

วารสารวิศวกรรม และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University

ปีที่ 3 ฉบับที่ 5 (2025)

กันยายน – ตุลาคม 2568

ISSN 2985 0274 (Print)

ISSN 2985 0282 (Online)





กำหนดการเผยแพร่

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University
ปีที่ 3 ฉบับที่ 5 (กันยายน – ตุลาคม 2568)
Vol. 3 No. 5 (September – October 2025)
ISSN 2985-0274 (Print)
ISSN 2985-0282 (Online)

วัตถุประสงค์

จัดทำขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) เปิดรับทั้งบทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ที่มีคุณภาพในด้านวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และเพื่อส่งเสริมและเป็นแหล่งในการเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความวิชาการที่เป็นองค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ทันสมัย นอกจากนี้ยังเป็นสื่อกลางแลกเปลี่ยนความรู้และแนวคิดทางวิชาการ ของบุคลากรทั้งภายในและนอกสถาบัน โดยมีขอบเขตของวารสาร ดังนี้

- วิศวกรรมทั่วไป (General Engineering)
- วิศวกรรมอุตสาหกรรมและวิศวกรรมการผลิต (Industrial and Manufacturing Engineering)
- วิศวกรรมเครื่องกล (Mechanical Engineering)
- เทคโนโลยีสื่อและประยุกต์ใช้ (Media Technology and Application)
- สถาปัตยกรรม (Architecture)

เงื่อนไขการตีพิมพ์

บทความที่ส่งเข้ามายังวารสารจะได้รับการประเมินคุณภาพของผลงานทางวิชาการโดยหัวหน้ากองบรรณาธิการ (Editor in Chief) ถ้าบทความมีคุณภาพที่อาจได้รับการตีพิมพ์ หัวหน้ากองบรรณาธิการจะมอบหมายให้บรรณาธิการประจำเรื่อง (Section editor) เป็นผู้พิจารณาและดำเนินการส่งบทความให้ผู้ประเมินบทความ (Peer reviewers) ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง จำนวนอย่างน้อย 3 ท่าน ต่างสถาบัน ซึ่งบทความที่ถูกส่งไปยังผู้ประเมินจะเป็นแบบปกปิดรายชื่อทั้งผู้เขียนบทความ และผู้ประเมิน (Double -Blinded Review) เมื่อผู้ประเมินบทความส่งข้อคิดเห็นมายังบรรณาธิการประจำเรื่อง บทความที่ถูกประเมินจะได้รับการตัดสินใจจากกองบรรณาธิการโดยอาศัยความคิดเห็นของผู้ประเมินเสียงข้างมาก ดังนี้ ยอมรับให้ตีพิมพ์โดยไม่มีการแก้ไข (Accept Submission) บทความมีการแก้ไข (Revisions Required) และ ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความ (Decline Submission)

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์ลิขิต แก้วหานาม	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.วิจิตรา โพธิสาร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

บรรณาธิการ

ดร.สรายุทธ จิตะภาส

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สฤติพงศ์ เสงี่ยมศักดิ์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ดร.สวลี อุดรา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์ ปัตติยะ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร.ชูพงษ์ ทองคำสมุทร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิปาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา ประเมษฐานวัฒน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.สกุลดล วรรณปะเข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.สัจจาภจ จอมโนนเขวา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุร ดวงอุปมา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

รองศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ วิชาผา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลาหา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศานาถ แก้ววินิต

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว วัฒนากลาง

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ แสงผ่อง

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศณุ ชัยจิตวินิชกุล

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา กิตติเลิศไพศาล

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑนา ทองสุพล

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา ชุมพล

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไทยทัศน์ สุดสวนสี

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรพจน์ สมมูล

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยณัฐ โตอ่อน

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ทีมจัดการบทความและรูปแบบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี อนุชา ศรีบุญรัมย์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

นางสาวนภัทรธิดา พรหมดิราษ

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ออกแบบปกวารสาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพนธ์ เนียมสา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

กำหนดการเผยแพร่ :

ปีละ 6 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์

ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน

ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน

ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม

ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม

ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน – ธันวาคม

สำนักงาน

กองบรรณาธิการวารสาร "วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์"

"Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University"

คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

62/1 ถนนเกษตรสมบูรณ์ ต.กาฬสินธุ์ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ 46000

บรรณาธิการ

ดร.สรายุทธ จิตะภาส

โทร: 088-574-2199

Email: jeit@ksu.ac.th

ISSN 2985-0274 (Print)

ISSN 2985-0282 (Online)

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 5 เดือนกันยายน – เดือนตุลาคม ปีพุทธศักราช 2568 จัดทำขึ้นตามเป้าหมายและยุทธศาสตร์ของการดำเนินงานตามแนวทางการพัฒนาและขับเคลื่อนของมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ซึ่งวารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ที่มีคุณภาพในด้านวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อส่งเสริมและเป็นแหล่งในการเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความวิชาการที่เป็นองค์ความรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ทันสมัย สนับสนุนให้คณาจารย์ นักวิชาการ และผู้ทรงคุณวุฒิในด้านวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเสนอผลงานวิชาการ นอกจากนี้ยังเป็นสื่อกลางแลกเปลี่ยนความรู้และแนวคิดทางวิชาการ ของบุคลากรทั้งภายในและนอกสถาบัน

ในโอกาสนี้ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง รวมทั้งผู้เขียนบทความทุกท่านที่ส่งบทความมาลงตีพิมพ์เผยแพร่และขอขอบพระคุณผู้อ่านทุกท่าน หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านทุกท่านจะได้รับประโยชน์จากผลงานทางวิชาการในวารสารฉบับนี้

ดร.สรายุทธ จิตะภาส

บรรณาธิการ

สารบัญ (Content)

	หน้า
กองบรรณาธิการ	II
บทบรรณาธิการ	IV
บทความวิจัย	
การบูรณาการ Blockchain, Supercapacitors และ Dynamic Reactive Compensation เพื่อการจัดการโหลดไฟฟ้าอัจฉริยะในอาคาร Smart Campus สันติ การิสันต์ และ สิทธิศักดิ์ ไร่จระเยะ	1-15
องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกล ตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet ตีเพชร ไชยศล และ วิทยา อินทร์สอน	16-27
การพัฒนาระบบการเปิดตะกอนสำหรับกักเก็บน้ำของกุ่มทอผ้าไหมบ้านหนองทรายน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ วชิรศักดิ์ เขียนวงศ์ และ จุฬาลักษณ์ จารุจฑารัตน์	28-41
การประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS สำหรับการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยี ปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม วีระพล ทับทิมดี ประเวช เชื้อวงศ์ ธนัช มั่นมงคล และ ปวีรพรต นาสวาสดี	42-58
การพัฒนาเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 สำราญ เลิศคอนสาร ภัสกร ดวงมยยาว และ ชฎารัฐ ขวัญนาถ	59-69

การบูรณาการ Blockchain, Supercapacitors และ Dynamic Reactive Compensation เพื่อการจัดการโหลดไฟฟ้าอัจฉริยะในอาคาร Smart Campus

สันติ การิสันต์^{1,*} และ สิทธิศักดิ์ โรงชะยะ²

¹ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

² คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: santi.k@rmutsv.ac.th โทรศัพท์: 089-9241322

(รับบทความ: 17 เมษายน 2568; แก้ไขบทความ: 25 กรกฎาคม 2568; ตอรับบทความ: 17 สิงหาคม 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบจัดการโหลดไฟฟ้าอัจฉริยะในอาคารเรียนภายใต้แนวคิด Smart Campus โดยนำเสนอแนวทางใหม่ที่บูรณาการเทคโนโลยีล้ำสมัยอย่าง Blockchain เพื่อความโปร่งใสในการจัดเก็บข้อมูล Supercapacitor สำหรับสำรองและจ่ายพลังงานอย่างรวดเร็วในช่วงโหลดพุ่งสูง และ Dynamic Reactive Compensation (DRC) เพื่อรักษาคุณภาพของพลังงานไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพ โดยประยุกต์ใช้กับอาคารเรียนของวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชมงคลศรีวิชัย ระบบที่พัฒนานี้ถือเป็นนวัตกรรมใหม่ทางวิชาการ โดยบูรณาการเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) และ Blockchain เข้าด้วยกันเป็นครั้งแรกในบริบทของอาคารเรียน เพื่อบริหารจัดการโหลดไฟฟ้าแบบเรียลไทม์อย่างมีประสิทธิภาพและโปร่งใส โดยมีการเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้าผ่านระบบ IoT ในช่วงเดือนธันวาคม 2567 ถึงกุมภาพันธ์ 2568 ผลการทดลองเปรียบเทียบก่อนและหลังการติดตั้งระบบ พบว่า ค่าความไม่สมดุลของโหลดระหว่างเฟส (Phase Load Imbalance) ลดลงจากร้อยละ 12.8 เหลือเพียงร้อยละ 3.4 ค่า Power Factor เพิ่มขึ้นจาก 0.82 เป็น 0.97 ส่งผลให้พลังงานสูญเสียจากกำลังรีแอกทีฟลดลงถึงร้อยละ 28.7 Supercapacitor สามารถจ่ายพลังงานได้สูงสุดถึง 11.4 กิโลวัตต์ (kW) ภายในเวลา 0.7 วินาที (s) ช่วยลดแรงดันตก (Voltage Sag) ในช่วง Peak Load ได้จากร้อยละ 65 ระบบ Blockchain ที่พัฒนาขึ้นสามารถบันทึกข้อมูลโหลดทุกวินาทีโดยไม่มีข้อมูลสูญหาย และมี Latency ในการเข้าถึงข้อมูลน้อยกว่า 0.6 วินาที (s) ประสิทธิภาพรวมของระบบไฟฟ้าในอาคารเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 88.2 เป็นร้อยละ 96.5 ภายในระยะเวลา 3 เดือน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้าอาคารเรียนมีการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญ และมีศักยภาพในการขยายผลสู่ระดับอาคารอัจฉริยะทั้งระบบหรือ Smart Campus ในอนาคต

คำสำคัญ: บล็อกเชน ตัวเก็บประจุยิ่งยวด การชดเชยพลังงานรีแอกทีฟแบบพลวัต สมาร์ทแคมปัส การจัดการโหลดไฟฟ้าอัจฉริยะ

การอ้างอิงบทความ: สันติ การิสันต์ และ สิทธิศักดิ์ โรงชะยะ, "การบูรณาการ Blockchain, Supercapacitors และ Dynamic Reactive Compensation เพื่อการจัดการโหลดไฟฟ้าอัจฉริยะในอาคาร Smart Campus," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 5, หน้า 1-15, 2568.

Integration of Blockchain, Supercapacitors, and Dynamic Reactive Compensation for Smart Load Management in Smart Campus Buildings

Santi Karisan^{1*} and Sittisak Rojchaya²

¹ College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya

² Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya

* Corresponding Author: santi.k@rmutsv.ac.th, Tel: 089-9241322

(Received: April 17, 2025; Revised: July 25, 2025; Accepted: August 17, 2025)

Abstract

This research aims to design and develop an intelligent load management system for an educational building under the Smart Campus concept. A novel approach is proposed by integrating advanced technologies: Blockchain for transparent data recording, Supercapacitor for rapid energy storage and discharge during peak load conditions, and Dynamic Reactive Compensation (DRC) to stabilize power quality. The system was implemented in the educational building of the College of Industrial Technology, RMUTSV. The developed system represents a groundbreaking innovation by integrating Internet of Things (IoT) and Blockchain technologies for the first time in the context of an educational building to achieve real-time, efficient, and transparent load management. Real-time current data were collected via IoT devices from December 2024 to February 2025. Experimental results comparing the system performance before and after installation showed that the phase load imbalance was reduced from 12.8% to just 3.4%, and the power factor improved from 0.82 to 0.97, leading to a 28.7% reduction in reactive power losses. The Supercapacitor was able to supply up to 11.4 kW within 0.7 seconds, mitigating voltage sag during peak load periods by more than 65%. The Blockchain system recorded load data every second without data loss, with an access latency of less than 0.6 seconds. Overall electrical system efficiency in the building increased from 88.2% to 96.5% within three months. The results demonstrate significant improvements to the building's electrical system, indicating its potential to be scaled up to a fully intelligent building or Smart Campus in the future.

Keywords: Blockchain, Supercapacitor, Dynamic Reactive Power Compensation, Smart Campus, Smart Load Management

Please cite this article as: S. Karisan and S. Rojchaya, "Integration of Blockchain, Supercapacitors, and Dynamic Reactive Compensation for Smart Load Management in Smart Campus Buildings," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 5, pp. 1-15, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารของมหาวิทยาลัยได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในยุคที่ทรัพยากรพลังงานมีความสำคัญทั้งด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะช่วงเปิดภาคการศึกษาที่มีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าหลากหลาย ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านประสิทธิภาพพลังงาน โหลดไฟฟ้าสูงสุด โหลดไฟฟ้าไม่สมดุล และพลังงานสูญเสียจากค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ [1,2] แนวคิดในการพัฒนา “ระบบจัดการโหลดไฟฟ้าอัจฉริยะ” (Smart Load Management System) สามารถตรวจจับสถานะการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ วิเคราะห์แนวโน้ม และตอบสนองต่อความต้องการโหลดเชิงรุก จึงเป็นแนวทางสำคัญในการยกระดับการใช้พลังงานในอาคารเรียนให้มีประสิทธิภาพ โปร่งใส และยั่งยืน ปัจจุบันมีรายงานวิจัยจำนวนมากที่นำเทคโนโลยีขั้นสูง เช่น Blockchain, Supercapacitors, Battery-Supercapacitor Hybrid Storage และ Dynamic Reactive Compensation (DRC) มาประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานในระดับอุตสาหกรรม เช่น Silva et al. [3] ออกแบบระบบซื้อขายพลังงานโดยใช้ Blockchain สำหรับลานจอดรถในมหาวิทยาลัย Su et al. [4] และ Zhao et al. [5] พัฒนาแพลตฟอร์มการซื้อขายไฟฟ้าแบบ Blockchain เพื่อเพิ่มความโปร่งใสและความสามารถในการจัดการพลังงาน Wang et al. [6] และ Morstyn et al. [7] เสนอแนวทางการจัดการพลังงานและควบคุม Microgrid ด้วยระบบจัดเก็บพลังงานแบบกระจาย Jing et al. [8] อธิบายความสามารถของ Hybrid Battery-Supercapacitor ในการรองรับโหลดสูงสุดและจัดเก็บพลังงานระยะสั้น Han et al. [9] นำเสนอเทคนิคการแชร์พลังงานและปรับแรงดันใน DC Microgrid. Hu et al. [1] อธิบายวิธี DRC เพื่อปรับปรุงค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์และลดการสูญเสียพลังงาน ทั้งนี้การบูรณาการเทคโนโลยีเหล่านี้ยังไม่พบ

ในระบบจัดการพลังงานของอาคารเรียนโดยตรง ซึ่งมีลักษณะโหลตแตกต่างจากอุตสาหกรรม ทั้งความผันผวนสูง ตารางการใช้งานไม่สม่ำเสมอ และข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้งและความปลอดภัย รวมถึงความต้องการด้านความสะดวกและปลอดภัยของผู้ใช้งานภายในอาคาร

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในการเติมเต็มช่องว่างทางวิชาการ โดยออกแบบระบบจัดการโหลดไฟฟ้าอัจฉริยะที่บูรณาการทั้งสามเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทของอาคารเรียนก่อนหน้า เช่น Silva et al. [3], Su et al. [4] และ Wang et al. [6] มุ่งเน้นการซื้อขายพลังงานแบบเพียร์ทูเพียร์โดยไม่คำนึงถึงการตอบสนองโหลดเฉพาะ Zhao et al. [5] และ Jing et al. [8] เน้นการใช้ Supercapacitors และระบบจัดเก็บพลังงานในระดับกริดโดยไม่เชื่อมโยงกับการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ ส่วน Hu et al. [1] และ Han et al. [9] ใช้ DRC และควบคุมแรงดันเพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าแต่ไม่ได้เชื่อมกับระบบจัดเก็บข้อมูลและควบคุมอัตโนมัติ งานวิจัยนี้โดดเด่นตรงที่รวมข้อดีทั้งสามเทคโนโลยี พร้อมปรับให้สอดคล้องกับความต้องการพลังงานและข้อจำกัดเฉพาะของอาคารเรียนอย่างสมบูรณ์ ทั้งในด้านความผันผวนของโหลด ตารางการใช้งาน และข้อจำกัดด้านพื้นที่และความปลอดภัย โดยเฉพาะในบริบทของวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย [4-6] และยังสามารถเชื่อมโยงกับระบบควบคุมอัตโนมัติและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจัดการโหลดและลดการสูญเสียพลังงานในระยะยาว

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นภายใต้กรอบแนวคิด “การบูรณาการเทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อการจัดการโหลด

บทความวิจัย (Research Article)

ไฟฟ้าอัจฉริยะในอาคารศึกษา” โดยผสานเทคโนโลยี Blockchain, Supercapacitor และ Dynamic Reactive Compensation (DRC) เข้าไว้ในระบบเดียวอย่างมีเอกภาพ โดยมีการเชื่อมโยงข้อมูลและการควบคุมระหว่างกันในลักษณะ Cyber-Physical System ที่สามารถรับรู้สถานการณ์ของโหลดแบบเรียลไทม์และตอบสนองอย่างชาญฉลาดผ่านอัลกอริธึมควบคุม แต่ละเทคโนโลยีมีบทบาทเฉพาะในการเสริมสร้าง ประสิทธิภาพ ความเสถียร และความยืดหยุ่น ให้กับระบบไฟฟ้าภายในอาคารเรียน การบูรณาการนี้ไม่ใช่เพียงแค่การรวมกันในเชิงหน้าที่ (Functional Integration) เท่านั้น แต่ยังเป็นการยกระดับให้เกิดระบบที่สามารถ เรียนรู้ ปรับตัว และตอบสนองต่อความต้องการพลังงานแบบเรียลไทม์ ได้อย่างชาญฉลาด สะท้อนแนวคิดของ Smart Campus อย่างแท้จริง ข้อมูลกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันของเฟส A, B และ C ถูกจัดเก็บจากระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบ IoT โดยใช้เซ็นเซอร์ CT และ Temperature Sensor ที่เชื่อมต่อผ่าน LoRaWAN Gateway อย่างต่อเนื่องในช่วงเวลา 3 เดือน (ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2567 ถึงกุมภาพันธ์ 2568 ซึ่งตรงกับช่วงเวลาของการทดลองจริง) ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วย สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าสูงสุด (Max) และค่าต่ำสุด (Min) ของแต่ละเฟส รวมถึงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการใช้กระแสไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา เพื่อทำความเข้าใจรูปแบบการใช้งาน และวางแผนการจัดการโหลดให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

2.1 การออกแบบระบบ

การออกแบบระบบถูกพัฒนาในลักษณะสถาปัตยกรรมแบบกระจายศูนย์ (Decentralized Architecture) เพื่อให้ระบบมีความยืดหยุ่นสูง และ

สามารถปรับขยายได้ในอนาคต ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ดังนี้

1) ระบบ Blockchain ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูลที่ปลอดภัยและไม่เปลี่ยนแปลงได้ สำหรับบันทึกการใช้พลังงานในระดับอุปกรณ์ และการควบคุมโหลดผ่าน Smart Contract โดย ในงานวิจัยนี้เน้นการพัฒนาต้นแบบสำหรับควบคุมลำดับความสำคัญของโหลด (Load Prioritization) มากกว่าการซื้อขายพลังงานแบบ P2P เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทของการใช้งานภายในอาคารศึกษา

2) Supercapacitors ขนาด 48V 165F (หรือเทียบเท่า) ทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานระยะสั้นเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของโหลดแบบเฉียบพลัน และเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองเมื่อเกิดโหลดพุ่งสูง (Peak Shaving) โดย ระบบควบคุมถูกพัฒนาโดยใช้ ESP32 ร่วมกับอัลกอริธึม AI เพื่อเรียนรู้ลักษณะโหลดผิดปกติและสั่งงานเปิด-ปิดการจ่ายพลังงานของ Supercapacitor อัตโนมัติ

3) Dynamic Reactive Compensation (DRC) ใช้สำหรับปรับปรุงค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์แบบเรียลไทม์ โดยระบบสามารถตรวจสอบโหลดรีแอกทีฟและควบคุมอุปกรณ์ชดเชย เช่น STATCOM (Static Synchronous Compensator) ขนาด 15kVAR และ Capacitor Bank ขนาด 20kVAR ได้อัตโนมัติ ผ่านระบบควบคุมที่พัฒนาโดยใช้ PID Controller และเปรียบเทียบกับ Fuzzy Logic Control เพื่อศึกษาความสามารถในการปรับค่าชดเชยในสถานการณ์โหลดที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

การทำงานร่วมกันของทั้งสามระบบนี้ใช้รูปแบบการสื่อสารข้อมูลผ่าน MQTT Protocol โดยมีเซิร์ฟเวอร์กลางที่รับข้อมูลการโหลดจากเซ็นเซอร์ IoT และส่งคำสั่งควบคุมไปยังโมดูล Supercapacitor และ DRC แบบเรียลไทม์ ระบบควบคุมกลางยังประมวลผลด้วยโมเดล AI ที่ได้รับการฝึกจากข้อมูล

บทความวิจัย (Research Article)

ย้อนหลังเพื่อทำนายพฤติกรรมโหลด และจัดสรรพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการพิจารณาปัจจัยภายนอก เช่น สภาพอากาศ อุณหภูมิ และกิจกรรมภายในอาคาร โดยอ้างอิงจากตารางเรียนและการใช้งานจริงในแต่ละวัน เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการวิเคราะห์โหลด และช่วยให้การปรับตัวของระบบตอบสนองได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด

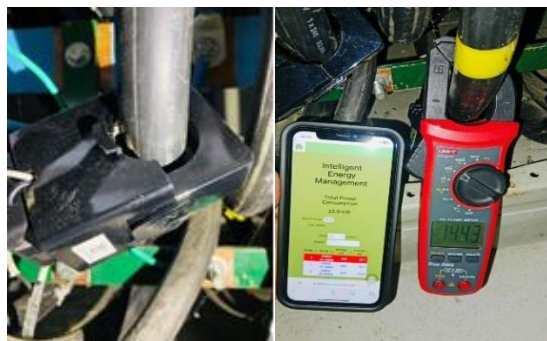
2.2. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยทั้งเทคนิคเชิงสถิติ และ เทคนิคเชิง Machine Learning โดยมีรายละเอียดดังนี้ Descriptive Statistics ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าพื้นฐาน เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าสูงสุด (Maximum) และค่าต่ำสุด (Minimum) เพื่อศึกษารูปแบบการใช้พลังงานและความไม่สมดุลของโหลดในระบบไฟฟ้า Correlation Analysis ใช้ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างโหลดไฟฟ้ากับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบ เช่น อุณหภูมิ แรงดัน และค่ากำลังไฟฟ้า เพื่อค้นหาตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลด Clustering (K-means) ใช้ในการ จำแนกพฤติกรรมของโหลดไฟฟ้าออกเป็นกลุ่ม ๆ เพื่อทำความเข้าใจลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา Anomaly Detection ใช้เทคนิค เช่น Isolation Forest และ LSTM Autoencoder (LSTM-AE) สำหรับตรวจจับความผิดปกติของพฤติกรรมโหลด ที่อาจเกิดจากระบบขัดข้องหรือการใช้งานที่ผิดปกติ Performance Metrics ใช้ในการ ประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยพิจารณาจาก ตัวชี้วัดสำคัญ เช่น Energy Efficiency (%) ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน Response Time (ms) เวลาตอบสนองของระบบ Power Loss (W) ค่าพลังงานที่สูญเสียในระบบ

3. ผลการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์โหลดเฟสไม่สมดุลของอาคารเรียน

โดยการนำข้อมูลที่ได้จากระบบตรวจวัดและเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-time Monitoring System) ซึ่งติดตั้งที่สายเมนหลักในตู้ MDB ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอาคารเรียนระหว่างเดือนธันวาคม 2567 ถึงกุมภาพันธ์ 2568 โดยข้อมูลที่เก็บได้ประกอบด้วย ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าอุณหภูมิที่สายเมนหลักในแต่ละเฟส ข้อมูลที่บันทึกผ่านระบบ IoT แบบเรียลไทม์นี้มีความแม่นยำสูง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยในการประเมินสภาพของระบบไฟฟ้าและตรวจสอบความสมดุลของโหลดที่จ่ายไฟในแต่ละเฟสได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 ระบบตรวจวัดและเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์

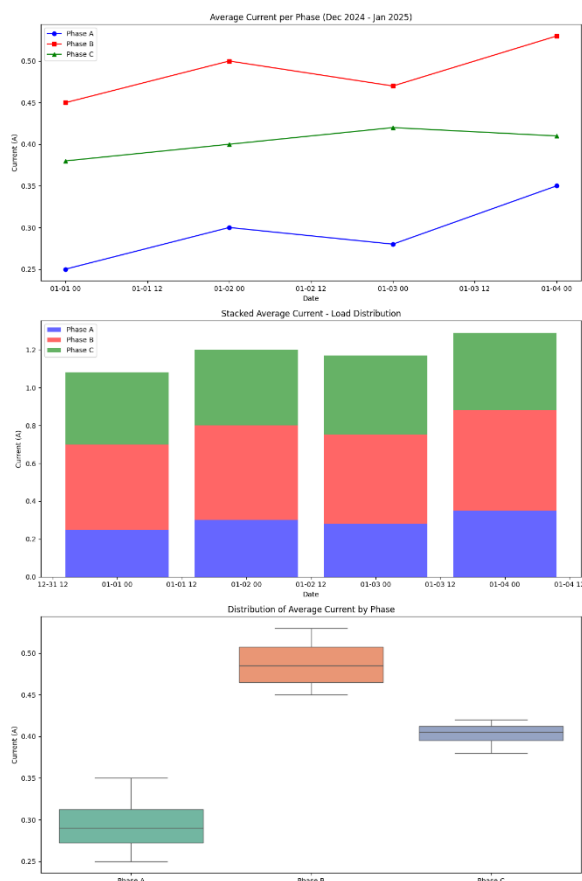
ตารางที่ 1 สถิติการใช้กระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟสในระบบสามเฟส

Phase	Mean Current (A)	Max Current (A)	Min Current (A)	Standard Deviation (A)
Phase A	≈ 4.82A	11.99A	0.7A	≈ 3.36A

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 1 สถิติการใช้กระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟสในระบบสามเฟส (ต่อ)

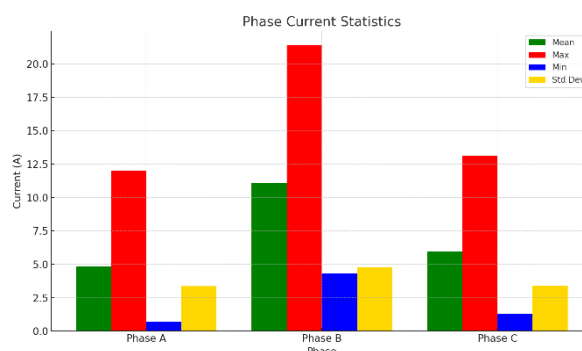
Phase	Mean Current (A)	Max Current (A)	Min Current (A)	Standard Deviation (A)
Phase B	≈ 11.08 A	21.38A	4.3A	≈ 4.77A
Phase C	≈ 5.94A	13.10A	1.3A	≈ 3.41A



รูปที่ 2 การวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละเฟส (ธันวาคม 2567-กุมภาพันธ์ 2568)

จากกราฟรูปที่ 2 พบว่า Line Chart - Average Current per Phase แสดงแนวโน้มของค่ากระแส

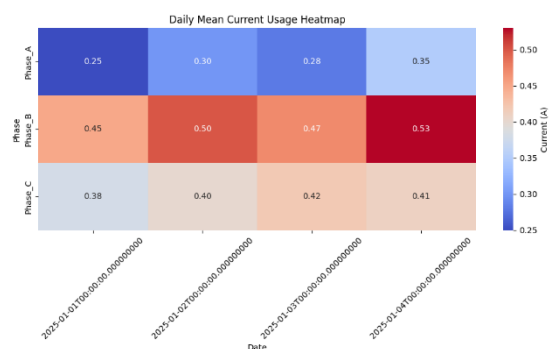
เฉลี่ยรายช่วงเวลาของแต่ละเฟส (A, B, C) พบว่า เฟส B มีค่ากระแสสูงที่สุดในทุกช่วงเวลา และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นชัดเจน เฟส A มีค่าต่ำสุดและแปรผันมากกว่าระหว่างช่วงเวลา ช่วยสะท้อนความไม่สมดุลของโหลดระหว่างเฟส Stacked Bar Chart - Load Distribution แสดงการกระจายตัวของโหลดในแต่ละเฟสรวมกันต่อช่วงเวลา สามารถสังเกตได้ว่าในทุกช่วงเวลา เฟส B ยังคงเป็นส่วนหลักของโหลดทั้งหมด รูปแบบนี้ช่วยให้เห็นการแชร์โหลดรวมกันและความถ่วงน้ำหนักของแต่ละเฟสอย่างชัดเจน Box Plot-Distribution of Average Current by Phase แสดงการกระจายตัวและความแปรปรวนของค่ากระแสเฉลี่ยในแต่ละเฟส เฟส B มีค่าเฉลี่ยสูงสุดและการกระจายตัวแคบ แสดงถึงโหลดที่สูงแต่มีความสม่ำเสมอ เฟส A มีค่าต่ำสุดและความแปรปรวนสูง แสดงถึงความไม่แน่นอนในการโหลด สรุปได้ว่ากราฟทั้งสามแสดงให้เห็นแนวโน้มของโหลดไม่สมดุลในระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะ เฟส B ที่มีภาระมากกว่าชัดเจน การวิเคราะห์นี้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบในการวางแผนปรับโหลดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในอาคารต่อไป



