



ปีที่ 7 ฉบับที่ 1

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ
JOURNAL OF BANSOMDEJ ENGINEERING AND INDUSTRIAL TECHNOLOGY

Faculty of Engineering and industrial Technology
Bansomdejchaopraya Rajabhat University

เดือน มกราคม - มิถุนายน 2569

ISSN : 3027-8716 (PRINT)

ISSN : 3027-8856 (ONLINE)

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ
Journal of Bansomdej Engineering and Industrial
Technology

ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2569)

Vol. 7 No. 1 (Jan. – Jun. 2026)

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ

Journal of Bansomdej Engineering and Industrial Technology

ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 (ราย 6 เดือน)

ISSN: 3027-8716 (Print)

ISSN: 3027-8856 (Online)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นแหล่งรวบรวมผลงานทางด้านบทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่น่าสนใจ และยกระดับวารสารให้เข้าสู่ฐานข้อมูล (TCI)
2. เพื่อเป็นสื่อในการนำเสนอสำหรับใช้อ้างอิงและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการเสริมสร้างศักยภาพในเชิงวิชาการ อันจะเป็นประโยชน์แก่คณาจารย์ นักศึกษาและบุคคลผู้ให้ความสนใจ

เป้าหมายและขอบเขตของวารสาร

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยามีขอบเขตผลงานทางวิชาการและงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ได้แก่ วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมพลังงาน วิศวกรรมยานยนต์ไฟฟ้า วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ และด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้แก่ เทคโนโลยีโลจิสติกส์ เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม เทคโนโลยีสถาปัตยกรรม การจัดการวิศวกรรมการผลิตและคลังสินค้า ออกแบบผลิตภัณฑ์และนวัตกรรม และเทคโนโลยีอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. กฤติธฤต ทองสิน

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยศวจน์ ชีววรรณทรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ
นครเหนือ

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.อนุชา หิรัญวัฒน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ
นครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.ขรรค์ชัย ตูลละสกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร

มหาวิทยาลัยสยาม

รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพงศ์ จำรัส

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์อนุกุล พลศิริ

ข้าราชการบำนาญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภพัชร พวงแก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กชกร หัสโรค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
รัตนโกสินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรกมล บุญโยธิน

มหาวิทยาลัยมหิดล

คณะกรรมการประเมินบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.รัฐไท พรเจริญ

รองศาสตราจารย์ ดร.อัคนันท์ อัครวิทย์โกศล

รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวัฒน์ ลาวัณย์วิสุทธิ

รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ พลธิราช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ภูสมมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุฒิ สิริเกษมสุข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต แต่งศรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรณญัตติ บริบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ครองกิจศิริ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ปิ่นสกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภพัชร พวงแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ รนต์ละออง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภิตา ท่วมมี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชรรัตน์ นุชประยูร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เติมยศ เสนิงค์ ณ ออยุธยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์ สงค์แสงยศ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ดา หอมหวล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นทิวรี ไชยจำ

อาจารย์ ดร.รัชดาภรณ์ บุญทรง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

มหาวิทยาลัยบูรพา

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

สุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยธนบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ

เจ้าพระยา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

สุวรรณภูมิ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยชินวัตร

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ

เจ้าพระยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

กำหนดการเผยแพร่

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

เจ้าของวารสาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา

จัดพิมพ์โดย

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ชั้น M อาคาร 24
1061 ซอยอิสรภาพ 15 ถนนอิสรภาพ แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600
โทร. 02-473-7000 ต่อ 5650-5655 เว็บไซต์: <http://eit.bsru.ac.th>
จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: journal.en@bsru.ac.th

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ทุกบทความได้รับการพิจารณาจากคณะกรรมการกลั่นกรองบทความ (Peer review) จาก
หลากหลายสถาบันและไม่อยู่สังกัดเดียวกันกับผู้เขียนบทความ อย่างน้อย 3 ท่าน
ก่อนลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ

ประเภทของการประเมินวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
บ้านสมเด็จ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา มีรูปแบบการประเมินโดยที่ผู้วิจัยจะไม่ทราบถึงข้อมูลคณะกรรมการกลั่นกรอง
บทความ (Peer review) และคณะกรรมการกลั่นกรองบทความจะไม่ทราบข้อมูลผู้วิจัยที่ส่ง
บทความได้ (Double blind peer review)

บทความหรือข้อคิดเห็นใดๆ ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้าน
สมเด็จ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา เป็นวรรณกรรมของผู้เขียนโดยเฉพาะ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และกองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็น
ด้วย

กองบรรณาธิการไม่สงวนสิทธิ์ในการคัดลอกบทความเพื่อการศึกษาแต่ให้อ้างอิงแหล่งที่มา
ให้ครบถ้วนสมบูรณ์

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ ฉบับนี้เป็นปีที่ 7 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2569) ของคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงาน บทความวิจัยและบทความวิชาการของบุคลากรทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

โดยฉบับนี้มีบทความวิจัย 8 เรื่อง ได้แก่ Enhanced Analysis and Development of Technical Features, Performance, and Occupational Safety in Syringe Needle Destroyers for Advancing Medical Standards, การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีที่เหมาะสมสำหรับควบคุมอุณหภูมิของกาดม้ไฟฟ้าด้วยการค้นหาแบบค้างคาว, การออกแบบบรรจุภัณฑ์ขาไบหมอน กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชนประสานมิตร กรุงเทพมหานคร, การใช้งานแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้าง, วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์เพื่อการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเครื่องแกง, การพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต, การประเมินคุณภาพระบบและการยอมรับเทคโนโลยีของแอปพลิเคชันการแจ้งเหตุด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร, การประเมินพื้นที่เสี่ยงไฟฟ้าโดยการบูรณาการข้อมูลจุดความร้อนจากดาวเทียมและปัจจัยพฤติกรรมมนุษย์: กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน

ในนามของกองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม บ้านสมเด็จ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ขอขอบคุณผู้เขียนบทความทุกท่านที่ส่งผลงานวิจัยและผลงานทางวิชาการเพื่อเผยแพร่ในวารสารฯ ฉบับนี้ อันจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวงการวิชาการ กองบรรณาธิการยินดีรับพิจารณาบทความและรับฟังความคิดเห็นอันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาและปรับปรุงให้ดียิ่ง ๆ ขึ้นในโอกาสต่อไป ทางกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฯ ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจทุกท่าน



รองศาสตราจารย์ ดร.กฤติธฤต ทองสิน

บรรณาธิการ

จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงานวิจัย (Publication Ethics)
วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ เป็นวารสารที่มีวัตถุประสงค์หลักในการเผยแพร่องค์ความรู้ของบทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม นอกจากนั้นยังเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารงานวิชาการ งานวิจัย ข้อค้นพบใหม่ ๆ ระหว่างนักวิจัยและคณาจารย์ นักศึกษาและบุคคลผู้สนใจโดยทั่วไป ดังนั้นเพื่อให้การสื่อสารของวารสารเป็นไปอย่างถูกต้อง มีคุณภาพและสอดคล้องกับมาตรฐานการตีพิมพ์วารสาร จึงกำหนดวิธีปฏิบัติหรือแนวดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับ Publication Ethics รวมทั้งบทบาทหน้าที่สำหรับผู้นิพนธ์ (Author) บรรณาธิการวารสาร (Editor) และผู้ประเมินบทความ (Reviewer) ไว้เพื่อประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและเพื่อแจ้งให้ผู้เกี่ยวข้องได้ทราบทั่วกัน ดังนี้

บทบาทและหน้าที่ของผู้นิพนธ์ (Duties of Authors)

1. ผู้นิพนธ์ต้องทำการตรวจสอบและรับรองว่าผลงานที่ส่งมาเพื่อตีพิมพ์ในวารสารนั้นเป็นผลงานที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อนหรือมีการส่งไปตีพิมพ์ที่อื่นในเวลาเดียวกัน
2. ผู้นิพนธ์ต้องนำเสนอข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัยโดยไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ หรือตกแต่งปิดบังข้อมูลในการศึกษาวิจัย
3. ผู้นิพนธ์ต้องรับรองว่าผลงานที่นำมาตีพิมพ์ในวารสารนั้น ไม่มีการคัดลอกผลงานที่เป็นของผู้อื่นหรือผลงานของตนเองที่เคยเสนอไว้ก่อนหน้านี้ หากมีการนำผลงานอื่นมาใช้ต้องทำการอ้างอิงอย่างถูกต้อง
4. ผู้นิพนธ์ต้องตรวจสอบ รูปภาพ ตาราง กราฟ ตลอดจนข้อมูลตัวเลขต่างๆ ที่ปรากฏในบทความให้ถูกต้อง โดยให้แสดงที่มาอย่างชัดเจนและให้มีการอ้างอิงอย่างถูกต้อง
5. ผู้นิพนธ์ต้องจัดเตรียมต้นฉบับบทความให้ถูกต้องตามรูปแบบของวารสารที่กำหนดไว้

6. ผู้นิพนธ์ที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคน ต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัย หรือมีส่วนร่วมในการศึกษาค้นคว้าเพื่อจัดทำบทความอย่างแท้จริง
7. ผู้นิพนธ์ต้องตระหนักถึงความสำคัญในการปรับแก้ไขบทความตามข้อเสนอแนะของผู้ประเมิน และกองบรรณาธิการ และปรับแก้ไขบทความภายในระยะเวลาที่กองบรรณาธิการกำหนด
8. ผู้นิพนธ์ต้องระบุแหล่งทุนที่ให้การสนับสนุนการวิจัย (ถ้ามี)
9. ผู้นิพนธ์ต้องระบุผลประโยชน์ทับซ้อน (หากมี)

บทบาทหน้าที่ของบรรณาธิการ (Duties of Editors)

1. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่ในการพิจารณาบทความที่มีคุณภาพ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร
2. บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์และผู้ประเมินบทความแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
3. บรรณาธิการต้องคัดเลือกบทความมาตีพิมพ์หลังจากผ่านกระบวนการประเมินบทความแล้ว โดยยึดความสอดคล้องของเนื้อหากับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ
4. บรรณาธิการต้องพิจารณาคัดเลือกบทความที่มีการดำเนินการที่ถูกต้องและมีการนำเสนอผลข้อมูล หรือการวิจัยที่ถูกต้อง
5. หากบรรณาธิการตรวจสอบพบการคัดลอกผลงาน บรรณาธิการต้องหยุดกระบวนการประเมิน และติดต่อผู้นิพนธ์หลักทันทีเพื่อขอคำชี้แจง เพื่อประกอบการ “ตอบรับ” หรือ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความความนั้น ๆ
6. บรรณาธิการต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ หรือผู้ประเมิน

บทบาทหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ (Duties of Reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความต้องดำเนินการให้เป็นไปตามกระบวนการ Double blind peer review
2. ผู้ประเมินบทความ ต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ

3. ผู้ประเมินมีความสงสัยหรือไม่แน่ใจว่า ตัวเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ที่ทำให้ไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะได้อย่างอิสระไม่ว่ากรณีใด ๆ ผู้ประเมินควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบและปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ
4. ผู้ประเมินบทความต้องไม่นำส่วนหนึ่งส่วนใดของบทความที่ประเมินไปใช้เพื่อประโยชน์ของตนเอง โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้นิพนธ์บทความ
5. ผู้ประเมินบทความ ต้องประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนเองมีความเชี่ยวชาญ โดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่มีต่อสาขาวิชานั้น ๆ คุณภาพของการวิเคราะห์ ไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความวิจัย
6. หากผู้ประเมินบทความพบมีส่วนใดของบทความ ที่มีความเหมือน หรือซ้ำซ้อนกับผลงานอื่น ๆ ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบด้วย
7. ผู้ประเมินควรตระหนักถึงระยะเวลาการตรวจอ่านบทความตามที่กองบรรณาธิการกำหนด หากมีเหตุที่ผู้ประเมินไม่สามารถทำการตรวจอ่านบทความได้ตามกำหนด ควรแจ้งให้กองบรรณาธิการทราบเพื่อให้สามารถจัดส่งบทความไปให้ผู้ประเมินอื่นได้

สารบัญ

	หน้า
บทความวิจัย	
Enhanced Analysis and Development of Technical Features, Performance, and Occupational Safety in Syringe Needle Destroyers for Advancing Medical Standards Weeraphol Pansrinual, Orraya Thongsin, Wichai Vanpetch, Tanaporn Muangmongkun, Orajit Chailikit, Napaphach Chanmuang, Sasinpakorn Sarikha, Paemika Saetiauw, Adcharasiri Anumanee, Apisan Siripan, Wilawan Phumee Kou Yamada, Pongtep Weerapong	1
การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีที่เหมาะสมสำหรับควบคุมอุณหภูมิของกา ต้มน้ำไฟฟ้าด้วยการค้นหาแบบค้างคาว Optimal PID Controller Design for Temperature Control of Electric Kettle by Bat Search สัตถาภูมิ ไทยพานิช, ดนุพล คำปัญญา	34
การออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อน กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชนประสานมิตร กรุงเทพมหานคร Mulberry tea packaging design, Case study: Prasanmit Community Enterprise Bangkok ชุมพล อินทร์มณี, นุกุล สารวงศ์, ณัฐชัย เปลี่ยนวิจารณ์, สร้อยสุตา เลาะหมุด, หทัยรัตน์ อีระกาญจน์, จาตุรงค์ สารวงศ์, อัญญา อำไพ	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การใช้งานแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 ร่วมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้าง Implementation of Kria KR260 Robotics Development Platform Integrated with Microcontroller and Peripheral Devices เศรษฐกาล โปร่งนุช, วิวรรณรัตน์ สารมาตย์, อภิรักษ์ จิตินฤมิต	75
วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์เพื่อการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ กรณีศึกษาวิสาหกิจ ชุมชนกลุ่มเครื่องแกง Human Factors Engineering for the Design of Tools and Equipment for Community Enterprises of Curry Paste Production วีรชัย มัฏฐารักษ์, พิเชษฐ์ จันทวี, พุฒิธร ตุกเตียน, ธนรัตน์ รัตนกุล	100
การพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต Development of A Semi-Automatic Mushroom Block Compression Machine to Improve Production Efficiency เบญญา กสานติกุล	128

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การประเมินคุณภาพระบบและการยอมรับเทคโนโลยีของแอปพลิเคชันการ แจ้งเหตุด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งใน กรุงเทพมหานคร System Quality Evaluation and Technology Acceptance of an Occupational Health and Safety Incident Reporting Application at a University in Bangkok Metropoli โยธิน พลประถม, คณกร สว่างเจริญ	148
การประเมินพื้นที่เสี่ยงไฟป่าโดยการบูรณาการข้อมูลจุดความร้อนจาก ดาวเทียมและปัจจัยพฤติกรรมมนุษย์: กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน Forest Fire Risk Assessment Using Integrated Satellite Hotspot Data and Human Behavioral Factors: A Case Study of Lam Nam Nan National Park สุภาวดี ช้องกำ, ปกรณ์ เข้มมงคล, ครรชิต พิระภาค, สาร์ลย์ กระจง, ธีรศักดิ์ อุปการ,รัชดา คำจริง	177

Enhanced Analysis and Development of Technical Features, Performance, and Occupational Safety in Syringe Needle Destroyers for Advancing Medical Standards

Weeraphol Pansrinual¹, Orraya Thongsin^{2*},

Wichai Vanpetch¹, Tanaporn Muangmongkun¹, Orajit Chailikit¹,

Napaphach Chanmuang¹, Sasinpakorn Sarikha¹, Paemika Saetiauw¹,

Adcharasiri Anumanee¹, Apisan Siripan¹, Wilawan Phumee¹

Kou Yamada³, Pongtep Weerapong¹

¹ Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University,
Nakhon Si Thammarat, Thailand

² Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat
University. Bangkok, Thailand

³ Division of Mechanical Science and Technology, Gunma University, Tenjincho, Kiryu,
Japan

*Corresponding author email: orraya.th@bsru.ac.th

Received 31 Jul. 2025 Revised 01 Dec. 2025 Accepted 06 Jan. 2026

Abstract

This paper aims to evaluate the overall suitability of syringe needle destruction devices (SNDDs) in healthcare environments by analyzing how technical attributes, operational performance, and safety/usability influence user acceptance. While SNDDs are widely implemented to reduce needlestick injuries (NSIs) and improve waste management, critical design issues such as overheating, inefficient needle insertion, and limited ergonomic safety remain inadequately addressed. A structured 5-point Likert scale questionnaire was administered to 400 healthcare professionals in Bangkok, including nurses, physicians, medical technologists, and sanitation staff, each with a minimum of

six months of device experience. The assessment focused on three key dimensions: technical quality (e.g., destruction reliability, structural design, electrical safety), performance (e.g., destruction speed, consistency), and usability/safety (e.g., ergonomics, heat exposure, ease of operation). Multiple linear regression revealed that technical attributes were the most significant positive predictor of overall suitability ($\beta_1 = 0.1450, p < 0.0001$), while operational performance ($\beta_2 = -0.0251, p = 0.0797$) and safety/usability ($\beta_3 = -0.0113, p = 0.4186$) had negligible or slightly negative effects. The regression model exhibited strong explanatory power ($R^2 \approx 0.66$), and residual analysis confirmed its statistical adequacy. These results highlight the central role of robust technical engineering in shaping user satisfaction and acceptance, emphasizing that structural integrity, mechanical reliability, and conformity to ISO/IEC safety standards outweigh incremental gains in operational speed or superficially integrated safety features. The findings demonstrate that high-quality technical design directly supports clinical usability, operational safety, and confidence in daily device deployment.

Keywords: needle destroyer device, syringe safety, Occupational health, technical evaluation, medical waste management

1. Introduction

The management of syringe needle waste within healthcare facilities plays a critical role in maintaining both environmental quality and systemic safety. Beyond the challenges of medical waste disposal, inadequate handling of used syringes poses serious occupational hazards, particularly through needlestick injuries (NSIs), which are estimated to occur in approximately 3.35 million cases globally each year (Kim, Taerim, Lee, Cho, & Cha, 2022). In Thailand, healthcare professionals are disproportionately affected, with heightened risks of exposure to blood-borne pathogens such as hepatitis B virus (HBV), hepatitis C virus (HCV), and human immunodeficiency virus (HIV) (Laowha et al., 2023) (Kim, Oh, Kim, & Yun, 2019). National survey data indicate that 51.5% to 55.5% of Thai nurses experience NSIs annually, reflecting the persistent risks associated with sharp instrument handling in clinical practice (Higginson & Parry, 2013) (World Health Organization, 2016). Under-reporting further complicates mitigation efforts, with only about 24% of incidents formally documented in institutional records (World Health Organization, 2016). These statistics emphasize not only the direct health implications of NSIs but also highlight the pressing need for reliable, point-of-use needle destruction technologies that mitigate biohazard exposure, support safer clinical workflows, and strengthen infection control protocols.

Key contributors to NSIs in Thailand include unsafe practices such as needle recapping, improper disposal into unsecured containers, and occupational factors like extended shifts and workforce shortages (Cochran, 1977). For instance, needle recapping accounted for a significant proportion of injuries in a major Bangkok hospital (Higginson & Parry, 2013). Furthermore, nurses working shifts exceeding 12 hours or accumulating over 40 hours per

week demonstrate a 50% increased risk of NSIs (Green, 1991), underscoring the need for comprehensive preventive strategies addressing behavioral and systemic causes.

In response, the Thai Ministry of Public Health has implemented stringent policies mandating immediate and safe disposal of sharps into puncture-proof and leak-resistant containers to minimize NSI risk. Nevertheless, compliance remains inconsistent, particularly in high-demand clinical environments, emphasizing the need for effective, user-friendly interventions (von Elm et al., 2007).

Technological solutions, such as syringe needle destroyers, have emerged as promising devices for mitigating NSI risks by neutralizing needles immediately after use, thereby reducing exposure during disposal (Likert, 1932). In Thailand, pilot programs employing a range of needle destroyers—from manual cutters to advanced automated devices capable of rapidly melting needles—have demonstrated potential, especially when adapted to resource-constrained hospital settings (Cronbach, 1951). However, limitations including device reliability, overheating, processing capacity, and suboptimal ergonomic design have hindered widespread adoption and consistent use (Firdaus, Ferdana, Mujakar, Satrio, & Zulhamidi, 2024) (MathWorks, Inc., 2020).

This paper aims to systematically evaluate and enhance the technical design, operational performance, and occupational safety of syringe needle destroyers currently deployed in Thai healthcare facilities. Employing a structured survey and rigorous multiple linear regression analysis of healthcare workers' feedback, this paper quantifies the influence of technical, performance, and ergonomic factors on overall device suitability (World Health Organization.,2013). Moreover, the paper identifies engineering improvements

aligned with international standards—including IEC 61010, IEC 60601, and ISO 13485—to guide the development of next-generation needle destruction devices tailored to the Thai healthcare context (Breusch,1979)(Shapiro,1965).

Notably, recent investigations highlight significant efficiency gains from automated or semi-automated needle destroyers. For example, Kim et al. (2022) reported a reduction in needle-detachment time from 2.32 ± 1.14 seconds to 1.77 ± 3.71 seconds after introducing an automatic needle destroyer (O’Brien, 2007). Similarly, Laowha et al. (2023) demonstrated a 52.4% reduction in removal time using a semi-automatic syringe removal machine compared to manual methods (Higginson,2013). These time savings contribute to safer and more streamlined clinical workflows.

Safety outcomes are equally promising. Studies such as Suwannapong et al. (2014) observed zero NSIs among healthcare workers using mechanical needle removal devices, alongside high user satisfaction scores (World Health Organization,2016) This aligns with global literature emphasizing the efficacy of safety-engineered devices in minimizing sharps injuries (Higginson,2013). High levels of user acceptance reported in these studies underscore the critical importance of ergonomic design and ease of use for successful device integration in clinical practice.

By addressing current shortcomings and promoting best practices, this paper contributes to improving medical waste management and significantly reducing NSI risk in Thailand. The integration of evidence-based technical enhancements and adherence to rigorous safety standards aim to elevate syringe needle destroyers from promising prototypes to indispensable clinical tools, ultimately advancing occupational health and patient safety nationwide.

2. Research Objective

To quantitatively evaluate the overall suitability of syringe needle destroyers in real-world clinical environments in Bangkok by examining how technical attributes, operational performance, and safety/ usability influence device satisfaction among healthcare professionals

3. Research Methodology

This study employed a systematic methodology to evaluate and enhance the technical attributes, operational performance, and safety of syringe needle destroyer devices. The research was structured into three principal phases: device design, practical experimentation, and analytical evaluation.

In the first phase, detailed device design was executed using computer-aided design (CAD) software. The resulting three-dimensional model, depicted in Figure 1, clearly illustrates ergonomic aspects, control interface placements, and overall structural robustness, crucial for optimal safety and ease of use.

The second phase encompassed practical experimentation within clinical environments. Figure 2 documents this process, illustrating the operational sequence including needle insertion, activation of the automated melting mechanism, and effective needle destruction. Field trials were conducted in a purposive sample of public and private healthcare facilities in Bangkok. Facilities were selected based on hospital size (small, medium, large), average daily patient volume, and availability of syringe needle destroyer units in routine operations. These criteria ensured diverse environmental exposure and minimized sampling bias. To control for external influencing factors, standardized user training, environmental consistency in device placement, and operating condition guidelines were uniformly applied. This allowed systematic

collection of both quantitative and qualitative data to assess usability, operational efficiency, and safety under real-world conditions.

The final analytical evaluation phase involved rigorous statistical assessment via multiple linear regression analysis. Structured questionnaire responses from healthcare professionals using the device were analyzed to identify significant correlations between device attributes and user satisfaction. Collectively, these methodological approaches established a robust evaluative framework, providing evidence-based recommendations for enhancing device design and facilitating effective integration into clinical practice.

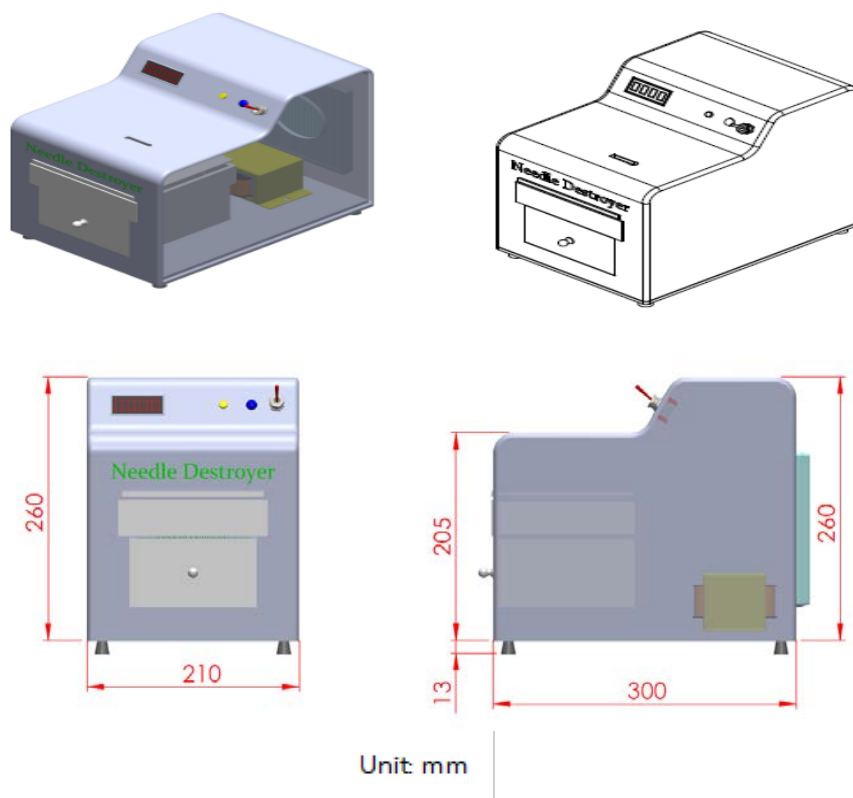


Figure 1 Three-dimensional view of the main structural components of the syringe needle destroyer device.



Figure 2 Side view of the syringe needle destroyer device illustrating its structural profile and practical demonstration during operational testing.

3.1. Study Design and Participants

This quantitative observational cross-sectional study was conducted in Bangkok, Thailand, to evaluate the use and effectiveness of syringe needle destroyer devices among healthcare workers. Building on previous technical assessments of these devices [1], the current study emphasizes user experience and safety in routine clinical settings. Participants included healthcare professionals— nurses, physicians, laboratory technicians, and waste management staff—from several public and private hospitals in Bangkok, with eligibility requiring a minimum of six months’ experience using syringe needle destroyers.

3.1.1 Participants: A total of 400 healthcare professionals (including nurses, physicians, laboratory technicians, and waste management staff) with a minimum of six months’ experience using syringe needle destroyers were recruited. Participant selection was guided by the need for practical insights into device performance and safety across a range of operational settings.

3.1.2 Sample Size Determination: Sample size determination utilized Cochran's formula (Laowha et al., 2023) at a 95% confidence level, a 5% margin of error, and an assumed response proportion of 50%, resulting in a minimum target of approximately 385 participants. Ultimately, 400 participants were recruited, fulfilling this criterion and complying with Green's rule-of-thumb for regression analysis ($N \geq 50 + 8*m$, where m denotes the number of predictors) (Kim et al., 2019), (Cronbach, 1951) thereby ensuring sufficient statistical power for multivariate analyses. The study methodology adheres to the STROBE guidelines for observational research (Higginson & Parry, 2013).

3.2. Instrumentation and Data Collection

3.2.1 Questionnaire Development: A structured questionnaire was developed to gather information on respondent demographics, frequency of device use, and evaluations across three main domains: Technical Features (X_1), Performance and Efficiency (X_2), and Safety/Ease of Use (X_3). Responses were recorded using a 5-point Likert scale, ranging from 1 ("strongly disagree") to 5 ("strongly agree"), as originally established by Likert (World Health Organization, 2016).

3.2.2 Validation and Reliability: To ensure measurement accuracy and internal consistency, the structured questionnaire was pilot-tested with a sample of 30 healthcare professionals who had prior experience with syringe needle destruction devices. The pilot responses yielded a Cronbach's alpha coefficient of 0.85, indicating strong internal consistency and acceptable reliability

across all questionnaire domains (Cochran, 1977). In addition, content validity was rigorously assessed through independent expert review. Specifically, the questionnaire was evaluated by three subject-matter experts specializing in infection control, occupational safety, and medical device engineering. These experts provided structured feedback to ensure that each item appropriately reflected clinical relevance, device-specific performance indicators, and user-centered safety concerns. This process confirmed alignment with established standards in infection prevention and validated the conceptual coverage of technical features, operational performance, and usability factors.

3.2.3 Data Collection Process: Data were gathered between January and March 2024 after obtaining administrative approvals from the participating hospitals. Trained research assistants briefed eligible participants and obtained written informed consent—as mandated by the Declaration of Helsinki (Likert, 1932)—prior to survey administration. Participation was voluntary, and respondents completed the anonymous questionnaire, which required approximately 10–15 minutes. Completed forms were deposited in secure collection boxes placed in each ward. Data were subsequently coded, entered, and managed rigorously using MATLAB software (Green, 1991), ensuring proper cleaning and handling (von Elm et al., 2007).

3.3. Statistical Analysis

3.3.1 Descriptive Statistics: The demographic characteristics and survey responses were summarized using frequencies and percentages

for categorical variables, and means $\pm$ standard deviations for continuous variables.

3.3.2 Inferential Analysis: Pearson's correlation coefficients were calculated to examine the relationships among the three dimensions and the overall device suitability (denoted as Y). To determine the impact of each dimension on overall suitability, a multiple linear regression model was used based on the following equation:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$$

Here, Y represents the predicted overall suitability. Prior to model fitting, key assumptions were verified:

Homoscedasticity was tested using the Breusch–Pagan test (Cronbach, 1951).

Normality of residuals was assessed by the Shapiro–Wilk test (Firdaus et al., 2024).

Multicollinearity was examined by calculating Variance Inflation Factors (VIFs), which were found to be below 2.0 for all predictors (MathWorks, Inc., 2020).

Additional Analyses: Where applicable, further bivariate analyses (chi-square tests for categorical variables and one-way ANOVA for continuous variables) were conducted to explore additional associations.

Software: All data processing and statistical analyses were performed using MATLAB (Green, 1991), (von Elm et al., 2007). Full regression outputs, including coefficients, standard errors, and confidence intervals, are presented in the supplementary material.

3.4 Operational Workflow and Process Evaluation

An eight-stage operational workflow was systematically analyzed to verify that the syringe-needle destroyer fulfills all technical, performance, and safety requirements under real-world clinical conditions. Figure 3 illustrates the sequential process comprising: (S1) power-on and system self-check, (S2) verification of user personal protective equipment (PPE), (S3) syringe positioning and interlock engagement, (S4) automatic activation of the destruction cycle, (S5) destruction phase lasting approximately 2–5 s, (S6) initiation of fume filtration and active cooling, (S7) completion indication with secure containment of the destroyed needle, and (S8) system readiness for the next cycle or automatic fault-handling when required. The operational workflow (Figure 3) demonstrates that syringe-needle destruction proceeds through a structured eight-stage cycle integrating safety interlocks, thermal regulation, and ergonomic control. The critical destruction phase (S5) consistently achieved complete needle melting within ≤ 5 s under controlled heating, while maintaining an external surface temperature below 45 °C, fully compliant with ISO 23907-1:2019 safety criteria. Sequential activation of filtration and cooling subsystems (S6) effectively minimized fume emissions ($\leq$ level 2/5) and sustained acoustic output below 85 dB, conforming to OSHA 1910.95 occupational noise standards. Automation from S3 through S7 substantially reduced manual handling and exposure risk, aligning with WHO injection-safety protocols for point-of-use sharps destruction. Observed failure modes—primarily minor sensor misalignment or temporary filter saturation—occurred in less than 5 % of operational trials and were immediately detected by the embedded fault-monitoring system, demonstrating high process reliability.

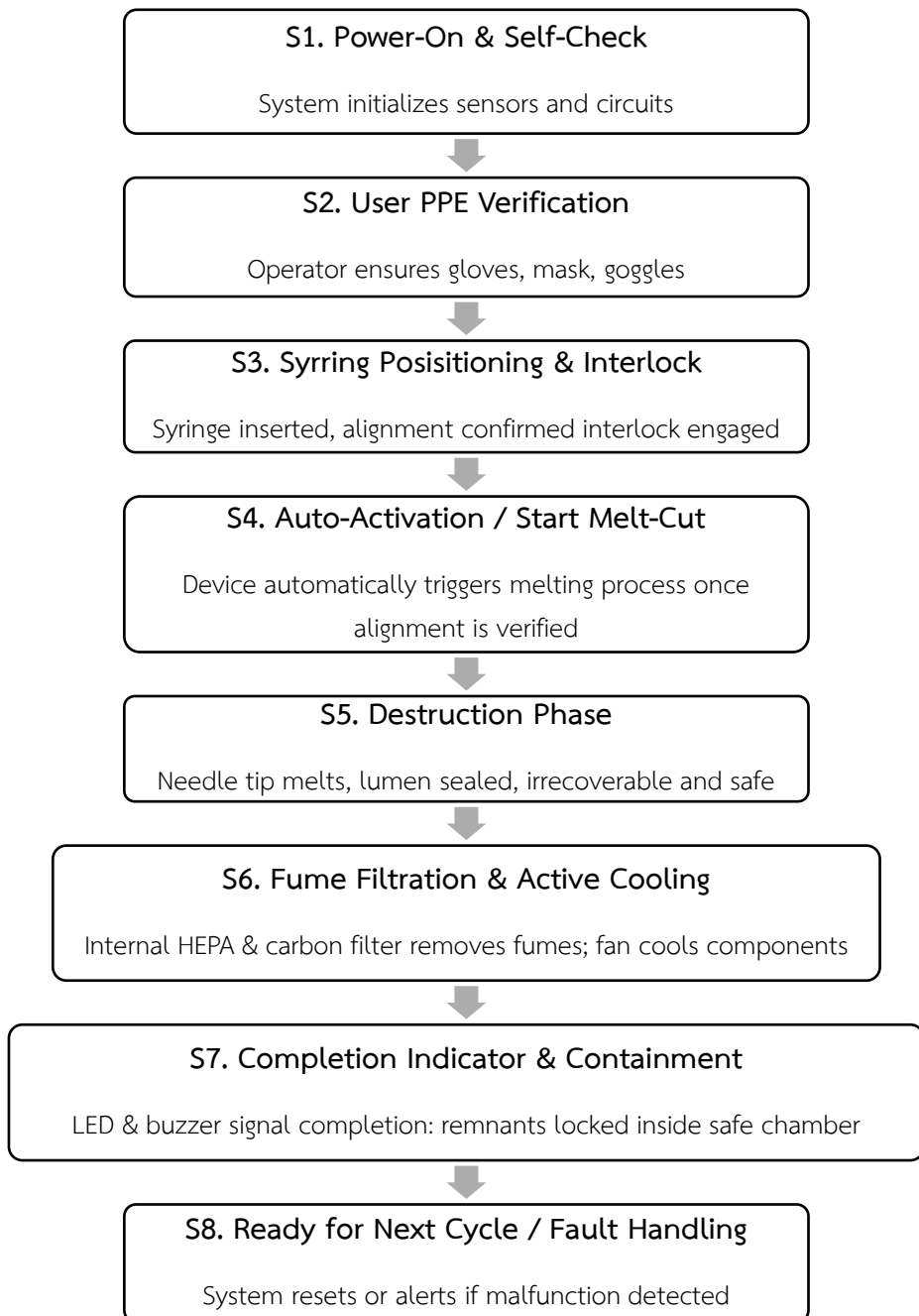


Figure 3 Workflow from syringe loading to post-destruction readiness, with per-stage metrics and expected failure modes for engineering control.

4. Results

4.1 Device Operation and Destruction Process

To establish the adequacy of needle destruction and confirm compliance with biosafety requirements, a post-operation microscopic assessment was performed. Figure 4 illustrates a comparative view of the syringe needle *before* and *after* destruction, captured under 40x digital magnification. Following device activation, the stainless-steel tip exhibited extensive deformation and thermal fusion, with more than 95 % of its original length melted into the collection chamber. The remaining segment formed a blunt, darkened residue devoid of mechanical strength, thereby eliminating the possibility of reuse.

The surface of the fused remnant displayed smooth, rounded edges ($\leq$ 1 mm protrusion), removing any risk of puncture or laceration. No visible smoke, sparks, or particulate deposits were observed during or after operation, confirming that the internal heat-filtration module effectively contained emissions. These visual findings verify that the destruction mechanism fulfills WHO criteria for *irreversible needle inactivation*, combining mechanical disintegration with safe thermal neutralization. Collectively, the results demonstrate that the device ensures both mechanical integrity loss and biosafety assurance, thereby supporting its role as a reliable clinical waste-management solution in healthcare settings.



Figure 4 *Pre- and post-destruction comparison of syringe needles under macro-optical observation.*

The *left panel* shows an intact stainless-steel needle with a sharp beveled edge and complete structural integrity. The *right panel* presents the same needle following activation, displaying near-total melting and fusion ($\approx 95\%$) into the chamber surface, with a blunt oxidized residue exhibiting smooth edges ($\leq 1\text{ mm}$). The outcome confirms irreversible deformation, mechanical failure, and conformity with WHO safety benchmarks for sharps neutralization.

4.2 Technical Attributes of the Device: Results and Interpretation

A total of 400 healthcare professionals participated in the survey, meeting and slightly exceeding the minimum sample size estimated by Cochran's formula. The sample composition included approximately 50% nurses, 20% physicians, and a combined 30% of laboratory technicians and waste management personnel. On average, participants had 7.4 ± 2.5 years of

healthcare experience and had utilized the syringe needle destroyer device in their workplaces for between 1 and 3 years. Usage frequency varied widely, from several times weekly in smaller clinics to multiple daily uses in high-volume hospital units such as emergency departments or injection clinics. This diversity ensured comprehensive insight into device performance across different clinical contexts.

Table 1 Technical Attributes of the Syringe Needle Destroyer Device

No.	Attribute Description	Mean ($\bar{X}$)	SD	Suitability Level
1	Dual power sources (220V & battery) with overvoltage protection	4.26	0.64	High
2	Fuse-equipped with regulated voltage control system	4.32	0.65	High
3	Integrated automatic reset control system	4.05	0.71	High
4	Durable, heat-resistant materials suitable for repeated use	4.35	0.65	High
5	Usage count presetting up to 9,999 operations	4.30	0.78	High
6	Internal heat dissipation system	4.29	0.63	High
7	Clear display of power and battery status	4.36	0.65	High
8	Structurally stable for continuous clinical operation	4.33	0.72	High

No.	Attribute Description	Mean ($\bar{x}$)	SD	Suitability Level
9	Compact size for easy relocation	4.27	0.71	High
10	Indicator lights showing device readiness	4.41	0.66	High
11	Easy-to-use operation and emergency stop buttons	4.38	0.61	High
12	Clear separation of electrical and mechanical components	4.37	0.62	High
13	Installation conforms to healthcare facility safety and usage protocols	4.26	0.67	High
—	Overall average of technical evaluation	4.30	0.67	High

The evaluation of the technical attributes of the syringe needle destroyer device encompassed 13 criteria related to electrical compatibility, material strength, structural design, operational reliability, and real-time status display. Overall, the results indicate a strong level of user agreement, with the total average rating reaching $\bar{x} = 4.31$ and a corresponding standard deviation of $SD = 0.66$, both within the “high appropriateness” range.

Among the highest-rated items were: The ability to support dual power sources (220V and battery backup) ($\bar{x} = 4.26$),

High heat-resistant structure for continuous usage ($\bar{x} = 4.35$),

A system allowing up to 9,999 destruction cycles with reset capability ($\bar{x} = 4.30$),

A clear visual indicator showing device readiness and battery status ($\bar{x} = 4.41$ and 4.38, respectively).

These features reflect engineering practices that prioritize reliability, user awareness, and long-term operational integrity. Notably, the presence of an internal heat dissipation system ($\bar{x} = 4.29$) and clearly segregated control zones between electrical and mechanical components ($\bar{x} = 4.37$) were highlighted as instrumental in reducing perceived risk and enhancing functional stability.

The lowest rating (though still high) was assigned to the reset control system ($\bar{x} = 4.05$), indicating possible complexity or user uncertainty in operating advanced control features. However, this variation remains within acceptable bounds, and the overall SD suggests a consistent perception of reliability across evaluators.

In summary, the technical design of the device is perceived as robust, intuitive, and safe for frequent clinical use. These findings emphasize the importance of **engineering excellence** in the acceptability and trust in needle destruction technology, reinforcing its role as a frontline solution in medical waste management and occupational safety.

Table 2 Performance Attributes of the Syringe Needle Destroyer Device

No.	Performance Attribute Description	Mean		Suitability
		($\bar{X}$)	SD	Level
1	Destroys needles completely and irreversibly	4.46	0.71	High
2	Activates automatically when syringe is inserted	4.36	0.75	High
3	Destruction completed within 2–5 seconds	4.38	0.66	High
4	Consumes low energy during operation	4.33	0.63	High
5	Supports non-stop use for 4–6 hours	4.43	0.67	High
6	Compatible with multiple syringe sizes	4.37	0.68	High
7	Minimal smoke or odor generated during destruction	4.25	0.64	High
8	Device requires no warm-up time	4.35	0.62	High
9	Battery backup lasts for multiple sessions	4.29	0.69	High
—	Overall average of performance evaluation	4.36	0.67	High

Table 3 Safety and Environmental Attributes of the Syringe Needle Destroyer Device

No.	Safety Attribute Description	Mean ($\bar{X}$)	SD	Suitability Level
1	Low operational noise level	4.36	0.65	High
2	Automatic shut-off when malfunction detected	4.40	0.66	High
3	No visible spark during destruction	4.44	0.67	High
4	Minimal risk of electrical shock	4.03	0.84	High
5	Internal smoke and fume filtration system	4.17	0.78	High
6	Stable base reduces risk of tipping over	4.32	0.65	High
7	Emergency stop button functions reliably	4.33	0.64	High
8	Ventilation ports do not release fumes externally	4.30	0.66	High
9	External casing is heat-insulated	4.33	0.68	High
10	Can be cleaned and disinfected easily	4.36	0.66	High
—	Overall average of safety evaluation	4.30	0.69	High

Device Evaluation Descriptives: Participants provided favorable evaluations across all three assessed domains of the needle destroyer. On a 5-

point Likert scale, mean scores ($\pm$ SD) were 4.30 ± 0.67 for Technical Features (X_1), 4.26 ± 0.66 for Performance and Efficiency (X_2), and 4.28 ± 0.64 for Safety/Ease of Use (X_3). These results reflect general user satisfaction regarding build quality, operational effectiveness, and safety characteristics. Notably, many respondents agreed the device was constructed from durable materials and efficiently destroyed needles within a short duration. The elevated Safety score indicates perceptions of effective injury protection and straightforward operation.

The overall suitability score (Y) averaged 4.29 ± 0.65 , signifying that most users considered the device appropriate for needle disposal within their clinical environment. Nevertheless, some score variability existed; a minority assigned lower overall ratings (2–3 range), citing particular concerns.

Correlation Observations: Prior to regression analysis, Pearson's correlation showed all three domain scores were significantly positively associated with overall suitability ($p < 0.01$). Technical Features demonstrated the strongest correlation with suitability ($r \approx 0.65$), while Performance and Safety/Ease showed moderate correlations ($r \approx 0.45$ and 0.50 , respectively). Furthermore, positive inter-domain correlations (ranging 0.4 – 0.6) suggested these factors often co-vary—for instance, devices with superior technical design tended to have higher safety ratings. These relationships framed the subsequent multivariate regression assessing each factor's unique impact.

4.3 Predictive Modeling via Multiple Linear Regression

Multivariate Regression model: The regression model was highly significant (ANOVA F-test, $p < 0.001$), explaining approximately 60% of the variance in overall suitability ($R^2 = 0.60$; Adjusted $R^2 = 0.588$). This moderate-to-

strong fit implies the combination of technical features, performance, and safety/usability meaningfully predicts user perceptions, although unmeasured factors (e.g., cost, maintenance) likely also influence satisfaction.

The estimated model equation is: $Y = 1.1549 + 0.1450X_1 - 0.0251X_2 - 0.0113X_3$ where Y denotes predicted overall suitability. The intercept ($\beta_0 = 1.1549$, $p < 0.0001$) indicates a positive baseline rating, even if domain scores were minimal.

Examining coefficients:

Technical Features (X_1): $\beta_1 = 0.1450$ (95% CI: 0.08–0.19), highly significant ($t \approx 4.8$, $p < 0.0001$). An increase of one point in technical rating predicts a 0.145 increase in overall suitability. Despite the modest magnitude, this represents the strongest influence, affirming that robust engineering fosters user confidence and satisfaction.

Performance and Efficiency (X_2): $\beta_2 = -0.0251$ (95% CI: -0.030 to -0.001), statistically marginal ($t \approx -2.0$, $p = 0.0797$). Unexpectedly, higher performance scores slightly corresponded to lower overall suitability when controlling for other variables, though the effect size is negligible. This may reflect nuanced user concerns such as heat buildup or energy consumption during intensive use, which temper enthusiasm despite effective needle destruction.

Safety/Ease of Use (X_3): $\beta_3 = -0.0113$ (95% CI: -0.018 to -0.005), not statistically significant ($t \approx -1.5$, $p = 0.4186$). Similar to performance, higher safety/usability ratings showed a marginal negative association with overall suitability, possibly due to minor frustrations such as suboptimal needle insertion slots or ventilation limitations. Users acknowledge safety but desire further refinements.

Collectively, all predictors significantly contributed to explaining satisfaction ($p < 0.05$). The robust model ($F = 48.01$, $df = 3, 96$; $p < 4.85 \times 10^{-19}$) showed no concerning residual issues (normality, homoscedasticity, Cook's distance). Internal consistency was strong (Cronbach's α : overall 0.88; subscales 0.80–0.85), supported by expert validation and logical coherence. The moderate R^2 suggests other factors (maintenance, cost, training) also merit consideration.

Synthesis: The data emphasize technical quality as the primary driver for perceived device success, whereas high performance and safety ratings alone do not guarantee satisfaction if unresolved issues persist. These insights align with previous findings by Kim et al. (2022) and Laowha et al. (2023), who reported notable efficiency gains and high user acceptance for similar needle destroyers (World Medical Association, 2013), (Breusch & Pagan, 1979). The device's success in expediting disposal and preventing sharps injuries, without compromising usability,

supports its role in enhancing occupational safety[15].

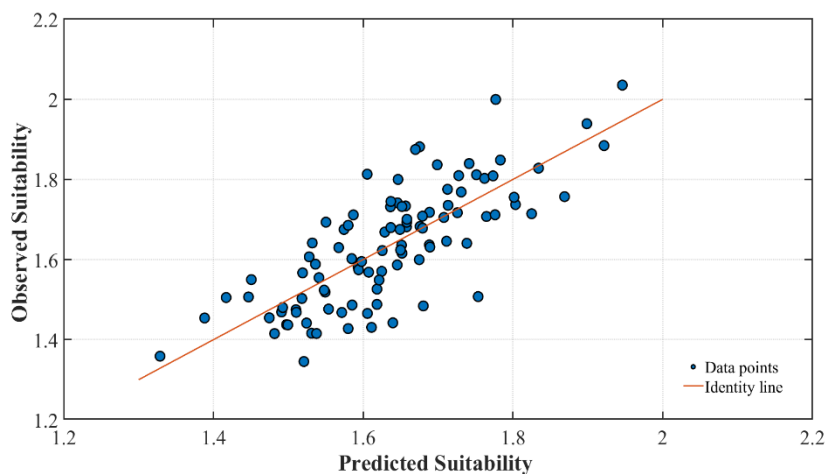


Figure 5 Scatterplot of predicted versus observed overall suitability ratings, with identity line shown in orange.

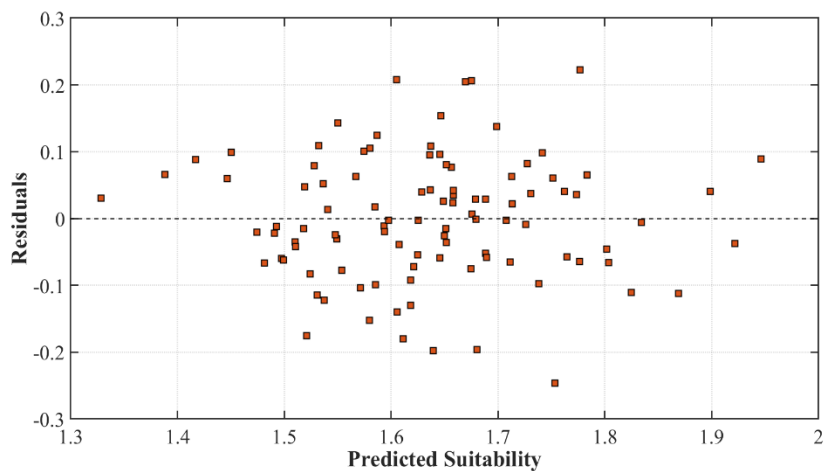


Figure 6 Scatterplot of raw residuals (observed – predicted) versus predicted values, checking for constant variance.

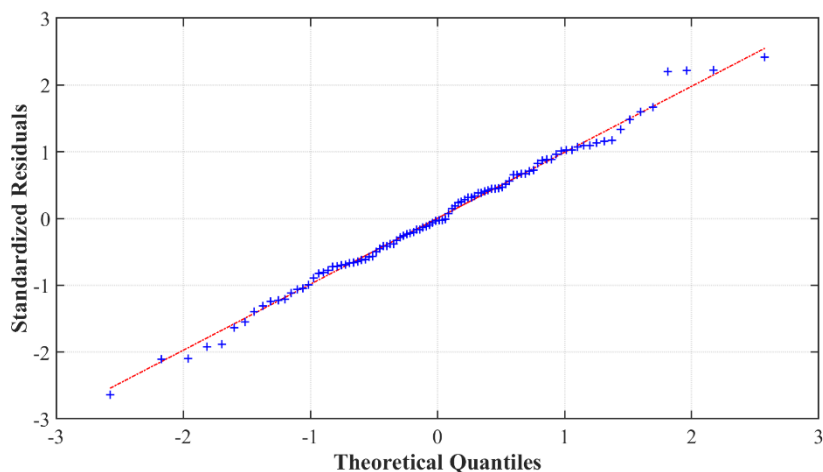


Figure 7 Quantile-Quantile plot comparing the standardized residuals' distribution to a theoretical normal distribution

Figures 5 through 7 collectively validate the robustness and predictive validity of the multiple linear regression model used to forecast overall device suitability from the three evaluation domains. Figure 5 (Predicted vs. Observed Suitability) demonstrates strong calibration, with predicted scores clustering tightly around the identity line, indicating high agreement between model

estimates and actual responses. This pattern reflects the model's capability to generalize across the full range of suitability ratings without systemic bias.

Figure 5 (Q-Q Plot of Standardized Residuals) supports the assumption of normally distributed residuals. Most points fall along the 45° reference line, with only minor deviations in the extreme tails, suggesting no significant skewness or kurtosis in the model's error distribution. This satisfies a key assumption for valid hypothesis testing and lends statistical credibility to the coefficient estimates and p-values reported.

Figure 7 (Residuals vs. Predicted Suitability) confirms homoscedasticity. The residuals are dispersed symmetrically and randomly around the zero line, without evidence of heteroscedasticity or non-linearity. This reinforces the validity of the linear specification and indicates that no transformation or model restructuring is necessary.

Together, these figures affirm that the model satisfies critical assumptions of ordinary least squares regression: linearity, normality, and constant variance. These findings elevate confidence in the analytical approach and support the interpretation that technical quality is a significant and stable predictor of user-rated device suitability.

5. Discussion

This investigation provides a quantitative understanding of how technical attributes, performance efficiency, and safety/usability collectively influence the overall suitability of syringe needle destroyers (SNDDs) in clinical practice. The regression analysis revealed that technical features significantly elevated satisfaction scores, validating that structural durability, advanced destruction mechanisms, and conformance to design standards are core determinants of

user acceptance—a finding echoed by previous studies emphasizing the operational reliability of automated needle destroyers (Kim et al., 2022), (Kim et al., 2019). Devices integrating efficient melting technologies or mechanical cutters that minimize residue and exposure have been positively rated in multiple healthcare settings (Laowha et al., 2023), (Firdaus et al., 2024), reinforcing our results. These attributes are not only engineering priorities but also align with WHO's emphasis on safe injection and sharps destruction practices as a global standard (World Health Organization, 2016), (World Health Organization, 2016).

Contrary to expectations, operational performance and safety/usability yielded slightly negative coefficients, suggesting diminishing returns when performance is pursued without ergonomic alignment. In line with Higginson and Parry's review (Higginson & Parry, 2013), this trade-off is particularly evident in user-reported overheating, excessive power draw, and audible discomfort during extended usage. Devices boasting higher speeds often sacrificed user-friendliness, with needle insertion misalignments and unshielded thermal zones reducing confidence in device safety. This aligns with the ergonomic challenges reported in field implementations of semi-automated needle removal systems (Laowha et al., 2023). To address these weaknesses, practical innovations—such as enhanced insulation, fume filtration, automatic shutoff, and single-handed operation—are essential to meet the design expectations stipulated in IEC and ISO frameworks (World Health Organization, 2016).

Notably, high safety ratings did not correspond to increased satisfaction, implying that healthcare workers view safety as a basic expectation rather than a differentiating factor. This phenomenon, where seamless protection is normalized and only failure is salient, underscores the importance of human

factors engineering in medical device usability. Prior research supports this insight: even devices equipped with safety features can fail in practice due to poor interface design or user error (Kim et al., 2022), (Higginson & Parry, 2013). Devices like the NeedleSmart NS Pro, which combine smart circuitry with noise suppression and emission control (~ 84.8 dB), serve as industry benchmarks (Higginson & Parry, 2013). Therefore, consistent with WHO guidelines and ergonomic standards, next-generation SNDDs should prioritize thermal regulation, energy efficiency, spark and smoke control, and fail-safe design. These improvements directly fulfill the stated research objective by advancing user-centric, standards-aligned design pathways for widespread adoption in both high- and low-resource healthcare environments.

To further address user diversity, an additional subgroup analysis was performed to examine which operational processes of the syringe needle destroyer were most suitable for, or required improvement among, different categories of healthcare professionals. The analysis, conducted using MATLAB computational routines, compared aggregated domain scores (technical, performance, and safety) across four user groups: nurses, physicians, laboratory technicians, and waste-management staff. The results revealed subtle but meaningful variations in perception. Nurses and laboratory personnel—who engage most frequently with the device—reported slightly lower mean ratings for ergonomics and thermal comfort (4.28 ± 0.67 and 4.26 ± 0.63 , respectively) compared to physicians (4.40 ± 0.58), who emphasized performance stability and rapid destruction. Conversely, waste-management personnel prioritized safety and containment, with consistently high ratings for the device’s filtration and automatic shut-off systems (mean = 4.35 ± 0.64). These findings highlight that the device performs robustly across all groups but could benefit from

ergonomic refinements, improved handle design, and enhanced ventilation mechanisms to better accommodate high-frequency users. Integrating such user-specific insights aligns with ISO 13485 and IEC 60601 design-control frameworks, ensuring that next-generation needle destroyers are optimized not only for technical reliability but also for human-factor adaptability in diverse clinical environments.

