinear Method. A random sample of 30 repair orders was selected, using the door or repair order submission point as the reference to track employee

movement from receiving the order to delivering the parts. To enhance calculation efficiency, only repair orders that required five or more spare parts were included in the sample. Table 1 displays the distance calculations for locating each spare part on the storage shelves. The shelf codes are prefixed with a letter, representing the building level where the parts are stored:

- 'A' indicates storage on the first floor
- 'B' indicates storage on the second floor
- 'C' indicates storage on the third floor

The sample repair orders show that a single requisition may require retrieving parts from both the first and second floors simultaneously. The distances were calculated based on the relative positions of each part.

The average retrieval distance for all 30 randomly selected repair orders was measured before making any adjustments. The final average was calculated across all 30 orders, considering all spare parts stored in the warehouse. The store entrance door was used as a reference point for all measurements to ensure consistency.

Table 1 Sample of Distance Calculation

No.	Shelf No.	Item No.	$\|\Delta x\| + \|\Delta y\| + \|\Delta z\|$	Distance (m)
1	A-01-02-A	8943403170	|4.895|+|-4.08|+|0|	8.975
2	A-03-01-B	8979203442	|3.885|+|-2.39| +|0.27|	6.545
3	A-03-02-B	8943774171	|4.895|+|-2.39| +|0.27|	7.555
4	A-03-05-D	8941754330	|9.045|+|-2.39| +|0.78|	12.215
5	A-03-05-D	8941754340	|9.045|+|-2.39| +|0.78|	12.215
6	B-03-05-G	8979445091	|5.915|+|-4|+|4|	14.915

4.3 Warehouse Layout Analysis and Design

The spare parts warehouse layout was analyzed and designed using ABC Analysis, which categorizes spare parts based on cumulative usage frequency, size, and weight.

4.3.1 Categorization by cumulative usage frequency data

The first category was categorized by cumulative usage frequency data from Sales Reports or spare parts requisition records from January to December 2022. The parts were then grouped according to usage patterns. In this process, parts that were not stored in the warehouse were excluded from the calculation, as some parts are ordered and used immediately without being registered in the inventory system.

- Group A (High-frequency usage parts)
- Group B (Medium-frequency usage parts)
- Group C (Low-frequency usage parts)

4.3.2 Classification of Spare Parts by Size

The classification of spare parts by size was carried out using the Warehouse Management System and inventory storage design theory. All available data were categorized in conjunction with ABC Analysis to optimize warehouse organization. From the collected data, most spare parts stored in the warehouse are small-sized components such as gaskets, seals, and bolts. These are typically stored in standardized boxes with a width of 18 cm.

In contrast, large-sized spare parts are rare, with the largest item being a car front grille measuring 110 cm. in width. Based on the existing inventory, spare parts were classified into three size groups to maximize storage efficiency.

- Group A (Small-sized parts): Width 0 - 35 cm
- Group B (Medium-sized parts): Width 35.1 - 70 cm
- Group C (Large-sized parts): Width 70.1 - 110 cm

4.3.3 Classification of Spare Parts by Weight

Spare parts were categorized by weight using the Warehouse Management System, inventory storage design theory, and ABC Analysis. Since most spare parts in the warehouse are small and stored in boxes, weighing individual items was not feasible. Small parts are typically lightweight, while some larger parts vary in size and weight. According to the Manual Handling Guidelines for Maximum Weight Limit at Work, the recommended maximum lifting weight for men, when carrying items close to the body at waist height, is 5 kilograms. Based on this guideline, spare parts were classified into two weight categories, referencing the existing inventory:

- Group A (Lightweight parts): 0 – 5 kg
- Group B (Heavy parts): Above 5 kg (only 52 items in stock).

4.4 Warehouse Layout Development

Given the warehouse conditions, ABC Analysis was used primarily to categorize spare parts based on cumulative usage frequency. However, for effective layout optimization, additional factors such as part size and weight were also considered. By integrating ergonomic principles, the storage system was redesigned to enhance both retrieval efficiency and organizational logic. The process began with classifying parts by usage frequency, followed by adjustments based on size and weight.

In the revised layout, similar spare parts are grouped together. Frequently used items are positioned closest to the reference point on the first floor, while less frequently used parts are stored on upper floors—starting from the right and moving left in sequence.

