

ISSN 3056-9273 (Online)

FRONTIERS IN ENGINEERING INNOVATION RESEARCH

แนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม

Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi



ENGINEERING

Vol. 23 No. 2
JULY - DECEMBER
2025

<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt>

แนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม Frontiers in Engineering Innovation Research ปีที่ 23 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

วารสาร : แนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม ถูกจัดตั้งอยู่ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งเป็นคณะหนึ่งเริ่มต้นจากที่จัดการศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารแนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม ได้ถูกปรับปรุงเปลี่ยนแปลงชื่อ ในปี พ.ศ. 2567 จากชื่อวารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคล ธัญบุรี ที่ถูกจัดตั้งเมื่อปี พ.ศ. 2545 วารสารฯ มีจุดประสงค์ เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย และพัฒนาส่งเสริมงานวิจัยพื้นฐานด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและงานวิจัยในงานพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทย เพื่อยกระดับความรู้ทางวิชาการให้สอดคล้องกับความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่

วัตถุประสงค์และขอบเขต:

วารสารแนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม เป็นวารสารวิชาการที่ผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer-reviewed) มุ่งเน้นเผยแพร่ผลงานวิจัยคุณภาพสูงในระดับทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ เพื่อขับเคลื่อนนวัตกรรมและอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน โดยมีขอบเขตครอบคลุมเนื้อหา ดังนี้:

- **ด้านวิศวกรรมศาสตร์:** ครอบคลุมวิศวกรรมไฟฟ้า, เครื่องกล, เคมี, เกษตร, โยธาและสิ่งแวดล้อม, อุตสาหการ, คอมพิวเตอร์, พลังงาน, วัสดุ, เมคคาทรอนิกส์, อิเล็กทรอนิกส์ และนวัตกรรมที่เกี่ยวข้อง
- **ด้านวิทยาศาสตร์กายภาพและประยุกต์:** เน้นฟิสิกส์และเคมีประยุกต์, คณิตศาสตร์และสถิติวิศวกรรม รวมถึงวัสดุศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี
- **ด้านงานสหสาขาและนวัตกรรม:** มุ่งเน้นงานวิจัยบูรณาการที่สามารถต่อยอดเชิงพาณิชย์ หรือการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมจริง

วารสารพร้อมเป็นเวทีกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ระหว่างนักวิจัย นักวิชาการ และผู้เชี่ยวชาญ ทั้งในระดับชาติและนานาชาติ เพื่อสร้างมาตรฐานทางวิชาการที่น่าเชื่อถือและก้าวทันต่อความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี

กระบวนการพิจารณาและรูปแบบบทความ:

บทความที่ส่งเข้ารับการพิจารณาจะผ่านกระบวนการประเมินคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิมีความเชี่ยวชาญอย่างน้อย 3 ท่าน ในรูปแบบ Double-Blinded Peer Review (ไม่เปิดเผยชื่อผู้เขียนและผู้ประเมิน) เพื่อรักษามาตรฐานทางวิชาการระดับสากล โดยวารสารเปิดรับบทความทั้ง ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ที่มีความยาวระหว่าง 8 - 12 หน้า การอ้างอิงตามรูปแบบของแวนคูเวอร์ เพื่อการนำเสนอเนื้อหาที่สมบูรณ์และทรงคุณค่าสูงสุด

ค่าธรรมเนียม:

ไม่มีการเก็บค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์ในทุกขั้นตอน

เจ้าของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ที่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

เว็บไซต์: www.engineering.rmutt.ac.th and <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt>

E-mail: enjournal@en.rmutt.ac.th

บทบรรณาธิการ

ในโอกาสที่วารสารแนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม ปีที่ 23 ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2568) นี้ คณะบรรณาธิการ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ขอโน้มรำลึกถึง และถวายความอาลัยอย่างสุดซึ้งต่อการเสด็จสวรรคตของ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ พระบรมราชชนนีพันปีหลวง พระองค์ทรงเป็นแบบอย่างแห่งการอุทิศตนเพื่อการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน โครงการตามพระราชดำริมากมายที่ทรงริเริ่มให้การสนับสนุนล้วนเกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและวิทยาการ เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยเฉพาะในชนบทไม่ว่าจะเป็นการส่งเสริมงานหัตถกรรม การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งทั้งหมดนี้คือรากฐานสำคัญที่สอดคล้องกับหลักการของวารสารแนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรมที่มุ่งเน้นการคิดค้นนวัตกรรมการแก้ไขปัญหาเชิงปฏิบัติ การทรงงานของพระองค์เป็นแรงบันดาลใจอันยิ่งใหญ่ให้คณาจารย์ และนักวิจัยตระหนักถึงความสำคัญของการนำความรู้ทางวิศวกรรมไปสร้างสรรค์ประโยชน์แก่สังคม และพัฒนาประเทศให้ก้าวหน้าอย่างมั่นคงต่อไป

คณะบรรณาธิการขอขอบคุณ คณาจารย์ นักวิจัย และผู้ส่งบทความทุกท่าน ที่ได้ให้ความไว้วางใจ และส่งผลงานที่มีคุณภาพมาร่วมตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้อย่างสม่ำเสมอ บทความวิจัยที่ได้รับการคัดเลือกในฉบับนี้ครอบคลุมความก้าวหน้าทางวิศวกรรมในหลายสาขา ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความมุ่งมั่นในการสร้างสรรค์องค์ความรู้ใหม่เพื่อตอบโจทย์ความท้าทายในยุคปัจจุบัน การเผยแพร่งานวิจัยเหล่านี้ถือเป็นกลไกสำคัญในการถ่ายทอดความรู้ และเทคโนโลยีไปสู่การปฏิบัติจริง เพื่อสานต่อเจตนารมณ์แห่งการพัฒนาที่ยั่งยืนของชาติ เพื่อถวายพระเกียรติ และน้อมสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณอันหาที่สุดมิได้ของสมเด็จพระบรมราชชนนีพันปีหลวง วารสารแนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์จะยังคงมุ่งมั่นผลิตผลงานวิจัยนวัตกรรมที่จะเป็นประโยชน์ต่อสังคมไทย และโลกสืบไป

กองบรรณาธิการ

คณะกรรมการจัดทำวารสาร แนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการ

ศ. ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ. ดร.ประยูทธ อัครเอกผาลิน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศ. ดร.อลงกลด แทนอมทอง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ. ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ. ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ. ดร.สมเจตน์ พัทธพันธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ. ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
ศ. ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ. ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ. ดร.ศิริชัย ต่อสกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ. ดร.ศิริชัย แดงเอม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ. ดร.ณฐภัทร พันธุ์คง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ผศ. ดร.ปรกช สิริสุวัฒน์

เลขานุการ

นางสาวอมรรัตน์ ยิ้มอยู่

Editorial Board Members

Consultant Board Members

President of Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Vice President of Academic Affairs

Dean of the Faculty of Engineering

Editorial Board

Prof. Dr. Pichet Limsuwan	Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi
Prof. Dr. Prayoot Akkaraekthalin	Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Prof. Dr. Alongklod Tanomtong	Faculty of Science, Khon Kaen University
Prof. Dr. Prachyanun Nilsook	Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Assoc. Prof. Dr. Pathomthat Chiradeja	Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University
Assoc. Prof. Dr. Somjate Patcharaphan	Faculty of Engineering, Kasetsart University
Asst. Prof. Dr. Ankana Punlor	College of Engineering, Rangsit University
Prof. Dr. Krischonme Bhumkittipich	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Sumonman Niamlang	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Sirichai Torsakul	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Sirichai Dangeam	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Nathabhat Phankong	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Editor in Chief

Asst. Prof. Dr. Porakoch Sirisuwan

Secretary

Miss Amonrat Yimyoo

สารบัญ

การศึกษาความเป็นไปได้ของวัสดุผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วกับผงเปลือกมะม่วง	1
The feasibility study of used high density polyethylene-mango peel powder composite material	
โดย : อรรถพล สิมประดิษฐ์พันธุ์ กวิตา ฉัตรตระกูล อโนทัย ผลสุวรรณ วิเชียร ไชยลาด และ ณรงค์ชัย โอเจริญ	
ระบบปรับสมดุลเฟสอัจฉริยะเพื่อการจัดการพลังงานอาคารเรียน: เปรียบเทียบการใช้ปัญญาประดิษฐ์ การย้ายฟีดเดอร์อัตโนมัติ และการแปลงพลังงานจากแบตเตอรี่	10
Intelligent phase balancing system for campus energy management: A comparative study of AI, automatic feeder shifting, and battery energy conversion	
โดย : สันติ การีสันต์ และ สิริศักดิ์ ไร่จระเยะ	

การศึกษาความเป็นไปได้ของวัสดุผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว กับผงเปลือกมะม่วง

อรรถพล สิมประดิษฐ์พันธุ์^{1*} กวิตา นัทรตระกูล¹ โอนทัย ผลสุวรรณ¹ วิเชียร ไชยลาด¹ และ ณรงค์ชัย โอเจริญ¹
athapon.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, kawita.c@en.rmutt.ac.th¹, anothai.p@en.rmutt.ac.th¹,
wichain_c@rmutt.ac.th¹, narongchai.o@en.rmutt.ac.th¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received: February 26, 2025 Revised: July 29, 2025 Accepted: August 4, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาสมบัติเชิงกลบางประการ ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความต้านทานต่อแรงดึง และความแข็งแรงของวัสดุผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วง ซึ่งได้รับการผสมด้วยกระบวนการแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นสี่เหลี่ยมด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงแบบบร็อคเวลล์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของผงเปลือกมะม่วงเพิ่มขึ้น โดยวัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 50 pph (Parts Per Hundred) มีค่าความแข็งแรงสูงสุดอยู่ที่ 68.29 อาจเนื่องมาจากการเข้าไปแทรกกระจายตัวใน HDPE ของผงเปลือกมะม่วงทำให้วัสดุผสมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด และค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของผงเปลือกมะม่วงเพิ่มขึ้น โดยวัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 10 pph มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอดและค่าความต้านทานต่อแรงดึงอยู่ที่ 0.08 J/mm และ 25.47 MPa ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่สูงเกินไป เช่น ที่อัตราส่วน 30, 40 และ 50 pph การยึดเกาะระหว่าง HDPE กับผงเปลือกมะม่วงอาจทำได้ไม่ดี รวมไปถึงการที่อนุภาคของผงเปลือกมะม่วงเข้าไปแทรกตัวใน HDPE มากเกินไปอาจทำให้มีการจับตัวเป็นกลุ่ม ส่งผลให้สมบัติด้านความเหนียวลดลงและความแข็งแรงเปราะ ดังนั้นวัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 10 pph มีความเหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติด้านแรงดึงที่ดี ในขณะที่วัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 50 pph มีความเหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความโดดเด่นในสมบัติด้านความแข็งแรง

คำสำคัญ: พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว ผงเปลือกมะม่วง วัสดุผสม สมบัติเชิงกล

The feasibility study of used high density polyethylene-mango peel powder composite material

Athapon Simpraditpan^{1*}, Kawita Chattrakul¹, Anothai Polsuwan¹, Wichain Chailad¹
and Narongchai O-Charoen¹
athapon.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, kawita.c@en.rmutt.ac.th¹, anothai.p@en.rmutt.ac.th¹,
wichain_c@rmutt.ac.th¹, narongchai.o@en.rmutt.ac.th¹

¹Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received: February 26, 2025 Revised: July 29, 2025 Accepted: August 4, 2025

Abstract

This study focuses on the investigation of the selected mechanical properties including izod impact strength, tensile strength, and hardness of composite materials made from the used high-density polyethylene (UHDPE) reinforced with mango peel (MP) powder. The UHDPE/MP composites were prepared using a two-roll mill process, followed by compression molding to form the rectangular sheet specimens. Experimental results revealed that the hardness of HDPE was increased with higher mango peel powder content. The UHDPE/MP composite with 50 pph of MP powder exhibited the highest hardness value of 68.29, likely due to the dispersed mango peel particles enhancing the rigidity of the HDPE matrix. Conversely, both Izod impact strength and tensile strength decreased as the mango peel powder content increased. The UHDPE/MP composite containing 10 pph of mango peel powder showed an Izod impact strength of 0.08 J/mm and a tensile strength of 25.47 MPa. This reduction in toughness and strength at higher filler loadings (30, 40, and 50 pph) may be attributed to poor interfacial adhesion between HDPE and the MP powder, and excessive filler agglomeration, which could compromise the structural integrity and increase brittleness of the UHDPE/MP composites. Therefore, the UHDPE/MP composite containing 10 pph of MP powder is considered most suitable for applications requiring good tensile properties, whereas the composite with 50 pph is more appropriate for products that demand enhanced hardness.

