

วิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
และวิศวกรรมประยุกต์
Wittayasara: Integration Apply Engineering
and Industrial Technology

ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567
Volume 17 No.2 July - December 2024

ISSN: 3027-8376 (Print)
ISSN: 3056-9559 (Online)

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
119 ถ.ลำปาง-แม่ทะ ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง 52100
โทรศัพท์ 0 5423 7352 ต่อ 1339
<http://www.itech.lpru.ac.th>

**คณะกรรมการและกองบรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี**

เจ้าของ ที่ปรึกษา	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อธิการบดี รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนางจิตกร รองศาสตราจารย์บุญชาติ เนติศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ ผากา รองศาสตราจารย์ธิดิมา คุณยศยิ่ง
บรรณาธิการผู้ก่อตั้ง บรรณาธิการ ผู้ช่วยบรรณาธิการ	

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก Peer Review)

ศ.เกียรติคุณ เสริมศักดิ์ นาคบัว	มหาวิทยาลัยศิลปากร	รศ. ยืน ภู่วรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร. ก้องกิติ พุสสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	รศ. วิชัย พงษ์ธาราธิกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร. ตรีนทศ เหล่าศิริพงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. สมชาย ชื่นวัฒนาประณีติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	รศ. สมพงษ์ บุญเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ศ.ดร. ธนารักษ์ ธีระมันคง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. สายัณห์ จันทวิรัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ศ.ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	รศ. สุวิช บุตรสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. आयวัฒน์ สว่างผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ศ.ดร. สุพล อนันตา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. จิรพัฒน์ วาณิชวัฒนาโกศล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ผศ.ดร. นิพนธ์ เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ศ.ดร. อภิรัฐ ศิริธราวัตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผศ.ดร. นิวัตร พัฒนะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รศ.ดร. กวิน สนิธิเพิ่มพูน	มหาวิทยาลัยนเรศวร	ผศ.ดร. ศศิธร คนทน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร. เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง	มหาวิทยาลัยบูรพา	ผศ.ดร. ศักดิพล เทียนเสมอ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. ชิตชัย อนันตเศรษฐ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. สมชาย มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร. ชวงโชติ พันธุเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ผศ.ดร. สุธี วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รศ.ดร. ดรณี วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	รศ.ดร. อภิชาติ แจ่มบำรุง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร. ธีรศิลป์ ทุมวิภาต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลรัตนโกสินทร์	รศ.ดร. ภูพงษ์ พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน)

รศ.ดร. นกมล อุทัยภักดี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ.ดร. กิตติศักดิ์ สมุทรารักษ์
รศ.ดร. นพมณี โทบุญญานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	ศ. จำเนียร นันทิลัก
รศ.ดร. นัฐพร ไชยญาติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	รศ.ดร. นันทะ บุตรน้อย
รศ.ดร. ปรงศักดิ์ อัมพพ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	รศ.ดร. อนิรุจน์ มะโนธรรม
รศ.ดร. พิระวุฒิ สุวรรณจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ผศ. พงษ์สวัสดิ์ อำนางจิตกร
รศ.ดร. พงศ์ หรดาล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	รศ. ธิติมา คุณยศยิ่ง
รศ.ดร. มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ	Mr. Richard Lawrence Mann

ฝ่ายสนับสนุนการดำเนินการจัดทำวารสาร

รศ.ดร. วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร	มหาวิทยาลัยพะเยา	รศ. ธิติมา คุณยศยิ่ง	ฝ่ายประสานงานทั่วไป
รศ.ดร. วิชัย แหวนเพชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	ผศ.ดร. วศินวิโรตม์ เนติศักดิ์	ฝ่ายออกแบบงานศิลป์
รศ.ดร. สรา อารณ	มหาวิทยาลัยมหิดล	นางสาว รุ่งระวี ปวงปันวงศ์	ฝ่ายการเงิน
รศ. สุมาลี อุณหวนิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ	นางสาว กมลชนก ถาแก้ว	ฝ่ายจัดเตรียมต้นฉบับ
รศ.ดร. เอกรัฐ บุญเชียง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		
รศ. นิลวัฒน์ พัฒนพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี		

วารสารวิชาการ “วารสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” ISSN: 3027-8376 (Print)/ ISSN: 3056-9559 (Online)

เป็นวารสารระดับชาติที่ทุกบทความได้รับการกลั่นกรองจากคณะกรรมการ และตรวจประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายในและภายนอก มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน

วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัย และบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กำหนดออกวารสาร : ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม

เว็บไซต์วารสาร : <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/itech>

สารจาก อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

วารสารวิชาการ “วิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” ดำเนินการโดยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ในปีที่ 17 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัย และบทความวิชาการ สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัย และวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่บูรณาการเข้ากับ วิถีภูมิปัญญาท้องถิ่นและการสร้างสรรค์ผลงานใหม่ เพื่อส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้สนใจ และการใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น และยังเป็นแหล่งแสวงหาความรู้ สร้างความรู้ และการต่อยอดองค์ความรู้ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ในโอกาสนี้ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการ ที่ร่วมกลั่นกรองและคัดสรร ผลงานที่มีคุณภาพ รวมทั้งคณะทำงานทุกท่านที่มีส่วนร่วมการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการนี้ ที่ทำให้ “วารสารวิชาการวิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง สามารถดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง และพร้อมที่จะพัฒนาวารสาร และผลิตผลงานคุณภาพเช่นนี้ต่อไป



รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ สมุทธารักษ์
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารจาก บรรณาธิการ

วารสารวิชาการ “วิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” ดำเนินการโดยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ในปีที่ 17 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการ สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัยและวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้บูรณาการเข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่นและการสร้างสรรค์ผลงานใหม่

จากผลการดำเนินการของคณะทำงานงานวารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาที่เป็นสื่อกลางในการตีพิมพ์ เผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของนักวิชาการ คณาจารย์ และนักวิจัย ในศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรมศาสตร์ จนเป็นที่รู้จักและยอมรับในวงวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ที่สนใจ และการใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น และยังเป็นแหล่งแสวงหาความรู้ สร้างความรู้ และการต่อยอดองค์ความรู้ ทำให้คณะทำงานมีกำลังใจในการพัฒนาคุณภาพวารสารวิชาการให้ดียิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง ท้ายนี้ ขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจากทุกฝ่าย ที่ทำให้วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สามารถดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง และพร้อมที่จะพัฒนาสู่วารสารที่มีคุณภาพดียิ่ง ๆ ขึ้นต่อไป



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ ผากา
บรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารบัญ

สารจากอธิการบดี

สารจากบรรณาธิการ

หน้า

การพัฒนาคุณภาพกลีบดอกกระเจี๊ยบแดงด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษา: ศูนย์เรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น, ปฐมพงศ์ พรหมมาบุญ, จักรกฤษณ์ ฮั่นยะลา, ณรงค์ เครือกันทา และวรพล คณิตปัญญาเจริญ	1
การเชื่อมต่อทางเดินเท้าด้วยโครงข่ายสีเขียว: กรณีศึกษาชุมชนเชียงของจังหวัดเชียงราย มณีนรัตน์ ภาจันทร์คู่, พงศ์ตะวัน นันทศิริ และวิบูลพร วุฒิกุล	14
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากอัตลักษณ์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย รัชนิกร กุศลานนท์, วัฒนพล อยู่สวัสดิ์, วิบูลพร วุฒิกุล, กฤษณะพันธุ์ ตันเจริญรัตน์ และรัชนี ลือดารา	28
การพัฒนากระบวนการคัดแยกภาพถ่ายระดับความรุนแรงของแผลกดทับ ด้วย YOLO และการเรียนรู้เชิงลึก ศักดิ์ชัย ศรีมากรณ์, นิชา นภาพร จงกะลิกิจ และปิยธรรณ์ เร่งเร็ว	43
การประเมินศักยภาพระบบผลิตพลังงานร่วมผสมผสานจากพลังงานขยะ และแสงอาทิตย์: กรณีศึกษา อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ศักราช ความหมั่น และนัฐพร ไชยญาติ	57
ภาคผนวก ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ	72

CONTENTS

Letters from the president

Letters from the Editors

Page

The improvement of roselle petals quality using solar greenhouse dryer: 1

A case study at the Local Herbal Learning Center, Mae Mo district, Lampang province

Pongsak Youmune, Patompong Prommaboon, Jakkit Hunyala, Narong Krueganta and Worapon Kanitpanyacharoean

Green Design for Pave Way Connection: A Case Study of Chiang Khong Community, Chiang Rai Province 14

Maneerat Pachankoo, Pongtawan Nuntasiri and Viboonporn Wutthikun

Development of Art Toy Souvenirs Based on Cultural Capital Identity in Chiang Rai Province 28

Ratchanikorn Kussalanon, Wattanapon Eusawat, Viboonporn Wutthikun, Kritsanapan Tancharoenrat and Ratchanee Luedara

Development of Severity Image Pressure Injury Classification Using YOLO and Deep Learning 43

Sakchai Srimakorn, Nicha Naphaphon Jongkasikit and Piyathorn Rengrew

Potential assessment of a hybrid multigeneration system from waste-solar energy: case study Mae Moh District, Lampang Province 57

Sakkarat Khwamman and Nattaporn Chaiyat

Appendix 72

Standard requirements for academic journals

การพัฒนาคุณภาพกลีบดอกกระเจี๊ยบแดงด้วยโรงเรือนอบแห้ง
พลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษา: ศูนย์เรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน
อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

The improvement of roselle petals quality using
solar greenhouse dryer: A case study at the Local Herbal
Learning Center, Mae Mo district, Lampang province

พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น^{1*}, ปฐมพงศ์ พรหมมาบุญ², จักรกฤษณ์ อ้นยะลา³, ณรงค์ เครือกันทา⁴ และวรพล คณิตปัญญาเจริญ⁵

Pongsak Youmune^{1*}, Patompong Prommaboon², Jakkrit Hunyala³,

Narong Krueganta⁴ and Worapon Kanitpanyacharoen⁵

^{1*,2,3,4,5}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

โทร 0 5423 7399 โทรสาร 0 5424 1079 E-mail: you.pongsak@gmail.com

^{1*,2,3,4,5}Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University

119 Moo 9, Chompoo Subdistrict, Mueang District, Lampang Province, Thailand 52100

Tel. +66 5423 7399 Fax. +66 5424 1079 E-mail: you.pongsak@gmail.com

วันที่รับบทความ 19 กันยายน 2567

วันที่รับแก้ไขบทความ 18 พฤศจิกายน 2567

วันที่ตอบรับบทความ 28 พฤศจิกายน 2567

Received: Sep. 19, 2024

Revised: Nov. 18, 2024

Accepted: Nov. 28, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการหาอัตราการลดความชื้น และศึกษาผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งทั้งก่อนและหลังการใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นในพื้นที่ ศูนย์เรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งจากการทดลอง พบว่า โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นร้อยละ 23.45 มาตรฐานเปียก (%wb) จนทำให้มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 3.70 มาตรฐานเปียก (%wb) ภายในระยะเวลา 6 - 9 ชั่วโมง ภายใต้เงื่อนไขการตั้งค่าการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งของโรงเรือนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล และนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งก่อนและหลังการใช้โรงเรือนอบแห้ง ส่งทดสอบหาค่าร้อยละความชื้นและคุณสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรแห้ง มพช. 480/2547 ห้องปฏิบัติการ พบว่า ด้านค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่ (ก่อนการใช้โรงเรือนอบแห้ง) ไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งมีค่าร้อยละ 14.67 โดยน้ำหนัก และผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่ใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น (หลังการใช้โรงเรือนอบแห้ง) ผ่านเกณฑ์ ซึ่งมีค่าร้อยละ 7.34 โดยน้ำหนัก คิดเป็นประสิทธิภาพการทำแห้งร้อยละ 52.43 เมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นก่อนและหลังการใช้นวัตกรรม ส่วนด้านผลการทดสอบโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ผ่านเกณฑ์ และด้านจุลินทรีย์บางชนิดผ่านเกณฑ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา และการเตรียมของวัตถุดิบนำเข้า

คำสำคัญ: อบแห้ง, โรงเรือนอบแห้ง, กลีบดอกกระเจี๊ยบแดง

Abstract

This research, study evaluates the effectiveness of a greenhouse solar dryer in reducing the moisture content of dried red roselle petals at the Local Herbal Learning Center in Mae Mo District, Lampang Province. The research demonstrated that the greenhouse solar dryer efficiently reduced the initial relative humidity of the petals from 23.45% to a final moisture content of 3.70% within 6 to 9 hours. By employing programmable logic control, the dryer maintained precise temperature and humidity levels, optimizing the drying conditions. Comparative analysis against Thai Community Product Standards (TCPS) 480/2547 revealed significant improvements in product quality, with the moisture content of the dried petals decreasing from 14.67% to 7.34%, meeting established standards. Additionally, the dried petals adhered to safety criteria for heavy metals and microbial contamination, confirming the effectiveness and reliability of the greenhouse solar dryer.

Keywords: Drying, Greenhouse dryer, Roselle petals

1. บทนำ

กระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa*) ซึ่งมีชื่อสามัญว่า Roselle เป็นพืชที่มีความสำคัญทั้งทางเศรษฐกิจและสังคมในหลายประเทศ โดยเฉพาะในภาคการเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์สุขภาพที่กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้น โดยกระเจี๊ยบแดงถือว่าเป็นพืชที่มีศักยภาพสูงที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Duh & Yen, 1997) ต้านการอักเสบ (Ali et al., 2005) ป้องกันมะเร็ง บำรุงตับและไต (Cid-Ortega & Guerrero-Beltran, 2015) ลดไขมันและความอ้วน (Ghislain et al., 2011) และการยับยั้งแบคทีเรีย (Nakpong & Wootthikanokkhan, 2010) ซึ่งคาดว่าขนาดตลาดกระเจี๊ยบแดงทั่วโลกจะมีมูลค่าถึง 244.9 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2027 และจะมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องร้อยละ 10.4 ต่อปี ตั้งแต่ปี 2021 ถึง 2027 ซึ่งประเทศจีนและประเทศไทยเป็นผู้ผลิตกระเจี๊ยบแดงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมรายใหญ่ในเอเชีย (Lye et al., 2023) กระเจี๊ยบแดงจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการส่งเสริมการปลูกและการแปรรูปทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง (Phuphathanaphong et al., 1989) ถึงแม้ว่ากระเจี๊ยบแดงจะเป็นที่ต้องการในตลาด แต่การควบคุมจำนวนผลผลิตและคุณภาพที่ไม่ดีนัก จึงทำให้เกิดความผันผวนของราคาขึ้นอยู่กับคุณภาพทางด้านรสชาติ สี ความสะอาด รวมถึงคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ปริมาณความชื้น (ร้อยละ 12) ความเป็นกรด สารตกค้าง และสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ (Abdalbasit et al., 2021) ทั้งนี้เพื่อเป็นการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น ทำได้โดยการทำแห้ง เพื่อลดการเติบโตของจุลินทรีย์ และต้องรักษาคุณสมบัติทางโภชนาการไว้ โดยเฉพาะปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Meza et al., 2008) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งเฉลี่ย 40 องศาเซลเซียส (Sanaa et al., 2017) จะทำให้กรดมาลิกและกรดซิตริกมีปริมาณลดลง แต่จะไม่ส่งผลกระทบต่อหากทำแห้งด้วยอากาศร้อนโดยอ้อมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (Sánchez-Feria et al., 2021) อีกทั้งการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำสารแอนโทไซยานินที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ลดลง (Lema et al., 2022)

ศูนย์การเรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน หมู่บ้านปางปวย ตำบลนาสัก อำเภอมะเมาะ จังหวัดลำปาง โดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีส่วนผสมของกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง เช่น น้ำกระเจี๊ยบแดง แยม เป็นต้น แต่ด้วยปัญหาด้านการควบคุมกระบวนการลดความชื้นที่ทำให้ผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงอบแห้งมีคุณภาพที่ไม่ดีนัก เนื่องจากการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดดที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในการทำแห้งได้ เป็นระยะเวลา 3 - 4 วัน จึงส่งผลต่อค่าความชื้นหลังเก็บเกี่ยวสูงประมาณร้อยละ 85 (Hahn et al., 2011) ส่งผลต่อความเสียหายของวัตถุดิบและปริมาณการแปรรูปผลิตภัณฑ์ขั้นต่อไป ที่ไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสทางธุรกิจและรายได้

ดังนั้นคณะผู้วิจัย จึงเห็นถึงความสำคัญของการอบแห้งของกลีบดอกกระเจี๊ยบแดงให้มีคุณภาพมากขึ้น สามารถควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์อบแห้งสุดท้ายให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช. 480/2547 (ร้อยละ 12) โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์แบบความชื้นแยกส่วนมาใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้ง และสามารถควบคุมค่าใช้จ่ายในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดง ส่งผลต่อคุณภาพที่ดีขึ้น และมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น นำไปสู่การสร้างโอกาสทางอาชีพให้เกษตรกร และผู้ประกอบการตลอดห่วงโซ่อุปทานต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อหาประสิทธิภาพอัตราการลดความชื้นผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง
- 2.2 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งก่อนและหลังการใช้เทคโนโลยีการอบแห้ง

3. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัย

ในการออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้คำนึงถึงสถานที่ติดตั้งและลักษณะการใช้งานของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ใช้งาน ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ต้องมีความเหมาะสมกับพื้นที่ มีใช้งานอยู่โดยทั่วไป มีการใช้งานที่ง่าย มีการดูแลรักษาที่ง่าย และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนในช่วงการทำแห้งของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในพื้นที่ได้ จึงใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกส่วนในวิจัยนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ดังต่อไปนี้

- 1) โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบความชื้นแยกส่วน โดยคณะผู้วิจัยได้พัฒนาและปรับปรุงขึ้น ดังภาพที่ 1 (ก) มีขนาด 5×10×2.5 เมตร (ก×ย×ส) คลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตสีใสหนา 6 มิลลิเมตร ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล ดังภาพที่ 1 (ข) ติดตั้งในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน อำเภอมะเมาะ จังหวัดลำปาง ตัวแปรควบคุม คือ อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง (T_{drying}) และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้ง (RH_{drying}) ตามผังโปรแกรมควบคุม ดังภาพที่ 1 (ค) และตัวแปรตาม คือ อัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์ (Drying Ratio) และระยะเวลาการอบแห้งต่อรอบการผลิต (t)

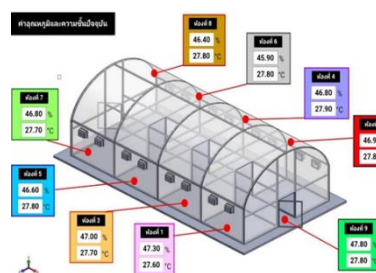
2) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ TANITA รุ่น KD-321 ใช้สำหรับการชั่งน้ำหนักวัตถุดิบนำเข้าและผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักและบันทึกผลทุก ๆ 15 นาที

3) เครื่องวัดค่าความชื้นรังสีอาทิตย์ ยี่ห้อ Lutron รุ่น SPM-1116SD ติดตั้งบริเวณพื้นที่การทดลอง เพื่อทำการวัดและบันทึกผลค่าความชื้นรังสีอาทิตย์รายวันทุก ๆ 5 นาที

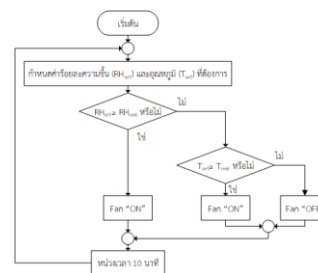
4) เครื่องวัดค่าอุณหภูมิ ยี่ห้อ EXTECH รุ่น SDL100 วัดและบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ด้วยเทอร์โมคัปเปิล Type K สำหรับนำไปคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้งภายนอกและภายในห้องอบแห้งทุก ๆ 5 นาที



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 (ก) โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบความร้อนแยกส่วนที่ใช้ในงานวิจัย

(ข) ตำแหน่งการวัดและควบคุมอุณหภูมิและร้อยละความชื้นของอากาศภายในห้องอบแห้ง

(ค) แผนผัง (Diagram) ของระบบควบคุมการทำงาน

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

คณะวิจัยได้ดำเนินการวางแผนวิธีการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ดังภาพที่ 2 (ก) สามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) ขั้นตอนที่ 1 ส่งผลิตภัณฑ์อบแห้งทดสอบในห้องปฏิบัติการ (ก่อนการใช้โรงเรือน)

ก่อนการทดลองการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งที่ใช้ในงานวิจัย คณะวิจัยรวบรวมตัวอย่างผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียวแดงอบแห้งที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมีอยู่ ส่งตรวจเพื่อรับรองผลการลดความชื้นและค่าคุณสมบัติทางชีวภาพต่าง ๆ ที่มีนัยสำคัญตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 480/2547 ในห้องปฏิบัติการ

2) ขั้นตอนที่ 2 เตรียมวัตถุดิบนำเข้าโรงเรือนอบแห้ง

คณะวิจัยและกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ได้ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบกลีบดอกกระเจียวแดงสดสำหรับการทดลองลดความชื้นผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 กิโลกรัม ดังภาพที่ 2 (ข) และ (ค) โดยแกะกลีบดอกกระเจียวแดงออกจากผล ทำการล้างน้ำสะอาดอุณหภูมิห้อง ผึ่งลมในที่ร่ม (Pre heat) เป็นเวลา 30 นาที

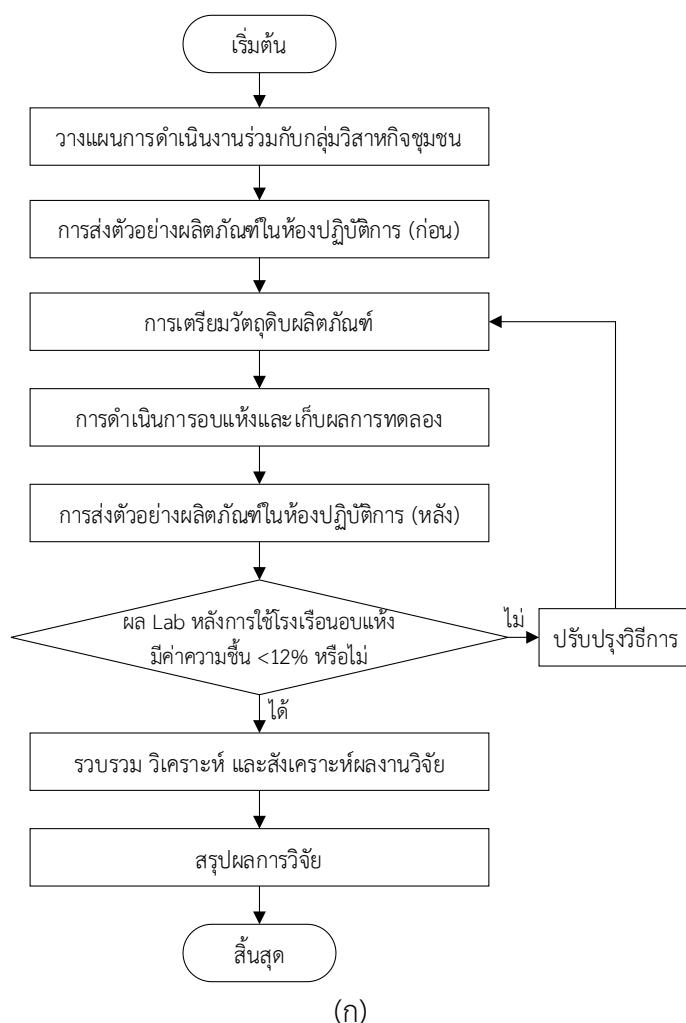
3) ขั้นตอนที่ 3 การเก็บผลการทดลอง

วางวัตถุดิบในขั้นตอนที่ 2 บนชั้นวางสแตนเลสลักษณะชั้นบาง แยกและเก็บวัตถุดิบตัวอย่าง ดังภาพที่ 2 (ง) เพื่อนำไปหาค่าร้อยละความชื้นเริ่มต้น (%wb) ตั้งระบบควบคุมการทำงานของโรงเรือนอบแห้ง โดยกำหนดค่าอุณหภูมิการอบแห้งไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส ($T_{drying} < 60^{\circ}\text{C}$)

และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งไม่เกินร้อยละ 20 ($RH_{\text{drying}} < 20\%$) ซึ่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ตัวอย่างและบันทึกผลทุก ๆ 15 นาที กลับกองผลิตภัณฑ์ในช่วงเช้าและเย็นของทุกวัน

4) ขั้นตอนที่ 4 การส่งผลิตภัณฑ์อบแห้งทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดูจากค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง นำผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงอบแห้งออกจากโรงเรือน ผึ่งในที่ร่มเป็นเวลา 15 นาที (Cool down) และบรรจุในถุงพลาสติกปิดผนึก จากนั้นส่งตรวจเพื่อรับรองผลการลดความชื้นและค่าคุณสมบัติทางชีวภาพต่าง ๆ ที่มีนัยสำคัญตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 480/2547 ในห้องปฏิบัติการ



(ข)



(ค)



(ง)

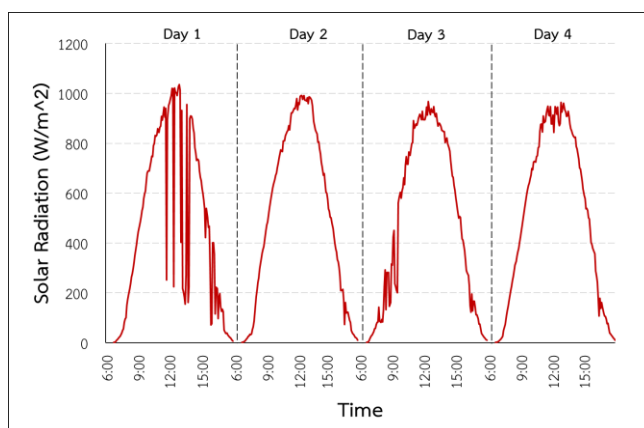
ภาพที่ 2 แผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัยและกิจกรรมการดำเนินงานวิจัย

4. ผลการวิจัย

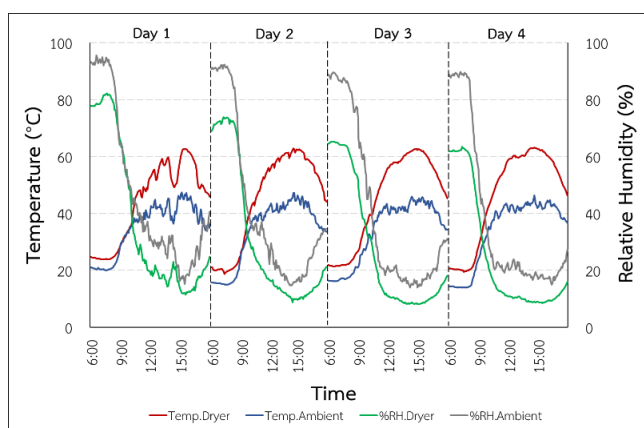
4.1 ผลการวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการทดลอง

จากการวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการทดลอง คือ ค่าความเข้มข้นสีอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิ และค่าร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศตลอดช่วงระยะเวลาการทดลองทุก 5 นาที จำนวน 4 วัน พบว่า ค่าความเข้มข้นสีอาทิตย์ตลอดช่วงการทดลองมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,035 วัตต์

ต่อตารางเมตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 499.81 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังภาพที่ 3 ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิที่มีค่าเฉลี่ย 44.95 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 10.66 องศาเซลเซียส และค่าร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งเฉลี่ยร้อยละ 30.29 มีค่าต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมร้อยละ 11.69 ดังภาพที่ 4 ซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบควบคุมค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3 ผลการบันทึกค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวัน



ภาพที่ 4 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิและร้อยละความชื้นภายในห้องอบแห้งและสิ่งแวดล้อม

4.2 ผลการคำนวณอัตราการทำแห้งของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียวแดงอบแห้ง

นำผลการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง คำนวณการลดลงของความชื้นผลิตภัณฑ์ (Moisture content, %wb) จากสมการที่ 1 (Janjai and Keawprasert, 2006) ดังนี้

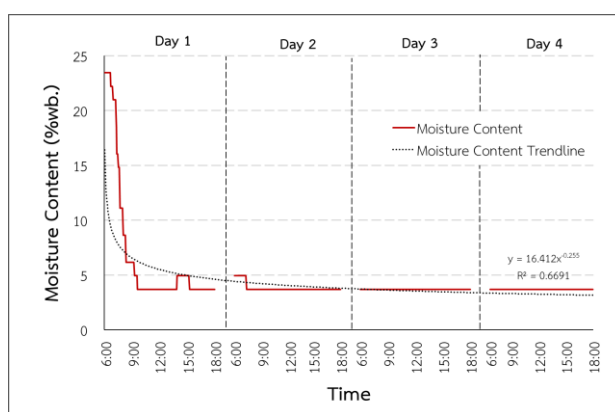
$$m_w = m_f \frac{M_i - M_f}{100 - M_f} \quad (1)$$

เมื่อ m_w = ร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์มาตรฐานเปียก (%wb)

M_i = มวลผลิตภัณฑ์เริ่มต้น (kg)

M_f = มวลของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (kg)

นำค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 1 ได้ผลการคำนวณค่าร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่ลดลงตามช่วงเวลาการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 15 นาที ตลอดช่วงการทดลองระยะเวลา 4 วัน ดังภาพที่ 5 พบว่า กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงมีค่าความชื้นเริ่มต้นมาตรฐานเปียกเท่ากับร้อยละ 23.45 เมื่ออบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ การลดลงของค่าร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างคงที่ใน 30 นาทีแรก และมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 ชั่วโมงถัดมา และเริ่มคงที่ ซึ่งเป็นไปตามหลักทฤษฎีการอบแห้งวัสดุชีวภาพที่สามารถแบ่งได้ 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งที่ลดลง (Soponronnarit, 1997) จนทำให้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีค่าความชื้นสุดท้ายร้อยละ 3.70 มาตรฐานเปียก (%wb) คิดอัตราการทำแห้งจากสมการที่ 2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 84.21 เมื่อเทียบกับความชื้นผลิตภัณฑ์เริ่มต้น ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ผลคำนวณการลดลงของร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

คำนวณอัตราการทำแห้งของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (Moisture ratio, %) (Ademiluyi and Abowei, 2013) ดังนี้

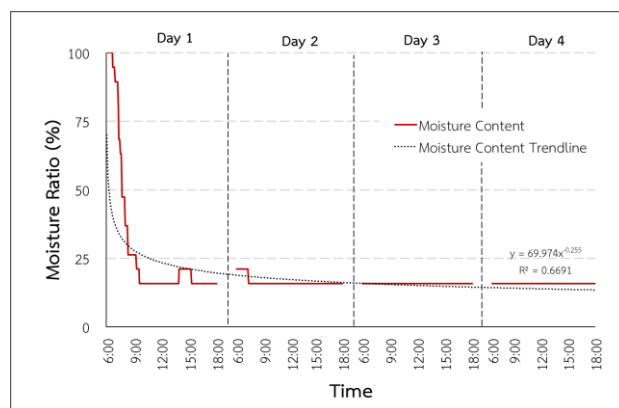
$$MR = \frac{M_i - M_e}{M_0 - M_e} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ MR = ร้อยละอัตราการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ (%)

M_i = ร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใด ๆ (%wb)

M_0 = ร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์เริ่มต้น (%wb)

M_e = ร้อยละความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ (%wb)



ภาพที่ 6 ผลคำนวณอัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงอบแห้ง

4.3 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงอบแห้ง

จากรูปที่ 7 (ก) เป็นผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงในกระบวนการอบแห้ง เมื่อได้ผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงอบแห้งแล้ว นำตัวอย่าง ดังภาพที่ 7 (ข) ส่งตรวจหาค่าร้อยละความชื้นและคุณสมบัติทางชีวภาพต่าง ๆ ตามเกณฑ์ มผช. 480/2547 ซึ่งวิธีการทดสอบตาม AOAC (2019) และ FDA BAM Online (2020) (Thai Industrial Standards Institute, 2004) ในห้องปฏิบัติการของ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด (สาขาเชียงใหม่) โดยระบุเลขที่รายงาน TRCM65/12381 (ก่อน) และ TRCM66/03755 (หลัง) โดยได้ผลการเปรียบเทียบการทดสอบดังตารางที่ 1



(ก)

(ข)

ภาพที่ 7 (ก) ผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงในกระบวนการอบแห้ง

(ข) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงอบแห้งส่งห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการก่อนและหลัง

ที่	รายการทดสอบ	หน่วย	ค่าเกณฑ์มาตรฐาน	ค่าผลการทดสอบ		ผลการประเมิน	
				ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1.	Moisture	g/100g	<10	14.67	7.34	ไม่ผ่าน	ผ่าน
2.	Arsenic (As)	mg/kg	<0.2	Not Detected	Not Detected	ผ่าน	ผ่าน
3.	Cadmium (Cd)	mg/kg	<0.3	0.077	0.25	ผ่าน	ผ่าน
4.	Lead (Pb)	mg/kg	<0.5	0.059	0.078	ผ่าน	ผ่าน
5.	Coliform Bacteria	MPN/g	<2.2	<3.0	<3.0	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
6.	Total Bacteria Count	CFU/g	1×10^4	6.5×10^2	6.4×10^6	ผ่าน	ไม่ผ่าน
7.	Yeast and Molds	CFU/g	<100	<10	9.8×10^6	ผ่าน	ไม่ผ่าน

