JEIT
Journal of Engineering and Industrial Technology

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 (2025)
มีนาคม – เมษายน 2568
ISSN 2985 0274 (Print)
ISSN 2985 0282 (Online)

กำหนดการเผยแพร่

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 (มีนาคม – เมษายน 2568)

Vol. 3 No. 2 (March – April 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)
- วิศวกรรมอุตสาหการและวิศวกรรมการผลิต (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

รองศาสตราจารย์ จิระพันธ์ ห้วยแสน	อธิการบดีมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ สุดสนธิ์	รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชยุทธ จันทะรี	รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์ลิขิต แก้วหานาม	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.วิจิตรา โพธิสาร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

บรรณาธิการ

ดร.สรายุทธ ฐิตะภาส	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถิตพงศ์ เสงี่ยมศักดิ์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ดร.สวลี อุตรา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์ ปัตติยะ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ชูพงษ์ ทองคำสมุทร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิบาก	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา ปรเมษฐานุวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สกุลตลา วรรณปะเข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สัจจากาจ จอมโนนเขวา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.เกยูร ดวงอุปมา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รองศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ วิชาผา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลาหา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศานาถ แก้ววินิต	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว วัฒนากลาง	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ แสงผ่อง	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา กิตติเลิศไพศาล	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัณฑนา ทองสุพล มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา ชุมพล มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไทยทัศน์ สุดสวนสี มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรพจน์ สมมูล มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยณัฐ โตอ่อน มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ทีมจัดการบทความและรูปแบบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี อนุชา ศรีบุรัมย์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
นางสาวนภัทรธิดา พรมดีราช 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 มหาวิทยาลัยกาสินธุ์
62/1 ถนนเกษตรสมบูรณ์ ต.กาฬสินธุ์ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ 46000
บรรณาธิการ
ดร.สรายุทธ ฐิตะภาส
โทร: 088-574-2199
Email: jeit@ksu.ac.th
ISSN 2985-0274 (Print)
ISSN 2985-0282 (Online)

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 เดือนมีนาคม – เดือนเมษายน 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 หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านทุกท่านคงได้รับประโยชน์จากผลงานทางวิชาการในวารสารฉบับนี้

ดร.สรายุทธ ฐิตะภาส
บรรณาธิการ

สารบัญ (Content)

หน้า

กองบรรณาธิการ II

บทบรรณาธิการ IV

บทความวิจัย

ถังขยะอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ 1-15
วดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล

ผลกระทบของความพรุนตาข่ายสแตนเลสต่อการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลม 16-29
นพรัตน์ อมัติรัตน์ วันชัย อินทปัต ธวัชชัย จารุวงศ์วิทยา และ นิวัฒน์ เกตุชาติ

ศึกษาความเหมาะสมของอุณหภูมิจากฮีตเตอร์เพื่อใช้กับเครื่องกวนมะม่วงแบบกึ่งอัตโนมัติ 30-40
อนุวัช แสนพงษ์ ภัคคิป ไกรโสดา เสาวนีย์ จันทร์สว่าง ศิวณุ เหล่าบุตรสา และ ไฉไล ซาเสน

การประเมินความสามารถในการเดินและศักยภาพของการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทรเพื่อพัฒนาสภาพแวดล้อมเมือง 41-55
วิศรุต ช่วยจันทร์ สุวัฒนา นิคม เอกลักษณ์ กาญจนเพ็ญ ประภัสสร กุลทอง ทิฆัมพร เขมวงศ์ และ ปรเมษฐ หอมหวล

การพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนครกรุงเทพมหานคร 56-71
อนุมาศ แสงสว่าง ศราวุธ แดงมาก และ วิรัลพัชร อสัมภินพงศ์

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2568
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 3 No. 2 March – April 2025

บทความวิจัย (Research Article)

ถังขยะอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

วดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล[1,*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการสื่อสารและสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

* ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: wadeenat.w@lawasri.tru.ac.th โทรศัพท์: 090-5640990
(รับบทความ: 18 กุมภาพันธ์ 2568; แก้ไขบทความ: 14 มีนาคม 2568; ตอบรับบทความ: 21 มีนาคม 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาถังขยะอัตโนมัติ ที่สามารถคัดแยกขยะโดยใช้ระบบอัตโนมัติและเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะ ระบบใช้ ESP32-CAM เป็นอุปกรณ์หลักในการจับภาพขยะและส่งข้อมูลไปยังโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน บนแพลตฟอร์ม Teachable Machine โมเดลนี้สามารถจำแนกขยะออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะทั่วไป ขยะอันตราย ขยะอินทรีย์ และขยะรีไซเคิล เมื่อทำการจำแนกแล้ว ESP32-CAM จะส่งผลลัพธ์ไปยัง Arduino Uno R3 เพื่อควบคุมกลไกการแยกขยะโดยใช้มอเตอร์และเซอร์โวมอเตอร์ พร้อมทั้งมีการติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรด เพื่อตรวจสอบสถานะของถังขยะและแจ้งเตือนเมื่อถังขยะเต็ม การประเมินประสิทธิภาพของระบบดำเนินการโดยการทดสอบจำแนกขยะ คลาสละ 50 ชิ้น และวัดผลใน 4 เงื่อนไข ได้แก่ (1) ความแม่นยำของการจำแนกประเภทขยะ (2) ความถูกต้องในการเคลื่อนที่ของกล่องรับขยะ (3) ความสามารถในการหยุดทำงานเมื่อถังขยะเต็ม และ (4) การแจ้งเตือนผ่าน LED ผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถจำแนกขยะได้อย่างแม่นยำสูงสุดที่ร้อยละ 99.56 สำหรับขยะอินทรีย์ เนื่องจากมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างชัดเจน ในขณะที่ขยะทั่วไปมีความแม่นยำต่ำสุดที่ร้อยละ 96.00 เนื่องจากความคล้ายคลึงกับขยะรีไซเคิลบางประเภท นอกจากนี้ระบบสามารถเคลื่อนที่กล่องรับขยะไปยังถังขยะที่ถูกต้องได้แม่นยำ มากกว่าร้อยละ 90 ในทุกคลาส และมีความแม่นยำสูงสุดร้อยละ 100 ในคลาสขยะอันตราย ระบบยังคงทำงานได้อย่างเสถียรในการแจ้งเตือนเมื่อถังขยะเต็มโดยใช้เซ็นเซอร์อินฟราเรด ผลการทดสอบโดยรวมแสดงให้เห็นว่าระบบถังขยะอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยลดข้อผิดพลาดในการคัดแยกขยะและปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการขยะได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: ถังขยะอัตโนมัติ ปัญญาประดิษฐ์ Teachable Machine, ESP32-CAM, Arduino Uno R3

การอ้างอิงบทความ: วดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล, "ถังขยะอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, หน้า 1-15, 2568.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2568
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 3 No. 2 March – April 2025

บทความวิจัย (Research Article)

Automatic Trash Can with Artificial Intelligence Technology

Wadeenat Wannasawaskul[1,*]

[1] Department of Communication and Information Engineering, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

* Corresponding Author: wadeenat.w@lawasri.tru.ac.th, Tel: 090-5640990

(Received: February 18, 2025; Revised: March 14, 2025; Accepted: March 21, 2025)

Abstract

This research aims to develop an automated waste bin capable of waste classification using automation and artificial intelligence (AI) technology to enhance waste management efficiency. The system employs an ESP32-CAM as the primary device to capture waste images and transmit data to an AI model developed using a convolutional neural network (CNN) on the Teachable Machine platform. This model classifies waste into four categories: general waste, hazardous waste, organic waste, and recyclable waste. Upon classification, the ESP32-CAM transmits the results to an Arduino Uno R3, which controls the waste sorting mechanism using motors and servo motors. Additionally, an infrared (IR) sensor is installed to monitor the waste bin's status and trigger an alert when the bin is full. The system's performance was evaluated by classifying 50 waste samples per category and assessing four key criteria: (1) classification accuracy, (2) accuracy of the waste container movement, (3) ability to halt operation when the waste bin is full, and (4) LED notification functionality. Experimental results showed that the system achieved a maximum classification accuracy of 99.56% for organic waste due to its distinct characteristics, while general waste had the lowest accuracy of 96.00% due to similarities with certain recyclable waste types. Furthermore, the system demonstrated an accuracy of over 90% in directing the waste container to the correct bin across all categories, with a 100% accuracy in the hazardous waste category. The system also consistently performed stably in alerting when the waste bin was full using the infrared sensor. Overall, the test results indicate that the developed automated waste bin system effectively reduces waste classification errors and significantly improves waste management efficiency.

Keywords: Waste Bin, Artificial Intelligence, Teachable Machine, ESP32-CAM, Arduino Uno R3

Please cite this article as: W. Wannasawaskul, “Automatic Trash Can with Artificial Intelligence Technology,” *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 2, pp. 1-15, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ปัญหาการจัดการขยะ เป็นความท้าทายสำคัญของสังคม โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีอัตราการบริโภคสูง ส่งผลให้ปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การคัดแยกขยะที่ไม่ถูกต้องเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ ขยะที่ควรรีไซเคิลไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และเพิ่มภาระในการกำจัด ส่งผลกระทบทั้งด้านสิ่งแวดล้อม ต้นทุนการจัดการขยะ และสุขภาพของประชาชน ปัญหาหลักได้แก่ ปริมาณขยะที่เกินขีดความสามารถในการกำจัด ทำให้เกิดการสะสมของขยะในพื้นที่สาธารณะ ส่งผลต่อสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม การปะปนของขยะประเภทต่าง ๆ โดยเฉพาะขยะรีไซเคิลที่ปะปนกับขยะทั่วไปหรือขยะอันตราย ทำให้การรีไซเคิลไม่มีประสิทธิภาพ ภาระด้านต้นทุนในการจัดการขยะทั้งในกระบวนการคัดแยก ขนส่ง และกำจัด เช่น การฝังกลบและการเผาขยะที่เพิ่มมลพิษ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพ เช่น การรั่วไหลของสารพิษจากขยะอันตราย มลภาวะจากการเผาขยะ การปนเปื้อนของแหล่งน้ำ และดินจากขยะที่ไม่ได้รับการคัดแยกอย่างถูกต้อง

การนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และระบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยในการคัดแยกขยะจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการแก้ไขปัญหานี้ โดยช่วยลดภาระการคัดแยกขยะด้วยแรงงานคน เพิ่มความแม่นยำในการจำแนกประเภทขยะ และเพิ่มอัตราการนำขยะกลับมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ มีงานวิจัยหลายฉบับที่ได้ศึกษาการใช้ AI ในการคัดแยกขยะ เช่น Olawade et al. [1] ระบุว่า AI สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจัดการขยะผ่านการบูรณาการกับ Internet of Things (IoT) พร้อมทั้งเน้นย้ำถึงประเด็นด้านคุณภาพข้อมูล ความเป็นส่วนตัว และความคุ้มค่า Fahmi & Lubis [2] ได้พัฒนาโมเดล Convolutional Neural Network (CNN) บน TensorFlow เพื่อจำแนกขยะประเภทอินทรีย์และอนินทรีย์ มีความแม่นยำสูงสุดถึงร้อยละ 99 ในขณะที่ Fang et al. [3] ได้ศึกษาการใช้ AI ในการบริหารจัดการขยะในเมืองอัจฉริยะ พบว่าสามารถลดระยะทางการขนส่งขยะได้ถึงร้อยละ 36.8 และลดต้นทุนได้มากถึงร้อยละ 13.35 ในขณะที่ Son & Ahn [4] ได้เปรียบเทียบโมเดล Mask R-CNN และ YOLO v8 ในการคัดแยกขยะพลาสติก โดยพบว่า Mask R-CNN มีความแม่นยำ 0.912 เหมาะกับงานที่ต้องการการแบ่งส่วนภาพที่ละเอียด ส่วน YOLO v8 มีความแม่นยำ 0.867 แต่สามารถทำงานแบบเรียลไทม์ได้ดีขึ้น Zubair et al. [5] ได้เสนอระบบคัดแยกขยะอัจฉริยะที่รวม AI กับการประมวลผลภาพและกลไกทางกลเพื่อลดปัญหาขยะที่ต้นทาง งานวิจัยเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของ AI ในการปรับปรุงกระบวนการจัดการขยะให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืนมากขึ้น

ชุติธารรัฐ อุตมะสิริเสนี และคณะ[6] ได้พัฒนาต้นแบบระบบถังขยะไอโอทีและระบบจัดเก็บข้อมูลการทิ้งขยะแบบออนไลน์ แสดงผลแบบ Dashboard ผ่าน Cloud Server สามารถเข้าถึงข้อมูลได้แบบ Real Time ธนโชติ ภาชะนัย และคณะ [7] ใช้การจำแนกขยะด้วยโมเดลของ YOLOv5 สามารถคัดแยกขยะได้ถูกต้องร้อยละ 98.33 ธานิล ม่วงพูล และวริยา เย็นเปิง [8] ได้ทำการพัฒนาระบบคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีไอโอที วดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล [9] พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการคัดแยกขยะโดยใช้

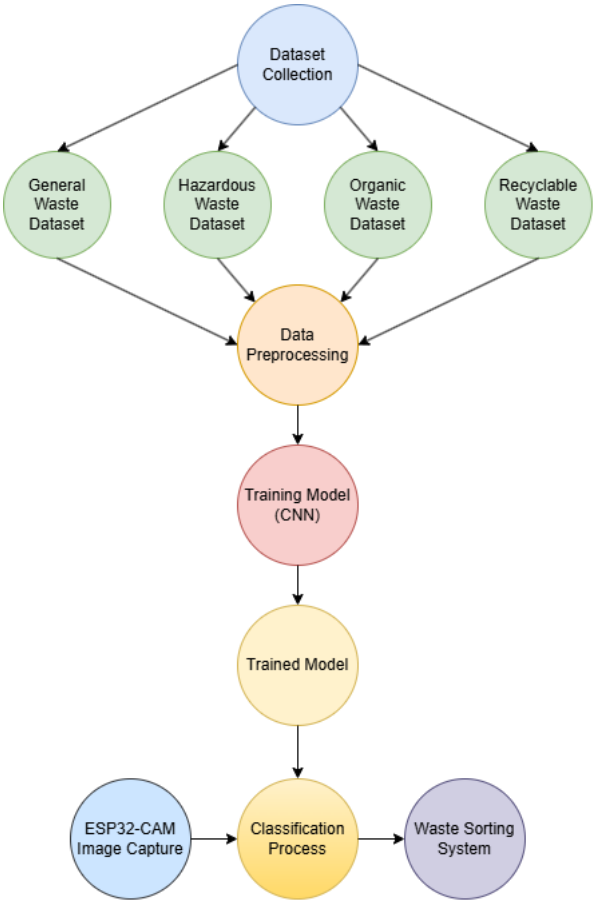
บทความวิจัย (Research Article)

Teachable Machine ซึ่งให้ผลความแม่นยำร้อยละ 85.33 นอกจากนี้ บริษัท Recycleye [10] ยังได้พัฒนา AI ที่สามารถจำแนกขยะโดยใช้การวิเคราะห์ภาพกว่า 3 ล้านภาพ และมีความเร็วประมวลผลถึง 60 เฟรมต่อวินาที งานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ AI ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการคัดแยกขยะ ลดข้อผิดพลาด และเพิ่มโอกาสในการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาถังขยะอัตโนมัติที่ใช้ระบบ AI และระบบอัตโนมัติ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกขยะโดยการนำ ESP32-CAM มาจับภาพขยะและส่งไปยัง โมเดล AI บนแพลตฟอร์ม Teachable Machine เพื่อจำแนกประเภทขยะออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะทั่วไป ขยะอันตราย ขยะอินทรีย์ และขยะรีไซเคิล จากนั้น ESP32-CAM จะส่งข้อมูลประเภทขยะไปยัง Arduino Uno R3 เพื่อควบคุมกลไกการคัดแยกขยะให้ขยะแต่ละประเภทตกลงไปยังถังที่ถูกต้อง ระบบยังใช้เซ็นเซอร์อินฟราเรด เพื่อตรวจสอบสถานะของถังขยะ เช่น ตรวจจับระดับความจุของขยะและแจ้งเตือนเมื่อถังขยะเต็ม

2. ระบบจำแนกขยะอัตโนมัติด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

ระบบจำแนกขยะอัตโนมัติ เริ่มจาก การเก็บรวบรวมชุดข้อมูล (Dataset Collection) โดยแบ่งขยะออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ขยะทั่วไป (GW) ขยะอันตราย (HW) ขยะอินทรีย์ (OW) และขยะรีไซเคิล (RW) ภาพขยะแต่ละประเภทจะถูกนำเข้าสู่การเตรียมข้อมูล (Data Preprocessing) ซึ่งรวมถึงการปรับขนาดภาพ การเพิ่มข้อมูลเทียม (Data Augmentation) และการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Framework ของระบบ

จากนั้นข้อมูลจะถูกใช้ในการฝึกโมเดล (Model Training) ด้วย โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) บน Teachable Machine เมื่อฝึกเสร็จสิ้น โมเดลที่ได้จะถูกบันทึกเป็น Trained Model เพื่อเตรียมใช้งานจริง ในขั้นตอนการทำงาน ESP32-CAM จะจับภาพขยะ (ESP32-CAM Capture) และส่งภาพ

บทความวิจัย (Research Article)

ไปยังโมเดล เพื่อทำการจำแนกประเภทขยะ (Classification Process) เมื่อได้รับผลลัพธ์ ระบบจะส่งคำสั่งไปยังระบบแยกขยะ (Waste Sorting System) เพื่อควบคุมกลไกอัตโนมัติ Framework ของระบบ

2.1 การเก็บรวบรวมชุดข้อมูล

รวบรวมภาพขยะทั้งหมดจำนวน 9,561 ภาพ ทำการปรับขนาดภาพให้เป็นขนาด 224x224 พิกเซล แบ่งออกเป็น Training Set (80%) เพื่อใช้ในกระบวนการฝึก และ Test Set (20%) สำหรับทดสอบโมเดล ชุดข้อมูลที่ใช้นำมาจากฐานข้อมูล Kaggle.com ในหมวด Garbage Classification โดยทำการแบ่งออกเป็น 9 คลาส ชุดข้อมูลนี้ใช้สำหรับฝึกอบรมและประเมินโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับการจำแนกขยะ รายละเอียดของชุดข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของชุดข้อมูล

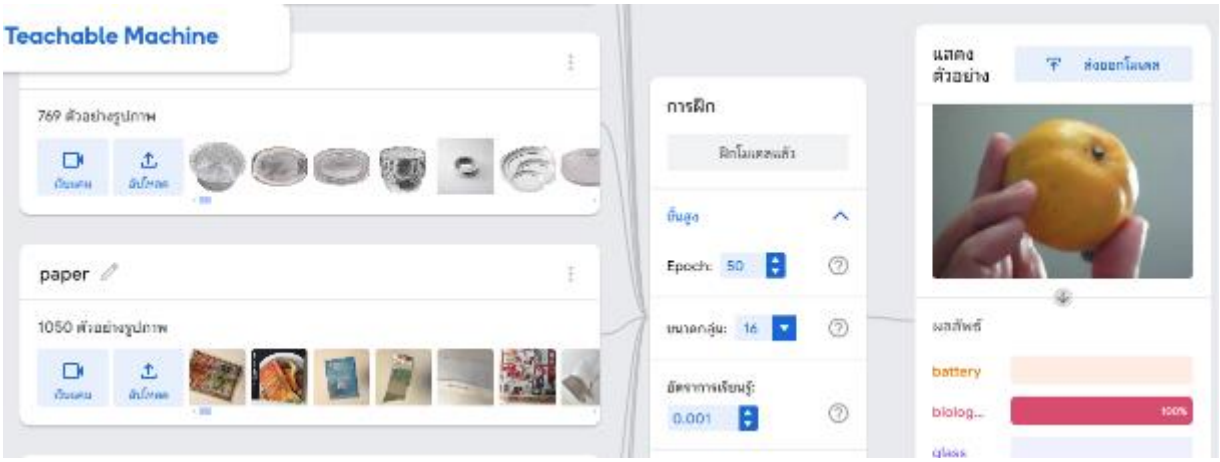
ลำดับที่	ชื่อคลาส	คำอธิบาย	จำนวนภาพ	Training Set	Test Set
1	Battery	แบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย (AA, AAA, C, D, PP3)	945	756	189
2	Biological	เศษอาหาร ผลไม้	985	788	197
3	Glass	ขวดแก้ว จานแก้ว	1382	1,106	276
4	Cardboard	กล่องกระดาษแข็ง กระดาษแข็ง	891	713	178
5	Metal	กระป๋องอลูมิเนียม ภาชนะฟอยล์	769	615	154
6	Paper	กระดาษ นิตยสาร หนังสือพิมพ์	1050	840	210
7	Plastic	ขวดพลาสติก ภาชนะพลาสติก พลาสติก ถ้วย	865	692	173
8	Trash	ผ้าอ้อม ผ้าอนามัย หน้ากากอนามัย	697	558	139
9	Shoes	รองเท้า	1977	1,582	395

2.2 การพัฒนาและฝึกสอนโมเดล AI

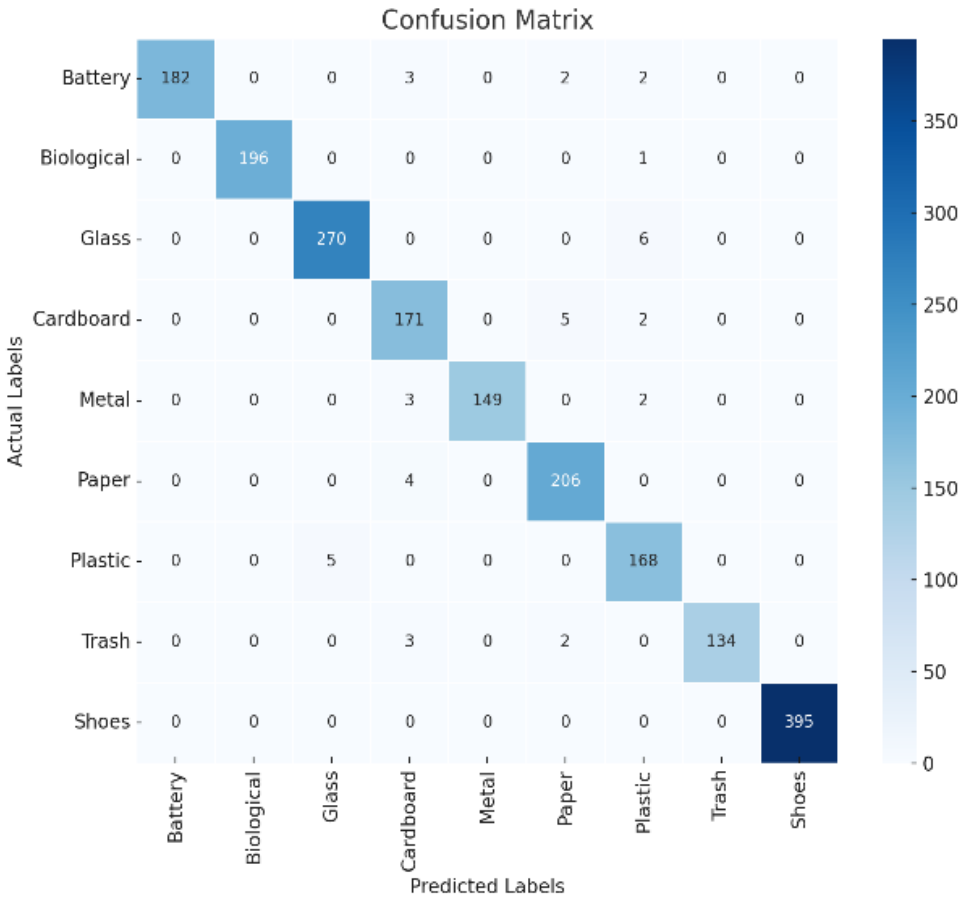
โมเดลถูกฝึกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) บนแพลตฟอร์ม Teachable Machine โดยมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญเพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้ (1) จำนวนรอบการฝึก (Epochs) = 50 กำหนดให้โมเดลเรียนรู้ข้อมูลซ้ำ 50 รอบ ซึ่งเพียงพอสำหรับการเรียนรู้โดยไม่ทำให้เกิดปัญหา Overfitting (การจดจำข้อมูลมากเกินไปจนทำให้ประสิทธิภาพลดลงเมื่อนำไปใช้งานจริง) (2) ขนาดแบตช์ (Batch Size) = 16 ในแต่ละรอบของการอัปเดตพารามิเตอร์ โมเดลจะเรียนรู้จากชุดข้อมูลย่อยที่มีขนาด 16 ภาพ ซึ่งช่วยลดภาระหน่วยความจำและทำให้กระบวนการฝึกมีประสิทธิภาพมากขึ้น

(3) อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) = 0.01 ค่านี้กำหนดอัตราการปรับค่าของโมเดลในแต่ละรอบการฝึก ถ้าสูงเกินไปโมเดลอาจไม่สามารถลดค่า Loss ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าต่ำเกินไปอาจทำให้การเรียนรู้ช้าเกินไป ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ถูกปรับให้เหมาะสมกับระบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและสามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 2 การฝึกโมเดล AI



รูปที่ 3 ผลการทำ Confusion Matrix

บทความวิจัย (Research Article)

2.3 การทดสอบและปรับปรุงโมเดล

หลังจากฝึกโมเดลเสร็จสิ้น ได้ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลใหม่ที่ไม่เคยใช้ในการฝึก เพื่อวิเคราะห์ผลการจำแนกขยะโดยใช้ Confusion Matrix ดังรูปที่ 3 ผลการทำนายพบว่า คลาส Shoes มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยไม่มีข้อผิดพลาด เนื่องจากมีจำนวนภาพฝึกมากที่สุด (395 ตัวอย่าง) และมีลักษณะที่แตกต่างจากขยะประเภทอื่นในขณะที่คลาส Cardboard มีข้อผิดพลาดสูงสุด (7 ตัวอย่างจาก 171 ตัวอย่าง)

จำนวนตัวอย่างที่แตกต่างกันในแต่ละคลาส เช่น Metal (154 ตัวอย่าง) และ Trash (139 ตัวอย่าง) ทำให้ข้อมูลมีความไม่สมดุล (Imbalanced Data) ซึ่งการใช้ Average Precision Score หรือ Precision-Recall Curve อาจเป็นวิธีที่ดีกว่าในการประเมินโมเดล อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาถังขยะอัตโนมัติ จึงใช้ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score เป็นเกณฑ์วัดประสิทธิภาพของโมเดล ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวัดประสิทธิภาพของโมเดล

คลาส	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
1	99.63	100.00	96.30	98.11
2	99.95	100.00	99.49	99.75
3	99.42	98.18	97.83	98.00
4	98.95	92.93	96.07	94.48
5	99.74	100.00	96.75	98.35
6	99.32	95.81	98.10	96.94
7	99.06	92.82	97.11	94.92
8	99.74	100.00	96.40	98.17
9	100.00	100.00	100.00	100.00

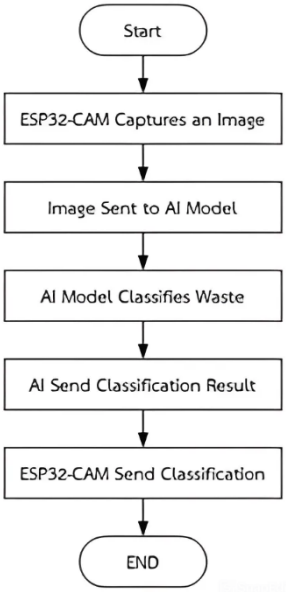
ผลจากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าระบบมีความแม่นยำสูงในทุกคลาส โดยคลาส Shoes ทำงานได้ดีที่สุดด้วย Accuracy, Precision, Recall และ F1-Score ที่ 100% เต็ม แสดงถึงการจำแนกที่สมบูรณ์แบบ ไม่มีข้อผิดพลาด ส่วนคลาส Biological, Metal และ Trash มี Accuracy สูงกว่า 99.7% และมี Precision และ Recall ใกล้เคียง 100% แสดงถึงการทำงานที่เสถียรและแม่นยำมาก คลาส Cardboard และ Plastic มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในด้าน Precision ที่ 92.93% และ 92.82% ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนถึงข้อผิดพลาดในเชิงบวกที่มากกว่าคลาสอื่น อย่างไรก็ตาม Recall ของทุกคลาสยังคงสูงกว่า 96% บ่งชี้ว่าระบบสามารถตรวจจับตัวอย่างในคลาสต่างๆ ได้ดีโดยรวม ในภาพรวมระบบมีประสิทธิภาพสูงด้วย Accuracy เฉลี่ยใกล้ 99%