Keywords: Used high density polyethylene, Mango peel powder, Composite, Mechanical properties

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำพลาสติกมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์และใช้งานกันในหลายรูปแบบ เพราะว่าพลาสติกเป็นวัสดุที่น้ำหนักเบา มีความแข็งแรง ขึ้นรูปง่าย และราคาถูก นอกจากนี้การที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกสามารถนำไปใช้งานได้ในระยะเวลายาวนาน จึงต้องมีสมบัติที่ดีในด้านต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางเคมี เป็นต้น ซึ่งการพัฒนาปรับปรุงสมบัติในด้านต่างๆ อาจทำได้ตั้งแต่กระบวนการสังเคราะห์ การใส่สารใช้แต่ง ตลอดจนการนำพลาสติกหลายชนิดมาผสมกัน [1]

ซึ่งจากการที่พลาสติกมีความนิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย [2] จึงส่งผลทำให้หลังจากการใช้งานของผลิตภัณฑ์พลาสติกแล้วพลาสติกดังกล่าวก็จะกลายเป็นสิ่งที่เหลือใช้และกลายเป็นขยะถูกทิ้งอย่างไร้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ซึ่งถ้าขยะพลาสติกดังกล่าวถูกกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีก็อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับพลาสติกที่ใช้งานแล้วก็คือ การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ เช่น การนำมาขึ้นรูปซ้ำอีกครั้งเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และนำไปใช้งานอีกครั้ง รวมไปถึงการนำมาใช้เป็นส่วเชื่อมประสาน (Matrix) สำหรับวัสดุผสม [3] โดยทำหน้าที่เป็นส่วนที่คอยรับแรงที่มากระทำและส่งผ่านแรงที่มากระทำไปยังส่วนเสริมแรง (Reinforcement) ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีการนำส่วนต่างๆ ของพืชหรือวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร เช่น กากกาแฟ ขุยมะพร้าว ใบสับปะรด ชี้อ้อย และขานอ้อยมาขึ้นรูปโดยใช้พลาสติกเป็นส่วนเชื่อมประสาน [2,3,4,5] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการนำผงเปลือกมะม่วงมาขึ้นรูปเป็นแผ่นอัดโดยใช้พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ที่ใช้งานแล้วเป็นส่วนเชื่อมประสาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลบางประการ ได้แก่ ความแข็งแรง ความต้านทานต่อแรงกระแทก และความต้านทานต่อแรงดึง ซึ่งมีเป้าหมายในการนำเปลือกมะม่วงซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากพืชและ HDPE ที่ใช้งานแล้วซึ่งเป็นขยะพลาสติกมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่เหลือใช้ รวมไปถึงลดการใช้งานพลาสติกโดยใช้วัสดุจากพืชที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาประยุกต์ใช้ทดแทน

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปวัสดุผสมคือขวด HDPE ที่ใช้งานแล้วและผงเปลือกมะม่วงพันธุ์แก้วมื่น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 ขวดพลาสติก HDPE ที่ใช้งานแล้ว



รูปที่ 2 ผงเปลือกมะม่วงพันธุ์แก้วมื่น

2.2 กระบวนการขึ้นรูปวัสดุผสม

นำขวด HDPE ที่ใช้งานแล้วไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติก และนำผง HDPE ที่ผ่านการบดแล้วไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C ในส่วนของผงเปลือกมะม่วงนำไปกำจัดความชื้นโดยการอบที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดและทำการคัดขนาดให้ได้ขนาดไม่เกิน 300 µm จากนั้นนำผง HDPE ที่ใช้งานแล้วและผงเปลือกมะม่วงที่บดแล้วมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 pph ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยใช้กระบวนการแบบสองลูกกลิ้ง โดยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งที่ใช้เป็นของยี่ห้อ Lab Tech อุณหภูมิในการผสมอยู่ที่ 190 °C ในการผสมจะนำผง HDPE เทลงไป

บนลูกกลิ้งเพื่อบดให้ نرم ก่อนเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นค่อยๆ เทผงเปลือกมะม่วงลงไป ทำการผสมกันเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำวัสดุผสมที่ได้ไปขึ้นรูปชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) ที่อุณหภูมิ 190 °C นำชิ้นงานที่ได้ไปทำเป็นชิ้นงานทดสอบเพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลบางประการ ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength, ASTM D 638) ความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact Strength, ASTM D 256) และความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness, ASTM D 785) นอกจากนี้ยังได้มีการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 250 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วง

อัตราส่วน (pph)	สัดส่วน	
	HDPE	ผงเปลือก มะม่วง
0	100	0
10	100	10
20	100	20
30	100	30
40	100	40
50	100	50

2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลและวิเคราะห์ สัณฐานวิทยา

2.3.1 การทดสอบความต้านทาน ต่อแรงกระแทกแบบไอซอด

การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอดมาตรฐาน ASTM D 256 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสามารถเตรียมได้โดยกระบวนการอัดขึ้นรูป จากนั้นนำมาตัดให้ได้ขนาด 3.17 x 12.7 x 64.5 mm พร้อมทั้งทำการบากเป็นรูปตัววี 45° แล้วทำการทดสอบด้วยเครื่อง Izod Impact Tester รุ่น CEAST โดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักให้ตกกระทบชิ้นงานและบันทึกค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักเพื่อนำไปคำนวณค่าความต้านต่อแรงกระแทก

2.3.2 การทดสอบความต้านทาน

ต่อแรงดึง

การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงมาตรฐาน ASTM D 638 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงสามารถเตรียมได้โดยกระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นรูปดรัมเบล Type I จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่อง UTM รุ่น Hounsfield Serial 120 รุ่น Model H50 KS บันทึกค่าการทดสอบต่างๆ ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดึง ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at Break)

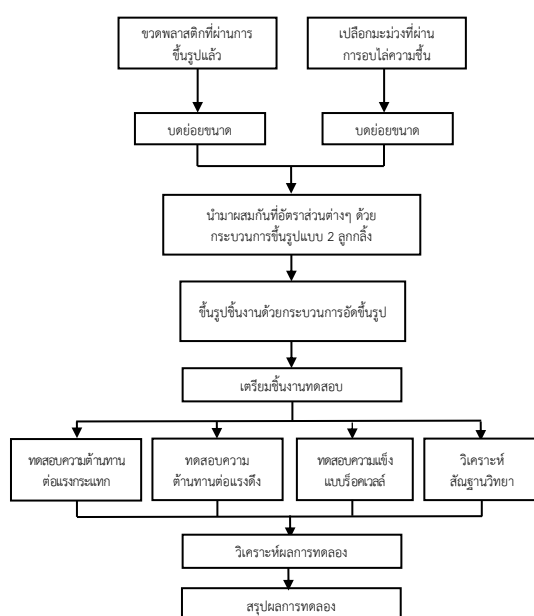
2.3.3 การทดสอบความแข็ง

แบบร็อคเวลล์

การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์มาตรฐาน ASTM D 785 โดยทำการทดสอบแบบ Scale M ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสามารถเตรียมได้โดยกระบวนการอัดขึ้นรูป มีความหนา 6 mm จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์และบันทึกค่าความแข็งที่ทดสอบได้

2.3.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยี่ห้อ JEOL เตรียมชิ้นงานเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยการนำไปวางบนแผ่นรองตัวอย่างที่ทำจากกระดาษฟอยล์และทาเคลือบกาวคาร์บอนที่ผิวขอบของชิ้นงานจนถึงแผ่นรอง จากนั้นนำไปเคลือบทองคำขาว (Platinum Sputtering) แล้วเริ่มทำการวิเคราะห์โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 kV ที่กำลังขยาย 250 เท่า

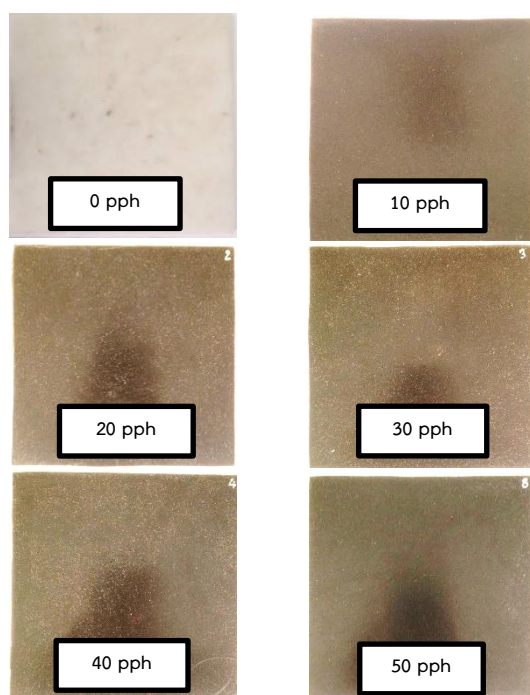


รูปที่ 3 ขั้นตอนในการทดลอง

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

3.1 ลักษณะทางกายภาพ

จากการทดลองผสมและขึ้นรูปชิ้นงานของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งทำการผสมด้วยกระบวนการผสมแบบสองลูกกลิ้งและขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบอัด โดยชิ้นงานที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 30 cm และความหนาอยู่ที่ 0.3 cm โดยชิ้นงานที่อัตราส่วนผสมที่ 0 pph มีสีขาวขุ่นซึ่งเป็นสมบัติกายภาพของ HDPE ในส่วนของชิ้นงานวัสดุผสมที่อัตราส่วน 10-50 pph มีสีน้ำตาลเนื่องจากมีผงเปลือกมะม่วงปะปนอยู่กับเนื้อพลาสติก โดยสีน้ำตาลมีความเข้มข้นเมื่ออัตราส่วนผสมของผงเปลือกมะม่วงเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะแผ่นที่อัดขึ้นรูปของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

3.2 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก

จากการทดสอบพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอดของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของผงเปลือกมะม่วงที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนที่ 10 pph มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอดสูงที่สุดอยู่ที่ 0.08 J/mm

ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 5 ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่สูงเกินไป เช่น ที่อัตราส่วน 30, 40 และ 50 pph การยึดเกาะระหว่าง HDPE กับผงเปลือกมะม่วงอาจทำได้ไม่ดี เนื่องจากมีอนุภาคของผงเปลือกมะม่วงเข้าไปแทรกตัวในเนื้อพลาสติกมากเกินไป รวมไปถึงอาจมีการจับตัวเป็นกลุ่มส่งผลทำให้วัสดุผสมมีสมบัติความเหนียวลดลงและมีความแข็งเปราะ [2] สอดคล้องกับงานวิจัยของธนกร วิรุฬมงคล และคณะ [3] การนำกากกาแฟมาผสมกับ HDPE พบว่าค่าความต้านทานแรงกระแทกต่ำลงตามปริมาณกากกาแฟที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของการใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนที่ต่ำ ซึ่งมีอัตราส่วนของ HDPE ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนรับแรงที่มากกว่าชิ้นงานมากกว่า จึงส่งผลทำให้มีการยึดเกาะของผงเปลือกมะม่วงอย่างต่อเนื่องและมีการกระจายแรงที่มากระทำกับชิ้นงานได้ดี [3,6] ดังนั้นถ้าต้องการผลิตวัสดุผสมจากผงเปลือกมะม่วงที่ไม่ใช่แล้วซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและมีส่วนช่วยลดต้นทุนจากการใช้วัตถุดิบในการผลิตที่ใช้พลาสติกเพียงอย่างเดียวที่มีความสามารถในการรับแรงกระแทกก็ควรเลือกใช้อัตราส่วนผสมที่มีผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่ต่ำ

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลบางประการของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

Ratio (pph)	IS (J/mm)	TS (MPa)	MY (MPa)	EB (mm)	HN
0	0.24 ±0.059	26.63 ±0.660	1552 ±115	8.28 ±0.509	54.67 ±1.848
10	0.08 ±0.031	25.47 ±0.597	1496 ±58	8.65 ±0.578	57.33 ±1.509
20	0.07 ±0.025	22.55 ±0.679	1495 ±166	6.60 ±0.298	61.56 ±2.920
30	0.05 ±0.025	20.55 ±0.592	1492 ±131	6.12 ±0.416	63.54 ±2.133
40	0.05 ±0.002	19.78 ±1.716	2004 ±183	4.02 ±0.358	65.45 ±2.139
50	0.05 ±0.002	19.75 ±0.575	1974 ±134	3.49 ±0.370	68.29 ±0.955

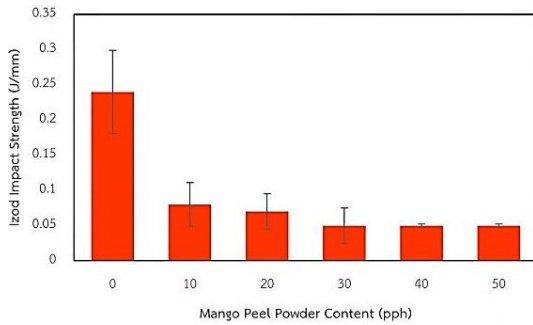
IS = Impact Strength

TS = Tensile Strength

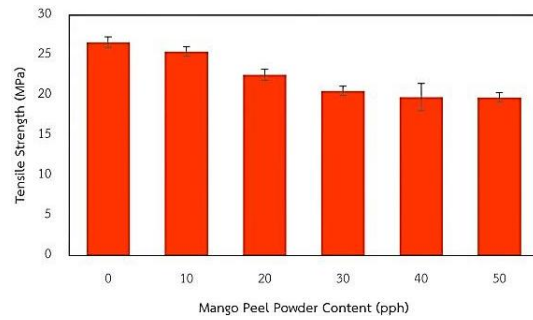
MY = Modulus of Young

EB = Elongation at Break

HN = Hardness



รูปที่ 5 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอดของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

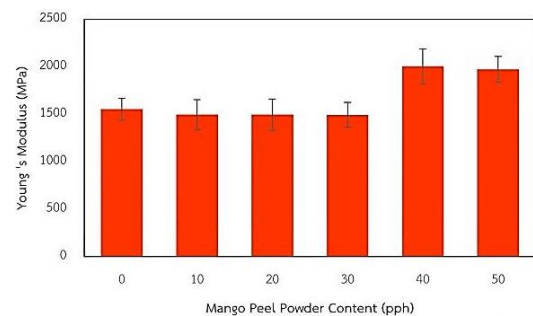


รูปที่ 6 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

3.3 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

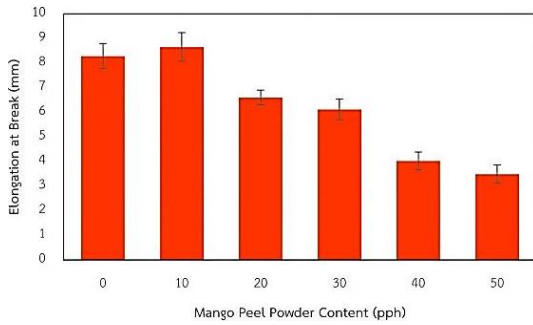
จากการทดสอบพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงแปรผกผันตามปริมาณของผงเปลือกมะม่วง โดยเมื่อใช้ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่มากขึ้นมีผลทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยที่อัตราส่วนที่ 10 pph มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุดอยู่ที่ 25.47 MPa ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างทดสอบที่ขึ้นรูปจาก HDPE ที่ใช้งานแล้วที่ไม่ได้มีส่วนผสมของผงเปลือกมะม่วง ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 6 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการยึดเกาะระหว่าง HDPE กับผงเปลือกมะม่วงทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากมีอนุภาคของผงเปลือกมะม่วงเข้าไปแทรกตัวในเนื้อพลาสติกมากเกินไป ส่งผลทำให้วัสดุผสมมีสมบัติความเหนียวลดลงและมีความแข็งแรง [2,7] นอกจากนี้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีทิศทางที่ไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยกระบวนการอัดเข้าแม่แบบและรูปร่างของผงเปลือกมะม่วงที่นำมาผสมมีลักษณะเป็นอนุภาคซึ่งไม่สามารถรับแรงดึงได้ดีเหมือนกับสารเสริมแรงที่มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวก็มีส่วนทำให้วัสดุมีความต้านทานต่อแรงดึงลดลงได้อีกทางหนึ่ง [3,8,9] ดังนั้นการที่จะนำผงเปลือกมะม่วงมาทำเป็นวัสดุผสมที่มี HDPE เป็นส่วนเชื่อมประสานมาประยุกต์ใช้ทดแทนพลาสติกสำหรับงานที่ต้องการความทนทานต่อแรงดึงก็ควรใช้อัตราส่วนที่มีผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่ต่ำ

ในส่วนของค่ามอดูลัสของยังพบว่ามีความใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วน โดยค่ามอดูลัสของยังแปรผันตามปริมาณผงเปลือกมะม่วงที่ใช้ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 7 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าผงเปลือกมะม่วงเข้าไปแทรกตัวขัดขวางอยู่ใน HDPE ที่เป็นส่วนเชื่อมประสานและการผสมผงเปลือกมะม่วงลงไปอาจทำให้เกิดการเกี่ยวพันกันแบบเชื่อมขวางระหว่างพันธะของผงเปลือกมะม่วงกับพันธะของ HDPE จึงทำให้วัสดุมีความเหนียวลดลงแต่มีความต้านทานต่อการเสียรูปเพิ่มขึ้น [2,3,10,11]