หมายเหตุ: ค่าเกณฑ์มาตรฐานอ้างอิงตาม มผช. 480/2547

จากตารางที่ 1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการก่อนและหลัง แบ่งกลุ่มผลการทดสอบเป็น 3 ด้าน ดังนี้ ด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่าง พบว่า ด้านกายภาพ คือ ค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างก่อนและหลังการใช้ โรงเรือนอบแห้งมีเท่ากับร้อยละ 14.67 และ 7.34 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งถือว่าการใช้เทคโนโลยี การอบแห้งในการทดลองสามารถทำให้ค่าร้อยละความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (ไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก) ด้านเคมี คือ สารโลหะหนักที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์อบแห้งมีการทดสอบ จำนวน 3 ชนิด คือ Arsenic (As), Cadmium (Cd) และ Lead (Pb) ซึ่งทั้งหมด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และด้านจุลชีววิทยา จำนวน 3 ชนิด คือ Coliform Bacteria, Total Bacteria Count และ Yeast and Molds มีค่า ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากการได้มาของวัตถุดิบนำเข้าก่อนและการทดลอง ครั้งนี้มาจากคนละแหล่งพื้นที่

4.4 ผลการคำนวณสมรรถนะการอบแห้งด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากการรวบรวมข้อมูลการทดลองเทคโนโลยีโรงเรือนอบแห้งกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง ในพื้นที่ สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน จากสมการที่ 3 (Jeentada et al., 2018)

$$\eta_{th} = \frac{(m_i - m_f) \times h_{fg}}{(A_c \times I \times t)} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ η_{th} = ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบโรงเรือนอบแห้ง (%)

m_i = มวลของผลิตภัณฑ์ก่อนการอบแห้ง (kg)

m_f = มวลของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง (kg)

h_{fg} = พลังงานความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ (kWh/kg)

โดยให้มีค่าเท่ากับ 2,256 kJ/kg หรือ 0.6269 kWh/kg (Çengel and Ghajar, 2015)

A_c = พื้นที่โรงเรือนที่รับรังสีอาทิตย์ (m^2)

I = ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบโรงเรือน (W/m^2)

t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

กำหนดเงื่อนไขการคำนวณ ดังนี้

(1) มวลของวัตถุดิบ คิดเต็มอัตราการความจุของโรงเรือน 100 กิโลกรัม ($m_i = 100$ kg)

(2) มวลของผลิตภัณฑ์อบแห้ง คิดจากอัตราการทำแห้งที่ร้อยละ 84.21 โดยน้ำหนัก

ดังนั้นมวลผลิตภัณฑ์อบแห้งเท่ากับ 15.79 กิโลกรัม ($m_f = 15.79$ kg)

(3) พื้นที่รับรังสีของโรงเรือนขนาด 50 m^2 คำนวณจากพื้นที่ของโรงเรือนอบแห้งที่ใช้ ในงานวิจัยครั้งนี้ 25 ตารางเมตร ($A_c = 25$ m^2)

(4) ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบโรงเรือนเฉลี่ยของวันที่ 1 เท่ากับ 477.94 วัตต์ ต่อตารางเมตร ($I = 477.94$ W/m^2)

(5) เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 6 ชั่วโมง ($t = 6$ h)

ซึ่งจากผลการคำนวณสมการที่ 3 พบว่า โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือในกระบวนการลดความชื้นผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดง จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้งคิดเป็นร้อยละ 73.64

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและหาประสิทธิภาพอัตราการลดความชื้นผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งด้วยการใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งติดตั้งในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน หมู่บ้านปางปวย ตำบลนาสัก อำเภอมะเมาะ จังหวัดลำปาง พบว่า อัตราการทำแห้งของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงตัวอย่างที่มีค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยร้อยละ 23.45 มาตรฐานเปียก (%wb) จนมีค่าความชื้นสุดท้ายร้อยละ 3.70 มาตรฐานเปียก (%wb) ได้เท่ากับ ร้อยละ 84.21 ภายในเวลา 6 ชั่วโมง และคิดประสิทธิภาพการทำแห้งของโรงเรือนอบแห้งต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์นำเข้าแบบเต็มพิกัด (100 กิโลกรัม) ในช่วงเวลาในการทดลองครั้งนี้เท่ากับร้อยละ 1.6 ภายใต้เงื่อนไขการควบคุมค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการอบแห้งที่สำคัญ คือ ค่าอุณหภูมิไม่เกิน 65 องศาเซลเซียส และค่าร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งไม่เกินร้อยละ 20 ตลอดช่วงการทดลอง ทำให้มีค่าอุณหภูมิสูงสุด 63.2 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งต่ำสุดร้อยละ 8.1 โดยเมื่อคิดค่าอุณหภูมิเฉลี่ย และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ในช่วงเวลาการอบแห้งตลอด 4 วัน เท่ากับ 44.95 องศาเซลเซียส และร้อยละ 30.29 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีความคาดเคลื่อนจากการควบคุม เนื่องจากการสะสมของอุณหภูมิและลดความชื้นของอากาศภายในห้องอบแห้งในช่วงเวลากลางวัน (ช่วงเวลาในการทดลอง) ต้องใช้ระยะเวลาค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการความชื้นสะสมภายในห้องอบแห้ง ในช่วงเวลากลางคืน (ช่วงที่ไม่มีการควบคุม) ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำกว่า ค่าการควบคุมตลอดช่วงการทดลอง

จากนั้นได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง ทั้งก่อนและหลังการใช้เทคโนโลยีโรงเรือนอบแห้งด้วยการส่งผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงตัวอย่าง โดยใช้ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการที่ทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 480/2547 สมุนไพรแห้ง พบว่า คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ในด้านกายภาพ คือ ค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่ (ก่อนการใช้โรงเรือนอบแห้ง) เท่ากับร้อยละ 14.67 โดยน้ำหนัก (ไม่ผ่านเกณฑ์) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่ใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.34 โดยน้ำหนัก (ผ่านเกณฑ์) ซึ่งถือได้ว่าโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ที่คณะวิจัยได้พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการทำแห้งได้ดีขึ้นคิดเป็นร้อยละ 52.43 ของความชื้นในผลิตภัณฑ์ก่อนการใช้โรงเรือนอบแห้ง ส่วนด้านเคมีที่ทดสอบโลหะหนักตกค้างในผลิตภัณฑ์ คือ Arsenic (As), Cadmium (Cd) และ Lead (Pb) มีผลการทดสอบผ่านเกณฑ์ เนื่องมาจากแหล่งที่มาของวัตถุดิบในการเพาะปลูกมีคุณภาพที่ดี และด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ คือ Coliform Bacteria, Total Bacteria Count และ Yeast and Molds มีค่าไม่ผ่านเกณฑ์ อาจเนื่องมาจากการเตรียมวัตถุดิบมีการใช้น้ำล้างที่สะอาดไม่เพียงพอ ซึ่งอาจกำจัดด้วยการลวกวัตถุดิบก่อน (Phattharanan, 2023) ซึ่งวิธีการนี้จะส่งผลกระทบต่อการใช้

คุณสมบัติทางยาและคุณสมบัติที่สำคัญบางตัวของผลิตภัณฑ์ได้ หรืออาจมีการคัดเลือกแหล่งวัตถุดิบนำเข้าจากแหล่งที่มีการควบคุมการผลิตตามหลักการการผลิตพืชอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร หรือมีผู้ตรวจสอบปริมาณจุลชีววิทยาของวัตถุดิบนำเข้าก่อนทุกครั้ง โดยวิธีการนี้อาจทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ดังนั้นการนำโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อแปรรูปสมุนไพรและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ จะสามารถลดปัญหาการปนเปื้อนและเพิ่มสุขลักษณะที่ดีในกระบวนการตากแห้งได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานที่อย่างเหมาะสมตรงตามวัตถุประสงค์ของสถานประกอบการ (Kotmanee S., 2022)

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัยประจำปี พ.ศ. 2565 กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ศูนย์การเรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน ตำบลนาสัก อำเภอมะนัง จังหวัดลำปาง ผู้นำชุมชน และหน่วยงานทางราชการในพื้นที่ ที่สนับสนุนการดำเนินงานของคณะวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Abdalbasit, A. M., Haroon, E. T., and Gustav, K. M. (2021). *Roselle (Hibiscus sabdariffa): Chemistry, production, products, and utilization*. Elsevier.
- Ademiluyi, F. T., and Abowei, M. F. N. (2013). Theoretical model for predicting moisture ratio during drying of spherical particles in a rotary dryer. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2013, Article ID 491843, 7 pages.
- Ali, B. H., Wabel, N. A., and Blunden, G. (2005). Phytochemical, pharmacological, and toxicological aspects of Hibiscus sabdariffa L.: A review. *International Journal of Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 19(5), 369–375.
- Çengel, Y. A., and Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications (5th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Cid-Ortega, S., and Guerrero-Beltrán, J. (2015). Roselle calyces (Hibiscus sabdariffa), an alternative to the food and beverages industries: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 6859–6869.
- Duh, P.-D. and Yen, G.-C. (1997). Antioxidative activity of three herbal water extracts. *Food Chemistry*, 60(4), 639–645.
- Ghislain, M. T., Gisèle, E. L., Bertrand, P. M. J., Mathieu, F., Honoré, F. K., Félicité, T. M., and Inocent, G. (2011). Effect of “Folere” juice (calyx of Hibiscus sabdariffa Lin) on some biochemical parameters in humans. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(8), 755–759.

- Hahn, F., Hernandez, G., Hernandez, J., Perez, C., and Vargas, J. M. (2011). Optimization of Roselle drying time and drying quality. *Canadian Biosystems Engineering*, 53, 3.1–3.8.
- Janjai, S., and Keawprasert, T. (2006). Design and performance of a solar tunnel dryer with a polycarbonate cover. *International Energy Journal*, 7(3), 187–194. (in Thai)
- Jeentada, W., Niyomvas, B.} and Thaikul, A. (2018). Experimental study on drying conditions of solar fish dryer with temperature controlled by open-closed ventilating system. *The Journal of KMUTNB*, 28(3), 525–536. (in Thai)
- Kotmanee, S. (2022, April 4). Solar drying facility combined with heat energy from other sources. Aquatic Animal Industrial Engineering Group, Division of Research and Development of Aquatic Animal Industrial Technology, Department of Fisheries. (in Thai)
- Lema A. A., Mahmod N. H., Khandaker M. M., Nudin N. F. H., and Dogara A. M. (2022). The effects of various drying techniques on physicochemical and nutritional qualities of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyx. *Plant Science Today*, 9(4), 926–933.
- Lye, Y. C., Teng, S. K., Neo, Y. P., Sim, Y. Y., and Chew, S. C. (2023). The potential of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) plant in industrial applications: A promising source of functional compounds. *Journal of Oleo Science*. 73(3), 275-292.
- Meza, J. J., Ramirez, J. J., and Diaz, J. J. (2008). The design and proposal of a thermodynamic drying system for the dehydration of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) and other agro-industrial products. *African Journal of Agricultural Research*, 3(7), 477–485.
- Mohamad, O., Mohd. Nazir, B., Abdul Rahman, M., and Herman, S. (2002). Roselle: A new crop in Malaysia. *Bulletin PGM*. Kuala Lumpur.
- Nakpong, P., and Wootthikanokkhan, S. (2010). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) oil as an alternative feedstock for biodiesel production in Thailand. *Fuel*, 89(8), 1806–1811.
- Phattharanan Thiangma. (2023). *Effect of drying condition and storage time on bioactive compounds of Asparagus racemosus Willd.* [Master's thesis, Mahasarakham University]. (in Thai)
- Phuphathanaphong, L., Siriruksa, P., and Nuvongsri, G. (1989). The genus *Hibiscus* in Thailand. *Thai Forest Bulletin*, 18, 43–79. (in Thai)
- Sanaa M. Abdel-Hameed, Reem M. Abdel-Raouf., and W.M. Abdel-Aleem (2017). Drying kinetics, quality attributes and moisture sorption isotherms during

- storage of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) dried under solar drying conditions. *Egyptian Journal of Food Science*, 45, 43–56.
- Sánchez-Feria, C., Salinas-Moreno, Y., Ybarra-Moncada, M. del C., González-Hernández, V. A., & Machuca-Sánchez, M. L. (2021). Effect of the dehydration method of *Hibiscus sabdariffa* L. calyces on the quality of their aqueous extracts. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 33(2), 159-170.
- Siripanya, T. (2023). *Development of a solar dryer with a hot air tube combined with a parabolic trough solar receiver for the agricultural drying process*. [Master's thesis, Maejo University]. (in Thai)
- Somrit, H. (2007). กระเจี๊ยบแดง. *Journal of Clinical Medical Education*, 24(4), 300-303.
- Soponronnarit, S. (1997). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท (7th ed.)*. King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute. (2004). *Community product standard for dried herbs TIS 480/2004*. https://fic.nfi.or.th/law/upload/file1/TH_1260.pdf

การเชื่อมต่อทางเดินเท้าด้วยโครงข่ายสีเขียว: กรณีศึกษาชุมชนเขียวของ จังหวัดเชียงราย

Green Design for Pave Way Connection: A Case Study of Chiang Khong Community, Chiang Rai Province

มนีรัตน์ ภาจันทร์^{1*}, พงศ์ตะวัน นันทศิริ² และวิบูลพร วุฒิกุล³

Maneerat Pachankoo^{1*}, Pongtawan Nuntasiri² and Viboonporn Wutthikun³

^{1*,2,3}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

80 หมู่ที่ 9 ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100 โทรศัพท์: 08 5013 6367 Email: maneerat.pac@crju.ac.th

^{1*,2,3}Faculty of Industrial Technology Chiang Rai Rajabhat University

80 Moo 9 Bandu Subdistrict, Mueang District, Chiang Rai Province, Thailand 57100 Tel. +668 5013 6367

Email: maneerat.pac@crju.ac.th

วันที่รับบทความ 11 กรกฎาคม 2567

วันที่รับแก้ไขบทความ 20 กันยายน 2567

วันที่ตอบรับบทความ 6 พฤศจิกายน 2567

Received: Jul. 11, 2024

Revised: Sep. 20, 2024

Accepted: Nov. 6, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นการเชื่อมต่อของเส้นทางและประเด็นของการออกแบบทางเดินเท้าให้เกิดเป็นโครงข่ายสีเขียว โดยใช้แบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม คือ คนภายในพื้นที่และคนภายนอกพื้นที่นำมาประมวลผล พบว่ากลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มมีความชอบต่อภาพตัวอย่างในรูปแบบตรงกันและแต่ละภาพมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.21 - 4.00 ทั้งหมด ซึ่งจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้หมายความว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความชอบต่อภาพที่ถูกเลือกในระดับมากที่สุด สรุปการเชื่อมต่อทางเท้าด้วยโครงข่ายสี ๆ ลักษณะแบ่งเป็นช่วง ๆ เฉพาะในบางสถานที่ แต่ตลอดเส้นทางต้องไม่มีสิ่งกีดขวางในการใช้สัญจร ส่วนในเรื่องการออกแบบแยกออกเป็น 2 ลักษณะ ตามความถี่และปริมาณที่ใช้ในการสัญจร คือ 1) ในย่านที่มีปริมาณการใช้สัญจรของผู้คนตลอดทั้งวัน ออกแบบทางเท้าที่มีการใช้ไม้ยืนต้น พืชพรรณในท้องถิ่นและองค์ประกอบภูมิทัศน์มาเพิ่มใช้วัสดุปูทางเท้าแบบผิวหน้าหยาบ มีลายตกแต่งพื้นเป็นจุด ๆ เพิ่มทางเดินสำหรับผู้พิการทางสายตาและถนนใช้วัสดุปูพื้นผิวขรุขระเพื่อช่วยจำกัดความเร็วของรถยนต์ จักรยานยนต์ และจักรยาน 2) ในย่านที่มีปริมาณการใช้สัญจรน้อยหรือมีลักษณะการใช้สัญจรเป็นบางช่วงเวลา ออกแบบทางเท้าที่มีการใช้ไม้ยืนต้น ใช้พืชพรรณ ผักในท้องถิ่นและองค์ประกอบภูมิทัศน์มาเพิ่มและใช้วัสดุทางเท้าแบบดินอัดแน่นเน้นความเป็นธรรมชาติ

คำสำคัญ: ทางเดินเท้า, โครงข่ายสีเขียว, การออกแบบสีเขียวเพื่อคนทั้งมวล, ภูมิทัศน์

Abstract

The objectives of this study divided into 2 issues: the connection of routes and the design of Pave way to create Green Network. The questionnaire was used for acquiring the data from two groups of the samples who were both residents and non-residents in the community, and then the obtained data was processed. It was found that both groups of samples preferred the same representative images, and the mean

score of each of all images was averagely ranged between 3.21- 4.00. According to the preset criteria, this means that preferences of most questionnaire respondents toward the selected representative image at the highest level. To summarize, it was the connection of Paveway with short network, divided into parts particularly in some area all along the route without obstacles to the routes. In terms of design, it can be divided into 2 issues due to frequency and volume of traffic as follows. 1) the design for the zone with road users all day, the Paveway was designed by using perennial plants, native plants, and landscape components for additional decoration. The surface was paved with rough pavement materials with decorative patterns added with a corridor for the visually impaired, and paving materials for reducing the speed of cars, motorcycles, and bicycles. 2) The design for the zone with low volume of traffic or some users in some periods of the day, the Paveway was designed by using trees, native plants and vegetables, and landscape elements were added, and compacted soil pavement materials to enhance naturality.

Keywords: Paveway, Green Network, Green Universal Design, Landscape

1. บทนำ

ปัจจุบันอำเภอเชียงของได้ถูกกำหนดให้เป็นเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษที่สำคัญของจังหวัดเชียงราย เนื่องจากที่ตั้งด้านกายภาพของจังหวัดเชียงราย เหมาะที่จะเป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวเชื่อมโยงในอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขงตอนบนและกลุ่มประเทศเพื่อนบ้าน จึงมีนโยบายในการพัฒนาพื้นที่เพื่อรองรับกิจกรรมหลัก ดังนี้ 1) การปรับปรุงภูมิทัศน์ 2) การก่อสร้างอาคาร 3) การเชื่อมโยงระบบคมนาคมขนส่งในพื้นที่ 4) การพัฒนาระบบสาธารณูปโภคและสาธารณูปการ และมุ่งเน้นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพเมืองที่ส่งผลต่อการพัฒนาให้เป็นเมืองเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษในอนาคต (Uttano, 2017) ซึ่งทศพล พงษ์ดี, คมสัน รัตนะสิมากุล และกัณณพงศ์ ศิริเชตต์ (2562) (Pongta et al., 2019) ได้ทำการศึกษาประเด็นการพัฒนาดังกล่าวพบว่า คนในพื้นที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงหลายด้าน เช่น ระบบนิเวศ วิถีชีวิต แหล่งท่องเที่ยวทางประวัติศาสตร์ เป็นต้น จึงจำเป็นต้องหาแนวทางที่สร้างความสมดุลเชิงกายภาพของพื้นที่ระหว่างการพัฒนาและการอนุรักษ์

บทความนี้จะนำเสนอรูปแบบของทางเดินเท้าที่เป็นส่วนหนึ่งจากผลของการศึกษาในเรื่อง “การออกแบบโครงข่ายสีเขียว เพื่อช่วยเชื่อมโยงพื้นที่และสร้างความสมดุลแก่ชุมชนที่กำลังเกิดการเปลี่ยนแปลง: กรณีศึกษาอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย” โดยโครงข่ายสีเขียวในการศึกษานี้หมายถึงแนวเส้นทางภูมิทัศน์ที่มีความกว้างแตกต่างกัน ที่เชื่อมเข้าหากันเป็นโครงข่าย เช่นเดียวกับโครงข่ายถนน และทางหลวง โดยทั่วไปจะเชื่อมโยงไปสู่สวนสาธารณะ พื้นที่วัฒนธรรมและประวัติศาสตร์ หรือพื้นที่สงวนรักษาสถาปัตยกรรมชาติและสิ่งแวดล้อม หรือพื้นที่อื่น ๆ ที่สงวนรักษาไว้ (Danwandee et al., 2013) มีหน้าที่หลายประการ คือ เป็นพื้นที่นันทนาการและพักผ่อนหย่อนใจ เป็นพื้นที่สร้างสมดุลทางระบบนิเวศให้กับเมือง เป็นพื้นที่รองรับและป้องกันภัยพิบัติทางธรรมชาติ (Inchompoo & Srithanyarat, 2017) โดยเส้นทางเท้าจัดว่าเป็น 1 ใน 7 เส้นทางของโครงข่ายสี

เขียวที่ประกอบด้วย 1) เส้นทางที่เชื่อมโยงไปยังสวนสาธารณะ (Parkway) 2) เส้นทางริมน้ำ ลำคลอง ทะเล (Blueway) 3) เส้นทางเท้า (Paveway) 4) เส้นทางเชื่อมโยงระหว่างลานกิจกรรมในพื้นที่ธุรกิจ (Glazeway) 5) เส้นทางยกระดับเหนือพื้นดินมีภูมิทัศน์ที่เชื่อมโยงถึงกันได้อย่างต่อเนื่อง (Skyway) 6) เส้นทางที่ให้ความสำคัญกับธรรมชาติและระบบนิเวศในพื้นที่ หรือเชื่อมโยงพื้นที่ป่าในเมือง (Ecoway) และ 7) เส้นทางที่มีการเดินทางโดยยานพาหนะที่ไม่ใช่เครื่องยนต์ (Cycleway) (Tuner, 1996) ซึ่งเส้นทางเดินเท้านั้นนอกจากจะเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการใช้สัญจรในชีวิตประจำวันของทุกคนในพื้นที่และนักท่องเที่ยวแล้ว ยังอาจส่งผลในด้านอื่น ๆ ของเมือง เช่น ด้านความปลอดภัย ด้านบรรยากาศ ด้านคุณภาพชีวิต ฯลฯ เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อหาแนวทางการเชื่อมต่อทางเดินเท้าของเชียงใหม่ด้วยโครงข่ายสีเขียว

2.2 เพื่อเสนอรูปแบบทางเดินเท้าลักษณะที่เป็นโครงข่ายสีเขียวในอำเภอเชียงใหม่

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตการวิจัย งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเส้นทางเดินเท้าในพื้นที่อำเภอเชียงใหม่ ทั้ง 7 ตำบล คือ ตำบลเวียง ตำบลสถาน ตำบลศรีเมือง ตำบลบุญเรือง ตำบลห้วยซ้อ ตำบลศรีดอนชัย และตำบลริมโขง มีขนาดพื้นที่รวมทั้งสิ้น 837.90 ตารางกิโลเมตร (Pachankoo & Shen, 2019) ใช้เวลาในการลงสำรวจพื้นที่เป็นเวลา 1 เดือน โดยปัจจุบันทางเดินเท้าของเชียงใหม่จะกระจายอยู่ตามสถานที่ต่าง ๆ แยกเป็นกลุ่มพื้นที่ได้ 2 กลุ่มหลัก ๆ ตามปริมาณการใช้ในการสัญจร ดังนี้ กลุ่มที่ 1 บริเวณพื้นที่ย่านการค้า ตลาด ลานกิจกรรม สถานที่สำคัญ แหล่งท่องเที่ยว ฯลฯ ที่มีปริมาณการใช้สัญจรของผู้คนตลอดทั้งวัน และกลุ่มที่ 2 บริเวณชุมชนที่พักอาศัยหรือหมู่บ้าน ที่มีปริมาณการใช้สัญจรน้อยหรือมีลักษณะการใช้สัญจรเป็นบางช่วงเวลา

ตารางที่ 1 แสดงการสรุปภาพรวมของทางเดินเท้าของเชียงใหม่ทั้ง 2 กลุ่ม จากการสำรวจพื้นที่

กลุ่ม	การเชื่อมต่อ	การออกแบบ	สภาพของทางเดินเท้าในปัจจุบัน
1	มีลักษณะเป็นเส้นทางขนานกับทางรถยนต์ เชื่อมต่อเป็นช่วง ๆ ตามย่านต่าง ๆ	วัสดุมีทั้งแบบ อิฐบล็อก สำหรับปูพื้นและแบบพื้นคอนกรีตผิวหน้าหยาบ	-พื้นผิวไม่สม่ำเสมอ -ไม่ครบตามหลักการการออกแบบเพื่อคนทุกคน (Universal design) -ไม่มีเฟอร์นิเจอร์สาธารณะ (Street furniture) -มีสิ่งกีดขวางการเชื่อมต่อเส้นทาง
2	มีลักษณะเป็นเส้นทางขนานกับทางรถยนต์ เฉพาะบริเวณสถานที่สำคัญริมถนนเส้นหลัก	วัสดุเป็น อิฐบล็อกสำหรับปูพื้น	-พื้นผิวมีหญ้าขึ้นแทรก -ไม่ครบตามหลักการการออกแบบเพื่อคนทุกคน (Universal design) -ไม่มีเฟอร์นิเจอร์สาธารณะ (Street furniture) -มีป้ายกีดขวางการเชื่อมต่อเส้นทาง

ขอบเขตทางด้านช่วงเวลาวิจัยแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

1) ช่วงเก็บข้อมูลและลงพื้นที่ในการศึกษาในเรื่อง “การออกแบบโครงข่ายสีเขียวเพื่อช่วยเชื่อมโยงพื้นที่และสร้างความสมดุลแก่ชุมชนที่กำลังเกิดการเปลี่ยนแปลง: กรณีศึกษาอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย” ได้แก่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2561 - 1 มีนาคม 2562

2) ช่วงในการดำเนินการวิจัยเรื่องการเชื่อมต่อทางเดินเท้าด้วยโครงข่ายสีเขียว: กรณีศึกษาชุมชนเชียงของ จังหวัดเชียงราย ได้แก่ 1 กันยายน พ.ศ. 2566 – 1 เมษายน พ.ศ. 2567

3.2 เครื่องมือในการดำเนินงาน

1) แบบสอบถามที่ใช้สอบถามผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านจำนวน 13 คน โดยใช้แบบสอบถามทั้งแบบกำหนดตัวเลือกและแบบคำถามปลายเปิด เกี่ยวกับการเชื่อมต่อและแนวทางการออกแบบทางเดินเท้าด้วยโครงข่ายสีเขียวในอำเภอเชียงของ รวมถึงมีการร่วมแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างกัน เพื่อให้ได้แนวทางในการสร้างแบบสอบถาม สำหรับใช้สอบถามกลุ่มตัวอย่างในขั้นตอนถัดไป ประกอบด้วย สถาปนิก 7 คน, นักวิจัยที่เคยวิจัยในพื้นที่เชียงของ 5 คน, นักวิจัยอิสระที่เป็นคนในพื้นที่ 1 คน โดยสรุปคำตอบได้ ดังนี้ (1) ประเด็นการเชื่อมต่อเส้นทาง ควรเชื่อมต่อกันโดยไม่มีสิ่งกีดขวางบนทางเดินเท้าและควรแยกเส้นทางประเภทนี้ ออกจากเส้นทางประเภทอื่นเพื่อความปลอดภัย (2) ประเด็นการออกแบบ ควรออกแบบให้มีความปลอดภัยและรองรับทุกกลุ่มผู้ใช้งาน (Universal design) ไม่ควรมีพื้นที่ต่างระดับกันมากเกินไป สะอาด ร่มรื่น มีแสงสว่าง และสิ่งอำนวยความสะดวก (Street furniture) ที่เพียงพอ มีระยะทางของการเดินที่เหมาะสม มีการออกแบบสภาพแวดล้อมรวมถึงเลือกใช้วัสดุทางเท้าที่ส่งเสริมต่อการเดินเท้า และยังคงต้องคำนึงถึงอัตลักษณ์ของเชียงของ

2) นำภาพจากการสำรวจพื้นที่ไปให้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านทั้ง 13 คนเลือก ตามภาพที่ 1 และ 2 โดยภาพที่ผู้เชี่ยวชาญเลือกเพื่อใช้เป็นภาพต้นแบบสรุปได้ ดังแสดงในภาพที่ 3 และภาพที่ 4



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของทางเดินเท้าในกลุ่มที่ 1



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของทางเดินเท้าในกลุ่มที่ 2



ภาพที่ 3 ต้นแบบทางเท้ากลุ่มที่ 1



ภาพที่ 4 ต้นแบบทางเท้ากลุ่มที่ 2

3) ออกแบบแบบสอบถามด้วยโปรแกรมจำลองภาพ 2 มิติ และ 3 มิติ นำไปใช้เป็นภาพต้นแบบในการสร้างแบบสอบถาม โดยแยกเป็น 2 ประเด็น คือ ประเด็นที่ 1 ภาพการเชื่อมต่อ 3 ภาพ (ภาพ 2 มิติ) ใช้รหัส C1A1, C1A2, C1A3, ประเด็นที่ 2 ภาพ 3 มิติการออกแบบในกลุ่มที่ 1 จำนวน 4 ภาพ (ภาพ 3 มิติ) ใช้รหัส C2B1, C2B2, C2B3, C2B4 และประเด็นที่ 2.1: ภาพการออกแบบในกลุ่มที่ 2 จำนวน 4 ภาพ (ภาพ 3 มิติ) ใช้รหัส C2C1, C2C2, C2C3, C2C4 หลังจากนั้นนำเครื่องมือที่ได้ไปจัดการสนทนากลุ่ม (Focus Group) กับผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่จำนวน 8 คน เพื่อเป็นการทบทวนเครื่องมือก่อนนำแบบสอบถามไปใช้

3.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มคนในพื้นที่ทั้ง 7 ตำบล ใช้วิธีการสุ่มจากจำนวนประชากรของอำเภอเชียงของ ที่มีทั้งหมดรวม 64,133 คน โดยใช้สูตรคำนวณของ Taro Yamane (1973) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ ดังนี้

$$[n = N / 1 + N(e)^2] \quad (1)$$

โดย n = ขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้

N = จำนวนประชากรที่ทราบค่า (ในที่นี้ = 64,133)

e = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ถ้ากำหนดระดับความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 5% จะใช้ค่า 0.05

ดังนั้นจะได้จำนวนประชากรกลุ่มตัวอย่างในกลุ่มนี้เป็นจำนวนทั้งสิ้น 398 คน และเพื่อให้ได้ความคิดเห็นแบบครอบคลุมจำนวนมาคำนวณตามสัดส่วนประชากร (Probability Proportional to Size: PPS) ซึ่งอำเภอเชียงของมีทั้งหมด 7 ตำบล โดยใช้สูตร:

$$\text{จำนวนตัวอย่างของแต่ละพื้นที่} = \frac{\text{จำนวนประชากร(ในตำบล)} \times \text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด}(398)}{\text{จำนวนประชากรของทั้งอำเภอ}(64,133)}$$

ซึ่งจากข้อมูลประชากรและการคำนวณตามสูตรดังกล่าวจะทำให้ทราบจำนวนของกลุ่มตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่อยู่ในทั้ง 7 ตำบล ของอำเภอเชียงของ (ข้อมูล ณ วันที่ 28 มิถุนายน 2561)

ลำดับ	ตำบล	ประชากร	กลุ่มตัวอย่าง
1	เวียง	13,379	83
2	สถาน	9,393	58
3	ศรี่ง	6,549	41
4	บุญเรือง	6,203	39
5	ห้วยซ้อ	12,531	78
6	ศรีดอนชัย	8,931	55
7	ริมโขง	7,150	44
รวม		64,133	398

ที่มา: Sathan Subdistrict Municipality (2018)

จากตารางที่ 2 คณะผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างในแต่ละตำบลตามจำนวนที่ระบุไว้ในตารางข้างต้นคิดเป็นร้อยละ 100 โดยใช้วิธีเลือกสอบถามกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Haphazard or Accidental Sampling)

2) กลุ่มคนภายนอกพื้นที่ซึ่งได้จากกลุ่มนักท่องเที่ยวที่เข้ามาในเชียงรายช่วงปี 2562 จำนวน 1,023,502 คน (The Government Public Relations Department, 2024) โดยเลือกวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (Simple Random Sampling) จากนักท่องเที่ยวจำนวนดังกล่าวที่เคยไปหรือรู้จักอำเภอเชียงของ จำนวน 100 คน ใช้วิธีเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Haphazard or Accidental Sampling) ซึ่งใช้เวลาเก็บข้อมูล 4 วัน

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) เก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม โดยลงพื้นที่ทำแบบสอบถามตามจำนวนที่กำหนด ใช้เวลารวม 7 วัน

2) ขั้นตอนการประมวลผลด้วยโปรแกรมคำนวณ ซึ่งผลของการประมวลข้อมูลแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล เพื่อหาแนวทางทางการเชื่อมต่อทางเดินเท้าของเชียงของด้วยโครงข่ายสีเขียว และการเสนอรูปแบบทางเดินเท้าลักษณะที่เป็นโครงข่ายสีเขียวของเชียงของที่เหมาะสมและมีความยั่งยืน ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการนำข้อมูลทางสถิติมาหาค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาสรุปเป็นแนวทางและนำเสนอรูปแบบทางเดินเท้า ที่เชื่อมต่อเป็นโครงข่ายสีเขียวด้วยวิธีการจำลองเป็นภาพ 2 มิติ และ 3 มิติ ให้เห็นภาพที่ชัดเจน

