

วารสารวิศวกรรม และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University

ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 (2025)

พฤษภาคม – มิถุนายน 2568

ISSN 2985 0274 (Print)

ISSN 2985 0282 (Online)



กำหนดการเผยแพร่

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม – มิถุนายน 2568)

Vol. 3 No. 3 (May – June 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.วิจิตร โพธิสาร

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

บรรณาธิการ

ดร.สรายุทธ จิตะภาส

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สฤติพงศ์ เสงี่ยมศักดิ์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ดร.สวลี อุดรา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.วรวรรณ 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.เกตุ ดวงอุปมา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

รองศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ วิชาผา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลาหา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศานาถ แก้ววินิต

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว วัฒนกลาง

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 ศรีบุญมัย

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

นางสาวนภัทรธิดา พรหมศรีราช

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 3 เดือนพฤษภาคม – เดือนมิถุนายน 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	
การออกแบบและสร้างเครื่องตัดต้นแบบสำหรับเตรียมวัสดุผสมชนิดแผ่น Prepreg ชาญชัย พลตรี เศรษฐ์พงศ์ เหมณีย์ อธิป อุยวัฒนกุล ศุภชัย ศิริกุล และ อานนท์ เลิศวงศ์ไพศาล	1-16
การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษา ระบบวิศวกรรมประกอบอาคาร มะลิวัน ธี และ สันต์ รั้ววิบูลย์	17-35
การพัฒนาระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา ภวิกา อ้วนละมัย ธรรมบุญ ปัญญาทิพย์ ปนัดดา โพธินาม อัจฉรา สุ่มงเกษตร ณรงค์ฤทธิ์ มะสุใส ทรงกรด พิมพิศาล และ ไพฑูรย์ ทิพย์สันเทียะ	36-53
การออกแบบและสร้างชิ้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากการเดินด้วย กลไกสไลเดอร์แรงค์ เฉลิมชาติ เมฆเมืองทอง สมชาย แสงนวล และ ภักดี สิทธิฤทธิ์กวิน	54-68
การออกแบบและพัฒนาระบบตู้จดหมายอัจฉริยะพลังงานทางเลือก บนฐานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สิทธิโชค อุ่นแก้ว และ นัสรี ม่องพร้าว	69-83

บทความวิจัย (Research Article)

การออกแบบและสร้างเครื่องตัดต้นแบบสำหรับเตรียมวัสดุผสมชนิดแผ่น Prepreg

ชาญชัย พลตรี¹, เศรษฐพงศ์ เหมณีย์¹, อธิป อุยวัฒน์กุล¹, ศุภชัย ศิริกุล¹ และ อานนท์ เลิศวงษ์ไพศาล^{1,*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

* ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: arnonl@eng.buu.ac.th โทรศัพท์: 065-6021103

(รับบทความ: 19 มีนาคม 2568; แก้ไขบทความ: 18 เมษายน 2568; ตอรับบทความ: 21 เมษายน 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายในการตัดเตรียมวัสดุผสมชนิดแผ่นลามิเนตที่มีชื่อทางการค้าว่า Prepreg ด้วยมือ จากการทดลองตัดพบปัญหาอยู่ 2 ประเด็น ประเด็นแรกคือการตัดด้วยมือนั้นใช้เวลานานเนื่องจากไม่สามารถนำแผ่น Prepreg มาซ้อนกันระหว่างตัดได้เพราะอาจทำให้ตัดได้ไม่ขาดในการตัดครั้งเดียวซึ่งส่งผลเสียต่อคุณภาพของรอยตัด การตัดแผ่น Prepreg ตามขวางแนวเส้นใยทำได้ยากกว่าการตัดตามแนวเส้นใยเนื่องจากการตัดตามขวางนั้นเป็นการตัดเส้นใยทุกเส้นให้ขาด ส่วนนี้ทำให้การตัดตามขวางใช้เวลามากกว่าการตัดตามยาว ประเด็นที่สองคือการตัดด้วยมือนั้นเกิดความคลาดเคลื่อนของขนาดค่อนข้างสูง โดยความคลาดเคลื่อนจะสะสมตั้งแต่แผ่นแรก ๆ ทำให้แผ่นสุดท้ายมีขนาดที่คลาดเคลื่อนมากกว่าชิ้นอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้ทางทีมผู้วิจัยจึงคิดสร้างเครื่องตัดโดยมีการออกแบบแนวคิดมา 3 รูปแบบและให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านทำการประเมินและให้คะแนนคุณลักษณะของเครื่องตัดเพื่อคัดเลือกแนวคิดที่เหมาะสมที่สุด หลังจากทำการสร้างเครื่องตัดแล้ว ได้ทำการทดลองตัดและเก็บข้อมูลของเวลาในการตัดพบว่าการตัดตามยาวและตามขวางใช้เวลาใกล้เคียงกันมากเนื่องจากการทำงานของใบมีดเป็นการลดปัจจัยจากการตัดด้วยแรงคน โดยผลการทดลองพบว่าเครื่องตัดสามารถลดเวลาเฉลี่ยในการตัดตามแนวเส้นใยและตามขวางเส้นใยลงได้ร้อยละ 26.70 และร้อยละ 42.61 ตามลำดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในการตัดลดลงประมาณร้อยละ 31 เมื่อเทียบกับการตัดด้วยมือ นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของแผ่น Prepreg ที่ถูกตัดด้วยเครื่องนั้นมีความเที่ยงตรงมากกว่าการตัดด้วยมือ

คำสำคัญ: เครื่องตัดแผ่น Prepreg, Prepreg การตัดวัสดุแผ่น ประสิทธิภาพการตัด

การอ้างอิงบทความ: ชาญชัย พลตรี, เศรษฐพงศ์ เหมณีย์, อธิป อุยวัฒน์กุล, ศุภชัย ศิริกุล และ อานนท์ เลิศวงษ์ไพศาล, "การออกแบบและสร้างเครื่องตัดต้นแบบสำหรับเตรียมวัสดุผสมชนิดแผ่น Prepreg," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 3, หน้า 1-16, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

The Design and Manufacturing of Prototype Cutting Machine for Prepreg Composite Sheet Preparation

Charnchai Phontri¹, Setthapong Hemmanee¹, Athip Auiwatthanakun¹, Supachai Sirikool¹
and Arnon Lerdwongpaisan^{1,*}

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

* Corresponding Author: arnonl@eng.buu.ac.th, Tel: 065-6021103

(Received: March 19, 2025; Revised: April 18, 2025; Accepted: April 21, 2025)

Abstract

This research aims to solve the problems related to manually cutting of composite laminated sheets, commercially known as Prepreg. After manually cutting experiment, two main issues were identified. The first issue is that manual cutting takes a long time because Prepreg sheets cannot be stacked together while cutting. If stacked, it may not be possible to complete the cut in a single attempt, which negatively affects the quality of the cutting edge. Cutting Prepreg sheets across the fiber direction (transverse direction) is more difficult than cutting along the fiber direction (longitudinal direction) because cutting across requires severing all fibers, making it more time-consuming than longitudinal cutting. The second issue is the significant dimensional inaccuracy in manual cutting. This inaccuracy accumulates from the first sheet onward, leading to the greatest errors in the final sheets. In order to resolve these problems, the research team designed three concepts of cutting machine. Three experts were invited to evaluate and score the features of the machines in order to select the most suitable concept. After manufacturing the cutting machine, cutting experiments were conducted. It was found that the time taken for longitudinal and transverse cuts was very similar, as the cutting tool reduces the influence of human effort in the cutting process. The machine could reduce the average cutting time along the fiber direction and across the fiber direction by 26.70% and 42.61%, respectively. The standard deviation of the cutting time was reduced by approximately 31% compared to manual cutting. Additionally, it was found that the size of the Prepreg sheets cut by the machine is more precise than those cut manually.

Keywords: Prepreg Sheet Cutting Machine, Prepreg, Sheet Material Cutting, Cutting Efficiency

Please cite this article as: C. Phontri, S. Hemmanee, A. Auiwatthanakun, S. Sirikool and A. Lerdwongpaisan, "The Design and Manufacturing of Prototype Cutting Machine for Prepreg Composite Sheet Preparation," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 3, pp. 1-16, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ปัจจุบันวัสดุผสม (Composite Materials) มีอิทธิพลต่ออุตสาหกรรมเป็นอย่างมากโดยเฉพาะอุตสาหกรรมการบินเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติหลากหลายขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ ยกตัวอย่างเช่น การผสมระหว่างโพลีเมอร์และเส้นใยคาร์บอนทำให้ได้วัสดุผสมที่มีความแข็งแรงจากเส้นใยคาร์บอนและน้ำหนักที่เบาจากโพลีเมอร์ วัสดุผสมชนิดที่นิยมใช้ในการผลิตชิ้นส่วนอากาศยานคือชนิดที่มีลักษณะเป็นการเสริมแรงแบบชั้นโครงสร้างหรือที่เรียกว่าลามิเนต โดยมีชื่อทางการค้าว่า “Prepreg” วัสดุ Prepreg นั้นถูกผลิตจากเส้นใยคาร์บอนทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรงที่ถูกฝัง (Pre-Impregnated) อยู่ในเรซินและถูกขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยกระบวนการดึงยืด (Pultrusion) [1] โดยเรซินนั้นจะถูกร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางของโมเลกุลมาแล้วบางส่วน (Partially Cured) ทำให้ Prepreg นั้นเป็นเหมือนวัสดุกึ่งสำเร็จรูปที่สามารถจำหน่ายเป็นลักษณะเหมือนม้วนเทปได้ พฤติกรรมของวัสดุ Prepreg นั้นมีความซับซ้อน ทำให้ในต่างประเทศมีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับวัสดุชนิดนี้อย่างลึกซึ้ง ไม่ว่าจะเป็นพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเสียรูปเนื่องจากกระบวนการทางความร้อนในการอบ (Autoclave Curing Process) [2-3] การเสียรูปที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ของกระบวนการขึ้นรูป [4] รวมทั้งการพยายามลดความเสี่ยงรูปของชิ้นส่วนโดยการดัดแปลงรูปทรงของแม่พิมพ์ [5] นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอีกหลายท่านที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเชิงกลของ Prepreg เช่น พฤติกรรมในการรับแรงกระแทก (Impact Load)

[6-7] และพฤติกรรมในการรับแรงกดและแรงเฉือน (Compressive and Shear Load) [8]

จากที่กล่าวมา จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะนำวัสดุ Prepreg มาบรรจุเข้าเป็นรายวิชาบรรยายและวิชาปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมวัสดุชั้นสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อย่างไรก็ตามการเตรียมวัสดุ Prepreg นั้นจำเป็นต้องทำการตัดแผ่น Prepreg ให้มีขนาดเล็กเป็นจำนวนมากเพื่อที่จะขึ้นรูปด้วยมือเปล่า (Hand Lay-Up) ได้ด้วยอุปกรณ์การตัดพื้นฐาน ได้แก่ กรรไกรหรือมีดคัตเตอร์ [9] ซึ่งต้องใช้เวลาและเป็นสาเหตุให้เกิดความคลาดเคลื่อนของขนาดได้ ซึ่งความคลาดเคลื่อนของขนาดนั้นจะทำให้เกิดปัญหาเมื่อนำแผ่น Prepreg มาขึ้นรูปให้มีความหนามากขึ้นจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ จะควบคุมขนาดของผลิตภัณฑ์ได้ยากหรือจำเป็นต้องมีการตัดแต่งขอบเพื่อเพิ่มความสวยงาม

จากประเด็นปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทางทีมผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องตัดวัสดุ Prepreg ขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาและลดความคลาดเคลื่อนของขนาดในการตัด ทางทีมผู้วิจัยได้มีการศึกษาเทคนิคการตัดวัสดุต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น พรเทพ มานิตยวงษ์และสุวรรณี อัสกุลชัย [10] ได้ทำการพัฒนาเครื่องจักรซีเอ็นซีขนาดเล็กเพื่อตัดแผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิตโดยการประยุกต์ใช้หัวสว่านคาร์ไบด์แทนเลื่อยวงเดือน ชาญชัย พลตรีและฤทธิกุล จันทระสา [11] ได้พัฒนาเครื่องตัดแผ่นไม้กรอบรูปโดยใช้ใบมีดวงกลมคู่ โดยการตัดจะอาศัยแรงเสียดทานระหว่างใบมีดและแผ่นไม้กรอบรูป ภาณุสิทธิ์ กำปันทองและคณะ [12] ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดแผ่นฉนวนกันความร้อนโดยใช้ลักษณะการตัดแบบ

บทความวิจัย (Research Article)

โรเตอร์ ลักษณะทางกายภาพของแผ่น Prepreg ที่อุณหภูมิห้องจะมีความอ่อนและเหนียว การตัดแผ่น Prepreg นั้นควรตัดด้วยใบมีดตัดที่มีความคมและบาง ระหว่างการตัด แผ่น Prepreg จะต้องมีความตึงและใบมีดเป็นตัวที่จะต้องเคลื่อนที่เข้าหาแผ่น Prepreg เพื่อป้องกันการย่นของแผ่น Prepreg เทคนิคการตัดบางอย่างไม่สามารถใช้กับวัสดุ Prepreg ได้ เช่น การตัดด้วยน้ำแรงดันสูง (Water Jet Cutting) เนื่องจากความชื้นจากน้ำจะส่งผลให้เกิดการบวมของเรซิน

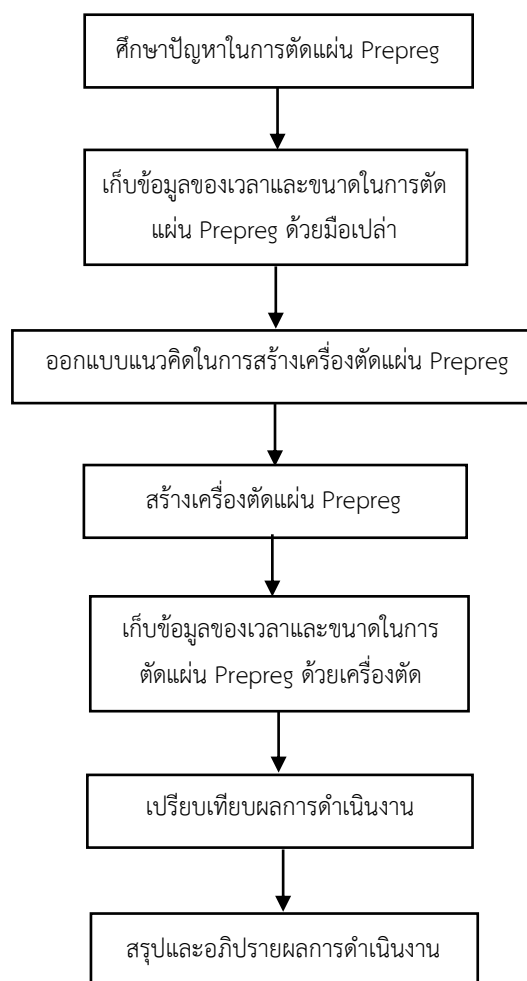
2. วิธีการดำเนินงาน

ทางทีมผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางในการดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 1

2.1 ศึกษาปัญหาในการตัดแผ่น Prepreg

คณาจารย์ที่เป็นส่วนหนึ่งของทีมผู้วิจัย มีประสบการณ์ในการทำวิจัยเกี่ยวกับการเสียรูปของวัสดุขึ้นโครงสร้างลามิเนตที่ขึ้นรูปจากแผ่น Prepreg ซึ่งจำเป็นต้องตัดแผ่น Prepreg เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมเป็นจำนวนมาก ทำให้มีความคั่นเคยในขั้นตอนการตัด และสามารถถ่ายทอดให้กับทางทีมผู้วิจัยได้เป็นอย่างดี โดยปกติม้วน Prepreg นั้นจะต้องถูกบรรจุอยู่ในถุงปิดผนึกและแช่อยู่ในช่องแช่แข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส (°C) เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของเรซินที่อุณหภูมิห้องซึ่งจะทำให้เรซินหมดอายุการใช้งาน Prepreg นั้นจะถูกจัดจำหน่ายเป็นม้วนซึ่งมักจะถูกเรียกว่า Prepreg Tape โดยจะมีขนาดหน้ากว้างที่หลากหลายให้ลูกค้าสามารถเลือกซื้อได้ ตัวอย่างของม้วน Prepreg ดังแสดงในรูปที่ 2 ก่อนที่จะนำ

แผ่น Prepreg มาตัดได้นั้น จำเป็นต้องนำ Prepreg ออกมาจากช่องแช่แข็งและทิ้งไว้ประมาณ 5-6 ชั่วโมงเพื่อให้อุณหภูมิของ Prepreg กลับมาที่อุณหภูมิห้อง โดยระหว่างที่รอนั้นจะต้องไม่นำ Prepreg ออกมาจากถุงปิดผนึกเพื่อป้องกันไอน้ำที่เกิดขึ้นจะสร้างความชื้นให้กับตัวเรซิน ซึ่งระหว่างที่ทำการตัด Prepreg นั้นก็จำเป็นที่จะต้องทำในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิประมาณ 18-20 °C ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของเรซินถ้าห้องมีอุณหภูมิที่สูงเกินไป



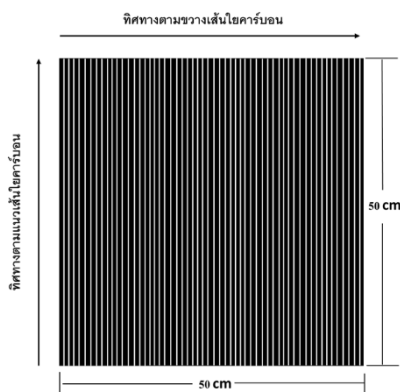
รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

บทความวิจัย (Research Article)

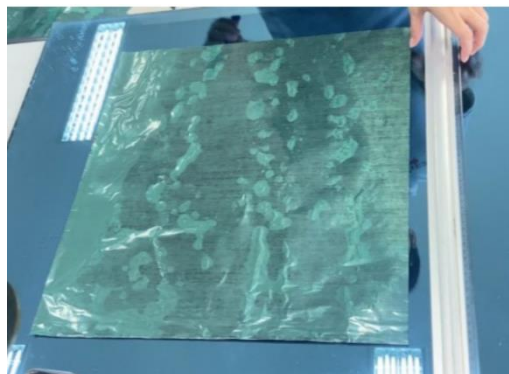


รูปที่ 2 ม้วน Prepreg [13]

สำหรับ Prepreg ที่นำมาทดลองตัดในการวิจัยนี้เป็นม้วน Prepreg ที่มีขนาดหน้ากว้าง 50 เซนติเมตร (cm) และเป็น Prepreg ที่เส้นใยคาร์บอนเรียงตัวในทิศทางเดียว (Unidirectional Prepreg) ซึ่งเป็นวัสดุที่ทางภาควิชาวิศวกรรมวัสดุชั้นสูงได้จัดเตรียมไว้สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยจะต้องทำการตัด Prepreg ให้มีขนาดเล็กลง ทีมผู้วิจัยได้ทำการตัดแผ่น Prepreg จากม้วนให้มีขนาดแผ่น 50 x 50 ตารางเซนติเมตร (cm²) ก่อนที่จะทำการทดลองตัด Prepreg ให้มีขนาดเล็กลงเป็นเส้นยาวเพื่อทำการจับเวลาและวัดความคลาดเคลื่อนของขนาด ในการทดลองตัดได้มีการทดลองทั้งการตัดในทิศทางแนวเดียวกับเส้นใยคาร์บอนและการตัดในทิศทางแนวขวางเส้นใยคาร์บอน อธิบายเพิ่มเติมดังรูปที่ 3 แผ่น Prepreg ก่อนทำการทดลองตัดดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ทิศทางในการทดลองตัดแผ่น Prepreg



รูปที่ 4 แผ่น Prepreg ก่อนการทดลองตัด

ในการตัดแผ่น Prepreg ให้มีขนาดเล็กลงนั้นจะต้องทำการวัดขนาดและกำหนดตำแหน่งก่อนที่จะตัดหรืออาจจะมีการทำเทมเพลตเพื่อช่วยลดเวลาในการวัดขนาด ในครั้งนี้ทีมผู้วิจัยได้มีการใช้บล็อกเทมเพลตที่ทำจากอะลูมิเนียมโปรไฟล์หน้ากว้าง 5 cm เพื่อให้ง่ายต่อการทดลองตัดดังแสดงในรูปที่ 5 โดยจะตัดแผ่น Prepreg เป็นเส้นให้มีขนาด 5 x 50 cm² ซึ่งจะต้องทำการตัดทั้งหมด 9 รอบ เพื่อให้ได้เส้น Prepreg จำนวน 10 เส้น ในการตัดนั้น ผู้ตัดจะต้องกดเทมเพลตให้แน่นและออกแรงกดมีดตัดเตอร์เพื่อตัดเส้นใยคาร์บอนให้ขาดในการตัดเพียงครั้งเดียวดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนใบมีดอย่างสม่ำเสมอ ถ้าตัดไม่ขาดและมีการตัดซ้ำอาจทำให้รอยตัดไม่ตรง รอยตัดเดิมซึ่งส่งผลต่อการคลาดเคลื่อนของขนาดได้ นอกจากนี้ การวางเทมเพลตและการกดเทมเพลตที่ไม่ดีพออาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของขนาดได้เช่นเดียวกัน ความคลาดเคลื่อนของขนาดในการตัด Prepreg แต่ละแผ่นนั้นจะทำให้เกิดปัญหาในตอนที่น่าำ Prepreg มาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานซึ่งจะต้องเอาแผ่น Prepreg มาวางซ้อนกัน (Hand Lay-Up) เพื่อให้เกิดความหนา ถ้าขนาดของแต่ละแผ่นมีความ

บทความวิจัย (Research Article)

คลาดเคลื่อนสูงจะทำให้ขอบของชิ้นงานไม่เท่ากัน โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีความหนาหลายๆ จึงจำเป็นต้องมีการตัดแต่งขอบ ส่งผลให้ขนาดของชิ้นงานจริงคลาดเคลื่อนตามไปด้วย จากการทดลองตัดยังพบว่าการตัดตามขวางแนวเส้นใยจะตัดได้ยากกว่าการตัดตามแนวเส้นใยเนื่องจากว่าการตัดตามขวางนั้นจำเป็นต้องตัดเส้นใยทุกเส้นให้ขาดซึ่งต้องใช้แรงในการตัดที่มากกว่า



รูปที่ 5 การตัดแผ่นพรีเพรกให้มีขนาด $5 \times 50 \text{ cm}^2$

2.2 การเก็บข้อมูลเวลาในการตัดแผ่น Prepreg

ในการจับเวลาในการตัดแผ่น Prepreg เป็นเส้น 1 ครั้งนั้นจะเริ่มจากการนำเทมเพลตมาวางทาบและทำการตัดตั้งแต่ด้านบนสุดถึงด้านล่างสุดนับเป็น 1 รอบการทำงาน ในเบื้องต้นทีมผู้วิจัยได้ทำการทดลองจับเวลา 10 ครั้งในการตัดแผ่น Prepreg ให้มีขนาด $5 \times 50 \text{ cm}^2$ ตามยาวและตามขวางแนวเส้นใย ได้ผลดังตารางที่ 1 จะเห็นว่าเวลาในการตัดแต่ละรอบนั้นมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงเนื่องจากความผันแปรของเวลาในการทาบเทมเพลตและเล็งให้ตรงขอบ

ตารางที่ 1 การจับเวลาเบื้องต้นในการตัด Prepreg 10 ครั้ง

รอบที่	เวลาตัดตามยาว (วินาที)	เวลาตัดตามขวาง (วินาที)
1	17.25	27.53
2	15.67	17.16
3	13.48	17.42
4	11.95	21.36
5	12.63	16.9
6	19.87	16.94
7	20.32	17.1
8	12.58	26.08
9	21.34	19.83
10	18.65	16.04
เฉลี่ย ($\bar{x}$)	16.374	19.636
พิสัย (R)	9.39	11.49
$R/\bar{x}$	0.57	0.585
N	55	59

จากความผันแปรของเวลาในตารางที่ 1 จึงจำเป็นต้องมีการคำนวณจำนวนรอบในการจับเวลา (N) ที่เหมาะสม โดยมีการคำนวณค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าพิสัย (R) และมีการคำนวณผลหารของค่าพิสัยและค่าเฉลี่ย เพื่อนำไปเปิดตาราง Maytag ได้จำนวนรอบการจับเวลาที่เหมาะสมภายใต้ความเชื่อมั่นที่ 95 % สำหรับการตัดตามยาวและตามขวางแนวเส้นใยอย่างน้อย 55 และ 59 รอบตามลำดับ

เนื่องจากในการตัดแผ่น Prepreg ขนาด $50 \times 50 \text{ cm}^2$ 1 แผ่น ให้เป็นแผ่นขนาด $5 \times 50 \text{ cm}^2$ จำนวน 10 แผ่นนั้น จะจับเวลาการตัดได้ 9 รอบ ดังนั้นทาง

บทความวิจัย (Research Article)

ทีมผู้วิจัยจึงทำการจับเวลาทั้งสิ้น 63 รอบ หรือ หมายถึงการตัดแผ่น Prepreg ขนาด $50 \times 50 \text{ cm}^2$ จำนวนอย่างละ 7 แผ่นสำหรับการตัดตามยาวและตามขวางแนวเส้นใย ได้ข้อมูลเวลาแสดงในตารางที่ 2 จากข้อมูลพบว่าการตัดตามขวางแนวเส้นใยคาร์บอน

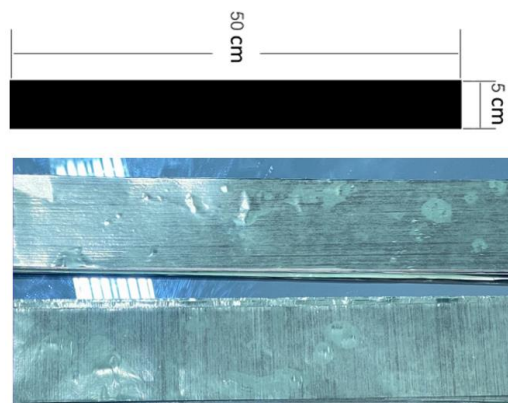
ใช้เวลาเฉลี่ยรวม 20.42 วินาที ส่วนการตัดตามแนวเส้นใยคาร์บอนใช้เวลาเฉลี่ยรวม 15.80 วินาที ซึ่งเวลาน้อยกว่าเพราะการตัดตามแนวเส้นใยคาร์บอนสามารถตัดได้ง่ายกว่า

ตารางที่ 2 ข้อมูลการจับเวลาในการตัดแผ่น Prepreg จำนวน 63 รอบสำหรับการตัดตามยาวและตามขวางแนวเส้นใยคาร์บอน

การทดสอบ (ครั้งที่)		เวลาการตัดครั้งที่ (วินาที)									เฉลี่ย (วินาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วินาที)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
ตัดตามยาว แนวเส้นใย คาร์บอน	แผ่นที่ 1	16.84	20.03	21.33	13.38	13.95	15.10	17.57	16.80	18.79	15.80	3.29
	แผ่นที่ 2	14.27	15.69	12.21	17.89	10.76	10.71	11.48	10.55	20.20		
	แผ่นที่ 3	15.29	18.28	21.40	15.13	22.09	17.92	10.92	15.59	16.70		
	แผ่นที่ 4	15.36	22.38	15.15	14.05	16.48	15.03	18.11	12.87	15.93		
	แผ่นที่ 5	18.27	18.29	16.85	13.89	14.65	10.48	22.07	11.54	10.76		
	แผ่นที่ 6	18.81	15.65	17.87	14.65	15.35	10.71	17.89	21.41	15.58		
	แผ่นที่ 7	13.39	15.19	19.21	10.98	10.73	15.23	19.44	16.98	13.34		
ตัดตาม ขวาง แนวเส้นใย คาร์บอน	แผ่นที่ 1	23.53	17.16	17.42	21.36	16.90	16.94	17.10	26.08	19.83	20.42	3.32
	แผ่นที่ 2	26.62	16.35	16.76	18.03	16.04	19.30	18.67	19.53	17.93		
	แผ่นที่ 3	18.37	17.23	18.52	19.23	20.71	16.05	25.82	17.89	20.37		
	แผ่นที่ 4	20.31	21.98	27.31	24.69	16.60	26.52	25.77	27.87	22.15		
	แผ่นที่ 5	25.35	20.12	19.56	23.86	18.53	21.98	20.69	17.55	23.11		
	แผ่นที่ 6	26.45	19.42	18.48	16.13	17.56	20.34	23.74	21.33	21.03		
	แผ่นที่ 7	26.23	18.45	21.40	19.21	19.98	18.41	17.35	19.90	17.44		

2.3 การเก็บข้อมูลขนาดในการตัดแผ่น Prepreg

จากการทดลองตัดในตารางที่ 2 ทีมผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลของขนาดความกว้างในการตัดสำหรับเส้น Prepreg แต่ละชิ้น โดยทำการวัดขนาดความกว้างส่วนหัวและส่วนท้ายของเส้น Prepreg โดยมีมาตรฐานคือขนาดความกว้างควรเท่ากับ 5 cm แสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขนาดและลักษณะของเส้น Prepreg ที่ทำการทดลองตัด

บทความวิจัย (Research Article)

ในตารางที่ 3 สามารถสังเกตได้ว่าจะเกิดความคลาดเคลื่อนสะสมในการตัดแต่ละครั้ง ทำให้ชั้นที่ 10 มีขนาดที่คลาดเคลื่อนมากที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นอื่น ๆ

ตารางที่ 3 ขนาดของเส้น Prepreg จากการทดลองตัดด้วยมือ

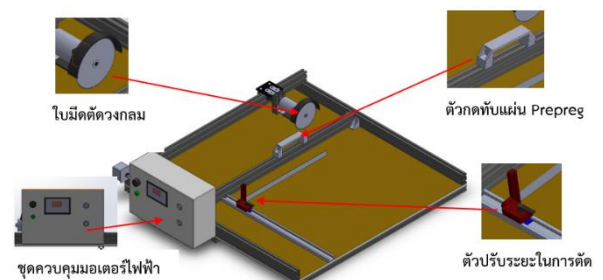
การทดสอบ	แผ่นที่	ตำแหน่ง	ขนาดชั้นที่ (cm)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ตัดตามยาว แนวเส้นใย คาร์บอน	1	หัว	5.0	5.1	5.1	5.2	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	4.3
		ท้าย	5.1	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.0	5.1	5.1	4.5
	2	หัว	5.1	5.1	5.1	5.2	5.1	5.4	5.1	5.3	5.1	3.9
		ท้าย	5.1	5.0	4.8	4.9	5.2	5.2	5.1	5.2	5.1	4.5
	3	หัว	5.0	5.2	4.9	5.3	5.2	5.3	5.1	5.2	5.3	3.8
		ท้าย	5.1	5.3	5.2	5.4	5.1	5.0	5.1	5.1	5.2	3.9
	4	หัว	5.1	5.2	5.1	5.3	5.3	5.3	5.1	5.1	5.1	3.7
		ท้าย	4.9	5.0	5.1	5.3	5.3	5.1	5.2	5.1	5.2	3.8
	5	หัว	5.0	5.1	4.8	5.3	5.2	5.3	5.2	5.2	5.3	3.7
		ท้าย	5.0	4.9	5.1	5.3	5.3	5.1	5.2	5.1	5.2	4.0
	6	หัว	4.9	4.8	5.1	5.2	5.2	5.1	5.2	5.1	5.1	4.4
		ท้าย	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.0	5.1	5.1	4.6
	7	หัว	5.0	5.1	5.1	5.2	5.0	5.4	5.1	5.3	5.1	3.9
		ท้าย	4.9	5.0	5.2	5.2	5.0	5.0	5.3	5.2	5.2	4.1
ตัดตามขวาง แนวเส้นใย คาร์บอน	1	หัว	5.0	5.6	4.9	5.1	5.2	5.3	5.2	5.3	5.5	3.1
		ท้าย	5.1	5.3	5.2	5.1	5.2	5.1	5.1	5.1	5.2	3.9
	2	หัว	5.1	5.2	5.1	5.1	5.2	5.1	5.1	5.2	5.3	3.8
		ท้าย	5.0	5.2	5.1	5.0	5.4	5.3	5.5	5.3	4.9	3.5
	3	หัว	5.5	5.3	4.9	5.4	5.2	5.3	5.1	5.2	5.3	3.0
		ท้าย	5.1	5.3	5.2	5.3	5.1	5.0	5.1	5.1	5.2	3.9
	4	หัว	5.1	5.4	5.1	5.3	5.3	5.3	5.1	5.1	5.1	3.5
		ท้าย	5.2	5.2	5.1	5.3	5.3	5.1	5.2	5.1	5.2	3.4
	5	หัว	5.2	5.3	5.1	5.3	5.1	4.9	5.1	5.1	5.2	3.9
		ท้าย	5.3	5.2	4.9	5.4	5.3	5.3	5.2	5.3	5.3	3.0
	6	หัว	5.1	5.2	5.2	5.3	5.2	5.0	5.1	4.9	5.3	3.9
		ท้าย	5.0	5.3	5.1	5.3	5.1	4.9	5.1	5.3	5.2	3.8
	7	หัว	5.1	5.2	5.3	5.3	5.2	5.1	5.2	5.2	5.3	3.3
		ท้าย	5.2	4.8	5.1	5.3	5.1	5.2	5.3	5.2	4.9	4.1

2.4 แนวคิดในการออกแบบเครื่องตัด Prepreg

ทีมผู้วิจัยได้ทำการประชุมเพื่อเสนอแนวคิดในการออกแบบ โดยให้ความสำคัญกับขนาดของโครงสร้างเครื่อง (กว้าง×ยาว×สูง) น้ำหนักของเครื่อง ลักษณะการทำงานของเครื่อง ความหนาของแผ่น Prepreg

ที่สามารถตัดได้และความเร็วในการตัด ซึ่งได้แนวคิดของเครื่องตัด Prepreg มาทั้งหมด 3 รูปแบบ

1) แนวคิดที่ 1 เลือกใช้วัสดุอลูมิเนียมโปรไฟล์ มาทำเป็นโครงสร้างโดยขนาดของตัวเครื่องมีความกว้าง 80 cm ยาว 80 cm และสูง 15 cm เครื่องสามารถทำงานกึ่งอัตโนมัติได้โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนในการตัดแผ่น Prepreg ออกแบบให้ตัวเครื่องใช้ใบมีดตัดวงกลมในการตัดและสามารถเปลี่ยนใบมีดตัดได้ง่ายเมื่อเสื่อมสภาพ มีตัวปรับระยะในการตัดรวมทั้งตัวกดทับแผ่น Prepreg ให้อยู่กับที่ ทำให้สามารถตัดได้ง่าย ลักษณะของเครื่องดังแสดงในรูปที่ 7

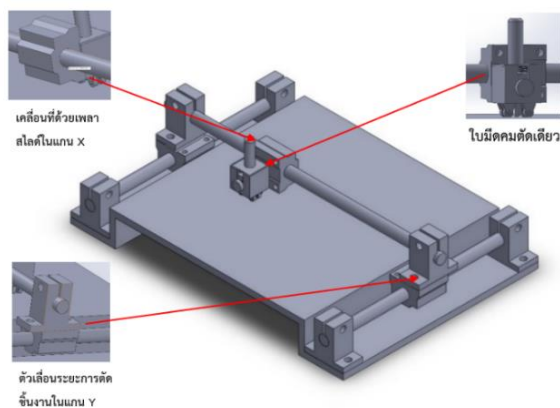


รูปที่ 7 แนวคิดที่ 1 ในการออกแบบเครื่องตัดแผ่น Prepreg

2) แนวคิดที่ 2 เลือกใช้วัสดุสแตนเลสมาทำเป็นโครงสร้างโดยมีขนาดของตัวเครื่องมีความกว้าง 100 cm ยาว 120 cm และสูง 15 cm ไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน ออกแบบให้ตัวเครื่องขับเคลื่อนด้วยเพลาสไลด์ในแกน X และใช้ใบมีดคมตัดเดียวในการตัดแผ่น Prepreg สามารถเลื่อนระยะ

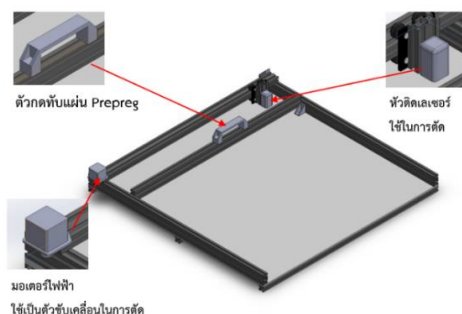
บทความวิจัย (Research Article)