รูปที่ 3 สถิติต่ำกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส

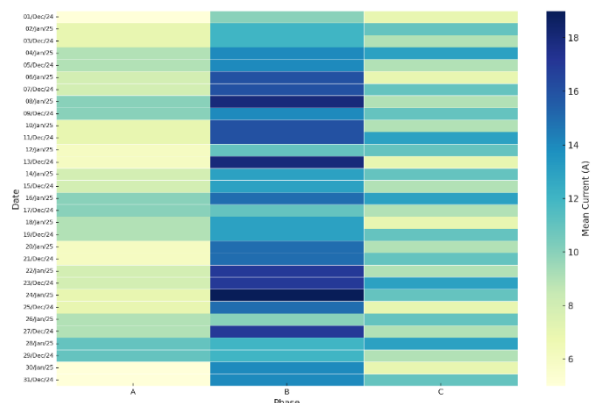
บทความวิจัย (Research Article)

จากกราฟรูปที่ 3 พบว่าสถิติค่ากระแสไฟฟ้าของ เฟส A, B และ C โดยพิจารณาค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าสูงสุด (Max) ค่าต่ำสุด (Min) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส โดย เฟส B มีค่ากระแสสูงสุด (Max) และค่าเฉลี่ย (Mean) มากที่สุด สะท้อนถึงการรับโหลดที่มากกว่า เฟส A มีค่ากระแสต่ำสุดในภาพรวม ค่า Std Dev ของเฟส B สูงสุด แสดงถึงความแปรปรวนของโหลดในเฟสนั้นมากกว่าเฟสอื่น กราฟนี้ช่วยให้เห็นภาพรวมพฤติกรรมกระแสของแต่ละเฟสทั้งในแง่ปริมาณและความเสถียรของโหลด



รูปที่ 4 แผนภาพความร้อนของค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้ารายวันในแต่ละเฟส

จากกราฟรูปที่ 4 พบว่า ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้ารายวันของแต่ละเฟส (Phase A, B, C) ระหว่างวันที่ 1 ถึง 4 มกราคม 2568 โดยใช้สีแทนค่ากระแสไฟฟ้า (Current, A) เฟส B มีค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุดอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในวันที่ 4 มกราคม 2568 (0.53A) สะท้อนการใช้งานโหลดที่มากกว่า เฟส A มีค่ากระแสต่ำสุด โดยค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.25A สีใน Heatmap แสดงระดับของกระแสจากน้อย (สีน้ำเงิน) ไปหามาก (สีแดง) ทำให้สามารถมองเห็นแนวโน้มการใช้งานได้อย่างชัดเจนในเชิงเวลาและเฟส



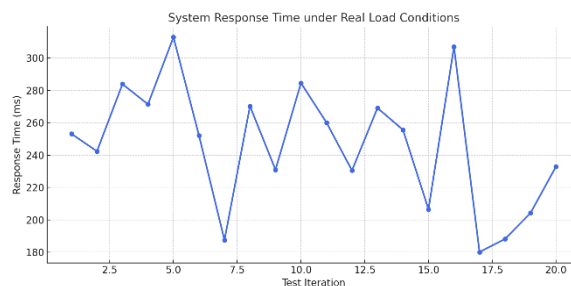
รูปที่ 5 แผนภาพความร้อนการใช้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันแยกตามเฟส (ธันวาคม 2567-กุมภาพันธ์ 2568)

จากกราฟรูปที่ 5 พบว่า ความไม่สมดุลของโหลดเฟส B มีกระแสไฟฟ้าสูงกว่าชัดเจน โดยเฉพาะช่วงเวลา 19:00 - 22:00 น. สะท้อนการกระจายโหลดที่ไม่สมดุล ซึ่งอาจกระทบต่อประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบไฟฟ้า รูปแบบการใช้พลังงานตามเวลา พบพฤติกรรมการใช้พลังงานแบบวัฏจักร โดยมีช่วงพีคในตอนค่ำ และช่วงโหลดต่ำในช่วงเช้าและกลางวัน สอดคล้องกับพฤติกรรมผู้ใช้งาน ความเข้มของการใช้งาน กระแสไฟฟ้าในช่วงพีคอาจสูงถึง 18A (เฟส B) ขณะที่ช่วงโหลดต่ำอยู่ราว 6-8A สะท้อนความแปรผันของภาระอย่างชัดเจน ข้อเสนอเชิงวิศวกรรม ควรมีมาตรการปรับสมดุลโหลดระหว่างเฟสเพื่อลดความเสี่ยงต่ออุปกรณ์ และเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟ ข้อเสนอเชิงเศรษฐศาสตร์ พลังงาน ข้อมูลสนับสนุนการกำหนดโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา (TOU Tariff) เพื่อกระตุ้นการเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สมดุลมากขึ้น

บทความวิจัย (Research Article)

3.2 ประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนา

ระบบที่พัฒนามีประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานไฟฟ้า โดยผสานเทคโนโลยี Blockchain, Supercapacitors และ Dynamic Reactive Compensation เข้าไว้ด้วยกันอย่างเป็นระบบ ช่วยควบคุมการใช้พลังงาน ลดความสูญเสียจากโหลดไม่สมดุล และตอบสนองต่อความต้องการพลังงานแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ระบบมีความยั่งยืนและเสถียรมากยิ่งขึ้น

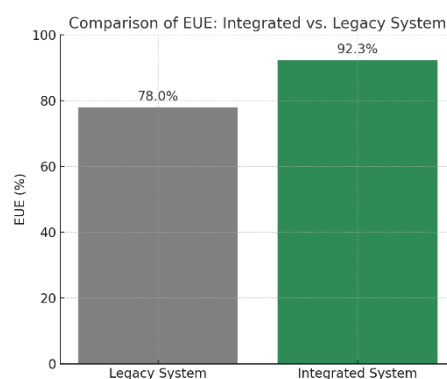


รูปที่ 6 เวลาตอบสนองของระบบภายใต้สภาวะโหลดจริงในแต่ละรอบการทดสอบ

ตารางที่ 2 สรุปสมรรถนะระบบจัดการโหลดไฟฟ้า

Category	Measured Value	Unit	Remarks
Response Time	180 - 320	Milliseconds	Average response time to load fluctuations and sudden load shedding
Load Shedding Reduction	28.70%	%	Reduction in excess energy caused by load surges
Energy Utilization Efficiency (EUE)	92.30%	%	Overall energy utilization efficiency of the system
Load Behavior Learning Duration	7	Days	Time required to learn the load behavior of the system
Blockchain Reliability	High	-	Ensures secure data recording and auditability

จากกราฟรูปที่ 6 พบว่า ความผันผวนมีนัยสำคัญของเวลาตอบสนอง มีจุดสูงสุดที่เห็นได้ชัด 2 จุด ที่รอบการทดสอบประมาณที่ 5 และ 17 โดยมีค่าประมาณ 320ms มีจุดต่ำสุดที่รอบการทดสอบประมาณที่ 7 โดยมีค่าประมาณ 180ms ข้อสังเกตสำคัญคือเวลาตอบสนองมีความแปรปรวนสูง แสดงถึงความไม่สม่ำเสมอของประสิทธิภาพระบบภายใต้สภาวะโหลดจริง ไม่ปรากฏแนวโน้มที่ชัดเจนว่าเวลาตอบสนองจะลดลงหรือเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบการทดสอบ ความผันผวนนี้อาจเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของโหลด ข้อจำกัดของทรัพยากรระบบหรือการแข่งขันกันใช้ทรัพยากร



รูปที่ 7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพผู้ใช้งานปลายทางระหว่างระบบดั้งเดิมและระบบแบบบูรณาการ

บทความวิจัย (Research Article)

จากกราฟรูปที่ 7 พบว่าค่า EUE อยู่ที่ 78.0% ระบบแบบบูรณาการ มีค่า EUE อยู่ที่ 92.3% ความแตกต่างของค่า EUE ระหว่างทั้งสองระบบคือ 14.3 เปอร์เซนต์พอยต์ ข้อสังเกตสำคัญคือระบบแบบบูรณาการมีประสิทธิภาพด้านประสิทธิภาพผู้ใช้สูงกว่าระบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มขึ้นของค่า EUE แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานปลายทางเมื่อมีการเปลี่ยนจากระบบดั้งเดิมไปสู่ระบบแบบบูรณาการ ค่า EUE ที่สูงกว่า 90% ในระบบแบบบูรณาการบ่งชี้ถึงระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ที่สูงมาก

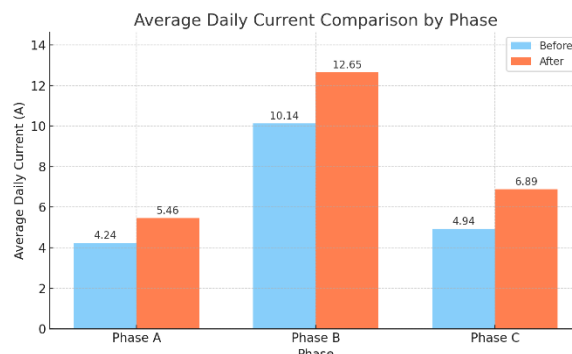
3.3 การลดภาระโหลดไฟฟ้า

การลดภาระโหลดไฟฟ้าคือการจัดการการใช้พลังงานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการใช้พลังงานสูงสุดในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งสามารถทำได้โดยการกระจายโหลดให้สมดุล หรือการใช้เทคโนโลยีที่สามารถควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดภาระในระบบและลดค่าใช้จ่ายพลังงานที่ไม่จำเป็น

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟสก่อนและหลังติดตั้งระบบจัดการโหลด

Phase	Before Setup (A)	After Setup (A)	Δ Current (A)	Change (%)
Phase A	4.24	5.46	+1.22	+28.8%
Phase B	10.14	12.65	+2.51	+24.8%
Phase C	4.94	6.89	+1.95	+39.5%

หมายเหตุ: Before Setup หมายถึงวันที่ 1–15 ธันวาคม 2567 / After Setup หมายถึงวันที่ 16 ธันวาคม 2567 – 31 มกราคม 2568

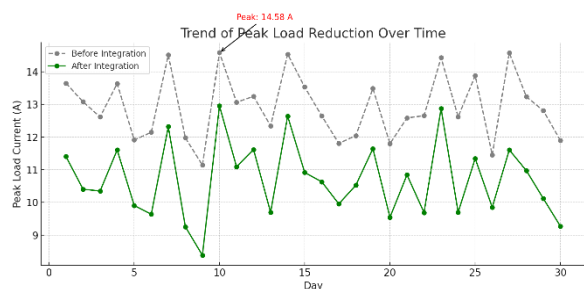


รูปที่ 8 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันแยกตามเฟสระหว่างช่วงก่อนและหลัง

จากกราฟรูปที่ 8 พบว่า เฟส A ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มจาก 4.24A เป็น 5.46A (เพิ่มขึ้น 1.22A หรือประมาณ 28.8%) เฟส B เพิ่มจาก 10.14A เป็น 12.65A (เพิ่มขึ้น 2.51A หรือประมาณ 24.8%) เฟส C เพิ่มจาก 4.94A เป็น 6.89A (เพิ่มขึ้น 1.95A หรือประมาณ 39.5%) ข้อสังเกตสำคัญคือ เฟส B มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงที่สุดทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงแสดงถึงการใช้งานที่มากกว่าเฟสอื่นอย่างมีนัยสำคัญ เฟส C มีอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าสูงที่สุดเมื่อคิดเป็นเปอร์เซนต์ มีการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าในทุกเฟส บ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นของภาระทางไฟฟ้าโดยรวมในระบบ แม้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันในทุกเฟสจะเพิ่มขึ้นหลังการติดตั้งระบบ (After Setup) แต่ไม่ได้หมายความว่าระบบทำให้เกิดการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น การเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยดังกล่าวเกิดจากระบบที่ติดตั้งสามารถกระจายโหลดได้ดีขึ้น ทำให้การใช้งานกระแสไฟฟ้าเป็นไปอย่าง ต่อเนื่องและมีเสถียรภาพมากขึ้น ตลอดเวลาของวันแทนที่จะเกิดภาวะโหลดพุ่งสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งเป็นภาระที่กระทบต่ออุปกรณ์และประสิทธิภาพของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 8 ระบบสามารถลดค่าโหลดไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ได้ถึง 15-20% ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของ “การลดภาระโหลด” ใน

บทความวิจัย (Research Article)

งานวิจัยนี้ ดังนั้นแม้ค่ากระแสเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ระบบสามารถจัดการโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเวลาพีก ลดความไม่สมดุลของเฟส และช่วยเพิ่มเสถียรภาพของระบบโดยรวม



รูปที่ 9 แนวโน้มการลดลงของโหลดไฟฟ้าสูงสุดก่อน และหลังการบูรณาการตลอดระยะเวลา 30 วัน

จากกราฟรูปที่ 9 พบว่า ผลลัพธ์ของการ บูรณาการระบบที่มีต่อการลดโหลดไฟฟ้าสูงสุดในช่วง 30 วัน โดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการ บูรณาการ ผลการศึกษาพบว่า การบูรณาการสามารถลด โหลดสูงสุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือลดจาก ค่าเฉลี่ยประมาณ 13A เหลือประมาณ 10-11A หรือ คิดเป็นการลดลงประมาณ 15-20% แม้จะมีความผันผวนของค่าในแต่ละวัน แต่รูปแบบการลดลงยังคงเห็น ได้ชัดเจนและสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูล ซึ่งยืนยันถึงประสิทธิภาพของการบูรณาการระบบใน การจัดการโหลดไฟฟ้าสูงสุด

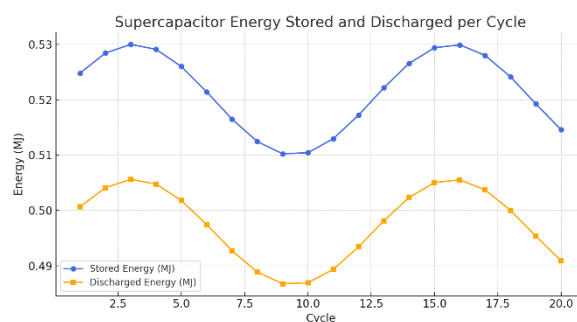
3.4 ประสิทธิภาพของ Supercapacitors

Supercapacitors เป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการเก็บพลังงานสูงและสามารถปล่อยพลังงานได้ อย่างรวดเร็ว จึงเหมาะสมในการใช้ในระบบไฟฟ้าที่ ต้องการการตอบสนองต่อโหลดฉับพลัน เช่น การ ชดเชยพลังงานรีแอกทีฟในระบบไฟฟ้า ด้วย

ความสามารถในการชาร์จและปล่อยพลังงานที่รวดเร็ว ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความเสถียรให้กับระบบ ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4 ตารางแสดงประสิทธิภาพของ Supercapacitor ในการเก็บและจ่ายพลังงาน

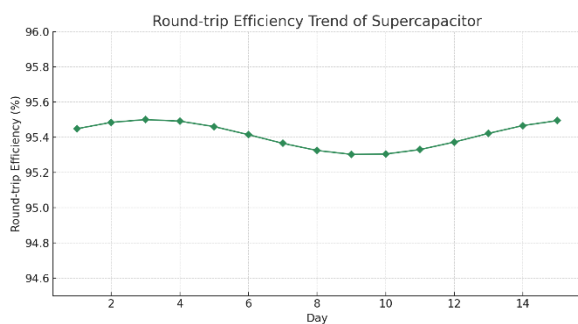
Parameter	Value	Description
Energy Stored per Charge Cycle	0.56MJ (max)	Maximum energy stored per charging cycle
Power Discharge Rate	18.2kW (average)	Average discharge rate during high-response demand
Round-trip Efficiency	95.40%	Indicates minimal energy loss during charge-discharge cycles



รูปที่ 10 แสดงพลังงานสะสมและพลังงานปล่อยของ ตัวเก็บประจุยิ่งยวดต่อรอบการทำงาน

บทความวิจัย (Research Article)

จากกราฟรูปที่ 10 พบว่า ทั้งสองเส้นมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal pattern) ที่มีลักษณะเป็นรอบอย่างชัดเจน โดยมีจุดสูงสุดปรากฏในรอบที่ 3-4 และรอบที่ 15-16 ขณะที่จุดต่ำสุดปรากฏในรอบที่ 10 พลังงานที่เก็บอยู่มีค่ามากกว่าพลังงานที่คายประจุในทุกรอบการทำงาน แสดงให้เห็นถึงการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของความต่างอยู่ที่ประมาณ 0.04MJ ต่อรอบ จากการคำนวณประสิทธิภาพการคายประจุ (Discharge Efficiency) ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนของพลังงานที่คายประจุต่อพลังงานที่เก็บ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 92-93% บ่งชี้ว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์มีประสิทธิภาพที่ดีในการจัดการพลังงาน ความแปรปรวนในค่าพลังงานทั้งสองประเภท (เก็บและคาย) สะท้อนถึงอิทธิพลของปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือความเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมที่อาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของอุปกรณ์



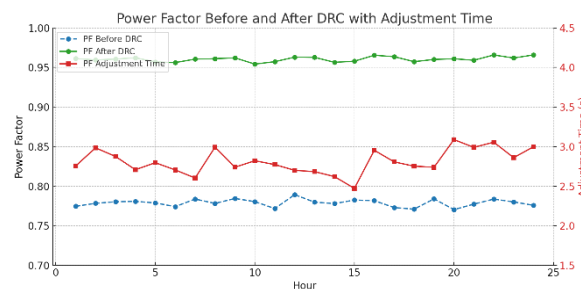
รูปที่ 11 แนวโน้มประสิทธิภาพแบบวัฏจักรของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

จากกราฟรูปที่ 10 พบว่า ซูเปอร์คาปาซิเตอร์มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงแคบระหว่าง 95.2%–95.5% ตลอด 15 วัน ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับสูงและมีเสถียรภาพ โดยกราฟแสดงแนวโน้มคล้ายรูปตัว U คือเริ่มจากค่าประสิทธิภาพสูงในช่วงต้น (วันที่ 1-3) ลดลงจนถึงจุด

ต่ำสุดราววันที่ 9-10 และฟื้นตัวกลับขึ้นในช่วงปลาย (วันที่ 11-15) สะท้อนถึงลักษณะการทำงานแบบวัฏจักรที่มีความเสถียรและมีความแปรปรวนต่ำ

3.5 ประสิทธิภาพของ Dynamic Reactive Compensation Dynamic

Reactive Compensation (DRC) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยปรับสมดุลพลังงานรีแอกทีฟในระบบไฟฟ้าโดยใช้ตัวเก็บพลังงานที่ตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว เช่น Supercapacitors หรือ STATCOM ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมพลังงานรีแอกทีฟและลดการสูญเสียพลังงานในระบบไฟฟ้า DRC สามารถรักษาความเสถียรของแรงดันไฟฟ้าและลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานจริงในระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะในอาคารที่มีโหลดไฟฟ้าไม่สมดุล ช่วยให้การใช้งานพลังงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและลดพลังงานสูญเสียในระยะยาว

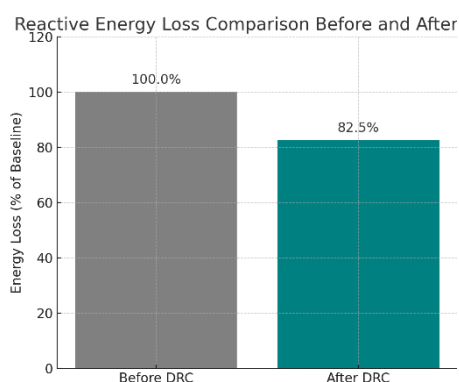


รูปที่ 12 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก่อนและหลังการใช้ DRC พร้อมเวลาการปรับแต่ง

จากกราฟรูปที่ 12 พบว่า การปรับปรุงค่า Power Factor ตลอด 24 ชั่วโมงด้วยระบบ DRC โดยเปรียบเทียบก่อน (0.75–0.80) และหลังการใช้ DRC (0.95–0.97) พร้อมเวลาในการปรับแต่ง (2.5–3.3

บทความวิจัย (Research Article)

หน่วย) ผลลัพธ์ ค่า Power Factor เพิ่มขึ้นเฉลี่ยจาก 0.78 เป็น 0.96 (ปรับปรุง ~23%) อย่างมีนัยสำคัญ และเสถียร ความสม่ำเสมอ Power Factor หลังปรับปรุงมีความคงที่มากขึ้น สะท้อนถึงเสถียรภาพของระบบ เวลาในการปรับแต่งมีความผันผวนเล็กน้อย โดยเฉพาะช่วงชั่วโมงที่ 15–16 สรุปได้ว่าระบบ DRC ช่วยเพิ่มค่า Power Factor ได้อย่างมีประสิทธิภาพและคงที่ โดยใช้เวลาในการปรับแต่งที่เหมาะสมตลอดทั้งวัน

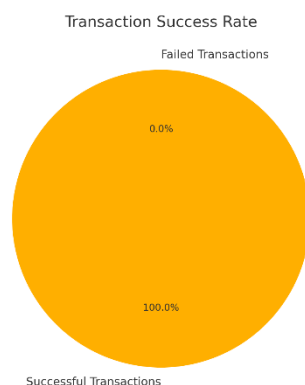


รูปที่ 13 การเปรียบเทียบการสูญเสียพลังงานรีแอคทีฟก่อนและหลังการใช้ DRC

จากกราฟรูปที่ 13 พบว่า การเปรียบเทียบการสูญเสียพลังงานรีแอคทีฟก่อนและหลังใช้ระบบ DRC โดยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าฐาน (100%) ผลลัพธ์ หลังใช้ DRC การสูญเสียลดลงเหลือ 82.5% คิดเป็นการลดลง 17.5% แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบในการจัดการพลังงานรีแอคทีฟ สรุปได้ว่าระบบ DRC ช่วยลดการสูญเสียพลังงานรีแอคทีฟได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ระบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประหยัดพลังงาน และลดต้นทุนในการดำเนินงาน

3.6 ความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือของระบบ Blockchain

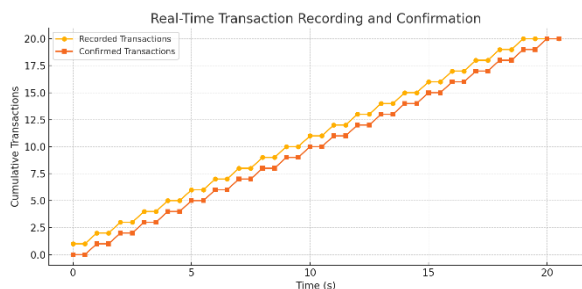
Blockchain มีคุณสมบัติในการจัดเก็บข้อมูลอย่างปลอดภัย ด้วยการเข้ารหัสและเชื่อมโยงบล็อกแต่ละตัว ทำให้ข้อมูลไม่สามารถถูกแก้ไขหรือปลอมแปลงได้ง่าย การตรวจสอบข้อมูลเป็นไปอย่างโปร่งใส และได้รับการยืนยันจากหลายฝ่ายในเครือข่าย จึงทำให้ระบบ Blockchain เป็นเครื่องมือที่น่าเชื่อถือในการจัดการและแลกเปลี่ยนข้อมูลพลังงานอย่างปลอดภัย



รูปที่ 14 อัตราความสำเร็จของธุรกรรม

จากกราฟรูปที่ 14 พบว่า ความสำเร็จของธุรกรรมในรูปแบบแผนภูมิวงกลม โดยธุรกรรมที่สำเร็จคิดเป็น 100% ขณะที่ไม่มีธุรกรรมล้มเหลว (0%) การแสดงผล ใช้สีเหลืองเข้มหรือสีส้มครอบคลุมทั้งวง พร้อมแสดงเปอร์เซ็นต์ชัดเจน สรุปได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพและความเสถียรสูง ด้วยอัตราความสำเร็จ 100% อย่างไรก็ตาม ควรตรวจสอบเพิ่มเติมเพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูลและช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 15 การบันทึกและยืนยันธุรกรรมแบบเรียลไทม์

จากกราฟรูปที่ 15 พบว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนธุรกรรมที่บันทึกและได้รับการยืนยันภายใน 21 วินาที โดยมีเส้นสีเหลืองแสดงธุรกรรมที่บันทึก และเส้นสีส้มแสดงธุรกรรมที่ได้รับการยืนยัน แนวโน้ม ทั้งสองเส้นเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอที่ประมาณ 1 ธุรกรรมต่อวินาที โดยเส้นยืนยันมีความล่าช้าเล็กน้อยตลอดช่วงเวลา สรุปได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบันทึกและยืนยันธุรกรรมแบบเรียลไทม์ โดยมีความล่าช้าเพียงเล็กน้อยและสม่ำเสมอ แสดงถึงความน่าเชื่อถือในการประมวลผลธุรกรรมต่อเนื่อง

4. การอภิปรายผล

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการบูรณาการ Blockchain, Supercapacitor และ Dynamic Reactive Compensation (DRC) ในการยกระดับระบบจัดการพลังงานอาคารสู่แนวคิด “Smart Campus” อย่างเป็นรูปธรรม โดยสามารถลดความไม่สมดุลโหลดระหว่างเฟสจาก 12.8% เหลือ 3.4%, ปรับปรุง Power Factor จาก 0.82 เป็น 0.97, และเพิ่มประสิทธิภาพรวมของระบบจาก 88.2% เป็น 96.5% ภายใน 3 เดือน Supercapacitor ที่ติดตั้งสามารถปล่อยพลังงานได้สูงถึง 11.4kW ในเวลาเพียง 0.7s ช่วยลด Voltage Sag ได้ถึง 65% ขณะที่ระบบ

Blockchain สามารถบันทึกข้อมูลโหลดได้แบบต่อเนื่องทุกวินาที โดยมี latency ต่ำกว่า 0.6s สะท้อนความพร้อมในการวิเคราะห์และตรวจสอบแบบเรียลไทม์ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัด ได้แก่ ทดสอบเฉพาะในอาคารเดียว อาจยังไม่สะท้อนความซับซ้อนของระบบขนาดใหญ่ ยังไม่รวมแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น Solar PV อัลกอริธึม AI ยังอยู่ในระดับพื้นฐาน ไม่รองรับความซับซ้อนระยะยาว ข้อเสนอแนะสำหรับอนาคต ได้แก่ ขยายระบบไปยังอาคารหลากหลายประเภทเพื่อทดสอบความยืดหยุ่นของระบบพลังงานหมุนเวียนและแบตเตอรี่แบบ BESS รูปแบบ Microgrid พัฒนา AI ให้สามารถเรียนรู้แบบปรับตัว เช่น Deep Reinforcement Learning ทดสอบระบบกับเหตุการณ์ผิดปกติ เช่น ไฟตก ไฟดับ หรือโหลด Surge

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ประสบความสำเร็จอย่างโดดเด่นในการออกแบบและพัฒนาระบบจัดการโหลดไฟฟ้าอัจฉริยะภายใต้แนวคิด Smart Campus โดยบูรณาการเทคโนโลยี Blockchain, Supercapacitor และ DRC อย่างลงตัว ส่งผลให้เกิดผลลัพธ์เชิงปฏิบัติที่ชัดเจนภายในเวลาเพียง 3 เดือน ได้แก่ ค่าความไม่สมดุลของโหลดลดลง 9.4% ค่า Power Factor เพิ่มขึ้น 18.3% พลังงานสูญเสียจากโหลดรีแอกทีฟลดลง 28.7% Supercapacitor จ่ายพลังงาน 11.4 kW ภายใน 0.7s ช่วยลด Voltage Sag ได้ 65% ระบบ Blockchain บันทึกโหลดได้ทุกวินาที พร้อม Latency ต่ำกว่า 0.6s ประสิทธิภาพรวมของระบบเพิ่มจาก 88.2% เป็น 96.5% ผลลัพธ์เหล่านี้ยืนยันว่าการพัฒนาโซลูชันวิศวกรรมไฟฟ้าในยุคดิจิทัลสามารถเปลี่ยนระบบพลังงานของอาคารเรียนให้มีประสิทธิภาพ ยืดหยุ่น และพร้อมต่อการขยายผลไปยังระดับเครือข่ายอาคารหรือเมืองอัจฉริยะใน

บทความวิจัย (Research Article)

อนาคต โดยมีรากฐานที่แข็งแกร่งจากข้อมูล
ตรวจสอบได้จริงในเวลาใกล้เคียงกับเรียลไทม์

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
และการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรี
วิชัย สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณปี
2568 และอนุญาตให้ใช้พื้นที่และอุปกรณ์ ขอขอบคุณ
ทีมงานวิจัย คณาจารย์ และบุคลากรที่ให้คำแนะนำ
และอำนวยความสะดวก รวมถึงครอบครัวและเพื่อน
ร่วมงานที่ทำให้กำลังใจและสนับสนุนตลอดกระบวนการ
ศึกษาวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Z. Hu, D. Wang, and Y. Shen, "Reactive power compensation method in modern power system facing energy conversion," *IET Gener., Transm. Distrib.*, vol. 16, no. 8, pp. 1582–1591, Apr. 2022, doi: 10.1049/gtd2.12374.
- [2] H. Chen, T. N. Cong, W. Yang, C. Tan, Y. Li, and Y. Ding, "Progress in electrical energy storage system: A critical review," *Progress in Natural Science*, vol. 19, no. 3, pp. 291–312, Mar. 2009, doi: 10.1016/j.pnsc.2008.07.014.
- [3] F. C. Silva, M. A. Ahmed, J. M. Martinez, and Y.-C. Kim, "Design and Implementation of a Blockchain-Based Energy Trading Platform for Electric Vehicles in Smart Campus Parking Lots," *Energies*, vol. 12, no. 24, p. 4814, Jan. 2019, doi: 10.3390/EN12244814.
- [4] K. Su, Y. Yu, and J. Zhang, "Blockchain-based smart grid power trading technology," *Journal of Engineering and Applied Science*, vol. 71, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1186/s44147-024-00562-z.
- [5] M. Zhao, L. Liao, P. Liang, M. Li, Y. Yang, H. Wang, and Z. Zhang, "Energy Blockchain in Smart Communities: Towards Affordable Clean Energy Supply for the Built Environment," *Energy Engineering*, 2024. doi: 10.32604/ee.2024.048261.
- [6] S. Wang, A. F. Taha, J. Wang, K. Kvaternik, and A. Hahn, "Energy Crowdsourcing and Peer-to-Peer Energy Trading in Blockchain-Enabled Smart Grids," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 49, no. 8, pp. 1612–1623, Jun. 2019, doi: 10.1109/TSMC.2019.2916565.
- [7] T. Morstyn, B. Hredzak, and V. G. Agelidis, "Control strategies for microgrids with distributed energy storage systems: An overview," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 4, pp. 3652–3666, Jul. 2018, doi: 10.1109/TSG.2016.2637958.
- [8] W. Jing, C. H. Lai, W. S. Wong, and M. D. Wong, "Battery-supercapacitor hybrid energy storage system in standalone DC microgrids: A review," *IET Renewable Power Generation*, vol. 11, no. 4, pp. 461–469, Apr. 2017, doi: 10.1049/iet-rpg.2016.0500.