ตารางที่ 3 แสดงการประมวลผลข้อมูลจากแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างของคนในพื้นที่ จำนวน 398 คน
แบบเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย

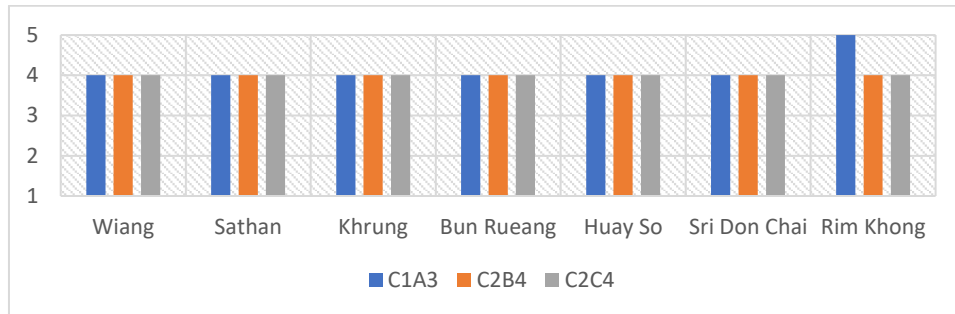
ประเด็น	ลำดับความชอบ	รหัสภาพ	Mean	S.D
1	1	C1A3	3.05	0.298
1	2	C1A2	2.01	0.100
1	3	C1A1	2.00	0.000
2	1	C2B4	3.05	0.265
2	2	C2B3	2.07	0.279
2	3	C2B1	2.01	0.100
2	3	C2B2	2.00	0.000
2.1	1	C2C4	3.02	0.395
2.1	2	C2C3	2.27	0.454
2.1	3	C2C1	2.01	0.100
2.1	3	C2C2	2.00	0.050

ตารางที่ 4 แสดงการประมวลผลข้อมูลจากแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างของคนภายนอกพื้นที่ จำนวน 100 คน
แบบเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย

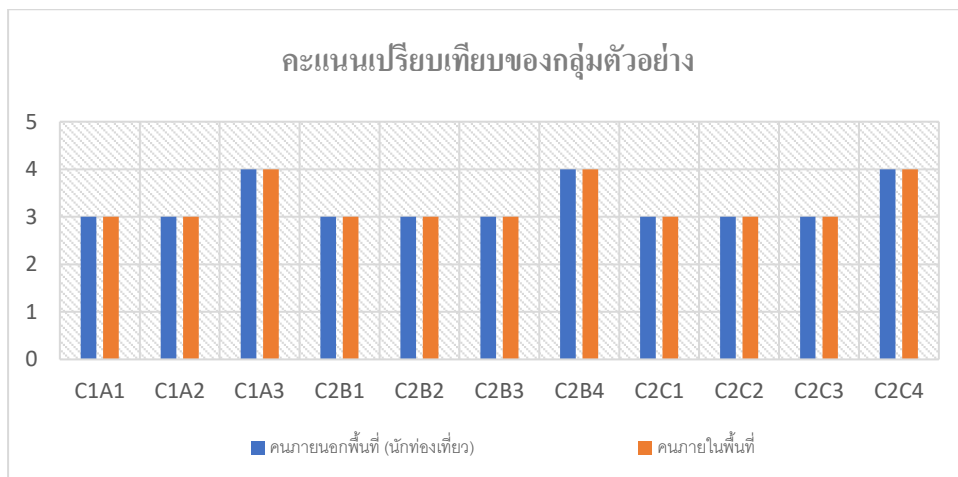
ประเด็น	ลำดับความชอบ	รหัสภาพ	Mean	S.D
1	1	C1A3	3.02	0.200
1	2	C1A2	2.03	0.171
1	3	C1A1	2.00	0.000
2	1	C2B4	3.10	0.302
2	2	C2B3	2.12	0.327
2	3	C2B1	2.00	0.000
2	3	C2B2	2.00	0.000
2.1	1	C2C4	3.10	0.362
2.1	2	C2C3	2.36	0.482
2.1	3	C2C1	2.00	0.000
2.1	3	C2C2	2.00	0.000

จากตารางที่ 3 และ 4 จะเห็นได้ว่ากลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม มีความชอบในประเด็นที่ 1 และ 2 ที่สอดคล้องกัน เมื่อนำผลของคะแนนที่ได้มาทำการให้คะแนนระดับความชอบของภาพตัวแทนแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามทฤษฎีของ Likert Scale (1967) คือ 1) ค่าเฉลี่ย 3.21 - 4.00 หมายความว่ามีความชอบในระดับมากที่สุด 2) ค่าเฉลี่ย 2.41 - 3.20 หมายความว่ามีความชอบในระดับมาก 3) ค่าเฉลี่ย 1.61 - 2.40 หมายความว่ามีความชอบในระดับปานกลาง 4) ค่าเฉลี่ย 0.81 - 1.60 หมายความว่ามีความชอบในระดับน้อย 5) ค่าเฉลี่ย 0 - 0.80 หมายความว่ามีความชอบในระดับน้อย

ที่สุดโดยในการศึกษานี้มีค่าของช่วงคะแนนเท่ากับ 0.8 ($4-0/5=0.8$) สามารถสรุปได้ดังแสดงในภาพที่ 5 และ 6



ภาพที่ 5 กราฟสรุปคะแนนระดับความชอบของภาพตัวแทน จากกลุ่มตัวอย่างของคนในพื้นที่



ภาพที่ 6 กราฟสรุปเปรียบเทียบคะแนนระดับความชอบของภาพตัวแทนระหว่างกลุ่มตัวอย่างของคนภายนอกพื้นที่และคนภายในพื้นที่

จากภาพที่ 5 และ 6 ระดับความชอบในประเด็นการเชื่อมต่อเส้นทางของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม มีความสอดคล้องกัน โดยรหัส C1A3 ได้คะแนนสูงสุดและมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.21 - 4.00 หมายความว่ามีความชอบในระดับมากที่สุด

ส่วนในประเด็นการออกแบบกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ยังคงมีความสอดคล้องกัน โดยการออกแบบบริเวณพื้นที่ย่านการค้ารหัส C2B4 ได้คะแนนสูงสุดและมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.21 - 4.00 หมายความว่ามีความชอบในระดับมากที่สุด และการออกแบบบริเวณชุมชนที่พักอาศัยหรือหมู่บ้านรหัส C2C4 ได้คะแนนสูงสุดและมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.21 - 4.00 หมายความว่ามีความชอบในระดับมากที่สุด ภาพตัวแทนที่ได้ค่าเฉลี่ยสูงสุดทั้ง 3 ภาพ ดังแสดงในภาพที่ 7 - 9



ภาพที่ 7 ภาพรหัส C1A3



ภาพที่ 8 ภาพรหัส C2B4

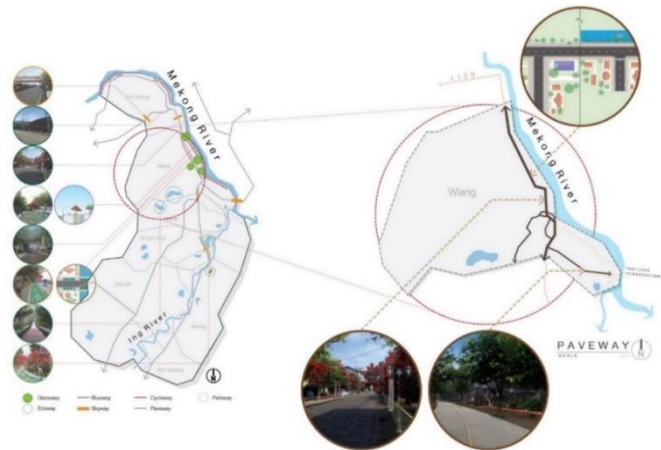


ภาพที่ 9 ภาพรหัส C2C4

4. ผลของการวิจัย

จากการศึกษาข้างต้นพบว่ากลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ที่เป็นคนภายในพื้นที่และคนภายนอกพื้นที่ต่างมีความชอบต่อทางเดินเท้าที่นำโครงข่ายสีเขียวมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบที่ตรงกัน ซึ่งแต่ละภาพที่ถูกเลือกจะมีคะแนนต่างกันเล็กน้อยแต่คะแนนของทุกภาพเหล่านั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.21 - 4.00 เช่นเดียวกันทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าผู้ตอบแบบสอบถามจำนวนมากที่สุดมีความชอบต่อภาพนั้น ๆ ในระดับมากที่สุด เมื่อทำการประมวลข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ได้แนวทางการเชื่อมต่อทางเดินเท้าด้วยโครงข่ายสีเขียวของชุมชนเชิงของ จังหวัดเชียงราย สรุปได้ดังนี้

4.1 แนวทางการเชื่อมต่อทางเดินเท้าของเชิงของด้วยโครงข่ายสีเขียวใช้รูปแบบเป็นโครงข่ายแบบสั้น ๆ แบ่งเป็นช่วง ๆ เฉพาะในชุมชน ย่านการค้า สถานที่สำคัญ สถานที่ราชการ บริเวณริมน้ำ บริเวณสวนสาธารณะ และริมถนนในเขตหมู่บ้านต่าง ๆ บริเวณจุดที่จำเป็นต้องใช้งานในการสัญจร แต่ตลอดเส้นทางต้องไม่มีสิ่งกีดขวางในการใช้สัญจร



ภาพที่ 10 ตัวอย่างการเชื่อมต่อทางเดินเท้าที่นำโครงข่ายสีเขียวมาใช้ภายในย่านชุมชนและหมู่บ้าน

จากภาพที่ 10 จะเห็นว่า มีลักษณะเป็นเส้นขนานไปกับถนนแต่จะมีเส้นทางนี้เฉพาะบางพื้นที่ เช่น ย่านชุมชนที่มีกิจกรรมที่เหมาะสมกับการเดิน (ตลาด วัด สถานที่ราชการ สถานที่ท่องเที่ยว) โดยพิจารณาตามความเหมาะสมในการใช้งาน

4.2 รูปแบบทางเดินเท้าลักษณะที่เป็นโครงข่ายสีเขียวของเชียงใหม่ของ ในการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามสถานที่และการใช้งาน ดังนี้

1) กลุ่มที่ 1 บริเวณพื้นที่ย่านการค้า ตลาด ลานกิจกรรม สถานที่สำคัญ แหล่งท่องเที่ยว ที่มีปริมาณการใช้สัญจรของผู้คนตลอดทั้งวัน โดยในพื้นที่ดังกล่าวจะออกแบบทางเดินเท้าที่มีการใช้ไม้ยืนต้น พืชพรรณในท้องถิ่นและองค์ประกอบภูมิทัศน์มาเพิ่ม (โคมไฟ ถังขยะ ของตกแต่งที่สื่อถึงเชียงใหม่) ใช้วัสดุปูทางเท้าแบบผิวหน้าหยาบ มีลายตกแต่งพื้นเป็นช่วง ๆ เพิ่มทางเดินสำหรับผู้พิการทางสายตา และถนนใช้วัสดุปูพื้นผิวขรุขระเพื่อช่วยจำกัดความเร็วของรถยนต์ จักรยานยนต์ และจักรยาน

2) กลุ่มที่ 2 บริเวณชุมชนที่พักอาศัยหรือหมู่บ้านที่มีปริมาณการใช้สัญจรน้อยหรือมีลักษณะการใช้สัญจรเป็นบางช่วงเวลา โดยในพื้นที่ดังกล่าวจะออกแบบทางเดินเท้าที่มีการใช้ไม้ยืนต้น ใช้พืชพรรณ ผักในท้องถิ่นและองค์ประกอบภูมิทัศน์มาเพิ่ม (โคมไฟ ม้านั่ง ถังขยะ ของตกแต่งที่สื่อถึงเชียงใหม่) ใช้วัสดุทางเท้าแบบดินอัดแน่นเน้นความเป็นธรรมชาติ



ภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างการออกแบบทางเดินเท้าที่นำโครงข่ายสีเขียวร่วมกับองค์ประกอบภูมิทัศน์ในย่านการค้า ฯลฯ ของเชียงใหม่ ที่นอกจากการใช้งานที่เหมาะสมแล้วยังสื่อถึงอัตลักษณ์ของพื้นที่ด้วย



ภาพที่ 12 แสดงตัวอย่างการออกแบบทางเดินเท้าที่นำโครงข่ายสีเขียวร่วมกับองค์ประกอบภูมิทัศน์ในย่านชุมชนของเชียงใหม่ ที่เน้นการใช้งานและนำเสนอความเป็นท้องถิ่นของเชียงใหม่

จากรูปแบบทางเดินเท้าลักษณะที่เป็นโครงข่ายสีเขียวของเชียงใหม่ที่ได้จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าอัตลักษณ์ของเชียงใหม่ที่นำมาใช้เป็นองค์ประกอบในการออกแบบภูมิทัศน์สรุปได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1) ความเป็นอัตลักษณ์เฉพาะตัวของเชียงใหม่ เช่น การนำพืชผักสมุนไพรพื้นถิ่นมาตกแต่งตามเส้นทาง องค์ประกอบภูมิทัศน์ที่สื่อถึงแม่น้ำโขงทั้งในแง่ของขึ้นชื่อและความเชื่อ เช่น ปลาบึก พญานาค เป็นต้น นอกจากนี้วัสดุที่นำมาใช้ในส่วนยังสื่อถึงความเป็นพื้นถิ่น ทั้งในแง่ทรัพยากรทางธรรมชาติ ประเพณี งานฝีมือ ความเชื่อ เช่น การตกแต่งองค์ประกอบภูมิทัศน์ด้วยไม้ไผ่จักสาน เป็นต้น

2) ความสอดคล้องกับอัตลักษณ์ของเชียงใหม่ คือ ความเป็นล้านนา เช่น การใช้ตุ๊กตาดั้ง (ธงแขวนแบบหนึ่งในศิลปะล้านนา) การใช้ไฟส่องสว่างลักษณะโคมล้านนา การออกแบบลวดลายปูพื้นทางเท้าในลักษณะลายผ้าทอหรือผ้าชนเผ่าของเชียงใหม่ ตลอดจนการใช้ปูนปั้นต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการใช้ไม้ยืนต้นที่สื่อถึงพื้นที่ เช่น เหลืองเชียงใหม่ (Golden trumpet tree) เป็นต้น

3) ความเป็นสากลจะเห็นได้จาก การใช้สัญลักษณ์ที่ผู้คนที่ทั้งภายในพื้นที่ที่สามารถเข้าใจตรงกันได้ เช่น ป้ายสัญลักษณ์ตามเส้นทางและตามสถานที่ต่าง ๆ การออกแบบเส้นทางที่แยกเส้นทางและควบคุมการสัญจรระหว่าง ทางรถ ทางเดินเท้า ทางจักรยาน ฯลฯ ด้วยการใช้ระดับความสูง วัสดุ สี สัญลักษณ์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการปรับเปลี่ยนทางเท้าและองค์ประกอบต่าง ๆ ให้เป็นลักษณะเพื่อคนทุกคน (Universal design)

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้แนวคิดเรื่องการนำเส้นทางเดินเท้ามาออกแบบให้เป็นโครงข่ายสีเขียว (Green network) ทั้งนี้นอกจากมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาแนวทางในการเชื่อมต่อและออกแบบทางเดินเท้าที่นำโครงข่ายสีเขียวมาใช้ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ แล้วยังคำนึงถึงประเด็นความยั่งยืนในเชิงกายภาพด้วย ซึ่งมีแนวทางสอดคล้องกับ Pachankoo and Sheng (2023) ที่เสนอประเด็นน่าสนใจไว้ว่า การออกแบบโครงข่ายสีเขียวต้องมีการออกแบบทุกรายละเอียด โดยให้ความสำคัญในเรื่องต่าง ๆ คือ 1) ความปลอดภัยการเข้าถึง ความสะดวก ของผู้ใช้งานโดยการออกแบบให้การเดินทางรูปแบบต่าง ๆ มีความเชื่อมต่อกันได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งระดับถนน ระดับเหนือถนน ระดับใต้ดิน 2) มีการเลือกใช้พืชพรรณท้องถิ่นหรือวัสดุที่ดี คงทน สามารถอยู่ได้ด้วยตัวเองหรือมีการดูแลรักษาที่น้อย แต่ให้ประโยชน์ที่หลากหลายต่อชุมชนเมือง 3) มีการออกแบบที่คำนึงถึงผู้ใช้งานทุกประเภท

(Universal design) โดยเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ที่ช่วยให้เกิดความยั่งยืนสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) การตกแต่งทางเดินเท้าด้วยการใช้พืชพรรณที่พบในเชิงของ นอกจากที่ช่วยในแง่ของการสร้างบรรยากาศ ส่งเสริมอัตลักษณ์แล้ว ยังสะดวกต่อการดูแลรักษาในระยะยาวเนื่องจากเป็นพืชในท้องถิ่น อีกประเด็นที่น่าสนใจ คือในชุมชนที่นำสมุนไพรหรือผักมาเป็นองค์ประกอบภูมิทัศน์ไว้ในสวนบริเวณหน้าบ้านแต่ละหลัง ซึ่งพบได้ในหลาย ๆ ชุมชนของเชียงของที่เกิดจากการตกลงร่วมกันภายในชุมชนนั้น ๆ นับเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ภูมิทัศน์สวยงามอยู่เสมอ เพราะมีแรงกระตุ้นจากการเป็นเจ้าของพื้นที่

2) การออกแบบสีเขียวเพื่อคนทุกคน (Green universal design) คือการนำการออกแบบเพื่อคนทุกคน (Universal design) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการออกแบบโครงข่ายสีเขียวในรูปแบบที่เหมาะสมกับเมืองลักษณะเชิงของ เพราะนอกจากจะทำให้ทางเดินเท้ามีความปลอดภัยเหมาะสมกับการใช้งานของคนทุกเพศทุกวัยแล้ว ยังเป็นการช่วยกระตุ้นให้ผู้คนอยากใช้งานทางเดินเท้ามากขึ้น เนื่องจากเส้นทางมีบรรยากาศที่สวยงาม ร่มรื่น มีสิ่งอำนวยความสะดวก ไม่มีสิ่งกีดขวางที่สร้างปัญหาในการใช้สัญจร และที่สำคัญคือเชื่อมต่อพื้นที่หนึ่งไปยังพื้นที่หนึ่งได้อย่างต่อเนื่อง มีความปลอดภัย

3) ทางเดินเท้าที่มีกลิ่นอายของอัตลักษณ์เชิงของ นอกจากเป็นการส่งเสริมพื้นที่ให้สวยงามโดดเด่นแล้ว ยังส่งผลต่อคนในพื้นที่ให้รู้สึกถึงการเป็นเจ้าของพื้นที่ ส่งเสริมให้เกิดการมีส่วนร่วมในการดูแลสภาพแวดล้อมด้วยกันในเชิงทางอ้อม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pachankoo and Shen (2024) ในประเด็นการสอดแทรกเอกลักษณ์เฉพาะชุมชนเข้าไป เช่น การใช้พืชพรรณ การใช้องค์ประกอบทางภูมิทัศน์ต่าง ๆ จะทำให้พื้นที่มีความน่าสนใจยิ่งขึ้น เพราะนอกจากจะช่วยสร้างบรรยากาศที่สื่อถึงอัตลักษณ์ในเชิงพื้นที่แล้ว หากมีการออกแบบที่สวยงามยังจะเป็นจุดหมาย (Destination) ที่สามารถดึงดูดนักท่องเที่ยวและอาจช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจภายในชุมชนได้

6. แนวทางในงานวิจัยนี้ไปปรับใช้ประโยชน์ในอนาคต

การออกแบบพื้นที่สีเขียวในลักษณะเส้นแนวยาวเชื่อมต่อกัน (Green Network) นับว่าเป็นเรื่องใหม่มากสำหรับเมืองไทย ในขณะที่หลาย ๆ ประเทศได้นำร่องพัฒนาเป็นรูปธรรมที่ชัดเจนแล้ว (Pachankoo and Shen, 2024) เช่น ประเทศสิงคโปร์กับการวางแผนเส้นทางสัญจรเขียว (Greenways Plan) ที่นอกจากออกแบบเส้นทางให้ร่มรื่น เพื่อใช้ในการสัญจรเชื่อมต่อพื้นที่ต่าง ๆ แล้ว ยังเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อประโยชน์ด้านอื่น ๆ ให้แก่เมืองได้ (Boonyanusith et al., 2015) เมืองหางโจว ประเทศจีน ที่มีแผนพัฒนาเมืองอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เมืองมีสภาพแวดล้อมที่ดี มีพื้นที่สีเขียวตามเส้นทางสัญจรรูปแบบต่าง ๆ ที่ได้รับการพัฒนาและบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2017 as cited in Pachankoo and Shen, 2024) เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จะสามารถใช้เป็นแนวทางการออกแบบและพัฒนาพื้นที่ ให้แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ในอนาคตทั้งภายในอำเภอเชียงของและพื้นที่อื่น ๆ แต่ทั้งนี้อาจต้องมีการจัดทำเวทีประชาคมระดมความคิดเห็นจากประชาชนในพื้นที่เพิ่มเติม รวมถึงอาจมีการประยุกต์รูปแบบทั้งรายละเอียดขนาด ให้เหมาะสมกับแต่ละสภาพพื้นที่ โดยงานวิจัยนี้จะป็นข้อมูลสนับสนุนให้ผู้ที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ประกอบการพัฒนาในด้านนี้ได้

7. เอกสารอ้างอิง

- Boonyanusith, N., Kung, S., and Lin, H. (2015). Greenways: An Important Element of Green Infrastructure. *Najua: Architecture*, 29, 387-404.
- Danwandee, D., Kongboontiam, P., Brzuszek F, R., Duanglampan, J., and Riabroi, S. (2013). *Green Network and Vertical Green Design Guideline*. Faculty of Architecture and Environmental design, Maejo University, Chiangmai. 100 p.
- Inchompoo, P., and Srithanyarat, S. (2017). Developing Green Network for Bangkok Metropolitan Area. *Academic Journal of Architecture (AJA)* 66: 99-120.
- Likert, Rensis. (1967). “*The Method of Constructing and Attitude Scale*”. In Reading in Fishbein, M (Ed.), *Attitude Theory and Measurement* (pp. 90-95). New York: Wiley & Son.
- Pachankoo, M., and Sheng, Zh. (2023). *Sustainable Green Network Design in Hangzhou, China: Lessons for Thai Urban Communities*. In SONA International Convention Role of Architecture in the Creation of Identity of the Contemporary City Kathmandu; Weise, K., Goyal, S., Eds.; Society of Nepalese Architects (SONA): Kathmandu, Nepal, 2023; Volume 2, pp. 176–183.
- Pachankoo, M., and Shen, Zh. (2024). *Developing Guidelines to Increase Green Space in Communities in Thailand Based on the Integration of Green Space into Commercial and Waterfront Routes in Singapore and Hangzhou (China)*. *Buildings*. 14(1366), 1-15. <https://doi.org/10.3390/buildings14051366>
- Pachankoo, M., and Shen, Zh. (2019). The Vernacular Landscape, Developing and Promoting Tourism in ChiangKhong District, Chiang Rai Province. *Asian Culture and History*, 11(1), 52-64.
- Pongta, T., Rattnasimakool, K., and Siriket, K. (2019). Creating Image for the Tourist City of Chiang Khong Special Economic Zone Chiang Rai Province Under the City of Two Systems Concept. *Governance Journal*, 8(2), 57-78.
- Public Relations Department. (2024). *Minister of Tourism and Sports visited Chiang Rai Province, revealed that the government was ready to push Chiang Rai to become the important tourist destination in Thailand*. Retrieved March 21, 2024, from <https://radiochiangrai.prd.go.th/th/content/category/detail/id/9/iid/270556>.
- Sathan Subdistrict Municipality. (2018). *Local Development Plan (2018-2022)*. Chiang Rai: Author.
- Taro, Yamanae. (1973). *Statistics: An Introductory Analysis*. London: John Weather Hill, Inc.

- Turner, T. (1996). *Greenways, blue ways, skyways and other ways to a better*. In: Fabos, J.Gy., Ahern, J. (Eds.), *Greenways: The Beginning of an International Movement*. Elsevier, London, pp.269–282.
- Uttano, Ch. (2017). *Strategic Environmental Assessment: Alternatives for Area Development of the Special Economic Zone Chiang Khong District*, Chiang Rai Province. Master thesis, National Institute of Development Administration, Bangkok.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากอัตลักษณ์ทุนวัฒนธรรม จังหวัดเชียงราย

Development of Art Toy Souvenirs Based on Cultural Capital Identity in Chiang Rai Province

รัชนิกร กุศลานนท์^{1*}, วัฒนพล อยู่สวัสดิ์², วิบูลพร วุฒิคุณ³, กฤษณะพันธุ์ ตันเจริญรัตน์⁴ และรัชณี ลือดารา⁵

Ratchanikorn Kussalanon^{1*}, Wattanapon Eusawat², Viboonporn Wutthikun³,

Kritsanapan Tancharoenrat⁴ and Ratchanee Luedara⁵

^{1*,2,3,4,5}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 80 ม.9 ต.บ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย 57100

โทร 08 9233 3987 Email: ratchanikorn.kus@crru.ac.th

^{1*,2,3,4,5}Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University, 80 Moo 9, Ban Du Subdistrict, Muang District, Chiang Rai Province, Thailand 57100

Tel. +668 9233 3987 Email: ratchanikorn.kus@crru.ac.th

วันที่รับบทความ 20 สิงหาคม 2567

วันที่รับแก้ไขบทความ 11 พฤศจิกายน 2567

วันที่ตอบรับบทความ 28 พฤศจิกายน 2567

Received: Aug. 20, 2024

Revised: Nov. 11, 2024

Accepted: Nov. 28, 2024

บทคัดย่อ

บทความวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากอัตลักษณ์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย เป็นส่วนหนึ่งในงานวิจัยการออกแบบผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากทุนวัฒนธรรม เพื่อการสร้างคุณค่าและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชียงรายเชิงสร้างสรรค์ มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ 1) เพื่อออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากทุนวัฒนธรรม เพื่อการสร้างคุณค่าและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชียงรายเชิงสร้างสรรค์ 2) เพื่อทดลองตลาดผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยสำหรับการท่องเที่ยวจังหวัดเชียงราย ที่สอดคล้องกับพฤติกรรมและกระแสนิยมในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ประเภทอาร์ตทอยของกลุ่มนักท่องเที่ยวในปัจจุบัน โดยมีรูปแบบวิธีการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods Research หรือ MMR) ซึ่งเป็นการผสมผสานการเก็บข้อมูลวิจัยหลายวิธี โดยในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เริ่มต้นด้วยสำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมของจังหวัดเชียงราย เพื่อนำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลหาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสอดคล้องกับพฤติกรรมของกลุ่มผู้บริโภคใหม่ เข้ากับกระแสนิยมและแนวโน้มการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ ส่วนที่ 2 นำผลวิเคราะห์ที่ได้มาสร้างอัตลักษณ์ที่ใช้สำหรับออกแบบพัฒนาคราฟต์อาร์ตทอยจากทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย จนทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากการใช้แนวคิดต้นแบบบุคลิกทั้ง 12 ต้นแบบ ในหลักการ Brand Archetype มาสร้างคราฟต์อาร์ตทอย โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มทุนวัฒนธรรมของจังหวัดเชียงราย ที่กลุ่มผู้บริโภคสนใจและรับรู้ผ่านการท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงราย กลุ่มที่ 1 กลุ่มธรรมชาติและงานสถาปัตยกรรมในพื้นที่จังหวัดเชียงราย กลุ่มที่ 2 กลุ่มชาติพันธุ์ (ชนเผ่า) และกลุ่มที่ 3 กลุ่มความเชื่อ วรรณคดี และตำนาน จำนวนทั้งหมด 21 รูปแบบ โดยได้ผลิตผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยออกมาจำนวนทั้งสิ้น 1,500 ต้นแบบ เพื่อทำการจำหน่ายและทดลองตลาดในงาน Chiangrai Biennale 2023 ที่จังหวัดเชียงรายเป็นเจ้าภาพ โดยมีผลประเมิน

ความพึงพอใจจากกลุ่มเป้าหมายที่มีต่อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรวมที่ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.66 อยู่ในระดับความพึงพอใจมาก

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก, ทุนวัฒนธรรม, อาร์ตทอย, อัตลักษณ์

Abstract

This research paper on “Development of Art Toy Souvenirs Based on Cultural Capital Identity in Chiang Rai Province” is part of a broader research project aimed at designing souvenirs from cultural capital to create value and promote creative tourism in Chiang Rai. The research has the following objectives: 1) To design and produce art toy souvenirs based on cultural capital to create value and promote creative tourism in Chiang Rai, and 2) To test the market for art toy souvenirs in Chiang Rai tourism that align with the current purchasing behavior and trends of art toys among tourists. A mixed methods research approach (MMR) was employed, integrating multiple data collection techniques. The study was divided into two phases. In the first phase, the research delved into the cultural heritage of Chiang Rai, analyzing and synthesizing data to identify suitable products that align with contemporary consumer behaviors and the trends of creative tourism. The second phase involved leveraging the findings to develop distinct brand archetypes inspired by Chiang Rai's cultural heritage, ultimately creating unique art toy souvenirs. These were divided into three cultural themes of Chiang Rai that consumers are interested in and perceive through tourism: 1) Nature and architecture, 2) Ethnic groups, and 3) Beliefs, literature, and legends. A total of 21 character designs were created, resulting in 1,500 art toy souvenirs. These were sold and tested at the Chiangrai Biennale 2023. The evaluation of customer satisfaction showed a high level of satisfaction, with an average score of 4.36 and a standard deviation of 0.66.