การตัดในแกน Y และสามารถเปลี่ยนใบมีดตัดเมื่อเสื่อมสภาพ ลักษณะของเครื่องดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แนวคิดที่ 2 ในการออกแบบเครื่องตัดแผ่น Prepeg

3) แนวคิดที่ 3 เลือกใช้วัสดุอลูมิเนียมโปรไฟล์ มาทำเป็นโครงสร้างโดยมีขนาดของตัวเครื่องมีความกว้าง 75 cm ยาว 75 cm และสูง 15 cm เครื่องสามารถทำงานกึ่งอัตโนมัติได้โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนในการตัดแผ่น Prepeg (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 แนวคิดที่ 3 ในการออกแบบเครื่องตัดแผ่น Prepeg

โดยออกแบบให้ตัวเครื่องใช้หัวตัดเลเซอร์ในการตัด และมีตัวกดทับแผ่น Prepeg ทำให้สามารถตัดได้ง่าย ลักษณะของเครื่องดังแสดงในรูปที่ 9

จากแนวคิดที่ทำการออกแบบมาทั้ง 3 แบบนั้น มีส่วนประกอบหรือรายละเอียดที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการเปรียบเทียบเพื่อเลือกแนวคิดที่ดีและเหมาะสมที่สุด โดยได้ขอความอนุเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านเพื่อช่วยในการประเมิน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญ 1 ท่านเป็นคณาจารย์หนึ่งในทีมผู้วิจัย ส่วนผู้เชี่ยวชาญอีก 2 ท่านเป็นคณาจารย์ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบและสร้างเครื่องจักรของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ทางทีมผู้เชี่ยวชาญได้กำหนดคุณลักษณะของเครื่องตัดเป็น 11 คุณลักษณะและได้มีการกำหนดค่าน้ำหนักเพื่อแสดงถึงความสำคัญของแต่ละคุณลักษณะ ผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านได้ทำการให้คะแนนประเมินแต่ละปัจจัย โดยคะแนน 1 หมายถึงต่ำมาก 2 หมายถึงต่ำ 3 หมายถึงปานกลาง 4 หมายถึงสูง และ 5 หมายถึงสูงมาก ผลการประเมินดังแสดงในตารางที่ 4 หลังจากนั้นได้นำคะแนนจากผู้เชี่ยวชาญมาทำการเฉลี่ยและนำไปคูณกับน้ำหนักผลรวมของคะแนนจากทุกคุณลักษณะทำให้แนวคิดที่ 1 เป็นแนวคิดที่ถูกเลือกมาทำการสร้างเครื่องตัดจริง

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 4 การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	คุณลักษณะของเครื่องตัด	ค่าน้ำหนัก	คะแนนประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ											
			แนวคิดที่ 1				แนวคิดที่ 2				แนวคิดที่ 3			
			คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	เฉลี่ย	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	เฉลี่ย	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	เฉลี่ย
1	ขนาดโครงสร้างของเครื่อง (กว้างxยาวxสูง)	0.12	4	4	4	4.0	4	4	4	4.0	4	3	3	3.3
			0.48				0.48				0.4			
2	น้ำหนักของเครื่อง	0.10	4	4	4	4.0	3	3	4	3.3	4	4	4	4.0
			0.4				0.33				0.4			
3	ความเร็วในการตัด	0.10	4	5	5	4.7	3	3	4	3.3	4	4	4	4.0
			0.47				0.33				0.4			
4	คุณภาพของรอยตัด	0.12	3	4	4	3.7	4	4	5	4.3	2	2	3	2.3
			0.44				0.52				0.28			
5	ความหนาของชิ้นงานที่ตัดได้	0.10	4	4	4	4.0	2	2	2	2.0	5	4	4	4.3
			0.4				0.2				0.43			
6	การปรับระยะในการตัดได้	0.08	3	3	4	3.3	4	4	4	4.0	2	2	3	2.3
			0.27				0.32				0.187			
7	ระยะเวลาในการเปลี่ยนใบมีดตัด	0.08	4	4	5	4.3	2	3	3	2.7	5	4	5	4.7
			0.35				0.21				0.37			
8	ปรับความเร็วใบมีดตัดได้	0.05	5	5	5	5.0	3	3	2	2.7	3	4	3	3.3
			0.25				0.13				0.17			
9	มีอุปกรณ์ช่วยจับชิ้นงานขณะตัดได้	0.07	4	4	5	4.3	2	2	3	2.3	4	4	4	4.0
			0.30				0.16				0.28			
10	การทำงานของระบบการตัด	0.08	5	5	4	4.7	3	3	3	3.0	4	4	4	4.0
			0.37				0.24				0.32			
11	งบประมาณในการสร้าง	0.10	3	4	4	3.7	3	4	4	3.7	3	3	3	3.0
			0.37				0.37				0.3			
	รวมคะแนน	1.00	4.09				3.30				3.54			

2.5 การสร้างเครื่องตัดแผ่น Prepreg

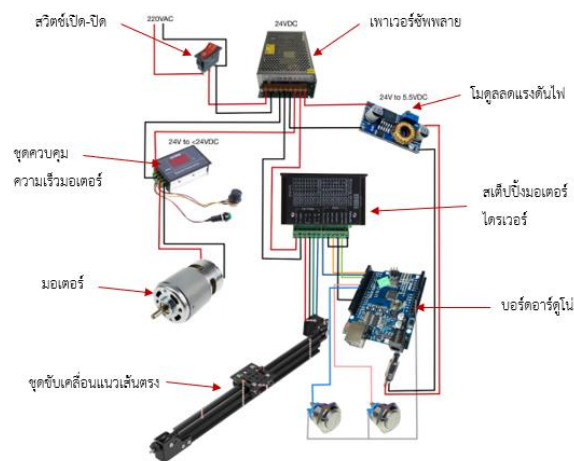
ทีมผู้วิจัยได้เลือกแนวคิดที่ 1 ในการสร้างเครื่องตัดแผ่น โดยส่วนประกอบของเครื่องมี 2 ส่วน ดังนี้

1) โครงสร้างหลักของเครื่องทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ทรงสี่เหลี่ยมขนาด $2 \times 4 \times 80 \text{ cm}^3$ จำนวน 2 ชิ้น และขนาด $2 \times 2 \times 80 \text{ cm}^3$ จำนวน 3 ชิ้น นำมาประกอบยึดติดกันเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด $80 \times 80 \text{ cm}^2$ และมีแผ่นอะคริลิคความหนา 5 mm ตัดทำเป็นฐานรองรับชิ้นงานขนาด $80 \times 80 \text{ cm}^2$ จำนวน 1 แผ่น นำมายึดติดกับโครงสร้างหลัก มีตัวกดที่ยกขึ้นลงได้สำหรับกดทับแผ่น Prepreg ทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด $2 \times 4 \times 75 \text{ cm}^3$ จำนวน 1 ชิ้น และมีชุดขับเคลื่อนแนวเส้นตรงสำหรับขับเคลื่อนเลื่อนชุดใบมีดตัดประกอบติดตั้งเข้ากับ

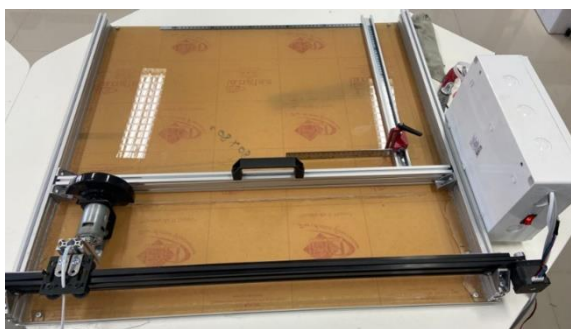
โครงสร้างหลักด้านหน้าเครื่อง ใบมีดตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 mm ใบมีดจะประกอบยึดกับมอเตอร์ไฟฟ้า DC 24 V ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนชุด

2) ส่วนควบคุมการทำงานของเครื่อง ประกอบด้วยกล่องควบคุม มีปุ่มควบคุมการทำงานได้แก่ ปุ่ม ON/OFF ใช้สำหรับสั่งเปิด-ปิดเครื่อง ปุ่มหมุนควบคุมความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนใบมีดตัด ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบของใบมีดตัด หน้าจอแสดงเปอร์เซ็นต์ความเร็วของมอเตอร์ขับเคลื่อนใบมีดตัด และปุ่มสตาร์ทการตัด ใช้สำหรับสั่งชุดระบบขับเคลื่อนใบมีดตัดเลื่อนตัดเป็นแนวเส้นตรง ภายในกล่องควบคุมประกอบด้วยเพาเวอร์ซัพพลาย ชุดบอร์ดควบคุมอุปกรณ์ต่างๆและวงจรไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 10 เครื่องตัดแผ่น Prepreg ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 11

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 10 วงจรไฟฟ้าควบคุมเครื่องตัดแผ่น Prepreg



รูปที่ 11 เครื่องตัดแผ่น Prepreg

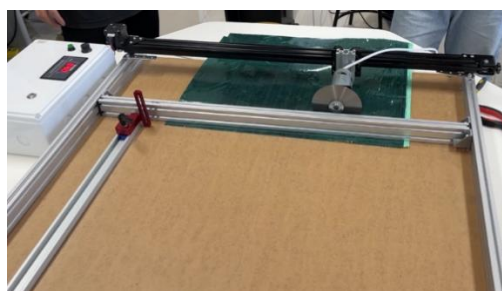
การทำงานของเครื่อง เริ่มต้นโดยการปรับตั้งระยะ ความยาวที่ต้องการจะตัด ป้อนแผ่น Prepreg เข้าไปในเครื่องในส่วนพื้นที่การตัด แล้วใช้ตัวกดทับกดลงบนแผ่น Prepreg เพื่อไม่ให้เกิดการขยับระหว่างการตัด จากนั้นกดปุ่ม ON ที่กล่องควบคุมการทำงานของเครื่องจะเป็นการสั่งมอเตอร์ขับใบมีดตัดหมุน แล้วทำการหมุนปุ่มปรับความเร็วรอบของชุดใบมีดตัดกรณีต้องการเพิ่ม-ลดความเร็ว และเริ่มทำการตัดด้วยการกดปุ่มสตาร์ทการตัด เครื่องจะทำการตัดโดยชุดใบมีดตัดจะเคลื่อนที่ตัดแผ่น Prepreg เป็นแนวเส้นตรง เป็น

การทำงานของเครื่องครบ 1 รอบ เมื่อต้องการหยุดการทำงานของเครื่องให้กดปุ่ม OFF ที่กล่องควบคุม

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 จับเวลาการตัดแผ่น Prepreg ด้วยเครื่องตัด

ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการทดสอบตัดแผ่น Prepreg เพื่อทำการจับเวลา โดย 1 รอบการทำงานจะเริ่มตั้งแต่การนำแผ่น Prepreg ใส่ลงไปเครื่องจนกระทั่งเครื่องตัดแผ่น Prepreg เสร็จ ลักษณะการวางแผ่น Prepreg ดังแสดงในรูปที่ 12 ได้ทำการเก็บข้อมูลเวลาเพื่อเทียบเคียงกับการตัดด้วยมือ (ตารางที่ 2) ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งสังเกตได้ว่าเครื่องสามารถตัดแผ่น Prepreg ทั้งแนวตามยาวและตามขวางของเส้นใยได้เวลาเฉลี่ยใกล้เคียงกันที่ 23.16 และ 23.45 วินาที ตามลำดับ เนื่องจากการทำงานของใบมีดเป็นการลดปัจจัยจากการตัดด้วยแรงคน อย่างไรก็ตามการตัดแผ่น Prepreg ด้วยเครื่องตัด 1 รอบนั้นยังใช้เวลาเฉลี่ยมากกว่าการตัดด้วยมือเปล่า เนื่องจากการเดินของใบมีดนั้นช้ากว่า แต่เครื่องตัดนั้นสามารถตัดแผ่น Prepreg ที่ซ้อนกันได้อย่างน้อย 2 แผ่น ซึ่งถือเป็นข้อได้เปรียบในการลดเวลาในการเตรียมแผ่น Prepreg ถ้าเทียบกับการตัดด้วยมือเปล่า



รูปที่ 12 ลักษณะการตัดแผ่น Prepreg ด้วยเครื่องตัด

บทความวิจัย (Research Article)

3.2 ข้อมูลขนาดการตัดแผ่น Prepreg ด้วยเครื่องตัด

จากการทดลองในตารางที่ 5 ทางทีมผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลของขนาดโดยมีวิธีการวัดเช่นเดียวกันกับการตัด

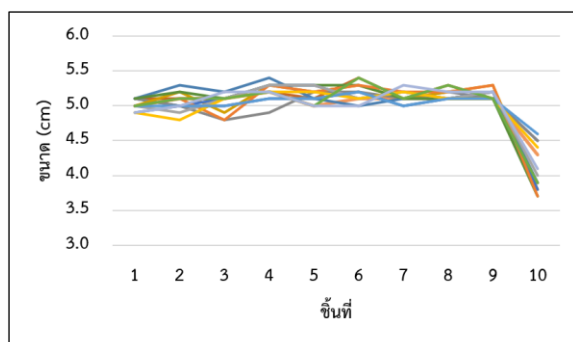
ด้วยมือเปล่าและมีการเก็บข้อมูลลักษณะเช่นเดียวกับตารางที่ 3 หลังจากนั้นได้นำข้อมูลมาสร้างกราฟเพื่อดูความเที่ยงตรงของขนาดแต่ละชิ้น

ตารางที่ 5 ข้อมูลเวลาการตัดแผ่น Prepreg ด้วยเครื่องตัด

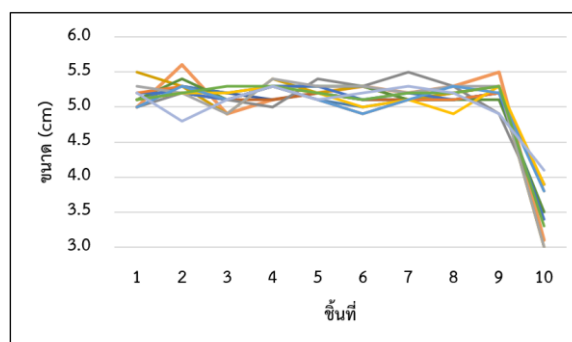
การทดสอบ (ครั้งที่)		เวลาการตัดครั้งที่ (วินาที)									เฉลี่ย (วินาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วินาที)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
ตัดตามยาว แนวเส้นใย คาร์บอน	แผ่นที่ 1	28.15	26.81	21.61	23.53	23.92	26.94	26.81	21.61	23.53	23.16	2.26
	แผ่นที่ 2	22.57	26.73	23.59	22.96	25.45	22.57	26.73	23.59	22.96		
	แผ่นที่ 3	20.58	23.2	19.6	21.24	22.59	20.58	23.2	19.6	21.24		
	แผ่นที่ 4	26.67	21.67	24.72	19.75	19.75	26.67	21.67	24.72	19.75		
	แผ่นที่ 5	20.28	20.72	21.77	21.32	26.59	20.28	20.72	21.77	21.32		
	แผ่นที่ 6	23.9	24.15	20.92	24.02	25.07	23.9	24.15	20.92	24.02		
	แผ่นที่ 7	25.59	23.66	22.49	25.6	21.03	25.59	23.66	22.49	25.6		
ตัดตาม ขวาง แนวเส้นใย คาร์บอน	แผ่นที่ 1	27.83	24	22.84	24.97	19.21	20.54	23.31	26.93	25.57	23.45	2.28
	แผ่นที่ 2	19.58	19.69	20.72	23.2	23.29	23.01	24.76	19.6	24.09		
	แผ่นที่ 3	24	24.47	26.21	25.64	19.95	20.22	24.2	23.16	20.92		
	แผ่นที่ 4	21.53	20.48	25.85	25.11	24.28	23.45	23.54	23.3	24.57		
	แผ่นที่ 5	21.96	23.02	23.07	19.91	21.92	24.6	26.94	26.12	26.08		
	แผ่นที่ 6	25.89	19.42	19.41	26.38	20.84	22.57	26.67	26.02	24.89		
	แผ่นที่ 7	22.3	24.75	24.83	21.88	25.71	24.43	24.76	24.01	24.68		

รูปที่ 13 แสดงกราฟขนาดของแผ่น Prepreg ที่ถูกตัดด้วยมือเปล่า (ข้อมูลจากตารางที่ 3) และรูปที่ 14 แสดงกราฟขนาดของแผ่น Prepreg ที่ถูกตัดด้วย

เครื่องตัด จะเห็นได้ชัดเจนว่าเครื่องตัดสามารถตัดขนาดได้เที่ยงตรงกว่าโดยชิ้นที่ 10 ยังมีขนาดที่ใกล้เคียงกับชิ้นอื่น ๆ ทั้งการตัดตามแนวและตามขวาง



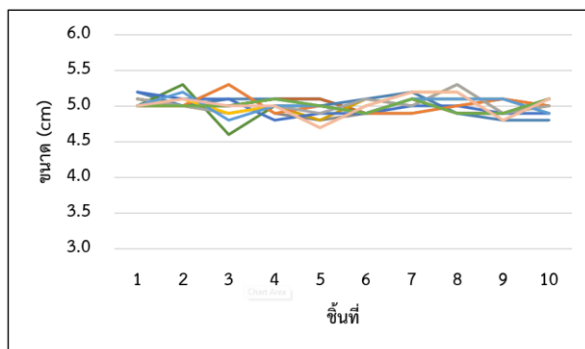
ก) ตัดตามแนวเส้นใย



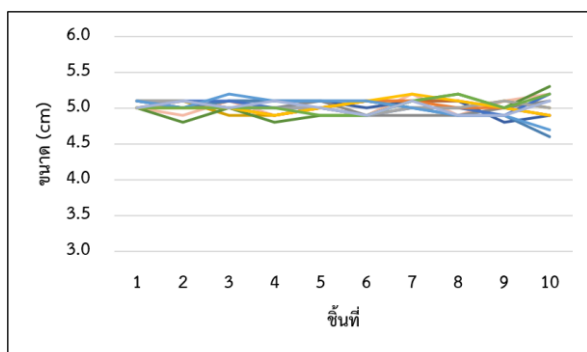
ข) ตัดตามขวางเส้นใย

รูปที่ 13 กราฟแสดงขนาดของแผ่น Prepreg ที่ถูกตัดด้วยมือ

บทความวิจัย (Research Article)



ก) ตัดตามแนวเส้นใย



ข) ตัดตามขวางเส้นใย

รูปที่ 14 กราฟแสดงขนาดของแผ่น Prepreg ที่ถูกตัดด้วยเครื่องตัด

4. สรุปผลการดำเนินงาน

ทางทีมผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาในการตัดเตรียมวัสดุแผ่น Prepreg สำหรับทำการทดลองในปฏิบัติการวัสดุผสมสำหรับภาควิชาวิศวกรรมวัสดุชั้นสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา การเตรียมวัสดุ Prepreg นั้นจำเป็นต้องใช้แรงงานคนในการตัดเนื่องจากวัสดุชนิดนี้ถูกจัดจำหน่ายเป็นม้วน ทีมผู้วิจัยได้ทำการทดลองตัดพบว่าปัญหาหลัก ๆ คือ สามารถตัดได้เพียงครั้งละ 1 ชิ้น เนื่องจากถ้านำแผ่น Prepreg มาซ้อนกันจะไม่สามารถตัดให้ขาดได้ในบางครั้ง ขนาดของแผ่น Prepreg ที่ตัดได้มีความคลาดเคลื่อนสูงซึ่ง

เกิดความคลาดเคลื่อนสะสมทำให้ขนาดของแต่ละแผ่นมีความแตกต่างกันและส่งผลให้แผ่นสุดท้ายมีขนาดเล็กที่สุดซึ่งจำเป็นต้องทิ้ง ทางทีมผู้วิจัยได้ออกแบบแนวคิดของเครื่องตัดมา 3 รูปแบบและได้มีการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียรวมทั้งให้คะแนนเพื่อเลือกแนวคิดที่เหมาะสมที่สุด หลังจากนั้นได้ทำการสร้างเครื่องตัดขึ้นมาและทำการเก็บข้อมูลของเวลาและขนาดเพื่อเทียบกับการตัดด้วยมือเปล่า

ผลการดำเนินงานพบว่า การตัดด้วยมือเปล่า (ตารางที่ 2) ได้เวลาเฉลี่ยสำหรับการตัดตามแนวเส้นใยและตามขวางเส้นใยอยู่ที่ 15.80 และ 20.42 วินาทีตามลำดับ ส่วนการตัดด้วยเครื่องตัด (ตารางที่ 5) ได้เวลาเฉลี่ยสำหรับการตัดตามแนวเส้นใยและตามขวางเส้นใยอยู่ที่ 23.16 และ 23.45 วินาทีตามลำดับ อย่างไรก็ตามการตัดด้วยเครื่องนั้นสามารถตัดแผ่น Prepreg ซ้อนกันได้น้อย 2 แผ่น ทำให้สามารถเทียบเคียงได้ว่าเวลาเฉลี่ยในการตัด 1 ครั้งของเครื่องตัดสำหรับการตัดตามแนวเส้นใยและตามขวางเส้นใยอยู่ที่ 11.58 และ 11.72 วินาทีตามลำดับ ซึ่งลดลงคิดเป็นประมาณ 26.70 % และ 42.61 % ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในการตัดแผ่น Prepreg ด้วยเครื่องตัดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการตัดด้วยมือเปล่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในการตัดตามแนวเส้นใย ตัดด้วยมือเปล่าเท่ากับ 3.29 วินาทีและตัดด้วยเครื่องเท่ากับ 2.26 วินาที ซึ่งลดลงประมาณ 31.31 % ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในการตัดตามขวางเส้นใย ตัดด้วยมือเปล่าเท่ากับ 3.32 วินาทีและตัดด้วยเครื่องเท่ากับ 2.28 วินาที ซึ่งลดลงประมาณ 31.33 % สำหรับการประเมินความคลาดเคลื่อนของขนาด

บทความวิจัย (Research Article)

พบว่าการตัดด้วยมือ (ตารางที่ 3 และรูปที่ 13) จะเกิดความคลาดสะสมทำให้ชั้นที่ 10 มีขนาดที่เล็กกว่าชั้นอื่น ส่วนการตัดด้วยเครื่องจะได้ขนาดที่ใกล้เคียงกันในแต่ละชั้น (รูปที่ 14)

5. อภิปรายผลการดำเนินงาน

เครื่องตัด Prepreg ที่ถูกสร้างขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบแรกสำหรับห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถตัดแผ่น Prepreg ให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมได้ โดยขนาดหน้ากว้างของม้วน Prepreg ที่รองรับได้อยู่ที่ประมาณ 60 cm ซึ่งเพียงพอสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ ในอนาคตสามารถพัฒนาเครื่องให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้เพื่อรองรับม้วน Prepreg ที่ใหญ่ขึ้น ทั้งนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงการเคลื่อนย้ายและพื้นที่ในการจัดเก็บ ปัจจุบันมีเครื่องตัดแผ่น Prepreg ขนาดใหญ่ถูกสร้างมาเพื่อจัดจำหน่ายซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้ระบบ CNC ในการควบคุม ทำให้เครื่องเหล่านี้มีราคาแพงมากเริ่มต้นที่ประมาณ 3 ถึง 4 ล้านบาท ด้วยเครื่องที่มีขนาดใหญ่และราคาที่แพงจึงเกินความจำเป็นที่จะนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากไม่ได้มีการตัดแผ่น Prepreg เพื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ขายในเชิงพาณิชย์

แผ่น Prepreg ที่ถูกตัดด้วยเครื่องตัดในงานวิจัยนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนของขนาดอยู่เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนจากการหมุนของมอเตอร์ระหว่างการตัดรวมทั้งข้อจำกัดของตัวกดทับแผ่น Prepreg ที่ยังอาศัยน้ำหนักของแท่งอลูมิเนียมโปรไฟล์ซึ่งอาจจะทำให้การยึดแผ่น Prepreg ให้อยู่กับที่ยังไม่ดีพอ ในอนาคตสามารถปรับปรุงและพัฒนาเครื่องตัดแผ่น Prepreg ให้มีความแม่นยำในการตัดมากยิ่งขึ้น โดย

ออกแบบเพลลาประกอบมอเตอร์เพื่อลดแรงสั่นสะเทือนและออกแบบอุปกรณ์ในการกดทับแผ่น Prepreg ใหม่ โดยอาจจะใช้ระบบนิวแมติกส์ร่วมกับกระบอกลูกสูบลมเข้ามาช่วยเพื่อให้การจับยึดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาข้อมูลเชิงลึกเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องตัดได้ในอนาคตเมื่อมีนิสัยมาทำการทดลองใช้เครื่องแล้ว โดยอาจมีการศึกษาความต้องการโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment : QFD) เพื่อพัฒนาเครื่องในรูปแบบที่ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น รวมทั้งยังสามารถศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อคุณภาพของการตัด เช่น ความเร็วในการเดินใบมีด ความเร็วรอบของใบมีด อายุของใบมีด ความหนาที่ตัดได้และคุณภาพของรอยตัด โดยอาจใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ส่วนสุดท้ายที่ไม่สามารถละเลยได้คือ มาตรการด้านความปลอดภัยของเครื่องตัด ซึ่งเครื่องตัดต้นแบบแรกนี้มีเพียงฝาครอบใบมีดเท่านั้น ในการพัฒนาเครื่องต่อไปควรเพิ่มสวิทช์ฉุกเฉินเพื่อหยุดการทำงานของเครื่องและอาจจะเพิ่มฝาครอบเครื่องด้านบน

ต้นทุนในการสร้างเครื่องตัดแผ่น Prepreg ต้นแบบนี้อยู่ที่ 11,096 บาท ซึ่งถือเป็นต้นทุนที่ไม่สูงมากนัก อย่างไรก็ตามการพิจารณาถึงความคุ้มค่านั้น จำเป็นต้องมีการนำเครื่องไปใช้จริงในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบเวลาในการเตรียมแผ่น Prepreg ที่ลดลงกับอายุการใช้งานของเครื่องตัดรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ซึ่งในส่วนนี้ยังต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์อีกระยะหนึ่ง

บทความวิจัย (Research Article)

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนโครงการงานวิศวกรรมที่สนับสนุนงบประมาณและภาควิชาวิศวกรรมวัสดุชั้นสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่สนับสนุนวัสดุ Prepreg ในการทำการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Esfandiari *et al.*, "Production and processing of pre-impregnated thermoplastic tapes by pultrusion and compression moulding," *Journal of Composite Materials*, vol. 56, no. 11, pp. 1667–1676, 2022.
- [2] L. Moretti *et al.*, "Characterization and modelling of cure-dependent properties and strains during composites manufacturing," *Journal of Composite Materials*, vol. 54, no. 22, pp. 3109–3124, 2020.
- [3] L. Moretti *et al.*, "Experimental study and in-situ FBG monitoring of process-induced strains during autoclave co-curing, co-bonding and secondary bonding of composite laminates," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 142, p. 106224, 2020.
- [4] A. Lerdwongpaisan, B. Castanie, and P. Olivier, "Effect of release agent on process-induced deformation in autoclave curing of laminate composites," in *Proceedings of the 20th European Conference on Composite Materials (ECCM20)*, Lausanne, Switzerland, 2022, pp. 470–477.
- [5] E. Delsol *et al.*, "A digital method for the compensated mold design of composite parts," in *Proceedings of the 34th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2024)*, Florence, Italy, 2024, pp. 1–13.
- [6] F. Neveu *et al.*, "Manufacturing and impact behaviour of aeronautic overmolded grid-stiffened thermoplastic carbon plates," *Composite Structures*, vol. 284, no. 5, p. 115228, 2022.
- [7] J. Serra *et al.*, "Combined loadings after medium velocity impact on large CFRP laminated plates: Discrete ply model simulations," *Composites Part C*, vol. 6, no. 15, p. 100203, 2021.
- [8] M. Ginot *et al.*, "Local buckling on large sandwich panels used in light aviation: Experimental setup and failure scenarios," *Composite Structures*, vol. 304, no. 4, p. 116439, 2023.
- [9] M. Sokolowski, "Process of preparing and laying carbon preregs," *Transactions of*

บทความวิจัย (Research Article)

*The Institute of Aviation, Warsaw,
Poland, 2017.*

- [10] พรเทพ มานิตยวงศ์ และ สุวรรณิ อัสกุลชัย,
"การพัฒนาเครื่องจักรซีเอ็นซีขนาดเล็กเพื่อตัด
แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต," *วารสาร
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ,*
ปีที่ 13, ฉบับที่ 1, หน้า 143–150, 2561.
- [11] ชาญชัย พลตรี และ ฤทธิชัย จันทระสา, "การ
พัฒนาเครื่องตัดแผ่นไม้กรอบรูปภาพด้วยการ
ประยุกต์วิศวกรรมย้อนรอย," ใน *การประชุม
วิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 35,*
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2560, หน้า 31–36.
- [12] ภาณุสิทธิ์ กำปั่นทอง และคณะ, "การออกแบบ
และพัฒนาเครื่องตัดแผ่นฉนวนกันความร้อน
ประสิทธิภาพสูงเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการ
ผลิต," ใน *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรม
อุตสาหกรรม ครั้งที่ 32, สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557.*
- [13] ZOLTEK Corporation, *Technical
Datasheet ZOLTEK™ PX35 PREPREG
TAPES*, Report No. WP 1030030 HH,
ZOLTEK Toray Group, Bridgeton.

บทความวิจัย (Research Article)

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษาระบบวิศวกรรมประกอบอาคาร

มะลิวัน ลี^{1,*} และ สันต์ รัฐวิบูลย์¹

¹ สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

*ผู้ประสานงานบทความฉบับ: 6614940007@ru.ac.th โทรศัพท์: 092-3471254

(รับบทความ: 25 มีนาคม 2568; แก้ไขบทความ: 28 เมษายน 2568; ตอรับบทความ: 29 เมษายน 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการปฏิบัติงานและวางแผนการจัดการงานบำรุงรักษา รวมถึงการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษาระบบวิศวกรรมประกอบอาคาร จากการศึกษาพบว่าหน่วยงานกรณีศึกษาขาดเครื่องมือในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การกระจายภาระงานไม่สมดุล ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล ร่วมกับการประยุกต์ใช้หลักการบริหารจัดการทรัพยากรอาคารและทฤษฎีการบำรุงรักษา เพื่อพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันด้วยโปรแกรมแอปซีต โดยมีการใช้ผังการดำเนินงาน และแผนภาพกระแสข้อมูล เพื่อลำดับกระบวนการปฏิบัติงานและแสดงภาพรวมของระบบ ผลการวิจัยพบว่าหลังจากนำระบบไปใช้งาน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณงานลดลงจาก 143.13 เหลือ 28.66 แสดงถึงการกระจายภาระงานที่สมดุลมากขึ้น นอกจากนี้ ระยะเวลาเฉลี่ยในการดำเนินงานแต่ละประเภท เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ และระบบดับเพลิง ลดลงอย่างชัดเจน อีกทั้งชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ลดลงจาก 139.46 ชั่วโมง เหลือ 86.26 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 38.15 แสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การบำรุงรักษา เว็บแอปพลิเคชัน แอปซีต ปริมาณงาน

การอ้างอิงบทความ: มะลิวัน ลี และ สันต์ รัฐวิบูลย์, "การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษาระบบวิศวกรรมประกอบอาคาร," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 3, หน้า 17-35, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

Development of Web Application for Building Services Engineering Management

Maliwan Lee^{1,*}, and San Rathviboon¹

¹ Engineering Management and Technology Program, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University

* Corresponding Author: 6614940007@ru.ac.th, Tel: 092-347-1254

(Received: March 25, 2025; Revised: April 28, 2025; Accepted: April 29, 2025)

Abstract

This research aims to improve the maintenance management process and planning, including the development of a web application for building service engineering management. The study found that the case study agencies lacked effective maintenance management tools, leading to an imbalance in workload distribution. The researcher analyzed the problem using a cause-and-effect diagram, along with the application of facilities management and maintenance theory, to develop a web application system using AppSheet. The operation flowchart and data flow diagram were used to sequence the work processes and provide an overview of the system. The results of the research showed that after the system was implemented, the standard deviation of the workload decreased from 143.13 to 28.66, indicating a more balanced workload distribution. Furthermore, the average time spent on each type of operation — including electrical systems, air conditioning systems, and fire extinguishing systems — was significantly reduced. The average working hours during January–February also decreased from 139.46 hours to 86.26 hours, a reduction of 38.15%, indicating that the developed application can significantly improve the efficiency of maintenance management.