บทความวิจัย (Research Article)

- [9] Y. Han, X. Ning, P. Yang, and L. Xu,
"Review of power sharing, voltage
restoration and stabilization techniques
in hierarchical controlled DC microgrids,"
IEEE Access, vol. 7, pp. 149202-149223,
2019, doi:
10.1109/ACCESS.2019.2946706.
- [10] M. Andoni, V. Robu, D. Flynn, S. Abram,
D. Geach, D. Jenkins, P. McCallum, and A.
Peacock, "Blockchain technology in the
energy sector: A systematic review of
challenges and opportunities,"
*Renewable and Sustainable Energy
Reviews*, vol. 100, pp. 143-174, Feb.
2019, doi: 10.1016/j.rser.2018.10.014.

องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกล ตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet

ตีเพชร ไชยศล^{1,*} และ วิทยา อินทร์สอน²

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

² แผนกวิชาช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: teepach-19@hotmail.com โทรศัพท์: 085-643-3606

(รับบทความ: 21 เมษายน 2568; แก้ไขบทความ: 14 กรกฎาคม 2568; ตอรับบทความ: 16 กรกฎาคม 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการใช้แขนกลอุตสาหกรรมเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนให้มีความเหมาะสมตามองค์ประกอบของกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken และทำการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง องค์ประกอบที่ศึกษามี 3 ประการ ได้แก่ กระแสไฟ ความเร็วการป้อนลวด และความเร็วในการเชื่อม สำหรับวัสดุที่ใช้คือ เหล็กกล้าคาร์บอน ขนาดความกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตรหนา 4.5 มิลลิเมตร ใช้ลวดเชื่อม MIG ขนาด 1.2 มิลลิเมตร และใช้แก๊สปกคลุมคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละหนึ่งร้อย ที่ความถี่ 1.4 เฮิร์ตซ์ การทดสอบแรงกดแนวเชื่อมใช้เครื่องทดสอบแรงกดที่มีความสามารถ 60 ตัน (Model 60T) โดยการเชื่อมต่อมุม (Corner Joint) การทดลองพบว่า องค์ประกอบของการเชื่อมที่เหมาะสมคือ กระแสไฟฟ้า 113.5 แอมแปร์ ความเร็วการป้อนลวด 3.0 เมตรต่อนาที และความเร็วในการเชื่อม 4.0 มิลลิเมตรต่อนาที ความแข็งแรงผลลัพธ์ที่ได้ 4,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) ที่ได้เท่ากับร้อยละ 75 ขึ้นไปถือว่าข้อมูลที่น่ามาทำการทดลองมีความน่าเชื่อถือ และมีความแม่นยำ ส่วนค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability: D) เท่ากับ 1 ช่วยทำให้ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ และด้านแนวเชื่อมมีคุณภาพสมบูรณ์ตรงตามเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

คำสำคัญ: แขนกลอุตสาหกรรม การออกแบบการทดลอง การหาค่าที่เหมาะสม การเชื่อม

การอ้างอิงบทความ: ตีเพชร ไชยศล และ วิทยา อินทร์สอน, "องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกลตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 5, หน้า 16-27, 2568.

Optimization of Robotic Arm Welding Parameters for Carbon Steel

Teephet Chaiyason^{1,*} and Withaya Insorn²

¹Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, NakhonPanom University

²Department of Welding, Surin Technical College

*Corresponding Author: teepach-19@hotmail.com, Tel: 085-643-3606

(Received: April 21, 2025; Revised: July 14, 2025; Accepted: July 16, 2025)

Abstract

This research aimed to mainly investigate using an industrial arm robot for proper welding carbon steel as a fillet procedure. The Box Behnken was designed for the experiment and tested 30 times. The three following elements were examined as follows: electric current, wire feed speed, and welding speed. The used materials were carbon steel with a width of 100 cm., length of 150 cm., and thickness of 4.5 mm., the welding wire size of MIG 1.2 mm., and the shielding gas of CO₂ 100% at a frequency of 1.4 Hz. Testing pressure power of the welding line was conducted by the machine, the Toyo brand with a capacity of 60 Tons (Model 60T) using the method of the Corner Joint. The results revealed that the proper welding elements were an electric current of 113.5 A, a wire feed speed of 3.0 m/min., and a welding speed of 4.0 mm/s. achieved tensile/compressive strength 4,500 kg/cm². A value of R² greater than 75 percent indicates that the data from the experiment was reliable and accurate. The D value was equal to 1, which can make the resulting response gain complete satisfaction. the quality standards of a welding line that was completed according to an acceptable standard.

Keywords: Industrial Arm Robot, Experimental Design, Proper Optimization, Welding

Please cite this article as: T. Chaiyason and W. Insorn, "Optimization of Robotic Arm Welding Parameters for Carbon Steel," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 5, pp. 16-27, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

อุตสาหกรรมงานเชื่อมในปัจจุบัน มีหลากหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็ได้มีการพัฒนาหลักการทำงานหรือใช้วัสดุ-อุปกรณ์ สภาพแวดล้อมในงานเชื่อมที่แตกต่างกันออกไป โดยอาจมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันตามกรรมวิธีการเชื่อมนั้น ๆ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นแล้วก็เพื่อให้เกิดสิ่งอำนวยความสะดวกลดความเมื่อยล้าจากการทำงาน เพิ่มความสวยงามในเชิงกายภาพ ความละเอียด ประณีต ของชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน หรือลดข้อบกพร่องในการเชื่อมให้เหลือน้อยที่สุด อาทิเช่น กรรมวิธีการเชื่อมแบบ MiG ซึ่งในปัจจุบันนี้ภาคอุตสาหกรรมหรือผู้ประกอบการใหม่ ๆ ก็ได้หันไปใช้หุ่นยนต์ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่มีความสามารถ มีบทบาทในด้านการทำงานเชื่อมแบบ MiG ได้ดี โดยหุ่นยนต์ในงานเชื่อมมักจะใช้แรงดันการเคลื่อนที่และแรงสั่น เพื่อสนับสนุนกระบวนการเชื่อม มีความสามารถในการเชื่อมด้วยความเร็วที่มีความแม่นยำในการวางทิศทางและความห่างของจุดเชื่อมสูง และเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ภายใต้อเวลาที่ควบคุมได้ จึงช่วยลดเวลาในการดำเนินงานพร้อมกับความปลอดภัยที่มีมากขึ้น [1] โดยเฉพาะงานที่ต้องใช้ชิ้นส่วนที่เป็นโลหะเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตสินค้า ยกตัวอย่างเช่น การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ การบิน งานก่อสร้าง และอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งงานเชื่อมเป็นงานที่ค่อนข้างอันตรายและผู้ที่ทำงานด้านนี้ต้องใช้ความระมัดระวัง และที่สำคัญต้องมีเทคนิค ทักษะ ความรู้ ความเชี่ยวชาญในการทำงานค่อนข้างสูง ซึ่งในการทำงานร่วมกันกับหุ่นยนต์เชื่อม นั้น ควรรู้จักประกอบหรือปัจจัยต่าง ๆ ของการเชื่อม โดยทั่วไปให้ละเอียดครบถ้วน เพื่อลดปัญหาต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น และสามารถที่จะทำงานเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบหรือปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพงานเชื่อม นั้น มีการทบทวนวรรณกรรมที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในงาน

เชื่อมอุตสาหกรรม โดยจากการวิจัยศึกษาของ N. Agwan et al. [2], S. Singh et al. [3] ได้เน้นที่การวิเคราะห์และการปรับปรุงพารามิเตอร์การเชื่อมแบบ MIG และ TIG เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืน นอกจากนี้ Y. Ma et al. [4] ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพในโรงงานเชื่อม ในทำนองเดียวกันในการวิจัยของ Z. Jie et al. [5] ที่เน้นการศึกษาเทคโนโลยีเชื่อมด้วยเลเซอร์ในการผลิตตัวถังรถยนต์ และยังมีการศึกษาจาก Y.-J. Tao et al. [6], Nguyen et al. [7] ได้เน้นที่การใช้เทคโนโลยีใหม่ เช่น การบันทึกวิดีโอแบบเรียลไทม์ และการใช้ตัวกรองไฟฟ้าสถิตเพื่อปรับปรุงกระบวนการเชื่อมและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้านงานวิจัยของ อนุสิทธิ์ อ่ำไพบูลย์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาเรื่อง การหาสภาวะที่เหมาะสมของเงื่อนไขการเชื่อมแบบแม็กเอ็ม โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง [8] และ ภูเมศวร แสงระยับ และคณะ (2560) ได้ศึกษาเรื่อง การหาค่าที่เหมาะสมของการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม JFE429 [9]

การวิจัยในด้านการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ได้รับความสนใจอย่างมากในหลายสาขาวิชา โดยเฉพาะในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั้น โดยจากการศึกษาของ จักรินทร์ น่วมทิม และคณะ [10] ได้ศึกษาอิทธิพลของความร้อนที่มีต่อการหดตัวของชิ้นงานเหล็กเกรด 304 จากกระบวนการเชื่อม MiG ซึ่งเป็นการศึกษาที่ช่วยให้เข้าใจถึงผลกระทบของความร้อนต่อวัสดุเหล็กในกระบวนการเชื่อม ทางด้านการพัฒนาและนวัตกรรม นอกจากนี้ ชีระ สรรพอาษา และคณะ [11] ได้ทำการออกแบบการทดลองงานเชื่อมท่อโลหะต่างชนิด เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลด้วยโปรแกรมทางสถิติ การศึกษานี้ช่วยให้เข้าใจถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของแนวเชื่อมและสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน และยังมีการศึกษาของ ชีรพงษ์ ฉิมเพชร และคณะ [12] ได้พัฒนาชุดสาธิต หุ่นยนต์แขนกล

บทความวิจัย (Research Article)

อุตสาหกรรมแบบสกรูเคลื่อนที่อิสระ 4 ทิศทาง ซึ่งเป็นการนำเสนอเทคโนโลยีหุ่นยนต์ที่สามารถใช้ในการจัดการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมหุ่นยนต์ การวิจัยนี้ช่วยเสริมความรู้และทักษะในการใช้หุ่นยนต์ ในกระบวนการผลิต ด้าน บริษัทสุวิมล จำกัด [13] ได้เสนอคำถามว่าหุ่นยนต์เชื่อมตอบโจทยโรงงาน อุตสาหกรรมได้จริงหรือไม่ ซึ่งเป็นการสำรวจความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของหุ่นยนต์เชื่อม ในสภาพแวดล้อมการผลิตจริง ด้านการศึกษางานวิจัยอื่น ๆ เช่น การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดในการกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยวิทยา อินทร์สอน [14] และการลดของเสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอโทรศัพท์มือถือโดย วิทยา สุมะลี และระพี กาญจนะ [15] ช่วยเสริมความเข้าใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและการออกแบบการทดลองในการพัฒนากระบวนการผลิตและการจัดการคุณภาพในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

โดยรวมแล้วการวิจัยเหล่านี้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเท่านั้น แต่ยังช่วยให้เข้าใจถึงผลกระทบของเทคโนโลยีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม โดยมีการชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการควบคุมพารามิเตอร์และเทคนิคการเชื่อมเพื่อผลลัพธ์ที่มีคุณภาพสูง แล้วยังสามารถนำไปรวมกันเป็นฐานความรู้ที่สำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการเชื่อมในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเน้นที่การควบคุมคุณภาพและความยั่งยืน

ในการเชื่อมประสานให้เนื้อวัสดุหลอมละลายเข้ากันได้ดีนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาถึงข้อปฏิบัติ องค์ประกอบหรือปัจจัยต่าง ๆ และการออกแบบการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโลหะ ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมแบบ Manual หรือ Automatic เพื่อให้แนวเชื่อมมีคุณภาพมาตรฐาน ดังนั้น จากปัญหาและความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาเรื่องการใช้แขนกลเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนให้เหมาะสมตามองค์ประกอบของกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet

เพื่อให้ภาคอุตสาหกรรมหรือผู้ประกอบการใหม่ ๆ ที่มีการใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมด้านงานเชื่อมโลหะ ได้นำไปใช้ประโยชน์ ตลอดจนทำให้ นิสิต-นักศึกษา มีองค์ความรู้ ความเข้าใจ และมีความพร้อมด้านกำลังคนในงานหุ่นยนต์เชื่อม ตามความต้องการของตลาดแรงงานต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาองค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกล ตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet โดยการเชื่อมต่อมุม (Corner Joint)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาเรื่อง องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกล ตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง จากการศึกษาเรื่อง การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ [14] และการลดของเสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอโทรศัพท์มือถือโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง [15] โดยมุ่งเน้นทำการศึกษา เกี่ยวกับ ปัจจัยของกระแสไฟฟ้า (Current) ความเร็วในการป้อนลวด (Wire Feed Speed) และความเร็วในการเชื่อม (Weld Speed) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตชิ้นงานให้มีคุณภาพสูง ลดต้นทุนการผลิต ประหยัดเวลา ลดข้อผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิตด้านงานเชื่อม มีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 ขอบเขตและวิธีการทดลอง

- แขนกล ABB รุ่น IRB 1520 ID
- เหล็กกล้าคาร์บอน มอก. 1479-2541 NESCO กลุ่ม W01 ตามมาตรฐานงานเชื่อม

บทความวิจัย (Research Article)

ISO 9606 และ 857 ขนาดความกว้าง 100 มิลลิเมตร (มม.) ยาว 150 มิลลิเมตร (มม.) และหนา 4.5 มิลลิเมตร (มม.)

- 3.1.3 ลวดเชื่อม MIG รุ่น ER70S-6 ขนาด 1.2 มิลลิเมตร (มม.)
- 3.1.4 แก๊สปกคลุม CO₂ 100 %
- 3.1.5 เครื่องทดสอบแรงกด ยี่ห้อ Toyo Capacity 60 Tons (Model 60T)
- 3.1.6 frequency 1.4 เฮิรตซ์ (Hz)

3.2 ขอบเขตการเลือกระดับองค์ประกอบ

ผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญขององค์ประกอบที่สำคัญที่สามารถควบคุมได้ 3 องค์ประกอบ ได้แก่

- (1) กระแสไฟฟ้า (Current : แอมป์ (A))
- (2) ความเร็วในการป้อนลวด (Wire Feed Speed : เมตรต่อวินาที (m/min))
- (3) ความเร็วในการเชื่อม (Weld Speed : มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s)) ส่วนระดับการตั้งค่าตั้งไว้ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำและระดับสูง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับขอบเขตองค์ประกอบทดสอบเบื้องต้น

ระดับองค์ประกอบ	ระดับการตั้งค่า		สัญลักษณ์
	ระดับต่ำ	ระดับสูง	
กระแสไฟฟ้า (แอมป์: A)	70	157	C
ความเร็วในการป้อนลวด (เมตร/นาที)	1.0	5.0	WFS
ความเร็วในการเชื่อม (มิลลิเมตร/วินาที)	2	6	WS

3.3 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น

เป็นการคัดกรองหาปัจจัยหลักที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกลให้มีความเหมาะสมตามองค์ประกอบของกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet ออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab R.14 ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design มีจำนวนการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เท่ากับ 30 การทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	ระดับปัจจัย		
		กระแส (แอมป์)	ความเร็วในการป้อนลวด (เมตร/นาที)	ความเร็วในการเชื่อม (มิลลิเมตร/วินาที)
1	9	113.5	1	2
2	30	113.5	3	4
3	4	157.0	5	4
4	17	157.0	1	4
5	27	113.5	5	6
6	21	157.0	3	2
7	19	157.0	5	4
8	7	70.0	3	6
9	26	113.5	1	6
10	20	70.0	3	2
11	6	157.0	3	2
12	22	70.0	3	6
13	14	113.5	3	4
14	10	113.5	5	2
15	24	113.5	1	2
16	8	157.0	3	6
17	29	113.5	3	4

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 2 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14 (ต่อ)

ลำดับ การ ทดลอง	ลำดับ การ สุ่ม	ระดับปัจจัย		
		กระแส (แอมแปร์)	ความเร็วใน การป้อนลวด (เมตร/นาที)	ความเร็วใน การเชื่อม (มิลลิเมตร/ วินาที)
18	13	113.5	3	4
19	15	113.5	3	4
20	16	70.0	1	4
21	3	70.0	5	4
22	2	157.0	1	4
23	5	70.0	3	2
24	23	157.0	3	6
25	18	70.0	5	4
26	12	113.5	5	6
27	28	113.5	3	4
28	25	113.5	5	2
29	1	70.0	1	4
30	11	113.5	1	6

3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 2 มาทำการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ โดยการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ดังนี้

1. การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ
2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

3.5 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

หลังจากได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในหัวข้อที่ 1, 2 และ 3 ว่ามีความเหมาะสมตามแผนการทดลอง หลังจากนั้นทำการ

วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) จากตารางที่ 3 Estimated Regression Coefficients for Strength

ตารางที่ 3 ค่า P ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบความแข็งแรง (Minitab Release 14)

Response Surface Regression: Strength versus Current, Wire Feed Speed, Weld Speed

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Strength

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1531.56	1497.73	1.023	0.319
C	46.95	18.64	2.518	0.020
WFS	255.57	309.08	0.827	0.418
WS	71.52	349.27	0.205	0.840
C*C	-0.20	0.07	-2.749	0.012
WFS*WFS	-40.10	35.05	-1.144	0.266
WS*WS	-2.60	35.05	-0.074	0.942
C*WFS	0.14	1.55	0.093	0.927
C*WS	-0.14	1.55	-0.093	0.927
WFS*WS	-3.13	33.68	-0.093	0.927

S = 381.0 R-Sq = 75.0% R-Sq(adj) = 85.0%

Analysis of Variance for Strength

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	1306333	1306333	145148	1.00	0.471
Linear	3	72500	964390	321463	2.21	0.118
Square	3	1230083	1230083	410028	2.82	0.065
Interaction	3	3750	3750	1250	0.01	0.999
Residual Error	20	2903333	2903333	145167		
Lack-of-Fit	3	5000	5000	1667	0.01	0.999
Pure Error	17	2898333	2898333	170490		
Total	29	4209667				

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่า $R^2 = 95\%$ ดังนั้น R^2 มีค่ามากกว่า 75% (เป็นไปตามสมการของ Hu, R. [16] และ Haaland. [17]) กล่าวคือ ถ้าค่า R^2 ที่ได้เท่ากับ 0.75 หรือ 75% ขึ้นไป ถือว่าข้อมูลที่น่ามาทำการ

บทความวิจัย (Research Article)

ทดลองมีความเชื่อถือได้และมีความแม่นยำ ส่วนค่า P น้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่า P มากกว่า 0.05 แสดงว่าไม่มีนัยสำคัญ [16,17]

3.6 หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย

3.6.1 สร้างสมการการทำนาย

โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) ของปัจจัยไปเขียนสมการทำนายความแข็งแรงของแนวเชื่อม จากตารางที่ 3 เพื่อนำสมการทำนายที่ได้ ไปใช้หาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} \text{Maximize} = & 1531.56 + 46.95 (C) + 255.57 (WFS) + 71.52 (WS) \\ & - 0.20 (C * C) - 40.10 (WFS * WFS) - 2.60 (WS * WS) \\ & + 0.14 (C * WFS) - 0.14 (C * WS) \\ & - 3.13 (WFS * WS) \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

3.6.2 หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย

หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยและใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability: D) ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ มีค่าระหว่าง 0–1 ซึ่งถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย

Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Strength	Maximum	0	1	1	1	1
Global Solution						
Current (C)	= 113.50					
Wire Feed Speed (WFS)	= 3.0					
Weld Speed (WS)	= 4.00					
Predicted Responses						
Strength	= 4833, desirability = 1					
Composite Desirability	= 1.00000					

4. ผลการวิจัย

4.1 การออกแบบการทดลอง

องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกล ตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet ในการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 14 ทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งหมด 30 การทดลอง การทดลองจะทำการสุ่มแบบเจาะจง โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน มอก. 1479-2541 NESCO กลุ่ม W01 ตามมาตรฐานงานเชื่อม ISO 9606 และ 857 โดยการเชื่อมต่อมุม (Corner Joint) นำไปเชื่อมให้เสร็จเรียบร้อย โดยคิดค่าความแข็งแรงที่ออกมาและความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	ระดับปัจจัย			
		Current (A)	Wire Feed Speed (m/min)	Weld Speed (mm/s)	Strength (kg/cm ²)
1	9	113.5	1	2	4,200
2	30	113.5	3	4	5,300
3	4	157.0	5	4	4,100
4	17	157.0	1	4	4,500
5	27	113.5	5	6	5,100
6	21	157.0	3	2	4,700
7	19	157.0	5	4	4,600
8	7	70.0	3	6	4,200
9	26	113.5	1	6	5,000
10	20	70.0	3	2	4,600
11	6	157.0	3	2	4,200
12	22	70.0	3	6	4,700
13	14	113.5	3	4	4,400
14	10	113.5	5	2	4,300
15	24	113.5	1	2	4,900

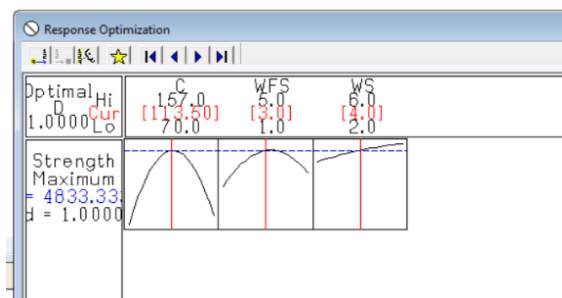
ตีพิมพ์โดย ไซยศล และ วิทยา อินทร์สอน, องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกลตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 5 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม
Minitab Release 14 (ต่อ)

ลำดับ การทดลอง	ลำดับ การ สุ่ม	ระดับปัจจัย			
		Current (A)	Wire Feed Speed (m/min)	Weld Speed (mm/s)	Strength (kg/cm ²)
16	8	157.0	3	6	4,200
17	29	113.5	3	4	5,200
18	13	113.5	3	4	4,400
19	15	113.5	3	4	4,500
20	16	70.0	1	4	4,500
21	3	70.0	5	4	4,100
22	2	157.0	1	4	4,000
23	5	70.0	3	2	4,100
24	23	157.0	3	6	4,800
25	18	70.0	5	4	4,500
26	12	113.5	5	6	4,400
27	28	113.5	3	4	5,200
28	25	113.5	5	2	5,000
29	1	70.0	1	4	4,000
30	11	113.5	1	6	4,400

จากตารางที่ 5 ผลการทดลอง พบว่า ระดับค่าองค์ประกอบของการใช้แขนกลเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet ที่เหมาะสม คือ กระแสไฟฟ้า 113.5 แอมแปร์ ความเร็วในการบ่อนวด 3.0 เมตรต่อวินาที และความเร็วในการเชื่อม 4.0 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีค่าการทดสอบแรงกด (compression test) ที่ 4.5 ตัน หรือค่าความแข็งแรง 4,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแนวเชื่อมที่ออกมามีความสมบูรณ์ โดยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้



รูปที่ 1 กราฟผลตอบแทนของค่าที่เหมาะสม

จากรูปที่ 1 ทำการวิเคราะห์ยืนยันผลตามผลการทดลอง ประกอบด้วยกระแสไฟฟ้า 113.5 แอมแปร์ ความเร็วในการบ่อนวด 3.0 เมตรต่อวินาที และความเร็วในการเชื่อม 4.0 มิลลิเมตรต่อวินาที เพื่อยืนยันอีกครั้ง หลังจากนั้นนำไปทำการทดลองเพื่อยืนยันผลตอบแทน (Response Optimizer) จากกราฟผลตอบแทนของค่าที่เหมาะสมในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชิ้นงานที่ทำการทดสอบยืนยันผล

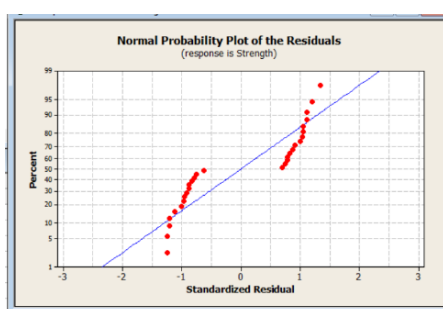
4.2 วิเคราะห์ผลการตรวจสอบข้อมูลผลการทดลอง

เมื่อทราบผลการทดสอบความแข็งแรงที่ได้จากการทดลอง 30 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ ด้วยการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล มีดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)

4.2.1 การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ

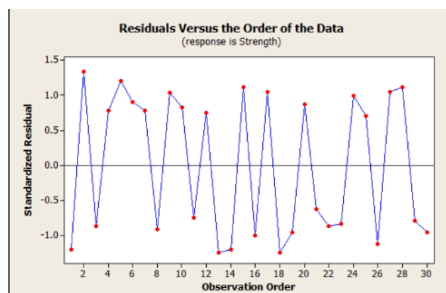
เป็นการตรวจสอบส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ จากรูปที่ 3 พบว่า ส่วนตกค้างจากการทดลอง ค่าความแข็งแรง ไม่แสดงสิ่งผิดปกติให้เห็น และจากการตรวจสอบค่าสัมบูรณ์ของส่วนตกค้าง ประมวลทั้งหมด 30 การทดลอง แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสม



รูปที่ 3 การกระจายแบบแจกแจงปกติ

4.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

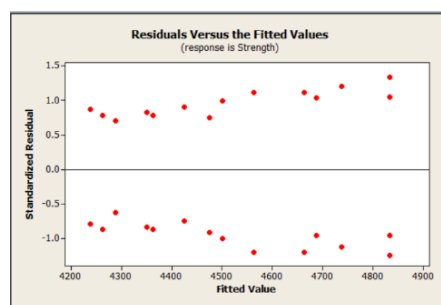
คือ ใช้แผนภูมิการกระจายเพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนที่ข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่ จากรูปที่ 4 พบว่า ส่วนตกค้างของผลการทดลองมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ แสดงว่าข้อมูลมีความอิสระ



รูปที่ 4 ความเป็นอิสระของข้อมูล

4.2.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

คือ ใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระดับปัจจัย จากรูปที่ 5 พบว่า ส่วนตกค้างของผลการทดลองมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ แสดงว่า ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 5 ความเสถียรของความแปรปรวน

5. สรุปผลการศึกษา

องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกล ตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet ในการออกแบบการทดลองโดยใช้ โปรแกรม Minitab Release 14 รวมทั้งหมด 30 ครั้ง การทดลองจะทำการสุ่มแบบเจาะจง โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน มอก. 1479-2541 NESCO กลุ่ม W01 ตามมาตรฐานงานเชื่อม ISO 9606 และ 857 ขนาดความกว้าง 100 เซนติเมตร (ซม.) ยาว 150 เซนติเมตร (ซม.) และหนา 4.5 มิลลิเมตร (มม.) ลวดเชื่อม MIG รุ่น ER70S-6 ขนาด 1.2 มิลลิเมตร (มม.) แก๊สปกคลุมเป็น CO₂ 100 % เครื่องทดสอบแรงกดยี่ห้อ Toyo Capacity 60 Tons (Model 60T) หุ่นยนต์แขนกลยี่ห้อ ABB รุ่น IRB 1520 ID และปรับใช้ความถี่ (Frequency) ที่ 1.4 Hz ซึ่งเป็นความถี่ต่ำและปรับใช้กับโหมดการเชื่อมแบบ Pulsed MIG จากเครื่องเชื่อม Fronius รุ่น TPS 400i ที่มีความแม่นยำในการควบคุม