Keywords: Souvenir, Cultural Capital, Art toy, Identity

1. บทนำ

ทุนวัฒนธรรม (Cultural Capital) หมายถึง ทุนที่ใช้ไป ในการผลิตสินค้าและบริการที่มีนัยทางวัฒนธรรม สินค้าบริการใดที่มีวัฒนธรรมฝังตัวอยู่ สินค้าและบริการ (Nammueang, 2008) สิ่งเหล่านั้นคือ สินค้าวัฒนธรรม (Cultural products) ในจังหวัดเชียงรายนั้นมีทุนวัฒนธรรมที่มีความโดดเด่นเป็นเอกลักษณ์อยู่จำนวนมาก เช่น งานหัตถกรรม ผ้าทอ ผ้าปัก ผ้าชนเผ่า อาหาร ความหลากหลายของกลุ่มชาติพันธุ์ ภูมิทัศน์วัฒนธรรม ศิลปวัตถุท้องถิ่น เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาต่อในเชิงสร้างสรรค์เพื่อผลิตผลงานที่สามารถส่งเสริมมูลค่าเศรษฐกิจและการท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงรายได้เป็นอย่างดี แต่เนื่องจากทุนวัฒนธรรมที่มีนั้นยังขาดการพัฒนาต่อยอดในหลาย ๆ ด้าน เช่น เทคนิค กระบวนการผลิต การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ในเชิงสร้างสรรค์ การเพิ่มมูลค่าให้แก่ทุนวัฒนธรรมที่มีอยู่ ขาดช่องทางการเผยแพร่และการพัฒนาช่องทางการตลาดสมัยใหม่ ทำให้อัตลักษณ์

ที่เป็นต้นทุนไม่มีการสานต่อ ไม่ถูกเผยแพร่ให้เป็นที่รู้จัก ไม่มีการนำมาสร้างสรรค์ให้เกิดมูลค่าเพิ่ม ทั้งที่มีทรัพยากร วัตถุดิบ และภูมิปัญญาที่มีค่า ซึ่งทุนวัฒนธรรมเหล่านี้สามารถสร้างรายได้ให้พื้นที่ และส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดเชียงรายได้

จังหวัดเชียงรายมีการขับเคลื่อนเครือข่ายเมืองสร้างสรรค์ขององค์การการศึกษา วิทยาศาสตร์ และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ (UNESCO) โดยมีแนวทางที่จะพัฒนาเศรษฐกิจเพื่อรองรับการเป็น เครือข่ายเมืองสร้างสรรค์ (Creative Cities Network) ซึ่งเปิดโอกาสให้มีการเสนอความหลากหลาย ที่เป็นลักษณะเฉพาะของชุมชนท้องถิ่น โดยจังหวัดเชียงรายมุ่งเน้นไปที่การท่องเที่ยวเป็นตัวขับเคลื่อน ภาคเศรษฐกิจและสังคม ร่วมกับการนำเอาองค์ความรู้ อัตลักษณ์ท้องถิ่น ทุนวัฒนธรรม ความหลากหลาย ทางชาติพันธุ์ ทรัพยากรและธรรมชาติในพื้นที่ที่มีอยู่เพื่อมาสร้างคุณค่าให้กับสินค้าและบริการ ด้านการท่องเที่ยว จากการที่คณะผู้วิจัยสำรวจในพื้นที่จังหวัดเชียงรายมีสินค้าที่เป็นสินค้าท้องถิ่น ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ อีกทั้งสินค้าท้องถิ่นจะมีความเฉพาะในกลุ่มเป้าหมายหรือผู้บริโภค ทำให้ดึงดูด ความสนใจต่อกลุ่มนักท่องเที่ยวสมัยใหม่ได้น้อย เพราะผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นหลายชนิดเข้าถึงความต้องการ หรือดึงดูดสนใจได้ยาก และยังขาดสินค้าสร้างสรรค์ที่มีอัตลักษณ์เฉพาะตัวและอยู่ในกระแสความนิยม ยุคใหม่ ซึ่งกลุ่มนักท่องเที่ยวยุคใหม่ชอบสินค้าที่ทำให้พวกเขารู้สึกถึงความทรงจำ สามารถเข้าถึงได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องทรงคุณค่า แต่สามารถเก็บสะสมได้และสนุกกับการตามหาให้ครบชุด จำต้องถึง วัฒนธรรมท้องถิ่นได้ง่าย สามารถตามรอยท่องเที่ยวจากผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ได้ คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็น ความสำคัญที่จะกระตุ้นการอยากรู้ และการเริ่มต้นเข้าถึงทุนวัฒนธรรมของจังหวัดเชียงรายผ่าน กลุ่มนักท่องเที่ยวที่เป็นคนรุ่นใหม่ โดยใช้การออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย ที่เป็นอัตลักษณ์ของจังหวัดเชียงรายมาดึงดูดความสนใจ

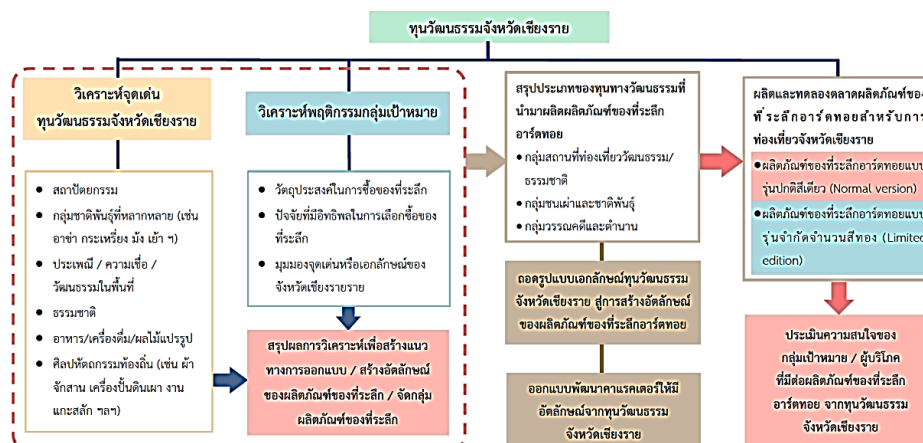
ดังนั้นเพื่อเป็นส่งเสริมและขับเคลื่อนนครเชียงรายให้เป็นเมืองสร้างสรรค์ เพื่อการพัฒนา อย่างยั่งยืน (Creative Cities) ส่งเสริมการท่องเที่ยวและเศรษฐกิจเพื่อการรองรับงาน Chiangrai Biennale 2023 (งานศิลปะระดับโลก) งานวิจัยเรื่องการออกแบบผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากทุนวัฒนธรรม เพื่อการสร้างคุณค่าและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชียงรายเชิงสร้างสรรค์นี้ จะเป็นแรงผลักดันผลงาน และผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากทุนวัฒนธรรมในจังหวัดเชียงรายให้เป็นที่รู้จัก ช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจ ในพื้นที่และส่งเสริมความเป็นอัตลักษณ์ของนครเชียงราย สอดคล้องกับภูมิทัศน์วัฒนธรรม สถานที่ท่องเที่ยว วัฒนธรรม ประเพณี ศิลปหัตถกรรมในพื้นที่ให้มีคุณค่าเพิ่มขึ้น โดยสามารถทำให้เกิดความสนใจ และสามารถดึงดูดความต้องการต่อตลาดสินค้าและบริการในปัจจุบันอย่างสร้างสรรค์ และเกิดมูลค่าเพิ่ม ทางเศรษฐกิจของพื้นที่ในอนาคตต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากทุนวัฒนธรรม เพื่อการสร้าง คุณค่าและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชียงรายเชิงสร้างสรรค์

2.2 เพื่อทดลองตลาดผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย สำหรับการท่องเที่ยวจังหวัดเชียงราย ที่สอดคล้องกับพฤติกรรม และกระแสนิยมในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ประเภทอาร์ตทอยของกลุ่ม นักท่องเที่ยวในปัจจุบัน

3. กรอบแนวความคิดในการออกแบบพัฒนาอัตลักษณ์ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากทุนวัฒนธรรม จังหวัดเชียงราย



ภาพที่ 1 กรอบแนวความคิดในการออกแบบพัฒนาอัตลักษณ์ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากทุนวัฒนธรรม จังหวัดเชียงราย

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติที่มาเที่ยวในจังหวัดเชียงราย กลุ่มตัวอย่างที่ผู้วิจัยทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจากกลุ่มประชากรจำนวน 200 คน โดยใช้เกณฑ์ในการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental sampling) และการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ต้องการหาความพึงพอใจในการเลือกสินค้าผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย ที่ความสอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้บริโภค

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1) แบบสอบถามความต้องการผู้บริโภค เพื่อหาข้อมูลในการสร้างแนวทางการออกแบบและออกแบบผลิตภัณฑ์

2) แบบสัมภาษณ์ศิลปินและนักออกแบบในพื้นที่ เพื่อหาข้อมูลเอกลักษณ์ในการสร้างแนวทางการออกแบบและออกแบบผลิตภัณฑ์ระลึกอาร์ตทอย ให้มีอัตลักษณ์ที่สามารถดึงดูดให้ผู้บริโภคหรือกลุ่มเป้าหมายสนใจเลือกซื้อ

4.3 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลจากวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านทุนวัฒนธรรม แนวคิดด้านการท่องเที่ยวและเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์ และกระบวนการออกแบบเพื่อนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลในการกำหนดขอบเขตเนื้อหา สร้างเครื่องมือวิจัยและออกแบบวิธีวิจัย

2) สร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การใช้แบบสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้าง (Unstructured Interview) ซึ่งไม่กำหนดคำถามแน่นอนทำให้มีความยืดหยุ่นในการถาม เพื่อให้ข้อมูลเชิงลึกภายใต้กรอบวัตถุประสงค์งานวิจัย และส่วนที่ 2 ที่ใช้กับแบบสอบถามผู้บริโภคและแบบประเมินพึงพอใจ (Questionnaire) โดยใช้แบบคำถามปลายปิด (Close Ended Question)

ผสมการใช้คำถามปลายเปิด (Open Ended Question) และแบบสอบถามแบบจัดอันดับ (Ranking Question) เพื่อหาปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ในเชิงคุณภาพ และวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณ

3) การสำรวจเก็บรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องของทุนวัฒนธรรมด้วยเครื่องมือ ทำการวิเคราะห์ SWOT และสังเคราะห์ข้อมูล ตรวจสอบข้อมูล

4) การหาแนวทางการออกแบบและออกแบบสร้างสรรค์ผลงานจากแนวทางการออกแบบ ประเมินความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญเพื่อการสรุปผลการออกแบบ กระบวนการทำต้นแบบ

5) ผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ (Prototype) เพื่อทดสอบการใช้งานและประเมินประสิทธิภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหัวข้อการประเมินประกอบไปด้วย 4 ประเด็นหลัก คือ (1) ด้านความสวยงาม (2) คุณค่าของผลิตภัณฑ์ (3) ด้านราคา (4) ประโยชน์ใช้สอยและความคุ้มค่า

6) การเผยแพร่ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากทุนวัฒนธรรมและการทดลองจำหน่ายในพื้นที่จริง

7) การสรุปผล อภิปรายผล

4.4 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเรื่องการออกแบบผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากทุนวัฒนธรรม เพื่อการสร้างคุณค่า และส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ มีรูปแบบวิธีวิจัยการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods Research หรือ MMR) ซึ่งเป็นการผสมผสานการเก็บข้อมูลวิจัยหลายวิธี โดยในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 ระยะด้วยกันคือ ระยะที่ 1 คือ เริ่มต้นด้วยการวิจัยเชิงคุณภาพเป็นการวิจัยหลัก เพื่อสำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อการวิจัยให้เข้าใจชัดเจน แล้วนำผลมาออกแบบการวิจัยเชิงปริมาณ ระยะที่ 2 ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บข้อมูลสนับสนุนของผลการวิจัยเชิงคุณภาพ ด้วยการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างจากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลและบรรยายสรุปผลการวิจัย

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

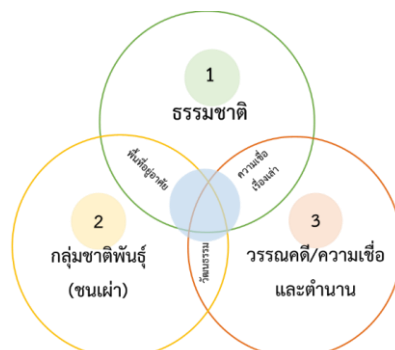
1) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) โดยการจำแนกข้อมูลจากนั้นแปลงข้อมูลโดยการนับความถี่และการวัดความซ้ำของข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์ สังเคราะห์และสรุปผลเพื่อนำไปสู่การออกแบบ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสำรวจและแบบสังเกต จากนั้นนำมาเรียบเรียงและนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางประกอบคำบรรยาย

2) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ในงานวิจัยนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละ ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามความต้องการ และความพึงพอใจ จากนั้นนำเสนอการแปรผลข้อมูลในรูปแบบของตารางประกอบคำบรรยาย

5. ผลการวิจัย

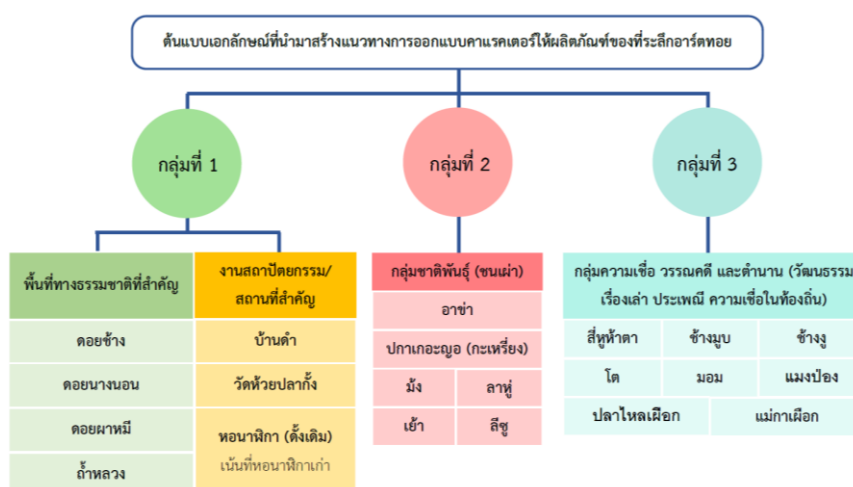
จากการศึกษาวิจัยได้แนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากทุนวัฒนธรรมจังหวัด เชียงราย เป็นผลิตภัณฑ์ของสะสมกึ่งของเล่นตั้งโชว์จากการดึงเอาเอกลักษณ์ท้องถิ่นในจังหวัดเชียงรามาสร้างเป็นคาแรคเตอร์ (Character) ในรูปแบบอาร์ตทอย (Art toy) โดยคณะผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถาม เพื่อค้นหาความต้องการและการรับรู้ด้านเอกลักษณ์ของจังหวัดเชียงรายของกลุ่มผู้บริโภค และนักท่องเที่ยว เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากทุนวัฒนธรรม ซึ่งแนวทางที่เกิดขึ้นจากการสำรวจตลาดและทิศทางการนำพฤติกรรม และการรับรู้ของกลุ่มเป้าหมายมาสร้างแนวทาง

ในการออกแบบ ซึ่งสามารถสรุปจุดเด่นและเอกลักษณ์ของจังหวัดเชียงรายที่นำมาสร้างคาแรคเตอร์ (Character) ในรูปแบบอาร์ตทอย (Art toy) ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้



ภาพที่ 2 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ของทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย 3 กลุ่ม ที่ใช้เป็นแนวทางในการคาแรคเตอร์ (Character) ในรูปแบบอาร์ตทอย (Art toy)

จากการวิเคราะห์และสรุปผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมนักท่องเที่ยวและชื่อของที่ระลึกในจังหวัดเชียงราย จากกลุ่มนักท่องเที่ยวที่เข้ามาเที่ยวในพื้นที่ โดยสรุปเอกลักษณ์จุดเด่น ที่เป็นที่รู้จัก และกลุ่มเป้าหมายรับรู้เรื่องราวเกี่ยวกับวัฒนธรรมที่เป็นเอกลักษณ์มากที่สุดในจังหวัดเชียงราย ตามแผนผังภาพดังนี้



ภาพที่ 3 แผนผังแสดงการวิเคราะห์ผลสำรวจการรับรู้ด้านเอกลักษณ์ของนักท่องเที่ยวที่เข้ามาเที่ยวในจังหวัดเชียงราย เพื่อสร้างแนวทางในการออกแบบคาแรคเตอร์ (Character) ในรูปแบบอาร์ตทอยได้ 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กลุ่มวัฒนธรรม และงานสถาปัตยกรรมในพื้นที่จังหวัดเชียงราย ที่น่าจดจำและเป็นจุดเด่นที่นักท่องเที่ยวเลือกมาเที่ยวในจังหวัดเชียงรายเป็นอันดับที่ 1 จากกลุ่มทุนวัฒนธรรมประเภทอื่น ๆ ดังแผนผังภาพที่ 3

กลุ่มที่ 2 กลุ่มชาติพันธุ์ที่มีความหลากหลายในพื้นที่จังหวัดเชียงราย เป็นภาพจำในกลุ่มนักท่องเที่ยวรองลงมาเป็นอันดับที่ 2 ซึ่งเป็นความพิเศษในพื้นที่ของจังหวัดเชียงรายที่มีหลากหลาย

ชนเผ่าอาศัยอยู่ในพื้นที่ โดยมีทุนวัฒนธรรมที่หลากหลาย เช่น เครื่องแต่งกาย ภาษา อาหาร งานหัตถกรรม และวัฒนธรรม เป็นต้น ดังแผนผังภาพที่ 3

กลุ่มที่ 3 กลุ่มความเชื่อ วรรณคดี และตำนาน ที่เป็นที่น่าสนใจรองลงมาเป็นอันดับที่ 3 ซึ่งกลุ่มนี้มีความสัมพันธ์กันกับสถานที่ทางธรรมชาติ ประเพณี ประวัติความเป็นมา วัฒนธรรมทางชาติพันธุ์ จนเกิดเป็นเรื่องเล่า ตำนาน ความเชื่อในพื้นที่ ทำให้เอกลักษณ์ทางด้านนี้ปรากฏทั้งในสถานที่ท่องเที่ยวและวัฒนธรรมในพื้นที่อยู่เสมอ ดังแผนผังภาพที่ 3

โดยเอกลักษณ์และจุดเด่นของจังหวัดเชียงรายทั้ง 3 กลุ่ม จะเป็นตัวกำหนดแนวทางการออกแบบคาแรคเตอร์อาร์ตทอยให้กับคณะผู้วิจัยและศิลปินในพื้นที่ เพื่อเป็นการสื่อสารให้แก่กลุ่มนักท่องเที่ยวที่เข้ามาท่องเที่ยวได้รู้จักและสามารถนำไปสืบค้นต่อจนเกิดการตามรอยท่องเที่ยว ทำให้กลุ่มเป้าหมายได้เข้าถึงและเข้าใจธรรมชาติในพื้นที่ งานสถาปัตยกรรม กลุ่มชาติพันธุ์ (ชนเผ่า) ความเชื่อ วรรณคดี และตำนานเหล่านั้นจากการมาเที่ยวยังในพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกัน ควบคู่กับการเก็บสะสมผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย จากการท่องเที่ยวให้ครบ จนเกิดเป็นคุณค่าทางวัฒนธรรมที่จับต้องได้ผ่านผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจังหวัดเชียงราย

ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลการรับรู้ทางเอกลักษณ์ จุดเด่น และวัฒนธรรมในพื้นที่จังหวัดเชียงราย ทำให้ผู้วิจัยนำข้อมูลผ่านการวิเคราะห์และสังเคราะห์มาสร้างแนวทางการออกแบบโดยผ่านกระบวนการออกแบบเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interactive Design) ซึ่งเป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์และการบริการ ได้ปรับเปลี่ยนไปตามความต้องการที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสังคม เมื่อย้อนมาเปรียบเทียบกับงานหัตถกรรม หากงานหัตถกรรมสามารถปรับเปลี่ยนบทบาทใหม่จากของใช้ในวิถีชีวิตสมัยโบราณมาเป็นสินค้าสำหรับคนยุคใหม่ในบริบทใหม่ เช่น สินค้าของที่ระลึกสำหรับนักท่องเที่ยว สินค้าเพื่อการสะสมหรือของเล่นเชิงศิลปะ สินค้าเพื่อการตกแต่งต่าง ๆ หรืองานหัตถกรรมที่ตอบสนองพฤติกรรมของคนยุคใหม่ (Nakson, 2015)

การออกแบบผลิตภัณฑ์จากทุนวัฒนธรรมเหล่านี้ จึงกลายเป็นเรื่องสำคัญที่ส่งผลให้คณะผู้วิจัยและนักออกแบบ ศิลปินรุ่นใหม่ในเชียงราย ได้หาแนวทางการออกแบบทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย โดยเปลี่ยนบริบทของทุนวัฒนธรรมเดิมไปเป็นสินค้าร่วมสมัยหรือสินค้าในกระแสนิยมอย่างผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย ซึ่งทำให้ทุนวัฒนธรรมเป็นที่รู้จักและรับรู้วัฒนธรรมต่าง ๆ ในจังหวัดเชียงรายของนักท่องเที่ยวผ่านผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย โดยการหาจุดร่วมทางการตลาดรูปแบบใหม่อย่างการสุ่มให้ได้สินค้าเหมือนการซื้อกล่องสุ่ม ด้วยวิธีการหมุนกาชาปองให้ลูกบอลสุ่มตกออกมาจากตู้ โดยมีผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยในรูปแบบรุ่นปกติธรรมดา (Normal version) และแบบรุ่นจำกัดจำนวนสีทอง (Limited edition) ให้นักท่องเที่ยวได้ลุ้นและสนุกไปกับการเก็บสะสมให้ครบทุกรูปแบบ และยังสามารถตามรอยท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมผ่านอาร์ตทอยนั้น ๆ ซึ่งถือเป็นการเผยแพร่วัฒนธรรมอีกรูปแบบหนึ่ง

ตัวอย่างการออกแบบ และถอดรูปแบบ รูปร่าง รูปทรง จากเอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงรายทั้ง 3 กลุ่ม เพื่อสร้างอัตลักษณ์ให้แก่ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ใช้หลักการสร้างคาแรคเตอร์ โดยมีส่วนประกอบของการดึงเอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมออกมา ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบในการสร้างคาแรคเตอร์ที่เป็นอัตลักษณ์จากทุนวัฒนธรรมจังหวัด
เชียงราย

ส่วนประกอบ	รายละเอียด
เรื่องราว (Story)	เรื่องราวจะเป็นตัวกำหนดพื้นที่ ช่วงเวลา ภาพจำหรือการสร้างโลกให้กับคาแรคเตอร์ ทั้งยังช่วยกำหนดประเภท (Genre) ของงานออกแบบคาแรคเตอร์ที่น่าเสนอ เช่น น่ารัก ตลก น่ากลัว เป็นต้น และกำหนดการแสดงออกของคาแรคเตอร์ด้วย
ลักษณะเฉพาะ (Character Profile)	1) ลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง เพศ อายุ 2) ลักษณะ บุคลิก คุณลักษณะเฉพาะ เป็นต้น
ตัวต้นแบบ (Archetypes)	ตัวต้นแบบของคาแรคเตอร์ (Archetypes) ที่ต้องกำหนดกลยุทธ์ในการสื่อสารการตลาดให้สอดคล้องกับตัวต้นแบบที่เลือก โดยใช้แนวคิดต้นแบบบุคลิกทั้ง 12 แบบ ที่สังเคราะห์จากงานวิจัยของแคโรล เอส เพียร์สัน (Pearson, 2015 as cited in Hetayothin, 2021) และหลักการ Brand Archetype เพื่อใช้ในการสร้างคาแรคเตอร์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงรายทั้ง 21 แบบ (Mark & Pearson, 2001)
รูปแบบคาแรคเตอร์	รูปแบบทางลักษณะกายภาพของคาแรคเตอร์ เช่น สมจริง (Realistic) กึ่งสมจริง (Semi-Realistic) รูปแบบที่เกินกว่าความเป็นจริง (Stylized) ไม่เน้นความสมจริงตามต้นแบบ ออกแบบจากเอกลักษณ์ และตัดทอนรูปร่างรูปทรง โดยใช้องค์ประกอบศิลป์และหลักการออกแบบสร้างให้มีอัตลักษณ์เฉพาะตัว

ที่มา: ผู้วิจัยดัดแปลงจากองค์ประกอบการสร้างตัวละคร (Hetayothin, 2021)

โดยคณะผู้วิจัยได้สร้างเครือข่ายการออกแบบจากการร่วมมือของศิลปินและนักออกแบบในพื้นที่จังหวัดเชียงราย เพื่อสร้างสรรค์ผลงานผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย จำนวน 21 รูปแบบ ซึ่งคณะผู้วิจัยยกตัวอย่างการถอดรูปแบบจากเอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย มาออกแบบพัฒนาสร้างอัตลักษณ์ให้แก่ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทอาร์ตทอย (Art toy) ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการออกแบบและถอดรูปแบบเอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย 3 กลุ่ม
ให้แก่ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย โดยใช้แนวคิดต้นแบบบุคลิกทั้ง 12 แบบ
ในหลักการ Brand (Mark & Pearson, 2001)

ต้นแบบ	ออกแบบคาแรคเตอร์อาร์ตทอย
กลุ่มที่ 1 ธรรมชาติและงานสถาปัตยกรรมในพื้นที่จังหวัดเชียงราย	
ดอยนางนอน 	

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการออกแบบและถอดรูปแบบเอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย 3 กลุ่ม
ให้แกผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย โดยใช้แนวคิดต้นแบบบุคลิกทั้ง 12 แบบ
ในหลักการ Brand (Mark & Pearson, 2001) (ต่อ)

ต้นแบบ	ออกแบบคาแรคเตอร์อาร์ตทอย
เรื่องราวและเอกลักษณ์ ดอยนางนอนลักษณะคล้ายรูปร่างของผู้หญิงที่นอนจนเกิดเป็นเทือกเขาตามธรรมชาติ จะเห็นรูปร่างเป็นผู้หญิงได้ชัดจากถนนเส้นหลักจากอำเภอเมืองเชียงรายสู่อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย แม่กวนอิม วัดห้วยปลากั้ง  เรื่องราวและเอกลักษณ์ สถาปัตยกรรมและปฏิมากรรมองค์เจ้าแม่กวนอิมขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย มีความสูงประมาณ 79 เมตร ตั้งอยู่บนเนินเขา มักนิยมมาขอพรในเรื่องสุขภาพ การเงิน การงาน ภายในองค์เจ้าแม่กวนอิมมีทั้งหมด 9 ชั้น มีพระโพธิสัตว์จำลองแกะสลักจากไม้หอม และแต่ละชั้นจะมีพระพุทธรูปประจำชั้นประดิษฐานอยู่ สามารถขึ้นไปเพื่อชมวิวดอยห้วยปลากั้งจากมุมสูงได้ อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง ขุนน้ำนางนอน  เรื่องราวและเอกลักษณ์ เป็นสถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่นักท่องเที่ยวรู้จัก และเป็นถ้ำที่เกิดจากการกัดเซาะของน้ำใต้ดินเป็นเวลานาน มีขนาดใหญ่และลึกเป็นอันดับที่ 4 ของไทยมีความยาว 10.3 กิโลเมตร และลาดชันมาทางทิศตะวันออกปากถ้ำเป็นโถงกว้างและสูงกว่าโถงถ้ำแรก ภายในถ้ำสามารถพบเกล็ดหินสะท้อนแสง หินงอก หินย้อย ถ่านน้ำ ถ้ำลอด และถ้ำแขวน	ออกแบบ ได้ดึงเอาลักษณะกายภาพเบื้องต้นมาออกแบบเป็นคาแรคเตอร์ของหญิงสาวที่นอนอิงแอบกับระดับความสูงของเทือกเขาสีเขียว โดยใช้ลายเส้นที่ดูอบอุ่น น่ารักไว้เคียงสา เพื่อสื่อถึงความอ่อนหวานงดงามของหญิงสาว  ออกแบบ โดยดึงเอาบุคลิกผู้บริสุทธิ์ (Innocent) คือ บุคลิกที่มีความสดใส เป็นมิตร มองโลกในแง่ดี ซื่อสัตย์ บริสุทธิ์ ใช้โทนสีขาวที่เป็นเอกลักษณ์ในความเชื่อความศรัทธาให้คาแรคเตอร์ดูนุ่มนวล ใบหน้าของคาแรคเตอร์เจ้าแม่กวนอิมเน้นให้มีความอวบอ้อม ดวงตาใสและกลมโตเพื่อสื่อถึงความใจดีมีเมตตา และยังทำให้คาแรคเตอร์ของเจ้าแม่กวนอิมดูน่ารัก ไม่เน้นเส้นสมจริงแต่เน้นเส้นการ์ตูนให้เหมาะกับความรักของอาร์ตทอย  ออกแบบ โดยดึงเอาเอกลักษณ์ของเกล็ดหินสะท้อนแสง หินงอก หินย้อย มาสร้างบุคลิกคาแรคเตอร์แบบวีรบุรุษ (The Hero) ผู้ปกครอง (The Ruler) และผู้วิเศษ (The Magician) คือ ทรงพลัง ขาญฉลาด มีความมั่นคง มีความกล้าหาญ เด็ดเดี่ยว มุ่งมั่น ต้องการเอาชนะอุปสรรค เปลี่ยนแปลงโลก โดยใช้ลายเส้นแบบการ์ตูนที่วาดเป็นหินซ้อนทับกันเป็นชั้น ๆ แสดงถึงความศรัทธา เปรียบเหมือนสิ่งศักดิ์สิทธิ์และวีรบุรุษที่เข้าไปช่วยเหลือเด็ก 13 ชีวิตที่ติดอยู่ในถ้ำหลวง

กลุ่มที่ 2 กลุ่มชาติพันธุ์ (ชนเผ่า)

เย้า (เมี่ยน)



ตารางที่ 2 ตัวอย่างการออกแบบและถอดรูปแบบเอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย 3 กลุ่ม
ให้แก่ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย โดยใช้แนวคิดต้นแบบบุคลิกทั้ง 12 แบบ
ในหลักการ Brand (Mark & Pearson, 2001) (ต่อ)

ต้นแบบ	ออกแบบคาแรคเตอร์อาร์ตทอย
เรื่องราวและเอกลักษณ์ ผู้หญิงเข้ามามีการแต่งกายที่ดูเด่นแปลกตา ด้วยการโพกศีรษะด้วยผ้าสีกรมพันทับกันหลายชั้น แทรกด้วยลายปักหรือพู่กลมสีแดง สวมใส่เสื้อคลุมยาวสีดำติดพู่ไหมพรมสีแดงเป็นแนวทแยงยาวรอบคอกมาถึงหน้าหน้าท้อง สวมกางเกงยาวลายสีกรมปักลวดลายที่ละเอียดประณีต อาข่า  เรื่องราวและเอกลักษณ์ อาข่าเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ที่อาศัยอยู่ในหมู่บ้านเล็ก ๆ บนพื้นที่สูงในจังหวัดเชียงราย ซึ่งอพยพมาจากประเทศจีน โดยเอกลักษณ์ที่โดดเด่นของอาข่า คือเครื่องแต่งกายของชายและหญิงที่เน้นสีสันฉูดฉาดตัดกับผ้าสีดำ และมีแผ่นเงินประกอบบนเครื่องแต่งกาย และทำลายผ้าด้วยเทคนิคแพทช์เวิร์ค (Patchwork) หรือศิลปะการต่อผ้า จนเกิดเป็นลายที่ตัดกันด้วยสีสันสดใส ลาหู่  เรื่องราวและเอกลักษณ์ ลาหู่เป็นชนเผ่าหนึ่งอาศัยอยู่บนภูเขาของจังหวัดเชียงราย มีอีกชื่อว่า "มูเซอ" และในชนเผ่ามีเอกลักษณ์สำคัญอย่างเทศกาล "กินวอ" หรือการขึ้นปีใหม่ของชาวลาหู่ ที่จัดช่วง กุมภาพันธ์ – เมษายน จะมีการใช้หมูดำเป็นหลักในการสังเวยและกินเลี้ยงกัน ซึ่งจะล้มหมูดำแล้วเอาส่วนที่เป็นเนื้อหมูและหัวของหมู นำไปเช่นสังเวยต่อเทพเจ้า "อ้อซา" ซึ่งชาวลาหู่ให้ความเคารพนับถือ แล้วจึงนำเนื้อหมูมาปรุงเป็นอาหารเลี้ยงในงานอีกที	ออกแบบ ได้ดึงเอาลักษณะการแต่งกายของผู้หญิงเข้ามามีในการออกแบบคาแรคเตอร์ โดยดึงเอาเอกลักษณ์การโพกศีรษะ และการประดับตกแต่งเครื่องแต่งกายด้วยพู่สีแดง ออกแบบคาแรคเตอร์ให้ดูอวบอ้วน มีส่วนศีรษะกลมใหญ่เพื่อให้ดูน่ารักเหมือนการตุ้มมากกว่ามนุษย์จริง เพื่อสื่อถึงความสดใสและไร้เดียงสา และให้มีบุคลิกผู้บริสุทธิ์ (Innocent) เป็นมิตรแบบหญิงสาวใจดี  ออกแบบ จากต้นแบบได้ดึงเอาเอกลักษณ์ของผู้หญิงอาข่าที่การแต่งกายมีสีสันสดใสของลวดลายบนเสื้อผ้าและเครื่องประดับ มาสร้างเป็นคาแรคเตอร์โดยดึงบุคลิกผู้ขบขัน (The Jester) ร่วมกับบุคลิกผู้บริสุทธิ์ (Innocent) สดใส ร่าเริง สนุกสนาน สร้างเสียงหัวเราะ เป็นมิตร ไม่มีพิษมีภัย ใช้สีสันสดใสแต่ปรับโทนสีให้อ่อนลง วาดภาพแบบลายเส้นการ์ตูนหัวกลมโต มีแก้มอวบ เพื่อสื่อถึงความน่ารักแบบเด็ก  ออกแบบ ได้ดึงเอาเอกลักษณ์สำคัญของงานอย่างหมูดำและกระเป๋าย่างที่ชาวลาหู่มีกะพวยติดตัวเสมอ มาใช้ในการสร้างคาแรคเตอร์ "ลาหู่ บุตะ" น้องหมูดำที่ใส่ชุดที่ดึงเอาเอกลักษณ์ของยามมาใส่ ด้วยการดึงเอาบุคลิกผู้ดูแล (The Caregiver) ร่วมกับบุคลิกผู้ใจดี (The Innocent) คือ เมตตา เสียสละ ช่วยเหลือผู้อื่น ซื่อสัตย์ และบริสุทธิ์ โดยใช้สีดำและสีแดงเพียงแค่สองสี วาดด้วยลายเส้นการ์ตูนให้ดูอวบอ้วน ใบหน้าอ่อนโยน แววตามีความอ่อนโยน มีเมตตา ทำให้สื่อให้ดูอ่อนลง
กลุ่มที่ 3 กลุ่มความเชื่อ วรรณคดี และตำนาน ต้นแบบสี่หูห้าตา  เรื่องราวและเอกลักษณ์ แมงสี่หูห้าตาที่ปั้นขึ้นมาใหม่ในปี พ.ศ. 2551 เป็นสัตว์ในตำนานของวัดพระธาตุดอยเชาว์แก้ว อำเภอมือเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย มีลักษณะเหมือน	 ออกแบบ ได้ดึงเอาลักษณะจากรูปปั้นแมงสี่หูห้าตาบนวัดพระธาตุดอยเชาว์แก้ว จังหวัดเชียงราย มาเป็นต้นแบบ โดยออกแบบรูปร่างให้มีความเป็นการ์ตูนมากขึ้นเพื่อให้ดูเป็นมิตรมากขึ้น เน้นให้ร่างกายมีพื้นที่อ้วนกลมเหมือนหมี ใบหน้ายิ้มแย้มและใช้สีโทน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการออกแบบและถอดรูปแบบเอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย 3 กลุ่ม ให้แก่ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย โดยใช้แนวคิดต้นแบบบุคลิกทั้ง 12 แบบ ในหลักการ Brand (Mark & Pearson, 2001) (ต่อ)