Keywords: Maintenance, Web Application, AppSheet, Workload

Please cite this article as: M. Lee and S. Rathviboon, “Development of Web Application for Building Services Engineering Management,” *The Journal of Engineering and Industrial Technology*, Kalasin University, vol. 3, no. 3, pp. 17-35, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

งานบำรุงรักษาระบบวิศวกรรมอาคารถือได้ว่าเป็นความสำคัญอย่างมากในปัจจุบัน หากมีการบำรุงรักษาได้ไม่ดีเท่าที่ควร จะส่งผลกระทบต่อการใช้งานและระบบต่างๆ ภายในอาคาร จึงต้องมีการวางแผนงานบำรุงรักษาให้ครอบคลุมและสอดคล้องกับมาตรฐานทางวิศวกรรม เพื่อให้การบำรุงรักษาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับผู้ใช้งานอาคาร [1] โดยในการวางแผนงานบำรุงรักษา จะต้องคำนึงถึงหลักการบริหารจัดการระบบสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคาร (Facility Management) รวมถึงหลักการดำเนินงานวิศวกรรมซ่อมบำรุง (Operation and maintenance management) เพื่อให้ระบบภายในอาคาร สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และไม่เกิดปัญหาตามมาภายหลัง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบ และดูแลบำรุงรักษางานระบบอย่างสม่ำเสมอ รวมถึงต้องมีการจัดทำแผนงานบำรุงรักษาภายในอาคารอย่างเหมาะสม [2]

การวางแผนงานบำรุงรักษาอาคาร มีส่วนช่วยในการยืดอายุการใช้งานของอาคาร และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง รวมถึงเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานอาคาร เพื่อให้ระบบภายในอาคารสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องมีการประเมินสภาพของอาคาร โดยการตรวจสอบโครงสร้างและงานระบบต่าง ๆ รวมถึงประเมินความเสี่ยงและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น ให้สามารถเลือกวิธีการบำรุงรักษาได้เหมาะสมกับแต่ละปัญหา [3] แล้วจัดทำแผนงานบำรุงรักษาให้สอดคล้องกับลำดับความสำคัญของงาน และมีการติดตามความคืบหน้าของแผนงาน รวมถึงตรวจสอบผลลัพธ์การบำรุงรักษา

เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างราบรื่น อาจจะมีการนำเครื่องมือต่างๆ เข้ามาช่วย ไม่ว่าจะเป็นซอฟต์แวร์สำหรับจัดการงาน คู่มือการบำรุงรักษางานระบบภายในอาคาร เพื่อให้การดำเนินงานบำรุงรักษาเกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อการใช้งานอาคาร

ปัจจุบันอาคารกรณีศึกษานี้เป็นหนึ่งในอาคารสาธารณะ โดยเป็นอาคารลานจอดรถ ที่จะต้องรองรับผู้คนที่เข้ามาใช้บริการ และมีหน่วยงานซ่อมบำรุงคอยตรวจสอบและบำรุงรักษางานระบบของอาคารให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานตลอดเวลา โดยจะต้องมีการบำรุงรักษาตามแผนงานบำรุงเชิงป้องกัน และจากการศึกษาข้อมูลการดำเนินการบำรุงรักษาของอาคารพบว่า แผนงานบำรุงรักษาของอาคารแห่งนี้ยังไม่ครอบคลุมกับงานระบบต่าง ๆ ภายในอาคาร ทั้งยังขาดประสิทธิภาพในการดำเนินงาน โดยเฉพาะการบริหารจัดการข้อมูลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการจัดการข้อมูลอุปกรณ์ การวางแผนงานบำรุงรักษา การมอบหมายงาน ทำให้การดำเนินงานบำรุงรักษาไม่มีความต่อเนื่อง และจากเดิมที่ไม่ได้มีการวางแผนงานบำรุงรักษา ทำให้ปริมาณงานบำรุงรักษา ไม่สอดคล้องกับกำลังคนของหน่วยงาน บางเดือนมีงานบำรุงรักษาที่มากเกินไป ทำให้ไม่สามารถดูแลรักษาอุปกรณ์ได้อย่างทั่วถึง และมีการกระจายโหล่งงานอย่างไม่สมดุล

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาและปรับปรุงแผนงานซ่อมบำรุงให้ครอบคลุมกับกิจกรรมบำรุงรักษาภายในอาคาร ด้วยการนำแนวคิดการบำรุงรักษางานระบบวิศวกรรม และเทคโนโลยีสารสนเทศ มาช่วยสนับสนุนการดำเนินงานบำรุงรักษา ด้วยการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงอาคาร โดยใช้

บทความวิจัย (Research Article)

AppSheet เนื่องจากปัจจุบันภายในหน่วยงานยังไม่ได้มีการนำแอปพลิเคชันเข้ามาช่วยในการดำเนินงานบริหารจัดการงานระบบวิศวกรรมในอาคารสถานจอตลอด ซึ่งทางผู้ศึกษาได้นำแอปพลิเคชันดังกล่าว มาช่วยในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษา และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน รวมถึงมีการจัดแจงและกระจายงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งช่วยให้การดำเนินงานมีความสะดวกรวดเร็วเพิ่มขึ้น และเกิดประสิทธิภาพอย่างสูงสุด อีกทั้งยังสามารถช่วยลดความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตได้อีกด้วย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบริหารทรัพยากรทางกายภาพอาคาร

การบริหารทรัพยากรทางกายภาพอาคาร (Facility management) เป็นกระบวนการบริหารจัดการทรัพยากรอาคาร เพื่อตอบสนองความต้องการและวัตถุประสงค์ อีกทั้งเป็นการทำงานที่มีความต่อเนื่อง ซึ่งต้องมีการวางแผนการดำเนินการ และการบริหารจัดการที่เกี่ยวข้องกับอาคารทั้งหมด โดยหลักการพื้นฐานของการบริหารจัดการทรัพยากรอาคาร ประกอบไปด้วย มนุษย์ สถานที่ และกระบวนการทำงาน โดยทั้ง 3 ปัจจัยจะต้องทำงานสอดคล้องกัน เพื่อให้บรรลุผลสำเร็จตามเป้าหมายขององค์กร [4]

2.2 การบำรุงรักษาเครื่องจักร

การบำรุงรักษา (Maintenance) คือการพยายามรักษาสภาพของเครื่องมือ เครื่องจักรต่างๆ ให้มีสภาพที่พร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา [5]

การบำรุงรักษาสามารถแบ่งตามรูปแบบของการบำรุงรักษาได้ 2 ประเภทคือการบำรุงรักษาตามแผน (Planned Maintenance) และการบำรุงรักษานอกแผน (Unplanned Maintenance) [6]

1) การบำรุงรักษาตามแผน เป็นการบำรุงรักษาที่มีการเตรียมการและวางแผนไว้ล่วงหน้า โดยมีการกำหนดวัน เวลา สถานที่และจำนวนผู้ปฏิบัติงานที่จะเข้าทำการบำรุงรักษาไว้อย่างชัดเจน

2) การบำรุงรักษานอกแผน เป็นการซ่อมบำรุงเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่เกิดขัดข้องกะทันหัน นอกเหนือจากแผนงานที่กำหนดไว้ ซึ่งต้องดำเนินการแก้ไขทันที เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นเพิ่มเติม เนื่องจากไม่สามารถคาดการณ์เวลาเกิดล่วงหน้าได้

2.3 เครื่องมือในการวิเคราะห์และออกแบบระบบ

แผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด [7]

ผังการดำเนินงาน (Flowchart) เป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงขั้นตอนการดำเนินงานโดยใช้สัญลักษณ์และเส้นเชื่อมโยง ซึ่งช่วยให้เข้าใจภาพรวมของการดำเนินงาน รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอน ทั้งก่อนและหลัง เพื่อให้สามารถวางแผนและปรับปรุงกระบวนการทำงานให้ดีขึ้น [8]

แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD) หรือแผนภาพการไหลของข้อมูล เป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงการไหลของข้อมูลและประมวลผลต่างๆ ใน

บทความวิจัย (Research Article)

ระบบ ช่วยให้การวิเคราะห์เป็นไปได้ง่าย และมีความเข้าใจตรงกันระหว่างผู้วิเคราะห์กับผู้ใช้ระบบ [9]

2.4 แอปพลิเคชัน AppSheet

AppSheet เป็นเครื่องมือสร้างแอปพลิเคชันโดยไม่ต้องเขียนโค้ด ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากการทำงานของพนักงาน รวมถึงลดการทำงานที่ซ้ำซ้อน และลดการใช้กระดาษ โดยการสร้าง AppSheet เริ่มจากออกแบบตารางเก็บข้อมูลใน Google Sheet ต่อมาสร้างแอปพลิเคชันผ่านเว็บเบราว์เซอร์ และนำเข้าข้อมูลจาก Google Sheet มายัง AppSheet ทำการแก้ไขคุณสมบัติคอลัมน์ ปรับแต่งฟังก์ชันให้เหมาะสมกับการใช้งาน จากนั้นจึงทำการทดสอบและเผยแพร่ [10]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จตุรงค์ ธนนานทศรี ศึกษาการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงงานระบบวิศวกรรมประกอบอาคารของอาคารสำนักงาน กรณีศึกษาอาคารสำนักงานใหญ่ บริษัท กลางคุ้มครองผู้ประสบภัย จำกัด โดยจัดทำระบบบำรุงรักษาและรูปแบบการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงขึ้นใหม่ จากเดิมที่ไม่มีแผนงานซ่อมบำรุง โดยปรับปรุงแผนงานจากคู่มือซ่อมบำรุงด้วย CBM ของระบบปรับอากาศและระบายอากาศ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจ้างบุคคลภายนอกได้ถึง 114,750 บาท และลดปริมาณงานซ่อมประจำ 3 เดือนได้ถึง 210 งาน [11]

ธรรมรัตน์ สมพีช ศึกษาการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ กรณีศึกษาอาคารศูนย์ข้อมูลแห่งหนึ่งใน

กรุงเทพมหานคร เพื่อพัฒนางานซ่อมบำรุง และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา โดยใช้หลักการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การจัดทำแผนงาน และเพิ่มการตรวจสอบระบบให้ครอบคลุมตามมาตรฐาน ซึ่งช่วยให้ตรวจพบเจอปัญหา และลดอัตราการเสียของระบบลง ทำให้ค่าดำเนินการซ่อมบำรุงในปี 2562 ลดลงจากปี 2561 ดังนี้ ระบบระบายความร้อนลดลงร้อยละ 37.15 ระบบปั้มน้ำระบายความร้อนลดลงร้อยละ 42.92 และระบบเครื่องทำน้ำเย็นลดลงร้อยละ 37.77 [12]

มณฑิรา สุวรรณศิลป์ ศึกษาโปรแกรมการบำรุงรักษาเชิงป้องกันในอาคารสำนักงาน เพื่อให้ทีมช่างสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย และติดตามสถานะของการบำรุงรักษา โดยโปรแกรมช่วยให้การแสดงผลของข้อมูลการดำเนินงานมีความชัดเจน และสามารถประเมินประสิทธิภาพในการจัดการงานซ่อมบำรุงได้ และโปรแกรมช่วยจัดแผนงานซ่อมบำรุงรักษาล่วงหน้าได้อย่างครอบคลุมต่างจากกระบวนการเดิมที่ใช้คนในการแสดกงาน [13]

วรรณวิสา ถาวร ศึกษาการวางแผนบำรุงรักษาอาคาร ด้วยระบบ CMMS กรณีศึกษา สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท. เพื่อจัดทำแผนบำรุงรักษาอาคาร ด้วยโปรแกรม Idyl โดยศึกษาเฉพาะระบบน้ำทิ้ง ระบบสุขภัณฑ์ ระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้า จากเดิมที่ขาดการวางแผนงาน ทำให้ต้องใช้เวลาซ่อมแซม และมีค่าใช้จ่ายที่สูง เมื่อนำโปรแกรม Idyl เข้ามาช่วยพบว่างานระบบไฟฟ้าลดลงร้อยละ 55.62 ระบบสุขภัณฑ์ลดลงร้อยละ 36.47 ระบบปรับอากาศลดลงร้อยละ 65.49 และระบบระบายน้ำทิ้งลดลงร้อยละ 39.28 ทำให้ประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณงานซ่อม และค่าใช้จ่ายในการซ่อมลดลง [14]

บทความวิจัย (Research Article)

ชวลิต บัวพรม ศึกษาและพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับร้านรับซื้อขยะรีไซเคิล โดยนำหลักการ ECRS มาปรับปรุงขั้นตอนการดำเนินงาน ด้วยโปรแกรม AppSheet พบว่า ขั้นตอนการปฏิบัติงานของฝ่ายรับซื้อลดลงจาก 7 ขั้นตอนเหลือ 4 ขั้นตอน เวลาลดลงจากเดิม 9.12 นาที คิดเป็นร้อยละ 43.32 และขั้นตอนการปฏิบัติงานของฝ่ายบัญชีลดลงจาก 8 ขั้นตอนเหลือ 6 ขั้นตอน เวลาลดลงจากเดิม 13.69 นาที คิดเป็นร้อยละ 57.09 [15]

จะเห็นได้ว่าในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาระบบวิศวกรรม โดยการจัดทำระบบบำรุงรักษาและรูปแบบการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงขึ้นใหม่ มีการนำเครื่องมือทางเทคโนโลยีและทฤษฎีในการบำรุงรักษาเข้ามาช่วยอย่างหลากหลาย เช่น ทฤษฎีการบำรุงรักษาแบบ CBM และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของ จตุรงค์ ธนानนทศรี [11] และธรรมรัตน์ สมพิช [12] อีกทั้งการนำระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาเข้ามาช่วยในการดำเนินงาน เช่น ระบบ CMMS และ Idyl ซึ่งเป็นระบบที่พัฒนามาโดยเฉพาะสำหรับงานซ่อมบำรุง ช่วยในการวางแผนซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน และบันทึกประวัติการซ่อมอย่างละเอียด แต่มีราคาที่สูง ต้องใช้เวลาในการติดตั้งและปรับแต่งให้ตรงกับการทำงานขององค์กร ซึ่งตรงตามงานวิจัยของมณฑิรา สุวรรณศีลศักดิ์ [13] และวรรณวิสา ถาวร [14] ที่มีการนำระบบ CMMS เข้ามาจัดการงานบำรุงรักษาด้วยโปรแกรม Idyl นอกจากนี้ยังสามารถนำแอปพลิเคชัน AppSheet ที่เป็นแพลตฟอร์มแอปพลิเคชันโดยไม่ต้องเขียนโค้ด ซึ่งมีความยืดหยุ่น และสามารถสร้างแอปสำหรับการจัดการงานตามความต้องการเฉพาะขององค์กรได้

สามารถพัฒนาและปรับเปลี่ยนรูปแบบได้รวดเร็ว โดยไม่ต้องมีทักษะการเขียนโปรแกรม ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของชวลิต บัวพรม [15]

งานวิจัยครั้งนี้ได้นำแอปพลิเคชัน AppSheet มาช่วยในการบริหารจัดการงานระบบวิศวกรรมและดำเนินงานบำรุงรักษา เนื่องจากบริบทของงานบำรุงรักษาในกรณีศึกษานั้น จะต้องมีการจัดรอบของการบำรุงรักษา ให้สามารถตรวจสอบรายเดือนได้ แต่ยังมีทรัพยากรจำกัด ในด้านงบประมาณและบุคลากร ไอที อีกทั้งยังต้องการระบบที่สามารถ พัฒนาได้รวดเร็ว และสามารถปรับเปลี่ยนตามความต้องการได้ตลอดเวลา และสามารถเชื่อมต่อกับข้อมูลของระบบเดิมที่มีอยู่ และเหตุผลที่งานวิจัยนี้เลือกใช้ AppSheet เนื่องจากแอปพลิเคชันดังกล่าว รองรับการพัฒนาแอปสำหรับการบันทึกข้อมูลหน้างาน ตรวจสอบสถานะของงานบำรุงรักษาได้โดยไม่ต้องลงทุนสูงเหมือน CMMS หรือ Idyl อีกทั้งมีความยืดหยุ่นในการออกแบบฟอร์ม และ Workflow ของการทำงานบำรุงรักษา ให้ตรงกับรูปแบบงานเฉพาะของหน่วยงานกรณีศึกษาได้อีกด้วย

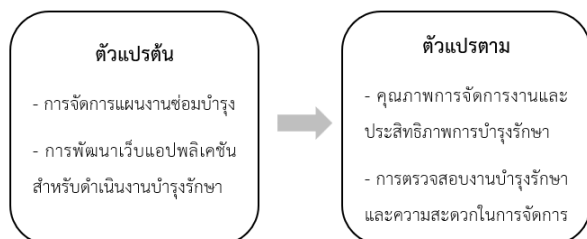
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

แนวคิดที่ใช้ในการปรับปรุงการบำรุงรักษาระบบวิศวกรรมอาคาร ด้วยการนำเทคโนโลยีมาช่วยในการดำเนินงาน และจัดทำแอปพลิเคชันสำหรับการบำรุงรักษางานระบบต่างๆ ภายในอาคาร ตามหลักทฤษฎีบำรุงรักษา และนำแผนงานบำรุงรักษาที่ได้มาจัดลำดับความสำคัญของการดำเนินงาน เพื่อลดความ

บทความวิจัย (Research Article)

สูญเสียที่ไม่จำเป็น และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับองค์กร โดยกรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ในการจัดการงานบำรุงรักษา และพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน มีเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ดังนี้

- 1) Google sheet เป็นพื้นที่สำหรับจัดเก็บข้อมูล รวมถึงบันทึกข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานซ่อมบำรุง
- 2) เว็บแอปพลิเคชัน AppSheet เป็นเว็บที่ถูกออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินงานบำรุงรักษา ใช้ในการปฏิบัติงาน ตรวจสอบ และเก็บข้อมูลของงานซ่อมบำรุง
- 3) คู่มือมาตรฐานการดูแลบำรุงรักษางานระบบภายในอาคาร เป็นข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องจักร และงานระบบต่างๆ เพื่อให้สามารถจัดการงานบำรุงรักษาได้ถูกต้องตามขั้นตอน

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การจัดเก็บและรวบรวมข้อมูล เพื่อนำมาใช้ในการจัดทำแผนงานบำรุงรักษาและพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับงานซ่อมบำรุง มีวิธีการดังนี้

1) สอบถามข้อมูลการทำงานบำรุงรักษาอาคารจากบุคลากรภายในหน่วยงานบำรุงรักษา ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยนี้ได้แก่ ช่างเทคนิค จำนวน 8 คน เพศชาย เป็นผู้มีประสบการณ์ทำงานไม่น้อยกว่า 1 ปี และจะต้องเป็นบุคลากรภายในหน่วยงานบำรุงรักษาอาคารลานจอดรถของหน่วยงานกรณีศึกษา

2) สังเกตและเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาภายในหน่วยงาน ในส่วนของการปฏิบัติงาน รวมถึงการจัดทำรายงานต่างๆ ที่เกี่ยวกับการบำรุงรักษา

3) เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากการปฏิบัติงานกับข้อมูลเอกสารต่างๆ ได้แก่ แบบฟอร์มการบำรุงรักษา คู่มือการบำรุงรักษา เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการจัดทำแผนงานซ่อมบำรุง และพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับงานบำรุงรักษา

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น

หน่วยงานกรณีศึกษา จะให้ความสำคัญในการตรวจเช็คบำรุงรักษาประจำวัน งานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข และงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ปัจจุบันภายในหน่วยงาน จะบันทึกข้อมูลการบำรุงรักษาผ่านเน็ตไลน์ และบันทึกลงในเอกสารที่เป็นกระดาษ อีกทั้งยังไม่มีแผนงานบำรุงรักษาที่ครอบคลุม เป็นการวางแผนแบบเดือนต่อเดือน ไม่ได้กำหนดรอบการบำรุงรักษาของอุปกรณ์ ทำให้ปริมาณงานแต่ละรอบไม่สมดุลกัน บางเดือนมีปริมาณงานมากเกินไป ทำให้มีการกระจายงานที่ไม่ใกล้เคียงกัน และไม่มีคู่มือประกอบการทำงาน โดยผู้ปฏิบัติงาน อาศัยเพียงความคุ้นชินเดิม ทำให้การบำรุงรักษาอุปกรณ์ไม่เกิดประสิทธิภาพ และไม่สามารถวัดผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษาได้

บทความวิจัย (Research Article)

จากที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการจัดการงานบำรุงรักษาภายในหน่วยงานนั้น ยังขาดเครื่องมือที่ใช้ในการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุง โดยทางผู้วิจัยได้นำแผนภาพแสดงเหตุและผลมาใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ร่วมกับหลักการพื้นฐานของการบริหารจัดการทรัพยากรอาคาร แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงเหตุและผลของปัญหา

3.4.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา

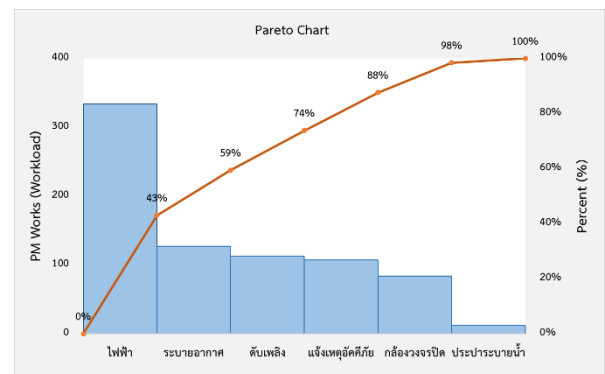
จากการใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล พบว่าวิธีการที่ใช้นั้นเป็นสาเหตุหลักของปัญหา เนื่องจากภายในหน่วยงานไม่ได้มีการวางแผนงานบำรุงรักษา ไม่มีนัดหมายแผนการเข้างาน ไม่มีการตกลงปริมาณงานที่จะทำของแต่ละคน ไม่มีขั้นตอนการปฏิบัติงาน ไม่ทราบเวลาในการบำรุงรักษาอุปกรณ์อย่างชัดเจน และยังขาดเครื่องมือที่ช่วยในการจัดการ ทำให้ไม่สามารถติดตามงานบำรุงรักษาภายในหน่วยงานได้

ในการปรับปรุงและพัฒนาการบำรุงรักษา ต้องเริ่มตั้งแต่การจัดทำระบบข้อมูลบำรุงรักษา เพื่อที่รวบรวมข้อมูลอุปกรณ์ มาใช้ในการวางแผนและจ่ายงานให้ตรงกับรอบการบำรุงรักษา เพื่อแก้ปัญหาปริมาณงานที่ไม่สมดุลกัน และกำหนดขั้นตอนการบำรุงรักษาอุปกรณ์ของแต่ละระบบงาน พร้อมกับ

พัฒนาระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาด้วยเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดำเนินการบำรุงรักษาได้อย่างเหมาะสม

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

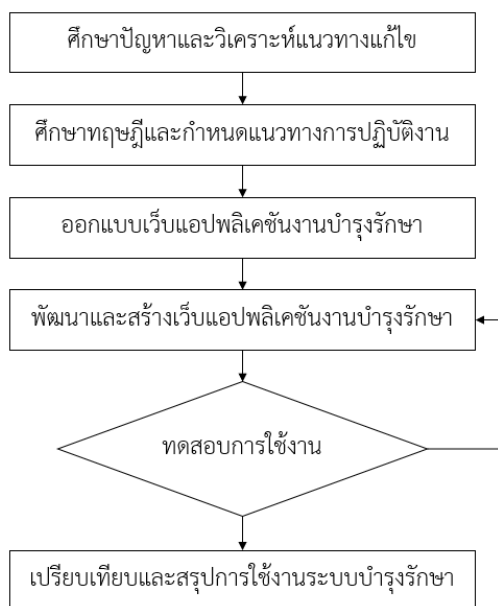
งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดการจัดการบำรุงรักษาระบบภายในอาคาร เพื่อปรับปรุงกระบวนการบำรุงรักษาภายในหน่วยงาน โดยจะเน้นงานระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ และระบบดับเพลิง เนื่องจากมีปริมาณงานที่ต้องบำรุงรักษาสูงสุด เป็น 3 อันดับแรก ซึ่งอ้างอิงจากปริมาณงานเฉลี่ยที่ต้องบำรุงรักษา ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2566 ถึงมีนาคม 2567 โดยใช้แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) มาช่วยในการวิเคราะห์และประกอบการตัดสินใจ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพพาเรโตปริมาณงานบำรุงรักษาเฉลี่ย

โดยงานวิจัยนี้ มีการใช้โปรแกรมทางเทคโนโลยีสารสนเทศ และทฤษฎีบำรุงรักษา มาช่วยในการออกแบบขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงดังรูปที่ 4

บทความวิจัย (Research Article)



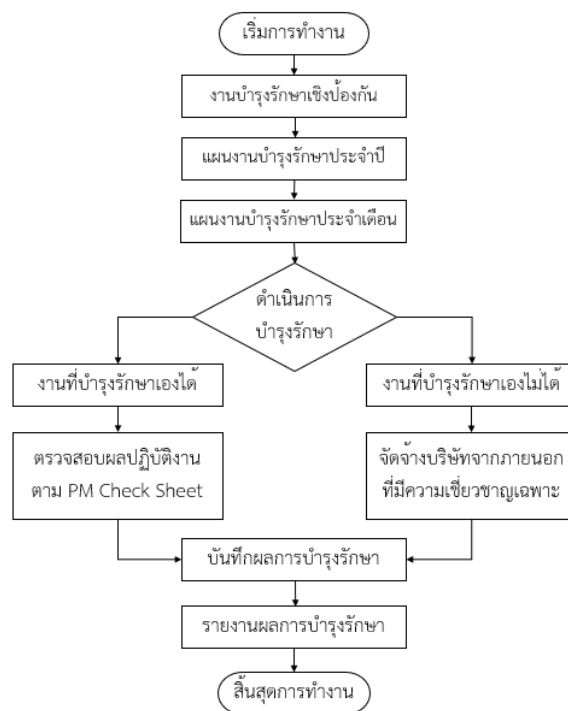
รูปที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.5.1 การศึกษาระบบบริหารงานบำรุงรักษา

ในการสร้างระบบบริหารงานบำรุงรักษา จะต้องประกอบด้วยระบบงานย่อยอย่างน้อย 3 ระบบ ได้แก่ ระบบข้อมูลบำรุงรักษา ระบบบำรุงรักษาตามแผน และระบบควบคุมงานบำรุงรักษา เพื่อให้สามารถจัดการงานบำรุงรักษาได้อย่างเป็นระบบ

3.5.2 กำหนดแนวทางปฏิบัติงานบำรุงรักษา

การลำดับขั้นตอนบำรุงรักษา ต้องเริ่มจากจัดทำข้อมูลอุปกรณ์ คู่มือบำรุงรักษา การวางแผน และการนำไปปฏิบัติ โดยแนวทางบำรุงรักษา แสดงดังรูปที่ 5

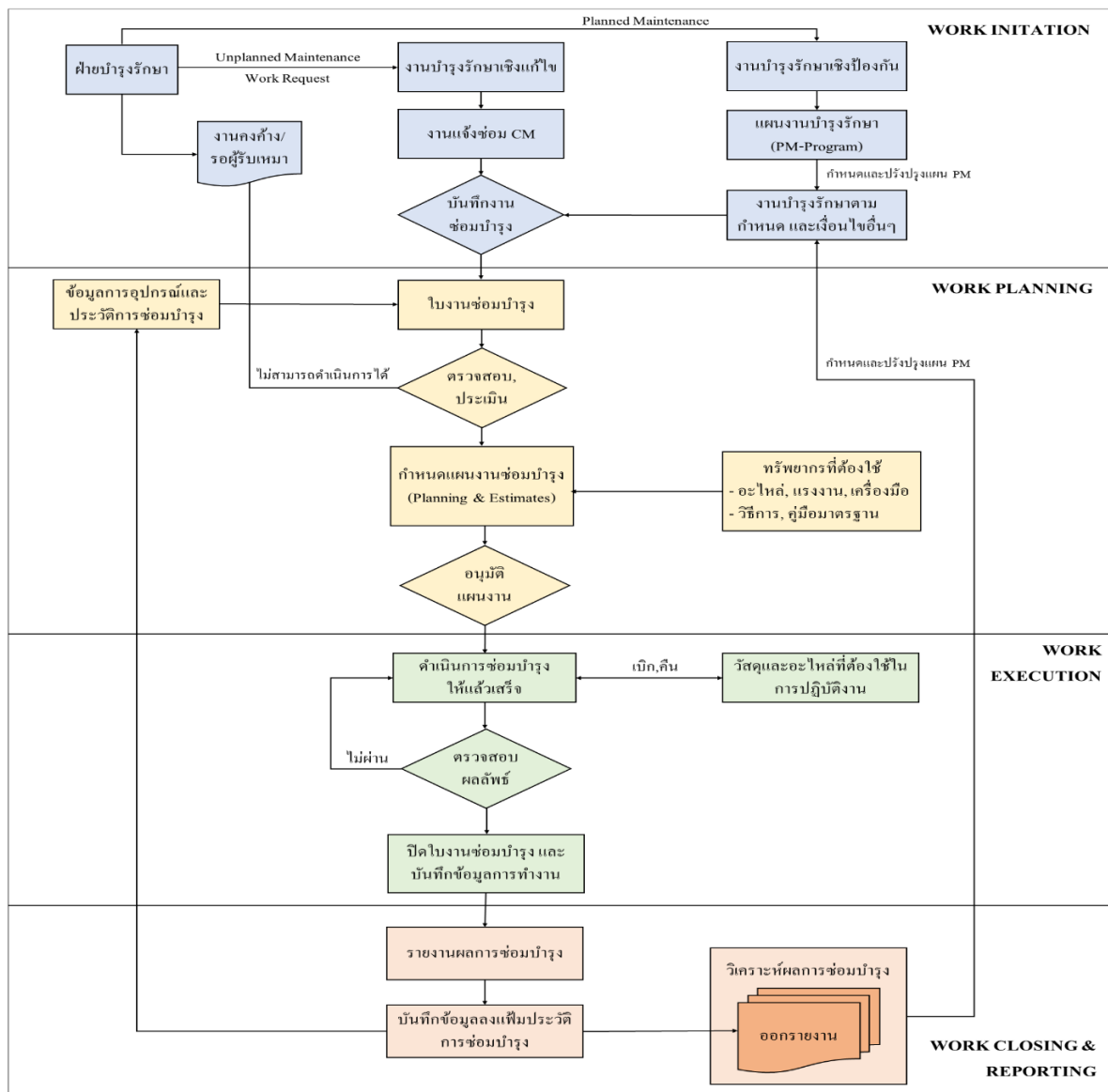


รูปที่ 5 แนวทางการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

3.5.3 การออกแบบระบบพัฒนางานบำรุงรักษา

ระบบงานใหม่จะต้องกำหนดแผนงานบำรุงรักษาติดตาม และตรวจสอบการทำงานได้ ในงานวิจัยนี้ใช้แผนภาพ Swim lane กำหนดกระบวนการบำรุงรักษาเพื่อให้เห็นถึงภาพรวมและขั้นตอนในการทำงาน รวมถึงการเชื่อมโยงของข้อมูลต่างๆ แสดงดังรูปที่ 6

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 6 กระบวนการทำงานของระบบงานซ่อมบำรุง

ขั้นตอนการทำงานของระบบบำรุงรักษาเป็นดังนี้

1) การเริ่มต้นของงานบำรุงรักษา (Work Initiation) แบ่งได้เป็น 2 กรณี ได้แก่ งานนอกแผน และงานตามแผนที่ได้มีการกำหนดแผนงานไว้แล้วล่วงหน้า โดยมีการระบุนายการงานที่ต้องดำเนินการ

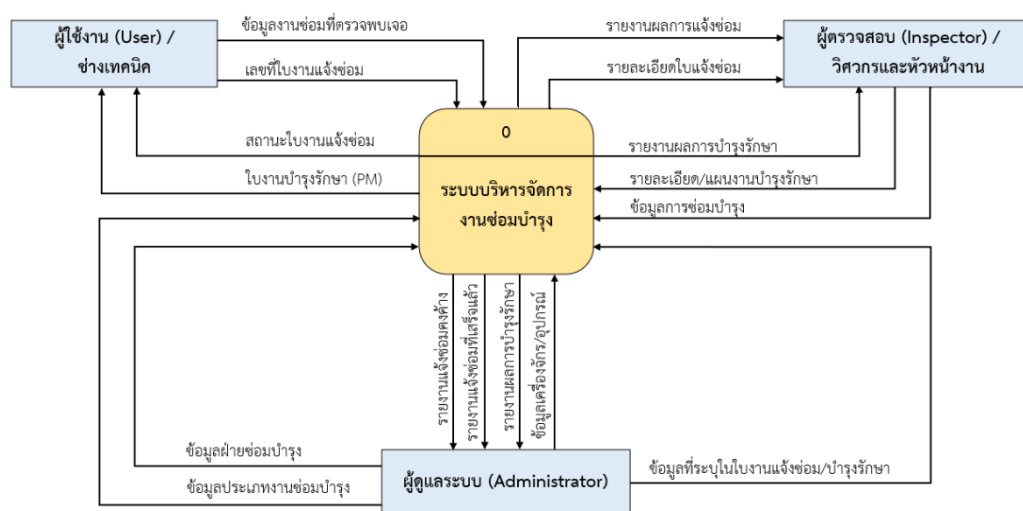
2) การกำหนดแผนงานบำรุงรักษา (Work Planning) จะพิจารณาจากใบงาน ในระบบ และข้อมูลอุปกรณ์ เพื่อประเมินว่าสามารถดำเนินการบำรุงรักษาได้หรือไม่

บทความวิจัย (Research Article)

3) การปฏิบัติงาน (Work Execution) จะเป็นการดำเนินงานบำรุงรักษาตามรายการที่ได้กำหนดไว้

4) การปิดงานและสรุปรายงานบำรุงรักษา (Work Closing and Reporting) จะดำเนินการเมื่อปฏิบัติงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยจะเปลี่ยนสถานะใบงานให้เสร็จสมบูรณ์ ประกอบกับรายงานการบำรุงรักษา

ในการออกแบบระบบ ทางผู้วิจัยได้ใช้แผนภาพการไหลของข้อมูลระดับสูงสุด (Context Level Data Flow Diagram) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการตอบโต้ระหว่างระบบกับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนภาพการไหลของข้อมูลระดับสูงสุดของระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุง

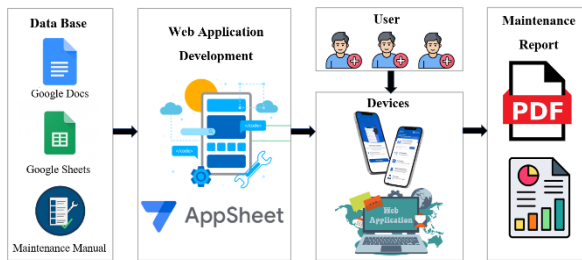
จากภาพรวมการทำงานของระบบแสดงถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบ ดังนี้

- 1) ผู้ใช้งาน (User) เป็นผู้ที่ส่งข้อมูลและเปิดใบงานบำรุงรักษาตามที่ได้รับมอบหมาย
- 2) ผู้ตรวจสอบ (Inspector) เป็นผู้ตรวจสอบงานที่มีการแจ้งเข้ามา และมอบหมายงานบำรุงรักษาให้กับช่างเทคนิคตามแผนงาน
- 3) ผู้ดูแลระบบ (Administrator) เป็นผู้ที่จัดการข้อมูลต่างๆ ที่ต้องนำเข้าในเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้ฟังก์ชันในส่วนต่างๆ สามารถดำเนินต่อไปได้

3.5.4 การสร้างเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการจัดการงานบำรุงรักษา

ในการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน จะต้องมีการสร้างของการจัดการข้อมูลทั้ง 5 ส่วน ได้แก่ ฐานข้อมูล เว็บแอปพลิเคชัน ผู้ใช้งาน อุปกรณ์ที่ใช้งาน และการแสดงผลข้อมูล ดังรูปที่ 8 รวมถึงต้องมีการนำเข้าและจัดการข้อมูล เพื่อให้แอปพลิเคชันตรงกับความต้องการใช้งาน ได้แก่ ข้อมูลบุคลากร ข้อมูลอุปกรณ์ ข้อมูลแจ้งซ่อม และข้อมูลงานบำรุงรักษาระบบต่างๆ ที่มอบหมายให้กับช่างเทคนิคเพื่อปฏิบัติตามแผนงาน

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 8 ภาพรวมของเว็บแอปพลิเคชัน App Sheet

โดยขั้นตอนการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน
สำหรับการจัดการงานบำรุงรักษา เป็นดังนี้



รูปที่ 9 การใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน

3.5.5 การทดสอบใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน

โดยทดสอบฟังก์ชันการทำงาน การบันทึกข้อมูล
การเปิดใบงาน การเข้าถึงข้อมูล การมอบหมายงาน
รวมถึงทดสอบการใช้งานระบบจริงกับกลุ่มเป้าหมาย

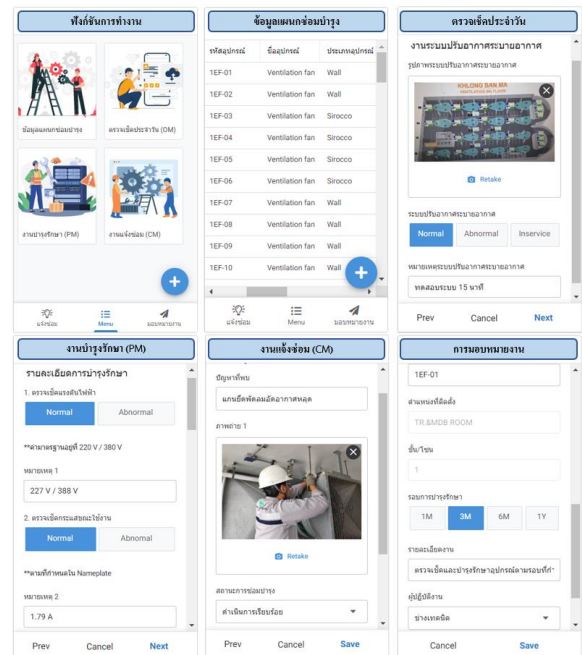
3.5.6 สรุปผลการนำเว็บแอปพลิเคชันไปใช้งาน

ทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังใช้งานระบบใหม่
และวัดประสิทธิภาพการดำเนินงาน ได้แก่ เวลาที่ใช้
ปฏิบัติงาน การวางแผนงาน การกำหนดปริมาณงาน
การมอบหมายงาน การวัดประสิทธิภาพการทำงาน
ของบุคลากรในหน่วยงาน รวมถึงสอบถามความพึง
พอใจของผู้ใช้งานร่วมด้วย

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการสร้างเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษาในระบบวิศวกรรมอาคาร

ภาพรวมเว็บแอปพลิเคชัน สำหรับจัดการงาน
บำรุงรักษา เพื่อให้การบำรุงรักษาภายในหน่วยงาน
ดำเนินได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษา

บทความวิจัย (Research Article)

การใช้งานระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษา สำหรับวางแผนงานบำรุงรักษา มอบหมายงาน ติดตามการทำงาน และการบันทึกผลการปฏิบัติงาน จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1) หัวหน้างาน จะมอบหมายงานให้กับช่างเทคนิคตามแผนงานที่กำหนดไว้ และตัวอย่างการมอบหมายงาน แสดงดังรูปที่ 11 และ 12 ตามลำดับ

App Maintenance

Search maintenance

เลือกสถานะ

All Items

สัปดาห์	วัน	สัปดาห์	Job No.	ช่างเทคนิค	สถานะ	วันที่	เวลา	สถานที่	ประเภท	สถานะ
1	1	1	PM-250301-1	ช่างเทคนิค	Normal	107-01	TR & MDB ROOM	1	3M	ช่างเทคนิค
1	1	1	PM-250301-2	ช่างเทคนิค	Normal	107-02	TR & MDB ROOM	1	3M	ช่างเทคนิค
1	1	1	PM-250301-3	ช่างเทคนิค	Normal	107-03	TR & MDB ROOM	1	3M	ช่างเทคนิค
1	1	1	PM-250301-4	ช่างเทคนิค	Normal	107-04	TR & MDB ROOM	1	3M	ช่างเทคนิค
1	1	1	PM-250301-5	ช่างเทคนิค	Normal	107-05	TR & MDB ROOM	1	3M	ช่างเทคนิค
1	1	1	PM-250301-6	ช่างเทคนิค	Normal	107-06	TR & MDB ROOM	1	3M	ช่างเทคนิค
1	1	1	PM-250301-7	ช่างเทคนิค	Normal	107-07	TR & MDB ROOM	1	3M	ช่างเทคนิค
1	1	1	PM-250301-8	ช่างเทคนิค	Normal	107-08	TR & MDB ROOM	1	3M	ช่างเทคนิค
1	1	1	PM-250301-9	ช่างเทคนิค	Normal	107-09	TR & MDB ROOM	1	3M	ช่างเทคนิค
1	1	1	PM-250301-10	ช่างเทคนิค	Normal	107-10	TR & MDB ROOM	1	3M	ช่างเทคนิค
1	1	1	PM-250301-11	ช่างเทคนิค	Normal	107-11	TR & MDB ROOM	1	3M	ช่างเทคนิค

รูปที่ 11 แผนงานบำรุงรักษาระบบปรับอากาศ

งานบำรุงรักษาพัดลมระบายอากาศ 1EF-01 (Job No. PM-250301-1)

MAR

วันที่*

03/01/2025

ประเภท*

PM

ลำดับที่*

1

Job No.

