

STJ RMUTK

Journal of Science and Technology
Rajamangala University of Technology Krungthep

ฉบับที่ 02



2026

JUNE - AUGUST
ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ISSN 2392-5647 (PRINT) ISSN XXXX-XXXX (ONLINE)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



(Journal of Science and Technology Rajamangala University of Technology Krungthep)

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2569

ISSN 2392-5647 (Print) ISSN xxxx-xxxx (Online)

เจ้าของวารสาร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

วัตถุประสงค์ในการพิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.กรุงเทพ (STJ) จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิชาการและบทความวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สถาปัตยกรรมการออกแบบ เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเกษตร การบูรณาการความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีร่วมกับศาสตร์ต่าง ๆ ที่หลากหลาย รวมถึงวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการบริหารธุรกิจหรือการศึกษา อีกทั้งเพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการ โดยมีกลุ่มเป้าหมายหลักคือบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุน นักวิจัย และนักศึกษา ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

ขอบเขตเนื้อหาการตีพิมพ์

- สาขาวิทยาศาสตร์
- สาขาวิทยาศาสตร์ประยุกต์
- สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
- สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
- สาขาสถาปัตยกรรมและการออกแบบ
- สาขาอุตสาหกรรมเกษตร
- สาขาการจัดการนวัตกรรมและเทคโนโลยี
- สาขาความรู้ทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการบริหารธุรกิจ หรือการศึกษา

กำหนดการเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ

- ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน
- ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม
- ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม

ประเภทของบทความ

บทความวิจัย และบทความวิชาการ

กระบวนการพิจารณาบทความ

ทุกบทความที่ส่งให้วารสารพิจารณาจะถูกกลั่นกรองและประเมินคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 3 ท่าน ต่อบทความ ดำเนินการตรวจสอบโดยที่ผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ประเมิน และผู้ประเมินไม่ทราบชื่อผู้แต่ง (Double-Blind Peer Review)

ที่ปรึกษาวารสาร

รองศาสตราจารย์ ดร. พิชัย จันทรมณี

อธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รองศาสตราจารย์ ดร. ครรชิต กำลั๊งกล้า

คณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ผิวพรรณ ประจันต์ศรี รองคณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พุดกรอง พันธุ์โม่งค์ ผู้ช่วยคณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. ทวี ตันขศิริ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศาสตราจารย์ ดร. พิเชฐ ลิ้มสุวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร. ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร. วรธิดา ชัยญาณะ

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร. นิรัช สุดสังข์

คณะสถาปัตยกรรม ศิลปะและการออกแบบ มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร. วิษณุ ธงไชย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

รองศาสตราจารย์ ดร. อีรพร กงบังเกิด

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร. พงศยุทธ์ จันทอง

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรพัฒน์ พลอัน

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตยา มีหนองหัว

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุ่งทิวา เสาร์สิงห์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

ดร. นชพรรณ จันทอง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ

คณะกรรมการกองบรรณาธิการวารสาร

คณะกรรมการดำเนินงานวารสาร

รศ. ดร. อุดมเดช ภัคดี
รศ. ดร. กิตติศาสตร์ กระบวน
ผศ. ดร. รุ่งทิวา เสาร์สิงห์
ผศ. ดร. ดวงสุรีย์ แสนสีระ
ผศ. ดร. วีระ ทองเนตร
ผศ. ดร. อรสา พัสตุ
ผศ. ดร. เทพรัตน์ ลีลาสัตตัตนกุล
ดร. สุรีย์พร นวลนัม
ดร. อ้อมใจ บุขง
ดร. นัยน์ปพร จารุเกษตรวิทย์
ดร. อภิรักษ์ อภิธนา
ดร. พะวิชา ไพรัชชาตินิยม
อาจารย์ มณฑิตา พราหมณ์โชติ
อาจารย์ กานดา คล้ายวรรณะ
อาจารย์ เสน่ห์ สำเภาเงิน

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ

ฝ่ายจัดการด้านเทคนิคและการออกแบบศิลปกรรม

ผศ. ดร. พุดกรอง พันธุ์อุโมงค์
อาจารย์ วรชัย บุษามสาย
นายนิทร นามแดง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ

จัดพิมพ์โดย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ติดต่อสอบถาม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทร. 0-287-9600 ต่อ 2111, มือถือ 08-6415-2558
E-mail: science.st@mail.rmutk.ac.th
เว็บไซต์วารสาร: <https://li04.tci-thaijo.org/index.php/stjrmstk>



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2569

รองศาสตราจารย์ ดร. นรินทร์ เจริญพันธ์	มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร. ญัฐพร ยวงเงิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทัดพงศ์ อวิโรธนานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภา ทัพเพียงใหม่	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรพรรณ ใจสมุทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาสพงษ์ รุ่งทำนอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภกร อาจหาญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา เหลียวตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พุดกรอง พันธุ์โม่งค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิทักษ์ ทบจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.ประภาพร กิจดำรงธรรม	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. ภูริต มีพร้อม	มหาวิทยาลัยบูรพา
อาจารย์ ดร. สวรินทร์ ฤกษ์อยู่สุข	มหาวิทยาลัยพะเยา

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ฉบับนี้เป็นปีที่ 3 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2569 วัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิชาการและบทความวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สถาปัตยกรรมการออกแบบ เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเกษตร การบูรณาการความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีร่วมกับศาสตร์ต่าง ๆ ที่หลากหลาย รวมถึงวิชาการที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจและอุตสาหกรรม ในฉบับนี้ได้รวบรวมบทความวิจัย จำนวน 4 บทความ ซึ่งได้รับการพิจารณากลั่นกรองและประเมินคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจำนวนอย่างน้อย 3 ท่านต่อบทความ โดยมาจากหลากหลายสถาบัน เพื่อให้บทความมีความสมบูรณ์และมีคุณภาพมากที่สุด

คณะกรรมการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบคุณภาพและกลั่นกรองบทความทุกท่านที่ได้ให้ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาบทความของวารสารให้มีคุณภาพ และขอขอบคุณเจ้าของผลงานทุกท่านที่ให้เกียรติส่งผลงานเพื่อรับการพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และคณะกรรมการทุกท่านที่มีส่วนร่วมทำให้มีวารสารฉบับนี้มีคุณค่าทางวิชาการและเผยแพร่ในวงกว้าง คณะกรรมการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า บทความที่ดีตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารฉบับนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการศึกษา การทำงานวิจัย รวมถึงการอ้างอิงงานวิจัย ของนักศึกษา นักวิชาการ อาจารย์ และนักวิจัย ได้เป็นอย่างดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ผิวพรรณ ประจันต์ศรี

รองคณบดีฝ่ายวิชาการ

บรรณาธิการวารสาร

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
การเปรียบเทียบแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องและโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกสำหรับการพยากรณ์ดัชนีราคาหุ้นตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย	1 - 17
A Comparison of Machine Learning and Deep Learning Models for Daily SET Index Forecasting: An End-to-End Prediction Pipeline	
วิทวัส ชัดทาน	
การเปรียบเทียบปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบบัวบกและใบผักแว่นแก้ว	18 - 28
Comparative Analysis of Phytochemical Contents and Antioxidant Activities of Leaf Extracts from <i>Centella asiatica</i> (L.) Urban. and <i>Hydrocotyle umbellata</i> L.	
อรรณชัย ตรันเจริญ, ประนัตถา พิมสี, นิชธิมา วารินทิพย์, ดวงสุรีย์ แสนสีระ, ณัฐนิชา บุญเรือง, มณัญชยา กาละพัฒน์, กาญจนา ประจวบสุข และ ภัทราพร ภาโนมัย	
การพัฒนาและประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากข้าวสีอินทรีย์เพื่อการพาณิชย์	29 - 40
Development and Quality Evaluation of Prototype Products from Organic Pigmented Rice for Commercial Applications	
นงคราญ มหาวัง	
การศึกษาคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าบริเวณท่าอากาศยานนานาชาติดอนเมือง กรุงเทพมหานคร	41 - 50
A Study of Sidewalk Quality and Pedestrian Environment in the Don Mueang International Airport Area, Bangkok	
อรุณรัตน์ รอดอาตม์, อรสา รัตนสินชัยบุญ และ สุภาพร มานะจิตประเสริฐ	
ภาคผนวก	
คำแนะนำการส่งบทความ	
การเตรียมต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์	
จริยธรรมการตีพิมพ์	

การเปรียบเทียบแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องและโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก สำหรับการพยากรณ์ดัชนีราคาหุ้นตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย

A Comparison of Machine Learning and Deep Learning Models for Daily SET Index Forecasting: An End-to-End Prediction Pipeline

วิวัฒน์ ขัตถาน^{1*}

Wittawat Kadthan^{1*}

¹ คณะเศรษฐศาสตร์และการลงทุน มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จังหวัดปทุมธานี 12120

¹School of Economics and Investment, Bangkok University, Pathum Thani, 12120

*Corresponding Author: wittawat.k@bu.ac.th

Received 18 กรกฎาคม 2569; Revised 13 สิงหาคม 2569; Accepted 21 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการพยากรณ์ดัชนีราคาหุ้นตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย (SET Index) รายวัน ระหว่างแบบจำลองทางสถิติดั้งเดิม แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) รวมทั้งสิ้น 8 แบบจำลอง ได้แก่ Naive persistence, ARIMA, Random Forest, XGBoost และแบบจำลอง Long Short-Term Memory (LSTM) กับ Gated Recurrent Unit (GRU) ทั้งในรูปแบบถดถอย (regression) และรูปแบบจำแนกประเภท (classification) ข้อมูลที่ใช้เป็นราคาปิดรายวันของดัชนี SET Index ระหว่างวันที่ 4 มกราคม 2553 ถึง 17 กรกฎาคม 2569 รวม 3,945 วันทำการหลังการสร้างตัวแปรคุณลักษณะเชิงเทคนิค (technical indicators) จำนวน 19 ตัวแปร โดยแบ่งข้อมูลตามลำดับเวลาออกเป็นชุดฝึก (พ.ศ. 2553-2564) ชุดตรวจสอบ (พ.ศ. 2565-2566) และชุดทดสอบ (พ.ศ. 2567-2569) ผลการศึกษาพบว่า Random Forest ให้ความแม่นยำเชิงทิศทางสูงสุดที่ร้อยละ 51.8 รองลงมาคือ XGBoost ที่ร้อยละ 50.8 ขณะที่แบบจำลอง LSTM และ GRU ทั้งสี่รูปแบบให้ความแม่นยำเชิงทิศทางอยู่ในช่วงร้อยละ 48.2-49.8 ซึ่งต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับการสุ่มทายและแบบจำลอง naive persistence (ร้อยละ 49.7) โดยมีเพียง Random Forest และ XGBoost เท่านั้นที่ผ่านเกณฑ์เปรียบเทียบพื้นฐานร้อยละ 50 ในเชิงตัวเลข แม้การทดสอบทวินาม (binomial test) จะชี้ว่าความได้เปรียบดังกล่าวยังไม่มีความสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ก็ตาม ในด้านความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคา (RMSE, MAPE) แบบจำลองส่วนใหญ่ให้ค่าใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับ naive persistence ยกเว้น ARIMA ที่ให้ค่าคลาดเคลื่อนสูงกว่าอย่างชัดเจน ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดสมมติฐานตลาดที่มีประสิทธิภาพ (Efficient Market Hypothesis) และชี้ให้เห็นว่าความซับซ้อนของแบบจำลองไม่ได้รับประกันความแม่นยำในการพยากรณ์ที่สูงขึ้นเสมอไป ในเชิงปฏิบัติ ผลการศึกษานี้ชี้แนะว่าแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจแบบรวมกลุ่มที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนควรเป็นทางเลือกตั้งต้นสำหรับงานพยากรณ์ทิศทางดัชนี SET Index ก่อนพิจารณาลงทุนทรัพยากรเชิงคำนวณกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกที่ซับซ้อนกว่า งานวิจัยนี้มีส่วนสนับสนุนองค์ความรู้โดยนำเสนอกระบวนการพยากรณ์ดัชนี SET Index แบบครบวงจรที่เปรียบเทียบแบบจำลองหลากหลายตระกูลภายใต้เงื่อนไขข้อมูลและการประเมินผลชุดเดียวกัน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อทั้งแวดวงวิชาการและปฏิบัติงานด้านการลงทุนในตลาดหลักทรัพย์ไทย

คำหลัก: การพยากรณ์อนุกรมเวลา; การเรียนรู้ของเครื่อง; โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก; ดัชนี SET Index; ความแม่นยำเชิงทิศทาง; สมมติฐานตลาดที่มีประสิทธิภาพ

Abstract

This study aims to compare the forecasting performance of traditional statistical models, machine learning models, and deep learning models for daily prediction of the Stock Exchange of Thailand (SET) Index. Eight models were evaluated: naive persistence, ARIMA, Random Forest, XGBoost, and both regression and classification variants of Long Short-Term Memory (LSTM) and Gated Recurrent Unit (GRU) networks. Daily closing price data spanning January 4, 2010 to July 17, 2026 were used, yielding 3,945 trading days after constructing 19 technical indicator features. Data were split chronologically into training (2010-2021), validation (2022-2023), and test (2024-2026) sets. Results show that Random Forest achieved the highest directional accuracy at 51.8%, followed by XGBoost at 50.8%, while all four LSTM/GRU variants achieved directional accuracy between 48.2% and 49.8%, at or below the naive persistence benchmark (49.7%) and coin-flip chance. Only Random Forest and XGBoost numerically exceeded the 50% baseline; a binomial test indicated that this advantage was not statistically significant at the 0.05 level. In terms of price-level error (RMSE, MAPE), most models performed comparably to naive persistence, except ARIMA, which showed markedly higher error. These findings are consistent with the Efficient Market Hypothesis and indicate that model complexity does not guarantee superior forecasting accuracy. In practice, these results suggest that simple tree-ensemble models should be the first choice for SET Index directional forecasting before investing computational resources in more complex deep learning architectures. This study contributes an end-to-end forecasting pipeline that benchmarks diverse model families under identical data and evaluation conditions, offering value to both academic researchers and market practitioners in Thailand.

Keywords: Time Series Forecasting; Machine Learning; Deep Learning; SET Index; Directional Accuracy; Efficient Market Hypothesis

1. บทนำ

ตลาดหลักทรัพย์เป็นกลไกสำคัญของระบบเศรษฐกิจสมัยใหม่ในการระดมทุนและสะท้อนความคาดหวังของนักลงทุนต่อสถานะเศรษฐกิจในอนาคต การพยากรณ์ทิศทางและระดับราคาหลักทรัพย์จึงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องทั้งในแวดวงวิชาการและภาคปฏิบัติ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาความก้าวหน้าของปัญญาประดิษฐ์ โดยเฉพาะแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning: ML) และโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning: DL) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ราคาหลักทรัพย์อย่างแพร่หลายมากขึ้น งานทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบชี้ให้เห็นว่างานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ DL ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาทางการเงินเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดในช่วงปี 2548 ถึง 2562 แต่ผลลัพธ์ด้านความแม่นยำกลับมีความหลากหลายและไม่สอดคล้องกันในแต่ละการศึกษา [1] สอดคล้องกับงานทบทวนวรรณกรรมเชิง

ปริมาณที่พบว่าแม้จำนวนงานวิจัยด้าน AI/ML ในสาขาการเงินจะเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่ยังคงมีข้อถกเถียงว่าแบบจำลอง DL ให้ผลพยากรณ์ราคาหรือผลตอบแทนที่ดีกว่าแบบจำลอง ML แบบดั้งเดิมจริงหรือไม่ [2] ขณะเดียวกันงานทบทวนวิธีการ ensemble learning สำหรับตลาดหุ้นก็ยืนยันในทิศทางเดียวกันว่าการเลือกใช้คุณลักษณะ (feature) ที่เหมาะสมมีผลต่อความแม่นยำมากพอ ๆ กับการเลือกประเภทแบบจำลอง [3]

สำหรับประเทศไทย ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย (Stock Exchange of Thailand: SET) เป็นตลาดทุนหลักของภูมิภาคอาเซียนที่มีมูลค่าการซื้อขายและจำนวนนักลงทุนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง งานศึกษาประสิทธิภาพของตลาดในกลุ่มประเทศอาเซียนรวมถึงไทยพบหลักฐานที่ผสมผสาน (mixed evidence) กล่าวคือในระยะสั้นตลาดอาจมีความไม่มีประสิทธิภาพอยู่บ้าง แต่ในระยะยาวสอดคล้องกับสมมติฐานตลาดที่มีประสิทธิภาพในรูปแบบ

อ่อน (weak-form efficiency) [4] ความพยายามพยากรณ์ดัชนี SET Index ด้วยแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์จึงเกิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง อาทิ การใช้โครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) เพื่อพยากรณ์แนวโน้มดัชนี SET50 [5] และการใช้แบบจำลอง Gaussian Process Regression เปรียบเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ดัชนี SET ทั้งช่วงก่อนและหลังวิกฤตโควิด-19 [6] อย่างไรก็ตาม การศึกษาส่วนใหญ่มักทดสอบแบบจำลองเพียงหนึ่งหรือสองตระกูลในแต่ละครั้ง ยังไม่มีการเปรียบเทียบแบบจำลองหลายตระกูลภายใต้กรอบการทดลองเดียวกันอย่างเป็นระบบ

กล่าวโดยสรุป ช่องว่างงานวิจัย (research gap) ที่งานวิจัยนี้มุ่งอุดสามารถสรุปได้เป็นสามประเด็นหลัก ประการแรก การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการพยากรณ์ดัชนี SET Index ด้วยแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ยังจำกัดขอบเขตอยู่ที่แบบจำลองเพียงหนึ่งหรือสองตระกูลในแต่ละครั้ง เช่น การใช้ ANN ร่วมกับ genetic algorithm [5] หรือ Gaussian Process Regression [6] โดยยังไม่มีเปรียบเทียบแบบจำลองหลายตระกูล (สถิติเชิงเวลา การเรียนรู้ของเครื่อง และโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก) ภายใต้กรอบข้อมูลและการประเมินผลชุดเดียวกันอย่างเป็นระบบ ประการที่สอง ผลลัพธ์ความแม่นยำในระดับสูงที่รายงานในบางการศึกษา เช่น ความแม่นยำเชิงทิศทางร้อยละ 82.94 ของดัชนี SET50 [7] ยังไม่มีการยืนยันซ้ำด้วยชุดข้อมูลช่วงเวลาอื่นหรือเปรียบเทียบกับแบบจำลองตระกูลอื่นอย่างต้นไม้ตัดสินใจแบบรวมกลุ่ม ทำให้ยังไม่ชัดเจนว่าความสามารถทั่วไปของแบบจำลองหรือคุณลักษณะเฉพาะของช่วงเวลาและระเบียบวิธีที่ศึกษา และประการที่สาม แม้หลักฐานจากการแข่งขันพยากรณ์ระดับโลกอย่าง M4 Competition จะชี้ว่าแบบจำลองซับซ้อนไม่จำเป็นต้องให้ผลดีกว่าวิธีการอย่างง่ายเสมอไป [8], [9] แต่ยังไม่มีการทดสอบข้อสรุปดังกล่าวอย่างเป็นระบบกับดัชนี SET Index โดยตรง งานวิจัยนี้จึงออกแบบมาเพื่ออุดช่องว่างทั้งสามประเด็นนี้พร้อมกันภายใต้กรอบการทดลองเดียว

ในบริบทที่กว้างขึ้น ข้อถกเถียงว่าแบบจำลองที่มีความซับซ้อนสูงอย่าง DL ให้ผลพยากรณ์ที่ดีกว่าวิธีการทางสถิติหรือ ML แบบดั้งเดิมเสมอไปหรือไม่นั้น ได้รับคำตอบบางส่วนจากการแข่งขันพยากรณ์อนุกรมเวลาระดับโลกอย่าง M4 Competition ซึ่งทดสอบแบบจำลองกว่า 60 วิธี

บนอนุกรมเวลากว่าหนึ่งแสนชุด ผลปรากฏว่าแบบจำลอง ML แบบล้วน (pure ML) ทั้งหมดให้ผลแย่กว่าการรวมวิธีการทางสถิติแบบง่ายเพียงสามวิธี [8] และมีเพียงแบบจำลองแบบผสม (hybrid) ระหว่างสถิติกับ ML เท่านั้นที่เอาชนะเกณฑ์เปรียบเทียบได้ แม้จะต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ [9] บทวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและปฏิบัติด้านการพยากรณ์ในเวลาต่อมาได้สรุปสอดคล้องกันว่าวิธีการง่าย ๆ มักให้ผลเทียบเท่าหรือดีกว่าแบบจำลองซับซ้อน โดยเฉพาะเมื่อขนาดตัวอย่างมีจำกัดและอนุกรมเวลามีสัญญาณรบกวนสูง [10] ข้อค้นพบเหล่านี้เป็นกรอบสำคัญที่งานวิจัยนี้ใช้ตั้งสมมติฐานและตีความผลการทดลอง

สำหรับกรณีของดัชนี SET Index โดยเฉพาะการศึกษาที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกสามชั้นซ้อนร่วมกับตัววัดเชิงเทคนิคหลายช่วงเวลาย้อนหลัง (3, 5, 10 และ 15 วัน) รายงานความแม่นยำเชิงทิศทางของดัชนี SET50 สูงถึงร้อยละ 82.94 ในช่วงข้อมูลปี 2558-2562 [7] ซึ่งนับเป็นตัวเลขอ้างอิงที่สูงมากเมื่อเทียบกับผลการศึกษาในตลาดอื่น อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ในระดับดังกล่าวยังไม่มีการยืนยันซ้ำด้วยชุดข้อมูลช่วงเวลาอื่นหรือด้วยแบบจำลองตระกูลอื่น เช่น ต้นไม้ตัดสินใจแบบรวมกลุ่ม (tree ensemble) ทำให้ยังไม่ชัดเจนว่าความแม่นยำระดับสูงดังกล่าวเป็นคุณลักษณะเฉพาะของช่วงเวลาและดัชนีที่ศึกษาหรือเป็นความสามารถทั่วไปของแบบจำลอง DL ในตลาดไทย ในทำนองเดียวกัน การศึกษาก่อนหน้าที่ใช้ ANN ร่วมกับ genetic algorithm บนดัชนี SET50 [5] และการศึกษาที่ใช้ Gaussian Process Regression บนดัชนี SET [6] ต่างก็จำกัดขอบเขตอยู่ที่แบบจำลองเพียงหนึ่งถึงสองตระกูลและช่วงเวลาก่อนปี 2563 เป็นส่วนใหญ่

เมื่อพิจารณาความแตกต่างเชิงระเบียบวิธีระหว่างงานวิจัยนี้กับการศึกษาที่รายงานความแม่นยำเชิงทิศทางสูงถึงร้อยละ 82.94 [7] อย่างเป็นระบบ พบความแตกต่างอย่างน้อยสี่ประการ ประการแรก ดัชนีที่ศึกษาต่างกัน คือ SET50 ซึ่งเป็นดัชนีหุ้นขนาดใหญ่ 50 ตัวที่มีสภาพคล่องสูงและเคลื่อนไหวสอดคล้องกันมากกว่า เทียบกับ SET Index ซึ่งเป็นดัชนีรวมตลาดที่ครอบคลุมหุ้นทุกขนาด ประการที่สอง ช่วงเวลาข้อมูลต่างกัน คือ ปี 2558-2562 ซึ่งเป็นช่วงก่อนวิกฤตโควิด-19 ที่ตลาดมีความผันผวนค่อนข้างต่ำ เทียบกับข้อมูลของงานวิจัยนี้ที่ครอบคลุมถึงปี 2569 ซึ่งรวมทั้งช่วง

วิกฤตโควิด-19 และภาวะปรับฐานรุนแรงในปี 2568 ประการที่สาม การศึกษาดังกล่าวมิได้ระบุรายละเอียดวิธีการแบ่งชุดข้อมูลฝึกและทดสอบและมาตรการป้องกัน look-ahead bias ไว้อย่างชัดเจนเท่ากับงานวิจัยนี้ ซึ่งอาจส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของตัวเลขความแม่นยำที่รายงาน และประการที่สี่ การศึกษาดังกล่าวทดสอบเฉพาะแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมตระกูลเดียว มิได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจแบบรวมกลุ่มดังเช่นงานวิจัยนี้ ความแตกต่างทั้งสี่ประการนี้ทำให้ตัวเลขความแม่นยำร้อยละ 82.94 ยังไม่อาจสรุปเป็นความสามารถทั่วไปของแบบจำลอง DL ในตลาดหุ้นไทยได้โดยตรง

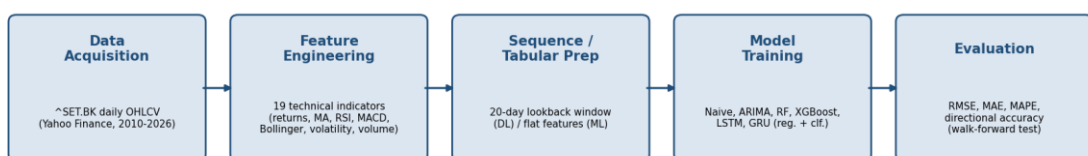
ในเชิงทฤษฎี พฤติกรรมราคาหลักทรัพย์ระยะสั้นที่ใกล้เคียงกับการเดินสุ่ม (random walk) ได้รับการอธิบายไว้ตั้งแต่งานคลาสสิกของ Fama ที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงราคาหุ้นรายวันมีลักษณะใกล้เคียงการเดินสุ่มอย่างมีนัยสำคัญ [11] และได้รับการประมวลเป็นกรอบทฤษฎีตลาดที่มีประสิทธิภาพ (Efficient Market Hypothesis: EMH) ในเวลาต่อมา ซึ่งจำแนกประสิทธิภาพของตลาดออกเป็นระดับอ่อน กึ่งเข้ม และเข้ม [12] หากดัชนี SET Index มีลักษณะสอดคล้องกับประสิทธิภาพระดับอ่อนดังที่มีหลักฐานบางส่วนสนับสนุนในภูมิภาคอาเซียน [4] ก็เป็นที่คาดได้ว่าแบบจำลองพยากรณ์ไม่ว่าจะซับซ้อนเพียงใดควรให้ผลใกล้เคียงกับเกณฑ์เปรียบเทียบแบบพื้นฐาน (naive benchmark) ในด้านความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคา แต่คำถามที่ยังไม่มีคำตอบชัดเจนคือแบบจำลองใดสามารถจับสัญญาณเชิงทิศทาง (directional signal) ที่มีประโยชน์เชิงปฏิบัติได้ดีกว่ากัน ภายใต้กรอบข้อมูลและการประเมินผลชุดเดียวกัน

บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอกระบวนการพยากรณ์ดัชนี SET Index รายวันแบบครบวงจร (end-to-end pipeline) ที่เปรียบเทียบแบบจำลองแปดชนิดครอบคลุมสามตระกูลหลัก ได้แก่ แบบจำลองพื้นฐานและสถิติเชิงเวลา (naive persistence และ ARIMA) แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง (Random Forest และ XGBoost) และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกทั้งรูปแบบถดถอยและจำแนกประเภท (LSTM และ GRU) ภายใต้ชุดข้อมูล ชุดตัวแปรคุณลักษณะ และเกณฑ์การประเมินผลเดียวกัน โดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะ 3 ประการ ได้แก่ 1) เพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคา (RMSE, MAE, MAPE) ของแบบจำลองทั้งแปดชนิดบนชุดข้อมูลทดสอบช่วงปี 2567-2569 2) เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำเชิงทิศทาง (Directional Accuracy) ของแบบจำลองทั้งแปดชนิดเทียบกับเกณฑ์การสุ่มทายที่ร้อยละ 50 และ 3) เพื่อตรวจสอบว่าความซับซ้อนของแบบจำลอง โดยเฉพาะแบบจำลอง DL แบบลำดับเวลา (sequence model) ให้ผลพยากรณ์ที่ดีกว่าแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจแบบรวมกลุ่มที่มีโครงสร้างเรียบง่ายกว่าหรือไม่ โครงสร้างของบทความส่วนที่เหลือประกอบด้วยวิธีดำเนินงานวิจัยในส่วนที่ 2 ผลและการอภิปรายผลการวิจัยในส่วนที่ 3 และบทสรุปในส่วนที่ 4

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการตามกระบวนการพยากรณ์แบบครบวงจร (end-to-end pipeline) 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การจัดเก็บข้อมูล การสร้างตัวแปรคุณลักษณะ การเตรียมข้อมูลเชิงลำดับและเชิงตาราง การฝึกแบบจำลอง และการประเมินผล ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

Forecasting pipeline architecture



รูปที่ 1 แผนภาพระบบและขั้นตอนการพยากรณ์ดัชนี SET Index แบบครบวงจร 5 ขั้นตอน

2.1 ข้อมูลและแหล่งข้อมูล

ข้อมูลราคาปิดรายวันของดัชนีตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย (SET Index สัญลักษณ์ ^SET.BK) รวบรวมผ่าน Yahoo Finance API ด้วยไลบรารี yfinance ครอบคลุมช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 4 มกราคม 2553 ถึงวันที่ 17 กรกฎาคม 2569 รวม 4,012 วันทำการก่อนการตัดข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ออก ผู้วิจัยตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยเปรียบเทียบระดับดัชนีที่ได้ (อยู่ในช่วงประมาณ 1,200-1,800 จุดในช่วงกลางอนุกรม) กับระดับดัชนี SET Index จริงในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งพบว่าสอดคล้องกัน ยืนยันได้ว่าข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลดัชนีทางการ มิใช่ตัวแทน (proxy) ที่สร้างขึ้นเอง

งานวิจัยนี้เลือกช่วงเวลาข้อมูลตั้งแต่ปี 2553 ด้วยเหตุผลสามประการ ประการแรก เป็นช่วงเวลายาวเพียงพอ (ประมาณ 16 ปี) ให้ครอบคลุมสภาวะตลาดที่หลากหลาย ทั้งช่วงขาขึ้นต่อเนื่อง ช่วงวิกฤตโควิด-19 และช่วงปรับฐาน ซึ่งช่วยให้แบบจำลองได้รับการฝึกและประเมินผลภายใต้พลวัตของตลาดที่ไม่จำกัดอยู่เพียงสภาวะใดสภาวะหนึ่ง ประการที่สอง ปี 2553 เป็นจุดเริ่มต้นที่ข้อมูลราคาปิดรายวันผ่าน Yahoo Finance API มีความสมบูรณ์และต่อเนื่องสำหรับดัชนี SET Index และประการที่สาม ระยะเวลาดังกล่าวเพียงพอสำหรับการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นชุดฝึก ชุดตรวจสอบ และชุดทดสอบที่มีขนาดเหมาะสมตามหลักการแบ่งข้อมูลเชิงเวลาในงานพยากรณ์อนุกรมเวลาทางการเงิน [13]

2.2 การสร้างตัวแปรคุณลักษณะ

ตัวแปรเป้าหมายของแบบจำลองประกอบด้วย ราคาปิดวันถัดไป ผลตอบแทนวันถัดไป และทิศทางการเปลี่ยนแปลงวันถัดไป (ขึ้น = 1, ลง = 0) โดยผลตอบแทนรายวัน (ณ เวลา (daily log return) คำนวณดังสมการที่ (1) [13]

$$r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \quad (1)$$

โดยที่ P_t คือราคาปิดของดัชนี SET Index ณ วันที่ t และ $P_{(t-1)}$ คือราคาปิดของวันทำการก่อนหน้า ตัวแปรคุณลักษณะเชิงเทคนิคที่สร้างขึ้นทั้งหมด 19 ตัวแปร แบ่ง

ออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผลตอบแทนย้อนหลัง (ret_1d และ ret_lag ที่ 1, 3, 5 และ 10 วัน) กลุ่มอัตราส่วนราคาต่อค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (ma_ratio ที่หน้าต่าง 5, 10, 20 และ 60 วัน) กลุ่มความผันผวนซึ่งวัดจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลตอบแทนรายวัน (vol_5d, vol_10d, vol_20d) กลุ่มดัชนีโมเมนตัม Relative Strength Index ที่หน้าต่าง 14 วัน (rsi_14) กลุ่ม Moving Average Convergence Divergence (macd, macd_signal, macd_hist) และกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับ Bollinger Band และปริมาณการซื้อขาย (boll_pctb, vol_chg_1d, vol_ratio_20) หลังจากตัดแถวข้อมูลที่มีค่าว่างอันเกิดจากการคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ rolling window เหลือข้อมูลจำนวน 3,945 วันทำการ ตั้งแต่วันที่ 29 มีนาคม 2553 ถึงวันที่ 9 กรกฎาคม 2569 โดยมีสัดส่วนวันที่ราคาปิดปรับตัวขึ้นร้อยละ 53.0 ของจำนวนวันทั้งหมด

ข้อสังเกตประการหนึ่งคือช่วงเวลาข้อมูลดิบที่รวบรวมได้ (ถึงวันที่ 17 กรกฎาคม 2569 ตามที่ระบุในบทความย่อ) สั้นสุดช้ากว่าช่วงเวลาของข้อมูลหลังการสร้างตัวแปรคุณลักษณะที่ใช้ในการฝึกและทดสอบแบบจำลองจริง (ถึงวันที่ 9 กรกฎาคม 2569) อยู่ประมาณ 6 วันทำการ ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลปริมาณการซื้อขายและราคาของวันทำการช่วงปลายอนุกรมบางส่วนยังไม่ถูกปรับปรุงให้สมบูรณ์ (finalize) ในฐานข้อมูลของ Yahoo Finance ณ ขณะที่ดำเนินการดึงข้อมูล ส่งผลให้ค่าตัวแปรคุณลักษณะเชิงเทคนิคบางตัวของแถวข้อมูลในช่วงดังกล่าวมีค่าว่าง (missing) และถูกตัดออกในขั้นตอนคัดกรองข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.1 ความคลาดเคลื่อนของช่วงเวลาดังกล่าวมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวทั้งหมดของอนุกรมข้อมูล (3,945 วัน) จึงไม่ส่งผลกระทบต่อผลการศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง

การกำหนดขนาดหน้าต่างเวลาของตัวแปรคุณลักษณะกลุ่มผลตอบแทนย้อนหลัง ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ และความผันผวน (1, 3, 5, 10, 20 และ 60 วัน) อ้างอิงตามธรรมเนียมปฏิบัติทั่วไปในการวิเคราะห์ทางเทคนิคและงานวิจัยด้านการพยากรณ์ตลาดหุ้นที่ใช้ตัวชี้วัดเชิงเทคนิค [14], [15] โดยหน้าต่าง 5 วันสอดคล้องกับจำนวนวันทำการใน 1 สัปดาห์ หน้าต่าง 10 และ 20 วันสอดคล้องกับรอบประมาณ 2 สัปดาห์และ 1 เดือนตามลำดับ และหน้าต่าง 60 วันสอดคล้องกับรอบประมาณ 1 ไตรมาส ซึ่งครอบคลุมมิติ

เวลาตั้งแต่ระยะสั้นถึงระยะกลางที่นักวิเคราะห์ทางเทคนิคใช้พิจารณาแนวโน้มราคาโดยทั่วไป การเลือกใช้ชุดหน้าต่างเวลาที่หลากหลายในลักษณะนี้ยังช่วยให้แบบจำลองทุกตระกูลมีโอกาสเข้าถึงสัญญาณเชิงเวลาในหลายระดับความละเอียดอย่างเท่าเทียมกัน

2.3 การแบ่งชุดข้อมูล

ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นสามชุดตามลำดับเวลาโดยไม่มีการสุ่ม (chronological split) เพื่อป้องกันปัญหาการรั่วไหลของข้อมูลไปข้างหน้า (look-ahead bias) รายละเอียดการแบ่งชุดข้อมูลแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งชุดข้อมูลตามลำดับเวลาสำหรับการฝึก ตรวจสอบ และทดสอบแบบจำลอง

ชุดข้อมูล	ช่วงเวลา	จำนวนวัน (วัน)
ชุดฝึก (Train)	29 มี.ค. 2553 - 30 ธ.ค. 2564	2,860
ชุดตรวจสอบ (Validation)	4 ม.ค. 2565 - 28 ธ.ค. 2566	479
ชุดทดสอบ (Test)	3 ม.ค. 2567 - 9 ก.ค. 2569	606

หมายเหตุ: การแบ่งข้อมูลเป็นแบบเรียงตามเวลา (chronological) ไม่มีการสุ่ม เพื่อป้องกัน look-ahead bias

ชุดฝึกใช้สำหรับปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ชุดตรวจสอบใช้สำหรับเลือกค่า hyperparameter และการหยุดฝึกก่อนกำหนด (early stopping) ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนชุดทดสอบใช้สำหรับประเมินผลนอกตัวอย่าง (out-of-sample) เพียงครั้งเดียวเมื่อสิ้นสุดกระบวนการปรับแต่งแบบจำลองทั้งหมดแล้ว ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในการปรับมาตรฐานตัวแปร (standardization) สำหรับแบบจำลอง LSTM และ GRU คำนวณจากชุดฝึกเท่านั้น เพื่อไม่ให้ข้อมูลจากชุดตรวจสอบและชุดทดสอบปนเปื้อนกระบวนการฝึก

สัดส่วนการแบ่งชุดข้อมูลในตารางที่ 1 (ชุดฝึกร้อยละ 72.5 ชุดตรวจสอบร้อยละ 12.1 และชุดทดสอบร้อยละ 15.4 ของจำนวนวันทั้งหมด) กำหนดขึ้นตามหลักการทั่วไปของการแบ่งข้อมูลอนุกรมเวลาสำหรับงานพยากรณ์ โดยให้น้ำหนักกับชุดฝึกมากที่สุดเพื่อให้แบบจำลองโดยเฉพาะโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกมีข้อมูลเพียงพอสำหรับการ

เรียนรู้รูปแบบเชิงเวลา ขอบเขตปีของแต่ละชุดยังถูกกำหนดให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ทางเศรษฐกิจที่สำคัญ กล่าวคือชุดฝึก (2553-2564) ครอบคลุมทั้งช่วงตลาดขาขึ้นปกติและวิกฤตโควิด-19 ชุดตรวจสอบ (2565-2566) เป็นช่วงเวลาที่ต่อเนื่องจากชุดฝึกและมีความผันผวนรุนแรงเป็นพิเศษ เหมาะสำหรับการเลือก hyperparameter อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนชุดทดสอบ (2567-2569) เป็นช่วงเวลาที่ล่าช้าที่สุดที่สะท้อนสภาวะตลาดปัจจุบันได้ดีที่สุดสำหรับการประเมินผลนอกตัวอย่างอย่างสมจริง

2.4 แบบจำลองที่ใช้เปรียบเทียบ

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบแบบจำลองพยากรณ์ทั้งสิ้น 8 แบบจำลอง ครอบคลุม 4 ตระกูล ตระกูลแรกคือแบบจำลองพื้นฐาน (naive persistence) ซึ่งพยากรณ์ราคาปิดวันถัดไปเท่ากับราคาปิดวันปัจจุบัน ตระกูลที่สองคือแบบจำลองสถิติเชิงเวลาแบบ Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) โดยเลือกอันดับ (p, d, q) ด้วยเกณฑ์ Akaike Information Criterion (AIC) [16] บนชุดฝึก ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็น ARIMA(0,1,0) และพยากรณ์แบบ rolling one-step ตระกูลที่สามคือแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องเชิงต้นไม้แบบรวมกลุ่ม (tree ensemble) ได้แก่ Random Forest ซึ่งใช้หลักการรวมผลของต้นไม้ตัดสินใจจำนวนมากที่ฝึกด้วยกลไก bagging และการสุ่มเลือกตัวแปร [17] และ XGBoost ซึ่งเป็นการปรับปรุงเทคนิค gradient boosting ให้มีประสิทธิภาพเชิงคำนวณสูงขึ้นด้วยขั้นตอนวิธีที่คำนึงถึงข้อมูลการจัดกระจาย (sparsity-aware) [18] ทั้งสองแบบจำลองในตระกูลนี้ถูกออกแบบให้พยากรณ์ผลตอบแทนรายวันแทนระดับราคาโดยตรง สอดคล้องกับแนวทางของงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ใช้ต้นไม้ตัดสินใจร่วมกับตัวชี้วัดเชิงเทคนิคในการพยากรณ์ทิศทางราคาหุ้น [19] Random Forest กำหนดค่า 500 ต้นไม้ ความลึกสูงสุด 8 ชั้น และจำนวนตัวอย่างขั้นต่ำต่อไป 5 ตัวอย่าง ส่วน XGBoost กำหนด 500 รอบการฝึก ความลึกสูงสุด 4 ชั้น และอัตราการเรียนรู้ 0.03

ค่าพารามิเตอร์ของ Random Forest และ XGBoost ข้างต้นกำหนดขึ้นโดยอาศัยค่าที่นิยมใช้ในงานวิจัยด้านการพยากรณ์ตลาดหุ้นที่มีลักษณะข้อมูลใกล้เคียงกัน [19] ร่วมกับการตรวจสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นบนชุดตรวจสอบ (validation set) จำนวนต้นไม้ 500 ต้นสำหรับ Random Forest และจำนวนรอบการฝึก 500 รอบสำหรับ

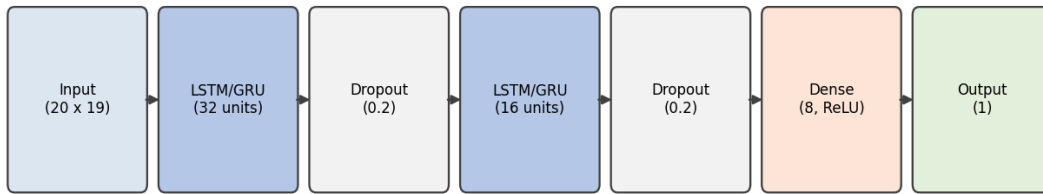
XGBoost เป็นค่าที่มากพอให้แบบจำลองมีเสถียรภาพโดยไม่เพิ่มภาระการคำนวณเกินจำเป็น ขณะที่การจำกัดความลึกสูงสุด (8 ชั้นสำหรับ Random Forest และ 4 ชั้นสำหรับ XGBoost) และจำนวนตัวอย่างขั้นต่ำต่อใบสำหรับ Random Forest มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมความซับซ้อนของแบบจำลองและป้องกันปัญหา overfitting ซึ่งเป็นความเสี่ยงสำคัญเมื่อฝึกแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจด้วยข้อมูลอนุกรมเวลาทางการเงินที่มีสัญญาณรบกวนสูง ส่วนอัตราการเรียนรู้ที่ค่อนข้างต่ำของ XGBoost (0.03) ช่วยให้กระบวนการเรียนรู้แบบ gradient boosting ค่อย ๆ ปรับตัวอย่างละเอียดยและลดความเสี่ยงของการ overfitting เมื่อใช้ร่วมกับจำนวนรอบการฝึกที่มาก

ตระกูลที่สี่คือแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแบบลำดับเวลา ได้แก่ Long Short-Term Memory (LSTM) ซึ่งใช้กลไกประตูหน่วยความจำ (gated memory cell) เพื่อแก้ปัญหาการไล่ระดับที่หายไปหรือระเบิดในโครงข่ายประสาทเทียมแบบเวียนกลับ [20] และ Gated Recurrent Unit (GRU) ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมที่ลดความซับซ้อนของกลไกประตูจาก LSTM แต่ยังคงความสามารถในการจับรูปแบบเชิงลำดับได้ใกล้เคียงกัน [21] แบบจำลองทั้งสองถูกสร้างขึ้นทั้งในรูปแบบถดถอย (พยากรณ์ผลตอบแทน ใช้ mean squared error เป็นฟังก์ชันการสูญเสีย) และรูปแบบจำแนกประเภท (พยากรณ์ทิศทางโดยตรงผ่านฟังก์ชัน sigmoid ใช้ binary cross-entropy เป็นฟังก์ชันการสูญเสีย) สถาปัตยกรรมประกอบด้วยชั้น LSTM/GRU สองชั้น (32 และ 16 หน่วย ตามลำดับ) คั่นด้วยชั้น Dropout อัตรา 0.2 ตามด้วยชั้น Dense ขนาด 8 หน่วย ฟังก์ชันกระตุ้น ReLU และชั้นผลลัพธ์ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยใช้หน้าต่างข้อมูลย้อนหลัง (lookback window) 20 วันทำการ และตัวแปรคุณลักษณะทั้งหมดถูกปรับมาตรฐานด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชุดฝึกเท่านั้น

สถาปัตยกรรม LSTM/GRU ข้างต้นออกแบบให้มีขนาดค่อนข้างเล็ก (32 และ 16 หน่วยในสองชั้นซ่อน) โดยเจตนา เนื่องจากขนาดตัวอย่างของชุดฝึก (ประมาณ 2,860 วัน) มีจำกัดเมื่อเทียบกับจำนวนพารามิเตอร์ที่โครงข่ายประสาทเทียมขนาดใหญ่ต้องการเพื่อเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ ชั้น Dropout อัตรา 0.2 ทำหน้าที่ลดความเสี่ยงของ overfitting ระหว่างการฝึก ส่วนหน้าต่างข้อมูลย้อนหลัง 20 วันทำการเลือกให้สอดคล้องกับหน้าต่างเวลาที่ยาวที่สุดในกลุ่มตัวแปรคุณลักษณะระยะกลาง (ma_ratio ที่ 20 วัน) เพื่อให้แบบจำลองมีโอกาสเรียนรู้รูปแบบเชิงเวลาในช่วงประมาณ 1 เดือนปฏิทิน ซึ่งเป็นกรอบเวลาที่นิยมใช้ในงานพยากรณ์ราคาหลักทรัพย์ด้วยแบบจำลอง sequence [22], [23] ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดได้รับการตรวจสอบเบื้องต้นบนชุดตรวจสอบก่อนนำไปใช้ฝึกแบบจำลองสุดท้าย

การเลือกจำกัดขอบเขตไว้ที่แบบจำลองแปดชนิดครอบคลุมสี่ตระกูลนี้มีเหตุผลสนับสนุนสองประการ ประการแรก แบบจำลองทั้งแปดชนิดเป็นแบบจำลองที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายและมีหลักฐานเชิงประจักษ์รองรับในบริบทการพยากรณ์ตลาดหุ้นมาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผลการเปรียบเทียบสามารถตีความและเทียบเคียงกับวรรณกรรมที่มีอยู่ได้โดยตรง ประการที่สอง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบเชิงระบบระหว่างตระกูลแบบจำลองหลัก (พื้นฐาน สถิติเชิงเวลา การเรียนรู้ของเครื่อง และโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแบบลำดับเวลา) มากกว่าการไล่ตามแบบจำลองที่ทันสมัยที่สุด สถาปัตยกรรมที่ซับซ้อนกว่า เช่น Temporal Fusion Transformer มักต้องการข้อมูลปริมาณมากและการปรับแต่ง hyperparameter อย่างเข้มข้นกว่าจึงจะแสดงศักยภาพได้เต็มที่ [24] ซึ่งอยู่นอกขอบเขตของงานวิจัยนี้ที่ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาเดียวขนาดจำกัด การขยายการเปรียบเทียบไปยังสถาปัตยกรรมดังกล่าวจึงถูกระบุไว้เป็นข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

LSTM / GRU sequence-model architecture



รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมแบบจำลอง LSTM/GRU ที่ใช้ในงานวิจัย

การเลือกใช้ตัวชี้วัดเชิงเทคนิคที่ผ่านการคัดกรองอย่างเหมาะสมมีบทบาทสำคัญต่อความแม่นยำของแบบจำลองไม่น้อยไปกว่าการเลือกสถาปัตยกรรมแบบจำลอง [14] ซึ่งสอดคล้องกับงานทบทวนวรรณกรรมด้านการคัดเลือกตัวแปรสำหรับการพยากรณ์ตลาดหุ้นที่พบว่าคุณภาพของกระบวนการคัดเลือกตัวแปรส่งผลกระทบต่อความแม่นยำโดยไม่ขึ้นกับขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ที่เลือกใช้ [15] งานวิจัยนี้จึงออกแบบตัวแปรคุณลักษณะทั้ง 19 ตัวแปรให้ครอบคลุมมิติผลตอบแทน แนวโน้ม ความผันผวน โมเมนตัม และปริมาณการซื้อขาย เพื่อให้แบบจำลองทุกตระกูลใช้ชุดข้อมูลนำเข้าเดียวกันอย่างเป็นธรรม (fair comparison) สำหรับแบบจำลองที่พยากรณ์ผลตอบแทนราคาที่พยากรณ์คำนวณย้อนกลับด้วยสูตรราคาปิดพยากรณ์เท่ากับราคาปิดวันนี้คูณด้วย exponential ของผลตอบแทนที่พยากรณ์ ทั้งนี้ในการทดลองเบื้องต้นที่ให้แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจพยากรณ์ระดับราคาโดยตรง พบปัญหาการประมาณค่านอกช่วงข้อมูลที่เคยเห็นระหว่างการฝึก (extrapolation) จึงปรับมาพยากรณ์ผลตอบแทนแทน

2.5 ตัวชี้วัดการประเมินผล

การประเมินความแม่นยำของแบบจำลองแบ่งออกเป็นสองมิติ มิติแรกคือความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคา วัดด้วยค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยรากที่สอง (Root Mean Squared Error: RMSE) ดังสมการที่ (2) [25]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ดังสมการที่ (3)

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (3)$$

โดยที่ y_i คือราคาปิดจริง $\hat{y}_i$ คือราคาปิดที่พยากรณ์ และ N คือจำนวนวันในชุดทดสอบ มิติที่สองคือความแม่นยำเชิงทิศทาง (Directional Accuracy: DirAcc) ซึ่งวัดสัดส่วนที่แบบจำลองทำนายทิศทางการเปลี่ยนแปลงของราคา (ขึ้นหรือลง) ได้ถูกต้อง ดังสมการที่ (4)

$$DirAcc = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(\text{sign}(\Delta y_i) = \text{sign}(\Delta \hat{y}_i)) \times 100\% \quad (4)$$

ตัวชี้วัดความแม่นยำเชิงทิศทางมีความสำคัญเป็นพิเศษสำหรับการประเมินประโยชน์เชิงปฏิบัติของแบบจำลองพยากรณ์ในบริบทการซื้อขายจริง เนื่องจากผลตอบแทนจากกลยุทธ์การซื้อขายมักขึ้นอยู่กับความถูกต้องของทิศทางมากกว่าความแม่นยำของระดับราคา [26] และงานวิจัยก่อนหน้านี้ชี้ให้เห็นว่าตัวชี้วัดทั้งสองมิติอาจให้ข้อสรุปที่แตกต่างกันได้ จึงจำเป็นต้องรายงานควบคู่กัน [27] เกณฑ์เปรียบเทียบพื้นฐานสำหรับความแม่นยำเชิงทิศทางคือร้อยละ 50 ซึ่งเทียบเท่าการสุ่มทาย [28]

เนื่องจากค่าความแม่นยำเชิงทิศทางที่สูงกว่าร้อยละ 50 ในเชิงตัวเลขมิได้เป็นหลักฐานยืนยันความสามารถในการพยากรณ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติเสมอไป โดยเฉพาะเมื่อขนาด

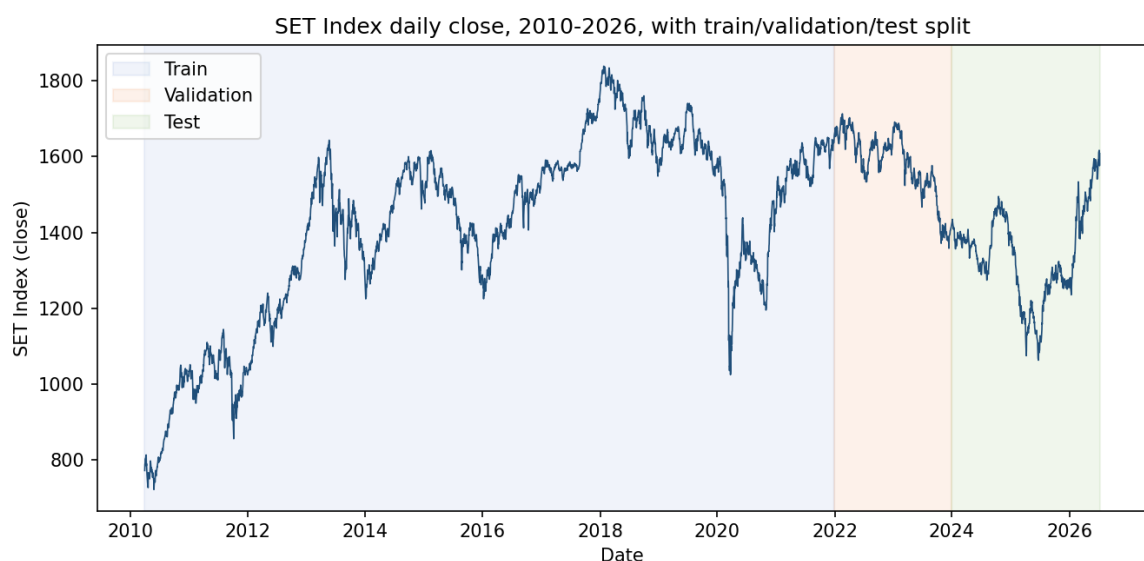
ชุดทดสอบมีจำกัดและผลต่างจากเกณฑ์มีขนาดเล็ก งานวิจัยนี้จึงเพิ่มการทดสอบทวินาม (binomial test) เพื่อทดสอบสมมติฐานว่าสัดส่วนการพยากรณ์ทิศทางที่ถูกต้องของแบบจำลองแต่ละชนิดแตกต่างจากค่าคาดหวังภายใต้การสุ่มทนาย (ร้อยละ 50) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยกำหนดจำนวนครั้งที่พยากรณ์ทิศทางถูกต้องเป็นตัวแปรสุ่มทวินามที่มีพารามิเตอร์ N เท่ากับจำนวนวันในชุดทดสอบ (606 วัน) และความน่าจะเป็นภายใต้สมมติฐานว่างเท่ากับ 0.5 พร้อมทั้งรายงานช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของสัดส่วนความแม่นยำเชิงทิศทางด้วยวิธี Wilson score interval แนวทางการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของความแม่นยำเชิงทิศทางในลักษณะนี้สอดคล้องกับหลักการที่เสนอไว้ในงานวิจัยด้านการทดสอบความสามารถในการพยากรณ์เชิงทิศทางของอนุกรมเวลาทางการเงิน [29]

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

ส่วนนี้นำเสนอผลเชิงประจักษ์จากกระบวนการพยากรณ์ดัชนี SET Index โดยเรียงลำดับจากลักษณะเชิงพรรณนาของข้อมูล ผลการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคา ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำเชิงทิศทาง และปิดท้ายด้วยการอภิปรายกลไกเชิงทฤษฎีที่อาจอธิบายรูปแบบผลลัพธ์ที่พบ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

3.1 ลักษณะเชิงพรรณนาของข้อมูล

ก่อนนำเสนอผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง การพิจารณาลักษณะเชิงพรรณนาของอนุกรมราคาดัชนี SET Index จะช่วยให้เข้าใจบริบทของการแบ่งชุดข้อมูลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น รูปที่ 3 แสดงอนุกรมราคาปิดรายวันของดัชนี SET Index ตลอดช่วง พ.ศ. 2553-2569 พร้อมแรเงาแสดงขอบเขตของชุดฝึก ชุดตรวจสอบ และชุดทดสอบ



รูปที่ 3 อนุกรมราคาปิดรายวันของดัชนี SET Index ปี 2553-2569 พร้อมขอบเขตชุดฝึก ชุดตรวจสอบ และชุดทดสอบ

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าดัชนีเคลื่อนไหวอยู่ในช่วงประมาณ 700-1,830 จุดตลอดทั้งอนุกรม โดยชุดฝึก (พ.ศ. 2553-2564) ครอบคลุมทั้งช่วงขาขึ้นต่อเนื่องระหว่างปี 2555-2561 และภาวะปรับฐานรุนแรงในช่วงต้นปี 2563 อันเนื่องมาจากสถานการณ์โควิด-19 ชุดตรวจสอบ (พ.ศ. 2565-2566) อยู่ในช่วงดัชนีทรงตัวถึงปรับตัวลดลงเล็กน้อย ขณะที่ชุดทดสอบ (พ.ศ. 2567-2569) ครอบคลุมช่วงดัชนีปรับฐานลงไปและระดับต่ำกว่า 1,100 จุดในช่วงกลางปี 2568 ก่อน

จะฟื้นตัวกลับขึ้นไปเหนือ 1,600 จุดในช่วงกลางปี 2569 ลักษณะที่ชุดทดสอบครอบคลุมทั้งช่วงขาลงและขาขึ้นในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันมีข้อดีในเชิงระเบียบวิธี เนื่องจากช่วยลดโอกาสที่ผลการประเมินแบบจำลองจะถูกครอบงำโดยแนวโน้มทิศทางเดียวของตลาด

3.2 ผลการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคา

ตารางที่ 2 นำเสนอผลการเปรียบเทียบตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคา (RMSE, MAE, MAPE) และ

ความแม่นยำเชิงทิศทาง (DirAcc) ของแบบจำลองทั้ง 8 แบบจำลองบนชุดข้อมูลทดสอบ ซึ่งครอบคลุมวันที่ 3 มกราคม 2567 ถึง 9 กรกฎาคม 2569 รวม 606 วันทำการ

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองพยากรณ์ทั้ง 8 แบบจำลอง บนชุดข้อมูลทดสอบ (3 ม.ค. 2567 - 9 ก.ค. 2569, 606 วัน) เรียงลำดับตามความแม่นยำเชิงทิศทางจากมากไปน้อย

แบบจำลอง	RMSE (จุด)	MAE (จุด)	MAPE (%)	Directional Accuracy (%)
Random Forest	13.71	10.04	0.76	51.8
XGBoost	13.99	10.26	0.77	50.8
LSTM (classification)	16.02	12.78	0.96	49.8
Naive persistence	13.52	9.94	0.75	49.7
GRU (regression)	13.52	9.95	0.75	49.7
LSTM (regression)	13.53	9.95	0.75	49.5
ARIMA(0,1,0)	19.28	14.45	1.09	49.0
GRU (classification)	16.55	12.97	0.97	48.2

หมายเหตุ: เกณฑ์การสุ่มหาย (chance) สำหรับ Directional Accuracy เท่ากับร้อยละ 50 ที่มา: model_comparison_master.csv

จากตารางที่ 2 ในมิติความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคา แบบจำลองส่วนใหญ่ให้ค่า RMSE ใกล้เคียงกันมากในช่วง 13.5-14.0 จุด และค่า MAPE ในช่วงร้อยละ 0.75-0.77 ซึ่งใกล้เคียงกับแบบจำลอง naive persistence ที่ให้ค่า RMSE เท่ากับ 13.52 จุด และ MAPE เท่ากับร้อยละ 0.75 มีเพียงแบบจำลอง ARIMA(0,1,0) ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าอย่างชัดเจน (RMSE เท่ากับ 19.28 จุด MAPE เท่ากับร้อยละ 1.09) แม้ ARIMA(0,1,0) ที่ AIC เล็กด้วยตนเองจะมีโครงสร้างเทียบเท่าการเดินสุ่มบวกค่าคงที่ (random walk with drift) ก็ตาม ผลลัพธ์นี้บ่งชี้ว่าองค์ประกอบของการเปลี่ยนแปลงราคาดัชนี SET Index ในช่วงเวลา 1 วันส่วนใหญ่มีลักษณะสุ่มเดินแบบที่แบบจำลองซับซ้อนไม่สามารถพยากรณ์ระดับราคาได้แม่นยำไปกว่าการใช้ราคาล่าสุดเป็นตัวพยากรณ์

เมื่อพิจารณาสาเหตุที่ ARIMA(0,1,0) ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่า naive persistence อย่างชัดเจนทั้งที่ทั้งสองแบบจำลองมีโครงสร้างใกล้เคียงกันในเชิงทฤษฎี คำอธิบายที่เชื่อมโยงกับคุณลักษณะของข้อมูล SET Index มีดังนี้ ความแตกต่างเชิงโครงสร้างระหว่างสองแบบจำลองอยู่

ที่ค่าคงที่การเลื่อน (drift term) ซึ่ง ARIMA(0,1,0) ประมาณค่าจากผลตอบแทนเฉลี่ยของชุดฝึกและนำไปบวกเพิ่มในการพยากรณ์ทุกวัน ขณะที่ naive persistence ไม่มีค่าคงที่ดังกล่าว (เทียบเท่ากับกำหนด drift เท่ากับศูนย์) เนื่องจากดัชนี SET Index ในช่วงชุดทดสอบ (2567-2569) มีลักษณะผันผวนสลับทิศทางค่อนข้างบ่อย รวมถึงช่วงปรับฐานรุนแรงในกลางปี 2568 ที่ตามด้วยการฟื้นตัวอย่างรวดเร็ว ค่าคงที่การเลื่อนที่ประมาณจากชุดฝึกในอดีตจึงไม่สอดคล้องกับทิศทางการเปลี่ยนแปลงราคาจริงในชุดทดสอบเสมอไป และเมื่อค่าคงที่ดังกล่าวถูกสะสมซ้ำในการพยากรณ์แบบวันต่อวัน (rolling one-step) ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (systematic bias) จึงสะสมมากกว่าแบบจำลอง naive persistence ที่อ้างอิงราคาล่าสุดโดยตรงโดยไม่มีองค์ประกอบค่าคงที่ปนเปื้อน ข้อสังเกตนี้ชี้ให้เห็นว่าสำหรับอนุกรมราคาหลักทรัพย์ที่มีค่าเฉลี่ยผลตอบแทนใกล้ศูนย์และมีความผันผวนสูงเช่น SET Index การเพิ่มพารามิเตอร์แม้เพียงตัวเดียวเข้าไปในแบบจำลองพื้นฐานก็อาจส่งผลเสียต่อความแม่นยำเชิงระดับราคาได้ หากพารามิเตอร์นั้นประมาณค่าจากช่วงเวลาที่มิพลวัตแตกต่างจากช่วงทดสอบ