ต้นแบบ	ออกแบบคาแรคเตอร์อาร์ตทอย
หมีสีดำตัวอ้วน มี 4 หู 5 ตา รับประทานถั่วไพธอนเป็นอาหาร และถ่ายมูลเป็นทองคำ มอม (วัดพระแก้วจังหวัดเชียงราย)  เรื่องราวและเอกลักษณ์ มอม สัตว์หิมพานต์ หน้าตาคลายราชสีห์ผสมมังกร ในอดีตว่ากันว่ามอมเป็นสัตว์ที่มีอึดตาสูง ทรงกำลังมหาศาล เป็นเหตุให้ลืมหู ทำให้มอมไม่สามารถกลับขึ้นไปยังสวรรค์ได้ จึงถูกให้มานั่งเฝ้าอยู่หน้าเขตพุทธสถานเพื่อรับฟังพระธรรมและสร้างสุขให้กับมนุษย์โลก เพื่อเพิ่มบุญเพิ่มกุศล โดยเป็นตัวกลางเพื่อขอให้ฝนฟ้าตกต้องตามฤดูกาล โต  เรื่องราวและเอกลักษณ์ “โต” สัตว์มงคลตามความเชื่อของชาวไทยใหญ่ในจังหวัดเชียงราย มีลักษณะเป็นสัตว์สี่เท้า บางตัวมีขนยาวปุกปุย บางตัวไม่มีขน ส่วนหัวบางแห่งมีลักษณะคล้ายเสี้ยนผา บางตัวมีหัวคล้ายมังกร เป็นตัวแทนของสิริมงคลและความเจริญรุ่งเรืองก้าวหน้า และช่วงออกพรรษาของชาวไทยใหญ่ การฟ้อนโตหรือเต้นโตคู่กับการฟ้อนนก กิงกะหฺร่า	เย็นเพื่อลดลักษณะท่าทางที่ดูร้ายลงจากรูปปั้นของจริง เพื่อสื่อถึงความรัก ความสนใจ  ออกแบบ ได้ดึงเอาเอกลักษณ์ของลักษณะท่าทางของปูนปั้นที่วัดพระแก้วมาเป็นต้นแบบ โดยดึงเอาบุคลิกผู้บริสุทธิ์ (Innocent) และผู้วิเศษ (Magician) คือ สดใสร่าเริง เป็นมิตร ไม่มีพิษมีภัย และสร้างสรรค์สิ่งที่น่าเหลือเชื่อ มหัศจรรย์ จากการเปรียบเทียบนิบาแห่งความข่มขู่ในพิธีขอฝน โดนใช้โขนสีขาว สีเหลืองทองอ่อน ๆ และสีชมพูอ่อน ใช้ลายเส้นการตกแต่งที่ดูสนุกสนานอย่างเส้นโค้ง วาดท่าทางให้ดูขี้เล่น เป็นมิตร และวาดหัวให้กลมขึ้นเพื่อให้ดูสมมาตร  ออกแบบ ได้ดึงเอาเอกลักษณ์ของโตที่เป็นชุดในการใช้ฟ้อนโตของชาวไทยใหญ่ที่มีขนหนานุ่มทำให้ขนาดตัวอ้วนและปุกปุย มาใช้ในการออกแบบคาแรคเตอร์ โดยดึงเอาบุคลิกของ ผู้ปกครอง (The Ruler) และนักผจญภัย (Explorer) คือ ทรงพลัง ขาญฉลาด มีความมั่นคง และใจขณะเดียวกันก็ลึกลับ น่าค้นหา มีความท้าทาย โดยใช้เส้นโค้งวาดให้มีตัวมีความอวบและดูมั่นคง หน้ากากคล้ายเสี้ยนผาหรือกระต่ายดูลึกลับและแสดงถึงอำนาจของผู้นำ

จากตารางที่ 2 คณะผู้วิจัยได้นำการออกแบบและถอดรูปแบบ จากเอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงรายทั้ง 3 กลุ่ม ไปผลิตเป็นต้นแบบจริงของผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย โดยการนำไปขึ้นรูปสามมิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป จากการออกแบบแบบที่คณะผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ตามตารางที่ 2 เมื่อได้แบบสามมิติจึงนำไปพิมพ์สามมิติเพื่อขึ้นต้นแบบสำหรับทำบล็อกล้อหรือเซรามิก โดยมี 2 รุ่น คือ รุ่นปกติสีเดียว (Normal version) และรุ่นจำกัดจำนวนสีทอง (Limited edition) แสดงภาพผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงต้นแบบจริงของผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากทุนวัฒนธรรม จังหวัดเชียงราย
 โดยการผลิตด้วยเรซินแบบสีเดียว 2 รุ่น คือ รุ่นปกติสีเดียวและรุ่นจำกัดจำนวนสีทอง
 จำนวนทั้งหมด 21 แบบ

อาร์ตทอยรุ่นปกติสีเดียว (Normal version) / รุ่นจำกัดจำนวนสีทอง (Limited edition)		
1. คอยนางนอน 	2. คอยช้าง 	3. คอยผาหม่น 
4. ถ้ำหลวง 	5. บ้านดำ 	6. วัดห้วยปลากั้ง 
7. หอนาฬิกา 	8. เย้า 	9. อาซ่า 
10. ปกาเกอญอ 	11. ลาหู่ 	12. ม้ง 
13. ลีซู 	14. ช้างงู 	15. แมงป่อง 
16. สี่หูหัดดา 	17. โต 	18. ปลาไหลเผือก 
19. แม่กาเผือก 	20. ช้างมูบ 	21. มอม 

จากตารางที่ 3 ในงานวิจัยได้ผลิตผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยออกมาจำนวนทั้งสิ้น 1,500 ต้นแบบ
 เพื่อทำการจำหน่ายและทดลองตลาดในงาน Chiangrai Biennale 2023 (งานศิลปะระดับโลก)
 ที่จังหวัดเชียงรายเป็นเจ้าภาพ โดยการตั้งตู้กาชาปองหลักที่ชั่วคราว ซึ่งพื้นที่สำหรับจัดนิทรรศการ

หมุนเวียนศิลปะของศิลปินในเชียงรายและศิลปินต่างชาติ และตู้กาชาปองขนาดใหญ่กระจายหมุนเวียนไปตามแหล่งท่องเที่ยว พาวิลเลียนแสดงงานศิลปะ (Pavilion) และร้านกาแฟ (Café) ที่เป็นจุดเช็คอินของนักท่องเที่ยวและคนในพื้นที่ ที่เข้ามาเยี่ยมชมและท่องเที่ยวในช่วงเทศกาลศิลปะในจังหวัดเชียงราย



ภาพที่ 4 ตู้กาชาปองหลักที่ตั้งอยู่ชั่วศิลปะ จำนวน 2 ตู้ พร้อมตู้แลกเปลี่ยน

6. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

6.1 การออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากทุนวัฒนธรรม เพื่อการสร้างคุณค่าและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชียงรายเชิงสร้างสรรค์ จากการสังเคราะห์ วิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มนักท่องเที่ยว เพื่อให้ในการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย โดยได้สรุปผลการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย 3 อันดับแรก คือ 1) กลุ่มธรรมชาติและงานสถาปัตยกรรมในพื้นที่จังหวัดเชียงราย 2) กลุ่มชาติพันธุ์ (ชนเผ่า) และ 3) กลุ่มความเชื่อ วรรณคดี และตำนาน โดยทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งคณะผู้วิจัยได้สำรวจจุดเด่นที่นักท่องเที่ยวรู้จักและสนใจมากกำหนดเป็นเอกลักษณ์ที่จะนำมาใช้ในงานออกแบบคาแรคเตอร์ โดยใช้แนวคิดในการออกแบบและสร้างอัตลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากต้นแบบบุคลิกทั้ง 12 แบบ ในหลักการ Brand Archetype จากตารางที่ 1 ส่วนประกอบในการสร้างคาแรคเตอร์ที่เป็นอัตลักษณ์จากทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย คือ แม่แบบหรือต้นแบบของบุคลิกภาพที่จะนำมาสร้างเป็นคาแรคเตอร์อาร์ตทอยจังหวัดเชียงราย ซึ่งพบว่า บุคลิกของคาแรคเตอร์ของทุนวัฒนธรรมที่นิยมและถูกนำมาใช้ในการออกแบบ 6 อันดับแรก ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงบุคลิกของคาแรคเตอร์ของทุนวัฒนธรรมที่นิยมและถูกนำมาใช้ในการออกแบบ 6 อันดับแรก ที่นำมาใช้ในการกำหนดรูปแบบอาร์ตทอย (Mark & Pearson, 2001)

ต้นแบบคาแรคเตอร์	รายละเอียดของคาแรคเตอร์
1) ผู้บริสุทธิ์ใจ (The Innocent)	มองโลกในแง่ดี ซื่อสัตย์ บริสุทธิ์
2) ผู้ขบขัน (The Jester)	ร่าเริง สนุกสนาน สร้างเสียงหัวเราะ
3) วีรบุรุษ (The Hero)	มุ่งมั่น กล้าหาญ ต้องการเอาชนะอุปสรรค เปลี่ยนแปลงโลก
4) ผู้ปกครอง (The Ruler)	ทรงพลัง ชาญฉลาด มีความมั่นคง
5) ผู้สร้างสรรค์ (The Creator)	คิดนอกกรอบ สร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ
6) ผู้วิเศษ (The Magician)	ชาญฉลาด สร้างสรรค์ มุ่งมั่นสร้างสิ่งใหม่

โดยจากตารางที่ 4 ได้นำคาแรคเตอร์ 6 อันดับแรก มาวิเคราะห์ร่วมกับเอกลักษณ์และสร้างภาพลักษณ์ที่สื่อออกมาจากทุนวัฒนธรรมทั้ง 3 กลุ่ม จนเกิดเป็นคาแรคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยทั้งหมด 21 แบบ จากตารางที่ 2 ตัวอย่างการออกแบบและถอดรูปแบบเอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงราย ที่สามารถสื่อสารแก่กลุ่มเป้าหมาย กระตุ้นการรับรู้และอยากตามหาเพื่อสะสมให้ครบตามจำนวน โดยการออกแบบคาแรคเตอร์ทางคณะผู้วิจัยได้ร่วมมือ

กับนักออกแบบและเครือข่ายศิลปินท้องถิ่น ในการออกแบบสร้างสรรค์คาแรคเตอร์ทุนวัฒนธรรม จังหวัดเชียงราย โดยนำแบบที่ออกแบบพัฒนาไปผลิตโดยการขึ้นต้นแบบสามมิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อนำมาทำบล็อกหล่อเรซิน โดยมี 2 รุ่น คือ อาร์ตทอย รุ่นปกติสีเขียว (Normal version) และอาร์ตทอยรุ่นจำกัดจำนวนสีทอง (Limited edition)

6.2 จากการผลิตและทดลองตลาดผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยสำหรับการท่องเที่ยว จังหวัดเชียงราย ในงานงาน Chiangrai Biennale 2023 พบว่าผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยที่เกิดขึ้นจากเอกลักษณ์ทุนวัฒนธรรมในท้องถิ่น สามารถดึงดูดความสนใจของกลุ่มผู้บริโภคใหม่ ให้หันมาสนใจสินค้าและบริการด้านการท่องเที่ยวในท้องถิ่นจังหวัดเชียงรายมากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มคนรุ่นใหม่ ช่วงอายุ 26 – 41 ปี (Generation Y) ที่ชื่นชอบและต้องการเก็บสะสมของที่ระลึกที่มีเรื่องราวมาจากทุนวัฒนธรรมในพื้นที่ และผลิตภัณฑ์ที่เป็นของที่ระลึกในรูปแบบอาร์ตทอย (Art toy) ซึ่งทำให้แหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่จังหวัดเชียงรายเป็นที่รู้จักเพิ่มขึ้นจากการตามรอย เพื่อเรียนรู้เรื่องราวและเอกลักษณ์ที่ปรากฏบนผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอย (Art toy souvenir) และเป็นสื่อในการเผยแพร่ทางด้านวัฒนธรรมให้เป็นที่รู้จักทั้งจากนักท่องเที่ยวและจากคนในพื้นที่ อีกปัจจัยที่มีต่อตัวผลิตภัณฑ์ คือ การร่วมมือของเครือข่ายศิลปินและนักออกแบบในพื้นที่จังหวัดเชียงรายที่สร้างสรรค์ผลงานจากทุนวัฒนธรรมในพื้นที่ สู่งานของสะสมที่เป็นของที่ระลึกที่มีคุณค่าทั้งทางจิตใจ หรือแม้แต่การตามรอยผลงานของศิลปินนักออกแบบในพื้นที่จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นกับศิลปินและนักออกแบบในพื้นที่ ทำให้เกิดการกระตุ้นเศรษฐกิจในพื้นที่เพราะกลุ่มผู้บริโภคมีความสนใจที่จะตามเก็บสะสมผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยให้ครบชุด อีกทั้งมีการนำเสนอผลิตภัณฑ์ในรูปแบบสินค้าจำกัดจำนวน (Limited edition) ที่ถูกนำมาพร้อมกับผลิตภัณฑ์ปกติในตู้กดกาชาปองที่ผู้บริโภคต้องสุมหมุนกาชาปองให้ไขออกมาจากตู้ โดยราคาในการหมุนต่อ 1 รอบ อยู่ที่ 100 บาท จะได้ไขที่ภายในบรรจุผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงรายจำนวน 1 ชิ้น ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการตามล่าผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกให้ครบ ทำให้นักท่องเที่ยวและคนนอกพื้นที่อยากกลับมาเชียงรายอีกครั้ง จนเกิดเป็นการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ ที่สอดคล้องกับพฤติกรรมของคนรุ่นใหม่ในปัจจุบันที่ชื่นชอบสินค้าในรูปแบบกล่องสุมหรือลุ้นเสี่ยงโชคจากการหมุนกาชาปอง เพื่อตามหาตัวที่ต้องการสะสมหรือเก็บเข้าชุดให้ครบจำนวน อีกทั้งยังเกิดปฏิสัมพันธ์ของกลุ่มนักท่องเที่ยวและผู้สะสมอาร์ตทอยที่มีการแลกเปลี่ยนตัวที่ตามหาหรือซื้อขายผลิตภัณฑ์ที่ได้มาซ้ำ ซึ่งเป็นช่องทางการสื่อสารเอกลักษณ์ในจังหวัดเชียงรายให้กับกลุ่มเป้าหมายอื่นนอกจากนักท่องเที่ยวอีกด้วย โดยจากการทดลองตลาดผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยคณะผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมาย ทั้งหมด 4 ด้านดังต่อไปนี้

- 1) ด้านความสวยงามและการดึงดูดความสนใจ มีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ 4.43 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.64 มีระดับความพึงพอใจมาก
- 2) ด้านเอกลักษณ์และคุณค่าของผลิตภัณฑ์ มีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ 4.31 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.68 มีระดับความพึงพอใจมาก
- 3) ด้านราคาและความคุ้มค่า มีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ 4.33 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.67 มีระดับความพึงพอใจมาก

4) ด้านขนาด น้ำหนัก การขนส่ง ความแข็งแรงและประโยชน์ใช้สอย มีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.65 มีระดับความพึงพอใจมาก

โดยจากการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคในครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวมทั้งหมดที่ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.66 มีระดับความพึงพอใจมาก ซึ่งส่งผลในการกระตุ้นการท่องเที่ยวในเชิงวัฒนธรรม ผสมกับการเผยแพร่ในงาน Chiangrai Biennale 2023 มหกรรมงานศิลปะระดับโลกของจังหวัดเชียงราย ทำให้ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยสามารถกระตุ้นและดึงดูดความสนใจของกลุ่มนักท่องเที่ยวในพื้นที่ได้เป็นอย่างดี

ซึ่งผลที่เกิดจากบทความวิจัยในครั้งนี้ มีผลสอดคล้องกับกระแสความนิยมในการสะสมอาร์ตทอยที่เพิ่มขึ้นของคนรุ่นใหม่ในตลาดโลกยุคปัจจุบัน ดังตัวอย่างอาร์ตทอยทางวัฒนธรรมจากตู้กาชาปอง ‘อับเฉาไม่อับเฉา’ ซึ่งเป็นหนึ่งในผลงานจาก คมกฤษ เทพเทียน ศิลปินอิสระ ที่เกิดขึ้นในเทศกาลศิลปะ Bangkok Art Biennale 2018 เนื่องจากปัจจัยจากงานศิลปะและงานออกแบบ ชื่อเสียงศิลปินและนักออกแบบ การดึงเอาเอกลักษณ์ดั้งเดิมมาออกแบบให้เกิดเป็นคาแรคเตอร์ใหม่ที่โดนใจกลุ่มคนรุ่นใหม่ ทำให้ภาพลักษณ์ของเอกลักษณ์ที่ดูไม่เข้ากับยุคสมัยใหม่สามารถเป็นสินค้าที่จับต้องได้ง่ายและมีภาพลักษณ์ที่สนุกสนานเข้ากับยุคสมัย ทำให้สินค้าสามารถเข้ากับรูปแบบวิถีชีวิตสมัยใหม่อย่างไม่ขัดแย้ง เช่น การนำอาร์ตทอยไปประดับเครื่องแต่งกายสมัยใหม่ได้อย่างลงตัวอย่างการนำไปห้อยกระเป๋าถือ การนำไปตกแต่งบ้านหรือโต๊ะทำงาน เป็นต้น อีกทั้งการจำกัดจำนวนและมีตัวพิเศษหรือตัวลับ (Secret) ยังเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการตามล่าให้หมูนักสะสมหรือบุคคลทั่วไปที่ติดตามกระแสสังคมในปัจจุบันให้หามาครอบครองให้ทันความนิยมในช่วงนั้นอีกด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง การออกแบบผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากทุนวัฒนธรรม เพื่อการสร้างคุณค่าและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ ได้รับทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2566 (ววน. ปี 2566) คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ผู้เชี่ยวชาญ ศิลปินและนักออกแบบในพื้นที่จังหวัดเชียงรายที่ร่วมมือสร้างสรรค์ผลงานผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกอาร์ตทอยจากทุนวัฒนธรรมจังหวัดเชียงรายในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- Hetayothin, C. (2021). Guideline for Character Design: A Case Study of ‘Character Design Challenge’. *Asian Creative Architecture, Art and Design: ACAAD*, 32(1), 1-15.
- Mark M., and Pearson, C. S. (2001). *The Hero and the Outlaw: Building Extraordinary Brands Through the Power of Archetypes*. McGraw-Hill.
- Nakson, A. (2015). *The Art of Industrial Crafts Design*. Triple Group.
- Nammueang, C. (2008). Cultural Capital in Thai culture. Nawasan Printing Co., Ltd.
- Pearson, C. S. (2015). *Awakening the Heroes Within: Twelve Archetypes to Help Us Find Ourselves and Transform Our World*. HarperSanFrancisco.

การพัฒนากระบวนการคัดแยกภาพถ่ายระดับความรุนแรงของแผลกดทับ ด้วย YOLO และการเรียนรู้เชิงลึก Development of Severity Image Pressure Injury Classification Using YOLO and Deep Learning

ศักดิ์ชัย ศรีมากรณ์¹, นิชา นภาพร จงกะสิกิจ^{2*} และปิยธรณ์ เร่งเร้ว³

Sakchai Srimakorn¹, Nicha Naphaphon Jongkasikit^{2*} and Piyathorn Rengrew³

^{1,2*}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง ลำปาง 52100

³คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง ลำปาง 52100

โทรศัพท์ 0 5423 7399 Email: sakchai@g.lpru.ac.th

^{1,2*}Faculty of Industry Technology Lampang Rajabhat University

³Faculty of Nursing Lampang Rajabhat University

119 Moo 9 Lampang-Mae Ta Road, Chompoo Subdistrict, Muang Lampang District, Lampang Province,
Thailand 52100 Tel. +665 4237 399 Email: sakchai@g.lpru.ac.th

วันที่รับบทความ 3 กันยายน 2567

วันที่รับแก้ไขบทความ 18 ธันวาคม 2567

วันที่ตอบรับบทความ 19 ธันวาคม 2567

Received: Sep. 3, 2024

Revised: Dec. 18, 2024

Accepted: Dec. 19, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบคัดแยกภาพถ่ายแผลกดทับที่สามารถทำนายระดับความรุนแรงของแผลได้อย่างแม่นยำ โดยการใช้ปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งคณะวิจัยได้ทำการสังเคราะห์และประมวลผลชุดข้อมูลภาพถ่ายแผลกดทับให้มีขนาด 224 x 224 พิกเซล ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประยุกต์กับอัลกอริทึมในการเรียนรู้ของเครื่อง งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ การจำแนกภาพ (Classification) เพื่อประเมินความรุนแรงของแผล และการแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) เพื่อระบุพื้นที่เฉพาะส่วนที่เป็นแผล คณะวิจัยใช้การเรียนรู้เชิงลึกด้วยโมเดล YOLOv8 ในการวิเคราะห์ แบ่งรูปแบบของโมเดลเป็น 5 รูปแบบ คือ n, s, m, l, และ x ผลการวิจัยพบว่าโมเดลรูปแบบ YOLOv8x-cls และ YOLOv8s-cls มีความแม่นยำสูงสุดในการจำแนกภาพ โดยมีค่าความแม่นยำอยู่ที่ 0.8 สำหรับการแบ่งส่วนภาพ โมเดลรูปแบบ YOLOv8n-seg แสดงค่าความแม่นยำ (Precision) สูงสุดอยู่ที่ 0.682 ขณะที่โมเดล YOLOv8x-seg แสดงค่าการเรียกคืน (Recall) สูงสุดที่ 0.69 ผลการทดลองเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโมเดล YOLOv8 ในการจัดการกับความซับซ้อนของภาพและจำแนกความรุนแรงของแผลได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม การวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาความแม่นยำของโมเดลเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานในบริบททางการแพทย์

คำสำคัญ: ภาพแผลกดทับ, ปัญญาประดิษฐ์, การเรียนรู้ของเครื่อง

Abstract

This study develops a system utilizing artificial intelligence and machine learning to accurately classify the severity of pressure injuries from images. We synthesized and processed a dataset of open-pressure injury images into 224 x 224-pixel dimensions suitable for machine learning algorithms. The research is divided into

two main components: image classification to assess wound severity and image segmentation to identify specific wound areas. We employed the YOLOv8 deep learning, which includes five variants: n, s, m, l, and x. Our findings indicate that the YOLOv8x-cls and YOLOv8s-cls models achieved the highest accuracy in image classification, with a value of 0.8. In terms of image segmentation, the YOLOv8n-seg model showed the highest accuracy, with a value of 0.682, while the YOLOv8x-seg model demonstrated the highest recall value of 0.69. These results highlight the effectiveness of the YOLOv8 models in handling image complexity and accurately classifying wound severity. Future research should focus on further improving model accuracy to enhance its application in medical settings.

Keywords: Pressure ulcer images, Artificial intelligence, Machine learning

1. บทนำ

แผลกดทับเป็นปัญหาสุขภาพที่พบบ่อยในผู้ป่วยที่มีข้อจำกัดในการเคลื่อนไหว เช่น ผู้ป่วยติดเตียง หรือผู้ป่วยที่มีการใช้เครื่องมือทางการแพทย์ที่กดทับบริเวณผิวหนัง ความเสียหายที่เกิดจากแรงกดทับที่ยาวนานสามารถนำไปสู่การพัฒนาแผลในระยะต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย และเพิ่มภาระค่าใช้จ่ายในระบบสาธารณสุข การวินิจฉัยและการจำแนกระดับความรุนแรงของแผลกดทับจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวางแผนการรักษาที่เหมาะสม (Aldughayfiq et al., 2023; Lau et al., 2022)

การประเมินแผลกดทับในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังคงพึ่งพาการสังเกตด้วยสายตาของบุคลากรทางการแพทย์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนและความไม่สม่ำเสมอในการประเมินระหว่างบุคคล ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) จึงได้รับการนำมาใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการประเมินแผลกดทับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ที่สามารถวิเคราะห์ภาพถ่ายและจำแนกประเภทของแผลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ (Fergus et al., 2022; Kim et al., 2023)

งานวิจัยในอดีตได้มีการนำ AI มาใช้ในการจำแนกและประเมินแผลกดทับในหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Aldughayfiq et al. (2023) ได้นำเสนอการใช้โมเดล YOLOv5 ในการตรวจจับและจำแนกแผลกดทับออกเป็น 4 ระยะ และแผลที่ไม่ใช่แผลกดทับ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นค่า mAP ที่ร้อยละ 76.9 ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการประมวลผล อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านการปรับแต่งโมเดลสำหรับข้อมูลเฉพาะทาง เช่น การเพิ่มความหลากหลายของชุดข้อมูล และการปรับพารามิเตอร์เพิ่มเติม

นอกจากนี้ Lau et al. (2022) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่ใช้โมเดล YOLOv4 สำหรับการตรวจจับและจำแนกแผลกดทับแบบเรียลไทม์ โดยมีความแม่นยำในการทำนายร้อยละ 63.2 ซึ่งถึงแม้จะช่วยลดเวลาในการวินิจฉัย แต่ยังคงมีข้อจำกัดในด้านความแม่นยำเมื่อเทียบกับโมเดลที่ซับซ้อนกว่า เช่น YOLOv8 ที่ Kim et al. (2023) รายงานว่ามีความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 84.6 ในการจำแนกแผลกดทับออกเป็น 6 ระยะ

งานวิจัยปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปที่การแก้ไขข้อจำกัดเหล่านี้ เช่น การเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับและจำแนกผล การขยายขอบเขตของชุดข้อมูล และการพัฒนาโมเดลที่สามารถรองรับข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการใช้เทคโนโลยี YOLO ซึ่งมีข้อได้เปรียบในด้านการตรวจจับวัตถุอย่างรวดเร็วและแม่นยำ (Cicceri et al., 2022; Liu et al., 2023)

การพัฒนาระบบที่ผสมผสานเทคโนโลยี AI และ YOLO ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการประเมินผลกดทับ แต่ยังสนับสนุนการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ในการวางแผนการรักษา ลดความเสี่ยงจากภาวะแทรกซ้อน และเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยในระยะยาว งานวิจัยนี้จึงมุ่งหวังที่จะพัฒนาระบบที่สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้จริงและตอบโจทย์ความต้องการของวงการแพทย์ในยุคปัจจุบัน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

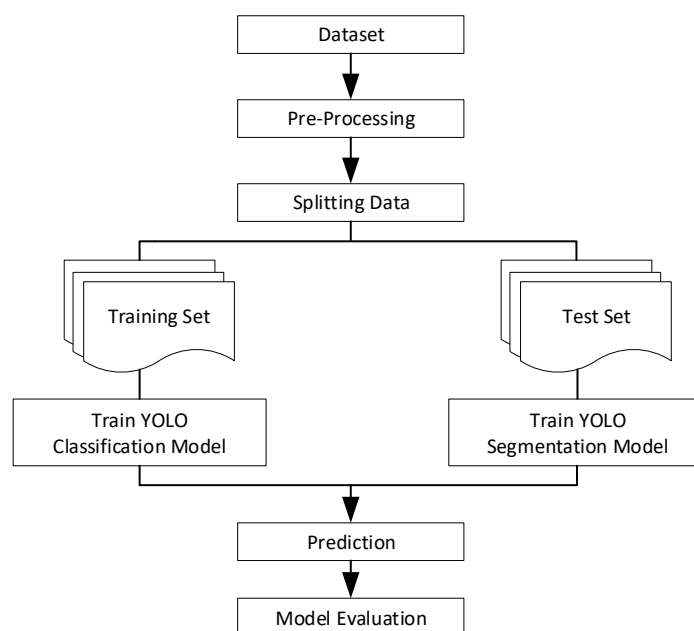
2.1 เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายแผลกดทับและสังเคราะห์ชุดข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับพัฒนาระบบการคัดแยกภาพถ่ายแผลกดทับ

2.2 เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ในการทำนายระดับความรุนแรงของแผลกดทับ โดยวัดผลจากค่าการค้นพบ (Recall) ของโมเดลที่พัฒนา

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กระบวนการทำงานของแบบจำลอง ขั้นตอนในการวิจัยเริ่มจากการใช้ชุดข้อมูล (Dataset) โดยเตรียมข้อมูลภาพ (Pre-Processing) เช่น การปรับขนาดภาพ การจัดรูปแบบไฟล์ จากนั้นแบ่งข้อมูลภาพ (Splitting) เป็น Training Set และ Test Set ในอัตราส่วน 80:20

จากนั้นทำการเรียนรู้แบบจำลอง 2 ประเภท คือ YOLO Classification และ YOLO Segmentation จากนั้นทำนายข้อมูลที่ใช้ทดสอบ (Test Set) และประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง (Model Evaluation) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง

3.2 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ในการวิจัยครั้งนี้ ชุดข้อมูล Pressure Injury Images Dataset (PIID) ถูกนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลหลักสำหรับการพัฒนาและประเมินผลโมเดลการจำแนกระดับความรุนแรงของแผลกดทับ ชุดข้อมูล PIID ประกอบด้วยภาพสี RGB ทั้งหมด 1,091 ภาพ โดยแต่ละภาพมีขนาด 299×299 พิกเซล ภาพเหล่านี้ครอบคลุมทั้งสี่ระยะของแผลกดทับ ได้แก่ ระยะที่ 1 ผิวหนังยังสมบูรณ์แต่ผิวหนังมีรอยแดง เมื่อประเมินโดยใช้นิ้วกดเบา ๆ บริเวณผิวหนังแล้วรอยแดงนั้นไม่จางลง ระยะที่ 2 ผิวหนังมีการสูญเสีย โดยพื้นแผลแดงไม่มีเนื้อตายสีเหลือง ไม่เป็นรอยซ้ำ อาจเป็นตุ่มน้ำพอง น้ำใส ๆ หรือปนเลือดจาง ๆ ระยะที่ 3 มีการสูญเสียผิวหนังทั้งหมด แต่ยังไม่ถึงกล้ามเนื้อ เส้นเอ็นกระดูกและอาจมีเนื้อตายและระยะที่ 4 การสูญเสียผิวหนังทั้งหมดไปถึงชั้นกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น และกระดูก อาจพบเนื้อตายสีเหลือง และหรือเนื้อตายสีดำแข็งมีโพรงใต้ผิวหนังและช่องใต้หรือคลำพบกระดูก ซึ่งแต่ละระยะถูกจำแนกตามลักษณะทางคลินิกที่แตกต่างกัน

ภาพที่ใช้ในชุดข้อมูลนี้ได้มาจากการถ่ายภาพคลินิกของผู้ป่วยที่มีแผลกดทับ ชุดข้อมูลได้รับการตรวจสอบและจัดป้ายกำกับโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ มีความถูกต้องและเป็นมาตรฐานสำหรับการใช้งานในงานวิจัยเชิงการแพทย์และการประยุกต์ใช้ด้านการเรียนรู้เชิงลึก ชุดข้อมูล PIID ถูกนำเสนอในงานวิจัยของ Ay et al. (2022) ในหัวข้อ "Deep transfer learning-based visual classification of pressure injuries stages" ที่ตีพิมพ์ในวารสาร Neural Computing and Applications เข้าถึงได้ที่ <https://github.com/FU-MedicalAI/PIID/>

3.3 การเตรียมรูปภาพในกระบวนการฝึกอบรม YOLO รูปภาพจะถูกปรับขนาดให้ตรงกับขนาดที่กำหนด เช่น 640×640 พิกเซล หรือขนาดอื่นที่ระบุในพารามิเตอร์ของการฝึกอบรม ขนาดที่ใช้ในการฝึกอบรมเป็นตัวกำหนดความละเอียดที่โมเดลจะเรียนรู้ โดยผู้วิจัยได้กำหนดขนาดรูปภาพที่ 224×224 พิกเซลและใช้เครื่องมือ TensorFlow และ PyTorch ในการจัดการข้อมูลและฝึกอบรมแบบจำลอง

3.4 การสร้างแบบจำลอง ในการสร้างแบบจำลองสำหรับการคัดแยกและจำแนกภาพถ่ายแผลกดทับ ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกที่มีความสามารถสูง ซึ่งประกอบด้วย YOLO ในสองรูปแบบหลัก ได้แก่ YOLO แบบ Classification และ YOLO แบบ Segmentation โดยรายละเอียดการใช้แต่ละรูปแบบมีดังนี้

YOLO แบบ Classification ถูกนำมาใช้เพื่อการจำแนกประเภทของแผลกดทับในภาพ โดยเทคนิคนี้จะทำการประเมินระดับความรุนแรงของแผลจากข้อมูลภาพที่ป้อนเข้า ซึ่งเป็นการทำงานโดยตรงในการจัดกลุ่มภาพตามระดับความรุนแรงที่กำหนด เช่น ระดับความรุนแรงของแผลในคลาสที่แตกต่างกัน การใช้ YOLO แบบ Classification ช่วยให้สามารถทำการจำแนกประเภทแผลได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยโมเดลจะเรียนรู้จากชุดข้อมูลที่มีการทำเครื่องหมายลักษณะของแผลและระดับความรุนแรงเพื่อให้สามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องสูง

YOLO แบบ Segmentation ถูกใช้เพื่อแยกแยะพื้นที่ที่เป็นแผลกดทับออกจากพื้นที่ที่ไม่ใช่แผลในภาพ เทคนิคนี้จะช่วยในการแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) โดยการทำให้เครื่องหมายแต่ละพิกเซลในภาพ เพื่อระบุว่าพิกเซลนั้นเป็นส่วนของแผลกดทับหรือไม่ การใช้ YOLO แบบ Segmentation ช่วยให้การประเมินลักษณะของแผลในภาพ มีความละเอียดสูงและแม่นยำมากขึ้น โดยสามารถแยกพื้นที่ของแผลออกจากบริเวณอื่น ๆ ของภาพได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นประโยชน์

ในการวิเคราะห์และประเมินความรุนแรงของแผลได้อย่างถูกต้อง โดยการกำหนดพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดพารามิเตอร์สำหรับสร้างแบบจำลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
การเริ่มการฝึก (Training Start)	100 epochs
การตั้งค่าตัวเพิ่มประสิทธิภาพ (Optimizer)	AdamW (lr=0.000714, momentum=0.9)
พารามิเตอร์ของตัวเพิ่มประสิทธิภาพ	50 weights (decay=0.0), 51 weights (decay=0.0005), 51 biases (decay=0.0)