PM-250301-1

ระบบงาน

ระบบปรับอากาศระบายอากาศ

1EF-01

ตำแหน่งติดตั้ง

TR & MDB ROOM

ชั้น/โซน

1

รอบการบำรุงรักษา

1M 3M 6M 1Y

รายละเอียดงาน

ตรวจเช็คและบำรุงรักษาอุปกรณ์ตามรอบที่ก*

ผู้ปฏิบัติงาน

ช่างเทคนิค

Cancel Save

รูปที่ 12 การมอบหมายงานให้กับช่างเทคนิค

2) ช่างเทคนิค จะตรวจเลขที่ใบงานในระบบแล้ว ดำเนินการบำรุงรักษาตามที่ได้รับมอบหมาย แสดงดังรูปที่ 13

ช่างเทคนิค

ระบบงาน*

ระบบปรับอากาศระบายอากาศ

Job No.*

PM-250301-1

รหัสอุปกรณ์

1EF-01

ตำแหน่งติดตั้ง

TR & MDB ROOM

ชั้น/โซน

1

Cancel Next

รายละเอียดการบำรุงรักษา

1. ตรวจเช็คแรงดันไฟฟ้า

Normal Abnormal

**ค่ามาตรฐานอยู่ที่ 220 V / 380 V

หมายเหตุ 1

225 V / 379 V

2. ตรวจเช็คกระแสและอุณหภูมิ

Normal Abnormal

**ตามที่กำหนดใน Nameplate

หมายเหตุ 2

1.81 A

Prev Cancel Next

3. ตรวจเช็ค Control ของพัดลมระบายอากาศ

Normal Abnormal

**ช่างงานได้ดำเนินการ

หมายเหตุ 3

ทำความสะอาดอุปกรณ์ภายในตู้

4. ตรวจเช็คสายไฟ Control และกราวด์

Normal Abnormal

**พบไหม้ไหม/สายไฟไหม้ขาด

หมายเหตุ 4

ไม่มีสายไฟลงกราวด์

5. ตรวจเช็คหลอดสัญญาณ

Prev Cancel Next

สรุปผลการปฏิบัติงาน

สถานะของอุปกรณ์

เครื่องจักรอยู่ในสภาพปกติ

เครื่องจักรใช้งานได้ มีอุปกรณ์ต้องแก้ไข

เครื่องจักรไม่สามารถใช้งานได้

บันทึกเพิ่มเติม

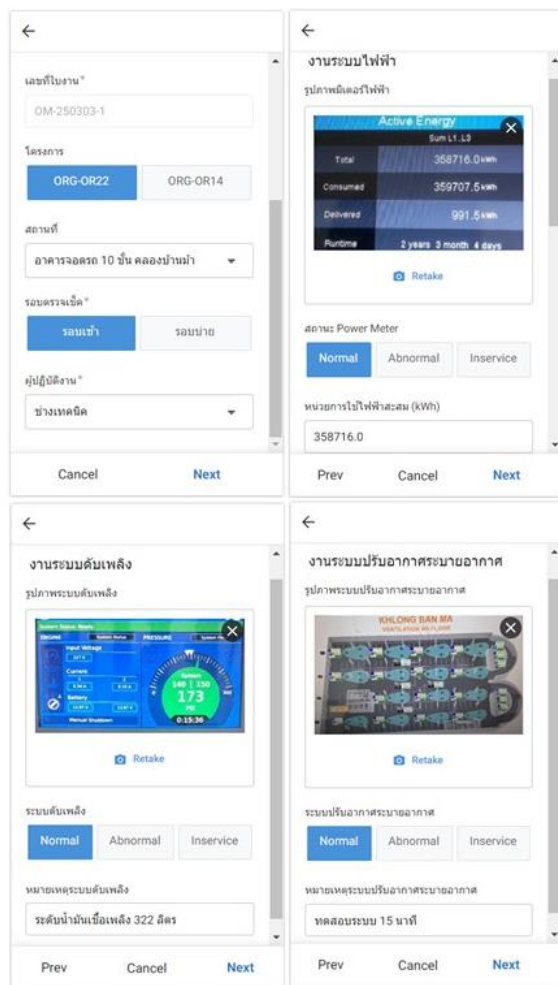
สถานะ AUTO

Prev Cancel Save

รูปที่ 13 การปฏิบัติงานบำรุงรักษาตามที่ได้รับ

นอกจากนี้ยังสามารถใช้แอปพลิเคชันในการตรวจเช็คอุปกรณ์ประจำวัน แทนการบันทึกผลลงในกระดาษ แสดงดังรูปที่ 14

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 14 การตรวจเช็คประจำวัน

4.2 ผลการเปรียบเทียบระบบงานเดิมกับระบบการทำงานแบบใหม่ที่มีการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการจัดการงานบำรุงรักษาแบบเดิมและแบบใหม่ที่มีการปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษาแล้ว โดยเน้นระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศและระบบดับเพลิง (ตามที่วิเคราะห์ไว้ในข้อที่ 3.5) ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระบบเดิมกับระบบใหม่

ลำดับ	การวัดผล	ระบบเดิม	ระบบใหม่
1	แผนงานบำรุงรักษา	ไม่ได้จัดแผนงานตามรอบ	จัดแผนงานตามจำนวนอุปกรณ์
2	การทำงานบำรุงรักษา	ใช้เวลาในการบันทึกลงกระดาษ	ใช้แอปถ่ายรูป/บันทึกผ่านแอป
3	ชั่วโมงการทำงาน	บางเดือนมีโหลตงานที่มากเกินไป	มีการกระจายงานเพิ่มขึ้น

4.2.1 ผลการปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษา

เปรียบเทียบปริมาณงานบำรุงรักษาก่อนปรับปรุงในช่วงเดือนตุลาคม 2566 ถึงมีนาคม 2567 กับแผนงานบำรุงรักษาที่ได้ปรับปรุงแล้ว และนำมาใช้ในเดือนตุลาคม 2567 ถึงมีนาคม 2568 แสดงดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณงานก่อนและหลังปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษา

เดือน	ปริมาณงานบำรุงรักษา	
	ก่อนปรับปรุง ปีงบประมาณ 67	หลังปรับปรุง ปีงบประมาณ 68
ต.ค.	694	646
พ.ย.	366	702
ธ.ค.	484	647
ม.ค.	654	646
ก.พ.	732	702
มี.ค.	501	647

หมายเหตุ พิจารณาเฉพาะปริมาณงานของระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ และระบบดับเพลิงเท่านั้น

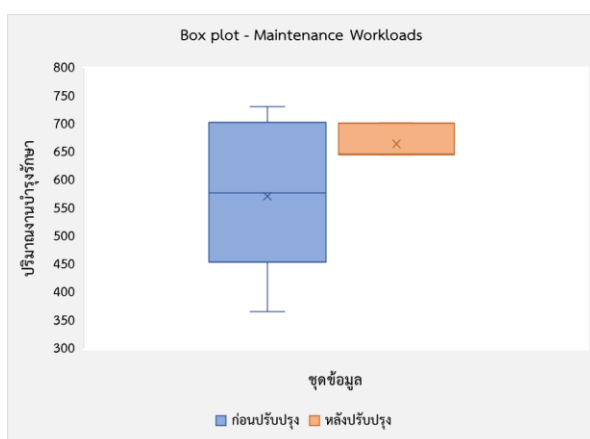
- ปีงบประมาณ 67 คือช่วงตุลาคม 66 ถึงมีนาคม 67
- ปีงบประมาณ 68 คือช่วงตุลาคม 67 ถึงมีนาคม 68

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบชุดข้อมูลทางสถิติจากการปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษา

ข้อมูลสถิติ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ค่าต่ำสุด (Min)	366	646
ค่าสูงสุด (Max)	732	702
ค่าเฉลี่ย (Mean)	572	665
ค่าพิสัย (R)	366	56
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	143.13	28.66
ค่าความแปรปรวน (σ^2)	20485.767	821.6

เมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง พบว่าปริมาณการกระจายตัวของงานบำรุงรักษาลดลงพิจารณาได้จากกราฟ Box plot ดังรูปที่ 15 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ลดลงจากเดิม 143.13 เหลือเพียง 28.66 อีกทั้งค่าพิสัย และค่าความแปรปรวนของข้อมูลหลังปรับปรุง ยังลดลงอย่างมีนัยสำคัญแสดงให้เห็นว่า การปรับปริมาณงานบำรุงรักษาใหม่ช่วยลดการกระจายของข้อมูล ทำให้ปริมาณงานที่ต้องบำรุงรักษาต่อเดือนมีความใกล้เคียงกันมากขึ้น



รูปที่ 15 การกระจายของข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุง

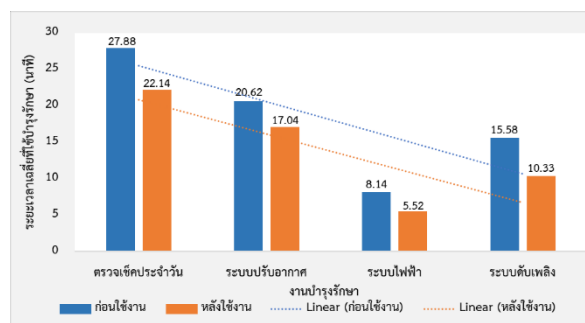
4.2.2 ผลการทดลองใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน

จากการนำเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น มาใช้ในหน่วยงานกรณีศึกษา โดยให้ช่างเทคนิค จำนวน 8 คน เป็นผู้ทดลองใช้งาน แล้วทำการเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทำกิจกรรมบำรุงรักษาทั้งก่อนและหลังใช้งาน ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยก่อนและหลังใช้เว็บแอปพลิเคชันสำหรับดำเนินงานบำรุงรักษา

รายละเอียดงานบำรุงรักษา	ก่อนใช้งาน (นาท)	หลังใช้งาน (นาท)	ลดลงร้อยละ
ตรวจเช็คประจำวัน	27.88	22.14	20.59
ระบบปรับอากาศ	20.62	17.04	17.36
ระบบไฟฟ้า	8.14	5.52	32.19
ระบบดับเพลิง	15.58	10.33	33.70

การใช้เว็บแอปพลิเคชันสำหรับงานบำรุงรักษาช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานบำรุงรักษาตั้งแต่เริ่มต้นปฏิบัติงาน ไปจนถึงการบันทึกข้อมูลหลังจบงาน โดยผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังใช้งานแสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยก่อนและหลังใช้เว็บแอปพลิเคชันในการดำเนินงานบำรุงรักษา

บทความวิจัย (Research Article)

4.2.3 ผลการเปรียบเทียบชั่วโมงการทำงาน

จากการเปรียบเทียบปริมาณงานที่ต้องทำการบำรุงรักษากับเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานก่อนและหลังปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษา และการจัดการระบบบำรุงรักษาใหม่ของหน่วยงาน โดยทำการเปรียบเทียบในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีงบประมาณ 2567 กับ 2568 รวมเป็นระยะเวลา 2 เดือน เนื่องจากระบบใหม่ถูกนำมาใช้งานในช่วงเดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ 2568 โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตาราง 5 และ 6

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบชั่วโมงการทำงานของเดือนมกราคม ระหว่างปี 2567 กับ 2568

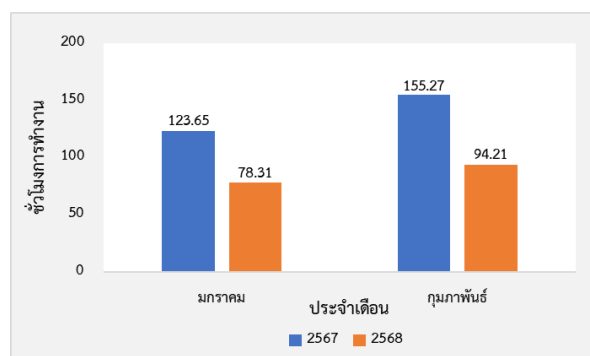
ลำดับ	งานบำรุงรักษาเดือนมกราคม	เวลาที่ใช้ปฏิบัติงาน (ชม.)	
		2567	2568
1	ระบบไฟฟ้า	61.19	43.74
2	ระบบปรับอากาศ	39.87	15.62
3	ระบบดับเพลิง	22.59	18.95
ชั่วโมงการทำงานรวม		123.65	78.31

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบชั่วโมงการทำงานของเดือนกุมภาพันธ์ ระหว่างปี 2567 กับ 2568

ลำดับ	งานบำรุงรักษาเดือนกุมภาพันธ์	เวลาที่ใช้ปฏิบัติงาน (ชม.)	
		2567	2568
1	ระบบไฟฟ้า	64.17	43.74
2	ระบบปรับอากาศ	51.89	31.52
3	ระบบดับเพลิง	39.21	18.95
ชั่วโมงการทำงานรวม		155.27	94.21

หมายเหตุ ในการคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน มาจาก ปริมาณงาน x เวลาที่ใช้บำรุงรักษาต่อ 1 งาน จะได้เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานของแต่ละระบบในเดือนดังกล่าว

จากผลการเปรียบเทียบชั่วโมงการทำงานก่อนและหลังปรับปรุงพบว่า การปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษาใหม่ ทำให้ชั่วโมงการทำงานต่อเดือนลดลง โดยชั่วโมงการทำงานของเดือนมกราคมจากเดิม 123.65 ชม. เหลือ 78.31 ชม. ซึ่งลดลงไป 45.34 ชม. และเดือนกุมภาพันธ์จากเดิม 155.27 ชม. เหลือ 94.21 ชม. ซึ่งลดลง 61.06 ชม. เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า โดยผลการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ผลการเปรียบเทียบชั่วโมงการทำงานของเดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ ปี 2567 กับ 2568

เมื่อทำการเปรียบเทียบชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยของเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ ปี 2567 กับ 2568 ในระยะเวลา 2 เดือนที่มีการนำระบบใหม่ใช้งานพบว่า ค่าเฉลี่ยชั่วโมงการทำงานบำรุงรักษา จากเดิม 139.46 ชม. ลดลงเหลือ 86.26 ชม. ทำให้เห็นว่าการปรับปรุงระบบจัดการงานบำรุงรักษา และการปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษาใหม่ ช่วยลดระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยของบุคลากรได้ถึง 53.2 ชม. ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 38.15 โดยประมาณ

บทความวิจัย (Research Article)

5. อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาระบบการจัดการงานบำรุงรักษาภายในหน่วยงาน เพื่อที่จะทำการปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษาให้ครอบคลุมกับกิจกรรมบำรุงรักษา โดยนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วย ซึ่งทางผู้วิจัยได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงอาคาร โดยใช้โปรแกรม AppSheet มาช่วยในการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาภายในหน่วยงาน

ผลการเปรียบเทียบระบบงานเดิมกับระบบการทำงานแบบใหม่ที่มีการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน ในส่วนของการปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษา และจัดปริมาณงานใหม่ให้มีความเหมาะสม สามารถช่วยลดการกระจายงานบำรุงรักษา โดยพิจารณาได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล ซึ่งลดลงจาก 143.13 ลดเหลือเพียง 28.66 ซึ่งทำให้ภาระงานต่อเดือนมีความผันผวนลดลง อีกทั้งการนำแอปพลิเคชันเข้ามาใช้ในงานบำรุงรักษายังช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานบำรุงรักษาประจำวัน การบำรุงรักษา งานระบบปรับอากาศ การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า และการบำรุงรักษาระบบดับเพลิง โดยใช้ระยะเวลาเฉลี่ยลดลงเหลือ 22.14, 17.04, 5.52 และ 10.33 นาทีต่องาน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 20.59, 17.36, 32.19 และ 33.70 ตามลำดับ อีกทั้งชั่วโมงการทำงานโดยเฉลี่ยของเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ ยังมีค่าเฉลี่ยลดลงจากเดิม 139.46 ชม. เหลือ 86.26 ชม. ซึ่งสามารถลดเวลาในการทำงานลงได้ถึง 53.2 ชม. ทำให้เห็นว่าการปรับปรุงระบบใหม่ มีส่วนช่วยในการกระจายงานไปยังแต่ละบุคคลเพิ่มมากขึ้น

จากการปรับปรุงและพัฒนาระบบการจัดการบำรุงรักษาด้วยเว็บแอปพลิเคชัน ทำให้ประสิทธิภาพ

ในการดำเนินงานบำรุงรักษาเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังทำให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการทำงาน มีการจัดการแผนงานบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม รวมถึงมีการมอบหมายงาน และมีกระจายงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งส่งผลให้การบำรุงรักษาภายในหน่วยงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจตุรงค์ ธนานทศรี [11] และธรรมรัตน์ สมพิช [12] ที่มีการนำทฤษฎีการบำรุงรักษามาช่วยในการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุง และงานวิจัยของมนทิรา สุวรรณศิลป์ศักดิ์ [14] และวรรณวิสาถาวร [13] ที่มีการนำโปรแกรมการบริหารงานซ่อมบำรุงด้วยระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการจัดการงานและวางแผนการดำเนินงานบำรุงรักษาภายในหน่วยงาน รวมทั้งงานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของชวลิต บัวพรม [15] ที่มีการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม AppSheet ในการออกแบบและพัฒนาระบบ เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานภายในหน่วยงาน รวมถึงลดระยะเวลาในการทำงานให้ลดลงให้บุคลากรภายในหน่วยงานสามารถปฏิบัติงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

จากงานวิจัยในครั้งนี้สามารถพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการงานบำรุงรักษาระบบวิศวกรรมประกอบอาคารให้สามารถใช้งานร่วมกับเทคโนโลยี IoT และ QR Code เพื่อใช้ในการตรวจสอบข้อมูลของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ผ่านการบำรุงรักษา และสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการประกอบการวิเคราะห์ผลการบำรุงรักษา รวมถึงให้สามารถรายงานผลได้ทันที และเพิ่มการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานด้วยแบบสอบถาม IOC ให้ผู้ใช้งานสามารถเสนอแนะแนวทางและปัญหาที่พบ

บทความวิจัย (Research Article)

จากการใช้งานแอปพลิเคชัน เพื่อใช้เป็นแนวทางการวิจัยในอนาคต รวมถึงอาจมีการพัฒนาระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาร่วมกับแชทบอท เพื่อให้ระบบมีความสะดวก และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] I. B. Rennine, A. S. Hasnida, and K. Shahrul, "Preventive Maintenance (PM) planning: a review," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 23, no. 2, pp. 114–143, Jan. 2017, doi: 10.1108/JQME-04-2016-0014.
- [2] A. Garg et al., "Maintenance management: literature review and directions," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 205–238, Jul. 2006.
- [3] สุพัฒน์ เติยศิริวัฒนา และคณะ, Efficacy of Maintenance สัมฤทธิ์ผลของงานบำรุงรักษา, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2549.
- [4] เสริชย์ โชติพานิช, การบริหารทรัพยากร ภาวะ: หลักการและทฤษฎี, กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- [5] อภิชาติ นาควิมล, "การพัฒนาระบบการจัดการบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อลดการสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิต," วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการพัฒนางานอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2560.
- [6] เกษม รุ่งเรือง, "การวางแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรในอุตสาหกรรมรีเลย์," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, 2552.
- [7] C. R. Do Rosario et al., "Modeling of tacit knowledge in industry: Simulations on the variables of industrial processes," *Expert Systems with Applications*, vol. 42, no. 3, pp. 1613–1625, Feb. 2015.
- [8] I. Nassi and B. Shneiderman, "Flowchart techniques for structured programming," *ACM SIGPLAN Notices*, vol. 8, no. 8, pp. 12–26, Aug. 1973.
- [9] M. von Rosing, A.-W. Scheer, and H. von Scheel, *The Complete Business Process Handbook*, Burlington: Morgan Kaufmann, 2015.
- [10] วัชรวิชัย ดาวสว่าง และ ยุทธศักดิ์ ทอดทอง, "การประยุกต์ใช้แอปพลิเคชัน AppSheet ร่วมกับ Google Spreadsheet สำหรับงานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 47–56, ม.ค.–มิ.ย. 2567.
- [11] จตุรงค์ ธนนานทศรี, "การบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงงานระบบวิศวกรรมประกอบอาคารของอาคารสำนักงาน: กรณีศึกษาอาคารสำนักงานใหญ่บริษัท กลางคุ้มครองผู้ประสบภัย จำกัด," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการ

บทความวิจัย (Research Article)

- จัดการทางวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์,
2563.
- [12] ธรรมรัตน์ สมพีช, "การบริหารจัดการงานซ่อม
บำรุงรักษาเชิงป้องกันระบบปรับอากาศขนาดใหญ่:
กรณีศึกษาอาคารศูนย์ข้อมูลแห่งหนึ่งใน
กรุงเทพมหานคร," วิทยานิพนธ์วิศวกรรม
มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม,
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2564.
- [13] มณฑิรา สุวรรณศิลป์, "โปรแกรมการ
บำรุงรักษาเชิงป้องกันในอาคารสำนักงาน,"
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชา
เทคนิคสถาปัตยกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร,
2560.
- [14] วรณวิสา ถาวร, "การวางแผนบำรุงรักษาอาคาร
ด้วยระบบ CMMS: กรณีศึกษาสถาบันวิจัยและ
เทคโนโลยี ปตท.," วิทยานิพนธ์วิศวกรรม
มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการเชิงธุรกิจ,
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2560.
- [15] ขวลิต บัวพรม และ ธารชุตตา พันธนิกุล, "การ
ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับร้านรับ
ซื้อขยะรีไซเคิล," *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และ
นวัตกรรม*, ปีที่ 16, ฉบับที่ 1, หน้า 64–78,
ม.ค.-มี.ค. 2566.

บทความวิจัย (Research Article)

การพัฒนาระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา

ภาวิกา อ้วนละมัย¹, ธรรมบุญ ปัญญาทิพย์^{1,*}, ปณิดดา โพธินาม¹, อัจฉรา สุ่มงเกษตร¹, ณรงค์ฤทธิ์ มะสุใส¹,
ทรงกรด พิมพิศาล¹ และ ไพฑูรย์ ทิพย์สันเทียะ¹

¹ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

* ผู้ประสานงานบทความฉบับนี้: tammanoon@ksu.ac.th โทรศัพท์: 089-9373774

(รับบทความ: 17 มีนาคม 2568; แก้ไขบทความ: 28 เมษายน 2568; ตอรับบทความ: 6 พฤษภาคม 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาอัลกอริทึมและพัฒนาระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา 2) พัฒนาระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเป็นฐานข้อมูลหนังสือจาก Web Opac งานวิทยบริการ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ประกอบด้วยหนังสือจำนวน 727 เรื่อง เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา ได้แก่ ภาษาไพทอน (Python) และโคแลป (Colab) วิธีการดำเนินการวิจัยได้แก่ การตัดคำด้วยวิธีการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing : NLP) หาค่าความถี่ด้วยวิธี TF-IDF และแปลงค่าข้อความเป็นค่าตัวเลขด้วยเทคนิค Label Encoding และหาค่าความใกล้เคียง 2 วิธีการ คือ วิธีการหาความใกล้เคียงแบบโคไซน์ (Cosine Similarity) และวิธีการหาความใกล้เคียงแบบแอตจัสโคไซน์ (Adjusted Cosine) วัดประสิทธิภาพด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) และค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) วิธีการแนะนำหนังสือด้วยวิธีการ Top-N ผลการวิจัยพบว่า การแนะนำหนังสือจำนวน 5 เรื่อง 1) Cosine Similarity มีความถูกต้องร้อยละ 92.97 ค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย 0.0263 2) Adjusted Cosine มีความถูกต้องร้อยละ 88.72 ค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย 0.0153 และแนะนำหนังสือจำนวน 10 เรื่อง 1) Cosine Similarity มีความถูกต้องร้อยละ 92.92 ค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย 0.2819 2) Adjusted Cosine มีความถูกต้องร้อยละ 92.50 ค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย 0.4960 และ Cosine Similarity มีประสิทธิภาพดีกว่าในด้านค่าความถูกต้องในทั้งกรณีแนะนำหนังสือ (Top-N) 5 และ 10 รายการ ขณะที่ Adjusted Cosine มีค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ยต่ำกว่าในการแนะนำหนังสือ (Top-N) 5 รายการ แต่สูงกว่าสำหรับ 10 รายการ ผลการวิจัยนี้เน้นย้ำถึงประสิทธิภาพของวิธีการวัดความใกล้เคียงในการพัฒนาระบบแนะนำแบบอิงเนื้อหาอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การแนะนำแบบอิงเนื้อหา การหาความใกล้เคียง ค่าความถี่คำแบบ TF-IDF

การอ้างอิงบทความ: ภาวิกา อ้วนละมัย, ธรรมบุญ ปัญญาทิพย์, ปณิดดา โพธินาม, อัจฉรา สุ่มงเกษตร, ณรงค์ฤทธิ์ มะสุใส, ทรงกรด พิมพิศาล และ ไพฑูรย์ ทิพย์สันเทียะ, "การพัฒนาระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 3, หน้า 36-53, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

Book Recommendation System using Content-Based Filtering Technique

Phawika Ouanlamai¹, Tammanoon Panyatip^{1,*}, Panatda Phothinam¹, Achara Sumungkaset¹,
Narongrit Masusai¹, Songgrod Phimphisan¹ and Paitoon Thipsanthia¹

¹ Department of Computer Science and Information Technology, Faculty of Science and Health Technology, Kalasin University

* Corresponding Author: tammanoon@ksu.ac.th, Tel: 089-9373774

(Received: March 17, 2025; Revised: April 28, 2025; Accepted: May 6, 2025)

Abstract

This research aims to: 1) develop an algorithm and a content-based book recommendation system, and 2) enhance the content-based book recommendation system. The dataset for the experiment consists of 727 books from the Web OPAC of the Library Services at Kalasin University. The tools used in the development process include Python programming language and Google Colab. The research methodology involves several steps: word segmentation using Natural Language Processing (NLP) techniques to tokenize text, TF-IDF calculation to determine the significance of words, and text-to-numeric conversion using Label Encoding. Two similarity measurement methods, Cosine Similarity and Adjusted Cosine Similarity, were employed. System performance was evaluated using Accuracy and Mean Absolute Error (MAE), and recommendations were generated for the top 5 and top 10 books. The findings indicate that for the top 5 book recommendations, the Cosine Similarity method produced an accuracy of 92.97% with an MAE of 0.0263, while the Adjusted Cosine Similarity method produced an accuracy of 88.72% with an MAE of 0.0153. For the top 10 book recommendations, Cosine Similarity produced an accuracy of 92.92% with an MAE of 0.2819, whereas Adjusted Cosine Similarity produced an accuracy of 92.50% with an MAE of 0.4960. The results reveal that Cosine Similarity consistently outperforms Adjusted Cosine Similarity in terms of accuracy for both the top 5 and top 10 recommendations. However, Adjusted Cosine Similarity demonstrated a lower MAE for the top 5 recommendations but a higher MAE for the top 10 recommendations. These findings underscore the effectiveness of these similarity measurement methods in developing efficient content-based recommendation systems.

Keywords: Content-Based Recommendation, Similarity, TF-IDF

Please cite this article as: P. Ouanlamai, T. Panyatip, P. Phothinam, A. Sumungkaset, N. Masusai, S. Phimphisan and P. Thipsanthia, "Book Recommendation System using Content-Based Filtering Technique," *The Journal of Engineering and Industrial Technology*, Kalasin University, vol. 3, no. 3, pp. 36-53, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ในปัจจุบันข้อมูลมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน ระบบแนะนำ (Recommendation System) ได้กลายเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการค้นหาและเลือกใช้ข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ [1] และพัฒนาจนกลายเป็นเครื่องมือพื้นฐานในการตัดสินใจและการเลือกที่มีข้อมูลมากขึ้นในชีวิตประจำวัน [2] ระบบแนะนำได้รับการพัฒนาขึ้นในหลาย ๆ ด้าน เช่น เพลง ภาพยนตร์ ข่าว และผลิตภัณฑ์โดยทั่วไป ในยุคปัจจุบัน องค์กรส่วนใหญ่ใช้ระบบแนะนำเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ตัวอย่างเช่น LinkedIn, Amazon และ Netflix LinkedIn [3] โดยเฉพาะด้านการแนะนำหนังสือ ซึ่งช่วยให้ผู้อ่านสามารถค้นพบหนังสือที่ตรงกับความสนใจและความต้องการของตนเองได้อย่างรวดเร็ว ระบบแนะนำหนังสือแบบอิงเนื้อหา (Content-Based Recommendation System) เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลเชิงลักษณะของรายการ เช่น ประเภท หมวดหมู่ คำสำคัญ ใช้ได้กับข้อมูลผู้ใช้ไม่มาก ตัวอย่างประเภทข้อมูลที่เหมาะสม เช่น บทความ ข่าว ภาพยนตร์ หนังสือ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการคัดกรองแบบใช้ความร่วมมือ (Collaborative Filtering) เหมาะกับลักษณะข้อมูลมีข้อมูลพฤติกรรมของผู้ใช้จำนวนมาก เช่น การให้คะแนน การคลิก หรือการซื้อสินค้า เหมาะสำหรับกรณีที่ไม่มีข้อมูลเนื้อหาเชิงลึกของรายการ ตัวอย่างประเภทข้อมูลที่เหมาะสม เช่น อีคอมเมิร์ซ ฟังเพลง การกดไลก์ กดแชร์ของโซเชียลมีเดีย ดังนั้นระบบแนะนำหนังสือแบบอิงเนื้อหา เหมาะกับการวิเคราะห์เอกสาร หนังสือ โดยพิจารณาข้อมูลในอดีตและพยายามเรียนรู้แบบจำลองการตั้งค่าโดยอิงจาก

การแสดงเนื้อหาของรายการที่แนะนำตามคุณลักษณะ [4] ซึ่งใช้ข้อมูลคุณลักษณะของหนังสือ เช่น ชื่อเรื่อง ผู้แต่ง คำสำคัญ และประเภท เพื่อสร้างคำแนะนำที่มีความเกี่ยวข้องเฉพาะตัวกับผู้อ่าน การพัฒนาระบบนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในยุคดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ ที่การค้นหาข้อมูลมักเต็มไปด้วยความซับซ้อนและมีปริมาณข้อมูลที่มีขนาดใหญ่

ห้องสมุดหรือสำนักวิทยบริการ เป็นสถานที่รวบรวมหนังสือเพื่อให้บริการแก่นักศึกษา บุคลากร และบุคคลทั่วไป รวมทั้งเป็นแหล่งเรียนรู้ศึกษาเพิ่มเติมในการเรียนการสอน และส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยตนเองตลอดชีวิต เมื่อเปรียบเทียบกับห้องสมุดประเภทอื่นแล้ว ห้องสมุดสถาบันอุดมศึกษาเป็นห้องสมุดขนาดใหญ่ มีหนังสือหลากหลายประเภทและมีจำนวนมาก จึงทำให้ห้องสมุดต้องเผชิญกับข้อมูลจำนวนมาก ทั้งข้อมูลการยืม-คืนหนังสือ ข้อมูลทะเบียนหนังสือ และข้อมูลของผู้ใช้บริการห้องสมุด ทั้งนี้ข้อมูลหนังสือมีจำนวนที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จึงทำให้ผู้ใช้บริการห้องสมุดเกิดปัญหาในการค้นหาหนังสือหรือไม่สามารถค้นหาหนังสือของห้องสมุดได้ตรงกับความต้องการ และไม่สามารถใช้ทรัพยากรสารสนเทศที่มีในห้องสมุดได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ [5] ปัจจุบันห้องสมุดมีระบบสืบค้นหนังสือ เพื่อช่วยให้ผู้ใช้บริการมีความสะดวกในการค้นหาและเลือกหนังสือที่ตนเองสนใจ เช่น การค้นหาหนังสือจากความสะดวกของคำค้นหนึ่ง ๆ กับชื่อหนังสือ [6] แต่ในบางครั้งผู้ใช้บริการไม่สามารถที่จะสืบค้นข้อมูลหนังสือที่ตรงกับความสนใจ และเสียเวลาในการสืบค้นข้อมูลหนังสือ ทุกวันนี้ได้มีระบบที่เข้ามาช่วยอำนวยความสะดวกสำหรับผู้ใช้บริการไม่ต้องเสียเวลาในการสืบค้น

บทความวิจัย (Research Article)

ข้อมูล และได้ข้อมูลตรงตามต้องการ นั่นคือระบบแนะนำข้อมูล [7] เป็นการประยุกต์ใช้จากประสบการณ์ของผู้ใช้ (User) เช่น ประสบการณ์การซื้อสินค้า การใช้บริการ การยืม-คืนหนังสือ เป็นต้น จากข้อมูลของผู้ใช้เหล่านั้นไปหาค่าความใกล้เคียง โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ประกอบการตัดสินใจให้กับผู้ใช้งาน เพื่อเพิ่มโอกาสให้กับผู้ใช้งานได้หนังสือที่ตรงตามความต้องการ โดยผู้ใช้งานไม่ต้องเสียเวลาในการสืบค้นข้อมูล

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา โดยใช้ฐานข้อมูลจาก Web Opac งานวิทยบริการ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ เป็นกรณีศึกษา เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้บริการ และส่งเสริมการยืมหนังสือภายในห้องสมุด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา

2) เพื่อพัฒนาระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบแนะนำ (Recommender System : RS) เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ใช้ค้นหาเนื้อหาและเอาชนะข้อมูลขนาดใหญ่ โดยจะให้คำแนะนำตามรูปแบบรสนิยมของผู้ใช้และคาดการณ์ความสนใจของผู้ใช้ ปัจจุบัน ระบบแนะนำได้สร้างพื้นที่ให้กับตัวเองด้วยการมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของแต่ละบุคคลอย่าง

มาก เว็บไซต์สื่อสารโซเชียล เช่น Facebook, Google, Twitter, LinkedIn และ Netflix ล้วนประสบความสำเร็จอย่างมากจากระบบแนะนำ [8] ระบบแนะนำแบ่งประเภทได้ 3 ประเภท ได้แก่ ระบบการกรองแบบร่วมมือกัน (Collaborative Filtering) ระบบการกรองตามเนื้อหา (Content-Based Filtering) และระบบไฮบริด (Hybrid Systems) [3] ระบบเหล่านี้สร้างแบบจำลองจากพฤติกรรมในอดีตของผู้ใช้ระบบแนะนำคือการกรองตามเนื้อหา การกรองตามเนื้อหาจะวิเคราะห์พฤติกรรมที่ผ่านมาของผู้ใช้และแนะนำรายการที่คล้ายกันตามพารามิเตอร์ที่กำหนด [4] รายละเอียดดังนี้

1) ระบบการกรองแบบร่วมมือกัน (Collaborative Filtering : CF) เป็นวิธีที่อาศัยพฤติกรรมของผู้ใช้รายอื่นที่มีความสนใจคล้ายกันเพื่อแนะนำข้อมูล CF ใช้ข้อมูล User-Item เป็นอินพุตเพื่อสร้างคำแนะนำ โดยจะทำนายไอเท็มตามคะแนนที่ผ่านมาของผู้ใช้และคะแนนที่ผู้ใช้ที่มีโปรไฟล์เดียวกัน [9] ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถแนะนำรายการที่ผู้ใช้ไม่เคยมีประวัติการเข้าถึงมาก่อนได้ (Serendipity) และสามารถใช้ได้กับข้อมูลประเภทต่าง ๆ โดยไม่ต้องพึ่งพาคุณลักษณะเฉพาะของรายการ อย่างไรก็ตาม ข้อเสียคืออาจเกิดปัญหา Cold Start สำหรับผู้ใช้หรือรายการใหม่ ๆ ที่ไม่มีข้อมูลพฤติกรรมมาก่อน และอาจได้รับผลกระทบจากปัญหา Sparsity หากมีข้อมูลไม่เพียงพอ