3.3 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำเชิงทิศทาง

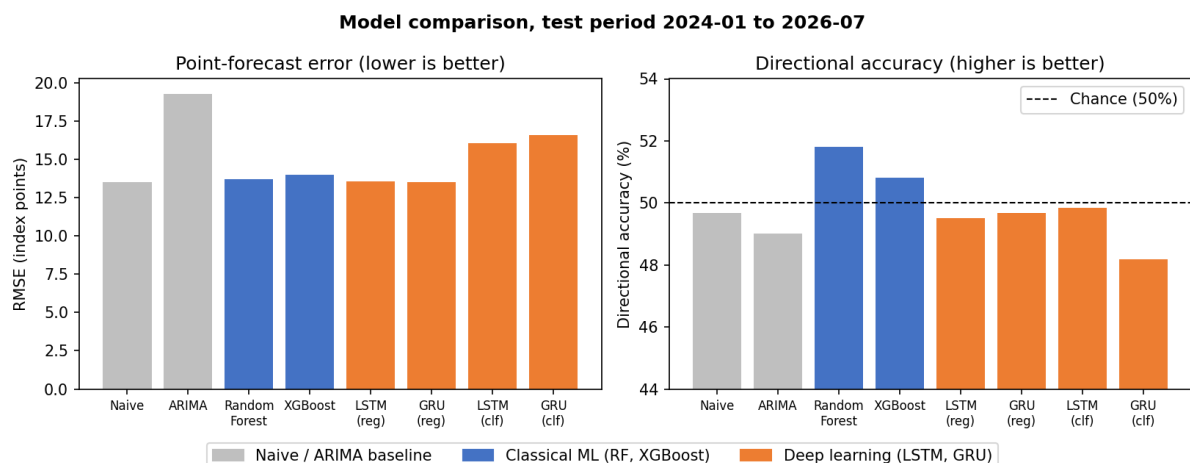
ในมิติความแม่นยำเชิงทิศทางซึ่งเป็นตัวชี้วัดหลักของงานวิจัยนี้ ผลลัพธ์แสดงรูปแบบที่ชัดเจนกว่ามิติความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคา โดย Random Forest ให้ความแม่นยำเชิงทิศทางสูงสุดที่ร้อยละ 51.8 รองลงมาคือ XGBoost ที่ร้อยละ 50.8 ซึ่งตัวเลขของทั้งสองแบบจำลองสูงกว่าเกณฑ์การสุ่มทายที่ร้อยละ 50 และสูงกว่า naive persistence ที่ร้อยละ 49.7 ในเชิงตัวเลข อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบทวินาม (binomial test) เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 50 ดังแสดงในตารางที่ 3 ชี้ว่าความแตกต่างดังกล่าวยังไม่ถึง

ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 สำหรับแบบจำลองใดเลยในทั้งแปดแบบจำลอง (p อยู่ในช่วง 0.39-0.97 และช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของทุกแบบจำลองครอบคลุมค่าร้อยละ 50) ในทางตรงกันข้าม แบบจำลอง LSTM และ GRU ทั้ง 4 รูปแบบ ทั้งแบบถดถอยและแบบจำแนกประเภท ให้ความแม่นยำเชิงทิศทางอยู่ในช่วงร้อยละ 48.2-49.8 ซึ่งต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับ naive persistence และต่ำกว่าเกณฑ์การสุ่มทายในกรณีของ GRU แบบจำแนกประเภท (ร้อยละ 48.2) รูปที่ 4 แสดงกราฟแท่งเปรียบเทียบทั้งสองมิติของแบบจำลองทั้ง 8 แบบจำลองในภาพเดียวกัน

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบทวินาม (binomial test) เทียบกับเกณฑ์การสุ่มทายร้อยละ 50 สำหรับความแม่นยำเชิงทิศทางของแบบจำลองทั้ง 8 แบบจำลอง บนชุดข้อมูลทดสอบ (606 วัน)

แบบจำลอง	Directional Accuracy (%)	ถูกต้อง/N	95% CI (%)	p-value (two-sided)
Random Forest	51.8	314/606	47.8 - 55.8	0.394
XGBoost	50.8	308/606	46.9 - 54.8	0.715
LSTM (classification)	49.8	302/606	45.9 - 53.8	0.968
Naive persistence	49.7	301/606	45.7 - 53.6	0.903
GRU (regression)	49.7	301/606	45.7 - 53.6	0.903
LSTM (regression)	49.5	300/606	45.5 - 53.5	0.839
ARIMA(0,1,0)	49.0	297/606	45.1 - 53.0	0.655
GRU (classification)	48.2	292/606	44.2 - 52.2	0.394

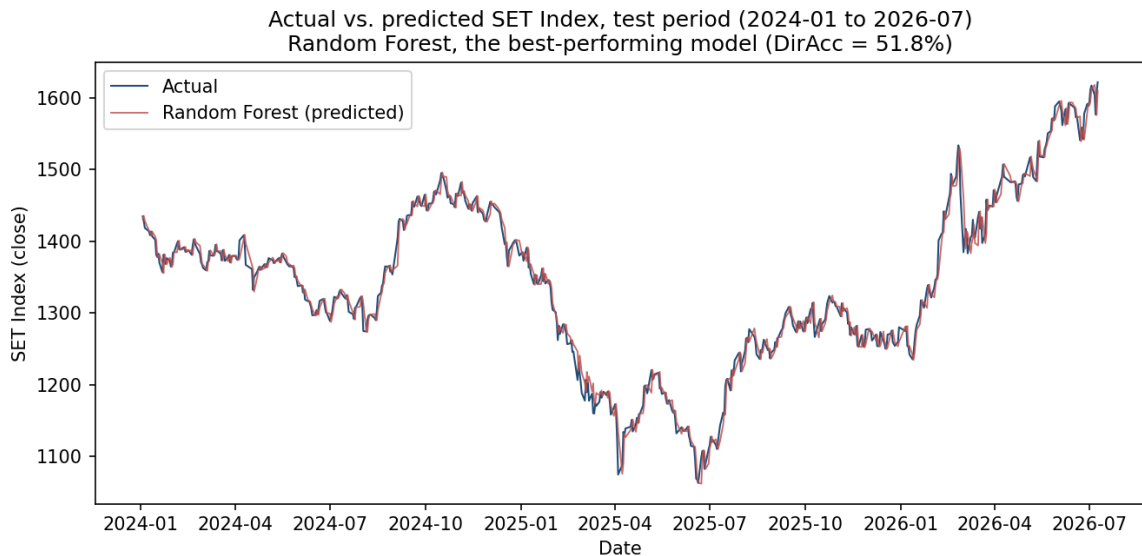
หมายเหตุ: ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คำนวณด้วยวิธี Wilson score interval จำนวนครั้งที่พยากรณ์ถูกต้อง (ถูกต้อง/N) คำนวณย้อนกลับจากค่าความแม่นยำเชิงทิศทางที่รายงานในตารางที่ 2 [29]



รูปที่ 4 เปรียบเทียบ RMSE (ซ้าย) และ Directional Accuracy (ขวา) ของแบบจำลองทั้ง 8 แบบจำลอง บนชุดข้อมูลทดสอบ

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นรูปแบบที่สอดคล้องกับตารางที่ 2 อย่างชัดเจน คือแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ (Random Forest และ XGBoost) เป็นกลุ่มเดียวที่อยู่เหนือเส้นเกณฑ์การสุ่มทายร้อยละ 50 อย่างสม่ำเสมอในแผงขวา ขณะที่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกทั้งหมดอยู่ต่ำกว่าหรือใกล้เคียงเส้นดังกล่าว ข้อสังเกตที่น่าสนใจคือผลลัพธ์นี้คงที่ไม่่ว่าจะฝึกแบบจำลอง LSTM/GRU ให้พยากรณ์ผลตอบแทนด้วยฟังก์ชันการสูญเสียแบบ mean squared

error หรือพยากรณ์ทิศทางโดยตรงด้วยฟังก์ชัน binary cross-entropy ก็ตาม ซึ่งช่วยลดความเป็นไปได้ที่ผลลัพธ์ต่ำของแบบจำลองแบบถดถอยจะเกิดจากความไม่สอดคล้องกันระหว่างฟังก์ชันการสูญเสียที่ใช้ฝึกกับตัวชี้วัดที่ใช้ประเมินผล เพื่อแสดงให้เห็นคุณภาพการพยากรณ์ของแบบจำลองที่ดีที่สุดในการเลือกรูปธรรม รูปที่ 5 เปรียบเทียบราคาจริงกับราคาที่พยากรณ์โดย Random Forest ตลอดชุดข้อมูลทดสอบ



รูปที่ 5 ราคาจริงเทียบกับราคาที่พยากรณ์โดย Random Forest บนชุดข้อมูลทดสอบ (DirAcc = 51.8%)

จากรูปที่ 5 เส้นราคาที่พยากรณ์โดย Random Forest เกือบติดกับเส้นราคาจริงอย่างใกล้ชิดตลอดทั้งช่วงทดสอบ รวมถึงในช่วงที่ดัชนีปรับฐานรุนแรงในช่วงกลางปี 2568 ซึ่งสอดคล้องกับค่า RMSE ที่ต่ำ อย่างไรก็ตาม ความใกล้ชิดของเส้นทั้งสองส่วนหนึ่งเป็นผลจากธรรมชาติของราคาดัชนีที่เปลี่ยนแปลงทีละน้อยในแต่ละวัน (autocorrelation สูงของระดับราคา) มิใช่เครื่องหมายความสามารถในการพยากรณ์ทิศทางที่แม่นยำแต่เพียงอย่างเดียว ตัวชี้วัดความแม่นยำเชิงทิศทางในตารางที่ 2 จึงยังคงเป็นเกณฑ์ตัดสินที่สำคัญกว่าในการประเมินประโยชน์เชิงปฏิบัติของแบบจำลอง

3.4 การอภิปรายผลและกลไกเชิงทฤษฎี

ผลการศึกษาที่ Random Forest และ XGBoost ให้ความแม่นยำเชิงทิศทางสูงกว่าแบบจำลอง LSTM และ GRU อย่างสม่ำเสมอ ชวนให้ตั้งคำถามเชิงกลไกว่าเหตุใดแบบจำลองที่มีความสามารถในการแทนค่า

(representational capacity) สูงกว่าอย่างโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลำดับ จึงไม่สามารถให้ผลพยากรณ์ที่ดีกว่าแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจที่มีโครงสร้างเรียบง่ายกว่าได้ คำอธิบายที่เป็นไปได้ประการแรกเกี่ยวข้องกับความสามารถของแบบจำลองต้นไม้ในการจับรูปแบบไม่เชิงเส้นแบบมีเงื่อนไข (conditional nonlinearity) ผ่านกลไกการแบ่ง (split) ตัวแปร ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะของตัวชี้วัดเชิงเทคนิคอย่าง RSI และ MACD ที่มักให้สัญญาณชัดเจนเฉพาะเมื่อค่าอยู่ในบริเวณสุดขั้ว (extreme region) มากกว่าจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อเนื่องกับทิศทางราคา แนวคิดนี้สอดคล้องกับข้อค้นพบของงานวิจัยที่ใช้ Random Forest ร่วมกับตัวชี้วัดเชิงเทคนิคจำพวก RSI และ stochastic oscillator ในการพยากรณ์ทิศทางราคาหุ้น ซึ่งรายงานว่แบบจำลองต้นไม้สามารถให้ค่าความผิดพลาดนอกกลุ่มตัวอย่าง (out-of-bag error) ในระดับที่แข่งขันได้ [19] และกับงานวิจัยที่พบว่า การวิเคราะห์ความสำคัญของตัวแปร (variable importance) จากแบบจำลองต้นไม้ยังคงมี

ประโยชน์แม้ในกรอบการทำงานแบบผสมกับโครงข่ายประสาทเทียม [30]

คำอธิบายประการที่สองเกี่ยวข้องกับขนาดตัวอย่างของข้อมูล การฝึกแบบจำลองในการศึกษาใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาเดียวจำนวนประมาณ 2,860 วัน ซึ่งมีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับปริมาณข้อมูลที่โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกโดยทั่วไปต้องการเพื่อเรียนรู้รูปแบบเชิงเวลาที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลอง LSTM และ GRU จึงมีแนวโน้มเรียนรู้ไปสู่ค่าเฉลี่ยแบบไม่มีเงื่อนไข (unconditional mean ใกล้ศูนย์) แทนที่จะพบสัญญาณที่มีประโยชน์เพิ่มเติมเหนือกว่าตัวแปร lag และ window ที่สร้างไว้ล่วงหน้า ข้อสังเกตนี้สอดคล้องกับหลักฐานจากการแข่งขันพยากรณ์ M4 ที่พบว่าแบบจำลอง ML แบบล้วนให้ผลแย่กว่าการรวมวิธีการทางสถิติแบบง่าย โดยเฉพาะภายใต้เงื่อนไขข้อมูลจำกัดและมีสัญญาณรบกวนสูง [8], [9] เช่นเดียวกับบทวิเคราะห์ด้านการพยากรณ์ในเวลาต่อมาที่สรุปในทิศทางเดียวกัน [10]

คำอธิบายประการที่สามเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์กับสมมติฐานตลาดที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากค่า RMSE และ MAPE ของแบบจำลองเกือบทั้งหมดใกล้เคียงกับ naive persistence อย่างมาก ผลลัพธ์นี้จึงสอดคล้องกับกรอบทฤษฎีของ Fama (ค.ศ. 1965, 1970) ที่ระบุว่าการเปลี่ยนแปลงราคาหลักทรัพย์ระยะสั้นมีองค์ประกอบสุ่มเด่นแบบเป็นส่วนใหญ่ [12], [11] และกับหลักฐานเชิงประจักษ์ในภูมิภาคอาเซียนที่พบว่าตลาดหุ้นในกลุ่มนี้รวมถึงไทยมีแนวโน้มสอดคล้องกับประสิทธิภาพระดับอ่อนในระยะยาว แม้จะมีความไม่มีประสิทธิภาพหลงเหลืออยู่บ้างในระยะสั้น [4] ความไม่มีประสิทธิภาพระยะสั้นในระดับเล็กน้อยนี้เองที่อาจเป็นช่องว่างซึ่งแบบจำลองต้นไม่ตัดสินใจสามารถจับสัญญาณเชิงทิศทางได้ดีกว่าการสุ่มทายเล็กน้อย ในขณะที่ยังไม่มากพอที่แบบจำลอง sequence ที่ซับซ้อนกว่าจะสกัดสัญญาณเพิ่มเติมออกมาได้อย่างมีนัยสำคัญ

ในแง่ของนัยเชิงปฏิบัติต่อการลงทุน คำถามที่สำคัญไม่แพ้กันคือความแม่นยำเชิงทิศทางร้อยละ 51.8 ของ Random Forest เพียงพอสำหรับการสร้างผลตอบแทนที่เป็นบวกจากกลยุทธ์การซื้อขายจริงหรือไม่ ผลการทดสอบทวินามในตารางที่ 3 ที่ชี้ว่าความได้เปรียบดังกล่าวยังไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ บ่งชี้ในเบื้องต้นว่าคำตอบมีแนวโน้มเป็น

ลบมากกว่าบวก เนื่องจากผลตอบแทนสุทธิจากกลยุทธ์การซื้อขายด้วยสัญญาณทิศทางยังต้องหักลบด้วยต้นทุนธุรกรรม (transaction cost) ค่าคอมมิชชัน และส่วนต่างราคาเสนอซื้อเสนอขาย (bid-ask spread) ซึ่งในทางปฏิบัติมักมีขนาดใกล้เคียงหรือมากกว่าความได้เปรียบเชิงทิศทางร้อยละ 1.8 ที่พบในงานวิจัยนี้ ดังนั้นแม้ Random Forest จะให้ผลพยากรณ์ทิศทางที่ดีกว่าการสุ่มทายในเชิงตัวเลข แต่ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอในงานวิจัยนี้จะสรุปว่าความได้เปรียบดังกล่าวสามารถแปลงเป็นผลตอบแทนสุทธิที่เป็นบวกได้อย่างสม่ำเสมอในทางปฏิบัติ การประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจที่แท้จริงจำเป็นต้องอาศัยการจำลองกลยุทธ์การซื้อขายย้อนหลัง (backtesting) ที่คำนึงถึงต้นทุนธุรกรรมอย่างครบถ้วน ซึ่งอยู่นอกขอบเขตของงานวิจัยนี้

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาก่อนหน้าที่ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกกับตลาดหุ้นไทย ผลการศึกษานี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากงานที่รายงานความแม่นยำเชิงทิศทางของดัชนี SET50 สูงถึงร้อยละ 82.94 ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสามชั้นซ่อนบนข้อมูลช่วงปี 2558-2562 [7] ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากหลายปัจจัยประกอบกัน ได้แก่ความแตกต่างของดัชนีที่ศึกษา (SET50 ซึ่งเป็นดัชนีหุ้นขนาดใหญ่ 50 ตัวเทียบกับ SET Index ซึ่งเป็นดัชนีรวมตลาด) ความแตกต่างของช่วงเวลาข้อมูล (ก่อนวิกฤตโควิด-19 เทียบกับข้อมูลที่ครอบคลุมถึงปี 2569) และความแตกต่างของวิธีการแบ่งชุดข้อมูลและการป้องกัน look-ahead bias ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันมากระหว่างสองการศึกษาชี้ให้เห็นว่าความแม่นยำเชิงทิศทางของแบบจำลอง DL ในตลาดหุ้นไทยอาจมีความอ่อนไหวสูงต่อการเลือกช่วงเวลาและระเบียบวิธีการทดลอง จึงยังไม่ควรสรุปโดยรวมว่าแบบจำลอง DL ให้ผลดีหรือแย่กว่า ML แบบดั้งเดิมในทุกบริบทของตลาดไทย ผลลัพธ์นี้กลับสอดคล้องมากกว่ากับข้อค้นพบในตลาดอื่นที่ระบุว่า LSTM และ GRU มักให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันโดยไม่มีแบบจำลองใดเหนือกว่าอย่างชัดเจน [22], [23] ซึ่งบ่งชี้ว่าความแตกต่างระหว่างสถาปัตยกรรม sequence model ด้วยกันเองมีน้อยกว่าความแตกต่างระหว่างตระกูลแบบจำลอง (tree-based เทียบกับ sequence-based) อย่างมีนัยสำคัญ

ในด้านความมั่นคงของผลลัพธ์ (robustness) งานวิจัยนี้ได้ตรวจสอบว่าผลลัพธ์ที่ต่ำของแบบจำลอง LSTM/GRU มิได้เป็นผลจากการเลือกฟังก์ชันการสูญเสียที่

ไม่เหมาะสม โดยฝึกแบบจำลองทั้งในรูปแบบถดถอยด้วยฟังก์ชัน mean squared error และรูปแบบจำแนกประเภทด้วยฟังก์ชัน binary cross-entropy ซึ่งให้ผลความแม่นยำเชิงทิศทางในทิศทางเดียวกัน (ร้อยละ 48.2-49.8 ทั้งสี่รูปแบบ) นอกจากนี้ชุดข้อมูลทดสอบที่ใช้ยังครอบคลุมทั้งช่วงตลาดขาลงและขาขึ้นในสัดส่วนใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 3 จึงลดโอกาสที่ผลลัพธ์จะถูกขับเคลื่อนโดยแนวโน้มทิศทางเดียวของตลาดในช่วงทดสอบ อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ที่ได้ยังจำกัดอยู่ที่สถาปัตยกรรม LSTM/GRU ขนาดค่อนข้างเล็ก (32 และ 16 หน่วย) และหน้าต่างข้อมูลย้อนหลังคงที่ 20 วัน จึงยังไม่อาจสรุปโดยรวมได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกทุกสถาปัตยกรรมจะให้ผลลัพธ์ในทิศทางเดียวกันนี้เสมอไป

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบความสามารถในการพยากรณ์ดัชนี SET Index รายวันของแบบจำลอง 8 ชนิด ครอบคลุมแบบจำลองพื้นฐาน สถิติเชิงเวลา การเรียนรู้ของเครื่อง และโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก ผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ทั้งสามข้อสรุปได้ดังนี้ ประการแรก ในมิติความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคา แบบจำลองส่วนใหญ่ให้ค่า RMSE ในช่วง 13.5-14.0 จุด และ MAPE ในช่วงร้อยละ 0.75-0.77 ใกล้เคียงกับ naive persistence ยกเว้น ARIMA(0,1,0) ที่ให้ค่าคลาดเคลื่อนสูงกว่าอย่างชัดเจน (RMSE เท่ากับ 19.28 จุด) ประการที่สอง ในมิติความแม่นยำเชิงทิศทาง Random Forest ให้ผลดีที่สุดที่ร้อยละ 51.8 รองลงมาคือ XGBoost ที่ร้อยละ 50.8 ขณะที่ LSTM และ GRU ทั้ง 4 รูปแบบให้ผลอยู่ในช่วงร้อยละ 48.2-49.8 ซึ่งต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับเกณฑ์การสุ่มทายและ naive persistence ประการที่สาม ผลการตรวจสอบความมั่นคงยืนยันว่าความซับซ้อนของแบบจำลอง โดยเฉพาะแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลำดับ มิได้รับประกันความแม่นยำในการพยากรณ์ทิศทางที่สูงขึ้น ไม่ว่าจะฝึกด้วยฟังก์ชันการสูญเสียรูปแบบใดก็ตาม

ในด้านข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าสำหรับงานพยากรณ์ทิศทางดัชนี SET Index รายวัน

นักวิจัยและผู้ปฏิบัติงานด้านการลงทุนควรพิจารณาแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจแบบรวมกลุ่มอย่าง Random Forest หรือ XGBoost เป็นทางเลือกเบื้องต้นก่อนการลงทุนทรัพยากรเชิงคำนวณและเวลาไปกับการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกที่ซับซ้อนกว่า เนื่องจากหลักฐานเชิงประจักษ์จากทั้งงานวิจัยนี้และการแข่งขันพยากรณ์ระดับนานาชาติชี้ตรงกันว่าความซับซ้อนของแบบจำลองมิได้แปรผันตรงกับความแม่นยำเสมอไป โดยเฉพาะภายใต้เงื่อนไขข้อมูลอนุกรมเวลาเดียวที่มีขนาดจำกัด [8], [10] ทั้งนี้ ข้อเสนอแนะดังกล่าวอาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์ที่มีขนาดผลลัพธ์ค่อนข้างเล็กและยังไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติตามผลการทดสอบทวินามในตารางที่ 3 จึงควรตีความว่าเป็นข้อเสนอแนะเชิงประสิทธิภาพการคำนวณ (computational efficiency) มากกว่าการรับประกันผลตอบแทนเชิงบวกจากการลงทุน

สำหรับหน่วยงานกำกับดูแลและนักวิชาการด้านตลาดทุน ผลการศึกษาที่ตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคาของแทบทุกแบบจำลองใกล้เคียงกับ naive persistence อย่างมาก เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์เพิ่มเติมที่สนับสนุนสมมติฐานตลาดที่มีประสิทธิภาพระดับอ่อนสำหรับตลาดหลักทรัพย์ไทย ซึ่งมีนัยเชิงนโยบายต่อการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์การลงทุนที่อ้างความสามารถในการพยากรณ์ราคาแบบเจาะจง (active forecasting-based products) ว่าควรได้รับการตรวจสอบหลักฐานเชิงประจักษ์อย่างเข้มงวด เนื่องจากความได้เปรียบเชิงทิศทางที่พบในงานวิจัยนี้แม้จะมีนัยสำคัญในเชิงเปรียบเทียบ แต่มีขนาดผลลัพธ์ (effect size) ค่อนข้างเล็ก (ร้อยละ 51.8 เทียบกับร้อยละ 50)

สำหรับผู้พัฒนาระบบพยากรณ์ในภาคการเงิน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นความสำคัญของการรายงานผลควบคู่กันทั้งมิติความคลาดเคลื่อนเชิงระดับราคาและมิติความแม่นยำเชิงทิศทาง เนื่องจากแบบจำลองที่มีค่า RMSE ต่ำใกล้เคียงกันอาจมีความแม่นยำเชิงทิศทางที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญดังปรากฏในตารางที่ 2 การประเมินแบบจำลอง

พยากรณ์ราคาหลักทรัพย์จึงควรกำหนดตัวชี้วัดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การใช้งานจริงตั้งแต่ขั้นตอนออกแบบงานวิจัย มิใช่เลือกใช้ตัวชี้วัดใดตัวชี้วัดหนึ่งเพียงลำพัง

ข้อจำกัดของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดที่ควรระบุไว้สองประการ ประการแรก การศึกษานี้จำกัดขอบเขตอยู่ที่การพยากรณ์แบบ 1 วันล่วงหน้า (one-step-ahead) และยังไม่ได้ทดสอบขอบเขตเวลาพยากรณ์ที่ยาวขึ้น เช่น 5 วันหรือ 20 วันล่วงหน้า ซึ่งรูปแบบผลลัพธ์เชิงเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองอาจแตกต่างกันไปจากที่พบในการศึกษานี้ ประการที่สอง สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกที่ใช้มีขนาดค่อนข้างเล็กและมีได้ผ่านกระบวนการปรับแต่ง hyperparameter อย่างเข้มข้นด้วยวิธีการเชิงเมทาฮิวริสติก เทียบเท่ากับแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ จึงยังเปิดช่องให้มีการตั้งคำถามว่าผลลัพธ์จะเปลี่ยนแปลงหรือไม่หากมีการปรับแต่งสถาปัตยกรรมอย่างละเอียดมากขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ทิศทางการวิจัยในอนาคตควรครอบคลุมสามประเด็นหลัก ได้แก่ การขยายขอบเขตเวลาพยากรณ์ให้ครอบคลุมหลายช่วงเวลาล่วงหน้าเพื่อทดสอบความมั่นคงของรูปแบบผลลัพธ์ การทดลองใช้ตัวแปรคุณลักษณะเพิ่มเติมนอกเหนือจากตัวชี้วัดเชิงเทคนิค เช่น ข้อมูลอารมณ์ตลาด (market sentiment) จากข่าวและสื่อสังคมออนไลน์ หรือดัชนีตลาดต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง และการขยายการเปรียบเทียบไปยังแบบจำลองสถาปัตยกรรมใหม่ เช่น Transformer [24] หรือแบบจำลองผสมระหว่างต้นไม้ตัดสินใจกับโครงข่ายประสาทเทียม

โดยสรุป งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบแบบจำลองพยากรณ์อย่างเป็นระบบภายใต้กรอบข้อมูลและการประเมินผลเดียวกันเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้ทั้งแวดวงวิชาการและผู้ปฏิบัติงานสามารถเลือกใช้เครื่องมือพยากรณ์ตลาดหุ้นไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพบนพื้นฐานของหลักฐานเชิงประจักษ์ มากกว่าความเชื่อว่าเป็นแบบจำลองที่ซับซ้อนกว่าย่อมให้ผลดีกว่าเสมอไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพและคณะเศรษฐศาสตร์และการลงทุนที่เอื้ออำนวยความสะดวกด้านทรัพยากรและสภาพแวดล้อมในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบพระคุณบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้กรุณาสละเวลาพิจารณาและให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงบทความให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] O. B. Sezer, M. U. Gudelek, and A. M. Ozbayoglu, "Financial time series forecasting with deep learning: A systematic literature review: 2005-2019," *Applied Soft Computing*, vol. 90, pp. 106181, May. 2020, doi: 10.1016/j.asoc.2020.106181.
- [2] S. Ahmed, M. M. Alshater, A. El Ammari, and H. Hammami, "Artificial intelligence and machine learning in finance: A bibliometric review," *Research in International Business and Finance*, vol. 61, pp. 101646, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.ribaf.2022.101646.
- [3] I. K. Nti, A. F. Adekoya, and B. A. Weyori, "A comprehensive evaluation of ensemble learning for stock-market prediction," *Journal of Big Data*, vol. 7, pp. 20, 2020, doi: 10.1186/s40537-020-00299-5.
- [4] F. Guidi and R. Gupta, "Market efficiency in the ASEAN region: Evidence from multivariate and cointegration tests," *Applied Financial Economics*, vol. 23, no. 4, pp. 265-274, 2013, doi: 10.1080/09603107.2012.718064.
- [5] M. Inthachot, V. Boonjing, and S. Intakosum, "Artificial neural network and genetic algorithm hybrid intelligence for predicting Thai stock price index trend," *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2016, Art. no. 3045254, 2016, doi: 10.1155/2016/3045254.

- [6] K. Suphawan, R. Kardkasem, and K. Chaisee, "A Gaussian process regression model for forecasting stock exchange of Thailand," *Trends in Sciences*, vol. 19, no. 6, pp. 3045, Mar. 2022, doi: 10.48048/tis.2022.3045.
- [7] M. Inthachot, V. Boonjing, and S. Intakosum, "Predicting Thai stock index trend using deep neural network based on technical indicators," *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, vol. 8, no. 2, pp. 428-435, Mar. 2025, doi: 10.53894/ijirss.v8i2.5191.
- [8] S. Makridakis, E. Spiliotis, and V. Assimakopoulos, "The M4 Competition: Results, findings, conclusion and way forward," *International Journal of Forecasting*, vol. 34, no. 4, pp. 802-808, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.ijforecast.2018.06.001.
- [9] S. Makridakis, E. Spiliotis, and V. Assimakopoulos, "The M4 Competition: 100,000 time series and 61 forecasting methods," *International Journal of Forecasting*, vol. 36, no. 1, pp. 54-74, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.ijforecast.2019.04.014.
- [10] F. Petropoulos, S. Makridakis, and N. Stylianou, "Forecasting: theory and practice," *International Journal of Forecasting*, vol. 38, no. 3, pp. 705-871, 2022, doi: 10.1016/j.ijforecast.2021.11.001.
- [11] E. F. Fama, "The behavior of stock market prices," *The Journal of Business*, vol. 38, no. 1, pp. 34-105, 1965, doi: 10.1086/294743.
- [12] E. F. Fama, "Efficient capital markets: A review of theory and empirical work," *The Journal of Finance*, vol. 25, no. 2, pp. 383-417, May. 1970, doi: 10.1111/j.1540-6261.1970.tb00518.x.
- [13] R. S. Tsay, *Analysis of Financial Time Series*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- [14] G. Ji, J. Yu, K. Hu, J. Xie, and X. Ji, "An adaptive feature selection schema using improved technical indicators for predicting stock price movements," *Expert Systems with Applications*, vol. 200, p. 116941, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2022.116941.
- [15] H. H. Htun, M. Biehl, and N. Petkov, "Survey of feature selection and extraction techniques for stock market prediction," *Financial Innovation*, vol. 9, p. 26, Jan. 2023, doi: 10.1186/s40854-022-00441-7.
- [16] H. Akaike, "A new look at the statistical model identification," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 19, no. 6, pp. 716-723, Dec. 1974, doi: 10.1109/TAC.1974.1100705.
- [17] L. Breiman, "Random forests," *Machine Learning*, vol. 45, no. 1, pp. 5-32, 2001, doi: 10.1023/A:1010933404324.
- [18] T. Chen and C. Guestrin, "XGBoost: A scalable tree boosting system," in *Proceeding of 22nd ACM SIGKDD Int. Conf. Knowledge Discovery and Data Mining*, 2016, pp. 785-794, doi: 10.1145/2939672.2939785.
- [19] L. Khaidem, S. Saha, and S. R. Dey, "Predicting the direction of stock market prices using random forest," arXiv:1605.00003, 2016, doi: 10.48550/arXiv.1605.00003.
- [20] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long short-term memory," *Neural Computation*, vol. 9, no. 8, pp. 1735-1780, 1997, doi: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.
- [21] K. Cho et al., "Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation," in *Proceeding of 2014 Conf. Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, 2014, pp. 1724-1734, doi: 10.3115/v1/D14-1179.
- [22] Y. Gao, R. Wang, and E. Zhou, "Stock prediction based on optimized LSTM and GRU models,"

- Scientific Programming*, vol. 2021, Art. no. 4055281, Sep. 2021, doi: 10.1155/2021/4055281.
- [23] N. K. Khairunisa and P. Hendikawati, "Long short-term memory and gated recurrent unit modeling for stock price forecasting," *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, vol. 21, no. 1, pp. 321-333, Sep. 2024, doi: 10.20956/j.v21i1.35930.
- [24] B. Lim, S. Ö. Arik, N. Loeff, and T. Pfister, "Temporal Fusion Transformers for interpretable multi-horizon time series forecasting," *International Journal of Forecasting*, vol. 37, no. 4, pp. 1748-1764, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.ijforecast.2021.03.012.
- [25] R. J. Hyndman and A. B. Koehler, "Another look at measures of forecast accuracy," *International Journal of Forecasting*, vol. 22, no. 4, pp. 679-688, Oct. 2006, doi: 10.1016/j.ijforecast.2006.03.001.
- [26] Y. Kara, M. A. Boyacioglu, and O. K. Baykan, "Predicting direction of stock price index movement using artificial neural networks and support vector machines: The sample of the Istanbul Stock Exchange," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 5, pp. 5311-5319, May. 2011, doi: 10.1016/j.eswa.2010.10.027.
- [27] M. Costantini, J. Crespo Cuaresma, and J. Hlouskova, "Forecasting errors, directional accuracy and profitability of currency trading: The case of EUR/USD exchange rate," *Journal of Forecasting*, vol. 35, no. 7, pp. 652-668, Mar. 2016, doi: 10.1002/for.2398.
- [28] Ö. İcan and T. B. Çelik, "Stock market prediction performance of neural networks: A literature review," *International Journal of Economics and Finance*, vol. 9, no. 11, pp. 100-108, Oct. 2017, doi: 10.5539/ijef.v9n11p100.
- [29] M. H. Pesaran and A. Timmermann, "A simple nonparametric test of predictive performance," *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 10, no. 4, pp. 461-465, Oct. 1992, doi: 10.1080/07350015.1992.10509922.
- [30] H. J. Park, Y. Kim, and H. Y. Kim, "Stock market forecasting using a multi-task approach integrating long short-term memory and the random forest framework," *Applied Soft Computing*, vol. 114, pp. 108106, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.asoc.2021.108106.

การเปรียบเทียบปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด
ใบบัวบกและใบผักแว่นแก้ว

Comparative Analysis of Phytochemical Contents and Antioxidant Activities of
Leaf Extracts from *Centella asiatica* (L.) Urban. and *Hydrocotyle umbellata* L.

อรรถชัย ตรินเจริญ¹, ประนัฏา พิมสี², นิชธิมา วารินทิพย์², ดวงสุรีย์ แสนสีระ², ณัฐนิชา บุญเรือง², มณัญชา กาละพัฒน์²,
กาญจนา ประจวบสุข² และ ภัทรพร ภาโนมัย^{2*}

Attachai Trunjaruen¹, Pranudda Pimsee², Nichthima warinthip², Duangsuree Sanseera², Natthanicha
Bunrueang², Manunchaya Kalapat², Karnjana Prajuabsook², Pattaraphorn Panomai^{2*}

¹ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

¹ Department of Biology, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri 20131

² สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เพื่อสุขภาพและความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
กรุงเทพมหานคร 10120

² Division of Health Science and Aesthetic Program, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of
Technology Krungthep, Bangkok, 10120

*Corresponding Author: Pattaraphorn.p@mail.rmutk.ac.th

Received 14 พฤษภาคม 2569; Revised 19 กรกฎาคม 2569; Accepted 11 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

บัวบก (*Centella asiatica*) จัดเป็นพืชที่มีความสำคัญในทางการแพทย์ เนื่องจากสามารถบริโภคเพื่อป้องกันการเสื่อมถอยของระบบประสาท ลดระดับน้ำตาลในเลือด และอาจมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและลดการอักเสบได้ อย่างไรก็ตามผู้บริโภคมักเกิดความสับสนระหว่างบัวบกกับผักแว่นแก้ว (*Hydrocotyle umbellata*) เนื่องจากพืชทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาคล้ายคลึงกัน งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบบัวบกและใบผักแว่นแก้ว ด้วยวิธี DPPH รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพของตัวทำละลาย ได้แก่ เอทานอลและเมทานอล ในการสกัดสารพฤกษเคมีจากใบบัวบกและใบผักแว่นแก้ว ผลการศึกษาพบว่าใบบัวบกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงกว่าใบผักแว่นแก้ว โดยเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าเมทานอล และใบบัวบกที่สกัดด้วยเอทานอลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุด เท่ากับ 930.50 mg GAE/ g extract ในขณะที่ใบบัวบกที่สกัดด้วยเมทานอลมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ 1,060.13 mg QE/ g extract ซึ่งสูงกว่าสารสกัดใบบัวบกที่สกัดด้วยเอทานอล แต่สารสกัดเอทานอลและเมทานอลของใบผักแว่นแก้วให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมใกล้เคียงกัน และผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายพบว่าเมทานอลเหมาะสมต่อการสกัดสารประกอบฟลาโวนอยด์มากกว่าเอทานอล เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าใบบัวบกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าใบผักแว่นแก้ว ในขณะที่การสกัดด้วยเมทานอลให้ประสิทธิภาพการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการสกัดด้วยเอทานอล และใบบัวบกที่สกัดด้วยเมทานอลมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น โดยมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 15.74 µg/mL งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการแสดงให้เห็นความสำคัญในการจำแนกและเลือกใช้พืชให้ถูกชนิด รวมถึงการเลือกใช้ตัวทำละลายให้เหมาะสม ซึ่งอาจส่งผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ เพื่อก่อให้เกิดประสิทธิผลต่อผู้บริโภคสูงสุด

คำหลัก: บัวบก; ผักแว่นแก้ว;ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ; ปริมาณฟีนอลิกรวม; ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม

Abstract

Centella asiatica is a medicinal plant with therapeutic importance, because it can be consumed for neuroprotective effects, anti-hyperglycemia, antioxidant activities, and anti-inflammatory effects. However, consumers mostly confuse *C. asiatica* with *Hydrocotyle umbellata* because of their similarity in morphological characters. Therefore, the present study aimed to compare the total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and antioxidant activity using DPPH assay of leaf extracts from *C. asiatica* and *H. umbellata*, as well as to evaluate the efficiency of two solvents, which were ethanol and methanol in extracting phytochemical compounds from the leaves of both species. The results revealed that *C. asiatica* leaf extracts contained a higher TPC than *H. umbellata* leaf extracts. The extracts with ethanol yielded a greater TPC than methanol. The ethanolic extract of *C. asiatica* leaves exhibited the highest TPC, at 930.50 mg GAE/g extract, whereas the methanolic extract of *C. asiatica* leaves showed a total flavonoid content of 1,060.13 mg QE/g extract, which exceeded that of the ethanolic extract. However, the ethanolic and methanolic extracts of *H. umbellata* leaves yielded comparable TFC. The comparison of solvent efficiency revealed that methanol was more suitable than ethanol for the extraction of flavonoid compounds. Considering antioxidant capacity using DPPH assay, *C. asiatica* leaves displayed higher antioxidant activity than *H. umbellata* leaves, while methanolic extraction provided greater extraction efficiency of antioxidants than ethanolic extraction. The methanolic extract of *C. asiatica* leaves demonstrated the highest antioxidant activity among all groups, with an IC_{50} value of 15.74 μ g/mL. These findings highlight the importance of identification and selection the correct plant species, as well as choosing an appropriate extraction solvent, since these factors may influence the yield of phytochemical compounds and their beneficial biological activities, thereby maximizing the efficacy delivered to consumers.

Keywords: *Centella asiatica*; *Hydrocotyle umbellata*; Antioxidants; Total phenolic content; Total flavonoid content

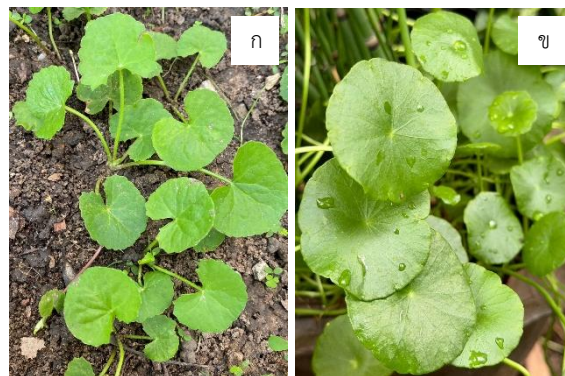
1. บทนำ

ภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) เป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความเสื่อมของเซลล์และโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่าง ๆ ในมนุษย์ เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคทางระบบประสาท และกระบวนการชราภาพ [1] ด้วยเหตุนี้การศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (antioxidants) โดยเฉพาะพืชสมุนไพร จึงได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากสารสกัดจากพืชสมุนไพรมีองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและสารออกฤทธิ์ที่หลากหลาย ส่งผลให้สารสกัดจากพืชสมุนไพรสามารถบรรเทาอาการเจ็บป่วยได้หลายอาการ ต่างจากยาแผน

ปัจจุบันซึ่งเป็นยาเชิงเดี่ยวที่ถูกพัฒนาเพื่อบรรเทาอาการเจ็บป่วยที่จำเพาะเจาะจง [2] บัวบก (*Centella asiatica* (L.) Urban.) จัดเป็นพืชสมุนไพรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและทางการแพทย์รวมถึงเป็นสินค้าสมุนไพรไทยตามยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดโลก [3] มีสรรพคุณเด่นในด้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ บำรุงสมอง สมานแผล ป้องกันการเสื่อมถอยของระบบประสาท และส่งเสริมความจำ [4] โดยสารออกฤทธิ์หลักที่พบ ได้แก่ สารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์และฟีนอลิก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบในกลุ่มไตรเทอร์พีนสำคัญ เช่น สาร

ในกลุ่ม asiaticoside ที่มีศักยภาพในการรักษาโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) และโรคในทางเดินอาหาร [1] อย่างไรก็ตามผู้บริโภคในปัจจุบันมักเกิดความสับสนระหว่างบัวบก (*C. asiatica*) กับ ผักแว่นแก้วหรือผักหนอก (*Hydrocotyle umbellata* L.) เนื่องจากพืชทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) ที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะลักษณะใบที่เป็นรูปกลมและขอบใบหยัก (รูปที่ 1) ทำให้ผู้บริโภคสมุนไพรมักเกิดความเข้าใจผิดว่าพืชทั้งสองชนิดเป็นพืชชนิดเดียวกัน ในประเทศอียิปต์มีรายงานการใช้ผักแว่นแก้ว (*H. umbellata*) เป็นสมุนไพรพื้นบ้านในการต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ และกระตุ้นความจำ [5] คล้ายคลึงกับบัวบก (*C. asiatica*) แต่จากการศึกษาโดย Khwanchum *et al.* [6] พบว่าพืชทั้งสองชนิดมีลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของใบและผิวใบ รวมถึงองค์ประกอบทางพฤกษเคมีแตกต่างกัน และจากการศึกษาโดย Noppradit *et al.* [7] พบว่าแม้สารสกัดใบผักแว่นแก้วจะมีสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และไตรเทอร์พีนเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับสารสกัดใบบัวบก แต่ชนิดของสารพฤกษเคมีในสารสกัดจากพืชทั้งสองชนิดกลับมีความแตกต่างกัน เช่น hydrojuglone glucoside เป็นสารประกอบฟีนอลิก และ oenanthoside A เป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ ที่พบในสารสกัดจากใบผักแว่นเท่านั้น นอกจากนี้ใบผักแว่นยังมีสารประกอบในกลุ่มโมโนเทอร์พีนและไดเทอร์พีน เช่น ascaridole epoxide และ 20-deoxynarasin ซึ่งไม่พบในสารสกัดเอทานอลของใบบัวบก แม้ว่าในปัจจุบันจะมีรายงานการศึกษาการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพระหว่างบัวบกและผักแว่นแก้ว แต่การศึกษารังนี้ยังมีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบความแตกต่างของสารพฤกษเคมี ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ของสารสกัดจากใบของพืชทั้งสองชนิดที่สกัดด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน รวมถึงประเมินประสิทธิภาพของตัวทำละลายแต่ละชนิดในการสกัดสารพฤกษเคมีจากใบบัวบกและใบผักแว่นแก้ว เพื่อเติมเต็มองค์ความรู้ด้านพฤกษเคมีของพืชทั้งสองชนิด อันจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ด้านการควบคุมคุณภาพของสมุนไพรและเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกใช้พืชทั้งสองชนิดนี้ในการ

ส่งเสริมสุขภาพ อุตสาหกรรมอาหารเสริม ยา และเครื่องสำอางได้อย่างถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 1 สัณฐานวิทยาของบัวบก (ก) และผักแว่นแก้ว (ข)

1.1 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบบัวบกและใบผักแว่นแก้ว
2. ประเมินประสิทธิภาพของตัวทำละลายแต่ละชนิดในการสกัดสารพฤกษเคมีจากใบบัวบกและใบผักแว่นแก้ว

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างใบบัวบก (*C. asiatica*) และใบผักแว่นแก้ว (*H. umbellata*) จากจังหวัดอุบลราชธานี เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคม พ.ศ. 2568 จัดเตรียมการวิจัยและปฏิบัติการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเคมีวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

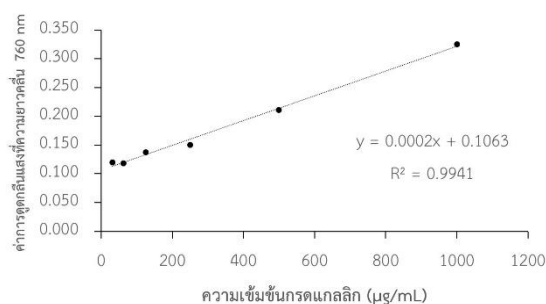
2.2 การสกัดด้วยวิธีหมัก (Maceration)

ล้างทำความสะอาดตัวอย่างและทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยโกร่ง แล้วนำผงตัวอย่างใบบัวบกและใบผักแว่นแก้วปริมาณ 30 กรัม สกัดด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด ได้แก่ เอทานอล 95% (v/v) และเมทานอล ปริมาตร 300 มิลลิลิตร (อัตราส่วนผงตัวอย่างต่อสารละลายเท่ากับ 1:10) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง กรองด้วยกระดาษกรอง จากนั้นทำแห้งด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (rotary evaporator) แล้วเก็บใส่ภาชนะปิดสนิทที่อุณหภูมิ 2-5°C

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

(Total Phenolic Content)

ซึ่งสารสกัดตัวอย่างปริมาณ 1 mg ละลายด้วยเมทานอล 1 mL จากนั้นทดสอบโดยการดูดสารละลายตัวอย่าง 20 μ L ลงใน 96 well plate เติม สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7 % (w/v) ปริมาตร 80 μ L จากนั้นเติม Folin-Ciocalteu's reagent 10 % (v/v) ปริมาตร 100 μ L บ่มในที่มืด 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 760 nm นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ค่าสมการเส้นตรง $y = 0.0002x + 0.1063$ ($R^2 = 0.9941$) แสดงดังรูปที่ 2 รายงานในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด (หน่วย mg Gallic acid equivalent (GAE)/ g extract) [7] ทำการวัดจำนวน 5 ซ้ำ ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

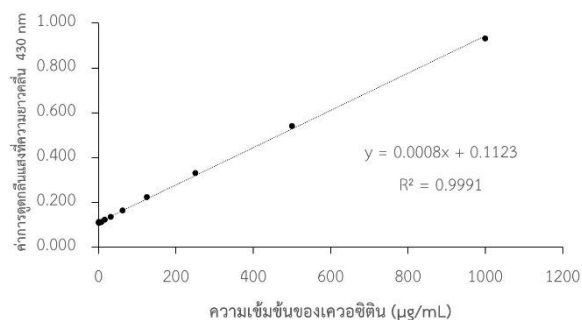


รูปที่ 2 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์

ทั้งหมด (Total Flavonoids Content)

ซึ่งสารสกัดตัวอย่างปริมาณ 1000 μ g ละลายด้วยเมทานอล 1 mL จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่าง 100 μ L ลงใน 96 well plate เติมสารละลายโซเดียมไนเตรต (sodium nitrate) 5% (w/v) ปริมาตร 20 μ L บ่มในที่มืด 6 นาที จากนั้นเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ 10% (w/v) ปริมาตร 35 μ L บ่มในที่มืด 30 นาทีนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 430 nm นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานเคอควิติน ค่าสมการเส้นตรง $y = 0.0008x + 0.1123$ ($R^2 = 0.9991$) แสดงดังรูปที่ 3 รายงานในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของเคอควิตินต่อกรัมของสารสกัด (หน่วย mg quercetin equivalent (QE)/ g extract) [8] ทำการวัดจำนวน 5 ซ้ำ ในแต่ละกลุ่มการทดลอง



รูปที่ 3 กราฟมาตรฐานเคอควิติน

2.5 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ทำการทดสอบโดยเตรียมสารละลาย DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ความเข้มข้น 0.2 mM ละลายด้วยเมทานอล และเตรียมสารสกัดที่ความเข้มข้น 1,000 - 1 μ g/mL ละลายด้วยเมทานอล จากนั้นหยดสารละลาย DPPH ลงใน 96 well plate หลุมละ 100 μ L และสารสกัดหลุมละ 100 μ L บ่มในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 nm นำค่าที่ได้มาคำนวณ % radical scavenging ดังสมการที่ (1) จากนั้น หาค่า IC_{50} จากกราฟเส้นตรงระหว่าง ค่า % inhibition กับความเข้มข้นของสารสกัด [8] เปรียบเทียบกับค่า IC_{50} ของสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ทำการวัดจำนวน 5 ซ้ำ ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

$$\% \text{ Radical scavenging} = [(A_{DPPH} - A_{\text{ตัวอย่าง}}) / A_{DPPH}] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ A_{DPPH} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH

และ $A_{\text{ตัวอย่าง}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่าง

2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design; CRD) แสดงผลในรูป ค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation; SD) วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี one-way analysis of variance (one-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรม R for Windows เวอร์ชัน 4.5.3

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างพื้นฐานที่ประกอบด้วยวงแหวน benzene และหมู่ hydroxyl (OH) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ ซึ่งสามารถให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระและทำให้อนุมูลอิสระอันเป็นสาเหตุของโรคเรื้อรังต่าง ๆ นั้น ลดความรุนแรงในการแย่งอิเล็กตรอนจากสารชีวโมเลกุลอื่นในเซลล์ได้ จากนั้นสารประกอบฟีนอลิกที่ให้อิเล็กตรอนไปแล้ว จะกลายเป็นอนุมูลของสารประกอบฟีนอลิกที่เสถียรและไม่ไวต่อปฏิกิริยา [9] จากการศึกษาอิทธิพลของชนิดพืช ได้แก่ บัวบกและผักแว่นแก้ว และตัวทำละลาย ได้แก่ เอทานอลและเมทานอล พบว่าทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลหลัก (main effect) ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สกัดได้ โดยที่ปัจจัยทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p > 0.05$; ตารางที่ 1) โดยอิทธิพลหลักของชนิดพืชแสดงให้เห็นว่าบัวบกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเฉลี่ย เท่ากับ 885.00 mg GAE/ g extract สูงกว่าผักแว่นแก้ว ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเฉลี่ยเท่ากับ 790.50 mg GAE/ g extract อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ในขณะที่อิทธิพลหลักของตัวทำละลายแสดงให้เห็นว่าเอทานอลสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมเฉลี่ยได้ 879.50 mg GAE/ g extract ซึ่งสูงกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สกัดด้วยเมทานอล เท่ากับ 796.54 mg GAE/ g extract อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA; รูปที่ 1) พบว่าบัวบกที่สกัดด้วยเอทานอลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 930.50 mg GAE/ g extract ($p < 0.001$) ในขณะที่ผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยเมทานอล ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 752.50 mg GAE/ g extract ($p < 0.001$)

แม้จะเป็นที่ทราบกันดีว่าบัวบกมีสารออกฤทธิ์สำคัญอยู่ในกลุ่มไตรเทอร์พีน (triterpenes) หลายชนิด เช่น asiatic acid, asiaticoside, และ madecassic acid เป็นต้น ซึ่งมีฤทธิ์ในการป้องกันการเสื่อมถอยของระบบประสาท (neuroprotective effects) และลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ [10], [11] แต่ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการใช้ประโยชน์ของบัวบกในการต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากบัวบกมีการสะสมสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก

และเมื่อเปรียบเทียบกับผักแว่นแก้วพบว่าบัวบกมีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงกว่าผักแว่นแก้ว ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาโดย Noppradit *et al.* [7] ซึ่งพบว่าสารประกอบฟีนอลิกรวมของบัวบกที่สกัดด้วยเอทานอลมีปริมาณสูงกว่าสารสกัดผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยเอทานอล ถึงแม้ว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของบัวบกจะสูงกว่าผักแว่นแก้ว แต่จากการศึกษาโปรไฟล์ของสารประกอบฟีนอลิกกลับพบความแตกต่างของชนิดสารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชทั้งสองชนิดอย่างชัดเจน โดยตัวอย่างสารประกอบฟีนอลิกที่พบในบัวบก ได้แก่ chlorogenic acid และ 4,5-Di-*O*-caffeoylquinic acid ในขณะที่ผักแว่นแก้วพบ hydrojuglone glucoside, acetogenol, และ psoromic acid เป็นต้น

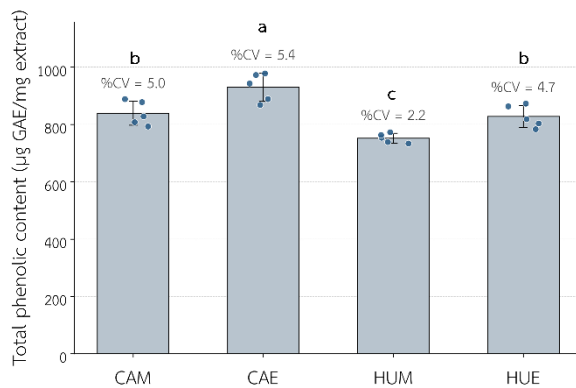
นอกจากชนิดพืชที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้แล้ว ตัวทำละลายที่แตกต่างกันก็สามารถส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ โดยผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการสกัดด้วยเอทานอลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าทั้งในบัวบกและผักแว่นแก้ว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลของตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมจาก hairy root ของ *Scutellaria baicalensis* แล้วพบว่า การสกัดด้วยเอทานอลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงกว่าการสกัดด้วยเมทานอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [12] อย่างไรก็ตามผลการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมระหว่างตัวทำละลายทั้งสองชนิดนั้นอาจให้ผลที่แตกต่างกันในพืชชนิดอื่น เช่น ผลของ *Illicium griffithii* [13], รากของแครอท [14] และ ดอก *Camellia polyodonta* [15] เป็นต้น ความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกันนี้ เป็นผลมาจากความมีขั้วและความสามารถในการให้พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond doner) ของตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์ ซึ่งถึงแม้ว่าทั้งเมทานอลและเอทานอลจะเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วใกล้เคียงกันและสามารถให้พันธะไฮโดรเจนเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ได้เช่นกัน แต่เอทานอลมีหมู่ alkyl ที่ยาวกว่าเมทานอลจึงทำให้เอทานอลสามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับส่วนของ benzene ring ในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกได้ดีกว่าเมทานอล ในขณะที่โมเลกุลของเมทานอลเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมกับสารพฤษเคมีที่มีการสร้างพันธะกับน้ำตาลเนื่องจากหมู่ OH

ของเมทานอลสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ OH บนโมเลกุลของน้ำตาลได้ โดยที่หมู่ alkyl ของเมทานอลที่สั้นกว่าเอทานอลไม่ขัดขวางการสร้างพันธะดังกล่าว [13] ด้วยความสัมพันธ์นี้ สารประกอบฟีนอลิกของใบบัวบกและใบผักแว่นแก้วอาจอยู่ในรูปของ aglycone เป็นส่วนมาก จึงส่งผลให้เอทานอลสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมาจากตัวอย่างได้ในปริมาณสูงกว่าการใช้เมทานอล

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC) ของใบบัวบกและใบผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน

ชนิดพืช	ชนิดตัวทำละลาย		mean±SD
	เอทานอล	เมทานอล	
บัวบก	930.50±49.82	839.50±42.19	885.00±64.77 ^A
ผักแว่นแก้ว	828.50±38.73	752.50±16.73	790.50±48.94 ^B
mean±SD	879.50±68.26 ^a	796.00±54.94 ^b	-
Species	p<0.001		
Solvent	p<0.001		
Interaction	p>0.05		

หมายเหตุ: ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a, b) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามแนวนอน ในขณะที่ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ (A, B) แสดงความแตกต่างทางสถิติตามแนวตั้ง



รูปที่ 4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมจากสารสกัดใบบัวบกที่สกัดด้วยเมทานอล (CAM) สารสกัดใบบัวบกที่สกัดด้วยเอทานอล (CAE) สารสกัดใบผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยเมทานอล (HUM) และสารสกัดใบผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยเอทานอล (HUE)

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม (Total Flavonoids Content)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way ANOVA) แสดงให้เห็นนัยสำคัญของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง

ชนิดพืชและชนิดของตัวทำละลาย ($p < 0.001$) ต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมที่สกัดได้ และเมื่อวิเคราะห์อิทธิพลหลักอย่างง่าย (simple main effect) พบว่าเมื่อสกัดใบบัวบกด้วยเมทานอลจะให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ 1,060.13 mg QE/ g extract ซึ่งสูงกว่าการสกัดด้วยเอทานอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ในขณะที่การสกัดสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมจากใบผักแว่นแก้ว โดยการใช้เอทานอลและเมทานอลให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เท่ากับ 855.38 และ 805.13 mg QE/ g extract ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$; ตารางที่ 2) และเมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่าการสกัดใบบัวบกด้วยเอทานอลให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การสกัดใบผักแว่นแก้วด้วยเอทานอลและเมทานอลให้ผลรองลงมาและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ใบบัวบกที่สกัดด้วยเอทานอลกลับให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$; รูปที่ 5) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบฟลาโวนอยด์ขึ้นอยู่กับชนิดพืชและชนิดของตัวทำละลาย โดยการใช้เมทานอลจะเหมาะสมกับการสกัดสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมจากใบบัวบกมากกว่าเอทานอล ในขณะที่การสกัดจากใบผักแว่นแก้วให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมที่ใกล้เคียงกันไม่ว่าจะสกัดด้วยตัวทำละลายใดก็ตาม

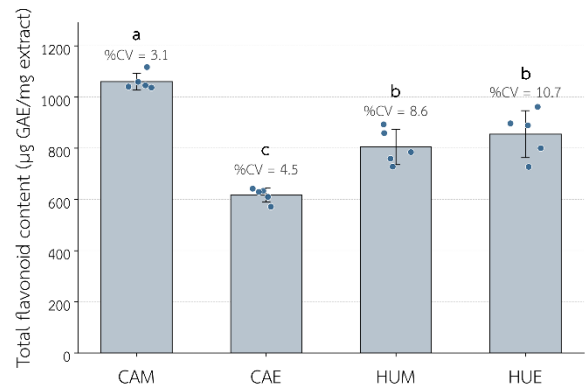
สารประกอบฟลาโวนอยด์นับเป็นกลุ่มย่อย (subclass) ของสารประกอบฟีนอลิก โดยถือเป็นสารประกอบฟีนอลิกเชิงซ้อนซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยหมู่ฟีนอลมากกว่า 1 หมู่ [16] ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมระหว่างใบบัวบกและใบผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยเอทานอล แล้วพบว่าใบบัวบกให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมต่ำกว่าใบผักแว่นแก้ว และจากการเปรียบเทียบโปรไฟล์ของสารฟลักซ์เคมีของพืชทั้งสองชนิด พบว่าใบบัวบกพบสารประกอบฟลาโวนอยด์หลายชนิด เช่น kaempferol, quercetin, และ mattheurinate B เป็นต้น ในขณะที่ใบผักแว่นพบ oenanthoside A, kaempferol 3,7-diglucoside, และ kempferol 3-O-robinobioside เป็นต้น [1] นอกจากนี้ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายแต่ละชนิดต่อการสกัดสารฟลักซ์เคมีชนิดต่าง ๆ เช่น quercetin และ

kaempferol จากใบบัวบกพบว่าเมทานอลสามารถสกัดสารฟลาโวนอยด์ดังกล่าวได้ปริมาณสูงกว่าเอทานอล [17] ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของชนิดของสารประกอบฟลาโวนอยด์ระหว่างพืชทั้งสองชนิด ความแตกต่างนี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวทำละลายในการสกัดสารประกอบฟลาโวนอยด์ออกจากตัวอย่างพืช ซึ่งพบได้ในพืชหลายชนิด เช่น การสกัดสารประกอบฟลาโวนอยด์จากส่วนเหนือดินของ *Inula britannica* และยางของ *Aloe vera* ด้วยเอทานอลและเมทานอล แล้วพบว่าเมทานอลสามารถสกัดสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ได้มากกว่าการใช้เอทานอล [18], [19] อย่างไรก็ตามในพืชบางชนิดกลับพบว่าเอทานอลมีประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์เหนือกว่าหรือใกล้เคียงกับเมทานอล เช่น *Illicium griffithii* [13] เป็นต้น ความแตกต่างดังกล่าวมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย แต่ปัจจัยหลักคือความมีขี้ผึ้งและการสร้างพันธะไฮโดรเจนของตัวทำละลาย และหมู่ glycoside ที่เกาะอยู่กับฟลาโวนอยด์แต่ละชนิด โดยหมู่ glycoside ดังกล่าวนั้นมีหมู่ OH จำนวนมากขึ้น จึงส่งผลให้สามารถละลายในตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้งสูงกว่าได้ดีขึ้น ในขณะที่โมเลกุล aglycone จะละลายในตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้งต่ำกว่าได้ดีกว่า [12] แม้ผลการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมของใบบัวบกจะสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ แต่การศึกษาครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นว่าเอทานอลและเมทานอลซึ่งมีขี้ผึ้งต่างกันเล็กน้อย ส่งผลต่อการปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมในใบบัวบกอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ความแตกต่างดังกล่าวเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในใบผักแว่นแก้ว

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม (TFC) ของใบบัวบกและใบผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน

ชนิดพืช	ชนิดตัวทำละลาย		mean±SD
	เอทานอล	เมทานอล	
บัวบก	617.38±27.96 ^{bB}	1,060.13±32.98 ^{aA}	838.75±253.12
ผักแว่นแก้ว	855.38±91.83 ^{aA}	805.13±69.17 ^{aB}	830.25±81.09
mean±SD	736.38±140.82	932.63±143.78	-
Species	p>0.05		
Solvent	p<0.001		
Interaction	p<0.001		

หมายเหตุ: ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a, b) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามแนวนอน ในขณะที่ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ (A, B) แสดงความแตกต่างทางสถิติตามแนวตั้ง



รูปที่ 5 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมจากสารสกัดใบบัวบกที่สกัดด้วยเมทานอล (CAM) สารสกัดใบบัวบกที่สกัดด้วยเอทานอล (CAE) สารสกัดใบผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยเมทานอล (HUM) และสารสกัดใบผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยเอทานอล (HUE)

3.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกับปริมาณสารฟลาโวนอยด์

จากผลฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชทั้งสองชนิด ที่สกัดด้วยเอทานอลและเมทานอลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลหลักอย่างง่ายของอิทธิพลของตัวทำละลายพบว่า ในพืชชนิดเดียวกันเมื่อเปลี่ยนชนิดตัวทำละลายจากเอทานอลเป็นเมทานอล ค่า IC_{50} จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$; ตารางที่ 3) โดยในใบบัวบกค่า IC_{50} ของสารสกัดเอทานอลเท่ากับ 36.52 µg/mL แต่เมื่อสกัดด้วยเมทานอล ค่า IC_{50} จะลดลงเหลือ 15.74 µg/mL เช่นเดียวกับใบผักแว่นแก้วที่ค่า IC_{50} ของสารสกัดเอทานอลเท่ากับ 118.89 µg/mL จะลดลงเหลือ 48.81 µg/mL เมื่อสกัดด้วยเมทานอล และเมื่อวิเคราะห์อิทธิพลหลักอย่างง่ายของอิทธิพลของชนิดพืชพบว่า เมื่อใช้ตัวทำละลายชนิดเดียวกัน ได้แก่ เอทานอลและเมทานอล ใบบัวบกจะมีค่า IC_{50} เท่ากับ 36.52 และ 15.74 µg/mL ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าสารสกัดใบผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยตัวทำละลายเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) และค่า IC_{50} ที่มีค่าต่ำ แสดงถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าสารสกัดที่มีค่า IC_{50} สูง เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวพบว่าใบบัวบกที่สกัดด้วยเมทานอลมีค่า IC_{50} ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดในกลุ่มอื่น ๆ ($p < 0.001$; รูปที่ 6) ผลการศึกษา