ในการทดลองนี้ ชุดข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนสำหรับการฝึกและการทดสอบ โดยใช้สัดส่วนร้อยละ 80 สำหรับชุดฝึก (Training Set) และร้อยละ 20 สำหรับชุดทดสอบ (Test set) ของภาพรวมชุดข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วยภาพแผลกดทับ 950 ภาพ ซึ่งแยกตามระดับความรุนแรงของแผลเป็น 4 ระดับ ดังนี้ ระดับที่ 1:154 ภาพ, ระดับที่ 2:292 ภาพ, ระดับที่ 3:247 ภาพ และระดับที่ 4:257 ภาพ โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็นชุดฝึก 760 ภาพ และชุดทดสอบ 190 ภาพ ตามอัตราส่วนที่กำหนด

3.5 การประเมินผลแบบจำลอง ในการวัดประสิทธิภาพของโมเดล ใช้ตัวชี้วัดหลักสองตัว ได้แก่ Recall และ Precision รวมถึง Accuracy และ F1-Score ด้วย ตัวชี้วัดทั้งหมดนี้ช่วยในการประเมินความสามารถของโมเดลในการทำนายและแสดงให้เห็นถึงความถูกต้อง ในการจัดประเภทข้อมูลของโมเดลดังนี้

1) Accuracy วัดความถูกต้องโดยรวมของโมเดลในการทำนายทุกคลาส (บวกและลบ) ดังสมการที่ 1

$$\frac{\text{True Positive (TP)} + \text{True Negative (TN)}}{\text{True Positive (TP)} + \text{True Negative (TN)} + \text{False Positive (FP)} + \text{False Negative (FN)}} \quad (1)$$

เมื่อ True Positive (TP) คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลทำนายว่าเป็นบวก (เช่น มีแผลกดทับ) และจริง ๆ แล้วเป็นบวก (แผลกดทับ) ด้วย

True Negative (TN) คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลทำนายว่าเป็นลบ (เช่น ไม่มีแผลกดทับ) และจริง ๆ แล้วเป็นลบ (ไม่มีแผลกดทับ) ด้วย

False Positive (FP) คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลทำนายว่าเป็นบวก (เช่น มีแผลกดทับ) แต่จริง ๆ แล้วเป็นลบ (ไม่มีแผลกดทับ)

False Negative (FN) คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลทำนายว่าเป็นลบ (เช่น ไม่มีแผลกดทับ) แต่จริง ๆ แล้วเป็นบวก (มีแผลกดทับ)

2) Recall (True Positive Rate) วัดความสามารถของโมเดลในการตรวจจับตัวอย่างบวกทั้งหมด ซึ่งหมายถึงการระบุระดับความรุนแรงของแผลที่แท้จริงในชุดข้อมูลทดสอบ ดังสมการที่ 2

$$\text{Recall} = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive} + \text{False Negative}} \quad (2)$$

เมื่อ True Positive (TP) คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลทำนายว่าเป็นบวก (เช่น มีแผลกดทับ) และจริง ๆ แล้วเป็นบวก (แผลกดทับ) ด้วย

False Negative (FN) คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลทำนายว่าเป็นลบ (เช่น ไม่มีแผลกดทับ) แต่จริง ๆ แล้วเป็นบวก (มีแผลกดทับ)

3) Precision (Positive Predictive Value) วัดความแม่นยำของโมเดลในการทำนายตัวอย่างบวกที่โมเดลระบุว่าเป็นแผลกดทับ ซึ่งหมายถึงความถูกต้องของการทำนายของโมเดลในระดับความรุนแรงของแผล ดังสมการที่ 3

$$\text{Precision} = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive} + \text{False Positive}} \quad (3)$$

เมื่อ True Positive (TP) คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลทำนายว่าเป็นบวก (เช่น มีแผลกดทับ) และจริง ๆ แล้วเป็นบวก (แผลกดทับ) ด้วย

False Positive (FP) คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลทำนายว่าเป็นบวก (เช่น มีแผลกดทับ) แต่จริง ๆ แล้วเป็นลบ (ไม่มีแผลกดทับ)

4) F1-Score เป็นการรวม Recall และ Precision เพื่อให้ภาพรวมของความสมดุลระหว่างความแม่นยำและความสามารถในการตรวจจับ การใช้ F1-Score เป็นการรวม Recall และ Precision เข้าเป็นค่าเดียวเพื่อให้สะท้อนถึงความสามารถของโมเดลในการจัดการกับข้อมูลบวกทั้งสองด้านได้ดี โดยเฉพาะเมื่อมีการกระจายของคลาสไม่สมดุล ดังสมการที่ 4

$$F1 = \frac{2 * \text{True Positive}}{\text{True Positive} + 0.5(\text{False Positive} + \text{False Negative})} \quad (4)$$

เมื่อ True Positive (TP) คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลทำนายว่าเป็นบวก (เช่น มีแผลกดทับ) และจริง ๆ แล้วเป็นบวก (แผลกดทับ) ด้วย

False Positive (FP) คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลทำนายว่าเป็นบวก (เช่น มีแผลกดทับ) แต่จริง ๆ แล้วเป็นลบ (ไม่มีแผลกดทับ)

False Negative (FN) คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลทำนายว่าเป็นลบ (เช่น ไม่มีแผลกดทับ) แต่จริง ๆ แล้วเป็นบวก (มีแผลกดทับ)

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยที่ตอบวัตถุประสงค์ จากการศึกษาประสิทธิภาพของโมเดล YOLOv8 ในการจำแนกระดับความรุนแรงของแผลกดทับ พบว่าประสิทธิภาพของโมเดลแตกต่างกันไปตามขนาด (n, s, m, l, x) โดย YOLOv8x-cls และ YOLOv8s-cls มีค่า Accuracy และ F1-score สูงสุดที่ 0.8 ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการจำแนกภาพ ส่วน YOLOv8n-cls ซึ่งเป็นรุ่นที่เล็กที่สุด มีค่า Accuracy อยู่ที่ 0.759 และค่า F1-score ที่ 0.8 แม้จะมีขนาดเล็ก แต่ยังคงสามารถจำแนกภาพได้ดี

โดยสรุป YOLOv8x-cls และ YOLOv8s-cls มีประสิทธิภาพสูงสุด ขณะที่ YOLOv8n-cls ยังคงมีความสามารถในการจำแนกได้ในระดับที่น่าพอใจ การเลือกใช้โมเดลขึ้นอยู่กับความต้องการด้านความเร็วและความแม่นยำของผลลัพธ์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลประสิทธิภาพของโมเดลในการจำแนกตามขนาดของโมเดล (n, s, m, l, x)

Model	Classes	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
YOLOv8n-cls	1	0.94	0.81	0.78	0.79
	2	0.88	0.85	0.82	0.84
	3	0.85	0.72	0.67	0.69
	4	0.90	0.76	0.86	0.81
All	4	0.76			
YOLOv8s- cls	1	0.95	0.77	0.87	0.82
	2	0.90	0.92	0.82	0.87
	3	0.67	0.67	0.70	0.69
	4	0.75	0.75	0.79	0.77
All	4	0.80			
YOLOv8m- cls	1	0.95	0.88	0.82	0.85
	2	0.90	0.83	0.89	0.86
	3	0.83	0.65	0.63	0.64
	4	0.87	0.76	0.77	0.78
All	4	0.79			
YOLOv8l- cls	1	0.94	0.85	0.79	0.82
	2	0.87	0.88	0.80	0.83
	3	0.84	0.58	0.67	0.62
	4	0.88	0.76	0.81	0.79
All	4	0.78			
YOLOv8x- cls	1	0.95	0.74	0.74	0.81
	2	0.90	0.91	0.91	0.86
	3	0.85	0.69	0.69	0.68
	4	0.89	0.76	0.76	0.8
All	4	0.80			

ในการศึกษาประสิทธิภาพของโมเดล YOLOv8 สำหรับการแบ่งส่วนภาพความรุนแรงของแผลกดทับ พบว่าประสิทธิภาพของโมเดลมีความแตกต่างตามขนาดของโมเดล (n, s, m, l, x) โดยการประเมินใช้ค่า Precision และ Recall เป็นตัวชี้วัดหลัก โดยโมเดล YOLOv8n-seg ซึ่งเป็นโมเดลขนาดเล็กที่สุด มีค่า Precision สูงสุดที่ 0.682 ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำในการระบุพื้นที่แผลกดทับในภาพได้ดี แม้จะมีขนาดเล็กกว่ารุ่นอื่น ๆ สามารถแยกแยะพื้นที่แผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ YOLOv8x-seg ซึ่งเป็นโมเดลที่ใหญ่ที่สุด มีค่า Recall สูงสุดที่ 0.69 ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการค้นพบและแบ่งส่วนพื้นที่แผลได้ครบถ้วน โมเดลนี้เหมาะสำหรับการจำแนกพื้นที่แผลที่มีขนาดใหญ่และรายละเอียดมาก

โดยรวมแล้ว โมเดล YOLOv8n-seg เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำสูงในการระบุพื้นที่แผล ส่วน YOLOv8x-seg เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการการครอบคลุมพื้นที่แผล

อย่างละเอียด การเลือกใช้โมเดลจึงควรพิจารณาจากความต้องการเฉพาะของงานว่าต้องการเน้นที่ความแม่นยำหรือความครอบคลุมเป็นหลัก ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลประสิทธิภาพของโมเดลในการแบ่งส่วนตามขนาดของโมเดล (n, s, m, l, x)

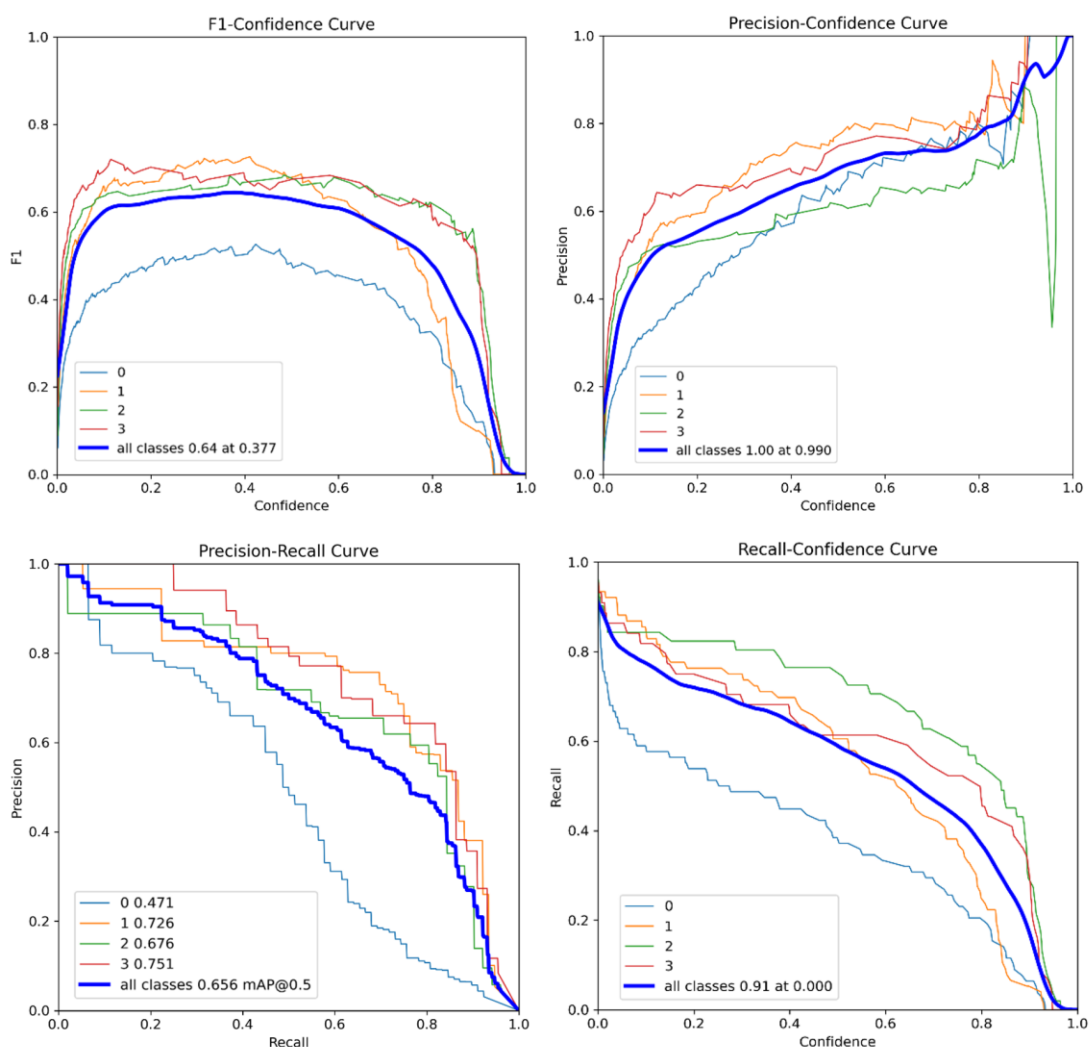
Model	Images	Classes	Instances	Precision	Recall	mAP50	mAP50-95
YOLOv8n-seg	218	1	78	0.482	0.423	0.463	0.243
		2	76	0.549	0.784	0.681	0.413
		3	51	0.598	0.824	0.689	0.533
		4	44	0.736	0.699	0.813	0.628
All	218	4	249	0.591	0.682	0.663	0.454
YOLOv8s-seg	218	1	78	0.460	0.372	0.442	0.228
		2	76	0.670	0.711	0.695	0.435
		3	51	0.572	0.667	0.701	0.532
		4	44	0.747	0.740	0.816	0.611
All	218	4	249	0.613	0.622	0.664	0.454
YOLOv8m-seg	218	1	78	0.487	0.747	0.449	0.245
		2	76	0.693	0.737	0.758	0.492
		3	51	0.530	0.745	0.666	0.526
		4	44	0.730	0.677	0.735	0.546
All	218	4	249	0.610	0.658	0.652	0.452
YOLOv8l-seg	218	1	78	0.480	0.532	0.467	0.225
		2	76	0.613	0.750	0.717	0.447
		3	51	0.526	0.745	0.663	0.488
		4	44	0.605	0.732	0.745	0.565
All	218	4	249	0.556	0.690	0.648	0.431
YOLOv8x-seg	218	1	78	0.597	0.410	0.474	0.246
		2	76	0.672	0.645	0.624	0.377
		3	51	0.625	0.667	0.664	0.500
		4	44	0.689	0.807	0.780	0.601
All	218	4	249	0.646	0.632	0.636	0.431

จากกราฟของโมเดล YOLOv8x-seg ที่แสดงการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในการแบ่งส่วน ภาพความรุนแรงของแผลกดทับ พบว่าโมเดลมีความสามารถในการแบ่งส่วนได้ดีพอสมควร โดยในกราฟ F1-Confidence Curve ค่า F1-Score สูงสุดที่ 0.64 เมื่อความเชื่อมั่นอยู่ที่ 0.377 แสดงให้เห็นว่าโมเดลมีความแม่นยำในการแบ่งส่วนระดับที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม บางคลาสยังคงต้องปรับปรุง โดยเฉพาะคลาส 0 ซึ่งหมายถึงแผลกดทับระดับ 1

สำหรับกราฟ Precision-Confidence Curve โมเดลแสดงความแม่นยำสูงสุดที่ 1.00 เมื่อความเชื่อมั่นอยู่ที่ 0.990 ซึ่งบ่งบอกว่าความแม่นยำเพิ่มขึ้นตามความมั่นใจของโมเดล ขณะที่กราฟ Precision-Recall Curve แสดงค่า mAP@0.5 ที่ 0.656 ซึ่งสะท้อนความสมดุลระหว่างความแม่นยำและค่า Recall ในระดับปานกลาง

เส้นโค้งจากกราฟ Recall-Confidence Curve ในภาพที่ 2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Recall และความเชื่อมั่น พบว่าเมื่อความเชื่อมั่นต่ำ โมเดลสามารถหาตัวอย่างแผลกดทับได้มากขึ้น

แต่มีโอกาสที่จะเลือกตัวอย่างที่ไม่ใช่ผลกดทับมาด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อความเชื่อมั่นเพิ่มขึ้น โมเดลจะทำนายได้แม่นยำมากขึ้น แม้ว่า Recall อาจลดลงบ้างในบางกรณี ดังแสดงในภาพที่ 2



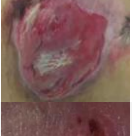
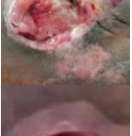
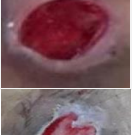
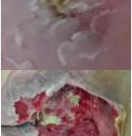
ภาพที่ 2 ประเมินประสิทธิภาพของโมเดล YOLOv8x-seg ในการแบ่งส่วนของระดับผลกดทับ

ในกระบวนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโมเดล YOLOv8 สำหรับภาพถ่ายผลกดทับ ได้ทำการเปรียบเทียบการทำนายผลของโมเดลสองแบบ ได้แก่

- 1) YOLOv8x-cls สำหรับการจำแนกระดับความรุนแรงของผลกดทับ (Classification)
- 2) YOLOv8x-seg สำหรับการแบ่งส่วนภาพผลกดทับ (Segmentation)

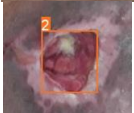
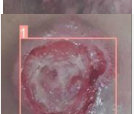
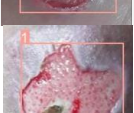
โดยใช้ภาพถ่ายจำนวน 10 ภาพ ในการทดสอบการทำงานของโมเดลทั้งสองนี้ ในการนำเสนอผลการเปรียบเทียบระหว่างการวินิจฉัยของผู้เชี่ยวชาญ (พยาบาลวิชาชีพ) และการทำนายของโมเดล YOLOv8 ในสองส่วนนี้ ดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลการจำแนกระดับความรุนแรงของแผลกดทับระหว่างผู้เชี่ยวชาญและโมเดล YOLOv8x-cls (Classification)

ลำดับที่	ภาพ	การวินิจฉัย ของผู้เชี่ยวชาญ	การทำนาย ของโมเดล	ผลลัพธ์
1		ระดับที่ 4	ระดับที่ 4	ถูกต้อง
2		ระดับที่ 4	ระดับที่ 4	ถูกต้อง
3		ระดับที่ 1	ระดับที่ 1	ถูกต้อง
4		ระดับที่ 3	ระดับที่ 3	ถูกต้อง
5		ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ผิดพลาด
6		ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ผิดพลาด
7		ระดับที่ 3	ระดับที่ 2	ผิดพลาด
8		ระดับที่ 3	ระดับที่ 3	ถูกต้อง
9		ระดับที่ 2	ระดับที่ 2	ถูกต้อง
10		ระดับที่ 4	ระดับที่ 4	ถูกต้อง

จากตารางที่ 4 พบว่าโมเดล YOLOv8x-cls ทำนายผลได้ถูกต้อง 7 ภาพจากทั้งหมด 10 ภาพ คิดเป็นความแม่นยำประมาณร้อยละ 70 โดยมี 3 ภาพที่โมเดลทำนายผิดพลาด ซึ่งได้แก่ ภาพที่ 5, 6 และภาพที่ 7 โดยระดับความรุนแรงของแผลที่โมเดลทำนายไม่ตรงกับการวินิจฉัยของผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบผลการแบ่งส่วนภาพผลกดทับระหว่างผู้เชี่ยวชาญและโมเดล YOLOv8x-seg (Segmentation)

ลำดับที่	ภาพ	การวินิจฉัย ของผู้เชี่ยวชาญ	การทำนาย ของโมเดล	ผลลัพธ์
1		ระดับที่ 1	ระดับที่ 1	ถูกต้อง
2		ระดับที่ 3	ระดับที่ 3	ถูกต้อง
3		ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ผิดพลาด
4		ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ผิดพลาด
5		ระดับที่ 3	ระดับที่ 3	ถูกต้อง
6		ระดับที่ 4	ระดับที่ 4	ถูกต้อง
7		ระดับที่ 4	ระดับที่ 3	ผิดพลาด
8		ระดับที่ 4	ระดับที่ 4	ถูกต้อง
9		ระดับที่ 4	ระดับที่ 3	ผิดพลาด
10		ระดับที่ 4	ระดับที่ 4	ถูกต้อง

จากตารางที่ 5 พบว่าโมเดล YOLOv8x-seg ทำนายผลได้ถูกต้อง 6 ภาพจากทั้งหมด 10 ภาพ คิดเป็นความแม่นยำประมาณร้อยละ 60 โดยมี 4 ภาพที่โมเดลทำนายผิดพลาด ได้แก่ ภาพที่ 3, 4, 7 และภาพที่ 9 ซึ่งระดับความรุนแรงของแผลที่โมเดลทำนายไม่ตรงกับการวินิจฉัยของผู้เชี่ยวชาญ

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลตามวัตถุประสงค์ การศึกษาประสิทธิภาพของโมเดล YOLOv8 สำหรับการแบ่งส่วนภาพความรุนแรงของแผลกดทับ ได้แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างในประสิทธิภาพของโมเดลตามขนาด (n, s, m, l, x) โดยมีค่า Precision และ Recall ที่โดดเด่นในบางรุ่น โมเดล YOLOv8n-seg ซึ่งเป็นรุ่นขนาดเล็กที่สุด มีค่า Precision สูงสุดที่ 0.682 ซึ่งบ่งบอกถึงความแม่นยำในการระบุพื้นที่แผลกดทับ ในขณะที่ YOLOv8x-seg ซึ่งเป็นโมเดลขนาดใหญ่ที่สุด มีค่า Recall สูงสุดที่ 0.69 แสดงถึงความสามารถในการค้นพบพื้นที่แผลได้อย่างครอบคลุม อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ความถูกต้องโดยรวมยังไม่สูงมากนัก ซึ่งอาจเกิดจากข้อจำกัดของชุดข้อมูลหรือความซับซ้อนในลักษณะของแผล

ในการเปรียบเทียบผลระหว่างการวินิจฉัยของผู้เชี่ยวชาญและการทำนายของโมเดล YOLOv8 พบว่าโมเดล YOLOv8x-cls ทำนายผลได้ถูกต้อง 7 ภาพจากทั้งหมด 10 ภาพ คิดเป็นความแม่นยำประมาณร้อยละ 70 และโมเดล YOLOv8x-seg ทำนายผลได้ถูกต้อง 6 ภาพจากทั้งหมด 10 ภาพ คิดเป็นความแม่นยำประมาณร้อยละ 60

5.2 อภิปรายผลตามวัตถุประสงค์ ผลการศึกษาประสิทธิภาพของโมเดล YOLOv8 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างที่สำคัญตามขนาดของโมเดลในด้าน Precision และ Recall การเลือกใช้โมเดลขนาดเล็ก เช่น YOLOv8n-seg เหมาะสำหรับงานที่เน้นความแม่นยำสูงในการระบุพื้นที่แผล แม้ว่าโมเดลนี้ จะมีความสามารถในการจำแนกที่ดี แต่ก็มีข้อจำกัดในด้านความครอบคลุมพื้นที่แผลที่มีขนาดใหญ่ และรายละเอียดซับซ้อน

ในทางกลับกัน YOLOv8x-seg ซึ่งเป็นโมเดลที่ใหญ่ที่สุด แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่แผลได้ดีขึ้น แต่มีค่า Precision ต่ำกว่า YOLOv8n-seg การมีค่า Recall สูงสุดที่ 0.69 หมายความว่า YOLOv8x-seg มีความสามารถในการค้นพบพื้นที่แผลทั้งหมดได้ดี แต่ไม่สามารถระบุพื้นที่แผลที่ถูกต้องทุกครั้ง

ดังนั้น การเลือกใช้โมเดลควรพิจารณาจากความต้องการเฉพาะของงาน หากต้องการความแม่นยำในการระบุพื้นที่แผล ควรเลือกโมเดลที่มี Precision สูง เช่น YOLOv8n-seg แต่หากต้องการความครอบคลุมพื้นที่แผลอย่างครบถ้วน ควรพิจารณาใช้ YOLOv8x-seg การศึกษานี้จึงเป็นแนวทางในการเลือกโมเดลที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์และข้อกำหนดของงานแต่ละประเภท

6. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการคัดแยกภาพถ่ายระดับความรุนแรงของแผลกดทับด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยได้เลือกโมเดล YOLOv8 เพียงแบบเดียวเท่านั้น จึงอาจทำให้ผลการทดสอบประสิทธิภาพจำกัดอยู่ในขอบเขตของโมเดลนี้เพียงอย่างเดียว ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตคือควรมีการศึกษารูปแบบของกระบวนการคัดแยกภาพถ่ายระดับความรุนแรงของแผลกดทับที่หลากหลายขึ้น เช่น การเปรียบเทียบโมเดลที่แตกต่างกัน หรือการใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกแบบอื่น เช่น Transformer Models หรือ U-Net ซึ่งอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกภาพถ่ายได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

นอกจากนี้ เพื่อการนำไปใช้งานจริงในบริบททางการแพทย์ ควรพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface) ที่สามารถทำงานร่วมกับบุคลากรทางการแพทย์ โดยทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสนับสนุน

การตัดสินใจในการวินิจฉัยและการรักษาแผลกดทับ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความแม่นยำ ลดเวลาในการวินิจฉัย และลดความเสี่ยงในการรักษาที่ผิดพลาด การพัฒนาในลักษณะนี้จะช่วยให้ระบบที่พัฒนามีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการใช้งานจริง

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณปี 2566 จากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

8. เอกสารอ้างอิง

- Aldughayfiq, B., Ashfaq, F., Jhanjhi, N. Z., & Humayun, M. (2023). YOLO-Based Deep Learning Model for Pressure Ulcer Detection and Classification. *Healthcare*, 11(9), 1222. [online], Available: <https://doi.org/10.3390/healthcare11091222>.
- Ay, B., Tasar, B., & Utlu, Z. et al. (2022). *Deep transfer learning-based visual classification of pressure injuries stages*. *Neural Computing and Applications* 34, 16157–16168 (2022). [online], Available: <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07274-6>.
- Brown, L., & Lee, S. (2023). Using YOLO for Medical Image Classification: A Case Study on Pressure Ulcers. *Artificial Intelligence in Medicine*, 44(3), 210-221. [online], Available: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.210221>.
- Chen, H.} & Li, Q. (2022). Segmentation and Classification of Pressure Ulcers Using Deep Convolutional Networks. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 17(1), 123-135. [online], Available: <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02345-x>.
- Cicceri, G., Bruna, S., & Foti, D. (2022). Deep learning approach based on superpixel segmentation assisted by wearable inertial sensors for pressure ulcer prevention. *PLOS ONE*, 17(2), e0264139. [online], Available: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264139>.
- Fergus, P., Hussain, A., Al-Jumeily, D., & Abdel-Aziz, K. (2022). Pressure Ulcer Categorisation using Deep Learning: A Clinical Trial to Evaluate Model Performance. *arXiv preprint arXiv:2203.06248*. [online], Available: <https://arxiv.org/abs/2203.06248>.
- Kim, T., Park, J., & Choi, Y. (2023). Diagnosis of Pressure Ulcer Stage Using On-Device AI. *Applied Sciences*, 14(16), 7124. [online], Available: <https://doi.org/10.3390/app14167124>.
- Lau, C. H., Yu, K. H. O., Yip, T. F., Luk, L. Y. F., Wai, A. K. C., Sit, T. Y., Wong, J. Y. H., & Ho, J. W. K. (2022). An artificial intelligence-enabled smartphone app for real-

- time pressure injury assessment. *Frontiers in Medical Technology*, 4, 905074. [online], Available: <https://doi.org/10.3389/fmedt.2022.905074>.
- Liu, Y., Zhao, X., & Wang, H. (2023). Advancing Medical Image Analysis with YOLOv5 and YOLOv4: Applications in Pressure Ulcer Assessment. *IEEE Access*, 11, 34567-34578. [online], Available: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3456789>.
- Singh, A., & Reddy, K. (2023). Pressure Ulcer Classification Using Deep Learning Techniques: A Comprehensive Review. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 13(6), 2305-2318. [online], Available: <https://doi.org/10.1166/jmihi.2023.230523>.
- Zhang, L., & Wu, D. (2023). Integration of YOLOv5 for Enhanced Pressure Ulcer Classification in Clinical Settings. *Journal of Biomedical Engineering*, 45(7), 567-580. [online], Available: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.567580>.

การประเมินศักยภาพระบบผลิตพลังงานร่วมผสมผสานจากพลังงานขยะ
และแสงอาทิตย์: กรณีศึกษา อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
Potential assessment of a hybrid multigeneration system from
waste-solar energy: case study Mae Moh District, Lampang Province

ศักราช ความหมั่น¹ และนัฐพร ไชยญาติ^{2*}
Sakkarat Khwamman¹ and Nattaporn Chaiyat^{2*}
^{1,2*}วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ห้องวิจัยการออกแบบและเทคโนโลยีด้านอุณหภาพ
^{1,2*}School of Renewable Energy, Maejo University
Thermal Design and Technology Laboratory (TDeT Lab)
E-mail: benz178tii@hotmail.com

วันที่รับบทความ 28 กันยายน 2567

วันที่รับแก้ไขบทความ 18 ธันวาคม 2567

วันที่ตอบรับบทความ 19 ธันวาคม 2567

Received: Sep. 28, 2024

Revised: Dec. 18, 2024

Accepted: Dec. 19, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานร่วมผสมผสานจากพลังงานขยะและแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่ ตำบลแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 17.85 Ton/d คิดเป็นสัดส่วนปริมาณขยะที่เผาไหม้ได้ ร้อยละ 31.63 ถูกนำไปใช้สำหรับการผลิตความร้อนในรูปของของไหลร้อนอุณหภูมิ 110 °C ป้อนให้แก่วัฏจักรแรงดันอินทรีย์แบบ 2 stage ความสามารถในการผลิตไฟฟ้า 63.19 kW_e ความสามารถของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน 91.06 kW และห้องอบแห้งขยะความสามารถ การทำความร้อน 207.39 kW ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาขนาด 847 kW_p โดยระบบผลิตพลังงานร่วมผสมผสานมีความสามารถในการผลิตพลังงานรวม (พลังงานไฟฟ้า ความเย็น และความร้อน) 5,211.44 kWh/d พลังงานไฟฟ้าสุทธิ 2,823.86 kWh/d และมีประสิทธิภาพร้อยละ 18.34 จากผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า ต้นทุนการผลิตพลังงานเท่ากับ 5.38 Baht/kWh มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 57,710,801.41 Baht และอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 7.97 สามารถคืนทุน ภายในระยะเวลา 9.63 y การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อมแสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศ 6.01E-02 kg CO₂ eq/kWh การเกิดภาวะเป็นพิษต่อมนุษย์ 5.04E-02 kg 1,4-DB eq/kWh และการลดลงของปริมาณแร่ธาตุ 1.74E-02 kg Fe eq/kWh ซึ่งเกิดจากใช้งานวัสดุประเภทคอนกรีต ทองแดง เหล็ก และยิปซัมที่เป็นวัสดุหลักจากก่อสร้างโรงงาน

คำสำคัญ: การเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน, วัฏจักรแรงดันอินทรีย์, ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน, ห้องอบแห้ง, ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

This study presents the energy, economic, and environmental implications of a hybrid multigeneration system from waste-solar energy in the Mae Moh District of Lampang Province. The survey data imply a total municipal solid waste (MSW) generation of 17.85 Ton/d, with 31.63% of this being combustible waste. Combustion heat is used to produce hot fluid at 110 °C, supplied to a two-stage organic Rankine cycle generating 55.57 kW_e, an absorption chiller of 91.06 kW, a drying room of 207.39 kW, and a solar photovoltaic rooftop system of 847 kW_p. The hybrid multigeneration system shows a total energy output of 5,211.44 kWh/d, a net power output of 2,823.86 kWh/d, and an overall efficiency of 18.34%. A levelized energy cost of 5.38 Baht/kWh, a net present value of 57,710,801.41 Baht, an internal rate of return of 7.97%, and a payback period of 9.63 y are achieved from an economic perspective. The environmental impact assessment shows a climate change impact of 6.01E-02 kg CO₂ eq/kWh, human toxicity of 5.04E-02 kg 1,4-DB eq/kWh, and mineral resource depletion of 1.74E-02 kg Fe eq/kWh. These impacts are primarily driven from concrete, copper, steel, and gypsum in building construction.