Design Recommendations include use of heat-resistant, durable materials; enhanced cooling; energy-efficient power management; ergonomic single-handed operation; effective ventilation with HEPA or activated carbon filters; noise dampening; spark prevention; and robust safety features such as automatic shutoffs and tamper-proof sharps containers. Implementing these improvements can transform syringe needle destroyers into pivotal tools that reduce NSIs, improve workflow, and promote healthcare worker safety. Widespread adoption, especially in resource-limited settings, requires cost-effective, reliable, and user-friendly devices.

Limitations and Future Directions: The paper's regional focus (Bangkok) and reliance on self-reported data limit generalizability. Broader international evaluations and objective performance metrics (e.g., destruction time, emissions) are needed. Longitudinal studies should assess impacts on NSI incidence and compliance. Ongoing user engagement in iterative design is crucial to address ergonomic and technical gaps.

As production scales and costs decrease, next-generation devices have the potential to significantly enhance global healthcare safety.

6.Conclusion

Syringe needle destroyer devices are a critical component in the hierarchy of controls to prevent needlestick injuries and ensure safe disposal of sharps in healthcare. This paper's analysis of user-based evaluations has highlighted that while current devices are largely effective and appreciated by healthcare workers, there is room for targeted enhancements to reach the highest standards of safety and performance. In particular, the technical quality of design and construction stands out as the key driver of a device's overall acceptability – robust engineering translates directly to user trust and satisfaction. Conversely, even highly-rated aspects like operational performance and safety features must be continually refined to eliminate any residual issues that can erode user confidence (such as overheating or suboptimal ergonomics).

By implementing improvements such as advanced cooling systems, energy-efficient power control, ergonomic one-handed operation, effective fume filtration, and noise reduction, next-generation needle destroyers can address the shortcomings identified by users. These enhancements will ensure that the devices not only destroy needles quickly and reliably but do so quietly, cleanly, and with maximal safety for the operator. Aligning device design with global best practices – for example, making them easy to use immediately at the point of care and compliant with standards for electrical and biological safety – will facilitate their adoption as a standard fixture in healthcare environments worldwide.

Ultimately, improving syringe needle destroyers is about advancing medical standards and protecting those on the frontline of care. A top-tier needle destroyer allows healthcare workers to perform their duties without fear of accidental injury from used needles, reinforcing a culture of safety. It also

contributes to public health by ensuring that dangerous sharps are neutralized before they can ever pose a risk to waste handlers or the community. The insights from this paper serve as a foundation for design innovation: manufacturers and engineers can leverage our findings to create syringe needle destroyers that are more efficient, safer to use, and more user-friendly than ever before. In doing so, we move closer to a future where needlestick injuries become a rare occurrence, thanks to technology that effectively safeguards every used needle from cradle to grave.

7.Acknowledgements

The authors thank all healthcare professionals, administrators, experts, and research assistants for their valuable support.

8. References

- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1979). A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica*, 47(5), 1287–1294. doi:10.2307/1911963
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3rd ed.). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Cooke, C. E., & Stephens, J. M. (2017). Clinical, economic, and humanistic burden of needlestick injuries in healthcare workers. *Medical Devices: Evidence and Research*, 10, 225–235. doi:10.2147/MDER.S140846
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334. doi:10.1007/BF02310555
- Firdaus, A., Ferdana, N., Mujakar, S., Satrio, H., & Zulhamidi. (2024). Design and development of syringe needle destroyer using melting method. *EMITOR: Jurnal Teknik Elektro*, 1(2), 41–52. doi:10.23917/emitor.v24i3.4494
- Green, S. B. (1991). How many subjects does it take to do a regression analysis? *Multivariate Behavioral Research*, 26(3), 499–510. doi:10.1207/s15327906mbr2603_7
- Higginson, R. J., & Parry, A. (2013). Needlestick injuries and safety syringes: A review of the literature. *British Journal of Nursing*, 22(Suppl. 5), S4–S8. doi:10.12968/bjon.2013.22.Sup5.S4
- Jahangiri, M., Rostamabadi, A., Hoboubi, N., Tadayon, N., & Soleimani, A. (2016). Needlestick injuries and their related safety measures among nurses in a university hospital, Shiraz, Iran. *Safety and Health at Work*, 7(1), 72–77. doi:10.1016/j.shaw.2015.07.006
- Kim, S. M., Taerim, K., Lee, J. H., Cho, S. Y., & Cha, W. C. (2022). Effect of the automatic needle destroyer on healthcare providers' work in an

- emergency department: A mixed-methods study. *Healthcare Informatics Research*, 28(2), 123–131. doi:10.4258/hir.2022.28.2.123
- Kim, Y., Oh, K., Kim, N., & Yun, J. (2019). Development of a safe syringe disposal system moving towards automated syringe data collection. *Healthcare Informatics Research*, 25(1), 47–50. doi:10.4258/hir.2019.25.1.47
- Laowha, C., Tashoo, K., Boonsaner, N., Premchaisawatt, S., Juntahan, N., & Pranamko, T. (2023). Semi-automatic syringe removal machine to shorten the time. *Kalasin University Journal of Science Technology and Innovation*, 1(2), 41–52. doi:10.14456/ksti.2022.4
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 1–55. Retrieved from https://legacy.voteview.com/pdf/Likert_1932.pdf
- MathWorks, Inc. (2020). *MATLAB* (Version R2020a) [Computer software]. Natick, MA: Author. Retrieved from <https://www.mathworks.com/>
- O’Brien, R. M. (2007). A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. *Quality & Quantity*, 41(5), 673–690. doi:10.1007/s11135-006-9018-6
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3–4), 591–611. doi:10.1093/biomet/52.3-4.591
- von Elm, E., Altman, D. G., Egger, M., Pocock, S. J., Gøtzsche, P. C., & Vandenbroucke, J. P. (2007). Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: Guidelines for reporting observational studies. *Annals of Internal Medicine*, 147(8), 573–577. doi:10.7326/0003-4819-147-8-200710160-00010
- World Health Organization. (2016). *Safe injection and related procedural practices (updated guide)*. Retrieved from <https://www.who.int/publications/b/31378>

World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. doi:10.1001/jama.2013.281053

การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีที่เหมาะสมสำหรับควบคุมอุณหภูมิ ของกาต้มน้ำไฟฟ้าด้วยการค้นหาแบบค้างคาว Optimal PID Controller Design for Temperature Control of Electric Kettle by Bat Search

สัตถาภูมิ ไทยพานิช¹, ดนุพล คำปัญญา^{2*}

Sattarpoom Thaiparnit¹, Danupon Kumpanya^{2*}

¹สาขาวิชาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

¹Department of Information System and Business Computer,
Faculty of Business Administration and Information Technology,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi

²Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi

*Corresponding author email: danupon.k@rmutsb.ac.th

Received 30 Aug. 2025 Revised 24 Jan. 2026 Accepted 24 Mar. 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีที่เหมาะสมสำหรับควบคุมอุณหภูมิของกาต้มน้ำไฟฟ้าด้วยการค้นหาแบบค้างคาวซึ่งเป็นวิธีเชิงเมตา-ฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ การค้นหาแบบค้างคาวจะทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าน้อยที่สุดที่กำหนดจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างค่าอุณหภูมิอ้างอิงและค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงของกาต้มน้ำไฟฟ้า ทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของกาต้มน้ำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส จากผลการจำลอง พบว่า การค้นหาแบบค้างคาวสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีได้อย่างเหมาะสม ให้ผลตอบสนองของระบบควบคุม

อย่างมีประสิทธิภาพกว่าการควบคุมด้วยเทอร์โมสแตท นอกจากนี้ ผลการจำลองยังได้รับการยืนยันจากผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของกาท้มน้ำไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการจริง

คำสำคัญ: ตัวควบคุมพีไอดี, กาท้มน้ำไฟฟ้า, การค้นหาแบบคางควา, เมตา-ฮิวริสติก

Abstract

This research presents an optimal the PID controller design for temperature control of an electric kettle by bat search (BS) which is the most efficient meta-heuristic methods. In this research, the BS is conducted to minimize the control objective function formulated by the sum-squared error between the reference temperature and the actual temperature of an electric kettle, and the experiment was carried out by testing the temperature control of electric kettles at 3 different temperature levels: 60, 80 and 100 degree Celsius. As the simulation, it resulted that the BS was able to optimize the parameters of the PID controller with very effective responses than the control by thermostat. In addition, the simulation results are confirmed by the experiment results of the temperature control of an electric kettle developed in the real laboratory.

Keywords: PID controller, electric kettle, bat search, meta-heuristic

1. บทนำ

กาต้มน้ำไฟฟ้าเป็นหม้อต้มน้ำให้ร้อนชนิดหนึ่ง โดยทั่วไป มีโครงสร้างเป็นโลหะสำหรับต้มน้ำร้อน ฝาครอบและหุ้บมีลักษณะอยู่ในตัว กาต้มน้ำไฟฟ้าใช้กันอย่างแพร่หลายในการต้มน้ำชงชา กาแฟ และอื่นๆ เป็นต้น กาต้มน้ำไฟฟ้าสามารถทำความเร็วในการต้มน้ำให้ร้อนได้เร็วที่สุด มีความเร็วเกือบสองเท่าของเตาต้มน้ำร้อนแบบตั้งพื้น ดังนั้น การใช้กาต้มน้ำไฟฟ้าจึงใช้ทำอาหารและเครื่องดื่มได้หลากหลาย หลายปีที่ผ่านมาปัญหาของการควบคุมอุณหภูมิเป็นปัญหาที่ทำลายมาตลอดโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับวิศวกรรมระบบควบคุม (Yadav & Trivedi, 2014) แม้ว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่จะมีการควบคุมอุณหภูมิในรูปแบบเดียวหรือในรูปแบบอื่นๆ แต่ยังคงใช้วิธีการควบคุมอย่างง่าย ๆ เช่น วิธีการควบคุมแบบเปิด-ปิดสำหรับกาต้มน้ำไฟฟ้าที่ใช้วิธีการควบคุมอุณหภูมิที่โดดเด่น ก็คือ การควบคุมแบบเปิด-ปิดโดยใช้เทอร์โมสแตท (thermostat) แต่เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการต้มน้ำด้วยกาต้มน้ำไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าการต้มน้ำชนิดเดียวกันแบบตั้งพื้น ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องพัฒนาระบบควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานและต้นทุนที่ใช้กาต้มน้ำไฟฟ้า

ตัวควบคุมตระกูลพีไอดี (proportional-integral-derivative: PID) เป็นตัวควบคุมที่มีประวัติศาสตร์ยาวนานที่สุดและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Minorsky, 1922), (Pessen, 1996) วิศวกรทั่วไปชอบใช้ตัวควบคุม PID ในการประยุกต์กับงานทางวิศวกรรมเนื่องจากสร้างได้ง่าย และให้สมรรถนะคงทน (Madugu, 2018) แต่การทำงานก็ยังคงถูกจำกัดไว้เพียงบางส่วนเท่านั้น และมีคุณสมบัติการออกแบบความคงทนที่ไม่น่าพอใจมากนัก ในงานวิจัยนี้ การต้มน้ำไฟฟ้าจึงได้ถูกประดิษฐ์ขึ้น เพื่อลดการใช้พลังงานโดยใช้ตัวควบคุม PID ด้วยวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงเมตา-ฮิวริสติก (meta-heuristic optimization search) (Talbi, 2009) ที่ได้รับการยอมรับและนิยมอย่างแพร่หลาย (Yang, 2010a) อัลกอริทึมเมตา-ฮิวริสติกจำนวนมากได้รับการพัฒนาสำหรับแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงตัวเลขและเชิงการจัด (combinatorial) และได้ประสบความสำเร็จในการนำไปประยุกต์กับการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นปัญหาจริงทางวิศวกรรม อาทิเช่น การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีสำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว (โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง และพิรวัจน์ มีสุข, 2563) และการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Golden Section Search (อนันต์

นิมิตวาทน์ และอรรถสิทธิ์ ชื่นใจ, 2565) ซึ่งหนึ่งในวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงเมตา-ฮิวริสติกที่พบว่ามีประสิทธิภาพมาก นั่นคือ การค้นหาแบบค้างคาว (bat search: BS) ถูกนำเสนอโดย Yang เมื่อปี ค.ศ. 2010 (Yang, 2010b) โดยได้รับแรงบันดาลใจที่เกิดจากพฤติกรรม การสะท้อนคลื่นเสียงความถี่สูง (sonar) ของค้างคาวกินแมลงขนาดเล็กที่มีการปล่อยพัลส์ และความดังที่แตกต่างกัน (echolocation) จากที่ผ่านมา พบว่า BS ได้ประสบความสำเร็จ ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมด้านต่างๆ เช่น การออกแบบคานเชื่อมประกอบ (design of welded beam) (Yang, 2011) การออกแบบภาชนะรับแรงดัน (design of pressure vessel) การออกแบบสปริง (design of spring) (Tsai et al., 2011) เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาผลตอบสนองของระบบในโดเมนเวลา (time-domain) ที่สามารถแบ่งออกเป็น ผลตอบสนองเชิงการติดตามคำสั่งอินพุต (command following) และการกำจัดสัญญาณ รบกวน (disturbance rejection) ประกอบด้วย ค่าพุ่งเกินสูงสุด (maximum overshoot: M_p) ช่วงเวลาขึ้น (rise time: t_r) ช่วงเวลาเข้าที่ (settling time: t_s) และค่าความผิดพลาด ที่สถานะอยู่ตัว (steady-state error: e_{ss}) ในขณะที่ ความคงทน (robustness) จะอยู่ภายใต้ เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงจากการรบกวนที่เกิดจากภายนอก (external disturbance: t_d) นอกจากนี้ การออกแบบตัวควบคุม PID อย่างเหมาะสมด้วย BS สามารถกำหนดค่าพุ่งเกินสูงสุด M_p ให้มีค่าน้อยกว่า 20% และค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัว e_{ss} ให้มีค่าน้อยกว่า 1%

ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ คือ การออกแบบตัวควบคุม PID อย่างเหมาะสม สำหรับควบคุมอุณหภูมิของกาน้ำต้มน้ำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 3 ระดับ โดยใช้วิธี BS (Yang, 2010b) กับค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (sum-squared error: SSE) ซึ่งคำนวณจากผลรวมของ ค่าผลต่างกำลังสองระหว่างค่าอุณหภูมิอ้างอิง (reference temperature) และค่าอุณหภูมิ ที่เกิดขึ้นจริง (actual temperature) ของกาน้ำต้มน้ำไฟฟ้าที่กำหนดให้เป็นค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ (objective function: F) ที่มีค่าน้อยที่สุดสำหรับอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส

รายละเอียดในงานวิจัยจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ วิธีดำเนินการวิจัยจะกล่าว ในหัวข้อที่ 2 ในหัวข้อที่ 3 จะกล่าวถึงผลการวิจัย ส่วนในหัวข้อที่ 4 จะกล่าวถึงอภิปรายผล และสุดท้ายในหัวข้อที่ 5 จะเป็นสรุปผลการวิจัย ตามลำดับ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกาต้มน้ำไฟฟ้า

การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ของกาต้มน้ำไฟฟ้าสามารถทำได้โดยให้สมมติอุณหภูมิของน้ำที่อยู่ภายในกาต้มน้ำไฟฟ้าสม่ำเสมอ และอุณหภูมิภายนอกของระบบมีค่าคงที่ โดยใช้กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ (the first law of thermodynamics) (Stphanopoulos, 2006) แสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$C_T \frac{dT_w}{dt} = q(t) - q_o(t) \quad (1)$$

โดยที่ C_T คือ ความจุความร้อนของระบบ (thermal capacity of the system) ($J / ^\circ C$)

$q_o(t)$ คือ การสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม (heat loss to the environment)

$$(J), q_o(t) = \frac{(T_w - T_a)}{R_T}$$

T_a คือ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (ambient temperature) ($^\circ C$)

R_T คือ ความต้านทานความร้อน (thermal resistance) ($^\circ C / J$)

T_w คือ อุณหภูมิของน้ำ (temperature of the water) ($^\circ C$)

$q(t)$ คือ ความร้อนที่ถูกจ่ายโดยอุปกรณ์ทำความร้อน (heat supplied by the heater)(J)

แทนค่า $q_o(t) = \frac{(T_w - T_a)}{R_T}$ ลงในสมการที่ (1) แสดงได้ดังสมการที่ (2)

$$C_T \frac{dT_w}{dt} = q(t) - \frac{(T_w - T_a)}{R_T} \quad (2)$$

$$\frac{dT_w}{dt} + \frac{T_w}{R_T C_T} = \frac{q(t)}{C_T} + \frac{T_a}{R_T C_T} \quad (3)$$

ผลการแปลงลาปลาซ (Laplace Transform) สมการที่ (3) แสดงได้ดังสมการที่ (4)

$$sR_T C_T T_w(s) + T_w(0) + T_w(s) = Q(s)R_T + T_a(s) \quad (4)$$

แต่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมคงที่ $T_w(0) = T_a(s)$ สมการที่ (4) แสดงได้ดังสมการที่ (5)

$$G(s) = \frac{T_w(s)}{Q(s)} = \frac{R_T}{(R_T C_T s + 1)} \quad (5)$$

โดยที่ $R_T C_T$ คือ ค่าคงตัวทางเวลาของกระบวนการ (time constant of the process) มีค่าเท่ากับ τ

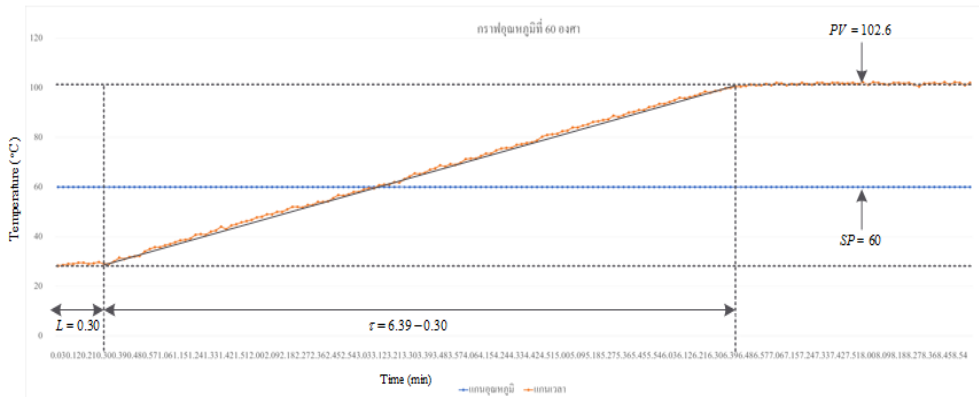
R_T คือ ค่าอัตราขยายของกระบวนการ (process of the gain) มีค่าเท่ากับ K_g ในทางปฏิบัติ พบว่า มีเวลาไร้ผลสนอง (dead time: L) (Prasad et al, 2012) สามารถเขียนได้เป็น e^{-Ls} สมการที่ (5) จึงก่อรูปเป็นสมการที่ (6)

$$G_p(s) = \frac{K_g}{(\tau s + 1)} e^{-Ls} \quad (6)$$

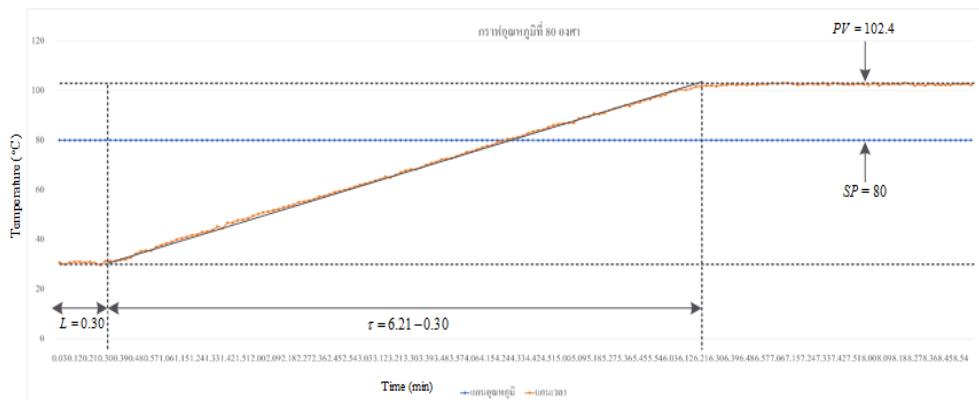
ในงานวิจัยนี้ ทดสอบผลตอบแทนของวงเปิดการควบคุมอุณหภูมิของกาต้มน้ำไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการจริง แสดงได้ดังภาพที่ 1 การทดสอบใช้กาต้มน้ำไฟฟ้า OTTO รุ่น PT-104 กำลังไฟฟ้า 1,500 วัตต์ ขนาดความจุ 1.8 ลิตร ที่มีระบบตัดความร้อนและมีขดลวดความร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ชนิดเค (K-type) ตรวจจับอุณหภูมิที่มีค่าความคลาดเคลื่อน ± 1.5 องศาเซลเซียส ส่งสัญญาณแอนะล็อกมามาตรฐานเข้าบอร์ดอาดูโน นาโน (arduino nano) ขนาด 10 บิต มีค่าอยู่ในช่วง 0–1023 อัตราการสุ่มตัวอย่าง (sampling rate) 9.6 กิโลเฮิรตซ์ ใส่น้ำในกาต้มน้ำร้อนไฟฟ้า 1/2 ของกาต้มน้ำ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 30 องศาเซลเซียส ทดสอบหาผลตอบแทนของวงเปิดที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 นาที แสดงได้ดังภาพที่ 2–4 ในขณะที่ ค่าพารามิเตอร์ของผลตอบแทนวงเปิดในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอนแสดงได้ดังตารางที่ 1



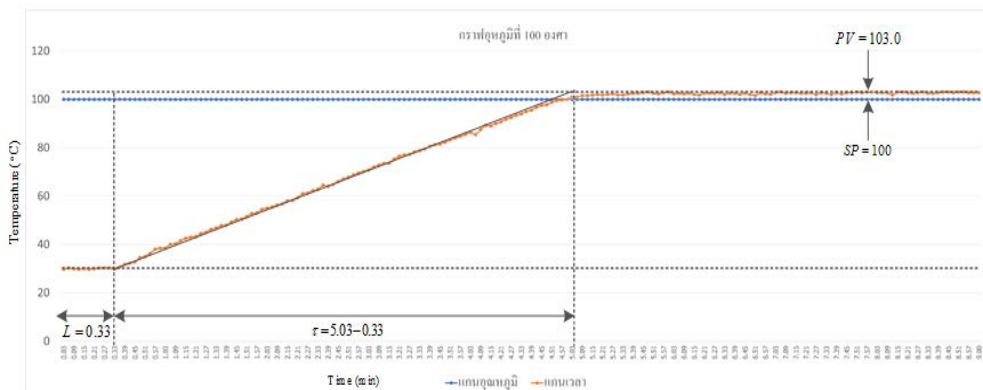
ภาพที่ 1 การควบคุมอุณหภูมิของกาต้มน้ำไฟฟ้า



ภาพที่ 2 ผลตอบสนองวงเปิดที่ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3 ผลตอบสนองวงเปิดที่ 80 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4 ผลตอบสนองวงเปิดที่ 100 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของผลตอบสนองวงเปิดในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอน

Temperature (°C)	Parameters			Transfer functions
	$K_g = \frac{\Delta PV}{\Delta SP}$	τ (sec.)	L (sec.)	
60	1.71	365.4	18.0	$G_p(s) = \frac{1.71}{365.4s + 1} e^{-18.0s}$
80	1.28	354.6	18.0	$G_p(s) = \frac{1.28}{354.6s + 1} e^{-18.0s}$
100	1.03	282.0	19.8	$G_p(s) = \frac{1.03}{282.0s + 1} e^{-19.8s}$

หมายเหตุ: PV คือ ตัวแปรกระบวนการ (process variable) และ SP คือ ค่าที่กำหนดไว้ (value to a set-point) (ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ, 2553)

2.2 การค้นหาแบบค้างคาว

การค้นหาแบบค้างคาว (BS) (Yang, 2010b) เป็นวิธีการเลียนแบบพฤติกรรม การสะท้อนคลื่นเสียงความถี่สูง (sonar) คลื่นเสียงความถี่สูงหูของมนุษย์จะไม่ได้ยินเสียง แต่หูของค้างคาวมีความไวสูงมากสามารถตรวจจับคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงที่ส่งออกไป กระแทกกับวัตถุใดๆ แล้วสะท้อนกลับมายังหูของค้างคาวได้ ทำให้ค้างคาวสามารถรับรู้ถึง ตำแหน่งและระยะห่างของสิ่งกีดขวางจากเสียงที่สะท้อนกลับมาได้ รวมทั้งตรวจสอบ ตำแหน่งของอาหาร (เหยื่อ) ได้อีกด้วย การค้นหาแบบค้างคาวอาศัยกลไกที่สำคัญ 3 ข้อ คือ

1) ค้างคาวสามารถค้นหาตำแหน่งของวัตถุ โดยให้ปริภูมิการค้นหาเป็น d มิติ และ ค้างคาวตัวที่ i สามารถแทนด้วย x_i ความเร็วของค้างคาวตัวที่ i สามารถแทนด้วย v_i ความถี่พัลส์ของค้างคาวตัวที่ i สามารถแทนด้วย f_i ตำแหน่ง (ผลเฉลย) ใหม่ x'_i และ ความเร็วใหม่ v'_i ในช่วงเวลา t การปรับปรุงความถี่พัลส์อาศัยสมการที่ (7) ถึงสมการที่ (9) เมื่อ $\beta \in [0,1]$ คือ เวกเตอร์การสุ่ม (random vector) ที่หาได้จากการแจกแจงแบบปกติ (uniform distribution) x_* คือ ผลเฉลยวงกว้าง (global solution) ที่อยู่ในรอบปัจจุบัน เมื่อเทียบกับผลเฉลยทั้งหมดในจำนวนค้างคาว n ตัว และ t คือ รอบการค้นหาปัจจุบัน โดยการค้นหาเฉพาะที่ (local search) ผลเฉลยใหม่ถูกสร้างขึ้นจากผลเฉลยวงกว้างที่ดีที่สุด ในรอบปัจจุบันดังสมการที่ (10) เมื่อ $\varepsilon \in [-1,1]$ คือ จำนวนการสุ่ม (random number) โดยที่ $A' = (A'_i)$ คือ ความดังของเสียงเฉลี่ยของค้างคาวทั้งหมดในช่วงเวลานั้น

$$f_i = f_{\min} + \beta(f_{\max} - f_{\min}) \quad (7)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + f_i(x_i^{t-1} - x_*) \quad (8)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (9)$$

$$x_{\text{new}} = x_{\text{old}} + \varepsilon A^t \quad (10)$$

2) ค่าความถี่ทิศทางบินแบบสุ่ม (randomly) ด้วยความเร็ว v_i ในตำแหน่ง x_i ด้วยความถี่คงที่ $f_{\min}$ โดยเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่น λ และความดังของเสียง A_0 เพื่อค้นหาอาหารและสามารถปรับเปลี่ยนความยาวคลื่นของพัลส์ที่ปล่อยออกมาและปรับอัตราการปล่อยพัลส์ (pulse emission: r) โดยที่ $r \in [0,1]$ ปกติขึ้นอยู่กับระยะห่างเป้าหมาย การปล่อยพัลส์จะเริ่มจากค่าที่เป็นศูนย์และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อค่าความถี่ของพัลส์ (เหยื่อ) เพิ่มขึ้น อัตราการปล่อยพัลส์ของค่าความถี่จะถูกปรับเปลี่ยนไปตามสมการที่ (11)

$$r_i^{t+1} = r_i^0(1 - e^{(-\gamma t)}) \quad (11)$$

3) ความดังของเสียงสามารถเปลี่ยนแปลงได้หลายรูปแบบ นั่นคือ ความดังของเสียงจะเปลี่ยนแปลงจากความดังของเสียงสูงที่สุด A_0 ไปยังค่าคงที่ต่ำที่สุด $A_{\min}$ ความดังจะลดเรื่อยๆ เมื่อค่าความถี่ของพัลส์ (เหยื่อ) เพิ่มขึ้น โดยที่ ความดังของเสียงจะถูกปรับเปลี่ยนตามสมการที่ (12)

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (12)$$

จากกลไกที่สำคัญ 3 ข้อ ของ BS สามารถเขียนเป็นรหัสจำลอง (pseudo codes) ที่ใช้เป็นตัวแทนขั้นตอนวิธีของ BS แสดงได้ดังภาพที่ 5

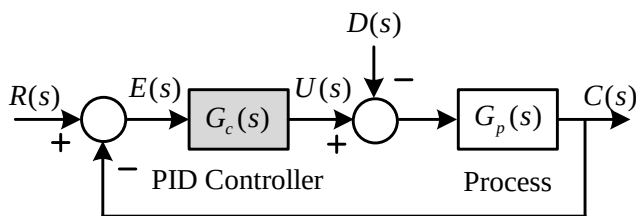
Initialized:

- Objective function $f(x)$, $x = (x_1, \dots, x_d)^T$
- Initialize the bat population $x_i = (i = 1, 2, \dots, n)$ and v_i
- Define pulse frequency f_i at x_i
- Initialize pulse rate r_i and the loudness A_i
- while** ($t < \text{Max_Gen}$) or (Termination Criteria: TC)
 - Generate new solutions by adjusting frequency
 - Update velocities and locations/solutions by using (7) - (9)
 - if** ($\text{rand} > r_i$)
 - Select as solution among the best solutions
 - Generate a local solution around the selected best solution
 - else if**
 - Generate a new solution by flying randomly
 - if** ($\text{rand} < A_i \ \& \ f(x_i) < f(x_*)$)
 - Accept the new solutions
 - Increase r_i and reduce A_i
 - end if**
 - Rank the bats and find the current best x_*
- End while**
- Report the best solution found

ภาพที่ 5 รหัสจำลองที่ใช้เป็นตัวแทนขั้นตอนวิธีของ BS (Yang, 2010b)

2.3 การออกแบบระบบควบคุมพีไอดี

โครงสร้างของระบบควบคุม PID แสดงได้ดังภาพที่ 6 ตัวควบคุม (controller) $G_c(s)$ รับสัญญาณคลาดเคลื่อน (error signal) $E(s)$ มาคำนวณเพื่อผลิตสัญญาณควบคุม (control signal) $U(s)$ และส่งไปควบคุมกระบวนการ (process) $G_p(s)$ ให้ผลตอบสนองหรือเอาต์พุต (output) $C(s)$ มีความสอดคล้องกับอินพุตอ้างอิง (reference input) $R(s)$ พร้อมทั้งกำจัดสัญญาณรบกวน (disturbance signal) $D(s)$ ไปพร้อมกัน

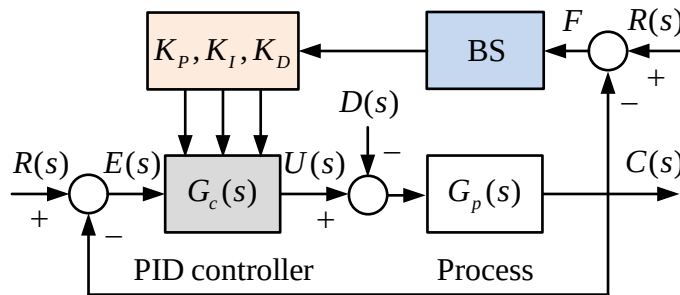


ภาพที่ 6 โครงสร้างของระบบควบคุม PID

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม PID แสดงได้ดังสมการที่ (13) โดยที่ K_p เป็นอัตราขยายเชิงปรับสัดส่วน (proportional gain) K_i เป็นอัตราขยายเชิงอินทิกรัล (integral gain) และ K_d เป็นอัตราขยายเชิงอนุพันธ์ (derivative gain) ตามลำดับ

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s} \quad (13)$$

การออกแบบระบบควบคุม PID ด้วย BS แสดงได้ดังภาพที่ 7 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ F จะถูกป้อนให้กับ BS เพื่อทำหน้าที่ค้นหาค่าพารามิเตอร์ K_p , K_I และ K_D ทั้ง 3 ตัว ของตัวควบคุม PID อย่างเหมาะสม โดยค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ F หาจากผลรวมของ ค่าผลต่างกำลังสองระหว่างค่าอนุพันธ์อ้างอิง $R(s)$ และค่าอนุพันธ์ที่เกิดขึ้นจริง $C(s)$ เมื่อ N คือ จำนวนข้อมูล (data number) ที่นำมาคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ F เพื่อให้อยู่ในรูปผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (SSE) แสดงได้ดังสมการที่ (14) โดยค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ F จะถูกป้อนให้กับ BS เพื่อให้มีค่าน้อยที่สุดในการค้นหา ค่าพารามิเตอร์ K_p , K_I และ K_D ทั้ง 3 ตัว ของตัวควบคุม PID อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 7 การออกแบบระบบควบคุม PID ด้วย BS

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & F = \sum_{i=1}^N [r(i) - c(i)]^2 \\ \text{subject to} \quad & M_p \leq 20\%, e_{ss} \leq 1\%, \\ & 0 \leq K_p \leq 5.0, 0 \leq K_I \leq 0.05, 0 \leq K_D \leq 0.005 \end{aligned} \quad (14)$$

3. ผลการวิจัย

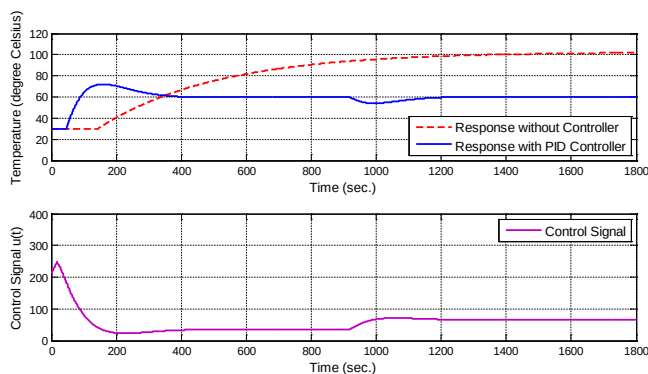
3.1 ผลการจำลองระบบควบคุม

การค้นหาค่าพารามิเตอร์ของ BS ในเบื้องต้น กำหนดให้จำนวนค่าความ $n = 20$ ความถี่ $f_{\min} = 0.0$ และ $f_{\max} = 2.0$ ความดังของเสียง $A_0 = 0.5$ อัตราการปล่อยพัลส์ $r_0 = 0.5$ และ $\alpha = \gamma = 0.9$ จำนวนรอบสูงสุด (Max_Gen) = 1000 กำหนดเป็นเกณฑ์ยุติ การค้นหา (termination criteria: TC) การออกแบบดำเนินการค้นหาทั้งหมด 40 ตัวอย่าง กับการสุ่มผลเฉลยค่าเริ่มต้นในแบบต่างๆ เพื่อให้ได้รับผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยกำหนด เงื่อนไขการปรับแต่งตัวควบคุม PID ภายใต้เงื่อนไขของขอบเขตค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ F

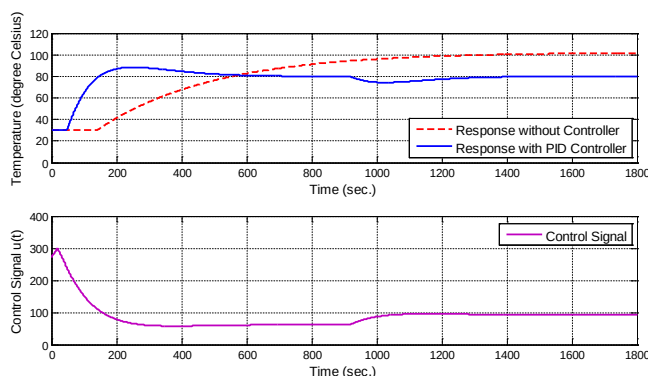
แสดงได้ดังสมการที่ (14) หลังจากยุติการค้นหาค่าด้วย BS จะได้ค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_d ของตัวควบคุม PID ที่ถูกออกแบบอย่างเหมาะสมด้วย BS แสดงได้ดังตารางที่ 2 ผลตอบสนองของการจำลองระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังภาพที่ 8-10 และสมรรถนะของการจำลองระบบควบคุมแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่ถูกออกแบบอย่างเหมาะสมด้วย BS

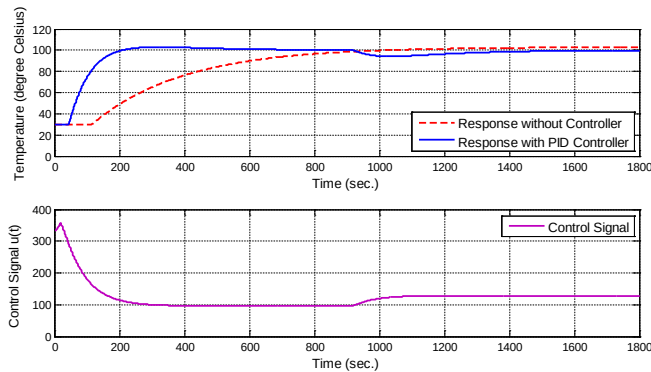
Temperature (°C)	Parameters			Obj. (F)
	K_p	K_i	K_d	
60	3.5279	0.0325	0.0014	0.9832
80	3.3888	0.0201	0.0012	0.9849
100	3.2738	0.0148	0.0010	0.9749



ภาพที่ 8 ผลตอบสนองของการจำลองระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 9 ผลตอบสนองของการจำลองระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 10 ผลตอบสนองของการจำลองระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 สมรรถนะของการจำลองระบบควบคุม

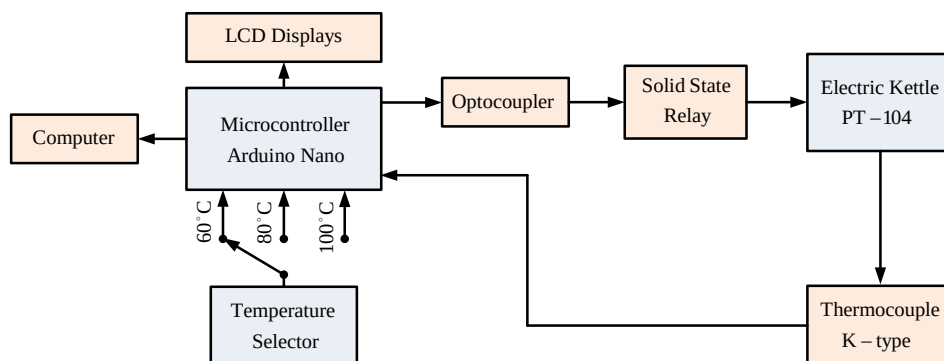
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Simulation Responses				
	t_r (sec.)	M_p (%)	t_s (sec.)	e_{ss} (%)	t_d (sec.)
60	90.1622	19.28	355.2030	0.00	253.8965
80	147.6685	10.52	538.8285	0.00	366.6594
100	209.8653	2.97	613.0448	0.00	422.3595

จากภาพที่ 8-10 และตารางที่ 3 พบว่า ผลตอบสนองของการจำลองระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาขึ้น t_r มีช่วงเวลาเข้าที่ t_s น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส โดยมีค่าพุ่งเกินสูงสุด M_p น้อยกว่า 20% เมื่อมีสัญญาณรบกวน t_d เข้ามาในระบบควบคุมโดยทำให้อุณหภูมิลดลง -30 องศาเซลเซียส ที่เวลา 900 วินาที การจำลองระบบควบคุม PID ที่ถูกออกแบบอย่างเหมาะสมด้วย BS สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของกาน้ำต้มน้ำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดสัญญาณรบกวน t_d ได้โดยไม่มีค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัว e_{ss}

3.2 ผลการทดสอบระบบควบคุม

เพื่อยืนยันผลการจำลองระบบควบคุมที่ได้รับให้นำค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่ถูกออกแบบอย่างเหมาะสมด้วย BS ไปควบคุมอุณหภูมิของกาน้ำต้มน้ำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส ในห้องปฏิบัติการจริงแสดงได้ดังภาพที่ 11 โดยใช้กาน้ำต้มน้ำไฟฟ้าขนาดความจุ 1.8 ลิตร ที่มีขดลวดความร้อนและใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค ตรวจสอบอุณหภูมิที่มีค่าความคลาดเคลื่อน ± 1.5 องศาเซลเซียส ส่งสัญญาณแบบ

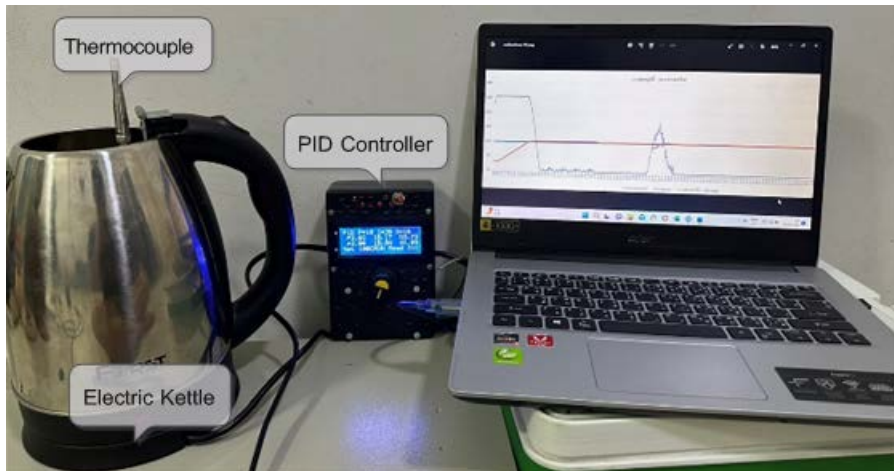
แวนะลอกมาตรฐานเข้าบอร์ดอาดูโน นาโน ขนาด 10 บิต ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0–1023 อัตราการสู่มตัวอย่าง 9.6 กิโลเฮิร์ตซ์ ใส่น้ำในกาต้มน้ำ 1/2 ของกาต้มน้ำ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 32 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังภาพที่ 12 ทดสอบหาผลตอบสนองของระบบควบคุมวงปิดเป็นเวลา 1800 วินาที เมื่อมีการรบกวน t_d เข้ามาในระบบควบคุมโดยการทำให้อุณหภูมิลดลง 30 องศาเซลเซียส ด้วยการเติมน้ำเย็นที่เวลา 900 วินาที แสดงได้ดังภาพที่ 13 ผลตอบสนองของการทดสอบระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังภาพที่ 14–16 และสมรรถนะของการทดสอบระบบควบคุมแสดงได้ดังตารางที่ 4



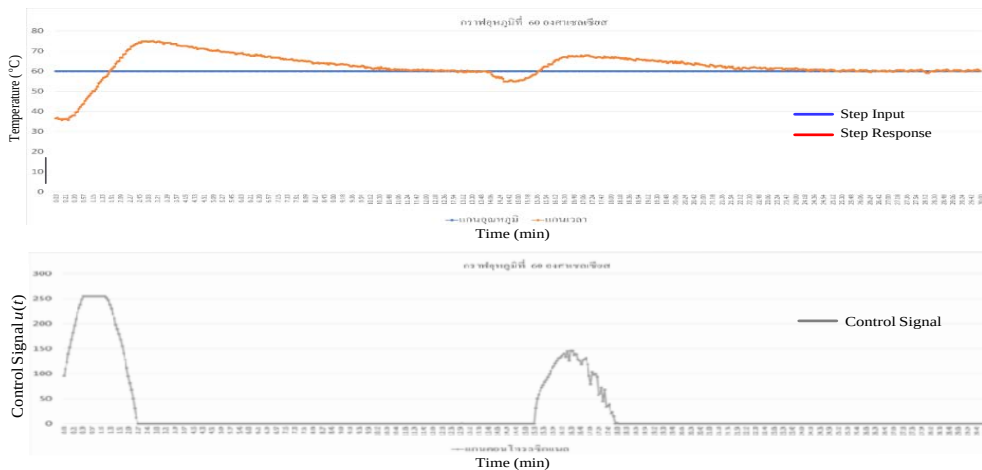
ภาพที่ 11 การควบคุมอุณหภูมิของกาต้มน้ำไฟฟ้า



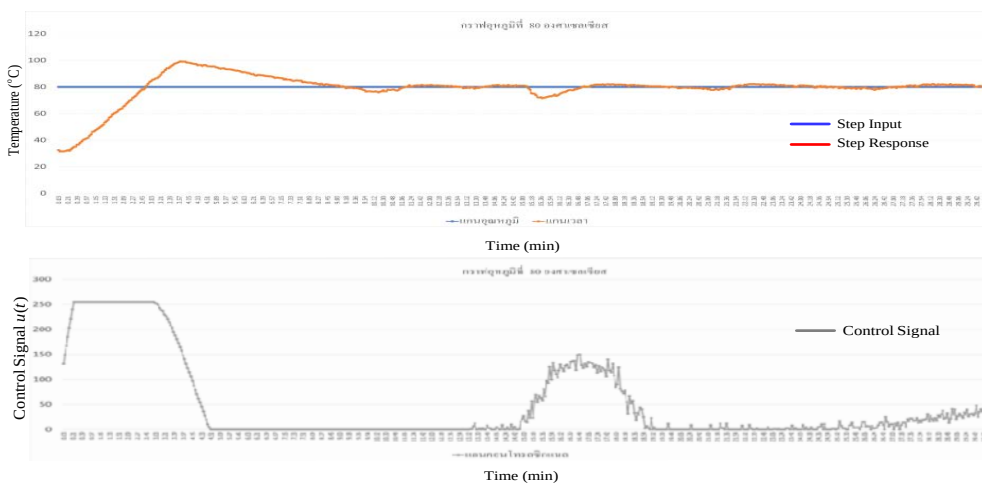
ภาพที่ 12 ใส่น้ำลงในกาต้มน้ำประมาณ 1/2 ของกาต้มน้ำร้อน



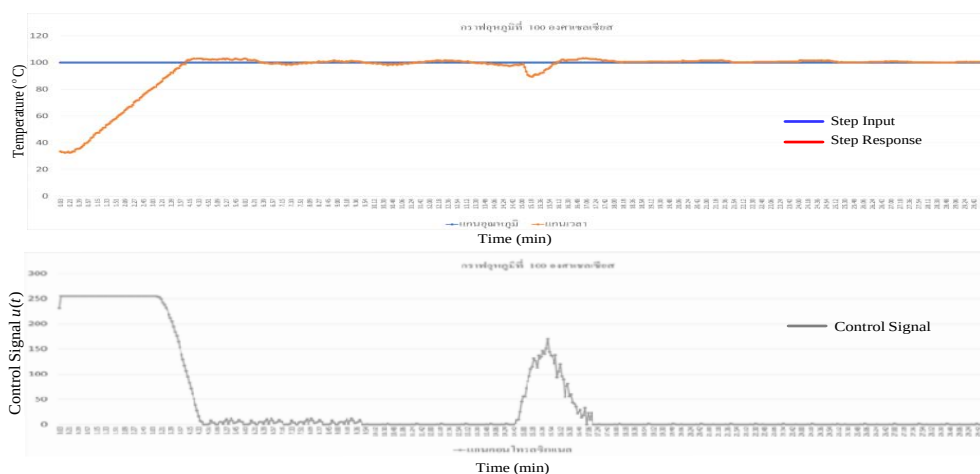
ภาพที่ 13 การควบคุมอุณหภูมิของกาน้ำไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการจริง



ภาพที่ 14 ผลตอบสนองของการทดสอบระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 15 ผลตอบสนองของการทดสอบระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 16 ผลตอบสนองของการทดสอบระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4 สมรรถนะของการทดสอบระบบควบคุม

Temperature (°C)	System Responses				
	t_r (sec.)	M_p (%)	t_s (sec.)	e_{ss} (%)	t_d (sec.)
60	90.60	26.66	618.00	0.00	448.80
80	147.00	25.00	496.20	0.00	201.60
100	214.20	5.00	372.60	0.00	145.20

จากภาพที่ 14–16 และตารางที่ 4 พบว่า ผลตอบสนองของการทดสอบระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาขึ้น t_r น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ในทางตรงกันข้าม มีช่วงเวลาเข้าที่ t_s มากกว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากกาน้ำไฟฟ้าสามารถทำความเร็วในการต้มน้ำให้ร้อนได้เร็วที่สุดในขณะที่ ตัวควบคุมพยายามควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเป้าหมาย (set-point) ที่กำหนด โดยมีค่าพุ่งเกินสูงสุด M_p มากกว่าเงื่อนไขการออกแบบที่กำหนดไว้ในสมการที่ 14 เนื่องจากมีความร้อนสะสมภายในกาน้ำไฟฟ้า เมื่อใส่การรบกวน t_d ด้วยการทำให้อุณหภูมิภายในกาน้ำมีค่าลดลง 30 องศาเซลเซียส ด้วยการเติมน้ำเย็นที่เวลา 900 วินาที ผลตอบสนองของการทดสอบระบบควบคุม PID ที่ถูกออกแบบอย่างเหมาะสมด้วย BS

สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของกาดม้ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดการรบกวนระบบควบคุม t_d ได้โดยไม่มีค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัว e_{ss} เช่นเดียวกับผลการจำลอง

4. การอภิปรายผล

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การออกแบบตัวควบคุม PID ที่เหมาะสมสำหรับควบคุมอุณหภูมิของกาดม้ไฟฟ้าโดยใช้ BS ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ F จะถูกป้อนให้กับ BS เพื่อทำหน้าที่ค้นหาค่าพารามิเตอร์ K_p , K_I และ K_D ทั้ง 3 ตัว ของตัวควบคุม PID อย่างเหมาะสม โดยค่า F หาจากผลรวมของค่าผลต่างกำลังสองระหว่างค่าอุณหภูมิอ้างอิงและค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริง ทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของกาดม้ไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส จากผลการจำลอง พบว่า วิธี BS สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ได้อย่างเหมาะสม ให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพกว่าการควบคุมด้วยเทอร์โมสตัท โดยที่ ผลการจำลองได้รับการยืนยันจากผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของกาดม้ไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการจริง

นอกจากนี้ ตัวควบคุม PID มีข้อจำกัดการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม แนวทางการพัฒนาในอนาคตสามารถใช้ตัวควบคุม PI-PD PIDA หรือ TID เพื่อปรับปรุงผลตอบสนองที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบควบคุมแบบโดดเด่น ทั้งการติดตามคำสั่งอินพุต และการกำจัดการรบกวนรบกวน รวมทั้ง ประยุกต์ใช้ตัวควบคุม PID กับกระบวนการอื่นๆ เพื่อพิจารณาถึงผลตอบสนองและสมรรถนะของระบบควบคุมในเชิงเปรียบเทียบ

5. สรุปผลการวิจัย

การควบคุมอุณหภูมิของกาดม้ไฟฟ้าด้วยตัวควบคุม PID ที่ถูกออกแบบด้วย BS ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ วิธีของ BS จะทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด ตามบริบทการหาค่าเหมาะที่สุดแนวใหม่ ในรูปของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างอุณหภูมิอ้างอิงและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงของกาดม้ไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส จากผลที่ได้รับ พบว่า BS สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ได้อย่างเหมาะสมให้ผลตอบสนองและสมรรถนะของระบบควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ

6. เอกสารอ้างอิง

- โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง, & พีรวัจน์ มีสุข. (2563). การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีสำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านด้วยวิธีการค้นหาแบบตาปูเชิงปรับตัว. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ*, 1(1), 72–85.
- ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ. (2553). *วิศวกรรมระบบควบคุม 1* (พิมพ์ครั้งที่ 5) กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- อนันต์ นิมทวัฒน์, & อรรถสิทธิ์ ชื่นใจ. (2565). การออกแบบฟังก์ชันคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Golden Section Search. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ*, 3(2), 93–103.
- Madugu, J. S. (2018). Modeling and simulation of proportional-integral-derivative (PID) temperature controller for an electric kettle. *International Journal of Engineering, Science and Mathematics*, 7(9), 15–20.
- Minorsky, N. (1922). Directional stability of automatically steered bodies. *Transactions of the American Society of Naval Engineers*, 34, 280–309.
- Pessen, D. W. (1996). A new look at PID controller tuning. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 116(3), 553–557.
- Prasad, S. J. S. (2012). Optimization of I-PD controller for a FOLIPD model using particle swarm intelligence. *International Journal of Computer Applications*, 43(9), 23–26.
- Stephanopoulos, G. (2006). *Chemical process control: An introduction to theory and practice*. New Delhi, India: Prentice-Hall of India.
- Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: From design to implementation*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

- Tsai, P. W., Pan, J. S., Liao, B. Y., Tsai, M. J., & Istanda, V. (2011). Bat algorithm inspired algorithm for solving numerical optimization problems. ... *Applied Mechanics and Materials*, 148–149, 134–137.
- Yadav, I., & Trivedi, A. (2014). Temperature control of CSTR: A comparative approach. ... *International Journal of Engineering Research and Reviews*, 2(3), 200–208.
- Yang, X. S. (2010a). *Engineering optimization: An introduction with metaheuristic applications*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Yang, X. S. (2010b). A new metaheuristic bat-inspired algorithm. In J. R. González et al. (Eds.), *Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010)* (Studies in Computational Intelligence, Vol. 284, pp. 65–74). Berlin, Germany: Springer.
- Yang, X. S. (2011). Bat algorithm for multi-objective optimization. ... *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 3(5), 267–274.

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อน กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชน

ประสานมิตร กรุงเทพมหานคร

Mulberry tea packaging design, Case study: Prasanmit

Community Enterprise Bangkok

ชุมพล อินทร์มณี¹, นกุล สารวงศ์¹, ณัฐชัย เปลี่ยนวิจารณ์¹,

สร้อยสุตา เลาะหมุด¹, หทัยรัตน์ อีระกาญจน์¹, จาตุรงค์ สารวงศ์¹, อัญญา อำไพ^{1*}

Chumpol Inmanee¹, Chumpol Inmanee¹, Nattachai Plienvijarn¹,

Soisuda Lohmood¹, Hathairat Theerakarn¹, Jaturong Sarawong¹, Aunya Ampai^{1*}

¹หลักสูตรวิชาการจัดการวิศวกรรมการผลิตและคลังสินค้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

¹Production and Warehouse Engineering Management , aculty of Engineering and
Industrial Technology , Bansomdejchaopraya Rajabhat University

*Corresponding author email: aunya.am@bsru.ac.th

Received 19 Sep. 2025 Revised 03 Mar. 2026 Accepted 24 Mar. 2026

บทคัดย่อ

บรรจุภัณฑ์ของสินค้าไม่เพียงแต่มีบทบาทในการปกป้องและรักษาคุณภาพสินค้า แต่
ยังมีความสำคัญในด้านการตลาด การใช้งาน และการสนับสนุนสิ่งแวดล้อม ทำให้การ
ออกแบบบรรจุภัณฑ์เป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตและจัดจำหน่ายสินค้า โดยงานวิจัย
เรื่อง การออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อน กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชนประสานมิตร แขวงหิรัญ
รูจี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อน
ของวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร และ 2) เพื่อออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนให้ได้มาตรฐาน
บรรจุภัณฑ์

ผู้วิจัยได้ทำการลงพื้นที่เข้าพบชุมชน เพื่อศึกษาสภาพปัญหาและสำรวจความต้องการ
ของชุมชน โดยใช้แบบสัมภาษณ์และแบบสังเกต และใช้หลักการออกแบบบรรจุภัณฑ์ในการ
ออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อน

ผลการวิจัย พบว่า บรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนเดิมของวิสาหกิจชุมชนเป็นถุงกระดาษซีปลี่ ออกติสติกเกอร์ ซึ่งจัดเก็บไม่สะดวก ฉีกขาดง่าย และแสดงข้อมูลไม่ครบถ้วนตามหลักการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ผู้วิจัยจึงพัฒนาบรรจุภัณฑ์ใหม่ให้แข็งแรง น้ำหนักเบา ป้องกันแรงกระแทก แสง และอากาศได้ดี ใช้งานสะดวก เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สื่อสารข้อมูลชัดเจน และได้กำหนดอัตลักษณ์ทางภาพของชาใบหม่อนทั้ง 5 รสชาติให้มีความแตกต่างกันด้านโทนสี และองค์ประกอบกราฟิก เพื่อสะท้อนลักษณะเฉพาะของแต่ละรสชาติ ได้แก่ สีเขียว (ใบหม่อน) สีขาว-เขียวอ่อน (มะลิ) สีส้มตาล (มะตูม) สีชมพู (เกสรบัวหลวง) และสีเหลือง (เก็กฮวย) ซึ่งช่วยเสริมภาพลักษณ์ที่ชัดเจนและเพิ่มการจดจำตราสินค้า

คำสำคัญ: ชาใบหม่อน, การออกแบบ, บรรจุภัณฑ์

Abstract

Packaging serves not only to protect and preserve product quality but also functions as a critical element in marketing, usability, and environmental sustainability. Accordingly, packaging design is an essential component of the production and distribution process. This research, entitled Packaging Design of Mulberry Leaf Tea: A Case Study of Prasanmitr Community Enterprise, Hiranyaruji Subdistrict, Thonburi District, Bangkok, was undertaken with two objectives: (1) to examine the existing packaging of mulberry leaf tea produced by the Prasanmitr Community Enterprise, and (2) to design mulberry leaf tea packaging in accordance with packaging standards.