3. ถังขยะอัตโนมัติ

3.1 ฝังโมเดล AI ลงใน ESP32-CAM

หลังจากการฝึกฝนเสร็จสิ้น โมเดลจะถูกส่งออกในรูปแบบ TensorFlow Lite (.tflite) สำหรับการใช้งานในอุปกรณ์ IoT และ TensorFlow.js สำหรับการใช้งานในเว็บเบราว์เซอร์ จากนั้นเขียนโปรแกรมฝังโมเดล AI บน ESP32-CAM เพื่อควบคุมการจับภาพและประมวลผลภาพ และสร้างระบบที่เชื่อมต่อ ESP32-CAM กับเซิร์ฟเวอร์เพื่ออัปเดตโมเดลหรือบันทึกข้อมูลผลการจำแนก และพัฒนาโปรแกรมให้ ESP32-CAM สามารถสื่อสารกับ Arduino Uno R3 เพื่อควบคุมกลไกการคัดแยกขยะ แสดงแผนภาพดังรูปที่ 4

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 4 แผนภาพการทำงานของ ESP32-CAM

3.2 ระบบควบคุมถังขยะอัตโนมัติ

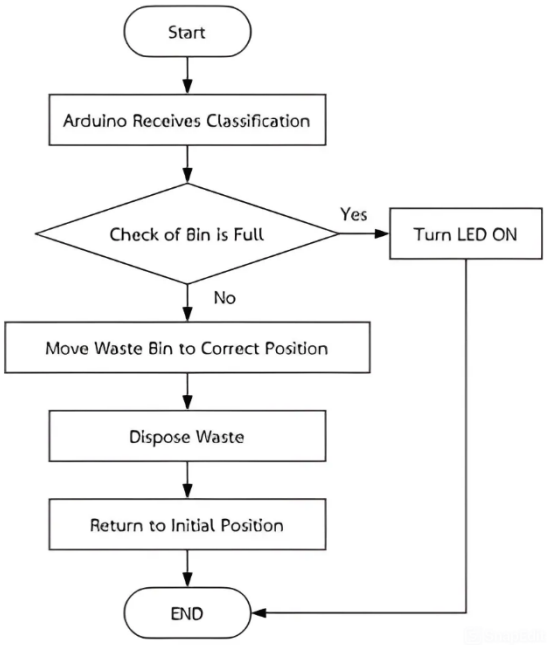
การทำงานของถังขยะอัตโนมัติหลังจากรับค่าการจำแนกประเภทขยะ 4 ประเภท (การแยกคลาสเป็น 4 ประเภท ดังตารางที่ 3) จาก ESP32-CAM มายัง Arduino Uno R3 ระบบเริ่มทำการตรวจสอบปริมาณขยะในถังขยะทั้ง 4 ประเภทก่อนที่กล่องรับขยะจะเคลื่อนที่ไปทิ้งขยะยังถังที่สอดคล้องกับขยะที่จำแนก และทำการหมุนถาดรับขยะเพื่อทิ้งขยะและเคลื่อนที่กลับมายังจุดรับขยะ ในกรณีที่ถังขยะที่ต้องการทิ้งเต็มระบบจะแจ้งเตือนด้วยไฟ LED เพื่อให้ผู้ใช้งานนำขยะออกหรือเปลี่ยนขยะประเภทอื่นแทน แผนภาพการทำงานแสดงดังรูปที่ 5

ตารางที่ 3 จำแนกประเภทขยะ 4 ประเภท

ประเภทขยะ	คลาส
ขยะทั่วไป (General Waste: GW)	Cardboard
	Paper
	Shoes

ตารางที่ 3 จำแนกประเภทขยะ 4 ประเภท (ต่อ)

ประเภทขยะ	คลาส
ขยะอันตราย (Hazardous Waste: HW)	Battery
	Trash
ขยะอินทรีย์ (Organic Waste: OW)	Biological
ขยะรีไซเคิล (Recyclable Waste: RW)	Glass
	Metal
	Plastic



รูปที่ 5 แผนภาพการทำงานของถังขยะอัตโนมัติ

ระบบถังขยะอัตโนมัติ ใช้ ESP32-CAM และ Arduino Uno R3 เป็นแกนหลักในการทำงาน โดยระบบสามารถตรวจจับและจำแนกขยะด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่ฝึกด้วย Teachable Machine เพื่อแยกประเภทขยะเป็น ขยะทั่วไป ขยะอันตราย ขยะอินทรีย์ และขยะรีไซเคิล กระบวนการทำงานเริ่ม

บทความวิจัย (Research Article)

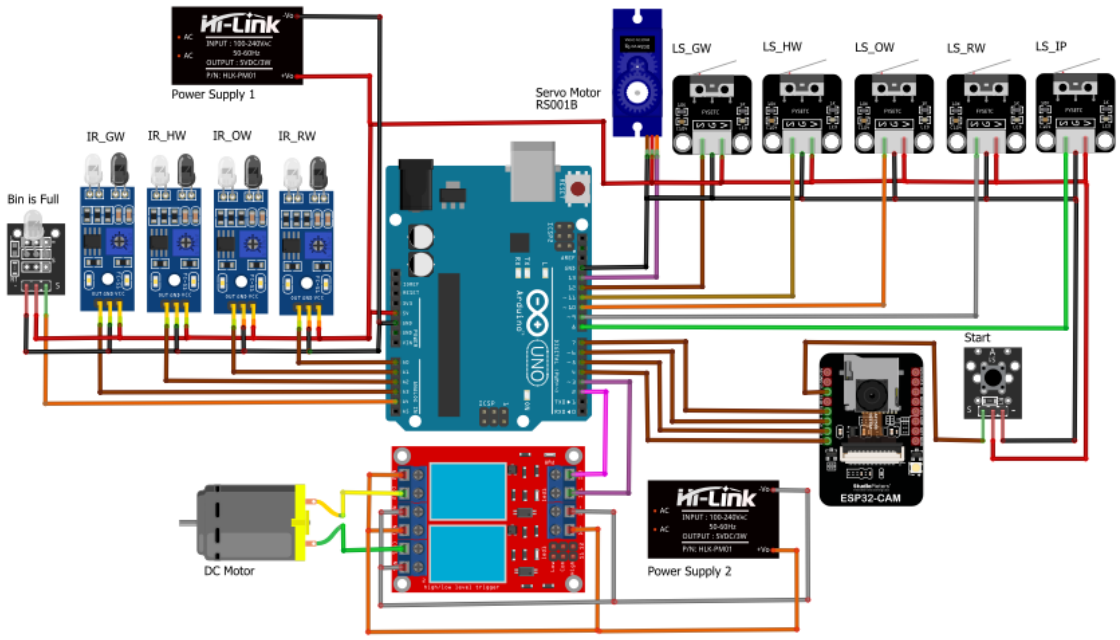
จาก ESP32-CAM ซึ่งใช้กล้อง OV2640 จับภาพขยะและส่งไปยังโมเดล AI เพื่อจำแนกประเภท โดยตั้งค่าความละเอียดที่ 320x240 (QVGA) หรือ 640x480 (VGA) เพื่อให้ได้สมดุลระหว่างความเร็วในการประมวลผลและคุณภาพของภาพ หลังจากการจำแนกขยะสำเร็จ ESP32-CAM จะส่งผลลัพธ์ไปยัง Arduino Uno R3 เพื่อควบคุมการทำงานของถังขยะอัตโนมัติและจัดการขยะให้ลงถังที่ถูกต้อง ตัวแปรและรายละเอียดอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 4 วงจรของระบบแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 4 ตัวแปรและรายละเอียดของอุปกรณ์

ตัวแปร	คำอธิบายความหมาย
Start	ปุ่มเริ่มทำงาน
IR_GW	เซ็นเซอร์ตรวจจับถังขยะทั่วไปเต็ม
IR_HW	เซ็นเซอร์ตรวจจับถังขยะอันตรายเต็ม
IR_OW	เซ็นเซอร์ตรวจจับถังขยะอินทรีย์เต็ม

ตารางที่ 4 ตัวแปรและรายละเอียดของอุปกรณ์ (ต่อ)

ตัวแปร	คำอธิบายความหมาย
IR_RW	เซ็นเซอร์ตรวจจับถังขยะรีไซเคิลเต็ม
Bin is Full	แจ้งเตือนถังขยะเต็ม
LS_GW	ตำแหน่งถังขยะทั่วไป
LS_HW	ตำแหน่งถังขยะอันตราย
LS_OW	ตำแหน่งถังขยะอินทรีย์
LS_RW	ตำแหน่งถังขยะรีไซเคิล
LS_IP	ตำแหน่งเริ่มต้น
CW	การเคลื่อนที่ของกล่องรับขยะตามเข็มนาฬิกา
CCW	การเคลื่อนที่ของกล่องรับขยะทวนเข็มนาฬิกา
Servo	ปล่อยขยะลงในถัง
Power Supply 1	แหล่งจ่ายพลังงานให้แก่ระบบหลัก
Power Supply 2	แหล่งจ่ายพลังงานให้แก่ Relay Module และ DC Motor



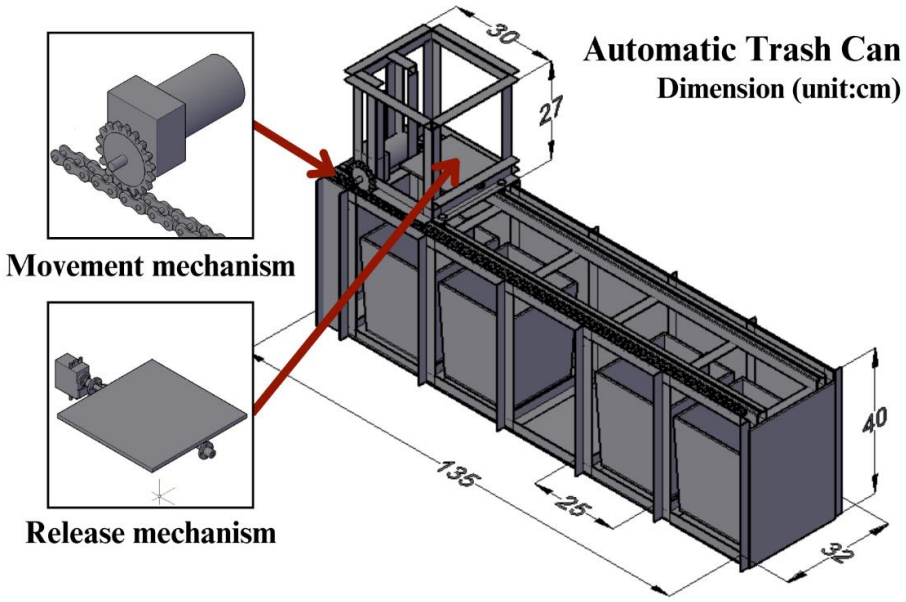
รูปที่ 6 วงจรของระบบถังขยะอัตโนมัติ

บทความวิจัย (Research Article)

จากรูปที่ 6 แสดงการออกแบบระบบควบคุมของระบบถังขยะอัตโนมัติโดยใช้ Arduino Uno R3 ควบคุมการทำงานของระบบโดยรับข้อมูลจาก Infrared Sensors (IR Sensor) 4 ตัว ที่ใช้ตรวจสอบว่าสถานะของถังขยะแต่ละประเภทเต็มหรือไม่ (IR_GW, IR_HW, IR_OW และ IR_RW) หากพบว่าถังขยะเต็ม LED จะติดขึ้นเพื่อแจ้งเตือน และระบบจะหยุดทำงานจนกว่าผู้ใช้งานจะนำขยะออกจากถัง นอกจากนี้ ระบบยังมี Limit Switch 5 ตัว ได้แก่ LS_GW, LS_HW, LS_OW, LS_RW และ LS_IP ซึ่งทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งของกล่องรับขยะและควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบสำหรับกำหนดตำแหน่งของถังขยะในแต่ละประเภท

การเคลื่อนที่ของกล่องรับขยะถูกควบคุมโดย DC Motor ที่สามารถหมุนได้ทั้งตามเข็มนาฬิกา (CW) และทวนเข็มนาฬิกา (CCW) โดยใช้ Relay Module 2 ช่อง ซึ่งมี Opto-Isolation เพื่อลดสัญญาณรบกวนและป้องกันแรงดันย้อนกลับจากมอเตอร์ที่อาจส่งผลกระทบต่อ Arduino Uno R3 เมื่อกล่องรับขยะเคลื่อนที่ไปถึงถังขยะที่ถูกต้อง Servo Motor จะหมุนเพื่อปล่อยขยะลงในถัง และจากนั้นกล่องรับขยะจะกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้น (LS_IP) เพื่อรอการทำงานรอบถัดไป

ระบบใช้ Power Supply 2 ในการให้พลังงานแก่ Relay Module ที่มี Opto-Isolation ซึ่งช่วยแยกระบบควบคุมแรงดันต่ำ (Low Voltage) ของ Arduino Uno R3 ออกจากระบบควบคุมมอเตอร์ที่ใช้แรงดันสูงกว่า (High Voltage) สิ่งนี้ช่วยเพิ่มความปลอดภัยและลดความเสี่ยงของการรบกวนทางไฟฟ้า นอกจากนี้ Power Supply 1 จะถูกใช้สำหรับ ESP32-CAM และ Arduino Uno R3 เพื่อให้แน่ใจว่าแรงดันไฟฟ้าคงที่และเพียงพอสำหรับการประมวลผลข้อมูลและการสื่อสารกับ AI โครงสร้างของถังขยะอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 โครงสร้างของถังขยะอัตโนมัติ

บทความวิจัย (Research Article)

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

หลังจากการสร้างระบบถังขยะอัตโนมัติเสร็จสิ้นแล้ว ได้ทำการนำขยะทั้ง 9 คลาส ๆ ละ 50 ชิ้น มาทำการทดลองแยกขยะ 4 ประเภท ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการจำแนกขยะ

คลาส	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
GW	96.00	92.86	95.33	94.08
HW	98.67	97.96	96.00	96.97
OW	99.56	100.00	96.00	97.96
RW	97.78	96.67	96.67	96.67

ผลการทดสอบการจำแนกขยะจากตารางที่ 5 พบว่าระบบมีความแม่นยำในการจำแนกประเภทของขยะในระดับที่น่าพอใจ โดย OW มีค่า Accuracy สูงสุดอยู่ที่ 99.56% เนื่องจากตัวอย่างของขยะที่นำมาทดสอบมีรูปทรงที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ส่วน GW ค่า Accuracy ต่ำสุดอยู่ที่ 96.00% เนื่องจากขยะที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมถูกมองเป็นกระดาษซึ่งอยู่ในประเภท GW ระบบจำแนกขยะ OW ได้แม่นยำที่สุด (Precision 100.00%)

การทดสอบระบบถังขยะอัตโนมัติถูกออกแบบให้ตรวจสอบ 4 คลาสของขยะ ได้แก่ GW, HW, OW และ RW โดยสุ่มขยะแต่ละคลาสมาทดสอบคลาสละ 50 ชิ้น การทดสอบประกอบด้วยการประเมิน 4 เงื่อนไขหลัก ได้แก่ (1) ความถูกต้องในการเลื่อนกล่องรับขยะไปยังตำแหน่งถังขยะและกลับมาจุดเริ่มต้น (2) ความถูกต้องในการปล่อยขยะลงถัง (3) ความสามารถของระบบในการหยุดทำงานเมื่อถังขยะเต็ม 10 ครั้ง และ (4) การแจ้งเตือนผ่าน LED เมื่อถังขยะเต็ม ผลการทดสอบแต่ละเงื่อนไขจะถูกบันทึกและคำนวณความแม่นยำในรูปแบบเปอร์เซ็นต์สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของระบบในแต่ละคลาส ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการทำงานของถังขยะ

คลาส	ความถูกต้อง (%)			
	ตำแหน่งถังขยะ	ปล่อยขยะ	สถานะถังขยะเต็ม	LED แจ้งเตือน
GW	92.00	98.00	80.00	100.00
HW	98.00	100.00	100.00	100.00
OW	100.00	98.00	100.00	100.00
RW	90.00	96.00	90.00	90.00

ผลการทดสอบพบว่า กระบวนการคัดแยกขยะใช้เวลาเฉลี่ย 3.5 วินาทีต่อชิ้น และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพความถูกต้องรายคลาส พบว่า คลาส HW มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีความแม่นยำในการเลื่อนกล่องรับขยะไปยังตำแหน่งและการปล่อยขยะ 100% และระบบทำงานถูกต้องเมื่อถังขยะเต็มทุกครั้ง สำหรับคลาส GW และ OW ความแม่นยำยังค่อนข้างสูง แต่พบปัญหาในกรณีที่ถังขยะเต็ม ระบบยังคงทำงานในบางครั้ง (GW: 20%, OW: 0%) อย่างไรก็ตาม LED แจ้งเตือนถูกต้องทุกครั้ง สำหรับคลาส RW พบปัญหาในการเลื่อนตำแหน่ง (ความแม่นยำ 90%) และการแจ้งเตือนผ่าน LED มีข้อผิดพลาด 1 ครั้ง เนื่องจากสายไฟหลวม (ความแม่นยำ 90%) โดยรวมระบบมีความแม่นยำในแต่ละเงื่อนไขสูงกว่า 90% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีสำหรับการใช้งานจริง แต่ยังสามารถปรับปรุงในบางจุดเพื่อเพิ่มความเสถียรและ

บทความวิจัย (Research Article)

ความแม่นยำได้มากขึ้น การทดสอบการทำงาน แสดงดังรูปที่ 8 – 9

(ก) ผู้ใช้วางขยะลงบนถาดรับขยะและกดสวิตช์เพื่อเริ่มการทำงาน

(ข) ระบบจะเลื่อนกล่องรับขยะไปยังถังขยะที่ถูกต้องและทำการปล่อยขยะลงถังโดยอัตโนมัติ

รูปที่ 8 การทดสอบถังขยะอัตโนมัติ

(ก) ถังขยะ GW เต็ม ทำให้ ไฟ LED ของโมดูล IR ติดสว่าง ในขณะที่ถังขยะ HW ยังไม่เต็ม ทำให้ ไฟ LED ของโมดูล IR ดับ

(ข) AI จำแนกแก้วกระดาษเป็นขยะ GW แต่ถังขยะประเภทนี้เต็มแล้ว ระบบจะหยุดทำงาน และไฟ LED จะแจ้งเตือนเพื่อให้ผู้ใช้ทำการนำขยะออก

รูปที่ 9 การทดสอบถังขยะอัตโนมัติในกรณีถังขยะเต็ม

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบถังขยะอัตโนมัติที่สามารถตรวจจับและจำแนกประเภทขยะโดยใช้ ESP32-CAM และ Arduino Uno R3 ควบคู่กับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่พัฒนาโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) บนแพลตฟอร์ม Teachable Machine ระบบสามารถจำแนกขยะเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะทั่วไป (GW) ขยะอันตราย (HW) ขยะอินทรีย์ (OW) และขยะรีไซเคิล (RW) โดย ESP32-CAM จับภาพและส่งไปยังโมเดล AI เพื่อวิเคราะห์ประเภทขยะ จากนั้น Arduino Uno R3 ควบคุมกลไกแยกขยะอัตโนมัติ

การทดสอบระบบใช้ขยะประเภทละ 50 ชิ้น และประเมิน 4 เงื่อนไข ได้แก่ (1) ความแม่นยำในการ

บทความวิจัย (Research Article)

จำแนกขยะ (2) ความถูกต้องของการเลื่อนกล่องรับขยะ (3) การหยุดทำงานเมื่อถังขยะเต็ม และ (4) การแจ้งเตือนผ่าน LED ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถจำแนกขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่า Accuracy สูงกว่า 96% ในทุกประเภทของขยะ โดยขยะอินทรีย์ (OW) มี Accuracy สูงสุดที่ 99.56% เนื่องจากมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ขณะที่ขยะทั่วไป (GW) มี Accuracy ต่ำสุดที่ 96.00% เนื่องจากมีความคล้ายคลึงกับขยะรีไซเคิล เช่น กระดาษ สำหรับ Precision พบว่า ขยะอินทรีย์ (OW) มีค่าความแม่นยำสูงสุดถึง 100% ส่วนคลาส HW ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีความแม่นยำ 100% ในการเลื่อนกล่องรับขยะ การปล่อยขยะ และการหยุดทำงานเมื่อถังเต็ม เวลาที่ใช้ในกระบวนการแยกขยะอยู่ที่ 3 - 4 วินาทีต่อชิ้น อย่างไรก็ตาม พบข้อผิดพลาดบางประการในคลาส GW และ OW เมื่อถังขยะเต็ม โดย GW มีโอกาส 20% ที่ระบบยังทำงานต่อแม้ถังจะเต็ม ส่วน RW มีปัญหาเกี่ยวกับการเลื่อนตำแหน่ง (ความแม่นยำ 90%) และเกิดข้อผิดพลาดในการแจ้งเตือน LED 1 ครั้ง แม้ว่าระบบโดยรวมจะมีความแม่นยำสูงกว่า 90% แต่ยังสามารถปรับปรุงให้มีเสถียรภาพมากขึ้น

ระบบนี้ช่วยลดข้อผิดพลาดในการคัดแยกขยะของมนุษย์ และเพิ่มประสิทธิภาพการรีไซเคิล รวมถึงช่วยลดต้นทุนด้านแรงงานและเป็นต้นแบบสำหรับ Smart City อย่างไรก็ตาม ระบบยังมีข้อจำกัด เช่น ความผิดพลาดของเซ็นเซอร์ตรวจจับระดับขยะ และข้อจำกัดของ ESP32-CAM ในการประมวลผลภาพ การพัฒนาในอนาคตควรมุ่งเน้นไปที่ การใช้เซ็นเซอร์หลายตัวร่วมกัน การใช้ Deep Learning แทน Teachable Machine และการอัปเกรดฮาร์ดแวร์ เช่น Raspberry Pi เพื่อเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพการทำงาน แบบเรียลไทม์ พร้อมปรับปรุงกลไกแยกขยะให้มีเสถียรภาพมากขึ้นสำหรับการใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] F. Fahmi and B. P. Lubis, "Identification and sorting of waste using artificial intelligence based on convolutional neural network," in *Proceedings of the 2022 6th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, 2022, pp. 222–226. DOI: 10.1109/ELTICOM57747.2022.10038044.

[2] B. Fang, *et al*., "Artificial intelligence for waste management in smart cities: A review," *Environmental Chemistry Letters*, vol. 21, pp. 1959–1989, 2023. DOI: 10.1007/s10311-023-01604-3.

[3] D. B. Olawade, et al., "Smart waste management: A paradigm shift enabled by artificial intelligence," *Waste Management Bulletin*, vol. 2, no. 2, pp. 244–263, 2024. DOI: 10.1016/j.wmb.2024.05.001.

[4] J. Son and Y. Ahn, "AI-based plastic waste sorting method utilizing object detection models for enhanced

classification," *Waste Management*, vol. 193, pp. 273–282, 2025. DOI: 10.1016/j.wasman.2024.12.014.

[5] M. Zubair, et al., "Smart Waste Bin: Mechanical and AI Based Waste Segregation," in *Proceedings of the 2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*, 2022, pp. 63–66. DOI: 10.1109/ICAIS53314.2022.9742806.

[6] ณิชดนีย์ ธัญพรหิรัณย์ และ ชุติธารรัฐ อุตมะสิริเสนี, "การพัฒนาต้นแบบระบบถังขยะไอโอทีและระบบจัดเก็บข้อมูลการทิ้งขยะแบบออนไลน์ของนักเรียนในโรงเรียนระดับประถมศึกษา," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, หน้า 54–63, ม.ค.–มิ.ย. 2565.

[7] ธนโชติ ภาชะนัย และคณะ, "เครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ," *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, หน้า 242–253, พ.ค.–ส.ค. 2565.

[8] ธานิล ม่วงพูล และ วริยา เย็นเปิง, "การพัฒนาระบบคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีไอโอที," *วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 2, หน้า 7–16, ก.ค.–ธ.ค. 2563.

[9] วดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล, "การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแยกประเภทขยะด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์," *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*, ปีที่ 16, ฉบับที่ 23, หน้า 51–65, ม.ค.–มิ.ย. 2567.

[10] Recycleye, "Norse Environmental Waste Services invests in AI-powered robotic automation from Recycleye," [online]. Available: https://recycleye.com/news-buys-recycleye-qualibot/. [Accessed: 31 January 2025].

[11] D. Zhaojie, et al., "Garbage Classification System Based on AI and IoT," in *Proceedings of the 15th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, Delft, Netherlands, 2020, pp. 349–352.

[12] G. Yang, et al., "Garbage Classification System with YOLOV5 Based on Image Recognition," in *Proceedings of IEEE 6th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)*, Nanjing, China, 2021, pp. 11–18.

[13] G. Yu and B. Shao, "Garbage Classification and Detection Based on Improved YOLOv7 Network," in *Proceedings of International Conference on Pattern Recognition, Machine Vision and Intelligent Algorithms (PRMVIA)*, Beihai, China, 2023, pp. 103–107.

[14] S. Kunwar, "Garbage Classification," [online]. Available: https://www.kaggle.com/datasets/sumn2u/garbage-classification-v2/data?select=garbage-dataset. [Accessed: 25 January 2025].

[15] X. Yi, Y. Liang and H. Peng, "Garbage classification system based on artificial intelligence and Internet of Things," in *Proceedings of International Conference on Artificial Intelligence and Computer Information Technology (AICIT)*, Yichang, China, 2022, pp. 1–5. DOI: 10.1109/AICIT55386.2022.9930306.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2568
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 3 No. 2 March – April 2025

บทความวิจัย (Research Article)

ผลกระทบของความพรุนตาข่ายสแตนเลสต่อการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลม

นพรัตน์ อมัติรัตน์[1], วันชัย อินทปัต[1], ธวัชชัย จารุวงศ์วิทยา[1] และ นิวัฒน์ เกตุชาติ[1,*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

* ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: niwat.ke@rmuti.ac.th

(รับบทความ: 24 กุมภาพันธ์ 2568; แก้ไขบทความ: 26 มีนาคม 2568; ตอบรับบทความ: 28 มีนาคม 2568)

บทคัดย่อ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในภาคอุตสาหกรรม การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทั่วไปทำได้หลายวิธี การใช้วัสดุพรุนวางขวางการไหลภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วัสดุพรุนที่เหมาะสมต้องพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดและค่าความพรุนของวัสดุ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของค่าความพรุนต่อการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมโดยใช้วัสดุพรุนตาข่ายสแตนเลสเกรด SUS 304 ที่มีค่าความพรุน (Porosity, X) ได้แก่ 0.55, 0.62, 0.70 และ 0.77 สัดส่วนระยะพิตช์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (PR) เท่ากับ 2 และสัดส่วนความสูงแผ่นหยักต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (HR) เท่ากับ 0.40 โดยใช้อากาศเป็นของไหลด้วยความเร็วการไหลในรูปเลขเรย์โนลด์ (Re) ในช่วง 4,300-23,800 การศึกษากระทำภายใต้สภาวะเงื่อนไขฟลักซ์ความร้อนที่ผิวท่อคงที่ จากการทดลองพบว่า X ลดลงทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) และค่าตัวประกอบความเสียดทาน (f) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาตรเนื้อวัสดุที่เป็นของแข็งเพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถในการกักเก็บความร้อนในรูปของการนำความร้อนมีมากขึ้น ส่งผลให้การส่งถ่ายเทความร้อนจากเนื้อวัสดุไปยังของไหลมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่ X=0.55 จะมีค่า Nu และ f สูงสุด เท่ากับ 2.75 และ 23.85 เท่าเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบ ตามลำดับ และสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.28 จะถูกพบที่ X=0.55 นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นทำให้ Nu มีค่าเพิ่มขึ้น และ f มีค่าลดลง

คำสำคัญ: เลขนัสเซิลท์ ตัวประกอบความเสียดทาน สมรรถนะเชิงความร้อน

การอ้างอิงบทความ: นพรัตน์ อมัติรัตน์, วันชัย อินทปัต, ธวัชชัย จารุวงศ์วิทยา และ นิวัฒน์ เกตุชาติ, "ผลกระทบของความพรุนตาข่ายสแตนเลสต่อการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลม," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, หน้า 16-29, 2568.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2568
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 3 No. 2 March – April 2025

บทความวิจัย (Research Article)

Effect of Stainless Mesh Porosity on Heat Transfer in Circular Tube Heat Exchangers

Nopparat Amattirat[1], Wanchai Intapat[1], Tawatchai Jaruwongwittaya[1] and Niwat Ketchat[1,*]

[1] Department of Energy and Air Conditioning Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Ratchasima

* Corresponding Author: niwat.ke@rmuti.ac.th

(Received: February 24, 2025; Revised: March 26, 2025; Accepted: March 28, 2025)

Abstract

Heat exchangers were important devices used for heat transfer in various industries. Heat transfer enhancement in heat exchangers can be achieved using various methods. The porous media were placed across the flow inside the tubes of the heat exchanger. This method was used to enhance heat transfer. However, the selection of appropriate porous media must consider various factors, such as the type and porosity. Therefore, the objective of this research was to study the effect of stainless wire-mesh porosity on heat transfer in a circular tube heat exchanger with a porous triangular serrated insert. The SUS 304 stainless wire-mesh was used as porous media. The porosity (X) was examined in four levels: 0.55, 0.62, 0.77 and 0.77. The pitch ratios (PR = 2) and height ratios (HR = 0.40). The experimental have been conducted for the air flow in terms of Reynolds numbers (Re) ranging from 4,300 – 23,800. The experiment was conducted in the tube heat exchanger having a uniform heat fluxed wall. Experimental results indicate that a decrease in X leads to an increase in the Nusselt number (Nu) and the friction factor (f). This was because a larger volume of solid material enhances its heat storage capacity through conduction, resulting in increased heat transfer from the material to the fluid. The highest Nu and f were found at X=0.55, which were 2.75 and 23.85 times when compared with a smooth tube, respectively. In this research, the maximum thermal enhancement factor (TEF) of 1.28 was found at X=0.55. Experimental results also indicate that Nu increases as Re increases, while f decreases.