Keywords: Waste to energy, Organic Rankine cycle, Absorption chiller, Drying room, Solar photovoltaic system

1. บทนำ

สถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทยในปัจจุบัน ตามรายงานของกรมควบคุมมลพิษ ปี พ.ศ. 2565 ระบุว่าขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นสูงถึง 25.70 million Ton และขยะมูลฝอยที่ยังไม่ได้รับการกำจัดอย่างถูกต้อง ขยะตกค้างจากปีที่ผ่านมาที่ยังรอการกำจัดรวม 17.01 million Ton (Pollution Control Department, 2022) ส่งผลให้เกิดมลพิษที่กระจายไปยังพื้นดิน แหล่งน้ำ และอากาศ และยังเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนรวมไปถึงการเสื่อมโทรมของระบบนิเวศ ดังนั้น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ร่วมกับเทศบาลตำบลแม่เมาะ จังหวัดลำปาง จึงมีความพยายามในการนำขยะมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน (Waste to energy: WtE) ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนแบบอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อเสริมสร้างศักยภาพในการผลิตพลังงาน และสอดคล้องกับเป้าหมายของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศไทย พ.ศ. 2561 - 2580 (Ministry of Energy, 2022)

มีบทความวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน ที่เขียนด้วยนักวิจัยหลายท่านรวมถึง Markphan et al. (2021) ศึกษาการเกิดขยะของเทศบาลพรหมโลก จังหวัดนครราชสีมา ที่มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นเฉลี่ย 3.47 Ton/d แบ่งเป็นขยะที่เผาได้ร้อยละ 43.33 ขยะที่เผาไม่ได้ร้อยละ 48.33 และขยะอื่น ๆ ร้อยละ 8.33 นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากขยะในรูปแบบพลังงานความร้อน โดยงานวิจัยของ Chaiyat (2021) และ Pokson and Chaiyat (2024) เพื่อผลิตไฟฟ้าร่วมทำความเย็นและความร้อน (Combined cooling heating and power: CCHP)

ร่วมกับการกำจัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่บำบัดเชื้อด้วยไอน้ำ ป้อนให้แก่เตาเผาขยะ (Incinerator) ที่อัตราการไหลเชิงมวล 250 kg/h เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (Organic Rankine cycle: ORC) ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption chiller) และห้องอบแห้ง (Drying room) ความสามารถผลิตพลังงานรวม 33.63 kW มีประสิทธิภาพด้านพลังงานอยู่ที่ร้อยละ 13.40 และค่าต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยที่ 11.45 Baht/kWh นอกจากนี้ Sorgulu et al. (2021) ศึกษากระบวนการผลิตพลังงานร่วมกับการจัดการขยะประเภทมูลไก่ในอุตสาหกรรมอาหาร ด้วยการอบแห้งแบบสายพานแนวนอนที่สามารถลดปริมาณความชื้นลงเหลือประมาณร้อยละ 30 ทำให้ค่าความร้อนต่ำเพิ่มขึ้นเป็น 13.91 MJ/kg ก่อนที่จะส่งเข้าเตาเผากำจัดขยะสำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอยู่ที่ประมาณร้อยละ 29.45 และ Sajid Khan et al. (2022) แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะและแสงอาทิตย์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเดิมถึงร้อยละ 5.68 สามารถผลิตไฟฟ้าสุทธิได้ประมาณ 21.10 MW_e โดยมีต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วย 1.13 Baht/kWh การประเมินผลทางด้านสิ่งแวดล้อมของ Hosseini et al. (2022) ทำประเมินผลกระทบทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติในประเทศอิหร่านด้วยวิธีการประเมินแบบ ReCiPe 2016 แบบแครดิล-ทู-เกรฟ (Cradle-to-grave) ซึ่งก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 511 g CO₂ eq/kWh

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาแนวทางการนำขยะมูลฝอยชุมชนที่ผ่านการคัดแยกมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาเผาขยะ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดข้อจำกัดด้านคุณภาพและความสม่ำเสมอของเชื้อเพลิงผ่านกระบวนการอบแห้ง ก่อนเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นพลังงานความร้อนด้วยกระบวนการเผาไหม้ จากนั้นพลังงานความร้อนที่ได้จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า ความเย็น และความร้อน โดยออกแบบให้สอดคล้องกับลำดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนที่เหมาะสมกับเทคโนโลยี ตามลักษณะการใช้งานแบบอนุกรม ผสมผสานกับการทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar photovoltaic system) ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ส่งผลให้เกิดการบริหารจัดการขยะมูลฝอยได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานในอนาคตอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานร่วมผสมผสานจากพลังงานขยะและแสงอาทิตย์
- 2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ของระบบผลิตพลังงานร่วมผสมผสานจากพลังงานขยะและแสงอาทิตย์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สํารวจและจัดเก็บข้อมูลทางกายภาพ

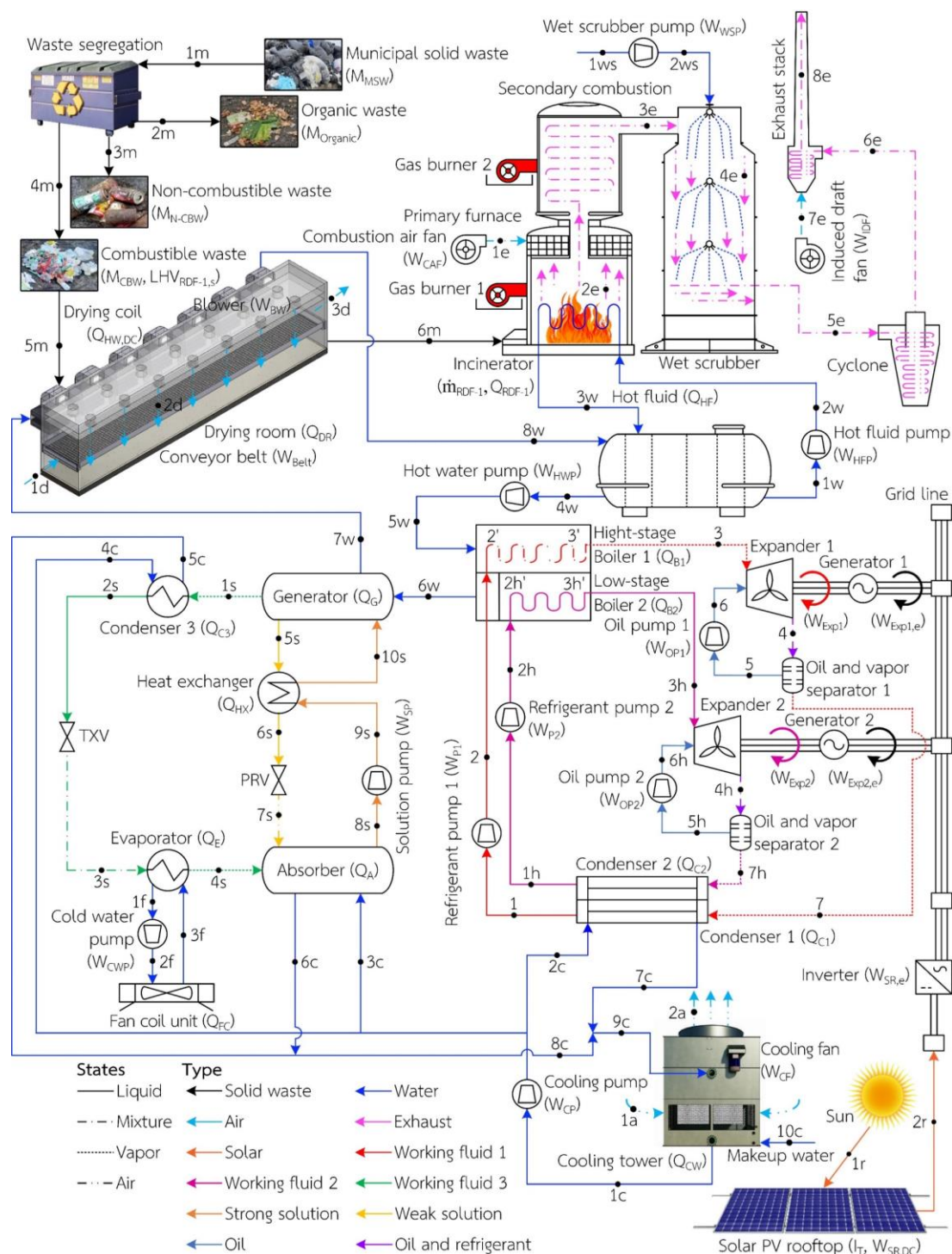
ทำการสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยในเขตพื้นที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแม่เมาะ และอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยการคัดแยกองค์ประกอบทางกายภาพของขยะที่สามารถนำไปผลิตพลังงานด้วยวิธีการเผา หลังจากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบขยะสำหรับการออกแบบเทคโนโลยีที่เหมาะสม

3.2 ประเมินศักยภาพทางด้านพลังงานของระบบผลิตพลังงานร่วมผสมผสานจากพลังงานขยะและแสงอาทิตย์

ทำการประเมินศักยภาพทางด้านพลังงานด้วยการจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการสมดุลพลังงาน สมดุลมวล และสมดุลความเข้มข้นของอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามทิศทางการเคลื่อนของกระแสพลังงาน โดยการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นการทำงานที่เกี่ยวข้องอ้างอิงข้อมูลการทดสอบของ Pokson and Chaiyat (2024) Mujumdar (2006) ร่วมกับฐานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงจาก Thai Meteorological Department (2023) ตามแผนภาพการทำงานดังแสดงในภาพที่ 1 โดยหลักการทำงานเริ่มต้นจากขยะมูลฝอยชุมชน ที่ผ่านกระบวนการคัดแยกขยะที่สามารถเผาไหม้ได้จุดที่ 1m - 4m เพื่อส่งไปยังห้องอบแห้งผ่านสายพานลำเลียง เข้าสู่กระบวนการลดความชื้นของขยะก่อนส่งเข้าสู่เตาเผาขยะจุดที่ 5m-6m เข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ และเกิดการเปลี่ยนรูปขยะเป็นพลังงานความร้อนด้วยกระบวนการเผาไหม้ (Q_{RDF-1}) จุดที่ 1e - 8e เมื่อห้องเผาไหม้อยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อนจะทำการจ่ายน้ำสะอาด เข้าสู่เตาเผาขยะด้วยปั๊มของไหลร้อน ($W_{HFP,e}$) เกิดการถ่ายโอนความร้อนจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงขยะโดยตรง ให้แก่ของไหลร้อนอุณหภูมิเกิน 105 °C และวนกลับเข้าสู่ถังเก็บของไหลร้อน เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปในวัฏจักรแรงดันอินทรีย์แบบ 2 stage โดยผ่านปั๊มน้ำร้อน ($W_{HWP,e}$) ส่งเข้าสู่หม้อต้มสารทำงานด้านอุณหภูมิสูงจุดที่ 1w - 5w และไหลออกมายังหม้อต้มสารทำงานอุณหภูมิต่ำ สำหรับการถ่ายเทความร้อนให้แก่คู่สารทำงาน R-245fa (Q_{B1} , Q_{B2}) ผ่านปั๊มสารทำงาน ($W_{P1,e}$, $W_{P2,e}$) จุดที่ 1 - 2 และ 1h - 2h จนกระทั่งสารทำงานเข้าสู่สภาวะกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่ง ไหลเข้าสู่เครื่องขยายตัวภายใต้สภาวะความดันสูงเพื่อขับเพลาท่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับการผลิตไฟฟ้า ($W_{ORC} = W_{Exp1,e} + W_{Exp2,e}$) จุดที่ 3 - 4 และ 3h-4h โดยน้ำมันหล่อลื่นที่แยกตัวออกจากสารทำงานจะถูกปั๊มเข้าไปยังเครื่องขยายตัวอีกครั้งผ่านปั๊มน้ำมัน ($W_{OP1,e}$, $W_{OP2,e}$) จากนั้นไอสารทำงานจะเข้าสู่เครื่องควบแน่นและถูกกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวภายใต้สภาวะความดันต่ำ หลังจากถูกถ่ายโอนความร้อนให้แก่ น้ำหล่อเย็น (Q_{C1} , Q_{C2}) จุดที่ 5-7 และ 5h-7h ซึ่งสามารถพิจารณาประสิทธิภาพวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ได้จากสมการ $[\eta_{ORC} = (W_{ORC} - W_{P1,e} - W_{P2,e} - W_{OP1,e} - W_{OP2,e}) / (Q_{B1} + Q_{B2})]$

ของไหลร้อนที่ออกจากวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จะไหลเข้าสู่เจนเนอเรเตอร์จุดที่ 6w ถ่ายเทความร้อนให้แก่สารละลายน้ำ-ลิเทียมโบรไมด์ (Q_G) เกิดเป็นไอสารทำงาน และถูกลดอุณหภูมิด้วยน้ำหล่อเย็นจากเครื่องควบแน่น (Q_{C3}) ในจุดที่ 1s - 2s หลังจากนั้นสารทำงานจะเกิดการคายความร้อนกลายเป็นของเหลวความดันสูงไหลเข้าสู่วาล์วลดความดัน เพื่อลดความดันก่อนเข้าสู่เครื่องระเหยในการผลิตความเย็น (Q_E) จุดที่ 3s - 4s ทำให้สารทำงานในระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเดือดเป็นไอภายใต้สภาวะความดันต่ำ ก่อนถูกลดอุณหภูมิอีกครั้งด้วยน้ำหล่อเย็นภายในตัวดูดกลืน (Q_A) ด้วยกระบวนการดูดกลืนระหว่างไอสารทำงานและสารละลายความเข้มข้นต่ำ และถูกควบคุมความดันด้วยวาล์วลดความดันในจุดที่ 5s - 7s กลายเป็นสารละลายความเข้มข้นสูงจุดที่ 8s ไหลเข้าสู่กระบวนการระเหยของสารละลายผ่านปั๊มสารละลาย (W_{SP}) เพื่อรับความร้อนจากของไหลร้อนอีกครั้ง โดยสามารถพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นจากสมการ $[COP_{AB} = Q_E / (Q_G + W_{SP})]$

ของไหลร้อนที่ออกจากระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจุดที่ 7w จะถูกส่งไปที่แผงแลกเปลี่ยนความร้อน ($Q_{HW,DC}$) เพื่อถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ ทำให้อุณหภูมิกระเปาะเปียกสูงขึ้นในจุดที่ 1d - 2d ขณะที่ปริมาณน้ำในอากาศจะมีค่าคงที่เป็นกระบวนการทำความร้อน และหลังจากนั้นอากาศร้อนที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะถูกกระจายเข้าสู่พื้นที่อบแห้งผ่านผิวขยะเปียก เกิดการถ่ายเทความร้อนไปสู่วัสดุ (Q_{DR}) ทำให้ความชื้นในขยะเปียกเกิดการเคลื่อนที่ออกจากผิวและระเหยออกสู่อากาศ อากาศที่ออกจากห้องอบแห้งจะมีอุณหภูมิลดลง แต่อัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้นเท่ากับปริมาณน้ำที่ระเหยออกในจุดที่ 3d ซึ่งการทำงานของห้องอบแห้งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพัดลมดูดอากาศ ($W_{BW,e}$) และสายพานลำเลียงที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เกียร์ ($W_{Belt,e}$) โดยสามารถพิจารณาประสิทธิภาพการอบแห้งได้จากสมการ $[\eta_{DR} = Q_{DR} / (Q_{HW,DC} + W_{BW,e} + W_{Belt,e})]$ นอกจากนี้ยังมีการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศ (I_T) ตกกระทบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($A_{PV} N_{PV}$) เกิดการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนในอะตอมของวัสดุสารกึ่งตัวนำหลุดออกจากพันธะ และเกิดเป็นไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่านเข้าสู่อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ($W_{SR,e}$) จุดที่ 1r - 2r เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าส่วนกลาง ซึ่งสามารถพิจารณาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้จากสมการ $[\eta_{SR} = W_{SR,e} / (I_T A_{PV} N_{PV})]$ ดังนั้น ระบบผลิตพลังงานร่วมผสมผสานจากพลังงานขยะและแสงอาทิตย์สามารถใช้ประโยชน์จากผลิตพลังงานไฟฟ้า ความเย็น และความร้อน ($W_{HB,net} = W_{ORC} + W_{SR,e} - W_{out,e} + Q_E + Q_{DR}$) พิจารณาประสิทธิภาพรวมได้จากสมการ $[\eta_{HB} = W_{HB,net} / (Q_{RDF-1} + (I_T A_{PV} N_{PV}))]$



ภาพที่ 1 แผนภาพระบบผลิตพลังงานร่วมผสมผสานจากพลังงานขยะและแสงอาทิตย์

3.3 ประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์

ทำการวิเคราะห์ค่าหาต้นทุนพลังงานต่อหน่วย (Levelized energy cost: LEnC) โดยสามารถพิจารณาจากการผลิตพลังงานร่วมผสมผสาน ($E_{HB,net}$) ค่าใช้จ่ายจากการลงทุนติดตั้งของโครงการ (Investment cost: Inv) ค่าใช้จ่ายสำหรับการผลิตพลังงาน (Production energy

cost: PEC) ค่าอัตราส่วนลด (Discount rate: r) ค่าอัตราดอกเบี้ยที่แท้จริง (Real interest: i_{Real}) ค่าอัตราเงินเฟ้อ (Inflation rate: $i_{Inflation}$) และปัจจัยความเสื่อมสภาพ (Deterioration factor: DF) ตลอดอายุการใช้งาน (N) 20 y ร่วมกับการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Net present value: NPV) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Internal rate of return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ดังแสดงในสมการที่ 1 - 4 โดยมีเงื่อนไขการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 1

$$LEnC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^N \frac{PEC}{(1+r)^t}}{\left(\sum_{t=1}^N \frac{(E_{HB,net})_{OT}}{(1+DF)^{(t-1)}} \right)} \quad (1) \quad -Inv + \sum_{t=1}^N [NR_t / (1+IRR)^t] = 0 \quad (3)$$

$$NPV = \sum_{t=1}^N [NR_t / (1+r)^t] - Inv \quad (2) \quad PB = Inv / NR \quad (4)$$

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์

รายละเอียด	ปริมาณ	อ้างอิง
ค่าแรงงานขั้นต่ำของประเทศไทย (OM_{Man} , Baht/d)	330	Ministry of Labour (2023)
ค่าบริการกำจัดขยะ (r_{MSW} , Baht/kg)	1.67	Department of Local Administration (2023)
ค่ารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานขยะ (FiT_{MSW} , Baht/kWh)	5.08	Energy Regulatory Commission (2023)
ค่ารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (FiT_{PV} , Baht/kWh)	2.20	
ค่าไฟฟ้าฐาน (C_e , Baht/kWh)	4.48	Energy News Center (2023)
อัตราดอกเบี้ยแท้จริง (i_{Real} , %)	2.50	Bank of Thailand (2023)
ค่าอัตราเงินเฟ้อ ($i_{Inflation}$, %)	1.20	
ปัจจัยความเสื่อมสภาพ (DF , %)	2	Chaiyat (2021)

3.4 ประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

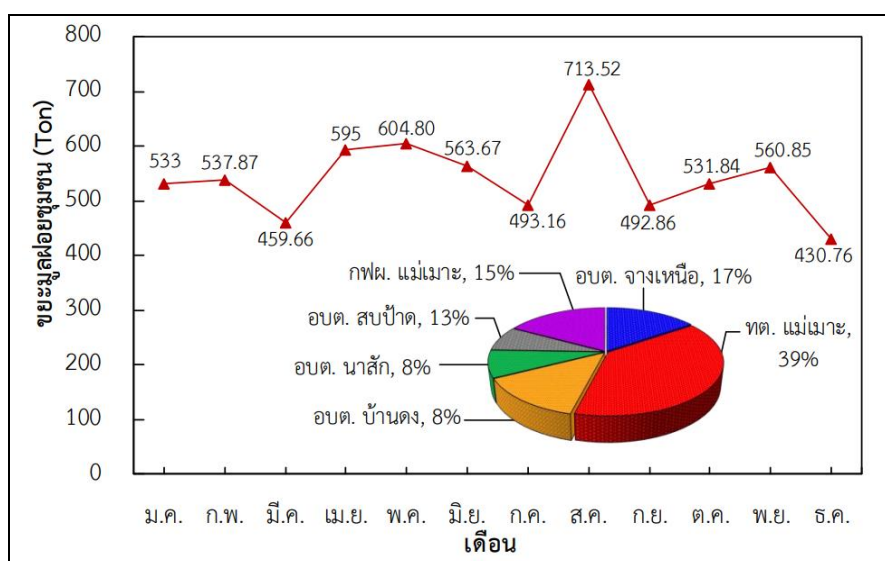
ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment) ตามมาตรฐาน ISO 14040 และ ISO 14044 โดยการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาแบบ แกรเดิล-ทู-เกรฟ จากการรวบรวมข้อมูลการใช้วัตถุดิบ พลังงานและของเสียที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง การดำเนินงาน และการรื้อถอน ตลอดอายุการใช้งาน 20 y การประเมินใช้วิธี ReCiPe (SimaPro, 2023) เพื่อพิจารณาผลกระทบชั้นกลาง (Midpoint impact) ที่เกี่ยวข้อง 18 ผลกระทบ และมีหน่วยการทำงาน (Functional unit) คือ การผลิตพลังงานรวม 1 kWh

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลทางกายภาพ

ผลการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยในเขตอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง จากแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยจำนวน 6 แหล่ง พบว่า เทศบาลตำบลแม่เมาะ องค์การบริหารส่วนตำบลจางเหนือ และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแม่เมาะ มีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละ 70 ของปริมาณขยะทั้งหมด 6,516.96 Ton/y เฉลี่ยประมาณ 17.85 Ton/d ดังแสดงในภาพที่ 2 คิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ยประมาณ 1.52 kg/(person·d) (National Statistical Office, 2023)

และจากการสุ่มเก็บตัวอย่างขยะจากรถเก็บขนของเทศบาล พบว่า มีสัดส่วนขยะที่สามารถเผาไหม้ได้เฉลี่ยร้อยละ 33.13 ของปริมาณขยะทั้งหมด โดยส่วนใหญ่เป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับใส่อาหาร ขวดพลาสติก ร้อยละ 20.65 เศษผ้า ร้อยละ 4.19 กระดาษ ร้อยละ 4.09 ยาง ร้อยละ 1.67 กระดาษลัง ร้อยละ 1.63 และเศษไม้ ร้อยละ 0.90 ซึ่งเป็นขยะที่ใช้ระยะเวลานานในการย่อยสลายตามธรรมชาติ จึงเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในเผาไหม้ผลิตพลังงานและลดปริมาณขยะที่ต้องไปสุ่งพื้นที่หลุมฝังกลบ



ภาพที่ 2 ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย

4.2 ผลการประเมินศักยภาพทางด้านพลังงานของระบบผลิตพลังงานร่วมผสมผสานจากพลังงานขยะและแสงอาทิตย์

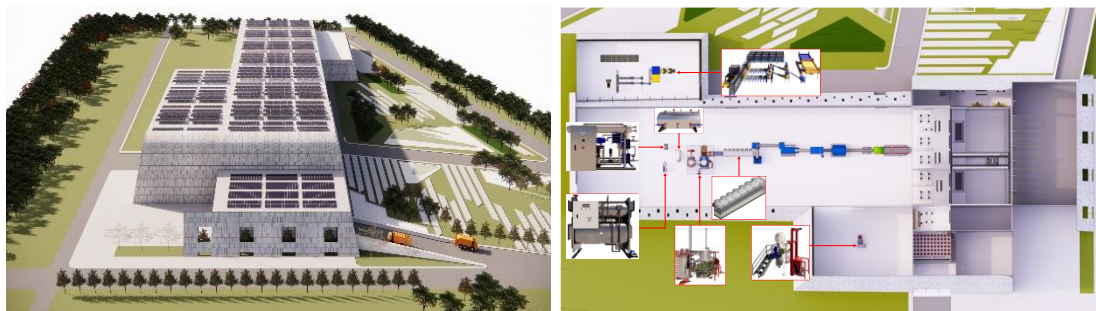
ผลการประเมินศักยภาพทางด้านพลังงานจากปริมาณขยะที่ผ่านการคัดแยกแล้ว แพลสสภาพให้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงแข็งประเภทที่ 1 มีมวลอยู่ที่ ($M_{RDF-1,S}$) 5,913.30 kg/d ปริมาณความชื้น ($MC_{RDF-1,S}$) ร้อยละ 41.92 จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการอบแห้งเป็นระยะเวลาประมาณ 8 h ทำให้น้ำหนักหลังการอบแห้งเหลืออยู่ที่ประมาณ ($M_{RDF-1,F}$) 3,434.16 kg/d และมีค่าความร้อนต่ำประมาณ ($LHV_{RDF-1,F}$) 11.50 MJ/kg ซึ่งเป็นการลดข้อจำกัดของคุณภาพและความสม่ำเสมอของเชื้อเพลิงเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ก่อนที่จะถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาขยะที่อัตราการไหลเชิงมวล ($\dot{m}_{RDF-1}$) 429.27 kg/h ปริมาณความร้อน (Q_{RDF-1}) 1,371.73 kW ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายโอนให้กับของไหล (Q_{HF}) 434.29 kW ทำให้อุณหภูมิของของไหลเพิ่มขึ้นจนถึงสภาวะคงที่ (T_{5w}) 110 °C สะสมไว้ในถังเก็บน้ำความจุ 24 m³ มาใช้งานในการผลิตพลังงานตามลำดับอุณหภูมิของของไหลร้อนแบบอนุกรม

ของไหลร้อนจะถูกจ่ายเข้าสู่วัฏจักรแรงดันอินทรีย์แบบ 2 stag ด้านอุณหภูมิสูงถ่ายเทความร้อนให้แก่คู่สารทำงาน R-245fa ที่อุณหภูมิสูง (T_{B1}) 100 °C และอุณหภูมิต่ำ (T_{B2}) 89 °C อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม ($Q_{B1} + Q_{B2}$) 714.96 kW เกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นไอความดันสูงที่ความดันเกจ (P_{H1}) 12.65 bar และ (P_{H2}) 9.82 bar เพื่อผันกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กระแสสลับ ($W_{Exp1,e} + W_{Exp2,e}$) 63.19 kW_e ที่ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า (η_{ORC}) ร้อยละ 7.77 หลังจากนั้นของไหลร้อนที่ลดอุณหภูมิลงเหลือ (T_{6w}) 88 °C จะถูกใช้เพื่อระเหยน้ำภายในเจนเนอเรเตอร์ และเกิดการแยกตัวออกจากสารละลายน้ำ-ลิเทียมโบรไมด์อุณหภูมิ (T_G) 85 °C อัตราการถ่ายเทความร้อน (Q_G) 122.76 kW ที่อุณหภูมิสารทำงานในเครื่องระเหย (T_E) 4 °C สามารถผลิตน้ำเย็นอุณหภูมิ (T_{1f}) ประมาณ 7 °C เพื่อใช้การทำความเย็นภายในห้องสำนักงานและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหย (Q_E) 91.06 kW เครื่องควบแน่น (Q_{C3}) 96.16 kW ตัวดูดกลืน (Q_A) 93.82 kW ระหว่างการทำงานมีการใช้ไฟฟ้าจากปั๊มสารละลาย ($W_{SP,e}$) 0.002 kW_e และปั๊มน้ำเย็น ($W_{CWP,e}$) 0.71 kW_e เป็นผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP_{AB}) เท่ากับ 0.63 และมีการระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น เพื่อลดอุณหภูมิน้ำที่ออกจากเครื่องควบแน่น และตัวดูดกลืนผ่านปั๊มน้ำหล่อเย็น ($W_{CP,e}$) 6.22 kW_e อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ($\dot{m}_{CW}$) 39.85 kg/s สัมผัสกับอากาศผ่านพัดลมระบายความร้อน ($W_{CF,e}$) 11.26 kW_e จากนั้นของไหลร้อน (T_{7w}) 83 °C จะถูกป้อนให้กับแผงแลกเปลี่ยนความร้อน ผ่านการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศร้อน (T_{2d}) ประมาณ 80 °C สำหรับการอบแห้งขยะเปียกที่ถูกลำเลียงผ่านสายพานด้วยความเร็วคงที่ (v_{Belt}) 0.003 m/s การทำงานของห้องอบแห้งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพัดลม ($W_{BW,e}$) 1.75 kW_e และมอเตอร์เกียร์ ($W_{Belt,e}$) 17.52 kW_e เกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศขึ้น (Q_{DR}) 207.39 kW โดยมีประสิทธิภาพการอบแห้ง (η_{DR}) ร้อยละ 30.18

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาขนาดกำลังการติดตั้ง 847 kW_p ที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 550 W_p ยี่ห้อ ซันเพาเวอร์ (Sun power) รุ่น SPR-P6-550-COM-M-BF จำนวน 1,540 Panel แผงหันไปทางทิศใต้ทำมุมเอียง 4° ตามแนวระนาบของหลังคา ครอบคลุมพื้นที่ 4,008 m² ทำให้มีค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่ตกกระทบแผงในช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. พบว่าค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงสูงสุดตลอดทั้งปีเกิดขึ้นในช่วงเวลา 12.00 น. เฉลี่ยอยู่ที่ 804.65 W/m² และจากการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพอุณหภูมิอากาศของจังหวัดลำปาง พบว่า การผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมรายวันส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิของแผง ณ เวลา 12.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ (T_{PV}) 51.38 °C เป็นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเหลือเพียง (V_{PV}) 29.58 V กระแสไฟฟ้า (I_{PV}) 11.35 A กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ($W_{SR,e}$) 485.40 kW_e ภายใต้ประสิทธิภาพการทำงาน (η_{SR}) ร้อยละ 16.28

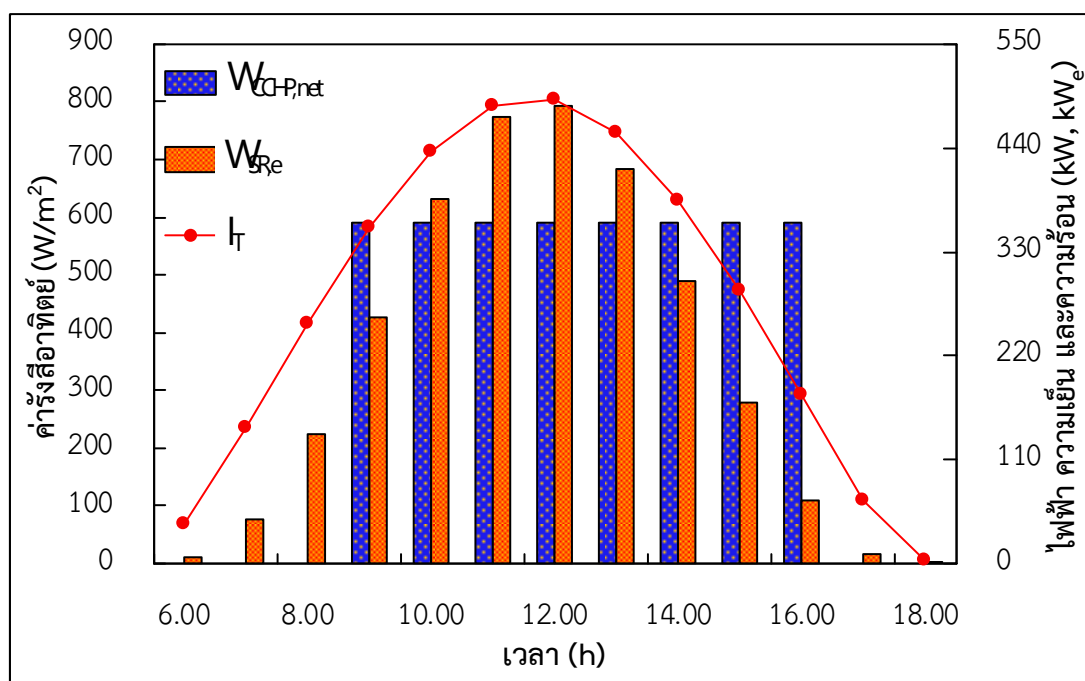
ผลด้านพลังงานของระบบผลิตพลังงานร่วมผสมผสาน สามารถใช้ประโยชน์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า ความเย็น และความร้อนได้รวมทั้งสิ้น (E_{HB}) 5,211.44 kWh/d และมีกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ ($E_{HB,e}$) 3,261.11 kWh/d คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าสุทธิ ($E_{HB,net}$) 2,823.86 kWh/d ที่ประสิทธิภาพการทำงาน (η_{HB}) ร้อยละ 18.34 และได้มีการออกแบบทางกายภาพในการนำเสนอแผนภาพเสมือนของโรงไฟฟ้าขยะที่มีพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 4,608 m² พื้นที่ด้านหน้าอาคารถูกออกแบบเป็นบ่อพักขยะมูลฝอยภายในอาคารปิด นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอการติดตั้งเสริมที่คาดว่าจะมีความจำเป็นในอนาคต ได้แก่ ระบบผลิตอิฐบล็อกแบบอัตโนมัติ และระบบบำบัดขยะที่ติดเชื้อเพื่อรองรับขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลใกล้เคียงดังแสดงในภาพที่ 3 - 5



(ก) โรงไฟฟ้าขยะ (ด้านหน้า)

(ข) โรงไฟฟ้าขยะ (ด้านบน)

ภาพที่ 3 แบบแปลนโรงไฟฟ้าขยะ



ภาพที่ 4 รังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงและพลังงานที่ผลิตได้



ภาพที่ 5 ผลด้านพลังงานของระบบผลิตพลังงานร่วมผสมผสานจากพลังงานขยะและแสงอาทิตย์

4.3 ผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนจากแบบแปลนการออกแบบทางกายภาพ พบว่า ระบบมีมูลค่าการเงินลงทุนรวม 80,201,177 Baht ค่าใช้จ่ายจากการดำเนินงาน 4,973,658.85 Baht/y คิดจากต้นทุนการลงทุนร้อยละ 5 และมีผลตอบแทนจากการดำเนินงานจะแบ่งเป็น การบริการรับกำจัดขยะ การจำหน่ายกระแสไฟฟ้า และผลประหยัดพลังงานจากระบบทำความเย็นคิดเป็นผลตอบแทนสุทธิ

8,332,291.54 Baht ส่งผลให้มีค่าต้นทุนพลังงานต่อหน่วยพลังงาน 5.38 Baht/kWh มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 57,710,801.41 Baht และมีระยะเวลาคืนทุนภายใน 9.63 y ดังแสดงในตารางที่ 2

