



คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

The Journal of Industrial Technology

Suan Sunandha Rajabhat University

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2569

Vol. 14 / No. 1 / January - June 2026

ISSN (Print) : 2351 - 0811

ISSN (Online) : 2730 - 2938

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นช่องทางในการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และ สหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุดิภาญจน์ ศรีวิบูลย์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนมภัทร โตระสะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญเรือน รัศมี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย เทพกรณ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

รองศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ เมืองไหว

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

รองศาสตราจารย์ ดร.สุดาว เลิศวิสุทธิไพฑูลย์

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

รองศาสตราจารย์ ดร.นพดล อ่ำดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี บุญเรืองเศษ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชาคริตส วัฒนประเสริฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา ปินตาคำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรเวช ธาราเวชรักษ์

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม ศิวารุช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ รักเหลือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันวิสา ชัชวงษ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ประหยัสดวงค์

มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิโชค อุ่นแก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชิดศิริ นิลมลาย

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศตวรรษ ดั่งแป้น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพ็ญภา ภูกันงาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชนี้ จูมจี
ดร.เยาวเรศ ส่วนบุญ
ดร.ศศิวิมล บุตรสีเขียว
ดร.พีรพงศ์ ภควณิช

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
มหาวิทยาลัยพะเยา
มหาวิทยาลัยศิลปากร

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – มิถุนายน) และ ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม)

ฝ่ายประสานงานและจัดการ

นางสาวดวงเนตร สารสมบัติ

เจ้าของวารสาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
เลขที่ 1 ถนนอุทัยนอก เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 23 โทรสาร 0 2160 1440
www.fit.ssru.ac.th
<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/fit-ssru>

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University) มีวัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ เพื่อประโยชน์ต่อการสร้างองค์ความรู้ใหม่ ๆ ให้กับ นักวิจัย ครู อาจารย์ นักศึกษา รวมถึงประชาชนทั่วไปที่สนใจ วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วารสารวิชาการฉบับนี้เป็นปีที่ 14 มีกำหนดออกจำนวน 2 ฉบับต่อปี ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – มิถุนายน 2568) ประกอบด้วย บทความวิจัยจำนวน 10 บทความ และฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2568)

ปัจจัยหลายประการที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อคุณภาพวารสาร คือคุณภาพของบทความที่มีคุณค่าทางวิชาการเป็นที่ยอมรับ กระบวนการคัดกรองและการตรวจสอบที่มีมาตรฐาน โดยผู้ทรงคุณวุฒิเฉพาะสาขาวิชา ข้อเสนอแนะที่ทรงคุณค่า รวมทั้งการจัดการที่มีประสิทธิภาพ เพื่อดำเนินการจัดพิมพ์และการเผยแพร่บทความได้เป็นไปตามระยะเวลาที่กำหนด ส่งผลให้วารสารฯ มีความน่าเชื่อถือและผ่านการรับรองโดย TCI

ทางคณะผู้จัดทำวารสารฯ ขอกราบขอบพระคุณที่ปรึกษาวารสารฯ กองบรรณาธิการ ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ ที่สละเวลาใช้ความรู้ความสามารถในการทำให้คุณภาพของวารสารฯ เป็นที่น่าเชื่อถือและมีคุณค่าเป็นประโยชน์ต่อทางวิชาการ และขอขอบคุณนักวิชาการทุกท่านที่ส่งบทความที่มีคุณค่าทางวิชาการเข้าร่วมทำให้วารสารฯ ดำเนินการสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ทางคณะผู้จัดทำวารสารฯ พร้อมทั้งจะรับฟังข้อเสนอแนะจากทุกภาคส่วน เพื่อให้วารสารฯ มีประสิทธิภาพพัฒนามากยิ่งขึ้น และเป็นที่ยอมรับในระดับสากลต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญเรือน รัชมี

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
การประเมินเวลาอพยพหนีไฟที่ปลอดภัย (RSET) โดยใช้ Pathfinder: กรณีศึกษาอาคารดูแลผู้ป่วยระยะสุดท้ายและผู้สูงอายุ Evaluation of Required Safe Egress Time (RSET) Using Pathfinder: A Case Study of a Hospice Palliative Care and Elderly Care Building ณัฐยา มีชัย, อารุญ เกตุสาคร	1-15
การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดท่อเหล็กกึ่งอัตโนมัติร่วมกับแบบจำลอง การถดถอยพหุนามสำหรับการทำนายมุมดัดที่เหมาะสมที่สุด Design and Development of a Semi-Automatic Steel Pipe Bending Machine with a Polynomial Regression Model for Optimal Bending Angle Prediction ธนภัทร มะณีแสง, ณัฐพล ภูระหงษ์, สุรชาติ บุญสิงห์, กิตติพล ลาสิงห์	16-29
การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้แนวคิดลีนและระบบติดตามผล การผลิตในโรงงานบรรจุเครื่องดื่มกรณีศึกษา Production Process Improvement Using Lean Principles and a Production Monitoring System in a Beverage Bottling Plant: A Case Study. เกวลิน อิมเอิบ, นพคุณ แสงเขียว, พิมพ์ชนก สิทธิเทศานนท์	30-46
การวิจัยและพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการนิติบุคคลอาคารชุด: กรณีศึกษาอาคารชุดในเครือ บริษัท เซนเซส พร็อพเพอร์ตี้ แมเนจเม้นท์ จำกัด Research and Development of an Application to Enhance Condominium Juristic Person Management Efficiency: Case Study of Senses Property Management Co., Ltd. จิตราวดี รุ่งอินทร์ กันกา, รวี อุตตมธนิษฐ์, รดาณีนี ศรีนวล	47-59
BraillePlay: ระบบช่วยเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกมสำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา BraillePlay: A Gamified Assistive System for Enhancing Braille Literacy in Visually Impaired Children. รวี อุตตมธนิษฐ์, กิตติ ชัยตา	60-76

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย	หน้า
การประเมินความพร้อมด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยตามมาตรฐาน ISO 45001:2018: กรณีศึกษาโรงงานผลิตพลาสติก Assessment of Occupational Health and Safety Readiness in Accordance with ISO 45001:2018: A Case Study of a Plastic Manufacturing Plant. เอกบุตร อยู่สุข, ณรงค์ศักดิ์ เกื้อนไย, จรายุทธ ประทีปวรกาญจน์, จำรัส กิ่งสวัสดิ์	77-95
การประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารและประสิทธิภาพระบบระบายอากาศ เฉพาะที่ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ Assessment of Indoor Environmental Quality and Performance of Local Exhaust Ventilation Systems in Anatomy Laboratory. เมธาวี ศรีไพศาล, ศชาภรณ์ วงวิวัฒน์, จุฑามาศ สมบูรณ์จิตฤดี, พัฒน์ชิตา เรืองรักษ์, ภัทรุช ดอกลงาม, ชัยวิชิต คิตชนะ, อารุญ เกตุสาคร	96-119
การพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม Development of Packaging from Pineapple Fiber for Environmental Conservation พลอยไพลิน น้อยบาท, จินตศักดิ์ กาญจนอนันท์, วสันต์ นาคเสนีย์, สิริรัตน์ จันการ, จิรัช พุตรเลิศวิเศษฐิระ	120-129
การประเมินอันตรายในสภาพแวดล้อมการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในอุตสาหกรรมรีไซเคิล Hazard Assessment in the Working Environment of Electronic Waste Sorting in a Recycling Industry. ญานนิตา ชุ่มใจรักษ์, ลักษณา เหล่าเกียรติ	130-141
เครื่องแยกเส้นใยคาบมะพร้าวแบบใบตี่เกลียวสลับฟันปลา A Coconut Coir Fiber Extractor with Alternating Helical-Serrated Beater Blades. อรนุช จินดาสกุลยนต์, วีระยุทธ สุริคำ, ศุภกฤษ สุขเจริญ, เสรี เพิ่มชาติ, นพดล อุ่นใจ	142-151

การประเมินเวลาอพยพหนีไฟที่ปลอดภัย (RSET) โดยใช้ Pathfinder:

กรณีศึกษาอาคารดูแลผู้ป่วยระยะสุดท้ายและผู้สูงอายุ

ณัฐยา มีชัย¹ อารุณ เกตุสาคร²

^{1, 2}คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Email: arroon.k@fph.tu.ac.th²

Received: Nov 07, 2025

Revised: Nov 25, 2025

Accepted: Dec 09, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) จำลองเวลาการอพยพหนีไฟที่ปลอดภัย (RSET) ในเวลากลางวันและกลางคืนเปรียบเทียบกับเวลาที่กฎหมายกำหนด 2) เพื่อเสนอแนะแนวทางการอพยพหนีไฟให้เหมาะสมกับพื้นที่ให้สามารถอพยพคนออกจากอาคารได้ในเวลาน้อยที่สุดโดยใช้โปรแกรม Pathfinder มีจำนวนผู้ใช้อาคารเวลากลางวัน 176 คน และเวลากลางคืน 79 คน วิธีการศึกษาจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ตามสถานการณ์สมมุติ 8 สถานการณ์ โดยแบ่งการศึกษออกเป็น 1) ตั้งค่าเวลาล่าช้าก่อนอพยพหนีไฟ (Delay time) และ 2) ไม่ตั้งค่าเวลาล่าช้าก่อนอพยพหนีไฟ (Delay time) ผลการศึกษาพบว่า ในเวลากลางวันสถานการณ์เพลิงไหม้บริเวณห้องพักผู้ป่วยระยะสุดท้ายใช้เวลาในการอพยพหนีไฟนานที่สุด คือ 624.3 วินาที (10.4 นาที) และเวลากลางคืนใช้เวลาในการอพยพหนีไฟ โดยรวมนานที่สุด คือ 832.8 วินาที (13.9 นาที) เนื่องจากจำนวนเจ้าหน้าที่น้อยลงส่งผลให้เวลาการอพยพหนีไฟเพิ่มขึ้นและเมื่อไม่ได้กำหนดเวลาล่าช้าก่อนการอพยพหนีไฟ (Delay time) พบว่า เวลากลางวันสถานการณ์เพลิงไหม้บริเวณห้องพักผู้ป่วยระยะสุดท้ายใช้เวลาในการอพยพหนีไฟนานที่สุด คือ 541 วินาที (9 นาที) และเวลากลางคืนใช้เวลาในการอพยพหนีไฟโดยรวมนานที่สุด คือ 767.3 วินาที (12.8 นาที) การศึกษาครั้งนี้ พบว่า ผู้ใช้อาคารใช้เวลาอพยพหนีไฟมากกว่า 300 วินาที (5 นาที) ซึ่งเกินเวลาที่กฎหมายกำหนด ยกเว้นสถานการณ์เพลิงไหม้ในพื้นที่ห้อง Pantry ชั้น 2 ในเงื่อนไขที่ไม่ได้กำหนด Delay time แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการลดเวลาล่าช้าก่อนการอพยพโดยสามารถนำผลการจำลองมาปรับปรุงแผนการอพยพให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้

คำสำคัญ: เวลาอพยพหนีไฟที่ปลอดภัย, โปรแกรม Pathfinder, อาคารดูแลผู้ป่วยระยะสุดท้ายและผู้สูงอายุ

Evaluation of Required Safe Egress Time (RSET) Using Pathfinder: A Case Study of a Hospice Palliative Care and Elderly Care Building

Nuttaya Meechai¹, Arroon Ketsakorn²

^{1,2}Faculty of Public Health, Thammasat University

Email: arroon.k@fph.tu.ac.th2

Received: Nov 07, 2025

Revised: Nov 25, 2025

Accepted: Dec 09, 2025

Abstract

This study aimed to 1) simulate the safe evacuation time (RSET) during daytime and nighttime compared to the legal required time, and 2) to suggest improvements in the fire evacuation pattern to be appropriate for the area in order to evacuate people from the building in the least possible time. Pathfinder program was used for evacuation simulation during fire. There were 176 building occupants during the daytime and 79 at nighttime. This study simulated fire situations according to 8 hypothetical situations; 1) setting the delay time before evacuating (delay time) and 2) not setting the delay time before evacuating (delay time). The results showed that during the daytime, terminal patient wards had the longest RSET (624.3 s; 10.4 min), while at night the overall RSET was highest (832.8 s; 13.9 min). The increased RSET at night was attributable to reduced staffing levels. When delay time was excluded, terminal patient wards still exhibited the longest daytime RSET (541 s; 9 min), and the overall nighttime RSET remained the highest (767.3 s; 12.8 min). This study found that occupants required more than 300 seconds (5 minutes) to evacuate exceeding the legal time limit except for the fire scenario in the 2nd floor pantry room where no delay time was specified. These findings highlight the need to minimize evacuation delays and demonstrate how simulation results can inform improvements to evacuation planning.

Keywords: Required Safe Egress Time (RSET), Pathfinder, Hospice Palliative Care and Elderly Care Building

บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาอัคคีภัย เป็นหนึ่งในสาธารณภัยที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน [1] จากข้อมูลสถิติของศูนย์ข้อมูลสาธารณภัยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย ตั้งแต่ พ.ศ. 2562-2566 พบว่า อัคคีภัยเกิดขึ้นมากกว่า 4,559 ครั้ง มีความถี่การเกิดสูงสุดเมื่อเทียบกับ สาธารณภัยด้านอื่น ๆ มีผู้เสียชีวิตมากถึง 303 คน บาดเจ็บ 1,013 คน มูลค่าความเสียหายมากกว่า 1,300 ล้านบาท [2] ในแต่ละปีมีเหตุเพลิงไหม้ในโรงพยาบาลทั่วโลกมากกว่าหนึ่งพันครั้งและมีผู้บาดเจ็บจำนวนมากในโรงพยาบาลและสถาน พยาบาล จำเป็นต้องมีกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพเพื่อการอพยพอย่างปลอดภัยสำหรับผู้ป่วยทุกคนในโรงพยาบาลเมื่อเกิดเพลิงไหม้ [3] เหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นที่โรงพยาบาลแล้วทำให้มีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บจำนวนมาก เช่น ไฟไหม้ที่โรงพยาบาล Sejong ประเทศเกาหลีใต้ เมื่อเดือนมกราคม พ.ศ. 2561 [4] และโรงพยาบาล Changfeng ในกรุงปักกิ่ง ประเทศจีนเมื่อเดือนเมษายน พ.ศ. 2566 [5] สำหรับในประเทศไทย ตัวอย่างเหตุการณ์ไฟไหม้ที่เกิดขึ้นที่โรงพยาบาล สมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา จังหวัดชลบุรี เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2566 [6] และโรงพยาบาลสถาบันโรคไตภูมิราชนครินทร์ กรุงเทพมหานคร เมื่อเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2567 [7] ซึ่งทั้ง 2 เหตุการณ์ไม่มีผู้บาดเจ็บและเสียชีวิต

ไฟไหม้ในสถานพยาบาลสะท้อนความเสี่ยงที่แตกต่างจากอาคารสาธารณะทั่วไป ทั้งจากโครงสร้างอาคารหลายชั้นที่ซับซ้อน ระบบสาธารณูปโภคที่เกี่ยวข้องกับก๊าซและออกซิเจนทางการแพทย์และลักษณะผู้ใช้อาคารที่ต้องพึ่งพาการช่วยเหลือจาก

เจ้าหน้าที่ แม้ว่าจะมีกฎข้อบังคับด้านความปลอดภัยจากอัคคีภัย แต่ยังไม่เพียงพอที่จะรับประกันความปลอดภัยของผู้อาศัยในอาคารทั้งหมด โดยเฉพาะในสถานพยาบาล บ้านพักคนชรา เป็นต้น ขั้นตอนการอพยพหนีไฟมีความซับซ้อนมากกว่าในอาคารทั่วไป เนื่องมาจากจำนวนผู้ป่วยที่ต้องได้รับความช่วยเหลือในการอพยพจำนวนมากหรือต้องใช้เวลาในการเตรียมผู้ป่วยสำหรับการอพยพ [8] จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรม พบว่า ผู้ป่วยติดเตียงและผู้ป่วยที่เคลื่อนไหวได้จำกัดที่ต้องการความช่วยเหลือทางการแพทย์จะอพยพได้ยาก เนื่องจากความยากลำบากในการอพยพจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก [9] การอพยพหนีไฟในโรงพยาบาลเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนต้องมีกลยุทธ์ที่ชัดเจนและการดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปกลยุทธ์ดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกับความช่วยเหลือในการอพยพผู้ป่วยที่ไม่สามารถอพยพด้วยตนเองได้ การพัฒนาแผนการอพยพที่ปลอดภัยมีประสิทธิภาพและทันทั่วทั้ง ถือเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับโรงพยาบาล แม้ว่าการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกลยุทธ์การอพยพได้ แต่การดำเนินการในข้อจำกัดนั้นยากมาก ดังนั้น การจำลองการอพยพหนีไฟจึงเป็นไปได้มากกว่า เนื่องจากอาจนำไปสู่การอพยพที่ปลอดภัยยิ่งขึ้น [10]

การอพยพคนออกจากอาคารได้อย่างถูกต้องปลอดภัย ใช้เวลาไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญในการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ [11] กฎเกณฑ์ที่สำคัญที่จะรับประกันได้ว่าผู้ใช้อาคารสามารถอพยพได้อย่างปลอดภัยนั้นคือ ระยะเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการอพยพโดยปลอดภัย (Required Safe Egress Time, RSET) ซึ่งต้องน้อยกว่าระยะเวลาที่สามารถอพยพได้โดยปลอดภัย (Available Safe

Egress Time, ASET) โดยนับตั้งแต่ไฟปะทุขึ้นไปจนถึงสามารถทำอันตรายต่อผู้ที่อยู่ในอาคารได้ [12] มีงานวิจัยที่ศึกษาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมในโรงพยาบาลผู้สูงอายุโดยใช้โปรแกรม Pathfinder ในประเทศเกาหลี โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณจำนวนพนักงานที่เหมาะสมที่จะช่วยให้ทุกคนสามารถอพยพได้ในช่วงกลางวันที่มีพนักงานจำนวนมากและในช่วงกลางคืนที่มีพนักงานน้อย ผลการจำลองพบว่า จำนวนพนักงานที่ต้องการในเวลากลางคืนนั้นมากกว่าจำนวนพนักงานที่จำเป็นในเวลากลางวันเพื่อการอพยพอย่างปลอดภัย [13] การศึกษาการจำลองและเพิ่มประสิทธิภาพการอพยพหนีไฟของโรงพยาบาล Huoshenshan ประเทศจีนที่ใช้ BIM และ Pathfinder โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการช่วยเหลือผู้ป่วยวิกฤตจะใช้เวลาสูงกว่าการอพยพด้วยตนเองอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มขนาดของทางออกสามารถลดปัญหาความแออัดของผู้อพยพได้อย่างมีประสิทธิภาพและการปรับการกระจายของบุคลากรจะช่วยลดเวลาในการอพยพได้อย่างมาก [14] สำหรับประเทศไทยมีการศึกษาการจำลองการอพยพหนีไฟและการช่วยเหลือผู้ป่วยในอาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่โดยใช้โปรแกรม Pathfinder พบว่า สามารถเคลื่อนย้ายคนทั้งหมดออกจากอาคารได้ ภายในเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง (3,600 วินาที) และได้เสนอแนะให้มีช่องทางการอพยพผ่านลิฟต์เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีนี้สามารถลดเวลาการอพยพหนีไฟได้ [15]

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่ามีหลายงานวิจัยในต่างประเทศที่นำโปรแกรมจำลองการอพยพหนีไฟมาทำการศึกษาในโรงพยาบาล แต่การศึกษาการจำลองการอพยพหนีไฟในโรงพยาบาลในประเทศไทยยังพบค่อนข้างน้อยและยังไม่มีการศึกษาในอาคารศูนย์ดูแลผู้ป่วยระยะสุดท้ายและผู้สูงอายุที่

เคลื่อนไหวได้จำกัด ซึ่งต้องการความช่วยเหลือทางการแพทย์ นอกจากนี้ยังไม่มีการศึกษาการณ์ในช่วงเวลากลางคืนที่มีปัจจัยในการอพยพหนีไฟแตกต่างจากเวลากลางวัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเวลาในการอพยพหนีไฟ (RSET) โดยใช้โปรแกรม Pathfinder เพื่อประเมินความปลอดภัยสำหรับอาคารศูนย์ดูแลผู้ป่วยระยะสุดท้ายและผู้สูงอายุและนำผลการศึกษามาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของแผนการอพยพหนีไฟในโรงพยาบาลให้มีความปลอดภัยมากขึ้นและสร้างความมั่นใจให้กับบุคลากรและผู้ป่วยว่าจะสามารถอพยพออกจากโรงพยาบาลได้อย่างปลอดภัยในกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อจำลองเวลาการอพยพหนีไฟในเวลากลางวันและกลางคืนเปรียบเทียบกับเวลาที่กฎหมายกำหนด
2. เพื่อเสนอแนะปรับปรุงแนวทางรูปแบบการอพยพหนีไฟให้เหมาะสมกับพื้นที่เพื่อให้สามารถอพยพคนออกจากอาคารได้ในเวลาที่ น้อยที่สุด

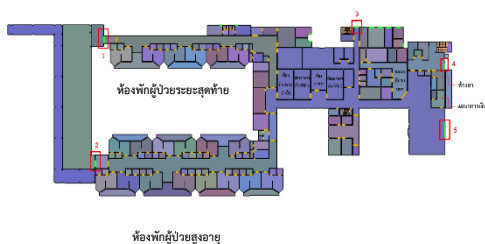
ระเบียบวิธีวิจัย

1. รูปแบบการศึกษาและพื้นที่ศึกษา

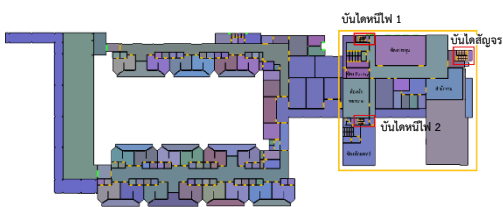
งานวิจัยนี้เป็น การวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยใช้โปรแกรม Pathfinder version 2025.1 ในการจำลองการอพยพหนีไฟในอาคารศูนย์ดูแลผู้ป่วยระยะสุดท้ายและผู้สูงอายุ

2. การดำเนินการวิจัย

2.1 การศึกษาแบบแปลนการใช้งานอาคาร ลักษณะอาคารที่ใช้ในกรณีศึกษาเป็นอาคารศูนย์ดูแลผู้ป่วยระยะสุดท้าย จำนวน 2 ชั้น พื้นที่อาคารทั้งหมด 4,014.8 ตารางเมตร โดยอาคารนี้มีเส้นทางหนีไฟออกสู่ภายนอกอาคารได้แก่ ชั้น 1 มี 5 เส้นทางและชั้น 2 มี 3 เส้นทาง มีบันไดหนีไฟ จำนวน 2 บันได และบันไดสัจจรทั่วไป 1 บันได โดยภายในอาคารชั้น 1 ประกอบด้วยแผนกผู้ป่วยนอก ห้องกิจกรรมบำบัด ห้องพักผู้ป่วย ฯลฯ อาคารชั้น 2 ประกอบด้วยห้องประชุม ห้อง Pantry และห้องพักแพทย์/พยาบาล แสดงดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 อาคารชั้น 1



รูปที่ 2 อาคารชั้น 2

2.2 การเก็บข้อมูลผู้ใช้อาคาร

การบันทึกเก็บข้อมูลจำนวนผู้ใช้อาคาร ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2568 จนถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2568 เพื่อศึกษาข้อมูลลักษณะบุคคล ประเภทผู้ใช้อาคาร โดยแบ่งรายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ใช้อาคาร

ชั้น	ประเภทผู้ใช้ อาคาร	จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)			
		กลางวัน		กลางคืน	
		ชาย	หญิง	ชาย	หญิง
1	พนักงานทั่วไป	8	26	0	2
	ทีมช่วยเหลือผู้ป่วย	4	25	0	8
	ผู้ป่วยใน (เคลื่อนย้ายด้วยรถเข็น)	0	40	0	40
	ผู้ป่วยใน (เคลื่อนย้ายด้วยเตียง)	0	6	0	6
	ผู้ป่วยนอก	8	8	0	0
	ผู้ติดตามผู้ป่วย	0	7	0	7
2	พนักงานทั่วไป	19	3	1	0
	ทีมช่วยเหลือผู้ป่วย	0	22	0	15
รวม		39	137	1	78
รวมทั้งหมด		176		79	

2.3 ศึกษาข้อมูลสำหรับการตั้งค่าการจำลองการอพยพหนีไฟในโปรแกรม Pathfinder

2.3.1 กำหนดประเภทและพฤติกรรมของผู้ใช้อาคารในโปรแกรม Pathfinder ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 กำหนดประเภทและพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร (เวลากลางวัน) ในโปรแกรม Pathfinder

ประเภทผู้ใช้ อาคาร	จำนวนผู้ใช้ อาคาร (คน)	พฤติกรรม (Behaviors)
พนักงานทั่วไป	56	Initial delay
		Go to exit
ทีมช่วยเหลือผู้ป่วย	51	Initial delay
		Assist
		Go to exit
ผู้ป่วยในที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้	46	Wait for assistant
		Wait (preparation time)
		Go to exit
ผู้ป่วยนอก	16	Initial delay
		Go to exit
ผู้ติดตามผู้ป่วย	7	Initial delay
		Go to exit

ตารางที่ 3 กำหนดประเภทและพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร (เวลากลางคืน) ในโปรแกรม Pathfinder

ประเภทผู้ใช้ อาคาร	จำนวนผู้ใช้ อาคาร (คน)	พฤติกรรม (Behaviors)
พนักงานทั่วไป	3	Initial delay Go to exit
ทีมช่วยเหลือผู้ป่วย	23	Initial delay Assist Go to exit
ผู้ป่วยที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้	46	Wait for assistant Wait (preparation time) Go to exit
ผู้ป่วยนอก	0	Initial delay Go to exit
ผู้ติดตามผู้ป่วย	7	Initial delay Go to exit

2.3.2 กำหนดขนาดรูปร่างของผู้ใช้อาคาร ได้แก่ ความสูง [16] และความกว้างของไหล่ [17] ตามขนาดตัวมาตรฐานคนไทย ดังตารางที่ 4 โดยผู้ใช้อาคารกำหนดให้มีขนาดรูปร่างเป็นผู้ใหญ่

ตารางที่ 4 การกำหนดความสูงและกว้างไหล่ของผู้ใช้อาคาร

ผู้ใช้อาคาร	ประเภท	ความสูง (ม.)		ความกว้างไหล่ (ซม.)	
		Min	Max	Min	Max
ผู้ใหญ่	Uniform	1.57	1.6949	35.0	43.0

2.3.3 กำหนดความเร็วในการอพยพหนีไฟ
ความเร็วในการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคารแต่ละประเภทจะมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากลักษณะทางกายภาพและความเจ็บป่วยของผู้ใช้อาคารแต่ละประเภท โดยการศึกษาครั้งนี้มีการกำหนดความเร็วในการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคารแต่ละประเภทในโปรแกรม Pathfinder [18] ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การกำหนดความเร็วในการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคารแต่ละประเภท

ประเภทผู้ใช้ อาคาร	ประเภท	ความเร็วในการอพยพ (เมตร/วินาที)			
		μ	σ	Min	Max
พนักงานทั่วไป	Normal	1.35	0.25	0.65	2.05
ทีมช่วยเหลือผู้ป่วย	Normal	1.35	0.25	0.65	2.05
ผู้ป่วยใน	Normal	0.63	0.04	0.51	0.75
เคลื่อนย้ายด้วยรถเข็น					
เคลื่อนย้ายด้วยเตียง	Normal	0.40	0.04	0.28	0.52
ผู้ป่วยนอก	Normal	0.95	0.32	0.246	1.654
ผู้ติดตามผู้ป่วย	Normal	1.2	0.2	0.6	1.8

2.3.4 กำหนดเวลาล่าช้าก่อนการอพยพ

หนีไฟ

กำหนดให้มีการตั้งค่าเวลาล่าช้าก่อนอพยพหนีไฟ (Delay Time) เพื่อเป็นเวลาสำหรับการรับรู้อันตรายจากสถานการณ์เพลิงไหม้ โดยกำหนดให้ผู้ใช้อาคารแต่ละประเภทมีเวลาก่อนการอพยพหนีไฟที่แตกต่างกัน [18] ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เวลาก่อนการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคารแต่ละประเภท

ประเภทผู้ใช้ อาคาร	ประเภท	เวลาก่อนการอพยพ (วินาที)			
		μ	σ	Min	Max
พนักงานทั่วไป	Log-normal	71	60	30	246
ทีมช่วยเหลือผู้ป่วย	Log-normal	43	6.44	30	60
ผู้ป่วยนอก	Log-normal	62.7	19.11	30	120
ผู้ติดตามผู้ป่วย	Log-normal	62.7	19.11	30	120

2.3.5 กำหนดเวลาสำหรับทีมช่วยเหลือใช้ในการเตรียมเคลื่อนย้ายเพื่ออพยพผู้ป่วยที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ [18] ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เวลาในการเตรียมเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ได้รับความช่วยเหลือ

ประเภทผู้ใช้ อาคาร	ประเภท	เวลาก่อนการอพยพ (วินาที)			
		μ	σ	Min	Max
ผู้ป่วยที่ต้องเคลื่อนย้ายด้วยรถเข็น/เตียง	Normal	110.0	36.0	99.2	120.8

2.3.6 การกำหนดขนาดอุปกรณ์สำหรับเคลื่อนย้ายผู้ใช้อาคารที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ โดยกำหนดเตียงและรถเข็นสำหรับผู้ป่วยตามขนาดจริง ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ประเภทอุปกรณ์และจำนวนทีมช่วยเหลือที่ใช้ในการอพยพผู้ป่วยที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้

ประเภท	ขนาด กว้าง x ยาว x สูง (เมตร)	จำนวนทีม ช่วยเหลือสำหรับ อพยพผู้ป่วย (คน)
เตียงผู้ป่วยใหญ่	0.9 x 2 x 1	2
รถเข็น	0.7 x 1.06 x 0.93	1

2.4 การกำหนดสถานการณ์เพลิงไหม้

ผลการประเมินความเสี่ยงการเกิดอัคคีภัยพบว่า ระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก จึงนำมากำหนดเป็นสถานการณ์จำลองการเกิดเพลิงไหม้ตามสถานการณ์สมมุติ เนื่องจากพื้นที่มีเชื้อเพลิง Class A (เชื้อเพลิงทั่วไป เช่น เตียงผู้ป่วย ผ้าปูเตียง เฟอร์นิเจอร์ไม้ ฯลฯ) และ Class K (น้ำมันที่ใช้ในการประกอบอาหาร) รายละเอียดดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สถานการณ์จำลองการเกิดเพลิงไหม้

สถานการณ์	สถานการณ์จำลอง	ช่วงเวลา	ตำแหน่ง ต้นเพลิง
S1-1	เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้องประชุม ชั้น 2 สาเหตุเกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรที่ปลั๊กไฟทำให้เกิดประกายไฟลุกลามอย่างรวดเร็วไปยังพรมที่อยู่บนเวที บันไดสัจจะไม่สามารถใช้งานได้	กลางวัน	ห้องประชุมใหญ่
S1-2	เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้องประชุม ชั้น 2 (ไม่มีคนใช้งาน) สาเหตุเกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรที่ปลั๊กไฟทำให้เกิดประกายไฟลุกลามอย่างรวดเร็วไปยังพรมที่อยู่บนเวที บันไดสัจจะไม่สามารถใช้งานได้	กลางคืน	ชั้น 2
S2-1	เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้อง Pantry ชั้น 2 สาเหตุเกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรที่เตาแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ไฟลุกลามอย่างรวดเร็วบนเคาน์เตอร์ไม้เนื่องจากมีน้ำมันกระเด็นอยู่บนเคาน์เตอร์	กลางวัน	ห้อง Pantry ชั้น
S2-2	เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้อง Pantry ชั้น 2 สาเหตุเกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรที่เตาแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ไฟลุกลามอย่างรวดเร็วบนเคาน์เตอร์ไม้เนื่องจากมีน้ำมันกระเด็นอยู่บนเคาน์เตอร์	กลางคืน	2
S3-1	เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้องพักรักษาตัวผู้ป่วยระยะสุดท้าย สาเหตุเกิดจากที่ชาร์จแบตเตอรี่มือถือที่วางชาร์จอยู่บนเก้าอี้โซฟาไม่ได้มาตรฐานทำให้เกิดไฟลุกลามอย่างรวดเร็ว ประตูทางออกฝั่งห้องพัก 1 ไม่สามารถใช้งานได้ 1 ประตู	กลางวัน	ห้องพักรักษาตัว ระยะสุดท้าย
S3-2	เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้องพักรักษาตัวผู้ป่วยระยะสุดท้าย สาเหตุเกิดจากที่ชาร์จแบตเตอรี่มือถือที่วางชาร์จอยู่บนเก้าอี้โซฟาไม่ได้มาตรฐานทำให้เกิดไฟลุกลามอย่างรวดเร็ว ประตูทางออกฝั่งห้องพัก 1 ไม่สามารถใช้งานได้ 1 ประตู	กลางคืน	(ห้องพัก 1) ชั้น 1
S4-1	เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้องพักรักษาตัวผู้ป่วยสูงอายุ สาเหตุเกิดจากที่ชาร์จแบตเตอรี่มือถือที่วางชาร์จอยู่บนเก้าอี้โซฟาไม่ได้มาตรฐานทำให้เกิดไฟลุกลามอย่างรวดเร็ว ประตูทางออกฝั่งห้องพัก 13 ไม่สามารถใช้งานได้ 1 ประตู	กลางวัน	ห้องพักรักษาตัว สูงอายุ
S4-2	เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้องพักรักษาตัวผู้ป่วยสูงอายุ สาเหตุเกิดจากที่ชาร์จแบตเตอรี่มือถือที่วางชาร์จอยู่บนเก้าอี้โซฟาไม่ได้มาตรฐานจึงทำให้เกิดไฟลุกลามอย่างรวดเร็ว ประตูทางออกฝั่งห้องพัก 13 ไม่สามารถใช้งานได้ 1 ประตู	กลางคืน	(ห้องพัก 13) ชั้น 1

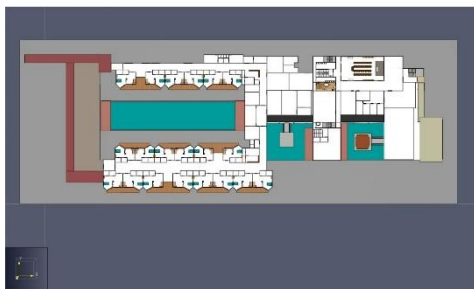
2.5 วาดแบบจำลองอาคารศูนย์ดูแลผู้ป่วยแบบ
ประคับประคองและผู้สูงอายุ

วาดแบบจำลองอาคารศูนย์ดูแลผู้ป่วยแบบ
ประคับประคองและผู้สูงอายุตามแบบแปลนอาคาร

โดยใช้โปรแกรม Pyrosim version 2025.1 สร้าง
ห้องและส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคารให้ใกล้เคียง
กับอาคารจริง แสดงดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 แบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Pyrosim
(แบบ 3 มิติ)



รูปที่ 4 แบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Pyrosim
(แบบ 2 มิติ)

2.6 สร้างเส้นทางหนีไฟและประตูทางออกโดยใช้โปรแกรม Pathfinder

นำเข้าโมเดลอาคารจำลองจากโปรแกรม Pyrosim และสร้างเส้นทางหนีไฟ ประตูทางออกบันไดและลิฟต์ โดยกำหนดขนาดตามแปลนจริง แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 โมเดลจำลองอาคารด้วยโปรแกรม
Pathfinder

2.7 จำลองสถานการณ์อพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder

โดยกำหนดพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร ลักษณะความกว้างไหล่ของผู้ใช้อาคาร ความเร็วในการอพยพของผู้ใช้อาคารตามข้อมูลที่ศึกษามาจากข้างต้น โดยกำหนดพฤติกรรมของผู้อพยพให้เป็นแบบ Steering ซึ่งมีการเคลื่อนไหวโดยเว้นระยะห่างระหว่างตัวบุคคลและเคลื่อนไหวอย่างอิสระ เป็นไปตามค่าเริ่มต้นของโปรแกรม [19] จำลองเวลาการอพยพ 600-1,000 วินาที และจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ครบทั้ง 8 สถานการณ์ที่กำหนด (กลางวันและกลางคืน) แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แบบจำลองด้วยโปรแกรม Pathfinder

ผลการวิจัย

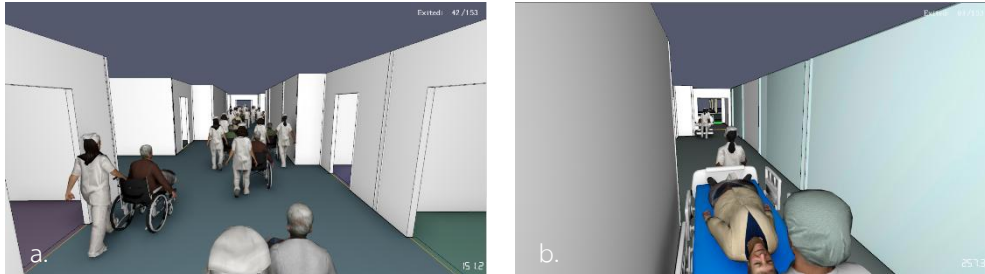
การจำลองการอพยพหนีไฟในอาคารศูนย์ดูแลผู้ป่วยแบบประคับประคอง (Palliative Care) ด้วยโปรแกรม Pathfinder ทั้ง 8 สถานการณ์ ช่วงเวลากลางวัน พบว่า สถานการณ์ที่ S2-1 เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้อง Pantry ชั้น 2 ใช้เวลาในการอพยพออกจากอาคารน้อยที่สุด คือ 356.8 วินาที (5.9 นาที) ในขณะที่สถานการณ์ที่ S3-1 เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้องพักผู้ป่วยระยะสุดท้าย (ห้องพัก 1) ชั้น 1 ใช้เวลาในการอพยพออกจากอาคารมากที่สุด คือ 624.3 วินาที (10.4 นาที) ช่วงเวลากลางคืน พบว่า สถานการณ์ที่ S2-1 เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้อง Pantry ใช้เวลาในการอพยพออกจากอาคารน้อยที่สุด

คือ 569.5 วินาที (9.5 นาที) ในขณะที่สถานการณ์ที่ S3-1 เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้องพักผู้ป่วยระยะสุดท้าย (ห้องพัก 1) ใช้เวลาในการอพยพออกจากอาคาร มากที่สุด คือ 832.8 วินาที (13.9 นาที) และเมื่อไม่มีการกำหนดเวลาลำช้าหรือช่วงเวลาก่อนการอพยพ (Delay time) ซึ่งเป็นเวลาสำหรับการรับรู้อันตรายจากสถานการณ์เพลิงไหม้ ช่วงเวลากลางวันพบว่า สถานการณ์ที่ S2-1 เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้อง Pantry ชั้น 2 ใช้เวลาในการอพยพออกจากอาคาร น้อยที่สุด คือ 230.5 วินาที (3.8 นาที) ในขณะที่สถานการณ์ที่ S3-1 เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้องพักผู้ป่วยระยะสุดท้าย (ห้องพัก 1) ชั้น 1 ใช้เวลาในการ

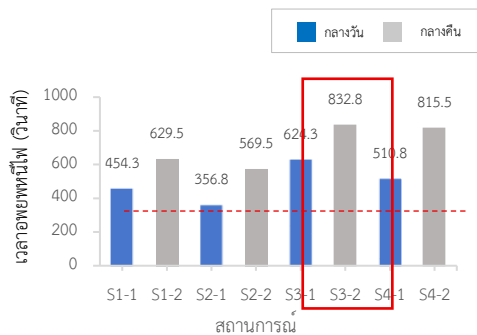
อพยพออกจากอาคารมากที่สุด คือ 541 วินาที (9 นาที) ช่วงเวลากลางคืน พบว่า สถานการณ์ที่ S2-1 เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้อง Pantry ใช้เวลาในการอพยพออกจากอาคารน้อยที่สุด คือ 439 วินาที (7.3 นาที) ในขณะที่สถานการณ์ที่ S3-1 เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้องพักผู้ป่วยระยะสุดท้าย (ห้องพัก 1) ใช้เวลาในการอพยพออกจากอาคาร มากที่สุด คือ 767.3 วินาที (12.8 นาที) แสดงดังตารางที่ 10 และรูปที่ 7 และกราฟเปรียบเทียบผลการจำลองอพยพหนีไฟช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9

ตารางที่ 10 ผลการจำลองเวลาการอพยพหนีไฟในแต่ละสถานการณ์

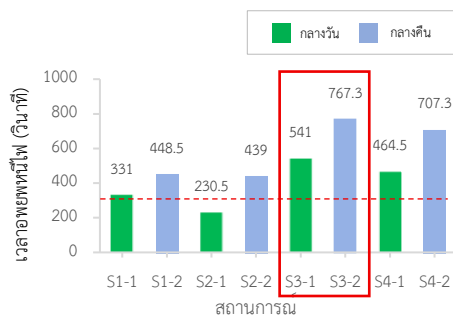
สถานการณ์	แหล่งต้นเพลิง	ช่วงเวลา	เวลาอพยพหนีไฟ (วินาที/นาที)		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
			กำหนด Delay time	ไม่กำหนด Delay time	
S1-1	ห้องประชุมใหญ่ ชั้น 2	กลางวัน	454.3 / 7.6	331 / 5.5	-27.1
S1-2	ห้องประชุมใหญ่ ชั้น 2	กลางคืน	629.5 / 10.5	448.5 / 7.5	-28.8
S2-1	ห้อง Pantry ชั้น 2	กลางวัน	356.8 / 5.9	230.5 / 3.8	-35.4
S2-2	ห้อง Pantry ชั้น 2	กลางคืน	569.5 / 9.5	439 / 7.3	-22.9
S3-1	ห้องพักผู้ป่วยระยะสุดท้าย (ห้องพัก 1) ชั้น 1	กลางวัน	624.3 / 10.4	541 / 9.0	-13.3
S3-2	ห้องพักผู้ป่วยระยะสุดท้าย (ห้องพัก 1) ชั้น 1	กลางคืน	832.8 / 13.9	767.3 / 12.8	-7.9
S4-1	ห้องพักผู้ป่วยสูงอายุ (ห้องพัก 13) ชั้น 1	กลางวัน	510.8 / 8.5	464.5 / 7.7	-9.1
S4-2	ห้องพักผู้ป่วยสูงอายุ (ห้องพัก 13) ชั้น 1	กลางคืน	815.5 / 13.6	707.3 / 11.8	-13.3



รูปที่ 7 ภาพการจำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pathfinder



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบการจำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pathfinder เวลากลางวันและกลางคืน (กำหนด Delay time)



รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบการจำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pathfinder เวลากลางวันและกลางคืน (ไม่ได้กำหนด Delay time)

สรุปและอภิปรายผล

การจำลองสถานการณ์การอพยพหนีไฟของอาคารศูนย์ดูแลผู้ป่วยแบบประคับประคองด้วยโปรแกรม Pathfinder ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ในการจำลองการอพยพคนโดยการจำลองพฤติกรรมและการเคลื่อนที่ของผู้คนในอาคารเพื่อประเมินเวลาในการอพยพหนีไฟ (RSET) และผลของมาตรการต่างๆ ต่อความปลอดภัยในการอพยพออกจากอาคารจากการวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการอพยพหนีไฟพบว่า ในช่วงเวลากลางวันใช้เวลาในการอพยพหนีไฟนานที่สุดในสถานการณ์เพลิงไหม้ที่บริเวณห้องพักรักษาผู้ป่วยระยะสุดท้าย (S3-1) คือ 624.3 วินาที (10.4 นาที) ซึ่งเป็นผู้ป่วยกลุ่มเปราะบางที่มีข้อจำกัดไม่สามารถอพยพได้ด้วยตนเองต้องอาศัยการพึ่งพาช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่โดยการเคลื่อนย้ายด้วยเตียงและมีประตู/เส้นทางหนีไฟที่ไม่สามารถใช้งานได้ทำให้ลดประสิทธิภาพในการอพยพหนีไฟ ขณะที่เพลิงไหม้ในพื้นที่ห้อง Pantry (ชั้น 2) (S2-1) ให้เวลารวมในการอพยพหนีไฟ (RSET) น้อยที่สุด คือ 356.8 วินาที (5.9 นาที) เนื่องจากผู้ที่อยู่ในพื้นที่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตนเองมากกว่าและมีทางออกหรือประตูหนีไฟที่พร้อมใช้งานมากกว่าและตำแหน่งที่เกิดเพลิงไหม้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อเวลาในการอพยพออกจากอาคารโรงพยาบาล

เวลาในการอพยพจะสูงที่สุดเมื่อเกิดเพลิงไหม้ที่ชั้นล่างของอาคารโรงพยาบาลและผลการศึกษาพบว่า กลางคืนใช้เวลาในการอพยพหนีไฟนานที่สุด โดยสถานการณ์เพลิงไหม้ที่บริเวณห้องพัสดุผู้ป่วยระยะสุดท้าย (S3-2) ใช้เวลาในการอพยพหนีไฟ โดยรวม นานที่สุด คือ 832.8 วินาที (13.9 นาที) และสถานการณ์เพลิงไหม้ที่บริเวณห้อง Pantry (ชั้น 2) (S2-2) ใช้เวลาในการอพยพหนีไฟน้อยที่สุด ในช่วงเวลากลางคืน คือ 569.5 วินาที (9.5 นาที) เนื่องจากจำนวนเจ้าหน้าที่ที่ทีมช่วยเหลือน้อยลง (กลางวันจำนวน 51 คน และกลางคืน จำนวน 23 คน) และการกระจายไม่ทั่วถึงทำให้การเข้าถึงผู้ป่วยช้าลงและต้องอพยพแบบ One-to-many (เจ้าหน้าที่หนึ่งคนรับผิดชอบผู้ป่วยหลายราย) และการอพยพแบบ “Assisted Evacuation” หรือ การอพยพแบบช่วยเหลือทำให้ความเร็วเฉลี่ยของกลุ่มลดลงและเกิดการสะสมตัวบริเวณประตูมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้เวลารอออกจากประตูเพิ่มขึ้นและกลายเป็นจุดคอขวดหลักของระบบเส้นทางหนีไฟ ส่งผลให้เวลาการอพยพหนีไฟเพิ่มขึ้นอย่างเป็นระบบและผลของอัตรากำลังที่มีความแตกต่างกันระหว่างเวลากลางวันและกลางคืนแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในทุกคู่สถานการณ์การจำลอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al. (2022) [14] ที่พบว่า การอพยพแบบมีการช่วยเหลือจะใช้เวลามากกว่าการอพยพด้วยตนเองอย่างมีนัยสำคัญและงานวิจัยของ Hunt et al. (2020) [20] ที่พบปัญหาคอขวดที่ประตูและบันไดเด่นชัดยิ่งขึ้นเมื่อเคลื่อนย้ายผู้ป่วยด้วยเตียงหรือรถเข็น เนื่องจากต้องชะลอความเร็วขณะผ่านกรอบประตูและช่วงขานบันไดส่งผลให้อัตราการไหลของผู้อพยพลดลงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yokouchi et al. (2017)

[21] และ Shaikh et al. (2024) [22] ที่ศึกษาพบว่า ช่วงกลางคืนในสถานพยาบาลมักใช้เวลาอพยพนานกว่าเพราะกำลังคนน้อยและผู้พักอาศัยจำนวนมากกำลังนอนหลับจึงเพิ่มเวลารับรู้ เตรียมพร้อมและทำให้การอพยพแบบช่วยเหลือเกิดคอขวดมากขึ้น โดยแบบจำลองในโรงพยาบาลและบ้านพักผู้สูงอายุพบว่าเมื่อจำนวนเจ้าหน้าที่ลดลง เวลาอพยพหนีไฟจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและการเสริมเจ้าหน้าที่เพียงเล็กน้อยช่วยลดเวลาได้จริงและปัญหากำลังคนจำกัดส่งผลให้กระบวนการอพยพช้ากว่าเวลากลางวันเสมอ [23] และในการจำลองการอพยพหนีไฟ เมื่อไม่มีการกำหนด “Delay time” คือ เวลาล่าช้าหรือช่วงเวลาก่อนการอพยพหรือการลด pre-movement time ทำให้เวลาอพยพหนีไฟลดลงอย่างเด่นชัดทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน (ร้อยละ 21.2 และ 18.2 ตามลำดับ)

การศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ผู้ใช้อาคารใช้เวลาในการอพยพหนีไฟมากกว่า 300 วินาที (5 นาที) ซึ่งเกินระยะเวลาที่กฎหมายกำหนด ตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555 [24] ยกเว้นสถานการณ์ที่เกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่ห้อง Pantry ชั้น 2 ในเงื่อนไขที่ไม่มีการกำหนด Delay time สะท้อนให้เห็นว่าตำแหน่งต้นเพลิงและความพร้อมของทางออกหรือบันไดรวมถึงช่วงเวลาก่อนการอพยพ (Pre-movement time) เป็นตัวกำหนด RSET อย่างมีนัยสำคัญและในช่วงเวลากลางคืนที่มีทีมเจ้าหน้าที่ช่วยเหลือน้อยกว่าพบว่าเวลารวมในการอพยพหนีไฟจะสูงกว่าเวลากลางวันทุกสถานการณ์แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของสัดส่วนบุคลากรต่อสมรรถนะการ

อพยพโดยรวม

โดยสรุปผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเวลาอพยพหนีไฟที่ปลอดภัยถูกกำหนดโดยสามปัจจัยหลัก ได้แก่ ช่วงเวลาก่อนการอพยพ (Pre-movement time) อัตราการสั่งเจ้าหน้าที่ (โดยเฉพาะกะกลางคืน) และความแออัดของประตูทางออกและตำแหน่งต้นเพลิงเป็นตัวกำหนดหลักของ RSET ในอาคารที่ต้องมีการพึ่งพาการช่วยเหลือสูง ดังนั้นแผนการอพยพหนีไฟที่ดีที่สุดคือการลด Pre-movement time อย่างเป็นระบบผ่านสัญญาณการแจ้งเตือนหรือการฝึกซ้อมที่มีประสิทธิภาพ การเสริมกำลังและจัดทีมเจ้าหน้าที่โดยเฉพาะกะกลางคืนรวมถึงการลดปัญหาความแออัดบริเวณประตูทางออกซึ่งเป็นกุญแจสำคัญในการลดค่า RSET ให้น้อยลงเพื่อยกระดับความปลอดภัยของผู้ใช้อาคารศูนย์ดูแลผู้ป่วยแบบประคับประคอง การศึกษาการจำลองอพยพหนีไฟนี้เป็นกรณีศึกษาอาคารเดียว โดยอาศัยพารามิเตอร์พฤติกรรม ความเร็ว เวลาเตรียมการอพยพตามค่าที่ตั้งในโปรแกรมและเอกสารอ้างอิง ซึ่งแม้ว่ามีความเหมาะสมกับบริบทของไทยที่กำหนด (ความสูง ความกว้างไหล่ ความเร็ว ฯลฯ) แต่ยังเป็นการประมาณการเชิงแบบจำลอง อีกทั้งผลที่นำเสนอในกรอบของค่า RSET โดยไม่ได้วิเคราะห์ค่า ASET (เงื่อนไขควัน อุณหภูมิ และก๊าซพิษ) ควบคู่ไปด้วย หากมีการจำลองร่วมกับการจำลองการเกิดไฟไหม้ (FDS) จะเพิ่มความเที่ยงตรงเชิงวิศวกรรมและความน่าเชื่อถือเชิงนโยบายของผลลัพธ์และสามารถนำผลจากการจำลองมาปรับปรุงแผนการอพยพให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติที่อนุญาตให้ดำเนินการเก็บข้อมูลวิจัยที่ศูนย์ธรรมศาสตร์ ธรรมรักษ์ ทำให้การดำเนินการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

References

- [1] National Disaster Warning Center, *National Disaster Prevention and Mitigation Plan 2021- 2027*. [Online] . Available: <https://ndwc.disaster.go.th/ndwc/cms/2744?id=44525>. [Accessed: Dec. 10, 2024].
- [2] Department of Disaster Prevention and Mitigation, “Disaster Statistics,” [Online]. Available: <https://dpmreporter.disaster.go.th/portal/disaster-statistics>. [Accessed: Dec. 15, 2024].
- [3] N. Chiangaek and S. Patvichaichod, “Fire evacuation and patient assistance simulation in a large hospital building,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*: Vol.715, 2020.
- [4] THE STANDARD, “Fire at a hospital in South Korea kills at least 31 people,” 26 January 2018. [Online] . Available: <https://thestandard.co/fire-at-a-hospital-in-south-korea/>. [Accessed: Dec. 3, 2024].

- [5] THE STANDARD, “Fire at Beijing Hospital Kills 29, China Orders Immediate Detention of Those Involved,” 19 April 2023. [Online]. Available: <https://thestandard.co/fire-hospital-beijing-29-killed/>. [Accessed: Dec. 3, 2024].
- [6] Thairath Online, “Fire extinguished in the 150-year-old building of Somdej Na Sriracha Hospital. Suspected electrical short circuit.,” 14 August 2023. [Online]. Available: <https://www.thairath.co.th/news/local/east/2717243>. [Accessed: Dec. 3, 2024].
- [7] Thairath Online, “Fire at Bhumibol Adulyadej Hospital's Kidney Institute, patients evacuated in chaos, no injuries or deaths,” 7 July 2024. [Online]. Available: <https://www.thairath.co.th/news/crime/2798916>. [Accessed: Dec. 4, 2024].
- [8] Anass Rahouti, Selim Datoussaïd, and Rug-giero Lovreglio, “A Sensitivity Analysis of a Hospital Evacuation in Case of Fire: The impact of the percentage of people with reduced mobility and the staff to occupant's ratio,” in *Fire and Evacuation Modeling Technical Conference*, Spain, 2016.
- [9] Nuno Coelho, António Correia, & Susana Meneses, “Fire Safety in Hospital Buildings, with Performance-Based Analysis,” in *Fire and Evacuation Modeling Technical Conference (FEMTC)*, 2022.
- [10] I. M. Abir, A. M. Ibrahim, S. F. Toha and A. A. Shafie, “A review on the hospital evacuation simulation models,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 77, 2022.
- [11] P. Sriphothong and W. Bunpeng; “A study of fire evacuation at Suvarnabhumi Institute of Technology using a fire dynamics program,” *Journal of Science and Technology, Pathumthani University*, no. 1, pp. 33-47, 2021.
- [12] W. Pitharat and C. Kittichaikarn, “Application of fire dynamics program to study fire evacuation. Case study: Distribution center of Home Product Center Public Company Limited,” *Kasetsart Engineering Journal*, vol. 30, no. 99, pp. 25-38, 2017.
- [13] Lee, Hong-Sang & Kong, Ha-Sung, “An Analysis of the Appropriate Number of Workers in Elderly Care Hospital by Pathfinder in Korea,” *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TUR-COMAT)*, vol. 12, no. 5, pp. 340-350, 2021.

- [14] Liujia Wang, Zishu Xiang, Yaxing Chen, Dalin Li and Jian Wang, “Simulation and Optimization of Emergency Evacuation of Huoshenshan Hospital Based on BIM and Pathfinder,” in *SHS Web of Conferences*, 2022.
- [15] H. Boonngam and S. Patvichaichod, “Fire evacuation and patient assistance simulation in a large hospital building,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*: Vol. 715, 2020.
- [16] Size Thailand, “Adult height,” [Online]. Available: <http://www.sizethailand.org>.
- [17] S. Phonasa, “Standard body size for Thai people,” [Online]. Available: <https://research.rmutt.ac.th/2013/03/01/>. [Accessed: Oct. 10, 2025].
- [18] Tinaburri A, Ponziani FA, Ricci V., “Agent based modeling of meta-communication with assisted people during emergency egress,” in *Proceedings of the Fire and Evacuation Modeling Technical Conference (FEMTC 2018)*, Gaithersburg, MD, USA, 2018.
- [19] P. Suthangkornkul and C. Plengsa-ard,, “Fire simulation and evacuation: a case study of commercial airport buildings,” in *The 16th National Graduate Research Conference*, 2021.
- [20] Aoife L. E. Hunt and Steven M. V. Gwynne, “Simulating Movement Devices Used In Hospital Evacuation,” *Fire Technology*, vol. 56, pp. 2209-2240, 2020.
- [21] Yokouchi M, Hasegawa T, Sasaki T, Gaku M, Murata S, Mizuno T, et al, “Operations analysis of hospital ward evacuation using crowd density model with occupancy area and velocity by patient type,” in *Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC)*, 2017.
- [22] Mohsin Ali Shaikh, Rehmat Karim , Nashiru Mumuni Daniel and Mujeeb Ali Khan, “Fire safety status and evacuation of medical facility considering elevated oxygen concentrations,” *Heliyon*, no. 10, 2024.
- [23] Chen Wang, Yutong Tang, Mukhtar A. Kassem, Heng Li and Zhizhan Wu, “Fire evacuation visualization in nursing homes based on agent and cellular automata.,” *Journal of Safety Science and Resilience*, no. 2, pp. 181-198, 2021.
- [24] Royal Gazette, *Ministerial Regulations on Standards for Administration, Management and Operation of Safety, Occupational Health and Working Environment in Regarding Fire Prevention and Suppression*, B.E. 2555, Vol. 130, pp. 24-34, Jan. 9, 2013.

การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดท่อเหล็กกึ่งอัตโนมัติร่วมกับแบบจำลองการ ถดถอยพหุนามสำหรับการทำนายมุมตัดที่เหมาะสมที่สุด

ธนภัทร มะณีแสง¹, ณัฐพล ภูระหงษ์², สุรชาติ บุญสิงห์³, กิตติพล ลาสิงห์⁴

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

^{2,3,4} คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Email: nuttpon.phu@pcru.ac.th²

Received: Nov 05, 2025

Revised: Dec 02, 2025

Accepted: Dec 24, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาเครื่องตัดท่อเหล็กแบบกึ่งอัตโนมัติขนาดเล็กร่วมกับแบบจำลองการถดถอยพหุนามเพื่อใช้ทำนายมุมตัดที่เหมาะสมที่สุด การทดสอบดำเนินการกับท่อเหล็กขนาด 3/8-3/4 นิ้ว ความยาว 5, 6 และ 7 เมตร โดยมุ่งศึกษาความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ มุมตัดที่เกิดขึ้น และการเปลี่ยนแปลงของความกว้างระหว่างปลายท่อหลังจากการตัด ผลการทดลองพบว่าตัวแปรทั้งหมดมีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง โดยมีค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยมากกว่า 0.90 จำนวนรอบมอเตอร์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับมุมตัด ขณะที่มุมตัดและความกว้างระหว่างปลายท่อมีความสัมพันธ์เชิงลบ ข้อมูลเชิงประจักษ์ดังกล่าวถูกนำไปพัฒนาเป็นแบบจำลองการถดถอยพหุนามสำหรับทำนายมุมตัดจากจำนวนรอบของมอเตอร์ ซึ่งให้ค่า R^2 เฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 98 และมีช่วงความเชื่อมั่นประมาณ ± 5 องศา ผลลัพธ์ยืนยันว่าเครื่องตัดท่อและแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายและควบคุมมุมตัดได้อย่างแม่นยำ เหมาะสำหรับการใช้งานจริงในงานตัดท่อเหล็กขนาดเล็ก

คำสำคัญ: เครื่องตัดท่อเหล็กกึ่งอัตโนมัติ, การถดถอยพหุนาม, การทำนายมุมตัด, การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

Design and Development of a Semi-Automatic Steel Pipe Bending Machine with a Polynomial Regression Model for Optimal Bending Angle Prediction

**Thanapat Maneesaeng¹, Nattapon Phurahong², Surachat Bunsing³,
Kittapon Lasing⁴**

¹ Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University

^{2, 3, 4} Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology Phetchabun Rajabhat University

Email: nuttpon_t@gmail.com²

Received: Nov 05, 2025

Revised: Dec 02, 2025

Accepted: Dec 24, 2025

Abstract

This study aims to develop a compact semi-automatic steel-pipe bending machine integrated with a polynomial regression model for predicting the optimal bend angle. Experiments were conducted using steel pipes with diameters ranging from 3/8 to 3/4 inch and lengths of 5, 6, and 7 meters. The investigation focused on the quantitative relationships among motor rotation counts, the resulting bend angles, and changes in end-to-end pipe width after bending. The results show strong correlations among all variables, with average correlation coefficients exceeding 0.90. Motor rotations exhibited a positive correlation with bend angle, while bend angle and end-to-end width displayed a negative relationship. These empirical findings were used to construct a polynomial regression model for predicting bend angles from motor rotations. The model achieved an average R^2 value above 98% and a confidence interval of approximately ± 5 degrees. The findings confirm that the developed bending machine and regression model can accurately predict and control bend angles, making the system suitable for practical small-scale steel-pipe bending applications.

Keywords: Semi-automatic steel-pipe bending machine, Polynomial regression, Bend-angle prediction, Optimization

บทนำ

การตัดต่อเหล็กเป็นกระบวนการพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญในหลายอุตสาหกรรม เช่น งานก่อสร้าง โครงสร้างอาคาร และอุตสาหกรรมกระบวนการนี้มักต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่และระบบควบคุมที่ซับซ้อน เพื่อให้ได้ความแม่นยำในการผลิต แม้เครื่องจักรเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ต้นทุนที่สูงและความต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก ทำให้ไม่เหมาะสมกับธุรกิจขนาดเล็กหรือการใช้งานภาคสนามทั่วไป ส่งผลให้ในหลายกรณีการตัดต่อด้วยแรงงานคนยังคงเป็นวิธีที่พบได้ทั่วไป ซึ่งมักมีปัญหาด้านคุณภาพ และความไม่สม่ำเสมอของรีซมีดัต จากข้อจำกัดดังกล่าว จึงเกิดแนวทางการพัฒนาเครื่องตัดต่อที่มีขนาดกะทัดรัด ใช้งานง่าย และมีต้นทุนต่ำ เพื่อตอบสนองผู้ใช้งานในระดับช่างหรือผู้ประกอบการธุรกิจขนาดย่อม ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีการตัดต่อ ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของสภาพแวดล้อมและข้อจำกัดในการใช้งานที่แตกต่างกัน การพัฒนาเหล่านี้ครอบคลุมตั้งแต่การปรับปรุงด้านกลไกไปจนถึงการนำเอาเทคนิคทางคำนวณขั้นสูงมาประยุกต์ใช้ ในระยะแรก การพัฒนาได้เริ่มต้นจากการออกแบบเครื่องมือที่เหมาะสมกับข้อจำกัดทางกายภาพและพลังงาน เช่น การพัฒนาเครื่องตัดแบบลูกกลิ้งสามตัวที่ขับเคลื่อนด้วยเฟืองและมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านพลังงาน [1] ต่อมา มีการพัฒนาเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและความเรียบง่าย เช่น เครื่องตัดแบบคาน ซึ่งมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนแต่สามารถ

ตัดต่อให้โค้งได้ถึง 180° โดยไม่ก่อให้เกิดการเสียรูป [2] นอกจากนี้ ยังมีการนำเอาระบบไฮดรอลิกมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตัด ระบบไฮดรอลิกช่วยเพิ่ม แรงดัด ที่จำเป็นได้อย่างมาก ทำให้สามารถลดภาระของผู้ปฏิบัติงาน [3, 4] ในช่วงหลังงานวิจัยได้มุ่งเน้นไปที่การใช้ วิธีการเชิงคำนวณ เพื่อควบคุมความแม่นยำของกระบวนการตัดให้ดียิ่งขึ้น แบบจำลองทางสถิติ และการจำลองเชิงวิศวกรรม ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการอธิบายความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมเชิงเรขาคณิตของท่อในระหว่างการตัด [5] มีการนำ การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มาประยุกต์ใช้เพื่อทำนายข้อผิดพลาดในการตัดต่อด้วยเครื่องจักร CNC โดยจากการทดสอบกับอัลกอริทึมสมัยใหม่หลายชนิด พบว่า Logistic Regression เป็นแบบจำลองที่ให้ความแม่นยำดีที่สุด [6] ประเด็นสำคัญอีกประการหนึ่งคือการศึกษานวัตกรรมด้านการขึ้นรูป ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดขึ้นหลังการคลายแรงดัด โดยมีกระบวนการหี้อธิพลของมุมดัดและความหนาของท่อที่มีผลต่อการขึ้นรูป ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการพยากรณ์พฤติกรรมการดัดอย่างแม่นยำ [7] นอกจากนี้การผสมรวมเทคนิคขั้นสูงถือเป็นแนวโน้มที่น่าสนใจ เช่น การใช้ แบบจำลองการเรียนรู้จากข้อมูล ร่วมกับผลการ จำลององค์ประกอบไฟไนต์ เพื่อทำนายรูปทรงโค้งของท่อในกระบวนการดัดแบบดึงหมุน ซึ่งสามารถลดความคลาดเคลื่อนของรูปทรงได้อย่างมีนัยสำคัญ [8] รวมถึงการรวมการจำลองเชิงไฟไนต์เอลิเมนต์ เข้ากับแบบจำลองถดถอยหลายชั้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการ

คาดการณ์มูลค่าเงินรูปหลังการตัดให้สูงขึ้น [9] จะเห็นได้ว่างานวิจัยก่อนหน้านี้มักมุ่งพัฒนาเครื่องตัดท่อในด้านโครงสร้างกลไกหรือระบบช่วยผ่อนแรง ซึ่งช่วยลดภาระของผู้ปฏิบัติงาน แต่ยังมีข้อจำกัดสำคัญคือเครื่องถูกออกแบบเพื่อสร้างแรงตัดเป็นหลัก โดยไม่มีระบบทำนายผลการตัดอย่างเป็นระบบ ในขณะที่เครื่องตัดท่อรุ่นที่มีเทคโนโลยีสูงก็แม้จะให้ความแม่นยำดี แต่มีต้นทุนสูง ใช้งานซับซ้อน และต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก ทำให้ไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือธุรกิจขนาดย่อม การตั้งค่างานรอบมอเตอร์หรือระยะดันเพื่อให้ได้มุมตัดที่ต้องการจึงยังต้องอาศัยประสบการณ์ผู้ปฏิบัติงาน และมักเกิดความคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะในเครื่องตัดท่อขนาดเล็กหรือแบบกึ่งอัตโนมัติที่เน้นความเรียบง่ายและต้นทุนต่ำ ซึ่งยังไม่มีแบบจำลองที่เชื่อมโยงจำนวนรอบมอเตอร์หรือระยะกดเข้ากับมุมตัดจริง ช่องว่างนี้จึงเป็นที่มาของงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งมีเป้าหมายในการพัฒนาเครื่องตัดท่อขนาดเล็กที่ใช้งานง่าย ร่วมกับแบบจำลองเชิงสถิติสำหรับทำนายมุมตัดอย่างแม่นยำ ช่วยให้ผู้ใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดเล็กสามารถตั้งค่าการทำงานได้อย่างถูกต้อง ลดการลองผิดลองถูก และยกระดับคุณภาพงานตัดโดยไม่ต้องพึ่งพาเครื่องจักรที่มีต้นทุนสูงหรือระบบควบคุมที่ซับซ้อน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดท่อเหล็กแบบกึ่งอัตโนมัติที่มีโครงสร้างแข็งแรง ระบบส่งกำลังเหมาะสม และสามารถควบคุมการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับผู้ประกอบการรายย่อย

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ มุมตัดของท่อ และความกว้างระหว่างปลายท่อ ภายใต้ความยาวท่อที่แตกต่างกัน

3. เพื่อพัฒนาแบบจำลองการถดถอยพหุนามสำหรับทำนายมุมตัดและความกว้างปลายท่ออย่างแม่นยำ

4. เพื่อหาค่าการตั้งค่าจำนวนรอบการหมุนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้มุมตัดที่ต้องการ โดยใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติและการหาค่าผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด และนำผลการทำนายจากแบบจำลองไปใช้ในการกำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องตัดท่อตามมุมตัดที่ต้องการ

ระเบียบวิธีวิจัย

เพื่อให้ครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบและพัฒนาเครื่องจักร ไปจนถึงการทดสอบและการวิเคราะห์ผลลัพธ์ การวิจัยครั้งนี้จึงกำหนดวิธีการดำเนินงานไว้เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การออกแบบระบบการทำงานและการกำหนดขั้นตอนการทำงาน

1.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานด้านกลไกการตัดท่อและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นกรอบในการออกแบบเครื่องจักร พร้อมทั้งกำหนดคุณลักษณะเป้าหมายที่ชัดเจน

1.2 ออกแบบโครงสร้างเครื่องให้มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการรับแรงตัด จัดวางกลไกการทำงานแบบลูกกลิ้ง และระบบควบคุมให้เหมาะสม พร้อมทั้งออกแบบระบบส่งกำลัง

1.3 ติดตั้งระบบกลไกการทำงาน มอเตอร์ และชุดควบคุมตามแบบที่กำหนด พร้อมจัดวาง

องค์ประกอบให้สัมพันธ์กับโครงสร้างหลักของเครื่อง เพื่อให้เกิดการถ่ายทอดกำลังอย่างเหมาะสม และสามารถควบคุมการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 กำหนดลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การเตรียมชิ้นงาน การตัด จนถึงการหยุดการทำงาน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถปฏิบัติได้อย่างปลอดภัย ลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุ และรักษาประสิทธิภาพของกระบวนการตัดให้คงที่ทุกครั้งที่ใช้งาน

2. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ที่ส่งผลต่อมุมตัดของท่อและความกว้างระหว่างปลายท่อ ภายใต้ความยาวท่อที่แตกต่างกัน

2.1 การทดลองและกลุ่มตัวอย่าง

ในการทดลองเครื่องตัดท่อ ได้เลือกใช้ท่อเหล็กขนาด 3/8-3/4 นิ้ว และแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามความยาว 5, 6 และ 7 เมตร เนื่องจากท่อแต่ละความยาวมีพฤติกรรมการตอบสนองต่อจำนวนรอบการหมุนที่แตกต่างกันสำหรับผู้ประกอบการรายย่อย โดยเฉพาะกลุ่มช่างทั่วไปหรือผู้ที่มิพื้นที่ปฏิบัติงานจำกัด เหมาะสำหรับงานโครงสร้างขนาดเล็กถึงปานกลาง เช่น งานติดตั้งท่อเหล็ก งานโครงกันสาด งานราวเหล็ก และงานตัดโครงสร้างที่ต้องการความแม่นยำในระดับที่เหมาะสม การทดลองแบ่งออกเป็นกลุ่มละ 10 ครั้ง รวมทั้งหมด 30 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งทำการเพิ่มจำนวนรอบการหมุนของแผ่นเพลตเป็นลำดับ เพื่อศึกษาผลกระทบของจำนวนรอบต่อมุมตัดและความกว้างระหว่างปลายท่อ

2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรต้น (X) ต่อการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงท่อหลังการตัด โดยเฉพาะมุมของส่วนโค้ง (ตัวแปรตาม Y_1) และความกว้างระหว่างปลายท่อทั้งสองด้าน (ตัวแปรตาม Y_2) โดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ด้วย โปรแกรม Minitab Version 16 เพื่อประเมินระดับและตรวจสอบทิศทางความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปรแต่ละคู่

3. การพัฒนาแบบจำลองการถดถอยพหุนามสำหรับทำนายมุมตัดและความกว้างปลายท่อ

ขั้นตอนนี้จะสร้างแบบจำลองทางสถิติที่อธิบายความสัมพันธ์ เริ่มจากตรวจสอบรูปแบบของความสัมพันธ์เบื้องต้น เพื่อระบุว่าข้อมูลมีแนวโน้มเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือไม่ จากนั้นพิจารณาเลือกประเภทของแบบจำลองถดถอยที่เหมาะสม และการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย และประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่าความคลาดเคลื่อน เพื่อพิจารณาความสามารถของแบบจำลองในการทำนายค่ามุมตัดและความกว้างปลายท่อได้อย่างถูกต้อง

4. การหาค่าจำนวนรอบการหมุนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้มุมตัดที่ต้องการ

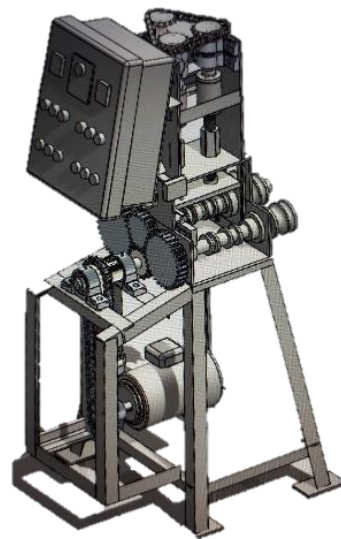
ผลลัพธ์จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะถูกใช้เป็นตัวแปรตอบสนองในการคาดการณ์มุมตัดและความกว้างปลายท่อภายใต้จำนวนรอบการหมุนที่แตกต่างกัน ในการวิเคราะห์จะประเมินค่าที่คาดการณ์ได้ร่วมกับ ช่วงความเชื่อมั่น และ

ช่วงการทำนาย เพื่อใช้ตรวจสอบความแม่นยำและความแปรปรวนของแบบจำลอง จากนั้นค่าที่ได้จากแบบจำลองถูกนำไปใช้ในการตั้งค่าการทำงานของเครื่องตัดเพื่อให้ได้มุมตัดตามที่ต้องการ ทั้งนี้การทดลองดำเนินการภายใต้ความยาวท่อ 3 ระดับเพื่อใช้ประเมินผลของความยาวต่อความแปรปรวนของกระบวนการตัด เพราะท่อที่มีความยาวมากกว่ามักมีโอกาสดังกล่าว และความยืดหยุ่นที่สูงขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของรูปทรงหลังการตัด การกำหนดความยาวท่อที่แตกต่างกัน จึงช่วยให้สามารถตรวจสอบได้ว่าความยาวของวัสดุมีผลต่อความเสถียรและความแม่นยำของผลลัพธ์มากน้อยเพียงใด

ผลการวิจัย

1. การออกแบบเครื่องจักร

เครื่องตัดท่อเหล็กได้รับการออกแบบให้มีโครงสร้างสามารถรองรับน้ำหนักและยึดติดอุปกรณ์ได้อย่างมั่นคง โดยใช้เหล็กฉากขึ้นรูปเป็นโครงสร้าง ภายในติดตั้งชุดเฟือง Power Take-Off ทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์เกียร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแผ่นเพลทในการกดอัดแกนตัดด้านบนเข้าสู่ท่อเหล็ก



รูปที่ 1 การออกแบบระบบการทำงานของเครื่องตัดท่อเหล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ

ขณะเดียวกันระบบโซ่ส่งกำลังจะเชื่อมต่อจากมอเตอร์ไปยังเฟืองขับ เพื่อหมุนแกนตัดและขับเคลื่อนท่อเหล็กให้เคลื่อนผ่านกระบวนการตัด แกนตัดจะทำหน้าที่ยึดและรับแรงกดจากแท่นกด เมื่อมอเตอร์เกียร์เริ่มทำงาน แผ่นเพลทจะกดอัดแกนตัดด้านบนและด้านล่างเข้าหากัน ส่งผลให้ท่อเหล็กโค้งงอตามรัศมีและมุมที่กำหนด ส่วนระบบควบคุมการทำงานของเครื่องประกอบด้วย สวิตช์เฟาเวอร์ซัพพลาย, แมกเนติกคอนแทคเตอร์ 220 โวลต์ 32 แอมป์, ตัวปรับความเร็วรอบ, และ เบรกเกอร์สวิตช์. มอเตอร์ขับเคลื่อนหลักเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำความเร็วรอบสูงแบบ 1-Phase ขนาด 1/8 แรงม้า 1,410 รอบต่อนาที ใช้ไฟ 220 โวลต์ กระแส 2.0 แอมป์ ทำหน้าที่ดันท่อนเหล็กออกจากแกน เพื่อกำหนดมุมของส่วนโค้งที่ต้องการตัด อีกชุดเป็น มอเตอร์เกียร์กำลังสูง รับไฟ

50 เฮิร์ตซ์ ผ่านชุดลดรอบให้เหลือ ประมาณ 90 รอบต่อนาที เพื่อเพิ่มแรงบิดสำหรับกดท่อนเหล็ก เข้ากับแกนดัดให้เกิดการโค้งงอได้ตามต้องการ โดยมีผังการออกแบบแสดง

1.1 การออกแบบระบบส่งกำลัง

ระบบส่งกำลังของเครื่องดัดท่อเหล็กใช้ หลักการทฤษฎีเฟือง ซึ่งใช้อัตราทดเฟืองคำนวณ จากอัตราส่วนจำนวนฟันของเฟืองขับและเฟือง ตาม เพื่อควบคุมความเร็วรอบและแรงบิดที่ ถ่ายทอด [10] นอกจากนี้ยังอิงหลักทฤษฎีการส่ง กำลังเชิงกล ที่ว่าด้วยการถ่ายทอดกำลังจาก มอเตอร์ไปสู่กลไกการทำงาน และการออกแบบ ระยะห่างระหว่างฟันเฟืองที่ส่งผลโดยตรงต่อ ความสัมพันธ์ของการหมุนและการเคลื่อนที่ [11]

1.1.1 ระบบการกดดัดเหล็ก

กำหนดให้

- 1) อัตราการทดเฟือง มีจำนวนฟัน

$$N_d = 15$$

- 2) เฟืองตาม มีจำนวนฟัน

$$N_f = 30$$

- 3) อัตราทดเฟือง

$$GR = N_f / N_d = 2$$

- 4) ระยะพิตซ์

$$P = 2.54 \text{ เซนติเมตร}$$

การคำนวณ

- 1) เฟืองขับหมุนใน 1 รอบ

$$D_d = N_d \times P = 15 \times 2.45 = 38.1$$

เซนติเมตร

2) ระยะทางที่เฟืองตามหมุนต่อการหมุนของ เฟืองขับ

$$D_d / GR = 19.05$$

3) ระยะทางที่สกรูเคลื่อนที่ต่อการหมุนของ เฟืองตาม $L =$ จำนวนรอบที่เฟืองตามหมุนต่อ ระยะทางต่อรอบของสกรู สกรูมีระยะทาง เคลื่อนที่ = 1 เซนติเมตรต่อการหมุนหนึ่งรอบของ เฟืองตาม โดยอัตราทด เท่ากับ 1:2 หรือ 0.5 ดังนั้น ค่า $L = 0.5 \times 1 = 0.5$ เซนติเมตร

จึงสรุปได้ว่า มอเตอร์หมุน 1 รอบ จะทำให้เฟืองตามหมุน 0.5 รอบ ระยะทางที่เฟือง ขับหมุนได้ในหนึ่งรอบคือ 38.1 เซนติเมตร ระยะทางที่เฟืองตามหมุนได้ในหนึ่งรอบคือ 19.05 เซนติเมตร สกรูเคลื่อนที่ 0.5 เซนติเมตร ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าหากมอเตอร์หมุน 1 รอบ จะกดแผ่น เพลทลงได้ 0.5 เซนติเมตร



รูปที่ 2 ระบบการกดดัดเหล็ก

1.1.2 ระบบการกดดัดเหล็ก

กำหนดให้

- 1) $N_r =$ ความเร็วรอบหลังจากเกียร์ส่งกำลัง มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (RPM)
- 2) $N_m =$ ความเร็วรอบมอเตอร์ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (RPM)
- 3) $R =$ อัตราทดเกียร์
- 4) $v =$ ความเร็วเชิงเส้น มีหน่วยเป็นเมตร ต่อวินาที (m/s)
- 5) $\omega =$ ความเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็นเรเดียน ต่อวินาที (rad/s)

6) r = รัศมีล้อเลื่อน มีหน่วยเป็นเมตร (m)
การคำนวณ

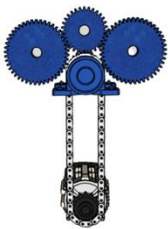
1) ความเร็วรอบหลังจากระบบส่งกำลังด้วย
ชุดเกียร์ $N_r = 1400 / 60 = 23.33$ รอบต่อ
นาที

2) คำนวณความเร็วเชิงมุม (ω)

$$\omega = \frac{2\pi N_r}{60} = 2.44 \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$

3) คำนวณความเร็วเชิงเส้นการเคลื่อนที่ของ
ท่อนเหล็ก ถ้า r เท่ากับ 0.07 เมตร

ความเร็วเชิงเส้น : $v = 2.44 \times 0.07$
เมตรต่อวินาที



รูปที่ 3 ระบบการเคลื่อนที่ของท่อนเหล็ก

1.1.3 ขั้นตอนการทำงาน

เครื่องตัดท่อนเหล็กนี้ถูกออกแบบ
มาเพื่อตัดท่อนขนาด 3/8 ถึง 3/4 นิ้ว โดยใช้ระบบ
ขับเคลื่อนที่สามารถปรับความเร็วและแรงบิดได้
อย่างยืดหยุ่นผ่าน ชุดเกียร์ลดรอบ ซึ่งมีอัตราทด
หลักที่ 1:60 ชุดเกียร์นี้ทำหน้าที่เพิ่มแรงบิดและ
ลดความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับการ
ตัด ระบบส่งกำลังจะถ่ายทอดแรงหมุนผ่าน ชุดโซ่
และเฟือง ไปยังแผ่นเพลท ที่ใช้ในการกดท่อให้
โค้งตามมุมที่กำหนด แผ่นเพลทนี้จะเคลื่อนที่ลง
ในอัตรา 0.5 เซนติเมตรต่อรอบ ด้วยความเร็ว

ประมาณ 0.0854 เมตรต่อวินาที ในทางปฏิบัติ
ผู้ปฏิบัติงานจะบ่อนท่อเหล็กเข้าสู่แนวแกนตัด
จากนั้นมอเตอร์จะขับเคลื่อนให้แผ่นเพลทกดท่อ
จนได้มุมที่ต้องการ โดยสามารถปรับความเร็วและ
แรงบิดให้เข้ากับลักษณะของท่อและวัสดุได้
นอกจากนี้ เพื่อความปลอดภัยและป้องกันความ
เสียหายของเครื่องจักรจากภาวะทำงานเกินพิกัด
(Overload) ระบบควบคุมจึงติดตั้ง เบรกเกอร์
นิรภัยไว้ด้วย เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถหยุดการ
ทำงานและนำท่อออกจากเครื่องได้อย่างสะดวก
และปลอดภัย

2. การสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ ระหว่างรอบการหมุนกับมุมโค้งของท่อ

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องตัดท่อ
เหล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยพิจารณาผลลัพธ์จาก
ท่อนเหล็กที่มีความยาวต่างกัน (5, 6, และ 7 เมตร)
พบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงที่ชัดเจน ผลการ
ศึกษาแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเพิ่มจำนวนรอบ
การหมุนของมอเตอร์ จะส่งผลให้มุมของส่วนโค้ง
เพิ่มขึ้น ในขณะที่ ความกว้างระหว่างปลายท่อทั้งสอง
ด้านลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้
ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองความสัมพันธ์ เพื่อยืนยัน
ผลการทดสอบเชิงประจักษ์ และสรุปได้ว่าการ
ควบคุมจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์เป็น
ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการกำหนด
มุมโค้ง และ ระยะห่างระหว่างปลายท่อ อันเป็น
มาตรฐานสำคัญของรูปทรงสุดท้ายของท่อที่ผ่าน
การตัดตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าค่าความสัมพันธ์
(Correlation Coefficient: r) ของทุกกลุ่มการ
ทดลองมีค่าค่อนข้างสูง สะท้อนว่าตัวแปรที่นำมา

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ชัดเจนทั้งในเชิงบวกและเชิงลบ อย่างไรก็ตาม รูปแบบข้อมูลพบว่าเมื่อความยาวของท่อเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งสามารถอธิบายได้จากพฤติกรรมทางกลศาสตร์ของท่อยาวที่ซับซ้อนกว่าท่อสั้น กล่าวคือท่อยาวมีโอกาสเกิดการโก่งตัวและการสั่นระหว่างการติดตั้งกว่ารวมถึงมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนจากการปฏิบัติงาน ส่งผลให้มุมดัดและระยะปลายท่อมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างจำนวนรอบการหมุนและผลการดัดลดลงตามลำดับ อย่างไรก็ตามการลดลงของค่าความสัมพันธ์เป็นเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่มากพอที่จะทำให้ความสัมพันธ์โดยรวมระหว่างตัวแปรลดลง

3. การสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นเพื่อทำนายมุมของส่วนโค้ง และความกว้างระหว่างเหล็กปลายท่อเหล็กทั้งสองด้าน

ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 2 และ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของส่วนโค้งและความกว้างระหว่างปลายท่อ โดยแบ่งข้อมูลตามจำนวนรอบการหมุนออกเป็น 3 กลุ่ม พบว่าทั้งสามกลุ่มมีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α ที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม โดยมุมดัดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนรอบ ในขณะที่ความกว้างระหว่างปลายท่อมีความสัมพันธ์เชิงลบ กล่าวคือ เมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้น ท่อจะถูกดึงผ่านรัศมีดัดมากขึ้น ทำให้มุมโค้งเพิ่มและปลายท่อหดตัวเข้าใกล้กัน พฤติกรรมนี้อธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตของมุมดัดและระยะปลายท่อ ซึ่งมีรูปแบบเป็นฟังก์ชัน

ลดลงตามมุมดัดที่เพิ่มขึ้น พฤติกรรมนี้สามารถอธิบายเชิงเรขาคณิตได้จากสมการสมการจากหลักการหลักการเรขาคณิตของวงกลม (Circular Geometry)

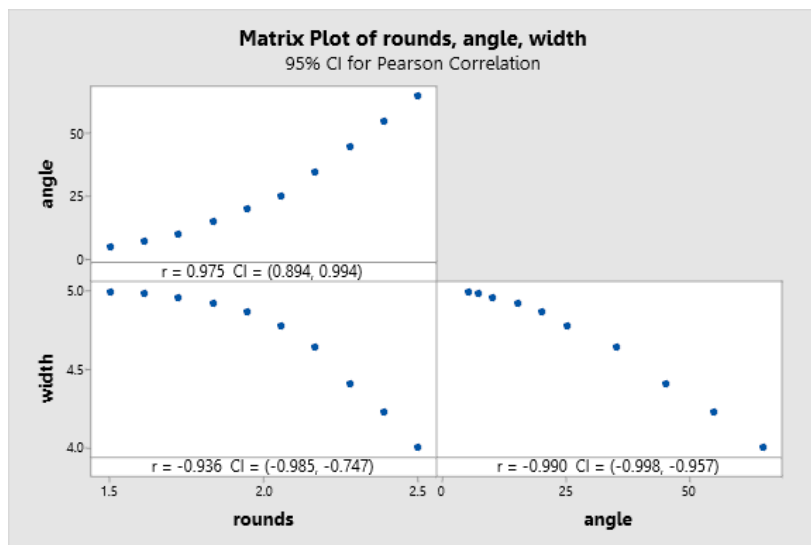
$$D = 2R \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

เมื่อ D คือระยะทางปลายท่อ R คือรัศมี และ θ คือมุมดัด ซึ่งเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของมอเตอร์ จะเห็นได้ว่าเมื่อ θ เพิ่มขึ้น $\sin(\theta/2)$ จะเพิ่มตาม ทำให้ D ลดลง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างจำนวนรอบกับมุมดัด และความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างจำนวนรอบกับระยะปลายท่อในกระบวนการดัดจริง ผลการวิเคราะห์นี้ชี้ให้เห็นว่าผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้แบบจำลองในการคำนวณจำนวนรอบที่ต้องการเพื่อให้ได้มุมดัดที่กำหนดไว้ล่วงหน้าจาก ผลการทำนายจากแบบจำลองสามารถให้ค่ามุมดัดที่สอดคล้องกับค่าที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง แผนภูมิในรูปที่ 5 แสดงรูปแบบของข้อมูลที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งและไม่เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นสมบูรณ์ ส่งผลให้แบบจำลองการถดถอยพหุนามมีความเหมาะสมกว่าวิธีการถดถอยเชิงเส้นทั่วไป ผู้วิจัยจึงนำหลักการของการถดถอยพหุนามมาใช้ เนื่องจากสมการที่ประกอบด้วยพจน์ยกกำลังของตัวแปรต้นสามารถรองรับพฤติกรรมของข้อมูลที่มีความโค้งและอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้แม่นยำกว่าแบบจำลองเชิงเส้น แบบจำลองเชิงเส้นมักไม่สามารถอธิบายแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและลดลง หรือการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นอัตราส่วน

คงที่ได้ ทำให้มีค่า R^2 ต่ำกว่าแบบจำลองพหุนาม ทำนายค่าจริง ขณะที่แบบจำลองพหุนามสามารถ
อย่างชัดเจน จึงทำให้การใช้แบบจำลองเชิงเส้น ให้ค่าทำนายที่มีความแม่นยำสูงกว่าและ
อาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อใช้ในการ สอดคล้องกับรูปแบบข้อมูลที่เกิดขึ้นในการทดลอง

ตารางที่ 1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมุมของส่วนโค้งและ ความกว้างระหว่างปลายเหล็กทั้งสอง ด้านที่เปลี่ยนไปตามจำนวนรอบของมอเตอร์

ความยาว เหล็ก	ความสัมพันธ์	ค่าความสัมพันธ์	ช่วงความเชื่อมั่น	ทิศทาง
5 เมตร	จำนวนรอบและมุมของส่วนโค้ง	0.975	(0.894 , 0.994)	ทิศทางเดียวกัน
	จำนวนรอบและความกว้าง	-0.936	(-0.985 , -0.747)	ทิศทางตรงกันข้าม
	มุมของส่วนโค้งและความกว้าง	-0.990	(-0.998, -0.957)	ทิศทางตรงกันข้าม
6 เมตร	จำนวนรอบและมุมของส่วนโค้ง	0.985	(0.934, 0.996)	ทิศทางเดียวกัน
	จำนวนรอบและความกว้าง	-0.915	(-0.980, -0.675)	ทิศทางตรงกันข้าม
	มุมของส่วนโค้งและความกว้าง	-0.961	(-0.991, -0.840)	ทิศทางตรงกันข้าม
7 เมตร	จำนวนรอบและมุมของส่วนโค้ง	0.974	(0.891, 0.994)	ทิศทางเดียวกัน
	จำนวนรอบและความกว้าง	-0.905	(-0.978, -0.640)	ทิศทางตรงกันข้าม
	มุมของส่วนโค้งและความกว้าง	-0.976	(-0.995, -0.899)	ทิศทางตรงกันข้าม



รูปที่ 4 ตัวอย่างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของเหล็กความยาว 5 เมตร

ตารางที่ 2 การสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นเพื่อทำนายมุมของส่วนโค้งจากรอบการหมุนของมอเตอร์

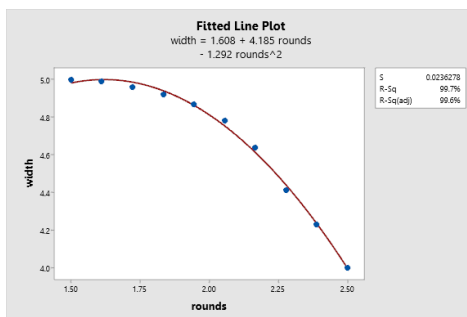
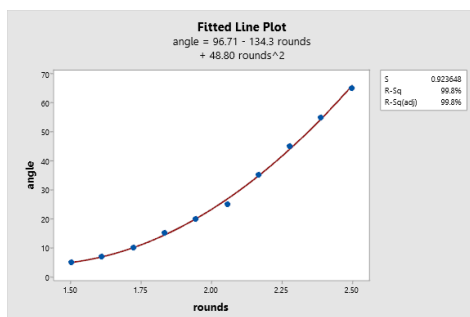
ความยาวเหล็ก	สมการถดถอย	ประเภทของแบบจำลอง	R ²	P- value
5 เมตร	angle = 96.71 - 134.3 rounds + 48.80 rounds ²	polynomial regression model	95.02	0.000
6 เมตร	angle = 50.34 - 95.37 rounds + 42.44 rounds ²	polynomial regression model	99.44	0.000
7 เมตร	angle = 136.0 - 190.0 rounds + 68.67 rounds ²	polynomial regression model	99.78	0.000

** โดยที่ rounds คือจำนวนรอบของมอเตอร์

ตารางที่ 3 การสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นเพื่อทำนายความกว้างระหว่างปลายเหล็กทั้งสองด้านจากรอบการหมุนของมอเตอร์

ความยาวเหล็ก	สมการถดถอย	ประเภทของแบบจำลอง	R ²	P-value
5 เมตร	width = - 3.755 + 12.78 rounds - 3.781 rounds ²	polynomial regression model	99.16	0.000
6 เมตร	width = - 1.975 + 9.616 rounds - 2.883 rounds ²	polynomial regression model	98.64	0.000
7 เมตร	width = - 3.948 + 12.95 rounds - 3.820 rounds ²	polynomial regression model	99.13	0.000

** โดยที่ rounds คือจำนวนรอบของมอเตอร์



รูปที่ 5 ตัวอย่างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของส่วนโค้งและจำนวนรอบที่เปลี่ยนแปลงไป

4. การหาค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสม

ในการตั้งค่าจำนวนรอบเพื่อให้ได้มุมของส่วนโค้งที่ต้องการ โดยใช้ฟังก์ชัน response optimization ในโปรแกรม Minitab version 16 การทดลองนี้ต้องการตัดเหล็กความยาว 5-7 เมตร ให้ได้มุมของส่วนโค้ง 35 องศา และผลลัพธ์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด : ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของส่วนโค้งและจำนวนรอบ

ความยาว	มุมที่ต้องการ (องศา)	จำนวนรอบที่ เหมาะสม (รอบ)	โอกาสที่ เป็นไปได้ (%)	ช่วงความเชื่อมั่น (องศา)	ช่วงการทำนาย (องศา)
5 เมตร	35	2.11	100	(31.46 , 38.84)	(22.91 , 47.09)
6 เมตร	35	2.01	100	(31.57 , 38.43)	(23.64 , 46.36)
7 เมตร	35	1.96	100	(29.86 , 40.14)	(18.03 , 51.97)

ซึ่งแสดงค่าจำนวนรอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการตัดท่อให้ได้มุม 35 องศา โดยผลการวิเคราะห์ด้วย Response Optimization พบว่าทุกความยาวท่อใช้จำนวนรอบใกล้เคียงกันประมาณ 2 รอบ พร้อมค่าความเป็นไปได้ 100% สะท้อนความแม่นยำของแบบจำลองถดถอยพหุนาม ช่วงความเชื่อมั่นค่อนข้างแคบ (ประมาณ 31–40 องศา) แสดงถึงความเสถียรของการตัด ในขณะที่ช่วงการทำนายมีความกว้างมากกว่า ซึ่งบ่งชี้ว่าการใช้งานจริงอาจมีความแปรปรวนบางส่วน ผู้ประกอบการจึงสามารถตั้งค่าเครื่องตัด 2 รอบเพื่อให้ได้มุมตัดตามต้องการได้อย่างแม่นยำในสภาวะปฏิบัติจริง

สรุปและอภิปรายผล

1. อภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นพบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด แสดงว่าจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์มีผลต่อมุมโค้งและความกว้างระหว่างปลายท่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเพิ่มจำนวนรอบส่งผลให้มุมโค้งเพิ่มขึ้นในทิศทางเชิงบวก ขณะที่ความกว้างระหว่างปลายท่อลดลงตามรูปแบบ

ความสัมพันธ์เชิงลบ เมื่อเปรียบเทียบผลการทำนายด้วยแบบจำลองถดถอยพหุนาม พบว่าแบบจำลองมีความแม่นยำสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มากกว่า 0.95 ในทุกกลุ่มการทดลอง ผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ที่แสดงว่าแบบจำลองถดถอยพหุนามสามารถทำนายมุมตัดได้อย่างแม่นยำสอดคล้องกับงานของ Kim และคณะ [7] ซึ่งได้นำแบบจำลองเชิงข้อมูลมาใช้ในการทำนายรูปทรงของท่อหลังการตัดในกระบวนการตัดแบบดึงหมุนและรายงานว่าการทำนายมีความคลาดเคลื่อนต่ำ งานทั้งสองสะท้อนทิศทางเดียวกันคือ การใช้แบบจำลองที่สร้างจากข้อมูลจริงของกระบวนการตัดสามารถช่วยเพิ่มความแม่นยำในการทำนายรูปทรงหลังการตัดลดความคลาดเคลื่อน และสนับสนุนการตั้งค่ากระบวนการให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาระบบตัดท่อที่ควบคุมคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้การเลือกใช้แบบจำลองพหุนามยังมีความเหมาะสมทางทฤษฎี เนื่องจากกระบวนการตัดท่อไม่ได้มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นสมบูรณ์ระหว่างจำนวนรอบกับรูปทรงผลลัพธ์ แต่มีพฤติกรรมความโค้งของข้อมูล (curvilinear behavior) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าท่อยาวมีความแปรปรวนสูงกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้จาก

ทฤษฎีการดัดของคานที่ระบุว่าภาระโก่งตัวจะแปรผันตามกำลังสี่ของความยาว (L^4) และแปรผกผันกับค่าความแข็งงอ EI [13,14] จากกรอบทฤษฎีดังกล่าวจึงอธิบายได้ว่าท่อยาวจะมีความยืดหยุ่นเชิงดัดสูงกว่า มีความต้านทานต่อโมเมนต์ดัดลดลง และมีโอกาสเกิดการโก่งตัว การบิดตัว และการคืนรูปหลังการดัดมากกว่าท่อสั้น ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของมุมดัดและความกว้างปลายท่อมากขึ้นตามความยาว ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดลองที่พบว่าท่อความยาว 7 เมตรมีค่าการกระจายตัวสูงกว่ากลุ่ม 5 และ 6 เมตร

2. สรุปผล

2.1 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการดัดเหล็กให้ได้มุม 35 องศามีความคล้ายคลึงกันในแต่ละความยาวของเหล็ก โดยจำนวนรอบที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 1.96 ถึง 2.11 รอบ

2.2 การตั้งค่าจำนวนรอบที่เหมาะสมนี้มีโอกาสที่เป็นไปได้ 100% ในทุกกรณี

2.3 ความยาวของเหล็กที่ใช้ในการทดลองมีผลต่อการตั้งค่าจำนวนรอบที่เหมาะสม แม้ว่าเหล็กจะมีความยาวแตกต่างกัน แต่มุมที่ต้องการยังคงอยู่ที่ 35 องศาในทุกกรณี

2.4 จำนวนรอบและมุมของส่วนโค้งของเหล็กมีความสัมพันธ์ ส่งผลให้การตั้งค่าจำนวนรอบที่เหมาะสมสามารถทำได้มุมของส่วนโค้งตามที่ต้องการ โดยไม่มีความแตกต่างมากนักระหว่างความยาวของเหล็ก

2.5 ช่วงความเชื่อมั่น ในแต่ละความยาวของเหล็กจะอยู่ระหว่าง 31.46 - 40.14 องศา ส่วนช่วงการทำนายอยู่ระหว่าง 18.03 - 51.97

องศา แสดงถึงความไม่แน่นอนในการคาดการณ์มุมของส่วนโค้งสำหรับการทดลองในอนาคต

2.6 แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นช่วยให้สามารถกำหนดจำนวนรอบการดัดได้อย่างถูกต้องโดยไม่ต้องอาศัยประสบการณ์เฉพาะบุคคล จึงเอื้อต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ต้องการควบคุมคุณภาพงานดัดภายใต้ข้อจำกัดด้านต้นทุนและทรัพยากรบุคคล

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ และโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์สำหรับการพัฒนาเครื่องจักร

References

- [1] T. Ahmed, M. Faheem, and M. A. Murtaza, "Case study & stress analysis of a 3-roller bar bending machine," *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, vol. 3, no. 8, pp. 57–67, 2013.
- [2] M. C. Baraiya, N. N. Jadeja, A. B. Jasoliya, R. U. Jagad, and V. R. Makwana, "Research paper of manually operated pipe bending machine," *Paripex – Indian Journal of Research*, vol. 3, no. 5, pp. 66–67, 2014.

- [3] S. B. Deshmukh, J. A. Patil, D. S. Gurame, and D. S. Patil, "Design analysis and fabrication of hydraulic bar bending machine," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, no. 5, pp. 2658–2666, 2017.
- [4] M. Krishna S. A., "Experimental design and fabrication of a portable hydraulic pipe bending machine," *International Journal of Development Research*, vol. 4, no. 12, pp. 2681–2684, Dec. 2014.
- [5] V. Görüş, M. Bahşı, and M. Çevik, "Machine learning for the prediction of problems in steel tube bending process," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 133, no. 1, p. 108584, 2024.
- [6] D. S. Kim, J. W. Lee, and H. S. Kim, "Tube geometry prediction in rotary draw bending process using random forest regression," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 116, pp. 2543–2555, 2021.
- [7] S. Mazdak, M. R. Sheykholeslami, M. Gholami, H. Parvaz, M. M. Najafizadeh, S. Mahmoudi, and A. Vanaki, "A statistical model for estimation of bending angle in laser bending of two-layer steel–aluminum sheets," *Optics & Laser Technology*, vol. 157, p. 108575, 2023.
- [8] E. Gao, D. Xue, and Y. Li, "Springback angle prediction for high-strength aluminum alloy bending via multi-stage regression," *Metals*, vol. 15, no. 4, p. 358, 2025.
- [9] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 11th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2019.
- [10] R. L. Norton, *Machine Design: An Integrated Approach*, 6th ed. Boston, MA, USA: Pearson, 2019.
- [11] American Gear Manufacturers Association, *ANSI/ AGMA 2001- D04: Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth*, Alexandria, VA, USA: AGMA, 2004.
- [12] F. P. Beer, E. R. Johnston Jr., J. T. DeWolf, and D. F. Mazurek, *Mechanics of Materials*, 7th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2015.
- [13] J. M. Gere and B. J. Goodno, *Mechanics of Materials*, 9th ed. Stamford, CT, USA: Cengage Learning, 2018.

การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้แนวคิดลีนและระบบติดตามผลการผลิต ในโรงงานบรรจุเครื่องดื่มกรณีศึกษา

เกวลิน อัมเอิบ¹, นพคุณ แสงเขียว², พิมพ์ชนก ลิทธิเทศานนท์³

^{1, 2}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

³แผนกพัฒนาธุรกิจขนส่ง ธุรกิจโลจิสติกส์แบบควบคุมอุณหภูมิ บริษัท เอสซีจี เจดับเบิลยูดี โลจิสติกส์ จำกัด (มหาชน)

Email: lmerb_k@silpakorn.edu¹

Received: Nov 14, 2025

Revised: Jan 27, 2026

Accepted: Feb 13, 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานบรรจุเครื่องดื่มการศึกษา โดยประยุกต์ใช้แนวคิดลีนร่วมกับการพัฒนาหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวม (Dashboard) เพื่อลดระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน การดำเนินงานอาศัยกรอบแนวคิดวงจรเดมมิ่งและเครื่องมือลีน เช่น การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ระบบ 5ส และการกำหนดมาตรฐานการทำงาน เพื่อระบุและจัดการความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพาเรโตพบว่า ความสูญเปล่าที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตมากที่สุดคือ การผลิตของเสียหรือการแก้ไขงานและการรอคอย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้านเครื่องจักรขัดข้องที่พบว่า เครื่อง Crouner และเครื่อง Carton Sealer เป็นจุดวิกฤตที่มีระยะเวลาหยุดทำงานสะสมสูงสุด โดยมีสัดส่วนรวมกันคิดเป็นร้อยละ 44.58 ของระยะเวลาหยุดทำงานทั้งหมด การวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าด้วยเทคนิค Why-Why Analysis พบว่าปัญหาหลักเกิดจากการขาดการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การขาดมาตรฐานการทำงาน และพฤติกรรมการทำงานของพนักงาน ภายหลังจากนำแนวทางปรับปรุงไปใช้ พบว่าระยะเวลาการหยุดทำงานของเครื่อง Crouner ลดลงร้อยละ 94 จากเดิมร้อยละ 0.82 เหลือร้อยละ 0.047 และเครื่อง Carton Sealer ลดลงร้อยละ 76 จากเดิมร้อยละ 0.76 เหลือร้อยละ 0.175 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการบูรณาการแนวคิดลีนร่วมกับวงจรเดมมิ่งและหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวม สามารถลดระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และสร้างระบบการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องที่ยั่งยืนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: แนวคิดลีน, วงจรเดมมิ่ง, หน้าจอแสดงผลข้อมูลรวม, ระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน

Production Process Improvement Using Lean Principles and a Production Monitoring System in a Beverage Bottling Plant: A Case Study

Kewalin Imerb¹, Noppakun Sangkhiew², Pimchanok Sitthithesanon³

^{1, 2}Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial
Technology, Silpakorn University

³Business Development Cold Chain Business SCGJWD Logistics

Email: Imerb_k@silpakorn.edu

Received: Nov 14, 2025

Revised: Jan 27, 2026

Accepted: Feb 13, 2026

Abstract

This study aims to analyze and improve the production process of a beverage bottling plant by applying Lean principles in conjunction with the development of an integrated performance dashboard to reduce machine breakdown time. The improvement approach is based on the Deming cycle and employs Lean tools such as preventive maintenance 5S and standard work to identify and eliminate waste in the production process. Pareto analysis indicates that the most critical wastes affecting the process are defects and rework, followed by waiting time. These findings correlate with the breakdown analysis, which identifies the Crouner and Carton Sealer machines as critical bottlenecks with the highest accumulated downtime, together accounting for 44.58% of the total breakdown time. Root cause analysis using the Why-Why technique reveals that the primary issues stem from a lack of preventive maintenance, the absence of standardized work procedures, and operator behaviors. After implementing the Improvement measures, the breakdown time of the Crouner machine decreased by 94% from 0.82% to 0.047%, while that of the Carton Sealer machine decreased by 76% from 0.76% to 0.175%. The results demonstrate that integrating Lean principles with the Deming cycle and a production performance dashboard can effectively reduce breakdown time, enhance production efficiency, and establish a sustainable system of continuous improvement.