Large, heavy parts are placed on lower shelves for easier handling, whereas large but lightweight parts can be stored on higher shelves. Following the reorganization, most spare parts were located on the first floor, with a few low-usage items on the second floor and none on the third. Table 2 presents ten representative spare part positions before and after the improvement, while Figure 1 illustrates their layout.

Table 2 Position of ten representative spare parts before and after the redesign.

Code	Freq. Class	Weight Class	Size Class	Shelf No.		Distance	
				Before	After	Before	After
A1	A	A	A	A-08-02-C	A-03-01-E	9.39	7.30
A2	A	A	A	A-05-05-E	A-03-01-E	12.47	7.30
A3	A	B	A	B-03-06-A	A-02-04-A	14.52	10.93
B1	B	A	C	C-09-04-A	B-07-04-B	20.57	13.78
B2	B	A	B	B-11-04-B	A-06-03-A	18.99	6.93
B3	B	B	A	B-03-02-B	A-09-04-A	16.73	14.28
B4	B	A	C	C-09-04-A	B-07-04-A	20.57	13.42
C1	C	B	C	B-07-01-B	B-11-00-A	16.72	16.52
C2	C	A	A	C-00-02-A	A-08-03-D	20.69	10.88
C3	C	A	C	C-04-04-A	A-06-02-D	15.91	7.75



Figure 1 Layout of ten representative spare part before and after the redesign.

4.5 Distance Comparison Before and After Improvement

The evaluation of the distance was conducted without physically relocating any spare parts in the actual inventory by comparing the average retrieval distance before and after the improvement of the same 30 repair orders. The results are presented in Table 3.

After conducting a one-tailed Z-test to compare pre- and post-distance measurements, the resulting p-value is 0.00033, which is well below the significance level of 0.05. This provides strong statistical evidence that the reduction in post-distance following the redesign is significant.

Table 3 Retrieved distance before and after organized.

Order No.	Pre-Distance	Post-Distance	Diff.
1	9.39	7.30	2.09
2	8.77	7.30	1.47
3	10.79	9.17	1.62
4	12.47	7.30	5.17
5	9.57	8.50	1.07
6	9.78	11.95	-2.17
7	8.77	7.30	1.47
8	10.40	11.92	-1.52
9	10.29	9.23	1.06
10	10.65	9.05	1.60
11	11.19	8.01	3.18
12	10.18	10.76	-0.58
13	10.18	10.76	-0.58
14	10.79	9.17	1.62
15	8.37	8.07	0.30
16	10.20	8.33	1.87
17	8.66	7.30	1.36
18	9.49	10.02	-0.53
19	7.80	9.87	-2.07
20	10.65	12.00	-1.35
21	8.67	7.06	1.61
22	10.72	7.77	2.95
23	8.77	7.30	1.47
24	10.59	8.36	2.23
25	8.77	7.06	1.71
26	8.97	7.05	1.92
27	9.35	9.51	-0.16
28	10.95	11.68	-0.73
29	12.59	7.30	5.29
30	12.59	7.30	5.29
AVG	**10.01**	**8.79**	**1.22**

5. Conclusion

This study aimed to improve the spare parts retrieval process in an automotive warehouse by optimizing the storage layout. The primary challenge identified was the inefficiency in locating spare parts, particularly large components stored on upper shelves, which contributed to longer retrieval times. This issue was exacerbated by the continuous addition of new spare parts for newly released vehicle models, leading to a disorganized storage system.

To address these challenges, the warehouse layout was redesigned using the ABC Analysis method, incorporating cumulative usage frequency, size, and weight classifications based on Warehouse Management System (WMS) guidelines and inventory storage design theories. By integrating ergonomic principles, the new layout aimed to minimize retrieval time and enhance operational efficiency without requiring physical reorganization of the existing warehouse.

The effectiveness of the proposed layout was assessed through an evaluation of 30 repair orders, comparing the average retrieval distance before and after the redesign. The results demonstrated a reduction in the average retrieval distance from 10.01 meters to 8.79 meters, representing a 12.19% improvement. The Z-test provides the the significant reduction. This finding highlights the potential benefits of strategic warehouse organization in reducing retrieval inefficiencies and improving overall workflow.