2) ระบบการกรองตามเนื้อหา (Content-Based Filtering : CBF) เป็นระบบที่วิเคราะห์พฤติกรรมที่ผ่านมาของผู้ใช้และแนะนำรายการที่คล้ายกันตามพารามิเตอร์ที่กำหนด [4] ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถ

บทความวิจัย (Research Article)

แนะนำข้อมูลโดยไม่ต้องพึ่งพาผู้อื่น ลดปัญหา Cold Start สำหรับผู้ใช้ที่มีข้อมูลประวัติการใช้งานอยู่แล้ว และสามารถอธิบายได้ว่าทำไมระบบจึงแนะนำรายการใดรายการหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ระบบนี้มีข้อจำกัด เช่น ปัญหา Over-Specialization [10] ซึ่งอาจทำให้แนะนำเฉพาะรายการที่คล้ายกับสิ่งที่ผู้ใช้เคยมีประวัติการค้นหานั้น ส่งผลให้ขาดความหลากหลาย นอกจากนี้ยังต้องอาศัยการออกแบบคุณลักษณะของข้อมูล (Feature Engineering) ที่เหมาะสมเพื่อให้การแนะนำมีประสิทธิภาพ

3) ระบบไฮบริด (Hybrid Systems) เป็นการผสมผสานระหว่าง Collaborative Filtering และ Content-Based Filtering เพื่อใช้ประโยชน์จากข้อดีของทั้งสองระบบ โดยสามารถลดปัญหา Cold Start, Sparsity และ Overspecialization ได้ ทำให้การแนะนำมีความแม่นยำและหลากหลายมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อเสียคือมีความซับซ้อนสูง ต้องใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมากขึ้น และต้องมีการออกแบบโมเดลที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถรวมข้อดีของทั้งสองวิธีได้อย่างมีประสิทธิภาพ [11]

ระบบการกรองตามเนื้อหา (Content-Based Filtering: CPF) เป็นวิธีการแนะนำที่คล้ายกับการกรองตามความรู้ความเข้าใจ ซึ่งเน้นการคาดการณ์และแนะนำรายการที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับความสนใจหรือพฤติกรรมของผู้ใช้ [12] โดยการกรองตามเนื้อหาจะพิจารณาความคล้ายคลึงกันระหว่างบทความหรือรายการที่ผู้ใช้สนใจ [13,14] ใช้เทคนิคหาค่าความถี่ด้วย TF-IDF Vectorizer และคำนวณความคล้ายคลึงกัน [15] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองตามเนื้อหา นักวิจัยหลายคนจึงคำสำคัญมาใช้ใน

การคำนวณความคล้ายคลึงกัน โดยหนึ่งในวิธีที่ได้รับคือนิยามคือการใช้เมตริกความคล้ายคลึงของโคไซน์ (Cosine Similarity) และแอตจัสต์โคไซน์ (Adjusted Cosine) [16] ทั้งนี้มีนักวิจัยที่ให้ความสนใจการพัฒนา ระบบแนะนำหนังสือ ได้แก่ การศึกษาของ Kommineni และคณะ [17] ได้ทำการพัฒนาระบบแนะนำหนังสือที่ใช้การเรียนรู้ของเครื่องและอัลกอริทึมการกรองแบบร่วมมือกันตามผู้ใช้ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีต่าง ๆ เช่น Pearson Coefficient Correlation (PCC), Constrained Pearson Coefficient (CPCC), Cosine Similarity และ Jaccard Similarity พบว่า CPCC เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการแนะนำข้อมูล Top-10 ในงานศึกษาของ Sarma และคณะ [18] ได้พัฒนาระบบแนะนำหนังสือส่วนบุคคลด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง โดยการใช้การจัดกลุ่ม K-means และการวัดความคล้ายคลึงของโคไซน์ ผลลัพธ์จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบมีความไวและความจำเพาะเฉลี่ยที่ 49.76% และ 56.74% ตามลำดับ และมีคะแนน F1 ที่ 52.84% จากการศึกษาเหล่านี้ สามารถสรุปได้ว่าการกรองตามเนื้อหาเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแนะนำรายการที่เกี่ยวข้องกับความชอบของผู้ใช้ โดยเฉพาะในกรณีที่สามารถใช้ข้อมูลเชิงลึก เช่น คำอธิบาย หรือคุณสมบัติของรายการต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการแนะนำ

ดังนั้น จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่าการเลือกใช้ระบบแนะนำหนังสือที่ใช้การกรองตามเนื้อหา เป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับระบบแนะนำหนังสือ เนื่องจากสามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของหนังสือ เช่น ประเภท ผู้แต่ง หรือคำ

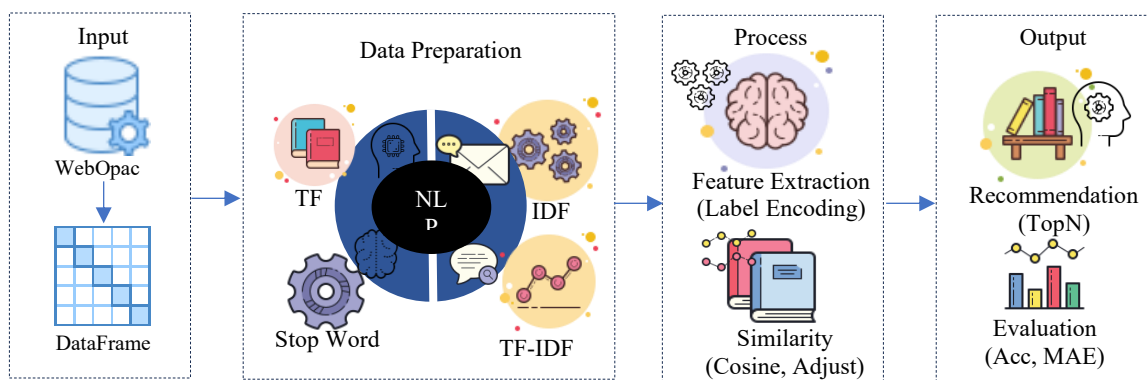
บทความวิจัย (Research Article)

สำคัญ แล้วแนะนำหนังสือที่คล้ายกับที่ผู้ใช้เคยอ่าน โดยไม่ต้องพึ่งพาข้อมูลจากผู้อื่น ทำให้สามารถสร้างคำแนะนำแบบเฉพาะบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพ CBF ยังช่วยลดปัญหาผู้ใช้ใหม่ (Cold Start Problem) เพราะใช้ข้อมูลจากเนื้อหาหนังสือโดยตรง ไม่จำเป็นต้องมีประวัติการใช้งานของผู้ใช้ จึงเหมาะกับการแนะนำหนังสือเฉพาะกลุ่มที่มีข้อมูลพฤติกรรมจำกัด อีกจุดเด่นของ CBF คือ ความสามารถในการอธิบายคำแนะนำ เช่น "หนังสือเล่มนี้ถูกแนะนำเพราะมีเนื้อหาคล้ายกับที่คุณเคยอ่าน" ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ ดังนั้น CBF จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม สำหรับระบบแนะนำหนังสือ โดยเฉพาะเมื่อต้องการคำแนะนำที่แม่นยำ เข้าใจง่าย และไม่ต้องอาศัยพฤติกรรมของผู้ใช้อื่น

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหาได้กลายเป็นเครื่องมือที่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้และการค้นคว้าอย่าง

มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบแนะนำหนังสือโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติ หาค่าความถี่และการวิเคราะห์ค่าความคล้ายคลึง เพื่อช่วยให้ผู้ใช้ค้นพบหนังสือที่ตรงกับความสนใจได้ง่ายและรวดเร็ว พร้อมประเมินประสิทธิภาพผ่านการทดลองที่ครอบคลุมและชัดเจน ซึ่งมีกระบวนการดำเนินการวิจัย ดังนี้



รูปที่ 1 กรอบระเบียบวิธีวิจัยระบบแนะนำหนังสือ

4.1 การเลือกข้อมูล (Data Collection)

ระบบแนะนำหนังสือเริ่มต้นด้วยการรวบรวมข้อมูลหนังสือทั้งหมด 727 เรื่องจากฐานข้อมูล Web Opac มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทคอมพิวเตอร์ จำนวน 389 เรื่อง กฎหมาย จำนวน 270 เรื่อง และบัญชี จำนวน

68 เรื่อง ข้อมูลแต่ละเล่มประกอบด้วย Features เช่น ชื่อเรื่อง (Title) ชื่อผู้แต่ง (Author) เมือง (City) ปีที่พิมพ์ (Year) โรงพิมพ์ (Published) คำสำคัญ (Keywords) และประเภทหนังสือ (Type) มีลักษณะข้อมูลดังรูปที่ 2

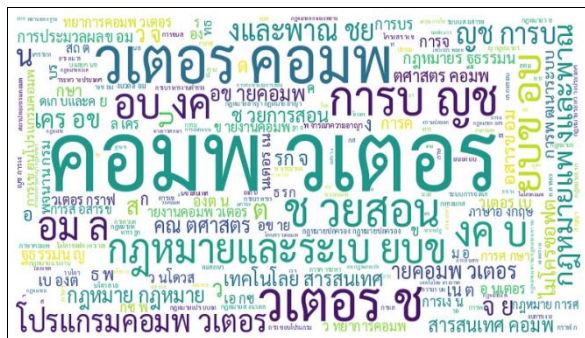
บทความวิจัย (Research Article)

code	title	author	city	published	year	Keyword	Type
3781	ฝ่า ! ...คอมพิวเตอร์	อนิรุทธิ์ รัชตวรราช	กรุงเทพมหานคร	โปรวิชั่น	2543	คอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์
4741	สงครามคอมพิวเตอร์	Wilson,Cronville	กรุงเทพมหานคร	กอไผ่	2526	คอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์
4767	โปรแกรมคอมพิวเตอร์	ยีน คุสุวรรณ	กรุงเทพมหานคร	ซีเอ็ดยูเคชั่น	2535	คอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์
4898	1001 ปัญหาคอมพิวเตอร์	Komando , Kim	กรุงเทพมหานคร	ซีเอ็ดยูเคชั่น	2540	ปัญหา คอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์
5829	คอมพิวเตอร์เบื้องต้น	นฤชิต แวศรีพ้อง	กรุงเทพมหานคร	ซีเอ็ดยูเคชั่น	2548	คอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์
5987	เครือข่ายคอมพิวเตอร์	จารวรรณ ทูลธรรม	ขอนแก่น	วิทยาเขตขอนแก่น	2548	เครือข่ายคอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์
6537	คอมพิวเตอร์กับงานบัญชี	ฉวีวรรณ โสภางรี	กรุงเทพมหานคร	พรจอมเกล้าพรนคร	2547	คอมพิวเตอร์ บัญชี	คอมพิวเตอร์
6569	คอมพิวเตอร์ทำงานอย่างไร	วิโรจน์ อัครวงษ์	กรุงเทพมหานคร	ซีเอ็ดยูเคชั่น	2538	คอมพิวเตอร์ ทำงาน	คอมพิวเตอร์
6573	คู่มือคอมพิวเตอร์ 2006	อนิรุจน์ รัชตวรราช	กรุงเทพมหานคร	โปรวิชั่น	2548	คู่มือ คอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์
6584	ถอดรหัสไวรัสคอมพิวเตอร์	ดลเดช ศุภวิจิตรกุล	กรุงเทพมหานคร	ซีเอ็ดยูเคชั่น	2545	ไวรัสคอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์

รูปที่ 2 ลักษณะของข้อมูล

สามารถแสดงกลุ่มคำ (Word Cloud) ที่สร้างจากชื่อเรื่องหนังสือ (Title) ของชุดข้อมูล ดังรูปที่ 3 (1) และแสดงกลุ่มคำที่สร้างจากคำสำคัญ (Keywords)

ดังรูปที่ 3 (2) ซึ่งชุดข้อมูลเหล่านี้ได้รับการทำความสะอาดก่อนที่จะถูกแปลงเป็นเวกเตอร์



(1)



(2)

รูปที่ 3 แสดงกลุ่มคำของชุดข้อมูล

4.2 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

ในกระบวนการเตรียมข้อมูล เป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาระบบแนะนำหนังสือแบบอิงเนื้อหา โดยข้อมูลดิบจากฐานข้อมูลจะถูกจัดเตรียมให้เหมาะสมต่อการประมวลผลด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การทำความสะอาดข้อมูล การแยกข้อความ และการหาค่าความถี่ของคำ เพื่อให้ระบบสามารถวิเคราะห์และสร้างคำแนะนำได้อย่างแม่นยำ มีขั้นตอนดังนี้

4.2.1 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning)

กระบวนการตรวจสอบ แก้ไข และลบข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง หรือไม่สมบูรณ์ในชุดข้อมูล เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลให้เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ และการสร้างโมเดล จากข้อมูลที่ดึงมาจาก Web Opac เป็นลักษณะ Text ไฟล์ ประกอบด้วยข้อมูล Bib, Leader, ISBN, Dewey Call, Title, Edition, Published/Created, Note, Bibliography,

บทความวิจัย (Research Article)

Subject, Added Author, Keyword ผู้วิจัยได้ทำแปลงข้อมูลเป็นลักษณะตาราง ไฟล์ csv และ Features ดังนี้ Title, Author, City, Year, Published, Keywords, Type

4.2.2 การรวมข้อมูลและแยกข้อความ (Word Segmentation)

ในขั้นตอนนี้ ข้อมูลข้อความดิบจะถูกแปลงเป็นหน่วยย่อยที่เรียกว่า "คำ" โดยใช้กระบวนการ Word Segmentation ซึ่งเป็นการแยกคำในภาษาที่ไม่มีตัวเว้นวรรค เช่น ภาษาไทย ออกจากกันอย่างถูกต้อง เพื่อให้สามารถนำไปประมวลผลต่อในงานด้าน การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) [19] สำหรับการตัดคำในภาษาไทย PyThaiNLP เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ได้รับความนิยม ซึ่งใช้วิธีการตัดคำ Newmm ที่อาศัยกฎไวยากรณ์และข้อมูลสถิติช่วยให้การตัดคำมีความแม่นยำและยืดหยุ่นมากขึ้น ตัวอย่างเช่น คอลัมน์ชื่อหนังสือ (Title) เช่น ชื่อเรื่องหนังสือ “การเขียนโปรแกรม Python สำหรับนักศึกษา” เมื่อทำการตัดคำจะได้ กลุ่มคำ คือ [“การเขียนโปรแกรม”, “Python”, “สำหรับ”, “นักศึกษา”]

4.2.3 การลบคำหยุด (Stop-word Removal)

คือกระบวนการในการกำจัด คำที่มีความหมายทั่วไป หรือ คำที่ไม่มีคุณค่าทางข้อมูล ในการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) เช่น คำที่ใช้บ่อยในภาษา แต่ไม่ช่วยในการทำความเข้าใจเนื้อหาหรือบริบทของข้อความมากนัก เพื่อลดคำที่ไม่มีความสำคัญ เช่น "และ", "หรือ", "ของ" ซึ่งถูกกำจัดออกจากชุดข้อมูล เช่น จากกลุ่มคำ [“การเขียน

โปรแกรม”, “Python”, “สำหรับ”, “นักศึกษา”] จะลบคำว่า “สำหรับ” จะได้กลุ่มคำใหม่คือ [“การเขียนโปรแกรม”, “Python”, “นักศึกษา”]

4.2.4 การคำนวณค่าความถี่คำ

Term Frequency (TF) [8] ใช้วัดว่าคำใดปรากฏบ่อยในข้อความหนังสือแต่ละเล่ม โดยมีสูตรสมการคือ

$$TF(t, d) = \frac{\text{จำนวนครั้งที่คำ } t \text{ ปรากฏในเอกสาร } d}{\text{จำนวนคำทั้งหมดในเอกสาร } d} \quad (1)$$

เมื่อ t คือคำที่สนใจ และ d คือข้อความของหนังสือเล่มหนึ่ง

4.2.5 การคำนวณค่าความสำคัญของคำ

Inverse Document Frequency (IDF) ใช้ระบุว่าคำนั้นเป็นเอกลักษณ์เพียงใดในชุดข้อมูลทั้งหมด โดยพิจารณาจำนวนเอกสารที่คำปรากฏอยู่ โดยมีสูตรสมการคือ [8]

$$IDF(t) = \log \frac{N}{1+DF(t)} \quad (2)$$

เมื่อ N คือจำนวนหนังสือทั้งหมดในฐานข้อมูล และ $DF(t)$ คือ จำนวนหนังสือที่มีคำ t ปรากฏ

4.2.6 การรวมค่าความถี่คำและค่าความสำคัญ (TF-IDF)

ประกอบด้วย TF และ IDF ซึ่งก็คือความถี่ของคำและความถี่ของเอกสารผกผันตามลำดับ TF แสดงถึงความถี่ที่คำปรากฏในเอกสาร แนวคิดหลักของ IDF คือ หากคำปรากฏในเอกสารอื่นหลายครั้ง คำนั้นจะมี

บทความวิจัย (Research Article)

ความสำคัญน้อยลงค่าคะแนน TF-IDF คำนวณจากผลคูณของ TF และ IDF มีสูตรสมการดังนี้ [8]

$$TF - IDF(t, d) = TF(t, d) \times IDF(t) \quad (3)$$

สำหรับกระบวนการเตรียมข้อมูลช่วยให้ชุดข้อมูลของหนังสือทั้ง 727 เรื่องถูกจัดการให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณในขั้นต่อไป โดยเน้นการประมวลผลข้อความและการแปลงข้อมูลเป็นค่าตัวเลขเพื่อลดความซับซ้อนและเพิ่มความแม่นยำในระบบแนะนำหนังสือ

4.3 การแปลงข้อมูลเป็นเชิงตัวเลข (Feature Extraction)

ในกระบวนการนี้ ข้อมูลจากหนังสือถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบเชิงตัวเลขที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณ โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) [8] จาก Features Title (0) นอกจากนี้ ยังใช้ Label Encoding เพื่อแปลงข้อความเหล่านี้ให้เป็นตัวเลขจาก Features ดังนี้ Author, City, Year, Published, Keywords, Type ดังรูปที่ 4

	code	author	city	published	year	Keyword	Type	0
0	3781	529.0	0.0	230.0	17.0	270.0	0	[[0.7071067811865475, 0.7071067811865475]]
1	4741	17.0	0.0	32.0	2.0	270.0	0	[[0.5773502691896258, 0.5773502691896258, 0.57...
2	4767	327.0	0.0	50.0	8.0	270.0	0	[[0.7071067811865475, 0.7071067811865475]]
3	4898	16.0	0.0	50.0	13.0	414.0	0	[[0.5, 0.5, 0.5, 0.5]]
4	5829	190.0	0.0	51.0	22.0	270.0	0	[[0.5, 0.5, 0.5, 0.5]]

รูปที่ 4 ลักษณะการแปลงข้อมูล

4.4 การคำนวณค่าความใกล้เคียง (Similarity Calculation)

กระบวนการนี้มีเป้าหมายเพื่อวัดความคล้ายคลึงกันระหว่างหนังสือสองเล่ม โดยใช้เวกเตอร์ที่สร้างจากค่าคะแนน TF-IDF ของคำและ Label Encoding มาทำการคำนวณค่าความใกล้เคียงทำได้ด้วยวิธี Cosine Similarity [17, 20] คือผลคูณจุดของจุดข้อมูลสองจุดวัดมุมโคไซน์ระหว่างวัตถุ หากมุมระหว่างวัตถุทั้งสองเท่ากับ 0 องศา ความคล้ายคลึงจะเป็น 1 หากมุม

เท่ากับ 90 องศา คะแนนความคล้ายคลึงจะเป็น 0 นับเป็นเมทริกซ์

ที่นิยมใช้กันมากในการหาความคล้ายคลึงเนื่องจากประเมินได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเวกเตอร์แบบเบาบาง และวิธี Adjusted Cosine Similarity [1, 20] ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงระดับความเหมือนหรือความแตกต่างของหนังสือในเชิงเนื้อหาโดยรายละเอียดดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)

4.4.1 Cosine Similarity มีสูตรสมการ [17] ดังนี้

$$S_{\cosine}(A, B) = \frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|} \quad (4)$$

เมื่อ A และ B คือเวกเตอร์ TF-IDF ของหนังสือสองเล่ม, $A \cdot B$ คือผลคูณของเวกเตอร์ A และ B , $\|A\|$ คือ ความยาวหรือขนาดของเวกเตอร์ A , $\|B\|$ คือ ความยาวหรือขนาดของเวกเตอร์ B , $S_{\cosine}$ คืออยู่ในช่วง $[0,1]$ โดย 1 หมายถึงเหมือนกันมากที่สุด

4.4.2 Adjusted Cosine Similarity [20] มี สูตร สมการ ดังนี้

$$S_{adjusted}(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})(B_i - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})^2}} \quad (5)$$

เมื่อ A_i, B_i คือค่าของคำที่ตำแหน่ง i ในเวกเตอร์ A และ B , $\bar{A}, \bar{B}$ คือ ค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์ A และ B

การคำนวณความใกล้เคียงด้วยวิธีการ Cosine Similarity และ Adjusted Cosine Similarity ช่วยประเมินความคล้ายคลึงของหนังสือในเชิงเนื้อหา โดย Cosine Similarity ใช้สำหรับการวัดทั่วไป และ Adjusted Cosine Similarity ใช้ในกรณีที่ต้องปรับค่าตามระดับความนิยมของคำในหนังสือ

4.5 การแนะนำหนังสือ (Book Recommendation)

การทดลองวิจัยได้มีการแบ่งชุดข้อมูลเป็นชุดฝึก (Training Set) และชุดทดสอบ (Test Set) คือ 95:5, 90:10 และ 80:20 สำหรับการทดลองโดยใช้ข้อมูลทดสอบในสัดส่วนต่าง ๆ เช่น 5%, 10%, และ 20% การทดลองนี้เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดข้อมูลทดสอบที่แตกต่างกันในการประเมินประสิทธิภาพของโมเดล โดยช่วยให้เราสามารถเข้าใจได้ว่า ขนาดข้อมูลทดสอบที่มากขึ้นหรือความหลากหลายของข้อมูลทดสอบจะส่งผลต่อความแม่นยำของโมเดลในลักษณะใด และช่วยให้เราสามารถปรับปรุงโมเดลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

กระบวนการแนะนำหนังสือใช้ค่าความใกล้เคียง (Similarity) ที่คำนวณได้ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ เพื่อสร้างรายการแนะนำหนังสือ โดยวิธีการ Top-N Recommendation จะคัดเลือกหนังสือที่มีค่าความใกล้เคียงกับหนังสือที่ผู้ใช้สนใจมากที่สุด N รายการ กระบวนการนี้ช่วยให้ผู้ใช้ได้รับคำแนะนำที่ตรงกับความต้องการหรือความสนใจ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกการแนะนำหนังสือจำนวน $N = 5$ เรื่อง [21] และ $N = 10$ เรื่อง [1, 17] สูตรสมการสำหรับการจัดอันดับ (Ranking) จากการวัดค่าความใกล้เคียง $S_{similarity}(A, B)$ ของหนังสือเป้าหมาย A และหนังสืออื่น ๆ $B_1, B_2, \dots, B_m$ จะถูกจัดเรียงในลำดับจากมากไปน้อยเพื่อเลือกหนังสือ N เล่มที่คล้ายกับหนังสือเป้าหมายมากที่สุด สำหรับกระบวนการแนะนำหนังสือใช้ค่าความใกล้เคียงเพื่อจัดอันดับและเลือกหนังสือ N รายการที่มีเนื้อหาคล้ายกับหนังสือเป้าหมายมากที่สุด วิธีการนี้ช่วยสร้างคำแนะนำที่สอดคล้องกับความสนใจของผู้ใช้มีประสิทธิภาพ

บทความวิจัย (Research Article)

5. การประเมินผล (Evaluation)

การวัดประเมินผลระบบแนะนำหนังสือแบบอิงเนื้อหา มีวิธีการวัดด้วยวิธีวัดค่าความถูกต้อง (Accuracy) [22] และวัดค่าความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Error (MAE) [1] ดังนี้

5.1 ค่าความถูกต้อง

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{จำนวนคำแนะนำที่ถูกต้อง}}{\text{จำนวนคำแนะนำทั้งหมด}} \quad (7)$$

เมื่อจำนวนคำแนะนำที่ถูกต้อง คือจำนวนคำแนะนำที่ตรงกับประเภทที่เราต้องการ หรือประเภทที่ถูกต้อง และจำนวนคำแนะนำที่เลือก คือจำนวนคำแนะนำทั้งหมดที่เราตัดสินใจเลือกมา

ยกตัวอย่าง สมมติว่าเราได้ทำการแนะนำหนังสือ 5 รายการ (Top 5) เพื่อคำนวณค่าความถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งในที่นี้การแนะนำที่ถูกต้องจะต้องเป็นหนังสือประเภทคอมพิวเตอร์ที่เราคาดหวัง โดยจาก 5 รายการแรกที่เราเลือกมา พบว่า ทุกคำแนะนำใน 5 รายการนี้มีประเภทที่ตรงกับประเภทคอมพิวเตอร์ จำนวน 4 รายการ ดังนั้น จำนวนคำแนะนำที่ถูกต้อง เมื่อใช้สูตรคำนวณค่าความถูกต้อง จะได้ $\text{Accuracy} = 4/5 = 0.8$ หรือ 80%

5.2 ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|}{n} \quad (8)$$

เมื่อ y_i คือค่าความจริง (Actual Value) ของตัวอย่างที่ i , $\hat{y}_i$ คือค่าที่คาดการณ์ (Predicted Value) ของตัวอย่างที่ i , n คือจำนวนตัวอย่างทั้งหมดในชุดข้อมูล และ $|\hat{y}_i - y_i|$ คือค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างค่าความจริงกับค่าที่คาดการณ์

6. ผลการวิจัย

6.1 ผลการพัฒนาอัลกอริทึมระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบการแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา ซึ่งมีกระบวนการพัฒนาตามวิธีการดำเนินการวิจัยแต่ละขั้นตอน สามารถสรุปเป็นอัลกอริทึมระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา ดังนี้

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบการแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา ซึ่งมีกระบวนการพัฒนาตามวิธีการดำเนินการวิจัยแต่ละขั้นตอน สามารถสรุปเป็นอัลกอริทึมระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา ดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)

1. การเลือกข้อมูลและการเตรียมข้อมูล

1.1 อินพุต ชุดข้อมูล D ซึ่งประกอบด้วยหนังสือ $D = \{B1, B2, \dots, Bn\}$ พร้อมพีเจอร์

$F = \{\text{ชื่อเรื่อง, ผู้แต่ง, เมือง, ปีที่พิมพ์, โรงพิมพ์, คำสำคัญ, ประเภทหนังสือ}\}$

1.2 แยกข้อความ $Tokens(d_i) \leftarrow Tokenize(Features(d_i)), \forall d_i \in D$

1.3 ทำความสะอาดข้อมูล ลบคำฟุ่มเฟือยหรือคำที่ไม่มีความสำคัญ ด้วย Stop words

2. การแปลงข้อมูลเป็นเชิงตัวเลข

2.1 คำนวณ TF-IDF สำหรับหนังสือทุกเล่ม

$$TF-IDF(t, d_i) \leftarrow \frac{Freq(t, d_i)}{Total Term in d_i} \times \log \frac{Total Documents}{Documents Containing t}, \forall t \in tokens(d_i)$$

2.2 แปลงค่าข้อมูลแต่ละ Features

$$Encoded Label(d_i) \leftarrow LabelEncoder(Category(d_i))$$

3. คำนวณค่าความใกล้เคียง

3.1 สร้างเวกเตอร์ TF-IDF สำหรับหนังสือเป้าหมาย q

$$Vector(q) \leftarrow TF-IDF(q)$$

3.2 คำนวณ Cosine Similarity ระหว่าง q และทุก d_i

$$S_{cosine}(q, d_i) = \frac{Vector(q) \cdot Vector(d_i)}{\|Vector(q)\| \|Vector(d_i)\|}$$

3.3 คำนวณ Adjusted Cosine Similarity

$$S_{adjusted}(q, d_i) = \frac{\sum_k (q_k - \bar{q})(d_{i,k} - \bar{d}_i)}{\sqrt{\sum_k (q_k - \bar{q})^2} \sqrt{\sum_k (d_{i,k} - \bar{d}_i)^2}}$$

4. การเลือกแนะนำหนังสือ

4.1 เรียงลำดับค่าความใกล้เคียง

$$R \leftarrow Sort(\{S(q, d_1), S(q, d_2), \dots, S(q, d_n)\}, Descending)$$

4.2 เลือก Top-N

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_N\}, \text{ where } r_i \text{ is Top - } N \text{ By Similarity}$$

6.2 ผลการพัฒนาระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา

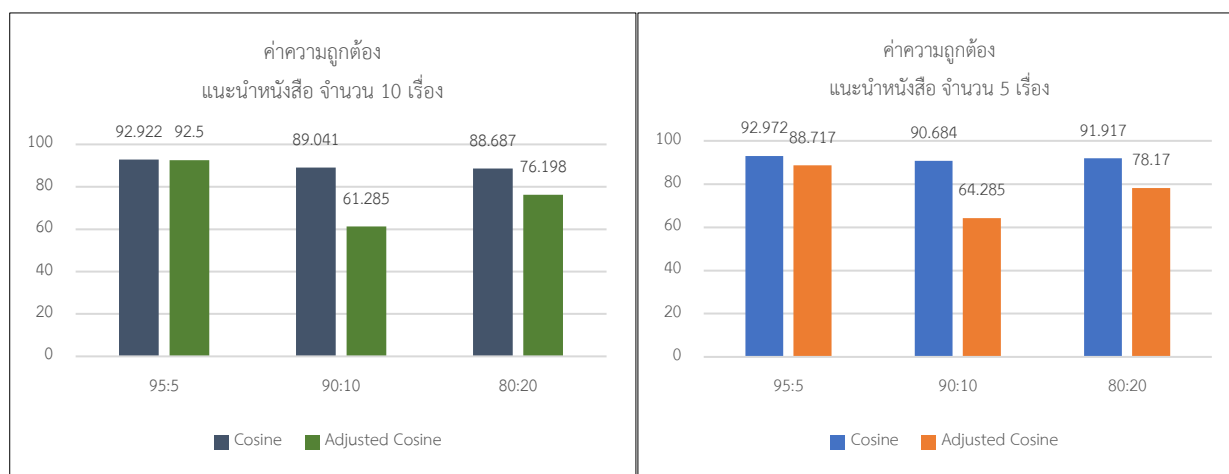
ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเลือกหนังสือที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ โดยใช้ข้อมูลคุณลักษณะของหนังสือเป็นพื้นฐาน ระบบสามารถ

สร้างคำแนะนำที่มีความถูกต้องและเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถสรุปผลการวัดความใกล้เคียงด้วยวิธีการโคไซน์ (Cosine) ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 5 และสรุปผลการวัดความใกล้เคียงด้วยวิธีการแอดจัสต์โคไซน์ (Adjusted Cosine) ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 6

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบวัดความใกล้เคียงด้วยวิธีการโคไซน์ (Cosine) และวิธีการแอดจัสต์โคไซน์ (Adjusted Cosine)

ข้อมูลทดสอบ	ค่าความถูกต้อง (Accuracy) (%)			
	วิธีการโคไซน์ (Cosine)		วิธีการแอดจัสต์โคไซน์ (Adjusted Cosine)	
	แนะนำ 10 เรื่อง	แนะนำ 5 เรื่อง	แนะนำ 10 เรื่อง	แนะนำ 5 เรื่อง
5%	92.92	92.97	92.50	88.71
10%	89.04	90.68	61.28	64.28
20%	88.68	91.91	76.19	78.17



รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องแนะนำหนังสือ จำนวน 10 เรื่อง และ 5 เรื่อง

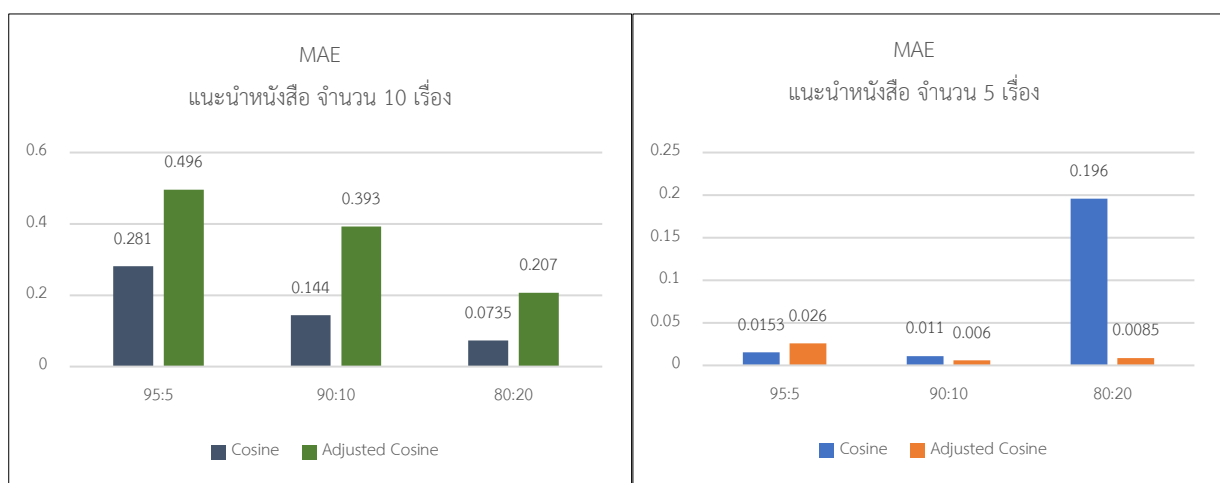
จากตารางที่ 1 และรูปที่ 5 พบว่า การวัดความใกล้เคียงด้วยวิธีการโคไซน์และวิธีการแอดจัสต์โคไซน์ ระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา ด้วยการแยกข้อมูลเป็นชุดทดสอบ จำนวน 5%, 10%, 20% และแนะนำหนังสือ จำนวน 10 เรื่อง และ 5 เรื่อง ตามลำดับ ผลปรากฏว่า วิธีการแบบโคไซน์ มีค่าความถูกต้อง (Accuracy) มากที่สุดเท่ากับ 92.97% สำหรับแนะนำหนังสือ (TopN) จำนวน 5

เรื่อง จากข้อมูลทดสอบ 5% รองลงมาวิธีการแบบโคไซน์ มีค่าความถูกต้อง (Accuracy) เท่ากับ 92.92% สำหรับแนะนำหนังสือ (TopN) จำนวน 10 เรื่อง จากข้อมูลทดสอบ 5% และค่าความถูกต้อง (Accuracy) น้อยที่สุด คือวิธีการแบบแอดจัสต์โคไซน์ มีค่าความถูกต้อง (Accuracy) เท่ากับ 61.28% สำหรับแนะนำหนังสือ (TopN) จำนวน 10 เรื่อง จากข้อมูลทดสอบ 10%

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAE) ด้วยวิธีการโคไซน์ (Cosine) และวิธีการแอดจัสต์โคไซน์ (Adjusted Cosine)

ข้อมูลทดสอบ	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAE)			
	วิธีการโคไซน์ (Cosine)		วิธีการแอดจัสต์โคไซน์ (Adjusted Cosine)	
	แนะนำ 10 เรื่อง	แนะนำ 5 เรื่อง	แนะนำ 10 เรื่อง	แนะนำ 5 เรื่อง
5%	0.2819	0.0153	0.4960	0.0260
10%	0.1440	0.0110	0.3936	0.0060
20%	0.0741	0.1960	0.2073	0.0085



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ แนะนำหนังสือ จำนวน 10 เรื่อง และ 5 เรื่อง

จากตารางที่ 2 และรูปที่ 6 พบว่า ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAE) ด้วยวิธีการโคไซน์และวิธีการแอดจัสต์โคไซน์ ระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา ด้วยการแยกข้อมูลเป็นชุดทดสอบ จำนวน 5%, 10%, 20% และแนะนำหนังสือ จำนวน 10 เรื่อง และ 5 เรื่อง ตามลำดับ ผลปรากฏว่า วิธีการแบบแอดจัสต์โคไซน์ มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAE) น้อยที่สุดเท่ากับ 0.0060 สำหรับแนะนำหนังสือ

(TopN) จำนวน 5 เรื่อง จากข้อมูลทดสอบ 10% รองลงมาวิธีการแบบแอดจัสต์โคไซน์ มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAE) เท่ากับ 0.0085 สำหรับแนะนำหนังสือ (TopN) จำนวน 5 เรื่อง จากข้อมูลทดสอบ 20% และค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAE) มากที่สุด คือวิธีการแบบแอดจัสต์โคไซน์ มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAE) เท่ากับ เท่ากับ 0.4960 สำหรับ