Keywords: Lean principles, Deming cycle, Performance dashboard, Breakdown time

บทนำ

อุตสาหกรรมเครื่องตีของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2568–2570 มีแนวโน้มการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยคาดว่าผลผลิตรวมของอุตสาหกรรมจะขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 3.5–4.5 ต่อปี เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากการฟื้นตัวของภาคเศรษฐกิจและการท่องเที่ยวภายในประเทศ รวมถึงการขยายตัวของช่องทางจำหน่ายสมัยใหม่และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองต่อพฤติกรรมผู้บริโภคยุคใหม่ ภายใต้สภาวะการแข่งขันที่รุนแรง ดังนั้นผู้ประกอบการจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต การจัดการทรัพยากรอย่างเหมาะสม และการควบคุมต้นทุน เพื่อรักษาความสามารถในการแข่งขันและเสริมสร้างความยั่งยืนในระยะยาวของอุตสาหกรรม [1], [2]

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานบรรจุเครื่องตีที่มีเป้าหมายในการพัฒนาขีดความสามารถทางการแข่งขันอย่างยั่งยืนผ่านการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง จากการสำรวจสภาพการดำเนินงานในปัจจุบันพบว่าสายการผลิตยังประสบปัญหาความสูญเสียเปล่าในหลายด้าน เช่น กิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าและการจัดการพื้นที่ปฏิบัติงานที่ขาดความเป็นระบบ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพโดยรวมและกลายเป็นต้นทุนแฝงที่ลดทอนศักยภาพในการแข่งขันของโรงงานในระยะยาว แม้ที่ผ่านมาจะมีความพยายามในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิตมาโดยตลอด แต่ยังคงประสบอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ผลลัพธ์ของการปรับปรุงไม่

เกิดประสิทธิผลเท่าที่ควร คือการขาดระบบหรือกลไกที่ช่วยในการรวบรวม วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลการผลิตอย่างเป็นระบบ เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่ถูกบันทึกด้วยวิธีจดบันทึกด้วยมือเมื่อสิ้นสุดการปฏิบัติงาน ส่งผลให้ข้อมูลมีความล่าช้า ไม่ต่อเนื่อง และยากต่อการนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุรากเหง้าของปัญหาที่แท้จริง สถานการณ์ดังกล่าวส่งผลให้ทั้งทีมงานภาคสนามและฝ่ายบริหารขาดข้อมูลที่ชัดเจนในการประเมินสถานการณ์การผลิต การตัดสินใจส่วนใหญ่จึงมักมีลักษณะเป็นการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้ามากกว่าการวางแผนเชิงป้องกัน

เพื่อก้าวข้ามอุปสรรคดังกล่าวและทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลงานวิจัยนี้จึงได้บูรณาการแนวคิดหลักเข้าด้วยกัน คือ แนวคิดลีนและเทคโนโลยีหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมโดยนำมาประยุกต์ใช้ในการระบุและกำจัดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิต ผ่านการดำเนินงานอย่างเป็นระบบตามวงจรเดมมิง โดยงานวิจัยหลายฉบับแสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้แนวคิดลีนร่วมกับวงจรเดมมิงสามารถลดความสูญเสียเปล่าและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญในหลายอุตสาหกรรม [3], [4] ขณะเดียวกัน มีการศึกษาที่นำระบบแสดงผลข้อมูลมาใช้ติดตามตัวชี้วัดด้านการผลิตแบบใกล้เคียงเวลาจริง เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรมยุค 4.0 [5]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและระบุความสูญเสียเปล่าในสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาโดยใช้แนวคิดลีน นอกจากนี้ต้องการนำเสนอการออกแบบและ

พัฒนาหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมสรุปผลการดำเนินงานขึ้นมาทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสำคัญในการปิดช่องว่างของข้อมูล หน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมจะออกแบบมาเพื่อรวบรวมข้อมูลการผลิตที่สำคัญในแต่ละวัน เช่น ระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานและสาเหตุของการหยุดทำงาน นำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟที่เข้าใจง่าย ช่วยให้ทีมงานสามารถใช้ข้อมูลในการประชุมเพื่อทบทวนผลการดำเนินงานในรอบการทำงานที่ผ่านมา ระบุปัญหาที่เกิดขึ้น และร่วมกันวางแผนแก้ไขได้อย่างตรงจุดและรวดเร็วมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์กระบวนการผลิตและลดระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานในสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาโดยใช้แนวคิดลีน
2. เพื่อปรับปรุงและประเมินผลระบบการติดตามการผลิตในโรงงานบรรจุเครื่องดื่มการศึกษา

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การทบทวนวรรณกรรม

1.1 แนวคิด Lean [5] เป็นระบบการจัดการที่มุ่งเน้นการเพิ่มคุณค่าให้กับลูกค้าโดยการขจัดกิจกรรมที่ไม่สร้างคุณค่าในกระบวนการผลิตหรือบริการ เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แนวคิดนี้มีต้นกำเนิดจากระบบการผลิตแบบโตโยต้าซึ่งพัฒนาโดย Taiichi Ohno และ Eiji Toyoda โดยให้ความสำคัญกับการลดความสูญเปล่า [6] การเพิ่มคุณภาพและ

การปรับปรุงอย่างต่อเนื่องและได้สรุปหลักการของแนวคิดลีนไว้ 5 ประการ ได้แก่

- 1) การกำหนดคุณค่า เพื่อระบุสิ่งที่ลูกค้ามองว่าเป็นคุณค่า
- 2) การวิเคราะห์สายธารคุณค่า เพื่อแยกกิจกรรมที่เพิ่มและไม่เพิ่มคุณค่าในกระบวนการ
- 3) การสร้างการไหลของกระบวนการ เพื่อลดการหยุดชะงักและทำให้กระบวนการผลิตไหลอย่างต่อเนื่อง
- 4) การผลิตแบบดึง เพื่อให้สามารถผลิตตามความต้องการจริงของลูกค้าเพื่อลดสินค้าคงคลังและต้นทุน
- 5) การมุ่งสู่ความสมบูรณ์แบบพัฒนากระบวนการอย่างต่อเนื่อง

ในการนำแนวคิดลีนมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต้องอาศัยเครื่องมือสนับสนุน เช่น การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ระบบ 5ส และการกำหนดมาตรฐานการทำงาน ซึ่งช่วยให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และเพิ่มคุณภาพได้อย่างยั่งยืน [7] โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตที่มีความซับซ้อน การประยุกต์ใช้เครื่องมือลีนช่วยให้สามารถระบุคอขวด ลดเวลาหยุดทำงานของเครื่องจักรและลดความสูญเปล่าอย่างเป็นระบบ

1.2 วงจรเดมมิง หรือเรียกว่าวงจร PDCA เป็นเครื่องมือบริหารคุณรูปที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง โดยมีต้นกำเนิดจากแนวคิด Shewhart และพัฒนาต่อโดย Dr. W. Edwards Deming ซึ่งได้รับการเผยแพร่ในประเทศญี่ปุ่นตั้งแต่ช่วงปี 1950 วงจร PDCA ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1) Plan การวางแผน วิเคราะห์ปัญหา และกำหนดเป้าหมายการปรับปรุง

2) Do การดำเนินการทดลองตามแผนที่กำหนดไว้

3) Check การตรวจสอบและประเมินผลลัพธ์ของการดำเนินการ

4) Act การปรับปรุงหรือกำหนดมาตรฐานใหม่จากผลการดำเนินงาน

โดย PDCA ถูกนำมาใช้ในระบบบริหารคุณภาพสากล เช่น ISO 9001, ISO 14001 และ IATF 16949 เพื่อให้การดำเนินงานมีมาตรฐาน และสามารถติดตามผลได้อย่างเป็นระบบ [8] การประยุกต์ใช้ PDCA ในภาคการผลิตช่วยให้องค์กรสามารถวางแผนและควบคุมการปรับปรุงคุณภาพได้อย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งลดข้อผิดพลาดและของเสียในกระบวนการ [9]

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดสัณและ PDCA มีจุดร่วมสำคัญคือการมุ่งเน้นการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดย PDCA ทำหน้าที่เป็นกลไกเชิงกระบวนการของ Lean ช่วยให้การดำเนินงานมีลำดับขั้นที่ชัดเจน ตั้งแต่การวางแผน วิเคราะห์ปัญหาไปจนถึงการตรวจสอบและปรับปรุงผลลัพธ์ การประยุกต์ใช้ PDCA ร่วมกับเครื่องมืออื่น เช่น VSM, 5S, และ TPM ช่วยให้การปรับปรุงมีความต่อเนื่องและสามารถสร้างมาตรฐานการทำงานใหม่ได้อย่างยั่งยืน พบว่าการประยุกต์ Lean-PDCA ร่วมกับเครื่องมือ A3 Report [10] แสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของทั้งสองแนวคิดในการเพิ่มผลผลิต ลดเวลาหยุดทำงานของเครื่องจักร และยกระดับคุณภาพในภาคอุตสาหกรรม เป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยให้องค์กรการผลิตสามารถ

พัฒนาอย่างต่อเนื่อง ลดความสูญเปล่าและสร้างระบบการผลิตที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว

1.4 หน้าจอแสดงผลข้อมูลรวม (Dashboard) เป็นเครื่องมือบริหารจัดการข้อมูลที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต โดยทำหน้าที่รวบรวม วิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลเชิงภาพเพื่อให้ผู้ใช้สามารถติดตามตัวชี้วัด

ประสิทธิภาพหลักได้แบบเรียลไทม์ [11] การใช้แดชบอร์ดในภาคการผลิตช่วยให้ทีมปฏิบัติงานสามารถระบุปัญหาเชิงกระบวนการได้อย่างรวดเร็วและตัดสินใจแก้ไขได้อย่างแม่นยำมากขึ้น จากการศึกษาของ Nunes et al. (2024) พบว่าการพัฒนาแดชบอร์ดด้วยโปรแกรม Power BI สำหรับติดตาม KPIs หลัก เช่น ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรและเวลาหยุดของเครื่องจักรสามารถลดเวลาในการจัดทำรายงานและเพิ่มความรวดเร็วในการวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ การแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ทำให้ผู้บริหารสามารถตัดสินใจได้ทันเวลาส่งผลให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิต [12] และจาก Pajuelo Rojas et al. (2023) ได้ศึกษาแนวทางการบูรณาการระบบแดชบอร์ดร่วมกับแนวคิด Lean-PDCA ในอุตสาหกรรมการผลิต พบว่าการใช้แดชบอร์ดในขั้นตอน Check และ Act ของวงจร PDCA ช่วยให้สามารถติดตามผลการปรับปรุงได้อย่างเป็นระบบ ลดเวลาหยุดเครื่องจักร และส่งเสริมวัฒนธรรมการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องภายใต้การบูรณาการระหว่างแดชบอร์ดและแนวคิดสัณ

จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ [3]

1.5 ทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of Constraints) เป็นกรอบแนวคิดการจัดการการผลิตที่มองว่าประสิทธิภาพของระบบโดยรวมถูกจำกัดด้วยคอขวดเพียงไม่กี่จุด และหากสามารถระบุและบริหารข้อจำกัดเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยเพิ่มผลผลิตรวมของระบบได้มากกว่าการปรับปรุงในส่วนที่ไม่ใช่คอขวด [13], [14] โดย TOC ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณของกระบวนการ เช่น ปริมาณการผลิต ระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน และความสามารถในการรองรับงานของแต่ละสถานี เพื่อระบุเครื่องจักรที่เป็นข้อจำกัดหลักของสายการผลิต และกำหนดลำดับความสำคัญของมาตรการปรับปรุงให้ชัดเจน [15] โดยอาศัยแนวคิดสืบร่วมกับ TOC เพื่อทั้งลดความสูญเสียและเพิ่มสมรรถนะของคอขวด [16] ภายใต้แนวคิดอุตสาหกรรม 4.0 การประยุกต์ใช้ TOC สามารถยกระดับประสิทธิภาพได้มากยิ่งขึ้นร่วมกับเทคโนโลยีดิจิทัลและระบบติดตามผลแบบเรียลไทม์ โดยการเชื่อมโยงข้อมูลการผลิตจากสายการบรรจุเครื่องดื่มเข้ากับหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวม ทำให้ผู้ปฏิบัติงานและผู้บริหารสามารถติดตามตัวชี้วัดสำคัญ เช่น ระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน และค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรของสายการผลิต ช่วยให้สามารถระบุคอขวด ตรวจจับแนวโน้มความสูญเสีย และตัดสินใจเลือกมาตรการปรับปรุงตามแนวคิดสืบและ TOC ได้อย่างทันทั่วทั้งที่

2. เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้ดำเนินการโดยมุ่งศึกษาสภาพปัจจุบันของสายการผลิต A ของโรงงานกรณีศึกษาเพื่อระบุปัญหาและความสูญเสียที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) ข้อมูลจากการศึกษาสภาพปัจจุบันของสายการผลิตโดยการสังเกตหน้างาน

2) ข้อมูลการผลิตย้อนหลังจากรายงานการผลิตและข้อมูลเวลาหยุดทำงานของเครื่องจักร

3) ข้อมูลจากแบบสอบถามฉบับนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบ

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับความสูญเสียและปัญหาการหยุดเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

โดยผู้วิจัยได้จัดทำแบบประเมินค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC) โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านประเมินความเหมาะสมของคำถาม เพื่อให้มั่นใจว่าข้อคำถามสามารถวัดประเด็นที่ต้องการศึกษาได้อย่างถูกต้องครอบคลุมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผลการประเมินพบว่าค่าดัชนี IOC อยู่ระหว่าง 0.67–1.00 ซึ่งอยู่ในระดับดี แสดงว่าแบบสอบถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยและสามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลจริงได้อย่างเหมาะสม

3. เครื่องมือวิเคราะห์กระบวนการ

เพื่อการวิเคราะห์ที่เป็นระบบและสามารถมองเห็นจุดที่เกิดความสูญเสียอย่างชัดเจน ผู้วิจัยประยุกต์ใช้วงจรเดมมิงเป็นกรอบแนวทางในการวางแผน การปรับปรุง ติดตามผลและรายงานผลการดำเนินงาน ร่วมกับการใช้แนวคิดทฤษฎีข้อจำกัดในการใช้ข้อมูลเวลาหยุดเครื่องและระบุเครื่องจักรที่ทำหน้าที่เป็นคอขวดของสายการผลิต A โดยช่วยให้การปรับปรุงกระบวนการเกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ และ VSM ใช้ในการแสดงภาพรวมของกระบวนการผลิตตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ เพื่อแสดงภาพรวมของกระบวนการผลิตในปัจจุบันและระบุจุดที่เกิดความสูญเสีย

4. เครื่องมือวิเคราะห์ปัญหา

หลังจากรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการผลิตและแบบสอบถามแล้ว ผู้วิจัยประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ปัญหาเชิงระบบ 3 ประเภท ได้แก่ แผนภูมิพาเรโต การวิเคราะห์เชิงสาเหตุ Why-Why Analysis โดยเริ่มจากการใช้แผนภูมิพาเรโตวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญของปัญหาการหยุดเครื่อง เพื่อระบุว่าเครื่องจักรหรือเหตุขัดข้องใดส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสายการผลิต A มากที่สุด จากนั้นใช้ผลการวิเคราะห์นี้เป็นพื้นฐานในการคัดเลือกประเด็นปัญหาที่ควรให้ความสำคัญลำดับแรก ก่อนเข้าสู่การวิเคราะห์เชิงสาเหตุด้วย Why-Why Analysis เพื่อค้นหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาโดยการตั้งคำถามเพื่อให้ได้คำตอบที่ชัดเจนถึงต้นเหตุของปัญหาที่แท้จริง

5. เครื่องมือในการปรับปรุง

ผู้วิจัยนำเครื่องมือสันทัดที่เหมาะสมมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยเลือกใช้เครื่องมือให้สอดคล้องกับลักษณะของปัญหา เช่น

5.1 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (TPM) ป้องกันการหยุดเครื่องจักรที่ไม่คาดคิดและเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร

5.2 หลัก 5ส เพื่อจัดระเบียบพื้นที่ทำงานให้สะอาดและปลอดภัย ลดความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวและการค้นหาอุปกรณ์

5.3 การกำหนดมาตรฐานเพื่อสร้างมาตรฐานการทำงานที่ชัดเจนและลดความแปรปรวนในการปฏิบัติงาน

ทั้งนี้การเลือกใช้เครื่องมือแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาที่ระบุได้จากการวิเคราะห์ปัญหาโดยมีเป้าหมายเพื่อให้การปรับปรุงมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว

6. เครื่องมือวิเคราะห์และติดตามผลลัพธ์

ในการประเมินประสิทธิภาพของการปรับปรุง ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ผลลัพธ์ 2 ประเภท ได้แก่ การออกแบบและพัฒนาหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมใช้เป็นเครื่องมือหลักในการติดตามผลการดำเนินงานในแต่ละวัน โดยนำเสนอข้อมูลเชิงภาพแสดงผลการดำเนินงานเพื่อใช้ประกอบการประชุมทีมงานและตัดสินใจเชิงปรับปรุงได้อย่างรวดเร็ว และตารางแสดงข้อมูลหรือผลลัพธ์ ก่อนและหลังการปรับปรุงใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อนและหลังการปรับปรุงเพื่อประเมินประสิทธิภาพของมาตรการปรับปรุง

7. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักตามกรอบแนวคิดวงจรเดมมิง คือ Plan Do Check และ Act ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางการดำเนินงานวิจัยตามกรอบแนวคิดวงจรเดมมิง

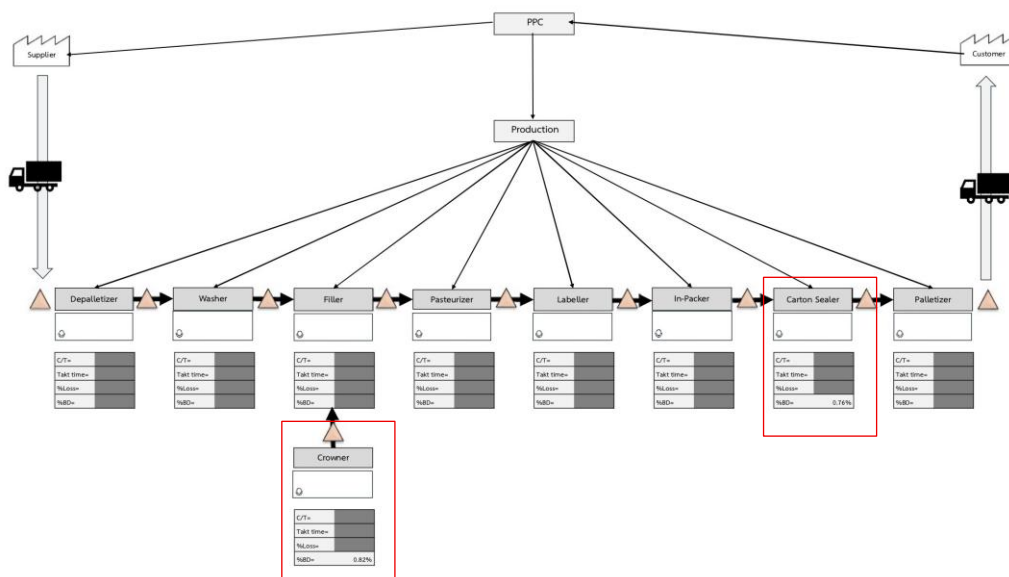
ขั้นตอน	รายละเอียดการดำเนินงาน	เครื่องมือที่ใช้กิจกรรม	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง
Plan	P1. ศึกษาสภาพปัจจุบัน ข้อมูลการผลิตย้อนหลังของสายการผลิต A	- VSM - Pareto Chart	ระบุสาเหตุหลักของปัญหา วิเคราะห์และกำหนดแนวทาง
	P2. วิเคราะห์กระบวนการด้วย Value Stream Mapping เพื่อวิเคราะห์กระบวนการ	- แบบสอบถาม - แนวคิดทฤษฎี	ปรับปรุงที่เหมาะสมของปัญหา
	P3. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยแผนภูมิพาเรโตและการวิเคราะห์ SWOT วิเคราะห์ปัญหา	ข้อจำกัด - Why-Why	
	P4. วิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าโดยใช้ Why-Why Analysis ร่วมกับการระดมสมองของทีมข้ามสายงาน (Cross-Functional Team) และกำหนดแนวทางแผนการปรับปรุง	Analysis	
Do	D1. นำแนวทางปรับปรุงที่ออกแบบไปใช้ในพื้นที่ทำงานจริง	- เครื่องมือสลิน: TPM, 5S, Standard	ปรับปรุงกระบวนการผลิต
	D2. ประเมินผลลัพธ์เบื้องต้นและปรับปรุงแนวทางตามข้อเสนอแนะจากผู้ปฏิบัติงานโดยพัฒนาระบบหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมติดตามผลการดำเนินงาน	Work - Power Bi Dashboard	
Check	C1. ใช้หน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมในการประชุมทีมงานประจำวันเพื่อติดตามผลการดำเนินงาน	- Power Bi Dashboard	ประเมินผลลัพธ์ของการปรับปรุงและติดตามผล
	วิเคราะห์แนวโน้มและระบุปัญหาที่ต้องแก้ไขเพิ่มเติม	- Before-After	
Act	C2. ตรวจสอบข้อมูลผลลัพธ์การปรับปรุงเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงและสรุปผล	Comparison Table	
	A1. สรุปบทเรียน จัดทำรายงานสรุปผลการดำเนินงานในรูปแบบ A3 report และนำเสนอผลการปรับปรุงต่อผู้บริหารและทีมที่เกี่ยวข้อง	- A3 Report - Standard	มาตรฐานการทำงาน

ผลการวิจัย

Plan (การวางแผน)

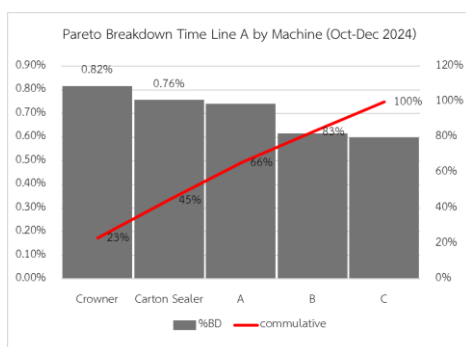
P1) ผลการศึกษาสภาพปัจจุบันของสายการผลิต A พบว่าข้อมูลจากการสังเกตหน้างานและรายงานการผลิตย้อนหลังในช่วงเดือนตุลาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2567 แสดงให้เห็นว่ามีเหตุการณ์การหยุดเครื่องจักรเกิดขึ้นบ่อยครั้งในหลายจุดของสายการผลิต จากการให้พนักงานประจำเครื่อง ช่างซ่อมและหัวหน้าไลน์ทำแบบสอบถามระบุความสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายการผลิตพบว่าผลกระทบมากที่สุด คือ ของเสีย/งานแก้ไข คิดเป็นอันดับที่ 1 สะท้อนถึง ความสูญเสียจากคุณภาพผลิตภัณฑ์และการต้องทำซ้ำงาน รองลงมาอันดับที่ 2 คือ การรอคอย เกี่ยวข้องกับเวลารอเครื่องจักร

P2) วิเคราะห์กระบวนการด้วยสายธารคุณค่า จากการจัดทำแผนภาพสายธารคุณค่า VSM เพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการผลิต ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ โดยใช้ข้อมูลช่วงเดือน ตุลาคม -ธันวาคม พ.ศ.2567 โดย ในกล่องข้อมูลของแผนภาพสายธารคุณค่า มีการระบุค่าเวลารอบการผลิต ความเร็วในการผลิตตามความต้องการของลูกค้า ปริมาณความสูญเสียในกระบวนการผลิต และระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน ของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตอย่างชัดเจน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและระบุจุดที่เกิดความสูญเสียขึ้น จากการจัดทำและวิเคราะห์พบว่า ในสายการผลิต A มีเครื่องจักรที่มีระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานสูงที่สุดได้แก่ Crowner, Carton, Sealer และ A ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังสายธารคุณค่าของสายการผลิต A

P3) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการสังเคราะห์โดยใช้กราฟพาร์โต และการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ SWOT เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหาการหยุดเครื่องในสายการผลิต A โดยใช้กราฟพาร์โตแสดงเวลาหยุดเครื่องสะสมของเครื่องจักร พบว่าเครื่อง เป็นเครื่องจักรที่มีสัดส่วนเวลาหยุดเครื่องสูงสุด คิดเป็นประมาณ 44.58% ของเวลาหยุดเครื่องรวมทั้งหมดซึ่งถือเป็นกลุ่มที่อยู่ใน ช่วง 20% แรกของสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อ 80% ของผลลัพธ์ หากสามารถลดระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานของเครื่อง Crowner และ Carton Sealer ได้จะสามารถช่วยระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานรวมทั้งสายการผลิตได้ 70–80% ตามหลักการของ Pareto Principle 80/20 ดังนั้น เครื่องจักรทั้งสองจึงถูกพิจารณาให้เป็นข้อจำกัดหลักของสายการผลิต A ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิพาร์โตเครื่องจักร

P4) วิเคราะห์หาสาเหตุ กำหนดแนวทางและแผนการปรับปรุง ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยทำงานร่วมกับทีมงานประกอบด้วยฝ่ายผลิต ฝ่ายซ่อมและวิศวกรประจำสายการผลิตทำการระดมสมองเพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงและกำหนดแนวทาง

ป้องกันการเกิดซ้ำโดยใช้การวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าด้วย Why-Why Analysis ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 โดยในการระดมสมองจะใช้ข้อมูลจากความคิดเห็นของทีมงานและใช้ข้อมูล 2 ประเภทมาวิเคราะห์ร่วมด้วย คือ

1) แบบสอบถามของพนักงาน ผลการประเมินจากแบบสอบถามพบว่าความสูญเสียที่มีผลกระทบมากที่สุดคือการรอคอย การเกิดของเสีย การใช้ทักษะบุคลากรไม่เต็มที่ โดยพนักงานให้ความเห็นเพิ่มเติมว่าเกิดจากการรอเครื่องจักรซ่อม ขาดการวางแผนการผลิตที่ต่อเนื่อง รวมถึงการใช้แรงงานไม่ตรงทักษะ ส่งผลต่อเนื่องทำให้เกิดระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานสูงจากขั้นตอน P2)

2) ข้อมูลย้อนหลังและการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพพบว่า เครื่องจักรหยุดทำงานสูงสุด คือเครื่อง Crowner และ Carton Sealer จากขั้นตอน P3) ในการวางแผนจำเป็นต้องลดเวลาหยุดเครื่องของเครื่องจักรคอขวดและการพัฒนาหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจตามแนวคิดสินและทฤษฎีข้อจำกัดในขั้นตอนถัดไปของการวิจัย

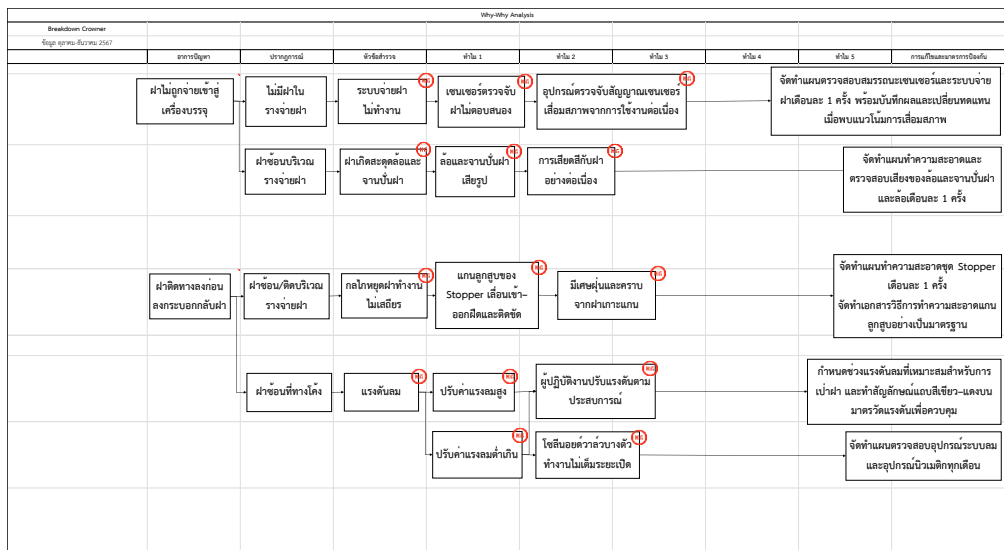
สำหรับเครื่อง Crowner พบว่าสาเหตุส่วนใหญ่ของการหยุดเดินเครื่องจักรเกิดจากการขาดการบำรุงรักษาตามแผนเชิงป้องกัน และการไม่ทำความสะอาดเครื่องจักรเป็นประจำ ส่งผลให้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ เสื่อมสภาพเร็วกว่าที่ควร รวมทั้งแรงลมสำหรับจ่ายฝาขวดไม่สม่ำเสมอเนื่องจากการปรับตั้งค่าไม่เป็นไปตามมาตรฐาน นอกจากนี้ ภายหลังจากการบำรุงรักษาเชิงป้องกันยังไม่มี การตรวจสอบการประกอบ

ชิ้นส่วนชำรุด ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเฟืองในชุดขับเคลื่อน

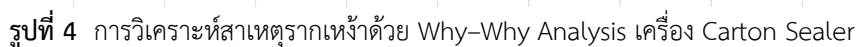
สำหรับเครื่อง Carton Sealer พบว่าปัญหาหลักเกิดจากพฤติกรรมการทำงานร่วมกับ การขาดการบำรุงรักษาตามแผนและการบำรุงรักษา โดยผู้ปฏิบัติงานเอง เช่น การไม่ตรวจสอบสภาพ สายพานและเฟืองตามรอบที่กำหนด การไม่มี แผนการตรวจสอบและทำความสะอาดเครื่องจักร และการปรับตั้งเครื่องที่ไม่เป็นมาตรฐาน

โดยสรุปจากการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้า ด้วย Why-Why Analysis พบว่าสาเหตุของการ

หยุดเดินเครื่องจักรของทั้งสองเครื่องมี ลักษณะร่วมกันในเชิงระบบ ได้แก่ การขาดการ บำรุงรักษาเชิงป้องกัน การขาดมาตรฐานการ ปฏิบัติงานที่ชัดเจน และพฤติกรรมการทำงาน ของพนักงาน เช่น การไม่ทำความสะอาด เครื่องจักรตามรอบ หรือการปรับตั้งค่าต่าง ๆ ไม่ เหมาะสม ทำให้เครื่องจักรมีโอกาสหยุดเดินบ่อย และมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสายการผลิต โดยรวม



รูปที่ 3 การวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าด้วย Why-Why Analysis เครื่อง Crowner



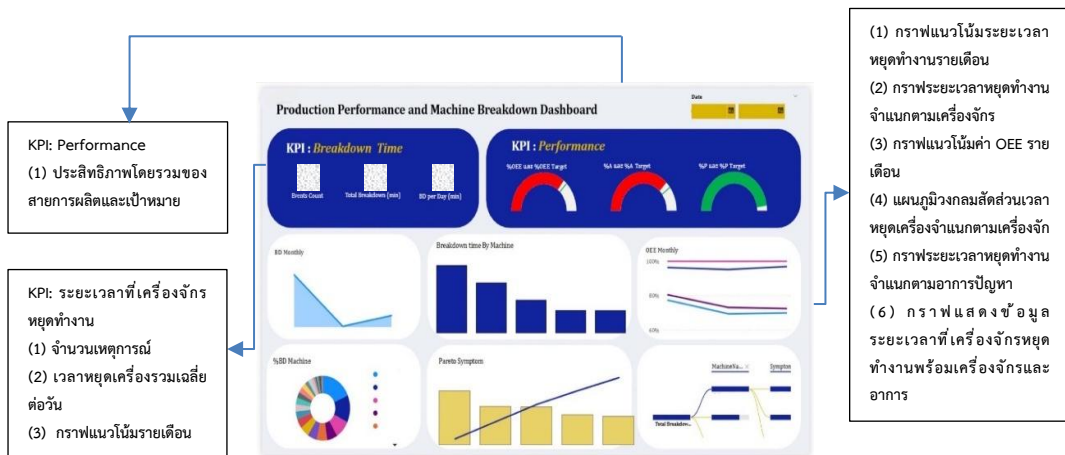
จําแนกผลข้อมูลรวมจากการประเมินผลลัพธ์

เบื้องต้นหลังการทำตามแนวทางปรับปรุงจากโปรแกรม Power Bi พบว่าเวลาการเกิดระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานลดลง พนักงานเข้าใจเครื่องจักรมากขึ้นและการทำงานสะดวกมากขึ้น

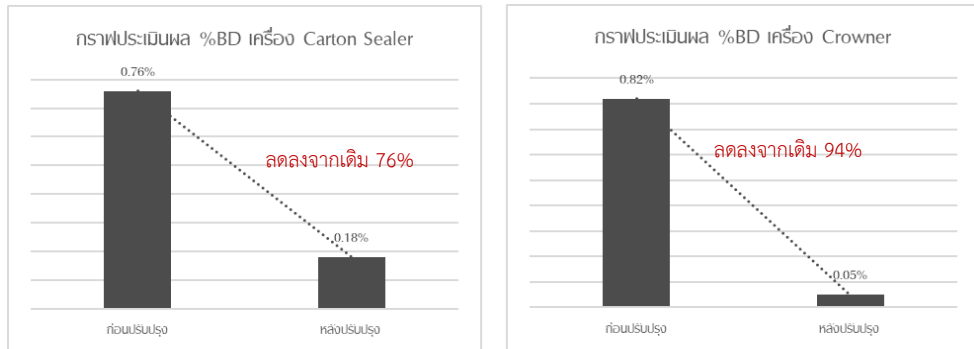
C1) ใช้หน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมในการประชุมทีมงานประจำวันเพื่อทบทวนผลการดำเนินงาน วิเคราะห์แนวโน้มและระบุปัญหาที่ต้องแก้ไขเพิ่มเติม หน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมประกอบด้วย 2 กลุ่มตัวชี้วัดหลัก ดังรูปที่ 5

ประกอบด้วย 2 กลุ่มตัวชี้วัดหลัก ดังรูปที่ 5

1. KPI: ระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน
- (1) จำนวนเหตุการณ์
- (2) เวลาหยุดเครื่องรวมเฉลี่ยต่อวัน
- (3) กราฟแนวโน้มรายเดือน
- (4) กราฟ Breakdown Time by Machine
- (5) กราฟ Breakdown Time by Symptom
2. KPI: Performance
- (1) ประสิทธิภาพโดยรวมของสายการผลิต คือ
- OEE: ประสิทธิภาพรวมของสายการผลิต
- A (Availability): ความพร้อมในการเดินเครื่อง
- P (Performance): ความเร็วการผลิตเทียบกับที่ควรได้
- Q (Quality): สัดส่วนของดีต่อจำนวนผลิต
- (2) เป้าหมายของประสิทธิภาพโดยรวมของสายการผลิต
- C2) ตรวจสอบข้อมูลหลังการปรับปรุงเปรียบเทียบกับค่าก่อนปรับปรุง โดยประเมินผลลัพธ์ผ่านหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมในโปรแกรม Power Bi ซึ่งช่วยให้ทีมงานสามารถติดตามค่า OEE และระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานของแต่ละเครื่องได้แบบใกล้เคียงเวลาจริงจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบพบว่าเวลาเครื่องจักรหยุดทำงานลดลงอย่างชัดเจน โดยระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานของเครื่อง Crowner ลดลงร้อยละ 94 และระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานของเครื่อง Carton Sealer ลดลงร้อยละ 76 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 หน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมของสายการผลิต A (Dashboard) 2569



รูปที่ 6 กราฟประเมิณผลระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานก่อน-หลังปรับปรุง

Act (การปรับปรุงแก้ไขและมาตรฐาน)

A1) สรุปบทเรียนจากการดำเนินการปรับปรุงจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงานใหม่ จัดทำรายงานสรุปผลการดำเนินงานในรูปแบบ A3 report และนำเสนอผลการปรับปรุงต่อผู้บริหารและทีมงานที่เกี่ยวข้อง

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์กระบวนการผลิตและลดระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานในสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาโดยใช้แนวคิดลีน และเพื่อปรับปรุงและประเมินผลระบบการติดตามการผลิตในโรงงานบรรจุเครื่องดื่ม กรณีศึกษาโดยการดำเนินงานยึดกรอบวงจรเดมมิงในการดำเนินงาน และใช้เครื่องมือประกอบการวิเคราะห์ และปรับปรุงอย่างเป็นระบบ ได้แก่ แผนผังสายธารคุณค่า แผนภูมิพาเรโต การวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้า การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 5ส การกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงาน ตลอดจนหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมหรือ Power Bi Dashboard เพื่อการติดตามผล และสรุปบทเรียนด้วย A3 Report โดยใช้

ข้อมูลมาจากการสังเกตหน้างาน ข้อมูลการผลิตย้อนหลัง และแบบสอบถาม

การศึกษาสภาพปัจจุบันของสายการผลิต A จากการสังเกตหน้างานและรายงานย้อนหลัง ต.ค.-ธ.ค. 2567 ร่วมกับแบบสอบถาม สะท้อนว่าความสูญเสียที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือ ของเสีย และรองลงมาคือ การรอคอย ซึ่งเชื่อมโยงกับการเกิดระยะเวลาเครื่องจักรในกระบวนการผลิต เมื่อจัดทำและวิเคราะห์แผนผังสายธารคุณค่าทำให้เห็นภาพรวมตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ พร้อมระบุจุดที่มีเวลาหยุดทำงานสูง พบว่าเครื่อง Crown และเครื่อง Carton Sealer เป็นจุดที่มีระยะเวลาหยุดทำงานสูง และสอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบพาเรโตที่ยืนยันว่าเครื่องทั้งสองรวมกันคิดเป็นร้อยละ 44.58 ของเวลาหยุดเครื่องรวมทั้งหมด จึงถูกพิจารณาเป็นข้อจำกัดหลักของสายการผลิต A และเป็นเป้าหมายสำคัญของการปรับปรุง

ต่อมาทำการวิเคราะห์สาเหตุเชิงลึกด้วย Why-Why Analysis ระบุสาเหตุร่วมเชิงระบบของทั้งสองเครื่อง ได้แก่ การขาดการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การขาดมาตรฐานการปฏิบัติงานที่

ชัดเจน และพฤติกรรมการทำงานของพนักงาน จากนั้นจึงนำแนวทางปรับปรุงไปทดลองใช้ในพื้นที่จริง โดยเน้น TPM, 5ส และมาตรฐานการทำงาน ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าใจบทบาทการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมากขึ้น สามารถแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้เอง และลดปัญหาหยุดเครื่องที่เกิดจากอุปกรณ์ การทำความสะอาดและการตรวจเช็คตามรอบ นอกจากนี้การพัฒนาหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมด้วย Power Bi ถูกใช้เป็นระบบติดตามผลและสนับสนุนการประชุมทีมงานประจำวัน ทำให้การทบทวนผลการดำเนินงาน การวิเคราะห์แนวโน้ม และการระบุประเด็นแก้ไขเพิ่มเติมทำได้รวดเร็วขึ้น

เมื่อประเมินผลก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานลดลงอย่างชัดเจน โดยเครื่อง Crowner ลดลงจาก 0.82% เหลือ 0.047% ลดลงประมาณร้อยละ 94 และเครื่อง Carton Sealer ลดลงจาก 0.76% เหลือ 0.175% ลดลงประมาณร้อยละ 76 สะท้อนว่าการมุ่งปรับปรุงเครื่องจักรคอขวดภายใต้หลักการพาเรโต ร่วมกับการแก้สาเหตุรากเหง้าด้วยเครื่องมือและการติดตามผลผ่านหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวม สามารถลดระยะเวลาหยุดทำงานของเครื่องจักรได้อย่างมีนัยสำคัญในเชิงปฏิบัติ และยังสอดคล้องกับบทความวิจัยที่ระบุว่าเครื่องมือสามารถช่วยลดความล่าช้า ความบกพร่องของเครื่องจักร และการบูรณาการวงจรเดมมิ่งร่วมกับระบบสารสนเทศเพื่อการติดตามผลแบบใกล้เคียงเวลาจริงสนับสนุนการตัดสินใจเชิงข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในบริบทอุตสาหกรรมยุค 4.0 [17], [18],[19]

จากการศึกษาและบูรณาการแนวคิดเส้นร่วมกับวงจรเดมมิ่งและหน้าจอแสดงผลข้อมูลรวมทำให้กระบวนการปรับปรุงเกิดความต่อเนื่องตั้งแต่การระบุปัญหาเป็นระบบ การดำเนินการมาตรการที่เหมาะสม ไปจนถึงการติดตามผลในการประชุมทุกวันและกำหนดมาตรฐานการทำงานใหม่ผ่าน A3 report ซึ่งช่วยลดระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และส่งเสริมการสร้างวัฒนธรรมการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องที่ยั่งยืนภายในองค์กร

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพ จึงควรมีการต่อยอดการศึกษาด้านการประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลอื่น ๆ เช่น Internet of Things (IoT) หรือระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ เพื่อให้กระบวนการติดตามผลมีความแม่นยำและทันต่อสถานการณ์มากยิ่งขึ้น
2. ควรมีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกจากแดชบอร์ด เช่น การใช้เทคนิค Data Analytics หรือ Machine Learning เพื่อคาดการณ์แนวโน้มการหยุดเครื่องจักรล่วงหน้า ซึ่งจะช่วยยกระดับการบริหารจัดการเชิงป้องกันให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม

References

- [1] Bank of Ayudhya Public Company Limited, *Thailand Industry Outlook 2025–2027: Beverage Industry*, Bangkok: Krungsri Research, 2023. [Online]. Available: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/food-beverage/beverage/io/beverage-2025-2027>
- [2] Office of Industrial Economics (OIE) and Euromonitor International, *Beverage Production and Consumption Trends in Thailand 2018–2027*, Bangkok: Ministry of Industry, 2024.
- [3] K. K. Pajuelo Rojas, J. C. Quiroz-Flores and S. Nallusamy, “Minimization of product distribution delays through an integration model of lean manufacturing tools and A3 report—Case study,” *International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 9, pp. 31–43, Sep. 2023.
- [4] H. Ghelani, “Advances in lean manufacturing: Improving quality and efficiency in modern production systems,” *International Journal of Scientific Research and Management*, vol. 9, no. 6, pp. 611–625, Jun. 2021.
- [5] J. P. Womack and D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, New York: Simon & Schuster, 1996.
- [6] T. Ohno, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Portland, OR: Productivity Press, 1988.
- [7] J. Bhamu and K. S. Sangwan, “Lean manufacturing: Literature review and research issues,” *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 34, no. 7, pp. 876–940, 2014.
- [8] M. - Á. Rangel- Sánchez et al. , “Enhancing scrap reduction in electric motor manufacturing for the automotive industry: A case study using the PDCA (Plan–Do–Check–Act) approach,” *Applied Sciences*, vol. 14, no. 2999, pp. 1–27, 2024.
- [9] V. Nguyen, N. Nguyen, B. Schumacher and T. Tran, “Practical application of Plan–Do–Check–Act cycle for quality improvement of sustainable packaging: A case study,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 6332, pp. 1–15, 2020.
- [10] N. Wapeetho, “Application of Lean concept to improve production efficiency in the mold parts department of ABC company,” Master's thesis, College of Commerce, Burapha University, Chonburi, Thailand, 2020.

- [11] S. Vilarinho, I. Lopes and S. Sousa, "Design procedure to develop dashboards aimed at improving the performance of productive equipment and processes," *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 1634–1641, 2017.
- [12] F. Nunes, E. Alexandre and P. D. Gaspar, "Implementing key performance indicators and designing dashboard solutions in an automotive components company: A case study," *Administrative Sciences*, vol. 14, no. 8, p. 175, 2024.
- [13] S. Rahman, "Theory of constraints: A review of the philosophy and its applications," *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 18, no. 4, pp. 336–355, 1998.
- [14] Z. T. Şimşit, N. S. Günay, and Ö. Vayvay, "Theory of Constraints: A literature review," *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 150, pp. 930–936, 2014.
- [15] D. A. de J. Pacheco, I. Pergher, J. A. V. Antunes Jr., and G. L. R. Vaccaro, "Exploring the integration between Lean and the Theory of Constraints in operations management," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 10, no. 3, pp. 718–742, 2019.
- [16] J. V. R. Luiz, F. B. de Souza, and O. R. Luiz, "Theory of Constraints and Industry 4.0: mutual contributions and research perspectives," *Production*, vol. 35, 2025.
- [17] S. Pawlak, "The impact of selected lean manufacturing tools on the level of delays in the production process: A case study," *Management Systems in Production Engineering*, vol. 32, no. 1, pp. 103–107, 2024.
- [18] P. Peças, J. Encarnação, M. Gambôa, M. Sampayo and D. Jorge, "PDCA 4.0: A new conceptual approach for continuous improvement in the Industry 4.0 paradigm," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 7671, pp. 1–29, 2021.
- [19] S. Chinodom "Improvement of an assembly station using PDCA cycle and cross- functional team," *Engineering Journal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang*, vol. 39, no. 4, pp. 120–130, 2022.

การวิจัยและพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การจัดการนิติบุคคลอาคารชุด: กรณีศึกษาอาคารชุดในเครือ บริษัท เซนเซส พร็อพเพอร์ตี้ แมเนจเม้นท์ จำกัด

จิตราวดี รุ่งอินทร์ กันกา¹, รวิ อุตมธนิทร์², รดาณิ ศรีนวล³

^{1,3}สาขาวิชาการจัดการอสังหาริมทรัพย์และทรัพยากรอาคาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

²สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email: jitravadee.ro@ssru.ac.th¹

Received: Aug 10, 2025

Revised: Mar 25, 2026

Accepted: Mar 26, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปัญหาและแนวทางในการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการจัดการนิติบุคคลอาคารชุด 2) ออกแบบแอปพลิเคชันในส่วนงานที่ยังไม่สมบูรณ์ เพื่อให้ผู้ใช้งานทุกฝ่ายสามารถเชื่อมต่อและเข้าถึงการบริการได้สะดวกยิ่งขึ้น และ 3) นำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการอาคารชุด ดำเนินการวิจัยในรูปแบบการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ผ่าน 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การทบทวนวรรณกรรม 2) การสำรวจและสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 3) การศึกษากระบวนการปฏิบัติงานเดิมแบบแมนนวล 4) การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน และ 5) การสรุปแนวทางและนำเสนอต้นแบบ กลุ่มเป้าหมายคืออาคารชุดในเครือบริษัท เซนเซส พร็อพเพอร์ตี้ แมเนจเม้นท์ จำกัด ซึ่งบริหารจัดการมากกว่า 20 โครงการ ผลการศึกษาพบว่า แม้บริษัทฯ จะมีระบบเว็บแอปพลิเคชันหลัก แต่ใน 3 ระบบงานย่อย ได้แก่ 1) ระบบตรวจสอบความสะอาด 2) ระบบตรวจสอบความปลอดภัย และ 3) ระบบการจองรถตู้ ยังคงใช้กระบวนการบันทึกข้อมูลแบบแมนนวลผ่านไฟล์ตารางและเอกสารที่ขาดการเชื่อมโยงฐานข้อมูลกลาง ส่งผลให้เกิดความซ้ำซ้อนและความยากลำบากในการตรวจสอบข้อมูล ผู้วิจัยจึงนำเสนอต้นแบบแอปพลิเคชันบนระบบ Android ที่พัฒนาด้วยเครื่องมือ Canva และ Adalo โดยบูรณาการเทคโนโลยี QR Code สำหรับจุดตรวจสอบ และ GPS สำหรับติดตามตำแหน่งรถตู้ ผลการทดสอบเบื้องต้นกับหัวหน้างานแต่ละฝ่ายและผู้เกี่ยวข้องจำนวน 8 คน พบว่า ต้นแบบแอปพลิเคชันช่วยลดขั้นตอนการบันทึกข้อมูล ลดการใช้เอกสารกระดาษ และทำให้กระบวนการทำงานเป็นระบบมากขึ้น มีความถูกต้องของข้อมูลสูงขึ้น โดยมีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.50 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.44) ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นครอบคลุม 3 ระบบหลัก พร้อมฟีเจอร์สำคัญ 5 ด้าน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2569

ได้แก่ การสแกนจุดตรวจ การบันทึกภาพประกอบ การตรวจสอบประวัติแบบเรียลไทม์ การแสดงสถานะรถตู้ และการจองล่วงหน้า แอปพลิเคชันนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของฝ่ายนิติบุคคลอาคารชุด และส่งเสริมความสะดวกในการเข้าถึงบริการของผู้พักอาศัยได้อย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ: การวิจัยและพัฒนา, แอปพลิเคชันแอนดรอยด์, นิติบุคคลอาคารชุด, ระบบตรวจสอบการทำงาน, การจัดการสิ่งอำนวยความสะดวก

Research and Development of an Application to Enhance Condominium Juristic Person Management Efficiency: Case Study of Senses Property Management Co., Ltd.

Jitravadee Roongin KunKar¹, Ravi Uttamatin², Radamanee Srinaul³

^{1,3}Real Estate and Facility Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Suan Sunandha Rajabhat University

²Computer Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Suan Sunandha Rajabhat University

Email: jitravadee.ro@ssru.ac.th¹

Received: Aug 10, 2025

Revised: Mar 25, 2026

Accepted: Mar 26, 2026

Abstract

This research aims to 1) study problems and approaches for developing an application for condominium juristic person management, 2) design an application to improve incomplete operational functions, enabling all user groups to access services more conveniently, and 3) propose approaches for applying digital technology to improve the efficiency of condominium management. The study employed Research and Development (R&D) methodology through five main steps: 1) literature review, 2) interviewing stakeholders from management and operational departments, 3) studying existing manual work processes, 4) data analysis for application design and development, and 5) summarizing approaches and presenting the prototype. The target group included condominium projects under Senses Property Management Co., Ltd., managing over 20 projects. The findings revealed that although the company utilizes a main web application, three sub-systems—1) cleanliness inspection, 2) security monitoring, and 3) shuttle van booking—still rely on manual recording via spreadsheets and documents lacking central database integration, leading to redundancy and difficulty in data verification. The researcher proposed an Android-based application prototype developed using Canva and Adalo, integrating QR Code technology for inspection points and GPS for van tracking. Preliminary testing with 8 department heads and related personnel indicated that the application prototype helps reduce data recording steps, decrease paper usage, and make work processes more systematic with improved data accuracy,

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2569

with an overall satisfaction level at the highest level (Mean = 4.50, S.D. = 0.44). The developed prototype covers three main systems with five key features: inspection point scanning, photo documentation, real-time history verification, van status display, and advance booking. This prototype aims to enhance the efficiency of condominium juristic person management and improve residents' access to services.

Keywords: Research and Development, Android Application, Condominium Juristic Entity, Work Inspection System, Facility Management

บทนำ

ในยุคปัจจุบัน เทคโนโลยีดิจิทัลมีบทบาทสำคัญต่อการบริหารจัดการองค์การให้มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานและอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน [1] ในบริบทของการจัดการนิติบุคคลอาคารชุด ซึ่งเป็นองค์กรที่มีหน้าที่ตามกฎหมายในการดูแลทรัพย์สินส่วนกลางและอำนวยความสะดวกแก่ผู้พักอาศัย การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้จึงเป็นแนวทางสำคัญในการยกระดับคุณภาพการบริการและลดต้นทุนการดำเนินงาน [2], [3]

จากการศึกษาสภาพปัญหาในการบริหารจัดการอาคารชุดในเครือบริษัท เซนเซส พร็อพเพอร์ตี้ แมเนจเม้นท์ จำกัด ซึ่งดูแลโครงการมากกว่า 20 แห่ง พบว่า แม้บริษัทฯ จะมีการใช้เว็บแอปพลิเคชัน “Served by Senses” สนับสนุนการทำงานในบางส่วน แต่ใน 3 ระบบงานหลัก ได้แก่ 1) ระบบตรวจสอบความสะอาด 2) ระบบตรวจสอบความปลอดภัย และ 3) ระบบการจองรถตู้ ยังคงใช้กระบวนการบันทึกข้อมูลแบบแมนนวลผ่านไฟล์ตาราง (Spreadsheets) และเอกสารที่ไม่มีการเชื่อมโยงฐานข้อมูลกลาง ส่งผลให้เกิดปัญหาความซ้ำซ้อนของข้อมูล ความยากลำบากในการตรวจสอบย้อนกลับ และการสูญเสียหลักฐานการปฏิบัติงาน ซึ่งกระทบต่อประสิทธิภาพการบริหารจัดการโดยรวม

ช่องว่างของงานวิจัย (Research Gap) ที่พบคือ ยังขาดระบบแอปพลิเคชันที่บูรณาการกระบวนการตรวจสอบภาคสนามและการรายงานผลแบบเรียลไทม์ไว้ในแพลตฟอร์มเดียว

โดยเฉพาะในบริบทนิติบุคคลอาคารชุดของไทยที่เน้นการใช้งานผ่านมือถือและรองรับการทำงานแบบออนไลน์ [4]

วัตถุประสงค์การวิจัย

จากการศึกษาปัญหาในการบริหารจัดการอาคารชุดในเครือบริษัท เซนเซส พร็อพเพอร์ตี้ แมเนจเม้นท์ จำกัด ซึ่งดูแลโครงการมากกว่า 20 แห่ง พบว่า แม้บริษัทฯ จะมีการใช้เว็บแอปพลิเคชัน “Served by Senses” สนับสนุนการทำงานในบางส่วน แต่ใน 3 ระบบงานหลัก ได้แก่ 1) ระบบตรวจสอบความสะอาด 2) ระบบตรวจสอบความปลอดภัย และ 3) ระบบการจองรถตู้ ยังคงใช้กระบวนการบันทึกข้อมูลแบบแมนนวลผ่านไฟล์ตารางและเอกสารที่ไม่มีการเชื่อมโยงฐานข้อมูลกลาง ส่งผลให้เกิดปัญหาความซ้ำซ้อนของข้อมูล ความยากลำบากในการตรวจสอบย้อนกลับ และการสูญเสียหลักฐานการปฏิบัติงาน

ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ 3 ประการ ดังนี้

1. ศึกษาปัญหาและแนวทางในการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการบริหารจัดการนิติบุคคลอาคารชุด
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบในส่วนงานที่ยังไม่สมบูรณ์
3. เพื่อประเมินผลการใช้งานเบื้องต้นกับกลุ่มผู้ใช้งานจริง และนำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการอาคารชุดอย่างยั่งยืน

แนวคิด ทฤษฎี และกรอบแนวคิดการวิจัย

แนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศ

การวิจัยนี้อ้างอิงแนวคิดวงจรการพัฒนา ระบบซอฟต์แวร์ (Software Development Life Cycle: SDLC) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการ วิเคราะห์ความต้องการ การออกแบบ การพัฒนา การทดสอบ และการบำรุงรักษา [1] โดยประยุกต์ใช้ ร่วมกับแนวทาง Agile ที่เน้นการพัฒนาแบบวนซ้ำ และการรับฟังข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานอย่างต่อเนื่อง [2]

แนวคิดระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (MIS)

ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการช่วยสนับสนุน การตัดสินใจ เพิ่มความถูกต้องของข้อมูล และลด ระยะเวลาในการดำเนินงาน [3] ซึ่งสอดคล้องกับ วัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ต้องการพัฒนาระบบที่ ช่วยลดขั้นตอนแมนนวลและเพิ่มความโปร่งใสใน การติดตามงาน

แนวคิดดิจิทัลทรานส์ฟอร์มเมชันใน อสังหาริมทรัพย์ (PropTech)

การนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ในการภาค อสังหาริมทรัพย์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และเพิ่มความโปร่งใสในการบริหารจัดการ [4] โดยเฉพาะการใช้เทคโนโลยีเช่น QR Code และ GPS ในการบันทึกและตรวจสอบข้อมูลภาคสนาม ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความน่าเชื่อถือ ของข้อมูล [5]

กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยกำหนดกรอบแนวคิดโดยพิจารณา ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม ดังนี้

ตัวแปรต้น (Independent Variable)

การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการจัดการนิติ บุคคลอาคารชุด ซึ่งประกอบด้วย 3 ระบบหลัก ได้แก่

1. ระบบตรวจสอบความสะอาด (บูรณาการ เทคโนโลยี QR Code)
2. ระบบตรวจสอบความปลอดภัย (บูรณาการ เทคโนโลยี QR Code)
3. ระบบการจองรถตู้ (บูรณาการเทคโนโลยี GPS)

ตัวแปรตาม (Dependent Variables)

1. ประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน
 - ลดขั้นตอนการบันทึกข้อมูล
 - ลดการใช้เอกสารกระดาษ
2. ความถูกต้องของข้อมูล
 - มีหลักฐานดิจิทัล
 - ตรวจสอบย้อนกลับได้
3. ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน
 - ความสะดวกในการใช้งาน
 - ความรวดเร็วในการเข้าถึงบริการ

กรอบแนวคิดกำหนดว่า การพัฒนาแอปพลิเคชันที่บูรณาการกระบวนการทำงานด้านการ ตรวจสอบความสะอาด ความปลอดภัย และการ จัดการทรัพยากรส่วนกลาง จะส่งผลต่อ ประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน ความถูกต้องของ

ข้อมูล และระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานใน
ระยะทดสอบระบบต้นแบบ

ระเบียบวิธีวิจัย

การพัฒนาแอปพลิเคชันครั้งนี้ดำเนินการตามกระบวนการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) ในระยะทดสอบระบบต้นแบบ (Prototype Testing) โดยมุ่งเน้นการพัฒนาาระบบต้นแบบและประเมินผลการใช้งานจริงในบริบทองค์กรภาคเอกชน มีขั้นตอนการดำเนินงาน 7 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1: ศึกษาปัญหา ความต้องการของบริษัท และกระบวนการทำงานของแอปพลิเคชันระบบจัดการนิติบุคคลอาคารชุดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ระยะที่ 2: วิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคของการพัฒนาด้วยเทคโนโลยี QR Code บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ระยะที่ 3: ออกแบบแอปพลิเคชันระบบจัดการนิติบุคคลอาคารชุดด้วยเทคโนโลยี QR Code บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ระยะที่ 4: พัฒนาแอปพลิเคชันระบบจัดการนิติบุคคลอาคารชุด

ระยะที่ 5: ทดลองติดตั้งแอปพลิเคชันระบบจัดการนิติบุคคลอาคารชุด

ระยะที่ 6: สร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย และเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัย

ระยะที่ 7: สรุปและเผยแพร่ผลงานวิจัย
จากกระบวนการดังกล่าว ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในองค์กร นำมาวิเคราะห์และออกแบบระบบให้สอดคล้องกับลักษณะการ

ปฏิบัติงานจริง โดยมุ่งเน้นการลดการใช้เอกสารกระดาษ เพิ่มความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับ และพัฒนาให้สามารถบันทึกข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลได้อย่างเป็นระบบดังรูปที่ 1

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ผู้จัดการอาคารและเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานในอาคารชุดของบริษัท เซนเซส พร็อพเพอร์ตี้ แมเนจเม้นท์ จำกัด จำนวน 8 คน ซึ่งเป็นผู้มีประสบการณ์ตรงในการใช้งานระบบ โดยเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อทดสอบระบบต้นแบบในสภาพแวดล้อมจริง เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา ในระยะทดสอบระบบต้นแบบ จึงมุ่งเน้นการประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นและความพึงพอใจของผู้ใช้งานกลุ่มเป้าหมายโดยตรง



รูปที่ 1 แผนภาพกระบวนการวิจัยและพัฒนา
แอปพลิเคชัน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและพัฒนาระบบต้นแบบ จำนวน 3 ประเภท ดังนี้

1. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-structured Interview)

ใช้สำหรับเก็บข้อมูลความต้องการระบบปัญหาในการปฏิบัติงาน และข้อเสนอแนะจากผู้บริหารและหัวหน้างานแต่ละฝ่าย

2. แบบบันทึกผลการทดสอบและปรับปรุงระบบ (System Testing and Feedback Form)

ใช้สำหรับบันทึกข้อเสนอแนะระหว่างการพัฒนาจากหัวหน้างานและผู้เกี่ยวข้องจำนวน 8 คน โดยใช้กระบวนการพัฒนาแบบวนซ้ำ (Iterative Development) เพื่อปรับปรุงระบบให้สอดคล้องกับความต้องการผู้ใช้งานจริง

3. แอปพลิเคชันต้นแบบที่พัฒนาด้วยเครื่องมือ Canva และ Adalo ใช้สำหรับทดสอบการใช้งานใน 3 ระบบหลัก ได้แก่ ระบบตรวจสอบความสะอาด ระบบตรวจสอบความปลอดภัย และระบบการจอดรถ โดยพัฒนาบนระบบปฏิบัติการ Android และบูรณาการเทคโนโลยี QR Code สำหรับจุดตรวจสอบ และ GPS สำหรับติดตามตำแหน่งรถตู้

โครงสร้างการทำงานของระบบ

แอปพลิเคชันถูกออกแบบให้ทำงานในลักษณะ Mobile-Based Management System โดยมีโครงสร้างการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งระบบดังกล่าวช่วยให้ข้อมูลการปฏิบัติงานถูกจัดเก็บอย่างเป็นระบบ สามารถตรวจสอบ

ย้อนหลังได้ และลดความคลาดเคลื่อนจากการใช้เอกสารแบบเดิม



รูปที่ 2 โครงสร้างการทำงานของระบบแอปพลิเคชัน
ที่มา: ผู้วิจัย

นอกจากนี้ยังสนับสนุนการบริหารจัดการในเชิงติดตามผล (Monitoring) และการควบคุมคุณภาพงาน (Quality Control) ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบ 2) ผลการประเมินความพึงพอใจและการใช้งานระบบต้นแบบ และ 3) ประโยชน์ที่ได้รับจากการนำระบบไปใช้

ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบ

ระบบที่พัฒนาขึ้นครอบคลุม 3 ระบบหลัก ดังนี้

1. ระบบตรวจสอบความสะอาด (Cleanliness Inspection System)

ได้แก้ปัญหการบันทึกข้อมูลด้วยเอกสารกระดาษที่สูญหายหรือเสียหาย โดยเพิ่มฟังก์ชันการสแกน QR Code ตามจุดตรวจสอบ การบันทึกข้อมูลพร้อมแนบรูปภาพประกอบ และระบบตรวจสอบประวัติการปฏิบัติงานแบบเรียลไทม์

2. ระบบตรวจสอบความปลอดภัย (Security Inspection System)

ในระบบได้สร้างการยืนยันการตรวจตราที่ชัดเจน โดยเพิ่มฟังก์ชันการบันทึกเวลาและสถานที่อัตโนมัติขณะสแกนจุดตรวจ การแนบรูปภาพหรือหมายเหตุเมื่อพบเหตุผิดปกติ และระบบแจ้งเตือนไปยังหัวหน้างานทันที

3. ระบบการจองรถตู้ (Shuttle Van Booking System)

ได้มีการอำนวยความสะดวกในการจองและติดตามสถานะรถตู้ โดยเพิ่มฟังก์ชันแสดงสถานะรถตู้แบบเรียลไทม์ การจองรอบการใช้งานล่วงหน้า และการติดตั้ง GPS บนรถเพื่อแสดงตำแหน่งปัจจุบัน

ผลการประเมินความพึงพอใจและการใช้งานระบบต้นแบบ

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบใช้งานระบบต้นแบบกับกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ หัวหน้างานแต่ละฝ่ายและผู้เกี่ยวข้องจำนวน 8 คน โดยใช้แบบบันทึกผลการ

ทดสอบและปรับปรุงระบบ (System Testing and Feedback Form) ระหว่างกระบวนการพัฒนาแบบวนซ้ำ (Iterative Development) ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบต้นแบบสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบต้นแบบ (n=8)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความคิดเห็น
ความสะดวกในการใช้งาน	4.38	0.52	มาก
ความรวดเร็วในการบันทึกข้อมูล	4.42	0.48	มาก
ความถูกต้องของข้อมูล	4.35	0.50	มาก
ความสามารถในการติดตามงาน	4.47	0.46	มาก
การลดขั้นตอนการทำงาน	4.40	0.51	มาก
การลดการใช้เอกสารกระดาษ	4.45	0.49	มาก
ความพึงพอใจโดยรวม	4.50	0.44	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.50, S.D. = 0.44) โดยด้านที่มีความพึงพอใจสูงสุดคือความสามารถในการติดตามงาน (Mean = 4.47) และการลดการใช้เอกสารกระดาษ (Mean = 4.45) แสดงให้เห็นว่าระบบต้นแบบสามารถตอบโจทย์ปัญหาการขาดหลักฐานยืนยันและการ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการนำระบบไปใช้

จากการทดสอบใช้งานและข้อเสนอแนะระหว่างการพัฒนา พบว่าระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นส่งผลให้เกิดประโยชน์ดังนี้

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - มิถุนายน 2569

1. ลดการใช้เอกสารกระดาษ: การเปลี่ยนจากการบันทึกข้อมูลด้วยไฟล์ตารางและเอกสารกระดาษในตารางที่ 2,3,4 มาเป็นการบันทึกผ่านแอปพลิเคชัน ดังรูปที่ 3,4,5 ทำให้ช่วยลดปริมาณการใช้กระดาษและปัญหาเอกสารสูญหายหรือเสียหาย

2. การทำงานที่เป็นระบบมากขึ้น: ข้อมูลถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลกลาง ทำให้การส่งต่อข้อมูลระหว่างฝ่ายปฏิบัติงานและฝ่ายบริหารมีความครบถ้วนและตรวจสอบได้

3 เพิ่มหลักฐานยืนยันการปฏิบัติงาน: การใช้เทคโนโลยี QR Code และ GPS ช่วยสร้างหลักฐานดิจิทัลที่ตรวจสอบย้อนกลับได้ ลดปัญหาการทุจริตเวลาการทำงาน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างตารางตรวจสอบความสะอาด

[illegible]

ตารางที่ 3 ตัวอย่างตารางตรวจสอบความปลอดภัย

ชื่อบริษัทรักษาความปลอดภัย								
รายงานการตรวจตรา.....(ชื่อโครงการ).....								
ตั้งแต่วันที่.....ถึงวันที่.....จำนวน.....รายการ								
ว/ด/ป เวลา - ว/ด/ป เวลา จำนวน.....รายการ								
ลำดับ	เวลา	ประเภท	วิธีหรือ	วิธีใดบ้าง	จุดตรวจ	รายการ ตรวจสอบ	ผลลัพธ์	รูปถ่าย
1		QR						
2		QR						
3		QR						

ตารางที่ 4 ตัวอย่างตารางเวลาวิ่งรอบรถตู้

คันที่ 1	ชื่อโครงการ	MRT
ลำดับ	เวลานับรับ	เวลาถึงจุดหมาย
1.		
2.		
3.		
4.		