6. Limitations and Future Research

This study presents an approach to optimizing warehouse efficiency through improved spare parts storage, but several limitations should be acknowledged. One limitation is the data constraints. As the analysis was based on a sample of 30 repair orders, it may not fully capture the variability in different operational conditions or time periods. Additionally, the study assumes a static warehouse layout, whereas real-world conditions often require dynamic adjustments due to seasonal demand fluctuations, new vehicle models, or supplier constraints. A more adaptive storage model could enhance long-term efficiency.

Another limitation of this study is the absence of real-world implementation and testing of the proposed layout improvements. While the redesigned layout was evaluated based on measured retrieval distances from existing repair orders, it was not physically applied within the actual warehouse environment. As a result, potential operational challenges—such as employee adaptation, space constraints, and unforeseen logistical complications—were not fully explored. Moreover, this study primarily focuses on a manual retrieval process and does not incorporate warehouse automation technologies such as RFID tracking, automated shelving, or robotic retrieval systems, which could significantly reduce retrieval time and human workload.

For future research, an important next step would be real-world implementation of the proposed warehouse layout to measure its impact on retrieval efficiency, employee workflow, and overall performance. Further studies could explore integrating multi-criteria ABC classification, including item value and supply risk, to improve inventory prioritization. Additionally, incorporating automation technologies such as automated storage and retrieval systems (AS/RS) and digital tracking solutions could further enhance inventory management. For instance, Zhai (2024) analyzed Walmart's supply chain management practices and found that integrating visualization tools and real-time data analytics significantly improved warehouse operations by enhancing decision-making and reducing retrieval time [8]. Similar technologies, such as digital twins or RFID tracking, could offer a more dynamic and adaptive inventory approach, enabling continuous optimization based on real-time demand. Additionally, applying machine learning or AI to predict spare parts demand and dynamically adjust storage locations could improve warehouse efficiency. Zhang et al. (2021) examined AI in Alibaba's fulfillment centers and highlighted the importance of orchestrating AI resources—such as data, algorithms, and robotics—within warehouse infrastructure [9]. This could enhance spare parts management by optimizing storage allocation and reducing retrieval times. Lastly, conducting a cost-benefit analysis of warehouse restructuring would offer insights into the financial trade-offs between improved efficiency and potential investments in storage infrastructure. By addressing these areas, future research can further refine warehouse management strategies and contribute to more adaptive and efficient inventory systems.

7. References

[1] Harmon, Roy L. *Reinventing the warehouse: world class distribution logistics*. Simon and Schuster, 1993.

[2] Slack, Nigel, Stuart Chambers, and Robert Johnston. "Operations management. ed." *Harlow: Prentice-Hall* 2001.

[3] Faber, Nynke, M. B. M. De Koster, and Ale Smidts. "Organizing warehouse management." *International Journal of Operations & Production Management* 33.9 2013: 1230-1256.

[4] Russell, Roberta, S. and Bernard W. Taylor. *Operations and Supply Chain Management*. (10th Edition). Wiley Global Education US, 2019.

[5] Opassuwan, T., Kasemset, C., and Tachaboon, N. "Enhancing Warehouse Management Efficiency: A Case Study of a Small Bottled Drinking Water Manufacturer." *Proceeding of the Operations Research Network 2025 Conference*, pp. 291-296. 2025.

[6] Mongkolkittaveepol, P., Phongthiya, T., and Chawan, C. "Improvement of Spare parts Warehouse Management in Selected Garage." *2023 8th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR)*. IEEE, 2023.

[7] Phongthiya, T., Kasemset, C., Muangsiri, T., and Chanchai, S. "Warehouse layout design: Drinking water factory." *Proceedings of the International Conference of Industrial Engineering and Operation Management*, pp. 7-10. 2022.

[8] Zhai, X. "Visualizing Walmart's Supply Chain Management: A Case Study on Detailed Warehouse Management Practices." *Transactions on Economics, Business and Management Research*, 10, 37-41, 2024.

[9] Zhang, D., Pee, L. G., & Cui, L. "Artificial intelligence in E-commerce fulfillment: A case study of resource orchestration at Alibaba's Smart Warehouse." *International journal of information management*, 2021, 57, 10230