The study employed fieldwork through direct engagement with the community to investigate existing problems and assess consumer and community needs. Data were collected using interviews and observation. The principles of packaging design were then applied in the development of the new packaging.

The research findings revealed that the original mulberry leaf tea packaging of the community enterprise consisted of a paper zip-lock bag with a sticker label. This format was inconvenient for storage, easily torn, and provided incomplete product information that did not comply with packaging design principles. Accordingly, the researcher developed a new packaging design that is durable, lightweight, resistant to impact, light, and air exposure, convenient to use, environmentally friendly, and capable of clearly communicating product information. In addition, a distinct visual identity was established for all five flavors through differentiated color schemes and graphic elements to reflect their unique characteristics, namely green (mulberry leaf), white–light green (jasmine), brown (bael fruit), pink (lotus pollen), and yellow (chrysanthemum). This approach enhances brand image clarity and strengthens brand recognition.

Keywords: Mulberry tea, Design, Packaging

1. บทนำ

ชาใบหม่อนเป็นสมุนไพรที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีองค์ประกอบทางชีวภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีสรรพคุณทางเภสัชวิทยาหลากหลาย งานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่ผ่านมาได้ยืนยันถึงศักยภาพของชาใบหม่อนในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด โดยในปี 2014 Son, Han และ Lee (Son, Han, & Lee, 2014) พบว่า การบริโภคชาใบหม่อนสามารถลดระดับกลูโคสในซีรัมและในปัสสาวะของหนูทดลองที่เป็นเบาหวาน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มระดับอินซูลินในซีรัม ซึ่งสะท้อนถึงความเป็นไปได้ใน การป้องกันหรือลดความรุนแรงของโรคเบาหวาน ขณะเดียวกัน Z. Matejčková, D. Liptáková และ L. Valík ปี 2016 (Matejčková, Liptáková & Valík, 2016) รายงานว่า ชาใบหม่อนมีส่วนช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังมื้ออาหาร โดยเฉพาะในช่วง 30 นาทีแรกหลังการรับประทานอาหาร แสดงถึงบทบาทสำคัญของชาใบหม่อนต่อการรักษาสมดุลของระดับน้ำตาลในร่างกาย นอกจากนี้ Meng et al. ในปี 2020 (Meng et al., 2020) ยังระบุว่า ฟลาโวนอยด์ในใบหม่อนสามารถกระตุ้นเส้นทางการส่งสัญญาณ IRS1/PI3K/AKT ส่งผลให้มีการเพิ่มการดูดซึมกลูโคสและช่วยปรับปรุงสุขภาพการเผาผลาญในเซลล์ไขมัน (adipocytes) ซึ่งตอกย้ำถึงศักยภาพของชาใบหม่อนในฐานะพืชสมุนไพรที่มีคุณค่าต่อการส่งเสริมสุขภาพ ในขณะที่มิติทางเศรษฐกิจ ใบหม่อนได้ถูกนำมาใช้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น อาหาร ชาสมุนไพรผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เป็นต้น ซึ่งบ่งชี้ถึงการใช้งานในตลาดที่หลากหลาย (Sarkhel, Manvi, & CT, 2020)

จากการศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตชาใบหม่อนของวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร พบว่า บรรจุภัณฑ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดด้านวัสดุ การออกแบบ และการจัดวางองค์ประกอบ ซึ่งขาดความดึงดูดใจต่อผู้บริโภคใหม่ และยังไม่เป็นไปตามหลักมาตรฐานการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ดังภาพที่ 1 ดังนั้น เพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อนของชุมชนให้มีศักยภาพในการแข่งขันทางการตลาดและสอดคล้องกับมาตรฐานการออกแบบบรรจุภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนโดยใช้วิสาหกิจชุมชนประสานมิตรเป็นกรณีศึกษา ซึ่งวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร ตั้งอยู่ในแขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร ดำเนินงานภายใต้แนวทางชุมชนเศรษฐกิจพอเพียง ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2560 โดยมีนางสาวมุกดา จอกแก้ว เป็นประธานชุมชน และปัจจุบันได้รับการพัฒนาเป็นศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงชุมชนประสานมิตร อินทพิทักษ์ (สำนักงาน กปร., 2560)

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนของวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร
- 2) เพื่อออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนให้ได้มาตรฐานบรรจุภัณฑ์

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

- 1) ออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อน
- 2) เก็บข้อมูลรูปแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนของชุมชน ระหว่างวันที่ 1 มีนาคม 2568 ถึง 31 มีนาคม 2568
- 3) ใช้หลักมาตรฐานการบรรจุภัณฑ์สำหรับการออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อน

3.2 ขอบเขตด้านเวลา

ระยะเวลาในการทำวิจัยตั้งแต่ วันที่ 1 มีนาคม 2568 ถึง 31 กรกฎาคม 2568

3.3 ขอบเขตด้านพื้นที่

ชุมชนประสานมิตร แขวงทิวสุริยบุรี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร

4. นิยามศัพท์เฉพาะ

ชาใบหม่อน หมายถึง ชาใบหม่อนที่ผลิตโดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร ชุมชนประสานมิตร แขวงทิวสุริยบุรี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร

บรรจุภัณฑ์ หมายถึง บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อน

มาตรฐาน หมายถึง มาตรฐานตามหลักมาตรฐานการบรรจุภัณฑ์

5. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 หลักการออกแบบบรรจุภัณฑ์ (ดวงจันทร์ นาชัยสินธุ์, 2558)

การออกแบบบรรจุภัณฑ์เป็นกระบวนการที่บูรณาการองค์ประกอบด้านโครงสร้างและงานกราฟิกเข้าด้วยกัน เพื่อถ่ายทอดอัตลักษณ์ของผลิตภัณฑ์และสร้างแรงจูงใจต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค โดยแนวคิดดังกล่าวให้ความสำคัญทั้งในมิติของการปกป้องสินค้าและการสื่อสารทางการตลาด

5.1.1 โครงสร้างบรรจุภัณฑ์ (Packaging Structure)

โครงสร้างบรรจุภัณฑ์ หมายถึง การออกแบบในเชิงกายภาพและเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับตัวบรรจุภัณฑ์โดยตรง ทั้งในด้านความแข็งแรง ความเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ และความสะดวกต่อกระบวนการบรรจุและกระจายสินค้า การออกแบบในส่วนนี้ควรคำนึงถึงประเด็นสำคัญ ได้แก่ การเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติป้องกันสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ การกำหนดรูปแบบและขนาดให้เหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ รวมถึงความสามารถในการรองรับน้ำหนักและรักษาคุณภาพของสินค้าได้ตลอดกระบวนการขนส่ง

นอกจากนี้ การออกแบบควรเอื้อต่อการใช้งานจริง เช่น ความสะดวกในการเปิด-ปิด การจัดเก็บ และการจัดเรียง อีกทั้งต้องสามารถปกป้องผลิตภัณฑ์จากปัจจัยภายนอกที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายได้อย่างเหมาะสม ในขณะเดียวกัน โครงสร้างบรรจุภัณฑ์ยังควรมีลักษณะเฉพาะที่ช่วยสร้างความแตกต่างและสะท้อนความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างชัดเจน

กล่าวโดยสรุป โครงสร้างบรรจุภัณฑ์ที่ดีควรผสมผสานความแข็งแรง ความเหมาะสมเชิงหน้าที่ และความโดดเด่นด้านภาพลักษณ์ เพื่อสนับสนุนทั้งการปกป้องสินค้าและการตัดสินใจซื้อ

5.1.2 กราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ (Graphic Design on Packaging)

องค์ประกอบด้านกราฟิกเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่สื่อสารข้อมูลและสร้างความประทับใจแรกแก่ผู้บริโภค การออกแบบกราฟิกที่มีประสิทธิภาพควรสะท้อนเอกลักษณ์ของสินค้าอย่างชัดเจน และเชื่อมโยงกับภาพลักษณ์ของตราสินค้า

หลักการสำคัญประกอบด้วย การกำหนดรูปแบบที่เหมาะสมกับประเภทสินค้า การนำเสนอข้อมูลหลากหลายอย่างครบถ้วนและชัดเจนผ่านตัวอักษร สี และภาพประกอบ ตลอดจนการเลือกใช้เทคโนโลยีการพิมพ์และวัสดุที่มีคุณภาพ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและคุณค่ารับรู้ของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ ควรสื่อสารคุณสมบัติและวิธีการใช้งานให้เข้าใจง่าย เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริโภค

5.1.2.1 องค์ประกอบหลักของบรรจุภัณฑ์

ฉลากบรรจุภัณฑ์ควรประกอบด้วยข้อมูลที่จำเป็นและเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค ได้แก่ ชื่อสินค้าและตราสินค้าที่ชัดเจน สัญลักษณ์ทางการค้าที่แสดงถึงอัตลักษณ์ การออกแบบรูปแบบทั้งสองมิติและสามมิติที่เหมาะสม รายละเอียดของสินค้าและส่วนประกอบ ปริมาณหรือขนาดที่ระบุไว้อย่างถูกต้อง ตลอดจนข้อมูลส่งเสริมการขาย ภาพประกอบที่เหมาะสม ชื่อผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่าย และข้อมูลที่กำหนดตามกฎหมาย เช่น วันที่ผลิตและวันหมดอายุ

6. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

องค์ความรู้จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้สะท้อนบทบาทของบรรจุภัณฑ์ชาในมิติที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นในด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาควรให้ความสำคัญกับวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รายละเอียดทางวัฒนธรรม และเทคนิคที่เป็นนวัตกรรมต้องหลีกเลี่ยงบรรจุภัณฑ์ที่มากเกินไปและว่างเปล่า (Wang & Naeim, 2023) การออกแบบบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ชาควรมุ่งเน้นไปที่ภาพที่สะดุดตาสดใสและรูปร่างที่น่าสนใจ นอกจากนี้ควรมีข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ชัดเจน และง่ายต่อการจัดการเปิดปิด เพื่อเพิ่มประสบการณ์ของผู้บริโภคและความสนใจในการซื้อ (Khuong & Tran, 2018) การออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับ Eight Treasures Tea ของ Ningxia โดยเน้นถึงความต้องการองค์ประกอบทางภาพและการสื่อสารคุณค่าทางวัฒนธรรม คุณสมบัติทางยา และประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มความตระหนักของประชาชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหมู่คนรุ่นใหม่ (Bai & Wong, 2022) การศึกษาวิเคราะห์การออกแบบบรรจุภัณฑ์ของชา West Lake Dragon Well โดยเน้นสัญลักษณ์ พื้นผิว สี และการพิมพ์แบบจีนแบบดั้งเดิม ซึ่งสื่อความหมายทางวัฒนธรรมและเพิ่มประสบการณ์ของผู้บริโภค สะท้อนถึงความสำคัญของชาในวัฒนธรรมจีนและการสื่อสารด้วยภาพ (Hu, Zelenko, Pinxit, & Buys, 2019) หรือจะเป็นวิธีการที่ใช้ประโยชน์สำหรับการออกแบบบรรจุภัณฑ์ โดยเน้นการโต้ตอบของผู้ใช้ บริบท และความสามารถในการทำงาน ซึ่งให้เห็นว่าการทำความเข้าใจเกี่ยวกับข้อเสนอสามารถนำไปสู่วิธีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ช่วยเพิ่มฟังก์ชันการทำงานและประสบการณ์ผู้ใช้ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทชา (De La Fuente, Gustafson, Twomey, & Bix, 2015) การวิเคราะห์ปัจจัยการรับรู้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ของเครื่องดื่มชาที่มีชื่อเสียง โดยเน้นอิทธิพลของรูปแบบการมองเห็นต่อการเลือกของผู้บริโภค โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแนะนำนักออกแบบในการสร้างบรรจุภัณฑ์ที่สอดคล้องกับการรับรู้และความต้องการทางจิตวิทยาของผู้บริโภค (Xie, Li, & Yu, 2023) การออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค โดยรวมองค์ประกอบต่างๆ เช่น วัฒนธรรมดั้งเดิม ความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมการออกแบบที่มีประสิทธิภาพช่วยเพิ่มการรับรู้แบรนด์และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่หลากหลาย ผลักดันยอดขายในตลาดชาที่แข่งขันได้ (Gao & Astillero, 2022) รวมถึงออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยเน้นคุณลักษณะ เช่น รูปแบบบรรจุภัณฑ์วัสดุและเทคนิคการพิมพ์ การออกแบบที่เน้นผู้ใช้นำไปสู่ต้นแบบที่จัดลำดับความสำคัญในการใช้งานความน่าดึงดูดความสวยงาม และการยอมรับด้านสิ่งแวดล้อม โดยความชอบของผู้บริโภคเป็น

แนวทางในการเลือกการออกแบบขั้นสุดท้าย (Pibernik, Tomašegović, Poljaček, & Madžar, 2020)

งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การออกแบบบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ชาไม่เพียงแต่เป็นการสร้างภาพลักษณ์และความสวยงาม แต่ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการสื่อสารคุณค่าทางวัฒนธรรม สนับสนุนความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม และตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคทั้งด้านการใช้งานและจิตวิทยา ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการแข่งขันทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ชา

7. วิธีการดำเนินการวิจัย

7.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ คือ สมาชิกวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร จำนวน 10 คน ประกอบด้วย ประธานกลุ่ม จำนวน 1 คน และสมาชิกชุมชนผู้มีส่วนร่วมในกระบวนการผลิตชาใบหม่อน จำนวน 9 คน ซึ่งเป็นผู้มีบทบาทโดยตรงในการผลิตและบรรจุผลิตภัณฑ์ จึงถือเป็นผู้ให้ข้อมูลหลักที่มีความรู้และประสบการณ์เกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ของชุมชน

7.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- 1) ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อน รวมถึงบริบทการจำหน่าย และข้อจำกัดที่เกี่ยวข้อง
- 2) เก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวแทนชุมชนด้วยวิธีการสัมภาษณ์และการสังเกต เพื่อระบุประเด็นที่ควรพัฒนา
- 3) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อนำมากำหนดแนวคิดและองค์ประกอบในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ตามหลักการออกแบบที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์
- 4) พัฒนารูปแบบบรรจุภัณฑ์และนำเสนอแก่ชุมชนเพื่อรับข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงแก้ไข
- 5) ประเมินผลการพัฒนาโดยพิจารณาความเหมาะสมด้านการใช้งาน ภาพลักษณ์ และศักยภาพในการต่อยอดเชิงพาณิชย์

8. ผลการวิจัย

8.1 รูปแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนของทางวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร

การศึกษาสภาพบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนของชุมชน ดำเนินการโดยเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามผ่านการสัมภาษณ์ควบคู่กับการสังเกตการณ์รูปแบบการบรรจุ พบว่า ผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อนที่ผลิตในชุมชนนั้นยังไม่เป็นไปตามหลักการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยมีการบรรจุชาใบหม่อนในถุงกระดาษซีปล็อค ขนาด 14 ซม. x 19.5 ซม. ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลที่ปรากฏบนบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่แสดงอยู่บนบรรจุภัณฑ์ยังไม่ครบถ้วนตามมาตรฐานการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่กำหนด อาจส่งผลให้ไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพสินค้าในเชิงพาณิชย์ ส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือและความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ รวมถึงถุงกระดาษสามารถฉีกขาดหรือเสียหายได้ง่ายเมื่อมีการกดทับหรือกระแทกเสี่ยงต่อการรั่วซึม ถุงกระดาษไม่ทนความชื้น ทำให้คุณภาพสินค้าเสื่อม เช่น กลิ่นหอมของชาเจือจาง หรือเกิดเชื้อรา ไม่สามารถป้องกันอากาศและแสงได้ดี ทำให้สารสำคัญ สลายตัวเร็ว บรรจุภัณฑ์เดิมมีลักษณะเรียบง่ายและไม่แสดงอัตลักษณ์ของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน ทำให้ขาดความสามารถในการดึงดูดสายตาเมื่อวางจำหน่าย และอาจลดโอกาสในการแข่งขันกับสินค้าประเภทเดียวกันในตลาด



ภาพที่ 1 แสดงบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนก่อนทำวิจัย

8.2 การออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อน

จากการศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อนของชุมชน พบว่า ชุมชนได้ผลิตชาใบหม่อนทั้งหมด 5 รสชาติ ได้แก่ รสใบหม่อน รสมะลิ รสมะตูม รสเกสรบัวหลวง และรสเก็กฮวย ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อนในทุกรสชาติ

และเพิ่มการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับรวมทุกระสชาติ เพื่อเพิ่มความน่าสนใจและดึงดูดผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

บรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนได้รับการออกแบบภายใต้กรอบแนวคิดด้านการใช้งานและการสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยแบ่งองค์ประกอบออกเป็นบรรจุภัณฑ์หลักและบรรจุภัณฑ์รอง ซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกันทั้งด้านการป้องกันคุณภาพและการนำเสนอผลิตภัณฑ์

1) บรรจุภัณฑ์หลัก

ผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อนได้รับการบรรจุในถุงพลาสติกใสชนิดซิปล็อค ขนาด 9 x 13.5 เซนติเมตร สำหรับผลิตภัณฑ์รสชาติดียว โดยภายในบรรจุชาใบหม่อนจำนวน 10 ซอง ซองละ 2 กรัม ทั้งนี้ สำหรับรูปแบบกล่องรวมหลายรสชาติด ได้กำหนดให้ใช้ถุงซิปล็อคขนาด 7 x 10 เซนติเมตร จำนวน 5 ถุงต่อหนึ่งกล่อง แต่ละถุงบรรจุชาใบหม่อน 2 ซอง ซองละ 2 กรัม เพื่อให้สามารถแยกรสชาติได้อย่างชัดเจนและสะดวกต่อการบริโภค รายละเอียดแสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2 แสดงบรรจุภัณฑ์หลักชาใบหม่อนรสชาติดียว



ภาพที่ 3 แสดงบรรจุภัณฑ์หลักชาใบหม่อนของกล่องรวมหลายรสชาติ

2) บรรจุภัณฑ์รอง

ในส่วนของบรรจุภัณฑ์รอง ได้พัฒนากล่องกระดาษการ์ดความหนา 300 แกรม ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรง น้ำหนักเบา และสามารถขึ้นรูปได้ดี เหมาะสำหรับรองรับทั้งรูปแบบรสชาติเดี่ยว (1 รส) และแบบรวมรสชาติ (5 รส) โดยทั้งสองรูปแบบมีน้ำหนักสุทธิรวม 20 กรัม กล่องถูกออกแบบเป็นทรงสี่เหลี่ยม ขนาด $7 \times 8 \times 4$ เซนติเมตร เพื่อให้เหมาะสมต่อการจัดเรียง การขนส่ง และการวางจำหน่าย

คุณสมบัติของวัสดุสามารถช่วยลดผลกระทบจากแรงกระแทก แสง และความชื้นในระดับหนึ่ง ซึ่งเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ประเภทชาแห้ง นอกจากนี้ บนกล่องบรรจุภัณฑ์ได้จัดแสดงข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ชื่อสินค้า ตราสินค้า รายละเอียดผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบ ปริมาณสุทธิ ชื่อผู้ผลิต วันผลิตและวันหมดอายุ ตลอดจนช่องทางการติดต่อและสื่อส่งเสริมการขาย รายละเอียดปรากฏในภาพที่ 4-10

เมื่อมีการนำผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อนบรรจุลงในถุงพลาสติกใสซิปล็อค หลังจากนั้นทำการบรรจุลงในกล่องบรรจุภัณฑ์รอง พบว่า กล่องบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนามีคุณสมบัติในการรองรับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถป้องกันการฉีกขาดจากแรงกดทับเมื่อมีการวางซ้อนกัน รวมถึงป้องกันแรงกระแทกและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการขนส่ง อีกทั้งยังมีลักษณะการใช้งานที่สะดวกและไม่ซับซ้อน วัสดุที่ใช้ผลิตเป็นกล่องกระดาษมีน้ำหนักเบา ส่งผลให้การจัดเก็บและการขนส่งมีความคล่องตัวมากยิ่งขึ้น ลักษณะรูปทรงของกล่องเอื้อต่อการจัดเรียงในคลังสินค้าอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ กล่องบรรจุภัณฑ์ยังช่วยป้องกันการซึมผ่านของแสงและอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยที่อาจ

ทำให้คุณภาพของชาเสื่อมลง อีกทั้งวัสดุกระดาษยังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ จึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในด้านการสื่อสาร กล่องได้รับการออกแบบให้มีความสวยงามและดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค พร้อมทั้งแสดงข้อมูลสำคัญที่ชัดเจน ได้แก่ วันผลิต วันหมดอายุ และส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยเพิ่มความเข้าใจและความเชื่อมั่นของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อน

นอกจากการออกแบบในด้านโครงสร้างบรรจุภัณฑ์แล้ว ผู้วิจัยยังได้ให้ความสำคัญกับการกำหนดอัตลักษณ์ทางภาพ (Visual Identity) ของผลิตภัณฑ์ชาใบหม่อนทั้ง 5 รสชาติ โดยออกแบบให้แต่ละรสชาติมีความแตกต่างกันด้านโทนสี องค์ประกอบกราฟิก และการจัดวางข้อมูล เพื่อสะท้อนลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์และสร้างการจดจำตราสินค้าอย่างชัดเจนได้แก่

รสใบหม่อน ใช้โทนสีเขียวเป็นหลัก สื่อถึงความเป็นธรรมชาติและคุณค่าทางสมุนไพร

รสมะลิ ใช้โทนสีขาวและเขียวอ่อน สื่อถึงความละมุนและกลิ่นหอมอ่อนโยน

รสมะตูม ใช้โทนสีน้ำตาล สื่อถึงความอบอุ่นและเอกลักษณ์ของผลไม้ไทย

รสเกสรบัวหลวง ใช้โทนสีชมพู สื่อถึงความประณีตและความพรีเมียม

รสเก๊กฮวย ใช้โทนสีเหลือง สื่อถึงความสดชื่นและความหอมเฉพาะตัว

การออกแบบดังกล่าวช่วยเพิ่มความโดดเด่นบนชั้นวางสินค้า ทำให้ผู้บริโภคสามารถแยกแยะรสชาติได้ง่ายขึ้น พร้อมทั้งส่งเสริมภาพลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ให้มีความทันสมัยและสอดคล้องกับหลักการออกแบบกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์



ภาพที่ 4 แสดงบรรจุภัณฑ์รองชาใบหม่อน



ภาพที่ 5 แสดงบรรจุภัณฑ์รองชาใบหม่อน รสชาติ ใบหม่อน



ภาพที่ 6 แสดงบรรจุภัณฑ์รองชาใบหม่อน รสชาติ เกสรบัวหลวง



ภาพที่ 7 แสดงบรรจุภัณฑ์รองชาใบหม่อน รสชาติ มะลิ



ภาพที่ 8 แสดงบรรจุภัณฑ์รองชาใบหม่อน รสชาติ มะตูม



ภาพที่ 9 แสดงบรรจุภัณฑ์รองขาใบหม่อน รสชาติ เก๊กฮวย



ภาพที่ 10 แสดงบรรจุภัณฑ์รองขาใบหม่อน รวมทุกรสชาติ

9. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อน โดยใช้กรณีศึกษาของวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร แขวงทรีเจริญบุรี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ ได้แก่ 1) เพื่อศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนของวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร และ 2) เพื่อออกแบบบรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนให้ได้มาตรฐานบรรจุภัณฑ์ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการผ่านการสัมภาษณ์และการสังเกต พร้อมทั้งประยุกต์ใช้หลักการออกแบบบรรจุภัณฑ์เป็นแนวทางในการพัฒนา ผลการวิจัยพบว่า บรรจุภัณฑ์ชาใบหม่อนที่ใช้อยู่เดิมยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานของหลักการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขาดความน่าเชื่อถือซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาบรรจุภัณฑ์ใหม่เป็นการออกแบบบรรจุภัณฑ์ใช้โครงสร้างแบบสองชั้น โดยแยกเป็นส่วนประกอบด้วยบรรจุภัณฑ์หลักและบรรจุภัณฑ์รอง รายละเอียดแสดงในภาพประกอบลำดับที่ 2-10 เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างและพัฒนาการของบรรจุภัณฑ์อย่างชัดเจน ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณลักษณะของบรรจุภัณฑ์ก่อนและหลังการออกแบบ ดังแสดงในตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการพัฒนาแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณลักษณะของบรรจุภัณฑ์ก่อนและหลังการออกแบบ

ประเด็นเปรียบเทียบ	บรรจุภัณฑ์เดิม	บรรจุภัณฑ์ที่พัฒนา
ความแข็งแรง	ฉีกขาดง่าย	รองรับน้ำหนักได้ดี วางซ้อนได้
การป้องกันความชื้น	ไม่ทนความชื้น	ป้องกันอากาศและความชื้นได้ดีขึ้น
การป้องกันแสง	ป้องกันได้จำกัด	กล่องช่วยลดการซึมผ่านแสง
ความครบถ้วนของข้อมูล	ข้อมูลไม่ครบถ้วน	แสดงข้อมูลสำคัญที่ชัดเจน
ความโดดเด่น	รูปแบบเรียบง่าย ไม่สะดุดตา	ออกแบบกราฟิกสร้างควา ม น่าสนใจ
ความสะดวกจัดเก็บ	จัดเรียงยาก	รูปทรงสี่เหลี่ยม จัดเรียงได้เป็นระบบ

10. อภิปรายผลการวิจัย

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ขาใบหม่อนในลักษณะช่วยเพิ่มความสวยงามให้กับผลิตภัณฑ์ และมีบทบาทสำคัญในการเสริมสร้างความเชื่อมั่นด้านคุณภาพแก่ผู้บริโภค เนื่องจาก งานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาองค์ประกอบสำคัญของบรรจุภัณฑ์ เช่น รูปทรง สี สัน และวัสดุที่ใช้ ช่วยสร้างเอกลักษณ์และภาพลักษณ์เชิงบวกให้แก่แบรนด์ ตลอดจนสามารถสื่อสารข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับคุณสมบัติและประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ได้อย่างครบถ้วนและชัดเจน ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มความน่าเชื่อถือ การกระตุ้นการตัดสินใจซื้อ และการสร้างความพึงพอใจของผู้บริโภคในระยะยาว ผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุชีรา สินทร์พัย และศุภกฤต ปิตีพัฒน์ ปี 2568 (สุชีรา สินทร์พัย และศุภกฤต ปิตีพัฒน์, 2568) ที่ศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์และโลโก้ผลิตภัณฑ์ข้าวแดงของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มโฮมสเตย์เชิงอนุรักษ์บ้านเชียงแหวน ผลรายงานว่าการออกแบบบรรจุภัณฑ์รูปแบบใหม่ที่เน้นความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการนำอัตลักษณ์ท้องถิ่นมาใช้ในโลก ส่งผลให้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในระดับมาก และสอดคล้องกับงานวิจัยของศิรินทิตย กุลจิตรตรี และคณะ ในปี 2568 (ศิรินทิตย กุลจิตรตรี และคณะ, 2568) ซึ่งพบว่า การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อเพิ่มศักยภาพทางการตลาดและการส่งออก ควรคำนึงถึงปัจจัยด้านความปลอดภัย ความทนทาน และประสิทธิภาพในการเก็บรักษาเป็นสำคัญ นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khuong และ Tran ในปี 2018 (Khuong & Tran, 2018) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ชาควรให้ความสำคัญกับองค์ประกอบด้านทัศนศิลป์ เช่น สี สันที่โดดเด่น รูปทรงที่น่าสนใจ และการจัดวางข้อมูลที่ชัดเจนอ่านง่าย ควบคู่กับความสะดวกในการใช้งาน โดยเฉพาะระบบการเปิด-ปิดที่เอื้อต่อประสบการณ์ของผู้บริโภค และสนับสนุนการตัดสินใจซื้อ

แม้ว่างานวิจัยครั้งนี้ยังไม่ได้มีการนำต้นแบบบรรจุภัณฑ์ไปทดลองจำหน่ายจริงในตลาด แต่ชุมชนมีแผนจะนำผลิตภัณฑ์ไปจัดจำหน่ายในงานแสดงสินค้าและกิจกรรมต่าง ๆ ในอนาคต ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการทดลองใช้ต้นแบบกับผู้บริโภคจริง โดยประเมินความพึงพอใจ การรับรู้ภาพลักษณ์ และผลต่อการตัดสินใจซื้อ เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ ผลการประเมินหลังดำเนินโครงการสะท้อนให้เห็นว่าสมาชิกชุมชนมีพัฒนาการด้านความรู้และความเข้าใจ และสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ได้อย่างเป็นรูปธรรม แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของผลกระทบเชิงบวกต่อชุมชนในระยะยาว

11. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์โดยใช้ข้อมูลจากสมาชิกวิสาหกิจชุมชนจำนวน 10 คน ซึ่งเป็นผู้มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงในการผลิต ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปอาจขยายกลุ่มตัวอย่างไปยังผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย เพื่อประเมินความพึงพอใจ การรับรู้ภาพลักษณ์ และผลต่อการตัดสินใจซื้อ อันจะช่วยยืนยันประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ในเชิงตลาดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากนี้ อาจมีการขยายขอบเขตไปสู่การออกแบบบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เกษตรแปรรูปชนิดอื่น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของชุมชนในภาพรวม

12. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากโครงการยกระดับเศรษฐกิจและสังคมชุมชนท้องถิ่น รายตำบล สู่การเป็นมหาวิทยาลัยวิจัย และนวัตกรรมที่ยั่งยืน (1 หลักสูตร 1 ตำบล: C2T) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ผู้วิจัยขอขอบพระคุณวิสาหกิจชุมชนประสานมิตร แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร โดยเฉพาะประธานชุมชน คุณมุกิตา จอกแก้ว และสมาชิกทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี

13. เอกสารอ้างอิง

- ดวงจันทร์ นาชัยสินธุ์. (2558). ความรู้พื้นฐานการออกแบบบรรจุภัณฑ์ (พิมพ์ครั้งที่ 1).
ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศิรินทีพย กุลจิตรตรี, ชมพูนุท โภคณิตถานนท์, ณัฐชา อารังโชติ, มันทนา รังษีกุล, และ นพดล
เดชประเสริฐ. (2568). การพัฒนาบรรจุภัณฑ์และนวัตกรรมการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์
แปรรูปพลาสติกเพื่อการส่งออก. *วารสารรัชต์ภาคย์*, 19(64), 22–35.
- สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2560).
ศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง ชุมชนประสานมิตร อินทรีพิทักษ์ แขวงหิรัญรูจี เขต
ธนบุรี กรุงเทพมหานคร. สืบค้นจาก
<https://projects.rdpb.go.th/studyCenter/6534211502604288>
- สุชีรา สิ้นทรัพย์ และศุภกฤต บิตพัฒน. (2568). การพัฒนาบรรจุภัณฑ์และโลโก้เพื่อยกระดับ
ผลิตภัณฑ์ชาบัวแดง: กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนกลุ่มโฮมสเตย์เชิงอนุรักษ์บ้านเชียง
แหว. *วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 7(5), 74–92.
- Bai, Y., & Wong, S. C. (2022). Conveying Ningxia's 8 Treasures Tea Cultural
Values through Packaging Design: A Conceptual Framework. *International
Journal of Technology*, 13(5), 1097–1105.
<https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i5.5834>
- De La Fuente, J., Gustafson, S., Twomey, C., & Bix, L. (2015). An affordance-
based methodology for package design. *Packaging Technology and
Science*, 28(2), 157–171. <https://doi.org/10.1002/pts.2087>
- Gao, J., & Astillero, M. R. (2022). PRODUCT PACKAGING DESIGN AS THE BASIS OF
PRODUCT PURCHASE DECISION. In *Indonesian Interdisciplinary Journal of
Sharia Economics (IJIJSE)*, 5(2), 516-530.
<https://doi.org/10.31538/ijjse.v5i2.2453>
- Hu, B., Zelenko, O., Pinxit, V., & Buys, L. (2019). A social semiotic approach and
a visual analysis approach for chinese traditional visual language: A case of

tea packaging design. *Theory and Practice in Language Studies*, 9(2), 168–177. <https://doi.org/10.17507/tpls.0902.06>

Khuong, M. N., & Tran, N. T. H. (2018). The Impacts of Product Packaging Elements on Brand Image and Purchase Intention — An Empirical Study of Phuc Long’s Packaged Tea Products. *International Journal of Trade, Economics and Finance*, 9(1), 8–13. <https://doi.org/10.18178/ijtef.2018.9.1.580>

Matejčková, Z., Liptáková, D., & Valík, L. (2016). Evaluation of The Potential of Amaranth Flour for Lactic Acid Fermentation. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences*, 6, 1–6. <https://doi.org/10.6000/1927-5951.2016.06.01.1>

Meng, Q., Qi, X., Chao, Y., Chen, Q., Cheng, P., Yu, X., ... Bian, H. (2020). IRS1/ PI3K/ AKT pathway signal involved in the regulation of glycolipid metabolic abnormalities by Mulberry (*Morus alba* L.) leaf extracts in 3T3-L1 adipocytes. *Chinese Medicine (United Kingdom)*, 15(1) . <https://doi.org/10.1186/s13020-019-0281-6>

Pibernik, J., Tomašegović, T., Poljaček, S. M., & Madžar, A. (2020). Consumer’s experience of tea packaging as environment- friendly. *International Symposium on Graphic Engineering and Design*, 317–325. University of Novi Sad - Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering and Design. <https://doi.org/10.24867/GRID-2020-p35>

Sarkhel, S., Manvi, D., & CT, R. (2020). Nutrition importance and health benefits of mulberry leaf extract: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5), 689–695. <https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i5j.12310>

Son, H.-K., Han, J.-H., & Lee, J.-J. (2014). Anti-diabetic effect of the mixture of mulberry leaf and green tea powder in rats with streptozotocin-induced

diabetes. *Korean Journal of Food Preservation*, 21(4) , 549– 559.
<https://doi.org/10.11002/kjfp.2014.21.4.549>

Wang, L. , & Naeim, F. (2023). Green Design Strategy for Lushan Yunwu Tea Packaging Design. *South Asian Journal of Social Sciences and Humanities*, 4(5), 32–50. <https://doi.org/10.48165/sajssh.2023.4503>

Xie, J. , Li, S. , & Yu, L. (2023). Packaging for tea drinks of well-known brands Design Study. *Advances in Education, Humanities and Social Science Research: Proceedings of the 2023 International Academic Conference on Educational Arts and Cultural Exchanges (ICEACE 2023)*, 5(1), Article 189.
<https://doi.org/10.56028/aehtsr.5.1.189.2023>

การใช้งานแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้าง Implementation of Kria KR260 Robotics Development Platform Integrated with Microcontroller and Peripheral Devices

เศรษฐกุล โปร่งนุช^{1*}, วิวรรณรัตน์ สารมัตย์¹, อภิรักษ์ ธิตินามิต¹

Sethakarn Prongnuch^{1*}, Wiwanrat Saramat¹, Aphirak Thitinaruemit¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

¹ Department of Robotics Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Suan Sunandha Rajabhat University

*Corresponding author email: sethakarn.pr@ssru.ac.th

Received 05 Oct. 2025 Revised 04 Mar. 2026 Accepted 23 Apr. 2026

บทคัดย่อ

การควบคุมหุ่นยนต์ในภาคอุตสาหกรรมหรือภาคบริการจำเป็นต้องพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมเฉพาะบนบอร์ดหรือแพลตฟอร์มที่มีรูปแบบแตกต่างกัน ซึ่งต้องอาศัยวิศวกรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ส่งผลให้ต้นทุนการพัฒนาและบำรุงรักษาระบบสูงขึ้น งานวิจัยนี้เสนอการใช้งานแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่รองรับการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบโอเพนซอร์ส โดยเชื่อมต่อและทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และอุปกรณ์รอบข้าง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบการพัฒนา และการประเมินประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มแบบบูรณาการร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้าง การพัฒนาใช้ซอฟต์แวร์ Vivado ML Edition สำหรับการออกแบบฮาร์ดแวร์ และใช้ภาษาระดับสูงในการพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุม ดำเนินการทดสอบการสื่อสารข้อมูล และการควบคุมฮาร์ดแวร์ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์รอบข้างผ่านพอร์ต Pmod ผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของการสื่อสารข้อมูลแบบ I²C มีเวลาตอบสนองที่รวดเร็ว

กว่าแบบ GPIO โดยค่าเวลารับข้อมูลของ GPIO อยู่ระหว่าง 17–61 มิลลิวินาที ขณะที่ I²C อยู่ที่ 1.13–1.36 มิลลิวินาที ส่วนเวลาส่งข้อมูลของ GPIO จะคงที่ที่ 4 มิลลิวินาที ในขณะที่ I²C อยู่ระหว่าง 0.41–0.54 มิลลิวินาที ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า I²C มีประสิทธิภาพสูงกว่าในด้านความเร็ว และมีความสม่ำเสมอของเวลาตอบสนองมากกว่า โดยพิจารณาจากช่วงค่าต่ำที่สุดถึงมากที่สุด รวมถึงมีอัตราความสำเร็จของการรับส่งข้อมูลครบถ้วนภายใต้เงื่อนไขการทดลอง ทั้งนี้ผลการประเมินยืนยันว่าแพลตฟอร์ม Kria KR260 สามารถทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำงานได้ถูกต้องภายใต้เงื่อนไขการทดลอง เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในการพัฒนาหุ่นยนต์ในภาคอุตสาหกรรมหรือภาคบริการ

คำสำคัญ: แพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260, ไมโครคอนโทรลเลอร์, Arduino, อุปกรณ์รอบข้าง, หุ่นยนต์

Abstract

Controlling robots in industrial or service sectors requires the development of specialized control applications on boards or platforms with varying design features. This, in turn, demands skilled engineers, leading to higher system development and maintenance costs. This research proposes the use of the Kria KR260 robot development platform, which supports open-source software development and can interface with an Arduino microcontroller and peripheral devices. The objective is to study the design, development, and performance evaluation of an integrated platform incorporating microcontrollers and peripheral devices. The development process employs Vivado ML Edition software for hardware design and a high-level programming language for developing control applications. Data communication and hardware control tests are performed between the microcontroller and peripheral devices via the Pmod port. The test results show that I²C communication has faster response times than GPIO. The GPIO receive times range from 17 to 61 milliseconds, while the I²C receive times range from 1.13 to 1.36 milliseconds. The GPIO transmit time remains constant at 4 milliseconds, whereas the I²C transmit time ranges from 0.41 to 0.54 milliseconds. The experimental results indicate that I²C delivers superior performance in terms of communication speed and exhibits more consistent response times, as evidenced by the observed minimum to maximum range. In addition, I²C achieved a complete data transmission success rate under the specified experimental conditions. Overall, the evaluation confirms that the Kria KR260 platform can interface efficiently with the microcontroller and peripheral devices and operated correctly throughout the experiments. These findings suggest that the platform is well suited for applications in the development of robots for industrial and service domains.

Keywords: Kria KR260 Robotics Development Platform, Microcontroller, Arduino, Peripheral Devices, Robot

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบัน เทคโนโลยีหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันและภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยมีการประยุกต์ใช้หุ่นยนต์ในหลากหลายด้าน ตั้งแต่หุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่ใช้ในกระบวนการผลิตอัตโนมัติ ไปจนถึงหุ่นยนต์บริการที่ช่วยอำนวยความสะดวกภายในบ้าน ซึ่งการควบคุมหุ่นยนต์นั้น วิศวกรต้องเขียนแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานบนบอร์ดควบคุมหรือแพลตฟอร์มควบคุมหุ่นยนต์ที่มีรูปแบบที่แตกต่างกัน ซึ่งต้องอาศัยการจ้างงานวิศวกรที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ดังนั้นการเลือกใช้บอร์ดควบคุมหรือแพลตฟอร์มควบคุมหุ่นยนต์ที่เหมาะสมจึงเป็นแนวทางเริ่มต้นในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

แพลตฟอร์มควบคุมหุ่นยนต์สมัยใหม่มีลักษณะเป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์แบบเดี่ยว (Single Board Computer) (Prongnuch & Sitjongsataporn, 2021) ซึ่งมีความสะดวกในการติดตั้งภายในตัวหุ่นยนต์เพื่อเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) หรืออุปกรณ์รอบข้างของหุ่นยนต์ ยกตัวอย่างเช่น แพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 เป็นแพลตฟอร์มควบคุมหุ่นยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากมีระบบบนชิป (System-on-Chip) อยู่ภายในที่ประกอบด้วยตัวประมวลผล Arm และ FPGA (Field-Programmable Gate Array) มีความยืดหยุ่นด้วยรูปแบบวงจรระดับบอร์ดที่รวมฟังก์ชันระบบไว้ในโมดูลเดียว (System-on-Module) รองรับการทำงานร่วมกับอุปกรณ์รอบข้างได้อย่างหลากหลาย (อภिरักษ์ ธิตินฤมิตร, เศรษฐกุล โปร่งนุช และ ปฏิญญาณ์ แสงอรุณ, 2565) แพลตฟอร์มนี้นิยมนำไปใช้ในการประมวลผลข้อมูลจำนวนมากและซับซ้อนด้วยอัลกอริธึมที่หาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization Algorithm) สามารถตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมแบบเวลาจริง (Real-time) (Prongnuch & Sitjongsataporn, 2024; Thitinaruemit, A., Sitjongsataporn & Prongnuch, 2023) เมื่อนำแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 ไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รอบข้างที่นิยมใช้งานภายในตัวหุ่นยนต์ อาทิเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานในระบบอัจฉริยะ (วรสุภรางค์ ศิริพราหมณกุล และคณะ, 2564) จะช่วยให้หุ่นยนต์มีประสิทธิภาพและมีความเสถียรเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้น บทความนี้นำเสนอ การใช้งานแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และอุปกรณ์รอบข้างผ่านพอร์ต Pmod (Peripheral Module) โดยอาศัยสัญญาณควบคุมแบบพื้นฐานแบบ GPIO (General Purpose Input/Output) และโพรโทคอล (Protocol) การสื่อสารแบบอนุกรมแบบ I²C (Inter-

Integrated Circuit) ประกอบด้วย ตัวรับรู้ (Sensor) แบบอินฟราเรดหรือไออาร์ (Infrared: IR) เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) มีเป้าหมายเพื่อศึกษาการใช้งาน ออกแบบและทดสอบด้วยซอฟต์แวร์ Vivado ML Edition และการประเมินประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มดังกล่าวจากแอปพลิเคชันควบคุมที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษาระดับสูง ได้แก่ Shell Script ภาษา C/C++ และภาษา Python เพื่อประเมินความสามารถในการทำงานร่วมกันเป็นระบบอย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์

2.1 ศึกษาการใช้งานแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260

2.2 ออกแบบและทดสอบแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้าง

2.3 ประเมินประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้างจากแอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาขึ้น

2.1 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการบูรณาการแพลตฟอร์ม Kria KR260 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และอุปกรณ์รอบข้างผ่านพอร์ต Pmod

2.1.1 พิจารณา 2 รูปแบบการสื่อสาร ได้แก่ แบบ GPIO ตรวจสอบความถูกต้องด้วยระบบไฟล์ Sysfs และแบบ I²C จากการพัฒนามอดูล AXI IIC สำหรับควบคุมและจัดการการ

2.1.2 อุปกรณ์รอบข้างที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย แอลอีดีและปุ่มกดแบบ GPIO ตัวรับรู้แบบอินฟราเรด เซอร์โวมอเตอร์ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ I²C ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

2.1.3 มีการประเมินผล ครอบคลุมความถูกต้องในการทำงาน อัตราความสำเร็จของการรับส่งข้อมูล และเวลาตอบสนอง ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด

งานวิจัยเลือกใช้การเชื่อมต่อผ่าน Pmod จึงไม่ครอบคลุมการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมอุตสาหกรรมจริงหรือการสื่อสารระยะไกล

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องแบ่งออกเป็น 3 เรื่อง ได้แก่ 1) แพลตฟอรม์พัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และ 3) อุปกรณ์รอบข้าง ดังนี้

3.1 แพลตฟอรม์พัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260

แพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 (Kria KR260 Robotics Starter Kit) เป็นระบบพัฒนาแบบสมบูรณ์สำหรับงานหุ่นยนต์ โดยใช้ชิป Zynq UltraScale+ MPSoC ซึ่งผสานรวมหน่วยประมวลผลและลอจิกที่สามารถโปรแกรมได้ (Programmable Logic: PL) ภายในชิปเดียว ทำให้สามารถประมวลผลทั้งงานทั่วไปและงานแบบเวลาจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Advanced Micro Devices, Inc., 2025) หัวข้อนี้นำเสนอสถาปัตยกรรมของแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 ได้แก่ ชิป Zynq UltraScale+ MPSoC พอร์ต (Port) การเชื่อมต่อ และซอฟต์แวร์ Vivado ML Edition ดังนี้

3.1.1 ชิป Zynq UltraScale+ MPSoC

ชิป Zynq UltraScale+ MPSoC ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ ระบบประมวลผล (Processing System: PS) ประกอบด้วย Arm Cortex-A53 สำหรับงานทั่วไป และระบบปฏิบัติการ Linux และ Arm Cortex-R5 สำหรับงานแบบเวลาจริง เช่น การควบคุมมอเตอร์และการอ่านค่าจากตัวรับรู้ และส่วนที่ 2 คือ ลอจิกที่สามารถโปรแกรมได้ใช้เทคโนโลยี FPGA เพื่อสร้างวงจรเฉพาะสำหรับเร่งการประมวลผล เช่น การประมวลผลภาพ การสื่อสารความเร็วสูง และการควบคุมอุปกรณ์เฉพาะทาง (อภิรักษ์ ธิติณมิต และคณะ, 2565) ดังนั้นการรวมสถาปัตยกรรม PS และ PL เข้าด้วยกันทำให้แพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 มีทั้งความยืดหยุ่นของซอฟต์แวร์และความเร็วของฮาร์ดแวร์ในระบบเดียว เรียกว่าสถาปัตยกรรมที่มีตัวประมวลผลหลายชนิด (Prongnuch et al., 2020)

3.1.2 พอร์ตการเชื่อมต่อ

แพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 มีพอร์ตการเชื่อมต่อมาตรฐานหลากหลาย เช่น พอร์ต Gigabit Ethernet พอร์ต USB พอร์ต Display และพอร์ต Pmod เพื่อรองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รอบข้างต่าง ๆ ได้อย่างสะดวก (Aubonnoi, & Prongnuch, 2025) โดยเฉพาะพอร์ต Pmod ที่เหมาะสำหรับการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์ตรวจจับในงานวิจัยหุ่นยนต์

3.1.3 ซอฟต์แวร์ Vivado ML Edition

เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการออกแบบฮาร์ดแวร์บนแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 จากบริษัท Advanced Micro Devices, Inc. ใช้สำหรับการพัฒนาระบบดิจิทัลบนชิป FPGA ผู้พัฒนาสามารถสร้างบล็อกการทำงานเฉพาะทาง ปรับแต่งสัญญาณ และจำลองการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Advanced Micro Devices, Inc., 2025) ทั้งนี้ซอฟต์แวร์ Vivado ML Edition เมื่อใช้งานกับแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 จะรองรับการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยภาษา C/C++ และ Python สำหรับงานควบคุมหรือการประมวลผลระดับสูง

3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นวงจรรวม (Integrated Circuit) ที่รวมหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit) หน่วยความจำ (Memory) และพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต (I/O Ports) ไว้ภายในชิปเดียว เพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือระบบอัตโนมัติขนาดเล็ก ไมโครคอนโทรลเลอร์มีคุณสมบัติเด่นคือ ขนาดเล็ก ต้นทุนต่ำ ใช้พลังงานน้อย และสามารถโปรแกรมได้อย่างยืดหยุ่น จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานควบคุมเครื่องจักร หุ่นยนต์ ระบบฝังตัว (Embedded System) และระบบอินเทอร์เน็ตประสาทรพลสิ่ง (Internet of Things) ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นิยมนำมาใช้งาน เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในงานวิจัยการออกแบบเครื่องทำความสะอาดอัจฉริยะ (วรสุภรางค์ ศิริพราหมณกุล และคณะ, 2564) และงานวิจัยการศึกษาเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิร่างกายแบบไม่สัมผัสสำหรับคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้น (นทวีร์ ไชยจำ และคณะ, 2567)

3.3 อุปกรณ์รอบข้าง

อุปกรณ์รอบข้างที่นิยมใช้งานสำหรับหุ่นยนต์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

3.3.1 ตัวรับรู้

ตัวรับรู้ คือ อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับและวัดค่าทางกายภาพต่าง ๆ แล้วแปลงสัญญาณทางกายภาพให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถส่งต่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปใช้ได้ ตัวรับรู้จึงเป็นส่วนสำคัญของระบบหุ่นยนต์ เพราะทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างโลกจริงกับระบบดิจิทัล เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถรับรู้สภาพแวดล้อมและตอบสนองได้อย่างเหมาะสม (Li et al., 2023) ตัวรับรู้ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวรับรู้แบบแอคทีฟ (Active Sensor) ซึ่งต้องใช้แหล่งพลังงานภายนอกในการทำงาน อาทิเช่น ตัวรับรู้แบบอินฟราเรดที่ส่งสัญญาณออกไปเพื่อตรวจจับวัตถุ และตัวรับรู้แบบพาสซีฟ (Passive Sensor) ซึ่งตรวจจับสัญญาณจากสิ่งแวดล้อมโดยไม่ต้องใช้พลังงานภายนอก

3.3.2 แอคชูเอเตอร์

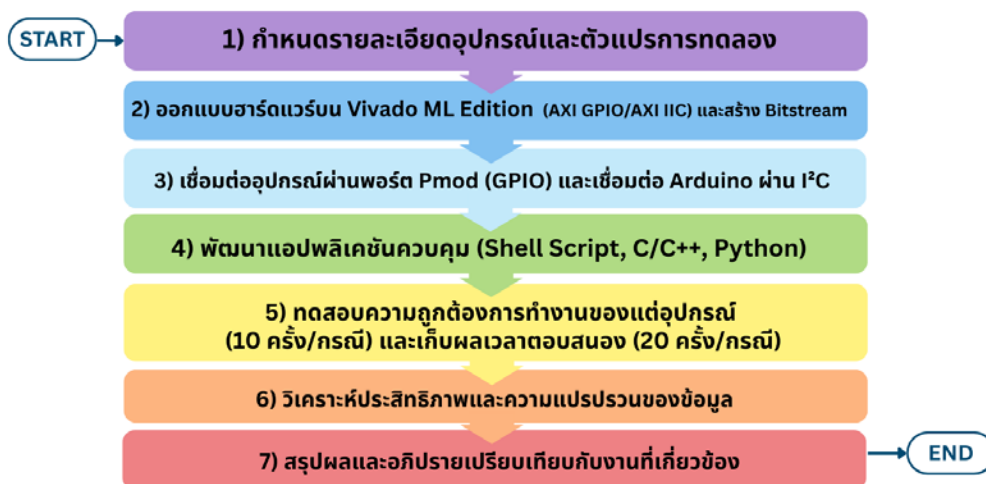
แอคชูเอเตอร์ (Actuator) ได้แก่ แอลอีดี (LED) ปุ่มกด (Push Button) เซอร์โวมอเตอร์ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่พบได้ในงานพัฒนาหุ่นยนต์

4. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยเรื่อง การใช้งานแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 ร่วมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้างแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ ประกอบด้วย การออกแบบ และวิธีการทดสอบ และการวิเคราะห์ข้อมูลและเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

4.1 การออกแบบและการทดสอบ

ขั้นตอนการออกแบบระบบ และการทดสอบการทำงานของ Kria KR260 ร่วมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino หรือบอร์ด Arduino และอุปกรณ์รอบข้าง รวมถึงตัวแปรการทดลอง ดังภาพที่ 1 ดำเนินการออกแบบและสร้างฮาร์ดแวร์ด้วยซอฟต์แวร์ Vivado ML Edition 2023.1 โดยมีอุปกรณ์รอบข้าง ได้แก่ ตัวรับและแอคชูเอเตอร์ที่เชื่อมต่อผ่านพอร์ต Pmod โดยแบบ GPIO และแบบ I²C รวมถึงพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการควบคุม โดยเฉพาะ มีเกณฑ์การประเมิน และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล



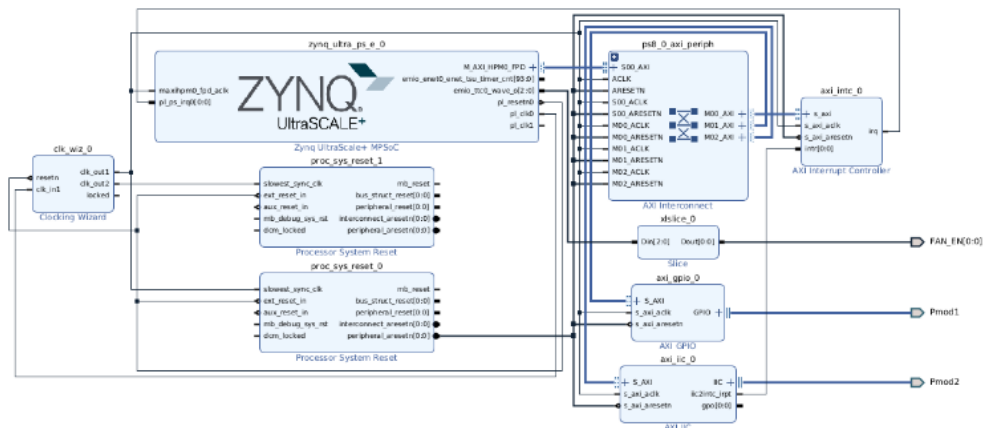
ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทดลองและการประเมินผล

การประเมินจากการทดสอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการตรวจสอบความสามารถของระบบ ในการทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมจริง โดยประเมินทั้งด้านประสิทธิภาพและการ

ทำงานถูกต้องภายใต้เงื่อนไขการทดลอง โดยลำดับการออกแบบเพื่อทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 พอร์ตสำหรับเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์แบบ GPIO และ I²C

การออกแบบพอร์ตสำหรับเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์แบบ GPIO และ I²C ออกแบบฮาร์ดแวร์ด้วยซอฟต์แวร์ Vivado ML Edition สำหรับบอร์ด Kria KR260 เลือกใช้ Zynq UltraScale+ MPSoC เป็นตัวประมวลผลหลักของระบบ กำหนดค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกา 100 MHz ผ่าน Clock Wizard นอกจากนี้ได้เพิ่มฮาร์ดแวร์สำหรับควบคุมพัลสมของบอร์ด โดยกำหนดเอาต์พุตเป็น FAN_EN(0:0) และเพิ่มมอดูล (Module) AXI GPIO แบบ 8 บิต รวมถึงมอดูล AXI IIC โดยใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 100 MHz เช่นกัน กำหนดค่า Zynq UltraScale+ MPSoC ในส่วนอินพุต/เอาต์พุตด้วยการเปิดใช้งาน Triple Timer Counter (TTC 0) พร้อมฟังก์ชัน Waveout และกำหนดขา (Pin) อินพุต/เอาต์พุตเป็น EMIO เมื่อการออกแบบเสร็จสิ้น จะสร้างเป็นไฟล์ Bitstream สำหรับการโปรแกรมลงบอร์ด Kria KR260 เพื่อใช้ในการกำหนดค่า GPIO และ I²C ดังภาพที่ 2

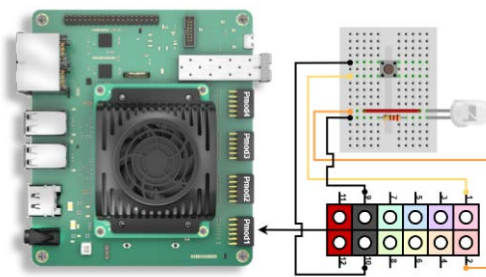


ภาพที่ 2 การออกแบบพอร์ตสำหรับเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์แบบ GPIO และ I²C

การทดสอบการทำงานของ GPIO ต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของ GPIO โดยระบุหมายเลขพอร์ต (gpio_number) ที่ต้องการใช้งาน วิธีการทดสอบการทำงานของ I²C โดยใช้คำสั่ง `i2cdetect -y 7` เพื่อสแกนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่บน Bus หากเชื่อมต่อถูกต้อง ระบบจะแสดงตำแหน่ง (Address) ของอุปกรณ์ที่ตรวจพบ แต่หากไม่ปรากฏ แสดงว่าไม่มีอุปกรณ์เชื่อมต่อหรือเกิดข้อผิดพลาดในการเชื่อมต่อ

4.1.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านพอร์ต Pmod

การออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์รอบข้างผ่านพอร์ต Pmod ในบอร์ด Kria KR260 ออกแบบบน Vivado ML Edition โดยพัฒนามอดูล AXI GPIO เพิ่มสำหรับควบคุม และตรวจสอบสถานะของพอร์ต GPIO เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รอบข้าง โดยกำหนดค่าให้รองรับข้อมูลขนาด 8 บิต มีความถี่ 100 MHz อุปกรณ์รอบข้างที่เชื่อมต่อผ่านพอร์ต Pmod เลือกใช้ แอคชูเอเตอร์ ได้แก่ แอลอีดี และปุ่มกด เพื่อทดสอบการทำงานของพอร์ต GPIO โดยเชื่อมต่อ ขาแอโนด (Anode) ของแอลอีดีเข้ากับพอร์ต Pmod1 ช่องที่ 2 และขาแคโทด (Cathode) ผ่านตัวต้านทาน (Resistor) ไปยังพอร์ต Pmod1 ช่องที่ 10 ซึ่งเป็นกราวด์ (Ground) ส่วน ปุ่มกดเชื่อมต่อขาที่ 1 กับพอร์ต Pmod1 ช่องที่ 1 และขาที่ 2 กับ Pmod1 ช่องที่ 9 ซึ่งเป็นกราวด์เช่นกัน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเชื่อมต่อพอร์ต Pmod ด้วยแอลอีดีและปุ่มกด

วิธีการทดสอบความถูกต้องในการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ต Pmod ใช้ระบบไฟล์ Sysfs เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการเชื่อมต่อและการทำงานของพอร์ต GPIO โดยมีการกำหนดค่าให้รองรับทั้งการอ่านและส่งสัญญาณจากอุปกรณ์รอบข้างแสดงดังภาพที่ 4

```

root@kr260 $ echo 318 > /sys/class/gpio/export
root@kr260 $ echo in > /sys/class/gpio/gpio318/direction
root@kr260 $ echo 1 > /sys/class/gpio/gpio318/direction # เปิด
root@kr260 $ echo 0 > /sys/class/gpio/gpio318/direction # ปิด

```

```

root@kr260 $ echo 319 > /sys/class/gpio/export
root@kr260 $ echo out > /sys/class/gpio/gpio319/direction
root@kr260 $ cat /sys/class/gpio/gpio319/direction
1 # กดปุ่มครั้งแรก
root@kr260 $ cat /sys/class/gpio/gpio319/direction
0 # กดปุ่มอีกครั้ง

```

การทดสอบอินพุตของพอร์ต Pmod
ด้วยระบบไฟล์ Sysfs

การทดสอบเอาต์พุตของพอร์ต Pmod
ด้วยระบบไฟล์ Sysfs

ภาพที่ 4 การทดสอบอินพุตและเอาต์พุตของพอร์ต Pmod ด้วยระบบไฟล์ Sysfs

วิธีการทดสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านพอร์ต Pmod เริ่มจากการเขียน Shell Script ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานของแอลอีดีและปุ่มกด โดยกำหนดสถานะดังนี้ สถานะเริ่มต้นแอลอีดีจะอยู่ในสถานะปิด เมื่อกดปุ่มครั้งแรกแอลอีดีจะติดหรือสถานะเปิด และจะดับลงเมื่อกดปุ่มซ้ำอีกครั้ง ตามลำดับ ดังภาพที่ 5

```
BEGIN
กำหนดหมายเลขของปุ่มกด
กำหนดหมายเลขของไฟ LED
ตั้งค่าไฟ LED ปิดอยู่

เริ่มทำงานในลูปที่ไม่มีที่สิ้นสุด
อ่านค่าจากปุ่มกด

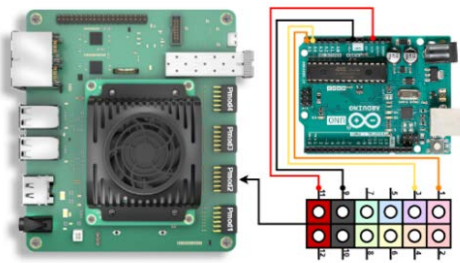
ถ้าปุ่มถูกกด (ค่าที่อ่านได้เป็น 1) THEN
    ถ้าไฟ LED ปิดอยู่ (led_state เป็น 0) THEN
        เปิดไฟ LED
        ตั้งค่า led_state เป็น 1
    ELSE
        ปิดไฟ LED
        ตั้งค่า led_state เป็น 0
    ENDIF
    รอจนกว่าปุ่มจะถูกปล่อย (ค่าที่อ่านได้เป็น 0)
ENDIF

หน่วงเวลาเล็กน้อยเพื่อป้องกันการทำงานที่เร็วเกินไป
ENDWHILE
END
```

ภาพที่ 5 Shell Script สำหรับควบคุมการทำงานของแอลอีดีและปุ่มกด

4.1.3 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ผ่านพอร์ต Pmod

การออกแบบการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับพอร์ต Pmod ของบอร์ด Kria KR260 อาศัยโปรโตคอล I²C บนซอฟต์แวร์ Vivado ML Edition โดยพัฒนามอดูล AXI IIC เพิ่มสำหรับควบคุมและจัดการการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ กำหนดความถี่ 100 MHz การเชื่อมต่อบอร์ด Arduino ผ่านทางพอร์ต Pmod2 จะเชื่อมต่อขาแอนะล็อก (Analog) เอาต์พุต A5 เข้ากับ SDA ขาที่ 1 และขา A4 เข้ากับ SCL ขาที่ 3 ของบอร์ด Kria KR260 พร้อมทั้งเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3.3 โวลต์ (Voltage) และกราวนด์ของ Arduino เข้ากับบอร์ด Kria KR260 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ต Pmod2

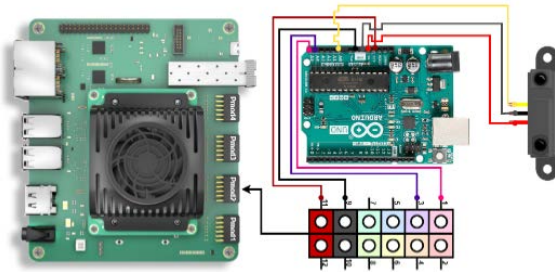
วิธีการทดสอบความถูกต้องในการรับส่งข้อมูลของการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino ผ่านพอร์ต Pmod2 เริ่มต้นที่ Pmod2 ส่งข้อมูลผ่านระบบไฟล์เสมือน Sysfs โดยใช้สำหรับกำหนดค่าและตรวจสอบสถานะของขา SDA และ SCL หากเชื่อมต่อสำเร็จ ระบบจะแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์รอบข้าง ดังภาพที่ 7

```
root@kr260 $ i2cdetect -y 7
    0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  A  B  C  D  E  F
00:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
10:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
20:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
30:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
40:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
```

ภาพที่ 7 การทดสอบการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ต Pmod2

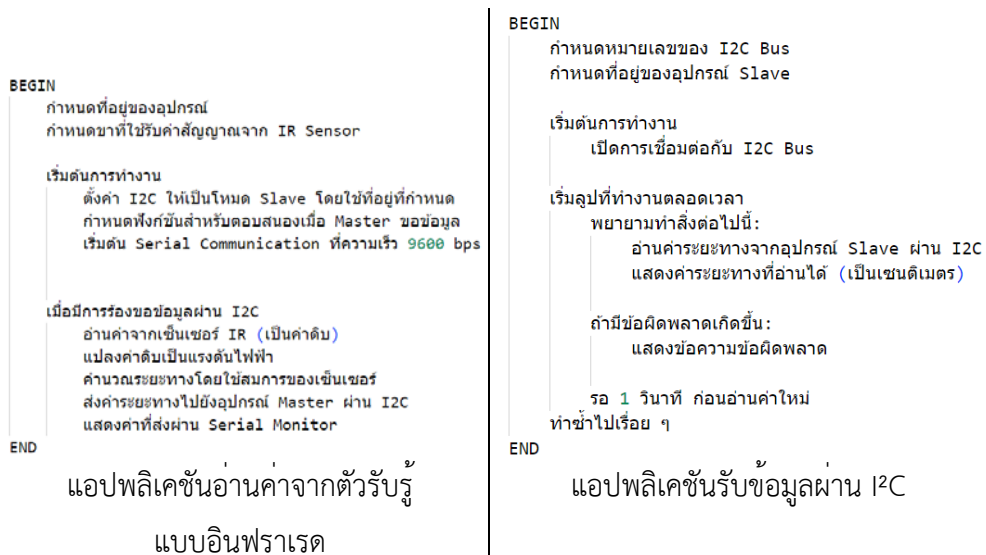
วิธีทดสอบการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ต Pmod2 ด้วยอุปกรณ์รอบข้าง จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ตัวรับรู้แบบอินฟราเรด และแอคชูเอเตอร์ 2 ชนิด ประกอบด้วยเซอร์โวมอเตอร์ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังนี้

1) ตัวรับรู้แบบอินฟราเรด การเชื่อมต่อตัวรับรู้แบบอินฟราเรดกับบอร์ด Arduino โดยต่อขาเอาต์พุตของตัวรับรู้แบบอินฟราเรดเข้ากับขา A0 ขา VCC เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 5 โวลต์ และขา GND เข้ากับกราวด์ของบอร์ด Arduino ดังภาพที่ 8



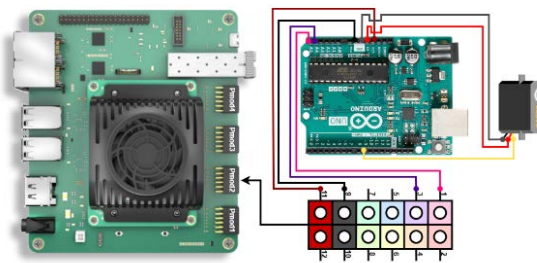
ภาพที่ 8 การเชื่อมต่อกับตัวรับรู้แบบอินฟราเรด

จากนั้นพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยภาษาระดับสูง C/C++ บนซอฟต์แวร์ Arduino IDE เพื่ออ่านค่าจากตัวรับรู้แบบอินฟราเรด และส่งข้อมูลไปยังบอร์ด Kria KR260 ผ่านโพรโทคอล I²C ต่อมาใช้ภาษา Python เพื่อให้บอร์ด Kria KR260 รับข้อมูลจากบอร์ด Arduino ผ่านโพรโทคอล I²C หากรับข้อมูลไม่ได้จะแสดงข้อความแจ้งเตือน ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แอปพลิเคชันอ่านค่าจากตัวรับรู้แบบอินฟราเรด และรับข้อมูลผ่าน I²C

2) การเชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์ ด้วยการเชื่อมต่อเซอร์โวมอเตอร์กับบอร์ด Arduino โดยต่อสายสัญญาณเข้าขา D9 ขา VCC เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 5 โวลต์ และขา GND เข้ากับกราวด์ของบอร์ด Arduino ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การเชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์

การพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ด้วยภาษา C/C++ บน Arduino IDE ตั้งค่ามุมเริ่มต้นที่ 90 องศา และรับค่ามุมจากบอร์ด Kria KR260 เพื่อควบคุมการหมุน หากค่าที่ได้รับเกิน 180 องศา เซอร์โวมอเตอร์จะหยุดนิ่ง ต่อมาใช้ภาษา Python บนบอร์ด Kria KR260 เพื่อรับค่ามุม และส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล I²C ไปยังบอร์ด Arduino เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ดังภาพที่ 11

```

BEGIN
  กำหนดที่อยู่ของอุปกรณ์ I2C เป็น 0x08
  กำหนดมุมเริ่มต้นของ Servo Motor เป็น 90 องศา

  เริ่มต้นการทำงาน
    ตั้งค่า I2C ให้เป็นโหมด Slave โดยใช้ที่อยู่ที่กำหนด
    กำหนดฟังก์ชันสำหรับรับข้อมูลจาก Master
    เชื่อมต่อ Servo Motor กับขา Pin
    ตั้งค่ามุมของ Servo Motor เป็น 90 องศา
    เริ่มต้น Serial Communication ที่ความเร็ว 115200 bps

  เมื่อมีข้อมูลส่งมาจาก Master ผ่าน I2C
    ถ้ามีข้อมูลที่รออ่านอยู่:
      อ่านค่ามุมที่ได้รับ
      จำกัดค่ามุมให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 180 องศา
      ปรับตำแหน่งของ Servo Motor ตามค่าที่ได้รับ
      แสดงค่ามุมที่ตั้งไว้ทาง Serial Monitor
END
  
```

แอปพลิเคชันควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

```

BEGIN
  กำหนดหมายเลขของ I2C Bus
  กำหนดที่อยู่ของอุปกรณ์ Slave
  เปิดการเชื่อมต่อกับ I2C Bus

  ฟังก์ชันสำหรับส่งค่ามุมไปยัง Servo Motor:
    รับค่ามุมที่ต้องการ
    จำกัดค่ามุมให้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 180 องศา
    ส่งค่ามุมไปยังอุปกรณ์ Slave ผ่าน I2C
    แสดงค่ามุมที่ตั้งไว้

  เริ่มลูปที่ทำงานตลอดเวลา:
    ขอให้ผู้ใช้ป้อนค่ามุมของ Servo (ระหว่าง 0-180)
    ถ้าผู้ใช้ป้อน 'q' → ออกจากโปรแกรม

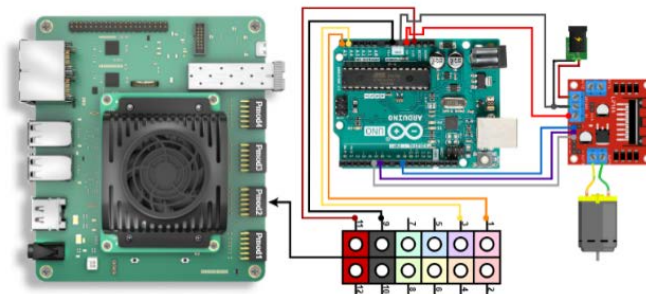
    แปลงค่าที่ป้อนไปเป็นตัวเลข
    ถ้าค่าไม่ถูกต้อง → แจ้งเตือนผู้ใช้
    ถ้าค่าถูกต้อง → ส่งค่ามุมไปยัง Servo Motor
    รอ 0.5 วินาที ก่อนรับค่าถัดไป
    ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ
END
  
```

แอปพลิเคชันการรับค่ามุม

ภาพที่ 11 แอปพลิเคชันควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ และการรับค่ามุม

3) วิธีการทดสอบการเชื่อมต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยการเชื่อมต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกับบอร์ด Arduino โดยใช้มอดูล L298N เป็นตัวควบคุม ซึ่งขาเอาต์พุตของมอดูลเชื่อมต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และขาสัญญาณควบคุมเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino ดังนั้น ขา IN1 กับขา D5 ขา IN2 กับขา D6 สำหรับการควบคุมทิศทาง และขา

ENA (PWM) กับ D9 สำหรับการควบคุมความเร็ว ส่วนขา 5V และ GND ของมอเตอร์เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 5 โวลต์และกราวด์ของบอร์ด Arduino ตามลำดับ ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การเชื่อมต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตั้งค่าความเร็วเริ่มต้นเป็น 0 บนซอฟต์แวร์ Arduino IDE หากบอร์ด Kria KR260 ส่งค่ามากกว่า 0 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะหมุนตามค่าที่ได้รับ แต่หากค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะหยุด ถัดมาพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยภาษา Python บนบอร์ด Kria KR260 เพื่อรับค่าความเร็วจากผู้ใช้งาน และส่งข้อมูลไปยังบอร์ด Arduino ผ่านโพรโทคอล I²C ดังแสดงในภาพที่ 13

<pre> BEGIN กำหนดค่าสำหรับควบคุมมอเตอร์: MOTOR_IN1 → ขา 5 MOTOR_IN2 → ขา 6 MOTOR_SPEED → ขา 9 กำหนดค่าความเร็วเริ่มต้นเป็น 0 เริ่มต้นการทำงาน: ตั้งค่าขา MOTOR_IN1, MOTOR_IN2, และ MOTOR_SPEED เป็นโหมด OUTPUT กำหนดให้ Arduino เป็น I2C Slave (ที่อยู่ 0x08) ตั้งค่าฟังก์ชันรับข้อมูลจาก I2C Master เริ่มลูปหลัก: ตั้งค่าความเร็วของมอเตอร์เป็น speedValue ห่วงเวลา 100 มิลลิวินาที ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ เมื่อได้รับข้อมูลจาก I2C Master: อ่านค่าความเร็วจาก I2C ถ้าค่าความเร็ว > 0: ตั้งค่าการหมุนของมอเตอร์ (หมุนไปข้างหน้า) ถ้าค่าความเร็ว = 0: หยุดมอเตอร์ </pre>	<pre> BEGIN กำหนดที่อยู่ของ I2C Slave เปิดการเชื่อมต่อ I2C Bus ฟังก์ชันสำหรับส่งค่าความเร็ว: รับค่าความเร็วจากผู้ใช้ จำกัดค่าให้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ส่งค่าความเร็วไปยัง I2C Slave เริ่มลูปที่ทำงานตลอดเวลา: ขอให้ผู้ใช้ป้อนค่าความเร็ว (0-255) แปลงค่าที่ป้อนไปเป็นตัวเลข ถ้าค่าถูกต้อง → ส่งไปยังมอเตอร์ ถ้าค่าผิดพลาด → แจ้งเตือนผู้ใช้ ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ </pre>
แอปพลิเคชันควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	แอปพลิเคชันรับค่าความเร็วจากผู้ใช้งาน

ภาพที่ 13 แอปพลิเคชันควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และรับค่าความเร็วจากผู้ใช้งาน

รายละเอียดอุปกรณ์ ตัวแปรการทดลอง และตัวชี้วัด แสดงดังตารางที่ 1 โดยสรุปรายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง พร้อมแรงดันไฟฟ้า วิธีเชื่อมต่อ และตัวแปรควบคุมของแต่ละอุปกรณ์ เพื่อให้การทดลองทำซ้ำได้อย่างเป็นระบบ รวมทั้งการกำหนดตัวชี้วัดหลัก เช่น ความถูกต้องของข้อมูลรับ-ส่ง สถานะหรือการตรวจจับ ความถูกต้องของมุม และการหมุนและหยุดของมอเตอร์ รวมถึงเวลาตอบสนองและอัตราความสำเร็จของระบบ เป็นต้น

ตารางที่ 1 รายละเอียดอุปกรณ์ ตัวแปรการทดลอง และตัวชี้วัด

รายละเอียดอุปกรณ์	แรงดันไฟฟ้า	การเชื่อมต่อ	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรที่วัด/เกณฑ์
บอร์ด Kria KR260 Robotics Starter Kit (Zynq UltraScale+ MPSoC)	12V	Pmod, AXI GPIO, AXI IIC	Clock 100 MHz, Vivado 2023.1	เวลาตอบสนอง และ ความสำเร็จ
บอร์ด Arduino UNO R3 (ATmega328P)	5V	I ² C (SDA ขา A4 และ SCL ขา A5)	I ² C Address	ข้อมูลที่รับ-ส่ง ตรงกัน
แอลอีดี (LED 5mm) ปุ่มกด และตัวต้านทาน	3.3V	GPIO	R = 220 Ω , กด ปุ่ม 1-2 ครั้ง	สถานะเปิดปิด และ อัตราความสำเร็จ
ตัวรับรูแบบ อินฟราเรด (IR LM393)	5V	Arduino Analog ขา A0	ระยะทดสอบ 5-30 Inch วัตถุที่ใช้ทดสอบ แผ่นกระดาษสี ขาว	ค่าระยะ และสถานะ ตรวจจับ

รายละเอียดอุปกรณ์	แรงดันไฟฟ้า	การเชื่อมต่อ	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรที่วัด/เกณฑ์
เซอร์โวมอเตอร์ (Servo SG90)	5V	Arduino PWM ขา D9	มุม 0–180 องศา	ความถูกต้องมุม และการตอบสนอง
มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง และ มอดูล L298N	5V	Direction ขา D5 กับขา D6 และ PWM ขา D9	ความเร็วค่า PWM command 0–150 หรือ Duty Cycle ประมาณ 0–58.8%	การหมุน การหยุด และการตอบสนอง

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและเกณฑ์การประเมิน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพใช้ตัวชี้วัดเวลาตอบสนอง (Response Time) แบ่งออกเป็น เวลาในการส่งข้อมูล (Send Time) และเวลาในการรับข้อมูล (Receive Time) โดยบันทึกผลการทดสอบกรณีละ 20 ครั้ง และรายงานช่วงค่าต่ำที่สุดถึงมากที่สุด (Min–Max) เพื่อแสดงการกระจายของข้อมูล นอกจากนี้ มีการคำนวณค่าความแปรปรวนสัมพัทธ์ (Normalized Range) (Bandini, 2016) ดังสมการ

$$\text{Normalized Range} = (\text{Max} - \text{Min}) / \text{Mean} \quad (1)$$

เมื่อค่า Mean คือ ค่ากึ่งกลางของช่วงค่าต่ำที่สุดถึงมากที่สุด เพื่อช่วยพิจารณาว่าข้อมูลเกาะกลุ่มหรือแกว่งมาก ส่วนความเสถียรภาพ ได้นิยามในงานวิจัยนี้เป็น อัตราความสำเร็จ (Success Rate) ของการทำงาน และการสื่อสาร ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด

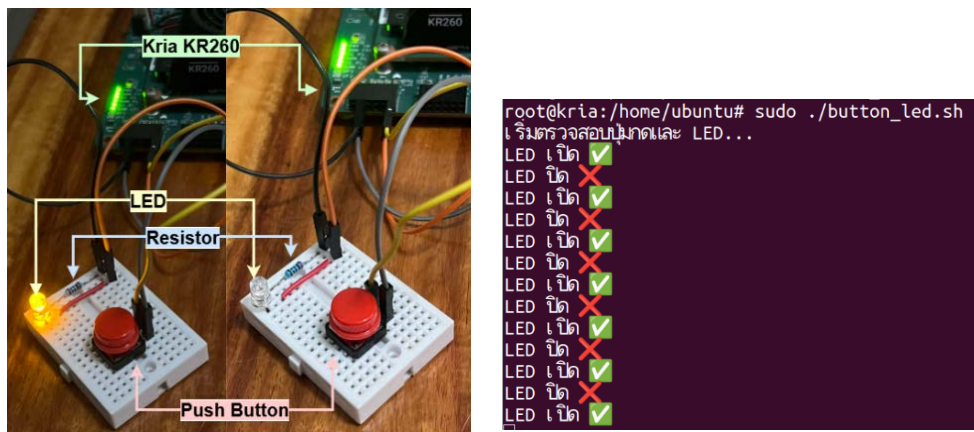
5. ผลการวิจัย

หัวข้อนี้นำเสนอผลการทดสอบ แบ่งเป็น 5 หัวข้อ ได้แก่ 1) การเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านพอร์ต Pmod 2) การเชื่อมต่อกับตัวรับรู้แบบอินฟราเรด 3) การเชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์

4) การเชื่อมต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และ 5) เวลาตอบสนองการทำงานผ่านพอร์ต Pmod มีรายละเอียดดังนี้

5.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านพอร์ต Pmod

การทดสอบการควบคุมแอลอีดีด้วยปุ่มกดทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด เริ่มต้นแอลอีดีอยู่ในสถานะปิด กดปุ่มครั้งแรกแอลอีดีจะติด และกดปุ่มครั้งที่สองแอลอีดีจะดับ โดยแสดงสถานะผ่าน เทอร์มินอล (Terminal) ทดสอบทั้งหมด 10 ครั้ง ผลการทดสอบพบว่า ได้ผลถูกต้องครบถ้วนทุกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 14 โดยผลการทดสอบนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ข้อ 2.2 ในการตรวจสอบการเชื่อมต่อและการทำงานของอุปกรณ์ผ่านพอร์ต Pmod



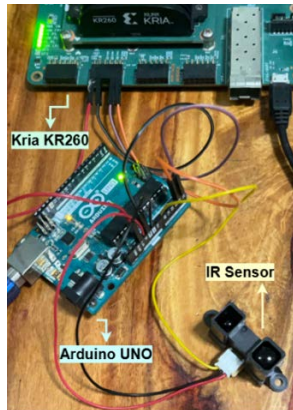
การทดสอบด้วยการกดปุ่ม
เพื่อเปิดปิดแอลอีดี

ผลการทดสอบของแอลอีดีและปุ่มกด
แสดงสถานะผ่านเทอร์มินอล

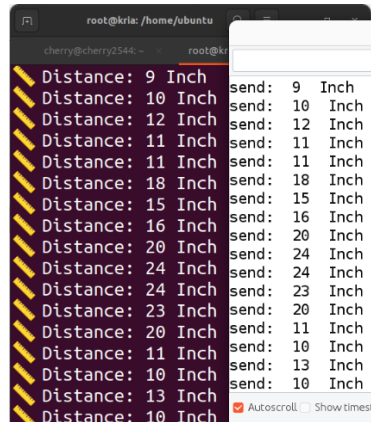
ภาพที่ 14 การทดสอบและผลการทดสอบด้วยการกดปุ่มเพื่อเปิดปิดแอลอีดี

5.2 การเชื่อมต่อกับตัวรับรู้แบบอินฟราเรด

ผลการทดสอบการรับข้อมูลจากตัวรับรู้แบบอินฟราเรดพบว่าสามารถรับและประมวลผลข้อมูลได้ถูกต้อง การสื่อสารระหว่างทั้งสองบอร์ดมีประสิทธิภาพ โดยค่าที่ส่งและรับตรงกันทุกครั้งที่จากการทดสอบ 10 ครั้ง ระยะห่างที่วัดได้ตรงกับค่าที่แสดงบนบอร์ด Arduino โดยปรับระยะห่างระหว่างหน้าตัวรับรู้ถึงแผ่นกระดาษสีขาว ในช่วง 5–30 นิ้ว และบันทึกสถานะการตรวจจับเพื่อนำไปใช้เป็นเงื่อนไขในการสั่งงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังภาพที่ 15 โดยผลการทดสอบนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ข้อ 2.2 ในการทดสอบการทำงานร่วมกับอุปกรณ์รอบข้างผ่าน Arduino และ I²C



การทดสอบด้วยตัวรับรู้แบบอินฟราเรด

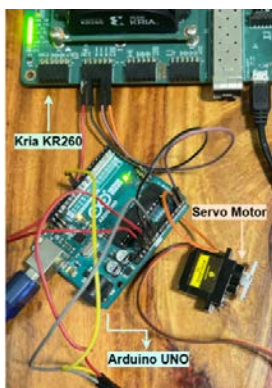


ผลการทดสอบการรับส่งข้อมูล
ของตัวรับรู้แบบอินฟราเรด

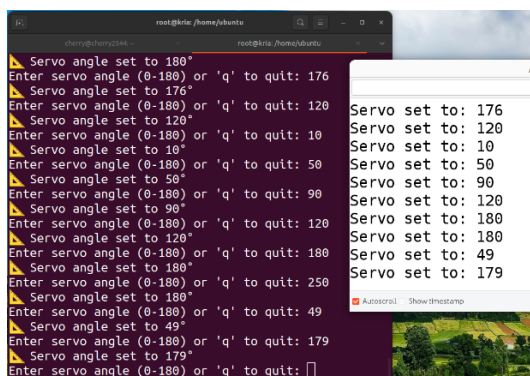
ภาพที่ 15 การทดสอบและผลการทดสอบด้วยการรับส่งข้อมูลของตัวรับรู้แบบอินฟราเรด

5.3 การเชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์

ผลการทดสอบการเชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์พบว่า เซอร์โวมอเตอร์ทำงานได้ถูกต้อง โดยเริ่มต้นที่มุม 90 องศา และสามารถหมุนตามค่าที่บอร์ด Kria KR260 ส่งมาได้อย่างแม่นยำ หากป้อนค่ามุมเกิน 180 องศา ระบบจะจำกัดไว้ที่ 180 องศาโดยอัตโนมัติ จากการทดสอบ 10 ครั้ง เซอร์โวมอเตอร์หมุนตรงตามคำสั่งทุกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 16 โดยผลการทดสอบนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ข้อ 2.2



การทดสอบการเชื่อมต่อกับ
เซอร์โวมอเตอร์

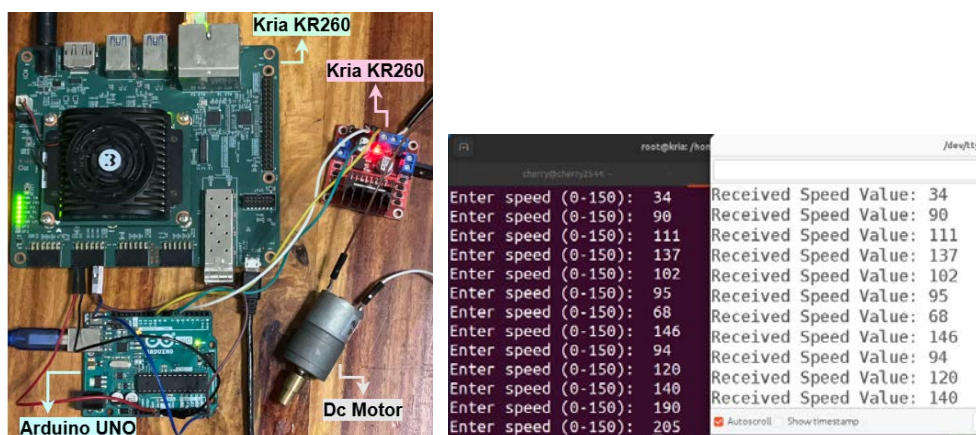


ผลการทดสอบการเชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์

ภาพที่ 16 การทดสอบและผลการทดสอบการเชื่อมต่อกับเซอร์โวมอเตอร์

5.4 การเชื่อมต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ผลการทดสอบการเชื่อมต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพบว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำงานถูกต้องตามค่าความเร็วที่ได้รับจากบอร์ด Kria KR260 โดยมอเตอร์จะหมุนเมื่อค่าความเร็วมากกว่า 0 และหยุดเมื่อค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 หากป้อนค่ามากกว่า 150 ระบบจะจำกัดไว้ที่ 150 หรือ Duty Cycle ประมาณ 0–58.8% โดยอัตโนมัติ การควบคุมผ่านคีย์บอร์ดทำงานได้แม่นยำ โดยค่าที่รับและส่งตรงกันทุกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 17 โดยผลการทดสอบนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ข้อ 2.2



การทดสอบการเชื่อมต่อกับมอเตอร์

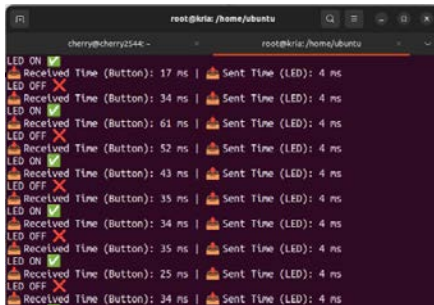
ผลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ไฟฟ้ากระแสตรง

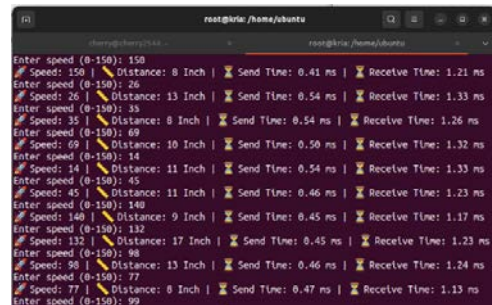
ภาพที่ 17 การทดสอบและผลการทดสอบการเชื่อมต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.5 เวลาตอบสนองการทำงานผ่านพอร์ต Pmod

จากผลการทดสอบที่กำหนดผ่าน Pmod แบบ GPIO ที่ใช้ปุ่มกดเป็นอินพุตและแอลอีดีเป็นเอาต์พุต เพื่อวัดเวลาตอบสนองจากการกดปุ่มจนแอลอีดีเปลี่ยนสถานะจำนวน 20 ครั้ง และผลการทดสอบแบบ I²C ใช้ตัวรับรู้แบบอินฟราเรดเป็นอินพุต และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเอาต์พุต โดยวัดเวลาตั้งแต่ตัวรับรู้แบบอินฟราเรดตรวจจับจนไฟฟ้ากระแสตรงเริ่มทำงาน จำนวน 20 ครั้งเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 18 ซึ่งผลการวัดเวลาตอบสนองนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อ 2.3 การประเมินประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มแบบบูรณาการ



ผลการทดสอบเวลาตอบสนองแบบ GPIO



ผลการทดสอบเวลาตอบสนองแบบ I2C

ภาพที่ 18 ผลการทดสอบเวลาตอบสนองแบบ GPIO และ I2C

การประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของบอร์ด Kria KR260 ด้วยเวลาตอบสนองการทำงานผ่านพอร์ต Pmod ทั้งแบบ GPIO และแบบ I2C ดังตารางที่ 2 พบว่า I2C มีเวลาตอบสนองเร็วกว่า GPIO อย่างชัดเจน โดยเวลาในการรับข้อมูล GPIO อยู่ที่ 17–61 ms ขณะที่ I2C อยู่ที่ 1.13–1.36 ms ส่วน เวลาส่งข้อมูล GPIO จะคงที่ที่ 4 ms ในขณะที่ I2C อยู่ระหว่าง 0.41–0.54 ms แสดงให้เห็นว่า I2C มีประสิทธิภาพด้านความเร็วสูงกว่า เพื่อให้เห็นการกระจายของข้อมูลเพิ่มเติม ได้สรุปการแปรปรวนสัมพัทธ์จากช่วงค่าต่ำที่สุดถึงมากที่สุด (Min–Max) ในตารางที่ 3 ซึ่งสะท้อนว่าค่าเวลาตอบสนองของ I2C เกาะกลุ่มมากกว่า GPIO

ตารางที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของบอร์ด Kria KR260 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้าง

เกณฑ์การประเมิน	GPIO	I2C
จำนวนการทดสอบ	20 ครั้ง	20 ครั้ง
เวลาในการส่งข้อมูล (Send Time)	4 ms	0.41 - 0.54 ms
เวลาในการรับข้อมูล (Receive Time)	17 - 61 ms	1.13 - 1.36 ms
อุปกรณ์รอบข้างแบบอินพุต	ปุ่มกด	ตัวรับรูแบบอินฟราเรด
อุปกรณ์รอบข้างแบบเอาต์พุต	แอลอีดี	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 3 แสดงความแปรปรวนของข้อมูลในมูเมเกาะกลุ่มหรือแกว่ง จากช่วงค่า Min–Max โดยใช้ค่าความแปรปรวนสัมพัทธ์ (Normalized Range) เพื่อดูความกว้างของการกระจายเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย. ผลพบว่า I2C เกาะกลุ่มมากกว่าหรือแกว่งน้อยกว่า ทั้งเวลาในการส่งข้อมูล (Send Time) (0.41–0.54 ms; NR=0.274) และเวลาในการรับข้อมูล

(Receive Time) (1.13–1.36 ms; NR=0.185) ขณะที่ GPIO แกว่งมากกว่า โดยเฉพาะเวลาในการรับข้อมูล (17–61 ms; NR=1.128) สะท้อนการกระจายกว้าง และความสม่ำเสมอของเวลาตอบสนองต่ำกว่า I²C ภายใต้งี๋เงื่อนไขเดียวกัน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาตอบสนองจากผล Min–Max

ตัวชี้วัด	GPIO (Min–Max)	GPIO Normalized Range	I ² C (Min–Max)	I ² C Normalized Range
Send Time (ms)	4.00	0.000	0.41–0.54	0.274
Receive Time (ms)	17.00–61.00	1.128	1.13–1.36	0.185
ความแปรปรวนสัมพัทธ์ (Normalized Range)	ต่ำ–ปานกลาง	อ้างอิงช่วง	ต่ำ	อ้างอิงช่วง

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้งานแพลตฟอร์มพัฒนาหุ่นยนต์ Kria KR260 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รอบข้างแบบบูรณาการ เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการสื่อสารและการควบคุมอุปกรณ์รอบข้าง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแพลตฟอร์ม Kria KR260 สามารถทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และอุปกรณ์รอบข้าง เช่น แอลอีดี ตัวรับรู้แบบอินฟราเรด เซอร์โวมอเตอร์ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ได้อย่างถูกต้อง ภายใต้งี๋เงื่อนไขการทดลอง โดยมีอัตราความสำเร็จของการทำงานครบถ้วนในการทดสอบแต่ละกรณี การทดสอบการเชื่อมต่อและการสื่อสารผ่านพอร์ต Pmod ทั้งแบบ GPIO และ I²C พบว่าอุปกรณ์ทั้งหมดสามารถทำงานได้ตรงตามคำสั่งทุกครั้ง โดยเฉพาะการสื่อสารแบบ I²C มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ GPIO อย่างชัดเจน โดยมีเวลาตอบสนองต่ำกว่าถึงระดับมิลลิวินาที ซึ่งสะท้อนถึงความเหมาะสมของการใช้โปรโตคอลนี้ในระบบที่ต้องการการตอบสนองแบบเวลาจริง จึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในการพัฒนาหุ่นยนต์ในภาคอุตสาหกรรมหรือภาคบริการ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอความเสถียรภาพ ในมุมของอัตราความสำเร็จ และความ

สม่ำเสมอของเวลาตอบสนองจากช่วงค่าต่ำที่สุดถึงมากที่สุด งานในอนาคตควรเพิ่มการทดสอบต่อเนื่องระยะยาว และภายใต้สภาพแวดล้อมการรบกวนเพื่อยืนยันความทนทานของระบบ

7. อภิปรายผล

จากผลการทดสอบการเชื่อมต่อและการสื่อสารระหว่างบอร์ด Kria KR260 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และอุปกรณ์รอบข้าง พบว่าระบบสามารถทำงานได้ถูกต้อง และมีเสถียรภาพ ตามนิยามอัตราความสำเร็จ ซึ่งไม่พบการสื่อสารที่ผิดพลาด และคำสั่งไม่ทำงานภายใต้เงื่อนไขการทดลอง ในทุกหัวข้อการทดสอบ การเปรียบเทียบเวลาตอบสนองของพอร์ต Pmod ระหว่างแบบ GPIO และ I²C พบว่า I²C มีเวลาตอบสนองที่ดีกว่าอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่า I²C มีประสิทธิภาพสูงกว่าในด้านความเร็วและความหน่วงต่ำ ซึ่งเหมาะกับระบบหุ่นยนต์ที่ต้องการการตอบสนองแบบเวลาจริง ผลการทดสอบทั้งหมดสอดคล้องกับคุณลักษณะของชิป Zynq UltraScale+ MPSoC ที่มีทั้งหน่วยประมวลผล Arm Cortex-A53 และ Arm Cortex-R5 ทำให้ระบบสามารถแบ่งภาระการประมวลผลและตอบสนองได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ภายนอกจึงมีเสถียรภาพตามอัตราความสำเร็จ ซึ่งยืนยันถึงศักยภาพของแพลตฟอร์มนี้ในการพัฒนาระบบหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในอนาคต เมื่อพิจารณาหลักการสื่อสารที่ใช้ในการทดสอบ พบว่าการอ่านหรือเขียน GPIO ผ่านระบบไฟล์ Sysfs มีขั้นตอนการเรียกใช้ระดับระบบปฏิบัติการหลายขั้นตอน ส่งผลให้เกิดความหน่วงมากกว่า ขณะที่การสื่อสารผ่าน I²C ใช้บัสอนุกรมที่มีการจัดการแบบเป็นโปรโทคอล ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้รวดเร็ว และมีความสม่ำเสมอมากกว่า ผลที่ได้จึงสอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบระบบฝังตัวที่เลือกใช้บัสสื่อสารสำหรับงานที่ต้องการเวลาตอบสนองต่ำ และสอดคล้องกับงานที่เกี่ยวข้องที่นำ Kria KR260 ไปใช้ในงานเวลาจริงหรือการควบคุมหุ่นยนต์ (Prongnuch & Sitjongsataporn, 2024; Thitinaruemit et al., 2023)

8. เอกสารอ้างอิง

- นทวีร์ ไชยจำ วีระศักดิ์ นาโศก และ นัฐดนัย วงศ์ศรี. (2567). การศึกษาเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิร่างกายแบบไม่สัมผัสสำหรับคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้น. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ*, 5(1), 47–58.
- วรสุภรางค์ ศิริพราหมณกุล จิโรจน์ สุทธิภาค พรทิพย์ เหลียวตระกูล และ รัตนา สี่รุ่งนาวา รัตน์. (2564). การออกแบบเครื่องทำความสะอาดอัจฉริยะ. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ*, 2(1), 70–88.
- อภิรักษ์ อิตินฤมิตร เศรษฐกุล โปร่งนุช และ ปฏิญญาณ์ แสงอรุณ. (2565). การศึกษาฮาร์ดแวร์ประมวลผล Kria KR260 สำหรับหุ่นยนต์. *วารสาร Engineering Transactions, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร*, 25(2), 153-163.
- Advanced Micro Devices, Inc. (2025). *AMD Vivado™ Design Suite*. Retrieved from <https://www.amd.com/en/products/software/adaptive-socs-and-fpgas/vivado.html>
- Advanced Micro Devices, Inc. (2025). *Kria KR260 Robotics Starter Kit*. Retrieved from <https://www.amd.com/en/products/system-on-modules/kria/k260/kr260-robotics-starter-kit.html>
- Aubonnoi, B. & Prongnuch, S. (2025). Functional Evaluation of External Interfaces on the Kria KR260 Robotics Starter Kit for Practical Deployment. *International Electrical Engineering Transactions*, 11(2), 23-31, 2025.
- Bandini, A. (2016). *Applications in Neurophysiology*. (Doctoral dissertation). University of Bologna.
- Li, Z., Li, X., Lin, J., Pang, Y., Yang, D., Zhong, L., & Guo, J. (2023). Design and Application of Multidimensional Force/Torque Sensors in Surgical Robots: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 23(12), 12441-12454.
- Prongnuch, S. & Sitjongsataporn, S. (2024). Path Optimization of Small Tractor for Removal Weeding System in Oil Palm Plantation. *ASEAN Engineering Journal*, 14(4), 41-48.

- Prongnuch, S. & Sitjongsataporn, S. (2021). Differential Drive Analysis of Spherical Magnetic Robot Using Multi-Single Board Computer. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 14(4), 264-275.
- Prongnuch, S., Sitjongsataporn, S., & Wiangtong, T. (2020). A Heuristic Approach for Scheduling in Heterogeneous Distributed Embedded Systems. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 13(1), 135-145.
- Thitinaruemit, A., Sitjongsataporn, S., & Prongnuch, S. (2023). Bio-inspired Algorithm for Decisioning Wireless Access Point Installation. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(5), 4996-5005.

วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์เพื่อการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์
กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเครื่องแกง
Human Factors Engineering for the Design of Tools and
Equipment for Community Enterprises of Curry Paste
Production

วีรชัย มัณฐารักษ์¹, พิเชษฐ จันทวี¹, พุฒิธร ตุกเตียน¹, ธนรัตน์ รัตนกุล^{1*}
Weerachai Madtharak¹, Pichet Jantawee¹, Phuthithon Tuktien¹,
Tanarat Rattanakool^{1*}

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

¹ Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University"

*Corresponding author E-mail: tanarat.ra@skru.ac.th

Received 12 Oct. 2025 Revised 23 Mar. 2026 Accepted 20 May. 2026

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้หลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์เพื่อการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ สำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเครื่องแกง บ้านคูขงปาแย ตำบลตอหลัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี จากการสำรวจปัญหาสุขภาพและการประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ด้วยวิธี RULA และ REBA พบว่าผู้ปฏิบัติงานมีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูง (คะแนน RULA = 7 และ REBA = 9) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะการทำงานในปัจจุบันมีปัญหาและควรได้รับการปรับปรุงสถานงานอย่างเร่งด่วน ผู้วิจัยได้ ดำเนินการเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงจำนวน 15 คน ซึ่งได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เพื่อนำมาประกอบการออกแบบเครื่องหันตะไคร้และแก้อื้อปฏิบัติงาน โดยใช้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และ 95 ในการกำหนดสัดส่วน ได้แก่ ความสูงระดับข้อศอก (92.00 - 98.30 เซนติเมตร) ผู้วิจัยได้กำหนดความสูงของโต๊ะปฏิบัติงานไว้ที่ 90 เซนติเมตร เพื่อให้ต่ำกว่าระดับข้อศอก และสะดวกต่อการทำงาน สำหรับการออกแบบแก้อื้อ ได้กำหนดความสูงจากพื้นถึงขาอ่อนล่าง

เป็นช่วง 35-45 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถปรับระดับได้ ความลึกของเก้าอี้ใช้ระยะ 38 เซนติเมตร ความกว้างของเก้าอี้ 40 เซนติเมตร และระยะเอี๊ยมแขนไปข้างหน้า 69 – 73 เซนติเมตร ซึ่งผู้ใช้งานสามารถขยับเครื่องหันหรือเก้าอี้ได้ตามความเหมาะสม ผลการทดลองนำเครื่องมือที่ออกแบบใหม่ไปใช้งานจริงกับกลุ่มตัวอย่างเดิม พบว่าประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยสามารถลดเวลาการหันตะไคร้จำนวน 15 กิโลกรัมลงได้ 9.08 นาที และระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ลดลงมาอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย (คะแนน RULA ลดลงเหลือ 4 และ REBA ลดลงเหลือ 4) นอกจากนี้ ผู้ใช้งานยังมีความพึงพอใจต่ออุปกรณ์ที่ออกแบบใหม่อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.38) สรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้หลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ในการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ สามารถช่วยให้วิสาหกิจชุมชนกลุ่มเครื่องแกงเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในการทำงานลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์, การออกแบบ, การวัดขนาดสัดส่วนร่างกาย, วิสาหกิจชุมชนกลุ่มเครื่องแกง, การหันตะไคร้, RULA, REBA

Abstract

This study aimed to apply human factors engineering principles to the design of tools and equipment for the Dusongpayae Community Curry Paste Enterprise, located in To Lang Subdistrict, Yaring District, Pattani Province. Initial health surveys and ergonomic risk assessments using RULA and REBA revealed that workers were at a high risk level (RULA = 7, REBA = 9), indicating that current working conditions are problematic and require immediate workstation improvements. Anthropometric measurements were conducted on 15 female participants, selected through purposive sampling, to support the design. For the lemongrass cutting machine, the 5th and 95th percentile elbow height (92.00–98.30 cm) was considered, and the working height was set at 90 cm to be below elbow level for greater comfort. For the chair design, the seat height was based on the 5th and 95th percentile of popliteal height (36–42 cm), adjustable within 35–45 cm. Seat depth was determined using the 5th percentile of buttock-popliteal length (38 cm), while seat width was based on the 95th percentile of hip breadth while sitting (38.30 cm), set at 40 cm. The working reach distance was designed according to the 5th and 95th percentile forward arm reach (69–73 cm), ensuring suitability as users can freely adjust the positioning of the cutter and chair. Testing the redesigned tools with the original participants demonstrated a clear increase in productivity, as the time required to slice 15 kilograms of lemongrass was reduced by 9.08 minutes. Furthermore, ergonomic risks significantly decreased to safer levels (RULA = 4, REBA = 4), and overall user satisfaction was rated at a high level (mean = 4.38). These findings demonstrate that applying human factors engineering in tool and equipment design effectively enhances productivity and reduces ergonomic risks for the community curry paste enterprise.