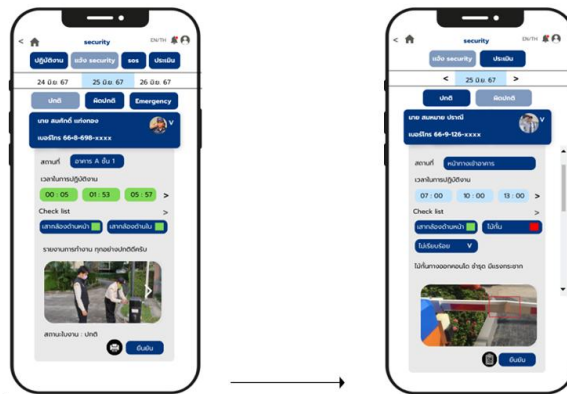


รูปที่ 3 หน้าจอแอปพลิเคชันระบบจองรถตู้
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4 หน้าจอแอปพลิเคชันระบบตรวจสอบความสะอาด

ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 5 หน้าจอแอปพลิเคชันระบบตรวจสอบความปลอดภัย
ที่มา: ผู้วิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการจัดการนิติบุคคลอาคารชุด และประเมินประสิทธิภาพการใช้งานในระยะทดสอบระบบต้นแบบ โดยดำเนินการภายใต้กรอบการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 8 คน ซึ่งเป็นหัวหน้างานและผู้เกี่ยวข้องในอาคารชุดเคโรบริษัท เซนเซส พร็อพเพอร์ตี้ แมเนจเม้นท์ จำกัด ผลการวิจัยพบว่า ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นครอบคลุม 3 ระบบหลัก ได้แก่ 1) ระบบตรวจสอบความสะอาด 2) ระบบตรวจสอบความปลอดภัย และ 3) ระบบการจองรถตู้ ซึ่งสามารถช่วยลดขั้นตอนการบันทึกข้อมูล ลดการใช้เอกสารกระดาษ และทำให้กระบวนการทำงานเป็นระบบมากขึ้น มีความถูกต้องของข้อมูลสูงขึ้น โดยระดับความพึงพอใจโดยรวมของผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.50)

อภิปรายผล

ความสอดคล้องกับทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการและสร้างความพึงพอใจให้ผู้ใช้งานได้ในระดับสูง สอดคล้องกับแนวคิดวงจรการพัฒนาแบบซอฟต์แวร์ (SDLC) ที่ระบุว่ากระบวนการพัฒนาที่เป็นระบบตั้งแต่การวิเคราะห์ความต้องการจนถึงการทดสอบ ช่วยให้ได้ระบบที่มีคุณภาพและตรงตามความต้องการผู้ใช้ [2] นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับแนวทาง Agile Development ที่เน้นการพัฒนาแบบวนซ้ำและการรับฟังข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานอย่างต่อเนื่อง ทำให้ระบบสามารถปรับปรุงให้เหมาะสมกับบริบทการทำงานจริงได้รวดเร็ว [1]

ในการจัดการสารสนเทศ ผลการวิจัยสอดคล้องกับแนวคิดระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ ที่ระบุว่าระบบดิจิทัลช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ เพิ่มความถูกต้องของข้อมูล และลดระยะเวลาในการดำเนินงาน [3] โดยเฉพาะการบูรณาการเทคโนโลยี QR Code และ GPS ลงในแอปพลิเคชัน ช่วยสร้างความโปร่งใสและลดข้อผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลแบบแมนนวล ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดดิจิทัลทรานส์ฟอร์มชันในภาคอสังหาริมทรัพย์ ที่มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพองค์กรและความโปร่งใสในการบริหารจัดการ [4]

ความสอดคล้องกับงานวิจัยเดิม

ผลการวิจัยในส่วนระบบการจองรถตู้สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิชัย ชูช่วย (2562) [5] ที่เสนอระบบจองรถตู้ภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งพบว่าการติดตั้ง GPS และระบบจองออนไลน์ช่วยเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน โดยงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเพิ่มเติมโดยออกแบบให้รองรับการใช้งานผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือและเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลกลางของนิติบุคคล ทำให้ผู้พักอาศัยสามารถใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น

ในส่วนของระบบตรวจสอบความสะอาดและความปลอดภัย ผลการวิจัยสอดคล้องกับงานของ สุนทร สุขมาก (2564) [6] ที่เสนอการใช้แอปพลิเคชันในการบันทึกข้อมูลการปฏิบัติงาน ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดจากการใช้เอกสารกระดาษ และเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้ขยายผลโดยเน้นกระบวนการพัฒนาแบบ iterative กับผู้ใช้งานจริงในองค์กรภาคเอกชน

ซึ่งทำให้ได้ข้อเสนอแนะที่นำไปปรับปรุงระบบได้ทันทีก่อนการนำไปใช้จริง

ข้อจำกัดของงานวิจัย

แม้ว่าแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นจะสามารถแก้ปัญหาในส่วนที่เกี่ยวข้องได้ในระดับหนึ่ง แต่การวิจัยครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ ดังนี้

ขนาดกลุ่มตัวอย่าง: การทดสอบระบบต้นแบบดำเนินการกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 8 คน ซึ่งเป็นผู้ใช้งานในองค์กรเดียวกัน จึงอาจยังไม่สามารถอ้างอิงผลในภาพรวมของนิติบุคคลอาคารชุดทั้งหมดได้

ระยะการวิจัย: การวิจัยอยู่ในระยะทดสอบระบบต้นแบบ (Prototype Testing) ยังไม่ได้เป็นการนำไปใช้งานจริงในระยะยาว (Long-term Implementation) เพื่อวัดผลกระทบเชิงลึก

ฟังก์ชันการทำงาน: ระบบต้นแบบยังไม่รองรับการทำงานแบบออฟไลน์ (Offline Mode) และยังไม่มีการชำระเงินผ่านแอปพลิเคชัน ซึ่งอาจจำกัดการใช้งานในบางสถานการณ์

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

จากการวิจัยและพัฒนา ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้และการพัฒนาต่อไป ดังนี้

ด้านการพัฒนาระบบ: ควรพัฒนาแอปพลิเคชันให้รองรับการทำงานแบบออฟไลน์ เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถบันทึกข้อมูลได้แม้ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต และเพิ่มฟีเจอร์การชำระเงินผ่านแอปพลิเคชัน เพื่อรองรับการชำระค่าบริการต่าง ๆ เช่น ค่าบำรุงส่วนกลาง ค่าจองรถตู้

ด้านการขยายผล: ควรทดลองใช้งานจริงในโครงการที่มีลักษณะแตกต่างกัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังการใช้ระบบ เพื่อประเมินผลกระทบในเชิงลึกมากยิ่งขึ้น

ด้านฟีเจอร์เพิ่มเติม: ควรออกแบบระบบให้รองรับการตรวจสอบการเบิกอุปกรณ์ เช่น ทิชชู น้ำยาทำความสะอาด ฯลฯ และติดตั้ง GPS บนรถตู้ทุกคนเพื่อแสดงตำแหน่งแบบเรียลไทม์อย่างเต็มรูปแบบ

ด้านความปลอดภัย: ควรเพิ่มระบบรักษาความปลอดภัยข้อมูลส่วนบุคคลของผู้พักอาศัยให้เป็นไปตามมาตรฐานกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท เซนเซส พร็อพเพอร์ตี้ แมเนจเม้นท์ จำกัด และบริษัท ยูนิเวนเจอร์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้โอกาสและข้อมูลในการทำวิจัย รวมถึงความร่วมมือจากเจ้าหน้าที่บริหารและฝ่ายปฏิบัติการทุกท่านที่ช่วยให้การวิจัยครั้งนี้เป็นไปอย่างราบรื่น นอกจากนี้ ขอขอบคุณคณะผู้ให้คำปรึกษา และมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่สนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

References

[1] L. Sommer, A. Sillitti, and G. Succi, "Agile vs. Waterfall: An Empirical Study of Success Factors in Software Projects," *Journal of Software: Evolution and Process*, vol. 32, no. 8, 2020.

[2] R. S. Pressman and B. R. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (9th ed.). McGraw-Hill, 2020.

[3] K. C. Laudon and J. P. Laudon, *Management Information Systems: Managing the Digital Firm*, 16th ed. Harlow, U.K.: Pearson Education, 2020.

[4] A. Baum, *PropTech 3.0: The Future of Real Estate* (2nd ed.). Oxford Future of Real Estate Initiative, 2020.

[5] W. Chuchuay, "Development of a university van reservation system," *Ubon Ratchathani University Journal of Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 23–34, 2019.

[6] S. Sunthorn, "Development of a work monitoring system via application," *Journal of Information Technology Academic Research*, vol. 12, no. 2, pp. 45–56, 2021.

[7] M. Chansuwan, *Condominium Juristic Person Management*. Bangkok: Suan Dusit Rajabhat University Press, 2020.

[8] Adalo, "No Code App Builder." [Online]. Available: <https://www.adalo.com>, 2023

[9] Canva, "Design Platform." [Online]. Available: <https://www.canva.com>, 2023

BraillePlay: ระบบช่วยเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกม สำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา

รวี อุตมธนินทร์¹, กิตติ ชัยตา²

^{1,2}สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email: ravi.ut@ssru.ac.th¹, s66122519032@ssru.ac.th²

Received: Aug 06, 2025

Revised: May 09, 2026

Accepted: May 26, 2026

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอ BraillePlay ระบบเรียนรู้อักษรเบรลล์ผ่านการสัมผัสที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับเด็กอายุ 6–12 ปี โดยพัฒนามาจากต้นแบบปี 2024 [6] แต่เปลี่ยนมุมมองจาก “การพัฒนาฮาร์ดแวร์” เป็น “การประเมินการมีส่วนร่วมและประสบการณ์การเรียนรู้ของเด็ก” ระบบใช้จอแสดงผลเบรลล์ 12 พิน มอดูล ESP32-CAM สำหรับอ่าน QR Code และเสียงนำทาง เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่โต้ตอบได้ โดยเพิ่มมอดูลการเรียนรู้ผ่านเกมที่มีการทายตัวอักษร เกมเสียง และระบบให้รางวัลผ่านไฟ LED ประเมินประสิทธิภาพด้วยแบบสอบถามความพึงพอใจ 5 ระดับ และการสังเกตพฤติกรรมความสนใจโดยครู ทดสอบกับผู้เข้าร่วม 15 คน (เด็ก 10 คน, ครู 5 คน) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถแสดงผลเบรลล์และอ่าน QR Code ได้แม่นยำ 100% และเล่นเสียงได้สำเร็จ 97.5% ที่สำคัญ คะแนนความพึงพอใจจากแบบสอบถาม 5 ระดับ ของเด็กอยู่ที่ 4.7/5 และของครูที่ 4.5/5 ระดับความสนใจเฉลี่ยจากการสังเกตโดยครูอยู่ที่ 4.4/5 ข้อจำกัดที่พบคือมอเตอร์บางตัวสั่น และเสียงเล่นซ้ำ แนวทางการพัฒนาต่อ ได้แก่ การใช้ 3D Printing สำหรับที่ยึดมอเตอร์ การรวมการ์ด S.D. สำหรับจัดเก็บไฟล์เสียง และแอปพลิเคชันเสริมสำหรับติดตามความก้าวหน้า งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การเรียนรู้ผ่านการเล่นสามารถช่วยเพิ่มทักษะการอ่านอักษรเบรลล์ของเด็กได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การเรียนรู้อักษรเบรลล์, เด็กบกพร่องทางสายตา, การเรียนรู้ผ่านเกม, การศึกษาแบบรวม, อินเทอร์เน็ตสัมผัส

BraillePlay: A Gamified Assistive System for Enhancing Braille Literacy in Visually Impaired Children.

Ravi Uttamatanin¹, Kitti Chaita²

^{1, 2} Computer Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,

Suansunandha Rajabhat University

Email: ravi.ut@ssru.ac.th¹, s66122519032@ssru.ac.th²

Received: Aug 06, 2025

Revised: May 09, 2026

Accepted: May 26, 2026

Abstract

This study presents BraillePlay, a gamified tactile learning system designed specifically for visually impaired children aged 6–12. Building upon a 2024 braille prototype [6], this work shifts focus from functional demonstration to evaluation of learner engagement and learning experience. The system integrates a 12-pin braille display, QR code recognition via ESP32-CAM, and audio feedback to create an interactive learning environment. To enhance engagement, a game-based learning module was developed, featuring character identification challenges, sound-based quizzes, and a reward system with LED feedback. System effectiveness was evaluated using a 5-point Likert scale satisfaction questionnaire and teacher observation of learner engagement. The device was tested with 15 participants (10 children, 5 teachers) over two weeks. Results showed 100% accuracy in braille actuation and QR reading, with 97.5% audio reliability. More importantly, the average satisfaction score from the 5-point Likert scale questionnaire was 4.7/5 from children and 4.5/5 from teachers, with an average engagement level of 4.4/5 based on teacher observation. Key challenges included occasional servo jitter and delayed audio response. Proposed enhancements include 3D-printed motor housings, S.D. card integration for scalable audio, and a companion app for progress tracking. This work demonstrates that play-based interaction significantly improves braille literacy acquisition among children, paving the way for future assistive technologies that prioritize engagement and accessibility.

Keywords: Braille literacy, visually impaired children, gamified learning, inclusive education, tactile interface

บทนำ

การรู้หนังสือเป็นทักษะพื้นฐานที่สำคัญสำหรับผู้พิการทางสายตาทั่วโลกมีเด็กบกพร่องทางสายตาประมาณ 19 ล้านคน [2] และในประเทศไทยมีผู้พิการทางสายตาระดับรุนแรงกว่า 200,000 คน [2] ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเด็กในวัยเรียนที่ยังไม่ได้รับโอกาสเรียนรู้อักษรเบรลล์อย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตาม การสอนอักษรเบรลล์แบบดั้งเดิมมักต้องพึ่งพาครูผู้สอนอย่างมาก ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับเด็กทุกคน โดยเฉพาะในช่วงวัยเริ่มต้น [1] การเรียนรู้อักษรเบรลล์ไม่ใช่แค่การจำรูปแบบของจุดนูน แต่เป็นการฝึกทักษะการสัมผัส การจำ และการเชื่อมโยงความหมาย ซึ่งต้องใช้เวลาและประสบการณ์ ตามทฤษฎีพัฒนาการของเพียเจต์ [3] เด็กวัย 6–12 ปีเรียนรู้ได้ดีผ่านการลงมือทำและประสบการณ์ตรง แต่เด็กจำนวนมากยังไม่มีโอกาสได้เรียนรู้อย่างต่อเนื่อง เพราะต้องพึ่งพาครูหรือผู้ดูแลตลอดเวลา

แม้ว่าปัจจุบันจะมีนวัตกรรมเทคโนโลยีช่วยเหลือปรากฏออกมาอย่างต่อเนื่องในช่วงปี 2022–2024 เช่น ชุดตัวต่อ LEGO Braille Bricks [12] ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านการเล่นที่บ้าน หรืออุปกรณ์สวมใส่ I-Touch [11] และระบบ IoT-based AI [13] ที่นำเสนอเทคโนโลยีขั้นสูง แต่ระบบเหล่านี้ยังคงพบข้อจำกัดในด้านต้นทุนการผลิตที่สูง ความซับซ้อนในการใช้งาน หรือขาดแคลนระบบประเมินผลที่มีส่วนร่วมของผู้เรียนอย่างเป็นรูปธรรม เช่นเดียวกับต้นแบบปี 2024 [6] ของผู้วิจัยเอง ที่มุ่งเน้นเพียงความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการแสดงผลเบรลล์ แต่ยังขาดการออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง จากบริบท

ดังกล่าว ทำให้พบช่องว่างการวิจัย (Research Gap) ที่สำคัญ ดังนี้

1) ขาดการประเมินประสบการณ์การเรียนรู้: งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการพัฒนาฟังก์ชันการทำงาน แต่ขาดเครื่องมือวัดความพึงพอใจและ engagement ของเด็ก

2) ขาดองค์ประกอบเกมมิฟิเคชัน: ระบบที่มีอยู่มักขาดกลไกการให้รางวัลหรือความท้าทายที่เหมาะสมกับวัย 6–12 ปี

3) ข้อจำกัดด้านการเข้าถึง: เทคโนโลยีขั้นสูงมักมีราคาแพง ในขณะที่ฮาร์ดแวร์เรียบง่ายยังไม่ได้ถูกพัฒนาซอฟต์แวร์ให้ดึงดูดใจเพียงพอ

เพื่อแก้ไขช่องว่างดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงพัฒนา BraillePlay ขึ้นมาเป็นระบบเรียนรู้ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านการเล่น ซึ่งเหมาะกับวัยเด็ก และช่วยให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ งานวิจัยนี้เสนอ BraillePlay ระบบเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกมที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับเด็กอายุ 6–12 ปี คำถามวิจัยหลักคือ อุปกรณ์การเรียนรู้อักษรเบรลล์จะได้รับการออกแบบใหม่อย่างไร เพื่อเพิ่มสูงสุดด้านความน่าสนใจ การเข้าถึง และผลลัพธ์การเรียนรู้สำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา

คุณูปการของงานวิจัย (Research Contributions) มี 3 ประการที่ชัดเจน ได้แก่

1) การเปลี่ยนมุมมองการประเมิน: ปรับเปลี่ยนจาก “การพัฒนาฮาร์ดแวร์” สู่ “การประเมินการมีส่วนร่วมและประสบการณ์การเรียนรู้” ผ่านเครื่องมือวัดที่ชัดเจน (แบบสอบถาม 5 ระดับ และการสังเกตพฤติกรรมโดยครู)

2) การบูรณาการเกมกับการสัมผัส: ผสานองค์ประกอบเกม (ทายตัวอักษร เกมเสียง ระบบ

ให้รางวัล) เข้ากับอินเทอร์เฟซสัมผัสเพื่อเพิ่มแรงจูงใจ

3) การยืนยันประสิทธิภาพของฮาร์ดแวร์
เรียบง่าย: ยืนยันว่าฮาร์ดแวร์ต้นทุนต่ำสามารถเปลี่ยนเป็นเครื่องมือการเรียนรู้ที่น่าสนใจได้ผ่านการออกแบบซอฟต์แวร์ที่เน้นผู้ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของเทคโนโลยีการศึกษาแบบรวมทุกคน (Inclusive Education Technology)

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีพัฒนาการทางปัญญาของเพียเจต์กับการเรียนรู้ผ่านการเล่นและเทคโนโลยี

ตามทฤษฎีพัฒนาการทางปัญญาของเพียเจต์ [3] เด็กในช่วงวัยปฏิบัติการรูปธรรม (Concrete Operational Stage; 7–11 ปี) เรียนรู้ได้ดีที่สุดผ่านการลงมือทำ และการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมโดยตรง ทฤษฎีนี้ชี้ว่าการเรียนรู้ผ่านการเล่น ไม่ใช่เพียงความบันเทิง แต่เป็นกลไกสำคัญที่ช่วยให้เด็กสร้างความเข้าใจเชิงนามธรรมจากประสบการณ์รูปธรรม งานวิจัยล่าสุดสนับสนุนว่า การผสมผสานเทคโนโลยีหลายรูปแบบ (Multimodal Feedback) เช่น เสียง และการสัมผัส เข้ากับกิจกรรมการเล่น จะช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น [8] โดยเฉพาะสำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา การเรียนรู้อักษรเบรลล์ซึ่งต้องอาศัยการสัมผัส การจำ และการเชื่อมโยงความหมาย จึงสอดคล้องกับหลักการของเพียเจต์ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ตรงและกิจกรรมที่กระตุ้นความสนใจ รวมถึงแนวคิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-

education) ที่เทคโนโลยีสามารถอำนวยความสะดวกได้ [4]

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านเทคโนโลยีช่วยเรียนรู้อักษรเบรลล์

งานวิจัยด้านการเรียนรู้อักษรเบรลล์ผ่านเทคโนโลยีสามารถแบ่งได้เป็น 4 แนวทางหลัก และมีการศึกษาเพิ่มเติมในบริบทท้องถิ่นดังนี้:

2.1 แนวทางของเล่นสัมผัสเพื่อการเรียนรู้แบบร่วมมือ: BrailleBlocks [10] และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [5] เป็นระบบบล็อกไม้ที่ผสมอักษรเบรลล์กับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างเด็กพิการทางสายตากับผู้มีสายตาปกติ อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวเน้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคลมากกว่าการเรียนรู้แบบอิสระ และไม่มีระบบให้ข้อมูลย้อนกลับแบบทันที (real-time feedback)

2.2 แนวทางอุปกรณ์สวมใส่และการเรียนรู้เบื้องต้น: I-Touch [11] เป็นอุปกรณ์สวมใส่ที่ใช้เซ็นเซอร์สแกนวัตถุและแสดงผลอักษรเบรลล์บนจอสัมผัส ขณะที่งานวิจัยในประเทศอย่างอุปกรณ์เรียนรู้สัมผัสและเสียง [7] ก็พยายามแก้ไขปัญหาด้านต้นทุน แต่ยังพบข้อจำกัดด้านความทนทาน แม้จะช่วยให้เด็กเรียนรู้ในชีวิตจริงได้ แต่ยังอยู่ในขั้นทดลอง มีต้นทุนสูง และขาดองค์ประกอบเกมเพื่อเพิ่มแรงจูงใจในระยะยาว

2.3 แนวทางของเล่นเชิงพาณิชย์และการเรียนรู้พื้นฐาน: LEGO Braille Bricks [12] เป็นชุดของเล่นที่แปลงบล็อกตัวต่อเลโก้ให้มีจุดนูนตามรูปแบบเบรลล์ ช่วยให้เด็กเรียนรู้ผ่านการเล่นที่บ้านได้ อย่างไรก็ตาม ระบบขาดการ

ประเมินผลอัตโนมัติและไม่สามารถปรับเนื้อหาตามระดับความสามารถของผู้เรียนได้ เช่นเดียวกับหน่วยแสดงผลเบรลล์ทั่วไป [9] ที่มักเน้นการใช้งานอ่านข้อความมากกว่าการฝึกเรียนรู้แบบโต้ตอบ

2.4 แนวทางระบบอัจฉริยะขั้นสูง: ระบบ IoT-Based AI-Powered Braille Learning [13] ใช้ปัญญาประดิษฐ์และอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่สมจริง แต่มีความซับซ้อนสูง ต้นทุนการผลิตสูงและไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในบริบทการศึกษาขั้นพื้นฐานของไทย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนา *BraillePlay* อุปกรณ์ช่วยเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกม สำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา อายุ 6–12 ปี ให้ได้ต้นแบบที่ใช้งานได้จริง พร้อมมอดูลเกม 3 รูปแบบ (ทายตัวอักษร เกมเสียง ระบบให้รางวัล)

2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในด้านความแม่นยำ การตอบสนอง และความพึงพอใจของผู้ใช้

3. เพื่อศึกษาความสนใจและแรงจูงใจในการเรียนรู้ของเด็กเมื่อใช้ระบบ *BraillePlay* โดยวัดจากคะแนนความสนใจเฉลี่ยจากการสังเกตพฤติกรรมโดยครู (แบบประเมิน 5 ระดับ) และความถี่ในการขอเล่นเพิ่ม (จำนวนครั้ง/สัปดาห์)

4. เพื่อเสนอแนวทางการพัฒนาระบบเรียนรู้อักษรเบรลล์ให้เหมาะสมกับบริบทของการศึกษาแบบรวมทุกคน (Inclusive Education)

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนา *BraillePlay* ระบบช่วยเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกมสำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods) ระหว่างเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การออกแบบตัวเครื่องและกระบวนการดำเนินงาน

ก. สถาปัตยกรรมฮาร์ดแวร์ต้นแบบ *BraillePlay* ยังคงใช้ส่วนประกอบหลักจากปี 2024 [6] แต่ปรับให้เหมาะกับเด็ก

1.1 มอดูลแสดงผลแบบสัมผัส: เซลล์เบรลล์ 2 เซลล์ (12 พิน) ควบคุมด้วยมอเตอร์เซอร์โว (TowerPro SG90)

1.2 หน่วยควบคุม: ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

1.3 ระบบป้อนข้อมูลและให้ข้อมูลย้อนกลับ

1) ESP32-CAM สำหรับอ่าน QR Code

2) DFPlayer Mini สำหรับเล่นเสียง

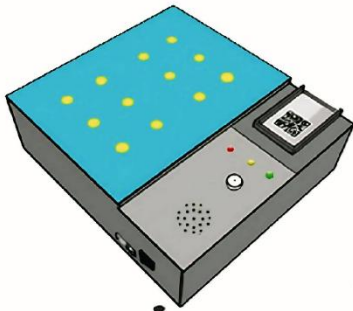
3) แหล่งจ่ายไฟ 5V/3A

1.4 การปรับปรุงหลัก

1) ตัวเรือน: ทำจาก ABS พิมพ์ 3 มิติ ขอบมน สีสันทสไส และมีป้ายสัมผัส

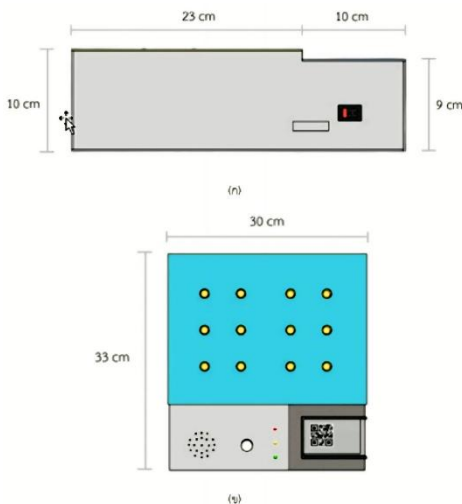
2) ปุ่มกด: ขนาดใหญ่ ติดป้ายด้วยอักษรเบรลล์และสัญลักษณ์ เช่น “เล่น”, “ช่วยเหลือ”, “ทำใหม่”

3) ไฟแสดงสถานะ: เขียว (ถูกต้อง), แดง (ผิด), น้ำเงิน (กำลังประมวลผล)



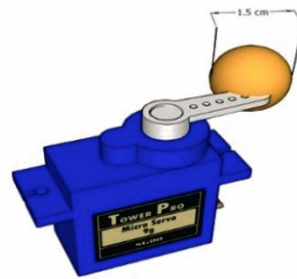
รูปที่ 1 ต้นแบบเครื่องช่วยเรียนรู้อักขรเบรลล์สำหรับเด็ก แสดงปุ่มใหญ่ ดีไซน์สีสันสดใส และป้ายสัมผัส

โครงสร้างภายใน (รูปที่ 1) แสดงการจัดเรียงที่แม่นยำระหว่างมอเตอร์เซอร์โวและตำแหน่งพิน ซึ่งเป็นการออกแบบเชิงกลที่เหมาะสมกับความทนทานและการให้สัมผัสที่สม่ำเสมอ



รูปที่ 2 ส่วนประกอบด้านข้างและฐานของตัวเครื่อง: (ก) ด้านข้างแสดงสวิตช์เปิด-ปิดและพอร์ตชาร์จ; (ข) ฐานมีพื้นที่วางการ์ด (9×6 ซม.) และช่องลำโพง (Ø0.3 ซม.)

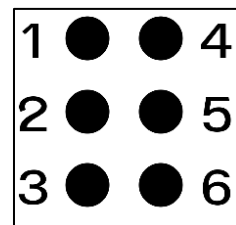
ขนาดโดยรวมได้รับการปรับให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานบนโต๊ะ โดยมีความสูง 33 ซม. (รูปที่ 2ก.) โดยส่วนแสดงผลเบรลล์อยู่ที่ระดับความสูง 10 ซม. และช่องวางการ์ดอยู่ที่ระดับ 9 ซม.



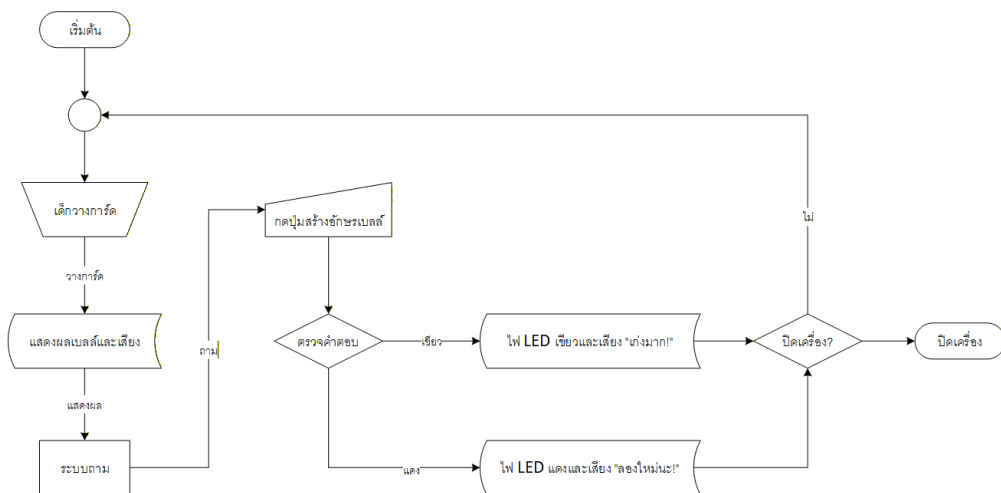
รูปที่ 3 การติดตั้งส่วนนูนทรงกลม (Ø1.5 ซม.) กับ servo horn โดยใช้กาว เพื่อให้สามารถสร้างพินนูนสำหรับการสัมผัสได้อย่างน่าเชื่อถือ

แต่ละส่วนนูนทรงกลมถูกยึดติดกับ servo horn อย่างมั่นคงผ่านการออกแบบแบบ groove-fit เพื่อให้มั่นใจว่าการเคลื่อนไหวมีเสถียรภาพโดยไม่สั่นไถ่ระหว่างการใช้งานซ้ำ (รูปที่ 3)

ข. กระบวนการทำงานของซอฟต์แวร์และการเล่นเกม



รูปที่ 4 แผนผังตำแหน่งพินอักขรเบรลล์ 2 เซลล์ (ตำแหน่ง 1–12) แสดงรูปแบบมาตรฐานของอักษรไทยและอังกฤษ (เช่น 1245 สำหรับ “ก ไก่”)



รูปที่ 5 แผนผังกระบวนการเรียนรู้แบบเกม:

จากการวางการ์ด → แสดงผลเบรลล์ → ถามคำถามด้วยเสียง → เด็กตอบ → ให้ข้อมูลย้อนกลับ

การจัดเรียงตำแหน่งพินตามมาตรฐานอักษรเบรลล์ (รูปที่ 4) สร้างพื้นฐานทั้งสำหรับตรรกะการควบคุมปัจจุบันและอนาคตสำหรับการสร้างรูปแบบผ่านโมเดล AI

กระบวนการทำงานของซอฟต์แวร์ได้รับการออกแบบใหม่เพื่อรองรับ การเรียนรู้แบบโต้ตอบ:

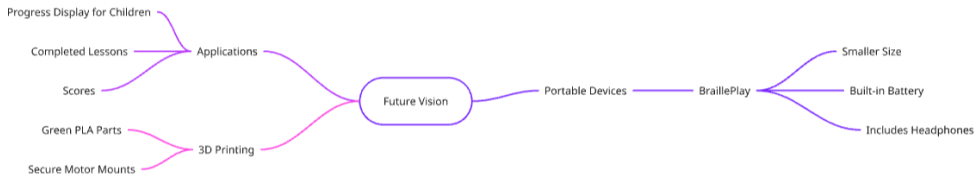
1. เด็กวางการ์ดที่มี QR Code
2. ESP32-CAM จับภาพและถอดรหัส
3. Arduino กระตุ้นพินเบรลล์และเล่นเสียง: “มาเรียนรู้กัน! ตัวนี้คือ ก ไก่”
4. ระบบถาม: “ตัวนี้คืออะไร?” และเล่นเสียงนำทาง
5. เด็กกดปุ่ม “ใช่” หรือ “ไม่ใช่”

6. ข้อมูลย้อนกลับทันที: “เก่งมาก!” (ไฟเขียว) หรือ “ลองใหม่นะ!” (ไฟแดง)

ค. การ์ดการเรียนรู้และเนื้อหา

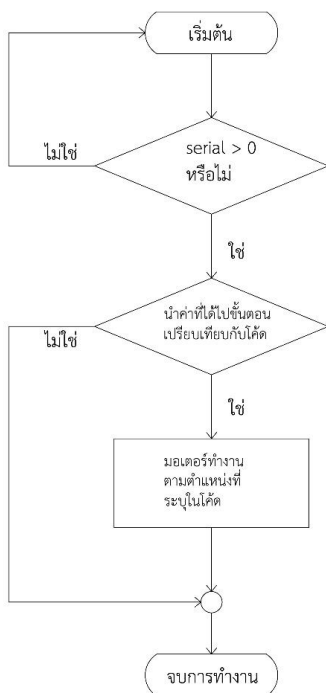
การ์ดทำจากพลาสติกแข็ง (8×6 ซม.)

1. ด้านหน้า: ภาพประกอบสีสดใส (เช่น ไก่ สำหรับ “ก ไก่”) และ QR Code
2. ด้านหลัง: อักษรเบรลล์ฐาน
3. หมายเหตุ: พยัญชนะไทย สระ ตัวเลข คำนายการ์ดแต่ละใบกระตุ้นเกมที่ไม่ซ้ำกัน เช่น:
 - 1) จับคู่เสียง
 - 2) ทายตัวอักษร
 - 3) สะกดคำ



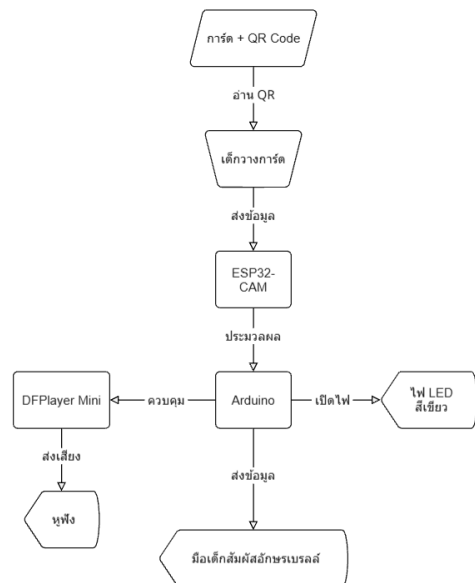
รูปที่ 6 แนวทางการพัฒนา: รุ่นพกพา, แอปติดตามความก้าวหน้า, 3D Printing ที่ยึดมอเตอร์

กระบวนการอ่าน QR Code เริ่มต้นเมื่อผู้ใช้งานการตกลงบนพื้นที่กำหนด มอดูล ESP32-CAM จะจับภาพและถอดรหัส QR Code แล้วส่งข้อมูลผ่านพอร์ต UART ไปยัง Arduino Mega เพื่อประมวลผลต่อไป (ดูรูปที่ 6)



รูปที่ 7 ลำดับตรรกะการควบคุมของ Arduino: หลังจากรับข้อมูลจาก ESP32-CAM แล้ว ระบบจะประมวลผลและสั่งการให้แสดงผลอักษรเบรลล์และเล่นเสียง

เมื่อ Arduino ได้รับข้อมูลที่ถอดรหัสแล้ว จะตรวจสอบกับเงื่อนไขในโปรแกรมเพื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงานในตำแหน่งที่ถูกต้อง และเรียกไฟล์เสียงจาก DFPlayer Mini (รูปที่ 7)



รูปที่ 8 แผนผังกระบวนการทั้งระบบ: จากการป้อนข้อมูล (อ่าน QR) → ประมวลผล (ควบคุม Arduino) → ผลลัพธ์ (แสดงผลอักษรเบรลล์ + เสียงตอบกลับ)

สรุปกระบวนการทั้งระบบของ BraillePlay ตั้งแต่การป้อนข้อมูล (อ่าน QR) → ประมวลผล (ควบคุม Arduino) → ผลลัพธ์ (แสดงผลอักษรเบรลล์ + เสียงตอบกลับ)

2. ผู้เข้าร่วมการวิจัยและจริยธรรมการวิจัย

ก. กลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยนี้ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) คัดเลือกผู้เข้าร่วมจำนวน 15 คน แบ่งเป็น:

- 1) เด็กบกพร่องทางสายตา: 10 คน (อายุ 6–12 ปี) จากโรงเรียนสอนคนตาบอดกรุงเทพ
- 2) ครูการศึกษาพิเศษ: 5 คน (มีประสบการณ์สอนอักษรเบรลล์มากกว่า 3 ปี)

ทั้งนี้ ขนาดกลุ่มตัวอย่างถือเป็นข้อจำกัดของการศึกษาเบื้องต้น (Pilot Study) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประเมินความเป็นไปได้และปรับปรุงต้นแบบก่อนขยายผลในกลุ่มใหญ่ต่อไป [14]

ข. จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยนี้ดำเนินการโดยยึดมั่นในหลักจริยธรรมการวิจัย โดยเน้นกระบวนการขอความยินยอมจากผู้เข้าร่วมวิจัยและได้รับความร่วมมือก่อนเริ่มดำเนินการเก็บข้อมูล ดังนี้:

1) ความยินยอมโดยได้รับการบอกเล่า (Informed Consent): ผู้ปกครองและครูยินยอมเข้าร่วมวิจัยหลังจากได้รับข้อมูลวัตถุประสงค์และขั้นตอนอย่างชัดเจน

2) การปกป้องสิทธิส่วนบุคคล: ข้อมูลทั้งหมดถูกเก็บเป็นความลับ ใช้รหัสแทนชื่อจริง (เช่น D01, D02)

3) ความปลอดภัย: อุปกรณ์ผ่านการตรวจสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าและทางกลก่อนใช้งาน

4) สิทธิในการถอนตัว: ผู้เข้าร่วมสามารถถอนตัวจากการวิจัยได้ตลอดเวลาโดยไม่กระทบสิทธิใด ๆ

3. เครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ก. เครื่องมือวิจัย

1) ต้นแบบ BraillePlay: ระบบช่วยเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกม

2) แบบสอบถามความพึงพอใจ: มาตรฐานส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) วัดด้านการใช้งาน ความสนุก และความพึงพอใจโดยรวม (ค่าความเชื่อมั่น Cronbach's $\alpha = 0.85$)

3) แบบสังเกตพฤติกรรม: สำหรับครูวัดระดับความสนใจและความตั้งใจ (1–5 ระดับ)

4) แบบบันทึกความแม่นยำ: บันทึกอัตราความสำเร็จของระบบ (QR, เบรลล์, เสียง)

ข. ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1) ระยะเตรียมการ (1 สัปดาห์): ทดสอบระบบและปรับแก้ไขข้อบกพร่อง

2) ระยะทดลองใช้ (2 สัปดาห์): ผู้เข้าร่วมใช้ระบบวันละ 30 นาที รวม 10 ครั้ง

3) ระยะประเมินผล (1 สัปดาห์): เก็บข้อมูลแบบสอบถามและสัมภาษณ์

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ก. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปและผลการประเมินระบบ

1) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.): สำหรับคะแนนความพึงพอใจและระดับความสนใจ

2) ร้อยละ (Percentage): สำหรับความแม่นยำของระบบ

ข. สถิติเชิงอนุมานเบื้องต้น (Preliminary Inferential Statistics) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมี

ขนาดเล็ก ($n=15$) การวิเคราะห์ทางสถิติจึงใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% และระบุช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวิจัย [15]

1) One-sample t-test: เปรียบเทียบคะแนนความพึงพอใจกับค่ากลาง (3.0) เพื่อทดสอบนัยสำคัญ

2) Pearson Correlation: วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสนใจและความพึงพอใจ

ตารางที่ 1 สรุปวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลตามตัวชี้วัด

ตัวชี้วัด	เครื่องมือ	สถิติที่ใช้
ความแม่นยำของระบบ	แบบบันทึก	ร้อยละ, ความถี่
เวลาตอบสนอง	ระบบบันทึกอัตโนมัติ	ค่าเฉลี่ย, S.D., Range
ความพึงพอใจ	แบบสอบถาม 5 ระดับ	Mean, S.D., 95% CI, t-test
ระดับความสนใจ	แบบสังเกตโดยครู	Mean, S.D., Correlation

5. กระบวนการวิเคราะห์และผลการวิจัย

ก. วิธีการทดสอบ

1) ผู้เข้าร่วม: เด็กบกพร่องทางสายตา 10 คน (อายุ 6–12 ปี), ครู 5 คน

2) ระยะเวลา: 2 สัปดาห์, วันละ 30 นาที

3) ตัวชี้วัด:

3.1) ความแม่นยำของระบบ (QR, เบอร์ล์, เสียง)

3.2) เวลาตอบสนอง

3.3) ความพึงพอใจของผู้ใช้

3.4) ระดับความสนใจ (สังเกตโดยครู)

ข. วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

เพื่อให้ผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือทางสถิติ การวิเคราะห์ข้อมูลจึงดำเนินการดังนี้:

1) สถิติเชิงพรรณนา: รายงานค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.), และพิสัย (Range)

2) สถิติเชิงอนุมาน: ใช้ One-sample t-test เปรียบเทียบคะแนนความพึงพอใจและความสนใจกับค่ากลางทางทฤษฎี (3.0) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ

3) ช่วงความเชื่อมั่น (95% CI): รายงานช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยเพื่อแสดงช่วงค่าที่แท้จริงในประชากร

4) ขนาดอิทธิพล (Effect Size): คำนวณ ค. ผลการทดสอบ

ค่า Cohen's d เพื่อประเมินความหมายของความแตกต่างที่พบ [16]

ตารางที่ 2 ความแม่นยำของระบบ

ฟังก์ชันการทำงาน	จำนวนการทดสอบ	สำเร็จ	ความแม่นยำ (%)
การอ่าน QR Code	122	122	100%
การแสดงผลอักษรเบรลล์	122	122	100%
การเล่นเสียง	122	119	97.5%

การวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 1 ระบบสามารถอ่าน QR Code และแสดงผลอักษรเบรลล์ได้แม่นยำ 100% ซึ่งแสดงถึงความน่าเชื่อถือของฮาร์ดแวร์ อย่างไรก็ตาม การเล่นเสียงมีความ

แม่นยำเพียง 97.5% ซึ่งเกิดจากปัญหาการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ DFPlayer Mini เมื่อมีการสั่งงานช้าอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 3 เวลาตอบสนองเฉลี่ย

กระบวนการ	ค่าเฉลี่ย (วินาที)	S.D.	ช่วงเวลา (วินาที)
การอ่านค่าจากการ์ด (QR)	4.12	0.89	2.6 – 5.3
การแสดงผลอักษรเบรลล์ 1 เซลล์	0.8	0.07	0.7 – 0.9
การแสดงผลอักษรเบรลล์ 2 เซลล์	1.3	0.12	1.1 – 1.5
การเล่นเสียง	0.4	0.06	0.3 – 0.5
รวมทั้งกระบวนการ	6.72	1.24	5.0 – 8.5

การวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 2 เวลาตอบสนองเฉลี่ยทั้งระบบอยู่ที่ 6.72 วินาที (S.D. = 1.24) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (5.0–8.5 วินาที) เกิดจากความไม่

สม่ำเสมอในการประมวลผลของ ESP32-CAM ที่ต้องตรวจจับและถอดรหัส QR Code ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น แสงสว่างหรือมุมการวางการ์ด

ตารางที่ 4 ผลการสำรวจความพึงพอใจและการทดสอบทางสถิติ

รายการ	เด็ก (Mean $\pm$ S.D.)	ครู (Mean $\pm$ S.D.)	t-value (เด็ก)	p-value	95% CI	Cohen's d
ใช้งานง่าย	4.8 $\pm$ 0.42	4.6 $\pm$ 0.55	12.65	<.001*	[4.51, 5.09]	4.28
ความสนุกและความน่าสนใจ	4.9 $\pm$ 0.32	4.7 $\pm$ 0.48	17.89	<.001*	[4.68, 5.12]	5.96
ความชัดเจนของเสียง	4.6 $\pm$ 0.52	4.4 $\pm$ 0.55	9.23	<.001*	[4.24, 4.96]	3.08
ความแม่นยำของเบรลล์	5.0 $\pm$ 0.00	5.0 $\pm$ 0.00	-	-	[5.00, 5.00]	-
ความพึงพอใจโดยรวม	4.7 $\pm$ 0.48	4.5 $\pm$ 0.53	11.18	<.001*	[4.37, 5.03]	3.54

*หมายเหตุ: เปรียบเทียบกับค่ากลาง 3.0, $p < .05$, Cohen's $d > 0.8$ แสดงถึงขนาดอิทธิพลระดับสูง

การวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 3 คะแนนความพึงพอใจโดยรวมของเด็ก ($M = 4.7$, $S.D. = 0.48$) สูงกว่าค่ากลางทางทฤษฎี (3.0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, $t(9) = 11.18$, $p < .001$, 95% CI [4.37, 5.03] ค่า Cohen's $d = 3.54$ ซึ่ง

ยืนยันว่าการออกแบบระบบมีผลกระทบเชิงบวกอย่างแท้จริงต่อความพึงพอใจของผู้ใช้ [16] และคะแนนจากครู ($M = 4.5$) มีทิศทางสอดคล้องกับเด็ก ซึ่งยืนยันความน่าเชื่อถือของการประเมินจากหลายแหล่งข้อมูล

ตารางที่ 5 ระดับความสนใจของเด็ก (สังเกตโดยครู) และการวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์

รหัสเด็ก	ความสนใจ (1-5)	ความตั้งใจ (1-5)	ความถี่ในการขอเล่นเพิ่ม
D01	5	5	บ่อย
D02	4	4	บางครั้ง
D03	5	5	บ่อย
D04	3	3	ไม่ค่อย
D05	5	4	บ่อย
D06	4	4	บางครั้ง
D07	5	5	บ่อย
D08	4	4	บางครั้ง
D09	5	5	บ่อย
D10	4	4	บางครั้ง
ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.	4.4 $\pm$ 0.52	4.2 $\pm$ 0.63	บ่อย 50%, บางครั้ง 40%

การวิเคราะห์เพิ่มเติม

1) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร: การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation) พบว่าความสนใจและความตั้งใจมีความสัมพันธ์กันในทิศทางบวกอย่างมีนัยสำคัญ, $r(8) = .89, p = .001$ ซึ่งแสดงว่าเด็กที่มีความสนใจสูงมักจะมีความตั้งใจในการเรียนรู้สูงด้วย

2) การทดสอบนัยสำคัญ: คะแนนความ

สนใจเฉลี่ย (4.4) สูงกว่าค่ากลาง (3.0) อย่างมีนัยสำคัญ, $t(9) = 8.49, p < .001, 95\% \text{ CI } [4.03, 4.77]$

3) พฤติกรรมเชิงประจักษ์: ความถี่ในการขอเล่นเพิ่ม (7 จาก 10 คน) บ่งชี้ว่าระบบสามารถสร้างแรงจูงใจภายใน (Intrinsic Motivation) ให้เด็กเรียนรู้อักษรเบรลล์ได้อย่างยั่งยืน

ตารางที่ 6 สรุปผลการทดสอบตามตัวชี้วัดพร้อมการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตัวชี้วัด	ผลการประเมิน	สถิติสนับสนุน	หมายเหตุ
ความแม่นยำของระบบ	97.5–100%	อัตราความสำเร็จ (Binomial)	เสี่ยงผิดพลาด 3 ครั้งจาก 122
เวลาตอบสนองเฉลี่ย	6.72 ± 1.24 วินาที	Mean $\pm$ S.D., Range	ช่วง 5.0–8.5 วินาที
ความพึงพอใจของผู้ใช้	4.7/5 (เด็ก)	$t(9)=11.18, p<.001, d=3.54$	เปรียบเทียบกับค่ากลาง 3.0
ระดับความสนใจ	4.4/5	$t(9)=8.49, p<.001, r=.89$	สังเกตโดยครู + Correlation

การอภิปรายผลเชิงสถิติ: ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสนับสนุนสมมติฐานการวิจัยว่า BraillePlay สามารถสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพได้ โดย:

1) ความน่าเชื่อถือของฮาร์ดแวร์: อัตราความสำเร็จ 100% ในการแสดงผลเบรลล์และอ่าน QR Code ยืนยันความเสถียรของสถาปัตยกรรมระบบ

2) ประสิทธิภาพด้านการมีส่วนร่วม: คะแนนความพึงพอใจและความสนใจที่สูงกว่าค่ากลางอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .001$) พร้อมขนาดอิทธิพลระดับสูง (Cohen's $d > 3.0$) ชี้ให้เห็นว่าการออกแบบโดยเน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลางและการบูรณาการเกมมิฟิเคชันมีผลกระทบเชิงบวกที่แท้จริง

3) ข้อจำกัดเชิงเทคนิค: ความแปรปรวนของเวลาตอบสนอง (S.D. = 1.24 วินาที) และ

ความแม่นยำของเสียง (97.5%) เป็นประเด็นที่ต้องปรับปรุงในการพัฒนาเวอร์ชันถัดไป เพื่อให้ระบบมีความเสถียรภาพสูงสุด

6. ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนา

ก. ข้อจำกัดที่พบ

1) เสียงเล่นซ้ำ: เกิดจากเวลาในการเข้าถึงไฟล์จากหน่วยความจำภายใน

2) มอเตอร์สั่น: เกิดจากแหล่งจ่ายไฟไม่เสถียร

3) ข้อมูลย้อนกลับจำกัด: มีเพียงเสียงและไฟ LED ไม่มีการสั่น

4) ไม่มีการติดตามความก้าวหน้า: ครูไม่สามารถดูประวัติการเรียนรู้ของแต่ละเด็กได้

ข. แนวทางการปรับปรุง

- 1) ใช้การ์ด S.D. เก็บไฟล์เสียงแยกต่างหาก เพื่อความเร็วและง่ายต่อการอัปเดต
- 2) ออกแบบที่ยึดมอเตอร์ใหม่ด้วย 3D Printing: ใช้ PLA แทนอะคริลิก เพื่อลดการสั่น
- 3) พัฒนาแอปพลิเคชันเสริม: สำหรับครู ติดตามความก้าวหน้า ปรับบทเรียน และสร้างรายงาน
- 4) เพิ่มการสั่น ใช้มอเตอร์สั่นขนาดเล็ก เพื่อให้สัมผัสเพิ่มเติม
- 5) เพิ่มเกมหลากหลาย เช่น ปริศนาคำ, การสะกดคำ, เกมจับคู่
- 6) รุ่นพกพา ใช้แบตเตอรี่ สำหรับใช้ที่บ้าน หรือในห้องเรียน

การอภิปรายเปรียบเทียบผลงาน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ BraillePlay ซึ่งมีความโดดเด่นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ในด้านการเรียนรู้อักษรเบรลล์ผ่านเทคโนโลยีช่วยเหลือ ดังนี้

1. การเปรียบเทียบเชิงลึกกับงานวิจัยก่อนหน้า

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ BraillePlay ซึ่งมีความโดดเด่นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ในด้านการเรียนรู้อักษรเบรลล์ผ่านเทคโนโลยีช่วยเหลือ โดยมีการวิเคราะห์ความแตกต่างเชิงประจักษ์ดังนี้

1.1 เปรียบเทียบกับ BrailleBlocks (2022): BrailleBlocks เป็นระบบการเรียนรู้อักษรเบรลล์ผ่านของเล่นสัมผัสที่เน้นการเรียนรู้แบบร่วมมือระหว่างเด็กพิการทางสายตาและผู้ปกครองที่มีสายตาปกติ [10] ซึ่งใช้บล็อกไม้เป็นสื่อหลัก ในขณะที่ BraillePlay มุ่งเน้นการเรียนรู้

แบบอิสระ ผ่านระบบดิจิทัลที่มีการตอบสนองทันที และสามารถติดตามความก้าวหน้าได้ ผลลัพธ์ความสนใจเฉลี่ย 4.4/5 ของ BraillePlay สูงกว่าแนวโน้มของระบบที่พึ่งพาผู้อื่น เนื่องจากเด็กสามารถควบคุมจังหวะการเรียนรู้ได้เอง (Self-paced Learning) จุดเด่นของ BraillePlay คือ การผสมผสานเทคโนโลยีเกมเข้ากับอินเทอร์เฟซสัมผัส ซึ่งช่วยเพิ่มแรงจูงใจให้เด็กได้มากกว่าระบบบล็อกที่เน้นการเรียนรู้แบบร่วมมือเพียงอย่างเดียว

1.2 เปรียบเทียบกับ I-Touch (2023):

I-Touch เป็นอุปกรณ์สวมใส่ ที่ออกแบบมาสำหรับการเรียนรู้อักษรเบรลล์ในวัยเริ่มต้น ซึ่งสามารถสแกนและรู้จำวัตถุแล้วแสดงผลอักษรเบรลล์บนจอสัมผัส [11] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังอยู่ในขั้นทดลองและเน้นการเรียนรู้แบบส่วนตัว ในทางตรงกันข้าม BraillePlay มีความได้เปรียบในด้านการเข้าถึง เนื่องจากใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีต้นทุนต่ำและสามารถปรับใช้ได้ทั้งในห้องเรียนและที่บ้าน นอกจากนี้ ความแม่นยำในการแสดงผลเบรลล์ 100% ของ BraillePlay ยืนยันความเสถียรของฮาร์ดแวร์เมื่อเทียบกับอุปกรณ์สวมใส่ที่มักพบปัญหาการเลื่อนหลุด นอกจากนี้ BraillePlay ยังมีองค์ประกอบการเรียนรู้ผ่านเกมที่หลากหลายกว่า ซึ่งช่วยให้เด็กมีส่วนร่วมมากขึ้น