บทความวิจัย (Research Article)

แนะนำหนังสือ (TopN) จำนวน 10 เรื่อง จากข้อมูลทดสอบ 5%

7. อภิปรายผล

จากผลการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับระบบแนะนำหนังสือแบบอิงเนื้อหาและทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ใช้เทคนิค Cosine Similarity มีประสิทธิภาพสูงกว่า Adjusted Cosine Similarity ในแง่ของค่าความแม่นยำ (Accuracy) ทั้งในกรณีแนะนำหนังสือจำนวน 5 เรื่อง และ 10 เรื่อง โดย Cosine Similarity มีค่าความแม่นยำสูงสุดอยู่ที่ 92.97% สำหรับการแนะนำ จำนวน 5 เรื่อง และความแม่นยำ 92.92% สำหรับการแนะนำ จำนวน 10 เรื่อง ซึ่งแสดงถึงความสามารถของอัลกอริทึมในการจับความคล้ายคลึงของเนื้อหาหนังสือได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ Adjusted Cosine Similarity มีข้อได้เปรียบในด้านค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ที่ต่ำกว่าในกรณีแนะนำหนังสือ จำนวน 5 เรื่อง แต่มี MAE ที่สูงกว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรายการเป็น 10 เรื่อง ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะการจัดการค่าถ่วงน้ำหนักที่ซับซ้อนมากขึ้นในชุดข้อมูลขนาดใหญ่

จากผลการทดลอง Cosine Similarity จึงเหมาะสมกับระบบแนะนำหนังสือที่เน้นความแม่นยำสูง โดยสามารถทำงานได้ดีแม้ในกรณีที่มีข้อมูลจำนวนมาก นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sarma และคณะ [18] ที่ใช้ Cosine Similarity ร่วมกับการจัดกลุ่ม K-means เพื่อพัฒนาระบบแนะนำหนังสือส่วนบุคคล และการศึกษาของ Kommineni และคณะ [17] ที่ศึกษาอัลกอริทึมการกรองแบบร่วมมือกันตามผู้ใช้ ซึ่งพบว่าการใช้ Cosine Similarity ให้ผลลัพธ์ที่

มีความแม่นยำสูงและสามารถแนะนำหนังสือได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า Cosine Similarity เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับกรณีที่ต้องการวัดความคล้ายคลึงของเนื้อหาหนังสือในระดับที่ดี โดยไม่ต้องพึ่งพาคะแนนจากผู้ใช้ ขณะที่ Adjusted Cosine Similarity จะมีความซับซ้อนในการคำนวณในกรณีที่ข้อมูลมีจำนวนมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้มีการลดประสิทธิภาพในบางกรณีที่มียารายการแนะนำจำนวนมาก นอกจากนี้ การเปรียบเทียบผลในกรณีแนะนำหนังสือ จำนวน 5 และ 10 เรื่อง ยังชี้ให้เห็นว่าความแม่นยำลดลงเล็กน้อยเมื่อจำนวนรายการหนังสือเพิ่มขึ้น หรือปริมาณข้อมูลเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นข้อท้าทายในการออกแบบระบบแนะนำแบบอิงเนื้อหา

8. สรุปผล

การพัฒนาระบบแนะนำหนังสือด้วยวิธีการแบบอิงเนื้อหา เป็นการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีการวัดความใกล้เคียงแบบ Cosine Similarity และ Adjusted Cosine Similarity สามารถตอบสนองความต้องการในการแนะนำหนังสือแบบอิงเนื้อหาได้ดีในระดับหนึ่ง โดย Cosine Similarity มีความโดดเด่นในด้านความแม่นยำ เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ที่ต้องการผลลัพธ์ที่ครอบคลุมและความแม่นยำสูง ในขณะที่ Adjusted Cosine Similarity อาจเหมาะสมในบริบทที่ต้องการลดข้อผิดพลาดในกรณีข้อมูลที่มีความละเอียดอ่อน อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดบางประการ เช่น ความหลากหลายของข้อมูลและข้อจำกัดในเชิงคำนวณ ยังเปิดโอกาสสำหรับการพัฒนาเพิ่มเติม เช่น การรวมเทคนิคแบบไฮบริด (Hybrid) การเพิ่มข้อมูลความคิดเห็นผู้ใช้

บทความวิจัย (Research Article)

(User Feedback) หรือการใช้โมเดลเชิงลึก (Deep Learning) ที่สามารถจัดการความสัมพันธ์เชิงซับซ้อนได้ดียิ่งขึ้น ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลและความต้องการในระบบแนะนำ นอกจากนี้ การพัฒนาระบบในอนาคตควรพิจารณาการเพิ่มข้อมูลผู้ใช้หรือการผสมผสานโมเดลแบบไฮบริด เพื่อเพิ่มความแม่นยำและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

9. ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาระบบแนะนำหนังสือแบบอิงเนื้อหาเป็นแนวทางที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของผู้ใช้งานในระบบสารสนเทศ โดยเฉพาะในบริบทที่มีชุดข้อมูลขนาดใหญ่และความหลากหลายของเนื้อหา จากการทดลองวิจัยดังกล่าว มีข้อเสนอแนะดังนี้

1) ควรเพิ่มจำนวนและความหลากหลายของข้อมูลหนังสือในฐานข้อมูลเพื่อให้ระบบแนะนำสามารถรองรับประเภทหนังสือที่หลากหลายมากขึ้น และเพิ่มความแม่นยำของอัลกอริทึมในบริบทที่กว้างขึ้น

2) การเพิ่มข้อมูลจากความคิดเห็นของผู้ใช้ (User Feedback) เช่น การให้คะแนนหรือรีวิวหนังสือสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแนะนำ โดยเฉพาะเมื่อรวมกับโมเดลที่เน้นพฤติกรรมของผู้ใช้ (Collaborative Filtering)

3) ควรพัฒนาอัลกอริทึมที่สามารถผสมผสานข้อมูลจากพฤติกรรมผู้ใช้และเนื้อหาหนังสือ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแนะนำรายการที่สอดคล้องกับ

ความต้องการของผู้ใช้มากขึ้น การทดลองใช้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก เช่น Deep Neural Networks จะช่วยเพิ่มศักยภาพของระบบให้สามารถประมวลผลข้อมูลเชิงซับซ้อนในอนาคตได้ดียิ่งขึ้น

10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่าน สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ช่วยแนะนำให้ข้อเสนอแนะ

11. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Jadon and A. Patil, "A comprehensive survey of evaluation techniques for recommendation systems," in *Proceedings of the International Conference on Computation of Artificial Intelligence & Machine Learning*, Jan. 2024, pp. 281–304.
- [2] S. Wang *et al.*, "A survey on session-based recommender systems," *ACM Computing Surveys*, vol. 54, no. 7, pp. 1–38, 2021.
- [3] S. R. S. Reddy *et al.*, "Content-based movie recommendation system using genre correlation," in *Smart Intelligent Computing and Applications: Proceedings of the Second International*

บทความวิจัย (Research Article)

- Conference on SCI 2018*, vol. 2, pp. 391–397, 2019.
- [4] P. Lops *et al.*, "Trends in content-based recommendation: Preface to the special issue on recommender systems based on rich item descriptions," *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 29, pp. 239–249, 2019.
- [5] ธนพร เฟื่องขจร, "การพัฒนาบริการแนะนำหนังสือโดยประยุกต์ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลและเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม," *วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 2564.
- [6] โกเมส อัมพวัน และคณะ, "ระบบแนะนำหนังสืออ่านเพิ่มเติมเพื่อส่งเสริมการอ่านและการศึกษาด้วยตนเอง," *มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2561.
- [7] ธรรมบุญ ปัญญาทิพย์, "ระบบให้คำแนะนำภาพยนตร์ด้วยวิธีการผสมผสาน," *วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 2562.
- [8] Y. Afoudi, M. Lazaar, and M. Al Achhab, "Impact of feature selection on content-based recommendation system," in *2019 International Conference on Wireless Technologies, Embedded and Intelligent Systems (WITS)*, Apr. 2019, pp. 1–6.
- [9] S. Sharma, V. Rana, and M. Malhotra, "Automatic recommendation system based on hybrid filtering algorithm," *Education and Information Technologies*, vol. 27, no. 2, pp. 1523–1538, 2022.
- [10] O. Stitini, S. Kaloun, and O. Bencharef, "An improved recommender system solution to mitigate the over-specialization problem using genetic algorithms," *Electronics*, vol. 11, no. 2, p. 242, 2022.
- [11] P. Jomsri *et al.*, "Hybrid recommender system model for digital library from multiple online publishers," *F1000Research*, vol. 12, pp. 1–23, 2024.
- [12] S. Amara and R. R. Subramanian, "Collaborating personalized recommender system and content-based recommender system using TextCorpus," in *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, Mar. 2020, pp. 105–109.
- [13] Y. H. Lee *et al.*, "Small clues tell: A collaborative expansion approach for effective content-based recommendations," *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, vol. 30, no. 2, pp. 111–128, 2020.
- [14] A. Gholami and Y. Forghani, "Improving multi-class co-clustering-based collaborative recommendation using item tags," *Revue d'Intelligence Artificielle*, vol. 34, no. 1, 2020.

บทความวิจัย (Research Article)

- [15] S. S. E. Alqallaf, W. M. Medhat, and T. A. El-Shishtawy, "A hybrid recommender framework for selecting a course reference books," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 100, no. 4, pp. 1004–1013, 2022.
- [16] A. A. Amer, H. I. Abdalla, and L. Nguyen, "Enhancing recommendation systems performance using highly-effective similarity measures," *Knowledge-Based Systems*, vol. 217, p. 106842, 2021.
- [17] M. Kommineni *et al.*, "Machine learning based efficient recommendation system for book selection using user based collaborative filtering algorithm," in *2020 Fourth International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, Jan. 2020, pp. 66–71.
- [18] D. Sarma, T. Mittra, and M. S. Hossain, "Personalized book recommendation system using machine learning algorithm," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 12, no. 1, 2021.
- [19] A. K. Sharma *et al.*, "An efficient approach of product recommendation system using NLP technique," *Materials Today: Proceedings*, vol. 80, pp. 3730–3743, 2023.
- [20] Y. C. Chen, L. Hui, and T. Thaisutikul, "A collaborative filtering recommendation system with dynamic time decay," *The Journal of Supercomputing*, vol. 77, pp. 244–262, 2021.
- [21] N. Ifada, T. F. Rahman, and M. K. Sophan, "Comparing collaborative filtering and hybrid based approaches for movie recommendation," in *2020 6th Information Technology International Seminar (ITIS)*, Oct. 2020, pp. 219–223.
- [22] H. Ko, S. Lee, Y. Park, and A. Choi, "A survey of recommendation systems: Recommendation models, techniques, and application fields," *Electronics*, vol. 11, no. 1, p. 141, 2022.

บทความวิจัย (Research Article)

การออกแบบและสร้างชิ้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากการเดินด้วยกลไกสไลเดอร์แรงค์

เฉลิมชาติ เมฆเมืองทอง^{1,*}, สมชาย แสงนวล¹ และ ภักดี สิทธิฤทธิ์กวิน¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย

* ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: Chalermchat.me@gmail.com โทรศัพท์: 0875647371

(รับบทความ: 27 มีนาคม 2568; แก้ไขบทความ: 13 พฤษภาคม 2568; ตอรับบทความ: 19 พฤษภาคม 2568)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างระบบชิ้นบันไดสำหรับเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากการเดินในชีวิตประจำวัน ซึ่งใช้กลไกสไลเดอร์แรงค์ร่วมกับเฟืองบายศรีและการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ระบบถูกออกแบบให้ยุบตัวได้ 1.8 เซนติเมตร เพื่อไม่รบกวนการทรงตัวของผู้ใช้งาน และสามารถถ่ายทอดแรงเพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดสอบแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่ การทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการติดตั้งใช้งานจริงกับชิ้นบันไดจำนวน 4 ชั้น ผลการทดสอบในช่วงเวลา 10.00–14.00 น. เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 628.89 จูลต่อวัน จากจำนวนการเหยียบเฉลี่ย 141.43 ครั้ง โดยมีแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 3.70 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 0.30 แอมแปร์ ผลการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่าน้ำหนักของผู้ใช้งานมีผลต่อพลังงานที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อคำนวณพลังงานกลที่เข้าสู่ระบบ โดยคำนึงถึงแรงกระแทกจากการเดินจริง พบว่าระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 31.3 ซึ่งสูงกว่าเทคโนโลยีอื่น เช่น แผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 10–15 และรีเวอร์สอิเล็กโทรเวตติงที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าร้อยละ 25 นอกจากนี้ ระบบยังสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งในจังหวะเหยียบลงและจังหวะคืนตัวของสปริง ช่วยเพิ่มโอกาสในการเก็บเกี่ยวพลังงานได้มากขึ้น สรุปผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบนี้มีความเป็นไปได้ในการนำไปติดตั้งในอาคารเรียน สถานีสานส่ง หรือพื้นที่ที่มีการใช้งานบันไดอย่างต่อเนื่องเพื่อผลิตพลังงานสำหรับระบบไฟส่องสว่างหรืออุปกรณ์ IoT รวมถึงสามารถพัฒนาเป็นระบบโมดูลาร์เพื่อรองรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การเก็บเกี่ยวพลังงาน ชิ้นบันไดผลิตพลังงาน กลไกสไลเดอร์แรงค์ การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานจากการเคลื่อนไหว

การอ้างอิงบทความ: เฉลิมชาติ เมฆเมืองทอง, สมชาย แสงนวล และ ภักดี สิทธิฤทธิ์กวิน, "การออกแบบและสร้างชิ้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากการเดินด้วยกลไกสไลเดอร์แรงค์," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 3, หน้า 54-68, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

Design and Build of Energy-Harvesting Stairs from Walking Using Slider-Crank Mechanism

Chalermchat Mekmuangthong^{1,*}, Somchai Saengnual¹ and Pakdee Sittiritkawin¹

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Rai College

* Corresponding Author: Chalermchat.me@gmail.com, Tel: 0875647371

(Received: March 27, 2025; Revised: May 13, 2025; Accepted: May 19, 2025)

Abstract

This research aims to design and develop a staircase system capable of harvesting electrical energy from everyday walking activities. The system utilizes a slider-crank mechanism combined with bevel gears and electromagnetic induction. It is designed to compress by 1.8 centimeters to avoid disturbing the user's balance while efficiently transmitting force to rotate the generator. The testing was divided into two parts laboratory experiments and real-world installation using four stair steps. The results from field testing, conducted between 10:00 a.m. and 2:00 p.m. over a period of 7 days, revealed that the system could generate an average of 628.89 joules of electrical energy per day from an average of 141.43 footsteps. The system produced an average voltage of 3.70 volts and an average current of 0.30 amperes. Further analysis indicated that the user's body weight significantly affected the amount of harvested energy. When considering the actual impact forces from walking, the system achieved an average energy harvesting efficiency of 31.3%, which is higher than other technologies such as piezoelectric plates (approximately 10–15% efficiency) and reverse electrowetting (less than 25% efficiency). Moreover, the system can generate electrical energy during both the footstep impact and the spring's return stroke, thereby increasing the opportunity for energy harvesting. The findings demonstrate the potential of this system to be installed in educational buildings, transportation hubs, or areas with frequent stair usage for powering lighting systems or IoT devices. Additionally, it can be developed as a modular system to support sustainable applications in diverse environments.

Keywords: Energy Harvesting, Stair Power Generation, Slider-Crank Mechanism, Electromagnetic Induction, Motion Energy

Please cite this article as: C. Mekmuangthong, S. Saengnual and P. Sittiritkawin, "Design and Build of Energy-Harvesting Stairs from Walking Using Slider-Crank Mechanism," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 3, pp. 54-68, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตของมนุษย์ในยุคปัจจุบัน ตามรายงานของหน่วยงานพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency, IEA) ความต้องการใช้พลังงานทั่วโลกคาดว่าจะเพิ่มขึ้นถึง 25% ภายในสองทศวรรษข้างหน้า [1] การพึ่งพาพลังงานฟอสซิลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง ส่งผลให้พลังงานหมุนเวียนกลายเป็นทางเลือกที่มีความสำคัญยิ่งขึ้นในด้านความยั่งยืนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [2] ในขณะที่พลังงานหมุนเวียนจากแหล่งธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลม และน้ำ มีข้อดีด้านความยั่งยืน แต่กลับเผชิญข้อจำกัดด้านต้นทุน การลงทุนเริ่มต้นสูง และ ความไม่แน่นอนตามสภาพภูมิอากาศ [3] ในขณะที่พลังงานจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเดินก้าวขึ้นหรือลงบันได เป็นอีกแหล่งพลังงานที่มีเสถียรภาพ สามารถคาดการณ์และควบคุมได้ง่ายกว่าพลังงานหมุนเวียนประเภทอื่น พลังงานจลน์ที่สูญเสียไปในการเคลื่อนไหวของร่างกายสามารถนำมาเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ผ่านเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงาน (Energy Harvesting) ซึ่งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยใช้วัสดุและกลไกเฉพาะ เช่น เพียโซอิเล็กทริก การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า อะคริลิกอีลาสโตเมอร์ และรีเวอร์สIBLE ไตรเวตติง

Wang et al. (2023) ศึกษาการใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริก PVDF ในทางเดินสาธารณะ โดยสามารถผลิตพลังงานเฉลี่ย 1–2 W/m² ภายใต้ความถี่ 1.5 Hz แต่มีข้อจำกัดด้านความทนทานและต้นทุนสูง [4] ขณะที่ Zhang & Li (2022) รายงานว่าแผ่นเพียโซ

แบบ PZT ให้พลังงานสูงถึง 3.5 W/m² อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีดังกล่าวต้องใช้แรงกดสูงเกินค่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการเดิน จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสถานการณ์จริง [5]

Kim & Park (2022) พัฒนาแผ่นยางอะคริลิกอีลาสโตเมอร์สำหรับติดตั้งในรองเท้า ผลิตพลังงานได้ 0.5–1.5 W/m² แม้มีข้อดีด้านความยืดหยุ่นและน้ำหนักเบา แต่ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานต่ำเพียง 15–20% และมีต้นทุนวัสดุสูง [6] ในขณะเดียวกัน เทคโนโลยีแม่เหล็กอุทกพลศาสตร์ (Magnetohydrodynamics: MHD) ของ Gupta et al. (2021) แม้จะผลิตพลังงานได้สูงถึง 10 W ต่อช่องการไหล 1 m/s แต่ระบบมีความซับซ้อนและมีต้นทุนติดตั้งสูงถึง 800 ดอลลาร์สหรัฐต่อหน่วย [7]

Chen et al. (2020) นำเสนอการใช้เทคโนโลยีรีเวอร์สIBLE ไตรเวตติง ซึ่งสามารถผลิตพลังงานสูงสุด 3–5 W ที่อัตราการไหล 10 ml/s แต่พลังงานที่ได้ต่อพื้นที่ต่ำเพียง 0.1 W/m² และต้องการระบบบำรุงรักษาต่อเนื่อง [8]

จากการเปรียบเทียบพบว่า เทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานด้วยกลไกสโตเคสติกแครงค์ร่วมกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้ามีศักยภาพสูงสุดในแง่ของประสิทธิภาพและต้นทุนที่เหมาะสม โดย Li X et al. (2022) ได้ใช้เทคโนโลยีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction) ใช้แม่เหล็กนีโอไดมียมร่วมกับคอยล์ในการแปลงพลังงาน สามารถผลิตพลังงานได้ประมาณ 4.85 W/ก้าว ที่น้ำหนักผู้ใช้ 60 kg และความถี่ 1 Hz ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานอยู่ที่ 28–32% [9] Tang et al. (2021) ได้วิเคราะห์เทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากพื้น

บทความวิจัย (Research Article)

อัจฉริยะ พบว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้ามีศักยภาพสูงสุดในการผลิตพลังงานถึง 7.1 W/m^2 พร้อมประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงและมีต้นทุนการติดตั้งต่ำเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีอื่น [10]

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่มีระบบใดที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำพร้อมกัน จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ในการออกแบบและพัฒนาระบบชั้นบันไดผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งตอบโจทย์ด้านประสิทธิภาพ ความเสถียรของพลังงาน และความคุ้มค่าในการลงทุน เพื่อสนับสนุนการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนในพื้นที่เมือง อาคารเรียน และสถานีนขนส่ง

ตาราง 1 สัญลักษณ์และคำอธิบาย

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
W/m^2	วัตต์ต่อตารางเมตร
Hz	เฮิรตซ์
N	นิวตัน
T	เทสลา
W	วัตต์
m/s	เมตรต่อวินาที
ml/s	มิลลิลิตรต่อวินาที
m^2	ตารางเมตร
kg	กิโลกรัม
cm	เซนติเมตร
J	จูล
m/s^2	เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง
m	เมตร
V	โวลต์

ตาราง 1 สัญลักษณ์และคำอธิบาย (ต่อ)

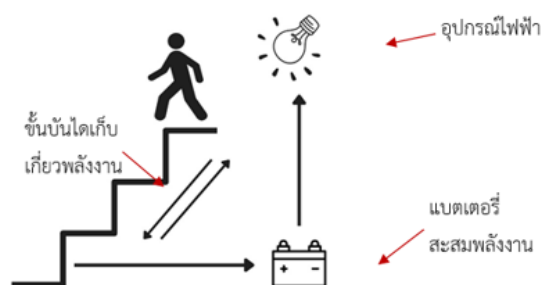
สัญลักษณ์	คำอธิบาย
RPM	รอบต่อนาที
N.mm	นิวตันมิลลิเมตร
mm	มิลลิเมตร
A	แอมแปร์
Ah	แอมแปร์-ชั่วโมง
VDC	โวลต์กระแสตรง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและวิธีการดำเนินการวิจัย

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและวิธีการดำเนินการวิจัย มุ่งเน้นศึกษาหลักการแปลงพลังงานจลน์จากการเคลื่อนไหวของมนุษย์เป็นพลังงาน ผ่านกลไกทางวิศวกรรมมีประสิทธิภาพ

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 กรอบแนวคิดพื้นฐาน

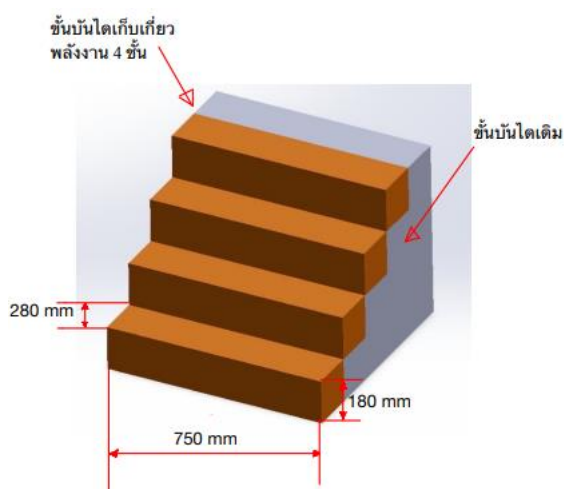


รูปที่ 1 กรอบแนวคิดพื้นฐาน

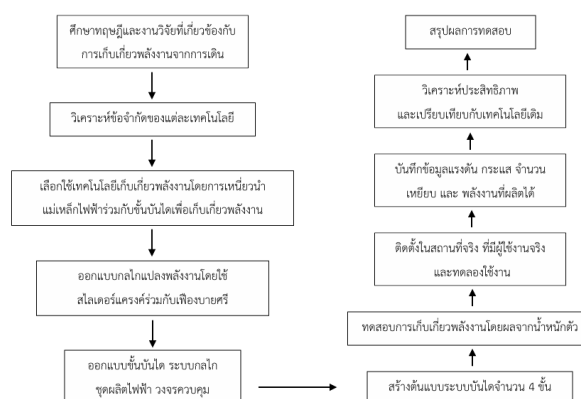
ในงานวิจัยนี้ได้มีกรอบแนวคิดพื้นฐานคือ การก้าวขึ้นและลงบันได จะมีบันไดที่ถูกออกแบบให้สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้ และนำพลังงานเหล่านั้นไปใช้

บทความวิจัย (Research Article)

ประโยชน์ต่ออุปกรณ์ขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 1 และมีการกำหนดขอบเขตการออกแบบ โดยเลือกขนาดให้สามารถประกอบเข้ากับชั้นบันไดเดิมได้ เพื่อให้สามารถนำไปประกอบเข้ากับชั้นบันไดที่มีอยู่ โดยเลือกใช้บันไดโรงอาหารของวิทยาลัยเชียงราย มีความกว้างของบันได (Tread) 28 cm ความสูงชั้นบันได (Riser) 18 cm และ ยาว (Width) 75 cm ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยไม่ให้ผู้ใช้งานก้าวขึ้น-ลง สวนทางกัน กำหนดระยะยุบตัวของชั้นบันไดไม่เกิน 2 cm เพื่อป้องกันการสูญเสียการทรงตัวเมื่อเดินขึ้น หรือ ลง บันได ซึ่งมีทั้งหมด 4 ชั้น หลังจากนั้นได้ดำเนินการวิจัยดังแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 รูปจำลองบันไดโรงอาหารวิทยาลัยเชียงราย



รูปที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

2.1.2 การคำนวณความเป็นไปได้ในการผลิตพลังงาน

ในการเริ่มต้นได้มีการคำนวณความเป็นไปได้ในการผลิตพลังงานและพลังงานที่คาดว่าจะสามารถผลิตได้สำหรับชั้นบันไดเก็บเกี่ยวพลัง ซึ่งเริ่มจากการวิเคราะห์พลังงานจากการก้าวขึ้นหรือลงบันไดของมนุษย์ การเดินเป็นวัฏจักรของการยกเท้า (พลังงานจลน์) และการลงเท้า (พลังงานศักย์) โดยพลังงานกล (Mechanical Energy) คือ ผลรวมของพลังงานทั้งสอง ในขณะที่ลงเท้าแรงที่กดพื้นจะเท่ากับ 1.3 เท่าของน้ำหนักตัวและโดยทั่วไปจะมีแรงกด 2 ครั้งต่อการลงเท้าหนึ่งครั้ง (ส้นเท้าและปลายเท้า) ในกรณีที่เหยียบลงบนพื้นเรียบ [11] แต่สำหรับการเหยียบลงเพื่อให้บันไดยุบตัวจะมีแรงกดในการเหยียบเป็น 1 ครั้ง เมื่อพัฒนารวมกับสมการพลังงานศักย์ จะสามารถคำนวณพลังงานที่ได้จากสมการที่ (1)

$$E_{harvest} = 1.3mghf \quad (1)$$

บทความวิจัย (Research Article)

เมื่อ	$E_{harvest}$	คือ พลังงานจากการก้าวเดิน (J)
	m	คือ น้ำหนักตัว (kg)
	g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
	h	คือ ระยะยวบของขั้นบันได (m)
	f	คือ ความถี่ของแรงกดที่เท้า (Hz)

โดยในการเดิน 1 ก้าว สำหรับหญิงไทยที่หนักเฉลี่ย 57.4 kg จะมีพลังงาน 14.64 W ชายไทยน้ำหนักเฉลี่ย 68.83 kg จะมีพลังงาน 17.55 W

2.1.3 การเลือกเจนเนอเรเตอร์ (Generator)

ในการสร้างขั้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงาน ได้กำหนดสมมติฐานสำคัญในการเลือกเจนเนอเรเตอร์ (Generator) เพื่อตอบสนองต่อความต้องการทางเทคนิคและการใช้งานจริง โดยเลือกใช้เจนเนอเรเตอร์ที่สามารถหมุนได้ด้วยแรงบิดต่ำ สามารถรองรับผู้ใช้งานที่มีน้ำหนักไม่มาก ต้องหาซื้อได้ง่าย เพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษาและการหาอะไหล่ ต้องใช้งานได้ด้วยความเร็วรอบในการต่ำ เพื่อให้เหมาะสมกับความเร็วในการเคลื่อนที่ และเจนเนอเรเตอร์ต้องสามารถให้กำลังไฟฟ้าน้อยสุดไม่ต่ำกว่า 3 VDC เนื่องจากกำหนดการสร้างบันไดทั้งหมด 4 ขั้น ผลรวมของแรงดันที่ใช้งานต่ำสุดที่ต้องการ คือ 12 V ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ หรือ ระบบแบตเตอรี่สำรอง เพื่อให้สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเลือกใช้เจนเนอเรเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งสามารถสร้างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 24 V กำลังไฟฟ้าน้อยสุด 20 W



รูปที่ 4 เจนเนอเรเตอร์ที่เลือกใช้งาน

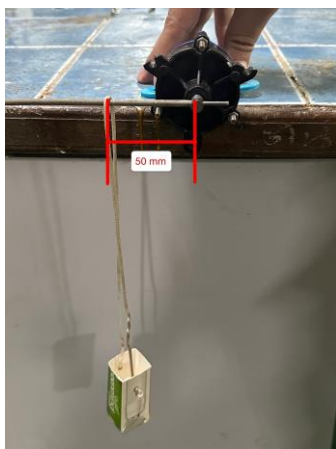
เมื่อนำเจนเนอเรเตอร์มาทดสอบเพิ่มเติมพบว่าเจนเนอเรเตอร์หมุนได้ด้วยแรงบิดน้อยสุดซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$T = FL \quad (2)$$

เมื่อ	T	คือ แรงบิด (N.mm)
	F	คือ แรง (N)
	L	คือ ระยะจากแรงถึงจุดหมุน (mm)

ผลที่ได้คือ แรงบิดน้อยสุดที่สามารถหมุนเจนเนอเรเตอร์ได้คือ 89.325 N.mm ใช้การทดสอบหาแรงบิดโดยการเพิ่มน้ำหนักที่ห้อยกับแกนของเจนเนอเรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5 และทดสอบความเร็วรอบของการหมุนที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่า 3 V โดยหมุนเจนเนอเรเตอร์ในความเร็วรอบต่าง ๆ พบว่าต้องใช้ความเร็วรอบมากกว่า 150 RPM ดังแสดงในตารางที่ 2

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 5 การหาแรงบิดที่ทำให้เจนเนอเรเตอร์หมุน

ตาราง 2 ความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้า

ความเร็วรอบ (RPM)	แรงดันไฟฟ้า (V)
150	3.07
160	3.28
170	3.45
180	3.67
190	3.90
200	4.09
210	4.28

2.1.4 การออกแบบกลไก

ในการออกแบบกลไกเก็บเกี่ยวพลังงานจากชั้นบันได กลไกสไลเดอร์แครงค์ (Slider-Crank Mechanism) ถูกเลือกใช้ร่วมกับเฟืองบายศรี (Bevel Gear) เพื่อแปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้นจากการยุบตัวของชั้นบันไดให้เป็นการหมุนของเจนเนอเรเตอร์ผลิตไฟฟ้า การตัดสินใจนี้มีเหตุผลจากการประเมินข้อดีข้อเสียของกลไกทางเลือกอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

ข้อจำกัดด้านระยะยุบตัวที่ 20 mm เป็นเงื่อนไขสำคัญเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเดินขึ้นลงได้โดยไม่สูญเสียการทรงตัว

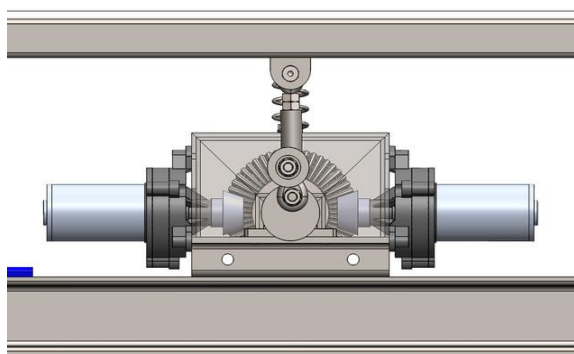
กลไกแร็คแอนด์พินเนียน (Rack and Pinion) ถูกตัดออกจากตัวเลือกเนื่องจากระยะการเคลื่อนที่ของแร็คจะถูกจำกัดอยู่ที่ 20 mm เช่นกัน ทำให้ไม่สามารถสร้างความเร็วรอบที่เพียงพอต่อการขับเคลื่อนเนอเรเตอร์ได้ ในขณะที่กลไกสกรู (Lead-Screw) แม้จะสามารถแปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้นเป็นการหมุนได้ แต่เนื่องจากระยะเคลื่อนที่สั้น การเพิ่มความเร็วยังจะต้องแลกมาด้วยแรงเสียดทานที่สูงขึ้นอย่างมาก ซึ่งจะลดทอนประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

การใช้เฟืองบายศรีร่วมกับสไลเดอร์แครงค์จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากสามารถใช้ประโยชน์จากอัตราทด (Gear Ratio) ของเฟืองเพื่อเพิ่มความเร็วยังเนอเรเตอร์ได้โดยไม่ต้องเพิ่มระยะยุบตัวของชั้นบันได การที่เฟืองบายศรีสามารถส่งกำลังในแนวแกนที่ทำมุมกันได้ ยังทำให้การจัดวางตำแหน่งของเจนเนอเรเตอร์มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในการออกแบบให้ระบบมีขนาดกะทัดรัด นอกจากนี้ การใช้เฟืองบายศรียังมีแนวโน้มที่จะลดแรงเสียดทานเมื่อเทียบกับสกรู และยังสามารถทำให้การออกแบบสามารถใช้เจนเนอเรเตอร์ 2 ตัวในชั้นบันไดชั้นเดียวได้ เมื่อพิจารณารวมกับแรงบิดน้อยสุดที่สามารถหมุนเจนเนอเรเตอร์ได้

การเลือกใช้แครงค์เลือกขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถเป็นไปได้คือเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm เท่ากับระยะยุบของบันได ดังแสดงใน รูปที่ 6

บทความวิจัย (Research Article)

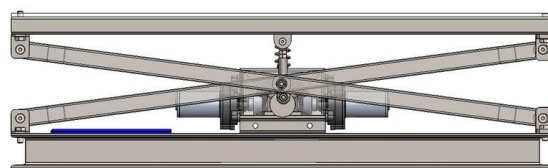
ส่วนของการเลือกอัตราทดของเฟืองบายสี ใช้การสำรวจจากคู่เฟืองหาได้ง่ายโดยเลือกใช้เฟืองของเครื่องเจียร์มือ ซึ่งใช้เฟืองใหญ่เป็นเฟืองขับและเฟืองเล็กเป็นเฟืองตาม ซึ่งมีขนาดเฟืองเล็กที่เล็กที่สุดที่ 16 ฟัน คู่กับเฟืองใหญ่ขนาด 59 ฟัน มีอัตราทด 1 : 3.69 หมายความว่า ถ้าเฟืองใหญ่หมุนครบรอบเฟืองเล็กจะหมุน 1.85 รอบ จากงานวิจัย [12] พบว่า ได้มีการวัดอัตราการเดินขึ้นบันไดว่าคนทั่วไปเดินขึ้นบันไดด้วยอัตราเฉลี่ยประมาณ 90-110 ก้าวต่อนาที ดังนั้นความถี่ของการเหยียบขึ้นบันไดจะเป็น 0.54 วินาทีต่อ 1 ก้าว ดังนั้นในความเร็วรอบของเจนเนอเรเตอร์จะมีค่า 221.4 RPM ซึ่งเมื่อเทียบตามตาราง 2 จะสามารถสร้างศักย์ไฟฟ้าใช้งานได้มากกว่า 4.28 VDC



รูปที่ 6 กลไกของขึ้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงาน

การของการออกแบบโครงสร้างเลือกใช้กลไกกรรไกร (Scissor Mechanism) ซึ่งเป็นชนิดของกลไกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการออกแบบที่ต้องการการขยายหรือยุบตัวในแนวตั้งหรือแนวราบ ซึ่งกลไกนี้มีข้อดีคือไม่จำเป็นต้องสร้างไกด์ตัวนำ อีกทั้งยังป้องกันการเอนเอียงของโครงสร้างที่ให้ความรู้สึก

ไม่มั่นคงสำหรับการยุบตัวและคืนตัวในแนวตั้งสามารถคืนตัวได้ด้วยการติดตั้งสปริงเพียงเดียวแสดงได้ดังในรูปที่ 7