Keywords: Human Factors Engineering, Design, Anthropometry, Community-Based Curry Paste Enterprise, slicing lemongrass, RULA, REBA

1. บทนำ

ปัจจุบันการส่งเสริมอาชีพในระดับวิสาหกิจชุมชนเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างงาน สร้างรายได้ และอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่น การพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากผ่านการส่งเสริมผลิตภัณฑ์ชุมชน ถือเป็นกลไกสำคัญในการกระตุ้นเศรษฐกิจของประเทศ โดยเน้นให้ประชาชนในท้องถิ่นสามารถนำภูมิปัญญาท้องถิ่น วัตถุดิบในชุมชน รวมถึงทรัพยากรต่างๆ มาแปรรูปสร้างมูลค่าเพิ่มเพื่อจำหน่าย

อย่างไรก็ตาม ผู้ประกอบการระดับชุมชนจำนวนมากยังคงพึ่งพาแรงงานคนเป็นหลัก และขาดการนำเทคโนโลยีหรือเครื่องมือทุ่นแรงที่เหมาะสมมาใช้งาน สภาพการทำงานดังกล่าวส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานต้องทำงานในท่าทางที่ไม่เหมาะสมซ้ำๆ เป็นเวลานาน ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้เกิดปัญหาสุขภาพ เช่น อาการปวดเมื่อยและความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ แต่ยังส่งผลกระทบต่อความล่าช้าและข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพในการผลิตอีกด้วย กิตติอินทรานนท์ (2548) กล่าวว่าภาระทางกายภาพทำให้เกิดความเครียดในด้านชีวกลศาสตร์และสรีรวิทยาในขณะที่ทำงานอยู่ ดังนั้นการจัดการสภาพการทำงานจึงมีความสำคัญทั้งในด้านความปลอดภัย สุขภาพ และการเพิ่มผลิตภาพ (Productivity)

หลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ (Human Factors Engineering) หรือการยศาสตร์ (Ergonomics) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบปรับปรุงการทำงาน เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว การออกแบบงานที่แสดงถึงการใช้ค่าสัดส่วนต่างๆ ของร่างกายมักใช้คำว่าวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์แทนคำว่าการยศาสตร์ เช่น พรศิริ จงกล และคณะ (2567) ที่ได้ประยุกต์ใช้วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ในการปรับปรุงที่นั่งชิงช้า วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์เป็นการออกแบบหรือปรับปรุงสภาพของงานให้เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงานและทำให้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งผู้ปฏิบัติงานมีความเป็นอยู่และสุขภาพอนามัยที่ดี ซึ่งสภาพแวดล้อมในการทำงาน ได้แก่ สิ่งแวดล้อม วัสดุสิ่งของ เครื่องมือ วิธีการทำงานหรือท่าทางการทำงาน ขั้นตอนการทำงาน รวมถึงขนาดสัดส่วนร่างกาย ภายใต้อสภาพแวดล้อมของที่ทำงาน เป็นการเรียนรู้ความสามารถและข้อจำกัดในการทำงานของมนุษย์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการจัดสภาพสิ่งแวดล้อมให้เกิดความสะดวกสบาย ทั้งนี้ในอุตสาหกรรมเกษตรและการแปรรูปอาหาร ได้มีงานวิจัยหลายแห่งนำหลักการยศาสตร์มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ตัดหญ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความเมื่อยล้า เช่น งานวิจัยของ ยศวรรธน์ จันทนา และนรินทร์ รัตนวิ

(2565) ที่ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อการปรับตั้งค่าเครื่องหันใบตะไคร้ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการใช้เครื่องจักรที่ออกแบบอย่างเหมาะสมสามารถลดเวลาและเพิ่มปริมาณผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการออกแบบตามหลักการยศาสตร์ที่เน้นความเรียบง่าย คำนึงถึงความสัมพันธ์ของลักษณะงาน สัดส่วนร่างกายผู้ใช้งาน ความเหมาะสม การใช้งานได้จริง ค่าใช้จ่าย และการออกแบบบนพื้นฐานของการศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจริง (Hyer & Wemmert, 2002) การวัดขนาดสัดส่วนร่างกายของพนักงานจึงเป็นข้อมูลการออกแบบพื้นฐานประกอบการออกแบบปรับปรุงวิธีการทำงานตามหลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ จันทนิ นิลเลิศ (2560) กล่าวว่าเก้าอี้ที่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์จะสามารถปรับเปลี่ยนความสูงของพนักพิงหลัง ที่พักแขนและที่พักเท้าได้ตามลักษณะงานของผู้ใช้งาน การออกแบบเครื่องมือและสถานงานที่สอดคล้องกับสัดส่วนร่างกายจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดปัญหาทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ และป้องกันไม่ให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานลดลง

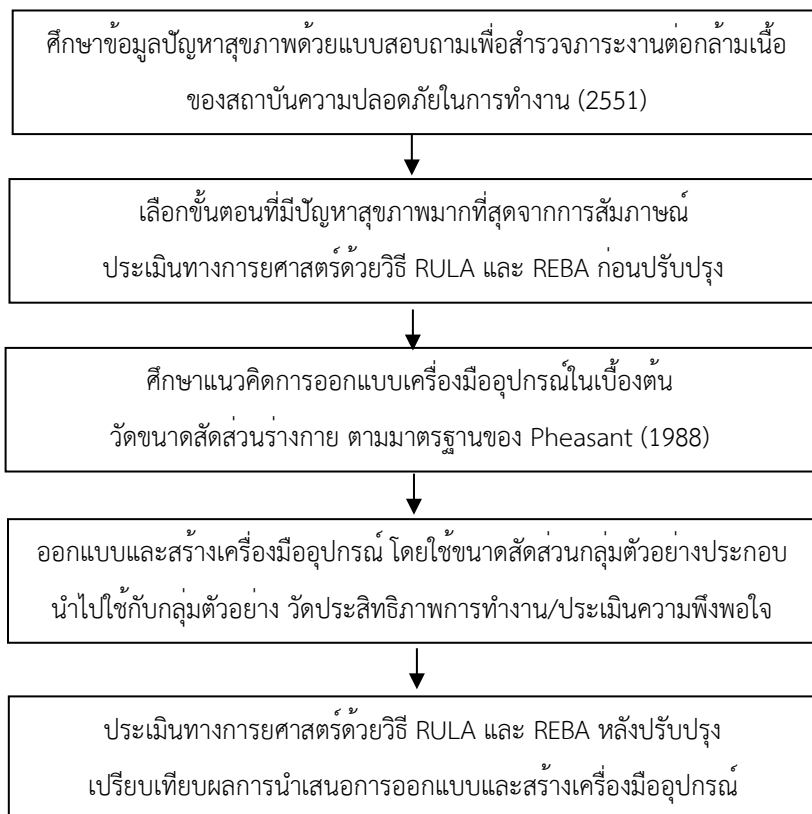
ผลิตภัณฑ์เครื่องแกงวิสาหกิจชุมชนเป็นผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนอัตลักษณ์วัฒนธรรมอาหารปักษ์ใต้ที่ควรได้รับการส่งเสริมเพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์ในการผลิต จตุพร คงทองและคณะ (2561) ได้ศึกษาแผนกลยุทธ์เพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์เครื่องแกงชุมชนของวิสาหกิจชุมชน โดยพบว่าควรมีการเสริมศักยภาพของกลุ่มวิสาหกิจโดยเน้นให้เกิดการพึ่งพาตัวเองให้มากที่สุด จากการศึกษาการทำงานและกระบวนการผลิตเครื่องแกงของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน บ้านคูขงป่าแย ตำบลตอหลัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี ในการผลิตเครื่องแกงสำเร็จรูป ที่มีกำลังการผลิตเดือนละประมาณ 1,200 กิโลกรัม ซึ่งถ้าเป็นช่วงเทศกาลกำลังการผลิตก็จะเพิ่มขึ้น โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการคัดเลือกวัตถุดิบ การล้างทำความสะอาด การหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ เช่น หั่นตะไคร้ ข่า และหอมแดง การบดผสมให้เนียนละเอียดและเข้ากัน การบรรจุและจัดจำหน่ายต่อไป โดยพบปัญหาในระหว่างการผลิตคือต้องใช้แรงงานคนในการหั่นตะไคร้ที่ต้องใช้เวลาานส่งผลต่อความเมื่อยล้าตามส่วนต่างๆ ของร่างกายในการทำงาน ความล่าช้าในกระบวนการผลิต และมีความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุจากการหั่น การประยุกต์ใช้หลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์เพื่อการออกแบบปรับปรุงวิธีการทำงานและเครื่องมืออุปกรณ์ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตเครื่องแกง จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาปัญหาสุขภาพเบื้องต้นและความเสี่ยงทางการยศาสตร์ก่อนและหลังการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ (2) วัดขนาดสัดส่วนร่างกายกลุ่มตัวอย่างประกอบการออกแบบ และ (3) ออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ตามหลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์

2. วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงาน ประกอบด้วย ขั้นตอนการศึกษา กลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือ/อุปกรณ์ และการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

2.1 ขั้นตอนการศึกษา

ในการดำเนินการศึกษาเริ่มจากการศึกษาการทำงาน ศึกษากระบวนการผลิตเครื่องแกง ปัญหาสุขภาพในการทำงาน เลือกขั้นตอนที่มีปัญหาสุขภาพมากที่สุดจากการสัมภาษณ์ ทำการประเมินผลทางกายศาสตร์ ศึกษาแนวคิดการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ วัดขนาดสัดส่วนประกอบการออกแบบและสร้างเครื่องมือ/อุปกรณ์ วัดผลการเพิ่มประสิทธิภาพ การประเมินความพึงพอใจ การประเมินทางกายศาสตร์หลังการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ และเปรียบเทียบผลการศึกษา ดังแสดงขั้นตอนการศึกษา ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการศึกษา

2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเครื่องแกงบ้านคูขึ่งปาแย ตำบลตอหลัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ (1) การศึกษาปัญหาสุขภาพด้วยแบบสอบถามสำรวจภาระงานต่อกล้ามเนื้อ การวัดขนาดสัดส่วนของร่างกาย และสอบถามความพึงพอใจ เป็นสมาชิกทั้งหมด เพศหญิงจำนวน 15 คน โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) (2) การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ เลือกตัวอย่างที่มีค่ามัธยฐาน (Median) ของส่วนสูง และสุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์ จำนวน 1 ตัวอย่าง โดยใช้ตัวอย่างคนเดิมทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง

2.3 เครื่องมือ/อุปกรณ์

2.3.1 แบบสอบถามเพื่อสำรวจภาระงานต่อกล้ามเนื้อ ของสถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2551) เป็นแบบประเมินสุขภาพเกี่ยวกับความรู้สึกเหนื่อยหรือเจ็บปวดกล้ามเนื้อ

2.3.2 แบบฟอร์ม RULA (RULA Employee Assessment Worksheet) การประเมินด้วยวิธี RULA (McAtamney, L. and Corlett, E.N., 1993) เป็นการประเมินท่าทางการทำงานในท่านั่ง หรือมุ่งเน้นการประเมินท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนบน

2.3.3 แบบฟอร์ม REBA (REBA Employee Assessment Worksheet) การประเมินด้วยวิธี REBA (Hignett, Sue. and McAtamney, Lynn., 2000) เป็นการประเมินการทำงานที่มีการใช้งานทั้งร่างกาย งานที่มีท่าทางการทำงานที่มีการเคลื่อนไหว และหยุดนิ่ง มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางอย่างรวดเร็ว รวมถึงการทำงานที่มีการถือหรือไม่ถือของในมือ

2.3.4 เครื่องมือ/อุปกรณ์ วัดขนาดสัดส่วนร่างกาย (rosscraft anthropometer set) ได้แก่ campbeil calipers, segmometer, anthropometric tapes, stadiometer

2.3.5 ภาพถ่ายและวิดีโอบันทึกข้อมูลขั้นตอนการขนย้ายเก้าอี้เพื่อเป็นข้อมูลใช้ประกอบการวิเคราะห์ทางการยศาสตร์

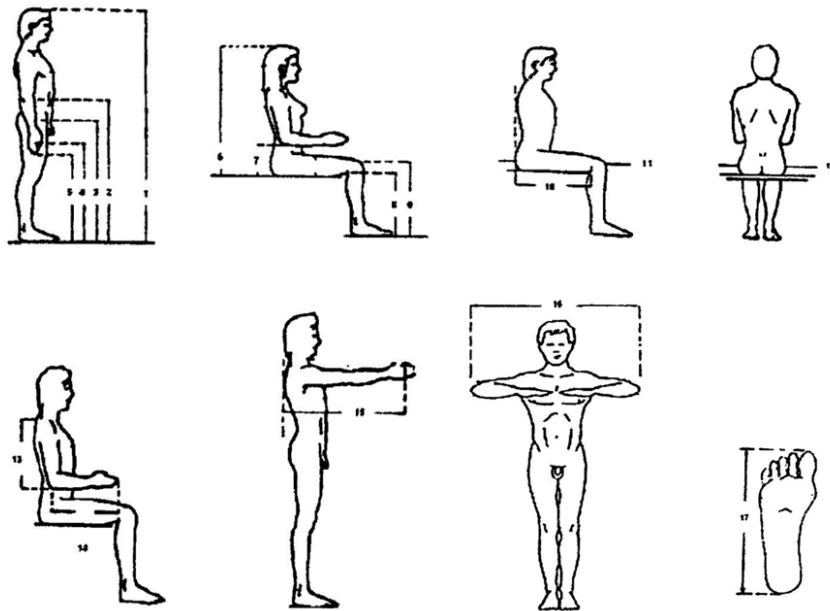
2.3.6 เครื่องมือ/อุปกรณ์ สำหรับการศึกษาการทำงานและการทดลอง ได้แก่ นาฬิกาจับเวลา รูปแบบจำลอง (model) ประกอบการกลั่นกรองการปรับปรุง วัสดุ/อุปกรณ์เพื่อการออกแบบสร้างชิ้นงานสำหรับการทดลอง

2.3.7 แบบประเมินความพึงพอใจ โดยมีรายการประเมินดังนี้ (1) ความสะดวกสบาย (2) ความเหมาะสมตามหลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ (3) ประสิทธิภาพในการทำงาน (4) ความปลอดภัยในการทำงาน และ (5) ความพึงพอใจโดยรวม หลังนำเสนอการปรับปรุง

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.1 ผลการประเมินปัญหาสุขภาพในเบื้องต้นโดยการสอบถามรู้สึกเหนื่อยหรือเจ็บปวดกล้ามเนื้อระหว่างทำหรือหลังเลิกงาน โดยคำถามข้อที่ 1 มีระดับการบ่งชี้ความรุนแรงโดยคะแนน 0 = ไม่รู้สึก, 1 = รู้สึกนิดหน่อย, 2 = รู้สึกปานกลาง, 3 = รู้สึกมาก และ 4 = รู้สึกมากเกินทนไหว ส่วนคำถามข้อที่ 2-6 มีลักษณะของความพอใจ ความรู้สึก ความถี่ จากมากไปหาน้อย เป็นการสำรวจเพื่อบ่งชี้อันตรายที่เกี่ยวข้องกับการรับ/ออกแรงของกล้ามเนื้อ 5 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 จำนวนชั่วโมงการทำงาน ส่วนที่ 2 ชนิดงาน ส่วนที่ 3 อิริยาบถท่าทางการเคลื่อนไหว ส่วนที่ 4 ลักษณะของงานที่ทำ และส่วนที่ 5 อาครสถานที่ ซึ่งในแต่ละส่วนหากปัจจัยใดที่ตอบว่า “ใช่” จะต้องได้รับการตรวจสอบต่อไป อาจเป็นไปได้ว่าปัจจัยที่เหมือนกันจะตอบว่า “ใช่” ในส่วนอื่นๆ มากกว่า 1 ส่วน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับงานนั้นๆ ในกรณีปัจจัยที่ตอบว่า “ใช่” ให้บ่งชี้ชนิดความรุนแรง และสถานที่ที่อาจทำให้กล้ามเนื้อต้องรับ/ออกแรง และจัดทำมาตรการต่างๆ เพื่อให้อันตรายจากการรับ/ออกแรงของกล้ามเนื้อลดน้อยลง โดยระบุในช่อง “หมายเหตุ”

2.4.2 ผลการวัดสัดส่วนร่างกาย ใช้ค่าสถิติคือ ค่าร้อยละ (percentage) ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation-SD) และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (percentile) คือค่าที่แสดงให้ทราบว่า มีจำนวนร้อยละเท่าไรของจำนวนคะแนนที่มีค่าต่ำกว่าของคะแนนที่ตำแหน่งนั้น และใช้ค่ามัธยฐาน (Median) คือค่ากลางของชุดข้อมูลที่ได้รับการเรียงลำดับจากน้อยไปมากหรือมากไปน้อย และการวิเคราะห์ผลการประเมินความพึงพอใจจากแบบสอบถามใช้แบบ rating scale 5 ระดับ และค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 2 การวัดขนาดสัดส่วนร่างกายมาตรฐาน (Pheasant, S.T. (1988)).

2.4.3 ผลการประเมินทางกายศาสตร์ ด้วยวิธี RULA และวิธี REBA มีเกณฑ์การประเมินค่าคะแนนตามการแปลความหมาย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับคะแนนและความหมายของผลประเมินทางกายศาสตร์

วิธี RULA	วิธี REBA	การแปลความหมาย
1-2	1	ลักษณะการทำงานนั้นยอมรับได้ แต่อาจมีปัญหาด้านการกายศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม
3-4	2-3	ลักษณะการทำงานนั้นควรได้รับการพิจารณา ศึกษาละเอียดขึ้น ติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง ออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น
5-6	4-7	ลักษณะการทำงานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงานดังกล่าว
	8-11	ลักษณะการทำงานนั้นมีปัญหาด้านการกายศาสตร์ ที่ต้องปรับปรุงโดยเร็ว
≥ 7	≥ 11	ลักษณะการทำงานนั้นมีปัญหาด้านการกายศาสตร์ ที่ต้องการปรับปรุงทันที

ที่มา : McAtamney & Corlett (1993) และ Hignett & McAtamney (2000)

3. ผลการศึกษา

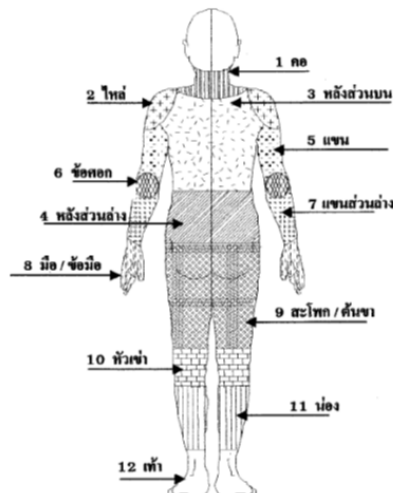
ผลการศึกษาแบ่งเป็น (1) ผลการศึกษาปัญหาสุขภาพเบื้องต้นและประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ก่อนการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ (2) ผลการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายกลุ่มตัวอย่าง (3) ผลการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ตามหลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ และ (4) ผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ หลังการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์



ภาพที่ 3 การหั่นตะไคร้ด้วยแรงงานคนและการนั่งทำงานของกลุ่มตัวอย่าง

3.1 ผลการศึกษาปัญหาสุขภาพเบื้องต้นและประเมินทางการยศาสตร์ก่อนการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์

3.1.1 ผลการศึกษาปัญหาสุขภาพเบื้องต้น จากการสอบถามความรู้สึกเหนื่อยหรือเจ็บปวดกล้ามเนื้อระหว่างทำงาน หรือหลังเลิกงาน ของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 15 คน มีคะแนนเฉลี่ยความรู้สึกมาก (ระดับ 3.00-3.99) ได้แก่ บริเวณคอ ไหล่ หลังส่วนบน หลังส่วนล่าง แขน ส่วนล่าง สะโพก/ต้นขา, รู้สึกปานกลาง (ระดับ 2.00-2.99) ได้แก่ บริเวณแขน และรู้สึกนิดหน่อย (ระดับ 1.00-1.99) ได้แก่ บริเวณข้อศอก หัวเข่า น่อง และเท้า



คะแนนเฉลี่ยส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

1. คอ = 3.60 คะแนน
2. ไหล่ = 3.13 คะแนน
3. หลังส่วนบน = 3.26 คะแนน
4. หลังส่วนล่าง = 3.46 คะแนน
5. แขน = 2.20 คะแนน
6. ข้อศอก = 1.86 คะแนน
7. แขนส่วนล่าง = 3.06 คะแนน
8. มือ / ข้อมือ = 3.66 คะแนน
9. สะโพก / ต้นขา = 3.26 คะแนน
10. หัวเข่า = 1.73 คะแนน
11. น่อง = 1.8 คะแนน
12. เท้า = 1.6 คะแนน

ภาพที่ 4 คะแนนส่วนที่รู้สึกเหนื่อยหรือเจ็บปวดกล้ามเนื้อ สถาบันความปลอดภัยฯ (2551)

โดยผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างยังรู้สึกไม่พอใจกับสภาพการทำงานที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน โดยคิดว่าผลงานหรือประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานยังไม่ดี การปรับปรุงวิธีการทำงานสถานที่ปฏิบัติงานหรือการจัดผังที่ทำงานมีน้อยครั้ง มีการพูดคุยเกี่ยวกับปรับปรุงวิธีการทำงานน้อยครั้ง หลังการปรับปรุงสภาพการทำงานคิดว่าสามารถลดการรับ/ออกแรงของกล้ามเนื้อได้อย่างมาก โดยมีจำนวนชั่วโมงการทำงานที่ยาวนาน ไม่มีการทำงานล่วงเวลาที่บ่อยครั้งและยาวนาน มีชั่วโมงการทำงานที่ต่อเนื่องเป็นเวลายาวนาน มีจำนวนวันหยุดไม่เพียงพอ มีจำนวนงานหรือความมากน้อยของงานไม่สม่ำเสมอในแต่ละวัน และไม่เท่ากันระหว่างพนักงานแต่ละคน การเคลื่อนย้ายวัสดุหนักหรือที่ต้องออกแรงมากมีน้อยครั้ง มีงานซ้ำซาก มีลักษณะของงานที่ต้องใช้นิ้วมือ หรือมือบ่อยครั้ง หรือต้องเคลื่อนไหวมือบ่อยครั้ง มีการใช้เครื่องมือที่สิ้นเปลืองบางครั้ง รวมถึงมีงานละเอียดหรือต้องใช้สมาธิ

ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีอิริยาบถท่าทางและการเคลื่อนไหวที่ไม่ถนัด มีการเปลี่ยนแปลงของข้อต่อบ่อยครั้งและหรือเปลี่ยนมุมอย่างต่อเนื่อง อยู่ในอิริยาบถท่าทางเดิมเป็นเวลานาน ไม่มีการเดินเป็นระยะเวลานาน และหรือเดินเป็นระยะทางไกล ไม่มีการปีนบันไดบ่อยครั้ง มีเนื้อที่เพียงพอในการปฏิบัติงาน ไม่มีการวางผังสถานที่ทำงานหรือวัตถุที่จับหรือถืออยู่ไม่เหมาะสม ทำให้พนักงานต้องมีการเคลื่อนไหวมากเกินไปหรือมีอิริยาบถท่าทางการทำงานที่ไม่ถนัด ไม่มีพื้นที่ทำงานมีความสูงและขนาดไม่เหมาะสมกับรูปร่างและไม่สัมพันธ์กันกับตำแหน่งสถานที่ทำงานของพนักงาน มีวัตถุที่จับถืออยู่สูงเหนือไหล่หรือต่ำกว่าระดับหัวเข่า

เป็นบางครั้ง มีที่ต้องอยู่ในอิริยาบถท่าทางการเดินเนื่องจากลักษณะงานที่ต้องทำ มีวัตถุที่จับถือ มีน้ำหนักมากและหรือต้องรับ/ออกแรงมาก นานๆ ครั้ง โดยไม่มีวัตถุที่จับถือ มีลักษณะยากในการจับถือหรือลื่น ไม่มีสภาวะแวดล้อมในการทำงานที่มีอุณหภูมิที่เย็น และ/หรือวัตถุที่จับถือ มีความเย็น ไม่มีสภาพพื้นลื่น/หรือไม่เรียบ สิ่งแวดล้อมการทำงานไม่มีเสียงดัง หรือแหล่งกำเนิดเสียงดังอยู่ในสถานที่ทำงาน ไม่มีที่ต้องสัมผัสกับแรงสั่นสะเทือนทั่วร่างกาย

จากผลการศึกษาขั้นตอนการคัดเลือกวัตถุจับ การล้างทำความสะอาด การหั่นตะไคร้ การปอกข่า กระเทียม ขมิ้น อื่นๆ การบดผสม การบรรจุ พบว่าขั้นตอนการหั่นตะไคร้ กลุ่มตัวอย่างรู้สึกเหนื่อยหรือเจ็บปวดกล้ามเนื้อระหว่างทำงานมากที่สุด ผู้วิจัยจึงเลือกขั้นตอนการหั่นตะไคร้ในการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ต่อไป

3.1.2 ผลการประเมินทางการยศาสตร์ก่อนการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์

1) ผลการประเมินด้วยวิธี RULA ก่อนการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์

ในการประเมินผลเริ่มจากกลุ่มที่ 1 วิเคราะห์ท่าทางของ แขนส่วนบน แขนส่วนล่าง มือและข้อมือ คือ Step 1 แขนส่วนบนมีการเคลื่อนไหวไปมา ด้านหน้า 45-50 องศา ไม่มีการยกหัวไหล่ จึงมีระดับคะแนนเป็น 3 , Step 2 แขนส่วนล่างมีการยกขึ้นด้านบนทำมุม 0-60 องศา จึงมีระดับคะแนนเป็น 2 มีแขนกางออกไปข้างลำตัว จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 3 , Step 3 มือและข้อมือมีการเคลื่อนไหวทำมุมมากกว่า 15 องศา เมื่อเทียบกับแนวแขนส่วนล่าง จึงมีระดับคะแนนเป็น 3 มีการเอียงข้อมือเบี่ยงไปด้านข้าง จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 4 , Step 4 ในขณะที่ทำการจับมัดและจับตะไคร้หั่น มีการหมุนของข้อมือตั้งแต่ครึ่งถึงเกือบสุด จึงมีระดับคะแนนเป็น 2 , Step 5 คะแนนใน step 1 เป็น 3 คะแนนใน step 2 เป็น 3 คะแนนใน step 3 เป็น 4 คะแนนใน step 4 เป็น 2 เปิดตาราง A จึงมีระดับคะแนนเป็น 5 , Step 6 ในการจับมัดและจับตะไคร้หั่น งานที่มีลักษณะการหั่นเป็นแบบซ้ำๆ โดยมีการเคลื่อนไหวไปมา หรือมีการทำงานซ้ำๆ หั่น มากกว่า 4 ครั้ง ต่อนาที จึงมีคะแนนเป็น 1 , Step 7 มีการยกน้ำหนักในการจับมัดและตะไคร้ มีน้ำหนักน้อยกว่า 2 กิโลกรัม แต่มีการออกแรงเข้าไปมาบ่อยๆ มีระดับคะแนนเป็น 0 , Step 8 จากคะแนนใน step 5 เป็น 5 คะแนน ใน step 6 เป็น 1 และคะแนนใน step 7 เป็น 0 สรุปรวมคะแนนเป็น 6 โดยเป็นคะแนนไว้สำหรับการเปิดค่าในตาราง C ต่อไป ในกลุ่มที่ 2 วิเคราะห์ท่าทางของศีรษะ คอ และลำตัว คือ Step 9 ศีรษะและคอ มีการก้มขณะหั่นตะไคร้ มีมุมมากกว่า 20 องศา จึงมีระดับคะแนนเป็น 3 มีการหมุนและเอียงศีรษะไปด้านข้างเพื่อหยิบ/ใส่ จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 4 , Step 10 ลำตัว

เคลื่อนไหวก่อนโยกหยิบ/ใส่ มีมุมระหว่าง 20 - 60 องศา จึงมีคะแนนเป็น 3 โดยมีการหมุนและเอนลำตัวไปด้านข้างเพื่อหยิบ/ใส่ จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 4 และกลุ่มที่ 3 วิเคราะห์ท่าทางของขาและเท้า คือ Step 11 ขาและเท้าสมดุลกับพื้นเนื่องจากการนั่งหันทะไคร้ได้นานกว่าการยืน จึงมีระดับคะแนนเป็น 1 , Step 12 คะแนนใน step 9 เป็น 4 คะแนนใน step 10 เป็น 4 และคะแนนใน step 11 เป็น 1 นำค่าคะแนนไปเปิด ตาราง B จึงได้ระดับคะแนนเป็น 7 , Step 13 ขาหรือเท้าอยู่ในท่านิ่งนานเกิน 1 นาที จึงมีระดับคะแนนเป็น 1 , Step 14 การยกน้ำหนักในการจับมัดและตะไคร้ มีน้ำหนักน้อยกว่า 2 กิโลกรัม แต่มีการออกแรงเข้าไปมาบ่อยๆ มีระดับคะแนนเป็น 0 , Step 15 คะแนนใน step 12 เป็น 7 คะแนนใน step 13 เป็น 1 และคะแนนใน step 14 เป็น 0 สรุปคะแนนรวมเป็น 8 , Step 16 นำข้อมูลจากตาราง A ได้คะแนนเท่ากับ 6 ตาราง B ได้คะแนนเท่ากับ 8 (7+) เปิดค่าในตาราง C จึงได้ค่าคะแนนสรุปเท่ากับ 7 แปลความหมาย คือมีปัญหาความเสี่ยงทางการยศาสตร์ที่ต้องได้รับการปรับปรุงทันที

2) ผลการประเมินด้วยวิธี REBA ก่อนการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์

ในการประเมินผลเริ่มจากกลุ่มที่ 1 ได้แก่ ลำตัว คอ และ ขา คือ Step 1 ท่าทางการก้มจับมัดหันทะไคร้ มีการก้มคอ มีมุมมากกว่า 20 องศา จึงมีคะแนนเป็น 2 ขณะหันทะไคร้คอเอียงคอไปด้านข้าง จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 3 , Step 2 ท่าทางของลำตัวตอนหันทะไคร้ โน้มไปด้านหน้าระหว่าง 20-60 องศา จึงมีคะแนนเป็น 3 โดยมีการหมุน/เอนลำตัวไปด้านข้าง จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 4 , Step 3 ท่าทางของส่วนขาและเท้าสมดุลกับพื้นเนื่องจากการนั่งหันทะไคร้ได้นานกว่าการยืน จึงมีระดับคะแนนเป็น 1 , Step 4 คะแนนใน step 1 เป็น 3 คะแนนใน step 2 เป็น 4 คะแนนใน step 3 เป็น 1 นำค่าไปเปิด ตาราง A จึงได้ระดับคะแนน 6 , Step 5 ภาระงานยก/หยิบ/จับตะไคร้และมัด มีน้ำหนักน้อยกว่า 11 ปอนด์ จึงมีระดับคะแนนเป็น 0 , Step 6 สรุปผลรวมคะแนน step 4 เป็น 6 คะแนน step 5 เป็น 0 สรุปคะแนนเป็น 6 โดยเป็นคะแนนไว้เปิดค่าในตาราง C ต่อไป และกลุ่มที่ 2 ได้แก่ แขนท่อนบน แขนท่อนล่าง และ ข้อมือ คือ Step 7 ท่าทางของแขนส่วนบน ทำมุมด้านหน้า 20-45 องศา จึงมีระดับคะแนนเป็น 2 มีการกางหัวไหล่ จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 3 Step 8 ท่าทางของแขนล่างยกขึ้นด้านบนทำมุม 60-100 องศา จึงมีระดับคะแนนเป็น 1 , Step 9 ท่าทางของข้อมือในการจับตะไคร้และมัด มีมุมมากกว่า 15 องศา มีคะแนนเป็น 2 โดยมีการหมุนข้อมือ จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 3 , Step 10 คะแนนใน step 7 เป็น 3 คะแนนใน step 8 เป็น 1 คะแนนใน step 9 เป็น 3 นำค่าไปเปิดตาราง B จึงมีระดับคะแนน

5 , Step 11 พิจารณาการจับยึดมิดและตะไคร้ สามารถวัดถูกจับยึดมิดมือจับได้นัดมือสามารถกำได้รอบมือ จึงมีระดับคะแนนเป็น 0 , Step 12 สรุปผลรวมคะแนนจาก step 10 เป็น 5 และคะแนนจาก step 11 เป็น 0 สรุปคะแนนรวมเป็น 5 ไว้สำหรับเปิดค่าในตาราง C ต่อไป , Step 13 มีการเคลื่อนไหวในการหันตะไคร้ ซ้ำมากกว่า 4 ครั้ง ต่อวันที่ มีระดับคะแนนเป็น 1 , Step 14 จากคะแนนที่ได้ใน step 6 เป็น 6 และใน step 12 เป็น 5 นำค่าไปเปิดตาราง C จึงได้ระดับคะแนนเป็น 9 , Step 15 นำข้อมูลจากตาราง C มีคะแนนเท่ากับ 8 และจาก step 13 เป็น 1 สรุปคะแนนเท่ากับ 9 แปลความหมาย คือมีลักษณะการทำงานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ ที่ต้องปรับปรุงโดยเร็ว



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายมาตรฐานประกอบการออกแบบ

3.2 ผลการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายกลุ่มตัวอย่างประกอบการออกแบบ

ผลการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง เพศหญิง จำนวน 15 คน โดยมีแสดงรายการวัดสัดส่วน ทั้งหมด 17 ส่วน มีค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 เพื่อใช้เป็นข้อมูลการออกแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2

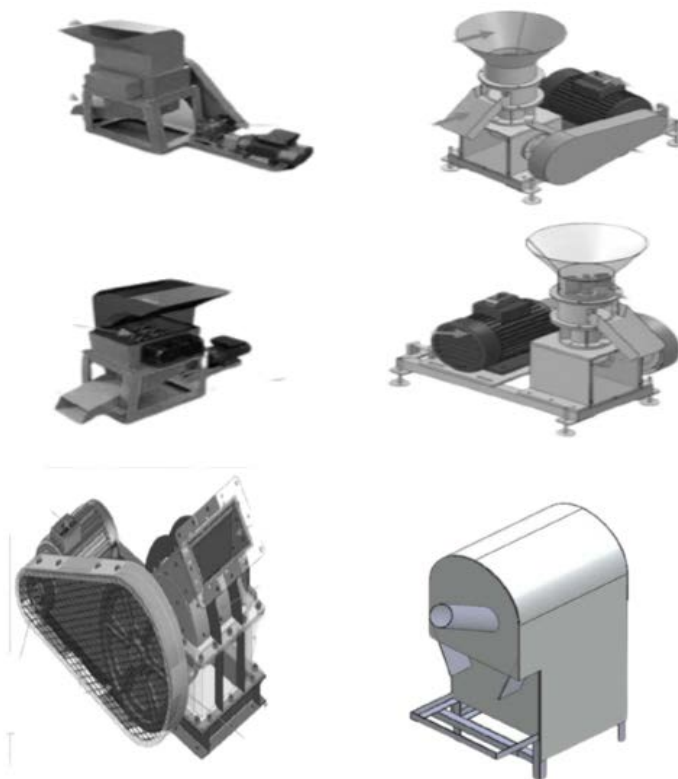
ตารางที่ 2 ขนาดสัดส่วนร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน (หน่วยวัดเป็น เซนติเมตร)

รายการวัดสัดส่วน	$\bar{x}$	SD	Percentile 5	Percentile 95
1. ความสูง	164.40	3.43	157.7	168.30
2. ความสูงระดับข้อศอก	95.71	2.16	92.00	98.30
3. ความสูงระดับสะโพก	90.48	2.94	85.70	94.60
4. ความสูงระดับมือ	72.20	3.16	66.70	77.00
5. ความสูงระดับปลายนิ้วมือ	59.86	3.22	55.00	65.60
6. ความสูงระดับพื้นที่นั่ง-ศรีษะ	81.73	4.77	70.07	85.60
7. ความสูงระดับพื้นที่นั่ง-ข้อศอก	20.13	1.18	18.00	22.00
8. ความสูงจากพื้นถึงขาอ่นล่าง	40.53	1.80	36.70	42.00
9. ความสูงจากพื้นถึงขาอ่นบน	51.13	1.35	49.00	53.00
10. ระยะจากก้นจนถึงข้อพับเข่า	42.13	1.35	40.00	44.30
11. ระยะจากก้นจนถึงเข่า	50.46	2.06	47.70	54.30
12. ความกว้างสะโพก (ขณะนั่ง)	35.93	1.38	34.00	38.30
13. ระยะจากไหล่ถึงศอก	29.53	2.16	26.00	32.00
14. ระยะจากศอกถึงปลายนิ้ว	41.13	1.35	39.00	43.00
15. ระยะเอื้อมแขนไปข้างหน้า	71.86	1.40	69.00	73.00
16. ระยะกางศอก	84.-39	2.74	78.70	87.00
17. ความยาวเท้า	22.50	0.63	21.70	23.00

3.3 ผลการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ตามหลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์

ผลการออกแบบที่เริ่มจากการออกแบบร่างตามแนวคิดของ Tayyari, F and Smith, J.L. (1997) โดยเริ่มจาก (1) เก็บข้อมูล/วิเคราะห์ปัญหา ศึกษาข้อมูลวิเคราะห์หาทางแก้ไข เคลื่อนไหว ข้อมูลขนาดสัดส่วน (Anthropometric) และหลักการยศาสตร์ (2) กำหนดความต้องการและข้อกำหนดเบื้องต้น เช่น การรับน้ำหนัก ความสูง ขนาด การเข้าถึงของผู้ใช้งาน ความสะดวก ปลอดภัย ลดภาระงาน (3) ระดมความคิด/สร้างแนวคิดเบื้องต้น สเก็ชแบบเพื่อหาทางเลือก การลดการเคลื่อนไหวซ้ำซ้อน (4) การออกแบบร่างเบื้องต้นโดยการวาดโครงร่าง

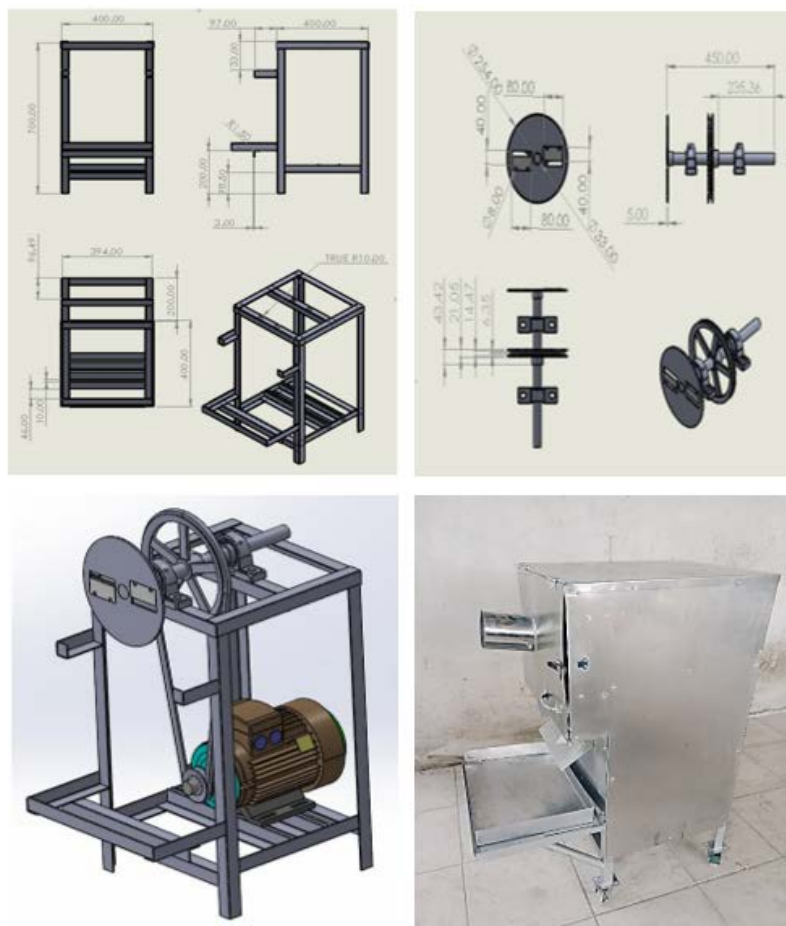
ของอุปกรณ์ กำหนดส่วนประกอบหลัก ระบุส่วนสำคัญคร่าว ๆ (5) พัฒนา/ปรับปรุงแก้ไขแบบตามหลักการยศาสตร์/ขนาดสัดส่วน ทดลองปรับตำแหน่งอุปกรณ์เพื่อลดการเคลื่อนไหว ทำร่างแบบเปรียบเทียบ (6) เลือกแบบที่เหมาะสม ความเป็นไปได้ในการผลิต ความเหมาะสมต่อผู้ใช้งานจริง ความประหยัดและสะดวกในการใช้งาน และการสร้างภาพร่างขั้นสุดท้ายที่ชัดเจนและละเอียด รวมถึงทิศทางการเคลื่อนไหวใช้หลายมุมมอง



ภาพที่ 6 การสเก็ตช์รูปแบบต่างๆ ของเครื่องหั่นตะไคร้เพื่อหาทางเลือก

จากภาพที่ 6 ผลการสเก็ตช์รูปแบบต่างๆ ของเครื่องหั่นตะไคร้เพื่อหาทางเลือก ในการสร้างรูปแบบเบื้องต้น ที่ประกอบด้วย โครงสร้างหลัก ชุดมอเตอร์และระบบส่งกำลัง ชุดใบมีดหั่น ช่องป้อนวัตถุดิบ ชุดรองรับและลำเลียง ถาดหรือภาชนะรองรับ และระบบความปลอดภัย หลังจากเลือกแบบที่เหมาะสมและภาพร่างขั้นสุดท้ายที่ได้จากการปรับแก้เพิ่มเติม

ให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้นก็ดำเนินการเขียนแบบการผลิตและสร้างชิ้นงาน โดยวัสดุในส่วนที่สัมผัสกับอาหารผลิตจากสแตนเลส 304 ซึ่งเป็นมาตรฐาน Food Grade เพื่อความปลอดภัย



ภาพที่ 7 การออกแบบและสร้างเครื่องหั่นตะไคร้

ผู้วิจัยใช้ข้อมูลขนาดสัดส่วนประกอบการออกแบบขนาดเครื่องโดยใช้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ที่ 5 และ 95 มีความสูงระดับข้อศอก เท่ากับ 92.00 - 98.30 เซนติเมตร ความสูงระดับสะโพก เท่ากับ 85.70 - 94.60 เซนติเมตร โดยโครงสร้างใช้ความสูง 70 เซนติเมตร และบวกเพิ่มในการติดตั้งพูลเลย์ อีก 20 เซนติเมตร เป็น 90 เซนติเมตร เพื่อให้ต่ำกว่าระดับข้อศอกและความสะดวกในการทำงานหรือการเคลื่อนย้าย การปรับตั้งใบมีดจำนวน 2 ใบ ไข่มอเตอร์ 1 แรงม้า ซึ่งเพียงพอในการขับเคลื่อนโดยไม่ทำให้รอบตกลหรือมอเตอร์ทำงานหนักเกินไป ซึ่ง

หากใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่เกินไปจะสิ้นเปลืองและหากมอเตอร์เล็กเกินไป (ต่ำกว่า 1 HP) อาจไม่สามารถทนต่อโหลดได้ โดยใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 120 รอบ/นาที ใช้แผ่นสแตนเลสหุ้มปิดเครื่องเพื่อกันสนิมและเพิ่มความปลอดภัย สามารถหั่นตะไคร้ได้อย่างต่อเนื่อง โดยผู้วิจัยทำการทดลองครั้งละ 15 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่แรงงานคนหั่นตามปริมาณดังกล่าวแล้วหยุดพักในการทำงานด้วยวิธีการเดิม โดยการออกแบบได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อการปรับตั้งค่าเครื่องหั่นใบตะไคร้ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง ยศวรรธน์ จันทนา และนรรัตน์ รัตนวิทย์ (2565) ในการคัดเลือกตัวแปร ปัจจัยที่ส่งผลต่อการหั่นตะไคร้ เช่น ใบมีด ระยะห่างใบมีด ระยะการเคลื่อน รวมถึงความเร็วรอบของมอเตอร์



ภาพที่ 8 การออกแบบและสร้างเก้าอี้นั่งทำงาน

หลังจากการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นผู้วิจัยได้พิจารณาองค์ประกอบในการทำงานเพิ่มเติม โดยการออกแบบและสร้างเก้าอี้ ตามภาพที่ 8 จากการวัดขนาดสัดส่วนร่างกาย ผู้วิจัยใช้ข้อมูลมาประกอบการออกแบบเก้าอี้เพื่อเพิ่มความสะดวกในการทำงานตามหลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ โดยมีข้อมูลสำหรับการออกแบบ คือ ความสูงของเก้าอี้ ออกแบบโดยใช้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และ 95 ของความสูงจากพื้นถึงขาอ่อนล่าง เท่ากับ 36-42 เซนติเมตร โดยกำหนดระดับความสูงของเก้าอี้ เป็นช่วงของข้อมูล 35-45 เพื่อให้สามารถปรับระดับได้ตามขนาดสัดส่วนของผู้ปฏิบัติงาน โดยในการออกแบบได้เพิ่มความสูงของเก้าอี้ที่ปรับค่าได้อีก 15 เซนติเมตร ความลึกของเก้าอี้ ออกแบบโดยใช้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของระยะจากก้นจนถึงข้อพับเข่าโดยลบค่าเผื่อช่องว่าง คือ 5 เซนติเมตร เท่ากับ 35 เซนติเมตร โดยใช้ข้อมูล 38 เซนติเมตร เพื่อให้เหมาะสมตามขนาดสัดส่วนของผู้ปฏิบัติงาน ความกว้างของเก้าอี้ ออกแบบโดยใช้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของความกว้างและสะโพกขณะนั่ง เท่ากับ 38.30 เซนติเมตร โดยใช้ข้อมูล 40 เซนติเมตร เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานหญิงสามารถนั่งทำงานได้อย่างเหมาะสม ความสูงของหน้างาน ระยะเอื้อมแขนไปข้างหน้า ออกแบบโดยใช้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และ 95 เท่ากับ 69 – 73 เซนติเมตร ออกแบบโดยระยะเอื้อมที่สามารถเอื้อมถึงได้ แต่ทั้งนี้สามารถขยับเครื่องหั่นตะไคร้หรือเก้าอี้ได้ระยะตามความเหมาะสมของผู้ใช้งานคนอื่น ๆ

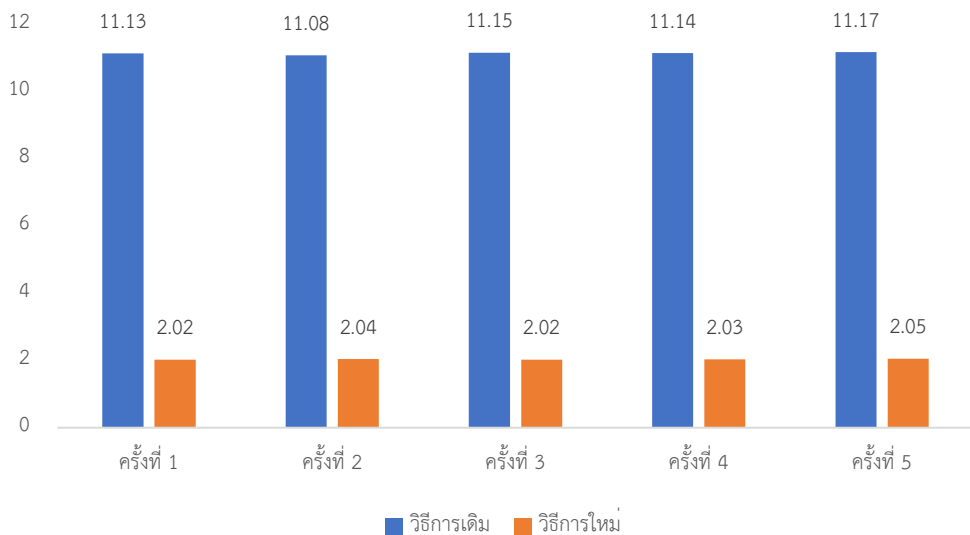


ภาพที่ 9 การหั่นตะไคร้ด้วยเครื่องหั่นและการนั่งทำงานของกลุ่มตัวอย่าง

หลังจากการออกแบบและสร้างเครื่องมืออุปกรณ์แล้วโดยผ่านการตรวจสอบปรับปรุงแก้ไข จนสมบูรณ์ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานเบื้องต้น ทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ทดสอบความสะดวกในการใช้งาน ทดสอบด้านความปลอดภัย ทดสอบความทนทาน เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลจากวิธีการเดิมและวิธีการใหม่ รวมถึงการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างต่อไป

ตารางที่ 3 เวลาที่ใช้ในการหั่นด้วยวิธีการเดิมและวิธีการใหม่ (น้ำหนัก : 15 กิโลกรัม)

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
วิธีการเดิม	11.13	11.08	11.15	11.14	11.17	11.13
วิธีการใหม่	2.02	2.04	2.02	2.03	2.05	2.03



ภาพที่ 10 เวลาที่ใช้ในการหั่นด้วยวิธีการเดิมและวิธีการใหม่

จากตารางที่ 3 และภาพที่ 10 เวลาที่ใช้ในการหั่นตะไคร้ด้วยวิธีการเดิมใช้แรงงานคน และวิธีการใหม่ใช้เครื่องหั่น จำนวน 15 กิโลกรัม โดยทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง พบว่าวิธีการเดิม ใช้เวลาเฉลี่ย 11.13 นาที และวิธีการใหม่ ใช้เวลา 2.03 นาที โดยมีเวลาลดลง 9.08 นาที

ตารางที่ 4 ผลการความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน

รายการประเมิน	$\bar{x}$	SD	แปลความหมาย
1. ความสะดวกสบาย	4.53	0.51	พึงพอใจมากที่สุด
2. ความเหมาะสมตามหลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์	4.40	0.50	พึงพอใจมาก
3. ประสิทธิภาพในการทำงาน	4.26	0.70	พึงพอใจมาก
4. ความปลอดภัยในการทำงาน	4.33	0.48	พึงพอใจมาก
5. ความพึงพอใจโดยรวม	4.40	0.50	พึงพอใจมาก
ค่าเฉลี่ย	4.38	0.08	พึงพอใจมาก

จากตารางที่ 4 ผลการความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน พบว่าด้านความสะดวกสบาย (ค่าเฉลี่ย 4.53) มีความพึงพอใจมากที่สุด ส่วนด้านอื่น ๆ มีความพึงพอใจในระดับมาก คือ ด้านความเหมาะสมตามหลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ (ค่าเฉลี่ย 4.40) ด้านประสิทธิภาพในการทำงาน (ค่าเฉลี่ย 4.26) ด้านความปลอดภัยในการทำงาน (ค่าเฉลี่ย 4.33) และความพึงพอใจโดยรวม (ค่าเฉลี่ย 4.38) ซึ่งมีความพึงพอใจในระดับมาก

3.4 ผลการประเมินทางกายศาสตร์ หลังการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์**1) ผลการประเมินด้วยวิธี RULA หลังการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์**

ในการประเมินผลเริ่มจากกลุ่มที่ 1 วิเคราะห์ท่าทางของ แขนส่วนบน แขนส่วนล่าง มือและข้อมือ คือ Step 1 แขนส่วนบนมีการเคลื่อนไหวไปมา ด้านหน้า 45-50 องศา ไม่มีการยกหัวไหล่ จึงมีระดับคะแนนเป็น 3 , Step 2 แขนส่วนล่างมีการยกขึ้นด้านบนทำมุม 60-100 องศา จึงมีระดับคะแนนเป็น 2 ไม่มีแขนกางออกไปข้างลำตัว สรุปละคะแนนเป็น 2 , Step 3 มือและข้อมือมีการเคลื่อนไหวทำมุม 0-15 องศา เมื่อเทียบกับแนวแขนส่วนล่าง จึงมีระดับคะแนนเป็น 2 ไม่มีการเอียงข้อมือเบี่ยงไปด้านข้าง สรุปละคะแนนเป็น 2 , Step 4 ในขณะที่ทำการจับตะไคร้ป้อน มีการหมุนของข้อมือเพียงเล็กน้อย จึงมีระดับคะแนนเป็น 1 , Step 5 คะแนนใน step 1 เป็น 3 คะแนนใน step 2 เป็น 2 คะแนนใน step 3 เป็น 2 คะแนนใน step 4 เป็น 1 เปิดตาราง A จึงมีระดับคะแนนเป็น 4 , Step 6 ในการจับตะไคร้ป้อน งานที่ทำมีลักษณะแบบซ้ำๆ โดยมีการเคลื่อนไหวไปมา หรือมีการทำงานซ้ำๆ หนักรุนแรง มากกว่า 4 ครั้ง ต่อนาที จึงมีคะแนนเป็น 1 , Step 7 มีการยกน้ำหนักในการจับตะไคร้ มีน้ำหนักน้อยกว่า 2 กิโลกรัม แต่มีการออกแรงเข้าไปมาบ่อยๆ มีระดับคะแนนเป็น 0 , Step 8 จากคะแนนใน step 5 เป็น 4 คะแนน ใน step 6 เป็น 1 และคะแนนใน step 7 เป็น 0 สรุปรวมคะแนนเป็น 5

โดยเป็นคะแนนไว้สำหรับการเปิดค่าในตาราง C ต่อไป ในกลุ่มที่ 2 วิเคราะห์ท่าทางของศีรษะคอ และลำตัว คือ Step 9 ศีรษะและคอ มีการก้มขณะหันตะไคร้ มีมุม 10 - 20 องศา จึงมีระดับคะแนนเป็น 2 มีการหมุนมีการเอียงศีรษะไปด้านข้างเพียงเล็กน้อย สรุปคะแนนเป็น 2 , Step 10 ลำตัวเคลื่อนไหวขณะโยกหยิบ/ใส่ มีมุมระหว่าง 0 - 20 องศา จึงมีคะแนนเป็น 2 โดยมีการหมุนและเอนลำตัวไปด้านข้างเพียงเล็กน้อย สรุปคะแนนเป็น 2 และกลุ่มที่ 3 วิเคราะห์ท่าทางของขาและเท้า คือ Step 11 ขาและเท้าสมดุลกับพื้นเนื่องจากการนั่งหันตะไคร้ได้นานกว่าการยืน จึงมีระดับคะแนนเป็น 1 , Step 12 คะแนนใน step 9 เป็น 2 คะแนนใน step 10 เป็น 2 และคะแนนใน step 11 เป็น 1 นำค่าคะแนนไปเปิด ตาราง B จึงได้ระดับคะแนนเป็น 2 , Step 13 ขาหรือเท้าอยู่ในท่าทางที่เป็นธรรมชาติในท่านั่ง จึงมีระดับคะแนนเป็น 0 , Step 14 การยกน้ำหนักในการจับตะไคร้ มีน้ำหนักน้อยกว่า 2 กิโลกรัม แต่มีการออกแรงเข้าไปมาบ่อยๆ มีระดับคะแนนเป็น 0 , Step 15 คะแนนใน step 12 เป็น 2 คะแนนใน step 13 เป็น 0 และคะแนนใน step 14 เป็น 0 สรุปคะแนนรวมเป็น 2 , Step 16 นำข้อมูลจากตาราง A ได้คะแนนเท่ากับ 5 ตาราง B ได้คะแนนเท่ากับ 2 เปิดค่าในตาราง C จึงได้ค่าคะแนนสรุปเท่ากับ 4 แปลความหมาย คือลักษณะการทำงานนั้นควรได้รับการพิจารณาศึกษาละเอียดขึ้น ติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง ออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น

2) ผลการประเมินด้วยวิธี REBA หลังการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์

ในการประเมินผลเริ่มจากกลุ่มที่ 1 ได้แก่ ลำตัว คอ และ ขา คือ Step 1 ท่าทางการก้มจับตะไคร้ป้อน มีการก้มคอ มีมุม 0 - 20 องศา จึงมีคะแนนเป็น 1 ขณะหันมีการหมุนคอเอียงคอไปด้านข้างเพียงเล็กน้อย สรุปคะแนนเป็น 1 , Step 2 ท่าทางของลำตัวตอนหันตะไคร้ โน้มไปด้านหลังระหว่าง 0 - 20 องศา จึงมีคะแนนเป็น 2 โดยมีการหมุน/เอนลำตัวไปด้านข้างเพียงเล็กน้อย สรุปคะแนนเป็น 2 , Step 3 ท่าทางของส่วนขาและเท้าสมดุลกับพื้นเนื่องจากการนั่งเก้าอี้ป้อนตะไคร้ได้นานกว่าการยืน จึงมีระดับคะแนนเป็น 1 , Step 4 คะแนนใน step 1 เป็น 1 คะแนนใน step 2 เป็น 2 คะแนนใน step 3 เป็น 1 นำค่าไปเปิด ตาราง A จึงได้ระดับคะแนน 3 , Step 5 ภาระงานยก/หยิบ/จับตะไคร้ป้อน มีน้ำหนักน้อยกว่า 11 ปอนด์ จึงมีระดับคะแนนเป็น 0 , Step 6 สรุปผลรวมคะแนน step 4 เป็น 3 คะแนน step 5 เป็น 0 สรุปคะแนนเป็น 3 โดยเป็นคะแนนไว้เปิดค่าในตาราง C ต่อไป และกลุ่มที่ 2 ได้แก่ แขนท่อนบน แขนท่อนล่าง และ ข้อมือ คือ Step 7 ท่าทางของแขนส่วนบน ท่ามุมด้านหน้า 45 - 50 องศา จึงมีระดับคะแนนเป็น 3 มีการกางหัวไหล่เพียงเล็กน้อย สรุปคะแนนเป็น 3 , Step

8 ท่าทางของแขนล่างยกขึ้นด้านบนท่ามุม 60-100 องศา จึงมีระดับคะแนนเป็น 1 , Step 9 ท่าทางของข้อมือในการจับตะไคร้บ้อน มีมุมไม่เกิน 15 องศา มีคะแนนเป็น 1 โดยมีการหมุนข้อมือเพียงเล็กน้อย สรุปคะแนนเป็น 1 , Step 10 คะแนนใน step 7 เป็น 3 คะแนนใน step 8 เป็น 1 คะแนนใน step 9 เป็น 1 นำค่าไปเปิดตาราง B จึงมีระดับคะแนน 3 , Step 11 พิจารณาการจับตะไคร้บ้อน สามารถวัดลูบจับยึดมีมือจับได้ถนัดมือสามารถทำได้รอบมือ จึงมีระดับคะแนนเป็น 0 , Step 12 สรุปผลรวมคะแนนจาก step 10 เป็น 3 และคะแนนจาก step 11 เป็น 0 สรุปคะแนนรวมเป็น 3 ไว้สำหรับเปิดค่าในตาราง C ต่อไป , Step 13 มีการเคลื่อนไหวในการป้อนตะไคร้ ซ้ำมากกว่า 4 ครั้ง ต่อวันที่ มีระดับคะแนนเป็น 1 , Step 14 จากคะแนนที่ได้ใน step 6 เป็น 3 และใน step 12 เป็น 3 นำค่าไปเปิดตาราง C จึงได้ระดับคะแนนเป็น 3 , Step 15 นำข้อมูลจากตาราง C มีคะแนนเท่ากับ 3 และจาก step 13 เป็น 1 สรุปคะแนนเท่ากับ 4 แปลความหมาย คือลักษณะการทำงานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงานดังกล่าว

จากผลการประยุกต์ใช้หลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์เพื่อการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ แสดงให้เห็นว่าสามารถลดเวลาและระดับความเสี่ยงทางกายศาสตร์ในการทำงานได้

REBA Employee Assessment Worksheet

Based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, Northrup, Applied Ergonomics 30 (1999) 387-398

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

Step 1a: Adjust

Step 2: Locate Trunk Position

Step 2a: Adjust

Step 3: Leg

Step 3a: Adjust

Step 4: Look-up Posture Score in Table A

Step 5: Add Force/Load Score

Step 6: Score A. Find Row in Table C

SCORES

Table A: Neck

	1	2	3
Neck	1	2	3
Trunk	1	2	3
Leg	1	2	3

Table B: Lower Arm

	1	2
Lower Arm	1	2
Wrist	1	2
Hand	1	2

Table C: Score B, make a row + column score

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score G	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score O	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score U	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score W	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score Y	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score Z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

B. Arm and Wrist Analysis

Step 7: Locate Upper Arm Position

Step 7a: Adjust

Step 8: Locate Lower Arm Position

Step 9: Locate Wrist Position

Step 9a: Adjust

Step 10: Look-up Posture Score in Table B

Step 11: Add Coupling Score

Step 12: Score B. Find Column in Table C

Step 13: Activity Score

Task name: _____ Reviewer: _____ Date: _____

The tool is provided without warranty. The author has provided this tool as a simple means for applying the concepts presented in REBA.