บทความวิจัย (Research Article)

พลังงานเชื่อม โดยหุ่นยนต์สามารถควบคุมความเร็ว การเชื่อมและรักษา Arc ได้อย่างสม่ำเสมอ จึงส่งผล ต่อการควบคุมความลึกของการหลอมละลาย หรือการ เจาะลึกลงไปในรอบต่อของชิ้นงานได้ดี และมีความ แม่นยำในการควบคุมแนวเชื่อม ทำให้คุณภาพแนว เชื่อมที่ทำการเชื่อมแบบต่อมุม (Corner Joint) ทำ ราบ (Flat Position) หรือเมื่อนำการปรับใช้ความถี่ไป เปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมอูมิเนียมด้วย หุ่นยนต์แขนกล [1] จะได้ลักษณะแนวเชื่อมออกมา มี คุณภาพสมบูรณ์ แนวเชื่อมไม่กว้างหรือแคบเกินไป มี spatter น้อย และการปรับใช้ ความถี่ ยังมี ความสัมพันธ์กับระดับองค์ประกอบอื่นที่เหมาะสม คือ กระแสไฟฟ้า (Current : C) ที่ 113.5 แอมแปร์ ซึ่งจากขอบเขตการเลือกระดับองค์ประกอบ ที่ได้ให้ ความสำคัญที่สามารถควบคุมได้ในส่วนของ กระแสไฟฟ้านั้น ได้ตั้งไว้ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำสุดที่ 70 A และระดับสูงสุด ที่ 157 A โดยเป็นช่วงกระแสที่ เหมาะกับการเชื่อมโลหะที่มีความหนาของชิ้นงาน ตั้งแต่ 2.0-6.0 มม. รองรับการควบคุมความร้อนสะสม (Heat Input) ด้วยหุ่นยนต์ที่แม่นยำ ลดข้อผิดพลาด ต่างๆ และประหยัดเวลาในสายการผลิต ไม่เกิดปัญหา หรือข้อบกพร่องเชิงคุณภาพแนวเชื่อม อาทิ ด้านการ บิดงอของชิ้นงาน รูพรุน (Porosity) Undercut การ ไม่หลอมละลาย (Lack of Fusion) และรองรับกับ การใช้งานลวดเชื่อมที่หลากหลาย ตั้งแต่ขนาด 0.9- 1.2 มม. ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานสำหรับการเชื่อม MIG อัตโนมัติ นอกจากนี้กระแสในช่วงนี้ยังปรับได้ สอดคล้องกับแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ความเร็วในการ บ้อนลวด (Wire Feed Speed : WFS) ที่ 3.0 เมตร ต่อนาทีและความเร็วในการเชื่อม (Weld Speed : WS) ที่ 4.0 มิลลิเมตรต่อวินาทีได้พอดี ส่วนผลลัพธ์ ด้านความแข็งแรงที่ได้เท่ากับ 4,500 กิโลกรัมต่อ ตารางเซนติเมตร โดยที่บริเวณรอยต่อของชิ้นงานที่ เชื่อมไม่เกิดการฉีกขาดจากแรงกด แต่เกิดการโค้งงอ

ตามแรงกด ด้านลักษณะแนวเชื่อมมีคุณภาพสมบูรณ์ ตรงตามเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

6. ข้อเสนอแนะ

การนำกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยแขนกลไป ประยุกต์ใช้งานจริงในอุตสาหกรรม User ควรทำการ ปรับตั้งองศา Axis 4 และ Axis 5 ของหุ่นยนต์ในขณะ ทำการเชื่อมให้อยู่ในองศาที่ถูกต้องเหมาะสม เพราะ จะส่งผลโดยตรงต่อมุมในการเดินลวด ซึ่งการตั้งมุม ลวดเชื่อมถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของ กระบวนการเชื่อม ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมแบบ Manual หรือ Automatic ส่วนการปรับตั้งระยะ ปลายลวดเชื่อมให้ยื่นออกมาจากปลาย Nozzle หรือ Electrode Stick Out ควรปรับตั้งให้เหมาะสมที่ ระยะ 10-12 มม. ไม่ควรสั้นหรือยาวเกินไป และการ รักษาระยะห่างของ Contact Tip กับชิ้นงานในขณะ ทำการเชื่อม เพราะปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อการ ถ่ายเทน้ำโลหะลงบนชิ้นงาน ส่วนด้านการเลือกใช้แก๊ส ปกคลุมที่จะส่งผลต่อการอาร์คและการหลอมลึกลง นั้น ควรเลือกให้เหมาะสมกับวัสดุงาน นอกจากนี้ยังมี ประเด็นที่น่าสนใจคั่นคว้าเกี่ยวกับ การศึกษาข้อมูล ของลวดเชื่อมแต่ละชนิด แต่ละยี่ห้อมีความ เหมาะสมกับการถ่ายเทน้ำโลหะแบบใด รวมถึง แนวทางการแก้ปัญหาข้อบกพร่องงานเชื่อมใน กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยแขนกล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ ที่ดีที่สุดต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณหน่วยงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม ที่สนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ วัสดุ-อุปกรณ์ และหุ่นยนต์แขนกลเชื่อม เพื่อใช้ในการ วิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จตามเป้าหมาย

บทความวิจัย (Research Article)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ตีเพชร ไชยศล และ วิทยา อินทร์สอน, “ปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมอลูมิเนียมด้วยหุ่นยนต์แขนกล,” ใน *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 42*, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2567. หน้า 54-59.
- [2] N. K. Agwan, K. H. Madavi, S. L. Kulkarni and A. S. Harkal "Experimental Investigation on Parametric Optimization of MIG welding process on Mild Steel E34 by using Taguchi Technique," *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 7, pp. 2675-2679, 2019, doi:10.22214/ijraset.2019.6454
- [3] S. K. Singh, B. K. Samal, S. R. Pradhan, S. R. Ojha, M. D. Saffin, and A. M. Mohanty, “Sustainable analysis of tig parameters for welding aluminum alloy considering joint gap and welding current,” in *International Conference on Application of Robotics in Industry using Advanced Mechanisms*, 2019, pp. 316–323.
- [4] Y. Ma, L. Li, T. Bai, and C. Jin, “Quality of Company D Welding Workshop,” in *International Conference on Intelligent and Interactive Systems and Applications*, 2016, pp. 439–444.
- [5] Z. Jie, Y. Lan, and J. Z., “Research on Factors Affecting Laser Welding Quality of Automobile Body,” in *International Conference on Medicine, Biology, Materials and Manufacturing (ICMBMM 2018)*, 2018.
- [6] Y. J. Tao, W. C. Guo, C. J. Miao, and J. F. Shi, “Study on Electrofusion Welding Process Based on Real-time Ultrasonic Phased Array Video Recording,” in *2020 IEEE Far East NDT New Technology & Application Forum (FENDT)*, Nov. 2020., pp. 66–70.
- [7] H. B. H. Nguyen, M. L. Du, and T. H. Bui, “Design and Manufacture of Welding Fumes Electrostatic Precipitator and Parameter Study on Filtration Performance,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 907, pp. 115–129, 2022.
- [8] อนุสิทธิ์ อ่ำไพบุลย์, วิทยา อินทร์สอน, และพรชัย ฉัตรชัยวัฒนา, “การหาสภาวะที่เหมาะสมของเงื่อนไขการเชื่อมแบบแม็กเอ็ม โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง,” ใน *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประเทศไทย*, ตุลาคม 2551.
- [9] ภูเมศวร แสงระยับ และคณะ, “การหาค่าที่เหมาะสมของการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลูมสำหรับเหล็กกล้าโรสนิม JFE429,” ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55*, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560, หน้า 283–290.
- [10] จักรินทร์ น่วมทิม, อนุชา ขวัญสุข, และ ปิยะมาศ นวลเคน, “การวิจัยศึกษาอิทธิพลของความร้อนที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานด้วยเหล็กเกรด 304 จากกระบวนการเชื่อมมิก,” *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ*, 2557.
- [11] ชีระ สรรพอาษา และคณะ, “การออกแบบการทดลองงานเชื่อมท่อโลหะต่างชนิดเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลด้วยโปรแกรมทาง

บทความวิจัย (Research Article)

สถิติ,” ใน การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้าน
วิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม
ครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2561.

- [12] อธิพงษ์ นิยมเพชร และ สมคิด สุทธิศักดิ์, “การ
พัฒนาชุดสาธิตเรื่องหุ่นยนต์แขนกล
อุตสาหกรรมแบบสกรูเคลื่อนที่อิสระ 4
ทิศทางสำหรับการจัดการเรียนการสอนทางด้าน
วิศวกรรมหุ่นยนต์,” คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2564.

- [13] บริษัท สุวิมล จำกัด, “หุ่นยนต์เชื่อมตอบโจทย์
โรงงานอุตสาหกรรมได้จริงหรือไม่,” [ออนไลน์].
Available:
<https://www.sumipol.com/knowledge/welding-robot/>. [เข้าถึงเมื่อ: 6 เมษายน 2567].

- [14] วิทยา อินทร์สอน, “การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรด
เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์
105,” ปรินญาปรัชญาคุณภูมิบัณฑิต,
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.

- [15] วิทยา สุมะลี และ ระพี กาญจนะ, “การลดของ
เสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอ
โทรศัพท์มือถือ โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการ
ทดลอง,” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี, 2560.

- [16] R. Hu, Food product design. A computer-
aided statistical approach,
Pennsylvania, USA: Technomic
publishing Co., Ltd., 1999.

- [17] P. D. Haaland, *Experimental design in
biotechnology*, CRC press, 2020.

การพัฒนาระบบการเปิดตะกอกสำหรับกึ่งพื้นบ้านของกลุ่มทอผ้าไหมบ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

วชิรศักดิ์ เขียนวงศ์¹ และ จุฬาลักษณ์ จารุจุฑารัตน์^{1,*}

¹สาขาวิชาออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: julalak.ja@bsru.ac.th โทรศัพท์: 096-145-5695
(รับบทความ: 22 เมษายน 2568; แก้ไขบทความ: 14 กรกฎาคม 2568; ตอรับบทความ: 20 สิงหาคม 2568)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากลไกเปิดตะกอกแบบแจ๊คการ์ด 400 เซ็มสำหรับกึ่งพื้นบ้านของกลุ่มทอผ้าไหมบ้านหนองตราดน้อย จังหวัดบุรีรัมย์ โดยมุ่งเน้นการสร้างต้นแบบระบบที่สามารถติดตั้งและใช้งานได้จริงในชุมชน พร้อมทั้งออกแบบเครื่องมือเสริม ได้แก่ เครื่องเจาะแผ่นการ์ดและเครื่องร้อยแผ่นการ์ด เพื่อสนับสนุนกระบวนการผลิตฝ้ายกดอกและลดข้อจำกัดด้านแรงงานฝีมือที่ต้องอาศัยความชำนาญสูง อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านการใช้นวัตกรรมที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชน องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้ไม่เพียงแต่ช่วยให้การทอผ้ามีประสิทธิภาพมากขึ้นเท่านั้น แต่ยังเปิดโอกาสให้คนรุ่นใหม่หรือผู้ที่ไม่มีพื้นฐานทางการทอผ้า สามารถเข้าถึงและเรียนรู้กระบวนการผลิตได้อย่างเข้าใจง่าย ส่งผลต่อการอนุรักษ์ภูมิปัญญาและสร้างรายได้ในระดับท้องถิ่น กระบวนการวิจัยประกอบด้วยการศึกษาความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย การออกแบบและสร้างต้นแบบ การติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ในสถานที่จริง และการประเมินผลด้วยวิธีการเชิงปริมาณและคุณภาพ จากผลการทดลองพบว่าระบบสามารถเพิ่มระยะการทอเป็น 45.72 เซนติเมตรต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากเดิมถึงสามเท่า โดยเครื่องเจาะแผ่นการ์ดมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 25 แผ่นต่อชั่วโมง และเครื่องร้อยแผ่นการ์ดสามารถร้อยได้ภายใน 3.5 วินาทีต่อแผ่น การวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์ชี้ให้เห็นว่าแรงกดจากท่อน้ำมีผลต่อความแม่นยำในการยกเส้นด้ายขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับความคมชัดของลวดลายที่ทอ การออกแบบที่คำนึงถึงหลักการเคลื่อนที่และแรงกดที่เหมาะสมยังช่วยลดความเมื่อยล้าของผู้ทอผ้า และเพิ่มความต่อเนื่องของการทำงานโดยไม่เกิดความผิดพลาด ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมาก สะท้อนถึงความเหมาะสมของนวัตกรรมต่อการใช้งานจริง ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมคือควรสนับสนุนการฝึกอบรมการใช้งานระบบอย่างต่อเนื่อง และพัฒนาให้อุปกรณ์สามารถปรับใช้งานได้ในพื้นที่ที่มีบริบทแตกต่างกัน เพื่อขยายผลในระดับภูมิภาคอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: กึ่งพื้นบ้าน ฝ้ายกดอก การทอผ้า ระบบเปิดตะกอก

การอ้างอิงบทความ: วชิรศักดิ์ เขียนวงศ์ และ จุฬาลักษณ์ จารุจุฑารัตน์, "การพัฒนาระบบการเปิดตะกอกสำหรับกึ่งพื้นบ้านของกลุ่มทอผ้าไหมบ้านหนองตราดน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 5, หน้า 28-41, 2568.

The Development of Jacquard Shedding Mechanism on Folk Loom of Ban Nong Trat Noi Silk Weaving Group, Chum Het Sub-district, Muang District, Buriram

Wachirasak Kainwong¹ and Julalak Jarujutarat^{1,*}

¹ Program of Product Design and Development, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
BansomdejChaopraya Rajabhat University

*Corresponding Author: julalak.ja@bsru.ac.th, Tel: 096-145-5695

(Received: April 22, 2025; Revised: July 14, 2025; Accepted: August 20, 2025)

Abstract

This study aims to develop a 400-hook Jacquard shedding mechanism tailored for traditional handlooms used by the Ban Nong Trat Noi silk weaving group in Buriram Province. The primary goal is to create a functional prototype that can be effectively integrated within community-based production systems. In addition, the research includes the design and fabrication of auxiliary tools such as a punch card drilling machine and a card threading machine to support the production of patterned silk textiles and reduce dependence on highly skilled labor. The innovation is intended to facilitate the transfer of knowledge through technology adapted to local contexts. The findings from the study demonstrate improvements in production efficiency and enable broader participation from younger individuals and those without prior weaving experience, thereby contributing to the preservation of indigenous knowledge and community-level economic development. The research methodology involved assessing user requirements, designing and constructing prototype equipment, conducting field installations and testing, and evaluating performance using both quantitative and qualitative methods. Experimental results show that the developed Jacquard system improves weaving speed to an average of 45.72 centimeters per hour—approximately three times faster than the traditional process. The punch card drilling machine operates at an average rate of 25 cards per hour, and the card threading machine completes each unit in approximately 3.5 seconds. Mechanical analysis reveals that pressure generated from the knife box significantly influences the accuracy of warp thread elevation, directly affecting the clarity of woven patterns. The system's design incorporates principles of motion dynamics and optimized force distribution to reduce operator fatigue and enhance operational stability. User satisfaction was reported to be high, affirming the practicality and relevance of the system. Recommendations include continuous training and customization of the equipment to suit various local environments, thereby supporting scalability and sustainable application across different community settings.

Keywords: Traditional Loom, Brocade Weaving, Textile Weaving, Shedding System

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ผ้าทอพื้นเมืองมิได้เป็นเพียงเครื่องนุ่งห่ม หากแต่เป็นงานหัตถกรรมที่สะท้อนอัตลักษณ์ วัฒนธรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่นอย่างลึกซึ้ง โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งมีเทคนิคการทอและจักสานเฉพาะตัว เช่น การทอไหม การทอตุ่ง และการสานไม้ไผ่ ที่เชื่อมโยงกับวิถีชีวิต ความเชื่อ และพิธีกรรมของชุมชน การทอและการสานจึงไม่เพียงเป็นการผลิตสิ่งของใช้ในชีวิตประจำวัน แต่ยังเป็นกระบวนการสร้างสรรค์ทางวัฒนธรรม ที่ถ่ายทอดภูมิปัญญาและอัตลักษณ์ของท้องถิ่นไปสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์ร่วมสมัยที่มีมิติทางศิลปะและเศรษฐกิจสร้างสรรค์ด้วย [1]

การคงอยู่ของผ้าทอพื้นบ้านจึงเผชิญกับความท้าทายอย่างมากจากกระแสโลกาภิวัตน์และความต้องการของตลาดที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดคำถามว่า ผ้าทอพื้นบ้านจะสามารถปรับตัวให้เข้ากับยุคสมัยและยังคงรักษาเอกลักษณ์ได้อย่างไร หนึ่งในแนวทางที่สำคัญคือ การนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีมาช่วยเสริมกระบวนการผลิตโดยไม่ทำลายอัตลักษณ์ของงานหัตถกรรม งานวิจัยในต่างประเทศ เช่น Ganesan และ Badari Nath [2] รายงานการพัฒนา แจ็กการ์ดเชิงกล-อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับกีฬามวย ซึ่งช่วยยกระดับกระบวนการทอและลดภาระแรงงาน ขณะเดียวกัน Albaugh et al. [3] ได้นำเสนอการพัฒนาเทคโนโลยีแจ็กการ์ดต้นทุนต่ำ ที่สามารถประยุกต์ใช้กับระบบทอผ้าที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดภาระแรงงาน และเพิ่มความยืดหยุ่นในการสร้างลวดลายที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เทคโนโลยีแจ็กการ์ด (Jacquard Mechanism) เป็นกลไกที่ช่วยให้สามารถยกเส้นด้ายขึ้นแต่ละเส้นขึ้นลงแยกจากกันได้อย่างอิสระ ส่งผลให้สามารถทอผ้าที่มีลวดลายซับซ้อนได้ ซึ่งกลไกนี้เคยถูกจำกัดอยู่ใน

อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แต่ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีความพยายามในการปรับลดขนาดและต้นทุนเพื่อให้เหมาะกับผู้ประกอบการรายย่อยหรือกลุ่มช่างฝีมือในชุมชน การพัฒนาแจ็กการ์ดแบบต้นทุนต่ำจึงนับเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการฟื้นฟูและส่งเสริมผ้าทอพื้นบ้านให้สามารถแข่งขันได้ทั้งในระดับประเทศและนานาชาติ

เทคโนโลยีดังกล่าวยังสามารถเชื่อมโยงกับแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) ที่เน้นการคงอยู่ของทรัพยากรทางวัฒนธรรมควบคู่กับการสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน การพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยให้การทอผ้าสะดวกขึ้นจึงไม่ใช่เพียงการเพิ่มผลผลิต หากแต่เป็นการสร้างโอกาสใหม่ให้กับคนรุ่นใหม่ได้เข้ามามีบทบาทในภาคการผลิตและการอนุรักษ์วัฒนธรรมท้องถิ่น นอกจากนี้ ยังสามารถสนับสนุนกิจกรรมในเชิงเศรษฐกิจสร้างสรรค์ (Creative Economy) ซึ่งอาศัยทุนวัฒนธรรม (Cultural Capital) เป็นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายและตรงความต้องการของตลาดร่วมสมัย

ในบริบทของกลุ่มทอผ้าไหมบ้านหนองทรายน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ กลุ่มแม่บ้านยังคงใช้ทักษะในการผลิตผ้าทอซึ่งให้ลวดลายละเอียด สะท้อนถึงภูมิปัญญาและความงามเฉพาะถิ่น อย่างไรก็ตาม การใช้แรงงานคนในการยกตะกอลำทำให้การผลิตต้องอาศัยทักษะเฉพาะและใช้เวลาในการเรียนรู้สูง อีกทั้งยังเป็นอุปสรรคต่อการขยายกำลังการผลิตและการฝึกสอนบุคลากรรุ่นใหม่ การใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือสนับสนุนจึงสามารถสร้างสมดุลระหว่างการอนุรักษ์กับการพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษาพบว่า ปัญหาขององค์ความรู้ที่สำคัญคือ การขาดแคลนกลไกการสื่อสารและการเรียนรู้ที่สามารถเชื่อมโยงการสืบทอดภูมิปัญญาการทอผ้าให้เหมาะสมกับบริบทของชุมชน อีกทั้งยังขาดระบบสนับสนุนที่ช่วยให้ผู้ทอผ้ารุ่นใหม่สามารถเรียนรู้

บทความวิจัย (Research Article)

และสร้างสรรค์ลวดลายดั้งเดิมควบคู่กับการประยุกต์แนวคิดร่วมสมัยได้ด้วยตนเอง [4] การสร้างต้นแบบนวัตกรรมที่ตอบโจทย์การผลิตของชุมชนอย่างแท้จริงจึงต้องอาศัยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ครบรอบองค์ความรู้จากช่างทอ นักวิจัย และเทคโนโลยีร่วมสมัยเข้าไว้ด้วยกัน

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา "กลไกการเปิดตะกอบแบบแจ๊คการ์ด" สำหรับกี่ทอพื้นบ้าน พร้อมทั้งสร้างต้นแบบเครื่องเจาะรูแผ่นการ์ด และเครื่องร้อยแผ่นการ์ด เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการผลิต ลดข้อจำกัดด้านแรงงานฝีมือ และส่งเสริมให้ผ้าทอพื้นบ้านยังคงรักษาอัตลักษณ์ควบคู่ไปกับการพัฒนาสู่ระดับวิสาหกิจชุมชนอย่างยั่งยืน โดยมุ่งหวังให้เกิดผลลัพธ์ทั้งในเชิงประจักษ์และเชิงนโยบายที่สามารถต่อยอดไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ สร้างมูลค่าเพิ่ม และยกระดับคุณภาพชีวิตของชุมชนอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาระบบการเปิดตะกอบสำหรับกี่ทอพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด 400 เซ็ม
- 2) เพื่อสร้างเครื่องเจาะรูแผ่นการ์ด
- 3) เพื่อสร้างเครื่องร้อยแผ่นการ์ด

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

- 1) ประชากร คือ กลุ่มทอผ้าไหมบ้านหนองทรายน้อย หมู่ที่ 10 ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

- 2) กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ทอผ้ากลุ่มทอผ้าไหมทุกคนที่เคยใช้เครื่องทอผ้าแบบกี่กระตุกและกี่ทอดั้งเดิม ใช้การเลือกแบบเจาะจง โดยพิจารณาจากประสบการณ์จำนวน 30 คน

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การกำหนดขั้นตอนการทำงาน

- 1) การศึกษาข้อมูลพื้นฐานองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องและข้อมูลจำเป็นต่อการออกแบบกี่ทอ การหาข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อการพัฒนาระบบการเปิดตะกอบสำหรับกี่ทอพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด 400 เซ็ม โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และจากศึกษาข้อมูลจากกลุ่มทอผ้าไหมบ้านหนองทรายน้อย หมู่ที่ 10 ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยตรงของคณะผู้วิจัยเกี่ยวกับบริบทกลุ่มทอผ้าไหมรูปแบบผ้าทอพื้นบ้าน และระบบการทำงานทอผ้าแบบพื้นบ้าน

- 2) บริบทกลุ่มทอผ้าไหม ศึกษาบริบทกลุ่มทอผ้าไหมบ้านหนองทรายน้อย หมู่ที่ 10 ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยศึกษาจากหนังสือ ตำรา งานวิจัย เอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ลงพื้นที่การสัมภาษณ์เชิงลึกผู้นำชุมชน ปราชญ์ชาวบ้านและชาวบ้าน โดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก เพื่อทราบถึงปัญหาและความต้องการในการกำหนดแนวคิดในการพัฒนาทอผ้า [5]

- 3) รูปแบบผ้าทอพื้นบ้าน การศึกษารูปแบบของลวดลายผ้าทอผ้าเพื่อให้ทราบารูปแบบผ้าทอผ้าพื้นบ้าน ลวดลายการทอผ้าและกระบวนการเป็นผ้าทอเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนาระบบการเปิดตะกอบสำหรับกี่ทอพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด 400 เซ็มหรือส่วนประกอบที่จำเป็น [6]

- 4) ออกแบบและสร้างต้นแบบการพัฒนาระบบการเปิดตะกอบสำหรับกี่ทอพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด

บทความวิจัย (Research Article)

400 เข็ม ดำเนินการออกแบบ และสร้างต้นแบบที่ทอผ้าต้นแบบขึ้น ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์ในการออกแบบและพัฒนา คือ

- (1) สามารถทำงานฝ้ายกดอกและจกได้อย่างต่อเนื่อง
- (2) ผ้าที่ทอได้ต้องมีหน้าผ้ากว้างไม่ต่ำกว่า 42 นิ้ว
- (3) ความหนาแน่นของผ้าอยู่ที่ 96 เส้นต่อนิ้ว
- (4) มีจำนวนตะกอกที่ใช้ไม่ต่ำกว่า 400 ตะกอก
- (5) ระบบการยกตะกอก ส่งด้ายพุ่ง และกระแทกเส้นพุ่งทำงานด้วยแรงงานคน
- (6) มีระบบม้วนผ้าและคลายด้ายยืน [7]

นวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของการทอผ้าพื้นบ้านซึ่งต้องพึ่งพาทักษะเฉพาะและแรงงานที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในบริบทของช่างทอผู้สูงอายุซึ่งเป็นแรงงานหลักในชุมชน การออกแบบกลไกการเปิดตะกอกแบบแจ๊คการ์ดจำนวน 400 เข็มที่สามารถควบคุมด้วยแรงงานคน ได้เข้ามาทดแทนการควบคุมลวดลายแบบเดิม ทำให้สามารถทอลวดลายยกดอกและจกได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง ลดความผิดพลาด เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และเอื้อต่อการเรียนรู้ของช่างทอรุ่นใหม่ที่ไม่มีพื้นฐานมาก่อน ควบคู่กันนี้ ได้มีการสร้างเครื่องเจาะรูแผ่นการ์ดและเครื่องร้อยแผ่นการ์ดเพื่อสนับสนุนระบบการทอผ้าแบบใหม่ให้สมบูรณ์ โดยเครื่องเจาะรูสามารถผลิตได้ถึง 200 แผ่นต่อวัน และเครื่องร้อยแผ่นการ์ดสามารถดำเนินการได้ภายในระยะเวลาเฉลี่ยเพียง 3.5 วินาทีต่อแผ่น ซึ่งช่วยลดภาระด้านแรงงานและเวลาในการเตรียมอุปกรณ์

องค์ความรู้ที่นำมาใช้ในการพัฒนา ประกอบด้วย เทคโนโลยีการทอผ้าด้วยระบบแจ๊คการ์ด ความรู้ด้านวิศวกรรมกลไกพื้นฐาน การออกแบบลวดลายผ้าทอเชิงชุมชน และแนวคิดการออกแบบที่คำนึงถึงผู้ใช้ (Human-Centered Design) โดยการบูรณาการภูมิ

ปัญญาท้องถิ่นเข้ากับนวัตกรรมสมัยใหม่ จึงนำไปสู่การยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ ลดต้นทุนแรงงาน และส่งเสริมความยั่งยืนของงานหัตถกรรมทอผ้าในระดับชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม

5) การสร้างต้นแบบที่ทอ เมื่อทำการวิเคราะห์การพัฒนากระบวนการเปิดตะกอกสำหรับที่ทอพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด 400 เข็ม ทำการสั่งทำชิ้นส่วนและการสร้างต้นแบบตามที่ได้ออกแบบโดยกระจายตามเครือข่ายร่วมวิจัย ผลิตชิ้นส่วนตามทีรูปแบบที่กำหนดและมาประกอบชิ้นส่วน เพื่อศึกษาต้นแบบวิเคราะห์ปัญหาเตรียมการทดสอบ ในพื้นที่สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา [8]

3.3 ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพที่ทอผ้า

หลังจากประกอบชิ้นส่วนเป็นต้นแบบ ทำการทดสอบเบื้องต้น และแก้ไขข้อบกพร่องแล้ว การพัฒนาระบบการเปิดตะกอกสำหรับที่ทอพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด 400 เข็มต้นแบบ จะถูกทดสอบและประเมิน เพื่อหาประสิทธิภาพและสมรรถนะในการทำงาน โดยมีขั้นตอนในการทดสอบและบันทึกค่าเพื่อได้ผลการทอวิจัย ดังนี้

1) ขั้นตอนการทดสอบการพัฒนาระบบการเปิดตะกอกสำหรับที่ทอพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด 400 เข็ม

- (1) กำหนดความกว้างของผ้าที่ทอ
- (2) กำหนดขนาดพื้นที่ทอ ขนาดเส้นด้ายยืน ขนาดเส้นพุ่งด้ายพุ่ง
- (3) ปรับตั้งระดับแรงกดคันเหยียบและคันโยก
- (4) ทำการทอผ้าโครงสร้างลายขัด และ ลายผสม