รูปที่ 7 ค่ามอดูลัสของยังของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

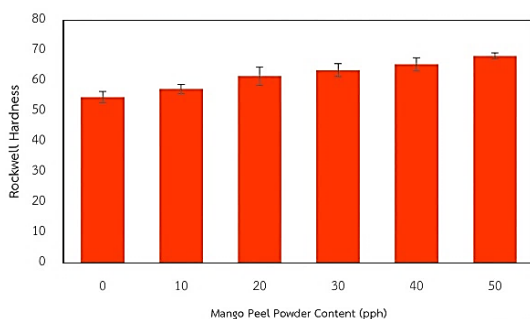
ในส่วนของการยึดตัว ณ จุดขาดพบว่ามีความโน้มถ่วงลดลงเมื่อปริมาณผงเปลือกมะม่วงเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 2 และรูปที่ 8 ทั้งนี้อาจเกิดจากการผสมผงเปลือกมะม่วงลงไปปริมาณที่มากเกินไปทำให้เกิดการเข้าไปแทรกตัวขัดขวางของผงเปลือกมะม่วงในโครงสร้างของ HDPE จึงส่งผลทำให้สายโซ่โมเลกุลของ HDPE เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น มีความเหนียวลดลง แต่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และเมื่อมีแรงดึงมากกระทำจึงทำให้มีการยึดตัวออกในปริมาณที่ต่ำ [11,12]



รูปที่ 8 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

3.4 ผลการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์

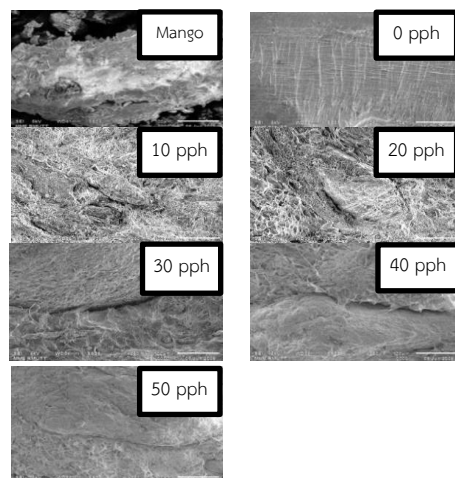
จากการทดสอบพบว่าค่าความแข็งแบบร็อคเวลล์ของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงมีค่าความแข็งแปรผันตามปริมาณของผงเปลือกมะม่วงที่เพิ่มขึ้นดังตารางที่ 2 และรูปที่ 9 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงเปลือกมะม่วงที่เป็นอนุภาคที่มีลักษณะเป็นของแข็งเกิดการเข้าไปแทรกกระจายตัวในเนื้อพลาสติก HDPE จึงทำให้วัสดุผสมดังกล่าวมีความแข็งเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วน 50 pph มีค่าความแข็งสูงที่สุดอยู่ที่ 68.29 ส่วนที่อัตราส่วน 10 pph มีค่าความแข็งต่ำที่สุดอยู่ที่ 57.33 ซึ่งผลการทดลองนี้มีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของณัฐชญาภา ธนวัฒนาศิริกุล และคณะ [10] ที่ได้ทำการศึกษานำผงไม้ปาล์มมาผสมกับ HDPE และจากการทดลองพบว่าค่าความแข็งของวัสดุผสมดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้น [12,13] ดังนั้นวัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่มี HDPE เป็นส่วนเชื่อมประสานมีความเป็นไปได้กับการนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนพลาสติกสำหรับงานที่ต้องการสมบัติที่ดีในด้านความแข็ง



รูปที่ 9 ค่าความแข็งแบบร็อคเวลล์ของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

3.5 ลักษณะสัณฐานวิทยา

จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ขึ้นรูปจาก HDPE ที่ใช้งานแล้วที่ไม่ได้มีส่วนผสมของผงเปลือกมะม่วงพบว่าชิ้นงาน HDPE ที่ไม่ได้มีส่วนผสมของผงเปลือกมะม่วงมีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบและมีสีขาวขุ่น ในขณะที่พื้นผิวของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ มีการแทรกตัวของอนุภาคผงเปลือกมะม่วงอยู่ในส่วนของ HDPE ที่เป็นส่วนเชื่อมประสานดังรูปที่ 10 โดยวัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 10 และ 20 pph มีการแทรกตัวและความหนาแน่นของการกระจายตัวของผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่ไม่มากนัก ซึ่งที่อัตราส่วนดังกล่าววัสดุผสมยังคงมีความสามารถในการกระจายแรงที่มากระทำจากส่วนของ HDPE ไปสู่ผงเปลือกมะม่วงที่เป็นส่วนเสริมแรงได้ดีกว่าที่อัตราส่วนที่มีปริมาณของผงเปลือกมะม่วงที่สูง จึงทำให้มีความต้านทานต่อแรงกระแทกและความต้านทานต่อแรงดึงที่สูงกว่าวัสดุผสมที่เติมผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่สูง ในขณะที่วัสดุผสมที่ใช้ผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วน 30, 40 และ 50 pph มีการแทรกกระจายตัวอย่างหนาแน่นของผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่มากกว่า และมีการเกาะกลุ่มกันของผงเปลือกมะม่วงในโครงสร้างของ HDPE ซึ่งการที่มีอนุภาคของผงเปลือกมะม่วงแทรกกระจายตัวอยู่ในส่วนของ HDPE ในปริมาณที่สูงและเกิดการเกาะกลุ่มกันโดยเฉพาะที่อัตราส่วน 50 pph อาจมีส่วนช่วยทำให้วัสดุผสมมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลทำให้วัสดุผสมมีความเหนียวลดลงและมีลักษณะที่เปราะ [3,14]



รูปที่ 10 ภาพถ่าย SEM ของผงเปลือกมะม่วงและวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่ใช้งานแล้วกับผงเปลือกมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าสมบัติเชิงกลบางประการได้แก่ ค่าความแข็งแรงแบบรีดเวลล์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของผงเปลือกมะม่วงเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการเข้าไปแทรกตัวในเนื้อพลาสติกของผงเปลือกมะม่วง โดยที่อัตราส่วนผสม 50 pph มีค่าสูงที่สุดอยู่ 68.29 ส่วนค่าความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอดและค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าลดลงเมื่อมีการใช้ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอดและค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่อัตราส่วนผสม 10 pph มีค่าสูงที่สุดอยู่ 0.08 J/mm และ 25.47 MPa ตามลำดับ ซึ่งการใช้ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่สูง เช่น ที่อัตราส่วน 30, 40 และ 50 pph มีการแทรกตัวของผงเปลือกมะม่วงอยู่ในส่วนของ HDPE มากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลทำให้การยึดเกาะระหว่าง HDPE กับผงเปลือกมะม่วงอาจทำได้ไม่ดี นอกจากนี้การใช้ผงเปลือกมะม่วงในปริมาณที่มากอาจก่อให้เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มส่งผลทำให้วัสดุผสมมีความเหนียวลดลง มีความแข็งเปราะ มีความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอดและความต้านทานต่อแรงดึงลดลง โดยวัสดุผสมดังกล่าวนี้มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับทดแทนผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกเพียงอย่างเดียวได้ในอนาคต เช่น ถังหูหิ้ว ถังใส่ขยะ ถังขยะ กรอบรูป แผ่นรองชั้นวางของ และถาดรอง เป็นต้น และงานวิจัยนี้ก็สามารถนำไปเป็นแนวทางหนึ่งในการนำวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรและขยะพลาสติกมาใช้ให้เกิดประโยชน์และสร้างมูลค่ารวมไปถึงเป็นการช่วยแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่ในขณะนี้ได้อีกทางหนึ่ง

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มทร.ธัญบุรี สำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2561 และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบต่างๆ งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Sornnil B. Plastic Technology. 19th ed. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan); 2003.

[2] Junsiri S, Hirunlabh J, Sathibunanan S, Supahitanukool C, Khedari J. Development of bio-composite material from polylactic acid blended with thermoplastic from sago starch and reinforced with pineapple leaf fiber. *Frontiers in Engineering Innovation Research*. 2024;22(2):71-82.

[3] Wirunmomkol T. Preparation and some mechanical properties of compression plate from recycled materials (HDPE drinking water bottle and coffee powder) [master's thesis]. Pathum Thani: Rajamangala University of Technology Thanyaburi; 2001. (in Thai)

[4] Horta J, Simões F, Mateus A. Study of wood-plastic composites with reused high density polyethylene and wood sawdust. *Procedia Manufacturing*. 2017;12:221-9.

[5] Ezzahrae MF, Nacer A, Latifa E, Abdellah Z, Mohamed I, Mustapha J. Thermal and mechanical properties of a high-density polyethylene (HDPE) composite reinforced with wood flour. *Materials Today: Proceedings*. 2023;72:3602-8.

[6] Khamthita P. Biodegradable polymer composites from polyolefin and water hyacinth. *RSU National Research Conference*; 2013 Apr 4; Rangsit University. Pathum Thani; 2013. p. 190-7.

[7] Homkhiew C, Rawangwong S, Boonchouytan W, Noochaikaw P. Effects of wooden-toy flour contents and sizes on mechanical and physical properties of polypropylene composites. *The 39th Conference of Industrial Engineering Network*; 2021 May 5-7; The Bed Vacation Rajamangala. Songkhla; 2021. p. 43-7.

[8] Kerprasit P, Weeranukul P, Weeranukul I, Suweero K, Muangprab K. Development of particleboard from northern black wattle tree bark for using as decorative materials. *Journal of Engineering, RMUTT*. 2021;19(1):125-35.

[9] Boontositrakul K, Plitsiri I, Thepjunthra W, Suweero K. Producing artificial wood from pallet wood powder mixed with high-density polyethylene from recycled water bottles.

Frontiers in Engineering Innovation Research.
2024;22(1):1-8.

[10] Thanawattanasirikul N. The strength improvement of wood plastic composites from oil palm wood [master's thesis]. Songkla: Prince of Songkla University; 2011. (in Thai)

[11] Nadali E, Layeghi M, Ebrahimi G, Naghdi R, Jonoobi M, Khorasani MM, et al. Effects of multiple extrusions on structure-property performance of natural fiber high-density polyethylene biocomposites. *Materials Research*. 2018;21(2):e20170301.

[12] Homkhiew C, Ratanawilai T, Thongruang W. Composites from recycled polypropylene and rubberwood flour: effects of composition on mechanical properties. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2015;28(2):179-94.

[13] Wirunmomkol T. Natural fiber composite for packaging applications [dissertation]. Chiang Mai: Maejo University; 2014. (in Thai)

[14] Ratanawilai T, Nakawirok K, Deachsrijan A, Homkhiew C. Influence of wood species and particle size on mechanical and thermal properties of wood polypropylene composites. *Fibers and Polymers*. 2014;15(10):2160-8.

ระบบปรับสมดุลเฟสอัจฉริยะเพื่อการจัดการพลังงานอาคารเรียน: เปรียบเทียบการใช้ ปัญญาประดิษฐ์ การย้ายฟีดเดอร์อัตโนมัติ และการแปลงพลังงานจากแบตเตอรี่

สันติ การิสันต์^{1*} และ สิทธิศักดิ์ โรจชยะ²
santi.k@rmutsv.ac.th^{1*}, sittisak.r@rmutsv.ac.th²

¹วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

²คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Received: May 26, 2025 Revised: September 23, 2025 Accepted: October 22, 2025

บทคัดย่อ

ในบริบทของประเทศไทยที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การบริหารจัดการพลังงานในภาคอาคารเรียนอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นกลยุทธ์สำคัญที่ช่วยลดต้นทุนด้านพลังงาน และส่งเสริมความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นรูปธรรม งานวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์ข้อมูลโหลดไฟฟ้าแบบเรียลไทม์จากอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เพื่อพัฒนาการจัดการด้านอุปสงค์ (Demand side management: DSM) ที่สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง การศึกษานี้ได้ออกแบบและทดสอบระบบควบคุมโหลดไฟฟ้าอัตโนมัติในสามรูปแบบ ได้แก่ 1) การย้ายโหลดระหว่างสายป้อน (Feeder-shifting) เพื่อกระจายโหลดอย่างสมดุล 2) ระบบตัวแทนอัจฉริยะ (AI-agent) ที่สามารถเรียนรู้และปรับพฤติกรรมควบคุมตามสภาพโหลดแบบพลวัต (Dynamic load) และ 3) ระบบแบตเตอรี่ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ (Battery inverter) สำหรับลดภาระโหลดเฉพาะช่วงเวลาสำคัญ ผลการทดลองเชิงปฏิบัติแสดงให้เห็นว่า ระบบ AI-agent มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดค่าโหลดไฟฟ้าสูงสุด (Peak load) ได้เฉลี่ยถึง 21.7% รองลงมาคือระบบ Battery inverter ซึ่งลดได้ 15.3% และระบบ Feeder-shifting ที่ลดได้ 12.8% ตามลำดับ โดยระบบ AI-agent ยังแสดงศักยภาพในการเรียนรู้และตอบสนองต่อโหลดที่เปลี่ยนแปลงอย่างมีประสิทธิภาพ ข้อค้นพบของงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า การผสมผสานระบบควบคุมโหลดอัจฉริยะร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานแบบเรียลไทม์ มีศักยภาพสูงในการผลักดันอาคารเรียนสู่แนวทาง อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net-zero energy building: NZEB) และสามารถประยุกต์ใช้ในอาคารประเภทอื่น ๆ ที่มีลักษณะโหลดใกล้เคียง เช่น อาคารสำนักงานหรืออาคารสาธารณะ เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระดับประเทศ

คำสำคัญ: การจัดการฝั่งอุปสงค์ โหลดไฟฟ้าสูงสุด อาคารเรียน ตัวประกอบโหลด ประสิทธิภาพพลังงาน

Intelligent phase balancing system for campus energy management: A comparative study of AI, automatic feeder shifting, and battery energy conversion

Santi Karisan^{1*} and Sittisak Rojchaya²
santi.k@rmutsv.ac.th^{1*}, sittisak.r@rmutsv.ac.th²

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

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

Received: May 26, 2025 Revised: September 23, 2025 Accepted: October 22, 2025

Abstract

In the context of Thailand's continuously increasing electricity consumption, effective energy management in educational buildings has become a crucial strategy to reduce operational costs and concretely promote environmental sustainability. This study aims to analyze real-time electrical load data from the integrated industrial technician building at Rajamangala University of Technology Srivijaya, in order to develop a demand side management (DSM) strategy that aligns with actual usage conditions. Three types of automatic load control systems were designed and tested in this study: feeder-shifting, which redistributes load to balance the system, AI-agent, an intelligent system capable of learning and adapting to dynamic load conditions, and battery inverter, which alleviates peak demand during critical periods. Experimental results revealed that the AI-agent system demonstrated the highest effectiveness in reducing the peak load, with an average reduction of 21.7%. The battery inverter and feeder-shifting systems followed with reductions of 15.3% and 12.8%, respectively. Notably, the AI-agent system showed superior learning capability and responsiveness to fluctuating load conditions compared to other techniques. The findings indicate that integrating intelligent load control systems with real-time energy analytics holds high potential in driving educational buildings toward becoming net-zero energy buildings (NZEB). Furthermore, the approach can be effectively applied to other building types with similar load characteristics, such as office buildings and public facilities, to enhance national energy efficiency.