1.3 เปรียบเทียบกับ LEGO Braille Bricks (2023-2024): LEGO Braille Bricks เป็นชุดของเล่นที่มีตัวอักษรและตัวเลขที่พิมพ์บนบล็อก และมีจุดหมุนที่เรียงตามรูปแบบอักษรเบรลล์ ช่วยให้เด็กเรียนรู้ผ่านการเล่นที่บ้าน [12] แม้ LEGO Braille Bricks จะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการเรียนรู้พื้นฐาน แต่ขาด

ระบบการประเมินผลและการให้ข้อมูลย้อนกลับแบบทันที ในขณะที่ BraillePlay มีระบบให้รางวัลผ่านไฟ LED และเสียง พร้อมทั้งสามารถวัดระดับความสนใจและความพึงพอใจได้อย่างระบบ ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความพึงพอใจที่สูงถึง 4.7/5 จากเด็ก เนื่องจากได้รับ Feedback ทันทีเมื่อทำถูกต้อง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญสำหรับการประเมินผลการเรียนรู้

1.4 เปรียบเทียบกับ IoT-Based AI-Powered Braille Learning System (2023): งานวิจัยนี้เสนอระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่ขับเคลื่อนด้วยปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งสามารถสวมใส่บนนิ้วมือและจำลองประสบการณ์การใช้ชีวิตจริงของผู้พิการทางสายตา [13] อย่างไรก็ตาม ระบบนี้มีความซับซ้อนสูงและต้องการเทคโนโลยีขั้นสูงในทางตรงกันข้าม BraillePlay ใช้ฮาร์ดแวร์ที่เรียบง่ายและมีต้นทุนต่ำ แต่สามารถให้ประสบการณ์การเรียนรู้ที่น่าสนใจผ่านการออกแบบซอฟต์แวร์ที่เน้นผู้ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของเทคโนโลยีการศึกษาแบบรวมทุกคน โดยลดข้อกีดขวางด้านความซับซ้อนทางเทคนิคที่มักพบในระบบ AI ระดับสูง

2. การวิเคราะห์ผลลัพธ์เชิงทฤษฎี (Theoretical Analysis)

ผลการวิจัยสนับสนุนทฤษฎีพัฒนาการทางปัญญาของเพียเจต์ [3] อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงวัยปฏิบัติการรูปธรรม (Concrete Operational Stage) ซึ่งเด็กเรียนรู้ได้ดีผ่านการลงมือทำ คะแนนความสนใจ 4.4/5 และความพึงพอใจ 4.7/5 สะท้อนว่า การเปลี่ยนจาก “การท่องจำ” เป็น “การเล่นเชิงโต้ตอบ”

ช่วยลดความกดดันในการเรียนรู้ นอกจากนี้ องค์ประกอบเกมมิฟิเคชัน (Gamification) เช่น ระบบให้รางวัลด้วยไฟ LED และเสียงชมเชย สอดคล้องกับทฤษฎีการเสริมแรงทางบวก (Positive Reinforcement) ที่ช่วยกระตุ้นให้เด็กต้องการเรียนรู้ซ้ำ ๆ (ความถี่ในการขอเล่นเพิ่ม 7 จาก 10 คน)

3. การอธิบายสาเหตุของผลลัพธ์ (Explanation of Outcomes)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก พบสาเหตุของผลลัพธ์สำคัญดังนี้:

3.1 ความแม่นยำของระบบ (100% สำหรับเบรลล์/QR): เกิดจากการออกแบบเชิงกลที่ยึดมอเตอร์เซอร์โวกับพินูนอย่างมั่นคง (Groove-fit) และใช้ Arduino Mega ที่มีหน่วยความจำเพียงพอสำหรับการควบคุมพินได้เสถียร

3.2 ความแม่นยำของเสียง (97.5%): สาเหตุที่เสียงผิดพลาด 3 ครั้ง เกิดจาก Latency ในการสื่อสารระหว่าง Arduino กับ DFPlayer Mini เมื่อมีการส่งงานซ้ำรวดเร็วเกินไป ซึ่งเป็นข้อจำกัดทางเทคนิคของโมดูลราคาถูก

3.3 ความพึงพอใจสูง (4.7/5): เกิดจากปัจจัยด้านประสบการณ์ผู้ใช้ (UX) เป็นหลัก ได้แก่ ปุ่มกดขนาดใหญ่ที่จับง่ายสำหรับเด็กพิการทางสายตา สีสัมผัสที่ดึงดูดผู้ดูแล และเสียงนำทางที่เข้าใจง่าย

3.4 เวลาตอบสนอง (6.72 วินาที): ค่าความแปรปรวน (S.D. 1.24) เกิดจากกระบวนการประมวลผลภาพของ ESP32-CAM ที่ไวต่อสภาพแสงแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับข้อสังเกตในช่วงการทดสอบ

4. นัยสำคัญต่อการศึกษาแบบรวมทุกคน (Implications for Inclusive Education)

งานวิจัยนี้มีบทบาทสำคัญในการเติมเต็มช่องว่างระหว่างเทคโนโลยีขั้นสูง กับความต้องการในการเรียนรู้แบบเข้าถึงได้ โดยเสนอทางเลือกที่สมดุลระหว่างความทันสมัย ความน่าสนใจ และความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริงในบริบทการศึกษาของไทย ผลลัพธ์ยืนยันว่า ไม่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีราคาแพงเสมอไป เพื่อสร้างประสิทธิภาพการเรียนรู้และการออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (User-Centered Design) ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นที่มุ่งเน้นเฉพาะด้านใดด้านหนึ่ง เช่น การเรียนรู้แบบร่วมมือ หรือ เทคโนโลยีสวมใส่ขั้นสูง การนำ BraillePlay ไปใช้จริงจะช่วยลดภาระครูผู้สอน และเปิดโอกาสให้เด็กได้ฝึกทักษะด้วยตนเองอย่างอิสระ สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (S.D.Gs) ด้านการศึกษาที่มีคุณภาพ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้เสนอ BraillePlay ระบบเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกมสำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา แม้ฮาร์ดแวร์หลักจะมาจากต้นแบบปี 2024^[6] แต่ การออกแบบซอฟต์แวร์ใหม่และมุมมองที่เน้นเด็ก ได้เปลี่ยนแปลงให้เป็นเครื่องมือการเรียนรู้ที่ทันสมัย แนวทางการปรับปรุงมุ่งเน้นที่ ความน่าเชื่อถือ ข้อมูลย้อนกลับ และการขยายขนาด เพื่อให้ใช้งานได้ทั้งในห้องเรียนและที่บ้าน โดยเน้น ความน่าสนใจและการเข้าถึง งานวิจัยนี้ช่วยส่งเสริมด้านเทคโนโลยีการศึกษาแบบรวมทุกคน และเป็นแบบอย่างสำหรับเครื่องมือการเรียนรู้

ในอนาคตที่เสริมพลังให้เด็กผ่านการเล่น สุดท้ายนี้ BraillePlay ไม่ใช่เพียงอุปกรณ์ช่วยการเรียนรู้ แต่เป็นเครื่องมือที่ช่วยเปิดโอกาสและสร้างความมั่นใจ ให้เด็กบกพร่องทางสายตาสามารถเรียนรู้และพัฒนาทักษะด้วยตนเองได้อย่างอิสระ

References

- [1] UNESCO, *Global Education Monitoring Report 2023: Technology in Education – A Tool on Whose Terms?* Paris, France: UNESCO, 2023. [Online]. Available: <https://une5.d.oc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385723>
- [2] World Health Organization, *World Report on Vision*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2021. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240011959>
- [3] J. Piaget, *The Psychology of Intelligence*. London, U.K.: Routledge, 1950.
- [4] MIT Solve, “Braille literacy device giving students the power to self-educate anywhere,” 2023.
- [5] ACM SIGCHI, “BrailleBlocks: Computational Braille Toys for Collaborative Learning,” YouTube video, 2020. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Wlf-2prd7bov>

- [6] Y. Jitpakdee, C. Suksai, P. Pasuwitkul, and R. Uttamathanin, "Development of a self-learning braille prototype for the visually impaired," in *Proc. TAM12 Conf.*, 2024, [in Thai].
- [7] T. Inthata, "A braille learning device with touch and sound," in *Proc. Int. Conf. Educational Innovation and Technology*, pp. 41–48, 2015.
- [8] S. Watanabe, *Braille Pad Project: Multimodal Feedback for Braille Learning*. Asia Digital Art and Design Association, 2017.
- [9] Synchrotron Light Research Institute, "Braille display unit," [in Thai]. [Online]. Available: https://www.slri.or.th/th/index.php?option=com_content&view=article&id=361&Itemid=364
- [10] V. Gadiraju, J. Miele, and K. Ramani, "BrailleBlocks: Braille toys for cross-ability collaboration," in *Proc. 21st Int. ACM SIGACCESS Conf. Computers and Accessibility*, pp. 485–487, 2019, doi: 10.1145/3308561.3356104.
- [11] R. Guo, Y. Liu, T. Wu, and Y. Wang, "I-Touch: A new wearable tool for early braille learning," in *Proc. 26th Int. ACM SIGACCESS Conf. Computers and Accessibility*, pp. 1–4, 2024, doi: 10.1145/3758871.3758920.
- [12] World Economic Forum, "What LEGO braille bricks mean to vision-impaired children," Sep. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.weforum.org/stories/2023/09/lego-bricks-braille-vision-impaired-children-read/>
- [13] A. Al-Shayea, M. Al-Shayea, M. Al-Mutairi, and F. Al-Mutairi, "An innovative IoT-based AI-powered braille learning system," *Applied System Innovation*, vol. 6, no. 5, Art. no. 91, 2023, doi: 10.3390/asi6050091.
- [14] American Psychological Association, *Publication Manual of the American Psychological Association*, 7th ed. Washington, DC, USA: American Psychological Association, 2020.
- [15] J. Cohen, *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed. Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- [16] Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS), *International Ethical Guidelines for Health-Related Research Involving Humans*. Geneva, Switzerland: CIOMS, 2021. [Online]. Available: <https://cioms.ch/wp-content/uploads/2021/04/CIOMS-2021-Guidelines-ES-1.pdf>. [Accessed: Jun. 8, 2026].

**การประเมินความพร้อมด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย
ตามมาตรฐาน ISO 45001:2018: กรณีศึกษาโรงงานผลิตพลาสติก
เอกบุตร อยู่สุข¹, ณรงค์ศักดิ์ เกื้อนไย², จรายุทธ ประทีปวรกาญจน์³, จำรัส กิ่งสวัสดิ์⁴**

^{1,2,3}สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

⁴สาขาวิชาระบบอัตโนมัติและหุ่นยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

Email: eakabut@kru.ac.th¹

Received: Apr 24, 2026

Revised: May 25, 2026

Accepted: May 28, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ประเมินสภาพแวดล้อมในการทำงาน 2) วิเคราะห์ความสอดคล้องของระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัยกับมาตรฐาน ISO 45001:2018 และ 3) ประเมินความพร้อมของสถานประกอบการในการพัฒนาระบบเพื่อเข้าสู่การรับรองมาตรฐานดังกล่าว โดยใช้กรณีศึกษาโรงงานผลิตพลาสติก การวิจัยเป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงานด้วยเครื่องมือมาตรฐาน ได้แก่ เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ เครื่องวัดระดับเสียง เครื่องวัดดัชนีความร้อน และเครื่องวัดความเข้มแสง การตรวจสอบเอกสารและระบบการจัดการด้วยแบบตรวจสอบรายการที่พัฒนาจากข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 45001:2018 แนวทาง ILO-OSH 2001 และกฎหมายความปลอดภัยของประเทศไทย รวมถึงการประเมินความเสี่ยงจากกิจกรรมการทำงานโดยใช้เมทริกซ์ความเสี่ยง ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อคำนวณค่าดัชนีด้านต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความสอดคล้องของระบบ (Compliance Score: CS) ค่าดัชนีสภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environmental Score: ES) และค่าคะแนนความเสี่ยงปรับมาตรฐาน (Normalized Risk Score: NRS) จากนั้นจึงสังเคราะห์เป็นดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัย (Safety Readiness Index: SRI) ผลการวิจัยพบว่า ค่า CS เท่ากับ 85.00 แสดงถึงระดับความสอดคล้องของระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในระดับดี ค่า ES เท่ากับ 100.00 สะท้อนว่าสภาพแวดล้อมในการทำงานทุกด้านอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด และค่า NRS เท่ากับ 78.80 แสดงว่าความเสี่ยงโดยรวมอยู่ในระดับที่สามารถควบคุมได้ ดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 87.93 ซึ่งจัดอยู่ในระดับความพร้อมสูงต่อการพัฒนาระบบตามมาตรฐาน ISO 45001:2018 ทั้งนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนพัฒนาระบบ อาชีวอนามัยและความปลอดภัย การจัดลำดับความสำคัญประเด็นปัญหาที่ต้องปรับปรุง และเป็นแนวทางเตรียมความพร้อมเข้าสู่การรับรองมาตรฐาน ISO 45001:2018 ต่อไป

คำสำคัญ: อาชีวอนามัยและความปลอดภัย, การประเมินความเสี่ยง, สภาพแวดล้อมในการทำงาน, ดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัย

Assessment of Occupational Health and Safety Readiness

in Accordance with ISO 45001:2018:

A Case Study of a Plastic Manufacturing Plant

Eakabut Yoosuk¹, Narongsak Thueanyai²,

Jarayut Prateepworakarn³, Jamrat Kingsawat⁴

^{1,2,3}Industrial Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

⁴Automation and Robotics Program, Faculty of Industrial Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

Email: eakabut@kru.ac.th¹

Received: Apr 24, 2026

Revised: May 25, 2026

Accepted: May 28, 2026

Abstract

This study aimed to: 1) assess the working environment, 2) analyze the conformity of the occupational health and safety management system with ISO 45001:2018, and 3) evaluate organizational readiness for developing the system toward certification under the standard, using a plastic manufacturing plant as a case study. The research was conducted as applied research. Data were collected through workplace environmental monitoring using standard instruments, including an air sampling pump, sound level meter, wet bulb globe temperature (WBGT) meter, and lux meter. Document review and management system assessment were carried out using a checklist developed from the requirements of ISO 45001:2018, the ILO-OSH 2001 guidelines, and Thai occupational safety legislation. In addition, operational risks were assessed using a Risk Matrix. The collected data were analyzed to calculate key indicators, including the Compliance Score (CS), Environmental Score (ES), and Normalized Risk Score (NRS). These indicators were then integrated into the Safety Readiness Index (SRI). The results showed that the Compliance Score (CS) was 85.00, indicating a good level of conformity with occupational health and safety management requirements. The Environmental Score (ES) was 100.00, demonstrating that all measured workplace environmental factors complied with the applicable standards. The Normalized Risk Score (NRS) was 78.80, indicating that the overall risks were maintained at an acceptable and controllable level. The Safety Readiness Index (SRI) was 87.93, which was classified as a high level of readiness for developing the management system in accordance with ISO 45001:2018.

The findings provide baseline information for planning occupational health and safety system improvements, prioritizing issues requiring corrective actions, and serving as a guideline for organizations preparing for ISO 45001:2018 certification in a systematic and effective manner.

Keywords: Occupational Health and Safety, Risk Assessment, Work Environment, Safety Readiness Index

บทนำ

อาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตของผู้ใช้แรงงานและประสิทธิภาพการดำเนินงานขององค์กร [1] โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งมีความเสี่ยงจากปัจจัยด้านกายภาพและเคมี เช่น ฝุ่นละออง สารเคมี เสียง และความร้อน หากไม่มีการจัดการที่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานได้ [2]

ในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก กระบวนการผลิตมักเกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องจักรที่มีอุณหภูมิและความดันสูง เช่น เครื่องฉีดพลาสติก เครื่องเป่าพลาสติก และเครื่องบดวัสดุ รวมถึงการใช้เม็ดพลาสติก สารเติมแต่ง ตัวทำละลาย และสารเคมีที่อาจก่อให้เกิดฝุ่น ควั่น กลิ่น และสารระเหยในบรรยากาศการทำงาน นอกจากนี้ ยังมีความเสี่ยงจากระบบไฟฟ้า การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนเครื่องจักร การยกเคลื่อนย้ายวัสดุ และเสียงดังจากกระบวนการผลิต ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บโรคจากการทำงาน และอุบัติเหตุในสถานประกอบการได้หากไม่มีระบบการจัดการที่เหมาะสมและครอบคลุม

ในระดับมาตรฐานสากล ได้มีการพัฒนากรอบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัยเพื่อใช้เป็นแนวทางในการควบคุมและป้องกันความเสี่ยงอย่างเป็นระบบ เช่น มาตรฐาน ISO 45001:2018 ซึ่งเน้นการบริหารจัดการโดยใช้วงจร PDCA (Plan - Do - Check - Act) รวมถึงแนวทางขององค์การแรงงานระหว่างประเทศ [3]

ที่มุ่งเน้นการสร้างสภาพแวดล้อมการทำงานที่ปลอดภัยและยั่งยืน [4]

งานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นว่าการมีระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพมีความสัมพันธ์กับผลการดำเนินงานขององค์กร โดยสามารถช่วยลดอุบัติเหตุ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและเสริมสร้างความเชื่อมั่นต่อองค์กร [5] ซึ่งการประเมินความปลอดภัยในทางปฏิบัติมักดำเนินการในลักษณะแยกส่วน เช่น การตรวจวัดสภาพแวดล้อม หรือการประเมินความสอดคล้องของระบบเพียงด้านใดด้านหนึ่ง [6]

แนวคิดการพัฒนาดัชนีเชิงผสม (Composite Index) ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถบูรณาการตัวชี้วัดหลายมิติให้สะท้อนภาพรวมของระบบได้อย่างชัดเจนมากกว่าการใช้ตัวแปรเพียงตัวเดียว [7] โดยเฉพาะการรวมข้อมูลด้านสภาพแวดล้อม ระบบ และความเสี่ยง เพื่อใช้ในการประเมินระดับความปลอดภัยขององค์กรในภาพรวม [8]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่ยังคงมุ่งเน้นการประเมินในลักษณะแยกส่วน และยังขาดการพัฒนา [9] “ดัชนีเชิงบูรณาการ” ที่สามารถสะท้อนระดับความพร้อมของสถานประกอบการได้อย่างครอบคลุมและเป็นระบบอย่างชัดเจน [10], [12] งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาแนวทางการประเมินความพร้อมของสถานประกอบการ โดยบูรณาการตัวชี้วัดด้านสภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environmental Score: ES) ความสอดคล้องของระบบ (Compliance Score: CS) และระดับความเสี่ยง (Normalized

Risk Score: NRS) เข้าด้วยกันในรูปของดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัย (Safety Readiness Index: SRI) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินและสนับสนุนการเข้าสู่ระบบมาตรฐาน ISO 45001:2018 อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินระดับสภาพแวดล้อมในการทำงานด้านกายภาพและเคมีในโรงงานผลิตพลาสติก โดยใช้การตรวจวัดตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
2. เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัยกับข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 45001:2018
3. เพื่อประเมินระดับความพร้อมของสถานประกอบการในการเข้าสู่ระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย โดยใช้ดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัยตามมาตรฐาน ISO 45001:2018 (Safety Readiness Index: SRI)

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) โดยใช้การสำรวจภาคสนามร่วมกับการวิเคราะห์เชิงระบบ เพื่อประเมินสภาพแวดล้อมในการทำงานและความพร้อมของสถานประกอบการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย โดยมีเป้าหมายเพื่อสนับสนุนการเตรียมความพร้อมสู่การรับรองมาตรฐาน ISO 45001:2018 การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2566 ซึ่งครอบคลุมสภาพการดำเนินงานตลอดทั้งปี เพื่อให้ข้อมูล

สะท้อนสภาพแวดล้อมในการทำงานที่อาจเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและภาระการผลิต [13]

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ โดยมุ่งศึกษาสภาพแวดล้อมในการทำงาน ประเมินความสอดคล้องของระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย และวิเคราะห์ความเสี่ยงจากกิจกรรมการทำงาน เพื่อประเมินความพร้อมของสถานประกอบการในการเข้าสู่ระบบมาตรฐาน ISO 45001:2018 โดยใช้การสำรวจภาคสนามร่วมกับการวิเคราะห์เชิงระบบ ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องกับข้อมูลส่วนบุคคล ประกอบด้วยผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงาน การตรวจสอบสภาพพื้นที่ปฏิบัติงาน การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง และการประเมินความเสี่ยงจากกิจกรรมการทำงาน [14], [15] ดังนั้น การวิจัยนี้ไม่มีการเก็บข้อมูลจากบุคคล ไม่มีการสัมภาษณ์ และไม่มีการใช้แบบสอบถาม

2. พื้นที่และขอบเขตการวิจัย

การศึกษาดำเนินการในโรงงานผลิตพลาสติกแห่งหนึ่ง โดยคัดเลือกพื้นที่ศึกษาจากกระบวนการผลิตหลักที่มีลักษณะงานและปัจจัยเสี่ยงแตกต่างกัน รวมทั้งมีโอกาสสัมผัสปัจจัยอันตรายด้านกายภาพและเคมีในระดับสูง ประกอบด้วย

- 1) พื้นที่พ่นสี (Painting Area) ซึ่งมีความเสี่ยงจากสารเคมีระเหย ฝุ่นละออง และการสัมผัสตัวทำละลาย

2) พื้นที่การผลิต (Tempo Area) ซึ่งมีความเสี่ยงจากเครื่องมือ เครื่องจักร เสี่ยง และการยศาสตร์

3) พื้นที่ตัดแต่งชิ้นงาน (Trimming Area) ซึ่งมีความเสี่ยงจากฝุ่นพลาสติก เสี่ยง และการใช้เครื่องมือตัดแต่ง

การเลือกพื้นที่ทั้ง 3 แห่งดังกล่าวพิจารณาจากผลการสำรวจเบื้องต้น ประเภทของกิจกรรมการทำงาน ความถี่ในการปฏิบัติงาน และศักยภาพในการเกิดอันตราย เพื่อให้ครอบคลุมกิจกรรมสำคัญที่สะท้อนระดับความเสี่ยงของกระบวนการผลิตโดยรวม ซึ่งขอบเขตการวิจัยครอบคลุม 3 ด้าน ได้แก่ สภาพแวดล้อมในการทำงาน ระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัยตามมาตรฐาน ISO 45001:2018 และ ความเสี่ยงจากกิจกรรมการทำงาน

3. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรในการวิจัยครั้งนี้เป็นตัวแปรเชิงปริมาณที่ใช้ประเมินความพร้อมด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของสถานประกอบการ โดยประกอบด้วยตัวชี้วัดหลัก 4 ประการ ได้แก่

3.1 Environmental Score (ES) ค่าคะแนนที่สะท้อนระดับสภาพแวดล้อมในการทำงาน จากการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดด้านกายภาพและเคมีกับเกณฑ์มาตรฐาน

2.2 Compliance Score (CS) ค่าคะแนนความสอดคล้องของระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัยตามมาตรฐาน ISO 45001:2018 จากการประเมินด้วยแบบตรวจสอบรายการ (Checklist)

2.3 Normalized Risk Score (NRS) ค่าความเสี่ยงที่ปรับให้อยู่ในรูปมาตรฐานเดียวกัน โดยพิจารณาจากโอกาสเกิดและความรุนแรงของผลกระทบตามมาตรฐาน ISO 45001:2018

2.4 Safety Readiness Index (SRI) ดัชนีความพร้อมของสถานประกอบการ คำนวณจากค่าเฉลี่ยของ ES, CS และ NRS ซึ่งถูกนำมาบูรณาการ เพื่อสะท้อนภาพรวมความพร้อมในการเข้าสู่ระบบ ISO 45001:2018

4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

4.1 เครื่องมือตรวจวัดสภาพแวดล้อม ได้แก่

1) เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ (Air Sampling Pump) ยี่ห้อ SKC รุ่น AirChek TOUCH หมายเลขเครื่อง ASP-001 ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองและไอสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน

2) เครื่องวัดระดับเสียง (Sound Level Meter) ยี่ห้อ TES รุ่น TES-1358 หมายเลขเครื่อง SLM-002 ใช้ตรวจวัดระดับเสียงในพื้นที่ปฏิบัติงาน

3) เครื่องวัดดัชนีความร้อน (Wet Bulb Globe Temperature Meter) ยี่ห้อ Extech Instruments รุ่น HT30 หมายเลขเครื่อง WBGT-003 ใช้ตรวจวัดความร้อนสะสมในสภาพแวดล้อมการทำงาน

4) เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux Meter) ยี่ห้อ Lutron Electronic Enterprise รุ่น LX-1108 หมายเลขเครื่อง LUX-004 ใช้ตรวจวัด

ความเข้มแสงสว่างทั่วไปในพื้นที่ปฏิบัติงานตามจุดตรวจวัดที่กำหนด ทั้งนี้ เครื่องมือทุกชนิดได้รับการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง หรือได้รับการตรวจสอบความถูกต้องตามข้อกำหนดของผู้ผลิตก่อนใช้งาน เพื่อให้มั่นใจในความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูล

4.2 แบบตรวจสอบรายการ (Checklist) ซึ่งพัฒนาจากข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 45001:2018 แนวทาง ILO-OSH 2001 และกฎหมายความปลอดภัยของประเทศไทย

4.3 การตรวจสอบเอกสาร (Document Review) สำหรับทบทวนเอกสารและหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการ

4.4 แบบประเมินความเสี่ยงโดยใช้ Risk Matrix โดยใช้เมทริกซ์ความเสี่ยง (Risk Matrix) ที่พิจารณาจากโอกาสการเกิดและความรุนแรงของผลกระทบ

เครื่องมือทั้งหมดได้รับการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาและความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ผู้ตรวจประเมินระบบมาตรฐาน ISO 45001 และนักวิชาการด้านการประเมินความเสี่ยง ก่อนนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ข้อมูลจากเอกสารและระบบการจัดการของสถานประกอบการ และ 2) ข้อมูลจากการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงานจริงในพื้นที่ปฏิบัติงาน [16]

ก่อนการเก็บข้อมูลมีการวางแผนการลงพื้นที่กำหนดจุดตรวจวัดจากแหล่งกำเนิดอันตรายและดำเนินการตรวจวัดในสภาวะการทำงานปกติ การเก็บตัวอย่างฝุ่นและสารเคมีดำเนินการตามวิธีมาตรฐาน ส่วนการตรวจวัดเสียง ความร้อน และแสงสว่างดำเนินการ ณ ตำแหน่งในการทำงานจริง

ข้อมูลภาคสนามถูกบันทึกอย่างเป็นระบบโดยใช้แบบตรวจสอบรายการและแบบประเมินความเสี่ยงควบคู่กัน เพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งด้านระบบและสภาพการทำงานจริง



รูปที่ 1 การตรวจวัดปริมาณ Total dust, Ethyl acetate และ Cyclohexanone
ที่มา: ภาพถ่ายจากโรงงานที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 2 การตรวจวัดปริมาณ Total dust, Ethyl acetate และ 2-Butoxyethanol
ที่มา: ภาพถ่ายจากโรงงานที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 3 การตรวจวัดความเข้มของแสงสว่าง
ในพื้นที่ทำงาน
ที่มา: ภาพถ่ายจากโรงงานที่ใช้ในการวิจัย

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีเชิงพรรณนาและเชิงวิเคราะห์ โดยเปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดกับเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อประเมินระดับความปลอดภัยของสภาพแวดล้อมในการทำงาน

การประเมินความเสี่ยงใช้แนวคิด Risk Matrix โดยคำนวณค่าความเสี่ยงจากผลคูณของโอกาสเกิด (L) และความรุนแรง (S) และแปลงเป็นร้อยละ ดังสมการ

$$Risk\ Score\ (\%) = (L \times S / 25) \times 100$$

จากนั้นปรับค่าเป็น Normalized Risk Score (NRS) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับตัวชี้วัดอื่นได้

$$NRS = 100 - Risk\ Score\ (\%)$$

ค่า Environmental Score (ES) คำนวณจากสัดส่วนของรายการที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ขณะที่ Compliance Score (CS) ได้จากการประเมินแบบ

ตรวจสอบรายการโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบกึ่งเชิงปริมาณ

สุดท้าย ผู้วิจัยสังเคราะห์ค่าทั้งสามเพื่อสร้างดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัย (SRI) ดังสมการ

$$SRI = (CS + ES + NRS) / 3$$

ดัชนีดังกล่าวใช้เป็นตัวชี้วัดภาพรวมของความพร้อมของสถานประกอบการในการเข้าสู่ระบบมาตรฐาน

7. การกำหนดมาตรการควบคุมความเสี่ยง

ผลการวิเคราะห์ถูกนำไปใช้กำหนดมาตรการควบคุม โดยอ้างอิงหลัก Hierarchy of Controls ได้แก่ การกำจัดอันตราย การแทนที่ การควบคุมทางวิศวกรรม การควบคุมทางการบริหาร และการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล เพื่อให้การควบคุมความเสี่ยงมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล [3], [6], [10], [12], [17]

ผลการวิจัย

1. ผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงาน

การนำเสนอผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงานในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นพื้นที่ตรวจวัดหลัก คือ พื้นที่ พ่นสี (Painting Area), พื้นที่ การผลิต (Tempo Area) และพื้นที่ตัดแต่งชิ้นงาน (Trimming Area) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณตามขอบเขตการวิจัย ขณะที่พื้นที่ประกอบชิ้นงาน

(Assembly Area) ไม่ได้ใช้เป็นจุดตรวจวัดเชิง เฉพาะ แต่ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยง ปริมาณ เนื่องจากไม่มีปัจจัยเสี่ยงที่ต้องตรวจวัด และเชิงระบบ

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงาน

ปัจจัย	ค่าที่ตรวจ	มาตรฐาน	ผลการประเมิน
ฝุ่นรวม*	<0.25	$\leq 10 \text{ mg/m}^3$	ผ่าน
Ethyl acetate*	3.09	$\leq 400 \text{ ppm}$	ผ่าน
Cyclohexanone*	<0.09	$\leq 25 \text{ ppm}$	ผ่าน
เสียง*	82	$\leq 85 \text{ dBA}$	ผ่าน
WBGT*	28	$\leq 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$	ผ่าน
แสงสว่าง*	350	$\geq 300 \text{ Lux}$	ผ่าน
ฝุ่นรวม**	<0.25	$\leq 10 \text{ mg/m}^3$	ผ่าน
Ethyl acetate**	15.02	$\leq 400 \text{ ppm}$	ผ่าน
2-Butoxy ethanol**	0.32	$\leq 50 \text{ ppm}$	ผ่าน
เสียง**	84	$\leq 85 \text{ dBA}$	ผ่าน
WBGT**	29	$\leq 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$	ผ่าน
แสงสว่าง**	320	$\geq 300 \text{ Lux}$	ผ่าน
ฝุ่นรวม***	0.25	$\leq 10 \text{ mg/m}^3$	ผ่าน
Cyclohexanone***	<0.09	$\leq 25 \text{ ppm}$	ผ่าน
เสียง***	78	$\leq 85 \text{ dBA}$	ผ่าน
WBGT***	27	$\leq 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$	ผ่าน
แสงสว่าง***	400	$\geq 300 \text{ Lux}$	ผ่าน

หมายเหตุ

* พื้นที่พ่นสี (Painting Area)

** พื้นที่การผลิต (Tempo Area)

*** พื้นที่ตัดแต่งชิ้นงาน (Trimming Area)

ผลการตรวจวัดจากตารางที่ 1 พบว่าค่าปัจจัย ด้านเคมีและกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ฝุ่น สารเคมี เสียง ความร้อน และแสงสว่าง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งหมด โดยผลดังกล่าวสะท้อนสภาพแวดล้อมในการทำงานของพื้นที่ปฏิบัติงานหลักได้อย่างเหมาะสม

2. ผลการประเมินความสอดคล้องของระบบอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

การประเมินความสอดคล้องของระบบอาชีวอนามัยและความปลอดภัยดำเนินการโดยใช้แบบตรวจสอบรายการ (Checklist) ที่พัฒนาจากมาตรฐาน ISO 45001:2018 ร่วมกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อประเมินระดับความสอดคล้องในแต่ละองค์ประกอบของระบบ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความสอดคล้องของระบบอาชีวอนามัยและความปลอดภัยตามแบบตรวจสอบรายการ

รายการตรวจสอบ	อ้างอิงข้อกำหนด	ผลการประเมิน
วิเคราะห์บริบทองค์กร	Clause 4.1	ครบ
ระบุผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย	Clause 4.2	ครบ
นโยบายอาชีวอนามัย	Clause 5.2	ครบ
บทบาท/ความรับผิดชอบผู้บริหาร	Clause 5.1	ครบ
การชี้แจงอันตราย	Clause 6.1.2	ครบ
การประเมินความเสี่ยง	Clause 6.1.2	ครบ
แผนควบคุมความเสี่ยง	Clause 6.1.4	มีบางส่วน
สมรรถนะ/การฝึกอบรม	Clause 7.2	ครบ
การสื่อสารด้านความปลอดภัย	Clause 7.4	ครบ
การควบคุมการปฏิบัติงาน	Clause 8.1	ครบ
การจัดการสารเคมีอันตราย	Clause 8.1.2	ครบ
การใช้ PPE	Clause 8.1.2	ครบ
การตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงาน	Clause 9.1	ครบ
การตรวจติดตามภายใน	Clause 9.2	มีบางส่วน
การทบทวนโดยผู้บริหาร	Clause 9.3	มีบางส่วน
การแก้ไข/ป้องกัน	Clause 10.2	ไม่มี
ระดับเสียง	กฎหมายไทย / Clause 9.1	ครบ
แสงสว่าง	กฎหมายไทย / Clause 9.1	ครบ
ความร้อน (WBGT)	กฎหมายไทย / Clause 9.1	ครบ
ความเข้มข้นสารเคมี	กฎหมายไทย / Clause 9.1	ครบ

ผลการประเมินจากตารางที่ 2 แสดงในรูปแบบอ้างอิงข้อกำหนด “Clause x.x” ทำให้สามารถเชื่อมโยงกับมาตรฐานสากลและตรวจสอบย้อนกลับได้อย่างเป็นระบบ โดยพบว่าสถานประกอบการมีการดำเนินงานในระดับ “ครบ” เป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะด้านการดำเนินงานและสภาพแวดล้อม ซึ่งยังมีบางประเด็นที่ดำเนินการเพียง “บางส่วน” สรุปผลการประเมิน ดังแสดงตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการประเมินจากแบบตรวจสอบรายการ

ผลการประเมิน	จำนวน
ครบ	15
มีบางส่วน	4
ไม่มี	1
รวม	20

3. การคำนวณค่าความสอดคล้องของระบบ (Compliance Score: CS)

ผู้วิจัยนำข้อมูลมาคำนวณค่าความสอดคล้องของระบบ (Compliance Score: CS) โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน “ครบ = 1” “บางส่วน = 0.5” และ “ไม่มี = 0”

โดยนำจำนวนรายการในแต่ละระดับมาคิดคะแนนรวมและแปลงเป็นค่าร้อยละ พบว่าได้คะแนนรวม 17 จากคะแนนเต็ม 20 คิดเป็นค่า Compliance Score เท่ากับ ร้อยละ 85.00

สะท้อนว่าสถานประกอบการมีความสอดคล้องของระบบในระดับดี จากเกณฑ์การแปลผล 4 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง ระดับดี และระดับดีมาก โดยมีการดำเนินงานตามข้อกำหนดส่วนใหญ่ครบถ้วน และยังมีบางประเด็นที่ต้องปรับปรุงเพื่อให้ระบบมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทั้งนี้ ค่า CS จะถูกนำไปใช้ร่วมกับ Environmental Score (ES) และ Normalized Risk Score (NRS) เพื่อคำนวณดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัย (SRI) ในขั้นตอนถัดไป

4. การสรุปผลและคำนวณ Environmental Score (ES)

จากผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงาน พบว่ารายการตรวจวัดทั้ง 17 รายการผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด คิดเป็นค่า Environmental Score เท่ากับร้อยละ 100 ค่า ES ที่ได้สะท้อนถึงคุณภาพสภาพแวดล้อมในการทำงานในระดับดีมาก

5. ผลการประเมินความเสี่ยง

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความเสี่ยงโดยใช้ Risk Matrix และ Risk Score

อันตรายจาก	มาตรการควบคุม	Risk Score ความเสี่ยง
ไอสารเคมี ระเหย	ระบบระบาย อากาศ + PPE	2x3 (6) ปานกลาง
การติดไฟ/ไฟไหม้	ถังดับเพลิง + ควบคุมแหล่งกำเนิด	1x5 (5) ต่ำ
เสียงจาก เครื่องจักร	PPE + ควบคุม เวลา	2x3 (6) ปานกลาง
ความร้อน สะสม	ระบบระบาย อากาศ	2x2 (4) ต่ำ
การหนีบ/ตัด	Guard เครื่องจักร	2x4 (8) ปานกลาง
ไฟฟ้าช็อต	Grounding + ตรวจสอบระบบ	2x4 (8) ปานกลาง
ฝุ่นละออง	ระบบดูดฝุ่น + หน้ากาก	2x2 (4) ต่ำ
เสียงจาก อุปกรณ์	PPE	2x2 (4) ต่ำ
พื้นลื่น/ลื่นล้ม	ป้ายเตือน + ทำ ความสะอาด	2x2 (4) ต่ำ
ท่าทางการ ทำงาน	การจัดสถานีงาน	2x2 (4) ต่ำ

จากตารางที่ 4 พบว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงสุดเมื่อพิจารณาจากค่า Risk Score คือ Tempo Area พบความเสี่ยงจากการหนีบหรือถูกตัดโดยเครื่องจักร และไฟฟ้าช็อต มีค่า Risk Score เท่ากับ 8 อยู่ในระดับปานกลาง

ผลการประเมินดังกล่าวสะท้อนว่า Tempo Area เป็นพื้นที่ที่ควรได้รับความสำคัญเป็นลำดับ

แรกในการวางแผนควบคุมและลดความเสี่ยงเนื่องจากเกี่ยวข้องกับเครื่องจักรและระบบไฟฟ้าที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุรุนแรงได้

6. การแปลงค่า Risk Score และการคำนวณ Normalized Risk Score (NRS)

ตารางที่ 5 การแปลงค่า Risk Score เป็นร้อยละ และการคำนวณ Normalized Risk Score (NRS)

ที่	พื้นที่ / กิจกรรม	Risk Score	Risk (%)	NRS
1	PA - ไอสารเคมี ระเหย	6	24	76
2	PA - การติดไฟ/ ไฟไหม้	5	20	80
3	TeA - เสี่ยงจาก เครื่องจักร	6	24	76
4	TeA - ความร้อน สะสม	4	16	84
5	TeA - การหนีบ/ตัด	8	32	68
6	TeA - ไฟฟ้าช็อต	8	32	68
7	TrA - ฝุ่นละออง	4	16	84
8	TrA - เสี่ยงจาก อุปกรณ์	4	16	84
9	ทุกพื้นที่ - พื้นที่ ลื่นล้ม	4	16	84
10	AA - การยศาสตร์ (Ergonomic)	4	16	84

หมายเหตุ

PA	=	พื้นที่พ่นสี
TeA	=	พื้นที่การผลิต
TrA	=	พื้นที่ติดตั้งชิ้นงาน
AA	=	พื้นที่ประกอบชิ้นงาน

จากตารางที่ 5 พบว่าค่า NRS ของแต่ละกิจกรรมอยู่ในช่วง 68 - 84 โดยค่าต่ำสุด คือ 68 พบในความเสี่ยงจากการหนีบ/ตัดและไฟฟ้าช็อตในพื้นที่ Tempo Area ซึ่งยังต้องได้รับการควบคุมอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ความเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อมทั่วไปและการยศาสตร์มีค่า NRS อยู่ในระดับสูง คือ 84 สะท้อนถึงประสิทธิภาพของมาตรการควบคุม

เมื่อพิจารณาภาพรวม ค่าเฉลี่ย NRS เท่ากับ 78.80 แสดงถึงระดับความเสี่ยงที่สามารถควบคุมได้

7. การสังเคราะห์ผลเพื่อประเมินดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัย (SRI)

ผลการคำนวณพบว่า SRI เท่ากับ 87.93 โดยมีค่า CS = 85.00, ES = 100.00 และ NRS = 78.80 หมายถึงสถานประกอบการมีความพร้อมด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในระดับสูง โดยมีจุดเด่นด้านการควบคุมสภาพแวดล้อม และมีความเสี่ยงโดยรวมอยู่ในระดับที่สามารถควบคุมได้

ตารางที่ 6 การแปลผลดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัย (SRI)

ค่า SRI	ความพร้อม	ความหมาย
80 – 100	สูง	มีความพร้อมในการดำเนินงานตามมาตรฐาน สามารถพัฒนาเข้าสู่ระบบ ISO 45001 ได้
60 – 79	ปานกลาง	มีความพร้อมบางส่วน ต้องปรับปรุงเพิ่มเติม
ต่ำกว่า 60	ต่ำ	ยังไม่พร้อม ต้องปรับปรุงระบบอย่างเร่งด่วน

ตารางที่ 6 แสดงเกณฑ์การแปลผลดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัย (Safety Readiness Index: SRI) เพื่อประเมินระดับความพร้อมของสถานประกอบการในการพัฒนาระบบอาชีวอนามัยและความปลอดภัยตามมาตรฐาน ISO 45001:2018 โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับสูง (80 - 100) หมายถึงมีความพร้อมในการเข้าสู่ระบบมาตรฐาน ระดับปานกลาง (60 - 79) หมายถึงมีความพร้อมบางส่วนแต่ยังต้องปรับปรุง

เพิ่มเติม และระดับต่ำ (ต่ำกว่า 60) หมายถึงยังไม่พร้อมและจำเป็นต้องปรับปรุงระบบอย่างเร่งด่วน ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า ค่า SRI เท่ากับ 87.93 จัดอยู่ในระดับความพร้อมสูง แสดงว่าสถานประกอบการมีศักยภาพในการพัฒนาระบบให้สอดคล้องกับมาตรฐาน ISO 45001:2018 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยยังควรปรับปรุงในประเด็นที่มีช่องว่างเพื่อให้ระบบมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ตารางที่ 7 ผลการสังเคราะห์ตัวชี้วัดในภาพรวมของสถานประกอบการ

ตัวชี้วัด	ค่า (%)	ระดับ
Compliance Score (CS)	85.00	ดี
Environmental Score (ES)	100.00	ดีมาก
Normalized Risk Score (NRS)	78.80	ควบคุมได้
Safety Readiness Index (SRI)	87.93	สูง

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การแปลผลจากตารางที่ 7 พบว่าอยู่ในระดับ “สูง” และจากการสรุปตัวชี้วัดจากตารางที่ 8 ยืนยันแนวโน้มดังกล่าวอย่างสอดคล้องกัน โดยภาพรวมแสดงให้เห็นว่าสถานประกอบการมีศักยภาพในการพัฒนาเข้าสู่ระบบมาตรฐาน ISO 45001:2018

สรุปและอภิปรายผล

การอภิปรายผลในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการตีความผลลัพธ์ในเชิงระบบ เพื่ออธิบายว่าระดับความพร้อมของสถานประกอบการมีได้ขึ้นอยู่กับผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงานเพียงมิติเดียว แต่ยังคงขึ้นอยู่กับความครบถ้วนของระบบการจัดการ การบริหารความเสี่ยง และ

กระบวนการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญตามหลักการของ ISO 45001 และ ILO-OSH 2001

1. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2566 ช่วยให้การประเมินสภาพแวดล้อมในการทำงานครอบคลุมความแปรผันของสภาพการทำงานตลอดทั้งปี ทั้งในด้านสภาพอากาศ ภาระการผลิต และลักษณะการดำเนินงานในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลให้ข้อมูลที่สามารถสะท้อนสภาพการทำงานจริงของสถานประกอบการได้ดียิ่งขึ้นโดยเฉพาะการตรวจวัดความร้อน ซึ่งตามหลักเกณฑ์ด้านอาชีวอนามัยกำหนดให้ดำเนินการในช่วงเดือนที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด เพื่อประเมินสภาวะการทำงานในกรณีเลวร้ายที่สุด (worst-case condition) ดังนั้นการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาดังกล่าวจึงช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการประเมิน และทำให้ผลการตรวจวัดสามารถสะท้อนประสิทธิภาพของมาตรการควบคุมความร้อนของสถานประกอบการได้อย่างเหมาะสม มากขึ้น

นอกจากนี้ การเก็บข้อมูลตลอดทั้งปียังช่วยลดข้อจำกัดจากการประเมินเพียงช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจไม่สะท้อนความเสี่ยงที่แท้จริงในสภาพการดำเนินงานที่แตกต่างกันตามฤดูกาลหรือปริมาณการผลิต

1.1 การอภิปรายผลด้านสภาพแวดล้อมในการทำงาน

ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยด้านกายภาพและเคมีทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่งผลให้ค่า

Environmental Score (ES) เท่ากับ 100.00 สะท้อนว่าสถานประกอบการมีมาตรการควบคุมสภาพแวดล้อมในการทำงานที่มีประสิทธิภาพทั้งในด้านวิศวกรรม การบริหารจัดการ และการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของ ISO 45001 และ ILO-OSH 2001 ที่เน้นการควบคุมอันตรายอย่างเป็นระบบ [7] แต่เมื่อพิจารณาพร้อมกับค่า Normalized Risk Score (NRS) ที่ยังคงอยู่ในระดับปานกลาง แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมในการทำงานที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5] เนื่องจากการตรวจวัดสภาพแวดล้อมเป็นการประเมินเชิง “สภาวะ” (condition-based assessment) ในช่วงเวลาหนึ่ง ขณะที่ความเสี่ยงจากการทำงานเป็นการประเมินเชิง “พฤติกรรมและกระบวนการ” (behavioral and process-based risk) ซึ่งครอบคลุมถึงลักษณะการปฏิบัติงาน เครื่องจักร และปัจจัยมนุษย์ [12]

ดังนั้น ผลการศึกษานี้จึงสะท้อนให้เห็นว่าการประเมินความปลอดภัยในสถานประกอบการควรพิจารณาในลักษณะบูรณาการ ไม่สามารถพิจารณาจากผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการจัดการความปลอดภัยเชิงระบบที่เน้นการควบคุมทั้งด้านสภาพแวดล้อม ระบบ และพฤติกรรมควบคู่กัน ซึ่งผลดังกล่าวยังสอดคล้องกับงานวิจัย [8] ที่ชี้ว่าความสำเร็จของระบบขึ้นอยู่กับนโยบายที่ชัดเจนและการติดตามอย่างต่อเนื่อง หมายถึงปัจจัยที่ตรวจวัดอยู่ในระดับควบคุมได้ ณ ช่วงเวลาที่ศึกษา [13]

1.2 การอภิปรายผลด้านความสอดคล้องของระบบ

ค่า Compliance Score (CS) เท่ากับ 85.00 แสดงว่าสถานประกอบการมีระบบอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในระดับดี โดยเฉพาะด้านการดำเนินงานและการควบคุม ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ ISO 45001 [11] อีกทั้งยังพบช่องว่างในด้านการตรวจติดตามภายใน การทบทวนโดยผู้บริหาร และการดำเนินการแก้ไข/ป้องกัน ซึ่งสอดคล้องกับ [10] ที่ระบุว่าประสิทธิผลของระบบมักถูกจำกัดด้วยกลไกการติดตามและการมีส่วนร่วมขององค์กร

ดังนั้น ผลการศึกษานี้สะท้อนว่าสถานประกอบการมี “โครงสร้างระบบที่ดี” แต่ยังต้องพัฒนาโลก PDCA เพื่อให้ระบบสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

1.3 การอภิปรายผลด้านความเสี่ยง

ผลการประเมินความเสี่ยงพบว่าความเสี่ยงส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยมีค่า Normalized Risk Score (NRS) เฉลี่ยเท่ากับ 78.80 แสดงว่าสถานประกอบการสามารถควบคุมความเสี่ยงจากการปฏิบัติงานได้ในระดับที่น่าพอใจ สาเหตุที่ความเสี่ยงส่วนใหญ่อยู่ในระดับดังกล่าว [9] เนื่องจากมีมาตรการควบคุมที่เหมาะสม เช่น การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเครื่องจักร ระบบระบายอากาศ การต่อสายดิน การจัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงาน และการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ส่งผลให้โอกาสเกิดเหตุการณ์และความรุนแรงของผลกระทบลดลง [8] ซึ่งยังพบความเสี่ยงจากเครื่องจักร ไฟฟ้า และสารเคมีในบางกิจกรรม ซึ่งสะท้อนว่าแม้จะมีมาตรการควบคุมอยู่แล้ว แต่ยังมีความเสี่ยง

ตกค้างจากลักษณะงานที่มีอันตรายโดยธรรมชาติ และอาจก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงได้ หากมาตรการควบคุมขาดประสิทธิภาพหรือมีการปฏิบัติงานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด [12]

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ [14] ที่ชี้ว่าการประเมินความเสี่ยงช่วยระบุอันตรายเชิงปฏิบัติ งานที่อาจไม่ปรากฏจากการตรวจวัดสภาพแวดล้อม และสนับสนุนแนวคิดของ [10] ที่เน้นการจัดการความเสี่ยงเชิงรุกและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ระดับความเสี่ยงลดลงและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้อย่างยั่งยืน

1.4 การอภิปรายผลด้านดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัย (SRI)

ค่า Safety Readiness Index (SRI) เท่ากับ 87.93 อยู่ในระดับสูง สะท้อนว่าสถานประกอบการมีความพร้อมในการพัฒนาระบบอาชีวอนามัยและความปลอดภัยให้สอดคล้องกับมาตรฐาน ISO 45001:2018 [7] โดยมีจุดแข็งด้านการควบคุมสภาพแวดล้อม ความสอดคล้องของระบบ และการควบคุมความเสี่ยง

สำหรับค่า SRI ควรตีความว่าเป็นระดับความพร้อมเชิงระบบ ไม่ใช่ความสมบูรณ์ของระบบ เนื่องจากยังมีประเด็นที่ต้องพัฒนาในด้านการตรวจติดตามภายใน [14] การทบทวนโดยผู้บริหาร และการดำเนินการแก้ไขและป้องกัน นอกจากนี้ การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการในสถานประกอบการเพียงแห่งเดียว จึงควรใช้ผลการวิจัยเป็นแนวทางในการประเมินความพร้อมเบื้องต้น ผลดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ ISO 45001, ILO-OSH 2001 และงานวิจัย [13] ที่เน้นการบูรณาการระบบและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อ

ยกระดับประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยในระยะยาว

2. ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ

2.1 พัฒนาระบบการตรวจติดตามและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าสถานประกอบการจะมีค่า Safety Readiness Index (SRI) เท่ากับ 87.93 ซึ่งอยู่ในระดับสูง แต่ยังพบช่องว่างในด้านการตรวจติดตามภายใน การทบทวนโดยผู้บริหาร และการดำเนินการแก้ไขและป้องกัน จึงควรเร่งพัฒนากลไกดังกล่าวให้เป็นระบบและต่อเนื่อง เพื่อให้วงจร PDCA ดำเนินได้อย่างครบถ้วนตามข้อกำหนดของ ISO 45001:2018 และ ILO-OSH 2001

2.2 จัดทำแผนควบคุมความเสี่ยงเชิงระบบ ควรกำหนดแผนควบคุมความเสี่ยงที่ระบุอันตราย มาตรการควบคุม ผู้รับผิดชอบ และระยะเวลาติดตามอย่างชัดเจน โดยให้ความสำคัญกับกิจกรรมที่ยังมีความเสี่ยงระดับปานกลาง เช่น การทำงานกับเครื่องจักร ระบบไฟฟ้า และสารเคมี เพื่อให้สามารถลดความเสี่ยงตกค้างและติดตามผลได้อย่างเป็นรูปธรรม

2.3 ส่งเสริมการมีส่วนร่วมและการพัฒนาบุคลากร ควรดำเนินการฝึกอบรม การสื่อสารความเสี่ยง และการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของพนักงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อเสริมสร้างความตระหนักและวัฒนธรรมความปลอดภัย ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบในระยะยาว

2.4 กำหนดตัวชี้วัดและติดตามผลอย่างต่อเนื่อง ควรใช้ผลการวิจัยเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดตัวชี้วัดด้านอาชีวอนามัยและ

ความปลอดภัย และติดตามผลการดำเนินงานอย่างสม่ำเสมอ เพื่อประเมินความก้าวหน้าและเตรียมความพร้อมสำหรับการเข้าสู่การรับรองมาตรฐาน ISO 45001:2018 ในอนาคต

3. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

3.1 ขยายขอบเขตการศึกษาไปยังหลายสถานประกอบการและหลายประเภทอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มความสามารถในการเปรียบเทียบผลการศึกษา และทดสอบความเหมาะสมของวิธีการประเมินในบริบทที่แตกต่างกัน

3.2 ดำเนินการวิจัยแบบติดตามผลตามช่วงเวลา (Longitudinal Study) เพื่อเปรียบเทียบค่า ES, CS, NRS และ SRI ก่อนและหลังการปรับปรุงระบบหรือการนำมาตรฐาน ISO 45001:2018 ไปใช้ ซึ่งจะช่วยยืนยันผลของการพัฒนาระบบต่อระดับความปลอดภัยได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

3.3 พัฒนาและทดสอบดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัย (SRI) โดยกำหนดค่าน้ำหนักขององค์ประกอบให้เหมาะสมกับลักษณะความเสี่ยงของแต่ละอุตสาหกรรม และตรวจสอบความเที่ยงตรงและความเชื่อมั่นของดัชนีในกลุ่มตัวอย่างที่หลากหลาย เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการใช้งาน

3.4 ศึกษาปัจจัยด้านวัฒนธรรมและพฤติกรรมความปลอดภัย เช่น การมีส่วนร่วมของบุคลากร ความตระหนักด้านความปลอดภัย และพฤติกรรมปฏิบัติงาน เพื่อเสริมการประเมินเชิงเทคนิคให้ครอบคลุมปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบในระยะยาว

3.5 เปรียบเทียบผลการประเมินกับผลการรับรองมาตรฐานจริง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า SRI กับผลการตรวจประเมินของหน่วยรับรอง และยืนยันว่าดัชนีที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ทำนายระดับความพร้อมของสถานประกอบการได้อย่างเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี งบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ผู้วิจัยขอขอบคุณสถานประกอบการกรณีศึกษา และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

References

- [1] P. Sukwong, S. Sinworn, N. Viriyawattana, S. Numpa, and W. Thammasri, "Guidelines for Human Resource Development on Occupational Health and Safety in Agro-Industrial Enterprises," *Journal of Safety and Health*, vol. 16, no. 1, pp. 40-60, 2023.
- [2] ASEAN Secretariat, *Research on Economic Justification of Occupational Safety and Health (OSH) Implementation in the Construction Sector*. Jakarta, Indonesia: ASEAN Secretariat, 2023.
- [3] A. A. Elsherbiny, A. A. Elsherbiny, W. M. Essawy, and H. A. M. Zayed, "Assessment of health status of workers in plastic industry, Egypt," *International Journal of Advanced Community Medicine*, vol. 7, no. 2, pp. 29-33, 2024, doi: 10.33545/comed.2024.v7.i2a.308.
- [4] Institute for Economics & Peace, *Safety Perceptions Index 2023: Understanding the impact of risk around the world*. Sydney, Australia: Institute for Economics & Peace, 2023.
- [5] N. Kurakaew and B. Hadikusumo, "Empirical Study on Enhancing Safety Culture and Behavior in Thailand's Construction Industry Through Safety Interventions," *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 15, no. 4, pp. 677-686, 2025, doi: 10.18280/ijss.150404.
- [6] P. Khawinpat, F. Wiwatwongwana, and A. Ketsakorn, "Confirmatory factor analysis of safety culture in discrete manufacturing industry for Thailand," *Engineering and Applied Science Research*, vol. 51, no. 3, pp. 347-361, 2024, doi: 10.14456/easr.2024.33.