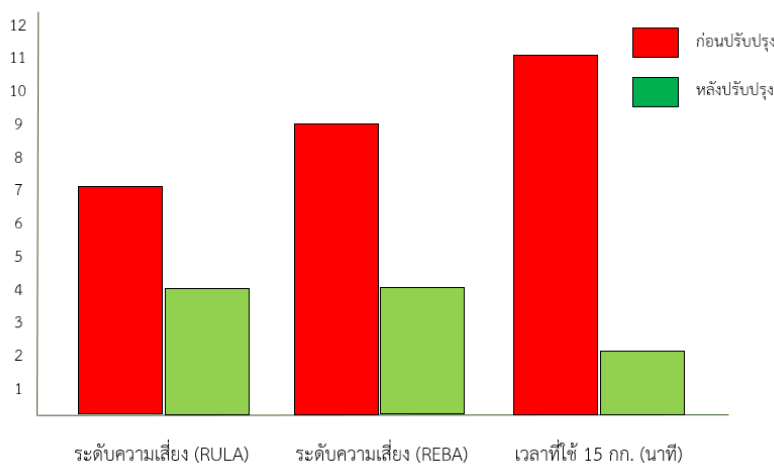
provided by Hignett, Northrup, Applied Ergonomics 30 (1999) 387-398

ภาพที่ 11 ตัวอย่างการประเมินด้วยวิธี REBA (หลังการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์)

Hignett, Sue. and McAtamney, Lynn.(2000)

4. สรุปผลและอภิปรายผล

จากผลการประยุกต์ใช้หลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์เพื่อการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเครื่องแกง บ้านคูขิงปาแย หมู่ที่ 3 ตำบลตอหลัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี ซึ่งเดิมผู้ปฏิบัติงานประสบปัญหาความเมื่อยล้าของร่างกาย โดยมีคะแนนเฉลี่ยความรู้สึกปวดเมื่อยในระดับมาก บริเวณคอ ไหล่ หลังส่วนบน หลังส่วนล่าง แขนส่วนล่าง และสะโพก/ต้นขา สอดคล้องกับผลการศึกษาความเสี่ยงทางการยศาสตร์ก่อนการปรับปรุงที่พบว่า คะแนน RULA มีค่าเท่ากับ 7 และ REBA มีค่าเท่ากับ 9 ซึ่งแปลความหมายได้ว่าลักษณะการทำงานมีปัญหาด้านการยศาสตร์และต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขทันที ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการวัดขนาดสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง จำนวน 15 คน และนำข้อมูลเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และ 95 มา ประกอบการออกแบบเครื่องหันตะโคร์และแก้อื้อให้เหมาะสมกับผู้ใช้ ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเพื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเดิมและวิธีการใหม่ในการหันตะโคร์ 15 กิโลกรัม (ทดสอบจำนวน 5 ครั้ง) พบว่า วิธีการเดิมใช้เวลาเฉลี่ย 11.13 นาที ในขณะที่วิธีการใหม่ใช้เวลาเพียง 2.03 นาที ซึ่งสามารถลดเวลาลงได้ถึง 9.08 นาที นอกจากนี้ ผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์หลังการปรับปรุงพบว่า คะแนน RULA และ REBA ลดลงมาอยู่ที่ระดับ 4 ทั้งสองวิธี และผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อเครื่องมืออุปกรณ์ที่ออกแบบใหม่อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.38) ในทุกด้าน ทั้งด้านความสะดวกสบาย ความเหมาะสมตามหลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ ประสิทธิภาพ และความปลอดภัย



ภาพที่ 12 เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงงาน

การอภิปรายผล แนวทางการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ดังกล่าว สอดคล้องกับ ดวงหทัย ประทีปะเสน และคณะ (2563) ที่ได้ศึกษาการยกระดับผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าทางการตลาดของวิสาหกิจกลุ่มเครื่องแกง โดยมีแนวทางคือการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาปรับใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต นอกจากนี้ ผลลัพธ์ด้านการลดเวลาและลดระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยศวรรธน์ จันทนา และ นรรัตน์ รัตนวัย (2565) ที่พบว่า การออกแบบและปรับตั้งค่าเครื่องหันใบตะไคร้ที่เหมาะสมสามารถลดเวลา และเพิ่มปริมาณผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับหลักการวิจัยด้านการยศาสตร์ที่ชี้ให้เห็นว่า การออกแบบสถานงานและเครื่องมือโดยอิงจากสัดส่วนร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน (Anthropometry) จะช่วยลดความเครียดทางชีวกลศาสตร์ ส่งผลให้คะแนนประเมินความเสี่ยงเช่น RULA และ REBA ลดลงได้อย่างชัดเจน การประเมินความเสี่ยงมีประโยชน์มากในการออกแบบปรับปรุงวิธีการทำงาน การเลือกใช้เครื่องมือประเมินทั้ง 2 วิธีในงานวิจัยนี้ ทำให้สามารถประเมินได้ครอบคลุมทั้งท่าทางการทำงานในท่านั่ง (RULA) และการทำงานที่มีการใช้ งานทั้งร่างกาย (REBA) ผลการประเมินหลังการปรับปรุงที่มีคะแนนเท่ากับ 4 แปลความหมายว่า ลักษณะการทำงานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรได้รับการพิจารณาศึกษาละเอียดขึ้นและอาจมีความจำเป็นต้องออกแบบงานใหม่ในอนาคต ถึงแม้คะแนนระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ จะลดลงจากระดับอันตรายสูงสุดมาอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้มากขึ้น แต่ตามหลักการของ REBA ลักษณะงานที่ยังมีการเคลื่อนไหว เปลี่ยนแปลงท่าทางอย่างรวดเร็ว และมีการออกแรง ย่อมมีความเสี่ยงสะสมอยู่ จึงควรมีการติดตามประเมินผลสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง

ทั้งนี้ความสำเร็จจากการประยุกต์ใช้หลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์เพื่อการออกแบบ เครื่องมืออุปกรณ์ นอกจากจะช่วยส่งเสริมผลิตภัณฑ์ระดับชุมชนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นแล้ว ยังสอดคล้องกับ พัชรินทร์ เกลี้ยงเกลาและคณะ (2566) ที่ได้ศึกษาแนวทางส่งเสริมกลุ่ม แม่บ้านผลิตเครื่องแกงชุมชนและพบว่า เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ควรมีความทันสมัย ได้มาตรฐาน และควรใช้วัสดุประเภทสแตนเลส (เช่น สแตนเลส 304) แทนการใช้พลาสติก เพื่อความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Food Grade) และทำให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ซึ่งผู้วิจัยได้นำ ข้อเสนอแนะนี้มาประยุกต์ใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกวัสดุสร้างเครื่องหันตะไคร้ในงานวิจัยนี้ด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องแกงระดับชุมชนยังขาดการวางแผนในการจัดซื้อวัตถุดิบ รวมถึงสภาพปัญหาในด้านการบริหารงบประมาณและขาดหน่วยงานสนับสนุนเทคโนโลยี ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ควรนำไปศึกษาเพื่อการพัฒนาและยกระดับวิสาหกิจชุมชนต่อไป

5. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาควรมีการประเมินผลในระยะยาว การวัดผลต่อสุขภาพในระยะสั้นอาจไม่เห็นผลกระทบสะสม เช่น อาการปวดเมื่อยเรื้อรัง หรือปัญหาสุขภาพอื่น ๆ และควรสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับหลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ให้มากขึ้น ผู้ที่เกี่ยวข้องควรเข้าไปมีส่วนร่วมในการออกแบบปรับปรุงงานรวมถึงการจัดสภาพแวดล้อม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนสาขาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปี 2566 ขอขอบคุณอาจารย์เสรี หนูหลง ที่ช่วยให้คำปรึกษาแนะนำ และขอบคุณวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเครื่องแกง บ้านคูขงปาแย จังหวัดปัตตานี สำหรับการดำเนินงาน

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน. (2551). แนวทางการปรับปรุงสภาพการทำงานที่ผู้ปฏิบัติงานมีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อเนื่องจากการทำงาน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์เรียงสามกราฟฟิคดีไซน์.
- กิตติ อินทรานนท์. (2548). เออร์โกโนมิกส์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จตุพร คงทอง, ฐิรรัตน์ แก้วจันทน์, และ สุรีย์พร วุฒิมานพ (2561). แผนกลยุทธ์เพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์เครื่องแกงชุมชน : กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเครื่องแกงบ้านนาขุนวารสารนาคบุตรปริทรรศน์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ปีที่ 10ฉบับพิเศษ กรกฎาคม-กันยายน 2561, 36-47.
- จันทน์ นิลเลิศ. (2560). การนั่งตามหลักกายศาสตร์. วารสารเวชบันทึกศิริราช ปีที่ 10 ฉบับที่ 1, มกราคม-เมษายน 2560, 23-28.
- ดวงหทัย ประทีปะเสน, อัษฎาวุธ กี่อำไพ, ฐิตินันท์ ไสฉิม, พีรพล ประชุมรัตน์ และ ธิติรัตน์ ชุนนนิล. (2563). การยกระดับผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าทางการตลาดของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเครื่องแกง บ้านทุ่งคาในพื้นที่ตำบลหาดส้มแป้น อำเภอมะนัง จังหวัดระนอง วารสารภูมิวิเทศพัฒนาอย่างยั่งยืน ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2563, 33-42.
- พรศิริ จงกล, ภาคิน อัดตวิริยะสุร, มนัญญา ถาวรสวัสดิ์, รชนีกร พลบั๊ดพี และ สุภารัตน์ ค้างสันเทียะ. (2567). การประยุกต์ใช้ TRIZ และวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ในการปรับปรุงที่นั่งชิงช้า. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย, ปีที่ 18 ฉบับที่ 3, กันยายน-ธันวาคม, ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 23-36
- พัชรินทร์ เกลี้ยงเกลา, จิตติมา ดำรงวัฒนะ , อุดมศักดิ์ เดโชชัย และ เดโช แขน้ำแก้ว (2566). แนวทางส่งเสริมการบริหารจัดการกลุ่มแม่บ้านผลิตเครื่องแกงชุมชนบ้านฝ้ายท่านาเขาสอง หมู่ที่ 11 ตำบลนาแ้ว อำเภอดง จังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาสังคมที่ยั่งยืน ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566, 36-48.
- ยศวรธรณ์ จันทนา และ นรัตน์ รัตนวัย. (2565). ปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อการปรับตั้งค่าเครื่องหันใบตะไคร้ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, ปีที่ 14 ฉบับที่ 19, 83–95.

- Hyer, N., & Wemmerlov, U. (2001). Reorganizing the factory: Competing through cellular manufacturing. CRC Press.
- Pheasant, S.T. (1988). Antropometry, Ergonomics and Design. London : Taylor Francis.
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). Applied ergonomics, 31(2), 201-205..
- McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. Applied ergonomics, 24(2), 91-99.
- Tayyari, F and Smith, J.L. (1997). Occupational Ergonomics : Principles and Application. 1st ed. London, UK : Chapman & Hall.

การพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

Development of A Semi-Automatic Mushroom Block Compression Machine to Improve Production Efficiency.

เบญญา กasantikul^{1*}

Benya Kasantikul^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน นครปฐม

¹Mechanical Department, Engineering Faculty at Kasetsart University, Kamphaeng Sean
Campus, Nakhon Pathom

*Corresponding author email: benya.k@ku.th

Received 27 Nov. 2025 Revised 10 Feb. 2026 Accepted 11 May. 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุนแรงงาน และลดระยะเวลาในกระบวนการทำก้อนเชื้อเห็ด เนื่องจากกระบวนการผลิตเดิมยังมีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตและต้องพึ่งพาแรงงานคนเป็นหลัก เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า ทำงานร่วมกับกลไกแบบ Slider-Crank และชุดกระบอกลูกสูบจำนวน 4 กระบอก สามารถอัดก้อนเชื้อเห็ดได้ครั้งละ 4 ก้อน

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องดำเนินการที่ความถี่การทำงานตั้งแต่ 2 ถึง 10 เฮิร์ตซ์ ผลการทดสอบพบว่า ที่ความถี่ 10 เฮิร์ตซ์ เครื่องสามารถผลิตก้อนเชื้อเห็ดได้สูงสุด 48 ก้อนต่อนาที เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบเดิมซึ่งผลิตได้ 10 ก้อนต่อนาที คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิต 380% และเพิ่มขึ้น 63.33% เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการทำงานของแรงงานคนต่อหน่วยเวลา

ความถี่การทำงานที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 3–4 เฮิร์ตซ์ ซึ่งให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของก้อนเชื้อเห็ดสูงสุดเท่ากับ 0.78 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.64 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงถึงคุณภาพการอัดที่ดีขึ้น นอกจากนี้ การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า เครื่องที่พัฒนาขึ้นมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2.83 วัน เครื่องต้นแบบดังกล่าวเหมาะสำหรับผู้ประกอบการรายย่อย เกษตรกร และวิสาหกิจชุมชนที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก้อนเชื้อเห็ดอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: เครื่องอัดก้อนเห็ด, ระบบกึ่งอัตโนมัติ, ประสิทธิภาพการผลิต, ระบบกระบอกอัด 4 กระบอก, ระบบการอัดหลายตำแหน่ง

Abstract

This research aimed to develop a semi-automatic mushroom substrate block pressing machine to improve production efficiency, reduce labor costs, and shorten the production cycle. Conventional production systems are limited by low output capacity and heavy reliance on manual labor. The developed prototype is driven by a 1-horsepower electric motor combined with a slider–crank mechanism and a four-cylinder system, allowing the simultaneous pressing of four mushroom substrate blocks per cycle.

Performance tests were conducted at operating frequencies ranging from 2 to 10 Hz. The results showed that at 10 Hz, the machine achieved a maximum production rate of 48 substrate blocks per minute, compared with 10 blocks per minute produced by the previous prototype. This corresponds to a 380% increase in production capacity relative to the original prototype and a 63.33% increase compared with manual labor per unit time.

The optimal operating frequency was found to be 3–4 Hz, yielding the highest average substrate block density of 0.78 g/cm³, while the overall average density across all tested frequencies was 0.64 g/cm³, indicating improved compaction quality. An economic analysis revealed a payback period of approximately 2.83 days. The proposed low-cost machine effectively increases production capacity, reduces labor dependency, and is suitable for small-scale producers seeking sustainable improvements in mushroom substrate block production efficiency.

Keywords: mushroom block compressor, semi-automatic system, efficiency improvement, four-cylinder system, multi-station compression

1. บทนำ

การเพาะเห็ดเป็นกิจกรรมทางการเกษตรที่สำคัญในประเทศไทย เนื่องจากเป็นอาชีพที่สามารถสร้างรายได้อย่างต่อเนื่อง ใช้วัตถุดิบราคาถูก และทำได้ในพื้นที่จำกัด วัสดุปลูกที่นิยมใช้ ได้แก่ ขี้เลื่อยไม้ยางพาราผสมรำละเอียด เนื่องจากมีคุณสมบัติเหมาะสมทั้งด้านโครงสร้างและคุณค่าทางอาหารต่อการเจริญของเส้นใยเห็ด โดยเฉพาะในการเพาะ เห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) ซึ่งเป็นเห็ดเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมในระดับฟาร์มขนาดเล็กและชุมชน (Seecharan, 2022; Sassine & El Sebaaly, 2024; Kilic & Yildiz, 2024) ในภาคการผลิตเห็ดเชิงพาณิชย์ขนาดเล็กและระดับชุมชน กระบวนการเตรียมวัสดุและการขึ้นรูปก้อนเพาะยังพบข้อบกพร่องในรูปแบบกิ่งแมนนวลหรือแมนนวล ซึ่งส่งผลจำกัดต่อการผลิต ความต่อเนื่องของการผลิต และความสม่ำเสมอของคุณภาพก้อนเพาะ (FAO, 2011; Cornell Small Farms Project, 2019) โดยกระบวนการเตรียมก้อนเพาะและการอัดก้อนในระบบระดับชุมชนมักใช้แรงงานจำนวนมาก โดยเฉพาะในฟาร์มที่ต้องผลิตก้อนเชื้อจำนวนหลายพันก้อนต่อวัน ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตและต้นทุนแรงงาน (EKOFUNGI, 2017)

ในด้านคุณภาพก้อนเพาะ งานวิจัยด้านวัสดุเพาะเห็ดพบว่า ความหนาแน่น ความสม่ำเสมอของน้ำหนัก และโครงสร้างของวัสดุปลูกมีผลโดยตรงต่อการเจริญของเส้นใยและคุณภาพผลผลิต (Kilic & Yildiz, 2024; Sassine & El Sebaaly, 2024; Seecharan, 2022) โดยความหนาแน่นของก้อนเพาะในงานวิจัยนี้วัดจากอัตราส่วนระหว่างมวลของก้อนเพาะต่อปริมาตรก้อน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ซึ่งสะท้อนถึงระดับการอัดและความแน่นของวัสดุปลูก ดังนั้นกระบวนการอัดก้อนจึงต้องสามารถควบคุมแรงอัดและจังหวะการอัดได้อย่างสม่ำเสมอ

ในด้านวิศวกรรมของระบบอัด การใช้กลไก Slider-Crank Mechanism ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการออกแบบเครื่องอัดลูกสูบ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการแปลงพลังงานการหมุนให้เป็นแรงอัดเชิงเส้น และสามารถสร้างโปรไฟล์แรงอัดที่เหมาะสมสำหรับวัสดุชีวมวล (Sharma & Patel, 2020) นอกจากนี้ งานวิจัยด้านการอัดวัสดุชีวมวลยังระบุว่า แรงอัด ความเร็วลูกสูบ และ dwell time ซึ่งหมายถึงช่วงเวลาที่ลูกสูบคงอยู่ใน

ตำแหน่งอัดสูงสุด เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อัดแท่งอย่างมีนัยสำคัญ (Philippoussis, 2009)

ในด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO, 2017) ชี้ให้เห็นว่า เครื่องจักรกลเกษตรขนาดเล็กที่ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสม สามารถเพิ่มผลผลิต ลดการพึ่งพาแรงงาน และมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้น เหมาะสมสำหรับผู้ประกอบการรายย่อย การพัฒนาเครื่องจักรกลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดเวลาการปฏิบัติงานเป็นแนวทางที่พบได้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านวิศวกรรม (Tuammee et al., 2020)

จากข้อมูลทั้งหมดนี้ งานวิจัยจึงมุ่งพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งหมายถึงระบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและกลไกในการอัดก้อนโดยอัตโนมัติ ขณะที่ขั้นตอนการบรรจุวัสดุปลูกและการถอดก้อนยังคงดำเนินการโดยแรงงานคน โดยสามารถอัดก้อนเชื้อเห็ดได้ครั้งละ 4 ก้อน เพื่อเพิ่มกำลังการผลิต ลดการพึ่งพาแรงงาน และคงคุณภาพก้อนเพาะให้สม่ำเสมอ ทั้งนี้ การทดสอบเครื่องดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมห้องปฏิบัติการ และยังไม่ได้ทำการทดสอบผลระยะยาวต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดหลังการอัด โดยมีต้นทุนเครื่องจักรที่เหมาะสมและสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาอันสั้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงในระดับฟาร์มและวิสาหกิจชุมชน

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดแบบกึ่งอัตโนมัติที่ใช้กลไก Slider-Crank
- 2) เพื่อประเมินผลการทำงานในด้านกำลังผลิตและคุณภาพก้อน
- 3) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องต้นแบบและเครื่องที่พัฒนา
- 4) เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและจุดคุ้มทุนของการใช้งานเครื่อง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องที่พัฒนาขึ้นใช้ระบบกลไกแบบ Slider-Crank Mechanism พร้อมมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า และชุดเกียร์ทดรอบ 20:1 ทำให้เกิดแรงบิดที่เพียงพอสำหรับการอัดวัสดุปลูกที่มีความหนาแน่นสูง การทดสอบดำเนินการที่ความถี่ 2–6 Hz เพื่อประเมิน

ประสิทธิภาพ และนำผลที่ความถี่ 10 Hz มาเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบของศูนย์เพาะเห็ด



ก) เครื่องต้นแบบ



ข) เครื่องที่พัฒนา

ภาพที่ 1 แสดงเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ด ก) เครื่องต้นแบบ ข) เครื่องที่พัฒนา

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น กลไก Slider-Crank ถูกเลือกใช้เนื่องจาก แปลงการหมุนเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Uicker, Pennock & Shigley, 2013) ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- 1) มอเตอร์ไฟฟ้ากำลัง 1 แรงม้า
- 2) ชุดเกียร์ทดรอบอัตราทด 20:1
- 3) กลไกส่งกำลังแบบ Slider-Crank Mechanism
- 4) ชุดกระบอกอัดจำนวน 4 กระบอก (4-station compression unit)
- 5) โครงสร้างเหล็กกล้าเพื่อรองรับแรงอัด
- 6) ระบบจ่ายวัสดุปลูกแบบกึ่งอัตโนมัติ

การทดสอบดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุมที่อุณหภูมิ 28–30°C และความชื้นสัมพัทธ์ 60–70% โดยมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงกันตลอดการทดลองเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวัด

ขี้เลื่อยไม้ยางพารา (rubber tree sawdust) ถูกใช้เป็นวัสดุตั้งต้น (basal substrate) อย่างแพร่หลายในกระบวนการเพาะเห็ด เนื่องจากเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ประกอบด้วย cellulose, hemicellulose และ lignin ซึ่งเหมาะต่อการเจริญของเส้นใยเห็ด (Zakil et al., 2021) โดยผสมตามอัตราส่วนมาตรฐาน ขี้เลื่อย 100 กก.: รำ 6 กก.: น้ำตามค่าความชื้น 55% (วัดด้วยวิธี gravimetric method) การควบคุมความชื้นของวัสดุปลูกที่ประมาณ 55% เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปและการอัดก้อน (Kilic & Yildiz, 2024; Sassine & El Sebaaly, 2024)"

3.2 การออกแบบผังการทดลอง (Experimental Design)

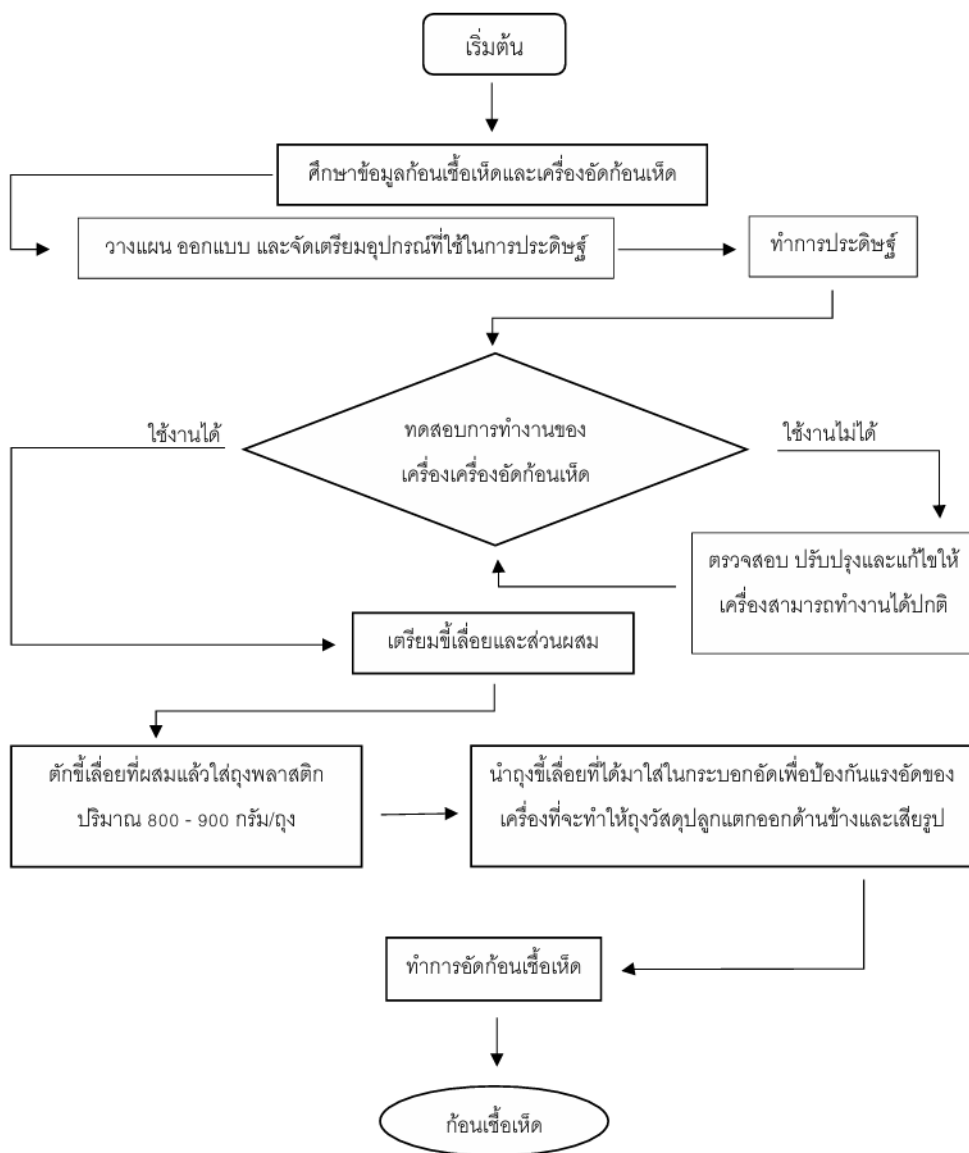
ตัวแปรต้น (Independent Variable)

- 1) ความถี่รอบของมอเตอร์ (Hz) = 2, 4, 6, 8 และ 10 Hz
- 2) ตัวแปรตาม (Dependent Variables)
- 3) จำนวนก้อนเชื้อเห็ดที่ผลิตได้ต่อนาที
- 4) ความหนาแน่น (g/cm^3)
- 5) ความสม่ำเสมอของรูปร่างและน้ำหนักก้อน
- 6) เวลาในการอัดต่อรอบ (Cycle time)

ตัวแปรควบคุม (Control Variables)

- 1) ความชื้นของวัสดุปลูก = 55%
- 2) ปริมาณผสมวัสดุต่อก้อน = 800–900 g
- 3) จำนวนกระบอกลูกอัด = 4 กระบอก
- 4) ระยะชักลูกสูบ = ค่าออกแบบคงที่

ผังการทดลอง ใช้แบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับความถี่



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการทำงานและผังการทดลอง

3.3 ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ด

- 1) เตรียมวัสดุปลูกให้ได้ความชื้น 55%
- 2) เติมวัสดุลงถังป้อนของเครื่อง
- 3) ตั้งค่าความเร็วรอบของมอเตอร์
- 4) เริ่มการอัดเพื่อผลิตก้อนเชื้อเห็ด

- 5) ชั่งน้ำหนักก่อนที่ได้ทุกก้อน
- 6) วัดขนาดและคำนวณความหนาแน่น
- 7) บันทึกจำนวนก้อนที่ผลิตได้ภายใน 1 นาที
- 8) ทำซ้ำ 5 รอบต่อระดับความถี่

3.4 การคำนวณความหนาแน่นของก้อนเชื้อเห็ด

ใช้สมการ:

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}}$$

$$\text{ปริมาตร} = \pi R^2 h$$

โดยที่ R คือ รัศมีของก้อนเชื้อเห็ด (เซนติเมตร)

และ h คือ ความสูงเฉลี่ยของก้อนเชื้อเห็ด (เซนติเมตร) ซึ่งวัดจาก 3 ตำแหน่ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

ข้อมูลนำเสนอในรูปค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างความถี่การทำงานโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

- 1) วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- 2) วิเคราะห์ผลกระทบของความถี่ต่อประสิทธิภาพการผลิต
- 3) ใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร

3.6 การวิเคราะห์เปรียบเทียบและคำนวณจุดคุ้มทุน

3.6.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องจักร

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเครื่องที่พัฒนามีประสิทธิภาพสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญและสามารถลดการใช้แรงงานได้

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์ของเครื่องต้นแบบและเครื่องที่พัฒนา

รายการ	เครื่องเชิงพาณิชย์ทั่วไป	เครื่องที่พัฒนา	การเปลี่ยนแปลง
ราคาซื้อเครื่อง	35,000–45,000 บาท	12,500 บาท	ลดลง ~65%
กำลังผลิต	8–12 ก้อน/นาที่	48 ก้อน/นาที่	เพิ่มขึ้น 380%
จำนวนก้อนต่อรอบ	1	4	เพิ่มขึ้น 300%
ความหนาแน่นเฉลี่ย (g/cm ³)	0.61	0.64	+4.91%
แรงงานที่ต้องใช้	2 คน	1 คน	-50%

3.6.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนเครื่องอัด

เครื่องเชิงพาณิชย์ทั่วไป: 35,000–45,000 บาท

เครื่องที่พัฒนา: 12,500 บาท ประหยัด 60–70%

ต้นทุนแรงงาน

เดิม: 2 คน = 600 บาท/วัน

ใหม่: 1 คน = 300 บาท/วัน ประหยัด 300 บาท/วัน

3.6.3 การคำนวณจุดคุ้มทุน (Payback Period)

สูตร:

$$\text{Payback} = \frac{\text{ต้นทุนเครื่อง}}{\text{ผลประหยัดต่อวัน}}$$

ผลประหยัดต่อวันประกอบด้วย

1) ประหยัดแรงงาน = 300 บาท/วัน

2) ผลผลิตเพิ่มขึ้น

เดิม 600 ก้อน/ชม.

ใหม่ 2,880 ก้อน/ชม.

กำไรสุทธิต่อก้อน = 0.30 บาท

กำไรเพิ่มขึ้นต่อชั่วโมง = $(2,880 - 600) \times 0.30 = 684$ บาท/ชม.

วันละ 6 ชม. คำนวณรายได้ 4,104 บาท/วัน

รวมผลประโยชน์ = $4,104 + 300 = 4,404$ บาท/วัน

คำนวณจุดคุ้มทุน

$$\text{Payback} = \frac{12500}{4,404} = 2.83$$

3.6.4 สรุปผลด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

เครื่องที่พัฒนามีต้นทุนต่ำ เพิ่มกำลังผลิตเกือบ 4 เท่า ลดแรงงานคน จุดคุ้มทุนต่ำมาก (2-3 วัน) เหมาะสำหรับเกษตรกรรายย่อยและวิสาหกิจชุมชน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเครื่องที่พัฒนามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงกว่าเครื่องในท้องตลาดอย่างชัดเจน

4. การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

4.1 กลไก Slider-Crank และการวิเคราะห์จลนศาสตร์ (Kinematic Analysis)

เครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดที่พัฒนาขึ้นใช้กลไก Slider-Crank Mechanism เพื่อแปลงการหมุนของเพลามอเตอร์ให้เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นของลูกสูบ สมการการเคลื่อนที่ของลูกสูบมีลักษณะดังนี้:

$$x = R \cos \theta + \sqrt{L^2 - (R \sin \theta)^2}$$

การเปลี่ยนตำแหน่งเชิงเส้นของลูกสูบขึ้นกับ รัศมีข้อเหวี่ยง (R) และ ความยาวก้านสูบ (L) ซึ่งส่งผลต่อความเร็วและความเร่งของลูกสูบ ความเร็วลูกสูบสูงสุดเกิดที่มุมประมาณ 90° และ 270° เนื่องจากเป็นช่วงที่อัตราการเปลี่ยนตำแหน่งสูงที่สุด ซึ่งนำไปสู่แรงอัดสูงสุดในช่วงกลางชัก (mid-stroke) สอดคล้องกับงานของ Tumuluru et al. (2011) พฤติกรรมการอัดของวัสดุชีวมวลขึ้นอยู่กับแรงอัดและอัตราการอัด โดยเมื่อความถี่ในการทำงานเพิ่มขึ้นจะทำให้ช่วงเวลาการอัด (dwell time) ลดลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการอัดและความสม่ำเสมอของความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์อัด

4.2 การวิเคราะห์แรงอัด (Compression Force Analysis)

แรงอัดที่เกิดขึ้นประมาณได้จากสมการ:

$$F = \frac{T}{R}$$

โดยที่

F = แรงอัด (นิวตัน)

T = แรงบิดหลังผ่านชุดเกียร์ทดรอบ (นิวตัน เมตร)

R = รัศมีข้อเหวี่ยง (เมตร)

เมื่อมอเตอร์ขนาด 1 HP ผ่านชุดเกียร์ทดรอบ 20:1 ค่าแรงบิดที่เพลาขาออกจะเพิ่มขึ้นตามอัตราทด ทำให้แรงอัดเพียงพอต่อการรวมตัวของวัสดุปลูกขึ้นเรื่อย แนวคิดสอดคล้องกับหลักการของการอัดแน่นวัสดุชีวมวลซึ่งระบุว่าแรงอัดและเงื่อนไขการอัดมีผลต่อความหนาแน่นและความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์อัดแน่น (Tumuluru et al., 2011)

4.3 ความถี่ (Frequency) กับประสิทธิภาพแรงอัด

จากผลทดสอบพบว่า:

< 4 Hz: แรงอัดเสถียร แต่กำลังการผลิตต่ำ

≈ 6 Hz: เหมาะสมที่สุด ทั้งแรงอัดและความหนาแน่น

10 Hz: ผลิตได้มากที่สุด แต่ความหนาแน่นลดลง

สาเหตุเกิดจากความเร็วลูกสูบที่สูงเกินไปทำให้เวลาการอัด (dwell time) สั้นลง วัสดุไม่สามารถจัดเรียงตัวได้เต็มที่ ส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง งานของ Asp et al. (2023) ให้ผลตรงกัน โดยพบว่าความเร็วอัดสูงทำให้ความแน่นของวัสดุชีวมวลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

4.4 ความหนาแน่นของก้อนอัด (Density Analysis)

ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 0.64 g/cm³ อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับเห็ดนางรมตามเกณฑ์ของ Kilic & Yildiz (2024) และ Sassine & El Sebaaly (2024)

4.5 พฤติกรรมการอัดของวัสดุชีวมวลแบบพรุน (Porous Biomass Behavior)

วัสดุปลูกประเภทขึ้นเลื้อยมีพฤติกรรมการอัดแบบ Nonlinear Compaction ซึ่งขึ้นกับ dwell time การอัด และความชื้น ดัง Philippoussis (2009) ระบุว่าทำให้เวลาแรงอัดเพียงพอทำให้ก้อนอัดแน่นขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

5. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

5.1 ผลการวิจัย

ตารางที่ 2 ตารางสรุปผล ความถี่ 2–6, และ 10 Hz เปรียบเทียบ

ความถี่ (Hz)	ผลผลิตเฉลี่ย (ก้อน/นาที่)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (g/cm ³)
2	8	0.72
3	11	0.78
4	14	0.75
5	20	0.74
6	23	0.72
10 (เครื่องที่พัฒนา เปรียบเทียบ)	48	0.64
10 (เครื่องต้นแบบ)	10	0.61

ตารางที่ 2 ความถี่ 2 Hz กำลังการผลิตเฉลี่ย = 8 ก้อน/นาที่ ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย = 0.72 g/cm³ ผลผลิตมีความสม่ำเสมอสูง เนื่องจาก dwell time มาก ส่งผลแรงอัดเสถียร ผลลัพธ์สอดคล้องกับ Asp et al. (2023) ที่ระบุว่า “ความเร็วต่ำให้ความหนาแน่นดี แต่กำลังผลิตต่ำ”

ตารางที่ 2 ความถี่ 3 Hz กำลังการผลิตเฉลี่ย = 11 ก้อน/นาที่ ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย = 0.78 g/cm³ ความหนาแน่นสูงกว่า 2 Hz เนื่องจากแรงอัดสูงขึ้นและวัสดุจัดเรียงตัวดีขึ้น ค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพก้อนเพาะเห็ด (Kilic & Yildiz, 2024)

ตารางที่ 2 ความถี่ 4 Hz กำลังการผลิตเฉลี่ย = 14 ก้อน/นาที่ ความหนาแน่นเฉลี่ย = 0.75 g/cm³ ความหนาแน่นสูงกว่าความถี่ 2–3 Hz สะท้อนว่าแรงอัดสูงขึ้นและวัสดุจัดตัวแน่นขึ้น ไม่มีความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักก้อน ส่งผลให้ระบบ feeding เสถียร ค่า density เพิ่มขึ้นจาก 0.72 เป็น 0.78 แล้วลดลงเป็น 0.75 ตามลำดับ ความถี่ระดับกลาง (4 Hz) ให้ผลดี แต่เริ่มเห็นสัญญาณว่า density อาจเริ่มลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น เข้าเงื่อนไขตาม

ทฤษฎี Asp et al. (2023) "ความถี่ที่สูงขึ้นทำให้ dwell time ลดลง และความหนาแน่นจะเริ่มลดลงหลังถึงจุดเหมาะสม"

ตารางที่ 2 ความถี่ 5 Hz แสดงกำลังการผลิตเฉลี่ย = 20 ก้อน/นาที่ ความหนาแน่นเฉลี่ย = 0.74 g/cm^3 ผลผลิตเพิ่มขึ้น 42.9% จากความถี่ 4 Hz (14 เป็น 20 ก้อน/นาที่) ความหนาแน่นเริ่มลดลงเล็กน้อยจากระดับ 3 Hz–4 Hz ความถี่ 5 Hz เป็น “จุดสมดุลใหม่” ที่ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นชัดเจนแต่ density ลดลงจาก 0.75 เป็น 0.74 เนื่องจากวัสดุปลูกถูกอัดด้วยความเร็วสูงขึ้น ทำให้จัดเรียงตัวไม่เต็มที่ตรงตามรายงานของ Philippoussis (2009) และ Asp et al. (2023) วัสดุชีวมวลที่ความถี่สูง จะมีการสูญเสียแรงคงค้าง (dwell) ทำให้ g/cm^3 ลดลง

5.2 วิเคราะห์เชิงวิศวกรรม (Engineering interpretation)

จากตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ — dwell time — density เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น จำนวนรอบ/นาที่เพิ่มขึ้น (productivity เพิ่มขึ้น) แต่เวลาในช่วงที่ถูกสูกดค้าง (dwell time) ต่อบรรลุลง ทำให้วัสดุชีวมวล (porous biomass) มีเวลาจัดเรียงตัวน้อยลง จึงพบแนวโน้ม density เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง (peak at 3 Hz) แล้วค่อย ๆ ลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น (สอดคล้องกับ Philippoussis, 2009; Asp et al., 2023)

ประสิทธิภาพของระบบ Slider-Crank พบว่ากลไกนี้ส่งแรงอัดอย่างเหมาะสมในช่วงความถี่ต่ำ–กลาง โดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ส่งผลต่อพฤติกรรมการอัดวัสดุและคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะความหนาแน่นที่ค่อนข้างสม่ำเสมอในช่วงที่แรงอัดและอัตราการอัดสมดุล เช่นที่รายงานในการศึกษาการอัดวัสดุชีวมวลก่อนหน้านี้ (Tumuluru et al., 2011).

Trade-off ระหว่างปริมาณและคุณภาพ หากต้องการ คุณภาพก้อนสูงสุด (density สูงและสม่ำเสมอ) ควรเลือกความถี่ ~3–4 Hz (density สูงสุด 0.78 และ 0.75 g/cm^3 ตามลำดับ)

หากต้องการ ปริมาณสูงสุด เลือก 10 Hz (48 ก้อน/นาที่) แต่ต้องยอมรับความหนาแน่นที่ลดลง (0.64 g/cm^3) และตรวจสอบผลต่อการเพาะจริง (growth test) ก่อนการใช้งานเชิงพาณิชย์

ความเสถียรของ Feeding และน้ำหนักก้อน น้ำหนักก้อนทดสอบทุกรายการ เท่ากัน (800 g) แสดงว่าระบบ feeding ถูกออกแบบและควบคุมปริมาตรได้ดี แม้ที่ความถี่สูง ผลต่างน้ำหนักน้อย ช่วยให้การเปรียบเทียบ density เป็นไปได้อย่างเชื่อถือ

ผลต่อพลังงานและโครงสร้างเครื่อง ความถี่สูงขึ้นจะเพิ่มพลังงานต่อหน่วยเวลาและการสั่นสะเทือนของเครื่อง จึงควรพิจารณาการออกแบบโครงสร้างเพื่อรองรับ fatigue และติดตั้ง damping/anchoring ถ้าต้องการเดินเครื่องที่ความถี่สูงเป็นประจำ

5.3 เปรียบเทียบเครื่องที่พัฒนามกับเครื่องต้นแบบและงานวิจัยก่อนหน้านี้

เครื่องต้นแบบศูนย์: ผลผลิต 10 ก้อน/นาทีก, density 0.61 g/cm^3 เครื่องที่พัฒนา (ตัวอย่าง) ที่ 10 Hz: ผลผลิต 48 ก้อน/นาทีก (+380% เมื่อเทียบกับเครื่องต้นแบบ), density 0.64 g/cm^3 (+0.03 g/cm^3)

สรุปเชิงประสิทธิภาพ: เครื่องที่พัฒนามีประสิทธิภาพการผลิตสูงกว่า และให้ความหนาแน่นดีกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องต้นแบบ แม้การเพิ่มความถี่จะทำให้ density ลดลง แต่ยังคงสูงกว่าต้นแบบ ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบงานวิจัย

งานวิจัย	ระบบอัด	ก้อน/นาทีก	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ต้นทุนเครื่อง	ข้อดี
เครื่องต้นแบบ	1 กระบอ	10	0.61	ปานกลาง	เริ่มต้น
งานวิจัยนี้	4 กระบอ (Semi-Auto)	48	0.64	ต่ำมาก	ผลิตเร็วที่สุด

5.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

5.4.1. ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table)

ตารางที่ 4 แสดง One-way ANOVA (Regression ANOVA): Productivity-Frequency

แหล่งที่มา (Source)	df	Sum Sq	Mean Sq	F-value	p-value
Frequency	1	1030.23	1030.23	195.23	0.000152
Residual	4	21.11	5.28	-	-

จากตารางที่ 4 สรุปได้ว่าความถี่มีผลต่อกำลังผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

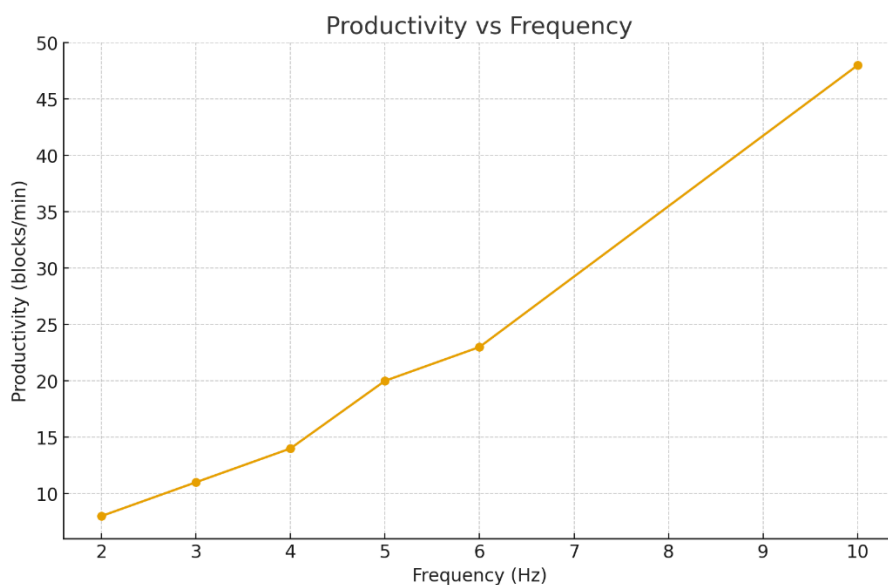
5.4.2 ค่าสหสัมพันธ์ (Pearson Correlation Coefficients)

ตารางที่ 5 แสดงค่าจากการคำนวณจริง

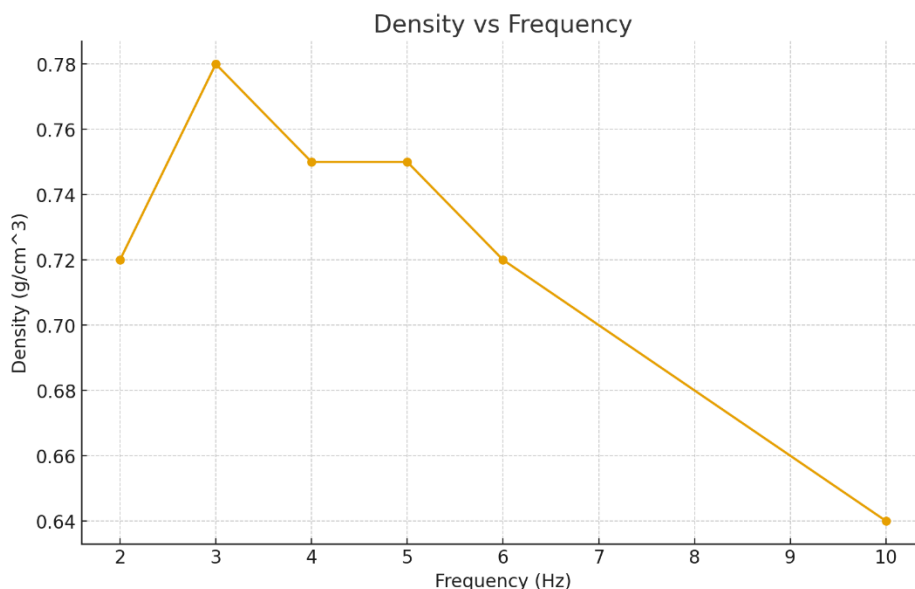
ตัวแปรที่สัมพันธ์ค่า r	ทิศทาง	ระดับความสัมพันธ์
Frequency - Productivity	+0.991 เชิงบวก	สูงมาก (very strong)
Frequency - Density	-0.846 เชิงลบ	สูง (strong)

จากตารางที่ 5 สรุปได้ว่า ยิ่งความถี่สูง ผลผลิตเพิ่มขึ้นแบบเกือบเชิงเส้นตรง และยิ่งความถี่สูง ความหนาแน่นลดลงชัดเจน

5.4.3 กราฟความสัมพันธ์



ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของ Productivity vs Frequency แบบเพิ่มขึ้นเชิงเส้นเกือบสมบูรณ์



ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ Density vs Frequency รูปแบบ Inverted-U: ความหนาแน่นสูงสุดที่ 3 Hz ก่อนจะลดลงต่อเนื่องที่ความถี่สูงขึ้น

5.4.4 บทวิเคราะห์สถิติ

จากตารางที่ 4 สรุปได้ว่า ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า ความถี่ของการทำงานของเครื่องอัดมีผลต่อจำนวนก้อนเชื้อเห็ดที่ผลิตได้นานาที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.001$ ($F = 195.23$) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความถี่มีผลเชิงตรงต่อกำลังผลิตอย่างเด่นชัด โดยพบว่าความถี่สูงสุดที่ 10 Hz ให้ค่าผลผลิตสูงที่สุด (48 ก้อน/นาที่)

จากตารางที่ 5 สรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ด้วยสัมประสิทธิ์เพียร์สัน (Pearson's r) พบว่า ความถี่มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างยิ่งกับกำลังผลิต ($r = 0.991$) บ่งชี้ว่าผลผลิตเพิ่มขึ้นเกือบเป็นสัดส่วนโดยตรงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน พบความสัมพันธ์เชิงลบระดับสูงระหว่างความถี่กับความหนาแน่นของก้อนเชื้อเห็ด ($r = -0.846$) ซึ่งหมายความว่า เมื่อความถี่สูงขึ้น เวลาการอัดและการคงแรง (dwell time) ลดลง ทำให้ความหนาแน่นของก้อนลดลงตามไปด้วย

จากภาพที่ 3-4 พบว่าความหนาแน่นมีลักษณะเป็นโค้งแบบกลับด้าน (inverted-U shape) โดยมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดที่ความถี่ 3 Hz (0.78 g/cm^3) ก่อนลดลงเรื่อย ๆ ใน

ความถี่ที่สูงกว่า สอดคล้องกับทฤษฎีการอัดวัสดุชีวมวลที่ระบุว่า ความเร็วอัดที่สูงทำให้วัสดุจัดเรียงตัวไม่สมบูรณ์ เนื่องจาก dwell time ไม่เพียงพอ

ผลการวิเคราะห์นี้ชี้ให้เห็นว่าความถี่ระดับ 3–4 Hz เหมาะสมที่สุดสำหรับคุณภาพก้อน, ในขณะที่ระดับ 5–6 Hz เป็นจุดประนีประนอมที่ดีระหว่างคุณภาพและปริมาณ, ส่วนความถี่ 10 Hz เหมาะสำหรับการผลิตเชิงปริมาณสูงสุด แม้ความหนาแน่นจะลดลงแต่ยังสูงกว่าเครื่องต้นแบบเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

6. สรุปผลการวิจัย

เครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดแบบกึ่งอัตโนมัติสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้สูงกว่าเครื่องต้นแบบเดิมถึง 63.33% และมีต้นทุนต่ำกว่าเครื่องในท้องตลาดมาก เหมาะสำหรับเกษตรกรรายย่อยหรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ต้องการเพิ่มกำลังผลิตโดยไม่เพิ่มต้นทุนมากนัก

7. อภิปรายผล

ผลการเพิ่มความถี่ทำให้กำลังผลิตสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ความหนาแน่นกลับลดลงเมื่อเกิน 6 Hz เนื่องจากเวลาการอัดวัสดุปลูกไม่เพียงพอสำหรับการจัดเรียงตัวของซีลี้อยู่ การใช้ระบบ 4 กระบอกซึ่งสอดคล้องกับหลักการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงขนาด (economy of scale) ของเครื่องจักรกลเกษตรขนาดเล็ก (FAO, 2017) ผู้ประกอบการควรเลือกใช้ความถี่ 3-4 Hz เมื่อต้องการคุณภาพสูง หรือ 10 Hz เมื่อต้องการ ปริมาณ โดยยอมรับ density ที่ลดลง 18% (จาก 0.78 เป็น 0.64 g/cm³)" อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของงานวิจัย ไม่ได้ทดสอบการเจริญของเส้นใยในก้อนที่ผลิตด้วยความถี่ต่างกัน ทดสอบเฉพาะวัสดุปลูกซีลี้อย่างพาราและไม่ได้ทดสอบความทนทานระยะยาวของเครื่อง

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบ้านฟาร์มเห็ด ศูนย์การเรียนรู้กำแพงแสน ให้ข้อมูลด้านกระบวนการผลิตและให้ความร่วมมือในการทดสอบก้อนเชื้อเห็ดตลอดการวิจัย นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน ที่สนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือทางวิศวกรรม และสถานที่ในการออกแบบและสร้างเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดแบบกึ่งอัตโนมัติ ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์

9. เอกสารอ้างอิง

- Asp, H., Bergstrand, K. J., Hultberg, M., & Golovko, O. (2023). Production of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on sawdust supplemented with anaerobic digestate. *Waste Management*, 155, 1– 7. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.10.025>
- Cornell Small Farms Program. (2019). *Methods of commercial mushroom cultivation: The seven stages of mushroom production*. Cornell University. Retrieved from https://smallfarms.cornell.edu/wp-content/uploads/2021/10/Methods_of_Commercial_Cultivation_Book_MC2.pdf
- EKOFUNGI. (2017). *Mushroom cultivation manual for the small mushroom entrepreneur*. Retrieved from <https://www.systemekofungi.com/wp-content/uploads/Mushroom-Cultivation-Manual.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). *Make money by growing mushrooms*. Rome, Italy: FAO. Retrieved from <https://www.fao.org/4/i0522e/i0522e00.htm>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *Promoting sustainable agricultural mechanization for smallholder farmers*. Rome, Italy: FAO. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ba5d1f0f-cca4-4e80-962f-7624f97cca2d/content>
- Kilic, C., & Yildiz, S. (2024). Total phenolics, tannin contents, antioxidant properties, protein and sensory analysis of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus citrinopileatus* and *Pleurotus djamor* cultivated on different substrates. *Maderas Ciencia y Tecnología*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/377234894>

- Philippoussis, A. (2009). *Production of mushrooms using agro-industrial residues as substrates*. Hellenic Agricultural Organization– Demeter. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/226917053>
- Sassine, Y., & El Sebaaly, Z. (2024). Valorization of agro-forest wastes through the cultivation of shiitake (*Lentinula edodes*). *Heliyon*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/381523515>
- Seecharran, D. (2022). *Growth of oyster mushroom using sawdust and agricultural waste as substrates*. University of Guyana. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/362630075>
- Tuamsee, S., Rontlaong, P., Tinnam, P., Phonphun, P., Yuenyongchaiwat, P., Klunkaewdamrong, P., & Cheewaworanantri, Y. (2020). Time reduction in laundry process. *Journal of Bansomdej Engineering and Industrial Technology*, 1(2), 25–34.
- Tumuluru, J. K., Sokhansanj, S., Wright, C. T., et al. (2011). A review on biomass densification—A mechanical engineering perspective with implications for feedstock quality and utilization. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5(3), 317–329. <https://doi.org/10.1002/bbb.324>
- Uicker, J. J., Pennock, G. R., & Shigley, J. E. (2013). *Theory of machines and mechanisms* (5th ed.). New York, NY: Oxford University Press.
- Zakil, F. A. A., Xuan, L. H., Zaman, N., Alan, N. I., Salahutheen, N. A. A., Sueb, M. S. M., & Isha, R. (2021). *Growth performance and mineral analysis of Pleurotus ostreatus from various agricultural wastes mixed with rubber tree sawdust in Malaysia*. Bioresource Technology Reports. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100873>

การประเมินคุณภาพระบบและการยอมรับเทคโนโลยีของแอปพลิเคชัน การแจ้งเหตุด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในมหาวิทยาลัยแห่ง หนึ่งในกรุงเทพมหานคร

System Quality Evaluation and Technology Acceptance of an Occupational Health and Safety Incident Reporting Application at a University in Bangkok Metropoli

โยธิน พลประถม¹, คณกร สว่างเจริญ^{2*}

Yotin Ponprathom, Kanakorn Sawangcharoen^{2*}

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

²สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

¹Department of Health Science, Occupational Health and Safety Program,
Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

²Program in Digital Technology Management for Education, Graduate School,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

*Corresponding author email: kanakorn.sa@bsru.ac.th

Received 15 Mar. 2026 Revised 14 May. 2026 Accepted 05 Jun. 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ประเมินคุณภาพของระบบแอปพลิเคชันสำหรับ
การแจ้งและติดตามเหตุการณ์ด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในสถานศึกษา (2) ศึกษา
ระดับการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้งาน และ (3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของ
ระบบ การรับรู้ประโยชน์ การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน การยอมรับเทคโนโลยี และ
ผลกระทบต่อการก่อการ โดยบูรณาการกรอบแนวคิดจากแบบจำลองความสำเร็จของระบบ
สารสนเทศของ DeLone และ McLean และแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี

(Technology Acceptance Model: TAM) การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ เก็บรวบรวมข้อมูลจากนักศึกษา อาจารย์ และบุคลากรของมหาวิทยาลัยที่ใช้ระบบแอปพลิเคชันในการแจ้งเหตุด้านความปลอดภัย ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 300 คน โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา ผลการวิจัยพบว่า ผู้ใช้งานมีความคิดเห็นต่อคุณภาพของระบบ การรับรู้ประโยชน์ การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน และการยอมรับเทคโนโลยีอยู่ในระดับสูง นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่าคุณภาพของระบบมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการรับรู้ประโยชน์ และการรับรู้ความง่ายในการใช้งาน ขณะที่การรับรู้ประโยชน์และการรับรู้ความง่ายในการใช้งานมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการยอมรับเทคโนโลยี และการยอมรับเทคโนโลยีมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลกระทบต่อองค์กร ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการพัฒนาคุณภาพของระบบสารสนเทศและการออกแบบระบบที่ใช้งานง่ายมีบทบาทสำคัญต่อการส่งเสริมการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้งาน และสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในสถานศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: แอปพลิเคชันความปลอดภัยในสถานศึกษา, คุณภาพของระบบ, การยอมรับเทคโนโลยี, อาชีวอนามัยและความปลอดภัย, ประโยชน์ของระบบต่อองค์กร

Abstract

This study aims to (1) evaluate the quality of a digital application for reporting and monitoring occupational health and safety (OHS) incidents in a university environment, (2) examine users' level of technology acceptance, and (3) analyze the relationships among system quality, perceived usefulness, perceived ease of use, technology acceptance, and organizational impact. The study integrates the DeLone and McLean Information Systems Success Model with the Technology Acceptance Model (TAM) to develop a comprehensive framework for evaluating digital safety management systems in higher education institutions. This research employed a quantitative approach. Data were collected from students, faculty members, and university staff who utilized the safety reporting application. The sample size consisted of 300 participants. A structured questionnaire was used as the research instrument. Descriptive statistics, including mean and standard deviation, were used to describe the data, while Pearson's correlation analysis was conducted to examine the relationships among the study variables. The findings indicate that users perceived system quality, perceived usefulness, perceived ease of use, and technology acceptance at a high level. The correlation analysis revealed that system quality was positively and significantly related to both perceived usefulness and perceived ease of use. Furthermore, perceived usefulness and perceived ease of use were positively associated with technology acceptance, while technology acceptance showed a positive relationship with organizational impact. The results suggest that improving system quality and designing user-friendly digital applications are critical factors for enhancing technology acceptance among users. Effective implementation of such systems can strengthen occupational health and safety management in higher education institutions and support more efficient organizational decision-making processes.