Keywords: Demand side management (DSM), Peak load, Educational building, Load factor, Energy efficiency

1. บทนำ

ในยุคที่โลกต้องเผชิญกับความท้าทายด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างเข้มข้น การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพไม่เพียงแต่เป็นเรื่องของความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจเท่านั้น หากแต่ยังเป็นพันธกิจสำคัญในการขับเคลื่อนสังคมสู่ความยั่งยืน [1] ประเทศไทยในฐานะประเทศกำลังพัฒนาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จำเป็นต้องเร่งพัฒนาแนวทางการบริหารจัดการพลังงานเชิงรุก โดยเฉพาะในภาคอาคารเรียนซึ่งมีลักษณะการใช้พลังงานเฉพาะทั้งในเวลาและรูปแบบการใช้งาน [2] อาคารเรียนมักมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงในช่วงเวลาทำการ เช่น เวลาเรียน การประชุม และกิจกรรมเสริมหลักสูตร ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาโหลดไฟฟ้าสูงสุด (Peak load) ในบางช่วงเวลา ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงเกินจำเป็น โดยเฉพาะในระบบคิดค่าไฟฟ้าแบบ Time of use (TOU) หรือแบบ Demand charge ที่คำนวณจากค่าสูงสุดของการใช้พลังงานไฟฟ้า [3] นอกจากนี้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความสามารถในการปรับพฤติกรรมตามราคาที่เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าโดยรวม [4] ด้วยกระแสการขับเคลื่อนสู่ “อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์” (Net zero energy building: NZEB) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจ่ายไฟฟ้า [1] การปรับสมดุลโหลดระหว่างสายจ่ายในระบบสามเฟสเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาโหลดเกินและเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ [5] แนวคิดการจัดการฝั่งอุปสงค์ (Demand side management: DSM) จึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยการควบคุมและจัดการโหลดฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด [6] อย่างไรก็ตามความท้าทายอยู่ที่การเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการที่เหมาะสมกับบริบทของอาคาร ทั้งในด้านขนาดระบบไฟฟ้า พฤติกรรมการใช้งาน และศักยภาพในการลงทุน [7]

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลโหลดไฟฟ้าในอาคารเรียนผ่านระบบตรวจวัดแบบเรียลไทม์ และพัฒนาเทคนิค DSM ที่สามารถลด Peak load ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเปรียบเทียบ 3 รูปแบบระบบควบคุมโหลดไฟฟ้าอัตโนมัติ ได้แก่ เทคนิค Feeder shifting ที่ใช้การปรับสมดุลโหลดระหว่างสายจ่ายไฟฟ้าตามแนวทางที่ได้รับการพิสูจน์แล้ว [5] ระบบ AI-agent ที่เรียนรู้พฤติกรรมการใช้พลังงานและตัดสินใจควบคุมแบบอัตโนมัติ [8] และระบบ Battery inverter ที่จัดการการจ่ายพลังงานจากระบบกักเก็บเพื่อลดโหลดสูงสุด [7] ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้คาดว่าจะนำไปสู่การ

สร้างแบบจำลองการจัดการพลังงานที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ในการเรียนและอาคารสาธารณะอื่น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นก้าวสำคัญในการยกระดับอาคารเรียนให้สอดคล้องกับแนวโน้มการปฏิรูปด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม [1]

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาแนวทางใหม่เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าภายในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม มทร.ศรีวิชัย โดยมีเป้าหมายหลักในการแก้ไขปัญหาโหลดไม่สมดุล (Imbalance load) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความเสถียรและประสิทธิภาพของระบบจ่ายไฟฟ้าในอาคารเรียน

2.1 การเก็บข้อมูลและติดตั้งระบบตรวจวัดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและสอดคล้องกับการใช้งานจริง ระบบตรวจวัดและเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-time monitoring system) ได้ถูกติดตั้งบริเวณสายเมนหลักในตู้ Main distribution board (MDB) ซึ่งเป็นศูนย์กลางการจ่ายไฟหลักของอาคาร โดยระบบนี้ประกอบด้วยเซนเซอร์ IoT ที่สามารถวัดและบันทึกข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง ประกอบด้วย ค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า อุณหภูมิของสายเมนหลัก ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งผ่านเครือข่าย IoT และแสดงผลบนแพลตฟอร์มคลาวด์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงลึกและติดตามแนวโน้มการใช้งานอย่างใกล้ชิด ตลอดช่วงระยะเวลาธันวาคม 2567 ถึง กุมภาพันธ์ 2568 ซึ่งครอบคลุมทั้งช่วงเปิดภาคเรียนและกิจกรรมอื่น ๆ ภายในอาคารเรียน

2.2 ระบบควบคุมโหลดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ แนวคิดใหม่เพื่อสมดุลที่ยั่งยืน งานวิจัยนี้เสนอการเปรียบเทียบระบบควบคุมโหลดอัจฉริยะ 3 รูปแบบ โดยออกแบบและจำลองในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อหาความเหมาะสมสูงสุดต่อการใช้งานในอาคารเรียน

2.2.1 Static switch transfer system (SSTS) เป็นระบบสวิตช์แรงดันต่ำความเร็วสูงที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ Static transfer switch (STS) ซึ่งใช้เซมิคอนดักเตอร์ประเภท SCR หรือ IGBT ในการควบคุมการสลับโหลดระหว่างเฟสแบบฉับพลัน (instantaneous switching) โดยสามารถโอนโหลดจากเฟสที่มีภาระสูงไปยังเฟสที่มีภาระต่ำกว่าได้ภายในเวลาไม่เกิน 4ms (< 4ms) ระบบนี้ไม่มีหน่วยเก็บพลังงาน จึงไม่สามารถลดค่า Peak load ได้โดยตรง อย่างไรก็ตามสามารถช่วยรักษาสสมดุลของโหลดระหว่างเฟสและลดความร้อนที่เกิดขึ้นในสายเมน

ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ SSTS ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบไฟฟ้าแรงต่ำแบบสามเฟส ซึ่งมีการแยกโหลดในแต่ละเฟสอย่างชัดเจน โดยติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ในแต่ละเฟส เพื่อนำข้อมูลมาใช้วิเคราะห์ภาวะโหลดไม่สมดุล (Load imbalance) ระบบจะทำงานเฉพาะในช่วงเวลาที่ตรวจพบความไม่สมดุลของโหลดเกิน 10% โดยอาศัยการควบคุมแบบ rule-based ซึ่งไม่ได้ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ข้อดี ต้นทุนต่ำ ตอบสนองรวดเร็ว และติดตั้งง่าย ข้อจำกัด ไม่สามารถลดค่า Peak load ได้ในระยะยาว และไม่มีความสามารถในการเรียนรู้หรือปรับตัว

2.2.2 AI-agent control system เป็นกระบวนการทำงานโดยการใช้ Artificial neural network (ANN) เป็นแกนกลาง โดยออกแบบเป็นระบบ Supervised learning อินพุตที่ใช้สอนระบบมี 5 ตัวแปรหลัก ได้แก่ ค่าโหลดรายนาที่ในแต่ละเฟส (A, B, C), ค่าอุณหภูมิสายเมนหลัก, เวลา (Time slot), วันในสัปดาห์ (Weekday/weekend) และสถานะโหลดกลุ่มอุปกรณ์หลัก (ON/OFF) ความแม่นยำของโมเดล ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ประมาณ 93.2%, Mean absolute error (MAE) เฉลี่ย $\pm 1.7A$ และ R^2 score (การพยากรณ์โหลดล่วงหน้า) 0.89 การทำงานของ AI-agent เรียนรู้พฤติกรรมโหลดในแต่ละช่วงเวลา (Time-series pattern) ตัดสินใจ ลด, เลื่อน หรือปิดโหลดเฉพาะกลุ่มแบบอัตโนมัติตอบสนองตามสถานการณ์จริง เช่น วันธรรมดา กับ วันหยุด, กลางวันกับกลางคืน ข้อดี ยืดหยุ่นปรับตัวได้แม่นยำ ลดพีคโหลดได้มาก ข้อจำกัด ซับซ้อนด้านการออกแบบต้องมีระบบฝึกและปรับปรุงสม่ำเสมอ

2.2.3 Phase-targeted battery inverter system ระบบแบตเตอรี่และอินเวอร์เตอร์เจาะจงเฟส สามารถส่งพลังงานไปยังเฟสที่มีภาระสูงโดยตรง รองรับโหลดสูงสุด (Peak load) และเก็บพลังงานช่วงโหลดต่ำได้ มีประสิทธิภาพสูงสุดในทุกมิติ แต่ต้องลงทุนเริ่มต้นสูง

2.3 แนวทางการประเมินและเปรียบเทียบระบบทั้ง 3 รูปแบบ

2.3.1 ประสิทธิภาพในการลดโหลดสูงสุดและความสมดุลของเฟส ในการบริหารจัดการโหลดของระบบไฟฟ้า แนวทางหนึ่งที่มีการนำมาใช้คือการเลือกใช้เทคโนโลยีหรือระบบที่สามารถลดโหลดสูงสุด (peak shaving) และปรับสมดุลของเฟส (phase balancing) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แนวทางหลัก ได้แก่ Static switch transfer

system (SSTS) มีคุณสมบัติโดดเด่นด้านความเร็วในการสลับโหลดและปรับสมดุลเฟส โดยเฉพาะในช่วงที่เกิดความไม่สมดุลเฉียบพลัน อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของระบบนี้คือมีความสามารถในการลดโหลดสูงสุดที่จำกัด เนื่องจากเน้นการทำงานแบบตอบสนองรวดเร็วมากกว่าการจัดการเชิงลึก AI-based control agent (AI-agent) ใช้หลักการเรียนรู้และวิเคราะห์พฤติกรรมของโหลดในระยะยาว ทำให้สามารถพัฒนาแนวโน้มการควบคุมที่เหมาะสมยิ่งขึ้นตามข้อมูลสะสม ส่งผลให้ระบบสามารถลดโหลดสูงสุดและปรับพฤติกรรมการใช้พลังงานให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ Battery energy storage system with Inverter (Battery inverter) ทำงานบนหลักการเก็บพลังงานในช่วงโหลดต่ำ และปล่อยพลังงานในช่วงโหลดสูง (load leveling) จึงมีประสิทธิภาพสูงในการลดโหลดสูงสุด (Peak load) ปรับความสมดุลของระบบ และช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ไฟฟ้า

2.3.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการเลือกใช้งานระบบที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน จำเป็นต้องพิจารณาทั้งมิติของประสิทธิผลทางเทคนิคและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (Initial capital cost) และระยะเวลาคืนทุน (Payback period) คือระยะเวลาที่สามารถชดเชยเงินลงทุนเริ่มต้นจากผลประโยชน์ค่าไฟฟ้าต่อปี ซึ่งคำนวณจากการเปรียบเทียบ เงินลงทุนรวมของระบบควบคุมโหลดกับมูลค่าการลดค่าไฟฟ้ารายปี ที่ได้จากการลดค่าโหลดไฟฟ้าสูงสุด (Peak load) คำนวณได้ตามสมการ

$$PP = \frac{C_{initial}}{S_{annual}} \quad (1)$$

โดยที่ $C_{initial}$ = ค่าใช้จ่ายลงทุนเริ่มต้นของระบบ (บาท) และ S_{annual} = มูลค่าการประหยัดพลังงานต่อปี (บาท/ปี)

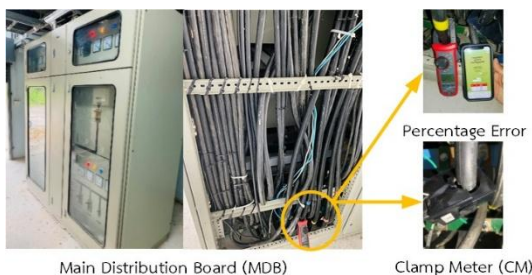
2.3.3 ประสิทธิภาพด้านพลังงาน ในระยะยาว การประเมินแนวโน้มการประหยัดพลังงานในระยะยาวสามารถดำเนินการผ่านการจำลอง (simulation) และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพฤติกรรมของโหลด โดยพบว่าระบบ Battery inverter มีคุณสมบัติเด่นในการชดเชยช่วงโหลดสูงสุด (Peak load) ทำให้ลดการใช้พลังงานโดยรวมได้มาก ระบบ AI-agent มีแนวโน้มปรับปรุงประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสามารถ

เรียนรู้จากข้อมูลในอดีตและสภาพการใช้งานที่เปลี่ยนแปลง ระบบ SSTS มีความเสถียรในการประหยัดพลังงาน แต่ขาดความสามารถในการพัฒนาประสิทธิภาพต่อเนื่อง

2.3.4 แนวทางการบูรณาการระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ จากหลักการทางวิศวกรรมระบบไฟฟ้า การบูรณาการระบบ (System integration) ที่มีจุดแข็งต่างกันสามารถสร้างผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้ระบบใดระบบหนึ่งเพียงลำพัง แนวทางการบูรณาการที่มีประสิทธิภาพควรประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญดังนี้ ใช้ระบบ SSTS เป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการปรับสมดุลโหลดแบบทันที (instant load balancing) เสริมด้วย AI-agent เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานอย่างชาญฉลาด เรียนรู้พฤติกรรมโหลด และปรับกลยุทธ์การใช้พลังงานให้เหมาะสมในระยะยาว ติดตั้ง Battery inverter ขนาดเหมาะสม เพื่อรองรับโหลดในช่วงสูงสุด โดยเฉพาะช่วงเวลาที่ความต้องการพลังงานสูง หรือระบบมีความไม่แน่นอน