- [7] J. A. Jogie, D. Rampersad, D. Bharrath-Singh, S. Joseph, A. Clarke, and T. La Rosa, "A Comprehensive Review of the Hierarchy of Controls and Barriers to its Implementation," *International Journal of Preventive Medicine and Health*, vol. 5, no. 3, pp. 32-38, 2025, doi: 10.54105/ijpmh.C1061.05030325.
- [8] N. Margareta, A. Rohendi, and M. S. Mardiyanto, "The Effect of Employee Safety Training Frequency and Compliance on The Reducement of Workplace Accidents at Dr. Nur Clinic in Cimahi City," *Research of Service Administration Health and Sains Healthys*, vol. 6, no. 2, pp. 95-102, 2025, doi: 10.58258/rehat.v6i2.9253.
- [9] A. Kjærgaard, E. M. Rudolf, J. Palmqvist, M. E. Jakobsen, and J. Z. N. Ajslev, "The Psychosocial Hierarchy of Controls: Effectively Reducing Psychosocial Hazards at Work," *American Journal of Industrial Medicine*, 2024.
- [10] K. Sureepisal, "Enhancing the Safety of Chemical Laboratory L-210, Mahidol University, Kanchanaburi Campus, According to the Safety Standards for Research Laboratories in Thailand," *Mahidol R2R e-Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 49-62, 2021, doi: 10.14456/jmu.2021.5.
- [11] K. Chatzikonstantinidis, E. Giama, P. A. Fokaides, and A. M. Papadopoulos, "Smart Readiness Indicator (SRI) as a Decision-Making Tool for Low Carbon Buildings," *Energies*, vol. 17, no. 6, 2024, doi: 10.3390/en17061406.
- [12] J. Giménez, B. Bayarri, S. Malato, J. Peral, and S. Esplugas, "Occupational risk assessment in AOPs labs and management system that comply with UN sustainable development goals," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 182, pp. 903-917, 2024, doi: 10.1016/j.psep.2023.12.033.
- [13] I. Bautista-Bernal, C. Quintana-García, and M. Marchante-Larab, "Safety culture, safety performance and financial performance. A longitudinal study," *Safety Science*, vol. 172, 2024.
- [14] M. Glevitzky, M. Popa, P. Mucea-Stef, and D. M. Popa, "A Risk Management Approach in Occupational Health and Safety Based on the Integration of a Weighted Composite Score," *Safety*, vol. 11, no. 4, pp. 103, 2025, doi: 10.3390/safety11040103.

- [15] N. Iadtem, C. Rakasachat, and S. Obpat, “ Analysis of Self- Assessment According to Safety Standard of Environmental Technology and Management Laboratory, Faculty of Environment, Kasetsart University,” *Journal of Thai University Central Occupational Health and Safety Network*, vol. 13, no. 3, pp. 32-40, 2024.
- [16] Workplace Safety & Insurance Board, *Health and Safety Index Development: Technical Paper*, Version 3.0. Ontario, Canada: Workplace Safety & Insurance Board, 2023.
- [17] P. Wangupadcha, M. Makkanoi, R. Kammoolkon, and B. Hardthakwong, “ Risk Assessment of Occupational Health, Safety, and Working Environment in a New Hydroelectric Power Plant, Lao PDR,” *Journal of the Office of DPC 7 Khon Kaen*, vol. 32, no. 3, pp. 123, 2025.

**การประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารและประสิทธิภาพ
ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์
เมธาวี ศรีไพศาล¹, คชาภรณ์ วงวิวัฒน์², จุฑามาศ สมบูรณ์จิตติ³, พัฒน์ชิตา เจริญรักษ์⁴,
ภัทรารุณ ดอกงาม⁵, ชัยวิชิต คิตชนะ⁶, อารุญ เกตุสาคร⁷**

^{1,2,3,4,5,6,7}คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Email: arroon.k@fph.tu.ac.th⁷

Received: May 05, 2026

Revised: May 22, 2026

Accepted: May 28, 2026

บทคัดย่อ

ห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์เป็นพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีและแหล่งกำเนิดมลพิษหลายประเภทโดยเฉพาะสารฟอร์มาลดีไฮด์ ฝุ่นละออง และจุลชีพในอากาศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานหากระบบระบายอากาศและสภาพแวดล้อมภายในอาคารไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารกับประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ โดยเป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง ดำเนินการเก็บข้อมูลระหว่างเดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2568 เป็นเวลา 4 เดือน โดยใช้เครื่องมือด้านสุขศาสตร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารและประสิทธิภาพระบบระบายอากาศ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ผลการศึกษา พบว่า ระดับความเข้มข้นส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ขณะที่ปริมาณเชื้อราในอากาศและความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กส่วนใหญ่อยู่ในระดับยอมรับได้ แม้ว่าบางจุดตรวจวัดจะพบปริมาณเชื้อราเกินค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ส่วนใหญ่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ อุณหภูมิในบางจุดตรวจวัด (17 จาก 56 จุด) รวมถึงความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมในหลายจุดตรวจวัดไม่อยู่ในช่วงค่าที่ยอมรับได้ และประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ส่วนใหญ่ไม่เป็นไปตามค่าที่ออกแบบไว้ โดยไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อปรับปรุงสภาพแวดล้อมและระบบระบายอากาศให้มีประสิทธิภาพและปลอดภัยยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: คุณภาพอากาศภายในอาคาร, ระบบระบายอากาศเฉพาะที่, ห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์

Assessment of Indoor Environmental Quality and Performance of Local Exhaust Ventilation Systems in Anatomy Laboratory

**Methawee Sripaisai¹, Kachapon Wongwiphat², Jutamas Somboonjitruedee³,
Phanchita Rengrak⁴, Pattarawut Dokngam⁵, Chaiwichit kitchana⁶, Arroon Ketsakorn⁷**

^{1,2,3,4,5,6,7}Faculty of Public Health, Thammasat University

Email: arroon.k@fph.tu.ac.th⁷

Received: May 05, 2026

Revised: May 22, 2026

Accepted: May 28, 2026

Abstract

An anatomy laboratory is an area where various chemicals and pollutant sources are present, particularly formaldehyde, particulate matter, and airborne microorganisms, which may adversely affect the health and safety of workers if the ventilation system and indoor environmental conditions are inadequate. This study aimed to evaluate indoor environmental quality, assess the performance of local exhaust ventilation systems, and investigate the relationship between indoor environmental quality and ventilation system performance in an anatomy laboratory. A cross-sectional descriptive study was conducted from August to November 2025 over a four-month period. Indoor air quality parameters and ventilation system performance were measured using industrial hygiene instruments. Data were analyzed using descriptive statistics and Pearson's correlation coefficient. The results showed that illumination levels were mostly within standard limits, while airborne fungal concentrations and fine particulate matter levels were generally within acceptable ranges, although some sampling locations exceeded the fungal standard limits. However, formaldehyde concentrations in most areas exceeded the recommended standard values. In addition, temperature at some monitoring locations (17 out of 56 points), as well as relative humidity and air velocity at several locations, were outside acceptable ranges. The performance of local exhaust ventilation systems was also found to be below the designed criteria in most areas. No statistically significant relationship was found between indoor environmental quality and ventilation system performance at the 0.05 significance level. These findings may serve as baseline information for improving environmental conditions and ventilation system performance to enhance safety and operational efficiency in anatomy laboratories.

Keywords: Indoor air quality, local exhaust ventilation, anatomy laboratory

บทนำ

คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพ ความปลอดภัย และประสิทธิภาพการทำงานของผู้ใช้อาคาร ซึ่งห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์เป็นสถานที่สำคัญสำหรับการเรียนการสอนทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการศึกษากายวิภาคจากร่างอาจารย์ใหญ่ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับนักศึกษาแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการฝึกปฏิบัติทางคลินิกในอนาคต ในกระบวนการเรียนการสอนมีการใช้สารฟอร์มาลีนในการรักษาสภาพร่างอาจารย์ใหญ่ เพื่อคงสภาพอวัยวะและโครงสร้างของร่างกายมนุษย์ให้สามารถศึกษาได้อย่างละเอียด ทำให้เกิดปัญหาที่มักพบได้ทั่วไป ได้แก่ การปนเปื้อนของฝุ่นละอองขนาดเล็ก การสะสมของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds; VOCs) รวมถึงการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ในอากาศ เช่น แบคทีเรียและเชื้อรา ทำให้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายและความพึงพอใจของผู้ใช้อาคาร[1] อาคารทั่วโลกประมาณร้อยละ 30 มีแนวโน้มประสบปัญหาด้านคุณภาพอากาศภายใน และบางกรณีพบว่าความเข้มข้นของมลพิษภายในอาคารอาจสูงกว่าภายนอกถึง 100 เท่า [2] แหล่งกำเนิดมลพิษเหล่านี้ หากกระบวนการระบายอากาศไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ สารมลพิษดังกล่าวจะสะสมจนมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นซึ่งอาจส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับสารมลพิษเกินค่ามาตรฐาน และเกิดผลกระทบต่อสุขภาพแตกต่างกันไปตามชนิด ปริมาณ และระยะเวลาการได้รับ

สัมผัส รวมถึงความไวของแต่ละบุคคล [3] นอกจากปัจจัยด้านเคมีและชีวภาพแล้ว ปัจจัยด้านกายภาพของสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร เช่น แสงสว่าง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และสภะนาสบายทางความร้อน (Thermal Comfort) มีบทบาทสำคัญต่อความรู้สึกและประสิทธิภาพของผู้ใช้อาคาร โดยสมาคมวิศวกรเครื่องทำความร้อน การทำความเย็น และการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา [4] ระบุว่า สภะนาสบายเชิงอุณหภูมิเป็นผลจากตัวแปรหลัก 6 ประการ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) ปัจจัยด้านบุคคล ได้แก่ อัตราการเผาผลาญพลังงานหรือกิจกรรม (Metabolic Rate) และความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing Insulation) และ 2) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (Mean Radiant Temperature) และความเร็วลม (Air Velocity) เมื่อค่าดังกล่าวไม่อยู่ในระดับที่เหมาะสมอาจส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานรู้สึกไม่สบายตัวเกิดความเมื่อยล้า สมาธิลดลง หรือประสิทธิภาพการทำงานลดลง และหากเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาวได้ จากการทบทวนวรรณกรรมของพรรณพิภา ศูนย์กลางและคณะ พบว่า ความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และผลการประเมินจากการรับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ พนักงานกายวิภาคศาสตร์มีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ [5] ชนัญญา พานิชและคณะ พบว่า ผลการ

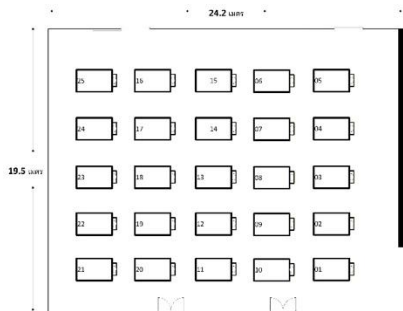
ประเมินคุณภาพอากาศและความเสี่ยงภายในอาคารของโรงพยาบาล ห้องปฏิบัติการ มีค่าฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุด มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานสัมผัสใน 8 ชั่วโมงการทำงาน แต่หากสัมผัสในระยะยาว 10 ปีขึ้นไป มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งได้ [6] Bhat et al. [7] รายงานว่าระดับการรับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการควบคุมการแพร่กระจายและการสะสมของสารฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความเสี่ยงด้านสุขภาพของนักศึกษาและบุคลากรที่ปฏิบัติงานภายในพื้นที่ ดังนั้น การประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ ซึ่งมีการใช้สารเคมีและมีปัจจัยเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้ใช้งาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง แม้ว่าจะงานวิจัยดังกล่าวได้รายงานความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ คุณภาพอากาศภายในอาคาร และผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ แต่การศึกษาส่วนใหญ่มักมุ่งเน้นการประเมินปัจจัยเฉพาะด้านหรือมลพิษรายชนิดเป็นหลัก ขณะที่ยังมีข้อมูลจำกัดเกี่ยวกับการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารแบบบูรณาการที่ครอบคลุมปัจจัยด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ร่วมกับการประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ นอกจากนี้ ยังขาดการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารกับประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการควบคุมการรับสัมผัส

สารปนเปื้อนและความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเติมเต็มช่องว่างขององค์ความรู้ดังกล่าว เพื่อพัฒนาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารและระบบระบายอากาศให้เหมาะสมต่อการใช้งานในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารกับประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศภายในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์

วิธีดำเนินการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษา

ผู้วิจัยทำการตรวจวัดห้องปฏิบัติการกายวิภาค (Anatomy Laboratory) ของคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยมีโครงสร้างที่มีขนาดพื้นที่ห้อง 471.9 ตารางเมตร กว้าง 19.5 เมตร ยาว 24.2 เมตร ภายในห้องประกอบด้วยเตียงอาจารย์ใหญ่ จำนวน 25 เตียง ระบบแสงสว่าง ระบบระบายอากาศภายในห้องใช้ระบบปรับอากาศ Heating Ventilation and Air Conditioning (HAVC) แบบแยกเฉพาะ (Dedicated HVAC System) ทำงานร่วมกับระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust System) แบบ Exterior Hood ชนิด Side Draft Hood รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปฏิบัติการ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์

การศึกษานี้ได้ดำเนินการตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ โดยได้ทำการแบ่งพื้นที่ห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ขนาด 3 x 3 เมตร ทั้งทั้งพื้นที่ห้องทำให้ได้จุดตรวจวัดจำนวน 56 จุด ตรวจวัดพารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ เชื้อราโดยรวมในอากาศ ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Surfer 3D เพื่อสร้างแผนที่การกระจายตัวของฟอร์มาลดีไฮด์และพารามิเตอร์ต่าง ๆ และโปรแกรม DIALux evo 13.2 เพื่อออกแบบและจำลองการกระจายของแสงสว่างภายในอาคาร

2. วิธีการเก็บตัวอย่าง

2.1 แสงสว่าง

การตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดแสง Lux Meter ยี่ห้อ HIOKI รุ่น FT3424 หมายเลขเครื่อง 181121386 โดยการตรวจวัดดำเนินการในสองลักษณะ ได้แก่

1) การตรวจวัดแสงแบบพื้นที่ทั่วไป โดยแบ่งพื้นที่ขนาด 3 x 3 เมตร และตรวจวัดจำนวน 56 จุดที่ระดับความสูง 75 เซนติเมตรจากพื้น

ค่าที่ได้รายงานในหน่วย ลักซ์ (Lux) และนำไปใช้วิเคราะห์ร่วมกับโปรแกรม DIALux evo 13.2 เพื่อจำลองการกระจายแสงภายในห้องปฏิบัติการ

2) การตรวจวัดแสงเฉพาะจุด ในบริเวณที่มีการปฏิบัติงานบริเวณเตียงอาจารย์ใหญ่ และตรวจวัดจำนวน 25 จุดที่ระดับความสูง 75 เซนติเมตรจากพื้น ค่าที่ได้รายงานในหน่วยลักซ์ (Lux) และนำไปเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน Illuminating Engineering Society of North America (IESNA)

2.2 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

การตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือ Indoor air Quality monitor ยี่ห้อ Q-Trak รุ่น 7575 หมายเลขเครื่อง 7575x2452003 ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมได้พร้อมกัน ตรวจวัดจำนวน 56 จุดที่ระดับความสูง 75 เซนติเมตรจากพื้น โดยให้เครื่องมืออ่านค่าคงที่ก่อนบันทึกผลทุกครั้ง เพื่อความถูกต้องของข้อมูล

2.3 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก

การตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ได้แก่ PM₁₀ , PM_{2.5} และ PM₁₀ ตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดฝุ่นยี่ห้อ Gray wolf รุ่น PC-4005 หมายเลขเครื่อง 4850 โดยมีอัตราการดูดอากาศ 0.1 CFM ตรวจวัดจำนวน 56 จุดที่ระดับทางเดินหายใจ เก็บตัวอย่างจุดละ 3 นาที และเครื่องจะประมวลผลและแสดงผลออกมาผ่านจอ อ่านค่าและบันทึกผล

2.4 ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์

การตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือ ยี่ห้อ Gasmet รุ่น GT5000 Terra จำนวน 1 เครื่อง ก่อนเก็บตัวอย่าง

Purge โล่อากาศ จากนั้นตรวจวัดทั้งหมด 56 จุด เก็บตัวอย่างที่ระดับทางเดินหายใจ จุดละ 3 นาที โดยใช้หลักการ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) วิเคราะห์และอ่านค่าความเข้มข้นได้พร้อมกันสูงสุด 50 ชนิดก๊าซ สามารถใช้งานร่วมกับแท็บเล็ต ออกแบบมาเพื่อเพิ่มความสะดวกในการพกพา อ่านค่าผลลัพธ์ได้ในทันทีผ่านจอ Gasmet Display และบันทึกผล

2.5 ความเข้มข้นเชื้อราโดยรวมในอากาศ

ดำเนินการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับเชื้อรา Malt Extract Agar ทำการเก็บตัวอย่างเชื้อราจำนวน 56 จุด ด้วยชุดเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างเชื้อราในอากาศ ยี่ห้อ IUL รุ่น Spin Air หมายเลขเครื่อง Nr 10005520/822 จุดที่ 1-15 และ ยี่ห้อ International VWR รุ่น DUO SAS Super 360 หมายเลขเครื่อง 24-D-21185 จุดที่ 16-37 และ ยี่ห้อ International VWR รุ่น DUO SAS Super 360 จุดที่ 38-56 โดยวางจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ระดับความสูงประมาณ 75 เซนติเมตรจากพื้น เก็บตัวอย่างจุดละ 3 นาที ปริมาตรอากาศ 100 ลิตร/นาที หลังจากทำการเก็บตัวอย่างให้จานอาหารเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นนำมานับจำนวนโคโลนี ปรับค่าและคำนวณผลการศึกษาโดยคำนวณได้จาก

$$C = \frac{N}{V} \text{ หน่วย CFU/m}^3$$

ซึ่งค่า N คือ จำนวนโคโลนีที่ปรับแก้ หน่วย CFU

V คือ ปริมาตรอากาศ หน่วย m

2.6 อัตราการไหลของอากาศในเส้นท่อ

ทำการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศภายในเส้นท่อระบบระบายอากาศของห้องปฏิบัติการ ดำเนินการตรวจวัดโดยใช้ Pitot Tube anemometer ยี่ห้อ Testo รุ่น 420 หมายเลขเครื่อง 50604872 ตรวจวัดจำนวน 25 จุด ในแนวหน้าตัดของท่อ เครื่องจะประมวลผลและแสดงผลอ่านค่าและบันทึกผล

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษารั้วนี้ได้รับการสอบเทียบและตรวจสอบความพร้อมก่อนการใช้งาน รวมถึงการตรวจสอบค่าศูนย์และการปรับตั้งค่าตามมาตรฐานของผู้ผลิต เพื่อเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ตรวจวัด

2.7 สถานะสบายทางความร้อน (Thermal Comfort)

การตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม จำนวน 56 จุด ในแต่ละพารามิเตอร์ และค่าความเป็นฉนวนจากเสื้อผ้า (Clothing Insulation, Clo) และอัตราการเผาผลาญของร่างกาย (Metabolic Rate, MET) แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ นำค่าข้อมูลทั้งหมดมาประมวลผลด้วย CBE Thermal Comfort Tool จะได้กราฟ Psychrometric Chart และค่าทำนายความรู้สึกรู้สึกเย็นร้อน (Predicted Mean Vote ; PMV) เป็นเกณฑ์วัดระดับความสบายมีค่าอยู่ระหว่าง -3 ถึง +3 คือ -3 หนาว (cold), -2 เย็น (cool), -1 เย็น (slightly), 0 ปกติ/สบาย (neutrality), +1 อุ่นเล็กน้อย (slightly warm), +2 อุ่น (warm), +3 ร้อน (hot) แล้วนำค่า PMV ที่ได้ในแต่ละจุดนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Surfer 30 เพื่อสร้างแผนที่การกระจายตัว

ตารางที่ 1 อัตราการเผาผลาญของร่างกายของแต่ละกิจกรรมในห้องปฏิบัติการกายวิภาค [4]

กิจกรรม	อัตราการเผาผลาญของร่างกาย
นั่ง	1.0
ยืน	1.2
เดิน	1.7

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นฉนวนจากเสื้อผ้าในห้องปฏิบัติการกายวิภาค [4]

ฉนวนเสื้อผ้า	Clo	ฉนวนเสื้อผ้า	Clo
เสื้อผ้าทั่วไปในฤดูร้อน	0.5	กระโปรงยาวถึงเข่า เสื้อแขนยาว สวมเต็มตัว	0.67
กระโปรงยาวถึงเข่า เสื้อแขนสั้น รองเท้าแตะ ชุดชั้นใน	0.54	กางเกงวอร์ม แขนยาว	0.74
กางเกง เสื้อแขนสั้น ถุงเท้า รองเท้า ชุดชั้นใน	0.57	เสื้อแจ็คเก็ต กางเกง เสื้อแขนยาว	0.96
กางเกง เสื้อแขนยาว	0.61	เสื้อผ้าทั่วไปในฤดูหนาว	0.1

3. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลคุณภาพอากาศภายในอาคารใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) แสดงผลเป็นจำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด สถิติเชิงอนุมาน (Inferential statistics) เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมในอาคารกับระบบระบายอากาศ โดยใช้วิธีการทางสถิติด้วยวิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation Coefficient : r)

3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาและประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์

เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย ปัจจัยด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยอุณหภูมิอากาศอ้างอิงตามเกณฑ์กรมอนามัย [8] กำหนดให้อยู่ในช่วง 24–26 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นสัมพัทธ์กำหนดให้อยู่ในช่วง 50–60%RH ตามกรมอนามัย [8] และไม่เกิน 65%RH ตามมาตรฐาน ASHRAE 55 [4] ขณะที่ความเร็วลมต้องมีค่าน้อยกว่า 0.30 m/s ตามเกณฑ์กรมอนามัย [8] สำหรับคุณภาพอากาศด้านชีวภาพและเคมี กรมอนามัย [8] กำหนดให้ความเข้มข้นเชื้อราโดยรวมในอากาศไม่เกิน 500 CFU/m³ และความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀ ต้องไม่เกิน 25 และ 50 µg/m³ ตามลำดับ ขณะที่ความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ต้องไม่เกิน 0.75 ppm ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน [9] นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศพิจารณาจากค่าอัตราการไหลของอากาศภายในเส้นท่อ ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 700 CFM ตามค่าที่ใช้ในการออกแบบระบบ (Design) ส่วนความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยและความเข้มแสงสว่างเฉพาะจุดต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 500 Lux และ 1,000 Lux ตามมาตรฐาน EN 12464-1 [10] และ IESNA [11] ตามลำดับ

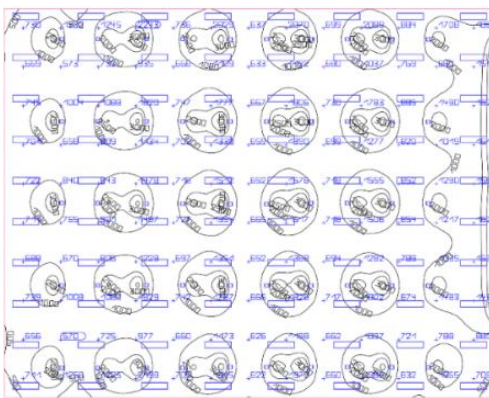
ผลการวิจัย

1. ผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมห้องปฏิบัติการกายวิภาค

1.1 ผลการตรวจวัดแสงสว่าง

1) ผลการตรวจวัดแสงสว่างเฉลี่ยแบบพื้นที่

ผลการตรวจวัดแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไปของห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์จำนวน 56 จุด ซึ่งค่าเกณฑ์ EN 12464-1: Light and Lighting-Lighting of Work Places-Part 1: Indoor Work Places ต้องไม่น้อยกว่า 500 Lux พบว่า ค่าความเข้มของแสงสว่างเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) เท่ากับ 1149 ± 298.41 Lux เมื่อนำไปเข้าโปรแกรม DIALux evo 13.2 เพื่อจำลองการกระจายแสงภายในห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 2

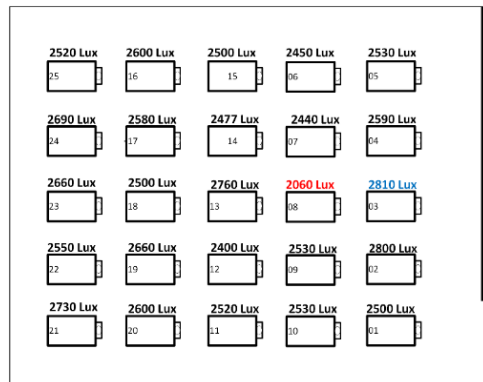


รูปที่ 2 การจำลองการกระจายแสงสว่าง

2) ผลการตรวจวัดแสงสว่างแบบใช้สายตามองเฉพาะจุด

เป็นการตรวจวัดแสงในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ ลักษณะงานละเอียดสูงมากเป็น

พิเศษ จำนวน 25 จุด ซึ่งค่าเกณฑ์มาตรฐาน IESNA ได้กำหนดให้ค่าความเข้มของแสงต้องไม่น้อยกว่า 1000 Lux พบว่า บริเวณจุดที่ 18 เพียงหมายเลข 8 มีค่าความเข้มของแสงสว่างต่ำสุดเท่ากับ 2060 Lux และบริเวณจุดที่ 23 เพียงหมายเลข 3 มีค่าความเข้มของแสงสว่างสูงสุดเท่ากับ 2810 Lux แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความเข้มของแสงสว่างแบบเฉพาะจุด

1.2 ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน

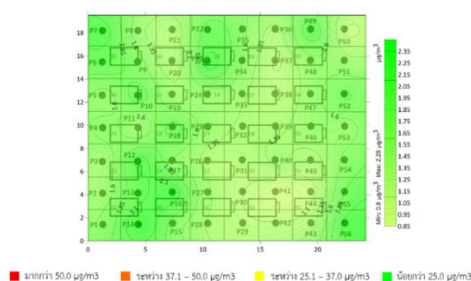
1.0 ไมครอน จำนวน 56 จุด ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานอ้างอิง ผลการตรวจวัดพบว่า มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร บริเวณจุดที่ 8 และความเข้มข้นสูงสุด 1.36 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร บริเวณจุดที่ 35 และ 56 และมีค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) เท่ากับ 0.75 ± 0.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน

2.5 ไมครอน จำนวน 56 จุด ซึ่งค่าตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมอนามัยได้กำหนดค่าความเข้มข้นไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากรูปที่ 4 พบว่าบริเวณแถบสีเขียว จำนวน 56

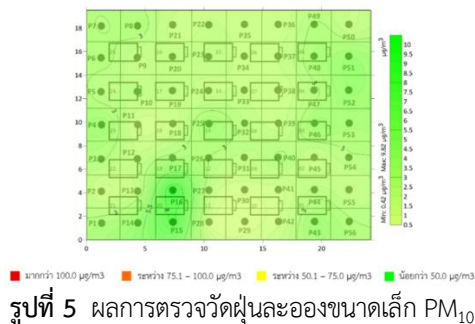
ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2569

จุด คิดเป็นร้อยละ 100 มีค่าเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อยู่บริเวณจุดที่ 35 และค่าสูงสุดเท่ากับ 2.39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอยู่บริเวณ จุดที่ 8 และมีค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) เท่ากับ 1.57 ± 0.46 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$

ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน จำนวน 56 จุด ซึ่งค่าตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมอนามัยได้กำหนดค่าความเข้มข้นต้องไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากรูปที่ 5 พบว่าบริเวณแถบสีเขียว จำนวน 56 จุด คิดเป็นร้อยละ 100 และมีความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.42 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อยู่บริเวณจุดที่ 34 และค่าสูงสุดเท่ากับ 9.82 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อยู่บริเวณจุดที่ 16 และมีค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) เท่ากับ 2.76 ± 1.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงดังรูปที่ 5

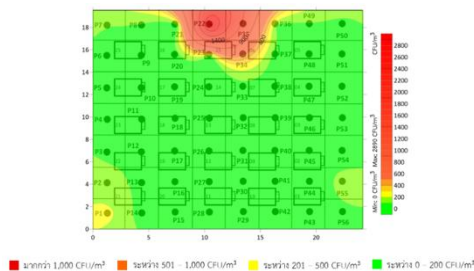


รูปที่ 5 ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10}

จากผลการตรวจวัดจำนวนอนุภาคแขวนลอยในอากาศ (Particulate Matter; PM) ขนาดต่าง ๆ ได้แก่ $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายในห้องปฏิบัติการกายวิภาค และเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์มาตรฐานห้องสะอาดตามมาตรฐาน Cleanroom ISO 14644-1:2015 พบว่า $PM_{1.0}$ มีจำนวนอนุภาคต่ำสุดเท่ากับ 1,317 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร และค่าสูงสุดเท่ากับ 4,125 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่บริเวณจุดที่ 56 และ 8 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD.) เท่ากับ 2273.8 ± 685.3 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร $PM_{2.5}$ มีจำนวนอนุภาคต่ำสุดเท่ากับ 246 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร และค่าสูงสุดเท่ากับ 960 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร อยู่บริเวณจุดที่ 35 และ 29 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD.) เท่ากับ 479.6 ± 140.7 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร และ PM_{10} มีจำนวนอนุภาคต่ำสุดเท่ากับ 2 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร และค่าสูงสุดเท่ากับ 47 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร อยู่บริเวณจุดที่ 16 และ 34 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD.) เท่ากับ 13.3 ± 8.0 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร

1.3 ผลการตรวจเชื้อราโดยรวมในอากาศ

แผนผังแสดงความเข้มข้นเชื้อรา (Fungal Contour Map) ซึ่งค่าตามมาตรฐานของประกาศกรมอนามัยได้กำหนดให้ค่าที่ยอมรับได้ของเชื้อราโดยรวมในอากาศไม่เกิน 500 CFU/m³ จำนวน 56 จุด จากรูปที่ 6 พบว่า บริเวณแถบสีเขียว จำนวน 54 จุด คิดเป็นร้อยละ 96.42 บริเวณแถบสีเหลือง จำนวน 1 จุด คิดเป็นร้อยละ 1.79 บริเวณแถบสีแดง จำนวน 1 จุดคิดเป็นร้อยละ 1.79 และจากจุดตรวจวัดค่าเชื้อราโดยรวมในอากาศต่ำสุด เท่ากับ ตรวจไม่พบ (Not Detected: ND) อยู่บริเวณจุดที่ 17, 27 และ 32 และค่าสูงสุด เท่ากับ 2,890 CFU/m³ อยู่บริเวณจุดที่ 28 และมีค่าเฉลี่ยของเชื้อราโดยรวมในอากาศ (Mean $\pm$ SD) เท่ากับ 102.5 $\pm$ 381.18 CFU/m³ แสดงดังรูปที่ 6

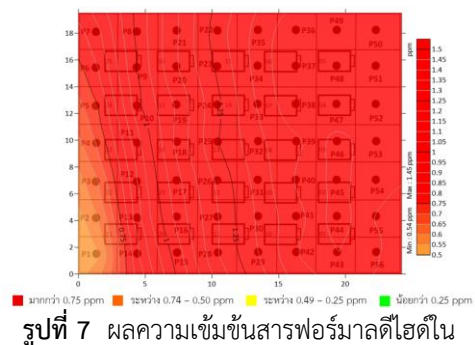


รูปที่ 6 ผลปริมาณเชื้อราโดยรวมในอากาศ

1.4 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นสารฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ

แผนผังแสดงค่าความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ภายในอากาศ (Formaldehyde Contour Map) ซึ่งค่าตามมาตรฐานของประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานได้กำหนดค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ไว้ไม่เกิน 0.75 ppm จำนวน 56 จุด จากรูปที่ 7 พบว่า บริเวณ

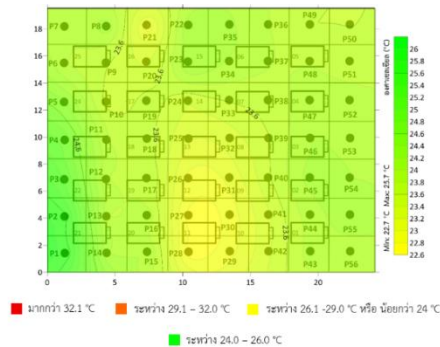
สีส้ม จำนวน 4 จุด คิดเป็นร้อยละ 7.14 และบริเวณแถบสีแดง จำนวน 52 จุด คิดเป็นร้อยละ 92.86 ppm และจากจุดตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.54 ppm อยู่บริเวณจุดที่ 1 และค่าสูงสุด เท่ากับ 1.47 ppm อยู่บริเวณจุดที่ 44 และ 46 และมีค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) เท่ากับ 1.19 $\pm$ 0.26 ppm แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลความเข้มข้นสารฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ

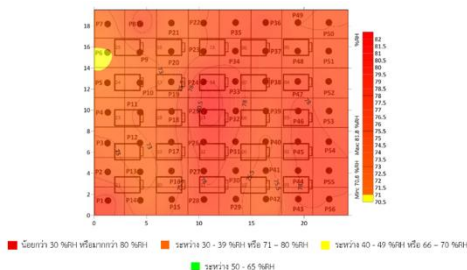
1.5 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

แผนผังแสดงอุณหภูมิ (Temperature Contour Map) ซึ่งค่ามาตรฐานของประกาศกรมอนามัยได้กำหนดค่าอุณหภูมิ 24.0 ถึง 26.0 องศาเซลเซียส จำนวน 56 จุด จากรูปที่ 8 พบว่า บริเวณแถบสีเขียว จำนวน 17 จุด คิดเป็นร้อยละ 30.3 บริเวณแถบสีเหลือง จำนวน 39 จุด คิดเป็นร้อยละ 69.7 และจากจุดตรวจวัดค่าอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 22.7 องศาเซลเซียส อยู่บริเวณจุดที่ 1 และค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 25.7 องศาเซลเซียส อยู่บริเวณจุดที่ 22 และ 23 และมีค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) เท่ากับ 23.84 $\pm$ 0.55 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลอุณหภูมิ

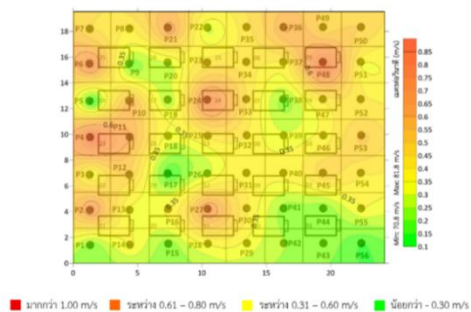
แผนผังแสดงความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity Contour Map) ซึ่งค่ามาตรฐานของประกาศกรมอนามัยได้กำหนดค่าแนะนำความชื้นสัมพัทธ์ 50 ถึง 65 %RH ตรวจวัดจำนวน 56 จุด จากรูปที่ 9 พบว่าบริเวณแถบสีเหลือง จำนวน 1 จุด คิดเป็นร้อยละ 1.79 และบริเวณแถบสีส้ม จำนวน 53 จุด คิดเป็นร้อยละ 94.63 บริเวณแถบสีแดง จำนวน 2 จุด คิดเป็นร้อยละ 3.58 และจากจุดตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด เท่ากับ 70.8 %RH อยู่บริเวณจุดที่ 6 และค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด เท่ากับ 81.8 %RH อยู่บริเวณจุดที่ 25 และมีค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) เท่ากับ 75.48 ± 2.51 %RH แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลความชื้นสัมพัทธ์

1.6 ผลการตรวจวัดความเร็วลม

แผนผังแสดงความเร็วลม (Air Velocity Contour Map) ซึ่งค่าตามมาตรฐานของประกาศกรมอนามัยได้กำหนดค่าที่ยอมรับได้ของความเร็วลมไว้น้อยกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที จำนวน 56 จุด จากรูปที่ 10 พบว่า บริเวณแถบสีส้ม จำนวน 8 จุด คิดเป็นร้อยละ 14.28 บริเวณแถบสีเหลือง จำนวน 27 จุด คิดเป็นร้อยละ 48.21 บริเวณแถบสีเขียว จำนวน 21 จุด คิดเป็นร้อยละ 37.5 และจากจุดตรวจวัดค่าความเร็วต่ำสุด เท่ากับ 0.12 m/s อยู่บริเวณจุดที่ 5 ค่าสูงสุด เท่ากับ 0.85 m/s อยู่บริเวณจุดที่ 4 และ 48 และมีค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) เท่ากับ 0.38 ± 0.18 m/s แสดงดังรูปที่ 10

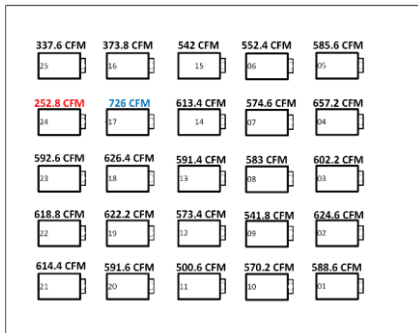


รูปที่ 10 ผลความเร็วลม

1.7 ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพระบบระบายอากาศ

ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพระบบระบายอากาศ ตรวจวัดบริเวณเตียงปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ จำนวน 25 จุด ซึ่งค่าที่แนะนำออกแบบและประเมินระบบระบบการระบายอากาศเฉพาะที่กำหนดให้ค่าอัตราการไหลในเส้นท่อไว้ 700 CFM จากรูปที่ 11 พบว่า เตียงหมายเลข 24

มีค่าอัตราการไหลในเส้นท่อต่ำสุดเท่ากับ 252.8 CFM และเตียงหมายเลข 17 มีค่าอัตราการไหลในเส้นท่อสูงสุดเท่ากับ 726 CFM แสดงดังรูปที่ 11

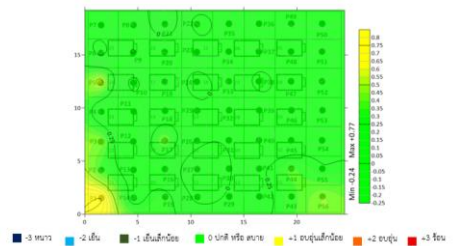


รูปที่ 11 ผลประสิทธิภาพระบบระบายอากาศ

1.8 ผลสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort)

แผนผังแสดงค่าทำนายความรู้สึกเชิงร้อน (Predicted Mean Vote Contour Map) จำนวน 56 จุด ซึ่งค่าความเป็นฉนวนจากเสื้อผ้า และ อัตราการเผาผลาญของร่างกาย มีค่าเท่ากับ 0.96 และ 1.4 ตามลำดับ จากรูปที่ 12 พบว่า บริเวณแถบสีเขียวอ่อน แสดงถึงค่าแสดงถึงระดับดัชนี

สภาวะน่าสบายปกติ จำนวน 54 จุด คิดเป็นร้อยละ 96.4 บริเวณแถบสีเหลือง แสดงถึงค่าแสดงถึงระดับดัชนีสภาวะน่าสบายอบอุ่นเล็กน้อย จำนวน 2 จุด คิดเป็นร้อยละ 3.6 และจากจุดตรวจวัดค่าดัชนีสภาวะน่าสบายต่ำสุด เท่ากับ -0.24 อยู่บริเวณจุดที่ 23 และค่าสูงสุด เท่ากับ +0.77 อยู่บริเวณจุดที่ 1 และค่าดัชนีสภาวะน่าสบายเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) เท่ากับ 0.18 ± 0.19 ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผลดัชนีสภาวะน่าสบายภายในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์

2. ผลความสัมพันธ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมในอาคารกับระบบระบายอากาศ

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในอาคารกับระบบระบายอากาศ

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p-value
อุณหภูมิกับเชื้อราโดยรวมในอากาศ	0.1490	0.2720
ความเร็วลมกับเชื้อราโดยรวมในอากาศ	-0.0653	0.6325
ความชื้นสัมพัทธ์กับเชื้อราโดยรวมในอากาศ	0.0200	0.8837
เชื้อราโดยรวมในอากาศกับ PM _{2.5}	0.1500	0.2710
เชื้อราโดยรวมในอากาศกับ PM ₁₀	-0.0460	0.7350
ความเข้มข้นสารฟอร์มัลดีไฮด์กับอัตราการไหลในเส้นท่อ	0.3590	0.0780

หมายเหตุ: p-value < 0.05 หมายถึงมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ r คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient)

อภิปรายผล

1. การตรวจวัดสภาพแวดล้อมห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์

1.1 การตรวจวัดแสงสว่าง

ผลการตรวจวัดแสงสว่างเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไป พบว่า ค่าความเข้มของแสงสว่างเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานตาม EN 12464-1 [10] ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากลักษณะเฉพาะของห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ที่จำเป็นต้องใช้แสงสว่างในระดับสูง เพื่อสนับสนุนการผ่าร่างอาจารย์ใหญ่และการศึกษารายละเอียดของโครงสร้างทางกายวิภาค ซึ่งต้องอาศัยการมองเห็นรายละเอียดของอวัยวะ หลอดเลือด เส้นประสาท และโครงสร้างขนาดเล็กอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ายังมีงานวิจัยที่ศึกษาประเด็นด้านความเข้มแสงสว่างในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์หรือห้องผ่าศพโดยตรงค่อนข้างจำกัด ทำให้การอภิปรายผลในด้านนี้ยังไม่สามารถเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่มีบริบทใกล้เคียงได้อย่างชัดเจน

ดังนั้น การเปรียบเทียบผลการศึกษาในครั้งนี้จึงอ้างอิงจากงานวิจัยในสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่ใกล้เคียง เช่น การศึกษาการออกแบบระบบแสงสว่างเพื่อปรับปรุงระดับความส่องสว่างภายในห้องพักผู้ป่วย [12] ซึ่งพบว่าความเข้มแสงสว่างไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากการติดตั้งระบบแสงสว่างไม่สอดคล้องกับลักษณะกิจกรรมการใช้งานพื้นที่ ความแตกต่างของผลการศึกษาดังกล่าวอาจเกิดจากวัตถุประสงค์การใช้งานพื้นที่ที่แตกต่างกัน โดยห้องปฏิบัติการกาย

วิภาคศาสตร์เป็นพื้นที่ที่ต้องใช้การมองเห็นรายละเอียดสูง ขณะที่ห้องพักผู้ป่วยมุ่งเน้นความสบายและการพักผ่อนเป็นสำคัญ

การตรวจวัดแสงสว่างแบบใช้สายตามองเฉพาะจุด พบว่า ค่าความเข้มของแสง ผ่านตามาตรฐานของ The Illumination Engineering Society of North America: IESNA [11] จำนวน 24 จุด คิดเป็นร้อยละ 96 หลอดไฟบนเตียงกายวิภาคศาสตร์ หมายเลข 8 เปิดไม่ติด ทำให้ค่าความเข้มของแสงไม่ผ่านมาตรฐาน จำนวน 1 จุด คิดเป็นร้อยละ 4 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษากการประเมินความเข้มแสงสว่างเฉพาะจุดในห้องเรียน [13] พบว่า สาเหตุที่ทำให้ค่าความเข้มแสงสว่างต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มีสาเหตุจากภายในห้องหลอดไฟไม่เพียงพอ หลอดไฟชำรุด และหลอดไฟไม่สะอาด

1.2 การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก

การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กจำนวน 56 จุด โดย PM_{1.0} ในปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานอ้างอิง การรายงานค่านี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการประเมินแนวโน้มคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการและใช้เป็นฐานข้อมูลในการเฝ้าระวังในระยะยาว

ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) พบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.57 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารที่กำหนดโดยกรมอนามัย [8] ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Seseña et al. [14] ที่ประเมินคุณภาพอากาศในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย โดยครอบคลุมปัจจัยด้านกายภาพ

เคมี และชีวภาพ รวมถึงการประเมินอัตราการระบายอากาศ (Air Change per Hour; ACH) และความเสี่ยงต่อสุขภาพ ซึ่งรายงานว่าการควบคุมและจัดการระบบระบายอากาศที่เหมาะสมมีบทบาทสำคัญในการลดการสะสมของมลพิษภายในอาคารและช่วยรักษาระดับฝุ่นละอองให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน พบว่า เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมอนามัย โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 2.76 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมในอาคารในห้องปฏิบัติการเคมีและวิศวกรรมเคมีที่สถาบันเทคโนโลยีอิมเมียร์ พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ย PM_{10} เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ US EPA โดยที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 48.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [14]

การตรวจจำนวนอนุภาคแขวนลอยในอากาศ (Particulate Matter; PM) ขนาดต่าง ๆ ได้แก่ $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เมื่อเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์มาตรฐานตามมาตรฐาน ISO 14644-1:2015 [15] พบว่า ห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ไม่จัดเป็นห้องสะอาด ซึ่งหากเปรียบเทียบระดับความสะอาด ค่าที่ตรวจวัดจำนวนอนุภาค $PM_{1.0}$ มีค่าใกล้เคียงกับห้องสะอาด ISO Class 6 ค่าที่ตรวจวัดจำนวนอนุภาค $PM_{2.5}$ มีค่าใกล้เคียงกับห้องสะอาด ISO Class 5 ค่าที่ตรวจวัดจำนวนอนุภาค PM_{10} มีค่าใกล้เคียงกับห้องสะอาด ISO Class 6 ซึ่งยังไม่มีการศึกษาที่รายงานการเปรียบเทียบระดับความสะอาดของห้องปฏิบัติการกับมาตรฐาน ISO 14644-1 โดยตรง

1.3 การตรวจความเข้มข้นเชื้อราโดยรวมในอากาศ

เชื้อรารวมในอากาศที่ตรวจวัดได้มีค่าเฉลี่ย 220 CFU/m³ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารตามที่กรมอนามัยกำหนด [8] ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ ปานทิพย์ ธิโนชัย และคณะ (2562) ที่ประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารของโรงพยาบาล และรายงานค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเชื้อรารวมในอากาศเท่ากับ 289 CFU/m³ ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกัน สะท้อนให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมภายในอาคารของสถานพยาบาลที่มีระบบการจัดการคุณภาพอากาศที่เหมาะสมสามารถช่วยควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อราให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ [16]

ผลการตรวจวัดเชื้อรารวมในอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการควบคุมการแพร่เข้าสู่ภายในอาคารของสปอร์เชื้อราจากภายนอกในระดับที่ดี โดยพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเชื้อรารวมภายในห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับ 102.5 CFU/m³ ขณะที่ การตรวจวัดบริเวณภายนอกอาคาร (ระเบียงชั้น 5) โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ 2 ชนิด ได้แก่ DUO SAS Super 360 และ Spin Air IUL พบความเข้มข้นของเชื้อรารวมเท่ากับ 220 CFU/m³ และ 120 CFU/m³ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นสูงสุดของเชื้อรารวมภายนอกอาคารที่ 220 CFU/m³ และนำมาคำนวณอัตราส่วนความเข้มข้นเชื้อราระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (Indoor/Outdoor

Ratio; I/O Ratio) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.47 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงผลลัพธ์ในเชิงบวกต่อการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคาร เนื่องจากหลักการประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารระบุว่า ความเข้มข้นของสปอร์เชื้อราภายในอาคารที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างเหมาะสมควรมีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นของสปอร์เชื้อราในอากาศภายนอกอาคาร [17] ผลการศึกษาดังกล่าวจึงสะท้อนให้เห็นว่าระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการสามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อราจากแหล่งกำเนิดภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม แม้ว่า I/O Ratio จะต่ำกว่า 1 แต่ความเข้มข้นเชื้อรารวมเฉลี่ยภายในที่ค่า 102.5 CFU/m³ นั้นยังคงเป็นปริมาณที่แสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงที่ยังคงมีอยู่จากการปนเปื้อนภายในหรือ การสะสมของสปอร์ในโครงสร้างหรืออุปกรณ์ จึงควรเน้นการตรวจสอบสุขลักษณะภายในห้องกายวิภาคศาสตร์ แหล่งกำเนิดความชื้นที่อาจนำไปสู่การเติบโตของเชื้อราภายในอาคาร

1.4 การตรวจวัดความเข้มข้นสารฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ

ความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้ไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดในประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน [9] โดยพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.19 ppm ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดมีจำนวนร่างอาจารย์ใหญ่ภายในห้องปฏิบัติการมากกว่าจำนวนเตียงที่ติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ส่งผลให้

ประสิทธิภาพในการควบคุมและกำจัดไอระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ลดลง และอาจทำให้เกิดการสะสมของสารปนเปื้อนในบรรยากาศภายในห้องปฏิบัติการเพิ่มขึ้น ผลการศึกษานี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ ทัดดาว พาหาทรัพย์อนันต์ และคณะ (2563) ที่ศึกษาการประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง ซึ่งรายงานว่าคุณค่าเฉลี่ยของสารฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าเท่ากับ 0.155 ppm และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน [18] นอกจากนี้ ยังไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ กมลวรรณ พรหมเทศ และคณะ (2567) ที่ประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจในนิติแพทยระหว่างการเรียนปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่ากับ 0.31 ppm และยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด [19] ความแตกต่างของผลการศึกษาดังกล่าวอาจเกิดจากลักษณะการจัดการภายในห้องปฏิบัติการ จำนวนร่างอาจารย์ใหญ่ ตำแหน่งการจัดวางร่างและประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศที่แตกต่างกัน โดยการศึกษาของ กมลวรรณ พรหมเทศ และคณะ ยังรายงานว่าตำแหน่งการปฏิบัติงานทางกายวิภาคศาสตร์มีผลต่อการแพร่กระจายและการระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์สู่บรรยากาศ และพื้นที่ผิวเปิดของร่างอาจารย์ใหญ่ที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้เกิดการปลดปล่อยสารฟอร์มาลดีไฮด์ออกสู่บรรยากาศในปริมาณที่สูงขึ้น [19]

1.5 การตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น

ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิไม่เป็นไปตามค่าเผื่อ ระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารที่กรมอนามัย กำหนด [8] โดยพบว่าค่าอุณหภูมิภายในห้อง ปฏิบัติการมีค่าต่ำกว่าช่วงมาตรฐานที่กำหนด และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.84°C ทั้งนี้อาจมีสาเหตุ มาจากในช่วงเวลาทำการตรวจวัดมีจำนวน ผู้ใช้งานภายในห้องปฏิบัติการค่อนข้างน้อย ส่งผล ให้ความร้อนที่เกิดจากกิจกรรมและการสะสม ความร้อนจากร่างกายมนุษย์ภายในพื้นที่ลดลง จึง ทำให้อุณหภูมิภายในห้องมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ กำหนด ผลการศึกษาดังกล่าวไม่สอดคล้องกับ การศึกษาของ นภฐมณ มโนรัตน์ และคณะ (2562) ที่ศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์และ คุณภาพอากาศภายในอาคารของโรงพยาบาล ระดับตติยภูมิ ซึ่งพบว่าอุณหภูมิภายในห้อง ชั้นสูตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.5°C ซึ่งสูงกว่าค่า มาตรฐานที่กำหนด [20] ความแตกต่างของผล การศึกษาดังกล่าวอาจเกิดจากลักษณะการใช้งาน พื้นที่ จำนวนผู้ใช้งาน ระบบปรับอากาศ และ สภาพแวดล้อมของแต่ละสถานที่ที่แตกต่างกัน สำหรับผลการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ภายใน ห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ พบว่าค่าเฉลี่ย ของความชื้นสัมพัทธ์ไม่เป็นไปตามค่าที่ยอมรับได้ ตามเกณฑ์ของกรมอนามัย [8] และ ASHRAE [4] โดยพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องมีค่าสูงกว่า ช่วงมาตรฐานที่กำหนด และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $75.48\%\text{RH}$ ทั้งนี้อาจเกิดจากข้อจำกัดของการ หมุนเวียนและการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่าง ภายในและภายนอกห้อง ส่งผลให้เกิดการสะสม ของความชื้นภายในพื้นที่เพิ่มขึ้น ผลการศึกษา

ดังกล่าวไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ จารุพัฒน์ กาญจนรงค์ และคณะ (2566) ที่ศึกษาคุณภาพ อากาศทางจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อมใน ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ซึ่งพบว่า ห้องปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อมมีค่าความชื้น สัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ $37.4\%\text{RH}$ ซึ่งต่ำกว่าค่า มาตรฐานที่กำหนด [21] ความแตกต่างของผล การศึกษาดังกล่าวอาจเกิดจากลักษณะกิจกรรม ภายในห้อง ระบบระบายอากาศ และสภาพแวดล้อม เฉพาะของห้องปฏิบัติการแต่ละประเภทที่ แตกต่างกันไป

1.6 การตรวจวัดความเร็วลม

ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมไม่เป็นไปตามเกณฑ์ มาตรฐานที่กำหนดโดยกรมอนามัย [8] โดยมี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.38 m/s ทั้งนี้อาจเกิดจาก การกระจายตัวของกระแสอากาศภายในห้องที่ ไม่สม่ำเสมอ ทิศทางการไหลของอากาศที่ไม่คงที่ รวมถึงอาจมีปัจจัยด้านกายภาพภายในพื้นที่ เช่น การจัดวางอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อรูปแบบการไหลเวียนของอากาศภายใน ห้อง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ ชัยนันท์ ปุแก้ว และคณะ (2567) ที่ประเมินคุณภาพ อากาศภายในอาคารและกลุ่มอาการป่วยเหตุ อาคารของบุคลากรทางการแพทย์ในโรงพยาบาล แห่งหนึ่ง จังหวัดสระบุรี ซึ่งรายงานว่าความเร็วลม เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.93 m/s และไม่เป็นไปตาม เกณฑ์มาตรฐานของกรมอนามัยเช่นเดียวกัน [22] แม้ว่าค่าความเร็วลมที่ตรวจพบจะมีความแตกต่าง กัน แต่ผลการศึกษาทั้งสองแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของการกระจายตัวของอากาศและ

ระบบระบายอากาศภายในอาคารมีบทบาทสำคัญ
ต่อคุณภาพสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

1.7 การตรวจวัดประสิทธิภาพระบบระบาย อากาศ

ผลการตรวจวัดอัตราการไหลในเส้นท่อของ
ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust
Ventilation; LEV) พบว่าไม่เป็นไปตามค่าที่ผู้ผลิต
แนะนำสำหรับการออกแบบระบบ โดยพบว่าจุด
ตรวจวัดส่วนใหญ่ภายในห้องปฏิบัติการมีค่าอัตรา
การไหลในเส้นท่อดำกว่ามาตรฐานจำนวน 24 จุด
คิดเป็นร้อยละ 96 ของจุดตรวจวัดทั้งหมด ทั้งนี้
อาจเกิดจากประสิทธิภาพของระบบระบาย
อากาศที่ลดลงตามอายุการใช้งานของอุปกรณ์
โดยเฉพาะพัดลมที่อาจมีความเร็วรอบลดลงหรือมี
ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง ส่งผลให้อัตรา
การไหลของอากาศภายในระบบต่ำกว่าค่าที่
กำหนดในการออกแบบ (Design flow rate) ผล
การศึกษานี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Zdilla
(2021) ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพของระบบระบาย
อากาศเฉพาะที่สำหรับห้องปฏิบัติการกายวิภาค
ศาสตร์ โดยพบว่าระบบ LEV ที่มีอัตราการไหล
ของอากาศเท่ากับ 777 CFM สามารถกำจัดสาร
ฟอร์มาลดีไฮด์และฟีนอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ
[23] ความแตกต่างของผลการศึกษาดังกล่าวอาจ
สะท้อนให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบระบาย
อากาศเฉพาะที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตรา
การไหลของอากาศภายในระบบ โดยเมื่ออัตรา
การไหลต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้ อาจส่งผลให้
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนทางอากาศ
ลดลง และเพิ่มโอกาสการสะสมของสารปนเปื้อน
ภายในพื้นที่ปฏิบัติงาน

1.8 สภาพะนาสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort)

ผลการประเมินดัชนีสภาพะนาสบายเชิง
อุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์
พบว่าจุดตรวจวัดส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ปกติหรือ
สภาพะสบาย (Comfortable condition) จำนวน
54 จุด คิดเป็นร้อยละ 96.4 ขณะที่พบจุดตรวจวัด
ที่อยู่ในเกณฑ์อบอุ่นเล็กน้อย (Slightly warm)
จำนวน 2 จุด คิดเป็นร้อยละ 3.6 ทั้งนี้ อาจ
เนื่องมาจากบริเวณดังกล่าวมีค่าความชื้นสัมพัทธ์
สูงกว่าพื้นที่อื่น ส่งผลให้การระเหยของเหงื่อจาก
ผิวหนังลดลง และทำให้ประสิทธิภาพในการ
ระบายความร้อนของร่างกายลดลง จึงส่งผลให้
ผู้ปฏิบัติงานเกิดความรู้สึกอบอุ่นมากกว่าระดับ
อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จริง

2. ความสัมพันธ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมในอาคาร กับระบบระบายอากาศ