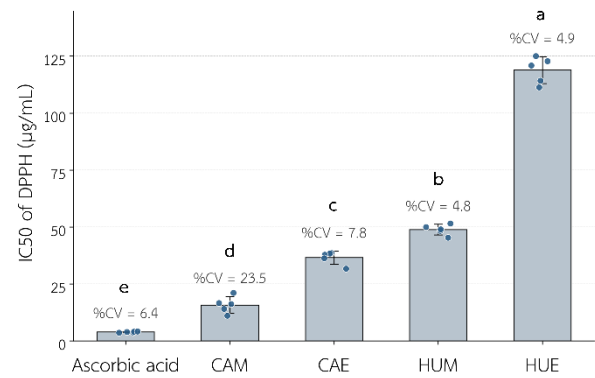
ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าใบบัวบกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH สูงกว่าใบผักแว่นแก้ว

โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์โดยทั่วไป สามารถเกิดการให้อิเล็กตรอนหรือโปรตรอนแก่อนุมูลอิสระ แล้วทำให้อนุมูลอิสระไม่สามารถไปแย่งอิเล็กตรอนจากสารชีวโมเลกุลอื่นในเซลล์ได้ โดยสารประกอบฟีนอลิกมี benzene ring และหมู่ OH ที่สามารถให้อิเล็กตรอนและเกิดการ delocalization ใน benzene ring ได้ เกิดเป็นอนุมูลของฟีนอลิกที่เสถียร [8] ในขณะที่โครงสร้างหลักของสารประกอบฟลาโวนอยด์ประกอบด้วยวงแหวนคาร์บอน 3 วง ได้แก่ วงแหวน A, B, และ C ที่มีโครงสร้างเป็น C6-C3-C6 เมื่อโครงสร้างดังกล่าวประกอบด้วยหมู่ OH ที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 3 และ 4 ของวงแหวน B ซึ่งเป็นตำแหน่งหลักที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนและโปรตรอน การมีพันธะคู่ที่ต่อกับหมู่คาร์บอนิล และหมู่ OH ที่คาร์บอนตำแหน่งอื่น ๆ ด้วยโครงสร้างเหล่านี้ สารประกอบฟลาโวนอยด์จึงมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง [20] ดังนั้นในสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบเหล่านี้สูง จึงควรจะสามารถในการอนุมูลอิสระสูง หรือ มีค่า IC_{50} ต่ำด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์แล้วพบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีค่าสัมพันธ์สหสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ -0.16 และ -0.13 แม้ว่าค่าสัมพันธ์สหสัมพันธ์จะอยู่ในระดับต่ำและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$; รูปที่ 7) แต่ค่าที่ได้มีค่าลบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ โดยเมื่อปริมาณสารประกอบเหล่านี้สูงขึ้น ค่า IC_{50} ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH จะลดต่ำลง เมื่อพิจารณาที่ชนิดของพืช ใบบัวบกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวมสูงกว่าใบผักแว่นแก้ว จึงอาจส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของใบบัวบกสูงกว่าใบผักแว่นแก้ว ในขณะที่การสกัดใบบัวบกด้วยเมทานอลส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงกว่าการสกัดด้วยเอทานอล จึงส่งผลให้สารสกัดใบพืชที่สกัดด้วยเมทานอลมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดพืชที่สกัดด้วยเอทานอล เนื่องจากมีความเข้มข้นมากกว่าเอทานอลจึงสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่มีหมู่ glycoside ได้มากกว่าเอทานอล [13]

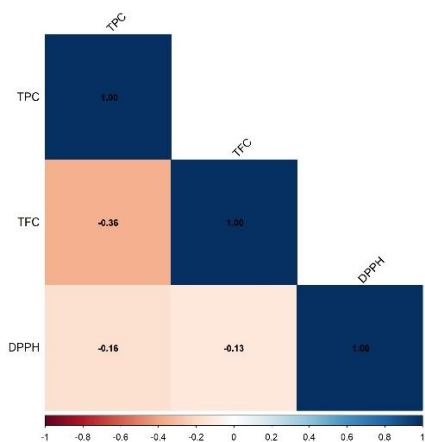
ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของใบบัวบกและใบผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน

ชนิดพืช	ชนิดตัวทำละลาย		mean±SD
	เอทานอล	เมทานอล	
บัวบก	36.52±2.85 ^{aB}	15.74±3.70 ^{bB}	26.13±11.38
ผักแว่นแก้ว	118.89±5.86 ^{aA}	48.81±2.33 ^{bA}	83.85±37.17
mean±SD	77.70±43.63	32.27±17.67	-
Species	p<0.001		
Solvent	p<0.001		
Interaction	p<0.001		

หมายเหตุ: ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a, b) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามแนวนอน ในขณะที่ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ (A, B) แสดงความแตกต่างทางสถิติตามแนวตั้ง



รูปที่ 6 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH จากสารสกัดใบบัวบกที่สกัดด้วยเมทานอล (CAM) สารสกัดใบบัวบกที่สกัดด้วยเอทานอล (CAE) สารสกัดใบผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยเมทานอล (HUM) และสารสกัดใบผักแว่นแก้วที่สกัดด้วยเอทานอล (HUE)



รูปที่ 7 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าใบบัวบกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าใบผักแว่นแก้วไม่ว่าจะสกัดด้วยตัวทำละลายใด ในขณะที่ใบบัวบกที่สกัดด้วยเมทานอลมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมสูงกว่าสารสกัดใบบัวบกที่สกัดด้วยเอทานอล แต่สารสกัดเอทานอลและเมทานอลของใบผักแว่นแก้วให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมใกล้เคียงกัน ในการเปรียบเทียบตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารพฤกษเคมีทั้งสองชนิดจากใบบัวบกและใบผักแว่นแก้ว ผลการศึกษาพบว่าเอทานอลเหมาะต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิก ในขณะที่เมทานอลเหมาะกับการสกัดสารประกอบฟลาโวนอยด์ และเมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าใบบัวบกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าใบผักแว่นแก้ว ในขณะที่การสกัดด้วยเมทานอลให้ประสิทธิภาพการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการสกัดด้วยเอทานอล ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าแม้พืชสองชนิดนี้จะมีลักษณะสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกัน แต่ใบบัวบกและใบผักแว่นแก้วมีองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน ยิ่งไปกว่านั้นปริมาณสารพฤกษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระนั้นยังขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดด้วย ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงเป็นการแสดงให้เห็นความสำคัญในการจำแนกและเลือกใช้พืชให้ถูกต้องตามชนิด รวมถึงการเลือกใช้ตัวทำละลายให้เหมาะสม เพื่อก่อให้เกิดประสิทธิผลต่อผู้บริโภคสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ นางสาวศินีนาถ อีร์ภัทรไพศาล ที่ให้การช่วยเหลือและคำปรึกษา รวมถึงสาขาวิชาวิทยาศาสตร์เพื่อสุขภาพและความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกในการศึกษาค้นคว้า จนทำให้งานชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] G. Pizzino, N. Irrera, M. Cucinotta, G. Pallio, F. Mannino, V. Arcoraci, F. Squadrito, D. Altavilla, and A. Bitto, "Oxidative stress: Harms and benefits for human health," *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, vol. 2017, no. 1, p. 8416763, Jan. 2017, doi: 10.1155/2017/8416763.
- [2] O. P.-C. Ugwu, M. N. Ugwu, F. C. Ogenyi, E. U. Alum, V. H. U. Eze, M. Basajja, J. N. Ugwu, M. B. Okon, C. N. Ugwu, C. N. Anyanwu, J. Obiezu, C. Ezeonwumelu, D. T. Swase, B. Samanya, S. I. Egba, D. E. Uti, and H. Onohuean, "Synergistic phytochemicals in multi-target drug discovery for complex diseases: A narrative review," *Phytomedicine Plus*, vol. 6, no. 3, p. 100995, May 2026, doi: 10.1016/j.phyplu.2026.100995.
- [3] ระวีวรรณ เจริญทรัพย์, อิดารัตน์ ดวงยอด, ธรากร มณีรัตน์, ปราวี ภูนีรับ, สิริพันธ์ สุวรรณภรณ์, กวิตา เพื่องฟู, ชาลิณี จันตะ, ชนม์นิภา สามารถ, และสุชีรา แสงจันทร์, จัดทำข้อเสนอเชิงนโยบาย การสร้างเสถียรภาพและความเข้มแข็งทางการค้า สินค้าสมุนไพร, นนทบุรี: สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า, 2568.
- [4] คณะอนุกรรมการจัดทำตำราอ้างอิงยาสมุนไพรไทย, "ตำราอ้างอิงสมุนไพรไทย: บัวบก (BUABOK)," *วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, หน้า 57-61, ม.ค.-ส.ค. 2554.
- [5] S. A. Hamdy, H. M. E. Hefnawy, S. M. Azzam, and E. A. Aboutabl, "Botanical and genetic characterization of *Hydrocotyle umbellata* L. cultivated in Egypt," *Bulletin of Faculty of Pharmacy Cairo University*, vol. 56, no. 1, pp. 46-53, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.bfopcu.2018.03.006.
- [6] L. Khwanchum, A. Intharuksa, S. Yanaso, and K. Thongkhao, "Differentiation of *Centella asiatica* (L.) Urb. from *Hydrocotyle umbellata* L. using the trnH-psbA region, species-specific

- bands and anisocytic stomata as markers for quality control of raw materials and their products,” *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, vol. 37, p. 100504, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.jarmap.2023.100504.
- [7] B. Noppradit, P. Suklim, S. Nanarong, C. Leeratiwong, S. Laphookhieo, and P. Puttarak, “Exploring the immunomodulatory, anti-inflammatory, and cell proliferative potential of *Hydrocotyle umbellata* L. Leaf extracts: A comparative study with *Centella asiatica* (L.) Urb,” *Phytomedicine Plus*, vol. 6, no. 2, p. 100969, Feb. 2026, doi: 10.1016/j.phyplu.2026.100969
- [8] P. Panomai, S. Thapphasaraphong, and N. Nualkaew, “A Comparative Study of Two *Oroxylum indicum* (L.) Kurz. Phenotypes Based on Phytochemicals and Antioxidant Effects, and the Anti-Inflammatory Activity of Leaf and Pod Extracts,” *Plants*, vol. 13, no. 15, p. 2110, Jul. 2024, doi: 10.3390/plants13152110.
- [9] J. Chen, J. Yang, L. Ma, J. Li, N. Shahzad, and C. K. Kim, “Structure- antioxidant activity relationship of methoxy, phenolic hydroxyl, and carboxylic acid groups of phenolic acids,” *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, p. 2611, Feb. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-59451-z.
- [10] I. E. Orhan, “*Centella asiatica* (L.) Urban: From Traditional Medicine to Modern Medicine with Neuroprotective Potential,” *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, vol. 2012, pp. 1– 8, Jan. 2012, doi: 10.1155/2012/946259.
- [11] L. S. Singh and W. S. Singh, “*Centella asiatica* and its bioactive compounds: a comprehensive approach to managing hyperglycemia and associated disorders,” *Discover Plants.*, vol. 1, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1007/s44372-024-00070-7.
- [12] J. Lim, K. Kim, D. Y. Kwon, J. K. Kim, R. Sathasivam, and S. U. Park, “Effects of Different Solvents on the Extraction of Phenolic and Flavonoid Compounds, and Antioxidant Activities, in *Scutellaria baicalensis* Hairy Roots,” *Horticulturae*, vol. 10, no. 2, p. 160, Feb. 2024, doi: 10.3390/horticulturae10020160.
- [13] O. P. Arya, I. D. Bhatt, and K. Mohanty, “Effect of different extraction solvents on bioactive phenolics and antioxidant potential of *Illicium griffithii* fruit,” *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, vol. 40, p. 100547, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jarmap.2024.100547.
- [14] E. A. Mohammed, I. G. Abdalla, M. A. Alfawaz, M. A. Mohammed, S. A. Al Maiman, M. A. Osman, A. E. A. Yagoub, and A. B. Hassan, “Effects of extraction solvents on the total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity in the aerial part of root vegetables,” *Agriculture*, vol. 12, no. 11, p. 1820, Oct. 2022, doi: 10.3390/agriculture12111820.
- [15] Z. Xiang, L. Liu, Z. Xu, Q. Kong, S. Feng, T. Chen, L. Zhou, H. Yang, Y. Xiao, and C. Ding, “Solvent Effects on the Phenolic Compounds and Antioxidant Activity Associated with *Camellia polyodonta* Flower Extracts,” *ACS Omega*, vol. 9, no. 25, pp. 27192–27203, Jun. 2024, doi: 10.1021/acsomega.4c01321.
- [16] R. E. Mutha, A. U. Tatiya, and S. J. Surana, “Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview,” *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 7, no. 1, p. 25, Jan. 2021, doi: 10.1186/s43094-020-00161-8.

- [17] P. Mohapatra, A. Ray, S. Jena, S. Nayak, and S. Mohanty, "Influence of extraction methods and solvent system on the chemical composition and antioxidant activity of *Centella asiatica* L. leaves," *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 33, p. 101971, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.bcab.2021.101971.
- [18] A. K. Ibadullayeva, M. Kasela, K. K. Kozhanova, G. M. Kadyrbayeva, J. Widelski, K. Wojtanowski, A. Józefczyk, K. Susniak, P. Okinczyc, M. I. Tleubayeva, A. A. Karaubayeva, M. A. Zhandabayeva, A. Z. Mukhamedsadykova, and A. Malm, "Chemical profile and biological properties of methanolic and ethanolic extracts from the aerial parts of *Inula britannica* L. growing in Central Asia," *Molecules*, vol. 29, no. 23, p. 5749, 2024, doi: 10.3390/molecules29235749.
- [19] A. Mehmood, S. Javid, M. F. Khan, K. S. Ahmad, and A. Mustafa, "In vitro total phenolics, total flavonoids, antioxidant and antibacterial activities of selected medicinal plants using different solvent systems," *BMC Chemistry*, vol. 16, no. 1, p. 64, Aug. 2022, doi: 10.1186/s13065-022-00858-2.
- [20] M. Platzer, S. Kiese, T. Herfellner, U. Schweiggert-Weisz, and P. Eisner, "How does the phenol structure influence the results of the Folin-Ciocalteu assay?," *Antioxidants*, vol. 10, no. 5, p. 811, May 2021, doi: 10.3390/antiox10050811.

การพัฒนาและประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากข้าวสีอินทรี เพื่อการพาณิชย์

Development and Quality Evaluation of Prototype Products from Organic Pigmented Rice for Commercial Applications

นงคราญ มหาวัง^{1*}

Nongkran Mahawang^{1*}

¹ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านกัญชาและเกษตรอินทรีย์นานาชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

¹ Excellence Center of Cannabis and International Organic Agriculture Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50300

*Corresponding Author: nongkran_mah@cmru.ac.th

Received 27 กรกฎาคม 2569; Revised 25 สิงหาคม 2569; Accepted 31 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากข้าวสีอินทรีสำหรับการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ ได้แก่ โจ๊กข้าวสีอินทรีกึ่งสำเร็จรูป เครื่องดื่มผงขงจากข้าวสีอินทรี และเซรั่มบำรุงผมจากสารสกัดข้าวสีอินทรี โดยศึกษาข้าวสีอินทรี 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวหอมเวสสันตะระ ข้าวเจ้าหอมดำสุตะบุตร ข้าวทับทิมชุมแพ และข้าวสังข์หยด สำหรับผลิตภัณฑ์โจ๊กกำหนดวัตถุดิบรองในสัดส่วนเดียวกันทุกสูตร โดยแปรรูปเฉพาะสายพันธุ์ข้าว และประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี คุณสมบัติทางชีวภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนข้าวสีต่อน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโจ๊กเท่ากับ 1:11 และสภาวะการทำแห้งด้วยลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 130–140 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1 รอบต่อนาที ผลิตภัณฑ์โจ๊กมีค่าความสว่าง (L^*) 48.27–53.46 ค่าความหนืด 412.58–542.54 cP ค่า pH 7.26–7.65 ความชื้นร้อยละ 3.12–3.41 และค่า aw 0.36–0.38 ด้านคุณสมบัติทางชีวภาพ พบว่าโจ๊กจากข้าวเจ้าหอมดำสุตะบุตรมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงที่สุดเท่ากับ 104.32 ± 0.70 ขณะที่โจ๊กจากข้าวหอมเวสสันตะระมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุด เท่ากับ 37.51 ± 0.45 mg CGE/100 กรัม และ 120.32 ± 1.10 mg GAE/g dw ตามลำดับ การประเมินทางประสาทสัมผัสด้วย 9-point Hedonic Scale จากผู้บริโภค 50 คน พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.40–6.36 คะแนน โดยโจ๊กจากข้าวเจ้าหอมดำสุตะบุตรได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด 6.36 คะแนน รองลงมาคือข้าวทับทิมชุมแพ (6.05) ข้าวสังข์หยด (6.00) และข้าวหอมเวสสันตะระ (5.40) สำหรับเครื่องดื่มผงขงจากข้าวสีอินทรี สูตรอัตราส่วนข้าวสีอินทรีต่อสารสกัด 85:15 ให้ปริมาณแอนโทไซยานิน 14.50 mg/L และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ร้อยละ 85.09 และการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 5 ให้ผลด้านการคงปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยในระดับสูง ส่วนเซรั่มบำรุงผมจากสารสกัดข้าวสีอินทรีมีค่า pH ประมาณ 5.00 มีความคงตัวทางกายภาพ ไม่แยกชั้น มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคร้อยละ 96 ผลการศึกษาสะท้อนถึงความเป็นไปได้ในการนำข้าวสีอินทรีมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีรูปแบบการใช้ประโยชน์หลากหลาย และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์และศึกษาความพร้อมสำหรับการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ต่อไป

คำหลัก: ข้าวสีอินทรี; โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป; เครื่องดื่มผงขงจากข้าวสีอินทรี; เซรั่มบำรุงผม; สารต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

This study aimed to develop and evaluate the quality of prototype products from organic pigmented rice for commercial applications, including instant organic pigmented rice porridge, an organic pigmented rice powdered beverage, and a hair serum containing organic pigmented rice extract. Four organic pigmented rice varieties, namely Hom Wessantara, Jao Hom Dam Sutabut, Tubtim Chumphae, and Sangyod, were investigated. For the instant porridge formulations, all supplementary ingredients were maintained at the same proportions, while the rice variety was varied. The developed products were evaluated for their physical, chemical, biological, and sensory acceptance properties. The results showed that the optimum rice-to-water ratio for instant porridge production was 1:11, and suitable drum-drying conditions were 130–140°C at a drum speed of 1 rpm. The instant porridge products exhibited L^* values ranging from 48.27 to 53.46, viscosities of 412.58–542.54 cP, pH values of 7.26–7.65, moisture contents of 3.12–3.41%, and water activity (a_w) values of 0.36–0.38. Regarding biological properties, the porridge prepared from Jao Hom Dam Sutabut rice exhibited the highest DPPH radical-scavenging activity (104.32 ± 0.70), whereas the Hom Wessantara rice porridge showed the highest total anthocyanin content (37.51 ± 0.45 mg CGE/100g) and total phenolic content (120.32 ± 1.10 mg GAE/g dw). Sensory evaluation using a 9-point hedonic scale with 50 consumers showed overall liking scores ranging from 5.40 to 6.36. Jao Hom Dam Sutabut rice porridge received the highest overall liking score of 6.36, followed by Tubtim Chumphae (6.05), Sangyod (6.00), and Hom Wessantara (5.40). For the powdered beverage, the formulation with a rice-to-extract ratio of 85:15 yielded the highest anthocyanin content (14.50 mg/L) and DPPH radical-scavenging activity (85.09%). The addition of 5% maltodextrin resulted in the highest retention of anthocyanins and antioxidant activity after spray drying. The hair serum had a pH of approximately 5.00, exhibited good physical stability without phase separation, met microbiological criteria, and achieved 96% consumer acceptance. These findings demonstrate the feasibility of utilizing organic pigmented rice to develop diverse prototype products and provide fundamental data for further product optimization and commercial application readiness.

Keywords: Organic pigmented rice; Instant rice porridge; Rice-based powdered beverage; Hair serum; antioxidant activity

1. บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญทั้งด้านเศรษฐกิจและการบริโภค โดยเฉพาะในประเทศไทยซึ่งมีความหลากหลายของพันธุ์ข้าวและภูมิปัญญาการผลิตข้าวในแต่ละพื้นที่ นอกจากข้าวขาวที่บริโภคโดยทั่วไปแล้ว "ข้าวสี" หรือข้าวที่มีสีของเยื่อหุ้มเมล็ด เช่น สีแดง สีม่วง และสีดำ ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีองค์ประกอบทางโภชนาการและสารพฤกษเคมีหลายชนิด โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และโปร

แอนโทไซยานิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ [1]

สีของข้าวมีความสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณของรงควัตถุธรรมชาติที่สะสมบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดและชั้นรำ โดยเฉพาะแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ และมีบทบาทสำคัญต่อสีแดง ม่วง และดำของเมล็ดข้าว งานวิจัยพบว่าปริมาณและรูปแบบของแอนโทไซยานินสามารถแตกต่างกันตามพันธุ์กรรมและชนิดของข้าว โดยข้าวสีดำมักมีแอนโทไซยานินสูงกว่าข้าวสีแดง และสารเหล่านี้สะสมในชั้นรำมากกว่าในส่วนอื่นของเมล็ด [2]

นอกจากแอนโทไซยานินแล้ว ข้าวสียังเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิดซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ [3], [4] การทบทวนวรรณกรรมพบว่าองค์ประกอบของสารเหล่านี้มีความแตกต่างกันระหว่างชนิดและสายพันธุ์ข้าว ดังนั้นการประเมินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจึงเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการพิจารณาคุณสมบัติของข้าวสีและผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาจากข้าวสี

การนำข้าวสีไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึงผลของกระบวนการแปรรูป เนื่องจากการทำแห้ง การบด และการให้ความร้อนสามารถส่งผลต่อสารพฤกษเคมีของข้าวสี งานทบทวนของ Tiozon และคณะ [1] รายงานว่ากระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อองค์ประกอบของสารพฤกษเคมีในข้าวสี การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum Drying) และการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) เป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้สำหรับผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป โดยการเลือกสภาวะที่เหมาะสมและสารช่วยห่อหุ้มจะช่วยคงสารแอนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5], [6], [7]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวสีเพียงประเภทเดียว และยังขาดการบูรณาการองค์ความรู้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบหลายประเภทจากวัตถุดิบเดียวกัน พร้อมทั้งประเมินคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และการยอมรับของผู้บริโภคอย่างครบถ้วน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาข้าวสีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ 3 กลุ่ม ได้แก่ โจ๊กข้าวสีอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป เครื่องดื่มผงชงจากข้าวสีอินทรีย์ และเซรามบารุงผงจากสารสกัดข้าวสีอินทรีย์ โดยประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามลักษณะที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากข้าวสีอินทรีย์ ได้แก่ โจ๊กข้าวสีอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป เครื่องดื่มผงชงจากข้าวสีอินทรีย์ และเซรามบารุงผงจากสารสกัดข้าวสีอินทรีย์
2. เพื่อประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี คุณสมบัติทางชีวภาพ และการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

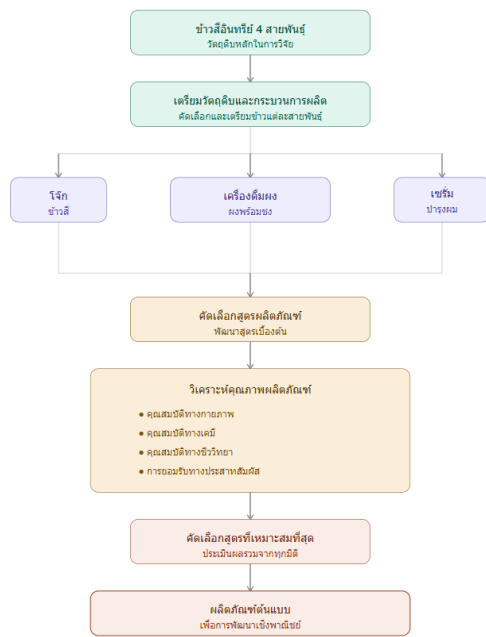
2. วิธีดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยข้าวสีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเจ้าหอมเวสสันดรอินทรีย์ ข้าวทับทิมชุมแพอินทรีย์ ข้าวเจ้าหอมคำสุตะบุตรอินทรีย์ และข้าวสังข์หยดอินทรีย์ วัตถุดิบรองได้แก่ ขิง ต้นหอม แครอท และผักเชียงดา ได้รับจากบริษัท หงษ์สุวรรณ ออร์แกนิกฟาร์ม จำกัด และวิสาหกิจชุมชนสนั่นหาพนสมุนไพรอินทรีย์ จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนซอสปรุงรสถ้วยเกลือผงออร์แกนิก (Chat Organic) ได้รับจากบริษัท เอ็น เอส ที ฟู้ด อินดัสทรี กรุ๊ป จำกัด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ข้าวสีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เครื่องกลั่นระเหยสาร สูญญากาศแบบหมุน (Rotary evaporator, Buchi R-300, Switzerland) เครื่องสกัดด้วยไมโครเวฟ (Microwave extractor, CEM MARS 6, USA) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Shimadzu UV-1800, Japan) เครื่องปั่นละเอียด (Homogenizer, IKA T25, Germany) เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic cleaner, Elmasonic S, Germany) เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter, Konica Minolta CR-400, Japan) เครื่องวัดความหนืด (Viscometer, Brookfield DV-E, USA) เครื่องวัดค่าน้ำอิสระ (Water Activity Meter, Novasina MS1, Switzerland) และเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Twin drum dryer, Biro, USA) ส่วนสารเคมีที่ใช้ได้แก่ เอทานอล เมทานอล และน้ำกลั่น (deionized water; DI water) ดังรูปที่ 2 และมีรายละเอียดการดำเนินการวิจัยดังนี้



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมข้าวชั้นสำหรับการผลิตโจ๊ก

การผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปใช้ข้าวสาลีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์ โดยซังข้าวสาลีสายพันธุ์ละ 1 กิโลกรัม คัดแยกสิ่งแปลกปลอม ล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง แล้วต้มในน้ำ 13 ลิตร ที่อุณหภูมิ 90–100 °C เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นพักให้เย็นและปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนนำไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบ ลูกกลิ้งคู่ (Twin drum dryer) ที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 130–140 °C และความเร็วรอบ 1 รอบต่อนาที แผ่นโจ๊กที่ได้ถูกอบต่อในตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้น ก่อนบดเป็นผง และเก็บในภาชนะปิดสนิทสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพ

วัตถุดิบรอง ได้แก่ แครอท ต้นหอม ชิง และผักเชียงดา โดยแครอทหั่นเป็นลูกเต๋ารูปร่างขนาดประมาณ 0.5 × 0.5 × 0.5 เซนติเมตร แล้วนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 10 นาที ส่วนต้นหอม ชิง และผักเชียงดาถูกหั่นให้มีขนาดเหมาะสม จากนั้นอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบดจึงอบแห้งให้เป็นผงก่อนนำไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วัตถุดิบรอง ชิง ต้นหอม แครอท ผักเชียงดา

2.1.1 การพัฒนาสูตรโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

ทำการพัฒนาสูตรโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ข้าวสาลีอินทรีย์ทั้ง 4 สายพันธุ์เป็นตัวแปรหลัก และกำหนดอัตราส่วนของวัตถุดิบรองให้คงที่ในทุกสูตร ผลิตภัณฑ์แต่ละสูตรวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 4 กรรมวิธีซึ่งแตกต่างกันที่ชนิดของข้าวสาลีอินทรีย์ กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี ชีววิทยา และประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมของโจ๊กข้าวสาลีอินทรีย์

ส่วนผสม	ร้อยละ
ข้าวสาลี 1) ข้าวเจ้าหอมเวสสันตะระอินทรีย์ 2) ข้าวทับทิมชุมแพอินทรีย์ 3) ข้าวเจ้าหอมคำสุตะบุตรอินทรีย์ 4) ข้าวสังข์หยดอินทรีย์	83.02
ชิง	0.37
ต้นหอม	1.84
แครอท	3.69
ผักเชียงดา	1.85
ซีอิ๊วขาวผงอินทรีย์	9.23
รวม	100.00

2.2 การพัฒนาเครื่องต้มผงจากข้าวสาลีอินทรีย์

เครื่องต้มผงจากข้าวสาลีอินทรีย์พัฒนาจากข้าวสาลีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์ โดยใช้ข้าวสาลีอินทรีย์ น้ำตาลทราย กรดซิตริก และน้ำมันงาเป็นส่วนประกอบหลัก ข้าวสาลีอินทรีย์ถูกคัดแยกสิ่งแปลกปลอม ล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง และผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นคั่วที่อุณหภูมิ 70–80 °C เป็นเวลา 3 นาที ก่อนสกัด [8] ด้วยน้ำสะอาดปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 80–85 °C เป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองแยกกากออก [9] เติมน้ำเชื่อมฟรุคโตสร้อยละ 5 และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมมอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin, Roquette, France) ร้อยละ 15 ของน้ำหนักสารละลายผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer, Buchi B-290, Switzerland) โดยกำหนดอุณหภูมิขาเข้า 160 °C และอุณหภูมิขาออก 120 °C [6] วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 กรรมวิธีกรรมวิธีละ 3 ซ้ำ

2.3 การพัฒนาเซรั่มบำรุงผมจากข้าวสาลีอินทรีย์

เซรั่มบำรุงผมชนิดไม่ล้างออก (Leave-on Hair Serum) ได้รับการพัฒนาโดยใช้สารสกัดข้าวสาลีอินทรีย์เป็นสารออกฤทธิ์หลัก ร่วมกับสารสกัดดอกฮอปส์ (Hops extract) OGP complex extract และ Cassia alata extract โดยสารสกัด OGP complex extract เตรียมจากสารสกัดข้าวสาลีอินทรีย์ที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 70 โดยวิธี maceration ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองและระเหยตัวทำละลายออกด้วย Rotary evaporator ส่วน Cassia alata extract (Srichatchawan Herb, Thailand) และ Hops extract (NateX, Austria) ได้รับจากบริษัทผู้ผลิต โดยมีองค์ประกอบของสูตรตำรับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สูตรตำรับเซรั่มบำรุงผมชนิดไม่ล้างออก (Leave on Hair Serum)

ลำดับ	ส่วนประกอบ	ปริมาณ (% w/w)
1	น้ำบริสุทธิ์	81.55
2	Phenoxyethanol + Ethylhexylglycerin	1.00
3	Cassia alata extract	1.00
4	OGP complex extract	3.00
5	Hops extract	1.00
6	Organic colored rice extract	1.00
7	Fragrance	0.25
8	PEG-40 Hydrogenated Castor Oil	1.00
9	Ethanol	10.00
10	Polyquaternium-37	0.50
11	Cetrimonium Chloride	1.00
12	Menthol	0.25
13	น้ำมันมะกูดสกัดเย็น	0.10
รวม		100.00