3. ผลการวิจัย

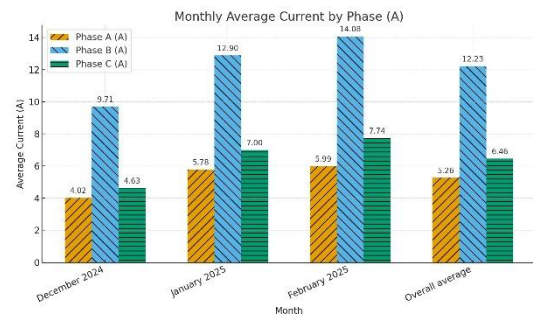
3.1 การวิเคราะห์โหลดเฟสไม่สมดุลของอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม มทร.ศรีวิชัย โดยการนำข้อมูลที่ได้จากระบบตรวจวัดและเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-time monitoring system) ซึ่งติดตั้งที่สายเมนหลักในตู้ Main Distribution Board (MDB) ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอาคารเรียนระหว่างเดือนธันวาคม 2567 ถึงกุมภาพันธ์ 2568 โดยข้อมูลที่เก็บได้ประกอบด้วย ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าอุณหภูมิที่สายเมนหลักในแต่ละเฟส ข้อมูลที่บันทึกผ่านระบบ IoT แบบเรียลไทม์นี้มีความแม่นยำสูง เมื่อทำการเปรียบเทียบความแม่นยำกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า Clip AM ซึ่งจะช่วยในการประเมินสภาพของระบบไฟฟ้าและตรวจสอบความสมดุลของโหลดที่จ่ายไฟในแต่ละเฟสได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 ระบบตรวจวัดและเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์และทดสอบความแม่นยำของระบบ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้ารายเดือนแยกตามเฟส

Month	Phase A (A)	Phase B (A)	Phase C (A)
December 2024	4.02	9.71	4.63
January 2025	5.78	12.90	7.00
February 2025	5.99	14.08	7.74
Overall average	5.26	12.23	6.46



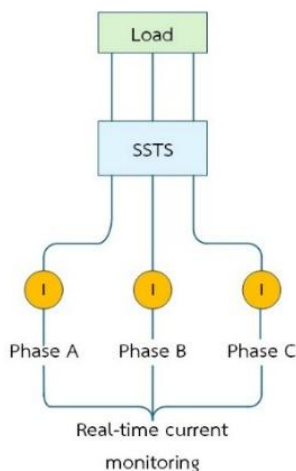
รูปที่ 2 การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้ารายเดือนของเฟส A, B และ C (ธันวาคม 2567 – กุมภาพันธ์ 2568)

จากกราฟที่ 2 พบว่า เฟส B มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงที่สุดในทุกเดือน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.33A โดยเริ่มจาก 10.61A ในเดือนธันวาคม เพิ่มขึ้นเป็น 12.52A ในเดือนมกราคม และ 14.17A ในเดือนกุมภาพันธ์ 2568 เฟส C มีค่ากระแสรองลงมา โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน จาก 4.87A, 6.46A และ 7.31A ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.17A ขณะที่เฟส A มีค่ากระแสต่ำที่สุด โดยเริ่มจาก 4.20A ในเดือนธันวาคม 2567 เพิ่มขึ้นเป็น 5.29A และ 5.73A ในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ 2568 ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 5.05A ทั้งนี้ ค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสยังอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงปิดภาคเรียน จึงมีการใช้งานพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าปกติ

3.2 การประเมินประสิทธิภาพของแนวทางการควบคุมโหลด 3 ระบบ

3.2.1 ระบบ Static switch transfer system (SSTS) ในระบบไฟฟ้าสามเฟส มักเกิดโหลดไม่สมดุล ทำให้กระแสแต่ละเฟสแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดความร้อนและความสูญเสียในระบบ มากขึ้น ระบบ Static switch transfer system (SSTS) ถูกพัฒนาเพื่อแก้ปัญหานี้ โดยใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการสลับโหลดระหว่างเฟสแบบเรียลไทม์ ทำให้กระแสในแต่ละเฟสใกล้เคียงกันมากขึ้น คุณสมบัติของ SSTS ตรวจจับและสลับโหลดอัตโนมัติในเวลาไม่กี่ ms

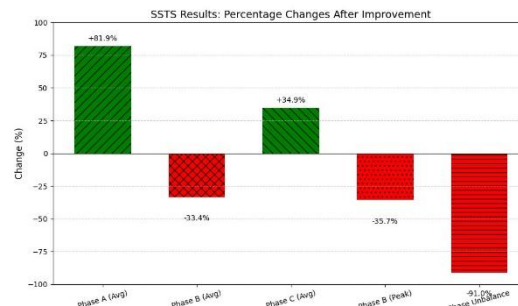
ลดความต่างของกระแสระหว่างเฟสได้ประมาณ 20-50% ลดความสูญเสียและยืดอายุอุปกรณ์ SSTS เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการคุณภาพไฟฟ้าสูงและลดความร้อนสะสมในเฟสที่โหลดหนักเกินไป ดังรูปไดอะแกรม



รูปที่ 3 การเฝ้าติดตามกระแสไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ของโหลดสามเฟสผ่าน SSTS

ตารางที่ 2 ตารางการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าและความไม่สมดุลของเฟส

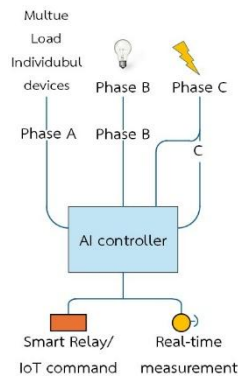
Parameter	Before improvement	After improvement	Change (%)
Average current Phase A	5.02A	9.13A	+81.9
Average current Phase B	12.22A	8.14A	-33.4
Average current Phase C	6.28A	8.47A	+34.9
Peak current Phase B	23.77A	15.3A	-35.7
Phase imbalance	143%	13%	-91.0



รูปที่ 4 ผลลัพธ์ SSTS การเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์หลังการปรับปรุง

จากกราฟรูปที่ 4 พบว่า ด้านบวก เฟส A เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ +81.9% ซึ่งแสดงถึงการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เฟส C แสดงการเพิ่มขึ้นที่ +34.9% สะท้อนให้เห็นถึงผลลัพธ์เชิงบวกในระดับปานกลาง ด้านลบ เฟส B แสดงการลดลง -33.4% ซึ่งควรได้รับการวิเคราะห์เพิ่มเติม เฟส D (Peak) ลดลง -35.7% บ่งชี้ถึงความท้าทายในการควบคุมค่าสูงสุด เฟส Imbalance ลดลงอย่างรุนแรงถึง -91.0% แสดงถึงความไม่สมดุลในระบบที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก นัยสำคัญสำหรับงานวิจัยนี้คือการพบความไม่สอดคล้องกันระหว่างผลลัพธ์ในแต่ละเฟส บ่งชี้ถึงความซับซ้อนของระบบ ซึ่งมาตรการปรับปรุงอาจส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์แต่ละตัวแตกต่างกันการลดลงอย่างมากของ Phase imbalance โดยเฉพาะควรได้รับการตรวจสอบเพิ่มเติมเพื่อระบุสาเหตุและพัฒนาแนวทางการแก้ไข งานวิจัยควรมุ่งเน้นหาวิธีการหรือรูปแบบใหม่ ๆ ในการปรับปรุงสมดุลระหว่างการเพิ่มประสิทธิภาพในเฟส A และ C ขณะที่แก้ไขปัญหาในเฟสอื่น ๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สมดุลและยั่งยืนมากขึ้น

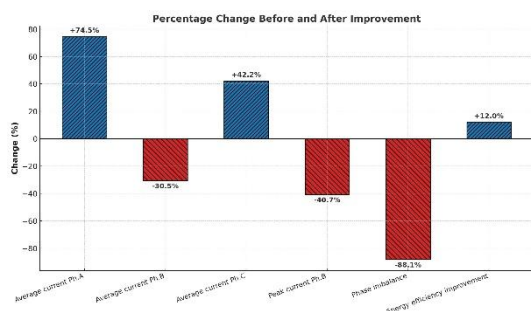
3.2.2 ระบบ AI-agent control system วิเคราะห์ผลลัพธ์จากการจำลอง (Simulation) ประสิทธิภาพในการคาดการณ์และจัดสมดุลโหลดอัตโนมัติ ขั้นตอนการทำงาน การเก็บข้อมูลและฝึกสอน AI เก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิดสร้างโมเดล Neural network เพื่อเรียนรู้แนวโน้มการใช้ไฟฟ้า ฝึกสอน AI ให้ตัดสินใจปรับเฟสโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อระบบการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม ติดตั้ง Smart relay/Contactor ที่สามารถสั่งงานได้ผ่าน IoT เชื่อมต่ออุปกรณ์สำคัญที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงเข้ากับระบบติดตั้งเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ กระบวนการทำงานของ AI ตรวจสอบแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าล่วงหน้า 30min พยากรณ์โหลดเฟส B เพื่อเตรียมการย้ายโหลด สับสลับเฟสของอุปกรณ์อัตโนมัติเมื่อคาดการณ์ว่าจะมีโหลดเกิน ดังรูปไดอะแกรม



รูปที่ 5 ระบบปรับสมดุลโหลดระหว่างเฟสด้วย AI และ IoT พร้อมการวัดแบบเรียลไทม์

ตารางที่ 3 ผลการปรับปรุงความสมดุลของกระแสไฟฟ้า 3 เฟส และประสิทธิภาพพลังงาน

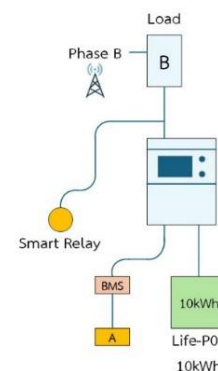
Parameter	Before improvement	After improvement	Change (%)
Average current Ph.A	5.02A	8.76A	+74.5%
Average current Ph.B	12.22A	8.49A	-30.5%
Average current Ph.C	6.28A	8.93A	+42.2%
Peak current Ph.B	23.77A	14.1A	-40.7%
Phase imbalance	143%	17%	-88.1%
Energy efficiency improvement	Baseline	+12%	+12%



รูปที่ 6 ผลลัพธ์ AI-agent การเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์หลังการปรับปรุง

จากกราฟรูปที่ 6 ผลการปรับปรุงด้วย AI-agent แสดงทั้งผลบวกและลบ เฟส A ปรับปรุงเด่นชัด (+74.5%) และเฟส C ดีขึ้น (+42.2%) พร้อมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานเล็กน้อย (+12.0%) อย่างไรก็ตาม ความไม่สมดุลระหว่างเฟสยังคงมาก (-88.3%) และเฟส B มีประสิทธิภาพลดลงทั้งค่าเฉลี่ย (-10.5%) และค่าสูงสุด (-30.7%) สะท้อนว่า AI-agent อาจเน้นปรับเฉพาะเฟส A และ C จนกระทบเฟส B และสมดุลระบบ ข้อเสนอแนะควรวิเคราะห์สาเหตุการลดลงของเฟส B และปรับอัลกอริทึมของ AI-agent ให้ปรับปรุงทุกเฟสอย่างสมดุล พัฒนากลไกรักษาสมดุลระหว่างเฟสเพื่อลดผลเสียต่อเสถียรภาพ และพิจารณาการแลกเปลี่ยนระหว่างการปรับเฉพาะเฟสกับความสมดุลโดยรวมให้สอดคล้องกับเป้าหมายและข้อจำกัดของระบบ

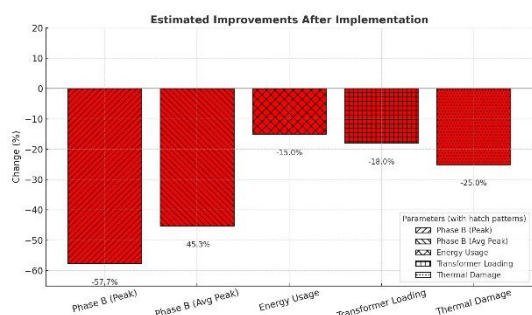
3.2.3 ระบบ Phase-targeted battery inverter system การชดเชยโหลดเฉพาะเฟสด้วยพลังงานสำรองลดโหลดสูงสุด (Peak shaving) ในช่วงเวลาสำคัญ Load shifting ผ่าน Battery inverter เฉพาะเฟส B สถาปัตยกรรมระบบ Battery inverter สำหรับ Load shifting เฉพาะเฟส B การออกแบบระบบ แบตเตอรี่ LiFePO₄ ขนาด 10kWh Hybrid inverter ขนาด 10kW เฉพาะเฟส B ระบบ BMS (Battery management system) ระบบตรวจจับกระแสไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ การตั้งค่าการทำงาน ชาร์จแบตเตอรี่เมื่อโหลดเฟส B < 5A จ่ายไฟจากแบตเตอรี่เมื่อโหลดเฟส B > 9A ปรับกำลังจ่ายแบบไดนามิกตามปริมาณโหลดที่เกิน ตอบสนองภายใน 50ms เมื่อตรวจพบโหลดเกิน กลยุทธ์การจัดการพลังงาน ชาร์จแบตเตอรี่ในช่วงกลางคืนหรือวันหยุด (ช่วงโหลดต่ำ) สำรองกำลังไฟฟ้าสำหรับช่วงเวลาที่โหลดสูง ป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่คายประจุต่ำกว่า 20% ดังรูปไดอะแกรม



รูปที่ 7 ระบบจัดการโหลดเฟส B ด้วย Smart Relay และแบตเตอรี่สำรอง LiFePO₄

ตารางที่ 4 ดัชนีชี้วัดการปรับปรุงระบบไฟฟ้าเฟส B

Parameter	Before (est.)	After (est.)	Change (%)
Phase B (Peak)	21.25A	9.00A	-57.70%
Phase B (Average peak)	15.53A	8.50A	-45.30%
Energy usage in phase	1000kWh	850kWh	-15.00%
Transformer loading	100%	82%	-18.00%
Thermal damage	100 (base)	75	-25.00%



รูปที่ 8 ผลลัพธ์จากระบบ AI-agent การเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์หลังการปรับปรุง

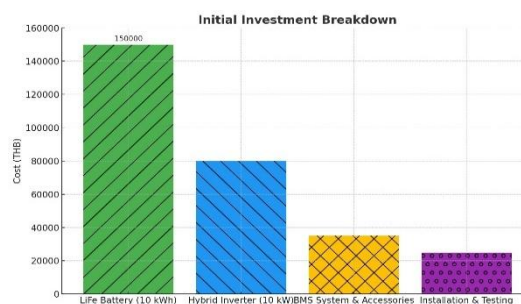
จากกราฟรูปที่ 8 พบว่า ผลการปรับปรุงระบบอินเวอร์เตอร์แบตเตอรี่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญในพารามิเตอร์สำคัญทั้งห้าประการ โดยมีรายละเอียดดังนี้ กระแสไฟฟ้าสูงสุดในเฟส B ลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 21.25A เหลือเพียง 9.00A คิดเป็นการลดลงร้อยละ 57.70 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าสูงสุดในเฟส B ลดลงจาก 15.53A เหลือ 8.50A หรือลดลงร้อยละ 45.30 สำหรับการบริโภคพลังงานในเฟสลดลงจาก 1,000kWh เหลือ 850kWh คิดเป็นการลดลงร้อยละ 15.00 ด้านภาระการทำงานของหม้อแปลงลดลงจากร้อยละ 100 เหลือร้อยละ 82 หรือลดลงร้อยละ 18.00 และความเสียหายจากความร้อนลดลงจากค่าฐานที่ 100 เหลือ 75 หรือลดลงร้อยละ 25.00 ข้อมูลเชิงประจักษ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงระบบส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในด้านการลดความเข้มของกระแสไฟฟ้าในเฟส B ซึ่งส่งผลต่อเนื่องในการลดความเสียหายจากความร้อนและการใช้พลังงานโดยรวม