บทความวิจัย (Research Article)

2) ประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะการพัฒนาระบบการเปิดตะกอกสำหรับกึ่งพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด 400 เซม

(1) สามารถทำการทอผ้าโครงสร้างผ้าลายขัดและลายผสม

(2) ในการทอและการควบคุมความหนาแน่นเส้นด้ายพุ่งควบคุมได้

3) การสร้างเครื่องเจาะรูแผ่นการ์ดและเครื่องร้อยแผ่นการ์ด พร้อมทดสอบประสิทธิภาพ

4) การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน หลังจากทดสอบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะการพัฒนาระบบการเปิดตะกอกสำหรับกึ่งพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด 400 เซม เครื่องเจาะรูแผ่นการ์ดและเครื่องร้อยแผ่นการ์ดต้นแบบ จะถูกถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในพื้นที่ศึกษาโดยมีขั้นตอนในการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน ดังนี้ ขั้นตอนการส่งมอบกึ่งทอผ้ายกดอกและจกพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด 400 เซม

- (1) ประสานงานขอเข้าพื้นที่
- (2) เตรียมอุปกรณ์ และชิ้นส่วนที่สะดวกต่อการติดตั้ง
- (3) เข้าพื้นที่ติดตั้ง ทดสอบ
- (4) สรุปผล รายงานผลและข้อเสนอแนะ

3.4 เครื่องมือใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ

1) แบบสัมภาษณ์เก็บข้อมูลเบื้องต้น ข้อมูลกลุ่มผู้ผลิตผ้าทอด้านเทคนิค ข้อมูลด้านการจำหน่าย

2) แบบประเมินต้นแบบคุณภาพด้านคุณภาพระบบการเปิดตะกอกสำหรับกึ่งพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด 400 เซม

3) แบบประเมินความพึงพอใจในการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่อกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งแบบประเมินความพึง

พอใจในการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่อกลุ่มเป้าหมาย คือแบบประเมินต้นแบบผลิตภัณฑ์กับกลุ่มเป้าหมายจำนวน 400 คน ประกอบด้วยประชาชนทั่วไปในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดใกล้เคียง ที่มีความสนใจผลิตภัณฑ์ผ้าทอพื้นบ้าน โดยการใช้แบบสอบถามแบบปลายเปิดและปลายปิด แบ่งได้ 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ การศึกษา อาชีพ และรายได้ต่อเดือน

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามทางด้านการพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ประโยชน์ใช้สอย ราคาเหมาะสม มีความสะดวกสบายในการใช้งาน ความงามทางด้านรูปแบบ ลวดลายบนวัสดุ มีรูปแบบทันสมัย มีความแปลกใหม่และมีเอกลักษณ์ทางด้านวัฒนธรรม มีความทนทานต่อการใช้งาน

ส่วนที่ 3 ทศนคติและข้อคิดเห็นทางด้านการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ ลักษณะคำถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ โดยมีเกณฑ์การประเมินแปลผลดังต่อไปนี้ [8] (ระดับคะแนน 4.50 – 5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมดีมาก ระดับคะแนน 3.50 – 4.49 หมายถึง มีความเหมาะสมดี ระดับคะแนน 2.50 – 3.49 หมายถึง มีความเหมาะสมปานกลาง ระดับคะแนน 1.50 – 2.49 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อย และระดับคะแนน 1.00 – 1.49 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

การทดสอบเครื่องมือโดยนำเครื่องมือการวิจัยที่แก้ไขปรับปรุงเรียบร้อยแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบพิจารณาการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงตามเนื้อหาของแบบสอบถาม โดยใช้เทคนิคการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับสิ่งที่ต้องการวัด (Index Item of Congruent: IOC) ได้ค่าตรงกันความสอดคล้องภายในทุกข้อมากกว่า 0.5

บทความวิจัย (Research Article)

คณะผู้วิจัยแจกแบบสอบถาม และเก็บรวบรวมข้อมูลในแบบสอบถาม โดยแยกเป็นผู้ผลิตและบุคคลทั่วไป โดยการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1) วิเคราะห์ข้อมูลด้านเอกสารและงานวิจัย โดยเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้หลักทฤษฎีเหตุผล มานำเสนอในรูปแบบการบรรยายเพื่อหาความจริง ความคิดเห็นในด้านหลักการออกแบบ

2) วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์ และแบบสอบถาม ที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ และกลุ่มผู้ผลิต โดยวิเคราะห์ตามลำดับดังนี้

(1) ตรวจสอบแบบสัมภาษณ์ แบบสอบถาม และแบบประเมินที่ผ่านการกรอกครบถ้วน

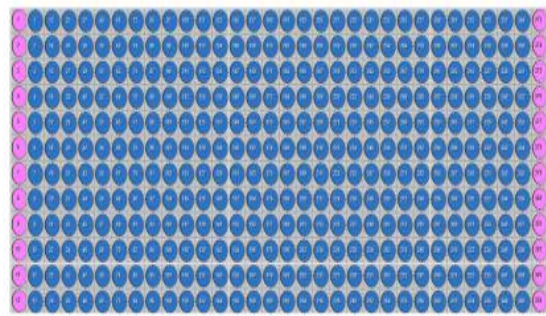
(2) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3) สรุปและอภิปราย การดำเนินการวิจัยเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ให้ตรงตามความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย การดำเนินงานตามขั้นตอนที่วางแผนไว้ทุก ขั้นตอน นำผลมาวิเคราะห์ข้อมูล สรุปเพื่ออภิปรายผล โดยแยกเป็นหมวดหมู่ของข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์และมีประเด็นที่เชื่อมโยงกัน รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าสถิติ ใช้สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) สำหรับอธิบายข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบผลิตภัณฑ์ การเลือกซื้อผลิตภัณฑ์จากผ้ามัดย้อมของผู้บริโภค ได้แก่ ค่าความถี่ (Frequency) และค่าร้อยละ (Percentage) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการออกแบบการพัฒนาระบบการเปิดตะกอลำหรับที่ทอพื้นบ้านระบบแจ๊คการ์ด 400 เข็ม

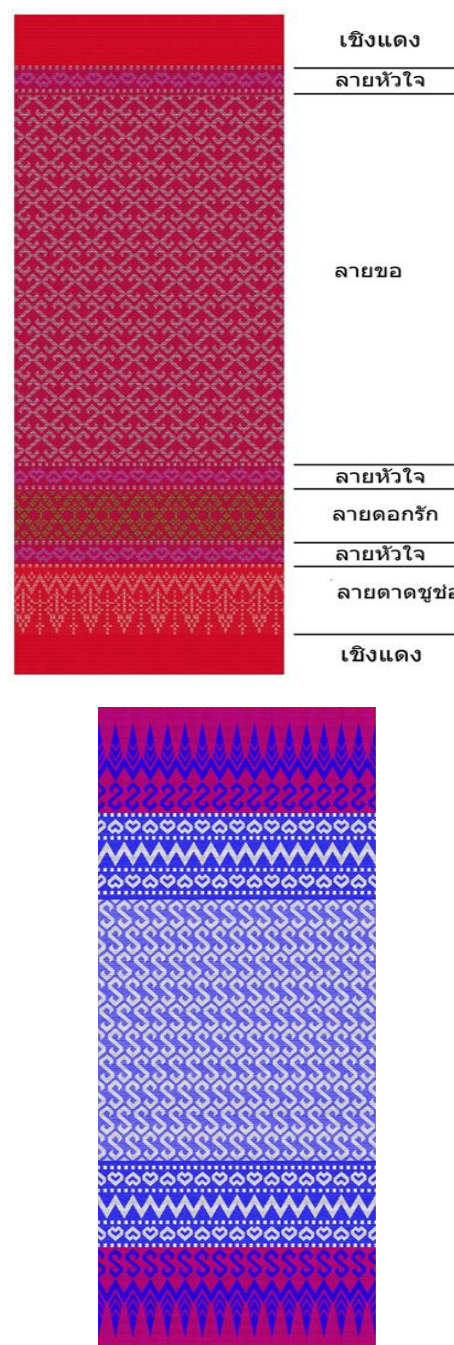
ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลสำหรับกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบและสร้างต้นแบบที่ทอด้วยกดอกและจกพื้นบ้าน

ข้อมูลจำเพาะ
1. โครงสร้างผ้า

2. ขนาดหน้าหวี
3. ขนาดฟันหวี
4. จำนวนเส้นด้าย
5. จำนวนตะกอล
6. ขนาดรีพีท
7. แรงกดเท้าเหยียบ
8. ด้ายเส้นยืนด้ายโทเร
9. ด้ายเส้นพุ่งคอตตอน(เมอร์เซอร์ไรซ์)

บทความวิจัย (Research Article)

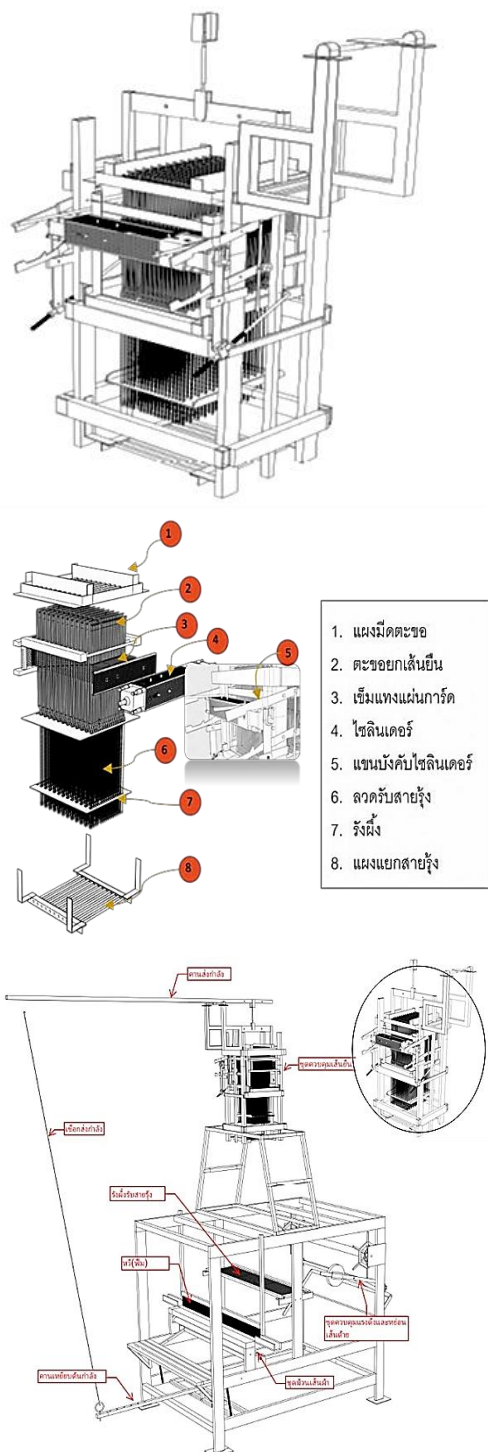
ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลสำหรับกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบและสร้างต้นแบบกี๋ทอผ้ายกดอกและจกพื้นบ้าน (ต่อ)

รายละเอียด				
	ริมผ้า	เนื้อผ้า	ริมผ้า	รวม
hook	12	360	12	384
พวง	2	11	2	
เส้นด้าย	24	3960	24	4008
Density : 96 x 64				
ด้ายยืน 96 ด้ายพุ่ง 64 เส้นต่อนิ้ว				
42 นิ้ว 40				
เบอร์ 96/2				
4008 เส้น แยก 2 ริมแยก 4				
ข้อมูลจำเพาะ				
400 ตะกั่ว				
3.75 นิ้ว (360/96)				
4 กก.				
120/2				
40/2หรือCM40/2(Mer)				



รูปที่ 1 ลายทอต้นแบบอัตลักษณ์ชุมชนกลุ่มทอผ้าไหมบ้านหนองทรายน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอมือ จังหวัดบุรีรัมย์

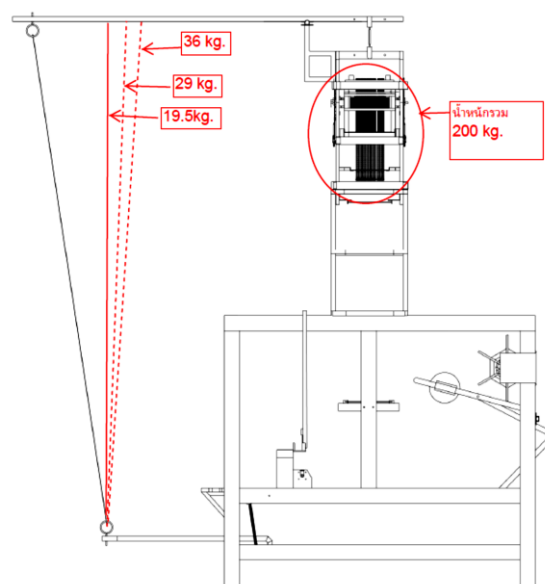
บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 2 รูปแบบชุดหัวทอแจ็คการ์ดและองค์ประกอบของชุดที่พื้นบ้านสำหรับทอผ้ายกดอกและจกพื้นบ้านด้วยระบบแจ็คการ์ด 400 เซม

4.2 ผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะที่ทอผ้ายกดอกและจกด้วยระบบแจ็คการ์ด 400 เซม

1) การทดสอบคานยกหัวแจ็คการ์ดการทดสอบคานยกหัวแจ็คการ์ด เพื่อประเมินระดับน้ำหนักการกดที่เหมาะสมสำหรับผู้ทอ โดยการปรับตั้งระยะระหว่างคานบนและคานล่าง จากทดสอบสรุปได้ว่า น้ำหนัก 19.5 กิโลกรัม เป็นน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดดังรูปที่ 3

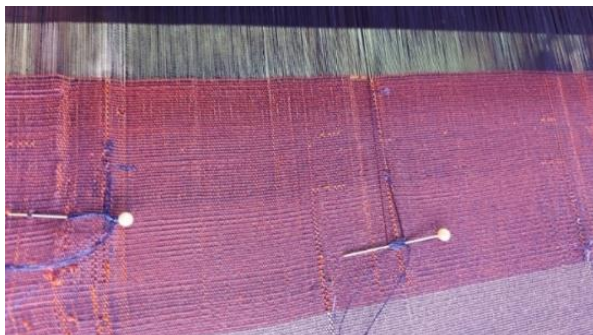


รูปที่ 3 ผลการปรับระยะน้ำหนักคานยกหัวแจ็คการ์ด

2) การทดสอบประสิทธิภาพการทอ

- การทดสอบด้วยลายพื้นฐาน ผลการทดสอบพบว่า มีการติดขัดในระบบการยกเส้นยืนเนื่องจากสายพุ่งปรับตะกอไม่สม่ำเสมอ เหล็กถ่วงพันกัน การร้อยเส้นยืนสลับช่อง ทำให้เกิดปัญหาเส้นยืนขวางช่องเส้นพุ่งทำให้เส้นยืนขาด และการร้อยของเส้นด้ายยืน จึงได้ทำการคันเส้นพุ่งแก้ไขสายพุ่งใหม่ด้วยปรับเปลี่ยนตำแหน่งให้ถูกต้องและเป็นระเบียบและสามารถทำการทอได้

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 4 การทดสอบผ้าลายพื้นฐาน

- การทดสอบด้วยลายยกดอก ผลการทดสอบพบว่า การยกเส้นยืนไม่สม่ำเสมอ ยืนลอย ริมผ้าไม่เกาะ เส้นยืนขาด จึงได้ทำการค้นเส้นรุ่งแก้ไขสายรุ่งใหม่ ปรับตั้งหัวเข็มและโซลินเดอร์ตำแหน่งให้ถูกต้อง ตรงกับระยะรูเจาะมาตรฐานบนแผ่นการ์ด



รูปที่ 5 ผลการทดสอบทอลายยกดอก

หลังทำการแก้ไข การทดสอบสามารถทอขึ้นลวดลายได้ตามกำหนดและเมื่อทำการวัดประสิทธิภาพการทอมีอัตราเฉลี่ยการทอโดยเฉลี่ย 20 บรรทัดต่อนาที ความหนาแน่นที่ 64 บรรทัดต่อนิ้ว สรุปรประสิทธิภาพการทอโดยเฉลี่ยที่ 18 นิ้วต่อชั่วโมง เมื่อเทียบกับกำลังการผลิตแบบเดิมที่ทำ ระบบใหม่เพิ่มผลผลิต 3 เท่า และลดเวลาเรียนรู้ทักษะอย่างน้อย

50% ภายใน 1 ปีสามารถคืนทุนได้หากใช้ผลิตต่อเนื่องเฉลี่ย 5 วัน/สัปดาห์ ซึ่งสามารถสร้างลวดลายได้ตามรูปแบบดังรูปที่ 6

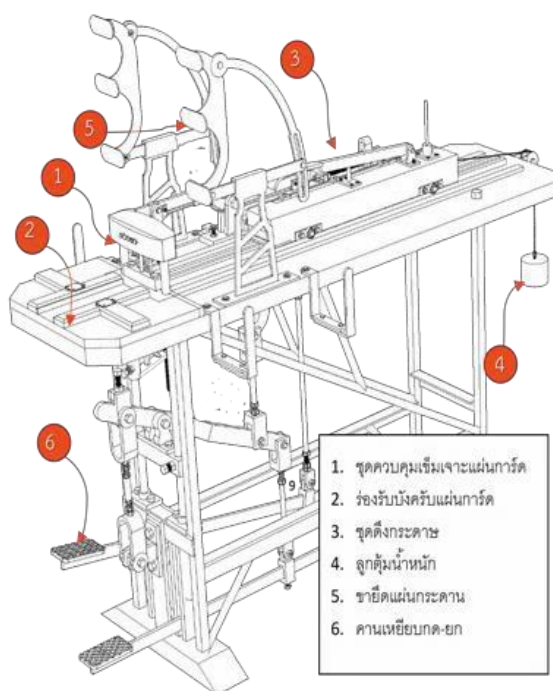


รูปที่ 6 ผลผลิตจากทอผ้าด้วยระบบทอจกและยกดอกด้วยระบบแจ๊คการ์ด 400 เข็ม

บทความวิจัย (Research Article)

4.3 ผลการทดสอบระบบการเจาะแผ่นการ์ด

การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพระบบเจาะแผ่นการ์ด สำหรับเครื่องทอ 400 เข็ม ผลการทดสอบพบว่า ชุดเลื่อนการ์ดที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากหมุดควบคุมระยะชุดเลื่อนหลวม ทำให้ระยะห่างระหว่างแถวรูเจาะบนแผ่นการ์ดมีระยะชิดกัน ซึ่งมีผลกระทบต่อ การเกิดลวดลายเมื่อเข้าสู่กระบวนการทอ ทำให้แก้ไขโดยการปรับหมุดแน่นมากขึ้น

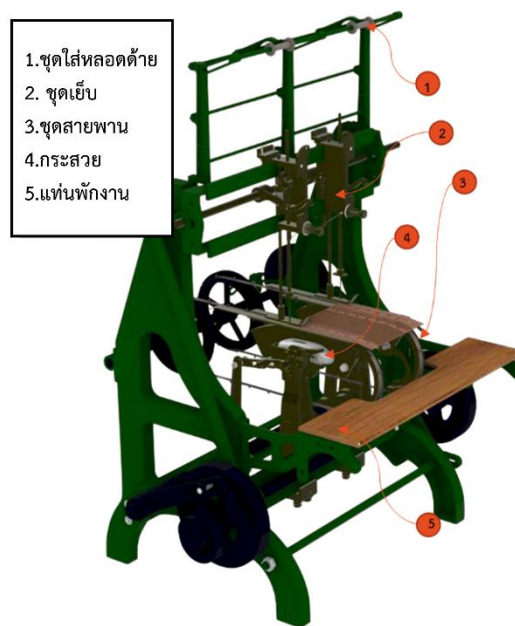


รูปที่ 7 ระบบเจาะแผ่นการ์ดระบบ 400 เข็ม

หลังทำการแก้ไข การทดสอบทำการวัดประสิทธิภาพเจาะแผ่นการ์ดตามคู่มือการเจาะแผ่นการ์ดลวดลาย วัดอัตราเฉลี่ยการเจาะโดยเฉลี่ย 25 แผ่นต่อชั่วโมง สรุปประสิทธิภาพการเจาะแผ่นการ์ดโดยเฉลี่ยที่ 200 แผ่นต่อวัน

4.4 ผลการทดสอบระบบต่อแผ่นการ์ด

การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพ พบว่าการร้อยเส้นด้ายบนแผ่นการ์ดไม่สม่ำเสมอ การผ่านของหัวกระสวยระหว่างช่องว่างของเส้นด้ายไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดความเสียหายของแผ่นการ์ดขณะต่อแผ่นการ์ด การแก้ไขปรับปรุงคือการเหวี่ยงกระสวย เพิ่มแรงดึงของเส้นด้าย



รูปที่ 8 เครื่องต่อแผ่นการ์ด

หลังทำการแก้ไข การทดสอบทำการวัดประสิทธิภาพการต่อแผ่นการ์ด วัดอัตราเฉลี่ยการเจาะโดยเฉลี่ย 3.5 วินาทีต่อแผ่น สรุปยังพบการเสียหายของแผ่นการ์ดที่เกิดจากแรงดึงของเส้นด้าย

4.5 การประเมินความพึงพอใจ

การประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างผู้ทอผ้าชุมชนบ้านหนองทราย จำนวน 30 คน พบว่าระดับความพึงพอใจต่อการใช้กี่ทอผ้าจากและยกดอกพื้นบ้านระบบแจ็กการ์ด 400 เข็ม ภาพรวมโดยเฉลี่ย 4.11

บทความวิจัย (Research Article)

คะแนน ความพึงพอใจระดับมาก ซึ่งผลจากประเมินทั้ง 18 ประเด็น เรียงลำดับตามระดับคะแนนจากมากไปหาน้อย 5 ลำดับดังนี้

- 1) ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ 4.93 โครงสร้างมีความแข็งแรง ระดับมากที่สุด
- 2) ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ 4.83 วัสดุหาง่ายในท้องถิ่น ระดับมากที่สุด
- 3) ระดับคะแนนเฉลี่ย 4.70 พบว่ามีระดับเท่ากันของประเด็นคือ ความทนทานต่อการใช้งานและทนรับแรงกระแทกได้ดี ระดับมากที่สุด
- 4) ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ 4.60 ทนทานต่อการใช้งาน ระดับมากที่สุด
- 5) ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ 4.53 สะดวกสบายในการทอผ้าสร้างลวดลาย ระดับมากที่สุด

5. สรุปผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบระบบตามกรอบข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาจากการลงพื้นที่ภาคสนามกลุ่มทอไหมบ้านหนองทรายน้อย ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ และข้อเสนอของผู้เชี่ยวชาญด้านการทอระบบ Jacquard นำมาเป็นข้อกำหนดข้อมูลจำเพาะการพัฒนากีทอผ้ายกดอกและจกพื้นบ้านด้วยระบบ Jacquard 400 เข็ม สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) การศึกษาตามวัตถุประสงค์การวิจัย เพื่อออกแบบระบบการทอ Jacquard ที่ประยุกต์เข้ากับเครื่องทอในท้องถิ่น แนวคิดในการออกแบบเพื่อที่ทอยกดอกและจก ได้กำหนดระบบที่เกี่ยวข้องไว้ 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การกำหนดโครงสร้างผ้าที่เหมาะสมสำหรับกีทอ 400 เข็ม ส่วนที่ 2 ระบบสนับสนุนการทอที่ติดตั้งบนโครงสร้างกีทอที่สามารถควบคุมคุณภาพผ้าทอได้ตลอดผืน ส่วนที่ 3 ระบบกลไกของ Jacquard ปรับขอยกเส้นยืน ระบบบังคับเข็มแทง

การ์ดในส่วนของกล่องทึบมืด และส่วนที่ 4 ชุดสนับสนุนเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตด้วยระบบเจาะแผ่นการ์ด ระบบต่อแผ่นการ์ด โดยผลที่ได้ที่จากพัฒนาและสร้างต้นแบบกีทอผ้าช่วยทำให้เกิดความสะดวกต่อการเตรียมแผ่นการ์ดก่อนขึ้นทอได้ดี [9]

- 2) การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทอต้นแบบด้วยระบบการทอ Jacquard ผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะต้นแบบการทดสอบทอผ้ายกดอกและจกพื้นบ้านด้วยระบบ Jacquard 400 เข็ม การทดสอบในเวลา 8 ชั่วโมง พบว่ากีทอผ้าสามารถทอได้ระยะผ้า โดยเฉลี่ย 45.72 เซนติเมตรต่อชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับทอด้วยยกดอกและจกพื้นบ้าน ซึ่งจะทอได้ระยะผ้า เฉลี่ย 10-15 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ที่ทำการทอผ้า จากผลการทดสอบปริมาณและคุณภาพผ้ายกดอกที่ได้จากกีพื้นบ้านระบบ Jacquard ปริมาณ ผ้าเพิ่มขึ้น ประมาณ 300 เปอร์เซ็นต์ ข้อดีของการใช้ระบบ Jacquard กับกีทอพื้นบ้านจากการทดสอบ ประสิทธิภาพการทำงานทำให้สรุปได้ว่าระบบดังกล่าวช่วยให้ลดการใช้แรงงานทอผ้ายกดอกที่มีชำนาญ เหมาะสมกับการนำใช้กับวิสาหกิจชุมชนได้ทุกขนาด ส่วนในเรื่องการลงทุนกลุ่มทอผ้าไหมชุมชนเห็นว่าน่าจะมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนที่จะนำมาสร้างขึ้น และเห็นว่าสามารถช่วยทำให้ผู้หัดทอรายใหม่ทอผ้าได้เป็นเร็วขึ้น

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากชาวบ้านต้องการ คือ อยากให้มีจัดฝึกอบรมอย่างต่อเนื่อง ปัญหาของการทอระหว่างการทดสอบน้อยเนื่องจากส่วนใหญ่มีทักษะในการใช้ก็ กระตุกและเสริมความรู้ในด้านการออกแบบลวดลายเสริมที่ชุมชนสามารถสร้างสรรค์ด้วยตนเอง สร้างรูปแบบลวดลายใหม่ ๆ ได้ และสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค [10]

6. อภิปรายผล

1) การพัฒนาที่ทอผ้าทอยกดอกและจกด้วยระบบ แจ็คการ์ด 400 เข็ม สามารถสร้างลวดลายได้ตรงตามแบบที่กำหนด ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย อย่างไรก็ตาม พบปัญหาระหว่างกระบวนการทอ ได้แก่ ความเสียหายของแผ่นการ์ดที่เกิดซ้ำบ่อย ทำให้ลวดลายขาดความต่อเนื่อง นอกจากนี้ แรงกดของหีบมิตที่ไม่สม่ำเสมอจากผู้ทอ ส่งผลให้จังหวะการยกเส้นยืนคลาดเคลื่อนจากแผ่นลาย ผลการทดสอบยืนยันว่าแรงกดที่เหมาะสมคือ 19.5 กิโลกรัม ช่วยให้ลวดลายมีความคมชัด ลดความล่าช้าของผู้ทอ และสนับสนุนการทำงานต่อเนื่องได้ดี ดังนั้น เพื่อให้ระบบใช้งานได้ดีมีประสิทธิภาพ จึงควรมีการฝึกอบรมผู้ใช้อย่างเป็นระบบ ให้เข้าใจหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรม และการควบคุมแรงเคลื่อนไหวระดับเส้นด้ายที่มีผลต่อคุณภาพพื้นผ้าอย่างมีนัยสำคัญ [11]

2) การพัฒนาเครื่องเจาะแผ่นการ์ด ผลการดำเนินการทดสอบสามารถเจาะแผ่นการ์ดได้ตามรูปแบบที่กำหนดมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพึงพอใจ ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ปัญหาระหว่างกระบวนการเจาะแผ่นพบว่า หมุดควบระยะมีการเคลื่อนตัวเนื่องจากแรงกระแทกจากชุดเลื่อนกระดาดผลทำให้ระยะเจาะระหว่างแถวเจาะคลาดเคลื่อน

3) การพัฒนาเครื่องต่อแผ่นกระดาด ผลการทดสอบระบบการป้อนกระดาด ระบบการเชื่อมการป้อนเส้นด้าย และระบบกระสวยร้อยเส้นด้าย ยังไม่ปฏิบัติตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ปัญหาเนื่องจากการร้อยเส้นด้ายของระบบร้อยเส้นด้ายมีอัตราการร้อยที่ไม่สม่ำเสมอ

7. ข้อเสนอแนะ

1) การพัฒนาระบบที่ทอแจ็คการ์ด 400 เข็ม ในชุดทดสอบเชิงแรงยกและแรงกดของหีบมิตเพื่อให้

ตะขอยกเส้นยืนเกี่ยวกับหีบมิตได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ

2) การพัฒนาชุดประกอบติดตั้งระบบที่ทอแจ็คการ์ดที่ลดความยุ่งยากต่อการประกอบและเคลื่อนย้าย

3) การพัฒนาระบบการร้อยการ์ดที่มีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง

8. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] D. D. Putri, R. S. Butla, and N. Prompongsaton, "Northeastern Thai local wisdom as creativity sources: A case of the collaboration concept in weaving methods using Tung strings and bamboo strains as lamp design", *Asian Journal of Arts and Culture*, vol. 23, no. 1, pp. 1–12, 2023.
- [2] S. Ganesan and K. Badari Nath, "Design and development of mechanical and electronic Jacquard handloom for fine-Korai-mat weaving", in *Rural Technology Development and Delivery (Design Science and Innovation)*, Springer, 2019, pp. 335–346.
- [3] L. Albaugh, J. McCann, L. Yao, และ S. E. Hudson, "Enabling personal computational handweaving with a low-cost Jacquard loom", in *Proceedings of*

บทความวิจัย (Research Article)

- the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, 2021, pp. 1–14.
- [4] อรมน ปั่นทอง และวรวิทย์ ประสิทธิ์ผล, “แนวทางการสื่อสารเพื่อสืบทอดมรดกทางวัฒนธรรมหัตถกรรมผ้าทอไทยพวนบ้านใหม่ จังหวัดนครนายก”, *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์*, ปี 5, ฉบับที่ 1, หน้า 146–160, 2564.
- [5] วิบูลย์ ลีสุวรรณ, *พจนานุกรมและเครื่องถักทอ*, 2 พิมพ์ครั้งที่. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เมืองโบราณ, 2559.
- [6] เกสร วงศ์เกษม และคณะ, “การพัฒนาอุปกรณ์สำหรับช่วยในการทอผ้ามัดหมี่,” ใน *การประชุมวิชาการ “มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 12”*, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2017, หน้า 77–81.
- [7] ธนาชัย แสงผล และคณะ, “การพัฒนาเครื่องทอผ้าไหมแบบพื้นบ้านกึ่งอัตโนมัติสำหรับวิสาหกิจชุมชนขนาดกลางและขนาดย่อม,” *วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, หน้า 104–119, 2018.
- [8] B. Hagan, “Looking Back to Look Forward: Reanimating Textiles for Novel Design and Manufacturing,” *Journal of Textile Design Research and Practice*, vol. 8, no. 2, pp. 125–142, 2020.
- [9] P. Roy and A. Basu, “Improvement of a Traditional knowledge by development of jacquard shedding based handloom for weaving ornamental jute fabric,” *Indian Journal of Traditional Knowledge*, vol. 9, no. 3, pp. 585–590, 2010.
- [10] M. Ueda and A. Voorwinden, “The innovation Development of the Jacquard Weaving Machine in Japan,” in *Proceedings of the Journal of the Asian Conference of Design History and Theory*, Japan, 2022, pp. 62–73.
- [11] มณฑลีส ศาสนนันท์, *การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อการสร้างสรรค์นวัตกรรมและวิศวกรรมย้อนรอย*, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2007.

การประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS สำหรับการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม

วีระพล ทับทิมดี¹, ประเวศ เชื้อวงศ์², ธนัช มั่นมงคล² และ ปวีรพรต นาสวาสดี^{2,*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตอัตโนมัติ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

² สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: pariwat@techno.rru.ac.th โทรศัพท์: 088-3693123

(รับบทความ: 25 เมษายน 2565; แก้ไขบทความ: 12 กรกฎาคม 2565; ตอรับบทความ: 16 กรกฎาคม 2565)

บทคัดย่อ

ในยุคที่ภาคอุตสาหกรรมต้องเผชิญกับการแข่งขันสูงและการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว การเลือกใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) อย่างเหมาะสม ถือเป็นกลยุทธ์สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการภายในโรงงาน อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจเลือกเทคโนโลยี AI ที่เหมาะสมกับบริบทเฉพาะของแต่ละองค์กรยังคงเป็นความท้าทาย เนื่องจากมีตัวเลือกหลากหลายที่มีคุณสมบัติและข้อจำกัดแตกต่างกัน งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS ซึ่งผสมผสานวิธีการ Grey Relational Analysis (GRA) ที่มีความสามารถในการจัดการกับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์และไม่แน่นอน ร่วมกับวิธีการ MARCOS ที่สามารถจัดอันดับทางเลือกโดยอิงจากทางเลือกอุดมคติและทางเลือกที่แย่ที่สุด เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยี AI ได้อย่างเป็นระบบและโปร่งใส การวิจัยดำเนินการผ่านการเก็บข้อมูลจากวิศวกร 15 คนในโรงงานอุตสาหกรรม โดยประเมินเทคโนโลยี AI จำนวน 14 ตัวเลือก ภายใต้เกณฑ์การประเมิน 6 ด้าน ได้แก่ ความแม่นยำ ความสามารถในการเขียนโค้ด ความสามารถในการบูรณาการระบบ ความเร็วในการประมวลผล ความคุ้มค่า และความเชื่อมั่นในการใช้งานจริง ผลการวิเคราะห์ชี้ว่า AI ประเภท Gemini (Google) เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาได้แก่ Microsoft Copilot, IBM Watsonx และ Grok งานวิจัยนี้จึงยืนยันถึงประสิทธิภาพของเทคนิค Hybrid GRA-MARCOS ในการช่วยตัดสินใจที่ซับซ้อนในระดับอุตสาหกรรมได้อย่างแม่นยำและน่าเชื่อถือ

คำสำคัญ: การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ ปัญญาประดิษฐ์ เทคนิคผสมผสาน GRA-MARCOS

การอ้างอิงบทความ: วีระพล ทับทิมดี, ประเวศ เชื้อวงศ์, ธนัช มั่นมงคล และ ปวีรพรต นาสวาสดี, "การประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS สำหรับการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 5, หน้า 42-58, 2568.

Application of the Hybrid GRA-MARCOS Technique for Decision-Making in the Selection of Artificial Intelligence Technologies to Enhance Production and Management Efficiency in Industrial Plants

Weerapol Taptimdee¹, Prawach Chourwong², Tanatat Monmongkol² and Pariwat Nasawat^{2,*}

¹ Department of Automated Manufacturing Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

² Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

*Corresponding Author: pariwat@techno.rru.ac.th, Tel: 088-3693123

(Received: April 25, 2025; Revised: July 12, 2025; Accepted: July 16, 2025)

Abstract

In an era where the industrial sector is faced with intense competition and rapid technological advancement, the strategic adoption of artificial intelligence (AI) technologies has become essential for enhancing production and management efficiency. However, selecting the most suitable AI technology tailored to the specific context of each organization remains a complex challenge due to the diversity of available options, each offering different capabilities and limitations. This study introduces the application of the Hybrid GRA-MARCOS technique, which integrates the strengths of Grey Relational Analysis (GRA) noted for its ability to handle incomplete and uncertain data with the MARCOS method, which ranks alternatives based on both ideal and anti-ideal solutions. This hybrid approach facilitates a systematic and transparent decision-making process for AI technology selection. The research employed expert input from 15 industrial engineers to evaluate 14 AI alternatives using 6 key criteria: accuracy, coding capability, system integration, processing speed, cost-effectiveness, and real-world reliability. The analysis revealed that Gemini (by Google) emerged as the most suitable alternative, followed by Microsoft Copilot, IBM Watsonx, and Grok. These results affirm the robustness of the Hybrid GRA-MARCOS method in supporting multi-criteria decision-making in complex industrial environments with high precision and credibility.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making, Artificial Intelligence, Hybrid GRA-MARCOS

Please cite this article as: W. Taptimdee, P. Chourwong, T. Monmongkol and P. Nasawat, "Application of the Hybrid GRA-MARCOS Technique for Decision-Making in the Selection of Artificial Intelligence Technologies to Enhance Production and Management Efficiency in Industrial Plants," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 5, pp. 42-58, 2025.

1. บทนำ

ในยุคอุตสาหกรรม 4.0 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ได้กลายเป็นเครื่องมือเชิงกลยุทธ์สำคัญที่ขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงในระบบการผลิตและการจัดการภายในโรงงานอุตสาหกรรม [1,2] โดย AI มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ และเสริมสร้างศักยภาพในการแข่งขันทางธุรกิจผ่านแอปพลิเคชันที่หลากหลาย เช่น ระบบอัตโนมัติอัจฉริยะ (Intelligent Automation) การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) และระบบผู้ช่วยอัจฉริยะ (Intelligent Assistants) [3-5] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่มีการแข่งขันสูงและตลาดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งต่างตระหนักถึงความจำเป็นในการปรับตัวผ่านการนำเทคโนโลยี AI เข้ามาประยุกต์ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อสามารถตอบสนองต่อความต้องการที่หลากหลายและมีความเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องได้อย่างทันทั่วถึง [6]

อย่างไรก็ตามแม้เทคโนโลยี AI จะมีศักยภาพสูงแต่กระบวนการคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อบริบทเฉพาะของแต่ละองค์กรยังคงเป็นความท้าทายที่ซับซ้อน เนื่องจากปัจจุบันมีทางเลือกทางเทคโนโลยีที่หลากหลาย ทั้งในด้านคุณสมบัติ ประสิทธิภาพ ความสามารถในการบูรณาการกับระบบที่ใช้อยู่เดิม และต้นทุนที่เกี่ยวข้อง [7,8] ปัญหาการประเมินและเปรียบเทียบทางเลือกเหล่านี้มีความยุ่งยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกณฑ์การประเมินนั้นครอบคลุมทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มักมีลักษณะไม่แน่นอน ไม่สมบูรณ์ และมีความคลุมเครือสูง ส่งผลให้การตัดสินใจที่ถูกต้องและเหมาะสมนั้นมีความท้าทายอย่างมาก [9,10]

เพื่อจัดการกับปัญหาดังกล่าว วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision-Making: MCDM) จึงถูกนำมาใช้เป็นกรอบแนวทางที่ช่วยให้การตัดสินใจมีความเป็นระบบและมีความโปร่งใสมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะเทคนิคแบบผสมผสาน (Hybrid) ที่นำจุดเด่นของแต่ละวิธีมารวมเข้าด้วยกัน [11] ในบรรดาวิธีการที่มีการประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง Hybrid GRA-MARCOS ถือเป็นแนวทางที่ได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นการบูรณาการระหว่างวิธี Grey Relational Analysis (GRA) ซึ่งมีความโดดเด่นในการจัดการกับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์และไม่แน่นอน [12] และวิธี Measurement Alternatives and Ranking According to Compromise Solution (MARCOS) ซึ่งเน้นการจัดลำดับตัวเลือกที่ชัดเจน ผ่านการเปรียบเทียบความใกล้เคียงกับทางเลือกที่ดีที่สุดและแย่ที่สุด [11,13]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS ในการสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม โดยดำเนินการผ่านกรณีศึกษาการประเมินระบบ AI จำนวน 14 ระบบจากการกำหนดเกณฑ์ในการประเมินจำนวน 6 ด้าน ได้แก่ ความแม่นยำ (Accuracy) ความสามารถในการเขียนโค้ด (Coding Capability) ความสามารถในการทำงานร่วมกับระบบที่มีอยู่เดิม (System Integration) ความเร็วในการประมวลผล (Processing Speed) ความคุ้มค่าในการลงทุน (Cost-Effectiveness) และความเชื่อมั่นในการใช้งานจริง (Real-world Reliability) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการประเมินของวิศวกรจำนวน 15 คน ซึ่งมาจากหลากหลายสายงานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น สายการผลิต สายการวางแผน และสายวิเคราะห์ข้อมูล

บทความวิจัย (Research Article)

ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จะช่วยให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถตัดสินใจเลือกเทคโนโลยี AI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยกรอบวิธีการตัดสินใจที่โปร่งใสและเป็นระบบ ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตและการจัดการ ซึ่งจะนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายเชิงกลยุทธ์และการพัฒนาอย่างยั่งยืนในระยะยาว

2. ทบทวนวรรณกรรม

ในปัจจุบันการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรมมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเผชิญกับปัจจัยต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลที่มีความไม่แน่นอน เกณฑ์การตัดสินใจที่ขัดแย้งกัน รวมถึงการพิจารณาทางเลือกที่หลากหลาย วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) จึงกลายเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยสนับสนุนกระบวนการตัดสินใจที่ซับซ้อนนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างวิธี Grey Relational Analysis (GRA) และวิธี Measurement Alternatives and Ranking According to Compromise Solution (MARCOS) ซึ่งได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในช่วงที่ผ่านมา เนื่องจากสามารถจัดการกับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์หรือไม่แน่นอนได้ดีและสามารถให้ผลการจัดอันดับทางเลือกที่แม่นยำและน่าเชื่อถือ [8,9]

วิธี GRA นั้นได้รับการพัฒนาโดย Deng เมื่อปี 1989 [12] โดยมีจุดเด่นในการจัดการข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนและไม่สมบูรณ์ผ่านการทำข้อมูลให้เป็นมาตรฐานและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์ (Relational Coefficients) ของทางเลือกต่าง ๆ ได้ง่าย ส่งผลให้ GRA มีความเหมาะสมกับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมจริงที่มักเผชิญข้อมูลที่ไม่แน่นอนและไม่สมบูรณ์ ในขณะที่วิธี MARCOS ซึ่งถูกพัฒนา

โดย Stevic เมื่อปี 2020 [11] เป็นการจัดอันดับทางเลือกโดยใช้แนวคิดของการเปรียบเทียบความใกล้เคียงกับทางเลือกที่ดีที่สุด (Ideal Solution) และทางเลือกที่แย่ที่สุด (Anti-ideal Solution) ส่งผลให้การจัดอันดับทางเลือกต่าง ๆ เป็นระบบและสามารถรองรับเกณฑ์ที่ซับซ้อนและขัดแย้งกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ [9,13]

วิธี MARCOS ได้รับการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในหลากหลายบริบท เช่น การเลือกผู้จัดหาในอุตสาหกรรมสุขภาพ [11] การเลือกผู้จัดหาในอุตสาหกรรมเหล็ก [8] รวมถึงการประเมินผู้จัดหาในอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า [9] นอกจากนี้ยังได้มีการนำ MARCOS ไปใช้ในการประเมินซอฟต์แวร์การจัดการโครงการ [13] แสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้ของวิธีนี้

การศึกษาในช่วงที่ผ่านมายังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคนิค Hybrid GRA-MARCOS ในการจัดการข้อมูลที่ไม่แน่นอน เช่น [10] ได้ผสมผสานวิธี Spherical Fuzzy AHP กับ GRA-MARCOS เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอาจารย์มหาวิทยาลัยอย่างมีประสิทธิภาพ [14] ใช้วิธี GRA-PSI และ GRA-MARCOS ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางการเงินขององค์กรประกันภัยในตุรกี ซึ่งยืนยันถึงความสามารถของ Hybrid GRA-MARCOS ในการจัดการข้อมูลที่มีความซับซ้อนและไม่แน่นอนได้อย่างดีเยี่ยม แม้ว่าจะมีการใช้ Hybrid GRA-MARCOS อย่างแพร่หลาย แต่ยังคงพบว่ามีการศึกษาค่อนข้างน้อยที่มุ่งเน้นการนำเทคนิค Hybrid GRA-MARCOS ไปใช้ในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถือเป็นช่องว่างที่สำคัญ เนื่องจากเทคโนโลยี AI มีศักยภาพสูงในการยกระดับประสิทธิภาพการดำเนินงานในภาคอุตสาหกรรม แต่การเลือกเทคโนโลยี AI ที่เหมาะสมกับองค์กรยังเป็นเรื่องที่ท้าทาย

บทความวิจัย (Research Article)

ทนาย เพราะเกี่ยวข้องกับเกณฑ์หลายด้าน เช่น ต้นทุน ความแม่นยำ ความน่าเชื่อถือ และความสามารถในการผสานเข้ากับระบบเดิมของโรงงาน

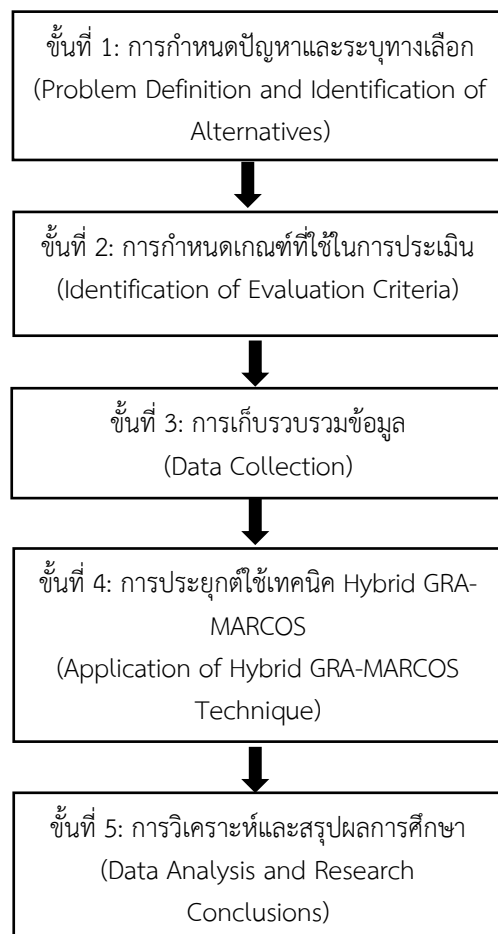
ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะตอบสนองช่องว่างดังกล่าว โดยการประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS อย่างเป็นระบบและโปร่งใส เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยี AI ที่เหมาะสมต่อการยกระดับประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม

3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS ในการสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม โดยระเบียบวิธีวิจัยที่นำเสนอนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนที่ชัดเจนและมีโครงสร้าง ได้แก่ การกำหนดทางเลือกต่าง ๆ การกำหนดเกณฑ์การประเมิน การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Hybrid GRA-MARCOS

3.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบการวิจัยของงานนี้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ประกอบด้วย การกำหนดปัญหาและระบุทางเลือก การกำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน การเก็บรวบรวมข้อมูล การประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS และการวิเคราะห์และสรุปผล การศึกษาดังแสดงรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธี Hybrid GRA-MARCOS

3.2 การกำหนดปัญหาและระบุทางเลือก

การเลือกเทคโนโลยี AI ที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการ จากการศึกษาเบื้องต้นและคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ ได้ระบุเทคโนโลยี AI จำนวน 14 ทางเลือกที่มีความโดดเด่นและเกี่ยวข้องกับบริบทอุตสาหกรรม เพื่อเป็นทางเลือกในการวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 1

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบ AI สำหรับงานวิศวกรรมและนักพัฒนา [15]

ทางเลือก	AI	ผู้พัฒนา	จุดเด่นในการใช้งาน	เหมาะกับสายงาน
A ₁	DeepSeek	DeepSeek	สนับสนุนคอนเท็กซ์ยาว (128K tokens) วิเคราะห์ไฟล์ (PDF, Excel) ฟรี	วิศวกรทุกสาขา นักวิเคราะห์ข้อมูล นักวิจัย
A ₂	ChatGPT	OpenAI	เขียนโค้ดหลายภาษา ออกแบบระบบ Automation สรุปเอกสารทางเทคนิค	วิศวกรซอฟต์แวร์ Automation นักพัฒนา วิเคราะห์ข้อมูล
A ₃	Claude AI	Anthropic	วิเคราะห์ข้อมูลการผลิต สรุปเอกสารยาว ความ ปลอดภัยข้อมูลสูง	วิศวกรผลิต การเงินโรงงาน จัดการ รายงาน
A ₄	Microsoft Copilot	Microsoft	ผสาน Microsoft 365 เขียนสคริปต์ Automation วิเคราะห์ข้อมูลใน Excel	วิศวกรทั่วไป Automation การเขียน โค้ด การจัดการเอกสารองค์กร
A ₅	GitHub Copilot	GitHub + OpenAI	เขียนโค้ด Auto-complete ใน IDE สนับสนุน หลายภาษาโปรแกรมมิ่ง	วิศวกรซอฟต์แวร์ นักพัฒนา
A ₆	Mistral AI	Mistral AI	โมเดลโอเพนซอร์ส ประสิทธิภาพสูงสำหรับการ เขียนโค้ด	วิศวกรซอฟต์แวร์ นักพัฒนา งานวิจัย AI
A ₇	MANUS AI	MANUS	ปัญญาประดิษฐ์สำหรับงานวิศวกรรมการผลิต และหุ่นยนต์	วิศวกรการผลิต วิศวกรหุ่นยนต์
A ₈	Gemini	Google	เชื่อมต่อ Google Workspace ค้นหาข้อมูล แบบ Real-Time วิเคราะห์ข้อมูลใน Sheets	วิศวกรวางแผน วิจัย นักวิเคราะห์ข้อมูล
A ₉	Cohere	Cohere	เทคโนโลยีภาษาเพื่อธุรกิจ สร้างเวกเตอร์เอมเบ ดดิ้ง คลาสสิฟายข้อความ	นักพัฒนา NLP วิศวกรข้อมูล ทีม วิเคราะห์
A ₁₀	Qwen	Alibaba	สนับสนุนภาษาจีนแบบ Native เชื่อมต่อกับ ระบบคลาวด์ Alibaba	วิศวกรคลาวด์ นักวิเคราะห์ข้อมูลจีน พัฒนาแอปพลิเคชันภาษาจีน
A ₁₁	IBM Watsonx	IBM	เชี่ยวชาญระบบ Enterprise วิเคราะห์ข้อมูล ขนาดใหญ่ ผสานกับระบบ IBM Cloud	วิศวกรระบบขนาดใหญ่ วิศวกรคลาวด์ นักวิเคราะห์องค์กร
A ₁₂	Perplexity AI	Perplexity	ค้นหาข้อมูลเชิงเทคนิค อ้างอิงแหล่งที่มาชัดเจน	วิศวกรวิจัย นักวิเคราะห์ข้อมูล
A ₁₃	LLaMA	Meta AI	โมเดลโอเพนซอร์สจาก Meta เหมาะสำหรับ การปรับแต่งและวิจัย	นักวิจัย AI นักพัฒนาโมเดลภาษา
A ₁₄	Grok	xAI	เชื่อมต่อ X (Twitter) อัปเดตเทคโนโลยีใหม่ ๆ โหมดสนทนาแบบไม่กรอง	นักพัฒนา วิศวกรที่ต้องการข้อมูล Real- Time งานวิจัยเทคโนโลยี

วีระพล ทับทิมดี และคณะ, การประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS สำหรับการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์
เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม

บทความวิจัย (Research Article)

3.3 การกำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน

เกณฑ์การประเมินจำนวน 6 ด้านได้รับการกำหนดผ่านการทบทวนวรรณกรรมและการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ [16] ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินจำนวน 6 ด้าน

เกณฑ์	ความหมายของเกณฑ์การประเมิน
C ₁	ความแม่นยำ (Accuracy)
C ₂	ความสามารถในการเขียนโค้ด (Coding Capability)
C ₃	ความสามารถในการบูรณาการกับระบบที่มีอยู่เดิม (System Integration)
C ₄	ความเร็วในการประมวลผล (Processing Speed)
C ₅	ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ (Cost-Effectiveness)
C ₆	ความเชื่อมั่นในการใช้งานจริง (Real-World Reliability)

เกณฑ์เหล่านี้ครอบคลุมทั้งด้านเทคนิคและการนำไปใช้งานจริงซึ่งจำเป็นต่อการประเมินเทคโนโลยี AI อย่างมีประสิทธิภาพในโรงงานอุตสาหกรรม

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

กำหนดประชากรเป้าหมาย 15 คน สูตรของ Taro Yamane เมื่อปี 1967 เพื่อคำนวณขนาดตัวอย่างดังสมการที่ 1 [17]

$$n = \frac{N}{1 + N \cdot e^2} \quad (1)$$

ตัวแปรในสูตร:

n: ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

N: ขนาดประชากรทั้งหมด

e: ระดับความเชื่อมั่น หรือค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Margin of Error)

ขนาดตัวอย่างประชากรที่คำนวณได้ 14.46 คน หรือ 15 คน โดยใช้สมการที่ 1 จากนั้นเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามเชิงโครงสร้าง (Structured Questionnaire) ซึ่งดำเนินการกับวิศวกรที่มีประสบการณ์จากสายงานต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ฝ่ายการผลิต การวางแผน และฝ่ายวิเคราะห์ข้อมูล รวมจำนวน 15 คน โดยผู้ตอบแบบสอบถามจะให้คะแนนการประเมินประสิทธิภาพของเทคโนโลยี AI แต่ละระบบอย่างละเอียด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3.5 การประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS

เพื่อให้สามารถตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่เหมาะสมกับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS ซึ่งเป็นการรวมข้อดีของสองวิธีหลักได้แก่ Grey Relational Analysis (GRA) ซึ่งเน้นการจัดการข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์และไม่แน่นอน กับ MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking According to Compromise Solution) ที่สามารถประเมินและจัดอันดับทางเลือกโดยเปรียบเทียบกับทางเลือกอุดมคติและทางเลือกที่แย่ที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ [10,11,18-28]

ขั้นตอนที่ 1: เตรียมข้อมูลและสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจ (Decision Matrix)

บทความวิจัย (Research Article)

กำหนดเมทริกซ์ $X=(x_{ij})$ โดยที่ x_{ij} คือคะแนนดิบของทางเลือกที่ i ภายใต้เกณฑ์ที่ j ในที่นี้มีทางเลือกคือ AI จำนวน 14 ตัว และเกณฑ์ประเมิน 6 ด้าน

ขั้นตอนที่ 2: การปรับข้อมูลให้เป็นมาตรฐานด้วยวิธี GRA (Normalization by GRA)

นำข้อมูลดิบมาปรับเป็นมาตรฐานด้วยวิธี GRA ตามสูตรในสมการที่ 2 [11]

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (2)$$

สูตรนี้จะทำให้คะแนนแต่ละเกณฑ์อยู่ในช่วง 0–1 โดยที่ค่าสูงสุดคือทางเลือกที่ดีที่สุดในแต่ละเกณฑ์ และค่าต่ำสุดคือทางเลือกที่แย่ที่สุดในเกณฑ์นั้น ๆ

ขั้นตอนที่ 3: การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์ (Grey Relational Coefficient: GRC)

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์โดยสูตรดังสมการที่ 3

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \zeta \Delta_{\max}} \quad (3)$$

เมื่อ

$\Delta_{ij} = |x_{0j}^* - x_{ij}^*|$ คือระยะห่างระหว่างคะแนน

ที่ดีที่สุด ($x_{0j}^* = 1$) ที่กำลังวิเคราะห์

$\Delta_{\min}, \Delta_{\max}$ คือ ระยะห่างที่น้อยที่สุดและมากที่สุด

ค่าคงที่ ζ โดยทั่วไปกำหนดเป็น 0.5 เพื่อควบคุมสมดุลระหว่างระยะห่างสูงสุดและต่ำสุด

ขั้นตอนที่ 4: การสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Normalized Decision Matrix) ทำการถ่วงน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์เพื่อให้สอดคล้องกับสำคัญของแต่ละเกณฑ์ (ในกรณีนี้กำหนดให้น้ำหนักเท่ากันทุกเกณฑ์) ดังสมการที่ 4

$$V_{ij} = x_{ij}^* \times w_j \quad (4)$$

โดยที่ w_j คือ น้ำหนักของเกณฑ์ที่ j ในกรณีนี้

$$w_j = \frac{1}{6} \text{ สำหรับทุกเกณฑ์}$$

ขั้นตอนที่ 5: การคำนวณค่า (Utility Score: S_i) ค่ารวมค่า S_i รวมของแต่ละทางเลือกด้วยผลรวมของคะแนนที่ถ่วงน้ำหนักแล้วในแต่ละเกณฑ์ ดังสมการที่ 5

$$S_i = \sum_{j=1}^n V_{ij} \quad (5)$$

ค่านี้แสดงถึงประสิทธิภาพรวมของแต่ละทางเลือก

ขั้นที่ 6: การคำนวณค่าสัมพัทธ์ K_i^+ และ K_i^- (Relative Utilities)

เปรียบเทียบ S_i ของแต่ละทางเลือกกับ S_i ของทางเลือกที่ดีที่สุดและแย่ที่สุด เปรียบเทียบกับทางเลือกที่ดีที่สุด ดังสมการที่ 6

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{A^+}} \quad (6)$$

บทความวิจัย (Research Article)

เปรียบเทียบกับทางเลือกที่แย่ที่สุด ดังสมการที่ 7

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{A^-}} \quad (7)$$

โดยที่

S_{A^+} คือค่า S_i สูงสุด (ทางเลือกที่ดีที่สุด)

S_{A^-} คือค่า S_i ต่ำสุด (ทางเลือกที่แย่ที่สุด)

ขั้นตอนที่ 7: การคำนวณคะแนน MARCOS (MARCOS Score: $f(K_i)$)

นำค่าสัมพัทธ์ K_i^+ และ K_i^- มาคำนวณคะแนน MARCOS เพื่อหาคำการจัดอันดับแบบประนีประนอม ดังสมการที่ 8

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1 - K_i^+}{K_i^+} + \frac{1 - K_i^-}{K_i^-}} \quad (8)$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณนี้แสดงถึงความเหมาะสมและความสมดุลของทางเลือกแต่ละตัวเลือก โดยค่าที่สูงกว่าจะเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมกว่าสำหรับการตัดสินใจ

ขั้นตอนที่ 8: การจัดลำดับทางเลือก (Ranking)

จัดลำดับทางเลือกทั้งหมดตามคะแนน (MARCOS: $f(K_i)$) โดยทางเลือกที่มีคะแนนสูงที่สุดจะถูกจัดอันดับสูงสุด (อันดับ 1) ไล่ลงไปจนถึงทางเลือกที่มีคะแนนต่ำที่สุด

4. ผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS สำหรับการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 ผลการกำหนดปัญหาและระบุทางเลือก

การเลือกเทคโนโลยี AI ที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม มีทางเลือก (Alternatives) 14 ทางเลือก ดังนี้ (A₁) DeepSeek (A₂) ChatGPT (A₃) Claude AI (A₄) Microsoft Copilot (A₅) GitHub Copilot (A₆) Mistral AI (A₇) MANUS AI (A₈) Gemini (A₉) Cohere (A₁₀) Qwen (A₁₁) IBM Watsonx (A₁₂) Perplexity AI (A₁₃) LLaMA (A₁₄) Grok เกณฑ์ (Criteria) ที่จะใช้ในการตัดสินใจมีดังนี้ (C₁) ความแม่นยำ (Accuracy) (C₂) ความสามารถในการเขียนโค้ด (Coding Capability) (C₃) ความสามารถในการบูรณาการกับระบบที่มีอยู่เดิม (System Integration) (C₄) ความเร็วในการประมวลผล (Processing Speed) (C₅) ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ (Cost-Effectiveness) (C₆) ความเชื่อมั่นในการใช้งานจริง (Real-World Reliability) และผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วย วิศวกรที่มีประสบการณ์จากสายงานต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม ฝ่ายการผลิต 5 คน การวางแผน 5 คน และฝ่ายวิเคราะห์ข้อมูล 5 คน รวมจำนวน 15 คน

4.2 ผลการประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS

4.2.1 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจ (Decision Matrix) ดังแสดงในตารางที่ 3

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 3 คะแนนเฉลี่ย AI จากการสำรวจ 15 คน

ทางเลือก	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
A ₁	5	4	4	4	4	5
A ₂	4	5	4	5	4	5
A ₃	5	4	4	4	4	5
A ₄	4	5	5	5	4	5
A ₅	4	5	4	5	4	5
A ₆	4	5	4	5	4	4
A ₇	4	4	5	4	4	5
A ₈	5	5	5	5	5	5
A ₉	4	4	4	4	4	4
A ₁₀	4	4	4	4	4	4
A ₁₁	5	4	5	5	4	5
A ₁₂	4	4	4	4	4	4
A ₁₃	4	5	4	4	4	4
A ₁₄	4	5	5	5	4	5

จากตารางที่ 3 แสดงคะแนนเฉลี่ยของเทคโนโลยี AI (A₁ – A₁₄) ที่ได้รับการประเมินจากวิศวกร 15 คน ใน 6 เกณฑ์

4.2.2 การปรับข้อมูลให้เป็นมาตรฐานด้วยวิธี GRA (Normalization by GRA)

นำข้อมูลดิบมาปรับเป็นมาตรฐานด้วยวิธี GRA โดยใช้สมการที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การปรับข้อมูลให้เป็นมาตรฐานด้วยวิธี GRA

ทางเลือก	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
A ₁	1	0	0	0	0	1
A ₂	0	1	0	1	0	1
A ₃	1	0	0	0	0	1
A ₄	0	1	1	1	0	1
A ₅	0	1	0	1	0	1
A ₆	0	1	0	1	0	0
A ₇	0	0	1	0	0	1
A ₈	1	1	1	1	1	1
A ₉	0	0	0	0	0	0
A ₁₀	0	0	0	0	0	0
A ₁₁	1	0	1	1	0	1
A ₁₂	0	0	0	0	0	0
A ₁₃	0	1	0	0	0	0
A ₁₄	0	1	1	1	0	1

จากตารางที่ 4 แสดงการปรับข้อมูลให้เป็นมาตรฐานด้วยวิธี GRA (Normalization by GRA) ของเทคโนโลยี AI (A₁ – A₁₄) ที่ได้รับการประเมินจากวิศวกร 15 คน ใน 6 เกณฑ์

4.2.3. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์ (Grey Relational Coefficient: GRC)

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์ โดยใช้สมการที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 5

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 5 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์

ทางเลือก	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
A ₁	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000
A ₂	0.333	1.000	0.333	1.000	0.333	1.000
A ₃	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000
A ₄	0.333	1.000	1.000	1.000	0.333	1.000
A ₅	0.333	1.000	0.333	1.000	0.333	1.000
A ₆	0.333	1.000	0.333	1.000	0.333	0.333
A ₇	0.333	0.333	1.000	0.333	0.333	1.000
A ₈	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A ₉	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333
A ₁₀	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333
A ₁₁	1.000	0.333	1.000	1.000	0.333	1.000
A ₁₂	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333
A ₁₃	0.333	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333
A ₁₄	0.333	1.000	1.000	1.000	0.333	1.000

4.2.4 การสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจแบบถ่วงน้ำหนัก
(Weighted Normalized Decision Matrix)

ทำการถ่วงน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์เพื่อให้สอดคล้องกับสำคัญของแต่ละเกณฑ์ โดยใช้สมการที่ 4

ตารางที่ 6 เมทริกซ์การตัดสินใจแบบถ่วงน้ำหนัก

ทางเลือก	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
A ₁	0.167	0.056	0.056	0.056	0.056	0.167
A ₂	0.056	0.167	0.056	0.167	0.056	0.167
A ₃	0.167	0.056	0.056	0.056	0.056	0.167
A ₄	0.056	0.167	0.167	0.167	0.056	0.167
A ₅	0.056	0.167	0.056	0.167	0.056	0.167
A ₆	0.056	0.167	0.056	0.167	0.056	0.056
A ₇	0.056	0.056	0.167	0.056	0.056	0.167

ตารางที่ 6 เมทริกซ์การตัดสินใจแบบถ่วงน้ำหนัก
(ต่อ)

ทางเลือก	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
A ₈	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167
A ₉	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056
A ₁₀	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056
A ₁₁	0.167	0.056	0.167	0.167	0.056	0.167
A ₁₂	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056
A ₁₃	0.056	0.167	0.056	0.056	0.056	0.056
A ₁₄	0.056	0.167	0.167	0.167	0.056	0.167

4.2.5 การคำนวณค่า (Utility Score: S_i)

คำนวณค่า S_i รวมของแต่ละทางเลือกด้วยผลรวมของคะแนนที่ถ่วงน้ำหนักแล้วในแต่ละเกณฑ์ โดยใช้สมการที่ 5 ดังแสดงในตารางที่ 6

4.2.6 การคำนวณค่าสัมพัทธ์ K_i^+ และ K_i^-
(Relative Utilities)

เปรียบเทียบ S_i ของแต่ละทางเลือกกับ S_i ของทางเลือกที่ดีที่สุดและแย่ที่สุด โดยใช้สมการที่ 6-7 ดังแสดงในตารางที่ 6

4.2.7 การคำนวณคะแนน MARCOS (MARCOS Score: $f(K_i)$)

นำค่าสัมพัทธ์ K_i^+ และ K_i^- มาคำนวณคะแนน MARCOS เพื่อหาค่าการจัดอันดับแบบประนีประนอม โดยใช้สมการที่ 8 ดังแสดงในตารางที่ 6

4.2.8 การจัดลำดับทางเลือก (Ranking)

จัดลำดับทางเลือกทั้งหมดตามคะแนน (MARCOS: $f(K_i)$) โดยทางเลือกที่มีคะแนนสูงที่สุดจะถูกจัดอันดับสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 6

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 6 ผลคำนวณค่า S_i K_i^+ K_i^- $f(K_i)$ และ Rank

Alternatives	S_i	K_i^+	K_i^-	$f(K_i)$	Rank
A ₁	0.556	0.556	1.667	1.587	8
A ₂	0.667	0.667	2.000	2.667	5
A ₃	0.556	0.556	1.667	1.587	8
A ₄	0.778	0.778	2.333	4.356	3
A ₅	0.667	0.667	2.000	2.667	5
A ₆	0.556	0.556	1.667	1.587	8
A ₇	0.556	0.556	1.667	1.587	8
A ₈	1.000	1.000	3.000	12.000	1
A ₉	0.333	0.333	1.000	0.444	13
A ₁₀	0.333	0.333	1.000	0.444	13
A ₁₁	0.778	0.778	2.333	4.356	3
A ₁₂	0.333	0.333	1.000	0.444	13
A ₁₃	0.444	0.444	1.333	0.889	11
A ₁₄	0.778	0.778	2.333	4.356	3

ตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่าเทคนิค Hybrid GRA-MARCOS สามารถแยกแยะทางเลือก AI ที่เหมาะสมได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อมีหลายเกณฑ์ที่ต้องพิจารณาร่วมกัน การใช้ค่าประนีประนอม $f(K_i)$ ช่วยสะท้อนความสมดุลของแต่ละทางเลือกได้ดี ทำให้สามารถจัดอันดับและตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพและเชิงวิจัย A₈ ควรได้รับการพิจารณาเป็นลำดับแรกสำหรับการใช้งานจริงในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความสมบูรณ์ทั้งในเชิงเทคนิคและการยอมรับ A₄, A₁₁, A₁₄ เหมาะสำหรับบริบทที่ต้องการประสิทธิภาพใกล้เคียง A₈ แต่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณหรือทรัพยากร ขั้นตอนสุดท้ายนำผลคำนวณค่า S_i K_i^+ K_i^- $f(K_i)$ และ Rank เปรียบเทียบ MCDM Method ดังแสดงในตารางที่ 7 และผลลัพธ์การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบ MCDM Method

Alternatives	PSI Method	Rank	MAUT Method	Rank	GRG Method	Rank	MARCOS Method	Rank	Hybrid GRA-MARCOS	Rank
A ₁	0.987	7	0.333	8	0.556	8	1.811	9	1.587	8
A ₂	1.022	5	0.500	5	0.667	5	2.025	6	2.667	5
A ₃	0.987	7	0.333	8	0.556	8	1.811	9	1.587	8
A ₄	1.060	3	0.667	3	0.778	3	2.262	4	4.356	3
A ₅	1.022	5	0.500	5	0.667	5	2.025	6	2.667	5
A ₆	0.986	9	0.333	8	0.556	8	1.811	9	1.587	8
A ₇	0.986	9	0.333	8	0.556	8	1.811	9	1.587	8
A ₈	1.140	1	1.000	1	1.000	1	2.813	1	12.000	1
A ₉	0.912	13	0.000	13	0.333	13	1.440	14	0.444	13

วิระพล ทับทิมดี และคณะ, การประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS สำหรับการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม

บทความวิจัย (Research Article)

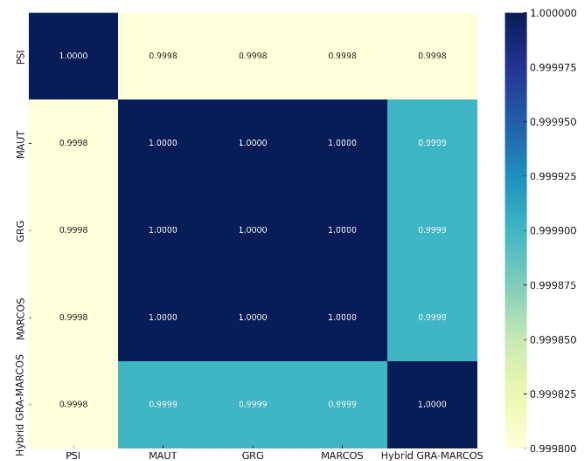
ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบ MCDM Method (ต่อ)

Alternatives	PSI Method	Rank	MAUT Method	Rank	GRG Method	Rank	MARCOS Method	Rank	Hybrid GRA- MARCOS	Rank
A ₁₀	0.912	13	0.000	13	0.333	13	1.440	14	0.444	13
A ₁₁	1.062	2	0.667	3	0.778	3	2.262	4	4.356	3
A ₁₂	0.912	13	0.000	13	0.333	13	1.440	14	0.444	13
A ₁₃	0.949	11	0.167	11	0.444	11	1.616	12	0.889	11
A ₁₄	1.060	3	0.667	3	0.778	3	2.262	4	4.356	3

จากตารางที่ 7 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จาก 5 วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (MCDM) พบว่า A₈ ได้รับอันดับ 1 จากทุกวิธี แสดงถึงความเหมาะสมสูงสุดอย่างสอดคล้องกัน ขณะที่ A₄, A₁₁ และ A₁₄ ได้อันดับดีอย่างต่อเนื่องจากหลายวิธี บ่งชี้ถึงความสอดคล้องของแบบจำลอง ในทางตรงกันข้าม ทางเลือก A₉, A₁₀ และ A₁₂ มีอันดับต่ำสุดจากทุกวิธี สะท้อนถึงประสิทธิภาพที่ต่ำในทุกเกณฑ์การประเมิน

ตารางที่ 8 ผลลัพธ์การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

Method	PSI	MAUT	GRG	MARCOS	Hybrid GRA- MARCOS
PSI	1	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
MAUT	0.9998	1	1	1	0.9999
GRG	0.9998	1	1	1	0.9999
MARCOS	0.9998	1	1	1	0.9999
Hybrid GRA- MARCOS	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	1



รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

จากรูปที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างวิธี MCDM ทั้ง 5 วิธี พบว่าทุกวิธีมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงมาก โดยค่าความสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.9998 ถึง 1.0000 สิ่งนี้สะท้อนว่าผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละวิธีมีความสอดคล้องกันอย่างชัดเจน แม้ว่าหลักการและขั้นตอนการคำนวณจะต่างกัน ความสัมพันธ์ระดับนี้ช่วยยืนยันความน่าเชื่อถือและความมั่นคงของการเลือกใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งในการสนับสนุนการตัดสินใจในบริบทเชิงอุตสาหกรรม

5. อภิปรายและสรุปผล

ผลการวิจัยจากการประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าเทคนิคนี้สามารถจัดอันดับทางเลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาจากเกณฑ์การประเมินทั้ง 6 ด้าน ได้แก่ ความแม่นยำ การเขียนโค้ด การทำงานร่วมกับระบบ ความเร็วในการประมวลผล ความคุ้มค่า และความเชื่อมั่นในการใช้งานจริงจากการประมวลผลข้อมูลด้วยวิธี GRA เพื่อจัดการกับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์และไม่แน่นอน ร่วมกับการประเมินแบบ MARCOS ที่เปรียบเทียบค่าความใกล้เคียงกับทางเลือกอุดมคติและทางเลือกที่แย่ที่สุด ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความชัดเจนและสามารถนำไปใช้สนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ได้จริง ผลการจัดลำดับจากตารางที่ 6 ชี้ให้เห็นว่า ทางเลือก A_8 (Gemini โดย Google) ได้คะแนนสูงสุดในทุกด้าน และได้รับการจัดอันดับเป็นอันดับ 1 ด้วยค่า $f(K_i)$ เท่ากับ 12.000 แสดงให้เห็นถึงความโดดเด่นทั้งในด้านเทคนิค ความสามารถในการบูรณาการ ความคุ้มค่า และความเชื่อมั่นจากผู้ใช้งาน จึงควรได้รับการพิจารณาเป็นลำดับแรกในการนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม กลุ่มทางเลือก A_4 , A_{11} , และ A_{14} ซึ่งมีค่า $f(K_i)$ เท่ากับ 4.356 และลำดับอันดับที่ 3 แสดงถึงความเหมาะสมในระดับสูง เหมาะสำหรับองค์กรที่ต้องการประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ A_8 แต่มีข้อจำกัดในด้านงบประมาณหรือต้องการตัวเลือกที่มีความเฉพาะด้าน ทางเลือก A_2 และ A_5 ซึ่งได้อันดับที่ 5 มีศักยภาพที่ดีในด้านการเขียนโค้ดและการทำงานร่วมกับระบบเดิม ขณะที่กลุ่ม A_9 , A_{10} , และ A_{12} ได้อันดับต่ำสุด (Rank = 13) แสดงถึงความเหมาะสมในการใช้งานที่ต่ำที่สุดในบริบทของเกณฑ์ที่ใช้ประเมิน งานวิจัยนี้สะท้อนให้เห็นว่าเทคนิค Hybrid GRA-MARCOS สามารถแยกแยะความแตกต่างของ

ทางเลือกได้อย่างมีนัยสำคัญ และมีความยืดหยุ่นในการปรับใช้กับข้อมูลจริงจากผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้ การจัดลำดับที่ได้สามารถสะท้อนถึงความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพเชิงเทคนิคและการยอมรับในการใช้งานจริงของเทคโนโลยี AI ในภาคอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี เทคนิค Hybrid GRA-MARCOS ไม่เพียงแต่ช่วยให้การตัดสินใจมีความเป็นระบบ โปร่งใส และสามารถตรวจสอบได้เท่านั้น แต่ยังสามารถตอบสนองต่อความซับซ้อนของการประเมินหลายเกณฑ์ในโลกจริงอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตคือ การขยายตัวแปรเกณฑ์เพิ่มเติมให้ครอบคลุมด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ หรือความสามารถในการสเกลเทคโนโลยี เพื่อให้ได้ภาพรวมของความเหมาะสมในการเลือกใช้ AI ได้ครอบคลุมยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท โปรเกรสพาร์ทแอนด์ไค จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลและความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของงานวิจัย และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนด้านทรัพยากรทางวิชาการ และแนวทางวิจัยอย่างต่อเนื่องจนสามารถดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] I. Ahmed, G. Jeon, and F. Piccialli, "From Artificial Intelligence to Explainable Artificial Intelligence in Industry 4.0: A Survey on What, How, and Where," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 18, no. 8, pp. 5031-5042, 2022.

บทความวิจัย (Research Article)

- DOI: 10.1109/TII.2022.3146552.
- [2] R. S. Peres, X. Jia, J. Lee, K. Sun, A. W. Colombo, and J. Barata, "Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0 - Systematic Review, Challenges and Outlook," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 220121-220139, 2020.
DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3042874.
- [3] T. Wang, Y. Zeng, Y. Han, and J. W. Hong, "How does AI Technology Affect the Development of Physical Manufacturing Industry under the Background of Intelligent Economy," *Transactions on economics, business and management research*, vol. 3, pp. 217–222, 2023.
DOI: 10.62051/bkm82q24.
- [4] L. M. Yahya, S. Suharni, D. R. Hidayat, and A. Y. Vandika, "Application of Artificial Intelligence to Improve Production Process Efficiency in Manufacturing Industry," *West Science Information System and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 223–232, 2024.
DOI: 10.58812/wsist.v2i02.1221.
- [5] T. Yaşar, "Artificial Intelligence in Business Operations: Exploring How AI Technologies Are Reshaping Processes, Enhancing Decision-Making, and Driving Efficiency Across Various Industries," *Human computer interaction.*, vol. 8, no. 1, pp. 53, 2024. DOI: 10.62802/r78f9a37.
- [6] A. Mondal et al., "Sustainable-resilient-responsive supply chain with demand prediction: An interval type-2 robust programming approach," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 133, pp. 108133, 2024.
- [7] K. Govindan and R. Sivakumar, "Green supplier selection and order allocation in a low-carbon paper supply chain," *Annals of Operations Research*, vol. 247, no. 2, pp. 585–607, 2016.
DOI: 10.1007/s10479-015-2004-4.
- [8] I. Badi and D. Pamucar, "Supplier selection for steelmaking company by using combined Grey-MARCOS methods," *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 37–48, Oct. 2020.
- [9] S. Chakraborty, P. Chatterjee, and D. Pamucar, "An integrated D-MARCOS method for supplier selection in an iron and steel industry," *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 49–69, 2020. DOI: 10.31181/dmame2003049c.
- [10] M. Radovanović, S. Jovčić, A. Petrovski, and E. Cirkin, "Evaluation of university professors using the spherical fuzzy AHP and grey MARCOS multi-criteria decision-making model: A case study," *Spectrum of Decision Making and Applications*, vol. 2, no. 1, pp. 198–218, 2025, doi: 10.31181/sdmap21202518.
- [11] Ž. Stević, D. Pamučar, A. Puška, and P. Chatterjee, "Sustainable supplier

บทความวิจัย (Research Article)

- selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution (MARCOS)," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 106231, 2020.
DOI: 10.1016/j.cie.2020.106231.
- [12] J. Deng, "Introduction to Grey System Theory," *The Journal of Grey System*, vol. 1, pp. 1–24, 1989.
- [13] A. Puška, Ž. Stević, and D. Pamučar, "Evaluation and selection of healthcare waste incinerators using extended sustainability criteria and multi-criteria analysis methods," *Environmental Development and Sustainability*, vol. 24, no. 9, pp. 11195–11225, 2022, doi: 10.1007/s10668-021-01902-2.
- [14] M. Radovanović, S. Jovčić, A. Petrovski, and E. Cirkin, "Evaluation of University Professors Using the Spherical Fuzzy AHP and Grey MARCOS Multi-Criteria Decision-Making Model: A Case Study," *Spectrum of Decision Making and Applications*, vol. 2, no. 1, pp. 198–218, 2025
DOI: 10.31181/sdmap21202518.
- [15] OpenAI, "ChatGPT (GPT-4.o)," [online] Available: <https://chat.openai.com/>. [Accessed on: Apr. 23, 2025].
- [16] K. Patel, "Literature Review on Software Reliable Metrics," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ICRADL*, Vol. 09, no. 05, 2021.
- [17] T. Yamane, *Statistics: An Introductory Analysis*, 2nd ed. New York, NY, USA: Harper and Row, 1967.
- [18] Y. Wang, L. Shi, M. Song, M. Jia, and B. Li, "Evaluating the energy-exergy-economy-environment performance of the biomass-photovoltaic-hydrogen integrated energy system based on hybrid multi-criterion decision-making model," *Renewable Energy*, vol. 224, pp. 120220, 2024.
- [19] Y. Gan, C. Zheng, B. Chu, J. Li, Y. Zhang, and Y. Jia, "Research on the risk assessment of the power grid enterprises' agency power purchase business in China: A hybrid multi-attribute decision-making framework based on FUCOM-F and GRA-MARCOS," *Frontiers in Energy Research*, vol. 12, pp. 1376531, 2024.
- [20] M. Bitarafan, K. A. Hosseini, and S. H. Zolfani, "Identification and assessment of man-made threats to cities using integrated Grey BWM-Grey MARCOS method," *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 581–599, 2023.
DOI: 10.31181/dmame622023747.
- [21] P. Nasawat, S. Talangkun, S. Arunyanart, and N. Wichapa, "Hybrid cross-efficiency approach based on ideal and anti-ideal points and the CRITIC method for ranking decision-making units: a case study on ranking the methods of rice

บทความวิจัย (Research Article)

- weevil disinfestation," *Decision Science Letters*, vol. 10, no. 3, pp. 375–392, 2021.
- [22] สมศักดิ์ ทองแก้ว, ศักดิ์ชัย หงษ์ทอง, ปวีรพรต นาสวาสดี, ณัฐภัทร กาญจนเรืองรอง, วีระพล ทับทิมดี และ กฤษณะ ช่องศรี, "การประยุกต์ใช้วิธี Fuzzy VIKOR ในการตัดสินใจเลือกแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไม้," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 6, หน้า 34–49, พฤศจิกายน–ธันวาคม 2567.
- [23] P. Liu, J. Shen, P. Zhang, and B. Ning, "Multi-attribute group decision-making method using single-valued neutrosophic credibility numbers with fairly variable extended power average operators and GRA-MARCOS," *Expert Systems with Applications*, vol. 263, pp. 125703, 2025.
DOI: 10.1016/j.eswa.2024.125703.
- [24] T. Monmongkol, N. Sriputtha, N. Kanchanaruangrong, and P. Nasawat, "Hybrid GRA-EDAS-based evaluation of electrode materials for automotive spot welding applications," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 15, no. 4, pp. 25088–25094, 2025, doi: 10.48084/etasr.11871.
- [25] ปวีรพรต นาสวาสดี, มานพ พิพัฒน์หัตถกุล, และ เชกสรร สิงห์ธนู, "การออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพร่วมกับเทคนิควิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติ," *Journal of Advanced Development in Engineering and Science*, ปีที่ 15, ฉบับที่ 42, หน้า 1-20, มกราคม–เมษายน 2568.
- [26] S. Phokha, C. Sasen, P. Nasawat, and N. Kanchanaruangrong, "Optimization of Rubber Sheet Rolling Machine Parameters using a Taguchi-based TOPSIS Linear Programming Model," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 15, no. 1, pp. 20508–20516, Jan. 2025.
- [27] N. Wichapa, P. Nasawat, N. Kanchanaruangrong, and A. Choompol, "A combined DEAV-BWM approach for effective evaluation and ranking of biomass materials in charcoal briquette production," *MethodsX*, vol. 13, 103075, pp. 1–11, Nov. 2024.
- [28] P. Kailomsom, P. Nasawat, W. Khunthirat, and W. Phuangpornpitak, "A hybrid method based on BWM and TOPSIS-LP model to assess computer numerical control machines," *Engineering Access*, vol. 11, no. 1, pp. 108–118, Jan.–Jun. 2025. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.125703.

การพัฒนาเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3

สำราญ เลิศคอนสาร¹, ภัสกร ดวงผมยาว² และ ชฎารัฐ ขวัญนาค^{2,*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยพินิจบัณฑิต

² สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศสื่อดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยพินิจบัณฑิต

*ผู้ประสานงานบทความฉบับนี้: Kkikkaa300@gmail.com: โทรศัพท์: 089-8595900

(รับบทความ: 8 มิถุนายน 2568; แก้ไขบทความ: 28 มิถุนายน 2568; ตอรับบทความ: 30 มิถุนายน 2568)

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อพัฒนาเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 และ (2) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อเว็บไซต์ดังกล่าว ผลการวิจัยพบว่าเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นรองรับการจัดการเรียนการสอนออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีระบบใช้งานสะดวก อินเทอร์เฟซไม่ซับซ้อน และสอดคล้องกับลักษณะผู้เรียนเป้าหมาย การออกแบบมีความสวยงาม เป็นมิตรต่อผู้ใช้ ส่งผลให้ผู้ใช้งานให้ระดับความพึงพอใจ “ดีมาก” (ค่าเฉลี่ย = 4.51) การวิเคราะห์เพิ่มเติมชี้ว่าเว็บไซต์ตอบสนองความต้องการของนักเรียนและครูผู้สอนได้ครบถ้วนทั้งด้านเนื้อหา ความสะดวกในการใช้งาน และระบบติดตามผลการเรียนรู้ อย่างไรก็ตาม มีข้อเสนอแนะให้ปรับปรุงบางประการ เช่น เพิ่มความชัดเจนในการใช้งานครั้งแรก และเพิ่มสื่อมัลติมีเดียทั้งวิดีโอ เกมการเรียนรู้ และกิจกรรมเชิงโต้ตอบเพื่อเสริมการมีส่วนร่วมของผู้เรียน หากดำเนินการตามข้อเสนอแนะเหล่านี้ คาดว่าจะยกระดับความเข้าใจของผู้เรียน กระตุ้นความสนใจ และเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน รวมทั้งลดภาระครูในการติดตามผล และสนับสนุนการจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: เว็บไซต์สื่อการเรียนรู้ วิทยาการคำนวณ ระดับประถมศึกษา ความพึงพอใจ การเรียนการสอนออนไลน์

การอ้างอิงบทความ: สำราญ เลิศคอนสาร, ภัสกร ดวงผมยาว และ ชฎารัฐ ขวัญนาค, "การพัฒนาเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 5, หน้า 59-69, 2568.

The Development of a Learning Media Website for Grade 3 Computer Science Students

Samran Lertkonsarn¹, Phatsakon Duangphomyao² and Chadarat Khwunnak^{2,*}

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineerin, Pitchayabundit College

² Department of Information Technology and Digital Media, Faculty of Science, Pitchayabundit College

*Corresponding Author: Kkikkaaa300@gmail.com, Tel: 089-8595900

(Received: June 8, 2025; Revised: June 28, 2025; Accepted: June 30, 2025)

Abstract

This study aimed to (1) develop an educational website for the Computational Thinking subject targeted at Grade 3 students and (2) evaluate users' satisfaction with the developed website. The findings revealed that the website effectively supported online teaching and learning. It featured a user-friendly interface, simple navigation, and a design appropriate for the target age group. The overall visual presentation was engaging and accessible, contributing to a high level of user satisfaction, with an average satisfaction score of 4.51 out of 5, which is considered "very good." The analysis indicated that the website effectively addressed the needs of both students and teachers in terms of content quality, ease of use, and the learning progress tracking system. However, certain areas for improvement were identified, particularly regarding the clarity of initial navigation and the integration of multimedia content such as instructional videos, educational games, and interactive activities. Implementing these enhancements is expected to further improve students' comprehension, increase engagement, and enhance learning outcomes. Additionally, it may reduce teachers' workload in monitoring student progress and support more efficient teaching and learning management.

Keywords: Learning Media Website, Computer Science, Primary Education, User Satisfaction, Online Teaching and Learning

Please cite this article as: S. Lertkonsarn, P. Duangphomyao and C. Khwunnak, "The Development of a Learning Media Website for Grade 3 Computer Science Students," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 5, pp. 59-69, 2025.