2.4 การวิเคราะห์ทดสอบทางกายภาพ เคมีและ ชีวภาพ

2.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีอินทรีย์ได้รับการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ประกอบด้วย การวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter (Konica Minolta CR-400, Japan) รายงาน

ผลในระบบ CIE ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง-สีเขียว (a^*) และค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b^*) และวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Viscometer (Brookfield DV-E, USA) ภายใต้สภาวะการทดสอบเดียวกัน การทดลองดำเนินการ 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร วิเคราะห์โดยวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH Meter (Mettler Toledo S220, Switzerland) ที่ผ่านการสอบเทียบก่อนการใช้งาน ปริมาณความชื้น (Moisture content) วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC Official Methods (2019) โดยใช้วิธีอบแห้งจนได้น้ำหนักคงที่ และค่าน้ำอิสระ (Water Activity; aw) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Water Activity Meter (Novasina MS1, Switzerland) การทดลองดำเนินการ 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางชีวภาพ

คุณภาพทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ประเมินจากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) ตามวิธีของ [10], [11] วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร รายงานผลเป็น mg Trolox equivalent per 100g dry weight (mg TE/100g dw) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Trolox การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total Anthocyanin Content; TAC) ด้วยวิธี pH Differential Method ตามวิธีของ [12], [13] วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0 และ pH 4.5 รายงานผลเป็น mg Cyanidin-3-glucoside equivalent per 100g dry weight (mg CGE/100g dw) และการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content; TPC) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric method ดัดแปลงจาก [14] วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโน

เมตร รายงานผลเป็น mg Gallic acid equivalent per gram dry weight (mg GAE/g dw)

2.4.3.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH assay) ตามวิธีของ [10], [11] โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร และคำนวณร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (% DPPH inhibition) ตามสมการที่ (1)

$$\% \text{ DPPH}_{\text{Inhibition}} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

A_{control} คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH (Blank)

A_{sample} คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารสกัดผสมกับสารละลาย DPPH

ค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) นำไปเทียบกับกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox standard curve) ซึ่งสร้างจากการวัดค่าร้อยละการยับยั้งของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (เช่น 0, 50, 100, 200, 400 และ 800 μM) จากนั้นแปลงเป็นค่าความเข้มข้นของโทรลอกซ์ที่ให้ฤทธิ์เทียบเท่ากัน และคำนวณต่อเป็นหน่วยมิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัมของตัวอย่าง (mg Trolox equivalent per 100 g dry weight; mg TE/100 g dw) โดยคำนึงถึงปัจจัยเจือจาง (dilution factor) และปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total Anthocyanin Content; TAC)

วิเคราะห์ด้วยวิธี pH Differential Method ตามวิธีของ [12],[13] โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0 และ pH 4.5 ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณปริมาณแอนโทไซยานิน ทั้งหมดในรูปไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (Cyanidin-3-glucoside equivalent) ตามสมการที่ (2)

$$TAC = \frac{A \times MW \times DF}{\epsilon \times L} \times 1000 \quad (2)$$

เมื่อ

$$A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}}) \text{ pH } 1.0 - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}}) \text{ pH } 4.5$$

MW = น้ำหนักโมเลกุลของ Cyanidin-3-glucoside (306.7 g/mol)

DF = Dilution factor

ϵ = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงเชิงโมลาร์ (26,900 L/mol-cm)

L = ความยาวคิวเวต (1 cm)

2.4.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ

ฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content; TPC)

การวิเคราะห์วิธี Folin-Ciocalteu colorimetric method ดัดแปลงจาก [14] โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร และคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid standard curve) รายงานผลเป็น มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม (mg GAE/g dry weight)

2.4.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์จิ๊กข้าวสีอินทรีย์ดำเนินการโดยใช้ผู้บริโภคทั่วไป (Consumer test) จำนวน 50 คน ซึ่งผ่านการคัดเลือกโดยมีเกณฑ์คือ ผู้บริโภคที่มีสุขภาพดี ไม่แพ้อาหารที่ใช้ทดสอบ และให้ความยินยอมเข้าร่วมการทดสอบ การทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้ดำเนินการภายใต้การอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยผู้เข้าร่วมทุกคนลงนามให้ความยินยอมก่อนการทดสอบ โดยเตรียมตัวอย่างจิ๊กผงสูตรละ 5 กรัม เติมน้ำร้อนอุณหภูมิ $100 \pm 2^\circ\text{C}$ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เสิร์ฟที่อุณหภูมิประมาณ $60-70^\circ\text{C}$ ในภาชนะพลาสติกทนความร้อนขนาด 2 ออนซ์ที่ติดรหัสตัวอย่างแบบสามหลัก (Three-digit code) ประเมินความชอบด้วย 9-point Hedonic Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม นอกจากนี้ประเมินความเหมาะสมของคุณลักษณะด้วย 5-point Just About Right (JAR) Scale เพื่อประเมินความพอดีของสี เนื้อสัมผัส และความขุ่นหนืด

นอกจากนี้ ประเมินความเหมาะสมของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ด้วย 5-point Just About Right (JAR) Scale เพื่อประเมินความพอดีของสี เนื้อสัมผัส และความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งระดับคะแนนเป็น น้อยเกินไป พอดี และมากเกินไป เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงสูตรผลิตภัณฑ์ ผลการประเมินด้วยวิธี JAR นำมาวิเคราะห์ด้วย Penalty Analysis (Mean Drop Analysis) ตามวิธีของ [15] เพื่อระบุคุณลักษณะที่ส่งผลต่อความชอบของผู้บริโภค โดยคำนวณจากสมการที่ (3) - (4)

$$\text{Mean Drop} = \bar{x}_{\text{Not JAR}} - \bar{x}_{\text{JAR}} \quad (3)$$

$$\text{Total Penalty} = \text{Mean Drop} \times \% \text{Not JAR} \quad (4)$$

เมื่อ

$\bar{x}_{\text{Not JAR}}$ = ค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมของกลุ่มที่ประเมินว่าคุณลักษณะไม่พอดี

$\bar{x}_{\text{JAR}}$ = ค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมของกลุ่มที่ประเมินว่าคุณลักษณะพอดี

$\% \text{Not JAR}$ = % ผู้ประเมินที่ให้คะแนนไม่พอดี

2.4.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลเชิงปริมาณแสดงในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) จากชุดข้อมูลจำนวน 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีอินทรีย์

4 สายพันธุ์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ตามด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (Tukey HSD) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การวิเคราะห์ทางสถิติดำเนินการด้วยโปรแกรม SPSS version 26 (IBM, USA) ผลการประเมิน JAR นำมาวิเคราะห์ด้วย Penalty Analysis (Mean Drop Analysis) เพื่อระบุคุณลักษณะที่ส่งผลต่อความชอบของผู้บริโภค [15], [16]

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

ข้อมูลเชิงปริมาณแสดงในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) จากชุดข้อมูลจำนวน 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ตามด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Tukey HSD ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของโจ๊กข้าวสาลีอินทรีย์ทั้งหมด 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 3 และดังรูปที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของโจ๊กข้าวสาลีอินทรีย์

สูตรโจ๊กข้าวสาลีอินทรีย์	L*	a*	b*	ความหนืด (cP)
หอมเวสสันดรอินทรีย์	48.27 $\pm$ 0.25 ^d	9.37 $\pm$ 0.15 ^a	8.51 $\pm$ 0.18 ^b	542.54 $\pm$ 7.00 ^a
ทับทิมชุมแพอินทรีย์	52.46 $\pm$ 0.28 ^b	7.25 $\pm$ 0.14 ^b	10.75 $\pm$ 0.19 ^a	412.58 $\pm$ 6.00 ^d
เจ้าหอมคำสุตะบุตรอินทรีย์	48.94 $\pm$ 0.22 ^c	9.15 $\pm$ 0.16 ^a	8.67 $\pm$ 0.18 ^b	510.26 $\pm$ 7.00 ^b
สังข์หยดอินทรีย์	53.46 $\pm$ 0.27 ^a	7.64 $\pm$ 0.15 ^b	10.74 $\pm$ 0.19 ^a	432.41 $\pm$ 6.00 ^c

หมายเหตุ: ค่าแสดงเป็น mean $\pm$ SD (n = 3) อักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการเปรียบเทียบด้วย Tukey HSD ที่ระดับ $p < 0.05$

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าชนิดของข้าวสาลีอินทรีย์มีผลต่อค่า L*, a*, b* และความหนืดของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยโจ๊กข้าวสังข์หยดอินทรีย์มีค่า L* สูงที่สุด (53.46 $\pm$ 0.27) และแตกต่างจาก

สูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือทับทิมชุมแพอินทรีย์ (52.46 $\pm$ 0.28) เจ้าหอมคำสุตะบุตรอินทรีย์ (48.94 $\pm$ 0.22) และหอมเวสสันดรอินทรีย์ (48.27 $\pm$ 0.25) ตามลำดับ ค่า L* ที่สูงกว่าของข้าวสังข์หยดและทับทิมชุมแพอาจเนื่องมาจากปริมาณแอนโทไซยานินและรงควัตถุอื่นที่ต่ำ

กว่า ส่งผลให้สีของไส้จิ้งจอกอ่อนกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ในตารางที่ 5 ด้านความหนืดพบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยหอมเวสสันตะระอินทรีย์มีความหนืดสูงที่สุดเท่ากับ 542.54 ± 7.00 cP ความหนืดที่สูงกว่าของข้าวหอมเวสสันตะระอาจเกี่ยวข้องกับสัดส่วน อะมิโลสต่ออะมิโลเพกตินและโครงสร้างแป้งของข้าวพันธุ์นี้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Melini และคณะ [2] ที่พบว่าข้าวสีพันธุ์ที่มีอะมิโลสต่ำ มีแนวโน้มให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์สูงกว่า



ก) ลักษณะไส้ข้าวสีหอมดำสันตะบุตร



ข) ลักษณะไส้ข้าวสีสังข์หยด



ค) ลักษณะไส้ข้าวสีทับทิมชุมแพ



ง) ลักษณะไส้ข้าวสีเวสสันตะระ

รูปที่ 4 ลักษณะไส้ข้าวสีอินทรีย์ทั้ง 4 สายพันธุ์
ผสมวัตถุดิบรอง

3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณความชื้น (Moisture content) และค่าน้ำอิสระ (Water activity; aw) ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของไส้ข้าวสีอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณภาพทางเคมีของไส้ข้าวสีอินทรีย์

สูตรของไส้ข้าวสี	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ความชื้น (% wb)	น้ำอิสระ (a_w)
หอมเวสสันตะระอินทรีย์	7.65 ± 0.04^a	3.12 ± 0.04^c	0.370 ± 0.005^{ab}
ทับทิมชุมแพอินทรีย์	7.41 ± 0.04^b	3.24 ± 0.04^b	0.380 ± 0.006^a
เจ้าหอมดำสุตะบุตร	7.26 ± 0.04^c	3.41 ± 0.05^a	0.370 ± 0.005^{ab}
สังข์หยดอินทรีย์	7.34 ± 0.04^{bc}	3.15 ± 0.04^{bc}	0.360 ± 0.005^b

หมายเหตุ: ค่าแสดงเป็น mean $\pm$ SD ($n = 3$) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์พบว่าค่า pH ของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 7.26–7.65 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สูตรอยู่ในช่วง 3.12–3.41% (wb) ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก. ที่กำหนดไม่เกินร้อยละ 5 และค่า a_w อยู่ในช่วง 0.36–0.38 ซึ่งต่ำกว่า 0.60 แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยจากการเจริญของจุลินทรีย์

3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพของไส้ข้าวสีอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ได้แก่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (mg TE/100g dw) ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด Total Anthocyanin (mg CGE/100g dw) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด Total Phenolic (mg CGE/100g dw) แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพ

สูตรของไส้ข้าวสีอินทรีย์	DPPH (mg TE/100g dw)	Total Anthocyanin (mg CGE/100g dw)	Total phenolic (mg CGE/100g dw)
หอมเวสสันตะระอินทรีย์	98.24 ± 0.60^c	37.51 ± 0.45^a	120.32 ± 1.10^a
ทับทิมชุมแพอินทรีย์	102.65 ± 0.65^{ab}	28.64 ± 0.35^c	98.20 ± 0.90^b
เจ้าหอมดำสุตะบุตร	104.32 ± 0.70^a	35.15 ± 0.42^b	119.25 ± 1.10^a
สังข์หยดอินทรีย์	101.23 ± 0.60^b	27.98 ± 0.35^c	97.25 ± 0.90^b

หมายเหตุ: ค่าแสดงเป็น mean $\pm$ SD ($n = 3$) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก Tukey HSD ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH แตกต่างกันระหว่างสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเจ้าหอมคำสุตะบุตรอินทรีมีค่าสูงที่สุด (104.32 ± 0.70 mg TE/100g dw) ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยหอมเวสสันตะระอินทรีมีปริมาณสูงที่สุด (37.51 ± 0.45 mg CGE/100g dw) ความแตกต่างของปริมาณแอนโทไซยานินระหว่างสายพันธุ์สอดคล้องกับการศึกษาของ Gogoi และคณะ [3] ที่รายงานว่าปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามสายพันธุ์ โดยข้าวที่มีสีเข้มกว่ามักมีแอนโทไซยานินสูงกว่าสำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม พบว่าหอมเวสสันตะระอินทรี (120.32 ± 1.10 mg GAE/g dw) และเจ้าหอมคำสุตะบุตรอินทรี (119.25 ± 1.10 mg GAE/g dw) อยู่ในกลุ่ม a และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Melini และคณะ [2] ที่พบว่าข้าวสีที่มีสีเข้มมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าข้าวสีอ่อน

3.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

เพื่อประเมินการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวสีอินทรีทั้ง 4 สูตร ได้ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบทั่วไป จำนวน 50 คน ด้วยวิธีการประเมินความชอบแบบ 9-point Hedonic Scale และการประเมินความพอดีของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี 5-point Just About Right (JAR) Scale โดยประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชื้นเหนียว และความชอบโดยรวม [17] ผลการประเมินแสดงดังตารางที่ (6) – (7)

ตารางที่ 6 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวสีอินทรีด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale

สูตรของโจ๊กข้าวสี	ลักษณะปรากฏ	สี	รส	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
หอม	5.00	5.20	5.00	5.20	4.50	5.40
เวสสัน	±	±	±	±	±	±
ตะระอินทรี	1.20 ^b	1.15 ^b	1.18 ^b	1.21 ^b	1.25 ^b	1.16 ^b
หอมคำ	6.00	5.80	5.50	5.70	5.50	6.36
สุตะบุตร	±	±	±	±	±	±
อินทรี	1.10 ^a	1.08 ^a	1.12 ^{ab}	1.15 ^{ab}	1.16 ^a	1.05 ^a

สูตรของโจ๊กข้าวสี	ลักษณะปรากฏ	สี	รส	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ทับทิม	6.20	5.90	6.00	5.60	5.60	6.05
ชุมแพ	±	±	±	±	±	±
อินทรี	1.08 ^a	1.05 ^a	1.10 ^a	1.12 ^{ab}	1.10 ^a	1.08 ^a
สังข์หยด	5.50	5.70	5.80	5.55	5.70	6.00
อินทรี	±	±	±	±	±	±
	1.15 ^{ab}	1.10 ^{ab}	1.08 ^a	1.10 ^a	1.08 ^a	1.10 ^a

หมายเหตุ: ค่าแสดงเป็น mean $\pm$ SD, n = 50; อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก One-way ANOVA และ Tukey HSD ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาความชอบโดยรวม พบว่าโจ๊กข้าวสีเจ้าหอมคำสุตะบุตรอินทรีมีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด 6.36 ± 1.05 คะแนน รองลงมาคือ ทับทิมชุมแพอินทรี (6.05 ± 1.08) สังข์หยดอินทรี (6.00 ± 1.10) และหอมเวสสันตะระอินทรี (5.40 ± 1.16) โดยเจ้าหอมคำสุตะบุตร ทับทิมชุมแพ และสังข์หยดอยู่ในกลุ่มทางสถิติเดียวกัน (a) และมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าหอมเวสสันตะระ (b) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 7 ผลการประเมินด้วย 9-point Hedonic Scale และทิศทางการปรับปรุง (Just About Right Scale) ของโจ๊กข้าวสีอินทรี

คุณลักษณะที่ประเมิน	ควรลดลงมาก (%)	ควรลดลงเล็กน้อย (%)	เหมาะสมพอดี (%)	ควรเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (%)	ควรเพิ่มขึ้นมา (%)
สีของข้าว	0.00	10.00	50.00 $\pm$ 5.20	40.00	0.00
เนื้อสัมผัสของโจ๊ก	15.00	20.00	50.00 $\pm$ 4.80	15.00	0.00
ความหนืดของโจ๊ก	0.00	10.00	80.00 $\pm$ 4.10	10.00	0.00

หมายเหตุ: ค่าแสดงเป็น mean $\pm$ SD สำหรับกลุ่ม "เหมาะสมพอดี"; เกณฑ์พิจารณาความพอดี $\geq 65\%$ ถือว่าไม่จำเป็นต้องปรับปรุง [20]

3.5 การออกแบบฉลากบรรจุภัณฑ์แบบกล่อง

ออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับโจ๊กข้าวสีอินทรีทั้งสำเร็จรูปทั้ง 4 สายพันธุ์ในรูปแบบกล่องกระดาษ โดยใช้โปรแกรม Adobe Illustrator CC ในการออกแบบกราฟิกกล่องมีขนาด 10 $\times$ 14 $\times$ 3 ซม. (กว้าง $\times$ ยาว $\times$ สูง) วัสดุกล่องเป็นกระดาษ Duplex ขนาด 350 แกรม เคลือบ UV สูตรด้านด้านนอก ฉลากมีข้อมูลครบถ้วนตามข้อกำหนดฉลากอาหาร ประกอบด้วย ชื่อผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบ น้ำหนักสุทธิ วิธีการชง ข้อมูลโภชนาการ และข้อมูลผู้ผลิต โดยแต่ละสายพันธุ์มีสีพื้นฉลากที่แตกต่างกันเพื่อให้ผู้บริโภคสามารถแยกแยะผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ดังรูปที่ 5–8



รูปที่ 5 กล่องโจ๊กข้าวสีสังข์หยด



รูปที่ 6 กล่องโจ๊กข้าวสีหอมดำสันตะบุตร



รูปที่ 7 กล่องโจ๊กข้าวสีเวทเสสันตะระ



รูปที่ 8 กล่องโจ๊กข้าวสีทับทิมชุมแพ

4. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากข้าวสีอินทรีได้สำเร็จ 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ โจ๊กข้าวสีอินทรีกึ่งสำเร็จรูป เครื่องดื่มผงจากข้าวสีอินทรี และเซิร์มบำรุงผมจากสารสกัดข้าวสีอินทรี ซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยในการพัฒนาและประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปผลิตได้ด้วยอัตราส่วนข้าวสีต่อน้ำ 1:11 และสภาวะการทำแห้งด้วยลูกกลิ้งที่ 130–140°C ความเร็วรอบ 1 รอบต่อนาที โดยชนิดของข้าวสีมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี คุณสมบัติ

ทางชีวภาพ และการยอมรับของผู้บริโภคอย่างชัดเจน ข้าวเจ้าหอมคำสุตะบุตรให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ขณะที่ข้าวหอมเวทสันตะระให้ปริมาณแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุดสำหรับเครื่องดื่มผงขง สูตรที่เหมาะสมคืออัตราส่วนข้าวสีต่อสารสกัด 85:15 ร่วมกับมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 5 ซึ่งช่วยคงปริมาณแอนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่วนเซิร์มบำรุงผมมีความคงตัวทางกายภาพและปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงถึงร้อยละ 96 ประโยชน์ของงานวิจัย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของข้าวสีอินทรีในการต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ทั้งกลุ่มอาหารและผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม ซึ่งเป็นแนวทางเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าวสีอินทรีและสร้างทางเลือกใหม่ให้แก่ผู้บริโภค อีกทั้งข้อมูลกระบวนการผลิตและคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับผู้ประกอบการและเกษตรกรที่สนใจแปรรูปข้าวสีอินทรีในเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อยอด ควรศึกษาความคงตัวและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในสภาวะจริง ประเมินความปลอดภัยและต้นทุนการผลิตในระดับกิ่งอุตสาหกรรม รวมถึงทดสอบการยอมรับของตลาดในกลุ่มผู้บริโภคที่กว้างขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจก่อนขยายผลสู่การผลิตและจำหน่ายเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและความร่วมมือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Jr. N. Tiozon, K. J. D. Sartagoda, A. R. Fernie, and N. Sreenivasulu, "The nutritional profile and human health benefit of pigmented rice and the impact of post-harvest processes and product development on the nutritional

- components: A review," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 63, no. 19, pp. 3867–3894, Oct. 2021, doi: 10.1080/10408398.2021.1995697.
- [2] F. Colombo, C. Cappa, C. Bani, M. Magni, S. Biella, P. Restani, C. D. Lorenzo, "Characterization of color, phenolic profile, and antioxidant activity of Italian pigmented rice varieties after different technological treatments," *Food Bioscience*, vol. 53, Art. no. 102674, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.fbio.2023.102674.
- [3] P. Gogoi, P. Sharma, G. Goudar, A. Mahajan, and S. K. Banjara, "Phenolic composition and antioxidant potential of Indian pigmented rice landraces cultivated under identical agro-climatic conditions," *Journal of Cereal Science*, vol. 122, Art. no. 104120, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.jcs.2025.104120.
- [4] A. Z. Rupa, A. T. M. A. Rahim, Md. H. Hossain, and K. S. Ahmed, "Nutritional, phytochemical and antioxidant properties of Bangladeshi pigmented rice (red and black), grains and pseudograins," *Food Chemistry Advances*, vol. 6, Art. no. 100862, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.focha.2024.100862.
- [5] พรพิมล มูลแก้ว, "การสกัดสารเบต้ากลูแคนจากเห็ดนางฟ้าภูฐานด้วยคลื่นไมโครเวฟ," วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเกษตร), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2561.
- [6] วรารัตนา สมพงษ์, ภาสธีระศิลป์ วิสกุล และคณิน ศรีสาธิตกุลรัตน์, "การสกัดกัมเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica* L.) ด้วยไมโครเวฟและการใช้ในผลิตภัณฑ์แยมสตอว์เบอร์รี่," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 24, ฉบับที่ 2, เมษายน-มิถุนายน 2559.
- [7] อาริรัตน์ ซื่อดี, "การใช้คลื่นไมโครเวฟสกัดสารสำคัญของพืชสมุนไพร," *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, หน้า 1–14, มกราคม-เมษายน 2560.
- [8] R. Abarri, I. Toprakci, E. Kurtulbas, and S. Sahin, "Estimation of diffusion and mass transfer coefficients for the microwave-assisted extraction of bioactive substance from *Moringa oleifera* leaves," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 13, pp. 5125–5132, Mar. 2021.
- [9] ปาริชา ทองสุข, ศิริพร เพชรมูล, สุวิมล ประสม, วีรยุทธ บุญไทย, และ ปุณทริกา รัตนรงค์, "กรรมวิธีการสกัดและการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอเพื่อประโยชน์เชิงพาณิชย์," *วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร*, ปีที่ 39, ฉบับที่ 3 (พิเศษ), หน้า 571–577, 2551.
- [10] I. G. Zgoneanu, L. Williams, Z. Xu, and C. M. Sabliov, "Determination of antioxidant components in rice bran oil extracted by microwave-assisted method," *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 11, pp. 4910–4918, Jul. 2008.
- [11] S. Perino-Issartier and M. Abert-Vian, "Solvent free microwave-assisted extraction of antioxidants from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) food by-products," *Food and Bioprocess Technology*, vol. 4, pp. 1020–1028, Sep. 2011.
- [12] E. Kurtulbas, A. G. Pekel, M. Bilgin, D. P. Markris, and S. Sahin, "Citric acid-based deep eutectic solvent for the anthocyanin recovery from *Hibiscus sabdariffa* through microwave-assisted extraction," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 12, pp. 351–360, Jan. 2022.
- [13] J. Lee, R. W. Durst, and R. E. Wrolstad, "Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study," *Journal of AOAC International*, vol. 88, no. 5, pp. 1269–1278, Sep. 2005.

- [14] F. Namjooyan, R. Azemi, A. Imani, and M. Ramezani, "Determination of total phenolic content and antioxidant activity of *Teucrium polium* L.," *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, vol. 5, no. 2, pp. 81–86, 2010.
- [15] C. Wangcharoen, "Penalty analysis for improving consumer acceptability of instant rice porridge," *International Food Research Journal*, vol. 20, no. 4, pp. 1617–1622, 2013.
- [16] P. Narayanan, B. Chinnasamy, L. Jin, and S. Clark, "Use of just-about-right scales and penalty analysis to determine appropriate concentrations of stevia sweeteners for vanilla yogurt," *Journal of Dairy Science*, vol. 97, no. 6, pp. 3262–3272, Jun. 2014, doi: 10.3168/jds.2013-7365.
- [17] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, "ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์การโฆษณาอาหาร พ.ศ. 2561," ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 135, ตอนพิเศษ 322, หน้า 11, 17 ธันวาคม 2561

การศึกษาคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าบริเวณท่าอากาศยานนานาชาติ
ดอนเมือง กรุงเทพมหานคร

A Study of Sidewalk Quality and Pedestrian Environment in the Don Mueang
International Airport Area, Bangkok

อรุณรัตน์ รอดอาตม์¹, อรสา รัตนสินชัยบุญ¹ และ สุภาพร มานะจิตประเสริฐ^{1*}
Arunrat Rodart¹, Orrasa Rattanasinchai boon¹, Supaporn Manajitprasert^{1*}

¹ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง 10240

¹ Department of Geography, Faculty of Education, Ramkhamhaeng University, 10240

*Corresponding Author: supaporn@ru.ac.th

Received 17 มิถุนายน 2569; Revised 28 กรกฎาคม 2569; Accepted 21 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าบริเวณท่าอากาศยานนานาชาติดอนเมือง กรุงเทพมหานคร โดยประเมินด้านความปลอดภัย ความต่อเนื่องของเส้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวาง พร้อมเปรียบเทียบคุณภาพทางเท้าในพื้นที่ศึกษา การวิจัยใช้วิธีสำรวจภาคสนามใน 7 บริเวณศึกษา ซึ่งครอบคลุมเส้นทางเดินเท้าระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตร โดยดำเนินการสำรวจในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2568 เก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของทางเท้า ได้แก่ ความกว้าง สภาพพื้นผิว ความต่างระดับ ความลาดเอียง แสงสว่าง สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวาง แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพทางเท้าในแต่ละบริเวณศึกษา ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าในแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกัน โดยความกว้างของทางเท้าอยู่ระหว่าง 0.81–2.49 เมตร และมีเพียง 2 บริเวณที่มีความกว้างเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของกรุงเทพมหานครที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร ข้อจำกัดที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่ ความกว้างของทางเท้าไม่เพียงพอ ความไม่ต่อเนื่องของแนวทางเดิน การขาดสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ และการมีสิ่งกีดขวาง เช่น เสาไฟฟ้า ป้ายจราจร ต้นไม้ และสายไฟ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสะดวกและความปลอดภัยของผู้เดินเท้า ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการปรับปรุงทางเท้า โดยให้ความสำคัญกับการเพิ่มความต่อเนื่องของแนวทางเดิน การลดสิ่งกีดขวาง และการพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกให้รองรับผู้ใช้งานทุกกลุ่ม เพื่อส่งเสริมการเดินเท้าและการเข้าถึงระบบขนส่งสาธารณะอย่างปลอดภัย

คำหลัก: คุณภาพทางเท้า; สภาพแวดล้อมการเดินเท้า; ความสามารถในการเดินเท้า; การออกแบบเพื่อทุกคน; ท่าอากาศยานนานาชาติดอนเมือง

Abstract

This research aimed to investigate the quality of sidewalks and the pedestrian environment in the vicinity of Don Mueang International Airport, Bangkok, by evaluating four aspects: safety, route continuity, facilities, and obstacles, as well as comparing sidewalk quality among the study areas. A field survey was conducted at seven study sites covering approximately 6 kilometers of pedestrian routes during October 2025. Data were collected on the physical characteristics of sidewalks, including sidewalk width, pavement

condition, level differences, slope, lighting, facilities, and obstacles. The collected data were then comparatively analyzed to evaluate sidewalk quality across the study sites. The results revealed that sidewalk quality and the pedestrian environment varied among the study sites. Sidewalk widths ranged from 0.81 to 2.49 m, and only two study sites met the Bangkok Metropolitan Administration (BMA) standard requiring a minimum sidewalk width of 1.50 m. The major limitations included insufficient sidewalk width, discontinuous pedestrian routes, inadequate facilities for persons with disabilities, and the presence of obstacles such as utility poles, traffic signs, trees, and overhead cables, all of which affected pedestrian convenience and safety. The findings can be used to support sidewalk improvement by prioritizing route continuity, reducing physical obstructions, and improving accessibility facilities for all users, thereby promoting safe walking and improving access to public transportation.