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ
กับเชื้อรารวมในอากาศ พบว่า อุณหภูมิไม่มี
ความสัมพันธ์กับเชื้อรารวมในอากาศอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ 0.05 ($p\text{-value} = 0.272$, $r = 0.149$) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิ
เฉลี่ยภายในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์มีค่า
เท่ากับ 23.84 °C ซึ่งอยู่ในระดับที่อาจส่งผลต่อ
การเจริญเติบโตของเชื้อราในอาคารค่อนข้างน้อย
เนื่องจากเชื้อราก่อโรคในมนุษย์ส่วนใหญ่มัก
เจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิประมาณ 25–40
°C ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายใน
ห้องปฏิบัติการในช่วงที่ศึกษาอาจยังไม่เพียงพอ
ที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อ

ราในอากาศอย่างชัดเจน ผลการศึกษานี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ พัทธกิจ คิมนาร์กซ์ (2559) ที่ศึกษาการแพร่กระจายของเชื้อราในอากาศภายในห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์ และรายงานว่าคุณภาพอากาศมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับปริมาณเชื้อราในอากาศ ($r = 0.637$) โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณเชื้อราในอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม [24]

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับเชื้อรารวมในอากาศ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเชื้อรารวมในอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value} = 0.8837$, $r = 0.0200$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณเชื้อราในอากาศไม่ได้ขึ้นอยู่กับระดับความชื้นสัมพัทธ์เพียงปัจจัยเดียว แต่ยังมียปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่นร่วมด้วย เช่น การระบายอากาศ การแลกเปลี่ยนอากาศ และแหล่งกำเนิดเชื้อรา ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ ชัยญานกานต์ โกกะพันธ์ และคณะ (2568) ซึ่งศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศภายในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อราในอากาศก่อนเริ่มเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.593$, $r = -0.325$) [25]

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อรารวมในอากาศกับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value} = 0.271$, $r = 0.150$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณฝุ่นละอองภายในห้องปฏิบัติการอยู่ในระดับต่ำและยังไม่เพียงพอที่จะส่งผลต่อการแพร่กระจายหรือการ

แพร่กระจายของเชื้อราในอากาศ ทำให้ปริมาณเชื้อรารวมในอากาศไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณ $PM_{2.5}$ เพียงอย่างเดียว ผลการศึกษานี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ ณรงค์เดช พิมพรรณ และคณะ (2566) ซึ่งศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารหอผู้ป่วยในโรงพยาบาล 6 แห่งในเขตสุพรรณบุรี 4 และรายงานว่าคุณภาพอากาศมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับปริมาณเชื้อรารวมในอากาศ ($r = 0.362$) [26]

ในส่วนของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อรารวมในอากาศกับ PM_{10} พบว่าไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value} = 0.735$, $r = -0.046$) ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณฝุ่นละอองภายในห้องอยู่ในระดับต่ำและไม่เพียงพอที่จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณเชื้อราในอากาศ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ ณรงค์เดช พิมพรรณ และคณะ (2566) ที่พบว่า PM_{10} ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อรารวมในอากาศ ($r = -0.010$) [26]

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับเชื้อรารวมในอากาศ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value} = 0.6325$, $r = -0.0653$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากรูปแบบการไหลเวียนอากาศภายในห้องปฏิบัติการที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากระบบจ่ายอากาศและการแลกเปลี่ยนอากาศภายในพื้นที่ ส่งผลให้ความเข้มข้นของเชื้อราในอากาศไม่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ ชัยญานกานต์ โกกะพันธ์ และคณะ (2568) ซึ่งพบว่า

ความเร็วลมไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อราในอากาศก่อนเริ่มเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.182$, $r = -0.707$) [25]

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์กับอัตราการไหลในเส้นท่อพบว่าไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value} = 0.078$, $r = 0.359$) ทั้งนี้อาจเกิดจากปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ เช่น อายุการใช้งานของพัดลม ประสิทธิภาพของความเร็วรอบพัดลม รวมถึงความถี่ในการทำงานของระบบซึ่งอาจส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศไม่คงที่และไม่สามารถลดความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปผล

คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารของห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์มีทั้งพารามิเตอร์ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและพารามิเตอร์ที่ยังต้องได้รับการปรับปรุง โดยความเข้มข้นของแสงสว่างทั้งแบบพื้นที่ทั่วไปและแบบใช้สายตามองเฉพาะจุดส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่เหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด สะท้อนถึงประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างที่เพียงพอต่อการปฏิบัติงาน ขณะที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ และปริมาณเชื้อราโดยรวมในอากาศอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบกรองอากาศและการจัดการความสะอาดภายในพื้นที่ในระดับที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในหลายจุดตรวจวัดไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่แนะนำ

โดยเฉพาะความชื้นสัมพัทธ์ที่มีค่าสูงกว่าค่ากำหนดอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ ความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศส่วนใหญ่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด และประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ส่วนใหญ่ไม่เป็นไปตามค่าที่ออกแบบไว้ สถานการณ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดของระบบระบายอากาศในการควบคุมและเจือจางสารเคมีอันตรายในพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษเฉพาะจุด

ค่า Predicted Mean Vote (PMV) โดยรวมอยู่ในช่วงสภาวะสบาย แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานพื้นที่ยังคงรับรู้ความสบายภายใต้สภาพแวดล้อมดังกล่าว แม้ว่าพารามิเตอร์ด้านกายภาพบางส่วนจะไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานก็ตาม นอกจากนี้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารกับประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งบ่งชี้ว่าระดับมลพิษภายในห้องปฏิบัติการอาจได้รับอิทธิพลจากลักษณะการใช้งานพื้นที่ แหล่งกำเนิดมลพิษ และการจัดการระบบ มากกว่าปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมทั่วไปเพียงอย่างเดียว

โดยสรุป ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุงระบบระบายอากาศเฉพาะที่ การควบคุมความชื้น และการจัดการแหล่งกำเนิดสารฟอร์มาลดีไฮด์ เพื่อยกระดับคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ให้สอดคล้องกับมาตรฐานด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัย อันจะช่วยลดความเสี่ยงต่อสุขภาพและเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของผู้ใช้งานพื้นที่ในระยะยาว

ข้อจำกัด

1. การศึกษาในครั้งนี้เป็นการเก็บตัวอย่างแบบ Grab Sampling เป็นการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาหนึ่ง ทำให้ไม่สามารถนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับค่ารับสัมผัสตลอดระยะเวลาการทำงานได้

2. การศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างเชื้อราในอากาศต่างรุ่นกัน แม้เครื่องมือทั้งสองชนิดจะใช้หลักการเก็บตัวอย่างและเงื่อนไขการเก็บตัวอย่างที่ใกล้เคียงกัน แต่ความแตกต่างของลักษณะทางเทคนิคและประสิทธิภาพของเครื่องมืออาจส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลการตรวจวัด จึงควรพิจารณาตีความผลการศึกษาอย่างระมัดระวัง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับอัตราการไหลของอากาศในเส้นท่อให้อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการถ่ายเทและเจือจางสารเคมีในอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยลดความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ให้อยู่ในระดับปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

2. ควรมีการควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปฏิบัติการให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อช่วยลดการสะสมของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ และป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งจะส่งเสริมคุณภาพอากาศภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยและเหมาะสมต่อผู้ปฏิบัติงาน

3. ความเข้มแสงสว่างที่สูงเกินกว่าระดับที่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน เช่น การเกิดแสงแยงตา (Glare) ความเมื่อยล้าทาง

สายตา และการเกิดเงาบริเวณในระหว่างการทำงาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความแม่นยำในการปฏิบัติงาน ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงรูปแบบการจัดแสงโดยลดจำนวนหลอดไฟและปิดการใช้งานหลอดไฟบางตำแหน่ง ผลการออกแบบใหม่พบว่าค่าความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยลดลงเหลือ 973 Lux ซึ่งยังคงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน EN 12464-1 นอกจากนี้ บริเวณจุดปฏิบัติงานที่พบหลอดไฟชำรุดหรือไม่สามารถใช้งานได้ ควรดำเนินการเปลี่ยนหลอดไฟโดยทันที และจัดให้มีการตรวจสอบรวมถึงบำรุงรักษาระบบแสงสว่างอย่างสม่ำเสมอ เพื่อรักษาประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างให้เหมาะสมต่อการปฏิบัติงาน

การศึกษาวิจัยในอนาคต

งานวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นการประเมินการรับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ของผู้ปฏิบัติงานในลักษณะเชิงเวลา เช่น การเก็บตัวอย่างแบบเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการทำงาน (Time-Weighted Average; TWA) หรือการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ นอกจากนี้ ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารกับผลกระทบด้านสุขภาพ รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่และมาตรการควบคุมทางวิศวกรรมโดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics; CFD) ทั้งนี้ ควรมีการเก็บข้อมูลในหลายช่วงเวลาและหลายสภาวะการใช้งาน เพื่อให้สามารถสะท้อนสภาพแวดล้อมจริงและเพิ่มความครอบคลุมของผลการศึกษาได้มากยิ่งขึ้น

References

- [1] Environmental Health Bureau, Department of Health, Ministry of Public Health, Operational Manual for Inspection and Assessment of Indoor Air Quality, Bangkok, Thailand: Department of Health, Ministry of Public Health, 2016. [Online]. Available: <https://ghh.anamai.moph.go.th/storage/app/uploads/public/603/b5b/072/603b5b0720697166916487.pdf>. [Accessed: Nov. 25, 2025].
- [2] King Mongkut's University of Technology Thonburi, "Because indoor air quality is important," 2021. [Online]. Available: <https://shorturl.asia/LXMT0>. [Accessed: Nov. 25, 2025].
- [3] V. Surawattanasakul, W. Sirikul, R. Sapbamrer, K. Wangsan, J. Panumasvivat, P. Assavanopakun, and S. Muangkaew, "Respiratory symptoms and skin sick building syndrome among office workers at University Hospital, Chiang Mai, Thailand: Associations with indoor air quality, AIRMED Project," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 17, p. 10850, Aug. 2022, doi: 10.3390/ijerph191710850.
- [4] ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2023. [Online]. Available: <https://webstore.ansi.org/standards/ashrae/ansiashraestandard552023>. [Accessed: Nov. 19, 2025].
- [5] P. Soonklang, "A Comparison of Formaldehyde Air Monitoring Methods for Health Risk Assessment of Gross Anatomy Staff," M.Sc. thesis, Major in Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Thammasat University, Pathum Thani, Thailand, 2023.
- [6] C. Panikhom and S. Chaiklieng, "Health risk assessment of indoor air quality exposure among healthcare workers in a community hospital, Khon Kaen Province," *Thai Journal of Toxicology*, vol. 39, no. 2, pp. 1–18, 2024.
- [7] D. Bhat, H. Chittoor, P. Muruges, P. N. Basavanna, and S. Doddaiiah, "Estimation of occupational formaldehyde exposure in cadaver dissection laboratory and its implications," *Anatomy & Cell Biology*, vol. 52, no. 4, pp. 419–425, Dec. 2019, doi: 10.5115/acb.19.105.
- [8] Department of Health, "Notification of the Department of Health on Indoor Air Quality Surveillance Values in Public Buildings, B.E. 2565 (2022)," Nov. 21, 2022.

- [9] Department of Labour Protection and Welfare, “Notification of the Department of Labour Protection and Welfare: Occupational Exposure Limits for Hazardous Chemicals,” Royal Thai Government Gazette, vol. 134, Special Section 198, pp. 34–53, Aug. 3, 2017.
- [10] European Committee for Standardization, EN 12464-1: Light and Lighting-Lighting of Work Places- Part 1: Indoor Work Places, 2002. [Online]. Available: https://www.ageta.lt/app/webroot/files/uploads/filemanager/File/info/EN_12464-1.pdf. [Accessed: Nov. 19, 2025].
- [11] The Illuminating Engineering Society of North America, IES Lighting Handbook: The Standard Lighting Guide, B/W ed. New York, NY, USA: Illuminating Engineering Society of North America, 2000. [Online]. Available: https://ia801308.us.archive.org/26/items/ieslightinghandb00inillu/ieslightinghandb00inillu_bw.pdf. [Accessed: Nov. 25, 2025].
- [12] S. Mahathakulrungsri, “Redesigning Interior Lighting for Improving Illuminance Level of In- Patient Room: A Case Study of Bhumisiri Mangkhalanusorn Building, Chulalongkorn Memorial Hospital,” M. Arch. thesis, Dept. of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2021.
- [13] K. Koonmueng, N. Narinya, and P. Sakunkoo, “Illumination spot measuring and analysis in classrooms, Faculty of Public Health, Khon Kaen University,” *KKU Journal for Public Health Research*, vol. 10, no. 2, pp. 70–76, Apr.–Jun. 2017.
- [14] S. Seseña, A. M. Rodríguez, and M. L. Palop, “Indoor air quality analysis in naturally ventilated university training laboratories: A health risk assessment,” *Air Quality, Atmosphere & Health*, vol. 15, pp. 1817–1837, 2022, doi: 10.1007/s11869-022-01220-0.
- [15] International Organization for Standardization, ISO 14644- 1: 2015, Cleanrooms and Associated Controlled Environments-Part 1: Classification of Air Cleanliness by Particle Concentration, 2015. [Online]. Available: <https://antoandoluong.com/Files/Docs/20203181613304.pdf>. [Accessed: Nov. 19, 2025].
- [16] P. Tinochai, M. Tealek, and J. Kongpran, “Indoor air quality in hospital: A case study for a community hospital in Nakhon Si Thammarat Province,” *Journal of Health Science*, vol. 28, no. 2, pp. 325–333, Mar.–Apr. 2019.

- [17] R. Jabeen, M. I. Kizhisseri, S. N. Mayanaik, et al., “Bioaerosol assessment in indoor and outdoor environments: A case study from India,” *Scientific Reports*, vol. 13, p. 18066, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-44315-z.
- [18] T. Pahasup-anan, S. Chesuema, S. Samae, S. Yusoh, and I. Bindamae, “Risk assessment of formaldehyde in gross anatomy laboratory in a university,” *Journal of Energy and Environment Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 61–68, 2020.
- [19] K. Promtes, O. Kaewboonchoo, K. Harncharoen, and C. Ekpanyaskul, “Cancer risk assessment of inhalation formaldehyde exposure among medical students during anatomy laboratory,” *Thai Journal of Toxicology*, vol. 29, no. 1–2, p. 8, 2020. [Online]. Available: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/ThaiJToxicol/article/view/244099>. [Accessed: Nov. 25, 2025].
- [20] N. Manorat and N. Sinthununsakul, “Indoor air quality and microbial indoor air quality in tertiary care hospital,” *Journal of the Preventive Medicine Association of Thailand*, vol. 9, no. 2, pp. 232–241, May–Aug. 2019.
- [21] J. Kanchanarong, V. Plongbanjong, and S. Hongthong, “Monitoring of airborne microorganisms and environmental of laboratory rooms, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin,” *Rattanakosin Journal of Science and Technology (RJST)*, vol. 5, no. 1, pp. 53–63, 2023.
- [22] C. Pookaew, S. Kesornthong, and N. Homkham, “Assessment of Indoor Air Quality and Sick Building Syndrome among Health Care Workers: A Case Study of a Hospital in Saraburi Province,” *Journal of Roi Kaensam Academi*, vol. 9, no. 9, pp. 882–895, Sep. 2024.
- [23] M. J. Zdilla, “Local exhaust ventilation systems for the gross anatomy laboratory,” *Morphologie*, vol. 105, no. 350, pp. 237–246, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.morpho.2020.11.002.
- [24] P. Kimnarak, Airborne Fungal Dispersion in Medical Technology Laboratories: A Case Study of Medical Technology Laboratory, Nakhon Pathom Hospital, Nakhon Pathom Province, Independent Study, M.Sc. degree in Environmental Science, Graduate School, Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand, 2015.

- [25] C. Kokaphan, N. Khamhlom, J. Sathawon, I. Pongpan, S. Lorroengsil, Y. Kruawongsa, P. Polyon, and S. Srisakhamkullawat, "Airborne Microbial Concentrations in Microbiology Laboratories, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University," *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, vol. 27, no. 2, pp. 77–89, May–Aug. 2025.
- [26] N. Pimphan, S. Phamon, A. Khanla, and P. Inthasroi, "Indoor Air Quality in Inpatient Wards: A Case Study of Six Hospitals in Health Region 4. Saraburi," Thailand: Occupational and Environmental Diseases Group, Office of Disease Prevention and Control Region 4, Department of Disease Control, Ministry of Public Health, 2023.

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

พลอยไพลิน น้อยบาท¹, จินตศักดิ์ กาญจนอนันท์², วสันต์ นาคเสนีย์³,

สิรินรัตน์ จันการ⁴, จิรชีพ บุตรเลิศวิเศษฐิธ⁵

^{1,2,3,4,5}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

Email: ployphailinnoi@mcr.ac.th¹

Received: May 07, 2026

Revised: May 25, 2026

Accepted: May 28, 2026

บทคัดย่อ

จังหวัดราชบุรีมีพื้นที่ทำการเกษตรคิดเป็นร้อยละ 35.38 เพาะปลูกสับปะรดคิดเป็นร้อยละ 6.74 ของพื้นที่ทั้งหมด ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวผลสับปะรดต้องตัดส่วนที่เป็นใบทิ้งทำให้ใบสับปะรดเหลือทิ้งจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่เลือกใช้วิธีเผาทำลายเพื่อเตรียมปลูกรอบต่อไปทำให้เกิดปัญหามลพิษ ในงานวิจัยนี้ได้นำใบสับปะรดมาทำกระดาษและปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษให้มีความเหมาะสมเพื่อนำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองผลิตบรรจุภัณฑ์คือ กระดาษที่มีความยาวเส้นใย 75 มิลลิเมตร ผสมสารให้ความคงตัว 75 กรัม และสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูป คือ อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 50 bar และเวลา 15 วินาที นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของความยาวเส้นใยกับสารให้ความคงตัว ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบความหนา การทดสอบความหนาแน่น การทดสอบการดูดซึมน้ำ การทดสอบความชื้น และการทดสอบแรงดึง โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ข้อมูล One Sample t-test พบว่าขนาดเส้นใยมีอิทธิพลต่อค่าการทดสอบทุกรายกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สรุปได้ว่าความแตกต่างระหว่างขนาดเส้นใยมีอิทธิพลต่อค่าการทดสอบ โดยผลการคำนวณทางสถิตินี้เป็นไปในแนวเดียวกันกับผลการวิเคราะห์การทดสอบทางกายภาพ นอกจากนี้เมื่อทดสอบระดับความสะอาดของบรรจุภัณฑ์ ผลการทดสอบบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดมีความสะอาด ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์เจริญสามารถนำไปใช้กับอาหารได้ ถึงแม้ว่าบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดจะมีข้อจำกัดด้านการดูดซึมน้ำ แต่จากผลการทดสอบค่าทางกายภาพและทางกลมีแนวโน้มที่จะสามารถพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อลดข้อจำกัดต่อไปได้ เพื่อนำไปใช้ทดแทนภาชนะพลาสติก

คำสำคัญ: เส้นใยสับปะรด, บรรจุภัณฑ์, กระดาษจากธรรมชาติ, บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้, อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

Development of Packaging from Pineapple Fiber for Environmental Conservation

Ployphailin Noibat¹, Jintasak Kanchana-anotai², Wasan Naksanee³,

Sirinrat Juntakan⁴, Jiracheep Butlertwisettitha⁵

^{1,2,3,4,5}Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University

Email: ployphailinnoi@mcru.ac.th¹

Received: May 07, 2026

Revised: May 25, 2026

Accepted: May 28, 2026

Abstract

Ratchaburi province has an agricultural area accounting for 35.38% of the total area, with pineapple cultivation covering 6.74% of the total area. During the pineapple harvesting process, the leaves must be cut off, leaving a large amount of pineapple leaf waste. Currently, most farmers choose to burn these leaves to prepare for the next planting cycle, causing pollution problems. In this research, pineapple leaves were used to make paper, and the paper properties were improved to be suitable for forming into packaging. The optimal conditions obtained from the packaging production experiment were: paper with a fiber length of 75 mm mixed with 75 grams of stabilizer, and the optimal forming conditions were: temperature of 130°C, pressure of 50 bar, and time of 15 seconds. In addition, the physical and mechanical properties of fiber length and stabilizer were studied, including thickness testing, density testing, water absorption testing, moisture content testing, and tensile strength testing. Statistical analysis using the One Sample t-test revealed that fiber size had a statistically significant influence on all test value ($p < 0.05$), it was concluded that the difference between fiber sizes influences the test values, and these statistical calculation results were consistent with the physical test analysis results. Furthermore, when testing the cleanliness level of the packaging, the test results showed that the pineapple fiber packaging was clean and free from microbial contamination, making it suitable for food contact. Although pineapple fiber packaging still has limitations in water absorption, the physical and mechanical test results indicate potential for further development to reduce limitations for replacing plastic containers.

Keywords: pineapple fiber, packaging, natural paper, biodegradable packaging, environmental conservation

บทนำ

จังหวัดราชบุรีมีพื้นที่ทั้งหมด ประมาณ 3.25 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ทำการเกษตร 1,152,159 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 35.38 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยพื้นที่การเพาะปลูกสับปะรดมีประมาณ 77,653 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.74 อำเภอที่ทำการเพาะปลูกสับปะรดมีทั้งหมด 4 อำเภอ ประกอบไปด้วยอำเภอบ้านโป่ง 1,756 ไร่ สวนผึ้ง 13,120 ไร่ บ้านคา 61,328 ไร่ และปากท่อ 1,449 ไร่ [1] โดยในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวผลสับปะรดจำเป็นต้องตัดส่วนที่เป็นใบทิ้งทำให้ใบสับปะรดยังคงมีปริมาณเหลือทิ้งจำนวนมาก ในแต่ละรอบการผลิตจะมีใบสับปะรดสดที่ถูกทิ้งมากกว่า 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ใบสับปะรดสดนี้ให้เส้นใยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 2.7 ของน้ำหนักใบสับปะรดสด ใบสับปะรดเป็นส่วนที่มีเซลลูโลสหรือสามารถให้เส้นใยได้ โดยทั่วไปนิยมนำมาผลิตเป็นกระดาษและวัสดุเสริมแรง จะเห็นว่าเส้นใยใบสับปะรดมีสมบัติเชิงกลที่ค่อนข้างสูง มีมอดุลัสและความแข็งแรงสูงหากพิจารณาสมบัติเชิงกลจำเพาะ (specific mechanical properties) ซึ่งเทียบกับความหนาแน่น จะพบว่ามีความอยู่ในระดับเดียวกับเส้นใยแก้ว [2] ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายชนิด อีกทั้งเส้นใยสับปะรดยังทำปฏิกิริยาเคมีได้ง่าย และไม่มีสารพิษอันตรายเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์ทดแทนที่ทำมาจากวัสดุธรรมชาติโดยใช้ตัวประสานเพิ่มเติมและผ่านกรรมวิธีการขึ้นรูปที่ทำให้บรรจุภัณฑ์สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในเรื่องการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการลดการใช้พลาสติกและยังเป็นอีกหนึ่ง

ทางเลือกให้ผู้บริโภคเลือกใช้ ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาจากขยะสังเคราะห์มากเป็นอันดับ 5 ของโลก [3] พบว่าปริมาณขยะพลาสติกในประเทศไทยคิดเป็นร้อยละ 20 ของปริมาณขยะทั้งหมด หรือประมาณ 2 ล้านตันต่อปี ซึ่งขยะพลาสติกต้องใช้เวลาในการย่อยสลายเฉลี่ยประมาณ 450 ปี ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว และหากนำไปเผาอย่างผิดวิธีก็จะทำให้เกิดมลพิษและโลกร้อน ก๊าซเรือนกระจกและถุงพลาสติกกลายเป็นตัวเลือกอันดับต้น ๆ ที่ผู้คนให้ความสำคัญในชีวิตประจำวัน ขยะพลาสติกจึงเป็นปัญหารุนแรงที่มีความจำเป็นอย่างเร่งรีบที่จะต้องแก้ไข ถ้าหากใช้บรรจุย่อยสลายได้ที่ผลิตจากกระดาษ จะใช้เวลาในการย่อยสลายเฉลี่ยประมาณ ระหว่าง 2 – 6 เดือน [4] การใช้บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม

สารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose: CMC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ได้จากการดัดแปลงทางเคมี มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และเป็นสารที่ได้รับการยอมรับในอุตสาหกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างฟิล์มและเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลให้กับวัสดุเส้นใยได้ดีกว่าสารประสานทั่วไป เช่น แป้งมันสำปะหลัง หรือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) [5] กลไกการยึดเกาะระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับ CMC เกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใยเซลลูโลสในสับปะรดกับหมู่คาร์บอกซีเมทิล (-CH₂COOH) ของ CMC ส่งผลให้เส้นใยมีการยึดเกาะกันแน่นขึ้นและเพิ่ม

ความต้านทานแรงดึงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ CMC เป็นสารให้ความคงตัว (Stabilizer) ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรด

ดังนั้นผู้ศึกษาค้นคว้าจึงมีความสนใจศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดโดยใช้คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) เป็นสารให้ความคงตัว และกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ร้อนเพื่อสร้างบรรจุภัณฑ์ที่ปลอดภัย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ

แนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เส้นใยสับปะรด (Pineapple Leaf Fiber: PALF) ประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณร้อยละ 70–82 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 5–12 และลิกนินร้อยละ 5–12 ตามลำดับ เส้นใยชนิดนี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม ได้แก่ ความแข็งแรงดึงสูง ค่ามอดุลัสสูง และความหนาแน่นต่ำ ทำให้เส้นใยสับปะรดเป็นที่สนใจในงานวัสดุคอมโพสิตและบรรจุภัณฑ์สีเขียว [6] เส้นใยสับปะรดมีค่าความแข็งแรงดึงจำเพาะที่เทียบได้กับเส้นใยแก้ว โดยเส้นใยที่มีความยาวระดับกลาง 50–100 มิลลิเมตร (mm) ให้ค่าการยึดเกาะและการขึ้นรูปที่ดีที่สุด

กลไกการยึดเกาะระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับ CMC เกิดผ่านพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) ระหว่างหมู่ฟังก์ชันของ CMC กับหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวเส้นใยเซลลูโลส ส่งผลให้เกิดโครงข่ายพอลิเมอร์ที่แข็งแรงและยืดหยุ่น การเพิ่มปริมาณ CMC จะช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึง แต่หากใช้ปริมาณเกินกว่าระดับที่เหมาะสมจะทำให้วัสดุ

เปราะและสูญเสียความยืดหยุ่น [6] งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยธรรมชาติพบว่าบรรจุภัณฑ์จากกากอ้อย (Bagasse) และเส้นใยไผ่มีสมบัติทางกลที่ใกล้เคียงกับบรรจุภัณฑ์กระดาษเชิงพาณิชย์ แต่ยังมีปัญหาการดูดซึมน้ำสูง ซึ่งสามารถปรับปรุงได้ด้วยการเคลือบผิวหรือการเพิ่มสารให้ความคงตัว ดังเช่นที่ใช้ใน CMC

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากเส้นใยสับปะรด
2. เพื่อศึกษาสมบัติ ทางกายภาพและทางกลของกระดาษจากเส้นใยสับปะรด รวมถึงความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์สำหรับบรรจุภัณฑ์สัมผัสอาหาร
3. เพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้แบ่งกระบวนการออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การผลิตกระดาษจากเส้นใยสับปะรด (2) การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษและการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ และ (3) การทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 1 การผลิตกระดาษจากเส้นใยสับปะรด:

- 1.1 นำใบสับปะรดที่เหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยวมาล้างทำความสะอาด คัดเลือกใบที่เสียออก ตัดให้ได้ความยาว 5 ระดับ ได้แก่ 1–2, 3–5, 25, 75 และ 150 มิลลิเมตร (mm) ต้มด้วยสารละลาย NaOH 5% 50 กรัม (g) ต่อใบสับปะรด

1 กิโลกรัม (kg) ใช้น้ำ 6 ลิตร (L) ที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 90 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 2–3 ชั่วโมง (hr) จากนั้นล้างเยื่อให้สะอาดด้วยน้ำไหลผ่าน หล่อเป็นแผ่นกระดาษขนาด 297×420 มิลลิเมตร (mm) และตากในที่อากาศถ่ายเทประมาณ 4 ชั่วโมง (hr) (ไม่ตากแดดเพราะกระดาษจะหดตัวและหลุดจากตะแกรง)

ตารางที่ 1 แสดงการเตรียมเส้นใยสับปะรด

ส่วนผสม	หน่วย	ความยาวใบสับปะรด (มิลลิเมตร)				
		P1	P2	P3	P4	P5
กระดาษจากเส้นใยสับปะรด		1-2	3-5	25	75	150
น้ำหนักใบ	g	1000	1000	1000	1000	1000
ปริมาณน้ำเปล่า	ml	6000	6000	6000	6000	6000
โซเดียมไฮดรอกไซด์	g	50	50	50	50	50
เวลาที่ใช้ในการต้ม	hr	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
เวลาที่ใช้ในการตาก	hr	14	14	14	14	14

1.2 ต้มใบสับปะรดสด : ใช้อัตราส่วนโซดาไฟร้อยละ 5 ของน้ำหนักใบสับปะรดสดที่ใช้ต้ม คือ โซดาไฟ 50 กรัม (g) ต่อการใช้ใบสับปะรดสด 1 กิโลกรัม (kg) ใช้น้ำในการต้มประมาณ 6 ลิตร (L) ใช้เวลาในการต้ม 2 – 3 ชั่วโมง (hr) นับเวลาจากน้ำที่ใช้ต้มเริ่มเดือด นอกจากนั้นอุณหภูมิของการต้มเป็นสิ่งสำคัญต้องรักษาอุณหภูมิของการต้มให้สม่ำเสมอ ไม่น้อยกว่า 90 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ตลอดระยะเวลาของการต้ม หากอุณหภูมิต่ำกว่าจะทำให้การเปื่อยยุ่ยของเยื่อเนิ่นนานออกไปมากกว่าระยะเวลาที่กำหนดได้ ทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการต้ม [7]

1.3 การล้างเยื่อกระดาษ: ได้เยื่อจากใบสับปะรดที่ผ่านการต้มต้กล้างทำความสะอาด นำเยื่อใส่ตาข่ายในลอนบิบบ้าไปล้างด้วยน้ำที่ใช้ล้างควรเป็นการล้างแบบน้ำไหลผ่านเพื่อให้โซดาไฟที่อยู่ในเยื่อตกค้างออกให้หมด

1.4 การหล่อกระดาษ: นำเยื่อที่ผ่านการล้างมาบิบบ้าออกให้หมด ซึ่งให้ได้น้ำหนักตามตัวอย่างทดลอง (ขนาดกระดาษ กว้าง 297 มิลลิเมตร (mm) ยาว 420 มิลลิเมตร (mm) สูง 4 มิลลิเมตร (mm)) จากนั้นตีเยื่อให้กระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 30 วินาที (s) และเทลงบนตะแกรงที่มีน้ำหล่อ แล้วใช้ผ้ามือหรือนิ้วเกลี่ยเยื่อให้ทั่วแผ่นอย่างสม่ำเสมอ ยกตะแกรงขึ้นจากน้ำในลักษณะตั้งตรงแล้ววางลงในแนวราบเพื่อให้น้ำระบายออกจากกระดาษให้หมด [8]

1.5 การตากกระดาษ: ตากกระดาษไว้ในร่มประมาณ 4 ชั่วโมง โดยสถานที่ตากต้องมีการอากาศถ่ายเทอย่างสะดวก เนื่องจากกระดาษจากใบสับปะรดมีการหดตัวสูง ดังนั้นการตากกระดาษในที่แดดจัดจะทำให้กระดาษมีการหดตัวอย่างรวดเร็วและหลุดออกจากตะแกรง



รูปที่ 1 แสดงการตากเยื่อสับปะรด

ขั้นตอนที่ 2 การปรับปรุงคุณสมบัติและการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์: นำกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยขนาด 75 มิลลิเมตร (mm) มาผสมสารให้ความคงตัว (CMC) ในปริมาณ 3 ระดับได้แก่ 50, 75 และ 100 กรัม (g) ดังแสดงในตารางที่ 2 ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 100–150 องศาเซลเซียส (°C) ความดัน 50 bar เวลา 15–20 วินาที (s)

ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนสภาพแวดล้อมที่ใช้ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษเคลือบผิวขนาด 75 มิลลิเมตร (mm)

รายการ	องค์ประกอบ	หน่วย	ปริมาณสารให้ความคงตัว		
			50 กรัม (C1)	75 กรัม (C2)	100 กรัม (C3)
1	น้ำหนักใบ	g	1000	1000	1000
2	ปริมาณน้ำเปล่า	ml	6000	6000	6000
3	โซเดียมไฮดรอกไซด์	g	50	50	50
4	เวลาที่ใช้ในการต้ม	hr	2.30	2.30	2.30
5	เวลาที่ใช้ในการตาก	hr	14	14	14

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์: ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ ความหนา ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ “ISO 535:1991” ความชื้น และ แรงดึง (ASTM D828-97) วิเคราะห์ผลด้วยสถิติ One Sample t-test และทดสอบความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์สำหรับบรรจุภัณฑ์สัมผัสอาหาร

3.1 การวัดความหนาของชั้นทดสอบ: ชั้นทดสอบจะถูกตรวจสอบด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (Digital Caliper) ความละเอียด $d = 0.001$ มิลลิเมตร (mm) วัดความหนาและหา

ค่าเฉลี่ย ตัวอย่างละ 4 ตำแหน่ง จากชั้นทดสอบในแต่ละสูตร

3.2 การทดสอบหาความหนาแน่น: คำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและปริมาณ สามารถตรวจสอบน้ำหนักได้จากเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง และปริมาณสามารถคำนวณได้จากผลคูณของขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาของชั้นทดสอบโดยทำการหาค่าเฉลี่ยจากชั้นทดสอบแต่ละสูตร โดยทำการตัดตัวอย่างขนาด 5×5 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) จากนั้นคำนวณความหนาแน่นดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Density} = \frac{\text{Mass}}{\text{Volume}}$$

เมื่อ $\text{Density} = \text{ความหนาแน่น} (\text{g}/\text{cm}^3)$

$\text{Mass} = \text{น้ำหนักชั้นทดสอบ (g)}$

$\text{Volume} = \text{ปริมาตรชั้นทดสอบ (cm}^3\text{)}$

3.3 การทดสอบค่าความชื้นในวัสดุ: ตัดชั้นทดสอบให้มีขนาด 5×5 เซนติเมตร (cm) นำไปชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง เป็นน้ำหนักก่อนอบ อบด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (°C) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ครบเวลานำออกมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณค่าความชื้นดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Moisture content} = \frac{W_1}{W_0} \times 100$$

เมื่อ $\text{Moisture content} = \text{ค่าความชื้นของชิ้นงาน (\%)}$

$W_0 = \text{น้ำหนักของชั้นทดสอบก่อนอบ (g)}$

$W_1 = \text{น้ำหนักของชั้นทดสอบหลังอบ (g)}$

3.4 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ: เตรียมชิ้นทดสอบขนาด 2.5×5 เซนติเมตร (cm) ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร (mm) ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนนำไปแช่ในน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 60 วินาที (s) โดยให้น้ำท่วมชิ้นทดสอบ หลังจากนั้นซับน้ำส่วนเกินด้วยกระดาษชำระและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ค่าปริมาณการดูดซึมน้ำจะคำนวณจากมวลของน้ำที่ชิ้นทดสอบดูดซึมไว้หารด้วยน้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำตามมาตรฐาน “ISO 535:1991” ซึ่งใช้สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำของกระดาษและบอร์ดโดยทำการหาค่าเฉลี่ยจากชิ้นทดสอบในแต่ละสูตร โดยคำนวณสมบัติการดูดซึมน้ำได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Water absorption} = \frac{W_1 - W_0}{W_0}$$

เมื่อ Water absorption = ค่าการดูดซึมน้ำ (gH₂O/g)

W₀ = น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (g)

W₁ = น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (g)

3.5 การทดสอบแรงดึง: เตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยตัดแต่งให้มีขนาดประมาณ 125×25.4 มิลลิเมตร (mm) ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร (mm) ขนาดของชิ้นทดสอบและวิธีการดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D828-97 ซึ่งใช้สำหรับทดสอบสมบัติ การดึงของกระดาษและบอร์ดโดยใช้อัตราการยืดตัวที่คงที่ ทำการทดสอบสมบัติแรงดึงด้วยเครื่อง ทดสอบเอนกประสงค์ ภาระกรรมสูงสุด 5 กิโลนิวตัน (kN) กำหนด ความเร็วที่ใช้ใน การดึง ชิ้นทดสอบ (Rate of grip separation) เท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/min) ที่อุณหภูมิห้อง

ทดสอบสมบัติแรงดึง และความยาวของเกจ (Gauge length) 80 มิลลิเมตรจากความยาว ศูนย์กลางเพื่อหาค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) และค่า เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation) ทดสอบ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 5 ครั้ง โดยทำการ คำนวณหาค่าแรงดึงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\sigma_m = \frac{F_m}{W_0}$$

เมื่อ σ_m = ต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm²)

F_m = แรงกระทำสูงสุด (N)

3.6 การทดสอบทางด้านความปลอดภัยของวัสดุสัมผัสอาหาร: ตรวจสอบด้านความสะอาดของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใย โดยใช้ชุดทดสอบความสะอาดของภาชนะที่สัมผัสอาหาร และมือ ตรวจสอบตัวอย่างชิ้นทดสอบ TC2 จำนวน 5 ตัวอย่างทดสอบ รวมถึงความเป็นกรด ด่างของกระดาษ วิธีการทดสอบใช้วิธีแช่กระดาษ ขนาด 15 x 25 มิลลิเมตร (mm) ในน้ำกลั่นทิ้งไว้ ให้สารจากกระดาษออกมาปะปนในน้ำแล้ววัด เป็นค่าพีเอช (pH) ของสารละลายน้ำที่ได้กระดาษ โดยทดลองตัวอย่างละ 3 ครั้ง [9]

3.7 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวัสดุ: การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรด ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส (°C) เป็นเวลา 5 วัน โดยสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไป

ผลการวิจัย

ผลการทดลองพบว่ากระดาษจากใบสับปะรดที่มีความยาวเส้นใย 75 มิลลิเมตร (mm) เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูป เนื่องจากผิวกระดาษมีความละเอียดและเรียบ เมื่อปรับปรุง

คุณสมบัติด้วยสารให้ความคงตัว CMC ปริมาณ 75 กรัม (g) พบว่าเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดจากการทดสอบคุณสมบัติทั้งทางกลและกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของกระดาษจากเส้นใยสับปะรดที่มีความยาวเส้นใยต่างกัน

ตัวอย่าง	ความยาวเส้นใย (mm)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	การดูดซึมน้ำ (gH ₂ O/g)	ความชื้น (%)	หมายเหตุ
A1	25	0.1850	4.12	6.82	เส้นใยสั้น ผิวหยาบ
A2	50	0.2012	3.87	6.45	ผิวค่อนข้างเรียบ
A3	75	0.2245	3.54	6.21	ผิวเรียบ เหมาะสมที่สุด*
A4	100	0.2180	3.71	6.38	ผิวเรียบ แต่เส้นใยาวเกิน
A5	125	0.1990	3.95	6.61	เส้นใยาวมาก ขึ้นรูปยาก

*สภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพและทางกลของกระดาษที่ผสมสารให้ความคงตัว (เส้นใย 75 มม.)

ตัวอย่าง	CMC (g)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	การดูดซึมน้ำ (gH ₂ O/g)	ความชื้น (%)	แรงดึง สูงสุด (N)	Tensile (N/mm ²)	หมายเหตุ
C1	50	0.2416	3.24	5.68	43.3	0.01386	ขาดความยืดหยุ่น
C2	75	0.2549	2.83	6.00	123.3	0.03946	เหมาะสมที่สุด*
C3	100	0.2380	2.64	5.76	136.7	0.04374	แข็งเกินไป

*สภาวะที่เหมาะสมที่สุด / ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ: $p < 0.05$ สำหรับทุกรายการทดสอบ

ผลการทดลองการอัดขึ้นรูปร้อนพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป คือ 130 องศาเซลเซียส (°C) เนื่องจากรูปทรงและรายละเอียดของบรรจุภัณฑ์ชัดเจนและบริเวณผิวเรียบไม่มีเส้นใยชี้ฟู เมื่อทดสอบความปลอดภัยของบรรจุภัณฑ์สัมผัสอาหาร ผลการทดสอบ 5 ตัวอย่างอยู่ในระดับ C ซึ่งแสดงว่าไม่มีเชื้อจุลินทรีย์เจือปนเหมาะสมสำหรับบรรจุอาหาร ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุด

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้พบว่ากระดาษจากเส้นใยสับปะรดที่มีความยาว 75 มิลลิเมตร (mm) ผสมสารให้ความคงตัว CMC 75 กรัม (g) และขึ้นรูปที่

อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ความดัน 50 bar เวลา 15 วินาที (s) เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ความแตกต่างระหว่างขนาดเส้นใยมีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งผลการคำนวณทางสถิติสอดคล้องกับผลการทดสอบทางกายภาพ สารให้ความคงตัว CMC ที่ผสมทั้งภายในและเคลือบผิวภายนอกกระดาษช่วยลดการซึมผ่านของน้ำได้ดีขึ้น แต่หากใช้ปริมาณมากเกินไปจะส่งผลให้บรรจุภัณฑ์มีความแข็งและเปราะ

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยธรรมชาติ พบว่าบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดในงานวิจัยนี้มีค่าความหนาแน่น 0.2549 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) และแรงดึง 0.0395 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm^2) ในระดับที่ใกล้เคียงกับบรรจุภัณฑ์จากกากอ้อย (Bagasse packaging) ซึ่งมีค่าแรงดึงอยู่ในช่วง 0.025–0.050 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm^2) แต่บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดมีข้อได้เปรียบด้านการย่อยสลายตามธรรมชาติและการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งสนับสนุนหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ข้อจำกัดด้านการดูดซึมน้ำที่ยังสูง ($2.83 \text{ gH}_2\text{O}/\text{g}$) เมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์เชิงพาณิชย์ ควรได้รับการแก้ไขด้วยการศึกษาสารเคลือบที่มีความต้านทานน้ำสูงขึ้น เช่น ขี้ผึ้งธรรมชาติหรือสารชีวภาพอื่น ๆ

แม้ว่าบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยสับปะรดจะยังมีข้อจำกัดด้านการดูดซึมน้ำ แต่มีแนวโน้มที่ดีในการพัฒนาต่อไปโดยการศึกษาวัสดุที่มีค่าต้านทาน

การซึมน้ำสูงเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษ และควรทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลเพิ่มเติม เช่น แรงกระแทก แรงดัดโค้ง แรงกด เพื่อให้ทราบถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับบรรจุภัณฑ์เมื่อมีแรงมากระทำ งานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อการส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ลดปัญหาขยะพลาสติก และช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต อัจฉริยะ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

References

- [1] Office of Agricultural Economics, “Agricultural Statistics of Ratchaburi Province,” Office of Agricultural Economics, Bangkok, Thailand, 2016.
- [2] T. Amornsakchai and N. Kengkhetkit, “Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fiber,” *Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University*, vol 4, no. 2, pp. 1–10, Jan–June, 2014.
- [3] Pollution Control Department, “Plastic Waste Management in Thailand,” Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok, Thailand, 2018.

- [4] S. Chaithammapakorn, “ Biodegradable Packaging from Agricultural Waste,” *Journal of Packaging Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 12-20, Jan-June, 2015.
- [5] N. Klinpikul and Jantarat Wutthisatwongkul, “*Paper Properties Testing Methods*,” Department of Packaging Technology, 2015.
- [6] A. Suphaporn, “*Polylactic Acid (PLA) Properties and Biodegradation*,” Biopolymer Research Thailand, 2011.
- [7] W. Surawatthanawiset, “ Hemicelluloses and Lignin in Natural Fibers,” *Journal of Bioresource Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 45-60, 2017.
- [8] M. Liwtaisong, “ Biodegradable Plastics: Classification and Properties,” *Polymer Science Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 22-35, 2013.
- [9] C. Sirikasemloet, *Pineapple Fiber: Processing and Applications*. Chiang Rai, Thailand: Agricultural Research Institute, 2011.

การประเมินอันตรายในสภาพแวดล้อมการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในอุตสาหกรรมรีไซเคิล

ญาณิศา ชุ่มใจรักษ์¹, ลักษณะ เหล่าเกียรติ²

^{1, 2}คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Email: laksana.laokiat@gmail.com²

Received: May 04, 2026

Revised: May 28, 2026

Accepted: May 29, 206

บทคัดย่อ

การศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวางย้อนหลังนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ชั่งอันตรายและ 2) ประเมินระดับความเป็นอันตรายในสภาพแวดล้อมการทำงานของการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยดำเนินการศึกษาผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมการทำงานจากข้อมูลทุติยภูมิ จำนวน 2 รอบ การตรวจวัดระหว่าง พ.ศ.2562 และ พ.ศ. 2565 ร่วมกับการเดินสำรวจกระบวนการทำงาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าสูงสุด-ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และประเมินผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมการทำงานเทียบค่ามาตรฐานตามกฎหมายในแต่ละด้านที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาพบว่า 1) สำรวจพบอันตรายในสภาพแวดล้อมการทำงาน 2 ด้าน ได้แก่ ด้านเคมี และด้านกายภาพ โดยด้านเคมีพบว่าค่าเฉลี่ยของฝุ่นรวม ($\leq 100 \mu\text{m}$) และฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้ ($\leq 10 \mu\text{m}$) มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดในปี พ.ศ. 2562 โดยค่าฝุ่นรวมเพิ่มจาก $0.39 \pm 0.02 \text{ mg/m}^3$ เป็น $0.46 \pm 0.06 \text{ mg/m}^3$ และค่าฝุ่นขนาดเล็กเพิ่มจาก 0.25 mg/m^3 เป็น 0.33 mg/m^3 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่าที่ตรวจวัดได้ทั้งหมดอยู่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานทางอาชีวอนามัย ขณะที่ฝุ่นทองแดงและฝุ่นตะกั่วตรวจพบในระดับต่ำมาก ส่วนด้านกายภาพพบว่าระดับเสียงเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดในปี พ.ศ. 2562 โดยลดจาก $67.40 \pm 0.85 \text{ dBA}$ เป็น $64.27 \pm 0.46 \text{ dBA}$ ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 2) ประเมินระดับความเป็นอันตรายพบว่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง การศึกษาครั้งนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าอันตรายในสภาพแวดล้อมการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีอยู่หลายด้านในแต่ละพื้นที่การทำงาน ซึ่งทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีโอกาสสัมผัสสิ่งคุกคามสุขภาพในสภาพแวดล้อมการทำงานหลายด้านร่วมกัน โดยเฉพาะเมื่อมีการทำงานแบบหมุนเวียนในแต่ละพื้นที่

คำสำคัญ: ขยะอิเล็กทรอนิกส์, การคัดแยก, การประเมินอันตราย, อุตสาหกรรมรีไซเคิล

Hazard Assessment in the Working Environment of Electronic Waste Sorting in a Recycling Industry

Yanisa Chumchairak¹, Laksana Laokiat²

^{1, 2}Faculty of Public Health, Thammasat University

Email: laksana.laokiat@gmail.com²

Received: May 04, 2026

Revised: May 28, 2026

Accepted: May 29, 2026

Abstract

This retrospective cross-sectional analytical study aimed to 1) identify hazards and 2) assess hazard levels in the working environment of electronic waste (e-waste) sorting. The study utilized secondary data from two monitoring periods between 2019 and 2022 to analyze the working environment, combined with a walk-through survey. Data were analyzed using descriptive statistics, including maximum and minimum values, means, and standard deviations. The working environment was evaluated against legal standards in each relevant aspect. The study revealed that 1) hazards in the working environment of sorting were found to fall into two categories chemical and physical. The average levels of total dust ($\leq 100 \mu\text{m}$) and respirable dust ($\leq 10 \mu\text{m}$) have increased since 2019. Total dust increased from 0.39 ± 0.02 to $0.46 \pm 0.06 \text{ mg/m}^3$, and respirable dust increased from 0.25 to 0.33 mg/m^3 . However, the measured values are still below the occupational health standards. Copper and lead dust levels were very low, while the average noise level over 8 hours has decreased since 2019, from $67.40 \pm 0.85 \text{ dBA}$ to $64.27 \pm 0.46 \text{ dBA}$, and remained within the standard limits. 2) The level of hazards was found to be moderate to high. This study indicates that hazards in the working environment of the e-waste sorting are multifaceted across different work areas, exposing workers to multiple health hazards if work is rotated between areas.