Keywords: Nusselt Number, Friction Factor, Thermal Enhancement Factor

Please cite this article as: N. Amattirat, W. Intapat, T. Jaruwongwittaya and N. Ketchat, “Effect of Stainless Mesh Porosity on Heat Transfer in Circular Tube Heat Exchangers,” *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 2, pp. 16-29, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญกับกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมาก เช่น อุตสาหกรรมพลังงาน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม รวมถึงอุตสาหกรรมยานยนต์และอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือวิธี Passive [1] เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกในหลาย ๆ กระบวนการ เช่นการติดตั้ง การผลิต การบำรุงรักษา รวมทั้งประหยัดต้นทุนและค่าใช้จ่าย เทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแบบ Passive ที่ให้ประสิทธิภาพดีคือ การใส่อุปกรณ์สร้างการไหลหมุนวนหรือหมุนควงภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งสามารถช่วยเพิ่มระดับความปั่นป่วนภายในท่อได้เป็นอย่างดี และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน [2] ด้วยเหตุนี้ทำให้นักวิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยแผ่นใบบิด [3-5] พบว่าสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Nu) ได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบ อย่างไรก็ตามก็ยังส่งผลทำให้ค่าความเสียดทาน (f) เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ต่อมาได้มีการนำเสนอการการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการใส่วงแหวนแบบต่าง ๆ [6-9] พบว่าการใส่วงแหวนแบบต่าง ๆ จะส่งผลให้ Nu และ f มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบแต่ก็ทำให้การสูญเสียความดันเพิ่มขึ้นเช่นกัน จากนั้นมีการนำเสนอการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นบางรูปตัวไซน์ [10] พบว่าการสอดใส่แผ่นบางรูปตัวไซน์ทุกกรณีจะให้ค่า Nu และ f เพิ่มสูงขึ้นจากท่อผนังเรียบผนังเรียบ นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนการติดตั้งแผ่นปีกสามเหลี่ยมแบบต่าง ๆ [11-12] พบว่าการใส่แผ่นปีกทุกรูปแบบสามารถเพิ่ม Nu ได้เป็นอย่างดีเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นปีกมีค่า f ที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับอุปกรณ์สร้างการไหลแบบหมุนวนหรือหมุนควงชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสญเสียความดันโดยติดตั้งแผ่นรูปตัว V หลาย ๆ รูปแบบ [13-14] เพื่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและลดการสูญเสียแรงดันในการไหลของอากาศการทดลองความสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบทางเรขาคณิตต่าง ๆ เช่น ระยะห่างของการอุดตัน ความกว้างของการอุดตัน ความสูงของสิ่งกีดขวาง ระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางที่ต่อเนื่องกัน ความกว้างของพื้นที่ที่ไม่ต่อเนื่องของการอุดตัน และมุมปะทะของการไหล พบว่าครีบที่ถูกติดตั้งแบบแยกส่วนหรือครีบที่ถูกทำให้มีลักษณะพรุน จะทำให้อากาศที่ไหลผ่านช่องหรือรูพรุนเกิดกระแสการไหลแบบ Jet Flow และ Swirling Flow และ ยังสามารถลดความดันสูญเสียที่เกิดจากการไหลปะทะกับแผ่นครีบโดยตรง [15-16]

การพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาถ่านโดยวัสดุพรุนตาข่ายสแตนเลสภายในท่อนำความร้อนของเตาเผาถ่าน พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าเตาเผาถ่านที่ไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุน [17] การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มแบบ Vertical port โดยใช้วัสดุพรุนแบบลวดตาข่าย

บทความวิจัย (Research Article)

สแตนเลส พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเตาแก๊สหุงต้มแบบดั้งเดิม [18] การประยุกต์วัสดุพรุนตาข่ายสแตนเลสเพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งแบบพาความร้อนโดยติดตั้งภายในท่อลมร้อนขาเข้าของห้องอบแห้งพบว่าสามารถลดความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่ไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุน [19]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่าการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลแบบหมุนควงหรือหมุนวนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ใบบิด วงแหวน แผ่นบาง แผ่นปีก เป็นต้น สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงกว่าท่อผนังเรียบ แต่การติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำให้เกิดความดันสูญเสียภายในช่องการไหลจำนวนมาก เนื่องจากอุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นแบบทึบ จึงทำให้เกิดการกีดขวางการไหลของอากาศ จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีผู้วิจัยทำการพัฒนาอุปกรณ์สร้างการไหลรูปแบบต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์สร้างการไหลที่ถูกติดตั้งแบบแยกส่วนหรือถูกทำให้มีรูพรุน เพื่อที่จะทำให้อากาศที่ไหลผ่านช่องหรือรูพรุนเกิดกระแสการไหลแบบ Jet Flow และ Swirling Flow และยังสามารถลดความดันสูญเสียที่เกิดจากการไหลปะทะกับแผ่นครีบโดยตรง [15-16] นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ตาข่ายสแตนเลสที่มีค่าความพรุนต่างกันส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเตาเผาถ่านและเตาแก๊สหุงต้มโดยการเลือกใช้ตาข่ายสแตนเลสที่ค่าความพรุนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ [17-18] และยังสามารถลดการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งแบบพาความร้อนได้อย่างมีนัยสำคัญ [19]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของค่าความพรุนตาข่ายสแตนเลสที่เป็นอุปกรณ์สร้างการไหลแบบหมุนวนและเป็นตัวกักเก็บความร้อนในตัวเดียวกัน (แผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุน) ต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และลดความดันสูญเสียภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมได้ ซึ่งหวังเป็นอย่างยิ่งว่าข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดการใช้พลังงานในอนาคตได้

2. รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

b	คือ ความสูง (m)
D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
f	คือ ค่าตัวประกอบความเสียดทาน
fs	คือ ค่าตัวประกอบความเสียดทานท่อผนังเรียบ
h	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 K$)
hs	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนท่อผนังเรียบ ($W/m^2 K$)
HR	คือ สัดส่วนความสูงแผ่นหยักต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ
k	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m K)
L	คือ ความยาวท่อช่วงทดลอง (m)
Nu	คือ เลขนัสเซิลท์
Nus	คือ เลขนัสเซิลท์ท่อผนังเรียบ
ΔP	คือ ความดันตกคร่อมบริเวณท่อทดลอง (kPa)
p	คือ ระยะพิตช์ (m)
PR	คือ สัดส่วนระยะพิตช์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

บทความวิจัย (Research Article)

Re คือ เลขเรย์โนลด์
TEF คือ สมรรถนะเชิงความร้อน
U คือ ความเร็วเฉลี่ย (m/s)
ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
ν คือ ความหนืดจลน์ของอากาศ (m^2/s)

3. การคำนวณ

การไหลของอากาศผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะแสดงในค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynold Number, Re) ดังสมการที่ (1)

$$Re = \frac{UD}{\nu} \qquad (1)$$

การถ่ายเทความร้อนจะถูกแสดงในค่าเลขนัสเซิลท์ (Nusselt Number, Nu) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการพาความร้อนและการนำความร้อนภายในท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใด ๆ ดังสมการที่ (2)

$$Nu = \frac{hD}{k} \qquad (2)$$

ค่าตัวประกอบความเสียดทาน (Friction Factor, f) ดังสมการที่ (3)

$$f = \frac{2}{(L/D)}\frac{\Delta P}{\rho U^2} \qquad (3)$$

การประเมินสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะแสดงในรูปของสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor, TEF) โดยนิยามจากอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์การพาความร้อนท่อที่ติดตั้งวัสดุพรุน (h) กับท่อผนังเรียบ (hs) ซึ่งพิจารณาที่กำลังขับเท่ากัน ดังสมการที่ (4)

$$TEF = \left.\frac{h}{hs}\right|_{pp} = \left.\frac{Nu}{Nus}\right|_{pp} = \left(\frac{Nu}{Nus}\right)\left(\frac{f}{fs}\right)^{-1/3} \qquad (4)$$

เพื่อให้การทดลองมีความน่าเชื่อถืองานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองท่อผนังเรียบผนังเรียบเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนในรูปของเลขนัสเซิลท์ (Nu) และตัวประกอบความเสียดทาน (f) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสมการสหสัมพันธ์ที่ โดย Nu เทียบกับสมการของ Dittus-Boelter ดังสมการที่ (5) ขณะที่ f เทียบกับสมการของ Petukhov ดังสมการที่ (6)

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter

$$Nu = 0.023\,Re^{0.8}\,Pr^{0.4} \qquad (5)$$

สหสัมพันธ์ของ Petukhov

$$f = \left(0.79\ln Re - 1.64\right)^{-2} \qquad (6)$$

บทความวิจัย (Research Article)

4. ชุดทดลองและวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ชุดทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมจะแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1) พัดลมแรงดันสูง (High Pressure Blower) ขนาด 0.37 kW 1-Phase 200-240 Vac 50/60 Hz

2) โรตามิเตอร์ (Rotameter) ขนาด 1 นิ้ว ย่านการวัด 10-100 m^3/h

3) อุปกรณ์จัดระเบียบการไหล (Flow Straightener)

4) ชุดปรับสภาพการไหลของอากาศให้มีลักษณะการไหลแบบพัฒนาเต็มที่ (Fully Developed Flow) ยาว 1.20 m

5) ชุดทดลอง (Test Section) ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 mm ยาว 1,200 mm ถูกติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K (K-Type Thermocouple) ช่วงการวัดอุณหภูมิ -180-1,300 องศาเซลเซียส (°C) จำนวน 8 ตัว

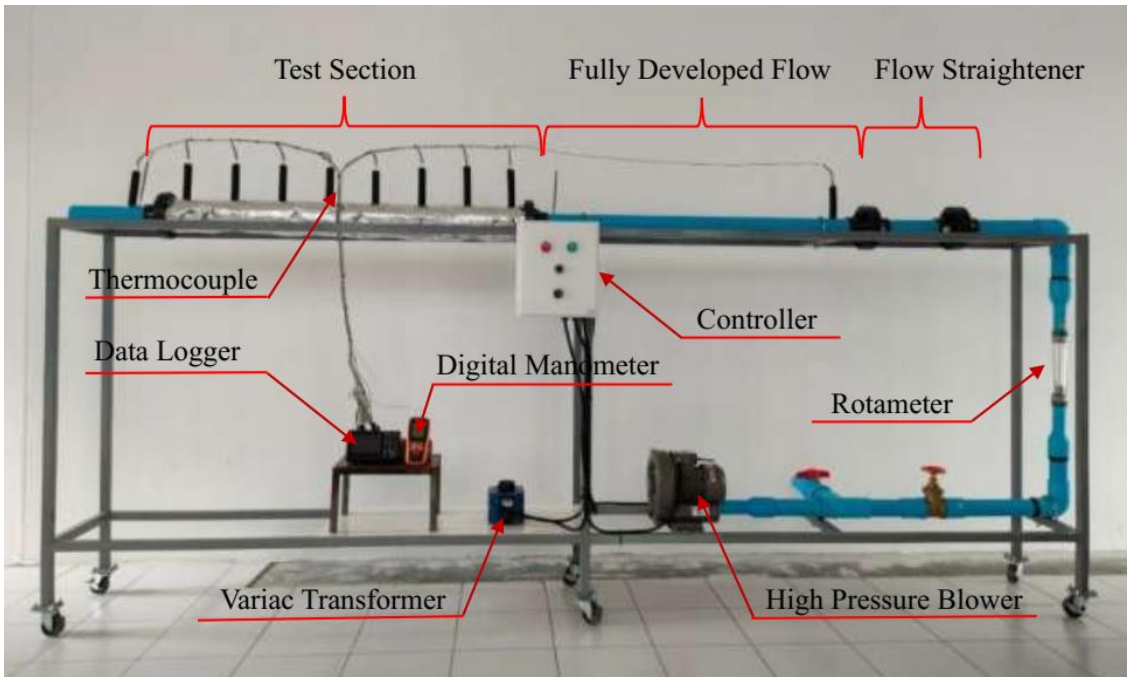
6) มานอมิเตอร์แบบดิจิทัล (Digital Manometer) รุ่น Testo 510 ช่วงการตรวจวัด 0 -100 mbar

7) หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Variac Transformer) เป็นหม้อแปลงแบบแกนหมุนสำหรับระบบไฟกระแสสลับ AC ใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้า จากค่าศูนย์ไปจนถึงค่าสูงสุดตั้งแต่ 0-250 Vac

8) เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (Data Logger) รุ่น HIOKI LR8431-20 มีช่องสัญญาณมาตรฐานจำนวน 10 ช่อง

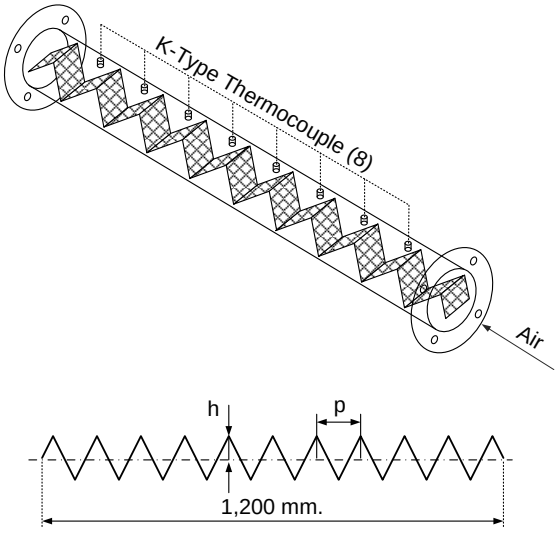
จากส่วนประกอบทั้งหมดของชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมโดยติดตั้งแผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุนจะมีหลักการทำงานดังนี้ โดยเริ่มจากพัดลมแรงดันสูงทำหน้าที่ขับเคลื่อนของไหล (อากาศ) ผ่านโรตามิเตอร์ (Rotameter) ซึ่งเป็นตัววัดอัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าสู่ชุดทดลอง จากนั้นจะเข้าสู่อุปกรณ์จัดระเบียบการไหล (Flow Straightener) ทำหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศและเข้าสู่ช่วงปรับสภาพการไหลที่มีความยาวมากพอให้อากาศปรับสภาพการไหลให้มีลักษณะพัฒนาเต็มท่อ (Fully Developed Flow) ก่อนเข้าสู่ส่วนทดลอง ท่อทองแดงที่ใช้ในการทดลองถูกติดตั้งด้วยขดลวดความร้อนแบบฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater) ขนาด 1,000 วัตต์ ทำการจ่ายความร้อนให้แก่ท่อทดลองแบบสภาวะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ (Constant Heat Flux) และท่อทองแดงจะถูกหุ้มฉนวนอย่างดี เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศ โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (K-Type Thermocouple) จำนวน 10 ตัว จะถูกติดตั้งที่ผิวท่อด้านบน 8 ตัว และทางเข้าและทางออกของท่อทดลองอีก 2 ตัว จากนั้นจะส่งสัญญาณไปยังเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) โดยที่ค่าความดันตกคร่อม (Pressure Drop) จะถูกตรวจวัดที่ทางเข้าและทางออกชุดทดลองด้วยดิจิทัลมานอมิเตอร์ รุ่น Testo 510

บทความวิจัย (Research Article)



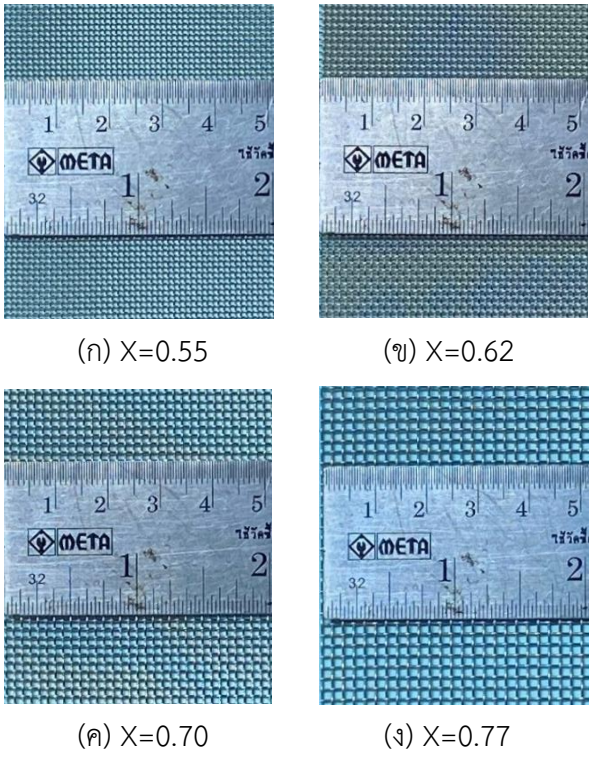
รูปที่ 1 ชุดทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลม

รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งแผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลม และตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดอุณหภูมิผิวท่อทดลองทั้งหมด 8 ตำแหน่ง โดยวัสดุพรุนที่เลือกใช้ คือ ตาข่ายสแตนเลสเกรด SUS 304 ที่มีค่าความพรุน (Porosity, X) ได้แก่ 0.55, 0.62, 0.70 และ 0.77 ดังแสดงในรูปที่ 3 แผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุนจะมีสัดส่วนระยะพิตช์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (Pitch Ratios, p/D = PR) เท่ากับ 2 และสัดส่วนความสูงแผ่นหยักต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (Height Ratios, h/D = HR คือ 0.40) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น ขณะที่ท่อทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) เท่ากับ 50.8 mm ท่อทดลองถูกทำให้ร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant Heat Fluxed) ด้วยขดลวดความร้อนตลอดความยาวของท่อทดลอง (L) เท่ากับ 1,200 mm และทำการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียออกสู่บรรยากาศ



รูปที่ 2 แผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุน

บทความวิจัย (Research Article)



(ก) X=0.55 (ข) X=0.62

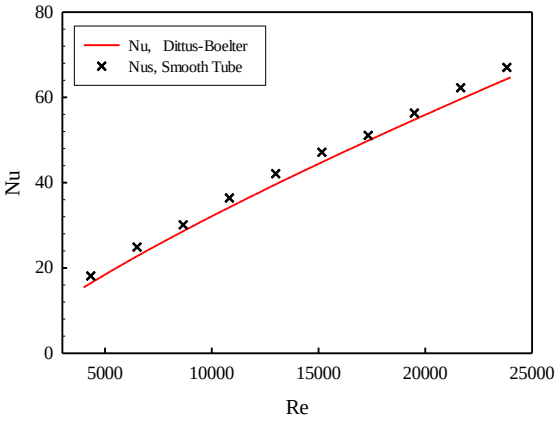
(ค) X=0.70 (ง) X=0.77

รูปที่ 3 ตาข่ายสแตนเลส

5. ผลการทดลอง

5.1 การทดลองท่อผนังเรียบ

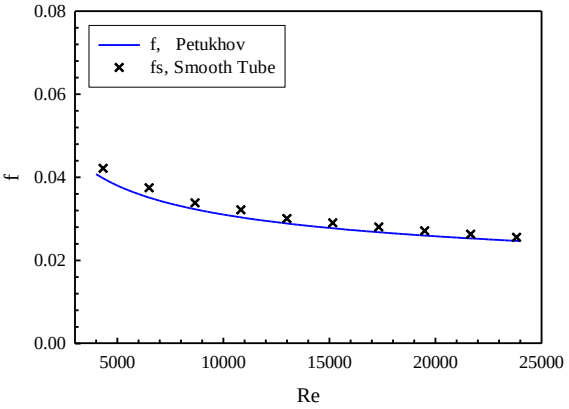
ก่อนการติดตั้งแผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุนภายในท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ได้มีการทดลองค่าเลขนัสเซิลท์ (Nu) และตัวประกอบความเสียดทาน (f) ของท่อผนังเรียบ เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของการทดลอง โดยนำผลการทดลองของท่อผนังเรียบเทียบกับสมการสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter สำหรับค่า Nu และสมการสหสัมพันธ์ของ Petukhov สำหรับค่า f จากการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ Re ของท่อผนังเรียบเทียบกับสมการของ Dittus-Boelter มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6% ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re กรณีท่อผนังเรียบ

ความสัมพันธ์ระหว่าง f และ Re เทียบกับสมการของ Petukhov มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5% ดังแสดงในรูปที่ 5 อาจจะเป็นผลมาจากสภาพพื้นผิวของผนังท่อทดลองที่ส่งผลต่อการพาความร้อนและค่าความเสียดทานทำให้ค่า Nu และ f จากการทดลองท่อผนังเรียบสูงกว่าค่าที่คำนวณได้จากสมการ Dittus-Boelter และ Petukhov นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของของไหล เช่น ความหนืดและค่าการนำความร้อนที่จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

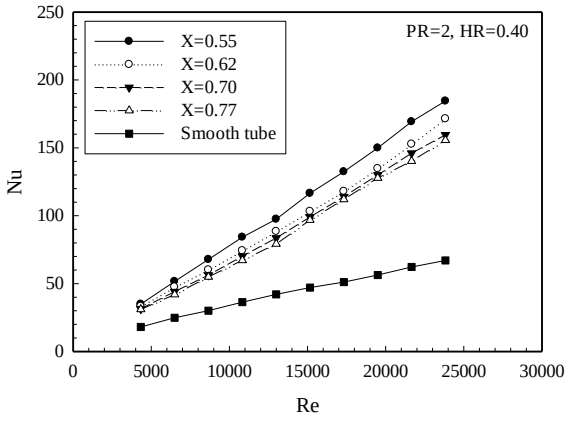
บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีท่อผนังเรียบ

5.2 การถ่ายเทความร้อน

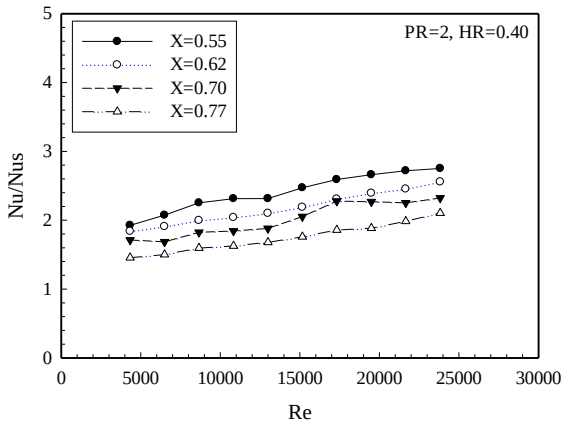
รูปที่ 6 แสดงผลกระทบของค่าความพรุน (X) ต่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนคำนวณได้จากเลขนัสเซิลท์ (Nu) กับ ความเร็วของของไหล (อากาศ) คำนวณได้จากเลขเรย์โนลด์ (Re) โดยที่สัดส่วนระยะพิตช์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (PR) คือ 2 และสัดส่วนความสูงแผ่นหยักต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (HR) คือ 0.40 วัสดุพรุนที่เลือกใช้คือ สแตนเลสชนิด SUS 304 ที่มีค่า X ทั้งหมด 4 ค่าได้แก่ 0.55, 0.62, 0.70 และ 0.77 ช่อง จากการทดลองพบว่า Nu เพิ่มขึ้นตาม Re ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก Re ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดกระแสการไหลแบบปั่นป่วนหรือหมุนวนมากขึ้นส่งผลทำให้การถ่ายเทความร้อนดียิ่งขึ้น แต่เมื่อพิจารณาค่า Re คงที่ใด ๆ พบว่าค่า Nu เพิ่มขึ้นตาม X ที่ลดลง เนื่องจากที่ X มีค่าต่ำ ๆ จะมีปริมาตรเนื้อวัสดุที่เป็นของแข็งเพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถในการกักเก็บความร้อนในรูปของการนำความร้อนมีมากขึ้นส่งผลให้เมื่อของไหลไหลผ่านวัสดุพรุนจะเกิดการส่งถ่ายพลังงานความร้อนจากเนื้อวัสดุไปยังของไหลได้ดีหรือมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากแผ่นใบบิด [3-5] และแผ่นบางรูปตัวไซน์ [10] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งสองชนิดมีค่า Nu สูงกว่าเล็กน้อยในบางกรณี เนื่องจากสามารถสร้างความปั่นป่วนและหมุนควงของไหลได้มากกว่าในขณะที่แผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุน ทำหน้าที่เป็นตัวกักเก็บและส่งถ่ายพลังงานความร้อนผ่านการนำความร้อนของวัสดุไปยังของไหล ซึ่งมีลักษณะการเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังทำการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการติดตั้งและไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุน



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu กับ Re

รูปที่ 7 พบว่าในทุกกรณีของการติดตั้งวัสดุพรุนจะมีค่า Nu ที่สูงกว่า ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.63 ถึง 2.75 เท่า ของท่อผนังเรียบ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังแสดงในตารางที่ 1

บทความวิจัย (Research Article)



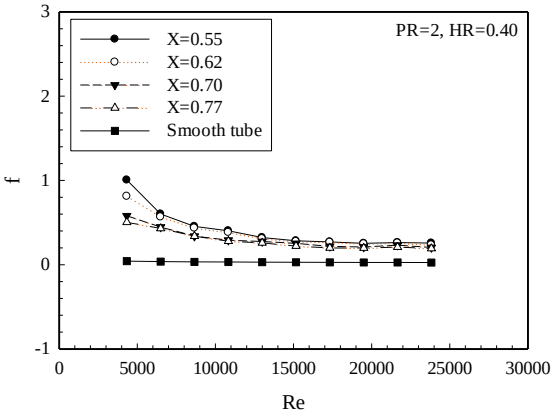
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nus กับ Re

ตารางที่ 1 การถ่ายเทความร้อน (Nu/Nus)

Re	Nu/Nus			
	X=0.55	X=0.62	X=0.70	X=0.77
4,300	1.93	2.04	1.84	1.63
6,500	2.07	2.10	1.88	1.85
8,660	2.25	2.19	2.05	1.76
10,800	2.31	2.31	2.28	1.86
13,000	2.31	2.39	2.27	1.88
15,160	2.47	2.45	2.25	1.98
17,300	2.59	2.50	2.32	2.10
19,500	2.66	2.04	1.84	1.63
21,660	2.72	2.10	1.88	1.68
23,800	2.75	2.19	2.05	1.76