Keywords: sidewalk quality; pedestrian environment; walkability; Universal Design; Don Mueang International Airport

1. บทนำ

ทางเท้าเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานเมืองที่มีบทบาทต่อความปลอดภัย ความสะดวก และการเข้าถึงของประชาชน โดยเป็นพื้นที่สาธารณะที่รองรับการเดินทางในชีวิตประจำวันและเชื่อมโยงการเดินทางระหว่างรูปแบบการขนส่งต่าง ๆ การเดินเท้าถือเป็นรูปแบบการเดินทางพื้นฐานที่ช่วยให้ประชาชนสามารถเข้าถึงสถานที่สำคัญ ระบบขนส่งสาธารณะ และกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเมืองได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้น การพัฒนาทางเท้าให้มีมาตรฐาน มีความปลอดภัย และเอื้อต่อการใช้งานของประชาชนทุกกลุ่ม จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการส่งเสริมคุณภาพชีวิต ความสามารถในการเดินเท้า (Walkability) และการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน [1], [2]

กรุงเทพมหานครได้ดำเนินนโยบาย "กรุงเทพฯ เดินได้เดินดี" เพื่อยกระดับคุณภาพทางเท้าและส่งเสริมการเดินทางด้วยการเดินเท้า โดยให้ความสำคัญกับพื้นที่เชื่อมต่อบริเวณขนส่งสาธารณะ เนื่องจากผลสำรวจพบว่าประชาชนร้อยละ 58.2 ใช้การเดินเท้าเพื่อเชื่อมต่อกับระบบขนส่งมวลชน โดยมีระยะการเดินเฉลี่ยประมาณ 800 เมตร หรือประมาณ 10 นาทีต่อครั้ง [3]–[5] อย่างไรก็ตาม แม้จะมีการปรับปรุงทางเท้าอย่างต่อเนื่อง แต่ยังคงพบปัญหาความไม่ต่อเนื่องของเส้นทาง สิ่งกีดขวาง สภาพพื้นผิวที่ชำรุด และข้อจำกัดในการเข้าถึงของผู้ใช้งานบางกลุ่ม ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัย ความสะดวก และประสิทธิภาพของการเดินเท้า [3], [4]

งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า ความต่อเนื่องของเส้นทาง ความกว้างของทางเท้า สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวาง เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเดินเท้า การเข้าถึงจุดหมายปลายทาง และการเชื่อมต่อกับระบบขนส่งสาธารณะ [6], [7] นอกจากนี้ คุณภาพของทางเท้ายังสะท้อนถึงประสิทธิภาพของการจัดการพื้นที่สาธารณะและการใช้ประโยชน์พื้นที่ในเขตเมือง [8]

บริเวณท่าอากาศยานนานาชาติดอนเมืองเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญด้านการคมนาคมของกรุงเทพมหานคร โดยเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างท่าอากาศยาน สถานีรถไฟฟ้ามหานคร ระบบรถโดยสารสาธารณะ และถนนสายหลัก อีกทั้งยังมีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่หลากหลาย ทั้งพื้นที่พักอาศัย สถานศึกษา โรงแรม หน่วยงานราชการ และพื้นที่พาณิชยกรรม ส่งผลให้มีผู้ใช้งานทางเท้าหลายกลุ่มและมีรูปแบบการเดินทางที่แตกต่างกัน จึงเหมาะสมสำหรับการศึกษาคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าในพื้นที่ดังกล่าว

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าบริเวณท่าอากาศยานนานาชาติดอนเมือง กรุงเทพมหานคร โดยพิจารณาองค์ประกอบด้านความปลอดภัย ความต่อเนื่องของเส้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวาง รวมทั้งเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าในพื้นที่ศึกษาต่าง ๆ เพื่อสะท้อนสภาพการใช้งานและ

ข้อจำกัดของพื้นที่ และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงและพัฒนาทางเท้าให้เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่

1.1. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.1.1 แนวคิดคุณภาพทางเท้าและการเดินเท้า

การเดินเท้าเป็นรูปแบบการเดินทางพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญต่อการเข้าถึงจุดหมายปลายทางและการเชื่อมต่อการเดินทางระหว่างรูปแบบการขนส่งต่าง ๆ โดยเฉพาะการเชื่อมต่อในระยะทางสั้นหรือระยะทางกิโลเมตรสุดท้าย ซึ่งมีผลต่อความสะดวกในการเดินทางและการเข้าถึงระบบขนส่งสาธารณะของประชาชน [1] ขณะเดียวกัน คุณภาพของทางเท้ายังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสภาพแวดล้อมการเดินเท้า เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับความปลอดภัย ความสะดวก และการเข้าถึงพื้นที่ต่าง ๆ ของผู้ใช้งาน โดยทางเท้าที่มีคุณภาพสามารถสนับสนุนการเดินทางในชีวิตประจำวัน ส่งเสริมการใช้พื้นที่สาธารณะ และเอื้อต่อการใช้งานของประชาชนในเขตเมือง [9],[10]

1.1.2 การประเมินคุณภาพทางเท้า

การประเมินคุณภาพทางเท้าเป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อมการเดินเท้า เพื่อสะท้อนความเหมาะสมของทางเท้าต่อการใช้งานของประชาชน โดยทั่วไปนิยมใช้การสำรวจภาคสนามร่วมกับการพิจารณาองค์ประกอบด้านต่าง ๆ ของทางเท้า ในต่างประเทศได้มีการพัฒนาเครื่องมือมาตรฐานสำหรับการประเมินคุณภาพทางเท้าหลายรูปแบบ เช่น Pedestrian Environment Review System (PERS) [11], Pedestrian Environmental Quality Index (PEQI) [12], Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS) [13] และ Global Walkability Index [14] ซึ่งใช้ประเมินลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และบริบทของแต่ละพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ ปุณณวิช นาสงวณิช และคณะ [6] ได้ศึกษาคุณภาพทางเท้าที่ส่งผลต่อการเลือกเดินเท้าเพื่อเชื่อมต่อระบบขนส่งมวลชนทางราง โดยใช้ตัวชี้วัดด้านความปลอดภัย ความสะดวก และสภาพแวดล้อมในการประเมินคุณภาพทางเท้า

1.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางเท้า

งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า คุณภาพทางเท้าได้รับอิทธิพลจากทั้งปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยด้านการจัดการพื้นที่

โดยปัจจัยทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ความปลอดภัย ความสะดวกของเส้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวาง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการใช้งานและประสิทธิภาพของสภาพแวดล้อมการเดินเท้า [7], [15] นอกจากนี้ มาริสา หิรัญติยะกุล [16] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งเสริมเมืองเดินได้สำหรับผู้สูงอายุในเขตเมืองนครราชสีมา พบว่า ความกว้างของทางเท้า ความปลอดภัย ความต่อเนื่องของเส้นทาง และการจัดเตรียมสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้ใช้งาน เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพสภาพแวดล้อมการเดินเท้า โดยทางเท้าที่มีความกว้างเหมาะสม มีสิ่งกีดขวางน้อย และสามารถเชื่อมต่อการเดินทางได้อย่างต่อเนื่อง จะช่วยส่งเสริมความสะดวกและความปลอดภัยในการเดินเท้าของประชาชน ขณะเดียวกัน คุณภาพทางเท้ายังเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการพื้นที่สาธารณะ การบำรุงรักษา และการควบคุมการใช้ประโยชน์พื้นที่ ซึ่งอาจก่อให้เกิดข้อจำกัดในการใช้งานหรือปัญหาสิ่งกีดขวางบนทางเท้าได้ [8] โดยงานวิจัยในต่างประเทศยังพบว่าการบำรุงรักษาที่ไม่เพียงพอและการใช้พื้นที่สาธารณะอย่างไม่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพของสภาพแวดล้อมการเดินเท้าเช่นเดียวกัน [17], [18]

1.1.4 กรอบการศึกษาคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้า

จากการทบทวนแนวคิด แนวทางการประเมินคุณภาพทางเท้า และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ความปลอดภัย ความสะดวกของเส้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวาง เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพทางเท้าและการใช้งานของผู้เดินเท้า [6], [16] นอกจากนี้ แนวคิดการออกแบบเพื่อทุกคน (Universal Design) ตลอดจนแนวทางการออกแบบบาวิติและสิ่งแวดล้อมเพื่อทุกคน ยังให้ความสำคัญกับการพัฒนาสภาพแวดล้อมการเดินเท้าที่ปลอดภัย สะดวก และสามารถรองรับการใช้งานของประชาชนทุกกลุ่ม โดยเฉพาะผู้สูงอายุและผู้พิการ ผ่านการจัดให้มีเส้นทางเดินที่ต่อเนื่อง สิ่งอำนวยความสะดวกที่เหมาะสม และการลดสิ่งกีดขวางบนทางเท้า [19]

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดกรอบการประเมินคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้า โดยพิจารณา 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ความปลอดภัย ความสะดวกของเส้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวาง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การศึกษาคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้า

ด้าน	เกณฑ์การศึกษา
ความปลอดภัย	สภาพพื้นผิว ความต่างระดับ ความลาดเอียง แสงสว่าง
ความต่อเนื่องของเส้นทาง	ความกว้างทางเท้า ความต่อเนื่องของแนวทางเดิน
สิ่งอำนวยความสะดวก	ทางลาด ทางเดินสำหรับผู้พิการทางสายตา และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น
สิ่งกีดขวาง	เสาไฟฟ้า ป้ายจราจร ต้นไม้ สายไฟ และสิ่งกีดขวางอื่น

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา อยู่บริเวณฝั่งตรงข้ามท่าอากาศยานนานาชาติดอนเมือง กรุงเทพมหานคร ตามแนวถนนเชิดวุฒากาศ ซึ่งมีการใช้ประโยชน์ที่ดินหลากหลาย ได้แก่ พื้นที่พักอาศัย สถานศึกษา โรงแรม หน่วยงานราชการ และพื้นที่พาณิชย์กรรม โดยกำหนดบริเวณสำรวจจำนวน 7 บริเวณ ด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 2

2.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย

2.2.1 ข้อมูลปฐมภูมิ ซึ่งได้จากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมข้อมูลด้านลักษณะทางกายภาพของทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้า ได้แก่ ความกว้างของทางเท้า ความสูงของขอบทาง ลักษณะพื้นผิว ความต่อเนื่องของเส้นทาง สิ่งกีดขวาง สิ่งอำนวยความสะดวก และองค์ประกอบด้านความปลอดภัยของทางเท้า

2.2.2 ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ งานวิจัย บทความวิชาการ และเอกสารที่เกี่ยวข้อง ซึ่งใช้ในการทบทวนวรรณกรรมและกำหนดกรอบแนวคิดการศึกษา รวมถึงข้อมูลภูมิสารสนเทศจาก Google Earth และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ที่ใช้ในการกำหนดพื้นที่ศึกษา ระบุตำแหน่งบริเวณสำรวจ และจัดทำแผนที่ประกอบการวิเคราะห์

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย

2.3.1 แผนที่และภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth เพื่อกำหนดตำแหน่งจุดสำรวจและศึกษาลักษณะพื้นที่เบื้องต้น

2.3.2 ตลับเมตร สำหรับวัดความกว้างของทางเท้าและความสูงของขอบทาง

2.3.3 กล้องถ่ายภาพและโทรศัพท์มือถือ สำหรับบันทึกข้อมูลภาคสนามและสภาพแวดล้อมการเดินเท้า

2.3.4 แบบสำรวจสภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้า ซึ่งจัดทำขึ้นจากการทบทวนแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยเกณฑ์การพิจารณา 4 ด้าน ได้แก่ ความปลอดภัย ความต่อเนื่องของเส้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวาง โดยใช้สำหรับบันทึกข้อมูลลักษณะทางกายภาพของทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าในแต่ละบริเวณสำรวจ

2.3.5 โปรแกรม Microsoft Excel สำหรับจัดเก็บและจัดการข้อมูล และโปรแกรม QGIS สำหรับจัดทำแผนที่และแสดงตำแหน่งบริเวณศึกษา

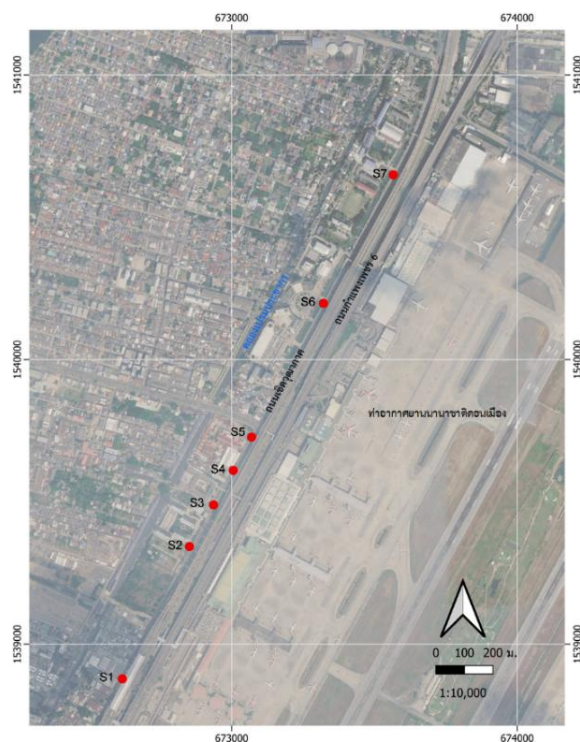
2.4 วิธีการรวบรวมข้อมูล

2.4.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากแผนที่ ภาพถ่ายดาวเทียม และเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อเตรียมสำรวจภาคสนาม

2.4.2 การสำรวจภาคสนามดำเนินการในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2568 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาจำนวน 7 บริเวณ รวมระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตร เพื่อเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าตามเกณฑ์การศึกษาที่กำหนด โดยดำเนินการวัดความกว้างของทางเท้า ความสูงของขอบทาง และบันทึกข้อมูลลักษณะพื้นผิว ความต่อเนื่องของเส้นทาง สิ่งกีดขวาง สิ่งอำนวยความสะดวก และองค์ประกอบด้านความปลอดภัยของทางเท้า ตามแบบสำรวจที่กำหนด พร้อมบันทึกภาพประกอบการวิเคราะห์

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) โดยจัดหมวดหมู่ข้อมูลตามเกณฑ์การศึกษาทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ความปลอดภัย ความต่อเนื่องของเส้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวาง สำหรับการประเมินความกว้างของทางเท้าใช้อ้างอิงเกณฑ์มาตรฐานของกรุงเทพมหานครที่กำหนดความกว้างทางเท้าไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร [20] จากนั้นจึงเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าระหว่างบริเวณสำรวจ เพื่ออธิบายสภาพการใช้งาน ข้อจำกัด และความแตกต่างของแต่ละบริเวณศึกษา



รูปที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งสำรวจ (S1-S7)

บริเวณท่าอากาศยานนานาชาติดอนเมือง กรุงเทพมหานคร

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ลักษณะทางกายภาพของทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้า

จากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ศึกษาจำนวน 7 บริเวณ พบว่าความกว้างของทางเท้ามีค่าระหว่าง 0.81-2.49 เมตร ขณะที่ลักษณะพื้นผิว สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวางแตกต่างกันตามลักษณะของแต่ละบริเวณ ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ผลการศึกษาสรุปตามเกณฑ์การศึกษาคุณภาพทางเท้า และสภาพแวดล้อมการเดินเท้าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 และแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2 โดยจำแนกออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่ ความปลอดภัย ความต่อเนื่องของเส้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวาง ดังนี้

3.1.1 ด้านความปลอดภัย

ผลการศึกษาพบว่า บริเวณหน้าสถานีรถไฟฟ้าดอนเมือง มีสภาพพื้นผิวทางเท้าค่อนข้างเรียบและมีแสงสว่างเพียงพอ จึงเอื้อต่อการสัญจรของผู้เดินเท้า ขณะที่หน้าโรงเรียนวัดดอนเมือง (ทหารอากาศอุทิศ) พบพื้นผิวทางเท้าขรุขระ มีความลาดเอียงและความต่างระดับ รวมทั้งมีเสาไฟฟ้าและป้ายจราจรกีดขวางทางเดินเป็นบางช่วง ทำให้ผู้เดินเท้าต้องหลบสิ่งกีดขวาง หรือในบางช่วงต้องลงเดินบนผิวจราจร

นอกจากนี้ หน้าวัดดอนเมืองพระอารามหลวงและหน้าบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) ยังพบพื้นผิวทางเท้าค่อนข้างขรุขระ มีความต่างระดับ และมีแสงสว่างไม่เพียงพอ ในบางช่วงของเส้นทางเดิน ซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน

3.1.2 ด้านความต่อเนื่องของเส้นทาง

ผลการศึกษาพบว่า ความต่อเนื่องของเส้นทางเดินเท้าแตกต่างกันในแต่ละบริเวณศึกษา โดยหน้าโรงเรียนวัดดอนเมือง (ทหารอากาศอุทิศ) มีความกว้างของทางเท้าเพียง 0.81 เมตร ซึ่งน้อยที่สุดในพื้นที่ศึกษา ทำให้พื้นที่สำหรับการสัญจรค่อนข้างจำกัด และในบางช่วงผู้เดินเท้าต้องลงเดินบนผิวจราจร ขณะที่หน้าแพลตฟอร์มท่าอากาศยานดอนเมือง เขต 6 หน้าบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) และหน้าโรงเรียนดอนเมืองทหารอากาศบำรุง พบว่าความต่อเนื่องของแนวทางเดินลดลง ส่งผลให้ผู้เดินเท้าต้องเปลี่ยนแนวการเดินหรือหลีกเลี่ยงบางช่วงของเส้นทาง

3.1.3 ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก

ผลการศึกษาพบว่า สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้เดินเท้ายังมีความแตกต่างกันในแต่ละบริเวณศึกษา โดยหน้าสถานีรถไฟฟ้าดอนเมืองพบทางเดินสำหรับผู้พิการทางสายตาในบางช่วง ขณะที่หน้าโรงเรียนดอนเมืองทหารอากาศบำรุงพบทางลาดสำหรับรถเข็น อย่างไรก็ตาม หน้าแพลตฟอร์มท่าอากาศยานดอนเมือง เขต 6 หน้าโรงเรียนวัดดอนเมือง (ทหารอากาศอุทิศ) หน้าวัดดอนเมืองพระอารามหลวง และหน้าบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) ไม่พบสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ เช่น ทางเดินสำหรับผู้พิการทางสายตา หรือทางลาดสำหรับรถเข็น

3.1.4 ด้านสิ่งกีดขวาง

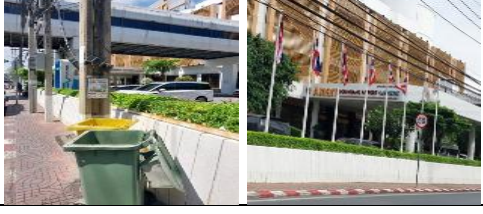
ผลการศึกษาพบว่า สิ่งกีดขวางบนทางเท้าส่วนใหญ่ ได้แก่ เสาไฟฟ้า ป้ายจราจร ต้นไม้ และสายไฟ โดยหน้าแพลตฟอร์มท่าอากาศยานดอนเมือง เขต 6 พบเสาไฟฟ้า ป้ายจราจร และสายไฟกีดขวางทางเดิน ขณะที่หน้าโรงเรียนวัดดอนเมือง (ทหารอากาศอุทิศ) พบเสาไฟฟ้าและป้ายจราจรตั้งอยู่ภายในแนวทางเดิน ส่วนหน้าบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) และหน้าโรงเรียนดอนเมืองทหารอากาศบำรุง พบเสาไฟฟ้า ป้ายจราจร และต้นไม้รกกล้าพื้นที่ทางเดิน ส่งผลให้ผู้เดินเท้าต้องหลบสิ่งกีดขวางระหว่างการสัญจร

ตารางที่ 2 สรุปลักษณะทางกายภาพของทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าในพื้นที่ศึกษา

รหัสจุด	บริเวณสำรวจ	ความปลอดภัย	ความต่อเนื่องของเส้นทาง	สิ่งอำนวยความสะดวก	สิ่งกีดขวาง
S1	หน้าสถานีรถไฟฟ้าดอนเมือง	พื้นผิวคอนกรีตเรียบ แสงสว่างเพียงพอ	ความกว้าง 2.49 ม. แนวทางเดินต่อเนื่อง	ทางเดินสำหรับผู้พิการทางสายตา	เสาไฟฟ้าและป้ายจราจรบางส่วน
S2	หน้าแพลตฟอร์มอาคารดอนเมือง เขต 6	พื้นผิวขรุขระบางช่วง	ความกว้าง 1.71 ม. แนวทางเดินไม่ต่อเนื่อง	ไม่พบสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ	เสาไฟฟ้า ป้ายจราจร และสายไฟ
S3	หน้าโรงแรมอมารี ดอนเมือง แอร์พอร์ต	พื้นผิวคอนกรีตเรียบ	ความกว้าง 1.39 ม. ทางเท้าคอนกรีตแบริดจ์	ไม่พบสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ	เสาไฟฟ้าบางส่วน
S4	หน้าโรงเรียนวัดดอนเมือง (ทหารอากาศอุทิศ)	พื้นผิวขรุขระ มีความลาดเอียงและความต่างระดับ	ความกว้าง 0.81 ม. แนวทางเดินไม่ต่อเนื่อง	ไม่พบสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ	เสาไฟฟ้าและป้ายจราจร
S5	หน้าวัดดอนเมืองพระอารามหลวง	พื้นผิวคอนกรีตขรุขระ แสงสว่างไม่เพียงพอ	ความกว้าง 1.40 ม. ทางเท้าคอนกรีตแบริดจ์	ไม่พบสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ	เสาไฟฟ้าและป้ายจราจร
S6	หน้าบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)	พื้นผิวขรุขระ มีความต่างระดับ และแสงสว่างไม่เพียงพอ	ความกว้าง 1.31 ม. แนวทางเดินไม่ต่อเนื่อง	ไม่พบสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ	เสาไฟฟ้า ต้นไม้ และป้ายจราจร
S7	หน้าโรงเรียนดอนเมืองทหารอากาศบำรุง	พื้นผิวเรียบและสะอาด	ความกว้าง 1.32 ม. ทางเท้าคอนกรีตแบริดจ์	ทางลาดสำหรับรถเข็น	เสาไฟฟ้า ป้ายจราจร และต้นไม้

หมายเหตุ: ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม

ตารางที่ 3 การสำรวจลักษณะทางกายภาพของทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้า

บริเวณสำรวจ	ภาพประกอบ
S1 บริเวณหน้าสถานีรถไฟฟ้าดอนเมือง	
S2 บริเวณหน้าแพลตฟอร์มอาคารจอดรถเมืองเขต 6	
S3 บริเวณหน้าโรงแรมมารี ดอนเมือง แอร์พอร์ต	
S4 บริเวณหน้าโรงเรียนวัดดอนเมือง (ทหารอากาศอุทิศ)	
S5 บริเวณหน้าวัดดอนเมือง พระอารามหลวง	
S6 บริเวณหน้าบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)	
S7 บริเวณหน้าโรงเรียนดอนเมืองทหารอากาศบำรุง	

3.2 การเปรียบเทียบคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าในพื้นที่ศึกษา

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าในพื้นที่ศึกษาทั้ง 7 บริเวณ พบว่าคุณภาพทางเท้าในแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกันทั้งด้านความปลอดภัย ความต่อเนื่องของเส้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวก และสิ่งกีดขวาง ดังแสดงในตารางที่ 2

บริเวณหน้าสถานีรถไฟฟ้าดอนเมืองมีลักษณะทางเท้าที่เอื้อต่อการเดินเท้ามากที่สุดเมื่อเทียบกับบริเวณศึกษาอื่น โดยมีความกว้างของทางเท้า 2.49 เมตร พื้นผิวคอนกรีตเรียบ แนวทางเดินต่อเนื่อง และมีทางเดินสำหรับผู้พิการทางสายตา ขณะที่หน้าโรงเรียนวัดดอนเมือง (ทหารอากาศอุทิศ) พบข้อจำกัดหลายด้าน ได้แก่ ความกว้างของทางเท้าเพียง 0.81 เมตร พื้นผิวขรุขระ มีความลาดเอียงและความต่างระดับ รวมทั้งมีสิ่งกีดขวางภายในแนวทางเดิน ส่งผลให้การสัญจรของผู้เดินเท้าไม่สะดวก เมื่อพิจารณาภาพรวม พบว่าความกว้างเฉลี่ยของทางเท้าในพื้นที่ศึกษาเท่ากับ 1.49 เมตร และมีเพียง 2 จาก 7 บริเวณ (ร้อยละ 28.57) ที่มีความกว้างเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของกรุงเทพมหานครซึ่งกำหนดให้มีความกว้างไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร แสดงให้เห็นว่าทางเท้าส่วนใหญ่ในพื้นที่ศึกษายังมีข้อจำกัดด้านความกว้างของแนวทางเดิน

บริเวณหน้าแพลตฟอร์มทหารอากาศดอนเมือง เขต 6 และหน้าบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) มีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ พบสิ่งกีดขวางหลายประเภท เช่น เสาไฟฟ้า ป้ายจราจร สายไฟ และต้นไม้ ส่งผลให้แนวทางเดินไม่ต่อเนื่อง ขณะที่หน้าวัดดอนเมืองพระอารามหลวงพบพื้นผิวคอนกรีตขรุขระและแสงสว่างไม่เพียงพอ ส่วนหน้าโรงเรียนดอนเมืองทหารอากาศบำรุง แม้มีทางลาดสำหรับรถเข็น แต่ยังพบเสาไฟฟ้า ป้ายจราจร และต้นไม้รูกล้ำพื้นที่ทางเดิน ทำให้พื้นที่สำหรับการสัญจรของผู้เดินเท้าลดลง

เมื่อพิจารณาความกว้างของทางเท้าร่วมกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ทางเท้ามีความกว้างไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร [20] พบว่ามีเพียง 2 บริเวณ ได้แก่ หน้าสถานีรถไฟฟ้าดอนเมือง และหน้าแพลตฟอร์มทหารอากาศดอนเมือง เขต 6 ที่เป็นไปตามเกณฑ์ ขณะที่อีก 5 บริเวณมีความกว้างต่ำกว่าเกณฑ์ โดยเฉพาะหน้าโรงเรียนวัดดอนเมือง (ทหารอากาศอุทิศ) ซึ่งมีความกว้างเพียง 0.81 เมตร สะท้อนให้เห็นว่าทาง

เท้าในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ยังมีข้อจำกัดด้านพื้นที่สำหรับการสัญจรของผู้เดินเท้า

3.3 อภิปรายผล

ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นว่าคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าในพื้นที่โดยรอบท่าอากาศยานนานาชาติดอนเมืองมีความแตกต่างกันในแต่ละบริเวณ โดยพื้นที่ที่มีทางเท้ากว้าง พื้นผิวเรียบ และมีแนวทางเดินต่อเนื่อง เช่น หน้าสถานีรถไฟฟ้าดอนเมือง เอื้อต่อการสัญจรของผู้เดินเท้ามากกว่าพื้นที่ที่มีความกว้างจำกัดหรือมีสิ่งกีดขวางภายในแนวทางเดิน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ปุณณวิช นาแสงวานิช และคณะ [6] ที่รายงานว่าคุณภาพของทางเท้ามีอิทธิพลต่อการเลือกเดินเท้าเพื่อเชื่อมต่อกับระบบขนส่งมวลชนทางราง ผลการศึกษาดังกล่าวอาจสัมพันธ์กับการเป็นพื้นที่เชื่อมต่อระบบขนส่งสาธารณะ ทั้งท่าอากาศยานนานาชาติดอนเมืองและสถานีรถไฟฟ้าสนามบินเมืองสายสีแดง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการสัญจรของผู้เดินเท้าค่อนข้างหนาแน่น และอาจได้รับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการเข้าถึงระบบขนส่งสาธารณะมากกว่าบริเวณอื่น อย่างไรก็ตาม ข้อสังเกตดังกล่าวเป็นการอภิปรายจากบริบทของพื้นที่ศึกษา และไม่ได้เป็นตัวแปรที่ผู้วิจัยศึกษาหรือทดสอบโดยตรงในการวิจัยครั้งนี้

นอกจากนี้ ผลการศึกษายังพบว่าสิ่งกีดขวาง เช่น เสาไฟฟ้า ป้ายจราจร สายไฟ และต้นไม้ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้แนวทางเดินไม่ต่อเนื่อง และลดพื้นที่ใช้สอยสำหรับผู้เดินเท้า แม้ว่าบางบริเวณจะมีความกว้างของทางเท้าใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานก็ตาม ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของพิชชาภา เมฆมานะ [7] และสุรุฒิ ภูดิภัทรวิวัฒน์ [8] ที่พบว่าสิ่งกีดขวางและความไม่ต่อเนื่องของทางเท้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผู้เดินเท้า

ในด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ผลการศึกษาพบว่าทางเดินสำหรับผู้พิการทางสายตาและทางลาดสำหรับรถเข็นพบเพียงบางบริเวณเท่านั้น สะท้อนให้เห็นว่าการพัฒนาทางเท้าในพื้นที่ศึกษายังไม่สามารถรองรับการใช้งานของประชาชนทุกกลุ่มได้อย่างทั่วถึง ซึ่งไม่สอดคล้องกับหลักการออกแบบเพื่อทุกคน (Universal Design) ที่มุ่งส่งเสริมการเข้าถึงพื้นที่สาธารณะอย่างเท่าเทียมและปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งานทุกกลุ่ม

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าบริเวณท่าอากาศยานนานาชาติดอนเมือง กรุงเทพมหานคร และเปรียบเทียบคุณภาพทางเท้าในแต่ละบริเวณศึกษาตามเกณฑ์ด้านความปลอดภัย ความต่อเนื่องของเส้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวกและสิ่งกีดขวาง

ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพทางเท้าและสภาพแวดล้อมการเดินเท้าในแต่ละบริเวณศึกษามีความแตกต่างกัน โดยข้อจำกัดที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่ ความกว้างของทางเท้าไม่เพียงพอ ความไม่ต่อเนื่องของแนวทางเดิน การขาดสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ และการมีสิ่งกีดขวางภายในแนวทางเดิน ซึ่งล้วนส่งผลต่อความสะดวกและความปลอดภัยของผู้เดินเท้า เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานความกว้างทางเท้า พบว่าบริเวณศึกษาส่วนใหญ่ยังมีความกว้างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนและกำหนดลำดับความสำคัญในการปรับปรุงทางเท้า โดยให้ความสำคัญกับการเพิ่มความต่อเนื่องของแนวทางเดิน การลดสิ่งกีดขวาง และการจัดสิ่งอำนวยความสะดวกให้รองรับผู้ใช้งานทุกกลุ่ม เพื่อยกระดับคุณภาพทางเท้า ส่งเสริมการเดินเท้าที่สะดวกและปลอดภัย และสนับสนุนการเข้าถึงระบบขนส่งสาธารณะอย่างยั่งยืน

ข้อจำกัดของงานวิจัย คือ การศึกษาครั้งนี้มุ่งประเมินลักษณะทางกายภาพของทางเท้าเป็นหลัก และยังไม่ได้ศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้ทางเท้า ซึ่งอาจทำให้ผลการศึกษายังไม่ครอบคลุมมุมมองของผู้ใช้งานโดยตรง

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. การวางแผนปรับปรุงทางเท้าควรให้ความสำคัญกับบริเวณที่มีข้อจำกัดด้านความกว้างของทางเท้า ความต่อเนื่องของแนวทางเดิน และสิ่งกีดขวางเป็นลำดับแรก โดยเฉพาะบริเวณ S4 และ S6 ซึ่งพบข้อจำกัดหลายด้านที่อาจส่งผลกระทบต่อความสะดวกและความปลอดภัยของผู้เดินเท้า

2. แนวทางการพัฒนาทางเท้าในบริเวณ S1 ซึ่งมีความกว้างของทางเท้าเหมาะสม แนวทางเดินต่อเนื่อง และมีสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการทางสายตา สามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาหรือปรับปรุงทางเท้าในพื้นที่ที่มีบริบทใกล้เคียงกัน

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาความคิดเห็นและความพึงพอใจของผู้ใช้ทางเท้าร่วมกับการประเมินลักษณะทางกายภาพของทางเท้า เพื่อสะท้อนปัญหาและความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างรอบด้าน

2. ควรพัฒนาดัชนีหรือเกณฑ์การประเมินคุณภาพทางเท้าเพื่อใช้เปรียบเทียบคุณภาพทางเท้าและสนับสนุนการจัดลำดับความสำคัญของการปรับปรุงพื้นที่

3. ควรตรวจประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบทางกายภาพของทางเท้ากับหลักการออกแบบเพื่อทุกคน (Universal Design) และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถประเมินความเหมาะสมของทางเท้าในเชิงมาตรฐานได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

4. ควรประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ เช่น การวิเคราะห์โครงข่ายการเดินเท้า หรือการวิเคราะห์การเข้าถึงระบบขนส่งสาธารณะ เพื่อสนับสนุนการวางแผนปรับปรุงทางเท้าในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิพนธ์ บัญอ่อน และวงศ์พันธ์ ลิ้มเสนีย์, “การพัฒนาทางเท้าเพื่อกรุงเทพมหานครเมืองสะดวก: กรณีศึกษาทางเท้าตามแนวเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีเขียวอ่อน (สายสีลม),” *วชิรเวชสารและวารสารเวชศาสตร์เขตเมือง*, ปีที่ 64, ฉบับที่ 3, หน้า 213-222, 2563.
- [2] อภิรักษ์ ปาดล และพีระพล เอี่ยมตระกูล, “การวิเคราะห์ความสามารถในการเดินเท้าตามแนวคิดการพัฒนาพื้นที่รอบสถานีขนส่งมวลชน,” *วารสารวิชาการด้านสถาปัตยกรรมศาสตร์*, ปีที่ 19, ฉบับที่ 2, หน้า 19-33, 2565.
- [3] กรุงเทพมหานคร. “กรุงเทพฯ เดินได้ เดินดี: พัฒนาทางเดินเท้าคุณภาพ,” [ออนไลน์]. <https://greener.bangkok.go.th/pavement-bangkok/>. (เข้าถึงเมื่อ: 25 มกราคม 2569).
- [4] สำนักงานผู้ตรวจการแผ่นดิน. “ข้อเสนอแนะการแก้ไขปัญหาทางเท้าสาธารณะในกรุงเทพมหานคร,” [ออนไลน์]. https://ombstudies.ombudsman.go.th/ewt_news.php?nid=2831. (เข้าถึงเมื่อ: 25 มกราคม 2569).