1. บทนำ

ในยุคดิจิทัล เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมีบทบาทสำคัญต่อการยกระดับคุณภาพการศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้สื่อดิจิทัลเพื่อการจัดการเรียนการสอน เว็บไซต์สื่อการเรียนรู้ช่วยให้นักเรียนเข้าถึงองค์ความรู้ได้อย่างรวดเร็ว ยืดหยุ่น และสอดคล้องกับบริบทของผู้เรียน [1], [2] อย่างไรก็ตาม โรงเรียนในพื้นที่ชนบทหลายแห่ง เช่น โรงเรียนบ้านหนองผำ จังหวัดเลย ยังคงประสบข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐาน ส่งผลให้การจัดการเรียนการสอนในรายวิชาที่มีเนื้อหาซับซ้อนและต้องการการมีส่วนร่วมอย่างต่อเนื่องยังขาดประสิทธิภาพ [3], [4] รายวิชาวิทยาการคำนวณมุ่งพัฒนาทักษะการคิดเชิงคำนวณ การแก้ปัญหาเชิงระบบ และการใช้เทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งล้วนเป็นสมรรถนะสำคัญในศตวรรษที่ 21 [5] ดังนั้น สื่อที่ใช้ควรเอื้อต่อความเข้าใจเชิงลึกและส่งเสริมปฏิสัมพันธ์สูง งานวิจัยหลายชิ้นยืนยันว่าเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้ช่วยเพิ่มแรงจูงใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยเฉพาะในรายวิชาภาษาต่างประเทศ [6] หากยังรวมถึงการเรียนรู้ด้านคุณธรรมตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง [7] รายวิชาฟิสิกส์ [8] การเรียนภาษาอังกฤษผ่านวิดีโอ YouTube [9] และการฝึกทักษะภาษาอังกฤษด้วยสื่อวิดีโอแบบโต้ตอบในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย [10] การออกแบบเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพควรยึดหลัก Constructivism เพื่อให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง Connectivism เพื่อสนับสนุนการเชื่อมโยงเครือข่ายข้อมูลและผู้คน และ Active Learning เพื่อกระตุ้นการมีส่วนร่วมผ่านกิจกรรมหลากหลายรูปแบบ เช่น วิดีโอแบบโต้ตอบ เกมการเรียนรู้ และแบบฝึกหัดออนไลน์ ซึ่งได้รับการพิสูจน์ว่าสามารถยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ [11], [12] นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้โมเดล ADDIE ควบคู่กับ SDLC ช่วยให้การกระบวนการพัฒนาระบบเป็นระบบระเบียบและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ดียิ่งขึ้น [6] ในขณะเดียวกัน สถานการณ์

COVID-19 ยังตอกย้ำความจำเป็นในการเตรียมทรัพยากรดิจิทัลคุณภาพสูงสำหรับการเรียนออนไลน์อย่างต่อเนื่อง [13]

จากเหตุผลข้างต้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยบูรณาการแนวคิด Constructivism, Connectivism และ Active Learning พร้อมทั้งประเมินความพึงพอใจของนักเรียนและครูผู้สอนต่อเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

รายวิชาวิทยาการคำนวณเป็นองค์ประกอบสำคัญของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน โดยมุ่งเน้นการพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ การแก้ปัญหา การเขียนโปรแกรมเบื้องต้น และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งล้วนเป็นทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ที่ผู้เรียนยังอยู่ในวัยของการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติและกิจกรรมที่ต้องการปฏิสัมพันธ์อย่างต่อเนื่อง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้จึงจำเป็นต้องออกแบบให้สอดคล้องกับพัฒนาการของผู้เรียนในช่วงวัยดังกล่าว [2] เว็บไซต์สื่อการเรียนรู้ถือเป็นเครื่องมือดิจิทัลที่มีศักยภาพในการส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยเฉพาะในบริบทของโรงเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชนบทซึ่งมักประสบปัญหาด้านการเข้าถึงทรัพยากรทางการศึกษา การเรียนการสอนที่ต้องอาศัยกระบวนการคิดวิเคราะห์ และลงมือปฏิบัติ เช่น รายวิชาวิทยาการคำนวณ จึงได้รับประโยชน์อย่างมากจากการใช้เว็บไซต์เป็นสื่อกลางในการเรียนรู้ เนื่องจากสามารถอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงเนื้อหา ช่วยให้การเรียนรู้ดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง และลดข้อจำกัดด้าน

บทความวิจัย (Research Article)

อุปกรณ์ได้ในระดับหนึ่ง [3], [7] เพื่อให้เว็บไซต์มีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนได้อย่างรอบด้าน การออกแบบควรยึดตามแนวคิดทางการศึกษาที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ได้แก่ แนวคิด Constructivism ซึ่งเน้นให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการสำรวจ ทดลอง และการสะท้อนคิด เว็บไซต์จึงควรออกแบบกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน เช่น การเขียนโค้ดแบบง่าย หรือสถานการณ์จำลองที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ซึ่งจะช่วยส่งเสริมความเข้าใจเชิงลึกและพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ [6]

นอกจากนี้ แนวคิด Connectivism ยังเสนอว่าการเรียนรู้เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างเครือข่ายข้อมูลและผู้คน ดังนั้น เว็บไซต์ควรมีองค์ประกอบที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลภายนอก เช่น วิดีโอการสอน บทความ หรือฟอรัมอภิปราย เพื่อส่งเสริมการสร้างเครือข่ายความรู้และการเรียนรู้ร่วมกันอย่างต่อเนื่อง [9], [10] ในส่วนของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ควรบูรณาการแนวคิด Active Learning โดยเน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมอย่างกระตือรือร้น ผ่านกิจกรรมที่ต้องลงมือทำจริง เช่น เกมการเรียนรู้ แบบฝึกหัดโต้ตอบ หรือวิดีโอแบบอินเทอร์แอคทีฟ ซึ่งงานวิจัยพบว่าช่วยเพิ่มแรงจูงใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในกลุ่มนักเรียนระดับประถมศึกษา [5] การพัฒนาเว็บไซต์ให้มีความสมบูรณ์และตอบโจทย์ตามแนวคิดข้างต้นสามารถดำเนินการภายใต้กรอบแนวทางของโมเดล ADDIE ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา นำไปใช้ และประเมินผล งานวิจัยในบริบทของการเรียนรู้ภาษาแสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้โมเดล ADDIE ควบคู่กับแนวคิดทางการเรียนรู้ดังกล่าว สามารถผลิตเว็บไซต์เพื่อการเรียนรู้ที่เป็นมิตรต่อผู้ใช้ และสอดคล้องกับความต้องการของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1] เมื่อผสานแนวคิด Constructivism,

Connectivism และ Active Learning เข้ากับกระบวนการพัฒนาแบบ ADDIE จึงคาดว่าเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณที่พัฒนาขึ้น จะสามารถส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนเพิ่มพูนแรงจูงใจในการเรียนรู้ และสามารถประยุกต์ใช้ได้เหมาะสมในบริบทของโรงเรียนชนบทที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร [4], [8]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศศิวรรณ สุวรรณกิตติ (2567) ศึกษาการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ภาษาต่างประเทศ โดยใช้โมเดล ADDIE ร่วมกับกระบวนการพัฒนาระบบ SDLC (System Development Life Cycle) ผลการวิจัยพบว่า เว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพทั้งด้านการใช้งานและการส่งเสริมทักษะของผู้เรียนได้อย่างเหมาะสม ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แนวทางดังกล่าวกับการเรียนการสอน วิชาวิทยาการคำนวณในระดับประถมศึกษา

ศรารักษ์ แซ่อึ้ง, นพวรรณ ท่าแจ้ง และนันธวัช นูนารถ (2567) วิจัยการจัดการเรียนรู้โดยใช้สื่ออินโฟกราฟิกในหัวข้อโรคโควิด-19 สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การใช้สื่อดิจิทัลที่เหมาะสมสามารถส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้เทคโนโลยีของผู้เรียนในยุคดิจิทัล

เชมจิรา รัตนะ และพล เหลืองรังษี (2567) ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาวิทยาการคำนวณ โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบเกมกับนักเรียนระดับประถมศึกษาปีที่ 2 พบว่า การออกแบบสื่อดิจิทัลที่มีลักษณะโต้ตอบและเหมาะสมกับระดับพัฒนาการของผู้เรียนในบริบทชนบทสามารถส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยตนเอง และลดความเหลื่อมล้ำทางการศึกษาได้อย่างมีนัยสำคัญ

บทความวิจัย (Research Article)

อภิชาติ รอดนิม (2564) กล่าวถึงผลกระทบจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรค COVID-19 ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเรียนรู้ไปสู่ระบบออนไลน์อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง งานวิจัยเน้นย้ำความสำคัญของการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับบริบทของผู้เรียนในยุคดิจิทัล โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ขาดแคลนสื่อการเรียนรู้แบบดั้งเดิม

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น สะท้อนให้เห็นว่า การออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อการเรียนรู้โดยใช้โมเดล ADDIE ร่วมกับการพิจารณาบริบทของผู้เรียน โดยเฉพาะผู้เรียนในระดับประถมศึกษาและในพื้นที่ชนบท เป็นแนวทางที่สามารถส่งเสริมการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาการคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านเนื้อหากระบวนการเรียนรู้ และการมีส่วนร่วมของผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาเว็บไซต์เพื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีวิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

3.1 รูปแบบการวิจัย

3.1.1 วิเคราะห์ระบบงานเดิม

จากการศึกษาระบบเดิมซึ่งใช้รูปแบบการเรียนรู้ผ่านหนังสือเรียนวิทยาการคำนวณ พบข้อจำกัดที่สำคัญ ได้แก่

- ขาดสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบที่มีปฏิสัมพันธ์ เช่น วิดีโอหรือภาพเคลื่อนไหว
- ไม่สามารถติดตามความก้าวหน้าของผู้เรียนแบบเรียลไทม์

- ไม่มีระบบประเมินผลและบันทึกคะแนนโดยอัตโนมัติ

3.1.2 วิเคราะห์ระบบงานใหม่

- วิดีโอการสอนและแบบฝึกหัดออนไลน์
- ระบบติดตามผลการเรียนรู้ของนักเรียนแบบเรียลไทม์
- ฟังก์ชันการประเมินผลอัตโนมัติและการบันทึกคะแนน

- การออกแบบที่เน้นการมีส่วนร่วมผ่านสื่อมัลติมีเดียที่หลากหลาย

3.1.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

- ประชากร ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนบ้านหนองผำ อำเภอเมือง จังหวัดเลย
- กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนที่เข้าร่วมใช้เว็บไซต์เพื่อการเรียนรู้ และครูผู้สอนวิชาวิทยาการคำนวณ

3.2 การออกแบบระบบ

ในขั้นตอนนี้ได้ออกแบบระบบโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมซอฟต์แวร์จำนวน 7 รูปแบบ ได้แก่

- 1) Flow Chart แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบโดยแยกตามสิทธิ์ของผู้ใช้ ได้แก่ ครูและนักเรียน
- 2) Context Diagram แสดงขอบเขตของระบบและการไหลของข้อมูลระหว่างระบบกับผู้ใช้
- 3) Data Flow Diagram (DFD) แสดงกระบวนการย่อยของระบบตั้งแต่การสมัครสมาชิกจนถึงการประเมินผล
- 4) E-R Diagram ออกแบบฐานข้อมูลโดยระบุตารางหลัก ความสัมพันธ์ และแอตทริบิวต์ของข้อมูล
- 5) Story Board ร่างหน้าจอบนเว็บไซต์ในแต่ละส่วน เช่น หน้าหลัก โปรไฟล์ บทเรียน แบบทดสอบ
- 6) Sitemap แผนผังแสดงโครงสร้างเว็บไซต์โดยแบ่งตามบทบาทของผู้ใช้

บทความวิจัย (Research Article)

7) Input/Output Design ระบุข้อมูลนำเข้า เช่น บทเรียน แบบทดสอบ และข้อมูลส่งออก เช่น คะแนนและรายงานผล

3.3 การพัฒนาระบบ

3.3.1 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม

ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก Lenovo V14-ARE (RAM 8GB, AMD Ryzen 5) เป็นอุปกรณ์หลัก โดยใช้ซอฟต์แวร์ ได้แก่

- Visual Studio Code สำหรับเขียนโปรแกรม
- AppServ 9.3.0 สำหรับพัฒนาและจัดการฐานข้อมูล
- Adobe Photoshop และ Premiere Pro สำหรับจัดทำและตกแต่งสื่อประกอบการเรียนการสอน

ระบบประกอบด้วยไฟล์โปรแกรมหลัก เช่น db.php, add_lesson.php, signup.php เพื่อดำเนินการต่าง ๆ บนเว็บไซต์

3.3.2 การพัฒนาแบบประเมินความพึงพอใจ

ได้ออกแบบแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ในระดับ 5 Likert scale ซึ่งแบ่งตัวชี้วัดออกเป็น 3 หมวด ได้แก่

- 1) ความสะดวกในการใช้งาน
- 2) ประสิทธิภาพต่อการเรียนรู้
- 3) ความสวยงามและการออกแบบเว็บไซต์

3.4 การทดสอบระบบ

ทำการทดลองใช้งานระบบกับกลุ่มตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยครู 2 คน และนักเรียน 11 คน โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) อบรมครูผู้สอนเกี่ยวกับการสมัครสมาชิกและใช้งานระบบ

- 2) สาธิตวิธีการใช้งานระบบให้แก่นักเรียน
- 3) ทดลองใช้งานเว็บไซต์ในการเรียนรู้ 3 บทเรียน
- 4) ประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบโดยครูและนักเรียน

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจที่ออกแบบไว้ในขั้นตอนก่อนหน้า วิเคราะห์ข้อมูลโดยพิจารณาจาก 3 ประเด็นหลัก ได้แก่

- 1) ความสะดวกในการใช้งาน
- 2) ประสิทธิภาพของระบบที่ส่งผลต่อการเรียนรู้
- 3) การออกแบบและความน่าสนใจของเว็บไซต์

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ โดยคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) ของคะแนนจากแบบประเมินความพึงพอใจ ด้วยสูตร ดังสมการที่ 1

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

โดยที่ n = จำนวนนักเรียนที่ประเมิน

4. ผลการวิจัย

ในการดำเนินงานด้านการพัฒนาและทดสอบระบบเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ได้ดำเนินการโดยอ้างอิงข้อมูลจากการใช้งานจริง ประกอบกับผลการประเมินการใช้งานจากกลุ่มผู้ใช้ ได้แก่ นักเรียนและครูผู้สอน ตลอดจนผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ

บทความวิจัย (Research Article)

ระบบในประเด็นต่าง ๆ ตามหัวข้อที่กำหนดไว้
ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการพัฒนาเว็บไซต์

เว็บไซต์สื่อการเรียนรู้ได้รับการพัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ได้แก่ HTML, CSS, Bootstrap และ PHP เพื่อสร้างระบบที่สามารถรองรับการจัดการเรียนการสอนในรูปแบบออนไลน์สำหรับนักเรียนและครูผู้สอน โดยระบบดังกล่าวประกอบด้วยฟังก์ชันหลักที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

เข้าสู่ระบบ

Email

รหัสผ่าน

เข้าสู่ระบบ

ยังไม่มีบัญชี ? สมัครสมาชิก

รูปที่ 1 หน้าเข้าสู่ระบบ

แบบทดสอบก่อนเรียน

คอมพิวเตอร์คืออะไร

☐	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรักษาและประมวลผลข้อมูลเพื่อทำสิ่งต่างๆ ได้
☐	เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณและควบคุมการทำงานของระบบอัตโนมัติ
☐	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถรับข้อมูล ประมวลผล และแสดงผลข้อมูลได้
☐	เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการข้อมูลและช่วยในการทำงานของมนุษย์

คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) แบ่งออกเป็นกี่ประเภท

☐	1 ประเภท
☐	2 ประเภท
☐	3 ประเภท
☐	4 ประเภท

รูปที่ 2 หน้าแบบทดสอบก่อนเรียน



แบบทดสอบก่อนเรียน

แบบทดสอบหลังเรียน



รูปที่ 3 หน้าบทเรียน

แบบทดสอบหลังเรียน

คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) แบ่งออกเป็นกี่ประเภท

☐	1 ประเภท
☐	2 ประเภท
☐	3 ประเภท
☐	4 ประเภท

คอมพิวเตอร์ประเภทใดที่มีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลจำนวนมากพร้อมกันและใช้บ่อยครั้งใหญ่ๆ เช่นธนาคาร

☐	ซูเปอร์คอมพิวเตอร์ (Supercomputer)
☐	คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต (Tablet)
☐	สมาร์ทโฟน (Smartphone)
☐	เมนเฟรมคอมพิวเตอร์ (Mainframe Computer)

รูปที่ 4 หน้าแบบทดสอบหลังเรียน

4.2 ผลการประเมินความพึงพอใจเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณ

ผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่า เว็บไซต์สื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการจัดการเรียนการสอนและการให้ข้อมูลสำหรับการประเมินผลจากนักเรียนและครู อันเป็นพื้นฐานสำคัญที่ช่วยให้สามารถวิเคราะห์

บทความวิจัย (Research Article)

และปรับปรุงเว็บไซต์ในอนาคตได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจ ด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ

ที่	รายการประเมิน	ผลการประเมิน
		คะแนนเฉลี่ย (1-5)
1.1 ความสะดวกในการใช้งานระบบ		
1.1	ระบบมีการออกแบบที่ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน	4.50
1.2	นักเรียนสามารถเข้าใช้งานเว็บไซต์ได้อย่างราบรื่น	4.60
1.3	การทำแบบทดสอบก่อนและหลังเรียนสามารถเข้าถึงและทำได้สะดวก	4.40
1.4	การแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	4.50
1.5	ระบบมีความเข้าใจง่าย	4.60
ค่าเฉลี่ยรวม		4.52

ตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจ ด้านประสิทธิภาพของเว็บไซต์ต่อการเรียนรู้

ที่	รายการประเมิน	ผลการประเมิน
		คะแนนเฉลี่ย (1-5)
1.2 ประสิทธิภาพของเว็บไซต์ต่อการเรียนรู้		
1.1	เว็บไซต์ช่วยให้นักเรียนเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.50
1.2	นักเรียนมีความสนใจและกระตือรือร้นในการเรียนมากขึ้น	4.40
1.3	ระบบช่วยให้คุณครูสามารถติดตามและวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ของนักเรียนได้	4.50
1.4	การให้คะแนนคุณครูช่วยสะท้อนประสบการณ์การเรียนรู้ของนักเรียนได้ดี	4.40
1.5	เว็บไซต์สามารถนำไปใช้จริงในห้องเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.50
ค่าเฉลี่ยรวม		4.46

ตารางที่ 3 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจ ด้านความสวยงามและการออกแบบ

ที่	รายการประเมิน	ผลการประเมิน
		คะแนนเฉลี่ย (1-5)
1.3 ความสวยงามและการออกแบบ		
1.1	เว็บไซต์มีดีไซน์ที่ทันสมัยและดึงดูดความสนใจ	4.60
1.2	สีสันทและองค์ประกอบของเว็บไซต์มีความเหมาะสมกับเด็กระดับประถมศึกษา	4.50
1.3	ฟอนต์ ขนาดตัวอักษร และการจัดวางข้อความอ่านง่าย สบายตา	4.60
1.4	ภาพประกอบ ไอคอน และกราฟิกมีคุณภาพดีและช่วยเสริมการเรียนรู้	4.50
1.5	มีการออกแบบที่เป็นมิตรกับผู้ใช้ ทั้งคุณครูและนักเรียน	4.60
ค่าเฉลี่ยรวม		4.56

ในการดำเนินงานครั้งนี้ ได้คำนวณค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยนำผลคะแนนรวมในแต่ละหัวข้อการประเมินมารวมกัน แล้วหารด้วยจำนวนหัวข้อทั้งหมด ซึ่งผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมอยู่ที่ค่าเฉลี่ย 4.51 จัดอยู่ในระดับดีมาก แสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี ทั้งในด้านการจัดการเรียนการสอนและการให้ข้อมูลสำหรับการประเมินผลจากนักเรียนและครู ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์และปรับปรุงเว็บไซต์ในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. อภิปรายและสรุปผล

การพัฒนาเว็บไซต์สื่อการเรียนรู้รายวิชาวิทยาการคำนวณสำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษาปีที่ 3 ดำเนินไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งได้รับ

บทความวิจัย (Research Article)

ผลตอบรับในเชิงบวกจากกลุ่มเป้าหมายทั้งนักเรียนและครูผู้สอน จากผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ พบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.51 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก แสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์มีความเหมาะสมทั้งในด้านเนื้อหา ระบบการใช้งาน และการออกแบบที่เอื้อต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนในช่วงวัยดังกล่าว โดยเฉพาะในด้านความสะดวกในการใช้งาน การจัดวางเนื้อหาอย่างเป็นระบบ และฟังก์ชันการทำงานทดสอบก่อนและหลังเรียนที่เข้าใจง่ายและใช้งานได้สะดวก

การประเมินผลจากนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายหลัก พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับสูง โดยสามารถใช้งานเว็บไซต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าบางส่วนจะมีความไม่เข้าใจในช่วงเริ่มต้น แต่เมื่อได้รับคำแนะนำจากครูหรือผู้ดูแล นักเรียนก็สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม

นอกจากนี้ เว็บไซต์ยังรองรับการใช้งานบนอุปกรณ์ที่หลากหลาย เช่น คอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และสมาร์ทโฟน ซึ่งช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการเข้าถึงเนื้อหา ด้านประสิทธิภาพของระบบ เว็บไซต์สามารถรองรับการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ครูผู้สอนสามารถติดตามและวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ของนักเรียนผ่านระบบประเมินผลได้อย่างแม่นยำ ซึ่งส่งผลดีต่อการวางแผนการสอนและการพัฒนาศักยภาพของผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง ในด้านการออกแบบ พบว่าเว็บไซต์มีลักษณะการนำเสนอที่เหมาะสมกับนักเรียนระดับประถมศึกษา โดยเลือกใช้สีสันทัน ภาพประกอบ ไอคอน และกราฟิกที่มีความน่าสนใจ ซึ่งช่วยกระตุ้นความสนใจในการเรียนรู้ ทั้งยังส่งผลต่อทัศนคติในเชิงบวกของผู้เรียนที่มีต่อรายวิชาวิทยาการคำนวณ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น งานของศศิวรรณ สุวรรณกิตติ [1] ซึ่งใช้โมเดล ADDIE ร่วมกับ SDLC ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน พบว่าเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องในด้านแนวทางการออกแบบระบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง นอกจากนี้ งานของเชมจิรา

รัตน์ และพล เหลืองรังษี [5] ที่เน้นการจัดการเรียนรู้แบบเกม ยังสะท้อนว่าการใช้สื่อดิจิทัลที่มีลักษณะโต้ตอบสามารถส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้อย่างชัดเจน ทั้งยังตรงกับข้อเสนอแนะในการพัฒนาเว็บไซต์ในครั้งนี้ที่เน้นการเพิ่มสื่อมัลติมีเดีย เช่น วิดีโอ เกมการเรียนรู้ และกิจกรรมแบบโต้ตอบ ซึ่งได้รับการเสนอแนะจากผู้ใช้งานเพื่อพัฒนาเว็บไซต์ให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ การวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับข้อค้นพบของอภิชาติ รอดนิม [8] ซึ่งเน้นย้ำถึงความสำคัญของการเปลี่ยนผ่านสู่การจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ โดยเฉพาะในบริบทของสถานการณ์ COVID-19 ที่กระตุ้นให้เกิดการใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษาในรูปแบบใหม่อย่างแพร่หลาย ในด้านผลลัพธ์การเรียนรู้ พบว่านักเรียนมีพัฒนาการที่ดีขึ้น ทั้งในด้านความเข้าใจเนื้อหา ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และการเรียนรู้ด้วยตนเอง แสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นสามารถเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการเสริมสร้างทักษะสำคัญในศตวรรษที่ 21

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาเว็บไซต์ในระยะต่อไป ได้แก่ การเพิ่มสื่อมัลติมีเดียที่หลากหลาย การออกแบบกิจกรรมเชิงโต้ตอบเพิ่มเติม และการพัฒนาระบบการติดตามผลแบบรายบุคคล เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการเฉพาะของผู้เรียน และส่งเสริมการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณะผู้บริหารและคณาจารย์ วิทยาลัยพินทุบัณฑิตทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ ทั้งในเรื่องวิชาการ งานวิจัยและเรื่องส่วนตัว

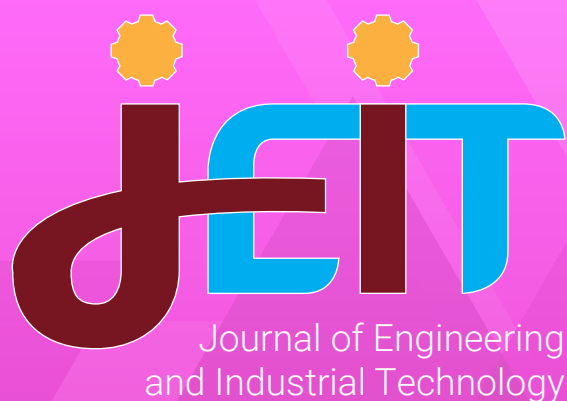
บทความวิจัย (Research Article)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศศิวรรณ สุวรรณกิตติ, "การออกแบบเว็บไซต์เพื่อการเรียนรู้ภาษาต่างประเทศ," *วารสารราชพฤกษ์*, ปีที่ 22, ฉบับที่ 3, หน้า 1–17, 2567.
- [2] นฐา ศรีนวล, รุจโรจน์ แก้วอุไร, และพิชญาภา ยวงสร้อย, "วิทยาการคำนวณกับการใช้ชีวิตของผู้เรียนในยุคดิจิทัล," *วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้และเทคโนโลยี*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 2, หน้า 1–9, 2565.
- [3] ศรารักษ์ แซ่อึ้ง, นพวรรณ ท่าแจ้ง, และนันทวัช นูนารถ, "การจัดการเรียนรู้สื่ออินโฟกราฟิกเรื่องโรคโณโมไฟเบีย วิชาวิทยาการคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6," *วารสารการบริหารการศึกษาและนวัตกรรมการศึกษา*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 35–44, 2567.
- [4] ฐิติมา จันทะศิริ, "การเรียนการสอนออนไลน์ในยุคดิจิทัล," *Journal of Modern Learning Development*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 10, หน้า 349–363, 2565.
- [5] เขมจิรา รัตน์ะ และพล เหลืองรังษี, "การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาวิทยาการคำนวณโดยวิธีการจัดการเรียนรู้แบบเกม สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2," *The Journal of Institute of Trainer Monk Development*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 4, หน้า 337–345, 2567.
- [6] เพลิน กิจระการ, เหมราช ณะปัทม์, และรัฐสาเลาหสุรโยธิน, "ผลการเรียนโดยการมอบหมายบทบาทในการเรียนแบบแก้ปัญหาด้วยสถานการณ์จำลองบนเว็บ รายวิชา 0503 893 สัมมนาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษาของนิสิตระดับบัณฑิตศึกษาที่มีความสามารถในการแก้ปัญหาและการเรียนรู้แบบนำตนเองต่างกัน," *วารสารการบริหารและนิเทศการศึกษา*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, หน้า 55–71, 2558.
- [7] นิกร กรณีกกลาง, รุ่งทิพย์ โคบาล, กิตติศักดิ์ ยิ้มช่าง, วิฑูรดา ศรี, และปารวี ขำแจ้ง, "เว็บไซต์และสื่อการเรียนรู้สำหรับภาษามือเบื้องต้น," *RMUTK Journal of Liberal Arts*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 2, หน้า 60–71, 2563.
- [8] อภิชาติ รอดนิยม, "เทคโนโลยีการศึกษากับการจัดการเรียนการสอนออนไลน์ในยุคใหม่," *Journal of Buddhist Anthropology*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 9, หน้า 123–133, 2564.
- [9] พิมพ์นารา บรรจง, อศวิน เนตรโพธิ์แก้วและกาญจนา แก้วเทพ, "นวัตกรรมการสื่อสารการเรียนรู้เรื่องความงามบนเว็บไซต์ยูทูป," *The Journal of Pacific Institute of Management Science (Humanities and Social Science)*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, หน้า 236–248, 2563.
- [10] สุ่มิล ไบ, "เว็บล็อก: สื่อการเรียนรู้ยุคดิจิทัลที่ครูไม่ควรมองข้าม," *Phranakhon Rajabhat Research Journal: Humanities and Social Sciences*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, หน้า 238–249, 2559.
- [11] D. P. Dewi, A. N. Aeni, and R. G. Nugraha, "Development of website-based learning media on the practice of Pancasila on student learning motivation," *Jurnal Cakrawala Pendas*, vol. 9, no. 2, pp. 250–261, 2023.
- [12] I. Wahyuni and T. F. Sudarma, "Design of learning media physics based on website," in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1120, no. 1, pp. 012097, 2018.

บทความวิจัย (Research Article)

- [13] A. K. R. Nasution, “YouTube as a media in English language teaching (ELT) context: Teaching procedure text,” *Utamax: Journal of Ultimate Research and Trends in Education*, vol. 1, no. 1, pp. 29–33, 2019.



วารสารวิศวกรรม และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University



กองบรรณาธิการวารสาร
"วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์"
"Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University"

คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
62/1 ถนนเกษตรสมบูรณ์ ต.กาฬสินธุ์ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ 46000
โทร: 088-574-2199 Email: jeit@ksu.ac.th