รูปที่ 7 กลไกโครงขึ้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงาน

2.1.5 การเลือกใช้แบตเตอรี่และการออกแบบวงจรประจุกระแสไฟฟ้า

เลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีขายทั่วไปโดยเลือกใช้แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟตด้วยเหตุผลที่ทำให้เป็นตัวเลือกที่เหมาะสม ประกอบไปด้วย ความทนทานและความปลอดภัยสูง ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดไฟไหม้ การระเบิดที่อาจเกิดขึ้นจากการชาร์จหรือการใช้งานที่ผิดพลาด [13] นอกจากนี้ยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยสามารถรองรับการชาร์จและปล่อยกระแสไฟฟ้าได้หลายพันรอบโดยไม่สูญเสียประสิทธิภาพ [14] แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟตยังต้องการการบำรุงรักษาต่ำ เนื่องจากมีการปล่อยพลังงานตัวเองต่ำทำให้สามารถเก็บรักษาพลังงานไว้ได้นาน มีการหดตัวของแรงดันที่ต่ำในขณะที่ปล่อยกระแส ช่วยให้เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการประสิทธิภาพสูงและเสถียร [15] นอกจากนี้แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟตยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น ด้วยการใช้วัสดุที่ไม่เป็นพิษและการ

บทความวิจัย (Research Article)

รีไซเคิลที่ง่ายกว่า [16] จากการทดสอบเจนเนอเรเตอร์ ทำให้ทราบความเร็วรอบและศักย์ไฟฟ้าที่ได้ ความเร็วรอบสูงสุดจากการเหยียบขึ้นบันไดคือ 221.4 RPM จากตารางที่ 2 สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 4.28 V จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต ศักย์ไฟฟ้า 3.2 V สามารถหากล้างไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าด้วยกฎของโอห์มเมื่อความต้านทานในเจนเนอเรเตอร์คงที่ ดังสมการที่ (3)

$$\frac{P_1}{V_1^2} = \frac{P_2}{V_2^2} \quad (3)$$

เมื่อ	P_1	คือ กำลังไฟฟ้าที่สถานะที่ 1 (W)
	V_1	คือ ศักย์ไฟฟ้าที่สถานะที่ 1 (V)
	P_2	คือ กำลังไฟฟ้าที่สถานะที่ 2 (W)
	V_2	คือ ศักย์ไฟฟ้าที่สถานะที่ 2 (V)

โดยอ้างอิงจากข้อมูลของเจนเนอเรเตอร์ศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 24 V กำลังไฟฟ้าสูงสุด 20 W และ ศักย์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ 3.2 V จะได้กำลังไฟฟ้า 0.36 W ดังนั้นในการเหยียบขึ้นบันได 1 วิวัฏจักรขึ้น-ลง เจนเนอเรเตอร์ 2 ตัวจะสามารถให้กำลังไฟฟ้าได้ 1.44 W ต่อขึ้นบันได 1 ชั้น และสามารถหาความจุของแบตเตอรี่ได้จากสมการที่ (4) ดังนี้

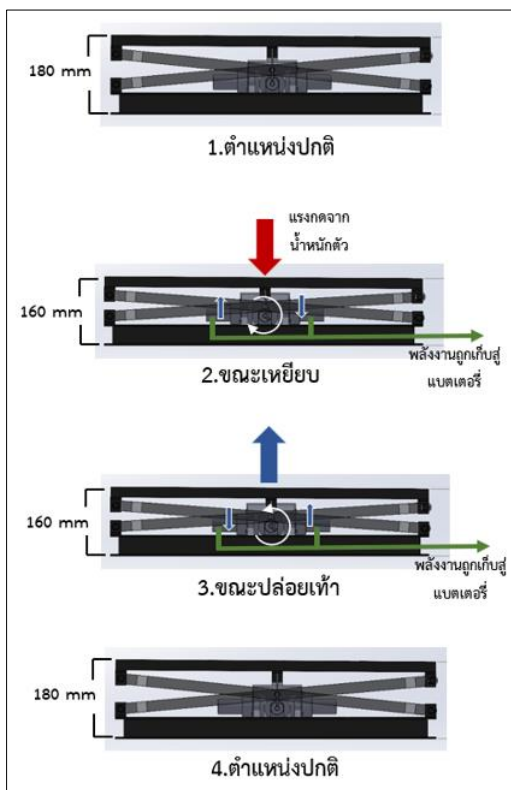
$$P=IV \quad (4)$$

เมื่อ	P	คือ กำลังไฟฟ้า (W)
	V	คือ ศักย์ไฟฟ้า (V)
	I	คือ กระแสไฟฟ้า (A)

กำหนดข้อมูลเบื้องต้นว่ามีผู้ใช้งานเดินขึ้นลงบันไดในอัตราชั่วโมงละ 50 คน เป็นเวลา 4 ชั่วโมงต่อวัน สามารถหาความจุของแบตเตอรี่ได้ 90 Ah จึงเลือกใช้แบตเตอรี่สำหรับขึ้นบันไดแต่ละชั้น ขนาด 3.2 V 100 Ah

ในส่วนของการออกแบบวงจรประจุกระแสจากการติดตั้งเจนเนอเรเตอร์ 2 ตัว ซึ่งต่อแบบขนานทำให้เจนเนอเรเตอร์ 2 ตัว หมุนตรงข้ามกัน หากไม่มีวงจรใด ๆ เข้าช่วยในการจัดเรียงกระแสจะทำให้เจนเนอเรเตอร์ทำหน้าที่เป็นมอเตอร์และเกิดแรงต้านการหมุน ทำให้บันไดไม่สามารถยุบตัวจากแรงเหยียบได้ อีกทั้งในการเหยียบลงและเมื่อยกเท้าขึ้นกลไกจะทำให้เจนเนอเรเตอร์กลับด้านการหมุนเนื่องจาก ถูกสปริงดันกลับ ส่งผลให้บันไดที่มีเจนเนอเรเตอร์กระแสตรง แสดงพฤติกรรมการปล่อยกระแสไฟฟ้าคล้ายกับเป็นเจนเนอเรเตอร์กระแสสลับเพื่อให้การปล่อยกระแสไฟฟ้าไปในทิศทางเดียวกันจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบวงจรสำหรับการจัดเรียงกระแสและวงจรประจุกระแสลงแบตเตอรี่ ซึ่งในการออกแบบวงจรดังกล่าว สามารถทำให้การเหยียบขึ้นบันได 1 ครั้ง ไม่เกิดแรงต้านของเจนเนอเรเตอร์จากกระแสไฟฟ้าย้อนกลับ และยังสามารถผลิตพลังงานได้ทั้งขณะเหยียบลงและขณะยกเท้าขึ้นเมื่อสปริงติดบันไดกลับคืนสู่ตำแหน่งเริ่มต้น แสดงดังรูปที่ 8

บทความวิจัย (Research Article)

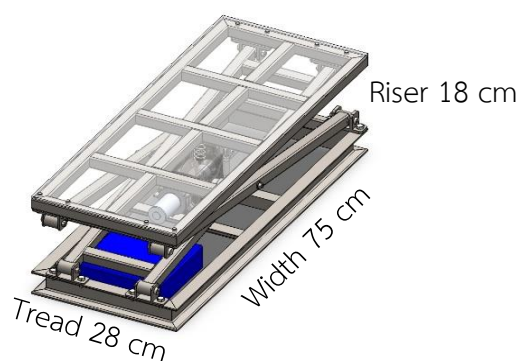


รูปที่ 8 การทำงานของบันไดเก็บพลังงาน

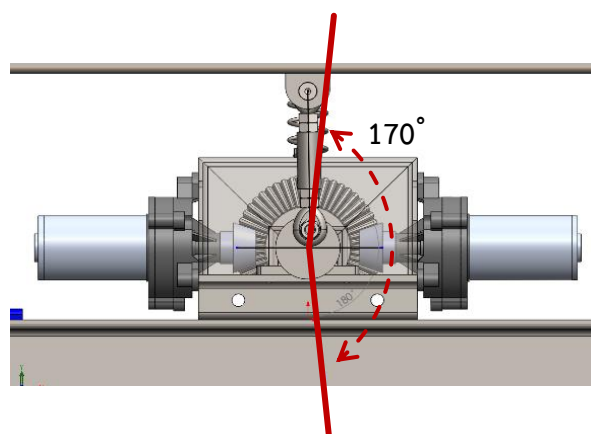
2.2 การประกอบติดตั้งเพื่อทำการทดสอบ

เมื่อออกแบบสร้างชั้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ได้ทำการประกอบรวมบันไดเข้าด้วยกันทั้งหมด 4 ชั้น ซึ่งทำให้ระบบรวมเป็นระบบไฟฟ้า 12.8 V ความจุ 400 Ah มีน้ำหนักรวมชั้นละ 18 kg ขนาดความกว้างของบันได (Tread) 28 cm ความสูงชั้นบันได (Riser) 18 cm และ ยาว (Width) 75 cm ดังแสดงในรูปที่ 9 และมีระยะยวบเพียง 1.8 cm เนื่องจากกลไกสไลด์เตอร์แรงค์ของบันไดเก็บเกี่ยวพลังงาน สามารถมีแรงค์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด 2 cm เนื่องจากกำหนดระยะยวบไม่เกิน 2 cm ผู้ใช้งานจะไม่รู้สึกสูญเสียการทรงตัว แต่หากทำให้ระยะในแนวตั้งเป็น 2 cm ตัวแรงค์จะต้องหมุนด้วย

มุม 180 องศา ทำให้กลไกเกิด Dead Centers ขึ้นบริเวณจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดของแรงค์ ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ในการสร้างจริง จึงมีการกำหนดให้การหมุนของแรงค์หมุน 170 องศา เพื่อเว้นช่วงของมุมด้านละ 5 องศา เพื่อป้องกันการเกิด Dead Centers ของกลไก ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 9 ภาพรวมการออกแบบที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 10 แผนภาพตำแหน่งกลไกสไลด์เตอร์แรงค์

บทความวิจัย (Research Article)

2.3 การทดสอบ

ในการศึกษาได้กำหนดวิธีการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของชั้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากการเดิน ซึ่งอาศัยกลไกสไลเดอร์เครงค์ร่วมกับเฟืองบายศรีและการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีการทดลองนี้มุ่งเน้นการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพลังงานที่สามารถผลิตได้ในสภาวะการใช้งานจริงโดยมีสามประเด็นหลัก ดังนี้

2.3.1 ความสามารถในการผลิตพลังงาน

โดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักของผู้ใช้งาน ทำการทดสอบโดยให้ผู้ใช้งานที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน ซึ่งผู้ทดสอบมีน้ำหนัก 54, 62 และ 73 กิโลกรัม ก้าวเหยียบผ่านบนชั้นบันไดจำนวน 1 ชั้น คนละ 100 รอบ บันทึกค่าความต่างศักย์ (V) และกระแสไฟฟ้า (I) ที่เกิดขึ้นจากเจนเนอเรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 11 ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาหาค่ากำลังไฟฟ้า และเปรียบเทียบพลังงานกับน้ำหนักของผู้ใช้งาน

2.3.2 การทดสอบพลังงาน

การทดสอบพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้จริงในแต่ละวัน โดยใช้เวลาทั้งหมด 7 วัน เก็บข้อมูลช่วงเวลา 10.00 - 14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ผู้ใช้ใช้งานอย่างต่อเนื่อง การทดลองเริ่มต้นจากการติดตั้งชั้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงานที่ผ่านกระบวนการออกแบบและผลิตเรียบร้อยแล้วจำนวน 4 ชั้น โดยมีการติดตั้งเครื่องมือวัดสำหรับวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ ระบบเก็บข้อมูลจะบันทึกค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละครั้งที่ผู้ใช้เดินขึ้นและลงบันได ซึ่งแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งจะถูกนำมาวิเคราะห์

หาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้จริงกับการคำนวณเชิงทฤษฎี

2.3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชั้นบันไดหนึ่งชั้น และประสิทธิภาพโดยรวมของระบบบันไดทั้ง 4 ชั้น โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง 2.3.1 และ 2.3.2 มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยใช้สมการที่ (5)

$$\eta = \frac{E_{\text{output}}}{E_{\text{input}}} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพโดยรวม
 E_{output} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (J)
 E_{input} คือ พลังงานศักย์ที่คำนวณจากน้ำหนักของผู้เดินและระยะยวบของบันได (J)



รูปที่ 11 การทดสอบบันได 1 ชั้น

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 12 อุปกรณ์บันทึกค่าและขึ้นบันไดที่สำเร็จ

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

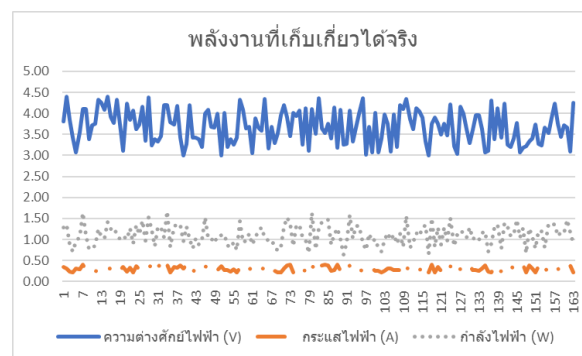
การเก็บข้อมูลโดยให้ผู้ทดสอบที่มีน้ำหนักต่างกัน ขึ้นลงบันได 1 ชั้น จำนวน 100 ครั้ง เก็บข้อมูลความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ได้ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยทั้งหมด จะเห็นได้ว่า น้ำหนักของผู้ใช้งานมีผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้อย่างชัดเจน โดยเมื่อน้ำหนักของผู้ทดสอบเพิ่มขึ้น ทำให้แรงกดที่กลไกบันไดมีมากขึ้น ส่งผลให้เจนเนอเรเตอร์หมุนได้เร็วขึ้น ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามลำดับ แสดงได้ดังตารางที่ 3

ผู้ที่มีน้ำหนัก 54 kg สามารถผลิตพลังงานได้ประมาณ 1.44 W ในขณะที่ผู้ที่มีน้ำหนัก 73 kg สามารถผลิตพลังงานได้ถึง 1.78 W คิดเป็นความแตกต่างประมาณ 23.6% แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักที่มากกว่าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 3 ผลของน้ำหนักต่อการเก็บเกี่ยวพลังงาน

ลำดับ	น้ำหนัก (Kg)	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
1	54	4.12	0.35	1.44
2	62	4.28	0.38	1.63
3	73	4.45	0.4	1.78

การเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้านี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ไม่ใช่แบบพุ่งหรืออ้อมตัว ซึ่งแสดงว่าโครงสร้างกลไกของชั้นบันไดยังสามารถรับแรงที่จากน้ำหนักที่สูงขึ้นได้อีก



รูปที่ 14 ผลการทดสอบของบันได 1 ชั้น ใน 1 วัน

การทดลองในช่วงเวลา 10.00 – 14.00 น. ของบันได 1 ชั้น ใน 1 วัน พบว่า ระบบสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องในระหว่างการใช้งานจริง จากรูปที่ 14 แสดงตัวอย่างข้อมูล พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากระบบมีช่วงคงที่ โดยอยู่ในช่วง 3.5 – 4.5 V ตลอดช่วงเวลาทดลอง แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกลไกส่งกำลังที่สามารถหมุนเจนเนอเรเตอร์ได้อย่างสม่ำเสมอ ไม่ว่าจะมีความเร็วมากหรือน้อย

บทความวิจัย (Research Article)

สำหรับกระแสไฟฟ้า มีความผันผวนมากกว่า โดยมีค่าในช่วงประมาณ 0.25 – 0.35 A ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของแรงกดในแต่ละครั้งของผู้ใช้งานที่เดินผ่านชั้นบันได โดยเฉพาะในช่วงที่มีน้ำหนักมากหรือเหยียบด้วยแรงมาก จะเกิดกระแสสูงกว่าปกติ

เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้า ซึ่งได้จากการคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 1.2 – 1.6 W ต่อครั้งของการเหยียบ โดยมีลักษณะเป็นกราฟเส้นประที่ขึ้นลงตามจังหวะแรงกด ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา

ตาราง 4 ผลการทดสอบบันไดเก็บเกี่ยวพลังงาน

วันที่	จำนวนเหยียบ (ครั้ง)	ความต่างศักย์เฉลี่ย (V)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	พลังงานรวม (W)
1	143	3.70	0.30	639.08
2	152	3.72	0.29	661.24
3	135	3.70	0.30	596.48
4	163	3.69	0.30	720.92
5	172	3.70	0.30	766.44
6	121	3.74	0.30	544.92
7	104	3.66	0.31	473.16
เฉลี่ย	141.43	3.70	0.30	628.89

จากตารางที่ 4 การทดลองเก็บข้อมูลการใช้งานชั้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าในสถานการณ์จริงดำเนินต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยเริ่มวันจันทร์-วันอาทิตย์ ระหว่างเวลา 10.00 – 14.00 น. โดยวัดผลจากจำนวนการเหยียบชั้นบันไดในแต่ละวัน พร้อมทั้งบันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมในแต่ละวัน

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า จำนวนครั้งในการเหยียบชั้นบันไดในแต่ละวันอยู่ในช่วง 104 – 172 ครั้งต่อวัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 141.43 ครั้งต่อวัน ซึ่งสะท้อนถึงพฤติกรรมการใช้งานของผู้คนในพื้นที่เป้าหมายที่มีความสม่ำเสมอระดับหนึ่ง ซึ่งจะน้อยลงในช่วงวันหยุด เสาร์-อาทิตย์ คือ วันที่ 6 และวันที่ 7 ซึ่งจะมีจำนวนผู้ใช้งานน้อยกว่าวันปกติ

ในด้านการผลิตพลังงาน พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยที่วัดได้อยู่ในช่วง 3.66 – 3.74 V โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.70 V ส่วน ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.29 – 0.31 A โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 0.30 A แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรักษาระดับแรงดันและกระแสได้อย่างเสถียร แม้จะมีจำนวนผู้ใช้งานและแรงกดที่แตกต่างกันในแต่ละวัน

เมื่อคำนวณ พลังงานรวมที่ผลิตได้ในแต่ละวัน พบว่า มีค่าตั้งแต่ 473.16 W (วันที่ 7) ไปจนถึง 766.44 W (วันที่ 5) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 628.89 W ต่อวัน ซึ่งแสดงถึงศักยภาพในการใช้งานจริงในระบบขนาดเล็ก เช่น ไฟส่องสว่าง LED ระบบชาร์จแบตเตอรี่ขนาดเล็ก หรือ อุปกรณ์ IoT ได้

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างระบบชั้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าด้วยกลไกสไลเดอร์แรงกดและการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมจริงโดยไม่กระทบต่อพฤติกรรมของผู้ใช้งานและสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจากการทดลองต่อเนื่อง 7 วัน ในช่วงเวลา 10.00 –

บทความวิจัย (Research Article)

14.00 น. ระบบสามารถผลิตพลังงานได้เฉลี่ย 628.89 วัตต์ต่อวัน จากจำนวนการเหยียบเฉลี่ย 141.43 ครั้งต่อวัน โดยให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย 3.70 V และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 0.30 A ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักของผู้ใช้งานมีผลต่อพลังงานที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยน้ำหนักที่มากขึ้นจะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงถึงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างแรงกดและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากกลไกแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นในสาขาการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเดิน เช่น งานของ Wang และคณะ (2023) ที่ใช้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกซึ่งสามารถผลิตพลังงานได้ประมาณ $1-2 \text{ W/m}^2$ แต่มีประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 10–15 และมีต้นทุนต่อหน่วยสูง หรือผลงานของ Chen และคณะ (2020) ที่ใช้เทคโนโลยี Reverse Electrowetting ซึ่งแม้จะให้พลังงานสูงแต่ต้องการพื้นที่และการดูแลรักษาสูง

ระบบบันไดในงานวิจัยฉบับนี้มีความได้เปรียบในด้านของต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า การดูแลรักษาง่าย และสามารถผลิตพลังงานได้ 1.44–1.78 วัตต์ต่อครั้งที่เหยียบ ผลการทดลองเมื่อคำนวณประสิทธิภาพของระบบโดยงานกลจากแรงกดที่รวมทั้งน้ำหนักตัวและแรงกระแทกจากการเดิน พบว่าระบบสามารถแปลงพลังงานกลที่เข้าสู่ระบบให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ยประมาณ 31.3% ตลอดระยะเวลาทดลอง 7 วัน โดยมีพลังงานกลเฉลี่ยที่เข้าสู่ระบบ จากการคำนวณด้วยสมการที่ 1 ประมาณ 2,012.86 จูลต่อวัน และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงเฉลี่ย 628.89 จูลต่อวัน ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานแบบอื่น ๆ ที่มักมีประสิทธิภาพ

เฉลี่ยต่ำกว่า 30% ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่ากลไกที่ออกแบบมีความเหมาะสมในการรับแรงกดและแรงเคลื่อนที่จากการเดินของผู้ใช้งานจริง และสามารถนำพลังงานดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ได้ ภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งานจริงในชีวิตประจำวัน

เพื่อการพัฒนาต่อยอดในอนาคต ระบบขั้นบันไดเก็บเกี่ยวพลังงานนี้สามารถนำไปติดตั้งในพื้นที่ใช้งานจริงสามารถเพิ่มเติมจากขั้นบันไดเดิมได้ เช่น อาคารเรียน โรงพยาบาล หรือ สถานีขนส่งที่มีการใช้งานบันไดอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังสามารถออกแบบให้เป็นโมดูลาร์ (Modular System) เพื่อความยืดหยุ่นในการติดตั้ง ปรับแต่งจำนวนขั้นให้เหมาะกับแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้ยังสามารถผนวกกับระบบแบตเตอรี่หรืออุปกรณ์ IoT เพื่อเก็บพลังงานไว้ใช้กับระบบแสงสว่างระบบวัดจำนวนผู้ใช้งาน หรือเซนเซอร์ไร้สายต่าง ๆ ได้อีกทั้งสามารถพัฒนาอัตราทดของเฟือง หรือปรับปรุงวัสดุเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางกลและลดแรงเสียดทาน รวมถึงควรศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับระบบเพื่อให้มั่นใจว่าระบบไม่ส่งผลกระทบต่อความรู้สึกขณะเดิน หรือความปลอดภัยของผู้ใช้งานในระยะยาว

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] International Energy Agency, *Global Energy & CO2 Status Report 2019*. Paris, France: IEA, 2019.
- [2] Ministry of Energy, Thailand, *Thailand Integrated Energy Blueprint 2015–2036*. Bangkok, Thailand: Ministry of Energy, 2015.

บทความวิจัย (Research Article)

- [3] X. Li, R. Zhang, and H. Yu, "Renewable energy from the sun, wind, and water: Prospects and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 1376–1389, 2017.
- [4] Y. Wang, Q. Liu, and H. Zhang, "Piezoelectric energy harvesting from pedestrian walkways," *Renewable Energy*, vol. 205, pp. 45–56, 2023.
- [5] L. Zhang and X. Li, "High-efficiency PZT-based energy harvesting tiles," *Smart Materials and Structures*, vol. 31, no. 4, p. 045015, 2022.
- [6] S. Kim and J. Park, "Dielectric elastomer generators for footwear energy harvesting," *Energy Conversion and Management*, vol. 254, p. 115214, 2022.
- [7] R. Gupta, A. Sharma, and M. Kumar, "Miniaturized MHD generator for marine applications," *Journal of Power Sources*, vol. 501, p. 229999, 2021.
- [8] T. Chen, F. Wang, and Y. Zhou, "Reverse electrowetting energy harvesting using droplet-based systems," *Nano Energy*, vol. 78, p. 105287, 2020.
- [9] X. Li *et al.*, "Design and experimental study of an electromagnetic energy harvesting floor tile," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 1902–1913, 2022.
- [10] Q. Tang, Y. Yang, and Z. Zhang, "Comparative analysis of energy harvesting technologies for smart flooring applications," *Renewable Energy*, vol. 179, pp. 1958–1971, 2021.
- [11] A. D. Kuo, "Energetics of walking and running: insights from simulated reduced gravity," *Journal of Biomechanics*, vol. 34, no. 2, pp. 209–216, 2001.
- [12] F. F. Eves and O. J. Webb, "The energy expenditure of stair climbing one step and two steps at a time: estimations from measures of heart rate," *PLoS One*, vol. 3, no. 12, p. e3954, 2008.
- [13] J. M. Tarascon and M. Armand, "Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries," *Nature*, vol. 414, no. 6861, pp. 359–367, 2001.
- [14] J. B. Goodenough and Y. Kim, "Challenges for rechargeable Li batteries," *Chemistry of Materials*, vol. 22, no. 3, pp. 587–603, 2010.
- [15] M. S. Whittingham, "Lithium batteries and cathode materials," *Chemical Reviews*, vol. 104, no. 10, pp. 4271–4301, 2004.
- [16] B. Scrosati and J. Garche, "Lithium batteries: Status, prospects and future," *Journal of Power Sources*, vol. 195, no. 9, pp. 2419–2430, 2010.

การออกแบบและพัฒนาระบบตู้จดหมายอัจฉริยะพลังงานทางเลือก บนฐานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

สิทธิโชค อุ่นแก้ว^{1,*}, และ นัสรี ม่องพร้าว¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

* ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: sittichok.a@rmutsv.ac.th โทรศัพท์: 094-5982453

(รับบทความ: 5 เมษายน 2568; แก้ไขบทความ: 30 พฤษภาคม 2568; ตอรับบทความ: 4 มิถุนายน 2568)

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันกระบวนการรับจดหมายหรือพัสดุที่มีความสำคัญยังคงพึ่งพาการตรวจสอบด้วยตนเองเป็นหลัก ซึ่งอาจก่อให้เกิดความล่าช้าหรือการพลาดข้อมูลสำคัญได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบตู้จดหมายอัจฉริยะที่สามารถแจ้งเตือนโดยอัตโนมัติ โดยใช้พลังงานทางเลือกร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรือไอโอที เพื่อเพิ่มความสะดวก ความปลอดภัย และความแม่นยำในการตรวจจับจดหมาย ระบบต้นแบบประกอบด้วยหน่วยงานหลัก 4 ส่วน ได้แก่ (1) หน่วยจ่ายพลังงานที่ใช้แบตเตอรี่ประจุด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (2) หน่วยควบคุมกลางที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไอเอสพี-32 (3) หน่วยตรวจจับที่สามารถตรวจจับการเปิดฝาตู้และการเคลื่อนไหว และ (4) หน่วยแจ้งเตือนที่ส่งภาพพร้อมข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์โดยอัตโนมัติ ระบบได้ถูกติดตั้งและทดสอบในสภาพแวดล้อมจริงภายใต้เงื่อนไขที่หลากหลาย ตัวชี้วัดสำคัญที่ใช้ในการประเมินผลประกอบด้วย ความแม่นยำในการตรวจจับ ระยะเวลาในการตอบสนองของการแจ้งเตือน และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานทางเลือก ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ โดยสามารถแจ้งเตือนได้อย่างแม่นยำร้อยละ 100 และรักษาระดับพลังงานของแบตเตอรี่ให้เพียงพอต่อการใช้งานในแต่ละวันโดยไม่ต้องพึ่งพาแหล่งจ่ายไฟภายนอก จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าตู้จดหมายอัจฉริยะที่นำเสนอมีศักยภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง ช่วยลดภาระในการตรวจจดหมายด้วยตนเอง เพิ่มความสะดวกและปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน และสามารถบูรณาการเข้ากับระบบสมาร์ทโฮมในยุคปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ตู้จดหมายอัจฉริยะ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง พลังงานทางเลือก ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ เซลล์สุริยะ

การอ้างอิงบทความ: สิทธิโชค อุ่นแก้ว และ นัสรี ม่องพร้าว, "การออกแบบและพัฒนาระบบตู้จดหมายอัจฉริยะพลังงานทางเลือกบนฐานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 3, หน้า 69-83, 2568.

Design and Development of a Smart Mailbox System Powered by Alternative Energy Based on the Internet of Things

Sittichok Aunkaew^{1*}, Natsaree Mongpra¹

¹ Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

* Corresponding Author: sittichok.a@rmutsv.ac.th, Tel: 094-5982453

(Received: April 5, 2025; Revised: May 30, 2025; Accepted: June 6, 2025)

Abstract

In the present day, the process of receiving important mail or parcels still relies heavily on manual checking, which can lead to delays or missed information. This research aims to design and develop a prototype of a smart mailbox that provides automatic notifications powered by alternative energy, utilizing Internet of Things (IoT) technology to enhance convenience, security, and accuracy in mail detection. The prototype system comprises four main modules: (1) a power supply unit utilizing solar-charged batteries, (2) a central control unit based on the ESP32 microcontroller, (3) a sensing unit capable of detecting mailbox openings and motion, and (4) a notification unit that automatically sends images and alert messages via the LINE application. The system was deployed and tested in a real-world environment under various conditions. Key performance indicators included detection accuracy, notification response time, and energy efficiency of the alternative power source. Experimental results demonstrated that the system operated accurately and reliably, achieving 100% notification accuracy and maintaining sufficient battery charge for daily operation without external power sources. The findings indicate that the proposed smart mailbox has strong potential for practical implementation. It effectively reduces the burden of manual mail checking, enhances user convenience and security, and can be integrated efficiently into modern smart home ecosystems.

Keywords: Smart Mailbox, Internet of Things (IoT), Alternative Energy, Automatic Notification System, Solar Cell

Please cite this article as: S. Aunkaew and N. Mongpra, "Design and Development of a Smart Mailbox System Powered by Alternative Energy Based on the Internet of Things," *The Journal of Engineering and Industrial Technology*, Kalasin University, vol. 3, no. 3, pp. 69-83, 2025.

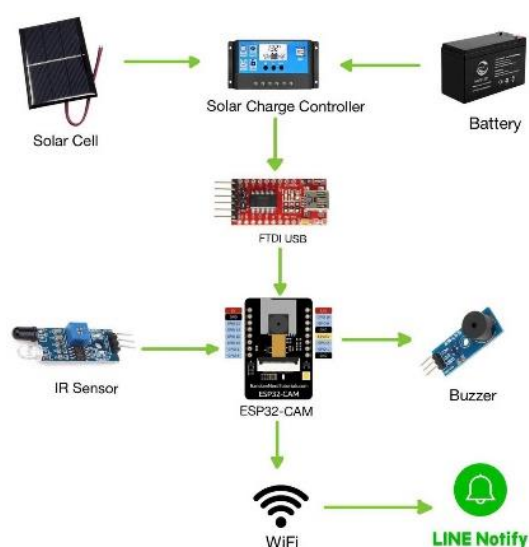
บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน ระบบอัตโนมัติและการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตได้รับการพัฒนาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้คนมากยิ่งขึ้น หนึ่งในนั้นคือการพัฒนาตู้รับจดหมายอัจฉริยะที่สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติและแจ้งเตือนผู้ใช้งานเมื่อมีจดหมายหย่อนลงตู้ [1, 2] ระบบนี้จึงถูกออกแบบมาเพื่อตอบโจทย์การเพิ่มความสะดวกและทันต่อเวลาในการรับจดหมาย ซึ่งนำหลักการใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ที่มีศักยภาพในการเปลี่ยนแปลงภาคส่วนต่าง ๆ ที่นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพและการปรับปรุงคุณภาพชีวิต [3, 4] เพื่อพัฒนาวิธีแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งไปใช้ในวงกว้าง งานวิจัยด้านสมาร์ทโฮมและสมาร์ทซิตี้ได้แสดงให้เห็นศักยภาพของอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการสร้างสภาพแวดล้อมที่มีความปลอดภัยและสะดวกยิ่งขึ้น [5-7] การพัฒนาระบบกล่องจดหมายอัจฉริยะจึงเป็นก้าวสำคัญในการแก้ไขความท้าทายของการจัดส่งพัสดุในยุคปัจจุบัน [2], [8] โดยการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งระบบนี้ช่วยให้ผู้ใช้มีความปลอดภัย ความสะดวกสบาย และความสามารถในการตรวจสอบแบบเวลาจริง [9-11] การตอบรับเชิงบวกจากผู้ใช้งานแสดงให้เห็นว่าการนำนวัตกรรมเช่นนี้มาใช้สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น การโจรกรรมและการจัดส่งที่พลาดไปทำให้กล่องจดหมายอัจฉริยะมีคุณค่าในสังคมที่ขับเคลื่อนในปัจจุบัน

นอกจากนี้ ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีพลังงานทางเลือก เช่น เซลล์สุริยะขนาดเล็ก [12] ทำให้สามารถลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานไฟฟ้าภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเมื่อรวมเข้ากับเทคโนโลยีการจัดการพลังงานอัจฉริยะ [4] ในด้านโครงสร้างระบบ ตู้จดหมายอัจฉริยะนี้ได้ผสานเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง

เช่น ESP32 ซึ่งเป็นที่นิยมในการพัฒนาอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในปัจจุบัน [1, 3] การใช้ตัวรับรู้ (Sensor) ตรวจสอบการเปิดและการเคลื่อนไหวในระบบยังอาศัยแนวคิดการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายที่มีความเสถียรและประหยัดพลังงาน [13] และยังมีการเชื่อมต่อแอปพลิเคชันไลน์หรือเทเลแกรม (Telegram) [14] เพื่อส่งข้อมูลแจ้งเตือนแบบทันที ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ Mobile Cloud Computing ที่กำลังเป็นที่นิยมในการส่งข้อมูล IoT [2, 15] ภาพรวมของตู้จดหมายอัจฉริยะ ดังรูปที่ 1 มีส่วนประกอบ 4 หน่วย คือ (1) หน่วยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ที่ประจุผ่านเซลล์สุริยะ (2) หน่วยควบคุมกลางโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี-32 (ESP-32) (3) หน่วยตรวจการเปิดตู้และการเคลื่อนไหว และ (4) หน่วยแจ้งเตือนที่ส่งภาพถ่ายพร้อมข้อความผ่านแอปพลิเคชันไลน์อัตโนมัติ [11] ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางที่องค์การสากลกำหนดในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานอัจฉริยะสำหรับบ้านและเมืองอัจฉริยะ [3, 10] ทั้งนี้ สมมติฐานของระบบคาดว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแจ้งเตือนและลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานไฟฟ้าภายนอกได้อย่างมีจริงทั้งในพื้นที่เมืองและชนบท [8, 16]



รูปที่ 1 ภาพรวมของตู้จดหมายอัจฉริยะ

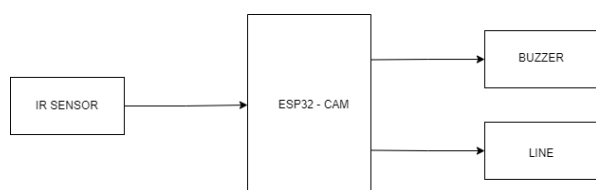
สิทธิโชค อุ่นแก้ว และ นสรี ม่องพรา, การออกแบบและพัฒนาระบบตู้จดหมายอัจฉริยะพลังงานทางเลือกบนฐานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

บทความวิจัย (Research Article)

2. การออกแบบและสร้างวงจร

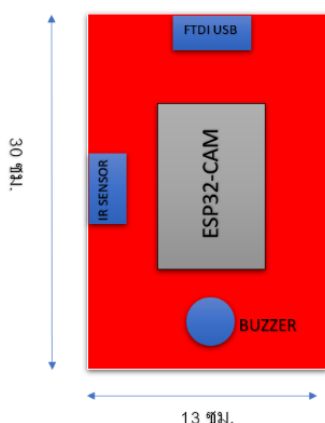
2.1 การออกแบบ การจัดวางอุปกรณ์

การออกแบบระบบดังรูปที่ 2 จะประกอบด้วย ส่วนควบคุม (Control) ส่วนระบบ (System) และ ส่วนตัวชี้บอก (Indicator)



รูปที่ 2 การออกแบบระบบ

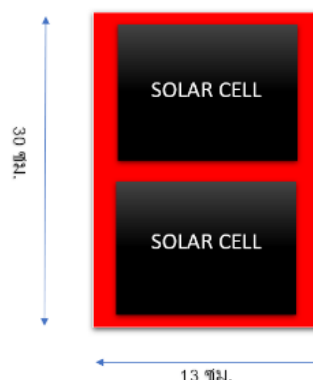
โดยลักษณะการออกแบบภายในของตู้จดหมายอัจฉริยะที่มีความกว้างขนาด 13 เซนติเมตร และความยาวขนาด 30 เซนติเมตร จะจัดวางให้ตัวรับรู้วัตถุแบบอินฟราเรด (IR Sensor) บัซเซอร์ (Buzzer) ตัวแปลงยูเอสบีเป็นอนุกรม (FTDI USB) และกล้องถ่ายภาพแบบอีเอสพี-32 (ESP32-CAM) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภายในของตู้จดหมายอัจฉริยะ