5.3 ตัวประกอบความเสียดทาน

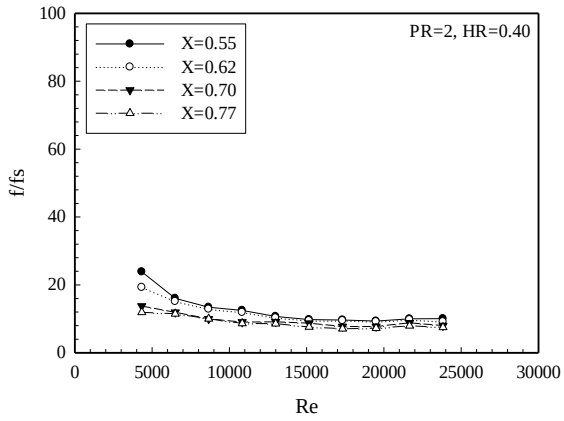
รูปที่ 8 แสดงผลกระทบของค่าความพรุน (X) ต่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบความเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) จากการทดลองพบว่า f มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของ Re ทุกกรณี แต่เมื่อพิจารณาค่า Re คงที่ใด ๆ จะพบว่าค่า X เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ f มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากวัสดุพรุนที่มีค่า X เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาตรช่องว่างเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (ปริมาตรเนื้อวัสดุที่เป็นของแข็งจะลดลง) ทำให้ของไหลไหลผ่านได้ง่ายกว่าวัสดุพรุนที่มีค่า X ต่ำ ๆ จึงส่งผลให้ f มีค่าลดลง อย่างไรก็ตามผลการทดลองของงานวิจัยนี้แตกต่างจากงานของ ใบบิด [3-5] แผ่นบางรูปตัวไซน์ [10] และแผ่นครีบ [15-16] ซึ่งมีค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงกว่าแผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุน เนื่องจากโครงสร้างของทั้งสามชนิดจะมีโครงสร้างที่กีดขวางการไหลของของไหลมากกว่า ขณะที่แผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุน ช่วยให้ของไหลสามารถไหลผ่านได้สะดวกกว่าส่งผลให้ค่าความเสียดทานลดลง



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f กับ Re

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบ f/fs รูปที่ 9 พบว่ากรณีที่ติดตั้งแผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุนจะส่งผลให้ค่า f สูงกว่ากรณีท่อผนังเรียบทุกกรณี ซึ่งมีค่ามากกว่า 7.07 ถึง 23.85 เท่า ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังแสดงในตารางที่ 2

บทความวิจัย (Research Article)



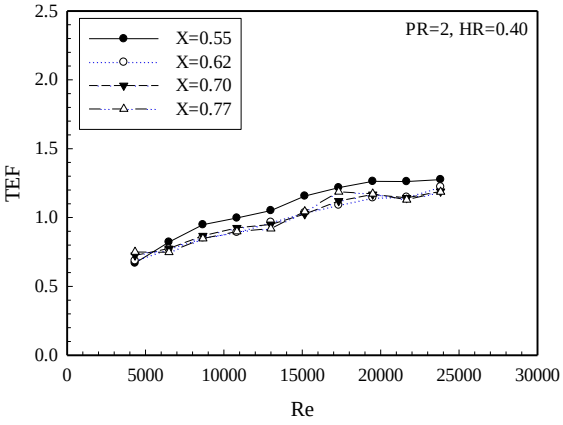
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f/fs กับ Re

ตารางที่ 2 ตัวประกอบความเสียดทาน (f/fs)

Re	f/fs			
	X=0.55	X=0.62	X=0.70	X=0.77
4,300	23.85	19.27	13.76	11.93
6,500	16.06	15.14	11.93	11.47
8,660	13.43	12.86	10.00	10.00
10,800	12.50	11.92	9.04	8.65
13,000	10.71	10.29	9.14	8.57
15,160	9.78	9.46	8.70	7.61
17,300	9.66	9.48	7.76	7.07
19,500	9.37	9.15	7.75	7.25
21,660	10.00	9.77	8.82	7.94
23,800	10.05	9.15	8.00	7.50

5.4 ตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 10 แสดงผลกระทบของค่าความพรุน (X) ต่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) สามารถอธิบายได้ด้วยอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อที่ติดตั้งและไม่มีการติดตั้งแผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุน (Nu/Nus) เทียบกับอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานกรณีติดตั้งและไม่ติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มการถ่ายเทความร้อน (f/fs) จากการทดลองพบว่า TEF มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ Re ทุกกรณี แต่เมื่อพิจารณาค่า Re คงที่ใด ๆ พบว่าค่า TEF มีแนวโน้มลดลงตามค่า X เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงการแปรผันที่สัมพันธ์กับสัดส่วนการถ่ายเทความร้อนต่อการสูญเสียความดันที่เกิดขึ้นในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่ TEF สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.28 จะถูกพบที่ X=0.55



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TEF กับ Re

6. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสรุปได้ว่าแผ่นหยักสามเหลี่ยมพรุนสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนอย่างได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่า เมื่อ X มีค่าลดลง ทำให้ Nu และ f มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุพรุนที่มีค่า X ลดลง จะมีปริมาตรเนื้อวัสดุที่เป็นของแข็งเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการกักเก็บความร้อนในรูปของการนำความร้อนมากขึ้น ส่งผลให้เมื่อของไหลไหลผ่านวัสดุพรุนการส่งถ่ายพลังงานจากเนื้อวัสดุไปยังของ

ไหลจึงเกิดได้ดีหรือมีปริมาณมากตามไปด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุพรุนที่มีค่า X ลดลง จะทำให้การกีดขวางการไหลของของไหลเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้ค่า f สูงขึ้นเช่นเดียวกัน โดยที่ Nu และ f อยู่ระหว่าง 1.63-2.75 และ 7.07-23.85 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบ ในส่วนของค่า Nu และ f สูงที่สุดจะถูกพบที่ X=0.55 ในขณะที่ TEF ของงานวิจัยนี้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.28 ถูกพบที่ X=0.55 เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามในอนาคตควรศึกษารูปแบบเพิ่มเติมเพื่อช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้ดียิ่งขึ้น ได้แก่ การปรับแต่งรูปทรงของวัสดุพรุน เช่น แผ่นโค้งหรือแผ่นคลื่น เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสและกระแสไหลวน (vortex) โดยอาจต้องใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนประเภทอื่นร่วมด้วย หรืออาจจะต้องใช้การจำลองเชิงคอมพิวเตอร์ (Computational Fluid Dynamics: CFD) เพื่อศึกษารูปแบบการไหลภายในท่อเพื่อช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของไหลและปรับปรุงการออกแบบรูปทรงของวัสดุพรุนได้แม่นยำขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม งบประมาณโครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 เลขที่ FF67/P1-017

8. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Liu and M. Sakr, "A comprehensive review on passive heat transfer enhancements in pipe exchangers," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 19, pp. 64–81, Mar. 2013.

[2] ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ และ สมพล สกุลหงษ์, "การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการไหลแบบปั่นป่วนผ่านแผ่นปีกสามเหลี่ยม," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 3, หน้า 557–566, ก.ค.–ก.ย. 2561.

[3] M. M. K. Bhuiya, et al., "Heat transfer and friction factor characteristics in turbulent flow through a tube fitted with perforated twisted tape inserts," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 46, pp. 49–57, Aug. 2013.

[4] เก่งกล้า กุณรักษ์, มิตภาณี พุ่มกล่อม และ เชษฐ์ภณัฏ ปัญญูวัชรวงศ์, "อิทธิพลของท่อผิวครีบที่มีแผ่นบิดส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน," *วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, หน้า 53–59, ม.ค.–มิ.ย. 2564.

[5] P. Promvonge and S. Skullong, "Heat transfer in a tube with combined V-winglet and twin counter-twisted tape," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 26, pp. 1–10, Aug. 2021.

[6] W. Chingtuaythong and S. Chokphoemphun, "Thermal performance augmentation in heat exchanger tube with oval–pentagon ring," *J. Res. Appl.*

Mech. Eng., vol. 4, no. 2, pp. 166–174, Jul. 2018.

[7] วิทูรย์ ชิงถ้วยทอง และคณะ, "การศึกษาถึงการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศและคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อที่มีการสอดใส่วงแหวนข้าวหลามตัด-ข้าวหลามตัด," *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 13, ฉบับที่ 2, หน้า 161–168, พ.ค.–ส.ค. 2561.

[8] P. Promvonge and S. Skullong, "Thermal characterization in circular tube inserted with diamond-shaped ring," *J. Res. Appl. Mech. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, Nov. 2019.

[9] P. Hoonpong, P. Promvonge and S. Skullong, "Experimental study of thermal performance in a tubular heat exchanger using inclined perforated vortex rings," *J. Res. Appl. Mech. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 148–157, Nov. 2020.

[10] สุภัทรชัย สุวรรณพันธุ์, เอกวุฒิ แสนคำวงษ์ และชาญวิทย์ ชัยอมฤต, "การศึกษาเชิงทดลองของการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมที่มีแผ่นบางรูปตัวไซน์," *วารสาร มทร. อีสาน*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 3, หน้า 79–95, ก.ย.–พ.ย. 2562.

[11] S. Skullong, et al., "Thermal behaviors in a round tube equipped with quadruple perforated–delta–winglet pairs," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 115, pp. 229–243, Dec. 2017.

[12] A. T. Wijayanta, et al., "Effect of wing-pitch ratio of double-sided delta-wing tape insert on the improvement of convective heat transfer," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 151, pp. 1–8, Nov. 2020.

[13] P. Promvonge and S. Skullong, "Thermo-hydraulic performance in heat exchanger tube with V-shaped winglet vortex generator," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 164, pp. 1–11, Jan. 2020.

[14] P. M. Erfanian Nakhchi and M. T. Rahmati, "Turbulent flows inside pipes equipped with novel perforated V-shaped rectangular winglet turbulators: numerical simulations," *J. Energy Resour. Technol. Trans. ASME*, vol. 142, pp. 1–10, Nov. 2020.

[15] A. Kumar, et al., "Developing heat transfer and pressure loss in an air passage with multi discrete V-blockages," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 84, pp. 266–278, Jun. 2017.

[16] R. Kumar, et al., "Performance evaluation and optimization of solar assisted air heater with discrete multiple arc shaped ribs," *J. Energy Storage*, vol. 26, pp. 1–17, Sep. 2019.

[17] นิวัฒน์ เกตุชาติ และคณะ, "การพัฒนาเตาเผาถ่านประสิทธิภาพสูงด้วยวัสดุพรุนชนิดตาข่ายสเตนเลส," *วารสารนวัตกรรมวิทยาศาสตร์เพื่อการ*

บทความวิจัย (Research Article)

พัฒนาอย่างยั่งยืน, ปีที่ 5, ฉบับที่ 2, หน้า 557–566, ก.ค.–ธ.ค. 2566.

[18] อนิรุตต์ มัทธุจักร และคณะ, "อิทธิพลของลวดตาข่ายสแตนเลสต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม แบบ Vertical port," *วิศวสารลาดกระบัง*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 1, หน้า 24–29, มี.ค. 2559.

[19] คมเพ็ชร อินลา และคณะ, "การประยุกต์วัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลสเพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งแบบพาความร้อน," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 32, ฉบับที่ 4, หน้า 830–842, ต.ค.–ธ.ค. 2565.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2568
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 3 No. 2 March – April 2025

บทความวิจัย (Research Article)

ศึกษาความเหมาะสมของอุณหภูมิจากฮีตเตอร์เพื่อใช้กับเครื่องกวนมะม่วงแบบกึ่งอัตโนมัติ

อนุวัช แสนพงษ์[1], ภัคคิป ไกรโสดา[2], เสาวนีย์ จันทร์สว่าง[1], ศิวณุ เหล่าบุตรสา[1] และ ไฉไล ซาเสน[1,*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

* ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: chailai.bo@ksu.ac.th โทรศัพท์: 083-1401020
(รับบทความ: 4 มีนาคม 2568; แก้ไขบทความ: 1 เมษายน 2568; ตอบรับบทความ: 3 เมษายน 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเหมาะสมของอุณหภูมิจากฮีตเตอร์ที่ใช้ในเครื่องกวนมะม่วงแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยทดลองอุณหภูมิที่ 90, 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส และศึกษาผลกระทบต่อคุณสมบัติของมะม่วงกวน ได้แก่ ความหนืด (Pa·s) น้ำหนัก (กรัม) และเปอร์เซ็นต์ความชื้น (%wb) การทดลองดำเนินการโดยใช้มะม่วงมหาชนกปั่น 2,000 กรัม และกวนต่อเนื่องในช่วงเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที ความเร็วในการกวน 15 รอบต่อนาที กระทะกวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 นิ้ว ให้ความร้อนด้วยระบบฮีตเตอร์ขนาด 2,500 วัตต์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกวนมีอิทธิพลต่อคุณภาพของมะม่วงกวน โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นช่วยเร่งการระเหยของน้ำส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงและความหนืดเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และระยะเวลากวน 90 นาที เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดได้น้ำหนักหลังการกวนที่ 730 กรัม เนื่องจากให้ค่าความหนืดใกล้เคียงค่าอ้างอิง 0.498 Pa·s และเปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมประมาณ 70.32 %wb ทั้งนี้ การควบคุมอุณหภูมิและเวลาการกวนให้เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ *:* เครื่องกวนมะม่วง ความหนืด เปอร์เซ็นต์ความชื้น อุณหภูมิ ฮีตเตอร์

การอ้างอิงบทความ: อนุวัช แสนพงษ์, ภัคคิป ไกรโสดา, เสาวนีย์ จันทร์สว่าง, ศิวณุ เหล่าบุตรสา และ ไฉไล ซาเสน, "ศึกษาความเหมาะสมของอุณหภูมิจากฮีตเตอร์เพื่อใช้กับเครื่องกวนมะม่วงแบบกึ่งอัตโนมัติ," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, หน้า 30-40, 2568.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2568
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 3 No. 2 March – April 2025

บทความวิจัย (Research Article)

A Study on the Feasibility of Utilizing Heater-Generated Temperature in a Semi-Automatic Mango Stirring Machine

Anuwat Saenpong[1], Pakkip Kraisoda[2], Sawanee Jansawang[1], Siwanu Lawbootsa[1] and Chailai Sasen[1,*]

[1] Department of Mechanical and Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University
[2] Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

* Corresponding Author: chailai.bo@ksu.ac.th, Tel: 083-1401020
(Received: March 4, 2025; Revised: April 1, 2025; Accepted: April 3, 2025)

Abstract

This research aims to study the suitability of temperature from heaters used in semi-automatic mango stirrers. The temperature tests were tested at 90, 100, 110 and 120°C to study the effects on the properties of stirred mangoes, including viscosity (Pa·s), weight (grams) and percentage moisture (%wb). The experiment was conducted using 2,000 grams of *MAHACHANOK* (*Mangifera indica L.*) MANGO and stirring continuously at intervals of 30, 60, 90 and 120 minutes. The experimental setup consisted of a 22-inch diameter stirring pan, which was rotated at a fixed speed of 15 rpm. The heating process was performed using a 2,500-watt electric heater to maintain the required thermal conditions. The results showed that the temperature and time used for stirring significantly influenced the quality of the stirred mangoes. For the reason, higher temperatures accelerate the evaporation of water. As a result, moisture decreases and viscosity increases. The temperature of 110°C and the stirring time of 90 minutes are the optimal values for the weight after stirring at 730 grams. This is because the viscosity value is close to the reference value of 0.498 Pa·s and the percentage moisture is at an appropriate 70.32%wb. However, optimum temperature control and stirring time are important factors for product quality.

Keywords: Mango Stirring Machine, Viscosity, Percentage Moisture, Temperature, Heater

Please cite this article as: A. Saenpong, P. Kraisoda, S. Jansawang, S. Lawbootsa and C. Sasen, "A Study on the Feasibility of Utilizing Heater-Generated Temperature in a Semi-Automatic Mango Stirring Machine," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 2, pp. 30-40, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากมะม่วงพันธุ์มหาชนกมีอย่างหลากหลาย เช่น การพัฒนาสูตรไอศกรีมที่ใช้สารให้ความคงตัว เพื่อปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัส เพิ่มความต้านทานการละลาย และทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความยอมรับจากผู้บริโภคในระดับสูง [1] นอกจากนี้ยังมีการผลิตแยมมะม่วงมหาชนกร่วมกับหัวมันแกว ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัย คุณภาพสูง และตรงตามมาตรฐานทั้งในด้านคุณสมบัติทางเคมีและการยอมรับของผู้บริโภค [2] ด้วยความโดดเด่นของมะม่วงมหาชนกที่มีคุณลักษณะทั้งด้านรสชาติ ความหวานอมเปรี้ยว เนื้อแน่น และคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น ปริมาณแคโรทีนอยด์และสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยเสริมสุขภาพ ทำให้เป็นที่ต้องการในตลาดทั้งในและต่างประเทศ [3] ดังนั้นการพัฒนาแบบองค์รวมทั้งในด้านผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ และการบริหารจัดการ จึงเป็นแนวทางที่สำคัญสำหรับการยกระดับมะม่วงพันธุ์มหาชนก เพื่อให้มีศักยภาพในเชิงเศรษฐกิจและเป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เกษตรอื่น ๆ ในประเทศไทยได้อย่างยั่งยืน นอกเหนือจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์แล้ว การออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ทันสมัยและเหมาะสมสำหรับมะม่วงมหาชนก ยังช่วยเพิ่มความดึงดูดและมูลค่าของผลิตภัณฑ์ โดยงานวิจัยพบว่า บรรจุภัณฑ์ที่เน้นความทนทาน ความสวยงาม และการรองรับการขนส่งระยะไกลมีผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภคและช่วยยกระดับตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ [4] และอย่างไรก็ตามการผลิตมะม่วงในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวมักมีปัญหาล้นตลาด ส่งผลให้ราคาตกต่ำ เกษตรกรต้องเผชิญความยากลำบากในการสร้างรายได้ที่ยั่งยืน

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว การพัฒนาเครื่องจักรสำหรับกระบวนการแปรรูปมะม่วงจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ลดการสูญเสีย และรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น การพัฒนาเครื่องแยกเนื้อมะม่วงสุก ได้ช่วยลดเวลาและแรงงานในกระบวนการผลิต ขณะเดียวกันยังช่วยเพิ่มความแม่นยำและลดต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] ในขณะเดียวกันมีการศึกษาเครื่องกวนไส้ขนมและเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งออกแบบมาให้ควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบฮีตเตอร์ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการลดต้นทุนแรงงานได้ถึง 95% และเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ [6,7] อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของน้ำมะม่วงมากที่สุด รองลงมาคือความดันและระยะเวลาการคงความดัน พารามิเตอร์ด้านคุณภาพที่สามารถรักษาคุณภาพน้ำมะม่วงและความปลอดภัยทางจุลชีววิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8] จากการศึกษาเพิ่มเติมมีการพัฒนาเครื่องกวนเนื้อมังคุดที่มีการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ โดยใช้ระบบแก๊สที่สามารถปรับการจ่ายความร้อนได้อย่างต่อเนื่อง ช่วยให้กระบวนการกวนเนื้อมังคุดมีความสม่ำเสมอและลดการสูญเสียเปอร์เซ็นต์ความชื้นในวัตถุดิบ นอกจากนี้ยังติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล เพื่อวัดอุณหภูมิที่ใต้กระทะทำให้สามารถควบคุมระดับความร้อนได้อย่างแม่นยำ สามารถช่วยให้กระบวนการผลิตเนื้อมังคุดมีคุณภาพสูงขึ้น ลดเวลาในการแปรรูป และเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการรักษาคุณภาพของวัตถุดิบ ทั้งในแง่ของเนื้อสัมผัส สี และความสามารถในการจัดเก็บได้นานขึ้น [9] นอกจากนี้พบว่าการควบคุมอุณหภูมิและเวลา

บทความวิจัย (Research Article)

ในการอบแห้งส่งผลโดยตรงต่อคุณค่าทางโภชนาการ เช่น การคงสารต้านอนุมูลอิสระและฟีนอลิก ตลอดจนรักษาสีและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ [10,11] ขณะเดียวกันการศึกษาการบำบัดด้วยเทคโนโลยีพลาสมาเย็น เป็นอีกวิธีในการยืดระยะเวลาในการเก็บมะม่วงที่ถือว่าปลอดภัยต่อสารพิษตกค้าง นอกเหนือจากกระบวนการทางความร้อน และเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในมะม่วงหั่นสด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้นและปลอดภัยต่อการบริโภค [12] สุดท้ายการสนับสนุนชุมชนผ่านการพัฒนาเครื่องจักรสำหรับวิสาหกิจชุมชน เช่น เครื่องตีเนื้อสำหรับผลิตภัณฑ์มะม่วงตกเกรด ช่วยในการเพิ่มรายได้และความมั่นคงให้กับเกษตรกร โดยสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตจาก 5 กิโลกรัมเป็น 50 กิโลกรัม และลดแรงงานได้อย่างมีนัยสำคัญ [13] แต่ด้วยเหตุผลที่มีการพัฒนาเครื่องจักรที่ผ่านมารวมถึงมีขายตามท้องตลาดกำลังผลิตค่อนข้างใหญ่มากกว่า 50 กิโลกรัม ซึ่งในกลุ่มแปรรูปขนาดเล็กถือว่าราคาค่อนข้างสูงและเกินกำลังการผลิตต่อวัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้ฮีตเตอร์ในเครื่องกวนมะม่วงแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพ โดยศึกษาอุณหภูมิที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 90, 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส ลำดับต่อไป

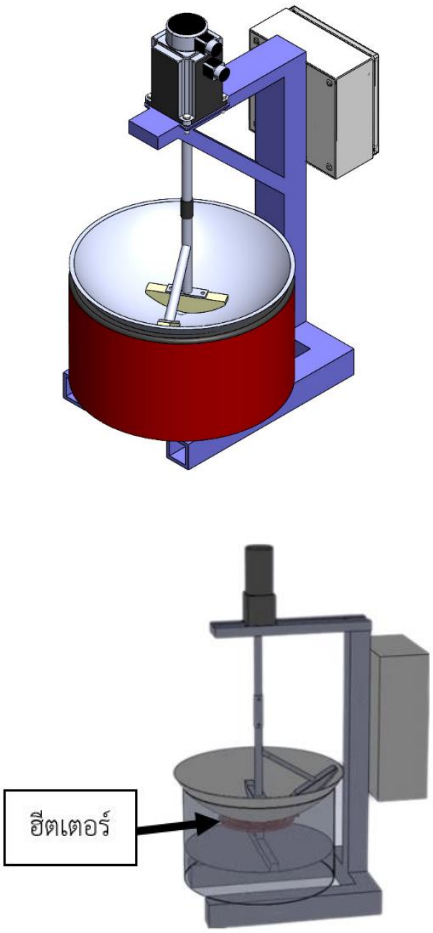
2. วิธีวิจัย

การพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปมะม่วง เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพ เงื่อนไขสำคัญของการแปรรูปให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพคือการควบคุมความร้อนในกระบวนการผลิต [8] เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมจะส่งผลต่อความหนืด สี และรสชาติของมะม่วงกวน ปัจจุบันเครื่องกวนมะม่วงแบบกึ่งอัตโนมัติได้รับการพัฒนา เพื่อลดต้นทุนแรงงานและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยการกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมจากฮีตเตอร์ยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องศึกษา เพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด โดยในการศึกษาครั้งนี้กำหนดขั้นตอนการเตรียมวัสดุและการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

2.1 การออกแบบโครงสร้าง

เครื่องกวนมะม่วงแบบกึ่งอัตโนมัติชนิดให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ มีขนาดความกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 43 x 57 x 110 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 90 วัตต์ หรือ 0.12 แรงม้า อ้างอิงหลักการคำนวณตามสมการที่ (2) แรงดันไฟฟ้า 220 โวลล์ เป็นต้นกำลังขับ ความเร็วในการกวน 15 รอบต่อนาที กระทะกวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 นิ้ว ลักษณะและส่วนประกอบของเครื่องกวนมะม่วงแบบกึ่งอัตโนมัติชนิดให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ที่พัฒนาขึ้น ดังที่แสดงในรูปที่ 1 และ 2 โครงสร้างทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ใบกวนสามารถถอดประกอบได้ง่าย และให้ความร้อนด้วยระบบฮีตเตอร์ขนาด 2,500 วัตต์ สามารถควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบได้โดยชุดกล่องควบคุมด้านหลังเครื่องที่ประกอบไปด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิ ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์และสวิตช์เปิด–เปิดตัวเครื่อง

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 1 เครื่องกวนมะม่วงที่ออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของฮีตเตอร์ที่ใช้จากสมการที่ (1)

$$Q = h_{overall} A\left(T_f - T_w\right) \qquad (1)$$

โดยที่

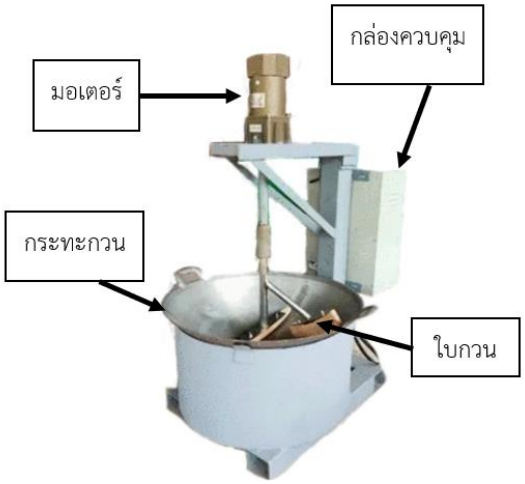
Q คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสู่ภาชนะ $\left(\text{Watt}\right)$

$h_{overall}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม $\left(\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}\right)$

A คือ พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ก้นภาชนะ $\left(\text{m}^2\right)$

T_f คือ อุณหภูมิของรังสีความร้อน $\left(\text{K}\right)$

T_w คือ อุณหภูมิที่ผิวของก้นภาชนะ $\left(\text{K}\right)$



รูปที่ 2 เครื่องกวนมะม่วง

$$Wp = 2\pi nT \qquad (2)$$

โดยที่

Wp คือ กำลังมอเตอร์ (watt)

n คือ ความเร็วรอบที่ต้องการใช้งาน (rpm)

T คือ แรงบิด (N.m)

สมการการคำนวณกำลังของมอเตอร์ เพื่อพิจารณาในด้านของต้นกำลังที่ใช้ขับใบกวนในกระบวนการกวน จะใช้สมการที่ (2) ในการคำนวณ

2.2 การทดลอง

ก่อนกำหนดระยะเวลาและอุณหภูมิในการกวนของการทดลอง จะทำการกวนมะม่วงตัวอย่างโดย

บทความวิจัย (Research Article)

กลุ่มเกษตรกร ผู้แปรรูปมะม่วงมหาชนกกวน ซึ่งทำการกวนโดยให้ความร้อนจากแก๊สหุงต้ม (ไฟอ่อนหรืออุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส) น้ำหนักเริ่มต้น 2 กิโลกรัม หรือ 2,000 กรัม ในการกวนด้วยแรงงานคน ซึ่งเกษตรกรจะกวนโดยประมาณการอุณหภูมิและเวลาตามความชำนาญของผู้กวน จะกวนไปเรื่อย ๆ จนกว่าสี ความหนืด และเปอร์เซ็นต์ความชื้น จะได้ตามระดับความต้องการของเกษตรกร เมื่อเห็นว่าเหมาะสมแล้ว ทางผู้วิจัยจะนำตัวอย่างของมะม่วงที่ผ่านการกวนแล้วเข้าสู่กระบวนการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และความหนืด เก็บข้อมูลระยะเวลาทั้งหมดของการกวน ซึ่งพบว่าใช้เวลาในการกวน 120 นาที น้ำหนักทั้งหมดเหลือ 1.05 กิโลกรัม หรือ 1,050 กรัม จึงได้มะม่วงที่มีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมกับการนำไปตากแห้ง เมื่อผ่านการตากแดดเป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วมีสีที่สวยเหมาะสมกับการนำไปบรรจุเพื่อจำหน่ายต่อไป ก่อนนำไปตากค่าความหนืดหลังจากการเข้าเครื่องทดสอบได้เท่ากับ 0.461 Pa.s และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้เท่ากับ 70.32%wb โดยจะกำหนดค่าดังกล่าวนี้เป็นค่าอ้างอิงที่ใช้อ้างอิงคุณสมบัติจากการกวน เพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการทดลอง รายละเอียดดังนี้

1) เตรียมเนื้อมะม่วงสุกปั่น 2,000 กรัม

2) นำสายวัดอุณหภูมิติดใต้กระทะกวน นำกระทะกวนติดตั้งกับเครื่องกวน ติดตั้งใบกวนเข้ากับแกนมอเตอร์ให้แน่นกำหนดระยะใบกวนห่างจากกระทะพอประมาณ