- [5] ThaiPublica. “กทม. ปรับปรุงทางเท้าทั่วกรุงฯ ‘เดินได้ เดินดี’ น่าเดิน’ ทะลุเป้ากว่า 1,100 กม.” [ออนไลน์]. <https://thaipublica.org/2025/08/bkk-improved-sidewalks-pedestrian-friendly/>. (เข้าถึงเมื่อ: 28 มกราคม 2569).
- [6] ปุณณวิช นาแสงวานิช, คชาวุธ พรหมรินทร์ และพงษ์สันต์ บัณฑิตสกุลชัย, “อิทธิพลของคุณภาพทางเท้าต่อการเลือกเดินเท้าเพื่อเชื่อมต่อระบบขนส่งมวลชนทางราง,” *โครงการงานวิศวกรรมโยธา (บทความวิจัย), ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2567.
- [7] พิษชาภา เมฆมานะ, “การศึกษาสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมการเดินเท้ารอบสถานีรถไฟฟ้า: กรณีศึกษาสถานีปทุมวันและสถานีสุทธิสาร,” *วิทยานิพนธ์ ภา.สธ.ม. (ภูมิสถาปัตยกรรมศาสตร์), มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม*, 2566.
- [8] สุรวุฒิ วุฒิกัทรากวิวัฒน์, “แนวทางการจัดการทางเท้าสาธารณะที่เหมาะสมสำหรับประชาชนในกรุงเทพมหานคร,” *สารนิพนธ์ ปร.ม. (นโยบายและการจัดการสาธารณะ), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ*, 2565.
- [9] J. Gehl, *Cities for People*, Washington, DC: Island Press, 2010.
- [10] M. Southworth, “Designing the walkable city,” *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 131, no. 4, pp. 246-257, Dec. 2005. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9488(2005)131:4(246).
- [11] Transport Research Laboratory, *Pedestrian Environment Review System (PERS) User Guide (Application Guide AG40)*, TRL Limited, 2004.
- [12] San Francisco Department of Public Health, *The Pedestrian Environmental Quality Index (PEQI): An Assessment of the Physical Environment Through Systematic Pedestrian Survey*, Program on Health, Equity and Sustainability, San Francisco, CA, 2008.
- [13] Cain, K. L., Millstein, R. A., Geremia, C. M., Sallis, J. F., Adams, M. A., Frank, L. D., & Saelens, B. E. (2014). Contribution of streetscape audits to explanation of physical activity in four age groups based on the Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS). *Social Science & Medicine*, 116, 82–92. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2014.06.042>
- [14] H. V. Krambeck, “The Global Walkability Index,” Master’s thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 2006.
- [15] สมชัย เอี่ยมสะอาด และจิตาภา ถิรศิริกุล, “แนวทางการแก้ไขปัญหาด้านการเดินเท้าในพื้นที่เขตบางแค กรุงเทพมหานคร,” *วารสารการบริหารและสังคมศาสตร์ปริทรรศน์*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, หน้า 183-191, มีนาคม-เมษายน 2567
- [16] มาริสา หิรัญติยะกุล, “ปัจจัยที่ส่งเสริมเมืองเดินได้สำหรับผู้สูงอายุโดยใช้การท่องเที่ยวมรดกวัฒนธรรม: กรณีศึกษาย่านเมืองเก่านครราชสีมา ประเทศไทย,” *Asian Creative Architecture, Art and Design (ACAAD)*, vol. 39, no. 1, e278452, 2569. doi: 10.55003/acaad.2026.278452.
- [17] X. Huang, H. Liang, L. Zeng, and M. White, “Evaluating urban walkability: A comprehensive review of tools and techniques,” *Architectural Science Review*, vol. 68, no. 4, pp. 263-277, 2025. doi: 10.1080/00038628.2024.2410731.
- [18] S. A. Zakaria, M. A. Marzukhi, and A. F. Bakri, “Exploring urban liveability: The key performance indicators for walkability,” *Built Environment Journal*, vol. 22, Special Issue, pp. 399-414, 2025. doi: 10.24191/bej.v22iSI.5641.
- [19] สมาคมสถาปนิกผังเมืองไทย, *ข้อเสนอแนะการออกแบบทางเท้าและสิ่งแวดลอมเพื่อทุกคน (Design Recommendation on Pathways and Environments for All)*, กรุงเทพมหานคร: สมาคมสถาปนิกผังเมืองไทย, 2561.
- [20] กรุงเทพมหานคร, *รายงานการศึกษากายภาพถนนในกรุงเทพมหานคร ปี 2566*, กรุงเทพมหานคร: กองนโยบายและแผนงาน สำนักการวางผังและพัฒนาเมือง, 2567.

ภาคผนวก

คำแนะนำการส่งบทความ

ในขั้นตอนการส่งบทความ ผู้แต่งต้องตรวจสอบและปฏิบัติตามข้อกำหนดรายการตรวจสอบการส่งทุกข้อดังต่อไปนี้ และบทความอาจถูกส่งคืนให้กับผู้แต่งกรณีที่ไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดทั้งหมด

1. บทความเรื่องนี้ยังไม่เคยตีพิมพ์หรืออยู่ในระหว่างการพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในวารสารอื่น (หากมีกรุณาอธิบายในข้อความถึงบรรณาธิการ)
2. บทความเตรียมตามข้อกำหนด ทั้งในด้านของรูปแบบและการเขียนเอกสารอ้างอิง ตามคำแนะนำสำหรับผู้แต่ง (Author Guidelines)
3. บทความต้นฉบับเตรียมในรูปแบบของไฟล์ Microsoft Word และต้องแนบ "แบบฟอร์มการส่งบทความ" มาพร้อมกับบทความต้นฉบับ
4. ความรับผิดชอบของเนื้อหาต้นฉบับเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน และผู้เขียนได้ปฏิบัติตามจริยธรรมการตีพิมพ์ในการเผยแพร่บทความตามบทบาทและหน้าที่ของผู้เขียน ตามแนวทางของวารสารฯ
5. การแจ้งสถานะของบทความ การติดต่อผู้แต่งเพื่อการแก้ไขบทความ การตอบรับ/ปฏิเสธ การตีพิมพ์ จะดำเนินการผ่านระบบวารสารออนไลน์

การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับบทความวิจัยและบทความวิชาการผ่านระบบออนไลน์ Thaijo ที่เว็บไซต์

<https://li04.tci-thaijo.org/index.php/stjrmstk/index> และสามารถติดตามสถานะในเว็บไซต์ได้

การเตรียมต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์

คำแนะนำสำหรับผู้แต่ง (Author Guidelines)

การจัดเตรียมต้นฉบับ

ผู้แต่งมีหน้าที่จัดเตรียมต้นฉบับให้เป็นไปตามมาตรฐานของวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ต้นฉบับควรจัดพิมพ์ด้วยโปรแกรมพิมพ์เอกสาร เช่น Microsoft word มีความยาวไม่เกิน 15 หน้ากระดาษ A4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. รูปแบบ

1.1 ขนาดและการตั้งค่าหน้ากระดาษ

ขนาดของกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์กำหนดให้มีขนาดมาตรฐาน A4 โดยส่วนที่นอกเหนือจากส่วนของข้อความ ชื่อและที่อยู่ของผู้เขียนบทความ บทคัดย่อ และคำสำคัญ ให้พิมพ์แบบ 2 คอลัมน์ (Column) ซึ่งกำหนด การตั้งค่าหน้ากระดาษดังนี้

ริมขอบกระดาษด้านบน	2 ซม.
ริมขอบกระดาษด้านล่าง	2 ซม.
ริมขอบกระดาษด้านซ้าย	3 ซม.
ริมขอบกระดาษด้านขวา	2 ซม.
ระยะห่างระหว่างคอลัมน์	7 มม.

1.2 แบบอักษรและขนาด

ใช้รูปแบบตัวอักษร TH Sarabun PSK ในส่วนประกอบต่าง ๆ ของต้นฉบับ ดังนี้

ส่วนประกอบ	ขนาด	รูปแบบ	หมายเหตุ
ชื่อบทความภาษาไทยและอังกฤษ	18	ตัวหนา	แต่ละคำในชื่อภาษาอังกฤษให้พิมพ์อักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ ยกเว้น คำนำหน้านาม (articles; a, an, the) คำสันธาน (coordinate conjunctions; for, and, nor, but, or, yet, so) และ คำบุพบท (prepositions; in, on, at, etc.) นอกจากคำเหล่านี้จะถูกใช้นำชื่อเรื่อง
ชื่อผู้เขียนภาษาไทยและอังกฤษ	14	ปกติ	กำกับด้วยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียน เพื่อระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคน และผู้ที่เป็นผู้รับผิดชอบประสานงาน (Corresponding Author) ให้พิมพ์เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้หลังชื่อ

ส่วนประกอบ	ขนาด	รูปแบบ	หมายเหตุ
หน่วยงานของผู้เขียน ภาษาไทยและอังกฤษ	12	ปกติ	กำกับด้วยตัวเลขเดียวกับที่อยู่ด้านหลังชื่อผู้เขียน โดยใช้ ตัวเลขพิมพ์แบบยกสูง (Superscript) วางไว้ด้านหน้า หน่วยงานของผู้เขียน
ผู้นิพนธ์ประสานงาน	14	ปกติ	จัดกลางหน้ากระดาษ
บทคัดย่อ	14	ปกติ	จัดรูปแบบกระจายแบบไทย (Thai Distributed) ระยะห่างระหว่างบรรทัด (Line spacing) 1.0 บรรทัด
คำสำคัญ	14	ปกติ	แยกคำหลักด้วยเครื่องหมายอัฒภาค (;)
หัวข้อหลัก	16	ตัวหนา	พิมพ์ชิดริมซ้ายของคอลัมน์ กำหนดเป็นตัวเลข เรียง ตามลำดับ เช่น 1., 2., 3.
หัวข้อย่อย	14	ตัวหนา	พิมพ์ชิดริมซ้ายของคอลัมน์ กำหนดเป็นตัวเลข เช่น 1.1, 1.2
หัวข้อย่อยรองลงมา	14	ตัวหนา	พิมพ์ชิดริมซ้ายของคอลัมน์ โดยเยื้องเข้ามา 0.25 นิ้ว กำหนดหัวข้อเป็นตัวเลข เช่น 1.1.1, 1.1.2, 1.2.1, 1.2.2
เนื้อหา	14	ปกติ	จัดรูปแบบการพิมพ์ กระจายแบบไทย (Thai Distributed) ระยะห่างระหว่างบรรทัด (Line spacing) 1.0 บรรทัด

1.3 รูปภาพ ตาราง และสมการ

การนำเสนอรูปภาพและตารางสามารถนำเสนอต่อจากข้อความที่กล่าวถึงหรืออาจนำเสนอ
ภายหลังจากจบหัวข้อหรือนำเสนอในหน้าใหม่ ขนาดของรูปภาพและตารางไม่ควรเกินกรอบของคอลัมน์ แต่
หากรูปภาพและตารางมีขนาดใหญ่สามารถวางรูปและตารางให้ครอบคลุมพื้นที่ของทั้ง 2 คอลัมน์ได้ แต่ทั้งนี้
ต้องไม่เกินกรอบของการตั้งค่าหน้ากระดาษที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 1.1

- ทั้งรูปภาพและตารางจะต้องมีคำอธิบาย โดยคำอธิบายของรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพและ
อยู่กึ่งกลางคอลัมน์หรือกึ่งกลางหน้ากระดาษ หากรูปภาพใดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ให้มีการ
ระบุคำอธิบายของแต่ละส่วนโดยอาศัยตัวอักษรภาษาไทยในวงเล็บเรียงตามลำดับ เช่น (ก)
และ (ข) และภาพควรมีความละเอียดเพียงพอที่กำลังขยาย 100% ส่วนคำอธิบายตารางให้
พิมพ์ไว้เหนือตารางและชิดริมซ้ายของคอลัมน์หรือชิดริมซ้ายของกระดาษ
- การเรียงลำดับรูปภาพและตารางให้แยกการเรียงลำดับออกจากกัน พร้อมทั้งระบุหมายเลข
ลำดับรูปภาพและตารางในบทความให้เป็น รูปที่ และตารางที่ เช่น รูปที่ 1 รูปที่ 1 – 3
ตารางที่ 1 และ ตารางที่ 1 – 3 เป็นต้น

- การเขียนสมการให้เขียนไว้ประมาณกลางคอลัมน์และระบุลำดับของสมการโดยใช้ตัวเลขที่พิมพ์อยู่ในวงเล็บ เช่น (1), (2) เป็นต้น การกล่าวถึงสมการในบทความให้เป็น สมการที่ เช่น สมการที่ (1) และ สมการที่ (1) – (3) เป็นต้น การนิยามความหมายของสัญลักษณ์ให้เขียนไว้ก่อนแสดงสมการ หรือเขียนหลังจากแสดงสมการทันที

2. การจัดเรียงลำดับ

2.1 บทความวิจัย ควรมีส่วนประกอบต่าง ๆ เป็นลำดับ ดังนี้

- 1) ชื่อบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และมีความกระชับ
- 2) ชื่อผู้เขียน ระบุชื่อเต็มของผู้เขียน ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- 3) หน่วยงานของผู้เขียน ระบุชื่อหน่วยงาน ที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- 4) บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ และระบุคำสำคัญ จำนวน 3-5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- 5) บทนำ เรียบเรียงโดยแสดงถึงความสำคัญและที่มาของงานวิจัย วิจัยวรรณกรรมหรือทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง และวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
- 6) วิธีดำเนินงานวิจัย เรียบเรียงโดยแสดงวิธีการศึกษาตามขั้นตอน อธิบายหน่วยทดลองและแผนการทดลองที่ใช้ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง แสดงสมการเชิงสถิติพร้อมคำอธิบาย และระบุสถานที่ทดลองหรือสถานที่จัดเก็บตัวอย่างและข้อมูล
- 7) ผลและการอภิปรายผลการวิจัย เรียบเรียงผลการทดลองตามลำดับของวัตถุประสงค์ที่ศึกษา และวิธีการที่กำหนด และวิจารณ์ผลการทดลองเป็นการวิจารณ์ข้อค้นพบและอ้างอิงเอกสารหรืองานวิจัยของผู้ศึกษามาก่อนหน้านี้
- 8) สรุปผลการวิจัย เป็นการสรุปสาระสำคัญของงานวิจัย และ/หรือประโยชน์ของการประยุกต์ผลค้นพบที่ได้
- 9) กิตติกรรมประกาศ อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เรียบเรียงย่อหน้าเดียวแบบกระชับ ระบุแหล่งทุนวิจัย บุคคลและหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์หรือมีส่วนร่วมในงานวิจัย
- 10) เอกสารอ้างอิง เป็นการระบุแหล่งที่มาของข้อมูลและผู้เขียนอ้างอิงในบทความ ใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ตามรูปแบบของ IEEE

2.2 บทความวิชาการ ควรมีส่วนประกอบต่าง ๆ เป็นลำดับ ดังนี้

- 1) ชื่อบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และมีความกระชับ
- 2) ชื่อผู้เขียน ระบุชื่อเต็มของผู้เขียน ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

- 3) หน่วยงานของผู้เขียน ระบุชื่อหน่วยงาน ที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- 4) บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ และระบุคำสำคัญจำนวน 3-5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- 5) บทนำ เรียบเรียงโดยแสดงหลักการและเหตุผล หรือความเป็นมาหรือภูมิหลัง หรือความสำคัญของเรื่องที่เขียน รวมทั้งวัตถุประสงค์ ขอบเขตของเรื่อง หรือคำจำกัดความหรือนิยามต่าง ๆ
- 6) เนื้อเรื่อง เรียบเรียงโดยมีการจัดลำดับเนื้อหาสาระให้มีความต่อเนื่องกัน การใช้เทคนิคนำเสนอแบบต่าง ๆ เช่น กราฟ แผนภูมิ ตาราง หรือแผนภาพ มีการวิเคราะห์ วิพากษ์วิจารณ์ อย่างมีหลักการ และมีการใช้หลักฐานอ้างอิงอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ คำนึงถึงการใช้ภาษาและการสะกดให้ถูกต้องตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน
- 7) บทสรุป เป็นการสรุปประเด็นสำคัญของเรื่องนั้น ๆ อาจมีการสรุปในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง ดังนี้ เช่น การบอกถึงความสำคัญของผลลัพธ์และการนำไปใช้ การตั้งคำถามหรือประเด็นที่ท้าทายผู้อ่านนำไปพัฒนาต่อได้ เป็นต้น
- 8) กิตติกรรมประกาศ อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เรียบเรียงย่อหน้าเดียวแบบกระชับเพื่อขอบคุณบุคคลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
- 9) เอกสารอ้างอิง เป็นการระบุแหล่งที่มาของข้อมูลที่ผู้เขียนอ้างถึงในบทความ ใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ตามรูปแบบของ IEEE

3. การอ้างอิง

เขียนอ้างอิงตามรูปแบบของ IEEE

3.1 การเขียนอ้างอิงในส่วนของเนื้อหา (In-text citation)

เขียนอ้างอิงตามรูปแบบของ IEEE การอ้างอิงในส่วนของเนื้อหา ใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ประกอบด้วยตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บเหลี่ยม ซึ่งสอดคล้องกับรายการอ้างอิงในเอกสารอ้างอิง (references) โดยมีหลักการดังนี้

- 1) ใส่ตัวเลขในวงเล็บเหลี่ยม [] โดยเริ่มต้นหมายเลขอ้างอิงในข้อความด้วยหมายเลข 1 เช่น [1] และเรียงลำดับจากน้อยไปมากจนจบบทความ วางในตำแหน่งท้ายข้อความและอยู่ในระดับเดียวกันกับเนื้อหา เช่น การประเมินประสิทธิภาพของระบบและการประเมินความพึงพอใจใช้สถิติ [2] หรือวางในตำแหน่งท้ายชื่อบุคคลที่อ้างอิง เช่น Brown and Jones [3] หรือ Wood *et al.* [4]
- 2) การอ้างอิงซ้ำให้ใช้หมายเลขเดิมที่ใช้ก่อนหน้านั้นในบทความ
- 3) การอ้างอิงเอกสารหลายรายการพร้อมกัน ใช้วิธีการดังนี้

- อ้างอิง 2 รายการพร้อมกัน ให้ใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่น เช่น [1], [4]
- อ้างอิงมากกว่า 2 รายการ ที่ต่อเนื่องกัน ให้ใช้เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่น เช่น [3]-[5]
- อ้างอิงมากกว่า 2 รายการ ที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ให้ใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่น ในกรณีต่อเนื่อง และใช้เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่นในกรณีที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น [1]-[3], [17]

3.2 การเขียนอ้างอิงในส่วนของเอกสารอ้างอิง (References)

1) หนังสือ (Books)

รูปแบบ	[#] ชื่อผู้แต่ง, ชื่อหนังสือ, ครั้งที่พิมพ์, เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์, ปีที่พิมพ์.
Format	[#] Author. <i>Title of Book</i> , ed. Location: Publisher, Year, Pages.

- [1] R.H. Myers and D.C. Montgomery, *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments*, New York: John Wiley & Sons, 1995.
- [2] Y.D. Goswami, F. Kreith and J.F. Kreider, *Principles of Solar Engineering*, 2nd ed, Philadelphia: Taylor & Francis, 1999.
- [3] สมชาย ประสิทธิ์จุตระกูล, *การออกแบบและวิเคราะห์อัลกอริทึม*, กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC), 2553.

2) บทความจากวารสาร (Journal Articles)

รูปแบบ	[#] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” ชื่อวารสาร, ฉบับที่, ปีที่, หน้า, เดือน ปี.
Format	[#] Author, “Title of Article,” <i>Title of Journal</i> , Volume, Issue, Pages. Month. Year.

- [4] S.D. Waszkiewics, M.J. Tierney and H.S. Scott, “Development of coated, annular fins for adsorption chillers,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, no. 11-12, pp. 2222 – 2227, Aug. 2009.
- [5] พลอยพัทธ์ ศุภรัตน์ธัญญา สุนนมาลย์ จันทร์เอี่ยม ภาณุพันธ์ ลิ้มปชยาพร และจิตนภา ศิริรักษ์, “การศึกษาจลนศาสตร์และไอโซเทอมของการดูดซับบราซิไลน์จากฝางด้วยมอนต์มอริลโลไนท์,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 6, หน้า 989-1001, พฤศจิกายน – ธันวาคม 2562.

3) บทความจากการประชุมวิชาการ (Conference Proceedings in Print)

รูปแบบ	[#] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” ใน ชื่อการประชุมวิชาการ, วัน เดือน ปี ที่จัด, หน้า.
--------	--

Format	[#] Author, “Title of paper,” in <i>Title of Conference</i> , City, Country of conference, Month. Date Year, page.
---------------	--

- [6] S. Müller, D. Bermbach, S. Tai, and F. Pallas, “Benchmarking the Performance Impact of Transport Layer Security in Cloud Database Systems,” in *Proceeding of 2014 IEEE International Conference on Cloud Engineering*, Boston, Massachusetts, Mar. 11-14 2014, pp. 27-36.
- [7] นิอัฟพาน บินนิโซะ, นูรอิน สะมะแอ, กฤษณ์วรา รัตนโอภาส และสารภี จุลแก้ว, “ระบบเครือข่ายภายในเสมือน 10 Gigabit Ethernet บนเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะด้วยเทคโนโลยีเวอร์ชวลไลเซชัน,” ใน *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ครั้งที่ 8, จังหวัดภูเก็ต, 15 ธันวาคม 2559*, หน้า 726-735.

4) เว็บไซต์ (Websites)

รูปแบบ	[#] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อเรื่อง,” ชื่อเว็บไซต์ (ถ้ามี) [ออนไลน์]. http://... (เข้าถึงเมื่อ: วัน เดือน ปี).
Format	[#] Author, “Page Title,” Website Title [Online]. http://... (Retrieved Date Accessed).

- [8] V. Gill. “*Tyrannosaur’s last meal was two baby dinosaurs*,” BBC News [Online]. <https://www.bbc.com/news/science-environment-67642374>. (Accessed: Dec. 9, 2023).
- [9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. “การดำเนินงานด้านพลังงานและการจัดการก๊าซเรือนกระจก,” [ออนไลน์]. https://www.dede.go.th/articles?id=191&menu_id=1. (เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2566).

5) วิทยานิพนธ์ (Theses and Dissertations)

รูปแบบ	[#] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์,” วิทยานิพนธ์ ชื่อย่อปริญญา (สาขา), ชื่อมหาวิทยาลัย, ชื่อเมือง, ชื่อประเทศ, ปีที่พิมพ์.
Format	[#] Author, “Title of dissertation,” Ph.D. dissertation, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State, year. [#] Author, “Title of dissertation,” M.S. Thesis, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State, year.

- [10] J. O. Williams, "Narrow-band analyzer," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Harvard Univ., Cambridge, MA, 1993.
- [11] ปรีณทร เต็มญารศิริ, "การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู," วิทยานิพนธ์ วท.บ. (เคมี), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2551.

6) มาตรฐาน (Standard)

Format	[#] Title of Standard, Standard number, date.
--------	---

- [12] *IEEE Criteria for Class IE Electric Systems*, IEEE Standard 308, 1969.
- [13] *Letter Symbols for Quantities*, ANSI Standard Y10.5-1968.

7) คู่มือ (Handbook)

Format	[#] Name of Manual/Handbook, x Ed., Abbrev. Name of Co., City of Co., Abbrev. State, year, pp. xx-xx.
--------	---

- [14] *Transmission Systems for Communications*, 3rd Ed., Western Electric Co., Winston-Salem, NC, 1985, pp. 44-60.
- [15] *Motorola Semiconductor Data Manual*, Motorola Semiconductor Products Inc., Phoenix, AZ, 1989.
- [16] *RCA Receiving Tube Manual*, Radio Corp. of America, Electronic Components and Devices, Harrison, NJ, Tech. Ser. RC-23, 1992.

การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับบทความวิจัยและบทความวิชาการผ่านระบบออนไลน์ Thaijo ที่ <https://li04.tci-thaijo.org/index.php/stjmutk/about/submissions> และสามารถติดตามสถานะในเว็บบอร์ดดังกล่าวได้

การตรวจแก้ไขและการยอมรับการตีพิมพ์

- 1) การแจ้งสถานะของบทความ การติดต่อผู้แต่งเพื่อแก้ไขบทความ การตอบรับ/ปฏิเสธ การตีพิมพ์ จะดำเนินการผ่านระบบวารสารออนไลน์
- 2) บทความที่ยอมรับให้ตีพิมพ์ในวารสารจะต้องได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์จากผู้ทรงคุณวุฒิฯ หรือผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง (ทั้งภายในและภายนอก) อย่างน้อย 2 ท่าน

- 3) กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขบทความทุกเรื่องก่อนการพิมพ์ตามที่เห็นสมควร และจะส่งบทความที่แก้ไขแล้วให้ผู้แต่งเห็นชอบก่อนการพิมพ์

ข้อความลิขสิทธิ์ (Copyright text)

- 1) บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เป็นลิขสิทธิ์ของวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ อนุญาตให้นำข้อความ เนื้อหา รูปภาพ ไปพิมพ์เผยแพร่ได้ แต่ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ หรือมีเจตนาเอื้อผลประโยชน์ในทางธุรกิจใด ๆ
- 2) ข้อความที่ปรากฏในบทความแต่ละเรื่องเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้แต่งแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้แต่งแต่ละท่านจะรับผิดชอบบทความของตนเองแต่ผู้เดียว

จริยธรรมการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการ (Publication Ethics)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ถือเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิจัยและผลงานวิชาการระหว่างผู้นิพนธ์ นักวิจัย และสาธารณะ ดังนั้นเพื่อให้เกิดการสื่อสารทางวิชาการเป็นไปอย่างถูกต้อง มีคุณภาพ และโปร่งใส สอดคล้องกับมาตรฐานการตีพิมพ์ทั้งในระดับชาติและนานาชาติ จึงได้กำหนดแนวทาง วิธีปฏิบัติที่ดี และจริยธรรมของการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยหรือผลงานวิชาการตามแนวทางของวารสารฯ Committee on Publication Ethics (COPE) ไว้ดังนี้

1. บทบาทและหน้าที่ของกองบรรณาธิการ (Editor)

- 1.1 บรรณาธิการต้องยึดมั่นในหลักจริยธรรมการตีพิมพ์ และดำเนินการเพื่อให้เกิดการรับรองคุณภาพของบทความและมาตรฐานของวารสารฯ
- 1.2 บรรณาธิการมีหน้าที่สนับสนุนความถูกต้องทางวิชาการของบทความที่ตีพิมพ์ในวารสาร ดังนี้
 - พิจารณารูปแบบ ความครบถ้วนสมบูรณ์ คุณภาพของผลงาน ความทันสมัย และความชัดเจนของเนื้อหา
 - เป็นผู้ประเมินบทความเบื้องต้นและคัดเลือกบทความเข้าสู่กระบวนการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยพิจารณาจากความสอดคล้องกับนโยบายและขอบเขตของวารสาร
 - จัดให้มีการประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชานั้นๆ และมีระบบการปกปิดความลับของข้อมูลในบทความ และข้อมูลส่วนบุคคลของผู้เขียนบทความในระหว่างระยะเวลาการประเมิน
 - หากพบความไม่ถูกต้องในบทความที่ตีพิมพ์ไปแล้ว หรือข้อความที่ทำให้เกิดความเข้าใจผิด หรือข้อมูลที่บิดเบือน บรรณาธิการต้องทำการแก้ไขทันทีด้วยความชัดเจน
 - บรรณาธิการมีหน้าที่ตรวจสอบบทความไม่ให้มีการคัดลอกผลงานของผู้อื่น
- 1.3 บรรณาธิการต้องมีความโปร่งใส และไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนและผู้ประเมินบทความ
- 1.4 บรรณาธิการต้องเป็นผู้ตัดสินใจในการยอมรับหรือปฏิเสธการตีพิมพ์เผยแพร่บทความ
- 1.5 บรรณาธิการต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด หรือเพราะความสงสัยหรือไม่แน่ใจ จนกว่าจะมีหลักฐานพิสูจน์ข้อสงสัยเหล่านั้น
- 1.6 บรรณาธิการต้องไม่เปลี่ยนแปลงการตัดสินใจในการยอมรับหรือปฏิเสธการตีพิมพ์เผยแพร่บทความที่มีการตัดสินใจไปแล้ว ยกเว้นมีการพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงหรือปัญหาที่เกิดขึ้น
- 1.7 บรรณาธิการต้องให้โอกาสแก่ผู้เขียนในการอุทธรณ์ได้ หากผู้เขียนมีความคิดเห็นแตกต่างจากการตัดสินใจของบรรณาธิการ และสามารถชี้แจงหรือพิสูจน์คำตัดสินได้

2. บทบาทหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ (Reviewer)

- 2.1 ผู้ประเมินต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความที่ส่งมาพิจารณาแก่บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องในระหว่างที่บทความอยู่ในขั้นตอนการประเมิน
- 2.2 ผู้ประเมินควรรับประเมินบทความเฉพาะในสาขาวิชาที่ตนเชี่ยวชาญ โดยให้ความสำคัญกับการพิจารณาเนื้อหา ในบทความที่จะมีต่อสาขานั้นๆ คุณภาพของระเบียบวิธีวิจัยและการวิเคราะห์ และความเข้มข้นของเนื้อหา
- 2.3 ผู้ประเมินต้องประเมินบทความด้วยความเที่ยงตรง และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์และมีเหตุผลทางวิชาการ ไม่ใช่ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีเหตุผลทางวิชาการมารองรับมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา
- 2.4 ผู้ประเมินต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน อันที่จะไม่สามารถทำให้ประเมินหรือให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอย่างอิสระได้

3. บทบาทหน้าที่ของผู้เขียน (Author)

- 3.1 ต้นฉบับที่ส่งมาให้วารสารฯ พิจารณาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน
- 3.2 ผู้เขียนต้องไม่นำต้นฉบับที่อยู่ในระหว่างการประเมินของวารสารฯ ส่งไปยังวารสารอื่น
- 3.3 ผู้เขียนต้องนำเสนอข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงจากการวิจัย และไม่คัดลอกงานของผู้อื่นหรือทำให้ผู้อื่นเข้าใจผิดว่าเป็นผลงานเขียนของตนเอง
- 3.4 ผู้เขียนต้องระบุรายชื่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย (ถ้ามี) และแหล่งทุนสนับสนุน
- 3.5 ผู้เขียนต้องจัดเตรียมต้นฉบับบทความตามรูปแบบและข้อกำหนดของกองบรรณาธิการวารสารฯ
- 3.6 ผู้เขียนต้องยอมรับคำวิจารณ์ และต้องแก้ไขบทความ ชี้แจงตอบกลับ ในกรณีที่ผู้ประเมินอิสระมีมติให้ปรับปรุงแก้ไขต้นฉบับ
- 3.7 ผู้เขียนต้องอ้างอิงผลงานวิจัยของผู้อื่นหากมีการนำงานวิจัยเหล่านั้นมาใช้ในการวิจัยของตนเอง และต้องจัดทำรายการอ้างอิงตามรูปแบบของวารสาร

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY KRUNGTHEP

PTINT ISSN 2392-5647



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

โทร. 0-287-9600 ต่อ 2111, มือถือ 08-6415-2558

Email: science.st@mail.rmutk.ac.th