ลักษณะการออกแบบภายนอกของตู้จดหมายส่วนบนมีความกว้างขนาด 13 เซนติเมตร และความ

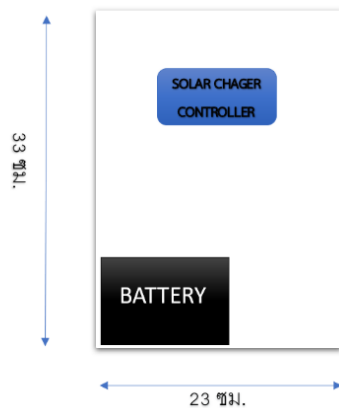
ยาวขนาด 30 เซนติเมตร โดยจัดวางให้เซลล์สุริยะจำนวน 2 แผง ความกว้างขนาด 110 มิลลิเมตร และความยาวขนาด 136 มิลลิเมตร วางไว้ที่ส่วนบนสุดของตู้จดหมายอัจฉริยะที่เป็นรูปทรงเหมือนหลังคาบ้านทรงจั่ว (Gable Roof) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ภายนอกตู้จดหมายอัจฉริยะส่วนบนสุด

ลักษณะการออกแบบภายในของตู้ไฟกั้นน้ำที่มีความกว้างขนาด 23 เซนติเมตร และความยาวขนาด 33 เซนติเมตร โดยจัดวางให้ตัวควบคุมการชาร์จสุริยะ (Solar Charge Controller) อยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางค่อนไปทางส่วนบน และแบตเตอรี่อยู่ตำแหน่งด้านล่างซ้ายของตู้ไฟกั้นน้ำ ซึ่งเลือกใช้แผงเซลล์สุริยะขนาด 10 วัตต์ ที่แรงดัน 12 โวลต์ จำนวน 2 แผงต่อขนานกันได้ 20 วัตต์ โดยพลังงานรวมทั้งระบบ 0.25 แอมแปร์ x 24 ชั่วโมง เท่ากับ 6 แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) โดยกล้องถ่ายภาพแบบอีเอสพี-32 ใช้ 160-200 มิลลิแอมแปร์ ในโหมดปกติ และ 70-100 มิลลิแอมแปร์ ในโหมดนอน (Sleep) และระบบเลือกใช้แบตเตอรี่แห้งขนาด 12 โวลต์ 8 แอมแปร์-ชั่วโมง ดังรูปที่ 5

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 5 การจัดวางอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟภายใต้ตู้ไฟกันน้ำ

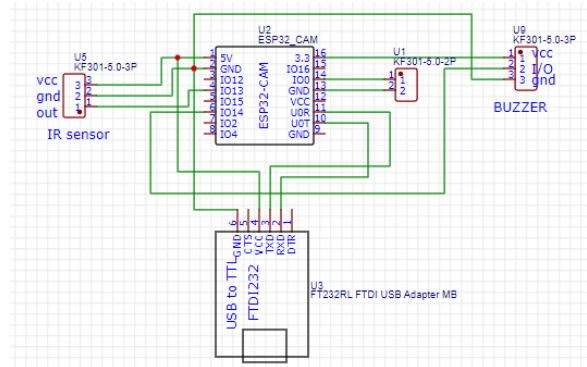
2.2 การออกแบบวงจรตู้จดหมายอัจฉริยะ

ขั้นตอนแรกก่อนจะเริ่มออกแบบวงจรตู้จดหมายอัจฉริยะนำโมดูลที่เกี่ยวข้องกับวงจรทั้งหมดที่จะใช้มาเรียงต่อกัน เริ่มจากตัวรับรู้วัตถุแบบอินฟราเรด บัสเซอร์ ตัวแปลงยูเอสบีเป็นอนุกรม นำทั้งหมดไปต่อเข้ากับกล้องถ่ายรูปแบบอีเอสพี-32 ดังรูปที่ 6

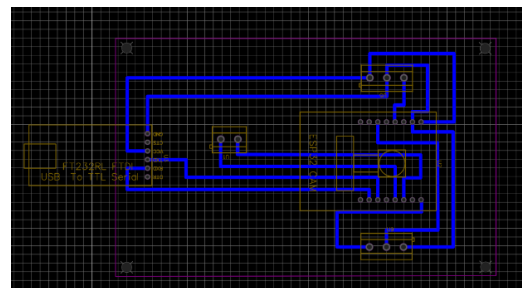


รูปที่ 6 ส่วนประกอบก่อนออกแบบวงจร

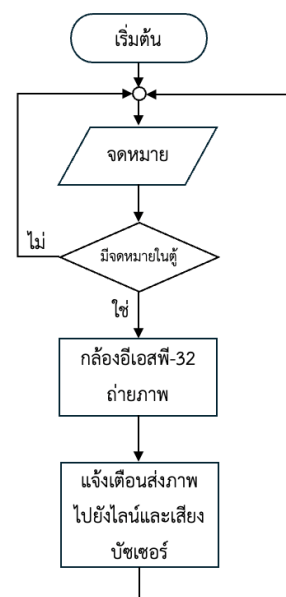
ทำการออกแบบวงจรในโปรแกรม Easy EDA ที่ช่วยในการสร้างวงจรเคอร์ร่าง (Circuit Schematic) ที่ต่อประสานวงจรดังรูปที่ 7 ที่ใช้สำหรับการนำไปสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board: PCB) ดังรูปที่ 8 และมีขั้นตอนวิธีการทำงานดังรูปที่ 9



รูปที่ 7 การออกแบบวงจรตู้จดหมายอัจฉริยะ



รูปที่ 8 การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์

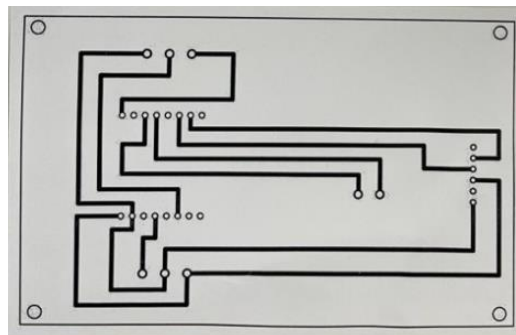


รูปที่ 9 ขั้นตอนวิธีการทำงาน

2.3 การสร้างวงจรต้นแบบตู้จดหมายอัจฉริยะ

หลักจากได้ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ดังรูปที่ 8 นำไปพิมพ์ลงในกระดาษโฟโต้ขนาด A4 (A4 Photo) ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์จุดได้ดังรูปที่ 10 จากนั้นนำแผ่นทองแดงสำหรับทำแผ่นวงจรพิมพ์โดยตัดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการหรือมีขนาดเท่ากับแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้จัดพิมพ์ไว้ดังรูปที่ 11 ขัดผิวแผ่นทองแดงด้วยสก๊อตช์ไบรต์ (Scotch-Brite) และล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด เช็ดให้แห้งดังรูปที่ 12 หลังจากนั้นนำกระดาษวงจรพิมพ์ที่ตัดไว้แล้วมาวางบนแผ่นทองแดงพรมน้ำให้ทั่วกระดาษและชุบให้ทั่วทั้งแผ่นไม่ให้เหลือฟองอากาศ และนำไปห่อกระดาษ 1 ชั้นเพื่อทำการรีดแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเตารีด ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 15 นาที โดยใช้ความร้อนที่เหมาะสมดังรูปที่ 13 เมื่อรีดเสร็จแล้วนำมาแช่น้ำประมาณ 10-15 นาที เพื่อเอากดาษออกจากแผ่นทองแดงแล้วตรวจสอบความสมบูรณ์ของลายเส้นแผ่นวงจรพิมพ์ หากมีรอยขาดหรือไม่คมชัดจะต้องทำการใช้ปากกาหมึกถาวร (Permanent Marker) วาดลายเส้นให้สมบูรณ์

นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปแช่น้ำยากัดแผ่นวงจรพิมพ์ สัดส่วนน้ำยากัด 1 ผาต่อน้ำ 2 ผา แล้วใช้เครื่องเขย่าอัตโนมัติจนกััดเสร็จเรียบร้อยดังรูปที่ 14 สุดท้ายของขั้นตอนนี้ให้นำไปล้างให้สะอาดและเช็ดให้แห้งทำการตรวจสอบด้วยมัลติมิเตอร์ว่าวงจรที่ได้สมบูรณ์หรือไม่ เช่น ลายเส้นขาดหรือลัดวงจร เป็นต้น หากมีปัญหาให้รีบทำการแก้ไข หลังจากนั้นเช็ดหมึกพิมพ์และรอยเส้นจากการวาดบนแผ่นวงจรพิมพ์ออกด้วยทินเนอร์เพื่อทำความสะอาดได้ดังรูปที่ 15



รูปที่ 10 การตัดกระดาษแผ่นวงจรพิมพ์



รูปที่ 11 การตัดแผ่นทองแดงตามขนาดต้องการ



รูปที่ 12 การขัดผิวแผ่นทองแดง

จากนั้นการนำไปเจาะรูตามทีออกแบบไว้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้ดอกสว่านขนาด 0.8 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 16 และนำไปทาน้ำยาเคลือบแผ่นทองแดงเพื่อไม่ให้เส้นทองแดงเกิดสนิมทองแดงแล้วตากแดดให้แห้งสนิท

บทความวิจัย (Research Article)



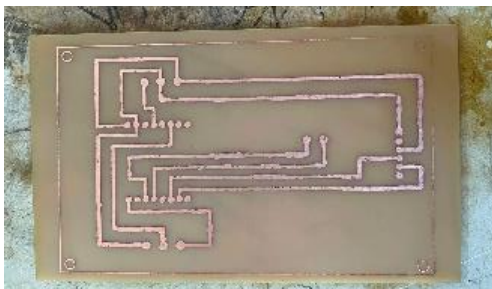
รูปที่ 13 การรีดแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเตารีด



รูปที่ 16 การเจาะรูบนแผ่นวงจรพิมพ์



รูปที่ 14 การกัดแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเขย่า
อัลตราโซนิก



รูปที่ 15 การเซตแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยทินเนอร์

บัดกรีอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงแผ่นวงจรพิมพ์ดังรูปที่ 17 และรูปที่ 18 เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ที่วางและบัดกรีเสร็จสมบูรณ์แล้ว เพื่อให้แน่ใจหลังจากการบัดกรีวงจรทั้งหมดบนแผ่นวงจรพิมพ์แล้วต้องตรวจสอบรอยบัดกรีและลายทองแดงว่าเกิดความเสียหายจากความร้อนการบัดกรีหรือไม่ด้วยมัลติมิเตอร์ หลังจากนั้นทดสอบจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรเพื่อตรวจสอบจุดแต่ละจุด (Test Point) การทำงานของวงจรโดยรวม



รูปที่ 17 การบัดกรีอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 18 แผ่นวงจรพิมพ์เสร็จสมบูรณ์

3. การประกอบอุปกรณ์ของตู้จดหมายอัจฉริยะและเซลล์สุริยะ

3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งด้านในตู้จดหมายอัจฉริยะ

ขั้นตอนที่ 1 ใช้ท่อหัดขนาด 8 มิลลิเมตร ในการหุ้มสายไฟฟ้าเพื่อความเป็นระเบียบของสายไฟ ต่อมาติดตั้งกล่องถ่ายภาพแบบอีเอสพี-32 ตัวรับรู้วัตถุแบบอินฟราเรด บัสเซอร์ และตัวแปลงยูเอสบีเป็นอนุกรมเข้ากับแผงวงจร และใช้เทปพันสายไฟ 3M พันรอบข้อต่อของตัวแปลงยูเอสบีเป็นอนุกรมเข้ากับแผงวงจรกับขาถังปลาตัวเมียที่อยู่บนแผ่นวงจร เพื่อป้องกันการลวมและหลุดของสายไฟดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 การใช้ท่อหัดหุ้มสายไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 2 เจาะข้างกล่องของตู้จดหมายเพื่อใช้เป็นทางเดินสายไฟของแหล่งจ่ายไฟ โดยจะทำเครื่องหมายก่อนเจาะ จากนั้นทำการเชื่อมต่อสายไฟเข้ากับอุปกรณ์ทั้งหมดก่อนนำไปติดตั้งภายในตู้จดหมายอัจฉริยะดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 การเชื่อมต่อสายไฟเข้ากับอุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 3 การเชื่อมต่อสายไฟและสายสัญญาณเข้ากับอุปกรณ์ทั้งหมดเรียบร้อยแล้วนำแผ่นวงจรพิมพ์ไปยึดติดกับผนังภายในของตู้จดหมายอัจฉริยะและทำการจัดระเบียบสายไฟและสายสัญญาณให้เรียบร้อยสวยงาม โดยสายไฟและสายสัญญาณแต่ละเส้นต้องเผื่อความยาวเอาไว้ เพราะถ้าเกิดสายไฟสั้นเกินไปหรือมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น การแก้ไขจะทำได้ค่อนข้างยากลำบากดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 การนำแผ่นวงจรไปยึดติดกับผนังด้านในของตู้จดหมายอัจฉริยะ

บทความวิจัย (Research Article)

3.2 อุปกรณ์ที่ติดตั้งภายนอกตู้จดหมายอัจฉริยะ

การต่อสายไฟแผงโซลาร์เซลล์เข้าด้วยกันโดยจะใช้รูปแบบการต่อแบบขนาน เพื่อต้องการเพิ่มจำนวนวัตต์จะเป็นการนำสายไฟขั้วบวกต่อกับขั้วบวก และขั้วลบต่อกับขั้วลบ จากนั้นใช้สายยางใสขนาด 4 มิลลิเมตรหุ้มสายไฟเอาไว้ เพื่อป้องกันน้ำหรือฝนที่ตกลงมาที่อาจจะส่งผลกระทบต่อสายไฟ และติดตั้งแผงเซลล์สุริยะส่วนบนของตู้จดหมายอัจฉริยะที่เป็นรูปทรงเหมือนหลังคาบ้านทรงจั่ว หลังจากนั้นทำการยึดติดเข้ากับไม้กระดานที่มีความกว้างขนาด 17.5 เซนติเมตร และความยาวขนาด 59.5 เซนติเมตร ให้แน่นดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 การต่อสายไฟกับแผงเซลล์สุริยะแบบขนาน

3.3 อุปกรณ์ที่ติดตั้งด้านในตู้ไฟกันน้ำ

ขั้นตอนที่ 1 เจาะรูด้านข้างของกล่องในตำแหน่งเดียวกันกับรูที่เจาะตู้จดหมายอัจฉริยะเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแก่ระบบทั้งหมด หลังจากนั้นทำการยึดตู้ไฟกันน้ำเข้ากับไม้กระดานที่มีความกว้างขนาด 17.5 เซนติเมตร และความยาวขนาด 59.5 เซนติเมตร ให้แน่น และทำการเชื่อมสายไฟเข้ากับอุปกรณ์ภายในตู้จดหมายอัจฉริยะดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 การยึดตู้ไฟกันน้ำเข้ากับไม้กระดาน

ขั้นตอนที่ 2 ติดตั้งตัวควบคุมการชาร์จสุริยะและแบตเตอรี่ตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ 5 และทำการเชื่อมต่อสายไฟเข้าด้วยกันดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 การติดตั้งอุปกรณ์ภายในตู้จดหมายอัจฉริยะ

ขั้นตอนสุดท้าย นำสายยูเอสบีซีเชื่อมต่อจากตัวควบคุมการชาร์จสุริยะเข้ากับตัวแปลงยูเอสบีซีเป็นอนุกรมผ่านรูที่ได้เจาะไว้ก่อนหน้านี้เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟเข้ากับระบบทั้งหมดดังรูปที่ 25

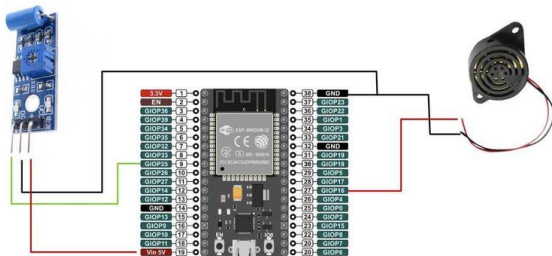
บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 25 การเชื่อมต่อสายไฟผ่านรูที่ได้เจาะไว้

3.4 อุปกรณ์เพิ่มเติม

ระบบตู้จดหมายอัจฉริยะได้มีการเพิ่มระบบกันขโมยอัจฉริยะเข้ามาเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความสะดวกในการใช้งานดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 วงจรระบบกันขโมยอัจฉริยะ

ระบบกันขโมยนี้ทำหน้าที่ตรวจจับการสั่นสะเทือนหรือการกระแทกที่เกิดขึ้นกับตู้จดหมาย หากมีการสั่นสะเทือนหรือพยายามบุกรุก ระบบจะแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานในทันทีผ่านแอปพลิเคชันไลน์และบัสเซอร์ เพื่อทำการเพิ่มความมั่นใจในการรักษาความปลอดภัยของตู้จดหมายอัจฉริยะดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 การติดตั้งระบบกันขโมยอัจฉริยะ

4. การทดสอบการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบนี้จะอธิบายเกี่ยวกับการรับข้อมูลภาพ และการทำงานของระบบกันขโมย เพื่อให้เข้าใจง่ายมากขึ้นจะแบ่งการทดสอบดังนี้

4.1 การทดสอบการทำงานของกล้อง

การทำงานของกล้องโดยจะมีการจับภาพจากกล้องถ่ายภาพแบบอีเอสพี-32 และส่งข้อมูลการรับภาพที่ได้เมื่อตัวรับรู้อินฟราเรดตรวจรู้วัตถุแล้วจะแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์และแจ้งเตือนแบบเสียงผ่านบัสเซอร์เพื่อแสดงว่าทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 ลำดับการทำงานของกล้อง

บทความวิจัย (Research Article)

4.2 การทดสอบการแจ้งเตือนภาพ

การเขียนโปรแกรมแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การจับภาพที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ โดยเขียนแบบโครงสร้าง (Procedure Programming: PP) ในการรับข้อมูลภาพในรหัส (Source code) ใช้คลังโปรแกรม (Library) ของกล้องเข้ามาช่วย คือ esp_camera.h และใช้ Line_token ในการแสดงภาพผ่านแอปพลิเคชันไลน์

4.2.1 esp_camera.h

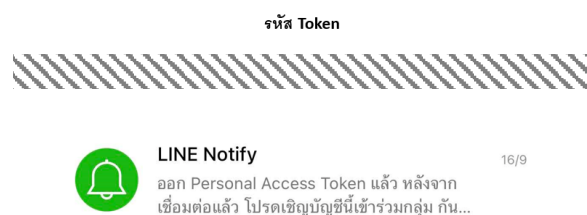
คลังโปรแกรมที่มีความสามารถสำหรับให้อีเอสพี-32 ทำงานร่วมกับกล้อง โดยใช้ฟังก์ชันที่ช่วยในการเชื่อมต่อกับกล้อง จะมีรายละเอียด เช่น การตั้งค่ากล้องถ่ายภาพ การตั้งค่าตัวรับรู้กล้อง เป็นต้น ตัวอย่างดังรูปที่ 29

```
cpp
camera_config_t config;
config.ledc_channel = LEDC_CHANNEL_0;
config.ledc_timer = LEDC_TIMER_0;
config.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM;
config.pin_d1 = Y3_GPIO_NUM;
config.pin_d2 = Y4_GPIO_NUM;
config.xclk_freq_hz = 20000000; // ความถี่นาฬิกา
config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG;
```

รูปที่ 29 ตัวอย่างการใช้งานคลังโปรแกรม esp_camera.h

4.2.2 รหัสลับไลน์ (Line token)

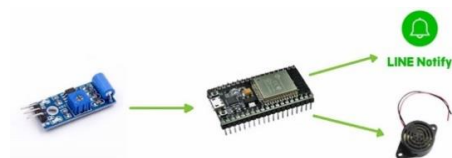
รหัสลับเป็นรหัสผ่านหรือกุญแจที่ใช้ในการเข้าถึงการต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Program Interface: API) โดยการสุ่มรหัสหรือกุญแจตามสิทธิผู้ใช้เพื่อให้เชื่อมต่อเข้ากับแอปพลิเคชันไลน์ที่ต้องการให้แจ้งเตือนข้อมูลจะสร้างตัวบอตแชตที่มีชื่อว่าการแจ้งเตือน (Line notify) ดังรูปที่ 30 หรืออาจจะการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันอื่นก็ได้



รูปที่ 30 การแสดงผลผ่านไลน์

4.3 ระบบกันขโมย

ส่วนการทำงานของระบบกันขโมยจะมีการทำงานโดยตัวรับรู้การสั่นสะเทือน (Vibration Sensor) จะตรวจรู้การสั่นสะเทือนและส่งค่าไปยังอีเอสพี-32 โดยกำหนดเกณฑ์การสั่นเทือนมากกว่าเท่ากับ 15 จะสั่งให้บีซเซอร์ทำงานโดยจะเปล่งเสียงออกมาเป็นจังหวะเพื่อใช้เป็นเสียงเมื่อกำลังจะถูกขโมยหลังจากนั้นส่งการแจ้งเตือนไปยังไลน์ดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 ลำดับการทำงานของระบบกันขโมย

4.4 เกณฑ์การทดสอบ

การทดสอบและประเมินผลนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดความสามารถในการสอดคล้องตามความต้องการ การตรวจจับการสั่นสะเทือน และการแจ้งเตือน เพื่อให้มั่นใจว่าชิ้นงานสามารถใช้งานได้ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยการทดลองในแต่ละหัวข้อจะต้องมีจำนวนผลการทดลองรวมไม่น้อยกว่า 32 ครั้ง (คิดเป็น 80% ของจำนวนการทดลองทั้งหมด) และต้องผ่านเกณฑ์ของแต่ละหัวข้อคือ 15 ครั้ง หากไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนด ควรดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขเพื่อพัฒนาชิ้นงานให้

บทความวิจัย (Research Article)

สามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับมาตรฐานที่วางไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การทดสอบและการประเมินผล

หัวข้อการประเมิน	จำนวนการทดลอง	เกณฑ์ผ่าน	เงื่อนไขผ่าน/ไม่ผ่าน
การสอดคล้องตาม/การสันสะท้อน	20	16	ผ่าน เมื่อจำนวนที่ได้ ≥ 16 ไม่ผ่าน เมื่อจำนวนที่ได้ < 16
การแจ้งเตือน	20	16	ผ่าน เมื่อจำนวนที่ได้ ≥ 16 ไม่ผ่าน เมื่อจำนวนที่ได้ < 16
จำนวนการทดลองทั้งหมด	40	32	ผ่าน เมื่อผลการทดลองรวม ≥ 32 (80% ของจำนวนการทดลองทั้งหมด) ไม่ผ่าน เมื่อผลการทดลองรวม < 32

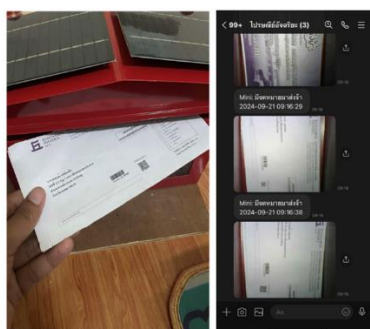
5. ผลการทดลอง

ส่วนนี้จะกล่าวถึงการทดลองการทำงานของระบบ

- 1) การจับภาพและส่งข้อมูลภาพผ่านไลน์
- 2) การทดสอบระบบกันขโมยที่แจ้งเตือนแบบเสียง และ
- 3) ส่งผ่านไลน์ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

5.1 การจับภาพและส่งข้อมูลภาพผ่านไลน์

การทดลองใส่จดหมายเข้าไปในตู้รับจดหมายอัจฉริยะ และรอให้ปั๊มเซอร์ทำงานเสร็จสิ้น หลังจากนั้นจะถ่ายภาพผ่านกล้องถ่ายภาพแบบอีเอสพี-32 และแจ้งเตือนผ่านไลน์ดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 การใส่จดหมายและแจ้งเตือนผ่านไลน์

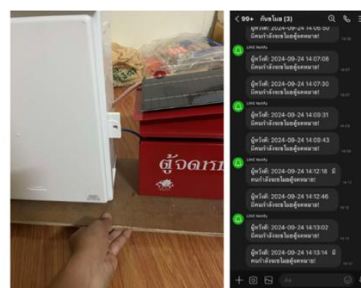
การบันทึกผลการทดลองการสอดคล้องหมาย โดยจะสอดคล้อง 20 ครั้ง เพื่อบันทึกการแจ้งเตือนโดยการส่งภาพ 20 ภาพ ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถทำการจับภาพได้ถูกต้องร้อยละ 100 และผ่านเงื่อนไขดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการแจ้งเตือนโดยการส่งภาพ

สอดคล้องตาม/แจ้งเตือน	ทดลอง/ครั้ง	ผลทดลอง/ครั้ง	คิดเป็นร้อยละ
การสอดคล้องตาม	20	20	100
การแจ้งเตือน	20	20	100
รวม	40	40	100

5.2 การทดสอบระบบกันขโมยที่แจ้งเตือนแบบเสียงและส่งผ่านไลน์

การทดลองระบบกันขโมยโดยติดตั้งไว้ด้านในตู้ไฟกันน้ำ เพื่อตรวจสอบความละเอียดในกรณีที่อุปกรณ์มีการขยับหรือกำลังจะถูกขโมยมีการแจ้งเตือนทั้งแบบเสียงและทางไลน์ดังรูปที่ 32 และตารางที่ 3



รูปที่ 32 ระบบกันขโมยและการแจ้งเตือนผ่านไลน์

ตารางที่ 3 การบันทึกผลการทดสอบระบบกันขโมยด้วยการทดลองเขย่า ยก และเคาะ 20 ครั้ง ระบบตอบสนองการแจ้งเตือนได้ถูกต้องร้อยละ 100

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบระบบกันขโมย

สันสะท้อน/แจ้งเตือน	ทดลอง/ครั้ง	ผลทดลอง/ครั้ง	คิดเป็นร้อยละ
การสันสะท้อน	20	20	100
การแจ้งเตือน	20	20	100
รวม	40	40	100

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 4 ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถทำงานด้วยการวัดค่าเวลาในการตอบสนองของกระบวนการสอดคล้องความเร็เฉลี่ย 5 วินาที/ครั้ง และการแจ้งเตือนที่ 3 วินาที/ครั้ง รวมทั้งกระบวนการเท่ากับ 8 วินาที/ครั้ง

ตารางที่ 4 ความเร็วในการตอบสนอง

สอดคล้องความเร็เฉลี่ย	ทดลอง/ครั้ง	เวลาที่ใช้(วินาที)	หมายเหตุ
การสอดคล้องความเร็	20	5	ถ้ารูปและประมวลผลภาพ
การแจ้งเตือน	20	3	แจ้งเตือนรูปภาพมายังผู้ใช้
รวม	40	8	เฉลี่ยเวลาในการทำงานทั้งหมด

6. สรุปผลการทดลอง

ผู้รับจดหมายอัจฉริยะสามารถทำงานตามวัตถุประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถแจ้งเตือนการทำงานต่าง ๆ ได้ถูกต้องแม่นยำร้อยละ 100 ได้แก่ การถ่ายภาพจดหมายเพื่อแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และระบบป้องกันขโมยอัจฉริยะ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกันตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดทุกประการคือ 1) การจับภาพและแจ้งเตือนข้อความภาพได้ตามกำหนด 2) กล้องสามารถส่งภาพแบบเวลาจริง (Realtime) หรือทันทีที่ และ 3) การตรวจรู้การสั่นสะเทือนและแจ้งเตือนข้อความได้ตามกำหนด เนื่องจากเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าในปัจจุบันได้ช่วยเพิ่มความสะดวกสบายในชีวิตประจำวัน รวมถึงการสั่งซื้อสินค้าออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชันหลากหลาย แต่ปัญหาสำคัญที่ตามมาคือ การไม่มีที่จัดเก็บพัสดุที่ปลอดภัยเมื่อมาส่ง อาจนำไปสู่การสูญหายหรือความเสียหาย ดังนั้นจึงได้พัฒนากล่องรับพัสดุอัจฉริยะที่สามารถตรวจสอบการมาถึงของพัสดุอัตโนมัติพร้อมเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันมือถือเพื่อแจ้งเตือนสถานะพัสดุได้ทุกที่ทุกเวลากล่องดังกล่าวมาพร้อมเซ็นเซอร์ตรวจจับการเปิดกล่องและระบบล็อกอัจฉริยะที่ควบคุมผ่านมือถือ เพื่อเพิ่มความสะดวกและปลอดภัยในการใช้งาน นอกจากนี้ยังใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ ลดการพึ่งพาแหล่งพลังงาน

ภายนอก ถือเป็นนวัตกรรมที่ช่วยแก้ปัญหาการจัดเก็บพัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบโจทย์การใช้งานในยุคปัจจุบัน

7. อภิปรายผลการทดลองและการพัฒนาต่อไป

แม้ว่าระบบจัดจดหมายอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้ โดยเฉพาะในด้านการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์และระบบกันขโมยที่ตอบสนองได้ดีภายใต้เงื่อนไขการทดสอบ แต่ยังมีหลายประเด็นที่ควรพิจารณาเพื่อพัฒนาให้ระบบมีความสมบูรณ์และสามารถใช้งานได้ในสเกลที่ใหญ่ขึ้นในอนาคตดังนี้

ข้อจำกัดของระบบปัจจุบัน (1) การพึ่งพาแอปพลิเคชันไลน์เป็นหลัก หากแอปพลิเคชันมีปัญหาในการเชื่อมต่อหรือเกิดข้อจำกัดด้านเอพีไอ (API) ระบบจะแจ้งเตือนไม่ได้ ควรพิจารณารองรับแอปพลิเคชันอื่น ๆ หรือระบบสำรอง เช่น เทเลแกรม (Telegram) หรือระบบเอสเอ็มเอส (SMS) (2) ขาดระบบล็อกหรือควบคุมการเข้าถึงตัวตู้ ปัจจุบันไม่มีระบบล็อกแบบอิเล็กทรอนิกส์หรือกลไกป้องกันการเปิดตู้โดยไม่ได้รับอนุญาต (3) ไม่มีการตรวจสอบวัตถุภายในอย่างละเอียด: แม้ระบบสามารถตรวจจับและส่งภาพจดหมายได้ แต่ยังไม่สามารถจำแนกประเภทของวัตถุ หรือระบุว่าเป็นเอกสาร พัสดุ หรือสิ่งแปลกปลอม

แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต (1) เพิ่มระบบล็อกอัจฉริยะควบคุมผ่านมือถือ เช่น ล็อกอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเปิด-ปิดผ่านแอป หรือรหัสผ่าน เพื่อเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ (2) บูรณาการ AI Vision เพื่อให้ระบบสามารถแยกแยะวัตถุที่หย่อนเข้ามาได้ เช่น จดหมาย พัสดุ หรือสิ่งแปลกปลอม โดยใช้โมเดลการเรียนรู้เครื่องจักร (Machine Learning) บน ESP32-CAM หรือส่งข้อมูลไปประมวลผลบนคลาวด์ (3) ติดตั้งตัวรับรู้ตรวจสอบสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นหรืออุณหภูมิภายในตู้

บทความวิจัย (Research Article)

เพื่อป้องกันความเสียหายของเอกสารในกรณีสภาพอากาศไม่เหมาะสม (4) ออกแบบระบบให้ปรับขนาดได้ (Scalable) สำหรับใช้งานในอาคารชุด สำนักงาน หรือพื้นที่ที่มีผู้ใช้งานจำนวนมาก โดยพัฒนาเป็นระบบศูนย์กลางที่สามารถจัดการจัดหมายหลายใบผ่านแดชบอร์ดเดียว (5) เพิ่มระบบบันทึกข้อมูลในหน่วยความจำ เช่น SD card หรือ Cloud Logging เพื่อเก็บประวัติการเปิดตู้และแจ้งเตือนย้อนหลัง (6) เพิ่มระบบพลังงานที่ใช้ให้เพียงพอ และปรับเปลี่ยนแผงพลังงานแสงสุริยะและแบตเตอรี่สำรองใช้ในกรณีแสงแดดไม่เพียงพอ

8. กิตติกรรมประกาศ

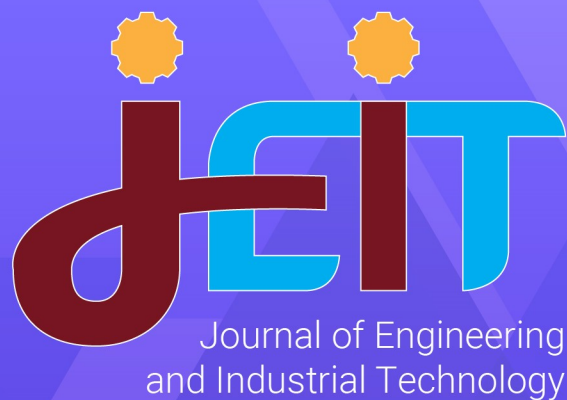
ขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่สนับสนุนและส่งเสริมการทำโครงการวิจัยเรื่อง “ตู้จดหมายอัจฉริยะพลังงานทางเลือกบนฐานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง” จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

9. การเขียนเอกสารอ้างอิง

- [1] T. Khan, "A solar-powered IoT connected physical mailbox interfaced with smart devices," *IoT*, vol. 1, no. 1, pp. 128–144, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/iot1010008>
- [2] A. A. Sidek, A. Samsudin, and M. M. Rahman, "Smart mailbox notification system with solar battery charging based on IoT," *Journal of Electrical and Electronic Systems Research*, vol. 24, pp. 90–97, 2023. [Online]. Available: <https://jeesr.uitm.edu.my/v1/JEESR/Vol.24/article14.pdf>
- [3] Y. Li, Y. Wang, and Y. Wang, "The role of Internet of Things in the development of smart cities," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 15, no. 11, pp. 1–11, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1177/1550147719888109>
- [4] W. Ji and E. H. W. Chan, "Critical factors influencing the adoption of smart home energy technology in China," *Energies*, vol. 12, no. 21, p. 4180, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/en12214180>
- [5] A. Bhati, M. Hansen, and C. M. Chan, "Energy conservation through smart homes in a smart city: A lesson for Singapore households," *Energy Policy*, vol. 104, pp. 230–239, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.032>
- [6] K. Ishaq and S. S. Farooq, "Exploring IoT in smart cities: Practices, challenges and way forward," *arXiv*, 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2309.12344>
- [7] R. F. Al-Mutawa and F. A. Eassa, "A smart home system based on Internet of Things," *arXiv*, 2020. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2009.05328>
- [8] M. Baláž, J. Vaculík, and T. Corejova, "Evaluation of the impact of the Internet of Things on postal service efficiency in Slovakia," *Economies*, vol.

บทความวิจัย (Research Article)

- 12, no. 10, p. 271, 2024. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.3390/economies12100271>
- [9] W. Hurst, C. A. Curbelo Montañez, and N. Shone, "Time-pattern profiling from smart meter data to detect outliers in energy consumption," *IoT*, vol. 1, no. 1, pp. 92–108, 2020. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.3390/iot1010006>
- [10] M. Picone, "IoT: A new open access journal for Internet of Things," *IoT*, vol. 1, no. 1, pp. 145–146, 2020. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.3390/iot1010009>
- [11] M. M. Mohan *et al.*, "Automatic copra quality analyser using ESP-32 camera module," in *Proc. 2nd Int. Conf. Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS)*, 2024, pp. 1465–1468. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1109/ICSSAS64001.2024.10760899>
- [12] M. A. Green *et al.*, "Solar cell efficiency tables (version 56)," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 28, no. 7, pp. 629–638, 2020. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1002/pip.3303>
- [13] Y. Siregar, E. S. Marbun, and N. N. binti Mohamed, "Monitoring system for pico hydropower plants on Pelton turbines based on the Internet of Things," in *Proc. 8th Int. Conf. Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (EL TICOM)*, 2024, pp. 254–258. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1109/ELTICOM64085.2024.10864656>
- [14] N. Raghu, I. Miah, and A. B. R. Tonmoy, "Ultrasonic sensor based door security camera with wireless data transfer in Telegram bot using Wi-Fi," in *Proc. Int. Conf. Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE)*, 2023, pp. 402–405. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1109/IITCEE57236.2023.10090954>
- [15] C. Esposito, F. Palmieri, and K. K. R. Choo, "Cloud message queueing and notification: Challenges and opportunities," *IEEE Cloud Computing*, vol. 5, no. 2, pp. 11–16, 2018. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1109/MCC.2018.022171662>
- [16] H. Wang, "Research on the application scenario of Internet of Things technology in the construction of smart countryside," in *Proc. Smart City Challenges & Outcomes for Urban Transformation (SCOUT)*, 2023, pp. 242–248. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1109/SCOUT58937.2023.00054>



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