3) เสียบปลั๊ก เปิดสวิตช์เบรกเกอร์ เปิดสวิตช์ตัวควบคุมอุณหภูมิ เปิดสวิตช์ตัวควบคุมมอเตอร์ ตั้งค่ารอบการหมุนของมอเตอร์ ตั้งค่าอุณหภูมิของฮีตเตอร์ตามการทดลอง และนำมะม่วงที่เตรียมไว้เทลงในกระทะ จับเวลา และคอยสังเกตความผิดปกติของการทดลอง

4) เมื่อครบเวลา ปิดสวิตช์ตัวควบคุมมอเตอร์ ปิดสวิตช์ตัวควบคุมอุณหภูมิ และปิดสวิตช์เบรกเกอร์ ชั่งน้ำหนักของเนื้อมะม่วงสุก บันทึกผล นำเนื้อมะม่วงสุกไปตากแดดเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อดูสีและความเหนียวในลำดับต่อไป

5) ในการทดลองจะกำหนด ขอบเขตของอุณหภูมิและระยะเวลาในการกวนดังนี้

(1) อุณหภูมิที่ใช้ในการกวน 90, 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส

(2) ระยะเวลาในการกวน 30, 60, 90 และ 120 นาที

2.3 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อศึกษาความเหมาะสมของอุณหภูมิที่ใช้ในการกวนมะม่วงมหาชนกโดยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองศึกษาความเหมาะสมของอุณหภูมิที่ใช้ในการกวนมะม่วงมหาชนก มีย่านการทำงานและความแม่นยำแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดอุปกรณ์วิเคราะห์การทดลอง

รายการ	ย่านการทำงาน (Ranges)	ค่าความแม่นยำ (Accuracy)
เครื่องชั่งดิจิตอล	0.1-110 kg	± 0.05%
นาฬิกาจับเวลา	0.01 sec - 999.99 min	± 0.5%

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 1 รายละเอียดอุปกรณ์วิเคราะห์การทดลอง (ต่อ)

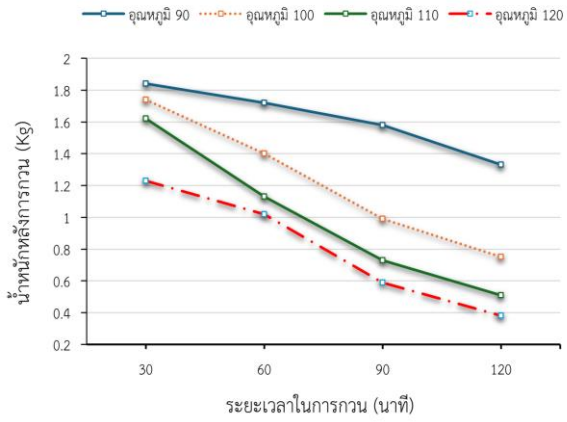
รายการ	ย่านการทำงาน (Ranges)	ค่าความแม่นยำ (Accuracy)
มิเตอร์ไฟฟ้า	0.1-999.9 kw	± 0.1%
เครื่องวัดความหนืด	20 - 100,000 mPa·S	± 1%
เครื่องวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้น	50°C - 200°C	±0.1%

หมายเหตุ ในการวิเคราะห์ผล จะทำการวิเคราะห์ ความหนืด เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%wb) และน้ำหนักหลังผ่านการกวนในแต่ละอุณหภูมิ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดลอง ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการกวนมะม่วงที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 2 กิโลกรัม ในกระบวนการระเหยน้ำและการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดและเปอร์เซ็นต์ความชื้น ของมะม่วง โดยได้ทดลองในสภาพอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ได้แก่ 90, 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่สำคัญของทั้งอุณหภูมิ และระยะเวลาในการกวนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด การลดลงของน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากการระเหย โดยสามารถสรุปเกี่ยวกับมะม่วงหลังการกวนลดลง เมื่อเวลาผ่านไปในทุกช่วงอุณหภูมิ ซึ่งบ่งชี้ว่าอุณหภูมิและเวลาส่งผลต่อการศึกษาดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักของมะม่วงหลังการกวนลดลงอย่างต่อเนื่องทุกช่วงเวลาและลดลงมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีจุดเริ่มต้นเท่ากันที่ 2 กิโลกรัม หรือ 2,000 กิโลกรัม ในทุกเงื่อนไขอุณหภูมิ ในกระบวนการกวนมะม่วงอุณหภูมิที่สูงและการกวนอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากเนื้อมะม่วง ส่งผลให้น้ำหนักรวมของมะม่วงลดลงเรื่อยๆ ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการระเหยก็จะเร็วขึ้น ส่งผลให้กราฟของอุณหภูมิสูง (เช่น 120 องศาเซลเซียส) มีน้ำหนักที่ลดลงอย่างรวดเร็วกว่าการใช้ความร้อนต่ำที่ 90 องศาเซลเซียส จะสูญเสียน้ำช้ากว่าจึงเห็นว่าหลังผ่านไป 120 นาที น้ำหนักยังคงสูงกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่สูงกว่าที่ 120 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการสูญเสียน้ำสูงสุด ทำให้น้ำหนักลดลงเร็วและเหลือน้อยกว่าที่อุณหภูมิอื่นในช่วงเวลาเดียวกัน เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะระเหยออกอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้น้ำหนักมะม่วงลดลงตามลำดับ ถึงแม้จะใช้อุณหภูมิเท่ากันหากกวนเป็นเวลานานน้ำหนักก็จะลดลงมากกว่าช่วงเวลากวนสั้น ๆ หากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นมาก (เปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำ) ควรใช้อุณหภูมิสูงและเวลาการกวนนานขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงรสชาติ สี และคุณค่าทางโภชนาการที่อาจเปลี่ยนไป [8]

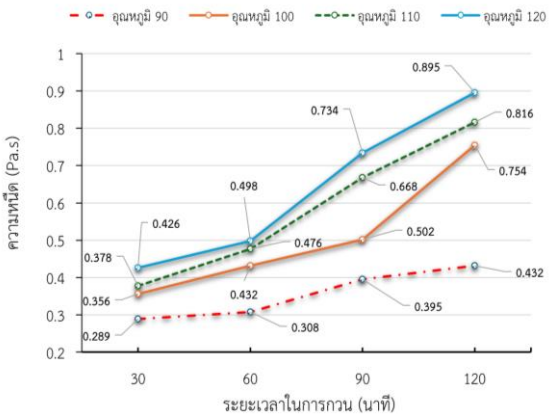


รูปที่ 3 น้ำหนักมะม่วงหลังผ่านการกวน

การเปรียบเทียบระยะเวลาการกวนและอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความหนืดอ้างอิง ที่ได้จากการกวนของ

บทความวิจัย (Research Article)

กลุ่มเกษตรกร ซึ่งมีค่าความหนืด อยู่ที่ 0.498 Pa·s นำเสนอในรูปที่ 4



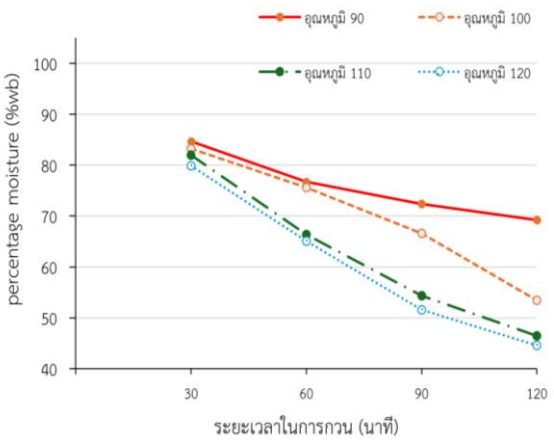
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการกวนและความหนืด (Pa·s)

พิจารณาอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลากวน 30 นาที ค่าความหนืดช่วงเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 0.289 Pa·s แม้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ที่เวลา 120 นาที ค่าความหนืดประมาณ 0.432 Pa·s ซึ่งต่ำกว่าค่าอ้างอิง 0.498 Pa·s ตลอดช่วงเวลาที่ทดลองมีค่าความหนืดไม่ถึงค่าความหนืดที่ใช้อ้างอิงแม้จะกวนนาน 120 นาที

พิจารณาอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลากวน 30 นาที ค่าความหนืดช่วงเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 0.356 Pa·s และเพิ่มเป็น 0.476 Pa·s ที่ 60 นาที และที่ 90 นาที ค่าความหนืดประมาณ 0.526 Pa·s ซึ่งสูงกว่า 0.498 Pa·s โดยประมาณ ซึ่งแนวโน้มของอุณหภูมิที่มีผลให้ความหนืดสูงกว่า 0.498 Pa·s จะประมาณ 70–75 นาที

พิจารณาอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลากวน 30 นาที ค่าความหนืดช่วงเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 0.379 Pa·s และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ถึงค่าความหนืดอ้างอิง 0.498 Pa·s ใช้เวลากวน 40–45 นาที

พิจารณาอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลากวน 30 นาที ความหนืด 0.42 Pa·s และเพิ่มเป็น 0.476–0.609 Pa·s เมื่อเวลานานขึ้น ค่าความหนืดจะสูงขึ้นชัดเจน ถึง 0.895 Pa·s เร็วที่สุดในทุกอุณหภูมิที่ทดลอง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการกวนและค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

(ก) (ข)

รูปที่ 6 (ก) มะม่วงกวนของกลุ่มผู้แปรรูป (ข) มะม่วงกวนจากอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 90 นาที

บทความวิจัย (Research Article)

ความหนืดที่มีค่าสูงขึ้น เป็นผลต่อความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงเรื่อย ๆ หลังการกวนในสภาพอุณหภูมิที่ต่างกัน สามารถอธิบายได้ตามนี้

การลดลงของเปอร์เซ็นต์ความชื้น อธิบายไว้ในเส้นแนวโน้ม ตามรูปที่ 5 การกวนมะม่วงทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นในเนื้อมะม่วงระเหยออก เมื่อเวลาผ่านไปความชื้นจะลดลงตามอุณหภูมิที่ใช้ อุณหภูมิสูงยิ่งทำให้ความชื้นระเหยเร็วขึ้นและทำให้ค่าความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบความชื้นตามค่าอ้างอิงก่อนนำไปตาก อยู่ที่ 70.32% อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ยังคงสูงกว่า 70.32% ตลอดช่วงเวลาที่ทดลองที่เวลากวน 120 นาที เปอร์เซ็นต์ความชื้น ยังคงอยู่โดยประมาณ 75% อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงในช่วงเวลาประมาณ 90–100 นาที อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำกว่า 70.32% หลังจากทำการกวนประมาณ 40 นาที เมื่อผ่านไป 90 นาที ตามรูปที่ 6 ได้สีของมะม่วงที่ผ่านการกวนได้ตามความต้องการของกลุ่มผู้แปรรูป ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงเร็วที่สุดโดยอยู่ต่ำกว่า 70.32%wb ในการกวนเพียงประมาณ 30 นาที แต่ในกรณีที่กวนด้วยอุณหภูมิสูง ข้อควรระวังคือเนื้อสัมผัสที่ต้องการโดยไม่ทำให้เกิดการไหม้หรือเปลี่ยนแปลงคุณภาพ

4. สรุปผล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองกวนมะม่วงภายใต้อุณหภูมิ 90, 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติสำคัญได้แก่ ความหนืด (Pa·s), น้ำหนัก (กิโลกรัม) และเปอร์เซ็นต์ความชื้น (% wb) โดยเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่กำหนด (เช่น ความหนืด 0.498 Pa·s และเปอร์เซ็นต์ความชื้น 70.32%wb ทั้งนี้เพื่อให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาการกวนที่มีต่อคุณภาพของมะม่วงกวน

ผลการทดลองพบว่าการกวนที่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 90 นาที เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากค่าความหนืดของมะม่วงกวนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการกวน เมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า ให้ค่าความหนืดใกล้เคียง 0.498 Pa·s ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ที่ประมาณ 70.32%wb ส่วนน้ำหนักของมะม่วงกวนลดลงตามระยะเวลาที่กวน ได้น้ำหนักหลังการกวนที่ 730 กรัม ซึ่งเป็นผลจากการระเหยน้ำในมะม่วงกวน โดยเฉพาะในสภาวะที่อุณหภูมิสูง ทำให้อัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเลือกใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนจึงมีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ผลลัพธ์ที่สมดุลระหว่างเนื้อสัมผัสและสี

ข้อเสนอแนะ สำหรับการพัฒนางานวิจัยควรติดตั้ง เซ็นเซอร์วัดเปอร์เซ็นต์ความชื้น แบบเรียลไทม์ เพื่อให้สามารถปรับอุณหภูมิและเวลาการกวนได้แม่นยำใช้ การกวนแบบสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันการเกิดเนื้อสัมผัสไม่สม่ำเสมอ และป้องกันการไหม้ของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งสามารถนำไปใช้ในการกวนผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบอย่างอื่นได้ เพิ่มปริมาณความจุของวัตถุดิบหรือเปลี่ยนลักษณะของภาชนะ เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตตามขนาดของวิสาหกิจชุมชนหรือตามที่ต้องการได้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Bhumsaidon, et al., "The stabilizer influence on qualities of Mahachanok mango (Mangifera indica L.) ice cream," *Science and Technology Journal of Sisaket Rajabhat University*, vol. 1, no. 1, 2025. (in Thai)

[2] P. Rachamontree, et al., "Production of Mahachanok (Mangifera indica L.) mango yam mixed with yam bean (Pachyrhizus erosus)," *Udonthani Rajabhat University Journal of Sciences and Technology*, vol. 8, no. 2, 2020. (in Thai)

[3] T. Chinnasaen, et al., "Production of 'Maha Chanok' mangoes for export to the Japanese market: The case study of Nong Bua Chum Village, Nong Hin Sub-district, Nong Kung Si District, Kalasin Province," *Thai Journal of East Asian Studies*, vol. 24, no. 1, 2020. (in Thai)

[4] N. Himpong, et al., "Design and development of packaging of Mahachanok mango: Case study of Nong Bua Chum Village community enterprise grower and process group, Nong Hin Sub District, Nong Kung Sri District, Kalasin," *RMU Journal*, vol. 17, no. 3, 2023. (in Thai)

[5] R. Meeduang, et al., "The mango pulp separating tool," *Vocational Education Innovation and Research Journal (VE-IRJ)*, vol. 4, no. 2, 2020. (in Thai)

[6] R. Junsiri and A. Chuntanapum, "The development of a curry puff filling mixing machine using heat from liquefied petroleum gas (LPG) for community use," *Udonthani Rajabhat University Journal of Sciences and Technology*, vol. 8, no. 1, 2020. (in Thai)

[7] T. Thongsong and W. Sudsomboon, "The development of nipa palm sugar stirrer machine with automatic control," *Wichcha Journal*, vol. 42, no. 1, 2022. (in Thai)

[8] N. Kaushik, P. S. Rao and H. N. Mishra, "Process optimization for thermal-assisted high pressure processing of mango (Mangifera indica L.) pulp using response surface methodology," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 69, pp. 372–381, 2016.

[9] K. Chantasit, K. Muisi and S. Chittapattanakul, "Development of mangosteen stirrer machine with semi–automatic temperature controller for Ban Tha Sara community enterprise, Thamai District, Chanthaburi Province," *RRBR Journal*, vol. 12, no. 1, 2018. (in Thai)

[10] E. O. M. Akoy, "Effect of drying temperature on some quality attributes of mango slices," *Int. J. Innov. Sci. Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 91–99, 2014.

[11] A. Sarkar, M. W. Hossain, M. Alam, R. Biswas, M. Roy and M. I. Haque, "Drying conditions and varietal impacts on physicochemical, antioxidant and functional properties of onion powder," *J. Agric. Food Res.*, vol. 12, p. 100578, 2023.

[12] F. Yi *et al*., "Physiological and quality changes in fresh-cut mango fruit as influenced by cold plasma," *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 194, p. 112105, 2022.

[13] N. Wirotthtiyawong, et al., "Value-adding process and value of mango products with participation of Non-Chan Subdistrict community enterprise, Bua Lai District, Nakhon Ratchasima Province," *Research Community and Social Development Journal*, vol. 17, no. 1, 2023. (in Thai)

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2568
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 3 No. 2 March – April 2025

บทความวิจัย (Research Article)

การประเมินความสามารถในการเดินและศักยภาพของการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทร เพื่อพัฒนาสภาพแวดล้อมเมือง

วิศรุต ช่วยจันทร์[1,*], สุวัฒนา นิคม[1], เอกลักษณ์ กาญจนเพ็ญ[1], ประภัสสร กุลทอง[1], ทิฆัมพร เขมวงศ์[2] และ ปรเมษฐ หอมหวล[3]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
[3] สำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดสุราษฎร์ธานี

* ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: witsarut_chu@nstru.ac.th โทรศัพท์: 094-0567256
(รับบทความ: 10 มีนาคม 2568; แก้ไขบทความ: 10 เมษายน 2568; ตอบรับบทความ: 14 เมษายน 2568)

บทคัดย่อ

การเดินเป็นรูปแบบการเดินทางพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญในการเข้าถึงบริการและกิจกรรมในชีวิตประจำวัน รวมถึงส่งเสริมสุขภาพ ลดการใช้พลังงาน และสนับสนุนการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาและประเมินความสามารถในการเดิน (Walkability) ภายในเขตเทศบาลตำบลหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้ดัชนีความสามารถในการเดิน (Walkability Index: WI) เป็นเครื่องมือหลัก ร่วมกับระเบียบวิธีวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed-Methods Research) ซึ่งประกอบด้วยแบบสอบถามจากประชาชน 400 คน สัมภาษณ์เชิงลึกเจ้าหน้าที่ท้องถิ่น และการสำรวจภาคสนาม โดยผลการประเมินพบว่า ค่าดัชนี WI เฉลี่ยอยู่ที่ 71.18 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับ “ดี” โดยปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเดินมากที่สุด ได้แก่ การบำรุงรักษาและความสะอาดของทางเท้า ความพร้อมของทางข้ามถนน และความปลอดภัยจากอาชญากรรม อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อจำกัดในด้านสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ ความปลอดภัยของการข้ามถนนในบางพื้นที่ และพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ยังไม่เป็นมิตรต่อคนเดินเท้า งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางเท้าให้มีความต่อเนื่อง ปลอดภัย และรองรับการเข้าถึงของประชาชนทุกกลุ่ม โดยเฉพาะผู้เปราะบาง เช่น ผู้สูงอายุและผู้พิการ ทั้งนี้ผลการศึกษาเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถนำไปใช้สนับสนุนนโยบายท้องถิ่นเพื่อส่งเสริมการเดินเท้าในชุมชน และบรรลุเป้าหมายการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ดัชนีความสามารถในการเดิน การประเมินทางเท้า เทศบาลตำบลหัวไทร ความปลอดภัยของคนเดินเท้า การข้ามถนน

การอ้างอิงบทความ: วิศรุต ช่วยจันทร์, สุวัฒนา นิคม, เอกลักษณ์ กาญจนเพ็ญ, ประภัสสร กุลทอง, ทิฆัมพร เขมวงศ์ และ ปรเมษฐ หอมหวล, "การประเมินความสามารถในการเดินและศักยภาพของการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทรเพื่อพัฒนาสภาพแวดล้อมเมือง," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, หน้า 41-55, 2568.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2568
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 3 No. 2 March – April 2025

บทความวิจัย (Research Article)

Assessment of Walkability and Walking Potential in Hua Sai Subdistrict Municipality for Urban Environment Development

Witsarut Chuayjan[1,*], Suwattana Nikhom[1], Ekkalak Kanchanapen[1], Prapatsorn Kulthong[1], Thikhamporn Khemwong[2] and Paramet Homhoul[3]

[1] Department of Civil Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University
[2] Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University
[3] Department of Public Works and Town & Country Planning, Surat Thani Province

* Corresponding Author: witsarut_chu@nstru.ac.th, Tel: 094-0567256
(Received: March 10, 2025; Revised: April 10, 2025; Accepted: April 14, 2025)

Abstract

Walking is a basic form of transportation that is important in accessing services and daily activities, promoting health, reducing energy consumption, and supporting sustainable urban development. This research aims to study the problems and assess the walkability within Hua Sai Subdistrict Municipality, Nakhon Si Thammarat Province, using the Walkability Index (WI) as the main tool, along with a mixed-methods research methodology, consisting of a questionnaire survey of 400 residents, in-depth interviews with local officials, and field surveys. The evaluation results showed that the average WI index score was 71.18, which is in the "Good" level. The factors that most affect walkability are the maintenance and cleanliness of sidewalks, the availability of crosswalks, and safety from crime. However, there are still limitations regarding facilities for the disabled, the safety of crossing the road in some areas, and drivers' behavior that is not friendly to pedestrians. This research presents guidelines for developing sidewalk infrastructure that is continuous, safe, and accessible to all groups of people, especially the vulnerable, such as the elderly and the disabled. The results of the study are important data that can be used to support local policies to promote walking in communities and achieve sustainable urban development goals.

Keywords: Walkability Index, Sidewalk Assessment, Hua Sai Subdistrict Municipality, Pedestrian Safety, Road Crossing

Please cite this article as: W. Chuayjan, S. Nikhom, E. Kanchanapen, P. Kulthong, T. Khemwong and P. Homhoul, "Assessment of Walkability and Walking Potential in Hua Sai Subdistrict Municipality for Urban Environment Development," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 2, pp. 41-55, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

การเดินเป็นพฤติกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนทั่วโลก ไม่เพียงแต่เป็นวิธีการเดินทางที่สะดวกและเข้าถึงได้ง่าย แต่ยังมีผลกระทบเชิงบวกต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และสังคม การส่งเสริมให้ประชาชนใช้การเดินเป็นวิธีการเดินทางหลักสามารถช่วยลดการพึ่งพายานพาหนะ ลดมลพิษทางอากาศ และเพิ่มกิจกรรมทางกายที่จำเป็นต่อสุขภาพ [1-2] นอกจากนี้ เมืองที่มีสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเดินจะช่วยสร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้คนและส่งเสริมเศรษฐกิจท้องถิ่นผ่านการกระตุ้นกิจกรรมทางธุรกิจ เช่น ร้านค้าและตลาดริมทางเดิน [3-4]

แนวคิดเกี่ยวกับ "ความสามารถในการเดิน" (Walkability) ได้รับความสนใจมากขึ้นในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา โดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเมืองให้เป็นมิตรกับคนเดิน ซึ่งหมายถึงการออกแบบและบริหารจัดการพื้นที่เมืองให้ประชาชนสามารถเดินเท้าได้สะดวก ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ [5-6] ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการเดิน ได้แก่ โครงสร้างพื้นฐานของทางเท้า ความต่อเนื่องของโครงข่ายการเดิน ความปลอดภัยในการข้ามถนน และสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น ไฟส่องสว่างและพื้นที่พักผ่อน [7-8]

สำหรับประเทศไทย เมืองส่วนใหญ่ยังขาดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่สามารถรองรับการเดินที่มีประสิทธิภาพ ปัญหาหลักที่พบ ได้แก่ การขาดทางเท้าที่มีคุณภาพ การไม่มีสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ และพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ไม่ให้ความสำคัญกับคนเดินถนน [9] ดังนั้น การศึกษาความสามารถในการเดินในแต่ละพื้นที่จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อนำข้อมูลไปพัฒนาเมืองให้เหมาะสมกับการใช้ชีวิตของประชาชน

เทศบาลตำบลหัวไทร อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นพื้นที่เมืองขนาดกลางที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินหลากหลาย ทั้งเขตชุมชน ศูนย์ราชการ โรงเรียน ตลาด และถนนสายหลัก จึงเป็นพื้นที่ที่มีการสัญจรของคนเดินเท้าจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม โครงสร้างพื้นฐานทางเท้าในหลายจุดยังขาดความต่อเนื่อง ขาดความปลอดภัย และไม่เหมาะสมกับการใช้งานของกลุ่มผู้เปราะบาง เช่น ผู้พิการและผู้สูงอายุ การเลือกพื้นที่นี้จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อประเมินและเสนอแนะแนวทางการพัฒนาโครงข่ายทางเดินให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

แม้ว่าจะมีงานวิจัยหลายฉบับที่ศึกษาความสามารถในการเดินในเขตเมืองใหญ่ เช่น กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ หรือขอนแก่น แต่ยังขาดงานวิจัยที่มุ่งเน้นการประเมิน Walkability ในเมืองขนาดกลางและเมืองชนบทที่มีลักษณะพื้นที่แบบผสมผสานเช่น ตำบลหัวไทร ซึ่งถือเป็นช่องว่างสำคัญขององค์ความรู้ในบริบทของการวางแผนพัฒนาเมืองไทยในระดับท้องถิ่น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาปัญหาและอุปสรรคบนโครงข่ายทางเท้าภายในพื้นที่เทศบาลตำบลหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช (2) ประเมินความสามารถของการเดินโดยประยุกต์ใช้ค่าดัชนี Walkability Index (WI) และ (3) นำเสนอแนวทางในการพัฒนาโครงข่ายทางเท้าเพื่อส่งเสริมการเดินในระดับท้องถิ่น ให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะสามารถตอบโจทย์

บทความวิจัย (Research Article)

ด้านการวางแผนโครงสร้างพื้นฐานที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ตามเป้าหมายขององค์การสหประชาชาติ [10]

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ใช้ระเบียบวิธีการวิจัยแบบผสม (Mixed-Methods Research) ซึ่งประกอบด้วยการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

2.1 การกำหนดขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการประเมินความสามารถในการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเลือกพื้นที่สำรวจที่เป็นย่านศูนย์กลางเศรษฐกิจ พื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่น และพื้นที่ที่มีสถานที่สำคัญ เช่น โรงเรียน ตลาด และหน่วยงานราชการ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสัญจรของคนเดินเท้ามากที่สุด

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) การสำรวจภาคสนาม

การเก็บข้อมูลภาคสนามดำเนินการโดยใช้แบบประเมินความสามารถในการเดิน (Walkability Audit) ซึ่งประกอบด้วยเกณฑ์การประเมิน เช่น:

- ความกว้างและสภาพของทางเท้า
- ความต่อเนื่องของทางเดิน
- สิ่งกีดขวางและความสะอาดของทางเท้า
- ความปลอดภัยของการข้ามถนน
- สิ่งอำนวยความสะดวก เช่น ไฟส่องสว่าง ม้านั่ง และทางลาดสำหรับผู้พิการ

2) การสังเกตพฤติกรรมการเดินเท้า

การสังเกตพฤติกรรมของผู้เดินเท้าถูกดำเนินการในช่วงเวลาเร่งด่วน (07.00 - 09.00 น. และ 16.00 - 18.00 น.) โดยมุ่งเน้นพฤติกรรมการเดินของประชาชน การข้ามถนน และปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเดินเท้า

3) การสัมภาษณ์และแบบสอบถาม

ทำการสัมภาษณ์เชิงลึกกับเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น เทศบาลและตำรวจจราจร รวมถึงการแจกแบบสอบถามให้กับประชาชนจำนวน 400 คน เพื่อประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับความสามารถในการเดิน ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงข่ายทางเดิน

2.3 การคำนวณค่าดัชนีความสามารถในการเดิน (Walkability Index - WI)

การประเมินความสามารถในการเดิน (Walkability Index: WI) เป็นการวัดคุณภาพของสภาพแวดล้อมในพื้นที่เมืองที่เอื้อต่อการเดินเท้า โดยมีเป้าหมายเพื่อสะท้อนความสะดวก ความปลอดภัย และความน่าใช้ของโครงสร้างพื้นฐานสำหรับคนเดิน ตัวแปรที่นำมาประเมินนั้นมักได้รับการพัฒนาและประยุกต์จากงานของ Holly Virginia Krambeck [11] และ James Leather et al. [12] โดยในกรณีศึกษาเขตเมืองในเอเชีย เช่น อินเดีย อินโดนีเซีย

บทความวิจัย (Research Article)

และไทย ได้มีการเลือกตัวแปร 9 ตัวหลักที่มีผลต่อประสบการณ์ของผู้เดินเท้า ดังนี้

1) สิ่งกีดขวางบนทางเท้า (Obstacles) สิ่งกีดขวางถาวรหรือชั่วคราว เช่น แผงลอย เสาไฟ ต้นไม้บนทางเท้า เป็นอุปสรรคที่ลดความสามารถในการเดิน โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนไหว [13]

2) ความต่อเนื่องของโครงข่ายทางเท้า (Sidewalk Continuity) ความต่อเนื่องของทางเท้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเดิน โดยทางเท้าที่ขาดช่วงหรือมีสิ่งกีดขวางจะลดความสามารถในการเดินอย่างราบรื่นและปลอดภัย [5], [14]

3) สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ (Accessibility for People with Disabilities): การมีทางลาด ราวจับ หรือพื้นต่างระดับที่เหมาะสมจะช่วยให้คนพิการและผู้สูงอายุสามารถใช้โครงสร้างพื้นฐานได้อย่างเท่าเทียม [15]

4) การเข้าถึงสิ่งอำนวยความสะดวก องค์ประกอบต่าง ๆ เช่น ไฟส่องสว่าง ม้านั่งพัก จุดพักคอย หรือพื้นที่สีเขียวช่วยเพิ่มความสะดวกสบายในการเดิน และยังส่งเสริมให้ผู้สูงอายุหรือผู้ใช้ทางเท้าอื่น ๆ เดินได้มากขึ้น

5) ความสะอาดและการบำรุงรักษาทางเท้า (Sidewalk Maintenance & Cleanliness) พื้นผิวที่ไม่เรียบ มีสิ่งสกปรก หรือขยะตกค้าง ส่งผลให้ประชาชนรู้สึกไม่ปลอดภัยและหลีกเลี่ยงการเดิน งานวิจัยของ Kelli L. Cain et al. [16] ยืนยันว่าความสะอาดและการบำรุงรักษาที่เหมาะสมช่วยเพิ่มความรู้สึกปลอดภัยในการเดิน

6) ความสะดวกในการข้ามถนน การมีทางข้ามที่ปลอดภัยและเพียงพอช่วยลดอุบัติเหตุและส่งเสริมการเดินอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยของ Anne C. Lusk et al. [17] พบว่าพื้นที่ที่มีทางข้ามพร้อมสัญญาณไฟและเครื่องหมายชัดเจนมีแนวโน้มให้ประชาชนเลือกใช้การเดินมากขึ้น

7) การข้ามถนนอย่างปลอดภัย ส่งผลต่อความสามารถในการข้ามถนน เช่น เวลารอสัญญาณไฟ ระยะการข้าม และการมีผู้ควบคุมจราจร ส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการเดินเท้า โดยงานวิจัยของ Robert J Schneider et al. [18] พบว่าการข้ามถนนที่ออกแบบอย่างเหมาะสมช่วยลดอุบัติเหตุและเพิ่มความรู้สึกปลอดภัย

8) พฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ส่งผลต่อความปลอดภัยของคนเดิน (Driver Behavior) ผู้ขับขี่ที่ไม่หยุดให้ทางหรือขับรถด้วยความเร็วสูงในพื้นที่ที่มีคนเดินเท้าเป็นปัจจัยลบต่อความสามารถในการเดิน งานวิจัยโดย Holly Virginia Krambeck [11] ระบุว่าเมืองที่มีการบังคับใช้กฎหมายจราจรอย่างเข้มงวดจะมีค่าดัชนีความสามารถในการเดินสูงกว่าค่าเฉลี่ย

9) ความปลอดภัยจากอาชญากรรม (Perceived Safety from Crime) ความรู้สึกปลอดภัยจากอาชญากรรม เช่น การมีไฟส่องสว่างเพียงพอ การเฝ้าระวังจากชุมชน และการมีเจ้าหน้าที่รัฐ เป็นตัวแปรเชิงจิตวิทยาที่ส่งผลต่อความมั่นใจในการเดิน โดยงานวิจัยของ Sarah Foster et al. [19] พบว่าพื้นที่ที่

ประชาชนรู้สึกปลอดภัยจะมีอัตราการเดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ค่าดัชนี WI ถูกคำนวณโดยใช้สูตรเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเพื่อสะท้อนความสำคัญของแต่ละปัจจัย โดยคะแนนรวมจะอยู่ระหว่าง 0-100 คะแนน ซึ่งแบ่งระดับเป็น 5 ระดับ ได้แก่ แย่มาก (0-20) แย่ (21-40) ปานกลาง (41-60) ดี (61-80) และดีมาก (81-100)

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ระดับหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์เชิงพรรณนา การวิเคราะห์เปรียบเทียบ และการวิเคราะห์เชิงสหสัมพันธ์ เพื่อให้สามารถตอบวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้อย่างครบถ้วน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การเลือกกลุ่มตัวอย่างและการคำนวณขนาดตัวอย่าง: กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้คือประชาชนที่อยู่อาศัยหรือมีพฤติกรรมการเดินภายในพื้นที่เทศบาลตำบลหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งคัดเลือกโดยใช้วิธีการสุ่มแบบมีโควตา (Quota Sampling) เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินแตกต่างกัน ได้แก่ พื้นที่ชุมชนหนาแน่น พื้นที่ย่านพาณิชย์ และพื้นที่ใกล้หน่วยงานราชการ ทั้งนี้เพื่อสะท้อนพฤติกรรมของผู้เดินที่หลากหลายในบริบทที่แตกต่างกัน ขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้คำนวณโดยใช้สูตรของ Taro Yamane [20] สำหรับประชากรที่มีจำนวนจำกัด โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (ค่าความคลาดเคลื่อน 5%) จากการประมาณจำนวนประชากรในเขตเทศบาลตำบลหัวไทรประมาณ 10,000 คน ได้ขนาดตัวอย่างขั้นต่ำที่ควรใช้เท่ากับ 370 คน และเพื่อป้องกันการสูญเสียข้อมูล กลุ่มวิจัยจึงเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน

2) การวิเคราะห์เชิงพรรณนา: ใช้สถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง อาทิ เพศ อายุ อาชีพ ยานพาหนะที่ใช้ประจำ และข้อมูลพฤติกรรมการเดิน รวมถึงการแจกแจงคะแนนของตัวแปรแต่ละด้านที่ใช้ในการประเมินความสามารถของการเดิน (Walkability Index)

3) การวิเคราะห์เปรียบเทียบ: การวิเคราะห์เปรียบเทียบใช้สถิติแบบ T-Test สำหรับกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม (Independent Samples T-Test) เพื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความสามารถในการเดิน (WI) ระหว่างพื้นที่สองประเภท ได้แก่ พื้นที่ใจกลางเทศบาล (เช่น เขตตลาดและศูนย์ราชการ) และ พื้นที่รอบนอกของเทศบาล (เช่น เขตพักอาศัยหรือพื้นที่เกษตรกรรม)

4) การวิเคราะห์เชิงสหสัมพันธ์: ใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson’s Correlation Coefficient) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี WI กับปัจจัยอื่น เช่น ความหนาแน่นของประชากร ปริมาณการเดินเท้า และจำนวนสิ่งอำนวยความสะดวกในพื้นที่ เพื่อให้เห็นแนวโน้มของปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเดิน

ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการวิจัยนี้จะช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถออกแบบและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่เอื้อต่อการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาความสามารถในการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าค่าดัชนีความสามารถในการเดิน (Walkability Index - WI) โดยรวมอยู่ที่ 71.18 คะแนน ซึ่งจัดอยู่ในระดับ "ดี" ตามเกณฑ์มาตรฐานสากล โดยสามารถสรุปผลการศึกษาได้เป็น 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการเดิน ปัจจัยที่ต้องปรับปรุง และการกระจายตัวของค่าดัชนี WI ในพื้นที่ศึกษา

3.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเดินมากที่สุด

จากการวิเคราะห์พบว่ามีปัจจัยหลักที่ช่วยส่งเสริมความสามารถในการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทร ได้แก่:

1) การบำรุงรักษาและความสะอาดของทางเท้า (90.65 คะแนน): ทางเท้าในพื้นที่ศึกษามีการดูแลรักษาและทำความสะอาดที่ดี ทำให้ผู้ใช้ทางเท้ารู้สึกสะดวกสบายและปลอดภัยจากสิ่งสกปรกหรืออุปสรรคที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุ

2) ความสะดวกในการข้ามถนน (86.21 คะแนน): ทางข้ามถนนมีความชัดเจนและมีการจัดทำเครื่องหมายทางข้ามที่เหมาะสม

3) ความปลอดภัยจากอาชญากรรม (84.52 คะแนน): พบว่ามีมาตรการรักษาความปลอดภัยในพื้นที่ เช่น ไฟส่องสว่างและการเฝ้าระวังที่เหมาะสม

3.2 ปัจจัยที่ต้องได้รับการปรับปรุง

แม้ว่าผลการศึกษาจะพบว่าค่าดัชนี WI อยู่ในระดับดี แต่ยังมีจุดที่ต้องปรับปรุง ได้แก่

1) สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ (50.97 คะแนน): พบว่าทางเท้าหลายจุดขาดสิ่งอำนวยความสะดวกที่จำเป็นสำหรับผู้พิการ เช่น ทางลาด และราวจับ

2) พฤติกรรมของผู้ขับขี่ (59.35 คะแนน): การขับขี่ของผู้ใช้ถนนยังไม่คำนึงถึงความปลอดภัยของคนเดิน เช่น ไม่หยุดให้คนข้ามถนนในทางข้ามที่กำหนด

3) การข้ามถนนอย่างปลอดภัย (65.59 คะแนน): พบว่าบางพื้นที่ยังขาดสัญญาณไฟจราจรสำหรับคนเดิน และการกำกับดูแลการข้ามถนนยังไม่ทั่วถึง

3.3 การกระจายตัวของความสามารถในการเดินในพื้นที่ศึกษา

1) พื้นที่ใจกลางเทศบาลมีค่าดัชนี WI สูงกว่าพื้นที่รอบนอก เนื่องจากมีโครงสร้างพื้นฐานที่พร้อมกว่า เช่น ทางเท้าที่กว้างขึ้น ทางข้ามถนนที่ปลอดภัยกว่า และสิ่งอำนวยความสะดวกที่ครบครัน

2) พื้นที่รอบนอกเทศบาลมีค่าดัชนี WI ต่ำกว่า โดยเฉพาะบริเวณที่มีถนนขนาดใหญ่และไม่มีทางข้ามที่เพียงพอ ทำให้การเดินข้ามถนนมีความเสี่ยงสูง

3) ปัจจัยด้านความหนาแน่นของประชากรและประเภทของการใช้ที่ดินส่งผลต่อการเดิน เช่น พื้นที่ที่มีร้านค้าและสถานที่ราชการหนาแน่น มีแนวโน้มที่จะมีค่าดัชนี WI สูงกว่าพื้นที่ที่เป็นที่อยู่อาศัยหรือพื้นที่เกษตรกรรม

บทความวิจัย (Research Article)

3.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการศึกษาความสามารถในการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้แบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 ส่วนตามกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ผลการวิเคราะห์เชิงพรรณนา ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ และผลการวิเคราะห์เชิงสหสัมพันธ์ ดังนี้

1) การวิเคราะห์เชิงพรรณนา จากการวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 20 – 45 ปี อาชีพหลัก ได้แก่ พ่อค้าแม่ค้า ข้าราชการ และนักเรียน/นักศึกษา โดยมีการเดินเท้าเป็นประจำในช่วงเช้าและเย็น จุดหมายปลายทางหลัก ได้แก่ ตลาด โรงเรียน และสถานที่ราชการ โดยคะแนนเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรหลักที่ใช้ในการประเมิน พร้อมการแปลผลเบื้องต้น เพื่อให้เห็นภาพรวมของสภาพแวดล้อมทางเท้าในพื้นที่ศึกษาอย่างเป็นระบบ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คะแนนเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยและการแปรผลเบื้องต้น

ปัจจัย	คะแนนเฉลี่ย (เต็ม 100)	การแปรผลเบื้องต้น
สิ่งกีดขวางบนทางเท้า	68.12	มีสิ่งกีดขวาง เช่น เสาไฟหรือแผงลอยในบางจุดที่ส่งผลต่อการเดิน
ความต่อเนื่องของโครงข่ายทางเท้า	78.34	ทางเท้ามีความต่อเนื่องในหลายช่วงถนน แม้จะมีบางจุดยังขาดความสมบูรณ์

ตารางที่ 1 คะแนนเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยและการแปรผลเบื้องต้น (ต่อ)

ปัจจัย	คะแนนเฉลี่ย (เต็ม 100)	การแปรผลเบื้องต้น
สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ	50.97	ยังขาดสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ เช่น ทางลาดหรือราวจับ
การเข้าถึงสิ่งอำนวยความสะดวก	72.48	มีสิ่งอำนวยความสะดวกพื้นฐาน เช่น ไฟส่องสว่างหรือม้านั่งบางจุด
ความสะอาดและการบำรุงรักษาทางเท้า	90.65	อยู่ในระดับดีมาก แสดงว่าทางเท้ามีความสะอาดและได้รับการดูแลอย่างดี
ความสะดวกในการข้ามถนน	86.21	มีการจัดทำทางข้ามที่ชัดเจนและเอื้อต่อการเดิน
การข้ามถนนอย่างปลอดภัย	65.59	ผู้ใช้ยังไม่รู้สึกปลอดภัยเพียงพอในการข้ามถนน โดยเฉพาะช่วงไม่มีไฟจราจร
พฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ส่งผลต่อความปลอดภัยของคนเดิน	59.35	พฤติกรรมผู้ขับขี่ไม่เป็นมิตรกับคนเดิน เช่น ไม่หยุดให้ทาง
ความปลอดภัยจากอาชญากรรม	84.52	พื้นที่มีการเฝ้าระวังและจัดการความปลอดภัยอย่างเหมาะสม

2) การวิเคราะห์เปรียบเทียบ การเปรียบเทียบค่าดัชนี WI ระหว่างพื้นที่ใจกลางเทศบาลกับพื้นที่รอบนอก โดยใช้สถิติ T-Test สำหรับกลุ่มตัวอย่างอิสระ พบว่า พื้นที่ใจกลางเทศบาลมีค่า WI เฉลี่ยเท่ากับ 74.02 คะแนน และพื้นที่รอบนอกมีค่า WI เฉลี่ยเท่ากับ 66.45 คะแนน โดยผลการทดสอบ T-Test พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าพื้นที่ใจกลางเทศบาลมีโครงสร้างพื้นฐานด้านการเดินที่ดีกว่าพื้นที่รอบนอกอย่างชัดเจน

3) การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี WI กับปัจจัยด้านกายภาพของพื้นที่ พบว่า ความหนาแน่นของประชากรมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า WI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.72$, $p < 0.01$) และ ปริมาณการเดินเท้าในพื้นที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า WI ($r = 0.68$, $p < 0.01$) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่มีคนเดินจำนวนมากและมีประชากรหนาแน่น มักจะได้รับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการเดินในระดับที่ดีกว่า

โดยสรุป ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า เทศบาลตำบลหัวไทรมีความสามารถในการเดินในระดับที่ “ดี” แต่ยังมีข้อจำกัดในบางพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่รอบนอกที่ยังขาดโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสม ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เพื่อกำหนดแนวทางพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการเดินให้มีความครอบคลุมและปลอดภัยมากขึ้น โดยเฉพาะการเพิ่มสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการและปรับปรุงทางข้ามถนนให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น

4. การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาที่พบว่าค่าดัชนีความสามารถในการเดิน (Walkability Index: WI) ของพื้นที่อยู่ที่ระดับ 71.18 คะแนน (ระดับ “ดี”) มีความหมายเชิงลึกที่สามารถเชื่อมโยงกับคุณภาพชีวิตของประชาชนในหลายมิติ ดังนี้

1) มิติด้านสุขภาพ (Physical and Mental Health) การที่ประชาชนสามารถเดินได้อย่างสะดวก ปลอดภัย และน่าเดิน ส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มกิจกรรมทางกายในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการลดความเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจ อีกทั้งยังส่งเสริมสุขภาพจิตผ่านการเดินเล่นในพื้นที่ปลอดภัย โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุและเด็ก โดยในพื้นที่ที่มีคะแนนสูงด้าน “ความต่อเนื่องของทางเท้า” และ “สิ่งอำนวยความสะดวกทั่วไป” จะเห็นพฤติกรรมการใช้พื้นที่สาธารณะของประชาชนเพิ่มขึ้น เช่น เดินออกกำลังกาย หรือเดินเล่นในช่วงเย็น ขณะที่พื้นที่ที่ยังขาด “ทางลาด” หรือสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ ส่งผลให้กลุ่มเปราะบางรู้สึกถูกกีดกันจากการเข้าถึงพื้นที่สาธารณะ ซึ่งลดคุณภาพชีวิตและความเท่าเทียมในการใช้เมือง

2) มิติด้านความปลอดภัยและความมั่นคง ความปลอดภัยเป็นองค์ประกอบสำคัญที่กำหนดความเต็มใจของประชาชนในการเดิน หากพื้นที่มีการจัดการแสงสว่างที่เพียงพอ และไม่มีอาชญากรรม จะช่วยให้ประชาชนรู้สึกมั่นใจมากขึ้นในการออกมาใช้พื้นที่แม้ในช่วงกลางคืน ซึ่งส่งเสริมให้เกิด “เมืองปลอดภัย” ที่เอื้อต่อการดำเนินชีวิตอย่างต่อเนื่อง โดยคะแนนที่สูงในตัวแปร “ความปลอดภัยจากอาชญากรรม” แสดง

ให้เห็นถึงศักยภาพของพื้นที่ในการส่งเสริมการเฝ้าระวังของชุมชน และความไว้วางใจต่อระบบความปลอดภัยของรัฐ ในทางกลับกัน คะแนนที่ยังต่ำในด้าน “พฤติกรรมของผู้ขับขี่” แสดงถึงความเสี่ยงที่ยังคงมีต่ออุบัติเหตุบนถนน โดยเฉพาะการไม่หยุดให้คนข้าม ซึ่งส่งผลต่อความเครียดของผู้เดินเท้า และอาจลดพฤติกรรมการเลือกเดิน

3) มิติด้านเศรษฐกิจท้องถิ่น เมืองที่มีความสามารถในการเดินสูงจะส่งเสริมกิจกรรมเศรษฐกิจระดับฐานราก เช่น ตลาด ร้านค้า และกิจการรายย่อยที่ตั้งอยู่ริมทางเดิน เนื่องจากการเดินสามารถเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงของลูกค้าและกระตุ้นการใช้จ่ายในพื้นที่ และจากการสังเกตภาคสนามในพื้นที่ใจกลางเทศบาล พบว่าบริเวณที่มีทางเท้าคุณภาพดี มี “การจอดเดินซื้อของ” และการใช้ทางเท้าสูงกว่าพื้นที่รอบนอกอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งความเชื่อมโยงระหว่าง “Walkability” และ “Vibrant Economy” จึงชัดเจน โดยเมืองที่เดินได้สะดวกย่อมกระตุ้นพฤติกรรมการใช้จ่ายแบบ “เดินผ่านแล้วซื้อ” ได้มากขึ้น

4) มิติด้านความเท่าเทียมและการเข้าถึง (Accessibility & Social Inclusion) ค่าดัชนี WI ที่ดีควรส่งผลให้ทุกคนในพื้นที่สามารถเข้าถึงบริการพื้นฐานอย่างเท่าเทียม ไม่ว่าจะเป็นเด็ก ผู้สูงอายุ หรือผู้พิการ อย่างไรก็ตาม คะแนนต่ำในตัวแปร “สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ” บ่งชี้ถึงช่องว่างในมิติของการออกแบบเพื่อทุกคน (Universal Design) โดยพื้นที่ที่ไม่มีทางลาดหรือราวจับส่งผลให้กลุ่มผู้สูงอายุหลีกเลี่ยงการเดินทางโดยลำพัง ซึ่งมีผลกระทบต่ออิสรภาพและสุขภาวะทางจิตใจ ซึ่งในระยะยาว เมืองที่ไม่ออกแบบทางเท้าอย่างครอบคลุมอาจก่อให้เกิดภาวะ “แบ่งแยกทางสังคมโดยโครงสร้าง (Structural Exclusion)” ได้

ทั้งนี้แม้ว่าความสามารถในการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทรมีระดับที่ดี แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการที่จำเป็นต้องได้รับการพัฒนา ในการอภิปรายผลนี้จะพิจารณาเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า วิเคราะห์ปัจจัยที่ต้องการการพัฒนาเพิ่มเติม และพิจารณาผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตและการพัฒนาเมือง

4.1 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า

ค่าดัชนี WI ที่ได้จากการศึกษานี้ใกล้เคียงกับค่าดัชนีที่ได้จากการศึกษาของ Holly Virginia Krambeck [11] ซึ่งพบว่าพื้นที่เมืองที่มีโครงสร้างพื้นฐานทางเท้าที่ดีจะมีค่าดัชนี WI สูงกว่า 70 คะแนน อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Eva Leslie et al. [8] ชี้ให้เห็นว่าพื้นที่เมืองที่มีการพัฒนาโครงข่ายคนเดินอย่างสมบูรณ์จะมีค่าดัชนีสูงกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษานี้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายังมีโอกาสในการพัฒนาเพิ่มเติม

4.2 ปัจจัยที่ต้องการการพัฒนาเพิ่มเติม

แม้ว่าค่าดัชนี WI ในพื้นที่ศึกษาจะอยู่ในระดับดี แต่ยังมีข้อจำกัดที่สำคัญบางประการที่ต้องได้รับการพัฒนา ได้แก่:

1) ความปลอดภัยของการข้ามถนน: การศึกษาพบว่าปัญหาการข้ามถนนเป็นอุปสรรคสำคัญของการเดิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ R. Ewing and R. Cervero [7] ที่ชี้ให้เห็นว่าการข้ามถนนอย่างปลอดภัยเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการเดิน

2) สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ: ผลการศึกษาพบว่ายังขาดสิ่งอำนวยความสะดวกที่เหมาะสม เช่น ทางลาด ราวจับ และไฟส่องสว่างสำหรับผู้พิการ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการเดินตามที่ T. Litman [6] ได้เสนอไว้ในงานวิจัยของเขา

3) พฤติกรรมของผู้ขับขี่: ผลการศึกษาระบุว่าพฤติกรรมของผู้ขับขี่เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความปลอดภัยของคนเดิน ซึ่งตรงกับข้อค้นพบของ W. E. Marshall and N. W. Garrick [21] ที่ระบุว่าเมืองที่มีวินัยจราจรดีมักมีค่าดัชนี WI สูงกว่าพื้นที่ที่ไม่มีการบังคับใช้กฎหมายที่มีประสิทธิภาพ

4.3 ผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตและการพัฒนาเมือง

การพัฒนาโครงข่ายทางเท้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจะช่วยเพิ่มการเข้าถึงพื้นที่สาธารณะ เช่น ตลาด โรงเรียน และสถานที่ราชการ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนโดยตรง การศึกษาของ M. A. Alfonzo [13] และ A. Forsyth and M. Southworth [14] ระบุว่าพื้นที่ที่เอื้อต่อการเดินสามารถกระตุ้นให้ประชาชนมีพฤติกรรมเดินมากขึ้น ส่งผลดีต่อสุขภาพและลดภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการเดินทาง นอกจากนี้ พื้นที่ที่มีค่าดัชนี WI สูงจะช่วยลดการใช้ยานพาหนะ ลดมลพิษทางอากาศ และส่งเสริมให้ประชาชนมีสุขภาพที่ดีขึ้นตามแนวคิดของ United Nations [10] เกี่ยวกับการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน

4.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

1) การศึกษานี้ดำเนินการในช่วงเวลาจำกัดและครอบคลุมเฉพาะพื้นที่เทศบาลตำบลหัวไทร ดังนั้นผลการศึกษาอาจไม่สามารถใช้สรุปเป็นภาพรวมของพื้นที่อื่น ๆ ได้

2) ปัจจัยบางอย่าง เช่น พฤติกรรมของผู้ขับขี่ อาจมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและสถานการณ์ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อวิเคราะห์แนวโน้มของพฤติกรรมการเดินและการขับขี่

โดยสรุป การศึกษานี้พบว่าความสามารถในการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทรอยู่ในระดับดี แต่ยังมีโอกาสในการพัฒนาเพิ่มเติม โดยเฉพาะการเพิ่มความปลอดภัยของการข้ามถนน การปรับปรุงสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ และการควบคุมพฤติกรรมของผู้ขับขี่เพื่อให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเดินมากยิ่งขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสามารถในการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าค่าดัชนีความสามารถในการเดิน (Walkability Index - WI) โดยรวมอยู่ที่ 71.18 คะแนน ซึ่งจัดอยู่ในระดับ "ดี" สะท้อนให้เห็นว่าพื้นที่ดังกล่าวมีศักยภาพในการพัฒนาให้เป็นเมืองที่ส่งเสริมการเดินทางด้วยเท้า อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลการศึกษาจะชี้ให้เห็นว่าพื้นที่มีความสามารถในการเดินที่อยู่ในเกณฑ์ดี แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ต้องได้รับการแก้ไขเพื่อเพิ่มความสะดวกและความปลอดภัยให้กับผู้ใช้ทางเท้า

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าปัจจัยที่ส่งเสริมความสามารถในการเดิน ได้แก่ การบำรุงรักษาและความสะอาดของทางเท้า ซึ่งเป็นปัจจัยที่ได้รับคะแนนสูงสุด แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ทางเท้าให้ความสำคัญกับสภาพของพื้นผิวทางเดินที่ดีและปลอดภัย รองลงมา

บทความวิจัย (Research Article)

คือความพร้อมของทางข้ามถนน ซึ่งช่วยให้การเดินในพื้นที่สะดวกขึ้น นอกจากนี้ ความปลอดภัยจากอาชญากรรมเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ได้รับคะแนนสูง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผู้ใช้ทางเท้ามีความเชื่อมั่นต่อระบบรักษาความปลอดภัยในพื้นที่

ในขณะเดียวกัน ปัจจัยที่ยังคงเป็นอุปสรรคต่อการเดิน ได้แก่ สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการที่ยังขาดแคลนในหลายพื้นที่ เช่น ทางลาด ราวจับ และพื้นที่สำหรับการเดินของผู้ใช้วีลแชร์ ส่งผลให้กลุ่มผู้สูงอายุและผู้พิการประสบปัญหาในการเดินทาง นอกจากนี้ พฤติกรรมของผู้ขับขี่ เช่น การไม่ให้ทางแก่คนเดินถนน และการขับขี่บนทางเท้า เป็นอีกหนึ่งปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ทางเท้า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ชี้ให้เห็นว่าพฤติกรรมของผู้ขับขี่มีผลอย่างมากต่อประสบการณ์ของผู้เดินเท้า การข้ามถนนอย่างปลอดภัยเป็นอีกปัจจัยที่ต้องได้รับการพัฒนา โดยบางจุดยังขาดสัญญาณไฟจราจรสำหรับคนเดิน รวมถึงการออกแบบทางข้ามที่ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้ใช้ถนน ทำให้เกิดความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุ

การกระจายตัวของค่าดัชนี WI ในพื้นที่ศึกษาแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ใจกลางเทศบาลมีค่าดัชนี WI สูงกว่าพื้นที่รอบนอก เนื่องจากมีโครงสร้างพื้นฐานที่พร้อมกว่า และมีการจัดการทางข้ามถนนที่ปลอดภัยมากกว่า อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่รอบนอกของเทศบาลพบว่ามีค่าดัชนี WI ต่ำกว่า เนื่องจากขาดโครงสร้างพื้นฐานที่เอื้อต่อการเดิน เช่น ทางเดินที่ขาดความต่อเนื่อง การขาดทางข้ามที่ปลอดภัย และพื้นที่ที่มีการใช้รถยนต์เป็นหลัก

โดยสรุป ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ศึกษาแม้จะมีศักยภาพในการส่งเสริมการเดิน แต่ยังคงมีความท้าทายในหลายประเด็นที่ต้องได้รับการพัฒนา ซึ่งรวมถึงการปรับปรุงสิ่งอำนวยความสะดวกให้ครอบคลุมทุกกลุ่มผู้ใช้ การเพิ่มมาตรการความปลอดภัยของการข้ามถนน และการรณรงค์ให้เกิดพฤติกรรมการใช้ถนนที่ปลอดภัยมากขึ้น ทั้งนี้ การพัฒนาโครงข่ายทางเดินเท้าไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชน แต่ยังช่วยลดการใช้ยานพาหนะ ส่งเสริมสุขภาพ และสนับสนุนแนวทางการพัฒนาเมืองที่ยั่งยืนอีกด้วย

6. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาความสามารถในการเดินในเขตเทศบาลตำบลหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ชี้ให้เห็นถึงจุดแข็งในด้านคุณภาพโครงสร้างพื้นฐานบางส่วน แต่ยังมีจุดอ่อนในด้านพฤติกรรมการใช้ถนน การเข้าถึงของผู้พิการ และความปลอดภัยในการข้ามถนน จึงขอเสนอแนะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับโครงสร้างพื้นฐาน ระดับพฤติกรรมของผู้ใช้ทาง และ ระดับนโยบายภาครัฐ ดังนี้

6.1 ข้อเสนอแนะในระดับโครงสร้างพื้นฐาน

1) ควรปรับปรุงและพัฒนาทางเท้าให้มีความต่อเนื่องทั่วทั้งเขตเทศบาล โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่รอบนอกที่ค่าดัชนี WI ยังอยู่ในระดับต่ำ

2) ติดตั้งทางลาด ราวจับ และพื้นผิวที่ปลอดภัยในจุดยุทธศาสตร์ เช่น หน้าโรงเรียน วัด ตลาด และ

หน่วยงานราชการ เพื่อส่งเสริมการเข้าถึงของผู้พิการและผู้สูงอายุ

3) เพิ่มไฟส่องสว่างและเครื่องหมายจราจรบนทางเท้าและทางข้ามถนน เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและการมองเห็นในช่วงเวลากลางคืน

4) จัดทำ “จุดหยุดพักทางเท้า” เช่น ม้านั่ง จุดร่มเงา หรือจุดดื่มน้ำ ในระยะไม่เกิน 400 เมตรต่อช่วง เพื่อสนับสนุนการเดินต่อเนื่อง

6.2 ข้อเสนอแนะในระดับพฤติกรรมของผู้ใช้ทาง

1) จัดกิจกรรมรณรงค์ด้านความปลอดภัยทางถนน เช่น แคมเปญ “หยุดให้คนข้าม” และ “เดินปลอดภัย เมืองยั่งยืน” โดยเน้นการเปลี่ยนทัศนคติของผู้ขับขี่ให้เคารพสิทธิคนเดินเท้า

2) ส่งเสริม การศึกษาเรื่องสิทธิของคนเดินเท้าในหลักสูตรโรงเรียนท้องถิ่น เพื่อปลูกฝังพฤติกรรมที่ดีตั้งแต่วัยเยาว์

3) สร้างช่องทางให้ประชาชนร่วมสังเกตการณ์และรายงานปัญหาทางเท้าผ่านแอปพลิเคชันของเทศบาล เพื่อกระตุ้นให้เกิดความตื่นตัวและการมีส่วนร่วม

6.3 ข้อเสนอแนะในระดับนโยบายภาครัฐ

1) กำหนดให้ “ทางเท้าเป็นโครงสร้างพื้นฐานสาธารณะภาคบังคับ” ที่ทุกเทศบาลต้องบรรจุไว้ในแผนพัฒนา 5 ปี พร้อมจัดสรรงบประมาณเฉพาะกิจ (Special Fund) เพื่อปรับปรุงทางเท้าในพื้นที่เปราะบาง

2) เสนอการบูรณาการ Walkability Index เข้ากับดัชนีชี้วัดคุณภาพเมืองของกระทรวงมหาดไทย เพื่อใช้เป็นเครื่องมือกำกับนโยบายท้องถิ่นในระดับจังหวัด

3) ผลักดันให้มีการตรากฎหมาย/ระเบียบ ห้ามจอดรถหรือวางสิ่งกีดขวางทางเท้า โดยมีบทลงโทษที่บังคับใช้ได้จริง และมีกลไกเฝ้าระวังร่วมกับภาคประชาชน

4) เสนอต่อหน่วยงานระดับชาติเพื่อบรรจุ "เมืองเดินได้" เป็นนโยบายในระดับยุทธศาสตร์ชาติด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

โดยสรุป ข้อเสนอทั้งหมดนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างเมืองที่เดินได้อย่างแท้จริง (True Walkable City) โดยไม่เพียงเน้นแต่การปรับปรุงทางกายภาพ แต่ยังรวมถึงการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้ใช้ถนน และการสนับสนุนผ่านนโยบายรัฐอย่างเป็นระบบ เพื่อให้คนทุกกลุ่มสามารถใช้เมืองได้อย่างปลอดภัย เท่าเทียม และยั่งยืน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] J. Gehl, *Life Between Buildings: Using Public Space*, 6th ed. Washington, DC: Island Press, 2011.