การเปรียบเทียบระบบเดิมที่มีต้นทุนการผลิตพลังงานที่ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับ Pokson and Chaiyat (2024) เนื่องจากต้องแบกรับต้นทุนในการก่อสร้าง การจัดการวัตถุดิบ ค่าบำรุงรักษา และการจัดการของเสียที่เกิดจากการผลิตพลังงานที่ค่อนข้างสูง ประเด็นดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sajid Khan et al. (2022) เป็นการจัดการขยะให้เหมาะสมที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานแบบบูรณาการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผสมผสานการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีต้นทุนต่ำกว่า ง่ายต่อการบำรุงรักษา และไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการจัดหาวัตถุดิบ

ตารางที่ 2 รายละเอียดการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

รายละเอียด	ปริมาณ	รายละเอียด	ปริมาณ
เงินลงทุน		ผลตอบแทน	
โรงเรือน (Z _{Builing} , Baht)	25,050,000	การรับบริการกำจัดขยะ (R _{MSW} , Baht/y)	10,858,750
เตาเผาขยะและระบบคัดแยก (Z _{IC} , Baht)	15,700,627	การจำหน่ายกระแสไฟฟ้า (R _{HB,e} , Baht/y)	2,339,292.88
วัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์ (Z _{ORC} , Baht)	3,042,439	ผลการประหยัดพลังงาน (R _{AB,e} , Baht/y)	100,681.56
ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (Z _{AB} , Baht)	642,013	ผลตอบแทนสุทธิรายปี (NR, Baht/y)	8,332,291.54
ห้องอบแห้ง (Z _{DR} , Baht)	5,000,000	ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์	
ถังเก็บของไหลร้อนและอุปกรณ์ติดตั้ง (Z _{HF} , Baht)	7,050,097	อัตราส่วนลด (r, %)	1.28
ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Z _{SR} , Baht)	23,716,000	พลังงานที่ผลิตได้สุทธิต่อปี (E _{HB,e} , kWh/y)	1,902,175.95
รวมเงินลงทุนทั้งหมดของโครงการ (Inv, Baht)	80,201,177	อายุของโครงการ (N, y)	20
ค่าดำเนินงาน		ต้นทุนพลังงานต่อหน่วย (LEnC, Baht/kWh)	5.38
ค่าแรงงาน (OM _{Man,y} , Baht/y)	963,600	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV, Baht)	57,710,801.41
ค่าบำรุงรักษา (OM _{Service} , Baht/y)	4,010,058.85	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR, %)	7.97
ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา (PEC, Baht/y)	4,973,658.85	ระยะเวลาคืนทุน (PB, y)	9.63

4.4 ผลการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

ผลการรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานดังกล่าว โดยแบ่งแยกตามขั้นตอนต่าง ๆ พบว่า กระบวนการก่อสร้างมีการใช้วัสดุประเภทคอนกรีตในปริมาณสูงที่สุด 13,785,391 kg รองลงมาเป็นวัสดุประเภทเหล็ก 519,468 kg ดินเหนียว 339,958 kg และทราย 154,870 kg วัสดุส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 98.96 ถูกใช้ในก่อสร้างโรงเรือน ส่วนที่เหลือแบ่งเป็นงานสร้างเตาเผาขยะร้อยละ 0.48 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร้อยละ 0.41 และระบบอื่น ๆ ร้อยละ 0.15

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมชั้นกลางทั้งหมด 18 กลุ่มผลกระทบ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการก่อสร้าง การรื้อถอน และการดำเนินงานที่มีสัดส่วนถึงร้อยละ 89.97, ร้อยละ 8.07 และร้อยละ 1.96 ตามลำดับ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 6.01E-02 kg CO₂ eq/kWh

ภาวะความเป็นพิษที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ $5.04\text{E-}02 \text{ kg 1,4-DB eq/kWh}$ และการลดลงของปริมาณแร่ธาตุ $1.74\text{E-}02 \text{ kg Fe eq/kWh}$ ดังแสดงในตารางที่ 3

การเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่คล้ายคลึงกันชี้ให้เห็นถึง (Suvamabol and Chaayat, 2024) ความแตกต่างในด้านประสิทธิภาพที่สูงและการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะในการผลิตพลังงานที่หลากหลาย ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีบทบาทสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ควรมีการปรับปรุงการแบบแปลนในขั้นตอนการออกแบบระบบให้เหมาะสม และสามารถปรับใช้ให้เข้ากับลักษณะทางกายภาพของแต่ละชุมชน โดยต้องพิจารณาถึงต้นทุน ความปลอดภัย และปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 3 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมชั้นกลาง 18 กลุ่มผลกระทบ

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ก่อสร้าง	ดำเนินงาน	รื้อถอน	1 kWh
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (kg CO ₂ eq)	3.40E+06	1.14E+05	2.04E+06	6.01E-02
การลดลงของชั้นโอโซน (kg CFC-11 eq)	2.26E-01	3.08E-05	9.31E-02	5.66E-09
ภาวะฝนกรด (kg SO ₂ eq kg)	1.47E+04	4.77E+02	8.53E+03	3.27E-04
การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด (kg P eq)	1.06E+03	6.08E-02	4.72E+02	1.62E-05
การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในน้ำทะเล (kg N eq)	6.45E+02	4.06E+01	6.31E+02	2.10E-05
ภาวะเป็นพิษต่อมนุษย์ (kg 1,4-DB eq)	2.11E+06	4.43E+04	5.58E+05	5.04E-02
ภาวะก่อตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (kg NMVOC)	1.13E+04	6.92E+02	9.99E+03	2.62E-04
ภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (kg PM ₁₀ eq)	6.74E+03	1.77E+02	7.20E+03	1.21E-04
ภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (kg 1,4-DB eq)	5.98E+02	2.86E-01	8.25E+01	1.53E-05
ภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด (kg 1,4-DB eq)	3.68E+05	3.69E+02	1.91E+04	9.38E-03
ภาวะที่เป็นพิษต่อน้ำทะเล (kg 1,4-DB eq)	3.28E+05	3.64E+02	1.81E+04	8.34E-03
การเกิดรังสีชนิดกัมมันตรังสีไอออน (kBq U ₂₃₅ eq)	2.72E+05	2.45E+01	3.96E+04	6.97E-03
การใช้พื้นที่ในการเกษตรกรรม (m ² a)	1.32E+05	2.08E+01	2.24E+04	3.12E-03
การใช้พื้นที่ในเขตตัวเมือง (m ² a)	1.03E+05	1.07E+01	3.43E+04	2.77E-03
การเปลี่ยนแปลงที่ดินตามธรรมชาติ (m ²)	7.64E+02	9.41E-01	-4.32E+02	2.86E-06
การลดลงของทรัพยากรน้ำ (m ³)	3.77E+04	-7.02E+01	4.93E+03	9.88E-04
การลดลงของแร่ธาตุ (kg Fe eq)	1.39E+06	4.90E+03	7.50E+05	1.74E-02
การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (kg oil eq)	6.98E+05	2.83E+04	4.79E+05	1.51E-02

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 ผลการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยมีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในชุมชนประมาณ 6,516.96 Ton/y มีสัดส่วนปริมาณขยะที่เผาไหม้ได้ทั้งหมดร้อยละ 31.63

5.2 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบผสมผสานจากพลังงานขยะและแสงอาทิตย์ มีความสามารถในการผลิตพลังงาน 5,211.44 kWh/d กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 3,261.11 kWh/d คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าสุทธิ 2,823.86 kWh/d และมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 18.34

5.3 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า ระบบมีต้นทุนการผลิตพลังงานเท่ากับ 5.38 Baht/kWh มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 57,710,801.41 Baht อัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 7.97 และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 9.63 y

5.4 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ $6.01\text{E-}02 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh}$ การเกิดภาวะความเป็นพิษต่อมนุษย์ $5.04\text{E-}02 \text{ kg 1,4-DB eq/kWh}$ และการลดลงของปริมาณแร่ธาตุ $1.74\text{E-}02 \text{ kg Fe eq/kWh}$

จากผลการศึกษาข้างต้น พบว่า แนวทางการต่อยอดงานวิจัยควรมีการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงขยะด้วยวิธีการนำขยะที่สามารถเผาไหม้ได้ มาผสมกับขยะติดเชื้อเพลิงทางการแพทย์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง เพื่อใช้ประโยชน์ต่อในกระบวนการเผาไหม้ผลิตพลังงาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และวิทยาลัยพลังงานทดแทนภายใต้โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา (2566) และทุนเรียนดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มอบทุนการสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Bank of Thailand. (2023). *Policy interest rate and forecast summary*. [online], Available: <https://www.bot.or.th>. access on March 20, 2024. (in Thai)
- Chaiyat, N. (2021). *Energy, exergy, economic, and environmental analysis of an organic Rankine cycle integrating with infectious medical waste incinerator*. Thermal Science and Engineering Progress, 22, 100810.
- Department of Local Administration. (2023). *Rate for municipal waste disposal services*. [online], <https://www.dla.go.th>. access on March 9, 2024. (in Thai)
- Energy News Center. (2023). *Base Tariff*. [online], Available: <https://www.energynewscenter.com>. access on March 9, 2024. (in Thai)
- Energy Regulatory Commission of Thailand. (2023). *Feed-in Tariff*. [online], Available: <https://www.erc.or.th>. access on March 9, 2024. (in Thai)
- Hosseini, S. M., Aslani, A., & Kasaeian, A. (2022). *Energy, water, and environmental impacts assessment of electricity generation in Iran*. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 52, 102193.
- Markphan, W., Thanyarat, R., & Udom, T. (2021). Potential of Heating Energy Generation of Municipal Solid Waste: A Case Study of Promlok Municipality. *Thai Science and Technology Journal*, 587-603. (in Thai)
- Mujumdar, A. S. (2006). *Handbook of industrial drying (3th ed.)*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420017618>
- Ministry of Energy. (2022). *Thai Integrated Energy Blueprint (TIEB)*. [online], Available: www.eppo.go.th. access on March 9, 2024. (in Thai)

- Ministry of Labour. (2023). *The minimum labor cost in Thailand*. [online], Available: <https://www.mol.go.th/wpcontent/uploads/sites/2/2022/09/PrakadWageMOL2565-11-for20Sep2565.pdf>. access on March 9, 2024. (in Thai)
- National Statistical Office. (2023), *Population counts*. [online], Available: <http://statbbi.nso.go.th>. access on March 9, 2024. (in Thai)
- Pokson, C., & Chaayat, N. (2024). *Energy, economic, and environmental analysis of a novel combined cooling, heating, and power (CCHP) from infectious medical waste*. *Cleaner Waste Systems*, 8, 100155. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100155>
- Pollution Control Department. (2022). *Solid waste situation in Thailand. Ministry of natural resources and environment*. [online], Available: www.pcd.go.th/publication/29509. access on March 9, 2024. (in Thai)
- Sajid Khan, M., Huan, Q., Lin, J., Zheng, R., Gao, Z., & Yan, M. (2022). *Exergoeconomic analysis and optimization of an innovative municipal solid waste to energy plant integrated with solar thermal system*. *Energy Conversion and Management*, 258, 115506.
- SimaPro. (2023). *SimaPro Demo (Release 9.4.0.1)*. [online], Available: <https://simapro.com>. access on March 20, 2024.
- Sorgulu, F., Akgul, M. B., Cebeci, E., Yilmaz, T. O., & Dincer, I. (2021). *A new experimentally developed integrated organic Rankine cycle plant*. *Applied Thermal Engineering*, 187, 116561.
- Suvarnabol, C., & Chaayat, N. (2024). *Thermal and environmental analysis of an infectious medical waste-to-energy*. *Sustainable Chemistry for Climate Action*, 4, 100039.
- Thai Meteorological Department. (2023). *Air temperature of Lampang province*. [online], Available: www.aws-observation.tmd.go.th. access on March 20, 2024. (in Thai)

ภาคผนวก

**ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ
วารสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี**

เพื่อให้วารสารวิชาการวารสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐานทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

1. วัตถุประสงค์ของวารสารวิชาการ เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ในวารสารจะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยเผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น ๆ การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้ส่งบทความโดยตรง

2. ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

2.2 สาขาวิชาเทคโนโลยี เน้น เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม ได้แก่ เทคโนโลยีไฟฟ้า เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีพลังงาน/พลังงานทดแทน เทคโนโลยีก่อสร้าง/โยธา เทคโนโลยีการผลิต มาตราวิทยา วิศวกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีเซรามิก การบริหารจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

3. กำหนดออกวารสาร

วารสารมีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม ด้วยระบบ Online: ThaiJo

4. การพิจารณาบทความ

4.1 การพิจารณาบทความ เลือกผู้ทรงคุณวุฒิจากกองบรรณาธิการตรงตามสาขาวิชาในพิจารณา 3 คน ต่อ 1 บทความ

4.2 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี กองบรรณาธิการพิจารณาส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิก่อนนอก 3 คน

4.3 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี กองบรรณาธิการพิจารณาส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายในและหรือภายนอก โดยไม่เกี่ยวข้องกับเจ้าของบทความ 3 คน

4.4 กรณีผู้ส่งบทความ แก้ไขไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา ที่กองบรรณาธิการแจ้งกองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์พิจารณา ยกเลิก กระบวนการเพื่อการตีพิมพ์

5. คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์

5.1 วิธีส่งบทความ เจ้าของบทความสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และส่งต้นฉบับบทความ ในรูปแบบไฟล์ word และรูปแบบไฟล์ PDF ได้ที่ระบบออนไลน์ของวารสารวิชาการ <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/Itech>

5.2 รูปแบบบทความที่ส่งกองบรรณาธิการเพื่อตีพิมพ์

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)

ชื่อเรื่อง (English)

ชื่อ นามสกุล^{1*}, ชื่อ นามสกุล² และ ชื่อ นามสกุล³ (ภาษาไทย)

ชื่อ นามสกุล^{1*}, ชื่อ นามสกุล² และ ชื่อ นามสกุล³ (ภาษาอังกฤษ)

^{1*} ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxx โทรสารxxxxx E-mail: YYYYYY

² ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์

³ ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ (ภาษาไทย)

^{1*} ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxx โทรสารxxxxx E-mail: YYYYYY

² ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์

³ ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ (ภาษาอังกฤษ)

วันที่รับบทความ XXXXXXXXXX

Received: XXXXXXXXXX

วันที่รับแก้ไขบทความ XXXXXXXXXX

Revised: XXXXXXXXXX

วันที่ตอบรับบทความ XXXXXXXXXX

Accepted: XXXXXXXXXX

บทคัดย่อ

บทความงานวิจัยต้องประกอบด้วยบทคัดย่อที่ระบุถึงความสำคัญของเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษาและบทสรุป ในกรณีที่ต้นฉบับเป็นภาษาไทย ให้ผู้นิพนธ์เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ ระบุคำสำคัญของเรื่อง (keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ

คำสำคัญ: รูปแบบบทความ, ขนาดตัวอักษร, รูปแบบตัวอักษร

Abstract

An article of research to composes with abstract to specify importance of subject, object, method to study, result and summary. Both Thai and English abstracts are required. The length of each should not exceed 300 words. Also, the keywords should not be used more than 5 words.

Keywords: submission procedure, manuscript format, font size, font style, blank line

1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือในการเขียนบทความฉบับเต็มสำหรับผู้ที่มีความประสงค์ในการส่งบทความเข้าตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพและเพื่อให้การจัดทำเอกสารเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผู้ที่ส่งบทความควรพิมพ์บทความตามรูปแบบและแนวทางที่กำหนดอย่างเคร่งครัด

2. เนื้อหาบทความ

วารสารฉบับเต็มควรประกอบด้วย ชื่อบทความ ชื่อและที่อยู่ของผู้เขียนบทความ บทคัดย่อ คำสำคัญ วัตถุประสงค์ เนื้อหาโดยสมบูรณ์ของบทความ กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง โดยในส่วนของเนื้อหาของบทความ สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก หัวข้อย่อย และอาจแบ่งถึงหัวข้อย่อยลงมา ทั้งนี้ตัวอักษรทั้งหมดที่ใช้ในการพิมพ์ทุกส่วนให้ใช้ตัวอักษรแบบ TH SarababunPSK ขนาด 16 ตัวหนาทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระยะระหว่างบรรทัดเป็นแบบบรรทัดเดี่ยว (Single Space) และแต่ละหน้าไม่ต้องมีการเติมหมายเลขหน้า

2.1 ขนาดและการตั้งค่าหน้ากระดาษ

ขนาดของกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์กำหนดให้มีขนาดมาตรฐาน A4 ($8\frac{1}{4} \times 11\frac{3}{4}$ นิ้ว) โดยกำหนดการตั้งค่าหน้ากระดาษดังนี้

ริมขอบกระดาษด้านบน	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านล่าง	1	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านซ้าย	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านขวา	1	นิ้ว

ความยาวโดยรวมของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้ากระดาษ

2.2 ชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียน

ในการพิมพ์ชื่อบทความให้พิมพ์ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยใช้ตัวอักษรขนาด 20 พอยต์ พิมพ์เป็นตัวหนา โดยแต่ละคำในชื่อภาษาอังกฤษให้พิมพ์อักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ (ยกเว้น คำนำหน้านาม: articles, คำสันธาน: coordinate conjunctions และ คำบุพบท: prepositions นอกจากคำเหล่านี้จะถูกใช้นำชื่อเรื่อง) สำหรับชื่อผู้เขียนบทความให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยต์ ในขณะที่ส่วนของที่อยู่ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 พอยต์ โดยที่อยู่ควรประกอบไปด้วย

สำหรับบุคลากรภายใน มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ตำแหน่งทางวิชาการ สาขาวิชาที่สังกัด เบอร์โทรศัพท์เคลื่อนที่ และ E-mail ที่สามารถติดต่อได้ กรณีผู้เขียนมากกว่าหนึ่ง สามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนั้นควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียด ผู้ติดต่อให้ระบุ เบอร์โทรศัพท์ และ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

สำหรับบุคลากร ภายนอก มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ ซึ่งสามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนั้นควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียดผู้ติดต่อให้ระบุ เบอร์โทรศัพท์ เบอร์โทรสารและ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

3. บทคัดย่อและคำสำคัญ

การพิมพ์บทคัดย่อและคำสำคัญให้พิมพ์ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ และจัดรูปแบบอยู่ตรงกึ่งกลางของหน้ากระดาษ โดยให้พิมพ์ชื่อหัวข้อ “บทคัดย่อ” และ “Abstract” เป็นแบบตัวหนา

4. เนื้อหาของบทความ

บทความวิจัยควรประกอบด้วย บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา นำไปสู่การศึกษา วัตถุประสงค์ วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Method) กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์และการทดลองที่กระชับและชัดเจน ผลการทดลอง (Results) บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน สรุปและอภิปรายผล (Discussion and Conclusion) อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร ต้องมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือการหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผล และอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

ส่วนของเนื้อหาบทความ กำหนดตัวอักษรที่ใช้ในเนื้อหาให้มีขนาด 16 พอยต์ รวมถึงไม่ต้องการเว้นบรรทัดระหว่างย่อหน้า (ไม่ต้องเคาะบรรทัดเมื่อขึ้นย่อหน้าใหม่) สำหรับรูปแบบตัวอักษรที่ใช้ในการพิมพ์หัวข้อกำหนดดังนี้

4.1 หัวข้อหลัก

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อหลัก และให้พิมพ์ไว้ชิดริมซ้ายของคอลัมน์

4.2 หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา และให้พิมพ์ห่างจากริมซ้ายของคอลัมน์ 0.5 นิ้ว

5. รูปภาพ ตาราง และสมการ

5.1 รูปภาพและตาราง

การนำเสนอรูปภาพและตารางสามารถนำเสนอต่อจากข้อความที่กล่าวถึงหรืออาจนำเสนอภายหลังจากจบหัวข้อหรือนำเสนอในหน้าใหม่ ขนาดของรูปภาพและตารางไม่ควรเกินกรอบของการตั้งค่าหน้ากระดาษที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.1

ทั้งรูปภาพและตารางจะต้องมีคำอธิบายโดยคำอธิบายของรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพ และอยู่ชิดซ้ายของหน้ากระดาษ หากรูปภาพใดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนให้มีการระบุคำอธิบายของแต่ละส่วนโดยอาศัยตัวอักษรภาษาไทยในวงเล็บเรียงตามลำดับเช่น (ก) และ (ข) ส่วนคำอธิบายตารางให้พิมพ์ไว้เหนือตารางและชิดริมซ้ายของกระดาษ โดยการเรียงลำดับรูปภาพและตารางให้แยกการเรียงลำดับออกจากกัน

ตารางข้อมูลที่นำลงตีพิมพ์ ต้องพิมพ์ด้วย word เพื่อความคมชัดของตาราง เช่น

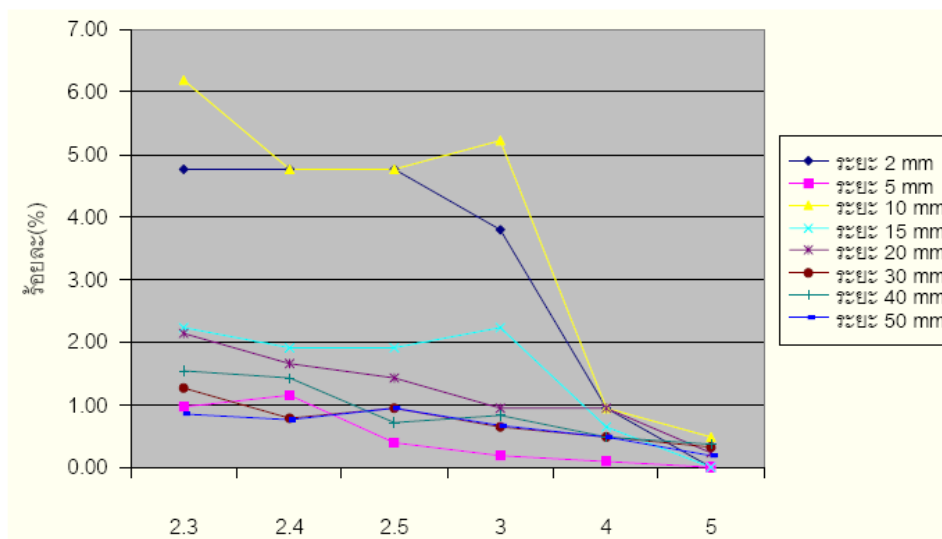
ตารางที่ 1 ตารางที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้อาคาร
1)กระเบื้องดินเผามีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1)กระเบื้องดินเผาที่มีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2)ข้อด้อยของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2)กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพัก มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้อาคารอาจจะสะดุดเมื่อใช้งาน
	3)เนื่องจากความไม่แข็งแรงของกระเบื้องดินเผา เมื่อผ่านการใช้งาน หรือมีวัตถุตกกระทบ ทำให้กระเบื้องดินเผาแตก กะเทาะ หรือบิ่น ซึ่งแสดงถึงความไม่คงทนแข็งแรง

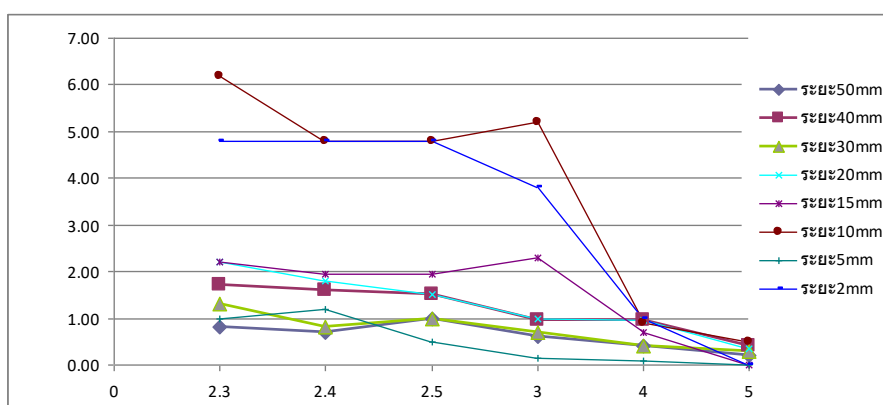
ตารางที่ 2 ตารางที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้อาคาร
1) กระเบื้องดินเผาที่มีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1) กระเบื้องดินเผาที่มีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อย ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2) ข้อด้อยของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2) กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพักมีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้อาคารอาจจะสะดุด เมื่อใช้งาน

รูปภาพที่นำลงตีพิมพ์ ควรเลือกภาพที่เหมาะสมและคมชัดที่สุด

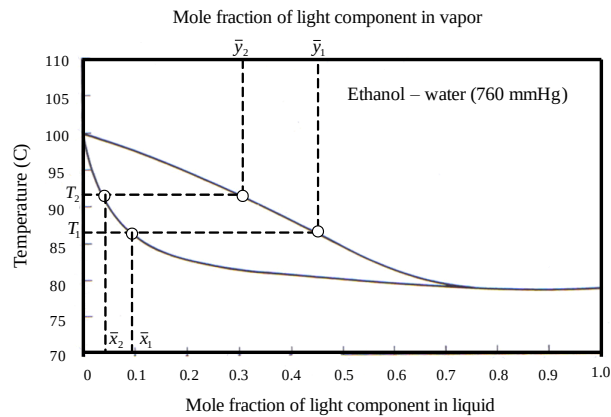


ภาพที่ 1 ภาพที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์



ภาพที่ 2 ภาพที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

การระบุหมายเลขลำดับรูปภาพและตารางในบทความให้ระบุเป็นรูปที่และตารางที่ เช่น ภาพที่ 1, ภาพที่ 1 - 3, ตารางที่ 1, ตารางที่ 1 - 3 เป็นต้น



ภาพที่ 1 แผนภาพสมดุลของของผสมไอ - ของเหลวที่มี 2 องค์ประกอบภายใต้สภาวะความดันคงที่

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำมันปิโตรเลียมในแต่ละภาคเศรษฐกิจ ๆ ของประเทศไทย (หน่วย: ล้านลิตร)

ภาคเศรษฐกิจ	ปี	
	2545	2546
1. เกษตรกรรม	3,509	3,827
2. เหมืองแร่	19	26
3. อุตสาหกรรม	4,821	4,937
4. ไฟฟ้า	703	757
5. การก่อสร้าง	169	172
6. ที่พักอาศัยและการพาณิชย์	2,729	2,792
7. คมนาคมขนส่ง	23,980	25,475
Total	35,930	37,986

5.2 สมการ

การเขียนสมการให้เขียนไว้กลางคอลัมน์และมีการระบุลำดับของสมการโดยใช้ตัวเลขที่พิมพ์อยู่ในวงเล็บ เช่น (1), (2) เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

หากต้องการเขียนกิตติกรรมประกาศเพื่อขอบคุณบุคคลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเขียนได้ โดยให้อยู่หลังเนื้อหาหลักของบทความและก่อนเอกสารอ้างอิง เช่น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้เอื้อเฟื้อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24

7. การอ้างอิง

ให้รวบรวมรายชื่อสิ่งพิมพ์และวัสดุความรู้ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นหลักฐานหรือเอกสารอ้างอิงในการศึกษาแทรกไว้ในเนื้อหาและท้ายบทความ โดยระบุเป็น 2 ภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การอ้างอิงในเนื้อหา เป็นการวงเล็บระบุแหล่งที่มาอย่างกว้าง ๆ แทรกอยู่ในเนื้อหาของบทความวิชาการ ส่วนรายละเอียดที่สมบูรณ์ของแหล่งข้อมูลจะแสดงใน “เอกสารอ้างอิง” ในส่วนท้ายของบทความวิชาการ การอ้างอิงในเนื้อหาและท้ายบทความให้เป็นระบบ APA 7th

7.1 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงในเนื้อหา

(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่งคนแรก และผู้แต่งคนที่สอง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่งคนแรก และคณะ, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, ไม่มีเลขหน้า)

(หน่วยงาน, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(นามแฝง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

7.2 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงท้ายบทความ

ให้อ้างอิงรายการลำดับตามอักษรตัวแรกของผู้แต่ง ตามการเรียงลำดับตัวอักษรของพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายชื่อเอกสารอ้างอิงจากแหล่งต่าง ๆ กำหนดให้มีรูปแบบดังตัวอย่างต่อไปนี้

(1) บทความจากวารสาร (Journal)

Waszkiewics, S.D., Tierney, M.J. and Scott, H.S. (2009). Development of coated, annular fins for adsorption chillers, *Applied Thermal Engineering*, vol.29 (11-12), August 2009, pp. 2222 – 2227.

จักรกฤษณ์ นรมิตผดุงการ และ ทวี สอนมาลี. (2519). ความสามารถในการเงินของเทศบาลกรณีของเทศบาลนครกรุงเทพ ก่อนเปลี่ยนแปลงเป็นกรุงเทพมหานคร, *วารสารพัฒนบริหารศาสตร์*, 16, เมษายน 2519, หน้า 231 – 254.

(2) บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

Kato, S. and Widiyanto, A. (2001). Environmental Impact Assessment of Various Power Generation Systems, *paper presented in the Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2001*, Chiang Mai, Thailand.

มารุต บุรพา, ญัฐนี วรยศ และทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2551). โมเดลอย่างง่ายของการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพความร้อนเสริม, *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทน สู่ชุมชนแห่งประเทศไทย, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก*

(3) รายงานทางวิชาการ / รายงานวิจัย

Division of Technical Services and Planning. (2003). *Chiang Mai City Municipality. Annual Report.*

จุฬาร ชาติช่วงนรินทร์, นลินี ต้นฐานันท์ และปัทมา เพ็ชรสิงห์. (2529). รายงานการวิจัยเรื่อง ประวัติศาสตร์หมู่บ้านคำม่วง, โครงการวิจัยระบบการทำฟาร์ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 54 – 57.

พรพิมล เกลิมพลาณภาพ. (3535). พฤติกรรมการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วารสารศาสตร์ มหาวิทยาลัย คณวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

(4) หนังสือ

Myers, R.H. and Montgomery, D.C. (1995). *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments*, New York: John Wiley & Sons.

Goswami, Y.D., Kreith, F. and Kreider, J.F. (1999). *Principles of Solar Engineering*, 2nd edition. ISBN: 1-56032-714-6, Philadelphia: Taylor & Francis,

วิบูล วิจารณ์ และกนกนาถ ชูปัญญา. (2525). *เคมีคลินิก*. กรุงเทพฯ: โครงการตำราศิริราช คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล.

(5) วิทยานิพนธ์

สุรจิตร ทิบัว. (2538). การศึกษาสภาพการใช้แหล่งชุมชนประกอบการสอนวิชาสังคมศึกษา ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น สังกัดกรมสามัญศึกษา ของจังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

Herbert-Cheshire, L. (1997). *Living by the sea*. Unpublished honours thesis, Central Queensland University, Rockhampton, QLD, Australia.

(6) เว็บไซต์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2554). “คู่มือการศึกษาปีการศึกษา 2554”. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.psu.ac.th/handbook/> สืบค้นเมื่อ 3 ธันวาคม 2554.

Brown, H. (1994). “Citing computer references”. [online], Available: <http://neal.ctstateu.edu/history/cite.html>. access on April 3, 1995.

(7) การสัมภาษณ์

ดิลก บุญเรืองรอด. (2543, กรกฎาคม 14). อธิการบดี, สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา. สัมภาษณ์.

ตัวอย่างการอ้างอิงในเนื้อหา

(สุวิมล ตีรกานันท์, 2553) (Tirakanan, 2011)

ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

1.1 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นหนังสือ

สุวิมล ตีรกานันท์. (2553). *การวิเคราะห์ตัวแปรพหุในงานวิจัยทางสังคมศาสตร์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Tirakanan, S. (2011). *Multivariate variables analysis in social science research*. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. (in Thai)

1.2 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นบทความ

ปาน จินดาพล. (2557). การเป็นเจ้าของกิจการกับทัศนคติต่อความเสี่ยง. *วารสารนักบริหาร*, 34(1), 130-135.

Jindapon, P. (2014). Entrepreneurship and risk attitudes. *Executive Journal*, 34(1), 130-135. (in Thai)

สุวรรณ ลัคนวณิช. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล พฤติกรรมการใช้ชีวิต และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ นักศึกษาที่ใช้ชีวิตในที่พักเอกชน ย่านรังสิต จังหวัดปทุมธานี. *BU Academic Review*, 13(1), 13-16.

Luckanavanich, S. (2014). Personal relationship, living behaviors, and academic achievement of university students in the private residence, rangsit area, Pathumthani. *BU Academic Review*, 13(1), 13-16. (in Thai).

1.3 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงข้อมูลจากเว็บไซต์

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2556). สถานการณ์การท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศฯ ในปี 2555. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2557.

Tourism Authority of Thailand. (2013). *Inbound foreign tourists situation in 2012*. [online], Available: http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php. access on February 9, 2014. (in Thai)

ท่านสามารถดาวน์โหลดรูปแบบบทความได้ที่ <http://www.journal.itech.lpru.ac.th>
หรือ ติดต่อสอบถามที่ ผู้ประสานงาน : รองศาสตราจารย์ธิติมา คุณยศยิ่ง โทร 0 5423 7399 ต่อ 1339
Tel.: 08 5525 1919 E-mail: journalitech@gmail.com / journalitech@hitmail.com

ปรับปรุงเมื่อ 19 ธันวาคม 2567