Keywords: Safety Reporting Application, System Quality, Technology Acceptance, Occupational Health and Safety, Organizational Benefits

บทนำ

ในยุคของการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมดิจิทัล (Digital Transformation) เทคโนโลยีสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาและยกระดับประสิทธิภาพของการบริหารจัดการองค์กรในหลากหลายมิติ รวมถึงการจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (Occupational Health and Safety: OHS) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสุขภาพ ความปลอดภัย และประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากรภายในองค์กร การนำเทคโนโลยีดิจิทัลและระบบสารสนเทศมาใช้ในการรายงานเหตุการณ์ด้านความปลอดภัย การติดตามสถานการณ์ และการจัดการข้อมูลความเสี่ยง สามารถช่วยเพิ่มความรวดเร็วและความถูกต้องของข้อมูล ตลอดจนสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Dengler et al., 2022; Boonruksa et al., 2024) นอกจากนี้ การพัฒนาเทคโนโลยีดิจิทัล เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เทคโนโลยีสวมใส่ (Wearable Technology) และเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ยังช่วยสนับสนุนการตรวจสอบอันตราย การติดตามสภาพแวดล้อมการทำงาน และการป้องกันอุบัติเหตุในสถานที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Dodoo et al., 2024; Akyildiz, 2023) ในบริบทของสถาบันอุดมศึกษา การจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากมหาวิทยาลัยเป็นองค์กรที่มีสภาพแวดล้อมการทำงานที่หลากหลายและซับซ้อน ครอบคลุมกิจกรรมด้านการเรียนการสอน การวิจัย และการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเกี่ยวข้องกับนักศึกษา อาจารย์ และบุคลากรจำนวนมาก การดำเนินกิจกรรมดังกล่าวอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพและความปลอดภัยได้ หากไม่มีระบบการจัดการเหตุการณ์ที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้น การพัฒนาระบบสารสนเทศหรือแอปพลิเคชันดิจิทัลสำหรับการแจ้งและติดตามเหตุการณ์ด้านความปลอดภัยจึงเป็นแนวทางสำคัญในการสนับสนุนการบริหารจัดการความปลอดภัยภายในองค์กรการศึกษา และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในองค์กร (Håkansta et al., 2025) อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จของระบบสารสนเทศไม่ได้ขึ้นอยู่กับความสามารถของเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับระดับการยอมรับและการใช้งานของผู้ใช้ปลายทางด้วย งานวิจัยด้านระบบสารสนเทศได้เสนอกรอบแนวคิดสำคัญเพื่ออธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของระบบและพฤติกรรมการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้ โดย Information Systems Success Model ของ DeLone และ McLean อธิบายว่าคุณภาพของระบบ (System Quality) คุณภาพของข้อมูล (Information Quality) และคุณภาพการบริการ (Service Quality) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้งานระบบ ความพึงพอใจของผู้ใช้ และผลประโยชน์สุทธิที่องค์กรได้รับ (DeLone & McLean, 2003) ขณะเดียวกัน Technology Acceptance Model (TAM) ที่พัฒนาโดย Davis ชี้ให้เห็นว่าการรับรู้ประโยชน์ของระบบ (Perceived Usefulness) และการรับรู้ความง่ายในการใช้งาน

(Perceived Ease of Use) เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้ (Davis, 1989) นอกจากนี้ แนวคิด Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) ยังชี้ให้เห็นถึงบทบาทของปัจจัยด้านสังคมและสภาพแวดล้อมขององค์กรที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้ (Venkatesh et al., 2003)

งานวิจัยในระยะหลังได้พยายามบูรณาการกรอบแนวคิดด้านความสำเร็จของระบบสารสนเทศและการยอมรับเทคโนโลยีเพื่ออธิบายกลไกของการใช้งานระบบดิจิทัลในบริบทต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Al-Rahmi et al. (2021) ได้บูรณาการโมเดล TAM และ Information Systems Success Model เพื่อศึกษาการใช้สื่อสังคมออนไลน์ในบริบทการศึกษา และพบว่าคุณภาพของระบบและคุณภาพของข้อมูลส่งผลต่อการรับรู้ประโยชน์ การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน และความตั้งใจในการใช้ระบบของผู้ใช้ ในทำนองเดียวกัน Adeyemi และ Issa (2020) ได้เสนอแบบจำลองเชิงทฤษฎีที่ผสมผสานสองแนวคิดดังกล่าวเพื่ออธิบายความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบเว็บพอร์ทัลของมหาวิทยาลัย โดยพบว่าคุณภาพของระบบ ข้อมูล และการบริการมีบทบาทสำคัญต่อการรับรู้ประโยชน์และการใช้งานระบบของผู้ใช้ ขณะที่ Naidoo (2023) ได้ยืนยันว่าการบูรณาการ TAM และ Information Systems Success Model สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของระบบ การรับรู้ของผู้ใช้ และผลลัพธ์ขององค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าการวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาความสำเร็จของระบบสารสนเทศและการยอมรับเทคโนโลยีในบริบทขององค์กรธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม แต่การศึกษาที่มุ่งเน้นระบบสารสนเทศด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในบริบทของสถาบันอุดมศึกษายังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะการศึกษาที่บูรณาการกรอบแนวคิดของ Information Systems Success Model และ Technology Acceptance Model เพื่ออธิบายบทบาทของคุณภาพระบบต่อการรับรู้ของผู้ใช้ การยอมรับเทคโนโลยี และผลลัพธ์ขององค์กร ช่องว่างขององค์ความรู้ดังกล่าวสะท้อนถึงความจำเป็นในการศึกษาที่สามารถอธิบายกลไกของการนำระบบดิจิทัลด้านความปลอดภัยมาใช้ในบริบทของมหาวิทยาลัยอย่างเป็นระบบ

ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชันดิจิทัลสำหรับการแจ้งและติดตามเหตุการณ์ด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในมหาวิทยาลัย ศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้งาน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของระบบ การรับรู้ประโยชน์ การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน การยอมรับเทคโนโลยี และผลกระทบต่อองค์กร โดยบูรณาการกรอบแนวคิดของ Information Systems Success Model และ Technology Acceptance Model เพื่อพัฒนาแบบจำลองเชิงวิเคราะห์สำหรับอธิบายบทบาทของระบบสารสนเทศดิจิทัลในการสนับสนุนการบริหารจัดการความปลอดภัยในสถาบันอุดมศึกษา

ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยเรื่อง “การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการแจ้งและติดตามปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในสถานศึกษา: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร” เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของผู้ใช้งานระบบ ระดับความคิดเห็นต่อคุณภาพของระบบแอปพลิเคชัน การยอมรับการใช้เทคโนโลยี และผลกระทบของระบบต่อประสิทธิภาพขององค์กร รวมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานระบบ การดำเนินการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง การพัฒนาเครื่องมือวิจัย การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง (Population and Sample) ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ผู้ใช้งานระบบแอปพลิเคชันสำหรับการแจ้งและติดตามปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยภายในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้งานหลัก ได้แก่ นักศึกษา จำนวน 10,927 อาจารย์และบุคลากรสายสนับสนุน จำนวน 936 คน ที่มีสิทธิ์เข้าถึงระบบแอปพลิเคชันดังกล่าว โดยผู้ใช้งานสามารถใช้ระบบเพื่อรายงานเหตุการณ์ด้านความปลอดภัย ติดตามสถานะของปัญหา และเข้าถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในสถานศึกษา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยจำนวน 300 คน ซึ่งเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในการใช้งานระบบแอปพลิเคชันดังกล่าว โดยขนาดกลุ่มตัวอย่างกำหนดตามแนวทางของการวิจัยเชิงปริมาณที่แนะนำให้ใช้จำนวนตัวอย่างที่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยเฉพาะการวิเคราะห์โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Hair et al., 2019; Weyant, 2022) การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเลือกเฉพาะผู้ที่เคยใช้งานระบบแอปพลิเคชันดังกล่าว เนื่องจากเป็นผู้ที่มีประสบการณ์โดยตรงกับระบบที่ศึกษา ซึ่งเหมาะสมสำหรับการวิจัยที่ต้องการข้อมูลจากผู้ใช้งานจริงของระบบ (Etikan et al., 2016)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (Research Instrument)

2.1 แอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการแจ้งและติดตามปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในสถานศึกษา



ภาพที่ 1 แอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการแจ้งและติดตามปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในสถานศึกษา

ที่มา : (โยธิน พลประถม และ คณกร สว่างเจริญ, 2568)

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม (Questionnaire) ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้งานต่อระบบแอปพลิเคชันสำหรับการแจ้งและติดตามปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วย เพศ อายุ ตำแหน่งหน้าที่ ประสบการณ์ในการใช้เทคโนโลยี ระยะเวลาการใช้งานระบบ ความถี่ในการใช้งาน และอุปกรณ์ที่ใช้ในการเข้าถึงระบบ

ส่วนที่ 2 การประเมินคุณภาพของระบบ ประกอบด้วยตัวแปรด้านคุณภาพของระบบ 4 ด้าน ได้แก่ ความสามารถในการใช้งานของระบบ (Usability) คุณภาพของระบบ (System Quality) คุณภาพของข้อมูล (Information Quality) คุณภาพการบริการ (Service Quality)

ส่วนที่ 3 การยอมรับการใช้เทคโนโลยีและผลกระทบของระบบต่อองค์กร ประกอบด้วยตัวแปรสำคัญ ได้แก่ การยอมรับการใช้เทคโนโลยี (Technology Acceptance) ผลกระทบของระบบต่อองค์กร (Net Benefits)

แบบสอบถามใช้ มาตรฐานส่วนประมาณค่าแบบลิเคิร์ต 5 ระดับ (Likert Scale) ตั้งแต่ระดับ 1 = เห็นด้วยน้อยที่สุด ถึงระดับ 5 = เห็นด้วยมากที่สุด

3. การตรวจสอบความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัย (Reliability Analysis) เพื่อให้เครื่องมือวิจัยมีความน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยได้ตรวจสอบ ความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม (Reliability) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Cronbach's Alpha ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านสังคมศาสตร์และระบบสารสนเทศ โดยทั่วไป ค่า Cronbach's Alpha ที่มากกว่า 0.70 ถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้และแสดงว่าเครื่องมือวิจัยมีความเชื่อมั่นเพียงพอสำหรับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล (Hair et al., 2019)

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม

ตัวแปร	จำนวน ข้อ	Cronbach's Alpha	ระดับความ เชื่อมั่น
ความสามารถในการใช้งานของระบบ (Usability)	7	0.749	ดีมาก
คุณภาพของระบบ (System Quality)	7	0.684	ดีมาก
คุณภาพของข้อมูล (Information Quality)	6	0.849	ดีมาก
คุณภาพการบริการ (Service Quality)	5	0.729	ดี
การยอมรับการใช้เทคโนโลยี (Technology Acceptance)	6	0.710	ดีมาก
ผลกระทบของระบบต่อองค์กร (Net Benefits)	6	0.821	ดีมาก
รวมทั้งฉบับ	37	0.757	ดีมาก

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า Cronbach's Alpha ของทุกตัวแปรมีค่ามากกว่า 0.80 แสดงว่าแบบสอบถามมีความเชื่อมั่นอยู่ในระดับดีถึงดีมาก และมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

4. การตรวจสอบความตรงของเครื่องมือวิจัย (Validity Analysis) นอกจากการตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถามแล้ว ผู้วิจัยยังได้ตรวจสอบ ความตรงของเครื่องมือวิจัย (Validity) เพื่อให้มั่นใจว่าแบบสอบถามสามารถวัดตัวแปรที่ต้องการศึกษาได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม การตรวจสอบความตรงของเครื่องมือวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

4.1 การตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ผู้วิจัยนำแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นให้ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยใช้ดัชนี Index of Item–Objective Congruence (IOC) ผลการประเมินพบว่า ค่า IOC ของข้อคำถามทุกข้ออยู่ระหว่าง 0.80–1.00 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (0.50) แสดงว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย และสามารถนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้อย่างเหมาะสม

4.2 การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้างของตัวแปรแฝง โดยใช้ค่า Composite Reliability (CR) และ Average Variance Extracted (AVE) ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในงานวิจัยที่ใช้การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling) โดยทั่วไป ค่า CR ควรมากกว่า 0.70 และค่า AVE ควรมากกว่า 0.50 เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัวแปรมีความสอดคล้องภายในและสามารถอธิบายตัวแปรแฝงได้อย่างเหมาะสม (Hair et al., 2019)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความตรงของตัวแปรแฝง

ตัวแปรแฝง	จำนวน ตัวชี้วัด	IOC	CR	AVE	ผลการ ประเมิน
ความสามารถในการใช้งานของระบบ (Usability)	7	0.90	0.847	0.529	ผ่านเกณฑ์
คุณภาพของระบบ (System Quality)	7	0.92	0.816	0.502	ผ่านเกณฑ์
คุณภาพของข้อมูล (Information Quality)	6	0.88	0.887	0.566	ผ่านเกณฑ์
คุณภาพการบริการ (Service Quality)	5	0.87	0.846	0.523	ผ่านเกณฑ์
การยอมรับการใช้เทคโนโลยี (Technology Acceptance)	6	0.91	0.838	0.510	ผ่านเกณฑ์
ผลกระทบของระบบต่อองค์กร (Net Benefits)	6	0.90	0.870	0.528	ผ่านเกณฑ์

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวแปรแฝงทุกตัวมีค่า CR มากกว่า 0.70 และค่า AVE มากกว่า 0.50 แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวิจัยมีความตรงเชิงโครงสร้างในระดับที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในขั้นตอนต่อไปได้อย่างเหมาะสม

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection) การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการโดยใช้ แบบสอบถามออนไลน์ (Online Questionnaire) โดยผู้วิจัยเผยแพร่แบบสอบถามผ่านช่องทางการสื่อสารภายในมหาวิทยาลัย เช่น อีเมล และแพลตฟอร์มการสื่อสารของหน่วยงาน เพื่อให้ผู้ใช้งานระบบสามารถเข้าร่วมตอบแบบสอบถามได้โดยสมัครใจ หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความครบถ้วนของแบบสอบถาม และคัดเลือกเฉพาะแบบสอบถามที่มีความสมบูรณ์เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งพบว่ามีแบบสอบถามที่สมบูรณ์จำนวน 300 ชุด

6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสถิติ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

6.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

6.2 การวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นของผู้ใช้งาน ใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการประเมินความคิดเห็นของผู้ใช้งานต่อคุณภาพของระบบ การยอมรับเทคโนโลยี และผลกระทบของระบบต่อองค์กร

6.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร ใช้การวิเคราะห์ ค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation Analysis) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา

ผลการวิจัย

การนำเสนอผลการวิจัยในส่วนนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 300 คน แสดงให้เห็นถึงลักษณะประชากรของผู้ใช้งานระบบแอปพลิเคชันด้านอาชีพอนามัยและความปลอดภัยภายในมหาวิทยาลัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 3 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวน	ร้อยละ
ชาย	132	44.00
หญิง	162	54.00
ไม่ประสงค์ระบุ	6	2.00
รวม	300	100.00

จาก ตารางที่ 3 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็น เพศหญิง จำนวน 162 คน (ร้อยละ 54.00) รองลงมาเป็น เพศชาย จำนวน 132 คน (ร้อยละ 44.00) และ ไม่ประสงค์ระบุเพศ จำนวน 6 คน (ร้อยละ 2.00) แสดงให้เห็นว่ากลุ่มผู้ใช้งานระบบมีสัดส่วนเพศหญิงมากกว่าเพศชายเล็กน้อย

ตารางที่ 4 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามอายุ

อายุ	จำนวน	ร้อยละ
ต่ำกว่า 25 ปี	225	75.00
25–34 ปี	38	12.67
35–44 ปี	20	6.67
45–54 ปี	12	4.00
55 ปีขึ้นไป	5	1.66
รวม	300	100.00

จากตารางที่ 4 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอายุ ต่ำกว่า 25 ปี จำนวน 225 คน (ร้อยละ 75.00) รองลงมา ได้แก่ อายุ 25–34 ปี จำนวน 38 คน (ร้อยละ 12.67) อายุ 35–44 ปี จำนวน 20 คน (ร้อยละ 6.67) อายุ 45–54 ปี จำนวน 12 คน (ร้อยละ 4.00) และ 55 ปีขึ้นไป จำนวน 5 คน (ร้อยละ 1.66) แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานระบบส่วนใหญ่เป็นกลุ่มวัยนักศึกษา

ตารางที่ 5 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามตำแหน่งหน้าที่ในองค์กร

ตำแหน่งหน้าที่ในองค์กร	จำนวน (คน)	ร้อยละ
อาจารย์ (Lecturer/Faculty)	25	8.33
บุคลากรสายสนับสนุน (Administrative/Support Staff)	25	8.33
นักศึกษา (Student)	250	83.33
เจ้าหน้าที่ด้านความปลอดภัย (Safety Officer)	0	0.00
อื่น ๆ (Other)	0	0.00
รวม	300	100.00

จากตารางที่ 5 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็น นักศึกษา จำนวน 250 คน (ร้อยละ 83.33) รองลงมาเป็น อาจารย์ จำนวน 25 คน (ร้อยละ 8.33) และ บุคลากรสายสนับสนุน จำนวน 25 คน (ร้อยละ 8.33) ในขณะที่ เจ้าหน้าที่ด้านความปลอดภัยและกลุ่มอื่น ๆ ไม่พบผู้ตอบแบบสอบถาม ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าผู้ใช้งานระบบส่วนใหญ่เป็นกลุ่มนักศึกษาซึ่งเป็นผู้ใช้หลักของระบบภายในสถานศึกษา

ตารางที่ 6 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามประสบการณ์ในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

ประสบการณ์ในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
น้อยกว่า 3 ปี	72	24.00
3-5 ปี	108	36.00
6-10 ปี	78	26.00
มากกว่า 10 ปี	42	14.00
รวม	300	100.00

จากตารางที่ 6 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ 3-5 ปี จำนวน 108 คน (ร้อยละ 36.00) รองลงมา ได้แก่ 6-10 ปี จำนวน 78 คน (ร้อยละ 26.00) น้อยกว่า 3 ปี จำนวน 72 คน (ร้อยละ 24.00) และ มากกว่า 10 ปี จำนวน 42 คน (ร้อยละ 14.00) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีประสบการณ์ด้านเทคโนโลยีในระดับปานกลาง

ตารางที่ 7 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามระยะเวลาการใช้ระบบ

ระยะเวลาการใช้ระบบ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
น้อยกว่า 1 เดือน	140	46.67
1-3 เดือน	110	36.67
4-6 เดือน	40	13.33
มากกว่า 6 เดือน	10	3.33
รวม	300	100.00

จากตารางที่ 7 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ใช้งานระบบ น้อยกว่า 1 เดือน จำนวน 140 คน (ร้อยละ 46.67) รองลงมา ได้แก่ 1-3 เดือน จำนวน 110 คน (ร้อยละ 36.67) 4-6 เดือน จำนวน 40 คน (ร้อยละ 13.33) และ มากกว่า 6 เดือน จำนวน 10 คน (ร้อยละ 3.33) แสดงให้เห็นว่าระบบยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นของการนำไปใช้งานในองค์กร

ตารางที่ 8 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามความถี่ในการใช้งานระบบต่อสัปดาห์

ความถี่ในการใช้งาน	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ไม่เคยใช้	18	6.00
1-2 ครั้งต่อสัปดาห์	126	42.00
3-5 ครั้งต่อสัปดาห์	102	34.00
มากกว่า 5 ครั้งต่อสัปดาห์	54	18.00
รวม	300	100.00

จากตารางที่ 8 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ใช้งานระบบ 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ จำนวน 126 คน (ร้อยละ 42.00) รองลงมา ได้แก่ 3-5 ครั้งต่อสัปดาห์ จำนวน 102 คน (ร้อยละ 34.00) และ มากกว่า 5 ครั้งต่อสัปดาห์ จำนวน 54 คน (ร้อยละ 18.00) ในขณะที่ ไม่เคยใช้ระบบ จำนวน 18 คน (ร้อยละ 6.00) ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าระบบมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องในระดับปานกลาง

ตารางที่ 9 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามอุปกรณ์หลักในการเข้าใช้งานระบบ

อุปกรณ์ที่ใช้เข้าใช้งานระบบ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ หรือโน้ตบุ๊ก	108	36.00
โทรศัพท์มือถือ	174	58.00
แท็บเล็ต	18	6.00
อื่น ๆ	0	0.00
รวม	300	100.00

จากตารางที่ 9 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ใช้งานระบบผ่าน โทรศัพท์มือถือ จำนวน 174 คน (ร้อยละ 58.00) รองลงมา ได้แก่ คอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊ก จำนวน 108 คน (ร้อยละ 36.00) และ แท็บเล็ต จำนวน 18 คน (ร้อยละ 6.00) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ระบบมีลักษณะการใช้งานแบบ Mobile-first ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานเทคโนโลยีของผู้ใช้ในปัจจุบัน

2. การวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นต่อคุณภาพของระบบ

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของด้านความสามารถในการใช้งานของระบบ (Usability)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ระบบมีโครงสร้างใช้งานง่าย	4.31	0.37	มาก
ใช้งานได้โดยไม่ต้องมีคู่มือ	4.14	0.43	มาก
ปุ่มและเมนูออกแบบเหมาะสม	4.27	0.39	มาก
รองรับผู้ใช้ที่มีพื้นฐาน IT ต่ำ	4.06	0.46	มาก
รองรับภาษาไทยและอังกฤษ	4.19	0.41	มาก
แสดงผลได้ดีบนมือถือและคอมพิวเตอร์	4.34	0.34	มาก
การค้นหาข้อมูลรวดเร็ว	4.23	0.38	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.22	0.40	มาก

จากตารางที่ 10 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อความสามารถในการใช้งานของระบบโดยรวมอยู่ในระดับ มาก (Mean = 4.22, S.D. = 0.40) รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ได้แก่ การแสดงผลได้ดีบนอุปกรณ์มือถือและคอมพิวเตอร์ (Mean = 4.34) รองลงมา ได้แก่ ระบบมีโครงสร้างใช้งานง่าย (Mean = 4.31) และ ปุ่มและเมนูมีการออกแบบที่เหมาะสม (Mean = 4.27) ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าระบบได้รับการออกแบบให้ใช้งานได้ง่ายและรองรับผู้ใช้หลากหลายกลุ่ม

ตารางที่ 11 ผลการประเมินคุณภาพของระบบ (System Quality)

รายการ	Mean	S.D.	ระดับ
ระบบมีความเสถียร	4.18	0.36	มาก
ประมวลผลรวดเร็ว	4.23	0.33	มาก
รองรับผู้ใช้จำนวนมาก	4.13	0.41	มาก
ความปลอดภัยของข้อมูล	4.25	0.38	มาก
เชื่อมโยง Power Platform ได้ดี	4.28	0.35	มาก
ฐานข้อมูล SharePoint มีความยืดหยุ่น	4.14	0.40	มาก
ขยายระบบในอนาคตได้ง่าย	4.19	0.36	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.20	0.37	มาก

จากตารางที่ 11 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อคุณภาพของระบบโดยรวมอยู่ในระดับ มาก (Mean = 4.20, S.D. = 0.37) รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ได้แก่ การเชื่อมโยงกับ Microsoft Power Platform ได้ดี (Mean = 4.28) รองลงมา ได้แก่ ความปลอดภัยของข้อมูล (Mean = 4.25) และ ความรวดเร็วในการประมวลผล (Mean = 4.23) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าระบบมีความเสถียรและมีประสิทธิภาพในการทำงาน

ตารางที่ 12 ผลการประเมินคุณภาพข้อมูล (Information Quality)

รายการ	Mean	S.D.	ระดับ
ข้อมูลใน Dashboard ถูกต้อง	4.28	0.40	มาก
รายงานและกราฟเข้าใจง่าย	4.23	0.42	มาก
ข้อมูลอัปเดตแบบ Real-time	4.16	0.44	มาก
ข้อมูลมีความสมบูรณ์	4.13	0.46	มาก
ค้นหาข้อมูลย้อนหลังง่าย	4.21	0.43	มาก
ส่งออกข้อมูล PDF/Excel ได้	4.25	0.41	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.21	0.42	มาก

จากตารางที่ 12 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อคุณภาพของข้อมูลโดยรวมอยู่ในระดับ มาก (Mean = 4.21, S.D. = 0.42) รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ได้แก่ ความถูกต้องของข้อมูลใน Dashboard (Mean = 4.28) รองลงมา ได้แก่ การส่งออกข้อมูลในรูปแบบ PDF/Excel (Mean = 4.25) และ รายงานและกราฟเข้าใจง่าย (Mean = 4.21) ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าระบบสามารถสนับสนุนการวิเคราะห์ข้อมูลและการตัดสินใจของผู้บริหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 13 ผลการประเมินคุณภาพการบริการ (Service Quality)

รายการ	Mean	S.D.	ระดับ
ทีมพัฒนาช่วยเหลือรวดเร็ว	4.23	0.38	มาก
คู่มือใช้งานเข้าใจง่าย	4.16	0.40	มาก
ช่องทางแจ้งปัญหาชัดเจน	4.19	0.39	มาก
ปรับปรุงระบบตามข้อเสนอแนะ	4.11	0.44	มาก
ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติทำงานได้ดี	4.26	0.34	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.19	0.39	มาก

จากตารางที่ 13 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อคุณภาพการบริการโดยรวมอยู่ในระดับ มาก (Mean = 4.19, S.D. = 0.39) รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ได้แก่ ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติทำงานได้ดี (Mean = 4.26) และ ทีมพัฒนาระบบให้ความช่วยเหลืออย่าง

รวดเร็ว (Mean = 4.23) ผลการวิเคราะห์สะท้อนให้เห็นว่าระบบมีการสนับสนุนการใช้งาน และการให้บริการที่มีประสิทธิภาพ

3. การยอมรับการใช้เทคโนโลยีและผลกระทบของระบบต่อองค์กร

ตารางที่ 14 การยอมรับการใช้เทคโนโลยี (Technology Acceptance)

รายการ	Mean	S.D.	ระดับ
ระบบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน	4.25	0.39	มาก
ใช้งานสะดวกกว่าระบบเดิม	4.19	0.42	มาก
เพิ่มความมั่นใจด้านความปลอดภัย	4.16	0.41	มาก
ต้องการใช้ระบบต่อในอนาคต	4.26	0.36	มาก
เพื่อนร่วมงานมีอิทธิพลต่อการใช้	3.92	0.51	มาก
ลดขั้นตอนการทำงาน	4.24	0.39	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.17	0.38	มาก

จากตารางที่ 14 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับการยอมรับการใช้เทคโนโลยี โดยรวมอยู่ในระดับ มาก (Mean = 4.17, S.D. = 0.38) รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ได้แก่ ต้องการใช้ระบบต่อในอนาคต (Mean = 4.30) รองลงมา ได้แก่ ระบบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน (Mean = 4.25) และ ช่วยลดขั้นตอนการทำงาน (Mean = 4.24) ผลการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานมีทัศนคติที่ดีต่อระบบและมีแนวโน้มที่จะใช้งานระบบอย่างต่อเนื่องในอนาคต

ตารางที่ 15 ผลกระทบของระบบต่อองค์กร (Net Benefits)

รายการ	Mean	S.D.	ระดับ
ลดข้อผิดพลาดในการรายงาน	4.26	0.40	มาก
ลดเวลาตอบสนองเหตุการณ์	4.20	0.41	มาก
ช่วยผู้บริหารตัดสินใจ	4.23	0.40	มาก
ส่งเสริมวัฒนธรรมความปลอดภัย	4.17	0.38	มาก
สามารถขยายใช้ทั้งมหาวิทยาลัย	4.21	0.35	มาก
เป็นต้นแบบให้หน่วยงานอื่น	4.13	0.34	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.20	0.38	มาก

จากตารางที่ 15 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อผลกระทบของระบบต่อองค์กรโดยรวมอยู่ในระดับ มาก (Mean = 4.20, S.D. = 0.38) รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดได้แก่ระบบช่วยลดข้อผิดพลาดในการรายงาน (Mean = 4.26) รองลงมา ได้แก่ ช่วยผู้บริหารในการตัดสินใจ (Mean = 4.23) และ สามารถขยายการใช้งานทั้งมหาวิทยาลัยได้ (Mean = 4.21) ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการบริหารจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยภายในองค์กร

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปร (Correlation Matrix)

ตัวแปร	Mean	SD	US	SQ	IQ	SE	TA	NB
US	4.2171	0.4039	1.00	.555***	.483***		.504***	.476***
SQ	4.1967	0.36710	.555***	1.00	.358***		.329***	.320***
IQ	4.2078	0.4154	.483***	.358***	1.00		.276***	.240***
SE	4.19	0.39	0.512**	0.463**	0.401**	1.00	1.000	0.498**
TA	4.1656	0.3845	.504***	.329***	.276***	0.70**	1.00	.250***
NB	4.198	0.3846	.476***	.320***	.240***	0.64**	.250***	1.00

หมายเหตุ: $p < 0.01$

จากตารางที่ 16 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปร พบว่า ตัวแปรทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับสูง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.16–4.21 ผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation) พบว่า ตัวแปรทั้งหมดมีความสัมพันธ์กันในระดับ ปานกลางถึงระดับสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.240–0.555 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 นอกจากนี้ พบว่า ตัวแปร การยอมรับการใช้เทคโนโลยี (TA) มีความสัมพันธ์กับ ผลกระทบของระบบต่อองค์กร (NB) ในระดับสูงที่สุด ($r = 0.79$, $p < 0.01$) ซึ่งบ่งชี้ว่าการยอมรับระบบของผู้ใช้งานมีบทบาทสำคัญต่อ

ประสิทธิผลของระบบในระดับองค์กร โดยรวมแล้ว ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรด้านความสามารถในการใช้งานของระบบ คุณภาพของระบบ คุณภาพของข้อมูล และคุณภาพการบริการ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ การยอมรับการใช้เทคโนโลยีและผลกระทบของระบบต่อองค์กร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณภาพของระบบมีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จของการนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในการจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยภายในสถานศึกษา

อภิปรายผล

การวิจัยเรื่อง การประเมินคุณภาพระบบและการยอมรับเทคโนโลยีของแอปพลิเคชันการแจ้งเหตุด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในสถานศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพของระบบ การยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งาน และผลกระทบของระบบต่อประสิทธิภาพขององค์กร รวมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานระบบ โดยใช้กรอบแนวคิดที่บูรณาการระหว่าง Information Systems Success Model และ Technology Acceptance Theory ผลการวิจัยสามารถอภิปรายเชิงวิชาการโดยเชื่อมโยงกับสมมติฐานการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของผู้ใช้งานระบบและพฤติกรรมการใช้งานเทคโนโลยี ผลการศึกษาพบว่า ผู้ใช้งานส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาที่มีอายุต่ำกว่า 25 ปี และมีประสบการณ์ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในระดับปานกลางถึงสูง โดยผู้ใช้งานส่วนใหญ่เข้าถึงระบบผ่านโทรศัพท์มือถือ ซึ่งสะท้อนแนวโน้มการใช้งานเทคโนโลยีในยุคดิจิทัลที่เน้นการเข้าถึงระบบผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Fred D. Davis ผู้พัฒนา Technology Acceptance Model (TAM) ซึ่งระบุว่าประสบการณ์ของผู้ใช้และการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานระบบเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยี (Davis, 1989) นอกจากนี้ แนวโน้มการใช้งานระบบผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Al-Rahmi et al. (2018) และ Tarhini et al. (2017) ที่พบว่า การเข้าถึงระบบผ่านอุปกรณ์พกพามีบทบาทสำคัญต่อการยอมรับระบบสารสนเทศในสถาบันการศึกษา

2. คุณภาพของระบบและการใช้งานระบบ ผลการวิจัยพบว่าคุณภาพของระบบ คุณภาพของข้อมูล และคุณภาพของการบริการอยู่ในระดับสูงแสดงให้เห็นว่าคุณภาพของระบบสารสนเทศมีผลเชิงบวกต่อการใช้งานระบบและความพึงพอใจของผู้ใช้ ผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับแนวคิดของ William H. DeLone และ Ephraim R. McLean ใน Information Systems Success Model ที่ระบุว่า คุณภาพของระบบเป็นองค์ประกอบสำคัญของความสำเร็จของระบบสารสนเทศ (DeLone & McLean, 2003) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ ผลการศึกษาของ Petter et al. (2008), Urbach & Müller (2012), Ojo (2017), Rokhman et al. (2022) และ Rulinawatya et al. (2024) ที่พบว่าคุณภาพของระบบและข้อมูลมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับการใช้งานระบบและประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศในบริบทองค์กรและสถาบันการศึกษา

3. การยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งาน ผลการศึกษพบว่าผู้ใช้งานมีระดับการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของระบบอยู่ในระดับสูง แสดงให้เห็นว่าการรับรู้ถึงประโยชน์ของระบบและความง่ายในการใช้งานมีผลต่อความตั้งใจในการใช้ระบบ ผลการศึกษานี้สามารถอธิบายได้ด้วยแนวคิดของ Viswanath Venkatesh ใน Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) ซึ่งระบุว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยี ได้แก่ Performance Expectancy, Effort Expectancy, Social Influence และ Facilitating Conditions (Venkatesh et al., 2003) นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dwivedi et al. (2019), Al-Emran et al. (2018) และ Al-Rahmi et al. (2018) ที่พบว่าปัจจัยด้านประโยชน์ของระบบและความง่ายในการใช้งานมีบทบาทสำคัญต่อการยอมรับระบบดิจิทัลในสถาบันการศึกษาและองค์กรสมัยใหม่

4. ผลกระทบของระบบต่อประสิทธิภาพขององค์กร ผลการวิจัยพบว่าการนำระบบแอปพลิเคชันมาใช้ส่งผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพขององค์กร โดยเฉพาะในด้านการลดข้อผิดพลาดในการรายงานเหตุการณ์ การเพิ่มความรวดเร็วในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ และการสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร แสดงให้เห็นว่าการใช้งานระบบมีผลต่อผลประโยชน์ขององค์กร ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดของ DeLone and

McLean ที่เสนอว่าการใช้ระบบสารสนเทศสามารถสร้าง Net Benefits ต่อองค์กร เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานและการปรับปรุงการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ (DeLone & McLean, 2003) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Seddon (1997), Petter et al. (2008) และ Sabeh et al. (2021) ที่พบว่าการใช้ระบบสารสนเทศสามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพขององค์กรในหลายมิติ

5. ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพระบบ การยอมรับเทคโนโลยี และผลลัพธ์ขององค์กร ผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์พบว่าคุณภาพของระบบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการยอมรับเทคโนโลยี และการยอมรับเทคโนโลยีมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลกระทบของระบบต่อองค์กร ซึ่งสนับสนุนสมมติฐาน H9–H10 ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่าความสำเร็จของระบบสารสนเทศไม่ได้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับ การยอมรับของผู้ใช้งานและการนำระบบไปใช้จริงในองค์กร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wixom & Todd (2005), Petter et al. (2008), Al-Rahmi et al. (2018) และ Dwivedi et al. (2019) ที่พบว่าการบูรณาการระหว่างโมเดล IS Success Model และ Technology Acceptance Theory สามารถอธิบายความสำเร็จของระบบสารสนเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นัยเชิงทฤษฎีในเชิงทฤษฎี งานวิจัยนี้ช่วยขยายองค์ความรู้ด้านระบบสารสนเทศโดยการบูรณาการกรอบแนวคิด Information Systems Success Model และ Technology Acceptance Theory เพื่ออธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของระบบสารสนเทศด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในบริบทของสถานศึกษา ซึ่งช่วยยืนยันความสามารถของโมเดลทั้งสองในการอธิบายพฤติกรรมการใช้งานเทคโนโลยีในบริบทขององค์กรด้านการศึกษา

นัยเชิงปฏิบัติ ในเชิงปฏิบัติ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศด้านความปลอดภัยควรให้ความสำคัญกับคุณภาพของระบบ ความเสถียรของระบบ ความถูกต้องของข้อมูล และประสบการณ์ของผู้ใช้งาน เพื่อส่งเสริมการยอมรับเทคโนโลยีและเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในองค์กร

ข้อจำกัดของการวิจัย แม้ว่างานวิจัยนี้จะให้ข้อค้นพบที่สำคัญเกี่ยวกับการประเมินระบบสารสนเทศด้านความปลอดภัยในสถานศึกษา แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ การ

เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างในสถาบันการศึกษาเพียงแห่งเดียว การใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือหลักในการเก็บข้อมูล และการศึกษาในช่วงเวลาหนึ่ง (cross-sectional study) ข้อจำกัดดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการนำผลการวิจัยไปอธิบายบริบทอื่น ๆ ได้อย่างสมบูรณ์

แนวทางการวิจัยในอนาคต การวิจัยในอนาคตควรพิจารณาแนวทางดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาในหลายสถาบันการศึกษาเพื่อเพิ่มความสามารถในการอธิบายผลการวิจัย
- 2) ใช้วิธีวิจัยแบบ mixed methods เพื่อเพิ่มความลึกของข้อมูล
- 3) ศึกษาปัจจัยเพิ่มเติม เช่น ความเชื่อมั่นด้านความปลอดภัยของข้อมูล (Information Security Trust) และประสบการณ์ผู้ใช้ (User Experience)
- 4) วิเคราะห์โมเดลเชิงสาเหตุด้วย Structural Equation Modeling (SEM) เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระดับที่ลึกขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ โดยงานวิจัยได้รับ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปี พ.ศ. 2568 ภายใต้การกำกับดูแลของ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนางานวิจัยทางวิชาการ นอกจากนี้ งานวิจัยฉบับนี้ได้ผ่านการพิจารณาและรับรองด้านจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จาก สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา โดยกระบวนการดำเนินการวิจัยเป็นไปตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ และสอดคล้องกับแนวทางมาตรฐานสากลตามหลัก International Council for Harmonisation – Good Clinical Practice (ICH-GCP) เพื่อคุ้มครองสิทธิ ความปลอดภัย และความเป็นส่วนตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคน

ผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษา อาจารย์ และบุคลากรของมหาวิทยาลัยที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี รวมถึงผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และข้อคิดเห็นเชิงวิชาการอันเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงและพัฒนางานวิจัยให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในสถานศึกษา รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการความปลอดภัยในองค์กรอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

โยธิน พลประถม, และ คณกร สวางเจริญ. (2568). แอปพลิเคชันสำหรับรายงานและตรวจติดตามปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยภายในสถาบันการศึกษา [ภาพหน้าจอจากแอปพลิเคชันที่พัฒนาโดยใช้ Microsoft Power Apps]. ระบบภายในองค์กร.

Abdullah Al-Rahmi et al. (2021). The influence of information system success and technology acceptance model on social media factors in education. *Sustainability*, 13(14), 7770. <https://doi.org/10.3390/su13147770>

Adeyemi, I. O., & Issa, A. O. (2020). Integrating Information System Success Model (ISSM) and Technology Acceptance Model (TAM): Proposing students' satisfaction with university web portal model. *Record and Library Journal*, 6(1), 69–79. <https://doi.org/10.20473/rlj.V6-I1.2020.69-79>

Akyıldız, C. (2023). Integration of digitalization into occupational health and safety and its applicability: A literature review. *European Research Journal*, 9(6), 1509–1519. <https://doi.org/10.18621/eurj.1352743>

Al-Emran, M., Mezhuyev, V., & Kamaludin, A. (2018). Technology acceptance model in M-learning context: A systematic review. *Computers & Education*, 125, 389–412. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.008>

Al-Rahmi, A. M., Shamsuddin, A., Alturki, U., Aldraiweesh, A., Yusof, F. M., & Aljeraiwi, A. A. (2021). The influence of information system success and technology acceptance model on social media factors in education. *Sustainability*, 13(14), 7770. <https://doi.org/10.3390/su13147770>

Al-Rahmi, W. M., Alias, N., Othman, M. S., Marin, V. I., & Tur, G. (2018). A model

- of factors affecting learning performance through the use of social media in Malaysian higher education. *Computers & Education*, 121, 59–72. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.02.010>
- Boonruksa, P., Nontapa, S., & Theppitak, C. (2024). Occupational health and safety digitalization in Thailand: A framework and case study. *Journal of UOEH*, 46(1), 93–101. <https://doi.org/10.7888/juoeh.46.93>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- DeLone, W. H., & McLean, E. R. (2003). The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update. *Journal of Management Information Systems*, 19(4), 9–30. <https://doi.org/10.1080/07421222.2003.11045748>
- Dengler, K., Hiesinger, K., & Tisch, A. (2022). Digital transformation: The role of computer use in employee health. *Economics & Human Biology*, 46, 101137. <https://doi.org/10.1016/j.ehb.2022.101137>
- Dinesh T. Naidoo (2023). Integrating TAM and IS success model: Exploring the role of blockchain and AI in predicting learner engagement and performance in e-learning. *Frontiers in Computer Science*, 5, 1227749. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2023.1227749>
- Dodoo, J. E., Al-Samarraie, H., Alzahrani, A. I., Lonsdale, M., & Alalwan, N. (2024). Digital innovations for occupational safety: Empowering workers in hazardous environments. *Workplace Health & Safety*, 72(3), 84–95. <https://doi.org/10.1177/21650799231215811>
- Dwivedi, Y. K., Rana, N. P., Jeyaraj, A., Clement, M., & Williams, M. D. (2019). Re-

- examining the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT): Towards a revised theoretical model. *Information Systems Frontiers*, 21(3), 719–734. <https://doi.org/10.1007/s10796-017-9774-y>
- Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1–4. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>
- Fred D. Davis (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Håkansta, C., Asp, A., & Palm, K. (2025). Effects of work-related digital technology on occupational health in the public sector: A scoping review. *Work*, 81(2). <https://doi.org/10.1177/10519815251320274>
- Ibrahim O. Adeyemi & A. O. Issa (2020). Integrating Information System Success Model (ISSM) and Technology Acceptance Model (TAM): Proposing students' satisfaction with university web portal model. *Record and Library Journal*, 6(1), 69–79. <https://doi.org/10.20473/rlj.V6-I1.2020.69->
- Legramante, D., Azevedo, A., & Azevedo, J. M. (2023). Integration of the technology acceptance model and the information systems success model in the analysis of Moodle's satisfaction and continuity of use. *International Journal of Information and Learning Technology*, 40(5), 467–484. <https://doi.org/10.1108/IJILT-12-2022-0231>
- Naidoo, D. T. (2023). Integrating TAM and IS success model: Exploring the role of blockchain and AI in predicting learner engagement and

- performance in e-learning. *Frontiers in Computer Science*, 5, 1227749.
<https://doi.org/10.3389/fcomp.2023.1227749>
- Ojo, A. I. (2017). Validation of the DeLone and McLean Information Systems Success Model. *Healthcare Informatics Research*, 23(1) , 60– 66.
<https://doi.org/10.4258/hir.2017.23.1.60>
- Petter, S., DeLone, W., & McLean, E. (2008). Measuring information systems success: Models, dimensions, measures, and interrelationships. *European Journal of Information Systems*, 17(3), 236–263.
<https://doi.org/10.1057/ejis.2008.15>
- Rokhman, A., Hadiwidjojo, D., & Noermijati, N. (2022). Information system success model in public sector organizations. *International Journal of Public Sector Management*, 35(2), 237–252. <https://doi.org/10.1108/IJPSM-06-2021-0151>
- Rokhman, F., Mukhibad, H., Hapsoro, B. B., & Nurkhin, A. (2022). E-learning evaluation during the COVID-19 pandemic era based on the updated DeLone and McLean information systems success model. *Cogent Education*. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2022.2093490>
- Rulinawaty, R., Hidayat, R., & Wibowo, A. (2024). Evaluating information system success in digital public services. *Government Information Quarterly*, 41(1), 101867. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2023.101867>
- Rulinawaty, R., et al. (2024). Investigating the influence of the updated DeLone and McLean information system success model on the effectiveness of learning management system implementation. *Cogent Education*. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2365611>
- Sabeh, H. M., Al-Adwan, A. S., & Al-Adwan, A. (2021). The impact of information

systems on organizational performance. *International Journal of Data and Network Science*, 5(2), 151–162.

<https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2021.2.002>

Sabeh, H. N., Husin, M. H., Kee, D. M. H., Baharudin, A. S., & Abdullah, R. (2021).

A systematic review of the DeLone and McLean model of information systems success in an e-learning context (2010–2020). *IEEE Access*.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3084815>

Seddon, P. B. (1997). A respecification and extension of the DeLone and McLean model of IS success. *Information Systems Research*, 8(3), 240–253.

<https://doi.org/10.1287/isre.8.3.240>

Tarhini, A., Hone, K., & Liu, X. (2017). Measuring the moderating effect of gender and age on e-learning acceptance in developing countries.

Computers in Human Behavior, 35, 238–249.

<https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.02.012>

Urbach, N., & Müller, B. (2012). The updated DeLone and McLean model of information systems success. In Y. K. Dwivedi et al. (Eds.), *Information systems theory* (pp. 1–18). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6108-2_1

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478. <https://doi.org/10.2307/30036540>

Viswanath Venkatesh, Michael G. Morris, Gordon B. Davis, & Fred D. Davis(2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478. <https://doi.org/10.2307/30036540>

- Wahyuningsih, S. S., Sumerli, C. H., Rahayu, N., Nuryanto, U. W., & Ramadhani, B. (2024). Application of Technology Acceptance Model and DeLone and McLean IS Success Model to measure information system design for academic activities in higher education institution. *Jurnal Informasi dan Teknologi*, 6(1), 43–49. <https://doi.org/10.60083/jidt.v6i1.470>
- Weyant, E. (2022). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (5th ed.), by John W. Creswell and J. David Creswell. *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 19(1–2), 54–55. <https://doi.org/10.1080/15424065.2022.2046231>
- William H. DeLone & Ephraim R. McLean (2003). The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update. *Journal of Management Information Systems*, 19(4), 9–30. <https://doi.org/10.1080/07421222.2003.11045748>
- Wixom, B. H., & Todd, P. A. (2005). A theoretical integration of user satisfaction and technology acceptance. *Information Systems Research*, 16(1), 85–102. <https://doi.org/10.1287/isre.1050.0042>

การประเมินพื้นที่เสี่ยงไฟป่าโดยการบูรณาการข้อมูลจุดความร้อนจากดาวเทียมและปัจจัยพฤติกรรมมนุษย์ : กรณีศึกษา

อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน

Forest Fire Risk Assessment Using Integrated Satellite Hotspot Data and Human Behavioral Factors: A Case Study of Lam Nam Nan National Park

สุภาวดี ซ่งกา¹, ปกรณ์ เข้มมงคล¹, ครรชิต พิระภาค¹,

ธีรศักดิ์ อุปการ¹, สารัลย์ กระจง², รัชดา คำจริง^{1*}

Suphawadi Songka¹, Pakorn Kemmongkol¹, Kunchit Pirapake¹,

Theerasak Ooppakarn¹, Saran Krachong², Ratchada Kamching^{1*}

¹สาขาเทคโนโลยีสำรวจและภูมิสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

²สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

¹ Survey and Geo-Informatics Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University

² Computer Engineering Program, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University

* Corresponding author : k.ratchada.ae25@gmail.com

Received 31 Mar. 2026 Revised 30 May. 2026 Accepted 10 Jun. 2026

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของจุดความร้อนย้อนหลัง พฤติกรรมมนุษย์ และปัจจัยด้านการเข้าถึงพื้นที่ที่มีผลต่อการเกิดไฟป่า และเพื่อพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่สำหรับประเมินความเสี่ยงการเกิดไฟป่าในอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน การวิจัยใช้ข้อมูลจุดความร้อนย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ. 2564–2568) ข้อมูลพื้นที่เก็บหาของป่า(ตัวแทนพฤติกรรมของมนุษย์) และข้อมูลเส้นทางเข้าออกพื้นที่ป่า โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิคระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ Kernel Density, Buffer Analysis, Reclassification

และ Overlay Analysis และตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบแผนที่ความเสี่ยงไฟฟ้ากับตำแหน่งจุดความร้อนในปีล่าสุด ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดไฟป่ามักเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของจุดความร้อนสูง มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรป่าไม้ของชุมชนอย่างต่อเนื่อง และสามารถเข้าถึงได้สะดวก โดยเฉพาะในพื้นที่ด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศใต้ของอุทยาน ขณะที่พื้นที่ที่อยู่ห่างไกลจากเส้นทางและมีกิจกรรมของมนุษย์น้อยมีความเสี่ยงต่ำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกระดับความเสี่ยงออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ เสี่ยงมาก เสี่ยงปานกลาง เสี่ยงน้อย และเสี่ยงน้อยมาก โดยพื้นที่ส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับความเสี่ยงน้อยมาก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการบูรณาการข้อมูลจุดความร้อนร่วมกับข้อมูลพฤติกรรมมนุษย์และการเข้าถึงพื้นที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินความเสี่ยงไฟฟ้า และสามารถนำไปใช้สนับสนุนการวางแผนป้องกันไฟป่าในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ไฟป่า, จุดความร้อน, พฤติกรรมมนุษย์, การวิเคราะห์เชิงพื้นที่, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Abstract

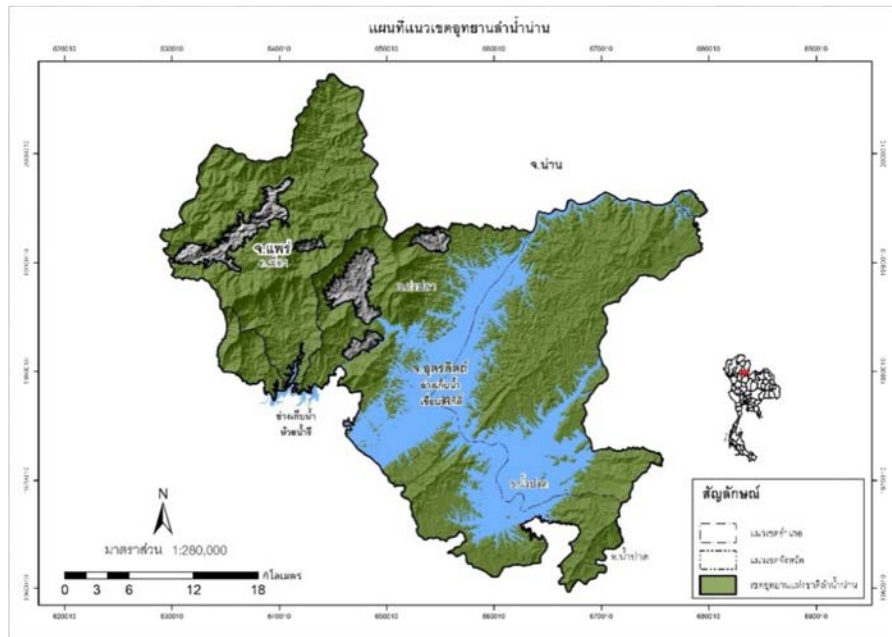
This study aims to analyze the spatial relationships among historical hotspot data, human activities, and accessibility factors influencing forest fire occurrence, and to develop a spatial model for forest fire risk assessment in Lam Nam Nan National Park, Thailand. This study utilized five-year historical hotspot data from 2021 to 2025, forest product collection location data, used as a proxy for human behavior, and road network data. Spatial analysis techniques, including Kernel Density, Buffer Analysis, Reclassification, and Overlay Analysis, were applied using a Geographic Information System (GIS). The results indicate that high-risk areas are primarily located in regions with high hotspot density, intensive human activities, and easy accessibility, particularly in the eastern, northeastern, and southern parts of the study area. In contrast, areas located farther from access routes and with lower human activity exhibit lower fire risk levels. The developed model classifies forest fire risk into four levels: high, moderate, low, and very low, with most of the area categorized as low risk. The findings demonstrate that integrating hotspot data with human behavior and accessibility factors enhances the effectiveness of forest fire risk assessment and can support proactive fire management planning in protected areas.