ตารางที่ 5 รายการและค่าใช้จ่ายสำหรับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ LiFe [7]

Item	Cost (THB)
LiFePO ₄ battery (10kWh)	150,000
Hybrid inverter (10kW)	80,000
BMS System and accessories	35,000
Installation and system testing	25,000
Total investment	290,000

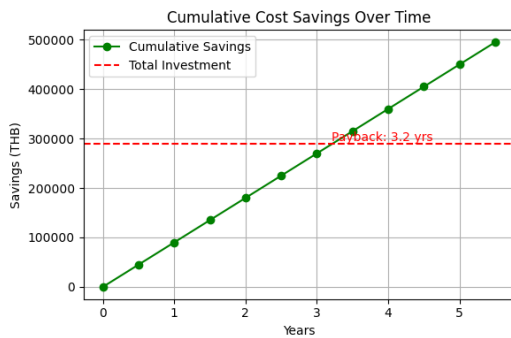
ตารางที่ 6 ผลตอบแทนทางการเงินจากการลงทุนในระบบกักเก็บพลังงาน

Description	Value
Annual energy savings	4,200kWh
Annual electricity cost savings	90,000THB
Payback period	3.2 years



รูปที่ 9 การแจกแจงค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบกักเก็บพลังงาน

จากกราฟรูปที่ 9 พบว่า โครงสร้างต้นทุนของระบบพลังงานมีองค์ประกอบหลักคือ ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ลิเทียมเฟอร์โรฟอสเฟต (LiFePO₄) ขนาด 10kWh ซึ่งมีมูลค่าการลงทุนสูงสุดที่ 150,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 50 ของต้นทุนรวมทั้งหมด รองลงมาคือ อินเวอร์เตอร์แบบไฮบริด (Hybrid inverter) ขนาด 10kW มูลค่า 80,000 บาท (คิดเป็นร้อยละ 27.6) ตามด้วยระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery management system: BMS) และอุปกรณ์เสริม มูลค่า 35,000 บาท (ร้อยละ 12.1) และค่าติดตั้งพร้อมการทดสอบระบบ มูลค่า 25,000 บาท (ร้อยละ 8.6) จากการวิเคราะห์พบว่ามูลค่าการลงทุนรวมอยู่ที่ 290,000 บาท โดยมีสัดส่วนที่ชัดเจนว่าระบบกักเก็บพลังงานเป็นองค์ประกอบหลักของต้นทุน ซึ่งสะท้อนถึงความสำคัญของการเลือกใช้เทคโนโลยีแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพและความเหมาะสมด้านต้นทุน สำหรับการพัฒนาโครงการในระยะยาวและการขยายผลในระดับระบบ

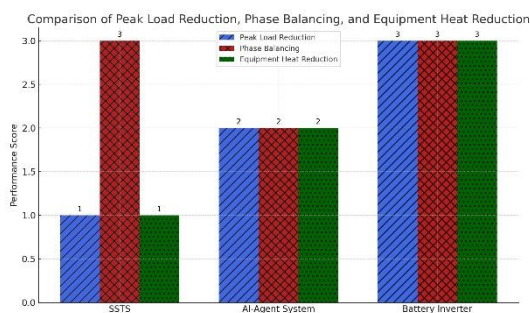


รูปที่ 10 กราฟแสดงการสะสมของการประหยัด
ค่าไฟฟ้าและระยะเวลาคืนทุนของระบบแบตเตอรี่
LiFePO₄

จากกราฟรูปที่ 10 พบว่า การสะสมของการประหยัดค่าไฟฟ้ารายปีจากการติดตั้งระบบแบตเตอรี่ LiFePO₄ ซึ่งมีมูลค่าประหยัดปีละ 90,000 บาท โดยเส้นสะสมตัดกับต้นทุนเริ่มต้น 290,000 บาทที่ปีที่ 3.2 ซึ่งเป็นระยะเวลาคืนทุน (Payback period) หลังจากปีที่ 3.2 เป็นต้นไป การลงทุนเริ่มสร้างผลตอบแทนสุทธิ (Net benefit) แสดงถึงความคุ้มค่าและความยั่งยืนของโครงการในระยะยาว

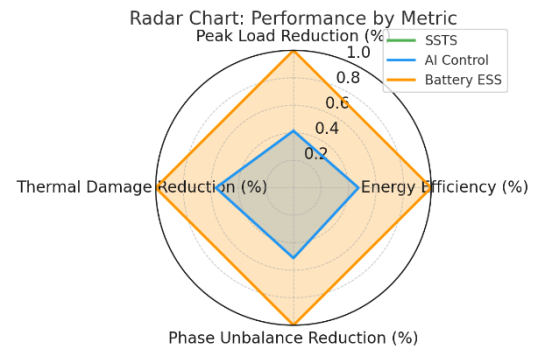
3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ ใช้การจำลองในสภาพแวดล้อมจริงเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบทั้ง 3 ได้แก่ SSTS, AI-agent และ Battery inverter

3.3.1 เปรียบเทียบในด้านความสามารถในการลดโหลดสูงสุด (Peak load reduction) ความสามารถในการปรับสมดุลเฟส (Phase balancing) ความสามารถในการลดความร้อนของอุปกรณ์ (Heat reduction) มีการให้คะแนนตามประสิทธิภาพ (1=ต่ำ, 2=ปานกลาง, 3=สูง) และคำนวณคะแนนรวมภาพรวม (Overall improvement score)



รูปที่ 11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบควบคุม
พลังงานไฟฟ้า 3 ประเภท

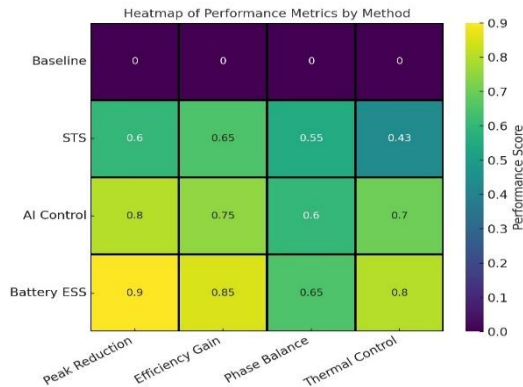
จากกราฟที่ 11 พบว่า ระบบควบคุมพลังงานทั้ง 3 ประเภทมีจุดเด่นแตกต่างกัน ได้แก่ SSTS มีคะแนนสูงสุดในการปรับสมดุลเฟส (3) แต่มีคะแนนต่ำในการลดโหลดสูงสุดและลดความร้อนของอุปกรณ์ (1) AI-agent มีคะแนนระดับปานกลาง (2) ในทั้งสามด้าน แสดงถึงประสิทธิภาพที่สมดุลแต่ไม่โดดเด่น Battery inverter ได้คะแนนสูงสุดในการลดโหลดสูงสุดและลดความร้อนของอุปกรณ์ (3) แต่ได้คะแนนต่ำสุดในการปรับสมดุลเฟส (1) ผลการประเมินชี้ให้เห็นว่าแต่ละระบบมีจุดแข็งเฉพาะด้าน ซึ่งควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการควบคุมพลังงานในระบบนั้น ๆ



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจัดการพลังงานในด้านต่าง ๆ ด้วยแผนภาพความร้อน

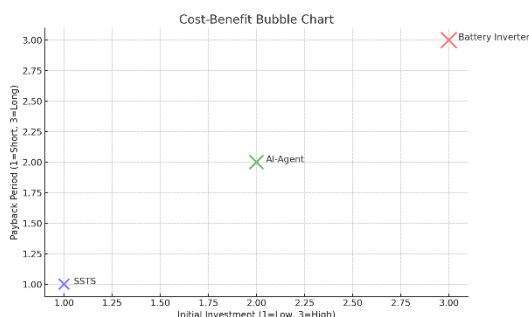
จากกราฟรูปที่ 12 พบว่า การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ 4 วิธี ได้แก่ Baseline, Control method 1, Control method 2 และ SSTS Method โดย Baseline มีค่าเป็น 0.00 ในทุกมิติ แสดงถึงสถานะที่ไม่มีการปรับปรุง Control method 1 เป็นการควบคุมพื้นฐานที่เน้นลด Peak load มีประสิทธิภาพปานกลาง (ประมาณ 0.60) Control method 2 พัฒนาขึ้นโดยเพิ่มการจัดสมดุลโหลดระหว่างเฟส จึงมีประสิทธิภาพดีขึ้นในทุกมิติ โดยเฉพาะ Peak reduction (0.80) ขณะที่ SSTS Method ให้ผลลัพธ์สูงสุดในทุกมิติ โดยเฉพาะด้าน Phase balance ที่ 0.95 สรุปได้ว่าการควบคุมที่ซับซ้อนและครบวงจรขึ้น เช่น Control method 2 และ SSTS Method ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า Baseline อย่างชัดเจนชัดเจน

3.3.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ วิเคราะห์โดยเปรียบเทียบต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (Initial investment) ระยะเวลาคืนทุน (Payback period) ความคุ้มค่าในแง่ต้นทุนประสิทธิภาพ (Cost-effectiveness) ใช้กราฟแบบฟอง (Bubble chart) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนและผลตอบแทน



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ SSTS, AI control และ Battery ESS ในด้านต่าง ๆ

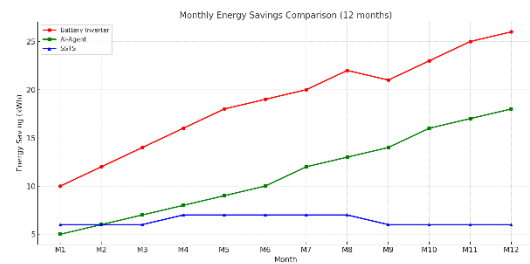
จากกราฟที่ 13 พบว่า Peak reduction (การลดจุดสูงสุด) วิธี Baseline มีประสิทธิภาพต่ำสุด (0.00) ในทุกตัวชี้วัด Linear method และ Simulated แสดงประสิทธิภาพที่ดีที่สุด (0.80) Least squares อยู่ในระดับปานกลาง (0.60) Efficiency gain (การเพิ่มประสิทธิภาพ) Simulated มีค่าสูงสุด (0.80) Linear method และ Least squares มีค่าเท่ากัน (0.65, 0.75) Phase balance (สมดุลเฟส) ทุกวิธีแสดงประสิทธิภาพที่ดีพอสมควร (0.55-0.65) มีความแตกต่างน้อยที่สุดในตัวชี้วัดนี้ Thermal control (การควบคุมความร้อน) Simulated มีประสิทธิภาพสูงสุด (0.80) Linear method รองลงมา (0.70) มีความแตกต่างชัดเจนระหว่างวิธีการต่าง ๆ สรุปได้ว่าวิธี Simulated แสดงประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในหลายตัวชี้วัด ขณะที่ Baseline มีประสิทธิภาพต่ำสุดอย่างชัดเจน การใช้ Linear method และ Least squares เป็นทางเลือกที่สมดุลระหว่างประสิทธิภาพและความซับซ้อน



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของระบบ SSTS, AI-agent และ Battery inverter

จากกราฟรูปที่ 14 พบว่า ระบบ SSTS มีดัชนีการลงทุนเริ่มต้นต่ำที่สุดที่ประมาณ 1.00 และมีผลตอบแทนต่อการลงทุนอยู่ที่ประมาณ 1.00 ขณะที่เทคโนโลยี AI-agent มีค่าดัชนีการลงทุนเริ่มต้นปานกลางที่ประมาณ 2.00 แต่ให้ผลตอบแทนต่อการลงทุนที่สูงขึ้นที่ประมาณ 2.00 ส่วนระบบแบตเตอรี่อินเวอร์เตอร์มีดัชนีการลงทุนเริ่มต้นสูงที่สุดที่ประมาณ 3.00 แต่ก็ให้ผลตอบแทนต่อการลงทุนสูงที่สุดเช่นกันที่ประมาณ 3.00 ข้อมูลนี้แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างระดับการลงทุนเริ่มต้นและผลตอบแทนที่คาดหวัง ซึ่งมีนัยสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมตามข้อจำกัดด้านงบประมาณและเป้าหมายผลตอบแทนทางการเงิน

3.3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านพลังงานในระยะยาว ใช้การจำลองการประหยัดพลังงานรายเดือนเป็นระยะเวลา 12 เดือน วิเคราะห์แนวโน้มการประหยัดพลังงานของแต่ละระบบ โดยเฉพาะในช่วงที่โหลดสูง



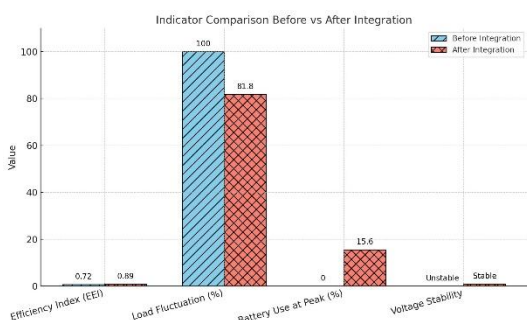
รูปที่ 15 การเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานรายเดือน (12 เดือน)

จากกราฟรูปที่ 15 พบว่า ระบบแบตเตอรี่อินเวอร์เตอร์ แสดงถึงประสิทธิภาพสูงสุดและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เริ่มต้นที่ประมาณ 10kWh ในเดือนที่ 1 และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจนถึงประมาณ 40kWh ในเดือนที่ 12 ส่วนระบบ AI-agent แสดงการประหยัดพลังงานในระดับปานกลาง เริ่มต้นที่ประมาณ 5kWh และเพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปจนถึงประมาณ 18kWh ในเดือนสุดท้าย ในขณะที่ระบบ SSTS แสดงการประหยัดพลังงานต่ำสุด เริ่มต้นที่ประมาณ 5kWh และเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนถึงประมาณ 8kWh ในช่วงเดือนที่ 7 หลังจากนั้นการประหยัดพลังงานคงที่จนถึงเดือนที่ 12 ข้อมูลนี้บ่งชี้ว่าระบบแบตเตอรี่อินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานสูงกว่าระบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาวโดยแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของการประหยัดพลังงานที่สูงกว่าตลอดช่วงเวลาการศึกษา

3.3.4 แนวทางการบูรณาการระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ จากความท้าทายด้านโหลดผันผวนและแรงดันไม่เสถียรในระบบเดิม การบูรณาการเทคโนโลยีที่เหมาะสมสามารถยกระดับประสิทธิภาพได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษานี้เสนอแนวทางการใช้ SSTS เป็นโครงสร้างหลักในการปรับสมดุลโหลดแบบทันที ที่เพิ่ม AI-agent เพื่อเรียนรู้และควบคุมระบบในระยะยาว และเสริม Battery inverter ขนาดเล็ก เพื่อรองรับโหลดช่วงสูงสุด แนวทางดังกล่าวช่วยเพิ่มดัชนีประสิทธิภาพ ลดความผันผวนของโหลด และรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบตัวชี้วัดก่อนและหลังการผสมระบบ

Indicator	Before integration	After integration
Efficiency index (EEI)	0.72	0.89
Load fluctuation (%)	100	81.8
Battery use at peak time (%)	0	15.6
Voltage stability (IEC $\pm 5\%$)	Unstable	Stable



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบก่อนและหลังการผสมระบบ

จากกราฟรูปที่ 16 พบว่า ระบบหลังการบูรณาการแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยดัชนีประสิทธิภาพพลังงาน (EEI) เพิ่มขึ้นจาก 0.72 เป็น 0.89 สะท้อนถึงความสามารถในการจัดการพลังงานได้ดีขึ้น ความผันผวนของโหลดลดลงจาก 100% เหลือ 81.8% แสดงถึงความเสถียรในการจ่ายโหลดที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระบบยังสามารถใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในช่วงพีกได้ถึง 15.6% ซึ่งก่อนหน้านี้ไม่มีการใช้เลย และสามารถรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์ IEC $\pm 5\%$ ได้อย่างเสถียร จากเดิมที่ไม่สามารถควบคุมแรงดันได้อย่างเหมาะสม ผลลัพธ์เหล่านี้ยืนยันว่าแนวทางการบูรณาการที่ใช้โครงสร้าง SSTS, ระบบ

AI-agent และ Battery inverter ขนาดเล็ก มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพและความมั่นคงของระบบไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ

4. การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ติดตั้ง Clamp Meter ภายใน Main Distribution Board (MDB) เพื่อเก็บข้อมูลโหลดไฟฟ้าแบบเรียลไทม์จากการใช้งานจริงในอาคารเรียนข้างอุตสาหกรรม ผลวิเคราะห์เบื้องต้นพบความไม่สมดุลของโหลดระหว่างเฟส โดยเฉพาะเฟส B ซึ่งส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพและประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงพัฒนาระบบควบคุมโหลดอัจฉริยะ ได้แก่ Static Transfer Switch System (SSTS) และ AI-Agent Control System พร้อมทดสอบในสภาวะแวดล้อมจำลองและระบบต้นแบบ ผลการทดสอบระบบควบคุมโหลด 3 รูปแบบพบว่า AI-Agent ลด Peak Load เฉลี่ยสูงสุด 21.7% ด้วยการเรียนรู้พฤติกรรมโหลดและปรับกลยุทธ์แบบเรียลไทม์ เหมาะกับการบริหารพลังงานอัตโนมัติ Battery Inverter เฉพาะเฟส ลดเฉลี่ย 15.3% โดยชดเชยโหลดในเฟสที่สูง เหมาะกับอาคารโหลดไม่สมดุล แม้มีต้นทุนสูง Feeder-shifting ลดเฉลี่ย 12.8% ผ่านการกระจายโหลดแบบ passive ลงทุนต่ำ เหมาะกับระบบสายป้อนแยกชัดเจน งานวิจัยชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์โหลดแบบเรียลไทม์เป็นหัวใจของ Demand Side Management (DSM) และการผสมผสานวิธีการควบคุม (Hybrid DSM) เป็นแนวทางที่มีศักยภาพต่อการพัฒนา Net Zero Energy Building (NZEB) ที่ยั่งยืนทั้งด้านพลังงานและเศรษฐกิจ

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้เสนอแนวทางการบริหารจัดการพลังงานด้วยระบบ Demand Side Management (DSM) อาคารเรียนข้างอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย โดยใช้แนวคิด Smart Phase Balancer ซึ่งประกอบด้วย 3 ระบบย่อย ได้แก่ Feeder-shifting, AI-agent และ Battery Inverter เพื่อลดโหลดสูงสุด (Peak Load) ของระบบไฟฟ้า ข้อมูลถูกเก็บแบบเรียลไทม์จากสายเมนหลักในตู้ MDB ระหว่างเดือนธันวาคม 2567 ถึงกุมภาพันธ์ 2568 ผลการทดลองพบว่า AI-agent ลดโหลดสูงสุดได้ 21.7% รองลงมาคือ Battery Inverter 15.3% และ Feeder-shifting 12.8% AI-agent ยังช่วยปรับปรุง Load Factor 9.4% และลดการใช้พลังงานช่วง Time of

Use (TOU) อย่างมีนัยสำคัญ ระบบที่พัฒนาสามารถประยุกต์ใช้กับอาคารอื่น ๆ เพื่อยกระดับเป็น Smart Building และสนับสนุนเป้าหมายลดคาร์บอนตามนโยบาย BCG Economy และ Net-zero Emission สำหรับงานวิจัยในอนาคต การติดตั้งอุปกรณ์จริงเพิ่มเติม เช่น SSTS, AI-Agent บน Embedded System และ Battery Inverter จะช่วยยืนยันประสิทธิภาพในสถานะใช้งานจริง และเพิ่มความสำเร็จของงานวิจัยทั้งด้านวิชาการและการประยุกต์ใช้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุ ณวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณปี 2568 และอนุญาตให้ใช้พื้นที่และอุปกรณ์ ขอบคุ ณทีมงานวิจัย คณาจารย์ และบุคลากรที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวก รวมถึงครอบครัว และเพื่อนร่วมงานที่ให กำลังใจและสนับสนุนตลอดกระบวนการศึกษาวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hafeez G, Alghamdi H, Alghamdi B, Alsafran AS, Ullah S, Murawwat S, editors. Demand response and renewable generation with optimization approach for energy management in smart grids. 2025 4th International Conference on Smart Grid and Green Energy (ICSGGE); 2025: IEEE.
- [2] El Hassan M, Najjar M, Tohme R. A practical way to balance single phase loads in a three phase system at distribution and unit level. Renewable Energy and Power Quality Journal. 2022;20:173-7.
- [3] Schittekatte T, Mallapragada D, Joskow PL, Schmalensee R. Electricity retail rate design in a decarbonizing economy: an analysis of time-of-use and critical peak pricing. The Energy Journal. 2024;45(3):25-56.
- [4] Hofmann M, Lindberg KB, editors. Do households react to variable power prices?- Results from a Norwegian pricing experiment. 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe); 2021: IEEE.

- [5] Alhmoud L, Marji W. Optimization of three-phase feeder load balancing using smart meters. IEEE Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering. 2021;45(1):9-17.
- [6] Faria P, Vale Z. Demand response in smart grids. Energies. 2023;16(2):863.
- [7] Zachary S, Tindemans SH, Evans MP, Cruise JR, Angeli D. Scheduling of energy storage. Philosophical Transactions of the Royal Society A. 2021;379(2202):20190435.
- [8] Biswal AP, Roy K, Ghosh A, editors. AI-enabled prediction of wind speed and temperature with multiverse optimization for efficient control of standalone hybrid system. 2023 IEEE 3rd International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET); 2023: IEEE.

วารสารแนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม

ปรกช สิริสุวัฒน์^{1*} สุนนมาลย์ เนียมกลาง² และ กุลยา สาริชีวิน³
porakoch.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, sumonman.n@en.rmutt.ac.th², kullaya.s@en.rmutt.ac.th³

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับรูปแบบและวิธีการส่งบทความเพื่อเสนอต่อกองบรรณาธิการวารสารแนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม ผู้ส่งบทความต้องยึดรูปแบบตามบทความนี้อย่างเคร่งครัด บทความใดที่มีรูปแบบไม่ถูกต้องจะถูกส่งคืนเพื่อทำการแก้ไขก่อนนำส่งผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ หากไม่ทำการแก้ไขให้ถูกต้องกองบรรณาธิการจะทำการตัดสิทธิ์การส่งบทความนี้ ทั้งนี้บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แต่ละภาษาควรมีเพียงย่อหน้าเดียว

คำสำคัญ: วิธีการส่งบทความ รูปแบบบทความ ขนาดตัวอักษร รูปแบบตัวอักษร การเว้นบรรทัด

Manuscript preparation guidelines for the papers submitted to frontiers in engineering innovation research

Porakoch Sirisuwan^{1*}, Sumonman Niamlang² and Kullaya Saricheewin³
porakoch.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, sumonman.n@en.rmutt.ac.th², kullaya.s@en.rmutt.ac.th³

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

²Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

³Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Abstract

This article describes a submission procedure and a format of the manuscript for the Frontiers in Engineering Innovation Research (FEIR). Authors are required to strictly follow the guideline provided here, otherwise, the manuscript will be returned for proper correction before to be reviewed by two referees who are specialists in that fields. If no completed on this step your manuscript will be rejected and cannot be considered again. So that an abstract should have had only one paragraph. Both Thai and English.

Keywords: Submission procedure, Manuscript format, Font size, Font style, Blank line

1. ข้อกำหนดทั่วไป

บทความต้องประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามลำดับต่อไปนี้ คือ

1. ชื่อเรื่อง/บทความ (Title)
2. ชื่อผู้เขียน/อีเมล (Author, E-mail)
3. ที่อยู่ผู้เขียน (Affiliation)
4. บทคัดย่อ (Abstract)
5. คำสำคัญ (Keywords)
6. บทนำ (Introduction)
7. เนื้อหา (Text)
8. สรุป (Conclusion)
9. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)
(Acknowledgements)
10. เอกสารอ้างอิง (References)

2. คำแนะนำในการเขียนและพิมพ์

คำแนะนำทั่วไป

2.1. ชื่อเรื่อง/บทความ (Title) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้นและกระชับแต่ครอบคลุมสาระทั้งเรื่องสื่อความหมายชัดเจนไม่ควรใช้คำย่อ และวางกึ่งกลางหน้ากระดาษ

2.2. ชื่อผู้เขียนหลัก (Corresponding Author) และผู้เขียนร่วม (Co-Author) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใส่หมายเลขลำดับ (ตัวยก) เรียงตามลำดับความสำคัญ โดยใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ผู้เขียนหลักถัดจากหมายเลขลำดับ (ตัวยก)

2.2.1 E-mail ผู้เขียนเรียงตามลำดับชื่อผู้เขียนและ ใส่เครื่องหมาย (*) ถัดจากหมายเลขลำดับ (ตัวยก) ของผู้เขียนหลัก

2.3. ที่อยู่ผู้เขียน (Affiliation) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ต้องระบุตำแหน่งวิชาการ หรือสถานะของนักศึกษาใดๆ ทั้งสิ้น

2.4. บทย่อดัด (Abstract) เป็นการสรุปประเด็นเนื้อหาที่เป็นแก่นสำคัญเน้นประเด็นสำคัญของงาน ที่ต้องการนำเสนอจริงๆ ควรเขียนให้สั้น และกระชับ

2.5. คำสำคัญ (Keywords) ให้ระบุไม่เกิน 3-5 คำ

2.6. บทนำ (Introduction) ส่วนนั้นจะเป็นส่วนที่ผู้เขียนจงใจให้ผู้อ่านเกิดความสนใจในเรื่องนั้นๆ วัตถุประสงค์ของงานวิจัย และข้อมูลทางวิชาการ

2.7. เนื้อหา (Text) บทความที่เสนอจะต้องพิมพ์เป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ ตามรูปแบบที่กำหนด ซึ่งพร้อมที่จะนำไปถ่ายเพลท เพื่อพิมพ์ออฟเซตได้ทันที

การพิมพ์ให้พิมพ์ลงบนกระดาษ A4 โดยพิมพ์เป็น 2 คอลัมน์ตามรูปแบบบทความนี้ ขนาดของคอลัมน์เป็นไปตามที่กำหนด จะต้องพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 dpi.

ให้พิมพ์โดยไม่เว้นบรรทัด เมื่อจะขึ้นหัวข้อใหม่ให้เว้นบรรทัด 1 บรรทัด และจะต้องพิมพ์ให้เต็มคอลัมน์ก่อนที่จะขึ้นคอลัมน์ใหม่ หรือขึ้นหน้าใหม่ห้ามเว้นที่เหลือไว้ว่างเปล่า

การลำดับหัวข้อในส่วนเนื้อหาของเนื้อเรื่องนี้ให้ใส่เลขกำกับโดยให้บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีการแบ่งหัวข้อย่อย ก็ใช้เลขระบบทศนิยมกับหัวข้อย่อย เช่น 1.1 เป็นต้น

2.7.1 การเขียนหน่วยต่างๆ

หน่วยในเนื้อหาจะต้องใช้เป็นรูปแบบเดียวกันทั้งฉบับ

ตารางที่ 1 การตั้งค่าน้ำกระดาษ

ระยะขอบ	เซนติเมตร
บน (Top)	3
ล่าง (Bottom)	2
ซ้าย (Left)	3
ขวา (Right)	3
ระยะห่างคอลัมน์	1

ตารางที่ 2 ขนาดตัวอักษรและการเว้นระยะพิมพ์บทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษด้วยตัวอักษรรูปแบบ “TH SarabunPSK”

รายการ	ขนาด	ตำแหน่ง	ลักษณะ
ชื่อเรื่อง	18	กึ่งกลาง	ตัวหนา
ชื่อผู้เขียน อีเมล	14	กึ่งกลาง	ปกติ
ที่อยู่ผู้เขียน	12	ชิดซ้าย	ปกติ
บทย่อดัด	14	ชิดซ้าย	ปกติ
ชื่อหัวข้อ, หัวข้อย่อย	14	ชิดซ้าย	ตัวหนา
เนื้อความ	14	กระจายแบบไทย	ปกติ
คำบรรยายประกอบรูป	14	กึ่งกลาง	ปกติ
คำบรรยายประกอบตาราง	14	ชิดซ้าย	ปกติ
สมการต่างๆ (Cambria Math)	12	กึ่งกลาง	ตัวเอียง

ให้จัดเนื้อเรื่องในแต่ละบรรทัดเรียงชิดซ้าย และขวาอย่างสวยงาม เยื้องบรรทัดแรกของย่อหน้าใช้ 1 แท็บ หรือ 0.5 นิ้ว

2.7.2 การจัดทำรูปภาพ

รูปภาพจะต้องมีความกว้างไม่เกิน 70 มม. เพื่อให้ลงในหนึ่งคอลัมน์ได้ หรือกรณีจำเป็นจริงๆ เพื่อรักษารายละเอียดในภาพ อาจยอมให้มีความกว้างได้เต็มหน้ากระดาษ(กว้าง 150 มม.)

ตัวอักษรทั้งหมดในภาพจะต้องมีขนาดใหญ่สามารถอ่านได้สะดวก

รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลขและคำบรรยายใต้ภาพ

คำบรรยายใต้ภาพห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่น ห้ามเขียนว่า “รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง...” ที่ถูกต้องควรเป็น “รูปที่ 1 ตัวอย่าง.....”