[2] L. D. Frank, P. Engelke and T. L. Schmid, *Health and Community Design: The Impact of the Built Environment on Physical Activity*. [Online]. Available: ResearchGate, vol. 59, pp. 250–251, 2003.

[3] V. Mehta, "Walkable streets: pedestrian behavior, perceptions and attitudes," *J. Urbanism: Int. Res. Placemaking Urban Sustain.*, vol. 1, no. 3, pp. 217–245, Nov. 2008. DOI: 10.1080/17549170802529480.

[4] S. H. Rogers, et al., "Examining walkability and social capital as indicators of quality of life at the municipal and neighborhood scales," *Appl. Res. Qual. Life*, vol. 6, no. 2, pp. 201–213, Jun. 2011. DOI: 10.1007/s11482-010-9132-4.

[5] M. Southworth, "Designing the walkable city," *J. Urban Plann. Dev.*, vol. 131, no. 4, pp. 246–257, Dec. 2005. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9488(2005)131:4(246).

[6] T. Litman, *Evaluating Transportation Equity*. Victoria, Canada: Victoria Transport Policy Institute, 2017.

[7] R. Ewing and R. Cervero, "Travel and the built environment: A meta-analysis," *J. Am. Plann. Assoc.*, vol. 76, no. 3, pp. 265–294, Jun. 2010. DOI: 10.1080/01944361003766766.

[8] E. Leslie, et al., "Walkability of local communities: Using geographic information systems to objectively assess relevant environmental attributes," *Health Place*, vol. 13, no. 1, pp. 111–122, Mar. 2007. DOI: 10.1016/j.healthplace.2005.11.001.

[9] J. Pichitlamken and J. Kamphorst, "Pedestrian infrastructure and walkability in Thai cities," *Urban Stud. J.*, vol. 57, no. 2, pp. 320–337, 2020.

[10] United Nations, "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development," 2015. [Online]. Available: https://sdgs.un.org/2030agenda. [Accessed: Mar. 10, 2025].

[11] H. V. Krambeck, "The global walkability index," M.S. thesis, Dept. Urban Studies, Massachusetts Institute of Technology, 2006. [Online]. Available: https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/34409. [Accessed: Mar. 10, 2025].

[12] J. Leather, H. Fabian, G. Sudhir and A. Mejia, *Walkability and Pedestrian Facilities in Asian Cities: State and Issues*, Asian Development Bank, no. 17, 2011. [Online]. Available: https://www.adb.org/publications/walkability-and-pedestrian-facilities-asian-cities-state-and-issues. [Accessed: Sep. 13, 2023].

[13] M. A. Alfonzo, "To walk or not to walk? The hierarchy of walking needs," *Environ. Behav.*, vol. 37, no. 6, pp. 808–836, Nov. 2005. DOI: 10.1177/0013916504274016.

[14] A. Forsyth and M. Southworth, "Cities afoot—Pedestrians, walkability and urban design," *J. Urban Des.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–3, Feb. 2008. DOI: 10.1080/13574800701816896.

[15] R. Imrie, "Universalism, universal design and equitable access to the built environment," *Disabil. Rehabil.*, vol. 34, no. 10, pp. 873–882, May 2012. DOI: 10.3109/09638288.2011.624250.

[16] K. L. Cain *et al*., "Development and reliability of a streetscape observation instrument for international use: MAPS-global," *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.*, vol. 15, no. 1, p. 19, Feb. 2018. DOI: 10.1186/s12966-018-0650-z.

[17] A. C. Lusk, P. G. Furth, P. Morency, L. F. Miranda-Moreno, W. C. Willett and J. T. Dennerlein, "Risk of injury for bicycling on cycle tracks versus in the street," *Injury Prev.*, vol. 17, no. 2, pp. 131–135, Apr. 2011. DOI: 10.1136/ip.2010.028696.

[18] R. J. Schneider, R. M. Ryznar and A. J. Khattak, "An accident waiting to happen: A spatial approach to proactive pedestrian planning," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 36, no. 2, pp. 193–211, Mar. 2004. DOI: 10.1016/S0001-4575(02)00149-5.

[19] S. Foster, et al., "Safe RESIDential Environments? A longitudinal analysis of the influence of crime-related safety on walking," *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.*, vol. 13, no. 1, p. 22, Feb. 2016. DOI: 10.1186/s12966-016-0343-4.

[20] T. Yamane, *Statistics: An Introductory Analysis*, 3rd ed. New York, NY: Harper and Row, 1973.

[21] W. E. Marshall and N. W. Garrick, "Street network types and road safety: A study of 24 California cities," *Urban Des. Int.*, vol. 15, no. 3, pp. 133–147, Sep. 2010. DOI: 10.1057/udi.2009.31

[22] B. E. Saelens, J. F. Sallis and L. D. Frank, "Environmental correlates of walking and cycling: Findings from the transportation, urban design, and planning literatures," *Ann. Behav. Med.*, vol. 25, no. 2, pp. 80–91, 2003. DOI: 10.1207/S15324796ABM2502_03.

[23] E. Talen and J. Koschinsky, "The walkable neighborhood: A literature review," *Int. J. Sustain. Land Use Urban Plann.*, vol. 1, no. 1, Mar. 2013. DOI: 10.24102/ijslup.v1i1.211.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2568
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 3 No. 2 March – April 2025

บทความวิจัย (Research Article)

การพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร

อนุมาศ แสงสว่าง[1,] , ศราวุธ แดงมาก[1,*] และ วิรัลพัชร อสัมภินพงศ์[2]

[1] สาขาวิชาระบบสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[2] สาขาวิชาการตลาด คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

* ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: sravudh.d@rmutp.ac.th โทรศัพท์: 095-9151593
(รับบทความ: 12 มีนาคม 2568; แก้ไขบทความ: 5 เมษายน 2568; ตอบรับบทความ: 21 เมษายน 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพสื่อมัลติมีเดียที่พัฒนา และ 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจสื่อมัลติมีเดียที่พัฒนา รูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยเชิงปริมาณและการวิจัยเชิงคุณภาพกลุ่มตัวอย่างแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ 5 คน ใช้วิธีคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) และกลุ่มผู้ใช้งานทั่วไป จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ 1) สื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 2) แบบประเมินประสิทธิภาพสื่อมัลติมีเดีย และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจจากผู้ใช้ที่มีต่อสื่อมัลติมีเดียฯ ผลการวิจัยที่ได้ คือ หนังสือท่องเที่ยวอิเล็กทรอนิกส์ ผลการประเมินประสิทธิภาพสื่อจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.69, S.D.= 0.49) ผลการประเมินความพึงพอใจสื่อจากผู้ใช้งานทั่วไป อยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.51, S.D. = 0.47) สรุปได้ว่าสื่อมัลติมีเดียที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถเพิ่มประสบการณ์การท่องเที่ยวและส่งเสริมคุณค่าทางวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร ได้เป็นอย่างดี และสามารถนำไปเป็นตัวอย่างเพื่อปรับใช้ในการพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในด้านอื่น ๆ ต่อไป

คำสำคัญ: สื่อมัลติมีเดีย หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม

การอ้างอิงบทความ: อนุมาศ แสงสว่าง, ศราวุธ แดงมาก และ วิรัลพัชร อสัมภินพงศ์, "การพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, หน้า 56-71, 2568.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2568
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 3 No. 2 March – April 2025

บทความวิจัย (Research Article)

Multimedia Development to Promote Cultural Tourism in Phra Nakhon District, Bangkok

Anumas Sangsawang[1], Sravudh Daengmak[1,*] and Viranpatch Asampinpongs[2]

[1] Department of Information System, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
[2] Department of Marketing, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

* Corresponding Author: sravudh.d@rmutp.ac.th, Tel: 095-9151593
(Received: March 12, 2025; Revised: April 5, 2025; Accepted: April 21, 2025)

Abstract

This research aimed to 1) develop multimedia to promote cultural tourism in Phra Nakhon District, Bangkok, 2) evaluate multimedia efficiency, and 3) evaluate multimedia satisfaction in promoting cultural tourism. This research applied both quantitative and qualitative approaches. The samples were divided into two groups, that is, 5 experts selected by the purposive sampling and 30 general users. The research tools consisted of 1) promote cultural tourism in Phra Nakhon District, Bangkok, 2) evaluation form of multimedia efficiency, and 3) questionnaire on user satisfaction on multimedia in promoting cultural tourism. The results obtained multimedia to promote cultural tourism in Phra Nakhon District, Bangkok in the form of tourism e-Book. The evaluation result from the experts was at a high level ($\overline{X}$ = 4.69, S.D.= 0.49). The overall result of user satisfaction on multimedia obtained from general users was at a high level ($\overline{X}$ = 4.51, S.D. = 0.47). It could be concluded that the developed multimedia could enhance experiences in tourism and promote cultural values in Phra Nakhon District, Bangkok very well. Moreover, it could be applied as a model for multimedia development in further promoting tourism in other aspects.

Keywords: Multimedia, E-Book, Cultural Tourism

Please cite this article as: A. Sangsawang, S. Daengmak and V. Asampinpongs, "Multimedia Development to Promote Cultural Tourism in Phra Nakhon District, Bangkok," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 2, pp. 56-71, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

การท่องเที่ยวเป็นอุตสาหกรรมการบริการประเภทหนึ่งที่มีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ซึ่งในแต่ละปีสามารถสร้างรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้รายได้ของประชาชนในประเทศมีอัตราที่เพิ่มสูงขึ้น ช่วยให้เกิดการสร้างงาน สร้างอาชีพ รวมทั้งเกิดการพัฒนาและการขยายตัวของเศรษฐกิจอย่างกว้างขวาง [1] การท่องเที่ยวรูปแบบหนึ่งที่นิยมได้แก่ การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม ซึ่งเป็นการเดินทาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการท่องเที่ยว การแสวงหาประสบการณ์ใหม่ ๆ ประกอบการเรียนรู้ การสัมผัส การชื่นชมกับเอกลักษณ์ความงดงามทางวัฒนธรรม คุณค่าทางประวัติศาสตร์ วิถีชีวิต ความเป็นอยู่ของกลุ่มชนอื่น และความแตกต่างทางวัฒนธรรมของชนต่างสังคม ไม่ว่าจะเป็นในด้านของศิลปะ สถาปัตยกรรม โบราณสถาน โบราณวัตถุ เรื่องราวและคุณค่าทางประวัติศาสตร์ รูปแบบวิถีชีวิต ภาษา การแต่งกาย การบริโภค ความเชื่อ ศาสนา จารีตประเพณี เป็นต้น [2] ทั้งนี้นักท่องเที่ยวและคนในชุมชนต้องเคารพเรียนรู้ และเข้าใจวัฒนธรรมของกันและกันเพื่อให้เกิดมิตรภาพและสันติภาพระหว่างชุมชนอย่างยั่งยืน [3]

องค์ประกอบหลักของการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ องค์ประกอบทางสังคมประเพณีและวัฒนธรรม องค์ประกอบทางกายภาพและสิ่งแวดล้อม และองค์ประกอบทางธุรกิจและการพัฒนา แต่ถ้ามองในรายละเอียดองค์ประกอบทั้งหมดนั้นล้วนแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ของแหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม ซึ่งทำให้เกิดการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมที่แตกต่างกันออกไปตามทรัพยากรที่มีและตามวัตถุประสงค์ของแหล่งท่องเที่ยวนั้น ๆ โดยสามารถแยกประเภทของการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมได้ดังนี้ 1) ประเภทวัฒนธรรมและประเพณี คือการท่องเที่ยวที่มุ่งเน้นในการไปสัมผัส ชื่นชม เข้าร่วมได้รับประสบการณ์ของวัฒนธรรม ประเพณี เทศกาลที่มีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวในแต่ละพื้นที่ 2) ประเภทประวัติศาสตร์ คือการท่องเที่ยวที่มุ่งเน้นในการเรียนรู้ ศึกษาสถานที่ประวัติศาสตร์ แหล่งโบราณสถานหรือโบราณวัตถุ เพื่อการเข้าใจถึงประวัติศาสตร์ ความเป็นมาของสังคมและวัฒนธรรมของแต่ละพื้นที่ในอดีตและ 3) ประเภทชุมชน คือการท่องเที่ยวที่มุ่งเน้นการเรียนรู้วิถีชีวิตของชุมชนที่ได้เข้าไปท่องเที่ยว [4]

เขตพระนคร เป็นเขตพื้นที่อนุรักษ์เมืองเก่าและมีแหล่งท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์และวัฒนธรรม ลักษณะเขตพระนครเป็นพื้นที่เขตอนุรักษ์ที่เป็นสิ่งดึงดูดนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและต่างชาติ มีความหลากหลายของสถานที่สำคัญต่าง ๆ โดยเฉพาะแหล่งวัฒนธรรม ประวัติศาสตร์ มีสิ่งอำนวยความสะดวกมีจำนวนโรงแรม และศูนย์บริการที่สามารถอำนวยความสะดวกให้นักท่องเที่ยว นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดอนุรักษ์และส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมไทย มีความสะดวกด้านคมนาคมที่รองรับการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมและประวัติศาสตร์เชื่อมกับเขตอื่น ๆ ได้ [5]

ปัจจุบันนักท่องเที่ยวนิยมใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการเข้าถึงข้อมูลและบริการการท่องเที่ยวมากขึ้น โดยกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมได้สนับสนุนอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อรองรับแนวโน้มการใช้เทคโนโลยีระหว่างการท่องเที่ยวและนักท่องเที่ยวที่มุ่งเน้นประสบการณ์

บทความวิจัย (Research Article)

ผ่านการผลักดันโครงการต่าง ๆ เช่น การพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลเพื่อการท่องเที่ยว การเพิ่มข้อมูลเชิงลึกของแหล่งท่องเที่ยวเพื่อสร้างประสบการณ์การท่องเที่ยวที่มีคุณภาพ เพื่อยกระดับการให้บริการข้อมูลด้านการท่องเที่ยวของประเทศ การใช้สื่อและความคิดสร้างสรรค์ในการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวไทยมีความสำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน เนื่องจากประเทศไทยมีจุดแข็งด้านศิลปวัฒนธรรมที่หลากหลายและเฉพาะตัว การใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการนำเสนอเนื้อหาที่เกี่ยวกับศิลปวัฒนธรรมไทยด้วยสื่อดิจิทัลที่ทันสมัยและเข้าถึงได้ง่าย เช่น วิดีโอ อีบุ๊ก อินโฟกราฟิก เกม และสื่อสังคมออนไลน์ จะช่วยส่งเสริมให้นักท่องเที่ยวได้เห็นถึงคุณค่าและเอกลักษณ์ของวิถีความเป็นไทยในแง่มุมที่แตกต่างและน่าประทับใจ กระตุ้นให้นักท่องเที่ยวตัดสินใจเดินทางมาท่องเที่ยวประเทศไทยมากขึ้น [6]

ถึงแม้เขตพระนครจะเป็นศูนย์กลางทางวัฒนธรรม แต่การนำเสนอข้อมูลและการส่งเสริมการท่องเที่ยวยังคงเป็นรูปแบบดั้งเดิม เช่น ป้ายบรรยายหรือเอกสารแนะนำ ทำให้ความสามารถในดึงดูดนักท่องเที่ยวรุ่นใหม่ที่มีพฤติกรรมการบริโภคข้อมูลผ่านช่องทางดิจิทัลทำได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ และจากงานวิจัยของ เฌอมินทร์ และคณะ [7] ได้มีการทำวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์คู่มือการท่องเที่ยวเกาะลัดอีแท่น จังหวัดนครปฐม พบว่าหนังสืออิเล็กทรอนิกส์สามารถที่จะใช้เป็นคู่มือในเรื่องของการท่องเที่ยวในเกาะลัดอีแท่นได้เป็นอย่างดีและสร้างความสะดวกสบายให้กับนักท่องเที่ยว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนามัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร ในรูปแบบของหนังสือท่องเที่ยวอิเล็กทรอนิกส์ หรือ e-Travel Book ที่ประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้นของสถานที่ท่องเที่ยว และวิดีโอที่แสดงวิธีการท่องเที่ยวแบบสั้น โดยศึกษา ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาสื่อมัลติมีเดียที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ 1) เพื่อพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม และ 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 มัลติมีเดีย

มัลติมีเดีย เป็นการนำองค์ประกอบของสื่อชนิดต่างๆ ประกอบด้วยตัวอักษร (Text) ภาพนิ่ง (Still Image) ภาพเคลื่อนไหว (Animation) เสียง (Soun) และวีดีโอ (Video) มาผสมผสานให้เข้ากันอย่างเป็นระบบ สร้างสรรค์ผ่านกระบวนการทางระบบคอมพิวเตอร์เพื่อส่งต่อสู่ผู้ใช้และสื่อความหมายอย่างมีปฏิสัมพันธ์กัน ผู้ใช้สามารถควบคุมสื่อนั้นให้แสดงออกตามความต้องการผ่านระบบนั้น ๆ เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของการใช้งาน รูปแบบของสื่อมัลติมีเดียมีหลากหลาย ตั้งแต่รูปแบบพื้นฐานที่ผู้ใช้สามารถตอบสนองต่อสื่อที่สัมผัสได้จริง ให้ผลตอบรับทันที หรือต้องใช้เวลา [8]

2.1.2 หนังสืออิเล็กทรอนิกส์

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Book: e-Book) คือ หนังสือที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีลักษณะเป็นเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ สามารถเชื่อมโยงจุดไปยังส่วนต่าง ๆ ของหนังสือตลอดจนมีปฏิสัมพันธ์และโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ สามารถแสดงข้อมูลทั้งข้อความ ภาพ เสียง ภาพเคลื่อนไหว และอ่านได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต สมาร์ทโฟน หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ มีการแบ่งเป็นหลายประเภท คือ หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ หรือแบบตำรา (Textbooks) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบหนังสือเสียงอ่าน โดยจะมีเสียงคำอ่านเมื่อเปิดหนังสือ หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบหนังสือภาพนิ่งหรืออัลบั้มภาพ (Static Picture Books) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบหนังสือภาพเคลื่อนไหว (Moving Picture Books) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบหนังสือสื่อประสม (Multimedia) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบหนังสือสื่อหลากหลาย (Poly Media Books) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบหนังสือเชื่อมโยง (Hypermedia book) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบหนังสืออัจฉริยะ (Intelligent Electronic Books) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบสื่อหนังสือทางไกล (Tele Media Electronic Books) และหนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบหนังสือไซเบอร์สเปซ (Cyberspace Books) [9]

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ใช้เป็นเครื่องมือในการสื่อสารด้านส่งเสริมการท่องเที่ยวในลักษณะเป็นศูนย์รวมแหล่งข้อมูล เนื่องจากองค์ประกอบของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเห็นภาพต่าง ๆ ผ่านการสร้างสรรค์ด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ ทำให้เข้าใจในสถานที่ท่องเที่ยวที่ต้องการได้อย่างละเอียด ซึ่งส่งผลดีต่อการตัดสินใจเพื่อเดินทาง วางแผน และกำหนดเส้นทางท่องเที่ยว [10]

2.1.3 การท่องเที่ยวทางวัฒนธรรม

การท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมเป็นรูปแบบการท่องเที่ยวที่มุ่งเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวที่มนุษย์สร้างขึ้น เพื่อให้ได้รับความสนุกสนานเพลิดเพลินและได้รับความรู้จากการศึกษา ความเชื่อ ความเข้าใจต่อสภาพสังคมและวัฒนธรรม โดยชุมชนท้องถิ่นมีส่วนร่วมต่อการจัดการท่องเที่ยว ได้มีการจัดรูปแบบลักษณะของการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม 9 ประการ คือ 1) การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมที่ให้ความสำคัญกับประวัติศาสตร์ โบราณสถาน ศิลปวัฒนธรรมและประเพณี 2) การท่องเที่ยวในลักษณะที่มีการจัดการอย่างยั่งยืนทั้งเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม 3) การท่องเที่ยวที่ให้คงไว้ซึ่งวิถีชีวิตของท้องถิ่นในแง่สังคมและวัฒนธรรม 4) การท่องเที่ยวที่ให้ความรู้แก่ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย 5) การท่องเที่ยวที่ให้ชุมชนท้องถิ่นมีส่วนร่วมและได้รับผลประโยชน์ 6) การท่องเที่ยวที่มีการตลาดของบริการการท่องเที่ยวครบตามเกณฑ์แห่งการอนุรักษ์อย่างแท้จริง 7) การท่องเที่ยวที่ให้นักท่องเที่ยวเกิดความพึงพอใจ 8) การท่องเที่ยวที่คำนึงถึงขีดความสามารถรองรับของพื้นที่ และความสะอาดของพื้นที่ และ 9) การท่องเที่ยวที่คำนึงความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินของนักท่องเที่ยว [2,11]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พงษ์ศักดิ์ และคณะ วิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาสื่อดิจิทัลในการนำเสนอเพื่อประชาสัมพันธ์แหล่ง

บทความวิจัย (Research Article)

ท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมท้องถิ่น อำเภอเวียงเก่า จังหวัดขอนแก่น โดยมีการพัฒนาสื่อดิจิทัลฯ และประเมินประสิทธิภาพและวิเคราะห์ผลความพึงพอใจของสื่อดิจิทัลที่พัฒนา เก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเนื้อหาและพัฒนาสื่อดิจิทัล พบว่า ประสิทธิภาพสื่อดิจิทัลจากผู้เชี่ยวชาญภาพรวมอยู่ในระดับมาก ผลวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ใช้สื่อดิจิทัลอยู่ในระดับมาก โดยสื่อมีเนื้อหาที่เหมาะสมและติดต่อกับผู้ชมได้เป็นอย่างดี [6]

เฌอมินทร์ เศรษฐ์ธีราธัญ และคณะ ได้ทำการพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์คู่มือการท่องเที่ยวเกาะลัดอีแท่น จังหวัดนครปฐม โดยมีการพัฒนาและวัดประสิทธิภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์คู่มือการท่องเที่ยว เกาะลัดอีแท่น จังหวัดนครปฐม และใช้กลุ่มตัวอย่างคือ ผู้นำชุมชนและปราชญ์ชาวบ้าน รวมถึงประชาชนทั่วไป ผลการประเมินความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับพอใจมาก และเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและวิเคราะห์เนื้อหาเป็นอย่างดี ทั้งเป็นการพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (e-book) ในการท่องเที่ยวเชิงเกษตร เชิงสร้างสรรค์ เชิงวัฒนธรรม และเชิงอนุรักษ์ [7]

กนกวรรณ แก้วเกาะสะบ้า และถนอม ห่อวงศ์สกุล ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนามัลติมีเดียแบบสื่อประสมเพื่อยกระดับความสามารถในการแข่งขันและประชาสัมพันธ์ด้านการท่องเที่ยวชุมชนโซนเขา จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยมีการรวบรวมแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติและเชิงวัฒนธรรมของชุมชน และพัฒนามัลติมีเดียในรูปแบบของอินโฟกราฟิก แอนิเมชัน วิดีโอ สำหรับส่งเสริมประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวทางธรรมชาติ และเชิงวัฒนธรรมของชุมชน ผลการประเมินความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่ออินโฟกราฟิกแอนิเมชันและวิดีโอ อยู่ในระดับมาก และพบว่าระดับความสนใจด้านการท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวก่อนและหลังชมอินโฟกราฟิกแอนิเมชันและวิดีโอ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ [12]

พิบูล ไวจิตรกรรม วิจัยเรื่องการออกแบบสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดระนอง โดยมีแนวคิดในการศึกษาอัตลักษณ์จังหวัดระนองเพื่อประยุกต์ใช้กับการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจการพัฒนาที่ยั่งยืนด้วยสื่อด้านกราฟิกและมัลติมีเดีย โดยมีการออกแบบตราสัญลักษณ์ของสินค้าที่สื่อสารอัตลักษณ์ของจังหวัด ออกแบบรูปแบบสินค้าที่ระลึกที่สื่อสารอัตลักษณ์ของจังหวัด และออกแบบสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยวจังหวัดระนอง โดยมีการสำรวจพื้นที่และสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ และสอบถามกับกลุ่มเป้าหมาย [8]

อุดม จันทิมา และคณะ พัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อการท่องเที่ยววิถีพุทธในเมืองหลัก 15 จังหวัดของประเทศไทย โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวเมืองหลัก และผู้ทรงคุณวุฒิเข้าร่วมการสนทนากลุ่มเจาะจง ข้อมูลเชิงปริมาณใช้แบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่าง ผลการวิจัยที่ได้ คือ หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่แสดงสถานที่ท่องเที่ยววัดและเส้นทางปฏิบัติธรรม ที่แสดงทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ผลการวิจัยพบว่าความสนใจใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อศึกษาข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวได้ระดับคะแนนมากที่สุด จึงสรุปได้ว่าหนังสือ