Keywords: Forest fire, Hotspot, Human behavior, Spatial analysis, Geographic Information System

บทนำ

ไฟป่า (Forest fire) เป็นหนึ่งในภัยพิบัติที่ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อระบบนิเวศ ทรัพยากรป่าไม้ และคุณภาพสิ่งแวดล้อมในระดับภูมิภาคและระดับโลก การเกิดไฟป่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อเพลิงธรรมชาติ สภาพภูมิอากาศ และกิจกรรมของมนุษย์ โดยเมื่อเกิดไฟป่าในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ การเสื่อมโทรมของดิน และการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ (Bowman et al., 2009; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2020)

ในบริบทของประเทศไทย พบว่าสาเหตุหลักของการเกิดไฟป่าส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของมนุษย์มากกว่าปัจจัยทางธรรมชาติ โดยเฉพาะการใช้ไฟในการเก็บหาของป่า การเตรียมพื้นที่ทางการเกษตร การล่าสัตว์ และความประมาทจากการใช้ไฟในพื้นที่ป่า ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกิดไฟป่าอย่างต่อเนื่องในหลายพื้นที่ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007; กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2567) กิจกรรมเหล่านี้มักเกิดขึ้นในพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย และมีความสัมพันธ์กับวิถีชีวิตของชุมชนในพื้นที่ป่า



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา

อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์และจังหวัดแพร่ มีพื้นที่ประมาณ 624,468 ไร่ หรือ 999.15 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ที่มีความสำคัญด้านความหลากหลายทางชีวภาพและเป็นแหล่งต้นน้ำลำธารที่สำคัญของประเทศ อย่างไรก็ตาม ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา พื้นที่ดังกล่าวประสบกับปัญหาไฟป่าอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมกราคมถึงเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีความแห้งแล้งสูงและมีกิจกรรมของมนุษย์ในพื้นที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดจุดความร้อน (Hotspots) กระจายตัวในพื้นที่จำนวนมาก และบางพื้นที่มีการเกิดไฟซ้ำซาก (recurring fire) (Giglio, Schroeder, & Justice, 2016; สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2566) (ภาพที่ 1)

ปัจจุบันเทคโนโลยีดาวเทียม เช่น ระบบตรวจจับจุดความร้อนจากดาวเทียม Suomi NPP และ VIIRS ถูกนำมาใช้ในการติดตามและเฝ้าระวังสถานการณ์ไฟป่าอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถตรวจจับตำแหน่งการเกิดไฟได้อย่างรวดเร็วและครอบคลุมพื้นที่กว้าง อย่างไรก็ตาม การใช้ข้อมูลจุดความร้อนเพียงอย่างเดียวอาจยังไม่เพียงพอในการอธิบายหรือคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงไฟป่าในอนาคตได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากยังขาดการบูรณาการข้อมูลด้านพฤติกรรมมนุษย์และปัจจัยด้านการเข้าถึงพื้นที่ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดไฟป่า (Chuvieco et al., 2010; Jaiswal, Mukherjee, Raju, & Saxena, 2002)

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์เชิงพื้นที่โดยบูรณาการข้อมูลจุดความร้อนย้อนหลังร่วมกับข้อมูลพฤติกรรมมนุษย์ โดยใช้ตำแหน่งพื้นที่เก็บของป่าเป็นตัวแทนข้อมูลและปัจจัยด้านการเข้าถึงพื้นที่ โดยใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) เพื่อพัฒนาแบบจำลองและจัดทำแผนที่แสดงระดับความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน ผลลัพธ์จากการศึกษาจะช่วยสนับสนุนการวางแผนป้องกันไฟป่า การบริหารจัดการเชื้อเพลิง และการเฝ้าระวังเชิงรุกในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในพื้นที่อื่นของประเทศไทยได้ต่อไป

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดความเสี่ยงไฟป่าและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ความเสี่ยงไฟป่า (forest fire risk) หมายถึง โอกาสหรือแนวโน้มที่พื้นที่หนึ่งจะเกิดไฟป่า ภายใต้เงื่อนไขของปัจจัยแวดล้อมและกิจกรรมของมนุษย์ที่เอื้อต่อการเกิดไฟ โดยแตกต่างจากความรุนแรงของไฟป่า (fire severity หรือ fire intensity) ซึ่งหมายถึงระดับการเผาไหม้หรือผลกระทบที่เกิดขึ้นภายหลังเหตุการณ์ไฟป่า ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการประเมินพื้นที่เสี่ยงไฟป่า เพื่อระบุบริเวณที่มีแนวโน้มเกิดไฟป่าและสนับสนุนการวางแผนป้องกันเชิงพื้นที่ จุดความร้อน (Hotspot) หมายถึง ตำแหน่งที่ดาวเทียมตรวจพบค่าความผิดปกติทางความร้อนบนพื้นผิวโลก ซึ่งอาจชี้ถึงการเผาไหม้หรือการเกิดไฟป่าในพื้นที่นั้น ทั้งนี้ จุดความร้อนไม่ได้หมายถึงขอบเขตพื้นที่ไฟไหม้ทั้งหมด แต่ใช้เป็นข้อมูลเชิงตำแหน่งสำหรับวิเคราะห์แนวโน้มการเกิดไฟป่า พฤติกรรมมนุษย์ (Human behavior) หมายถึง กิจกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ป่าและอาจมีผลต่อการเกิดไฟป่า ในการศึกษาที่ใช้ข้อมูลตำแหน่งพื้นที่เก็บหาของป่าเป็นตัวแทนพฤติกรรมมนุษย์ เนื่องจากสะท้อนการเข้าใช้พื้นที่ป่าของชุมชน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงไฟป่าสามารถจำแนกได้เป็นหลายกลุ่ม ได้แก่ ปัจจัยด้านภูมิอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ ปริมาณและสภาพของเชื้อเพลิง รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ (Bowman et al., 2009) ในพื้นที่ป่าเขตร้อนและพื้นที่ป่าอนุรักษ์ของประเทศไทย ปัจจัยด้านมนุษย์มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดไฟป่า โดยเฉพาะกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟในพื้นที่ป่าและพื้นที่เกษตรกรรม เช่น การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก การล่าสัตว์ และการเก็บหาของป่า (FAO, 2007; อส., 2567)

ในการศึกษานี้ ข้อมูลตำแหน่งพื้นที่เก็บหาของป่าถูกใช้เป็นตัวแทนของพฤติกรรมมนุษย์ เนื่องจากสะท้อนการเข้าใช้ประโยชน์จากทรัพยากรป่าไม้ของชุมชนในพื้นที่ ขณะที่ข้อมูลเส้นทางเข้าออกพื้นที่ป่าถูกใช้เป็นตัวแทนของปัจจัยด้านการเข้าถึงพื้นที่ เนื่องจากพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงได้สะดวกก็มีโอกาสเกิดกิจกรรมของมนุษย์สูงกว่าพื้นที่ห่างไกล

2. การใช้ข้อมูลจุดความร้อนจากดาวเทียมในการติดตามไฟป่า

ข้อมูลจุดความร้อน (hotspot) คือ ข้อมูลตำแหน่งความผิดปกติทางความร้อนที่ตรวจจับได้จากเซนเซอร์บนดาวเทียม ซึ่งมักใช้เป็นตัวชี้วัดตำแหน่งที่อาจมีการเผาไหม้หรือไฟป่าเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ดาวเทียมบันทึกข้อมูล เทคโนโลยีสำรวจระยะไกล เช่น MODIS และ VIIRS มีบทบาทสำคัญในการติดตามไฟป่า เนื่องจากสามารถตรวจจับเหตุการณ์ไฟในพื้นที่กว้างและมีข้อมูลต่อเนื่องเชิงเวลา (Giglio et al., 2016; Schroeder, Oliva, Giglio, & Csiszar, 2014)

ข้อมูล VIIRS มีข้อได้เปรียบด้านความละเอียดเชิงพื้นที่เมื่อเทียบกับข้อมูลตรวจจับไฟที่มีความละเอียดหยาบกว่า และสามารถนำมาใช้สนับสนุนการติดตามสถานการณ์ไฟป่าและการวิเคราะห์รูปแบบการเกิดไฟในอดีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Schroeder et al., 2014) ซึ่งข้อมูลจุดความร้อนควรถูกตีความในฐานะตัวบ่งชี้ตำแหน่งการเกิดไฟหรือความผิดปกติทางความร้อน ไม่ใช่ขอบเขตพื้นที่ไหม้ทั้งหมด และไม่สามารถอธิบายสาเหตุของการเกิดไฟได้โดยตรง ดังนั้น การใช้ข้อมูลจุดความร้อนเพียงปัจจัยเดียวอาจไม่เพียงพอสำหรับการประเมินความเสี่ยงไฟป่าในเชิงสาเหตุ จึงควรนำมาวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยอื่น เช่น พฤติกรรมมนุษย์ การเข้าถึงพื้นที่ ลักษณะภูมิประเทศ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Chuvieco et al., 2010)

3. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประเมินความเสี่ยงไฟป่า

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) เป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินความเสี่ยงไฟป่า เนื่องจากสามารถบูรณาการข้อมูลหลายปัจจัยที่มีลักษณะเชิงพื้นที่เข้าด้วยกัน เช่น ตำแหน่งจุดความร้อน ระยะห่างจากถนน พื้นที่กิจกรรมของมนุษย์ ลักษณะภูมิประเทศ และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Chuvieco et al., 2010; Jaiswal et al., 2002) เทคนิคที่ใช้อยู่ ได้แก่ การวิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (Kernel Density) เพื่อระบุพื้นที่ที่มีการกระจุกตัวของเหตุการณ์ไฟ การวิเคราะห์ระยะห่าง (Buffer

Analysis) เพื่อประเมินอิทธิพลของการเข้าถึงพื้นที่ และการวิเคราะห์ซ้อนทับข้อมูล (Overlay Analysis) เพื่อรวมปัจจัยหลายด้านให้เป็นแผนที่ระดับความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงไฟป่ามีแนวโน้มใช้แนวทางแบบหลายปัจจัยมากขึ้น ตัวอย่างเช่น Talukdar, Ahmad, Goparaju, Choudhury, Qayum, & Rizvi (2024) วิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของไฟป่าในประเทศไทยและประเมินพื้นที่เสี่ยงไฟป่าในอนาคตโดยใช้ข้อมูลไฟป่าและเทคนิคภูมิสารสนเทศ ขณะที่ Nuthammachot and Stratoulis (2021) ประยุกต์ใช้ GIS ร่วมกับ Analytic Hierarchy Process (AHP) ในการประเมินความเสี่ยงไฟป่าในพื้นที่ป่าพรุ อำเภอกันทรวิชัย ประเทศไทย แสดงให้เห็นว่าการกำหนดน้ำหนักปัจจัยอย่างเป็นระบบสามารถช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของแผนที่ความเสี่ยงไฟป่าได้

นอกจากนี้ Kamyo et al. (2025) ได้ประเมินพื้นที่เสี่ยงไฟในจังหวัดแพร่โดยใช้แบบจำลอง MaxEnt ร่วมกับข้อมูลภูมิสารสนเทศ ซึ่งมีความใกล้เคียงกับบริบทพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ส่วน Hoang et al. (2020) และ Doan et al. (2024) ศึกษาการประเมินความเสี่ยงไฟป่าในประเทศเวียดนามโดยใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกล GIS และแบบจำลองเชิงพื้นที่ ซึ่งสะท้อนให้เห็นแนวโน้มการใช้ข้อมูลหลายปัจจัยและการตรวจสอบผลลัพธ์ด้วยตัวชี้วัดเชิงปริมาณ เช่น regression analysis หรือ ROC/AUC

4. งานวิจัยและความสำคัญของการศึกษา

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่างานวิจัยจำนวนมากใช้ข้อมูลจุดความร้อน ข้อมูลภูมิประเทศ ข้อมูลพืชพรรณ และปัจจัยการเข้าถึงพื้นที่ในการประเมินความเสี่ยงไฟป่า อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่นำข้อมูลพฤติกรรมมนุษย์ในระดับพื้นที่ โดยเฉพาะข้อมูลตำแหน่งพื้นที่เก็บหาของป่า มาบูรณาการร่วมกับข้อมูลจุดความร้อนและเส้นทางเข้าถึงพื้นที่ยังมีอยู่จำกัด โดยเฉพาะในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ของประเทศไทยซึ่งการเกิดไฟป่ามักเกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรป่าของชุมชน

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีความสำคัญทั้งในเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติ โดยนำข้อมูลจุดความร้อนย้อนหลังจากดาวเทียม ข้อมูลตำแหน่งพื้นที่เก็บหาของป่าซึ่งใช้เป็นตัวแทนพฤติกรรมมนุษย์ และข้อมูลเส้นทางเข้าออกพื้นที่ป่า มาวิเคราะห์ร่วมกันด้วยเทคนิค GIS เพื่อพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่สำหรับประเมินระดับความเสี่ยงไฟป่าในอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน ผลลัพธ์ที่ได้สามารถสนับสนุนการกำหนดพื้นที่เฝ้าระวัง การจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่เสี่ยง และการวางแผนป้องกันไฟป่าเชิงรุกในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดไฟฟ้า
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่และจัดทำแผนที่ความเสี่ยงไฟฟ้า

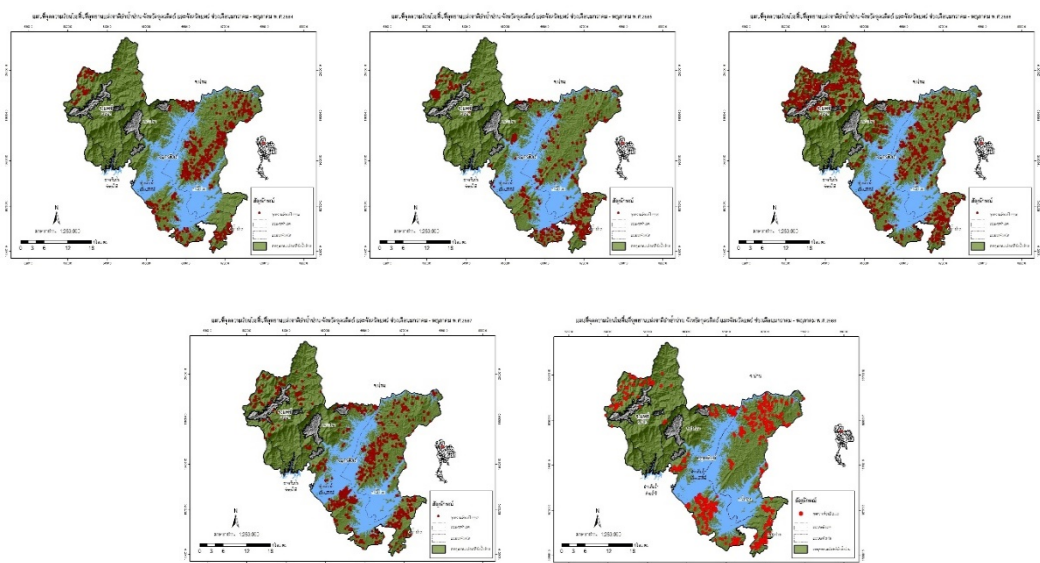
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Spatial Analysis) โดยใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าในอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่จำนวน 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่
ข้อมูลจุดความร้อนย้อนหลัง

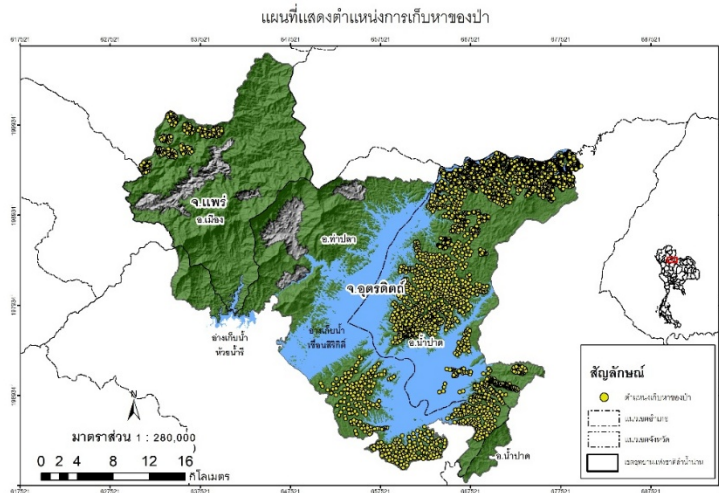
รวบรวมข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) ย้อนหลังระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2564–2568) จากระบบตรวจจับจุดความร้อนด้วยดาวเทียม Suomi NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership) โดยระบบตรวจวัด VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) ซึ่งอยู่ในรูปแบบข้อมูลจุด (Point data) พบว่า ปี พ.ศ. 2564 มีจำนวน 349 จุด ปี พ.ศ. 2565 มีจำนวน 234 จุด ปี พ.ศ. 2566 มีจำนวน 1,205 จุด ปี พ.ศ. 2567 มีจำนวน 707 จุด และปี พ.ศ. 2568 มีจำนวน 469 จุด (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แผนที่จุดความร้อน ระหว่างปี พ.ศ.2564 – พ.ศ. 2568

ข้อมูลพฤติกรรมมนุษย์

รวบรวมข้อมูลตำแหน่งพื้นที่เก็บหาของป่า ได้การรวบรวมตำแหน่งตั้งแต่อดีต-ปัจจุบันจากอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน ซึ่งสะท้อนกิจกรรมของมนุษย์ในพื้นที่ป่า โดยจัดเก็บในรูปแบบข้อมูลจุด (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แผนที่แสดงตำแหน่งการเก็บหาของป่า

ข้อมูลการเข้าถึงพื้นที่

รวบรวมข้อมูลเส้นทางเข้าออกพื้นที่ป่าในรูปแบบข้อมูลเชิงเส้น (Line data) เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ความสะดวกในการเข้าถึงพื้นที่ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 แผนที่แสดงเส้นทางถนนเข้าถึงพื้นที่

2. การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดถูกนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์(GIS) และจัดเก็บในรูปแบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geodatabase) จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และปรับระบบพิกัดให้อยู่ในระบบเดียวกัน (WGS 1984 UTM Zone 47N) เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ร่วมกันได้อย่างถูกต้อง

3. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของข้อมูล (Kernel Density)

การวิเคราะห์ความหนาแน่นของจุดความร้อนและข้อมูลตำแหน่งพื้นที่เก็บหาของป่าดำเนินการด้วยเครื่องมือ Kernel Density เพื่อให้การคำนวณระยะทางและพื้นที่ที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

ในการวิเคราะห์ Kernel Density กำหนดค่า Population field เป็น None เพื่อให้แต่ละจุดมีค่าน้ำหนักเท่ากัน กำหนดค่า Search Radius หรือ Bandwidth เท่ากับ 2,000 เมตร และกำหนด Output Cell Size เท่ากับ 375 เมตร โดยใช้ขอบเขตอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่านเป็นพื้นที่จำกัดการวิเคราะห์ ค่า Search Radius และ Cell Size ดังกล่าวถูกใช้เหมือนกันกับข้อมูลทุกชุด เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นสามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างเป็นระบบ

3.2 การวิเคราะห์ระยะห่างจากเส้นทาง (Buffer Analysis)

ข้อมูลเส้นทางเข้าออกพื้นที่ป่าถูกนำมาวิเคราะห์ระยะห่างโดยใช้วิธี Buffer เพื่อแบ่งช่วง ระยะห่างออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 1–500 เมตร, 501–1000 เมตร, 1001–1500 เมตร และ 1501 – 2000 เมตร โดยพื้นที่ที่อยู่ใกล้เส้นทางมากจะมีโอกาสเกิดกิจกรรมของมนุษย์ และเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าสูงกว่า โดยการกำหนดช่วงระยะทุก 500 เมตรใช้เพื่อจำแนกระดับอิทธิพลของการเข้าถึงพื้นที่จากใกล้ไปไกลอย่างเป็นระบบ และสอดคล้องกับแนวทางการศึกษาความเสี่ยงไฟป่าที่ใช้ระยะห่างจากถนนหรือเส้นทางเป็นปัจจัยด้านมนุษย์และการเข้าถึงพื้นที่ โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้ใช้ระยะใกล้ถนนเป็นตัวแปรสำคัญในการประเมินพื้นที่เสี่ยงไฟป่า เพื่อแสดงระดับความเสี่ยงที่ลดลงตามระยะห่างจากเส้นทาง (Jaiswal et al., 2002; Subedi et al., 2022) ดังนั้น การศึกษานี้จึงกำหนดช่วง Buffer 500 เมตร เพื่อ

สะท้อนการลดลงของอิทธิพลการเข้าถึงพื้นที่ต่อโอกาสเกิดไฟป่า และกำหนดระยะสูงสุด 2,000 เมตรให้สอดคล้องกับขอบเขตการวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากเส้นทางเข้าออกพื้นที่ป่า

3.3 การจัดชั้นข้อมูล (Reclassification)

ข้อมูลจากแต่ละปัจจัยถูกนำมาจัดระดับความเสี่ยงใหม่ โดยกำหนดเป็น 4 ระดับ ได้แก่ เสี่ยงมาก เสี่ยงปานกลาง เสี่ยงน้อย และเสี่ยงน้อยมาก พร้อมกำหนดค่าคะแนนตั้งแต่ 1-4 ตามระดับความเสี่ยง

3.4 การวิเคราะห์ซ้อนทับข้อมูล (Overlay Analysis)

การวิเคราะห์ซ้อนทับข้อมูลใช้แนวทางการให้น้ำหนักเท่ากันของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ จุดความร้อนย้อนหลัง ตำแหน่งพื้นที่เก็บหาของป่า และระยะห่างจากเส้นทางเข้าออกพื้นที่ป่า โดยกำหนดน้ำหนักในสัดส่วน 1:1:1 ต่อปัจจัย เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่เบื้องต้น และปัจจัยทั้งสามสะท้อนองค์ประกอบสำคัญที่แตกต่างกันของการเกิดไฟป่า ได้แก่ ประวัติการเกิดไฟ พฤติกรรมมนุษย์ และการเข้าถึงพื้นที่ ทั้งนี้ ผู้วิจัยตระหนักว่าวิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดเมื่อเทียบกับวิธีการกำหนดน้ำหนักอย่างเป็นระบบ เช่น Analytic Hierarchy Process (AHP) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยผ่านการเปรียบเทียบรายคู่ และได้รับการประยุกต์ใช้ร่วมกับ GIS ในการประเมินความเสี่ยงไฟป่าในหลายพื้นที่ [11,16]

4. การจำแนกระดับความเสี่ยงและการแสดงผล

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ถูกนำมาจำแนกระดับความเสี่ยงออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ พื้นที่เสี่ยงมาก พื้นที่เสี่ยงปานกลาง พื้นที่เสี่ยงน้อย พื้นที่เสี่ยงน้อยมาก โดยใช้วิธี Equal Interval ในการแบ่งช่วงข้อมูล และนำเสนอผลลัพธ์ในรูปแบบแผนที่ความเสี่ยงไฟป่า (Forest Fire Risk Map)

5. การตรวจสอบความสอดคล้องของผลการวิเคราะห์

การตรวจสอบความสอดคล้องของผลการวิเคราะห์ดำเนินการโดยนำแผนที่ความเสี่ยงไฟป่าที่ได้จากแบบจำลองไปซ้อนทับกับตำแหน่งจุดความร้อนในปีล่าสุด ซึ่งไม่ได้ถูกใช้เป็นข้อมูลหลักในการสร้างแบบจำลอง เพื่อประเมินว่าพื้นที่ที่ถูกจำแนกให้อยู่ในระดับความเสี่ยงสูงและความเสี่ยงปานกลางมีความสอดคล้องกับตำแหน่งการเกิดจุดความร้อนจริงหรือไม่

จากนั้นคำนวณจำนวนและร้อยละของจุดความร้อนปีล่าสุดที่ตกอยู่ในแต่ละระดับความเสี่ยง ได้แก่ เสี่ยงมาก เสี่ยงปานกลาง เสี่ยงน้อย และเสี่ยงน้อยมาก โดยใช้สูตร ร้อยละของจุดความร้อนในแต่ละระดับความเสี่ยง = (จำนวนจุดความร้อนที่ตกอยู่ในระดับความเสี่ยงนั้น / จำนวนจุดความร้อนปีล่าสุดทั้งหมด) $\times 100$

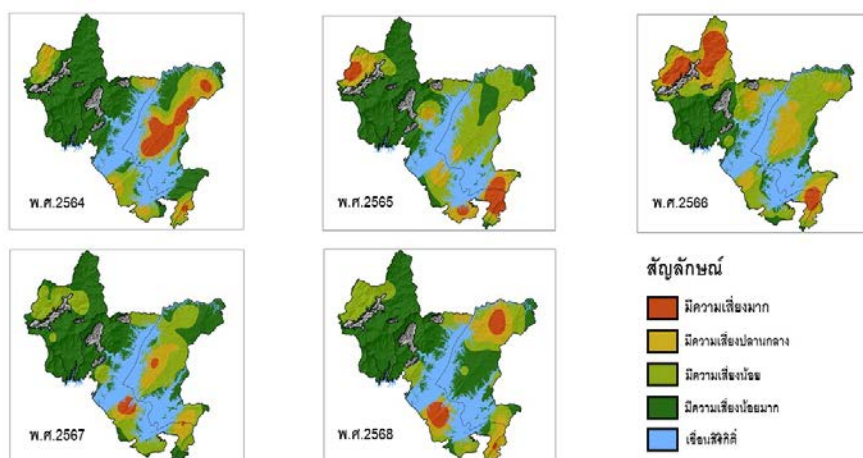
ผลการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ดังกล่าวใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลอง โดยหากตำแหน่งจุดความร้อนในปีล่าสุดกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่ที่แบบจำลองจำแนกเป็นพื้นที่เสี่ยงมากหรือเสี่ยงปานกลาง ซึ่งสะท้อนว่าแบบจำลองสามารถแสดงแนวโน้มพื้นที่เสี่ยงไฟฟ้าได้สอดคล้องกับรูปแบบการเกิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ศึกษา

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของจุดความร้อนย้อนหลัง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจุดความร้อนย้อนหลังระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2564–2568) พบว่ามีการเกิดจุดความร้อนในพื้นที่อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่านอย่างต่อเนื่อง โดยปี พ.ศ. 2566 มีจำนวนจุดความร้อนสูงที่สุด เท่ากับ 1,205 จุด รองลงมาคือปี พ.ศ. 2567 และ 2568 มีจำนวน 707 และ 469 จุด ตามลำดับ ขณะที่ปี พ.ศ. 2564 และ 2565 พบจำนวนจุดความร้อน 349 และ 234 จุด ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Kernel Density แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของจุดความร้อนสูงมักกระจุกตัวอยู่ในบริเวณขอบพื้นที่อุทยานและพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงได้สะดวก โดยมีลักษณะการเกิดไฟซ้ำซากในบางพื้นที่ ซึ่งสะท้อนถึงความเสี่ยงของการเกิดไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าว (ภาพที่ 5)

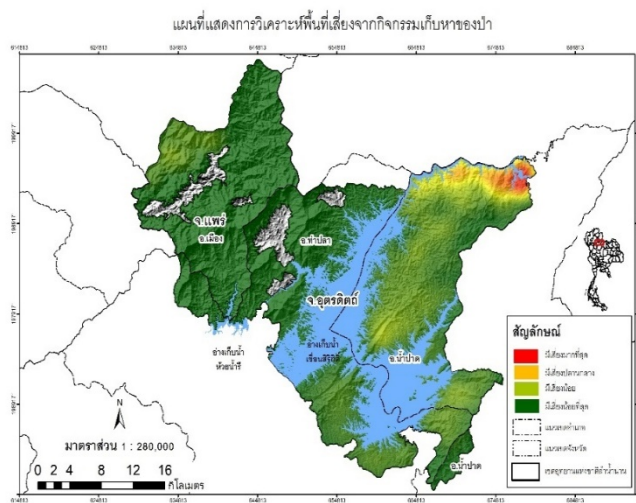


ภาพที่ 5 แผนที่วิเคราะห์ความหนาแน่นการเกิดไฟฟ้า

2. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยพฤติกรรมมนุษย์

จากการวิเคราะห์ตำแหน่งพื้นที่เก็บหาของป่า พบว่าพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของกิจกรรมมนุษย์สูงมีความสัมพันธ์กับการเกิดจุดความร้อนในระดับสูง โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรป่าไม้ เช่น การเก็บเห็ด ผักหวาน และของป่าอื่น ๆ

ผลการวิเคราะห์ Kernel Density ของข้อมูลพฤติกรรมมนุษย์แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงมักอยู่ใกล้ชุมชนและเส้นทางเข้าออกพื้นที่ป่า ซึ่งมีแนวโน้มเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าสูง (ภาพที่ 6)

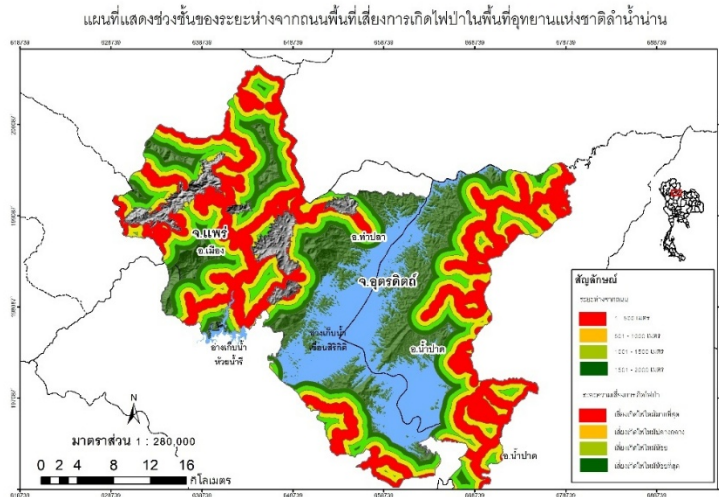


ภาพที่ 6 แผนที่แสดงการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงจากกิจกรรมเก็บหาของป่า

3. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยการเข้าถึงพื้นที่

จากการวิเคราะห์ระยะห่างจากเส้นทางเข้าออกพื้นที่ป่าด้วยวิธี Buffer พบว่าพื้นที่ที่อยู่ใกล้เส้นทางในระยะ 1–500 เมตร มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าสูงที่สุด รองลงมาคือช่วงระยะ 501–1,000 เมตร และลดลงตามลำดับเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่าความสะดวกในการเข้าถึงพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับโอกาสในการเกิดกิจกรรมของมนุษย์ และส่งผลต่อความเสี่ยงของการเกิดไฟป่าในพื้นที่ (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 แผนที่แสดงช่วงชั้นของระยะห่างจากถนนพื้นที่เสี่ยงการเกิดไฟฟ้า

4. ผลการวิเคราะห์แบบจำลองพื้นที่เสี่ยงไฟฟ้า

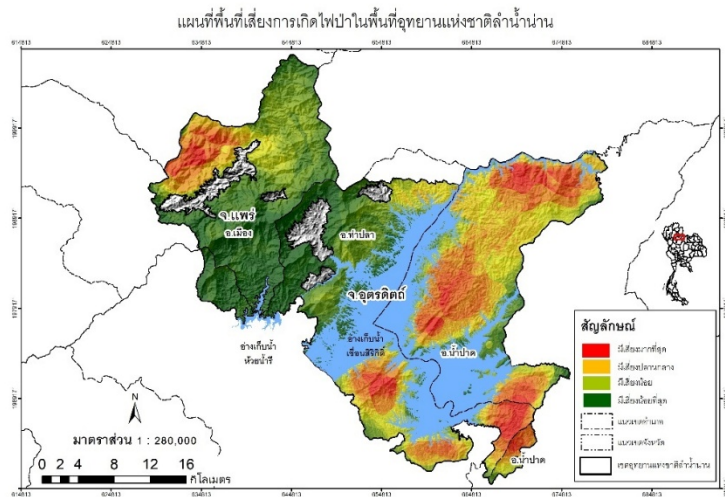
เมื่อทำการซ้อนทับข้อมูลจากทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ จุดความร้อนย้อนหลัง พุทธิกรรมมนุษย์ และระยะห่างจากเส้นทาง โดยใช้วิธี Overlay Analysis พบว่าสามารถจำแนกระดับความเสี่ยงของพื้นที่ออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ เสี่ยงมาก เสี่ยงปานกลาง เสี่ยงน้อย และเสี่ยงน้อยมาก

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองพื้นที่เสี่ยงไฟฟ้า พบว่าสามารถจำแนกระดับความเสี่ยงของพื้นที่ออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ เสี่ยงมาก เสี่ยงปานกลาง เสี่ยงน้อย และเสี่ยงน้อยมาก โดยมีพื้นที่ที่สามารถจำแนกได้รวม 622,839.33 ไร่ ผลการจำแนกพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในระดับเสี่ยงน้อยมาก มีพื้นที่ 222,367.67 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 35.70 รองลงมาคือพื้นที่เสี่ยงน้อย มีพื้นที่ 148,863.81 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 23.90 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง มีพื้นที่ 136,218.22 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 21.87 และพื้นที่เสี่ยงมาก มีพื้นที่ 115,389.63 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 18.53 ตามลำดับ รวมเป็นร้อยละ 100.00 ของพื้นที่ที่นำมาจำแนกความเสี่ยง

ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่านทั้งหมด 624,468 ไร่ พบว่ามีพื้นที่แตกต่างประมาณ 1,628.67 ไร่ หรือร้อยละ 0.26 ซึ่งอาจเกิดจากพื้นที่ No Data บริเวณขอบเขตการตัดข้อมูล raster ดังนั้น ผู้วิจัยจึงรายงานร้อยละของระดับความเสี่ยงโดยอ้างอิงจากพื้นที่ที่สามารถจำแนกผลได้จริง

จากภาพที่ 8 พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าสูงกระจุกตัวอยู่ในบริเวณด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในพื้นที่ตำบลท่า

แฟกและตำบลแสนตอ อำเภอน้ำปาด รวมถึงบริเวณด้านทิศใต้ในพื้นที่ตำบลผาเลือดและตำบลท่าปลา อำเภوتاปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ นอกจากนี้ ในบริเวณด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ตำบลช่อแฮและตำบลป่าแดง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ พบว่ามีลักษณะการเกิดไฟฟ้าช๊ากอย่างต่อเนื่องในหลายปี และจัดอยู่ในกลุ่มพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงที่สุด



ภาพที่ 8 แผนที่พื้นที่เสี่ยงการเกิดไฟฟ้าในพื้นที่

ทั้งนี้ พื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะร่วมกันคือมีเส้นทางเข้าออกพื้นที่ป่าจำนวนมาก และเป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรป่าไม้ของชุมชนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะกิจกรรมการเก็บหาของป่า ซึ่งส่งผลให้สามารถเข้าถึงพื้นที่ได้ง่าย และเพิ่มโอกาสในการเกิดไฟฟ้า

ในทางตรงกันข้าม พื้นที่บริเวณด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ได้แก่ พื้นที่ตำบลน้ำหมัน ตำบลจริม และตำบลนางพญา จังหวัดอุตรดิตถ์ รวมถึงบางส่วนของตำบลช่อแฮและตำบลป่าแดง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ พบว่ามีระดับความเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าต่ำที่สุด เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวตั้งอยู่ใกล้ขอบเขตอุทยานแห่งชาติ มีเส้นทางเข้าออกพื้นที่ป่าจำนวนน้อย และมีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรป่าไม้ของชุมชนในระดับต่ำ ส่งผลให้โอกาสในการเกิดกิจกรรมที่ก่อให้เกิดไฟป่าลดลง

ผลการวิเคราะห์โดยรวมแสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านพฤติกรรมมนุษย์และการเข้าถึงพื้นที่มีบทบาทร่วมกับรูปแบบการเกิดจุดความร้อนในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงไฟฟ้า โดยพื้นที่ที่มีทั้ง 3 ปัจจัยร่วมกันมีแนวโน้มเป็นพื้นที่เสี่ยงสูงอย่างชัดเจน

อภิปรายผล

ผลการศึกษานี้สามารถอภิปรายได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยทั้งในด้านการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยเชิงพื้นที่และการพัฒนาแบบจำลองพื้นที่เสี่ยงไฟฟ้า ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไฟฟ้า

จากผลการวิเคราะห์พบว่า จุดความร้อนย้อนหลัง พฤติกรรมมนุษย์ และปัจจัยด้านการเข้าถึงพื้นที่ มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่กับการเกิดไฟฟ้าอย่างชัดเจน โดยพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของจุดความร้อนสูงมักสอดคล้องกับพื้นที่ที่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้มข้นและสามารถเข้าถึงได้สะดวก ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าปัจจัยด้านมนุษย์มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดไฟฟ้าในพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaiswal et al., (2002) ที่พบว่าปัจจัยด้านการเข้าถึงพื้นที่ เช่น ระยะห่างจากถนน มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงของการเกิดไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ และยังสอดคล้องกับ Chuvieco et al. (2010) ที่ระบุว่ากระบวนการข้อมูลเชิงพื้นที่ร่วมกับปัจจัยด้านกิจกรรมมนุษย์สามารถช่วยอธิบายรูปแบบการเกิดไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ การที่พื้นที่ที่มีการเก็บหาของป่ามีความสัมพันธ์กับการเกิดไฟฟ้าในระดับสูง ยังสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะการใช้ทรัพยากรของชุมชนในพื้นที่ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าในประเทศไทย (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2567) โดยเฉพาะการใช้ไฟเพื่ออำนวยความสะดวกในการเก็บหาของป่า ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเกิดไฟฟ้าจากกิจกรรมมนุษย์ในประเทศเขตร้อน (FAO, 2007)

2. การประเมินแบบจำลองพื้นที่เสี่ยงไฟฟ้า

ผลการพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่โดยใช้เทคนิค GIS และการวิเคราะห์แบบซ้อนทับ (Overlay Analysis) พบว่าสามารถจำแนกระดับความเสี่ยงของพื้นที่ได้อย่างชัดเจน โดยพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีการเข้าถึงได้ง่ายและมีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรป่าไม้ของชุมชนอย่างต่อเนื่อง

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดของการประเมินความเสี่ยงไฟฟ้าที่ใช้การรวมปัจจัยหลายด้านเข้าด้วยกัน (multi-factor approach) ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยง (Chuvieco et al., 2010) อีกทั้งการใช้ข้อมูลจุดความร้อนย้อนหลังยัง

ช่วยสะท้อนรูปแบบการเกิดไฟในอดีต ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการประเมินความเสี่ยงในอนาคต (Giglio et al., 2016)

นอกจากนี้ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นยังสามารถสะท้อนพื้นที่ที่มีการเกิดไฟป่าซ้ำซากได้อย่างสอดคล้องกับข้อมูลจุดความร้อนในป่าล่าสุด แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแบบจำลองในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการวางแผนและบริหารจัดการไฟป่าในเชิงพื้นที่

ข้อจำกัดประการหนึ่งของการศึกษานี้คือ การกำหนดน้ำหนักของปัจจัยทั้งสามกลุ่มในสัดส่วนเท่ากัน ซึ่งแม้จะช่วยลดความลำเอียงจากการให้น้ำหนักโดยไม่มีหลักฐานเชิงประจักษ์ แต่ยังไม่สามารถสะท้อนระดับอิทธิพลที่แตกต่างกันของแต่ละปัจจัยต่อการเกิดไฟป่าได้อย่างสมบูรณ์ ในการศึกษาต่อไปควรใช้วิธีการกำหนดน้ำหนักที่เป็นระบบมากขึ้น เช่น Analytic Hierarchy Process (AHP) ซึ่งเป็นวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยเป็นคู่ ๆ และถูกนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงไฟป่าร่วมกับ GIS อย่างแพร่หลาย (Saaty, 1987) รวมถึงควรมีการวิเคราะห์ความไวของน้ำหนักปัจจัย เพื่อประเมินว่าการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักส่งผลต่อการจำแนกระดับพื้นที่เสี่ยงไฟป่าอย่างไร

3. ความสำคัญเชิงพื้นที่และการนำไปใช้

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าปัจจัยด้านพฤติกรรมมนุษย์และการเข้าถึงพื้นที่เป็นตัวกำหนดสำคัญของความเสี่ยงไฟป่าในพื้นที่อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน ซึ่งแตกต่างจากแนวทางการศึกษาบางส่วนที่เน้นเฉพาะปัจจัยทางกายภาพหรือข้อมูลจากดาวเทียมเพียงอย่างเดียว

ดังนั้นการบูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่ร่วมกับข้อมูลพฤติกรรมมนุษย์จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงไฟป่าในบริบทของประเทศไทย ซึ่งสามารถนำไปใช้สนับสนุนการวางแผนเชิงรุก เช่น การกำหนดพื้นที่เฝ้าระวัง การบริหารจัดการเชื้อเพลิง และการมีส่วนร่วมของชุมชนในการป้องกันไฟป่า ทำให้จุดเด่นของการศึกษานี้คือการบูรณาการข้อมูลพฤติกรรมมนุษย์ร่วมกับข้อมูลจุดความร้อน ซึ่งช่วยให้สามารถอธิบายรูปแบบการเกิดไฟป่าในระดับพื้นที่ได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลดาวเทียมเพียงอย่างเดียว

นอกจากนี้ แนวคิดการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ร่วมกับพฤติกรรมมนุษย์ที่ใช้ในการศึกษานี้ยังมีความสอดคล้องกับงานด้าน Spatial Recommendation System ซึ่งเป็น

การใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในพื้นที่เฉพาะ โดยงานของ Liewtrakul et al. (2025) แสดงให้เห็นว่าการผสมผสานข้อมูลตำแหน่งและพฤติกรรมผู้ใช้งานสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเลือกพื้นที่เป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในบริบทของการจัดการไฟฟ้า ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าข้อมูลพฤติกรรมการใช้ประโยชน์จากป่าและข้อมูลการเข้าถึงพื้นที่ที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวแปรสำคัญในการระบุพื้นที่เสี่ยงได้เช่นเดียวกับข้อมูลจุดความร้อนจากดาวเทียม ส่งผลให้แบบจำลองมีลักษณะเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่ (Spatial Decision Support System: SDSS) ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนลาดตระเวน การจัดสรรทรัพยากร และการเฝ้าระวังไฟฟ้าเชิงรุกได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ (acknowledgements)

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายจันทร์ประเสริฐ ศูนย์ยะโร นักวิชาการแผนที่ภาพถ่าย สังกัดอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ ศูนย์พัฒนาคุณภาพการศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณบุรีรัมย์ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณและอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายณัฐกิต ติอุดม และ นายวิชานนท์ วังเส็ง นักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีสำรวจและภูมิสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณบุรีรัมย์ ที่มีส่วนร่วมในการเก็บรวบรวมข้อมูลและสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง (References)

- กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2567). ข้อมูลสถิติไฟฟ้าและสาเหตุการเกิดไฟฟ้าในพื้นที่อนุรักษ์. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2569, จาก <https://catalog.dnp.go.th>
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2566). ระบบรายงานจุดความร้อนจากข้อมูลดาวเทียม. สืบค้นเมื่อ 28 มีนาคม 2569, จาก <https://disaster.gistda.or.th>
- Bowman, D. M. J. S., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., ... Pyne, S. J. (2009). Fire in the Earth system. *Science*, 324(5926), 481–484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, M. P., ... Riaño, D. (2010). Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 221(1), 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.11.017>
- Doan, T. N. P., Trinh, L. H., Zablotskii, V. R., Nguyen, V. T., Tran, X. T., Pham, T. T. H., et al. (2024). Forest fire risk assessment and mapping using remote sensing and GIS techniques: A case study in Nghe An Province, Vietnam. *Earth Research from Space*, 2024(1), 3–15. <https://doi.org/10.31857/S0205961424010012>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2007). Fire management: Global assessment 2006. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Global forest resources assessment 2020: Main report. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- Giglio, L., Schroeder, W., & Justice, C. O. (2016). The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*, 178, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.054>

- Hoang, T. V., Chou, T. Y., Fang, Y. M., Nguyen, N. T., Nguyen, Q. H., Canh, P. X., et al. (2020). Mapping forest fire risk and development of early warning system for NW Vietnam using AHP and MCA/GIS methods. *Applied Sciences*, 10(12), 4348. <https://doi.org/10.3390/app10124348>
- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., & Saxena, R. (2002). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00006-5)
- Kamyo, T., Kamyo, P., Panthong, K., Howpinjai, I., Kamton, R., & Asanok, L. (2025). Assessing fire risk zones in Phrae Province, Northern Thailand, using a MaxEnt model. *Geographies*, 5(3), 51. <https://doi.org/10.3390/geographies5030051>
- Liewtrakul, P., Leerunghavarat, R., & Iniam, C. (2025). Area-Based Internship Recommendation System of Applied Data Mining. *Journal of Bansomdej Engineering and Industrial Technology*, 3(1), 33–47.
- Nuthammachot, N., & Stratoulas, D. (2021). Multi-criteria decision analysis for forest fire risk assessment by coupling AHP and GIS: Method and case study. *Environment, Development and Sustainability*, 23(12), 17443–17458. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01394-0>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L., & Csiszar, I. A. (2014). The new VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.12.008>
- Subedi, P. B., Ayer, K., Miya, M. S., Parajuli, B., & Sharma, B. (2022). Forest fire risk zone mapping of Aalital Rural Municipality, Dadeldhura District,

Nepal. Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science, 2(2), 70–81.
<https://doi.org/10.47352/jmans.2774-3047.115>

Talukdar, N. R., Ahmad, F., Goparaju, L., Choudhury, P., Qayum, A., & Rizvi, J.
(2024). Forest fire in Thailand: Spatio-temporal distribution and future
risk assessment. Natural Hazards Research, 4(1), 87–96.
<https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.09.002>

คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับ

1. ประเภทผลของผลงานที่จะตีพิมพ์ มีบทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
2. ต้นฉบับของบทความที่จัดส่งจำนวนหน้ามีทั้งหมดไม่เกิน 15 หน้า แบบตัวอักษรใช้ TH Sarabun PSK ขนาดกระดาษ 18.2 x 25.7 ซม. (B5)
3. การตั้งค่าหน้ากระดาษ ด้านบน 2.49 ซม. ด้านล่าง 1.5 ซม. ด้านซ้าย 2.49 ซม. ด้านขวา 2.2 ซม.
4. ชื่อเรื่อง (Title) ใช้อักษรตัวหนาขนาด 20 pt จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่
5. ชื่อผู้เขียน (Author) ใช้อักษรขนาด 16 pt จัดต่อจากชื่อเรื่องกึ่งกลาง ระบุข้อมูลชื่อ-นามสกุลของผู้เขียน หากมีผู้เขียนร่วมต้องระบุให้ครบถ้วนถัดจากชื่อของผู้เขียน
6. ที่อยู่และสังกัดของผู้เขียน (Affiliation) ใช้อักษรปกติขนาด 14 pt ประกอบด้วยสาขาวิชา ภาควิชา คณะ มหาวิทยาลัย จังหวัดของผู้เขียนและนักวิจัย จัดริมซ้ายของหน้ากระดาษและใส่หมายเลขด้านหน้าบนที่อยู่ เช่น 'ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสาขาวิชา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
7. บทคัดย่อ (Abstract) ใช้อักษรปกติ ขนาด 16 pt (ตัวหนา) จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษส่วนเนื้อหาในบทคัดย่อ ขนาดอักษร 16 ไม่เกิน 300 คำ พิมพ์ 1 คอลัมน์
8. เนื้อหา (Content) ใช้อักษรปกติขนาด 16 pt ตัวหนา ประกอบด้วยหัวข้อต่างๆ ของบทความ ได้แก่ บทนำ วัตถุประสงค์ วิธีการดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) เอกสารอ้างอิง การพิมพ์ส่วนเนื้อหาขนาดตัวอักษร 16 pt พิมพ์ 1 คอลัมน์
9. บรรณานุกรม (Bibliography) ใช้อักษรขนาด 16 pt จัดพิมพ์แบบชิดซ้าย โดยมีรายการอ้างอิงในเนื้อหาตรงกับรายการอ้างอิงท้ายบทความทุกรายการ โดยเรียงลำดับตามตัวอักษรภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
10. การเขียนบรรณานุกรมตามรูปแบบเอพีเอ (APA-American Psychological Association: APA 6th Edition)

ชื่อเรื่องวิจัยภาษาไทย (20 pt กึ่งกลาง ตัวหนา)
ชื่อเรื่องวิจัยภาษาอังกฤษ (20 pt กึ่งกลาง ตัวหนา)

ชื่อ นามสกุล¹, ชื่อ นามสกุล^{2*} (16 pt กึ่งกลาง)
Authors' names¹ , Authors' names² (16 pt กึ่งกลาง)

¹ภาควิชา xxxxxxxx สาขาวิชา xxxxxxxxxx คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

²ภาควิชา xxxxxxxx สาขาวิชา xxxxxxxxxx คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

¹Author_1's Affiliation

²Author_2's Affiliation

*Corresponding author email: engineering@bsru.ac.th

(14 pt ชิดซ้าย)

Received : xx xxx 20xx ; Revised : xx xxx 20xx ; Accepted : xx xxx 20xx

บทคัดย่อ (16 pt กึ่งกลาง ตัวหนา)
บทคัดย่อไม่เกิน 300 คำ พิมพ์ 1 คอลัมน์ (16 Pt ตัวปกติ)

คำสำคัญ: คำสำคัญไม่เกิน 5 คำ

Abstract (16 pt กึ่งกลาง ตัวหนา)

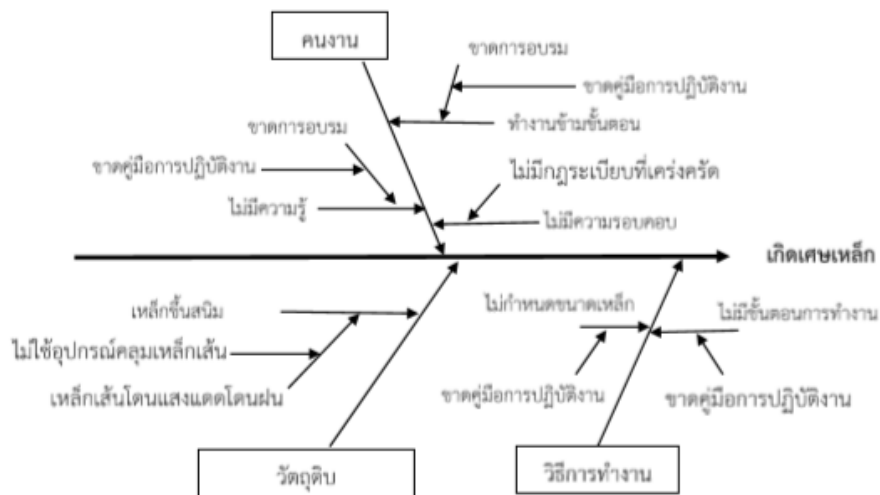
Abstract should not be more than 300 words or in 1 paragraph (16 Pt
ตัวปกติ)

Keywords: Keyword are not exceed 5 words

เนื้อหาในส่วนเนื้อหาประกอบด้วยรายละเอียด ดังนี้

หัวข้อขนาด 16 pt ชิดซ้าย ตัวหนา ฟิมพ์ 1 คอลัมน์ เนื้อหา (Content) ใช้อักษรปกติ
ขนาด 16 pt (แบบตัวอักษร ใช้ TH SarabunPSK)

1. บทนำ
2. วัตถุประสงค์
3. ระเบียบวิธี
4. วิธีการดำเนินการวิจัย
5. ผลการศึกษา
6. สรุปผลการศึกษา
7. อภิปรายผล
8. ข้อเสนอแนะ
9. กิตติกรรมประกาศ
10. เอกสารอ้างอิง



ภาพที่ 1 แสดงแผนผังก้างปลาสาเหตุของปัญหาการเกิดเศษเหล็ก (ขนาด 16 pt ตัวหนาและ
คำอธิบายภาพ ขนาด 16 pt ตัวปกติ)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลก่อนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันประจำวัน (16 pt ตัวหนาที่ตารางที่ 1)

อุปกรณ์	หน้าที่การทำงาน	จำนวนครั้ง/วัน
คอป้อน	ลำเลียงเม็ดพลาสติก	6
หัวฉีด	ฉีดพลาสติกที่ออกจากกระบอกสูบลูบเข้าสู่อแม่พิมพ์	7
สกรูมอเตอร์	หมุนพาให้พลาสติกเคลื่อนที่และคลุกเคล้าพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกัน	8

เอกสารอ้างอิง (References) การเขียนอ้างอิงให้ใช้ระบบ APA-American

Psychological Association: APA 6th Edition โดยมีเงื่อนไขดังนี้

- 1 เอกสารที่นำมาอ้างอิงต้องมีไม่น้อยกว่า 10 รายการ และไม่ควรมีอายุเกิน 5 ปี ยกเว้นแนวคิดหรือทฤษฎีที่เกิดขึ้นมาก่อน 10 ปี
- 2 ให้จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ และเรียงตามลำดับตัวอักษร
- 3 ควรมีการอ้างอิงบทความที่มีการตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ อย่างน้อย 1 บทความ

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

เจษฎา เมธาธิรฐติ. (2556). การลดของเสียจากสิ่งปนเปื้อนในกระบวนการอบยางรถยนต์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางรถยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนรินทร์.

ญาณิศา พรหมบุตร และสุนิตรา สมศักดิ์ดี. (2561). การปรับปรุงกระบวนการผลิตสิ่งพิมพ์ของห้างหุ้นส่วนจำกัด เอสพีรีน ซัพพลาย (2002) โดย เทคนิค QC Story. วารสารงานวิจัยสาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, ปีที่ 6 (ฉบับที่ 6), 40-47.

ฤดี นิยมรัตน์. (2551). สถิติเพื่อการวิจัยในงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ประเสริฐ อัครประณพงค์. (2552). การลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS. สืบค้นเมื่อ
วันที่ 22 มกราคม 2563 จาก <https://cpico.wordpress.com>

Lee, S. and Lye, S. (2002). Design for Manual Packaging, International Journal
of Physical Distribution and Logistics Management 33(2): 163-89.

Lorence, M. and Peshed, P. (2009). Development of Packaing and Products
for use in microwave ovens. USA: Woodhead Publishing Limited.

แบบฟอร์มขอส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ข้าพเจ้า(นาย/นาง/นางสาว/อื่นๆ)

(ภาษาไทย).....

(ภาษาอังกฤษ).....

สถานะผู้เขียน ☐ อาจารย์ ☐ นักศึกษา ☐ บุคลากร/เจ้าหน้าที่ ☐ อื่นๆ
(โปรดระบุ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ

☐ ศาสตราจารย์ ☐ รองศาสตราจารย์ ☐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ☐ อาจารย์
☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

วุฒิการศึกษาสูงสุด.....สาขาวิชา.....

สถานที่ทำงาน.....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้.....

โทรศัพท์.....โทรศัพท์มือถือ.....

โทรสาร.....อีเมลล์.....

ชื่อเรื่อง(ภาษาไทย).....

(ภาษาอังกฤษ).....

มีความประสงค์ขอส่ง

☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ ☐ บทความสร้างสรรค์
☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้ส่งบทความ จำนวน 2 ชุด พร้อมแผ่นดิสก์ข้อมูลบทความมาด้วย

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความที่ส่งมานี้

- ☐ เป็นผลงานที่ข้าพเจ้าเขียนแต่เพียงผู้เดียว
☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามที่ระบุชื่อไว้จริง

และข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่าง
การพิจารณาของวารสารอื่น หากข้าพเจ้าขอเพิกถอนบทความ ข้าพเจ้ายินยอมรับผิดชอบใน
ค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้น

ลงชื่อ.....ผู้ส่งบทความ

(.....)

วันที่.....



Faculty of Engineering and industrial Technology
Bansomdejchaopraya Rajabhat University
เลขที่ 1061 ซอยอัสราฟ 15 ถนนอัสราฟ แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี
กรุงเทพมหานคร 10600