รูปที่ 1 ตัวอย่าง....

รูปถ่ายเส้นจะต้องเป็นเส้นหมึกดำ ส่วนรูปถ่ายควรจะเป็นรูปขาวดำที่มีความคมชัด รูปสีอนุโลมให้ใช้ได้ รูปภาพควรมีรายละเอียดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เช่น ภาพถ่ายรูปคลื่นจากออสซิลโลสโคปที่ปรากฏให้เป็นเฉพาะจอภาพ เป็นต้น และเพื่อความสวยงามให้เว้นบรรทัดเหนือรูปภาพ 1 บรรทัดและเว้นใต้คำบรรยาย 1 บรรทัด และไม่มีเส้นกรอบรูป

2.7.3 การเขียนสมการ

สมการทุกสมการจะต้องมีหมายเลขกำกับอยู่ภายในวงเล็บและเรียงลำดับที่ถูกต้อง ควรใช้ตัวพยัญชนะเอียงแสดงถึงพารามิเตอร์หรือตัวแปรในสมการ ตำแหน่งของหมายเลขสมการจะต้องอยู่ชิดขอบด้านขวาของคอลัมน์ เว้นหนึ่งบรรทัดก่อนเขียนสมการ และเว้นหนึ่งบรรทัดหลังเขียนสมการ จัดให้สมการอยู่ตรงกลางคอลัมน์ ดังตัวอย่างนี้

$$a + b = c \quad (1)$$

เริ่มเขียนคำอธิบายตั้งแต่บรรทัดนี้

2.7.4 การจัดการทำตาราง

ตัวอักษรในตารางจะต้องไม่เล็กกว่าตัวอักษรในเนื้อเรื่อง ควรตีเส้นกรอบตารางด้วยหมึกดำให้ชัดเจน

ตารางทุกตารางจะต้องมีหมายเลขและคำบรรยายกำกับเหนือตาราง หมายเลขกำกับและคำบรรยายเหนือตารางห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่นเดียวกับกรณีรูปภาพ

เพื่อความสวยงามให้เว้นบรรทัดเหนือตาราง 1 บรรทัด และเว้นบรรทัดใต้คำบรรยายรูปภาพ 1 บรรทัด

2.7.5 ความยาวของบทความ

เมื่อรวมทุกส่วนแล้ว บทความไม่ควรจะมีความยาวน้อยกว่า 8 หน้า และยาวไม่เกิน 12 หน้า กระดาษ A4

2.7.6 กรณียบทความภาษาอังกฤษ

ผู้พิมพ์บทความเป็นภาษาอังกฤษ กรุณาดูคำแนะนำ วิธีการพิมพ์บทความภาษาอังกฤษที่แนบมาด้วย

2.7.7 การส่งบทความ

ผู้เขียนสามารถส่งต้นฉบับ ทางระบบออนไลน์ ของวารสารแนวนหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt>



โดยต้องทำการลงทะเบียนเพื่อสมัครสมาชิกวารสารและนำส่งบทความวารสารต้นฉบับในรูปแบบไฟล์

- Word ● PDF
- แบบฟอร์มยืนยันการส่งบทความ

เพื่อลงตีพิมพ์ใน วารสารแนวนหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม มายังระบบออนไลน์ และกรุณาจัดส่งแบบฟอร์มยืนยันการส่งบทความทางอีเมล enjournal@en.rmutt.ac.th มายังกองบรรณาธิการ วารสารแนวนหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ครบถ้วน จึงจะถือว่าการส่งวารสารนั้นเสร็จสมบูรณ์

หากขั้นตอนการนำส่งวารสารทั้ง 2 ขั้นตอน คือ การส่งวารสารทางระบบออนไลน์ และการนำส่งแบบฟอร์มยืนยันการส่งบทความมายังอีเมล

enjournal@en.mutt.ac.th ไม่ครบถ้วนทั้ง 2 ขั้นตอนบทความนั้นจะถูกส่งคืน และไม่สามารถผ่านการพิจารณาได้

3. สรุป (Conclusion)

ผู้เขียนบทความกรุณาตรวจสอบบทความอย่างรอบคอบโดยใช้เวลาอย่างเพียงพอก่อนส่งให้คณะกรรมการพิจารณา จะทำให้บทความของท่านมีคุณภาพสูง ผ่านการพิจารณาได้ง่ายขึ้น และหากไม่มีการแก้ไขบทความกลับภายในระยะเวลา 3 เดือน หลังจากได้รับบทความกลับคืน บทความนั้นจะถูกยกเลิกการพิจารณาโดยอัตโนมัติ และไม่รับพิจารณาบทความใดๆ ของผู้เขียนนั้น เป็นระยะเวลา 1 ปี นับตั้งแต่วันครบกำหนดการส่งบทความกลับคืน

4. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

ขอขอบคุณข้อมูลจาก TCI และผู้เขียนบทความทุกท่านที่ให้ความร่วมมือรักษาระเบียบการเขียนบทความอย่างเคร่งครัด

5. เอกสารอ้างอิง (References)

การอ้างอิงเอกสารใช้ระบบ (Vancouver Style) เรียงตามลำดับ 1,2,3 ตามการใช้งาน โดยใส่ตัวเลขของเอกสารอ้างอิงไว้ในวงเล็บ เช่น [1] เป็นต้น แล้วรวบรวมไปเขียนอ้างอิง ตามรูปแบบวารสารกำหนด

ในการเขียนเอกสารอ้างอิงผู้เขียนต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษ ในกรณีแหล่งข้อมูลที่ใช้อ้างอิงมาจากแหล่งอ้างอิงภาษาไทย เช่น ตำราไทย วารสารไทย เป็นต้น ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ แล้ววงเล็บด้านท้ายชื่อภาษาต้น เช่น (in Thai) ทั้งนี้ผู้เขียนบทความควรใช้แหล่งอ้างอิงที่ได้รับการยอมรับกันตามเกณฑ์สากล

ตัวอย่าง (Example)

[1] Charoennetku C, Khamput P, Chumprom P, Lukjan A. Porous concrete mixed with crumbs of prestressed concrete pile. Frontiers in Engineering Innovation Research. 2024;22(1):17-26.

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

(เครื่องหมาย/หมายถึง เว้นวรรค 1 ระยะ)

รูปแบบบทความวารสาร

(Articles in Journals)

[2] Author.\Article Title.\Journal Title.\ Year of Publication;Volume(Issue Number):Pagintion.

ตัวอย่าง(Example)

[3] Nanthasamroeng N. Application of center of risk gravity in the location analysis for a sitting of emergency medical service vehicles. Journal of Engineering RMUTT. 2011;9(2):21-9. (in Thai)

รูปแบบหนังสือและเอกสารเฉพาะเรื่อง

(Books and Other Monographs)

[4] Author.\Title.\Edition.\Place of Publication:\Publisher;\Year of Publication.

[5] Author.\Title\[dissertation or master's thesis].\Place of Publication:\University;\Year of Publication.

ตัวอย่าง(Example)

[6] Murray PR, Rosenthal KS, Kobayashi GS, Pfaller MA. Medical microbiology. 4th ed. St. Louis(MO): Mosby; 2002.

[7] Borkowski MM. Infant sleep and feeding: a telephone survey of Hispanic Americans [dissertation]. Mount Pleasant (MI): Central Michigan University; 2001.

รูปแบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์

(Electronic Material)

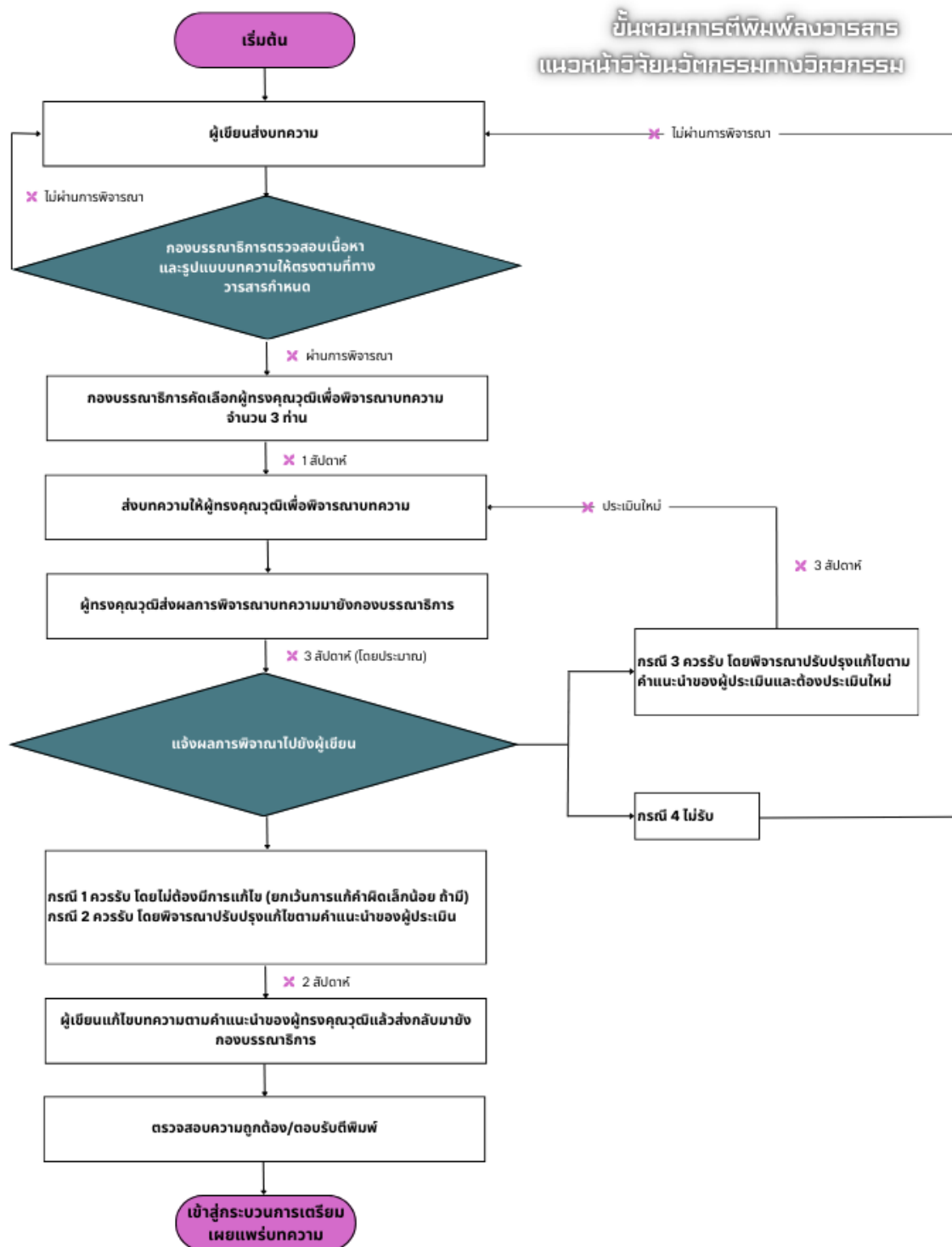
[8] Author.\Article Title.\Journal Title.\[Internet].\ Year of Publication\[cited YYMMDD] ;Volume (Issue Number):page numbers.\ Availability From:\ URL

ตัวอย่าง(Example)

[9] Annas GJ. Resurrection of a stem-cell funding barrier--Dickey-Wicker in court. N Engl J Med [Internet]. 2010 [cited 2011 Jun 15];363:1687-9. Available from: <http://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMp1010466>

สามารถดาวน์โหลดรูปแบบบทความ Template ในรูปแบบ Word ได้ที่

<https://drive.google.com/drive/folders/1jPxtFBwmeIUTtRwHH3HEFLFuVZXsIOPV>



ในกรณี 2 และ 3 หลังจากบทความผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว ผู้เขียนควรพิจารณาการแก้ไขและส่งบทความกลับมาในระยะเวลาที่กำหนดหากล่าช้าเกิน 90 วัน (นับจากวันแจ้งแก้ไข) กองบรรณาธิการขอแจ้งไม่รับพิจารณาบทความโดยอัตโนมัติ และผู้เขียนไม่สามารถส่งบทความเข้าสู่ระบบได้เป็น ระยะเวลา 1 ปี (เนื่องจากมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการประเมินบทความ และขาดความต่อเนื่องในการพิจารณาบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิ ฯ)

หมายเหตุ รวมระยะเวลาโดยประมาณ 90 วัน หากไม่มีการแก้ไขใดๆ เพิ่มเติม

**แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ
เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารแนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม**

ข้าพเจ้า ☐ นาย ☐ นาง ☐ นางสาว ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

ชื่อ-สกุล.....

(ภาษาอังกฤษ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ (โปรดระบุ) ☐ ศาสตราจารย์ ☐ รองศาสตราจารย์ ☐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

☐ อาจารย์ ☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ที่อยู่ (ที่ติดต่อได้).....

.....

โทรศัพท์ที่ทำงาน.....โทรศัพท์มือถือ.....

โทรสาร.....อีเมล.....

มีความประสงค์ขอส่งบทความ เรื่อง:

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

.....

ชื่อบทความ (ภาษาอังกฤษ).....

.....

การตรวจสอบ ☐ ทำการลงทะเบียน และ ส่งวารสารต้นฉบับใน

ระบบออนไลน์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt> เรียบร้อยแล้ว

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าสู่ระบบออนไลน์.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุไว้ใน
บทความจริง และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไป
พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าส่งบทความ

ลงนาม.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

TECHNICAL ARTICLE FORM

FOR PUBLISHING ON FRONTIERS IN ENGINEERING INNOVATION RESEARCH

Title ☐ Mr. ☐ Ms. ☐ Others (Please specify)

Name-Surnames.....

Academic Positions (Please specify) ☐ Professor ☐ Associate Professor ☐ Assistant

Professor ☐ Lecturer ☐ Others (Please specify)

Address (for Contact).....

.....

Office Phone Number..... Mobile Phone Number.....

Fax Number..... E-mail.....

Name of Article:

.....

.....

Submission Checklist ☐ Already register and submit the manuscripts on

<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt>

The days of Online Submission.....

I promise this article belongs to me and co-authors as the name indicated in the article.

In addition, this article has not been previously published on another journal. Furthermore, I will not submit this article on another journal within 60 days from the day of my submission on the Frontiers in Engineering Innovation Research.

Sign.....

(.....)

..... / /



FRONTIERS IN ENGINEERING INNOVATION RESEARCH

FACULTY OF ENGINEERING, RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI
39 MOO 1, RANGSIT-NAKHONNAYOK RD. (KLONG6), THANYABURI PATHUMTHANI 12110
TEL./FAX : 0 2 549 3493
E-MAIL : ENJOURNAL@EN.RMUTT.AC.TH