Keywords: E-waste, Hazard assessment, Recycling industry, Sorting

บทนำ

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกถูกคาดการณ์ว่าจะมีปริมาณเพิ่มเป็น 82 ล้านตัน ในปี 2030 [1] สะท้อนให้เห็นว่าปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์มีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้นในระดับโลก ซึ่งประเทศไทยเผชิญปัญหาที่มีลักษณะสอดคล้องกับแนวโน้มโลก โดยปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์จากครัวเรือนไทยในปี 2019 มีปริมาณ 421,335 ตัน โดยคาดการณ์ว่าอาจเพิ่มมากกว่าร้อยละ 40 ในอีก 10 ปี ข้างหน้า หรือราว 590,000 ตัน ในปี 2029 [2] เมื่อปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นย่อมส่งผลให้กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการคัดแยก การรวบรวม การรีไซเคิล และการรีไซเคิลชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขยายตัวตามไปด้วย ในบริบทของประเทศไทย โรงงานที่เป็นกลไกสำคัญในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ โรงงานประเภท 105 และโรงงานประเภท 106 โดยโรงงานประเภท 105 คือโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการคัดแยกหรือฝังกลบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามที่กฎหมายกำหนด ส่วนโรงงานประเภท 106 คือโรงงานที่นำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ไม่ใช้แล้วหรือของเสียจากโรงงานกลับมาเป็นวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ผ่านกรรมวิธีการผลิตทางอุตสาหกรรม [3]

ประเทศไทยมีโรงงานประเภท 105 และ 106 กระจายอยู่ในหลายจังหวัด สะท้อนให้เห็นว่ากิจกรรมจัดการของเสียและรีไซเคิลเป็นภาคอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่และมีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมของประเทศ เนื่องจากช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ลดต้นทุนวัตถุดิบ และลดปริมาณของ

เสียที่ต้องกำจัด [4] อุตสาหกรรมรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ เป็นกิจการเกี่ยวกับการกำจัดสิ่งปฏิกูลและหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว รวมทั้งการคัดแยกและบดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทุกประเภท กระบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดสิ่งคุกคามสุขภาพหลายประการ โดยเฉพาะฝุ่นและอนุภาคนาโนเล็กที่อาจปนเปื้อนโลหะหนักและสารอันตรายจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตะกั่วปรอท แคดเมียม และทองแดง รวมทั้งสารมลพิษตกค้างยาวนานบางชนิด เช่น โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs) และโพลีคลอริเนตเตดไบฟีนิล (Polychlorinated Biphenyls: PCBs) ซึ่งสามารถปนเปื้อนอยู่บนพื้นผิว วัสดุ อุปกรณ์ และในฝุ่นที่พบในสภาพแวดล้อมการทำงานได้ [5], [6] สารอันตรายดังกล่าวเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางการสูดดม การรับประทาน และการสัมผัสทางผิวหนัง [7] ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจ ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบไต [5]

กระบวนการทำงานของอุตสาหกรรมรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยการรับวัสดุหรือซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าสู่โรงงาน การคัดแยกตามประเภทวัสดุหรือชนิดของอุปกรณ์ การรื้อแยกชิ้นส่วนด้วยแรงงานหรือเครื่องมือ การตัดบด ย่อย หรือทำลายชิ้นส่วนให้มีขนาดเล็กลง และการแยกวัสดุที่มีมูลค่า เช่น โลหะ พลาสติก หรือแผงวงจร ออกจากกันด้วยวิธีทางกายภาพหรือเครื่องจักรเฉพาะ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนอาจก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นและอนุภาคนาโนเล็ดลอดโดยเฉพาะในขั้นตอนการรื้อถอน การตัด และการบดย่อยชิ้นส่วน [6]

จากการวิเคราะห์แนวโน้มข้อมูลทุติยภูมิ ระหว่างปี พ.ศ. 2562 และปี พ.ศ. 2565 ของ อุตสาหกรรมรีไซเคิลแห่งนี้ พบว่าฝุ่นรวม ($\leq 100 \mu\text{m}$) และฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้ ($\leq 10 \mu\text{m}$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกเหนือจาก อันตรายด้านเคมีดังกล่าวข้างต้น ยังพบอันตราย ด้านกายภาพ ได้แก่ เสียงดังจากเครื่องจักรบด หรือย่อย จึงกล่าวได้ว่ากระบวนการรีไซเคิลขยะ อิเล็กทรอนิกส์เป็นแหล่งของการสัมผัสอันตราย ต่อสุขภาพที่สำคัญของผู้ปฏิบัติงาน [5] จากงานวิจัยที่ ผ่านมา ส่วนใหญ่มักศึกษาแยกแต่ละปัจจัย โดย ยังขาดการศึกษาที่บูรณาการอันตรายหลายด้าน ร่วมกันในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ การ ประเมินอันตรายในสภาพแวดล้อมการทำงานคัด แยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ที่เป็นขั้นตอนแรกของ กระบวนการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ จึงมี ความสำคัญในการสร้างองค์ความรู้สำหรับการ ชี้ บ่งอันตราย ป้องกัน และควบคุมความเสี่ยงทาง อาชีวอนามัย ตลอดจนใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการ กำหนดมาตรการเพื่อคุ้มครองสุขภาพของแรงงาน ในอุตสาหกรรมรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์อย่าง เหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อชี้ บ่งอันตรายในสภาพแวดล้อมการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในอุตสาหกรรมรีไซเคิล
2. เพื่อประเมินระดับความเป็นอันตรายใน สภาพแวดล้อมการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในอุตสาหกรรมรีไซเคิล

ระเบียบวิธีวิจัย

1. รูปแบบการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบ ภาควัดขวางย้อนหลัง (Retrospective Analytical Cross-Sectional Study) โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิ จากผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมการทำงาน 2 รอบการตรวจวัดระหว่าง พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2565 ซึ่งเป็นข้อมูลตามรอบการตรวจรับรอง ระบบ ครอบคลุมอันตรายสภาพแวดล้อมการทำงานด้านเคมีและกายภาพของอุตสาหกรรม รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง ร่วมกับการ walk-through survey กระบวนการคัดแยกขยะ อิเล็กทรอนิกส์ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2568

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษานี้ มีเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บ รวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย

- 2.1 แบบบันทึกข้อมูล (Data record form) ผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมการทำงาน ประกอบด้วยข้อมูล ฝุ่นรวม (Total Dust), ฝุ่น ขนาดเล็กที่หายใจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable Dust), ฝุ่นทองแดง, ฝุ่นตะกั่ว และ ระดับเสียง (TWA) โดยดึงข้อมูลจากผลการ ตรวจวัดสภาพแวดล้อมการทำงานที่ดำเนินการ โดยบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งที่ได้รับการขึ้นทะเบียน ห้างปฏิบัติการวิเคราะห์เอกชน โดยรับการว่าจ้าง จากอุตสาหกรรมรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์แห่งนี้
- 2.2 แบบสำรวจกระบวนการคัดแยกขยะ อิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยข้อมูล แผนผังพื้นที่

การทำงาน การไหลของขยะอิเล็กทรอนิกส์ และ
อันตรายที่พบในแต่ละขั้นตอนการทำงาน

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอน
ดังนี้

3.1 ผู้วิจัยทำหนังสือผ่านคณะกรรมการสุขภาพ
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ถึงผู้จัดการ
โรงงานเพื่อขออนุญาตเข้าศึกษากระบวนการคัด
แยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ และใช้ข้อมูลผลการ
ตรวจวัดสภาพแวดล้อมการทำงาน

3.2 เมื่อได้รับอนุญาต ผู้วิจัยเข้าทำการ walk-
through survey กระบวนการคัดแยกขยะ
อิเล็กทรอนิกส์ ครอบคลุม 7 พื้นที่การทำงาน
และสังเกตอันตรายที่พบในแต่ละขั้นตอนของการ
ทำงานและจดบันทึกข้อมูล

3.3 ผู้วิจัยทำการบันทึกข้อมูลผลการตรวจวัด
สภาพแวดล้อมการทำงานลงใน Worksheet

3.4 ผู้วิจัยตรวจสอบความถูกต้องของชุด
ข้อมูลและทำการลงรหัส (Coding)

3.5 การศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาข้อมูล
สภาพแวดล้อมในการทำงานไม่มีการเก็บข้อมูลที่
เกี่ยวข้องกับคนหรือมนุษย์ จึงไม่เข้าข่ายต้องขอ
การรับรองจริยธรรมการวิจัยในคน

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการ
ทำงานที่ได้ลงรหัสและทำการตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว
นำไปวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่
ค่าสูงสุด-ค่าต่ำสุด (Maximum-Minimum) ค่าเฉลี่ย
(Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard

Deviation) และประเมินผลเทียบค่ามาตรฐาน
ตามกฎหมายในแต่ละด้านที่เกี่ยวข้องและ
ประเมินระดับอันตรายใช้แนวทางตามประกาศ
กระทรวงแรงงาน เรื่อง การประเมินอันตราย และ
การศึกษาผลกระทบของสภาพแวดล้อมในการ
ทำงานและการจัดทำแผนควบคุมดูแลถูกจ้างใน
สถานประกอบกิจการ พ.ศ. 2567 (ประกาศ ณ
วันที่ 14 พฤศจิกายน 2567) [8]

ผลการวิจัย

อุตสาหกรรมรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์
ตัวอย่างที่ศึกษาครั้งนี้ ตั้งอยู่ที่ อำเภอekinบุรี
จังหวัดปราจีนบุรี ได้รับใบอนุญาตประกอบ
กิจการโรงงาน ลำดับที่ 105 และ 106 ตาม
พระราชบัญญัติการประกอบกิจการโรงงาน ว่า
ด้วยการกำจัดสิ่งปฏิกูลและหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว
รวมทั้งคัดแยก/บดย่อยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทุก
ประเภท รวมถึงแบตเตอรี่เก่าที่ใช้แล้วทุกประเภท
อีกทั้งได้รับมาตรฐาน ISO 9001:2015, ISO
14001:2015, ISO 27001:2022 และได้รับการ
รับรองเป็นอุตสาหกรรมสีเขียวระดับที่ 3 จาก
กระทรวงอุตสาหกรรม จากการ walk-through
survey พบว่ามีการแบ่งพื้นที่การทำงานตาม
ประเภทขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่รับเข้ามา ทั้งหมด 7
พื้นที่ ได้แก่ 1) พื้นที่คัดแยกเครื่องปรับอากาศ
(Air Conditioner) 2) พื้นที่คัดแยกอุปกรณ์
เทคโนโลยีสารสนเทศ (IT Equipment) 3) พื้นที่
คัดแยกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Device)
4) พื้นที่คัดแยกเครื่องใช้ไฟฟ้า (Electronic
Appliance) 5) พื้นที่คัดแยกตู้เย็น (Refrigerator)
6) พื้นที่คัดแยกคอยล์ทองแดงและอะลูมิเนียมใน

เครื่องปรับอากาศ (Radiator Separator Air Conditioner) และ 7) พื้นที่จัดเก็บแบตเตอรี่ลิเทียม และตะกั่ว (Lithium Lead Battery Storage) และสังเกตพบอันตรายในพื้นที่ต่าง ๆ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังพื้นที่การทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และอันตรายที่สำรวจพบ

การสำรวจกระบวนการทำงานพบว่า เริ่มจากการรับขยะอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เข้าสู่พื้นที่ตามประเภทที่กำหนดไว้ จากนั้นขยะอิเล็กทรอนิกส์จะเข้าสู่ขั้นตอนคัดแยก รื้อแยกชิ้นส่วน แยกส่วนประกอบ หากวัสดุรีไซเคิลได้จะนำไปเก็บในจุดเก็บเพื่อรวบรวมส่งรีไซเคิลต่อไป ส่วนเศษซากที่เหลือจะถูกส่งไปกำจัดยังแหล่งรับกำจัดที่ได้รับอนุญาต สำหรับแบตเตอรี่เมื่อรับเข้ามาแล้ว จะเก็บรวบรวม ตามมาตรการ ESA (Environmental Safety Assessment) และส่งไปกำจัดยังแหล่งรับกำจัดที่ได้รับอนุญาตต่อไป ทั้งนี้ จากการเดินสำรวจสภาพแวดล้อมการทำงาน (walk-through survey) พบอันตรายหลักหรือสิ่งคุกคามสุขภาพ ได้แก่ เสียงดังจากการใช้สว่านและเครื่องดัดสายทองแดง และฝุ่น

จากข้อมูลผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ตารางที่ 1 พบว่า ค่าฝุ่นรวม (Total dust) ซึ่งตรวจวัดแบบพื้นที่ใน พ.ศ.2565 มีค่าเฉลี่ย $0.46 \pm 0.06 \text{ mg/m}^3$ สูงกว่า พ.ศ.2562 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย $0.39 \pm 0.02 \text{ mg/m}^3$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ OSHA ที่กำหนดให้ค่าฝุ่นรวมไม่เกิน 15 mg/m^3 พบว่าค่าที่ตรวจวัดได้ทั้งสองปียังต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ค่าฝุ่นขนาดเล็กที่หายใจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) ตรวจวัดแบบติดตัวบุคคลใน พ.ศ.2565 มีค่าเฉลี่ย 0.330 mg/m^3 สูงกว่า พ.ศ.2562 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0.25 mg/m^3 เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของ OSHA กำหนดไม่เกิน 5 mg/m^3 พบว่าค่าที่ตรวจวัดได้ยังต่ำกว่าเกณฑ์อยู่มาก แสดงว่าระดับฝุ่นใน

สภาพแวดล้อมการทำงานคัดแยกขยะยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทางอาชีวอนามัย

ฝุ่นทองแดง และฝุ่นตะกั่ว ค่าความเข้มข้นของโลหะทั้งสองชนิดในตัวอย่างฝุ่น ที่วิเคราะห์ได้พบว่ามีความค่าที่เท่ากันทั้งสองปี โดยทองแดงมีค่า 0.0001 และตะกั่ว เท่ากับ 0.0008 mg/m³ ตามลำดับ สะท้อนว่าระดับการปนเปื้อนของโลหะทั้งสองชนิดในบรรยากาศการทำงานอยู่ในระดับต่ำมากและต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ NIOSH กำหนดไว้ไม่เกิน 1 mg/m³ สำหรับทองแดง และต่ำกว่าค่ามาตรฐานตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ชีตจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย (ประกาศ ณ วันที่ 28 มิถุนายน

2560) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.05 mg/m³ สำหรับตะกั่ว

ระดับเสียงในสภาพแวดล้อมการทำงาน ในขั้นตอนการคัดแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยสว่านมือและเครื่องดัดเส้นทองแดง พบว่าระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ลดลงจาก 67.40 ± 0.85 เป็น 64.27 ± 0.46 dBA ในปี 2562 และ 2565 ตามลำดับ ซึ่งยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานระดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน พ.ศ.2561 (ประกาศ ณ วันที่ 13 ธันวาคม 2560) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 85 dBA

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

ตัวแปร	n	พ.ศ. 2562		พ.ศ. 2565	
		ค่าเฉลี่ย ± SD	Min-Max	ค่าเฉลี่ย ± SD	Min-Max
ฝุ่นรวม (≤100 µm) (mg/m ³)	4	0.39 ± 0.02	0.37-0.40	0.46 ± 0.06	0.42-0.50
ฝุ่นขนาดเล็ก (≤10 µm) (mg/m ³)	4	0.25	0.25-0.25	0.33	0.33-0.33
ฝุ่นทองแดง (mg/m ³)	4	0.0001	0.0001-0.0001	0.0001	0.0001-0.0001
ฝุ่นตะกั่ว (mg/m ³)	4	0.0008	0.0008-0.0008	0.0008	0.0008-0.0008
ระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมง (dBA)	4	67.40 ± 0.85	66.80-68.00	64.27 ± 0.46	64.00-64.80

การจัดระดับความเป็นอันตรายสภาพแวดล้อมในการทำงานคัดแยกขยะ ดังตารางที่ 2 พิจารณาโอกาสเกิดโดยแบ่งโอกาสที่จะเกิดอันตรายและ

ความรุนแรงของอันตราย เป็น 3 ระดับ ได้แก่ น้อย ปานกลาง มาก พบว่า ความถี่และระยะเวลาที่สัมผัสสิ่งที่เป็นอันตรายทั้งฝุ่น และเสียง เกิดขึ้น

ได้ง่ายอย่างต่อเนื่องหรือซ้ำ ๆ ตลอดการคัดแยก จึงได้คะแนนโอกาสที่จะเกิดอันตราย เท่ากับ 3 ส่วนฝุ่นตะกั่ว เกิดขึ้นเฉพาะกับชิ้นงานที่มีตะกั่ว เป็นส่วนประกอบ โอกาสจึงลดลงเท่ากับ 2 ด้าน

ความรุนแรงของอันตราย พบว่า การสัมผัสฝุ่น เสียง และฝุ่นตะกั่วอาจก่อให้เกิดการเจ็บป่วยที่ต้องได้รับการรักษาทางการแพทย์ จึงให้คะแนนความรุนแรงเท่ากับ 2

ตารางที่ 2 ระดับความเป็นอันตรายในสภาพแวดล้อมการทำงานคัดแยกขยะ

อันตรายที่พบใน สภาพแวดล้อมการทำงาน	คะแนน ¹		คะแนนความเป็นอันตราย ² (ระดับความเป็นอันตราย)
	โอกาส	ความรุนแรง	
ฝุ่น	3	2	6 (ระดับสูง ต้องมีการดำเนินงาน เพื่อลดระดับอันตราย)
เสียง	3	2	6 (ระดับสูง ต้องมีการดำเนินงาน เพื่อลดระดับอันตราย)
ฝุ่นตะกั่ว	2	2	4 (ระดับปานกลาง ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม)

¹ คะแนน = ระดับน้อย, 2 คะแนน = ระดับปานกลาง, 3 คะแนน = ระดับมาก

² 1 คะแนน = ระดับต่ำมาก, 2 คะแนน = ระดับต่ำ, 3-4 คะแนน = ระดับปานกลาง,

6 คะแนน = ระดับสูง, 9 คะแนน = ระดับสูงมาก

อภิปรายผล

อุตสาหกรรมรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ผู้วิจัยสำรวจนี้ มีกระบวนการทำงานที่เน้นการคัดแยก รื้อแยกชิ้นส่วน แยกส่วนประกอบ และส่งวัสดุที่คัดแยกได้ไปยังสถานประกอบการที่ได้รับอนุญาตเพื่อการรีไซเคิลหรือกำจัดอย่างเหมาะสมยังแหล่งรับกำจัดที่ได้รับอนุญาต ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวในอุตสาหกรรมแห่งนี้ไม่ครอบคลุมกระบวนการทั้งหมดในระดับสากลที่มองการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นกระบวนการต่อเนื่องตั้งแต่การรวบรวม (collection) การคัดแยกและรื้อถอน (sorting and dismantling) การบดย่อยหรือแยกวัสดุ (shredding and separation) การสกัด การหลอม หรือการรีไฟน์ วัสดุที่มีมูลค่า (recovery, smelting, or refining)

ไปจนถึงการกำจัดกากตกค้างที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ [9] รวมถึงกรอบการจัดการของสหภาพยุโรปที่ให้ความสำคัญกับการจัดเก็บแยก การบำบัดอย่างเหมาะสม และการนำทรัพยากรกลับคืนเพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจหมุนเวียนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [10] ดังนั้นโรงงานแห่งนี้จึงสะท้อนบทบาทด้านการรวบรวม คัดแยก และจัดการเบื้องต้น เท่านั้น แม้ว่าอุตสาหกรรมแห่งนี้ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน ลำดับที่ 105 และ 106 ตามพระราชบัญญัติการประกอบกิจการโรงงานก็ตาม

อันตรายจากสภาพแวดล้อมในการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ของอุตสาหกรรมรีไซเคิลแห่งนี้ พบ 2 ด้านหลักสำคัญ ได้แก่ ด้านเคมี และด้านกายภาพ โดยด้านเคมีพบฝุ่นตะกั่วและ

ทองแดงในบรรยากาศการทำงานซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละปี บ่งชี้ได้ว่าชนิดของวัสดุที่คัดแยกมีองค์ประกอบของสารตะกั่วและทองแดงน้อยหรือแหล่งกำเนิดโลหะหนักในพื้นที่การทำงานค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างจากโรงงานในแคนาดา ที่ผู้ปฏิบัติงานมีการคัดแยกจ่อภาพชนิดหลอดรังสีแคโทด มีการตรวจพบตะกั่วในตัวอย่างอากาศทุกตัวอย่าง โดยมีค่าสูงสุดคือ $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [11] ซึ่งมากกว่าค่าฝุ่นตะกั่วที่ตรวจพบในอุตสาหกรรมรีไซเคิลอิเล็กทรอนิกส์แห่งนี้ถึง 60 เท่า ในส่วนของทองแดงไม่ได้มีรายงานค่าตัวเลขโดยตรง จึงไม่สามารถเปรียบเทียบเชิงปริมาณได้อย่างสมบูรณ์ แต่ผลของงานดังกล่าวสนับสนุนว่าทองแดงเป็นหนึ่งในโลหะที่ตรวจพบได้ในบรรยากาศของสภาพแวดล้อมการทำงาน

นอกจากนี้ทีมงานวิจัยที่สนับสนุนให้เห็นว่ามีโลหะหนักจากขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะในพื้นที่คัดแยกที่พบว่าผู้ปฏิบัติงานมีความผิดปกติของหลายระบบ เช่น ระบบทางเดินหายใจ ผิวหนัง ระบบประสาท รวมถึงการเพิ่มความเสียหายรังสีบางชนิด [7] อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาในกลุ่มแรงงานรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ของ Decharat และ Kiddee (2022) รายงานอาการผิดปกติ เช่น ระคายเคืองตา ผื่นคันหรือผิวหนังอักเสบ ระคายเคืองจมูก ไอหรือจาม หายใจติดขัด ผิวดลอก และปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ โดยแต่ละอาการพบในช่วงร้อยละ 60-70 ของกลุ่มตัวอย่าง แสดงถึงผลกระทบทางสุขภาพที่สัมพันธ์กับอันตรายในสภาพแวดล้อมการทำงานค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ปฏิบัติงานในกระบวนการต่าง ๆ พบว่าบางกระบวนการมี

ความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติหลายรายการอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสะท้อนว่าลักษณะงานย่อย ๆ ภายในอุตสาหกรรมเดียวกันมีอันตรายจากสภาพแวดล้อมในการทำงานแตกต่างกันอย่างชัดเจน

การศึกษานี้พบอันตรายด้านกายภาพเพียงเรื่องเสียงดัง แม้ว่าจะไม่เกินค่ามาตรฐาน และไม่สอดคล้องกับสิ่งที่พบระหว่างการ walk-through survey ที่พบว่ามีความเสี่ยงดังต่อเนื่องเกิดขึ้น ซึ่งอาจเนื่องจากปริมาณงานมีมากในช่วงดังกล่าว จึงจัดได้ว่ามีความเป็นอันตรายในระดับสูงเพราะการสัมผัสเสียงต่อเนื่องเป็นเวลานานก่อให้เกิดการสูญเสียการได้ยินได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานที่ศึกษาในเมือง Agbogbloshie ประเทศกานา ณ สถานที่ทิ้งขยะที่ใหญ่ที่สุดในแอฟริกา ที่เป็นประเภทการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์แบบไม่เป็นทางการ พบว่าแรงงานร้อยละ 60 มี audiometric notches ที่สัมพันธ์กับภาวะสูญเสียการได้ยินจากเสียงดัง [12] นอกจากนี้ยังพบว่าแรงงาน e-waste มีการสัมผัสเสียงดัง ซึ่งอาจส่งผลให้มีอัตราความบกพร่องทางการได้ยินประมาณร้อยละ 20-32 [13] และการศึกษาในภาครีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์แบบไม่เป็นทางการมีลักษณะการทำงานกลางแจ้ง ใช้การทุบรื้อ และเผาแบบหยาบ พบว่า มากกว่าร้อยละ 40 ของคนงานมีการสัมผัสเสียงเกินเกณฑ์แนะนำทั้งระดับอาชีวอนามัย 85 dBA และระดับชุมชน 70 dBA [14] แสดงให้เห็นว่าระดับเสียงที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มีความแตกต่างกันไปตามลักษณะและปริมาณงาน

ระดับความเป็นอันตรายจาก เสียง ฝุ่น และ ฝุ่นที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เปลี่ยนแปลงไปตาม ปริมาณงาน และมาตรการควบคุม ซึ่งอันตรายใน สภาพแวดล้อมการทำงานข้างต้นอาจส่งผล กระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานได้ โดยงานวิจัย ที่ผ่านมาในประเทศไทยและต่างประเทศส่วนใหญ่ มักศึกษาปัจจัยคุกคามสุขภาพหรืออันตรายใน สภาพแวดล้อมการทำงานเฉพาะด้านแยกจากกัน เช่น ศึกษาเฉพาะโลหะหนัก การประเมินความ เสี่ยงจากการสัมผัสทางผิวหนัง หรือระดับตะกั่ว ในเลือด โดยยังขาดการศึกษาที่บูรณาการทั้งสิ่ง คุกคามทางเคมีและกายภาพร่วมกับผลกระทบต่อ สุขภาพของพนักงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งข้อค้นพบ จากการศึกษารังนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าอันตรายใน สภาพแวดล้อมการทำงานคัดแยกขยะ อิเล็กทรอนิกส์ในอุตสาหกรรมรีไซเคิลนั้นมีอยู่ รวมกันหลายด้านในแต่ละพื้นที่ของการทำงาน และหากว่าผู้ปฏิบัติงานทำงานแบบหมุนเวียนและ สามารถปฏิบัติงานได้ในทุกพื้นที่ของการคัดแยก ขยะอิเล็กทรอนิกส์แต่ละประเภท ก็จะทำให้มี โอกาสสัมผัสสิ่งคุกคามหรืออันตรายจากการทำงาน หลายด้านซ้ำ ๆ ร่วมกัน และอาจส่งผลกระทบต่อ สุขภาพในระยะยาว อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้ ยังมีข้อจำกัดจากการใช้ข้อมูลทุติยภูมิและการศึกษา ในอุตสาหกรรมรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ เพียงแห่งเดียว จึงไม่อาจสะท้อนภาพรวมของ อุตสาหกรรมรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดได้ และการ walk-through survey ดำเนินการใน ช่วงเวลาที่แตกต่างกับช่วงเวลาการตรวจวัด สภาพแวดล้อมในการทำงาน ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้ อาจมีความคลาดเคลื่อนหรือไม่สอดคล้องกันบาง

ประการในการนำข้อมูลมาใช้ประกอบการ วิเคราะห์และแปลผล

สรุปผล

ขั้นตอนการคัดแยกเป็นขั้นตอนที่สำคัญของ การรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ อันตรายใน สภาพแวดล้อมการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ที่พบ ได้แก่ เสียง ฝุ่น และฝุ่นที่มีการปนเปื้อน โลหะหนักบางชนิดตามแต่ลักษณะของขยะ อิเล็กทรอนิกส์ ระดับความเป็นอันตรายที่พบใน สภาพแวดล้อมการทำงานขึ้นอยู่กับปริมาณขยะ อิเล็กทรอนิกส์ที่รับเข้าสู่โรงงาน และแม้ว่า อันตรายต่าง ๆ ที่พบในสภาพแวดล้อมการทำงาน นั้นยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอาชีวอนามัย และยังไม่พบผลกระทบที่ชัดเจนแต่ควรมีการทบทวน มาตรการลดระดับอันตราย เพราะหากผู้ปฏิบัติงาน ได้รับสัมผัสสะสมติดต่อกันเป็นระยะเวลาหนึ่งอาจ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ โดยเฉพาะเมื่อ มีการสัมผัสอันตรายหลายด้านพร้อมกัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทรีไซเคิลขยะ อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้า ศึกษาในพื้นที่ และการเผยแพร่ผลการศึกษานี้ ได้รับการสนับสนุนจากหลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

References

- [1] United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), International Telecommunication Union (ITU), and International Solid Waste Association (ISWA), *The Global E-waste Monitor 2024*, 2024. [Online]. Available: <https://ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/>. [Accessed: Oct. 15, 2025].
- [2] A. Panyagometh, “The household e-waste management in Thailand: Challenges and opportunities towards circular economy,” *NIDA Development Journal*, vol. 64, no. 2, pp. 24–48, 2024.
- [3] Department of Industrial Works, “Main factory categories,” n.d. [Online]. Available: <https://www.diw.go.th/datahawk/factype.php>. [Accessed: Nov. 1, 2025].
- [4] A. Tita, “Electronic Waste Segregation System,” *The Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University*, vol. 11, no. 1, pp. 24–33, Jan.–Jun. 2023.
- [5] World Health Organization, *Electrical/ electronic waste and children’s health: Training for health care providers*, 2nd ed., Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2023.
- [6] M. López-Rodríguez, C. Reche, E. Pérez-Albaladejo, C. Porte, A. Balasch, E. Monfort, E. Eljarrat, and M. Viana, “E-waste dismantling as a source of personal exposure and environmental release of fine and ultrafine particles,” *Science of the Total Environment*, vol. 833, Art. no. 154871, 2022.
- [7] S. Samtichartsak, M. Jankaew, N. Tokhun, C. Khumtong, and N. Chotklang, “Impacts of electronic waste on environment and health,” *Journal of Medicine and Public Health, Ubon Ratchathani University*, vol. 7, no. 1, pp. 62–74, 2024.
- [8] Ministry of Labor, Thailand, “Notification of the Ministry of Labor regarding Hazard Assessment, Study of Workplace Environmental Impacts, and Preparation of Employee and Business Establishment Control Plans B.E. 2567 (2024),” *Royal Gazette*, vol. 141, Special Issue 321 Ng, Nov. 22, 2024.
- [9] Basel Convention, “E-waste amendments to the Basel Convention,” 2022. [Online]. Available: <https://www.basel.int/Implementation/Ewaste/EwasteAmendments/Overview/tabid/9266/Default.aspx>. [Accessed: Apr. 11, 2026].

- [10] European Commission, “Waste from electrical and electronic equipment (WEEE),” 2025. [Online]. Available: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en. [Accessed: Apr. 12, 2026].
- [11] S. Gravel, B. Bakhiyi, F. Labrèche, P. E. Rasmussen, M. Bouchard, M. Boudia, H. Yetis, D. Ceballos, and J. Zayed, “Occupational health and safety, metal exposures and multi-metals health risk assessment among workers in the formal electronic recycling industry in Canada,” *Waste Management*, vol. 165, pp. 15–27, 2023.
- [12] K. Carlson, N. Basu, J. N. Fobil, and R. L. Neitzel, “Metal exposures, noise exposures, and audiometry from e-waste workers in Agbogbloshie, Ghana,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 18, Art. no. 9639, 2021.
- [13] J. O. Okeme and V. H. Arrandale, “Electronic waste recycling: Occupational exposures and work-related health effects,” *Current Environmental Health Reports*, vol. 6, no. 4, pp. 256–268, 2019.
- [14] K. N. Burns, K. Sun, J. N. Fobil, and R. L. Neitzel, “Heart rate, stress, and occupational noise exposure among electronic waste recycling workers,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 13, no. 1, Art. no. 140, 2016.

เครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าวแบบใบตี่เกลียวสลับฟันปลา

อรนุช จินตาสกุลยนต์¹, วีระยุทธ สุริคำ², ศุภกฤษ สุขเจริญ³,

เสรี เพิ่มชาติ⁴, นพดล อุ่นใจ⁵

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

Email: surekum88@gmail.com*

Received: May 07, 2026

Revised: Jun 04, 2026

Accepted: Jun 08, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยเครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าวมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ ได้แก่การออกแบบและสร้างเครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าว โดยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องที่มีขนาดโดยรวมเครื่องมีขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 130 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร โครงสร้างทำจากเหล็กฉาก ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ 3 แรงม้า ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที มีชุดใบตี่ 18 ใบ เรียงแบบเกลียวสลับฟันปลาบนแกนเพลานขนาด 1.5 นิ้ว ผลการทดสอบพบว่าเครื่องสามารถแยกเส้นใยกาบมะพร้าวแห้งหนัก 1 กิโลกรัม ภายใน 4 นาที ได้เส้นใยเฉลี่ย 0.50 กิโลกรัม และขุยมะพร้าวเฉลี่ย 0.35 กิโลกรัม ผลตามเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดเกณฑ์การทดสอบประสิทธิภาพขั้นต่ำไว้ที่ร้อยละ 80 ของน้ำหนักตัวอย่าง ดังนั้น ประสิทธิภาพโดยรวมร้อยละ 85 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเครื่องช่วยลดการใช้แรงงานคนได้อย่างมีนัยสำคัญ สร้างรายได้เสริม ให้เกษตรกร และช่วยลดปัญหามลภาวะจากการเผาทำลายกาบมะพร้าว สรุปผลตามเกณฑ์มาตรฐานของผู้วิจัยที่ได้กำหนดเกณฑ์การทดสอบประสิทธิภาพขั้นต่ำไว้ที่ร้อยละ 80 ของน้ำหนักตัวอย่าง ดังนั้น ผลการทดสอบที่ร้อยละ 85 จึงแสดงให้เห็นว่าเครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าวที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

คำสำคัญ: เครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าว, ชุดใบตี่เกลียว, ขุยมะพร้าว, ประสิทธิภาพเครื่องจักร, เกษตรกรรมมูลค่าเพิ่ม, เครื่องจักรกลเกษตร

A Coconut Coir Fiber Extractor with Alternating Helical-Serrated Beater Blades

Oranuch Jindaskulyont¹, Weerayut Surekhum², Supakrit Sukjarern³,

Seri Permchart⁴, Nopphadon Unjai⁵

Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University

Email: surekum88@gmail.com*

Received: May 07, 2026

Revised: Jun 04, 2026

Accepted: Jun 08, 2026

Abstract

This research aimed to design and construct a coconut fiber extraction machine and to evaluate its operational efficiency. The machine dimensions were 50 cm wide, 130 cm long, and 120 cm high. The frame was fabricated from angle steel. Power transmission employed a single-phase 220-volt, 3-horsepower electric motor at 1,450 rpm, driving a shaft-mounted beating-blade assembly comprising 18 blades arranged in a helical, alternating pattern on a 1.5-inch axle. Performance tests demonstrated that 1 kg of dried coconut husk was processed in 4 minutes, yielding an average of 0.50 kg of fiber and 0.35 kg of coir dust. The results, based on the established criteria, show a minimum performance test threshold of 80% of the sample weight. Therefore, with an overall efficiency of 85%. The results confirm that the machine substantially reduces manual labor, generates supplementary income for farmers, and mitigates air-pollution caused by open burning of coconut husks.

Keywords: coconut fiber extraction machine, helical beating blade, coir dust, machine efficiency, agricultural value addition, agricultural machinery

บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีการใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางเป็นพืชที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์เป็นอย่างมากทั้งในด้านการบริโภค และเป็นวัตถุดิบเพื่อการอุตสาหกรรม มะพร้าวสามารถปลูกได้แทบทุกภาคของประเทศ แต่แหล่งผลิตมะพร้าวที่สำคัญส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ [1] ภาคกลางและภาคตะวันออกของประเทศ โดยเฉพาะซึ่งจังหวัดราชบุรีเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกมะพร้าวมากที่สุดเป็นอันดับ 1 ของประเทศ มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวเฉพาะในส่วนของมะพร้าวกว่า 80,000 ไร่ และคาดการณ์ปริมาณผลผลิตในเขตพื้นที่ยุทธศาสตร์ 4 จังหวัดนี้ในปี 2568 ไว้ที่ประมาณ 731,094 ตัน [2] มะพร้าวของจังหวัดราชบุรีเป็นมะพร้าวที่มีคุณภาพดี ทำให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ส่งผลให้ปัจจุบันมีการบริโภคเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง มะพร้าว 1 ผล ประกอบด้วยเนื้อและน้ำมะพร้าวปริมาณร้อยละ 40 กาบมะพร้าวปริมาณร้อยละ 52 และกาบมะพร้าวปริมาณร้อยละ 8 [1] การบริโภคมะพร้าวในส่วนที่ต้องการ คือ น้ำมะพร้าว และเนื้อมะพร้าว [3] ส่วนเปลือกมะพร้าวหรือกาบมะพร้าวนั้นยังไม่ค่อยมีการนำไปใช้ประโยชน์มากนัก ส่วนที่เหลือนำไปกองทิ้งไว้ หรือนำมาทำเป็นขุยมะพร้าวใส่กระถางต้นไม้ หรือนำกาบมะพร้าวรอกการเผาทำลายทิ้ง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดมลภาวะทางอากาศ หรืออาจลุกลามเกิดไฟไหม้ป่าไม้ หรือบ้านเรือนได้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาใช้ประโยชน์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เชือก พรม ที่นอน เป็นต้น

การแยกเส้นใยกาบมะพร้าวส่วนใหญ่ยังใช้แรงงานคนในการแยกเส้นใยมะพร้าวด้วยมืออยู่ ทำให้ผู้แยกเส้นใยเกิดความเมื่อยล้า และสิ้นเปลืองเวลาในการแยกเส้นใยจากกาบมะพร้าวมาก [4] การใช้เครื่องจักรเพื่อผลิตเส้นใยกาบมะพร้าวจะสามารถทุ่นแรงจากการใช้แรงงานคนได้มากในการแยกเส้นใยมะพร้าว และขุยมะพร้าวสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว [5] และสะดวกสบาย อีกทั้งยังเพิ่มผลผลิตในการแยกเส้นใยมะพร้าวด้วยเครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าว [1] ในงานวิจัยของอรุชา ดอนโคตรยังได้นำใบมีดจากเครื่องมือทางการเกษตรมาออกแบบสร้างเครื่องแยก และยังได้ขุยมะพร้าวจากกระบวนการแยกเส้นใยอีกด้วย [3] ซึ่งขุยมะพร้าวที่ได้ยังสามารถนำไปผสมกับดินเพื่อผลิตปุ๋ยใช้ในการปลูกต้นไม้ และผลิตกระถางปลูกต้นไม้หรือแผ่นอัดเส้นใยกาบมะพร้าว

จากเหตุผลที่กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาเครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าวเพื่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มของเปลือกมะพร้าว เพื่อช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น สร้างความเข้มแข็งให้แก่ชุมชน ลดการใช้แรงงานคน นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาต่อยอดเส้นใยกาบมะพร้าวให้เป็นเส้นใยเพื่อผลิตเส้นด้ายส่งจำหน่ายให้วิสาหกิจชุมชนในการผลิตสิ่งทอ ลดการเผาทำลายเปลือกมะพร้าวทั้งโดยเปล่าประโยชน์ ชะลอปัญหาภาวะโลกร้อนที่ส่งผลต่อสภาวะอากาศ ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมให้ยั่งยืน

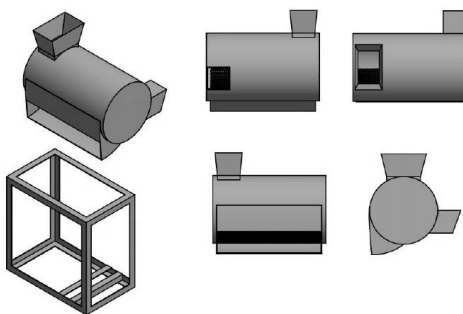
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าว
2. เพื่อศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าว

ระเบียบวิธีวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

1.1 เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงในพื้นที่อำเภอดำเนินสะดวกจังหวัดราชบุรี ซึ่งใช้เศษจากกาบมะพร้าวที่ปลูกแล้วเหลือทิ้งจากกระบวนการที่ผ่านการไล่ความชื้นจากแสงอาทิตย์ การวิจัยนี้ดำเนินการตามขั้นตอน สำหรับการออกแบบคำนวณการสร้างเครื่อง และการพัฒนาเครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าวเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ โดยทำการศึกษาทบทวนวรรณกรรม ในด้านแบบโครงสร้าง วัสดุ มาเป็นข้อมูลในการออกแบบ [6] และทำการสร้างเครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าว แล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพ



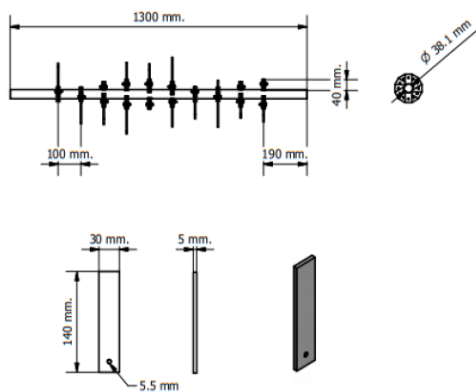
รูปที่ 1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าว

1.2 การออกแบบและคำนวณเครื่องแยก

เส้นใยกาบมะพร้าวที่มีความสำคัญด้านโครงสร้างแข็งแรงรูปแบบไม่ซับซ้อนซ่อมบำรุงรักษาได้ง่ายโดย [7] ออกแบบมีขนาดกว้าง 50 ซม. ยาว 130 ซม. สูง 120 ซม. โครงสร้างทำจาก เหล็กฉากหนา 6 และ 4 มิลลิเมตร ระบบส่งกำลัง ใช้มอเตอร์ ไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ 3 แรงม้า ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที ส่งกำลังผ่านสายพาน B59 ด้วยพูลเลย์ขนาด 4 นิ้ว (ฝั่งเพลลา) และ 6 นิ้ว (ฝั่งมอเตอร์) คำนวณกำลังมอเตอร์ที่ต้องการ $W_p = 2\pi nT/60$ ได้ผลเท่ากับ 792.78 วัตต์ หรือ 1.063 แรงม้า จึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า เพื่อให้มีกำลังสำรองเพียงพอ

2. การออกแบบชุดใบตี

การสร้างชุดใบตีนั้นประกอบด้วยแผ่นเหล็กบาง 18 ใบ กว้าง 3 นิ้ว ยาว 14 เซนติเมตร ติดตั้งบนแกนเพลลา 1.5 นิ้ว เรียงแบบเกลียวสลับ ซ้าย-ขวาแบบฟันปลา นำใบตีมาเชื่อมติดกับแกนเพลลา ทำการวัดระยะของใบตีให้มีความห่างแต่ละใบ ระยะห่างระหว่างใบ 5 ซม. ใบตี มี 2 แบบสลับกัน คือแบบเจาะรู 3 รู (ระยะห่าง 1.5 ซม.) และแบบไม่เจาะรู การออกแบบนี้อ้างอิง หลักการเครื่องต้นแบบ [8], [9]



รูปที่ 2 การออกแบบชุดใบตี



รูปที่ 4 ภาพการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 3 ภาพเครื่องแยกเส้นใยจากมะพร้าว

3. การสร้างเครื่อง

ดำเนินการสร้างเครื่องตามลำดับขั้นได้แก่ เชื่อมโครงฐานเหล็กติดตั้งพร้อมล้อยางติดตั้งลูกปืนวาล และแกนเพลาลูกเข้ากับโครงเครื่องทำการติดตั้งประกอบอุปกรณ์ส่งกำลังมอเตอร์ ที่ประกอบเข้ากับชุดพูลเลย์ และ สายพานกับชุดใบตีที่ทำการเชื่อมประกอบเสร็จโดย ติดตั้งเข้าในตะแกรงร่อน ประกอบตัวถังสแตนเลส ติดตั้งช่องป้อนกาก มะพร้าว และทาสีกันสนิม

4. การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง แยกเส้นใยจากมะพร้าวทางผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ การผ่านการทดสอบประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 80 ของการทดสอบแต่ละครั้ง โดยคิดจากน้ำหนักของ กากมะพร้าวแห้งที่ใช้ในการทดลอง คือ 1 กิโลกรัม ทำการทดสอบประสิทธิภาพของชุดใบตีว่า สามารถตีกากมะพร้าว เพื่อให้ได้เส้นใยมะพร้าว ตามที่ต้องการ คือเส้นใยมีความยาวยาวเร็ว แยกตัวกันเป็นเส้นๆ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแยกเส้นใยจากมะพร้าว ในแต่ละครั้งการทดสอบต่าง ๆ ถือว่าผ่านเกณฑ์ การทดสอบมากกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักกากมะพร้าวที่ใส่เข้าไป ประเมิน 4 รายการ ได้แก่ (1) ลักษณะ เส้นใยที่ได้ (2) เศษเส้นใยติดร่องใบตี (3) เศษฝุ่นจากตัวถัง และ (4) การไหลของ เส้นใยออกจาก ช่องทางออก

ผลการวิจัย

จากการศึกษานี้ได้ทำการออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแยกเส้นใยจากมะพร้าวในด้านการออกแบบระบบตัวเครื่องและใบตีแบบพับตัว แยกซ้าย ขวาจากแกนเพลลาได้ โดยมีการเรียงตัวของใบตีอยู่ในแบบหมุนเป็นเกลียวตามทิศทางการหมุนของมอเตอร์กำลังไฟฟ้า โดยมีการเรียงแบบสลับฟันปลา ซ้าย ขวาสามารถตีจากมะพร้าวให้เป็นเส้นใยจากมะพร้าวลักษณะเป็นเส้นยาวเรียวยาวและแยกออกจากกันเป็นเส้น ๆ เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี ผ่านเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ร้อยละ 80 ของน้ำหนักจากมะพร้าวต่อ 1 กิโลกรัม ส่วน

ด้านประสิทธิภาพเครื่องแยกเส้นใยจากมะพร้าว สามารถแยกจากมะพร้าว 1 กิโลกรัม โดยใช้เวลา 4 นาที และได้ปริมาณเส้นใยจากมะพร้าว 0.5 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 50 ได้ปริมาณขุยมะพร้าว 0.35 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 35

ผลการทดสอบประสิทธิภาพ (Performance Test Results) ของเครื่องแยกเส้นใยจากมะพร้าว ได้ทำการทดสอบตามลำดับดังนี้

การทดสอบครั้งที่ 1 การตีจากมะพร้าว ชุดใบตี ตัวถัง และช่องทางออกของเส้นใย โดยกำหนดเกณฑ์ผ่านไม่เกินร้อยละ 20 ใช้จากมะพร้าวน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเครื่องแยกเส้นใยจากมะพร้าว ครั้งที่ 1

ส่วนที่ทดสอบ	ผลการทดสอบ	ผล
ใบตีจากมะพร้าว (Beater Blade)	ได้เส้นใยตามต้องการ	ผ่าน
ชุดใบตี (Beater Set)	มีเศษเส้นใยติดตามร่องใบตี เกิน 20%	ไม่ผ่าน
ตัวถัง (Body Frame)	มีเศษฝุ่นออกจากตัวถัง เกิน 20%	ไม่ผ่าน
ช่องทางออกเส้นใยมะพร้าว (Fiber Outlet)	เส้นใยไม่ไหลออก	ไม่ผ่าน

ผลการทดสอบพบปัญหาเส้นใยอัดแน่นในร่องชุดใบตีทำให้ชุดใบตีไม่หมุน มอเตอร์หยุดทำงาน และปัญหาของตัวถังเมื่อใส่กากลงในช่องป้อนพบว่ากากมะพร้าวลงไปชนกับใบตีซึ่งทำให้กากลอยย้อนกลับออกจากทางป้อนและเส้นใยไม่ไหลออกส่งผลให้เกิดฝุ่นละอองฟุ้งกระจายออก

จากตัวถัง เกินร้อยละ 20 ผลที่ได้ผ่านเกณฑ์เพียง 1 จาก 4 รายการ และได้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุง

การทดสอบครั้งที่ 2 ภายหลังปรับปรุงแก้ไขระยะใบตี และช่องทางออกให้เหมาะสมพร้อมอุดรอยรั่วตัวถังแล้วทำการทดลองซ้ำ ผลการทดสอบผ่านเกณฑ์ทั้ง 4 รายการ โดยเส้นใยที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียวยาวแยกตัวออกชัดเจนดัง ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเครื่องแยกเส้นใยจากมะพร้าว ครั้งที่ 2

ส่วนที่ทดสอบ	ผลการทดสอบ		
	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผลการทดสอบ
1. กาบมะพร้าว	ผ่าน	-	ได้เส้นใยตามต้องการ
2. ชุดใบตี	ผ่าน	-	มีเศษเส้นใยติดตามร่องใบตี น้อยกว่า 20 %
3. ตัวถัง	ผ่าน	-	มีเศษฝุ่นออกจากตัวถังน้อยกว่า 20 %
4. ช่องทางออกเส้นใย	ผ่าน	-	เส้นใยไหลออกได้ตามที่ต้องการ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องแยกเส้นใยจากมะพร้าวในระยะที่ 2 พบว่าการปรับปรุงชุดใบตี (Beater Blades) ช่วยแก้ปัญหาเส้นใยอุดตันได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยผลการทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ในทุกมิติ ดังนี้

1. ประสิทธิภาพการแยกเส้นใยของเครื่องสามารถแยกเส้นใยที่มีลักษณะยาวเรียวยาวและกระจายตัวออกจากกันได้อย่างชัดเจน โดยมีอัตราการไหลออกของเส้นใยสูงถึงร้อยละ 80 ของน้ำหนักวัตถุดิบ (1 กิโลกรัม) ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายการออกแบบ แสดงดังรูปที่ 4

2. การลดความสูญเสียในระบบ ปริมาณเศษเส้นใยที่ค้างในร่องใบตีมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 ตามเกณฑ์ที่กำหนด แสดงถึงประสิทธิภาพเชิงกลของชุดใบตีที่สัมพันธ์กับตัวถัง

3. การควบคุมเศษวัสดุ การออกแบบตัวถังสามารถจำกัดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองได้ดี โดยมีเศษฝุ่นเล็ดลอดออกมาน้อยกว่าร้อยละ 20

สรุปได้ว่าเครื่องแยกเส้นใยจากมะพร้าวแบบใบตีเกลียวสลับฟันปลาที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการทำงานที่เสถียรขึ้นสามารถลดปัญหาการติดขัดของวัสดุในชุดอุปกรณ์



รูปที่ 4 ลักษณะของเส้นใยที่ผ่านเกณฑ์

การทดสอบครั้งที่ 3 ทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต่อ 1 กิโลกรัม

ครั้งที่	น้ำหนักที่ได้ (กก.)		เวลา (นาที)
	เส้นใย	ขุย	
1	0.6	0.3	3.5
2	0.5	0.4	4
3	0.6	0.4	4.1
4	0.6	0.3	3.48
5	0.5	0.3	3.5
6	0.6	0.3	4
7	0.5	0.4	4.12
8	0.6	0.4	3.56
9	0.6	0.3	4
10	0.5	0.4	4.1
ค่าเฉลี่ย	0.5	0.35	4

จากการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องแยกเส้นใยคาบมะพร้าว โดยใช้ปริมาณตัวอย่างคาบมะพร้าวน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต่อครั้ง แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าเครื่องสามารถแยกผลผลิตเฉลี่ยได้เส้นใยคาบมะพร้าว 0.50 กิโลกรัม ขุยมะพร้าว 0.35 กิโลกรัม ระยะเวลาดำเนินการเฉลี่ย 4 นาทีต่อกิโลกรัม ซึ่งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพปริมาณผลผลิตรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.85 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 85 ของน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด สำหรับส่วนต่างร้อยละ 15 ที่สูญหายไป เกิดจากเศษเส้นใยที่ตกค้างในชุดใบตีและการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองในระหว่างกระบวนการ

ซึ่งสามารถสรุปผลตามเกณฑ์มาตรฐานของผู้วิจัยที่ได้กำหนดเกณฑ์การทดสอบประสิทธิภาพขั้นต่ำไว้ที่ร้อยละ 80 ของน้ำหนักตัวอย่าง ดังนั้นผลการทดสอบที่ร้อยละ 85 จึงแสดงให้เห็นว่าเครื่องแยกเส้นใยคาบมะพร้าวแบบใบตีเกลียวสลับฟันปลาที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และผ่านการทดสอบได้ตามมาตรฐาน อย่างมีนัยสำคัญ [10]

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

จากผลการทดลองพบว่า [11], [12] เครื่องแยกเส้นใยคาบมะพร้าวสามารถผลิตเส้นใย 7.5 กก./ชั่วโมง และขุยมะพร้าว 5.25 กก./ชั่วโมง การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนใช้สมการ $N = F/(P-V)$ [13], [14] ดังตารางที่ 4 นี้

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเครื่องแยกเส้นใยคาบมะพร้าว

รายการ	ปริมาณ (หน่วย)	มูลค่า (บาท)
ต้นทุนสร้างเครื่อง (Machine Cost)	-	20,000
ค่าไฟฟ้า/วัน (8 ชั่วโมง)	8 ชม.	106
ค่าแรงงาน/วัน	1 คน	300
รายได้จากเส้นใยมะพร้าว/วัน (60 กก. × 25 บาท)	60 กก.	1,500
รายได้จากขุยมะพร้าว/วัน (42 กก. × 5 บาท)	42 กก.	210
กำไรสุทธิต่อวัน (หักค่าไฟและค่าแรง)	-	1,307
ระยะเวลาคืนทุน (Break-even Point)	$N = F / (P-V)$	≈ 16 วัน

จากสมการ $N = F/(P-V) = 20,000/1,307 = 15.3$ วัน [15] ดังนั้น เครื่องแยกเส้นใยคาบมะพร้าวจะคืนทุนภายใน 16 วันทำงาน ซึ่งถือว่ามีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็ก และวิสาหกิจชุมชน

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการสร้างเครื่องแยกเส้นใยคาบมะพร้าว โดยมีคุณลักษณะทางเทคนิคที่สำคัญคือ ชุดใบตีภายในถังที่ออกแบบให้สามารถพับตัวได้และจัดเรียงแบบสลับฟันปลาในลักษณะเกลียวตามทิศทางการหมุน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [1], [9], [16] ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกเส้นใยออกจากคาบมะพร้าวได้อย่างสมบูรณ์จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องด้วยการป้อนคาบมะพร้าวแห้งน้ำหนัก 1 กิโลกรัม พบผลลัพธ์ที่เป็นนัยสำคัญทางสถิติในด้านประสิทธิภาพการผลิต ที่เครื่องสามารถแยกเส้นใยได้ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ของน้ำหนักวัตถุดิบ (0.5 กก.) และได้ขุยมะพร้าวร้อยละ 35

(0.35 กก.) และประสิทธิภาพด้านเวลาที่ใช้เวลาในการดำเนินการเฉลี่ย 4 นาทีต่อวัตถุดิบ 1 กิโลกรัมโดยมีคุณภาพของเส้นใยที่ได้มีความยาวเร็ว และแยกออกจากกันเป็นเส้นชัดเจน ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานการยอมรับที่ร้อยละ 80

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองยังมีข้อจำกัดที่สำคัญบางประการที่ควรนำไปพิจารณาเพิ่มเติมโดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องมือมีประสิทธิภาพสูงสุดกับกาบมะพร้าวแห้ง แต่ยังมีข้อจำกัดกับกาบมะพร้าวสด และอัตราการป้อนวัตถุดิบในปริมาณมาก และยังพบปัญหาวัสดุตกค้างภายในถึงบางส่วน ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนและตำแหน่งของใบตื้อต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองขุยมะพร้าวในขณะปฏิบัติงานเป็นปัจจัยหลักที่ต้องได้รับการจัดการด้านอาชีวอนามัย

เพื่อการพัฒนาสู่ระดับอุตสาหกรรม ให้มีความสมบูรณ์ในระดับการผลิตจริง ควรเพิ่มจำนวนใบตื้อและปรับมุมเอียงให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มแรงเฉือนและการลำเลียงเศษวัสดุออกจากถังให้หมดและติดตั้งแผ่นยางซิลิโคนบริเวณฝาถังเพื่อปิดช่องว่างอากาศ และปรับปรุงช่องคายขุยมะพร้าวให้รองรับการบรรจุลงโดยตรงเพื่อลดมลภาวะทางอากาศ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาเทคโนโลยีการผลิตอัจฉริยะ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ซึ่งเป็นสถานที่ทำการวิจัยที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลองครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

References

- [1] N. Ariyajinno, “Design and Development of Coconut Choir Shredding Machine.” *Journal of Science, Engineering and Technology*, vol.1 no.1, pp. 11–18, 2021.
- [2] Office of Agricultural Economics, “Agricultural economic conditions in 2025 and trends for 2026,” Ratchaburi Province. Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2025. [Online]. Available: <https://zone10.oae.go.th/>. [Accessed: Jun. 8, 2026].
- [3] P. Perdana, et al. “ Design and Development of Coconut Husk Extraction Machine.” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1097. No. 1, 2022.
- [4] H. A. Atienza et al., “Design and performance assessment of a combined grater and milk extraction mechanism for coconut meat,” in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2947, no. 1, 2025.
- [5] P. Sereepawong, “Design and construction of a coconut husk potting material grinder controlled by PLC.” *Journal of Management Technology, Mahasarakham Rajabhat University*, vol. 6, no.2, pp. 47–56, 2019.

- [6] F. A. Ovat and S. O. Odey, "Development and performance evaluation of coconut dehusking machine," *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, vol. 8, no. 10, pp. 15–23, 2019.
- [7] M. Okwu, "Design and development of plantain fibre extraction machine," *Nigerian Journal of Technology*, 2018.
- [8] O. Surve et al., "Design and Fabrication of Coco Peat Extraction Machine," pp. 269–273, 2023.
- [9] P. Yamban, M. Polsrilap, and W. Suwanpon, "Development of a coconut husk fiber separator," *Journal of Vocational Education Research and Innovation*, vol. 4, no. 1, pp. 82–88, 2020.
- [10] P. Pattanawasanporn, & Lekrungronggid, N. "Breakeven point analysis for investment in machinery for design of material handling systems in the production line of animal feed." A case study of Betagro Company. *Engineering Journal of Research and Development*, vol. 32, no. 3, pp.97–112, 2021.
- [11] V. Fernández Bedoya, H. "Break-even point and its impact on profit planning in educational institutions A study conducted in Lima. " Peru, 2022. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, vol. 13, no. 3, 2024.
- [12] H. V. Fernández-Bedoya, M. E. Meneses-La-Riva, J. A. Suyo-Vega, and J. J. S. Gago-Chávez, "Determination of the breakeven point for motivation towards the formalization of micro and small commercial companies in Lima, Peru," *International Journal of Entrepreneurship*, vol. 25, no. 8, pp. 1–8, 2021.
- [13] O. G. Nworie, T. G. Okafor, C. C. Igwebuike, and D. O. C. Innocent, "Utilizing cost-volume-profit analysis for informed decision making in small business management," *Central Asian Journal of Innovations on Tourism Management and Finance*, vol. 4, no. 2, pp. 102–115, 2023.
- [14] M. Mohd Fadzil, S. E. Wan Puteh, A. N. Aizuddin, Z. Ahmed, N. A. Muhamad, and A. A. Harith, "Cost volume profit analysis for full paying patient services in Malaysia: A study protocol," *PLOS ONE*, vol. 18, no. 11, Art. no. e0294623, 2023.
- [15] G. Kiradoo, "A comprehensive examination of cost-volume-profit analysis in business profit." SSRN Electronic Journal, 2023.
- [16] P. Paowong, S. "Design and Construction of Planting Coconut Husk Material Grinding Machine with PLC Controller." *Journal of Management Technology, Mahasarakham Rajabhat University*, vol. 6, no. 2, pp. 47–56, 2019.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เป็นวารสารตีพิมพ์และเผยแพร่บทความวิจัยในด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้จะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ท่านต่อหนึ่งบทความ และต้องได้รับความเห็นชอบจากบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา โดยบทความที่พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารอื่น กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขต้นฉบับและการพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง โดยมีข้อเสนอแนะในการส่งบทความดังนี้

การเตรียมต้นฉบับบทความ

ชื่อเรื่อง (Title)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรรสั้น กระชับ ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ และสื่อความหมายของเรื่องที่อย่างชัดเจน
ชื่อ นามสกุลของผู้เขียน	ระบุชื่อนามสกุลเต็ม ของผู้เขียนให้ครบทุกคน <u>โดยไม่ต้องใส่คำนำหน้านามใด ๆ</u> ระบุสถานที่ทำงานหรือหน่วยงานที่สังกัดของผู้เขียน, ไปรษณีย์ อิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
บทคัดย่อ (Abstract)	มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษเป็นเนื้อความสรุปสาระสำคัญของเรื่อง ครอบคลุมวัตถุประสงค์ วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย และผลสรุป มีความยาวไม่เกิน 250 คำ ให้พิมพ์คอลัมน์เดียว
คำสำคัญ (Keyword)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ จำนวน 3-5 คำ
บทนำ	อธิบายถึงความสำคัญหรือที่มาของปัญหาที่ทำการศึกษา วัตถุประสงค์ และอาจรวมไปถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
เนื้อเรื่อง	ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย กระชับรัดกุมและชัดเจน
วิธีการวิจัย	อธิบายขั้นตอนการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย
ผลการวิจัย	อธิบายผลการทดลองที่พบอย่างชัดเจน ครบถ้วน
สรุปและอภิปรายผล	เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร โดยต้องมีการอ้างอิงทฤษฎีหรือผลการศึกษาของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ

กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)	ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง
เอกสารอ้างอิง (References)	การอ้างอิงในบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลขตามมาตรฐานสากลดังที่แสดงไว้ในส่วนท้ายของประโยคนี้ [1] เอกสารอ้างอิงท้ายบทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงในบทความ ตามรูปแบบของ IEEE (http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf) <u>โดยแปลเอกสารอ้างอิง (References) จากภาษาไทยให้เป็นภาษาอังกฤษ</u>
รูปภาพและตาราง	ต้องมีความคมชัดเป็นภาพขาวดำที่ชัดเจน มีคำอธิบายสั้น ๆ ครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า “ตารางที่.....” และอธิบายใส่ไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า “รูปที่.....” และมีคำอธิบายใส่ไว้ใต้รูป

รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิง

ตัวอย่างการอ้างอิงหนังสือ

- [1] ชื่อผู้แต่ง, *ชื่อหนังสือ(ตัวเอียง)*, (พิมพ์ครั้งที่), เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์, ปีที่พิมพ์.
- [2] สมชาย ประสิทธิ์จุตระกูล, *การออกแบบและวิเคราะห์อัลกอริทึม*, กรุงเทพฯ: เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC), 2001.
- [3] J.R. Quinlan, *C4.5: Programs for Machine Learning*, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, California, 1993.

ตัวอย่างการอ้างอิงจากการประชุมวิชาการ

- [4] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” ใน หรือ In, *ชื่อการประชุมวิชาการ, ชื่อย่อการประชุมวิชาการ, ชื่อสถานที่จัดงาน*, วัน เดือน ปี ที่จัดงาน, เลขหน้า.
- [5] วรฤทัย หาญโชติพันธุ์, “การศึกษาแนวทางขวัญและกำลังใจในการปฏิบัติงานของบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา,” ใน *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ครั้งที่ 8*: 2559, น. 726-735.
- [6] H. Worraruethai, “Staff Morale in Working at Suan Sunandha Rajabhat University,” in *XII International Conference on Human Resource Management and Professional Development (ICHRMPD 2014)*, Paris, France, 2014, pp. 27-36.

ตัวอย่างการอ้างอิงจากวารสาร

- [7] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” ชื่อวารสาร, ปีที่, ฉบับที่, เลขหน้าบทความที่อ้างอิง, เดือนที่พิมพ์, ปีที่พิมพ์.
- [8] วรฤทัย หาญโชติพันธุ์, “วัสดุทางวิศวกรรม,” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, ปีที่4, ฉบับที่ 2, หน้า 37-42, มกราคม-มิถุนายน, 2559.
- [9] M. Ito et al., “Application of amorphous oxide TFT to electrophoretic display,” *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 354, no. 19, pp. 2777–2782, Feb. 2008.

การอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์หรือสารนิพนธ์

- [10] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์,” วิทยานิพนธ์หรือสารนิพนธ์ ชื่อย่อปริญญา (สาขา), ชื่อมหาวิทยาลัย, ชื่อเมือง, ชื่อประเทศ, ปีที่พิมพ์.
- [11] วรฤทัย หาญโชติพันธุ์, “ปัจจัยที่ส่งผลต่อการศึกษา,” วิทยานิพนธ์ บธ.ม. (การบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2551.
- [12] J. O. Williams, “Narrow-band analyzer,” Ph.D. dissertation (Electrical Engineering), Harvard University, Cambridge, MA, USA, 1993.

การส่งต้นฉบับบทความ

ส่งบทความผ่านระบบ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/fit-ssru> เท่านั้น หากต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม สามารถติดต่อได้ที่ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทองนอก แขวงวังศิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 23 โทรสาร 0 2160 1440 Email : fit_journals@ssru.ac.th



คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

จัดพิมพ์โดย : คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

1 ถนนอุททองนอก เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทร 0 2160 1438 ต่อ 23 เว็บไซต์ <https://ph01.tci-thajo.org/index.php/fit-ssru>