บทความวิจัย (Research Article)

อิเล็กทรอนิกส์เป็นสื่อประชาสัมพันธ์ที่เป็นประโยชน์และได้รับความสนใจ ส่งผลเชิงบวกต่อความสนใจของการท่องเที่ยวเชิงพุทธและเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ส่งเสริมการท่องเที่ยววิถีพุทธในยุคปัจจุบัน [13]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร มีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 รูปแบบการวิจัย

รูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยเชิงปริมาณและการวิจัยเชิงคุณภาพ การวิจัยเชิงปริมาณเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงตัวเลข โดยใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความพึงพอใจของสื่อที่พัฒนา และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ได้ผลลัพธ์เป็น ประสิทธิภาพของสื่อและระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ การวิจัยเชิงคุณภาพ มีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับประสบการณ์ ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาสื่อมัลติมีเดีย

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.1 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

กลุ่มตัวอย่างจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน โดยการใช้วิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งเป็นบุคคลที่มีความเชี่ยวชาญด้านมัลติมีเดียและการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม ทำหน้าที่ประเมินประสิทธิภาพของสื่อที่พัฒนาขึ้น

3.2.2 กลุ่มผู้ใช้งานทั่วไป

มีการคัดเลือก กลุ่มผู้ใช้งานทั่วไป หรือกลุ่มประชากร โดยใช้หลักเกณฑ์ คือ เป็นผู้ที่มีความสนใจหรือ มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม ตลอดจน มีความสามารถในการใช้งานพื้นฐานสื่อมัลติมีเดีย 50 คน ทั้งนี้ ขนาดของกลุ่มผู้ใช้งานทั่วไป หรือ กลุ่มประชากร นำมาคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างตามสูตรของ Taro Yamane [14] ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าความคลาดเคลื่อน (e) 0.18 สูตรที่ใช้ในการคำนวณจากสมการที่ (1) ดังนี้

$$n = \frac{\mathrm{N}}{1+Ne^2} \qquad (1)$$

โดยที่

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
N = ขนาดของประชากรทั้งหมด
e = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (ระดับนัยสำคัญ)

ประชากรเป้าหมาย N มีจำนวน 50 คน คำนวณได้ดังนี้

$$n = \frac{50}{1 + 50(0.05)^2}$$

$$n = \frac{50}{1.125}$$

$$n \approx 30$$

บทความวิจัย (Research Article)

จากการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสม จึงได้ขนาด 30 คน โดยอ้างอิงจากระดับความเชื่อมั่น 95% และระดับความคลาดเคลื่อน 5% ซึ่งเป็นจำนวนที่เหมาะสมและเพียงพอสำหรับการเก็บข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้ทั่วไปในการศึกษาครั้งนี้ [15]

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

3.3.1 สื่อมัลติมีเดีย

สื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร โดยนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวที่น่าสนใจในรูปแบบของหนังสือท่องเที่ยวอิเล็กทรอนิกส์

3.3.2 แบบประเมิน

แบบประเมินประสิทธิภาพสื่อมัลติมีเดียจากผู้เชี่ยวชาญ

3.3.3 แบบสอบถามความพึงพอใจจากผู้ใช้

เกณฑ์การวัดผลใช้มาตรวัดแบบลิเคิร์ต 5 ระดับ (Likert Scale) เพื่อวัดความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยมีระดับคะแนนดังนี้ ระดับคะแนน 5 หมายถึง มากที่สุด ระดับคะแนน 4 หมายถึง มาก ระดับคะแนน 3 หมายถึง ปานกลาง ระดับคะแนน 2 หมายถึง น้อย ระดับคะแนน 1 หมายถึง น้อยที่สุด

3.4 กระบวนการพัฒนาสื่อมัลติมีเดีย

งานวิจัยนี้มีกระบวนการพัฒนาตามโมเดลวงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) ดังนี้

3.4.1 วิเคราะห์ความต้องการและกำหนดขอบเขตของการพัฒนาสื่อมัลติมีเดีย

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร รวมถึงแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ โดยมีการคัดเลือกแหล่งท่องเที่ยวที่น่าสนใจ 6 แห่งได้แก่ วัดอรุณราชวรารามราชวรมหาวิหาร วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร ศาลหลักเมืองกรุงเทพมหานคร สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม ปากคลองตลาด และเยาวราช ซึ่งการคัดเลือกแหล่งท่องเที่ยวเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาครั้งนี้ ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญทางประวัติศาสตร์และวัฒนธรรม และได้ศึกษา ค้นคว้า และตรวจสอบความเป็นไปได้ในการจัดทำเนื้อหา เช่น การเข้าถึงข้อมูลรูปภาพ หรือการสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้องที่มีความสนใจในศิลปวัฒนธรรม ซึ่งสถานที่ดังกล่าว เป็นสถานที่ที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์และสะท้อนให้เห็นถึงอัตลักษณ์ของกรุงเทพมหานคร เป็นสถานที่ที่มีชื่อเสียงและเป็นสถานที่ที่มีความเหมาะสมต่อการนำเสนอผ่านสื่อมัลติมีเดีย

3.4.2 ออกแบบเนื้อหา

กำหนดลำดับเนื้อหาและการนำเสนอข้อมูล เช่น ข้อความ รูปภาพ วิดีโอ วางโครงสร้างของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์และองค์ประกอบมัลติมีเดีย

3.4.3 พัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร

พัฒนาสื่อมัลติมีเดียฯ ในรูปแบบของหนังสือท่องเที่ยวอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งแต่ละสถานที่จะประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้นที่แสดงในรูปแบบของภาพ ข้อความ และคลิปวิดีโอสั้นที่แสดงตัวอย่างการท่องเที่ยว

3.4.4 การทดสอบสื่อมัลติมีเดีย

ทำการทดสอบสื่อมัลติมีเดียเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความถูกต้อง ทดสอบความเข้ากันได้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และคอมพิวเตอร์ ให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้สื่อมัลติมีเดียและใช้แบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลความพึงพอใจและนำไปใช้งาน โดยผ่านช่องทางประชาสัมพันธ์

3.5 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5.1 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ

ทำการรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ 5 คน ซึ่งเป็นบุคคลที่มีความเชี่ยวชาญด้านมัลติมีเดียและการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม ใช้เครื่องมือคือ แบบประเมินประสิทธิภาพสื่อ ใช้มาตรวัด Likert Scale 5 ระดับ แบ่งเป็น 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านความถูกต้องของเนื้อหา 2) ด้านการออกแบบกราฟิกและภาพถ่าย 3) ด้านคุณภาพของคลิปวิดีโอและการบรรยายข้อมูล และ 4) ด้านผลกระทบต่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม

3.5.2 รวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้

ทำการรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้จำนวน 30 คน เพื่อประเมินผลความพึงพอใจ 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านความน่าสนใจของเนื้อหา 2) ด้านการออกแบบและความสวยงาม 3) ด้านคุณภาพของคลิปวิดีโอ และการบรรยายข้อมูล และ 4) ด้านความพึงพอใจโดยรวม

3.6 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ โดยการใช้แบบประเมินประสิทธิภาพสื่อ และแบบสอบถามความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้ ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพโดยวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา และสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสื่อมัลติมีเดีย การแปลผลมีรายละเอียด ดังนี้ 4.51 – 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด 3.51 – 4.50 หมายถึง ระดับมาก 2.51 – 3.50 หมายถึง ระดับปานกลาง 1.51 – 2.50 หมายถึง ระดับน้อย 1.00 – 1.50 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด [16]

4. ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร แสดงรายละเอียดดังนี้

4.1 หนังสือท่องเที่ยวอิเล็กทรอนิกส์

แสดงแหล่งท่องเที่ยว 6 สถานที่ ประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้นที่แสดงในรูปแบบของภาพ ข้อความ และคลิปวิดีโอสั้นที่แสดงตัวอย่างการท่องเที่ยวดังรูปที่ 1 – 6 ต่อไปนี้

บทความวิจัย (Research Article)

รูปที่ 1 วัดอรุณราชวรารามราชวรมหาวิหาร

รูปที่ 4 สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม

รูปที่ 2 ศาลหลักเมือง

รูปที่ 5 ปากคลองตลาด

รูปที่ 3 วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร

รูปที่ 6 เยาวราช

บทความวิจัย (Research Article)

4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพสื่อมัลติมีเดีย

เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร จากผู้เชี่ยวชาญแสดงดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพสื่อมัลติมีเดียจากผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ด้านความถูกต้องของเนื้อหา	4.68	0.56	ดีมาก
1.1 เนื้อหามีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ	4.80	0.45	ดีมาก
1.2 เนื้อหามีความครอบคลุมในรายละเอียดของแต่ละสถานที่	4.40	0.55	ดี
1.3 มีการอ้างอิงแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ	4.60	0.89	ดีมาก
1.4 การใช้ภาษา และ การนำเสนอเนื้อหาเข้าใจง่ายและเหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย	4.80	0.45	ดีมาก
1.5 เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการส่งเสริมการท่องเที่ยว	4.80	0.45	ดีมาก
เฉลี่ย	4.68	0.56	ดีมาก
2. ด้านการออกแบบกราฟิกและภาพถ่าย	4.84	0.27	ดีมาก
2.1 การใช้สี รูปแบบ และองค์ประกอบกราฟิกมีความเหมาะสม	4.80	0.45	ดีมาก
2.2 การจัดวางองค์ประกอบบนสื่อมีความเป็นระเบียบและดึงดูดความสนใจ	4.40	0.89	ดี
2.3 ขนาดตัวอักษรและประเภทฟอนต์เหมาะสมกับการอ่าน	5.00	0.00	ดีมาก
2.4 ภาพถ่ายมีความคมชัด สวยงาม	5.00	0.00	ดีมาก
2.5 การใช้ภาพถ่ายมีคุณภาพ และสื่อสารสอดคล้องกับเนื้อหาได้เป็นอย่างดี	5.00	0.00	ดีมาก
เฉลี่ย	4.84	0.27	ดีมาก
3. ด้านคุณภาพของคลิปวิดีโอและการบรรยายข้อมูล	4.44	0.60	ดี
3.1 คลิปวิดีโอมีคุณภาพ และ ความคมชัด	4.20	0.84	ดี
3.2 การบรรยายข้อมูลมีความเหมาะสม กระชับ ชัดเจน	4.00	0.71	ดี
3.3 การเลือกเทคนิคในการจัดทำวิดีโอมีความเหมาะสม	4.80	0.45	ดีมาก
3.4 ดนตรีประกอบช่วยเสริมบรรยากาศการเรียนรู้และไม่รบกวนการรับข้อมูล	4.80	0.45	ดีมาก
3.5 ภาพรวมของคุณภาพคลิปวิดีโอ	4.40	0.55	ดี
เฉลี่ย	4.44	0.60	ดี
4. ด้านผลกระทบต่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม	4.77	0.49	ดีมาก
4.1 สามารถสร้างแรงจูงใจให้ผู้ใช้สนใจท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม	4.80	0.45	ดีมาก
4.2 เนื้อหาสามารถช่วยส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับวัฒนธรรม	4.60	0.89	ดีมาก
4.3 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือส่งเสริมการท่องเที่ยว	4.80	0.45	ดีมาก
4.4 มีศักยภาพในการเผยแพร่และขยายผลในระดับที่กว้างขึ้น	4.80	0.45	ดีมาก
4.5 มีความเป็นไปได้ในการกระตุ้นการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมได้เพิ่มขึ้น	4.80	0.45	ดีมาก
เฉลี่ย	4.77	0.52	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้าน	**4.69**	**0.49**	**ดีมาก**

บทความวิจัย (Research Article)

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการประเมินประสิทธิภาพสื่อมัลติมีเดีย จากผู้เชี่ยวชาญ ภาพรวมทั้ง 4 ด้านอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.69, S.D.= 0.49) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านตามลำดับพบว่า ด้านการออกแบบกราฟิก และ ภาพถ่าย อยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.84, S.D. = 0.27) ด้านผลกระทบต่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม อยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.77, S.D. = 0.49) ด้านความถูกต้องของเนื้อหา อยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.68, S.D. = 0.56) และ ด้านคุณภาพของวิดีโอ และ การบรรยายข้อมูล อยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ = 4.44, S.D. = 0.60) โดยภาพรวม สื่อมัลติมีเดียมีคุณภาพดีมาก และสามารถนำไปใช้ในการส่งเสริมการท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ควรพิจารณาปรับปรุงด้านคุณภาพของวิดีโอและการบรรยายข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น

4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานทั่วไป

ผลการประเมินความพึงพอใจสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร จากผู้ใช้ทั่วไป แสดงดังตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจสื่อมัลติมีเดียจากผู้ใช้ทั่วไป

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านความน่าสนใจของเนื้อหา	4.49	0.53	ดีมาก
1.1 หัวข้อของสถานที่มีความน่าสนใจ	4.53	0.45	ดีมาก
1.2 เนื้อหามีความน่าสนใจและดึงดูดให้ติดตาม	4.40	0.55	ดี
1.3 เนื้อหาช่วยให้เข้าใจเรื่องราวของวัฒนธรรมท้องถิ่นมากขึ้น	4.50	0.55	ดีมาก
1.4 มีการนำเสนอที่ไม่ซ้ำซากและมีความแปลกใหม่	4.47	0.55	ดี
1.5 ภาพรวมของความน่าสนใจของเนื้อหา	4.57	0.55	ดีมาก
เฉลี่ย	4.49	0.53	ดีมาก
2. ด้านการออกแบบและความสวยงาม	4.55	0.53	ดีมาก
2.1 การออกแบบสื่อมีความสวยงามและน่าสนใจ	4.67	0.55	ดีมาก
2.2 สีและภาพที่ใช้เหมาะสมและดึงดูดความสนใจ	4.47	0.55	ดี
2.3 ภาพถ่ายมีความละเอียดคมชัด	4.57	0.55	ดีมาก
2.4 ฟอนต์และขนาดตัวอักษรอ่านง่าย	4.50	0.45	ดีมาก
2.5 ภาพรวมของความสวยงามการออกแบบและความสวยงาม	4.53	0.55	ดีมาก
เฉลี่ย	4.55	0.53	ดีมาก
3. ด้านคุณภาพของคลิปวิดีโอ และ การบรรยายข้อมูล	4.46	0.42	ดี
3.1 คลิปวิดีโอมีความยาวที่เหมาะสมกับการรับรู้	4.37	0.00	ดี
3.2 คลิปวิดีโอมีคุณภาพดี ไม่กระตุก	4.33	0.55	ดี
3.3 การบรรยายข้อมูลมีความกระชับเหมาะสม เข้าใจง่าย	4.63	0.45	ดีมาก
3.4 ดนตรีประกอบช่วยเสริมบรรยากาศและไม่รบกวน	4.50	0.55	ดีมาก
3.5 ภาพรวมของคุณภาพของเสียงและวิดีโอ	4.47	0.55	ดี
เฉลี่ย	4.46	0.42	ดี
4. ด้านความพึงพอใจโดยรวม	4.55	0.38	ดีมาก
4.1 สถานที่ต่างๆ มีความน่าสนใจ	4.50	0.55	ดีมาก
4.2 ความเหมาะสมของสื่อสำหรับใช้ในการท่องเที่ยว	4.53	0.45	ดีมาก

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจสื่อมัลติมีเดียจากผู้ใช้ทั่วไป (ต่อ)

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
4.3 สื่อสามารถสร้างแรงจูงใจให้ต้องการท่องเที่ยวมากขึ้น	4.50	0.00	ดีมาก
4.4 ความต้องการใช้สื่อนี้สำหรับการท่องเที่ยว	4.60	0.45	ดีมาก
4.5 มีความต้องการที่จะแนะนำสื่อนี้ให้กับผู้อื่น	4.60	0.45	ดีมาก
เฉลี่ย	4.55	0.38	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้าน	**4.51**	**0.47**	**ดีมาก**

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร จากผู้ใช้งานทั่วไป ภาพรวมทั้ง 4 ด้าน อยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.51, S.D. = 0.47) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านตามลำดับพบว่า ด้านความพึงพอใจโดยรวม อยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.55, S.D. = 0.38) ด้านการออกแบบและความสวยงาม อยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.55, S.D. = 0.53) ด้านความน่าสนใจของเนื้อหา อยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.49, S.D. = 0.53) และด้านคุณภาพของคลิปวิดีโอ และ การบรรยายข้อมูล อยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ = 4.46, S.D. = 0.42) โดยรวม สื่อมัลติมีเดียได้รับความพึงพอใจจากผู้ใช้ แต่ควรพัฒนาในส่วนของวิดีโอและการบรรยายเพื่อตอบโจทย์การใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

5. อภิปรายและสรุปผล

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร โดยผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) สื่อมัลติมีเดียสามารถนำมาใช้เป็นคู่มือสำหรับการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร ได้เป็นอย่างดี โดยมีการนำเสนอที่น่าสนใจ สร้างความสะดวกให้กับนักท่องเที่ยว ทั้งยังสามารถนำไปสนับสนุนและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของประเทศไทยโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัล และสามารถนำไปปรับใช้ในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเพื่อเพิ่มศักยภาพในการดึงดูดนักท่องเที่ยว สร้างประสบการณ์การท่องเที่ยวที่ดีขึ้น ทำให้นักท่องเที่ยวเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้มีการสร้างความเข้าใจด้านวัฒนธรรม สอดคล้องกับงานวิจัยของ พงษ์ศักดิ์ และคณะ ที่ระบุว่าการพัฒนาสื่อดิจิทัลในการนำเสนอเพื่อประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมท้องถิ่น มีความเหมาะสมกับการประชาสัมพันธ์ท่องเที่ยว ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายทอดข้อมูล และทำให้ผู้ใช้เกิดความสนใจมากขึ้น [6] และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เฌอมินทร์ เศรษฐ์ธีราธัญ และคณะ ที่พบว่า การพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์คู่มือการท่องเที่ยวสามารถที่จะใช้เป็นคู่มือในเรื่องของการท่องเที่ยวเบื้องต้นได้เป็นอย่างดี สามารถสร้างความสะดวกสบายให้กับนักท่องเที่ยวสำหรับค้นหาสถานที่ท่องเที่ยว เป็นการส่งเสริมการท่องเที่ยว เพิ่มจำนวนนักท่องเที่ยว และเพิ่มรายได้ให้กับชุมชน [7] และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ อุดม จันทิมา และคณะ ที่พบว่าหนังสืออิเล็กทรอนิกส์เป็นสื่อประชาสัมพันธ์ที่

บทความวิจัย (Research Article)

เป็นประโยชน์และได้รับความสนใจ มีการนำเสนอเนื้อหา รูปภาพสถานที่และเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ส่งเสริมการท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดี [13]

2) ผลการประเมินคุณภาพสื่อมัลติมีเดียจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่าภาพรวมของสื่ออยู่ในระดับ ดีมาก โดยเฉพาะด้านการออกแบบกราฟิกและภาพถ่าย รวมถึงผลกระทบต่อการส่งเสริมการท่องเที่ยว ในขณะที่ด้านคุณภาพของวิดีโอและการบรรยายได้รับการประเมินในระดับ ดี ซึ่งอาจจะมีข้อจำกัดบางอย่างที่ควรมีการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

3) ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้ทั่วไปอยู่ในระดับ ดีมาก โดยเฉพาะด้านความพึงพอใจโดยรวม และการออกแบบความสวยงามของสื่อ ในขณะที่ด้านคุณภาพของวิดีโอและการบรรยายได้รับการประเมินในระดับดี ซึ่งอาจจะมีข้อจำกัดบางอย่างที่ควรจะมีการพัฒนาปรับปรุงเพื่อให้ผู้ใช้เกิดความพึงพอใจมากขึ้น

จากสรุปผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของสื่อมัลติมีเดีย ในด้านการออกแบบกราฟิกและภาพถ่าย รวมถึงด้านผลกระทบต่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม ได้รับคะแนนระดับดีมาก แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเนื้อหาและองค์ประกอบมัลติมีเดียสามารถนำเสนอเนื้อหาและตอบโจทย์กลุ่มเป้าหมาย ส่วนด้านคุณภาพของวิดีโอและการบรรยายสามารถที่จะพัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ เช่น การเพิ่มเนื้อหาและความคมชัดของวิดีโอ ปรับปรุงเสียงบรรยาย หรือเพิ่มการปฏิสัมพันธ์เพื่อให้ผู้ใช้มีส่วนร่วมกับสื่อ ในส่วนความพึงพอใจของผู้ใช้ที่อยู่ในระดับดีมาก สะท้อนให้เห็นว่าสื่อมัลติมีเดียมีศักยภาพและสามารถใช้เป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งเพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยว เพิ่มประสบการณ์การท่องเที่ยวและส่งเสริมคุณค่าทางวัฒนธรรมในเขตพระนครกรุงเทพมหานคร ได้เป็นอย่างดี และสามารถนำไปเป็นตัวอย่างเพื่อปรับใช้ในการพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในด้านอื่น ๆ ต่อไป

ข้อเสนอแนะควรมีการนำสื่อมัลติมีเดียเผยแพร่ผ่านช่องทางออนไลน์ เช่น เว็บไซต์ สื่อสังคมออนไลน์ หรือแอปพลิเคชันเพื่อให้เข้าถึงนักท่องเที่ยวได้มากขึ้น และควรมีการปรับปรุงคุณภาพของวิดีโอให้มีความน่าสนใจยิ่งขึ้น เพิ่มรูปแบบการปฏิสัมพันธ์ (Interactive) เช่น แผนที่เสมือนจริง หรือระบบความจริงเสริม (Augmented Reality) เพื่อเพิ่มประสบการณ์ใช้งานที่ดีให้กับผู้ใช้

จากงานวิจัยนี้ องค์ความรู้ที่ได้ค้นพบคือ สื่อมัลติมีเดียการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมจัดเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการกระตุ้นการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม เนื่องจากเป็นการเพิ่มความน่าสนใจและทำให้เข้าถึงข้อมูลด้านวัฒนธรรมได้ง่ายยิ่งขึ้น ทั้งยังช่วยให้นักท่องเที่ยวเข้าใจเรื่องราวทางวัฒนธรรมของแหล่งท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังค้นพบอีกว่าภาพกราฟิก วิดีโอที่สวยงามและการนำเสนอที่ดึงดูดมีผลต่อความสนใจและประสบการณ์ของนักท่องเที่ยว การออกแบบที่ใช้งานง่ายที่เรียกว่า User-Friendly Design มีส่วนช่วยให้ผู้ใช้รับข้อมูลได้สะดวกและช่วยกระตุ้นให้เกิดพฤติกรรมการเดินทาง สรุปได้ว่างานวิจัยนี้นำไปสู่ แนวคิดใหม่ในการใช้มัลติมีเดียเป็นเครื่องมือส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม โดยเน้นการออกแบบสื่อที่มีคุณภาพสูง เพื่อกระตุ้นความสนใจและเพิ่มประสบการณ์การท่องเที่ยวของผู้ใช้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์สาขาวิชาระบบสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้คำปรึกษาในการดำเนินการวิจัย และขอบคุณ นางสาวชิดชนก หนูหินแก้ว นางสาวสุชาดา คงสถาน นายพิชญ์พิชัย ใจคง และนางสาวศศิกัญญา วรสวัสดิ์ ที่เป็นผู้ช่วยในการดำเนินการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ยุชิตา กันหามิ่ง และ ฉัตรชัย อินทรประพันธ์, "การพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมเชิงสร้างสรรค์ ชุมชนนครไตรตรึงษ์ จังหวัดกำแพงเพชร," ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8 และนานาชาติ ครั้งที่ 1*, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, จังหวัดนครสวรรค์, 2562, หน้า 836–846.

[2] บุญเลิศ จิตตั้งวัฒนา และ เพ็ญศิริ ศรีคำภา, *การพัฒนาการท่องเที่ยวแบบยั่งยืน*, กรุงเทพฯ: บริษัทธรรมสาร จำกัด, 2557.

[3] นุชนารถ รัตนสุวงศ์ชัย, "กลยุทธ์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม," *วารสารมนุษยศาสตร์*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 1, หน้า 31–50, 2554.

[4] ชิตาวีร์ สุขคร, "การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในประเทศไทย," *วารสารเพื่อการพัฒนาการท่องเที่ยวสู่ความยั่งยืน*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 1–7, 2562.

[5] เสาวพร วรสินธพ, "การศึกษาพฤติกรรมการเดินทางในการท่องเที่ยว กรณีศึกษา: เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร," สารนิพนธ์หลักสูตรการผังเมืองบัณฑิต, สาขาวิชาการผังเมือง, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2558.

[6] พงษ์ศักดิ์ ดรพินิจ, สุวรรณี ฮามพิทักษ์ และ กชพร ท้าวกลาง, "พัฒนาสื่อดิจิทัลในการนำเสนอเพื่อประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมท้องถิ่น อำเภอเวียงเก่า จังหวัดขอนแก่น," *วารสารสหวิทยาการวิจัยและวิชาการ*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1, หน้า 823–834, 2567.

[7] เฌอมินทร์ เศรษฐ์ธีราธัญ และคณะ, "การพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์คู่มือการท่องเที่ยวเกาะลัดอีแท่น จังหวัดนครปฐม," ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 13*, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 2564, หน้า 1366–1376.

[8] พิบูล ไวจิตรกรรม, "การออกแบบสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดระนอง," *วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 1, หน้า 102–113, 2565.

[9] ขัตติยา วงค์ษาแก่นจันทร์, "การพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (e-Book) เรื่อง การใช้โปรแกรม Paint.Net สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2," วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2563.

[10] R. T. Vidyarattne and E. A. G. Sumanasiri, "Foreign missions' role in promoting international trade: Empirical evidence of Sri Lankan foreign missions promoting electronic exports in Germany," *Int. Bus. Res.*, vol. 13, no. 7, pp. 173–188, 2020.

บทความวิจัย (Research Article)

[11] ศิริรักษ์ บุญพร้อมรักษา, "รูปแบบการจัดการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมตลาดร้อยปี บ้านใหม่ จังหวัดฉะเชิงเทรา," *วารสารธุรกิจปริทัศน์*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, หน้า 79–96, 2556.

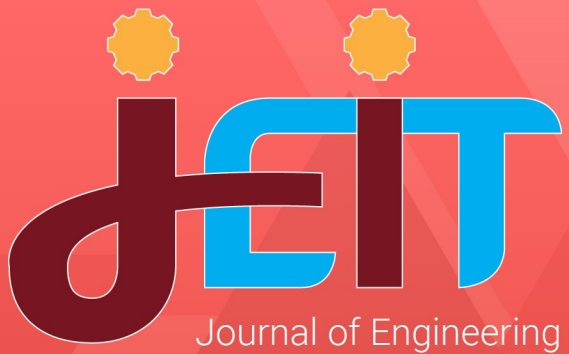
[12] กนกวรรณ แก้วเกาะสะบ้า และ ถนอม ห่อวงศ์สกุล, "การพัฒนามัลติมีเดียแบบสื่อประสมเพื่อยกระดับความสามารถในการแข่งขันและประชาสัมพันธ์ด้านการท่องเที่ยวชุมชนโซนเขา จังหวัดสุราษฎร์ธานี," *วารสารราชภัฏสุราษฎร์ธานี*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 2, หน้า 61–96, 2566.

[13] อุดม และคณะ, "การพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อการท่องเที่ยววิถีพุทธในเมืองหลัก 15 จังหวัดของประเทศไทย," *วารสาร มจร บาฬีศึกษาพุทธโฆสปริทรรศน์*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 1, หน้า 97–111, 2567.

[14] T. Yamane, *Statistics: An Introductory Analysis*, 3rd ed. New York, NY: Harper and Row, 1973.

[15] M. Mason, "Sample size and saturation in PhD studies using qualitative interviews," *Forum Qual. Soc. Res.*, vol. 11, no. 3, 2010.

[16] สิรวิชญ์ สงวนศรี, ธนกร เพ็งกระจ่าง, นวัตรกร โพธิสาร และ วินิต ยืนยิ่ง, "การพัฒนาเว็บไซต์เพื่อประชาสัมพันธ์หลักสูตรเทคโนโลยีมัลติมีเดีย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 4, หน้า 35–43, 2567.



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