



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
SUKHOTHAI THAMMATHIRAT OPEN UNIVERSITY

ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - มิถุนายน 2568



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2568

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมิ เจือศิริภักดี

ประธานกรรมการประจำ สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บรรณาธิการ

อาจารย์ ดร.ชุตระกุล ศิริไพบูลย์

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฐากร พงษ์วันประสูต

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปราการเจริญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เปรมพร เขมาวุฒม์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏมรงค์ จตุรัส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.วลาชัย ร่มสายหยุด

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนกฤต โชติภาววิศ

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

รายนามคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ประจำฉบับ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชินฉันทย์ อารีประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษา สมเกียรติกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ศิลาวัณนาไนย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐากร พงษ์พานิช	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์ภา ประเสริฐศิลป์	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยนันท์ เรืองอุไร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภิรมย์ คงเลิศ	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
อาจารย์ ดร.แววบุญ แยมแสงสังข์	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
อาจารย์ ดร.ปิยะนุช มีธรรม	มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.จิรัฐกุล กล้าหาญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์พรชนก พิเรนทร	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
อาจารย์วุฒิกรณ์ จริยตันติเวช	มหาวิทยาลัยสยาม

ฝ่ายบริหารจัดการประจำฉบับ

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

9/9 หมู่ 9 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

โทรศัพท์ : 02-5048191 – 3 โทรสาร : 02-5034932

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานการวิจัยและผลงานวิชาการให้ทันสมัยและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง
2. เพื่อเป็นสื่อกลางและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการ
3. เพื่อส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพทางวิชาการของบุคลากรทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน, กรกฎาคม– ธันวาคม) ของทุกปี

ลักษณะของบทความ

1. ครอบคลุมในหัวเรื่องวิชาการและวิจัย
2. บทความที่นำเสนอต้องมีแนวทางสร้างสรรค์ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าของการศึกษา เศรษฐกิจ และสังคมโดยรวม
3. บทความที่นำเสนอต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการอื่นใดมาก่อน
4. ผู้เขียนจะต้องรับผิดชอบในข้อเขียน ข้อคิดเห็นของผู้เขียนต่อข้อกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่อบทความนั้น

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ฉบับนี้เป็นปีที่ 5 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน 2568 ซึ่งเป็นฉบับแรกของปีที่ 5 ของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีวัตถุประสงค์ สำคัญคือการเป็นพื้นที่ในการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ รวมถึงเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนแนวคิดให้กับ คณาจารย์และนักวิชาการทั่วไป เพื่อส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพทางวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยฉบับนี้ได้มีการเผยแพร่ผลงานทางวิจัยจำนวนทั้งสิ้น 4 บทความ ซึ่งบทความได้ผ่านการประเมิน คุณภาพ อย่างเข้มข้นจากผู้ทรงคุณวุฒิตามศาสตร์สาขาที่เกี่ยวข้องจากหลากหลายสถาบัน ทำให้มั่นใจได้ว่า ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่นี้มีคุณภาพสามารถนำไปศึกษาค้นคว้า อ้างอิง รวมถึง นำไปใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติได้ต่อไป

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิจากหลากหลายสถาบัน ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการประเมินคุณภาพของบทความเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ ขอขอบคุณนักวิชาการที่ให้ความไว้วางใจส่งผลงานเข้ารับการเผยแพร่ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการที่จะกระตุ้นความคิดและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้อันจะนำมาซึ่งกระบวนการทางความคิด รวมถึงให้องค์ความรู้ดังกล่าวทำหน้าที่ในการพัฒนาสังคมและประเทศชาติต่อไป

อาจารย์ ดร.ชูตระกูล ศิริไพบูลย์

บรรณาธิการ



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2568

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University

Vol.5, No.1, January - June 2025

สารบัญ

หน้า

1. การศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมาตรการลดผลกระทบ
กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่ง ในจังหวัดระยอง..... 1
สมบูรณ์ ใจประการ ชนกานต์ สุกุลแก้ว และธารทิพย์ ทองมี
2. การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์
กรณีศึกษาโรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม อำเภอยะรัง จังหวัดเลย..... 19
ชรินทร์ญา หวังวัชรกุล ขวลิศ ยศสุนทร และณัฐพล เพาะพืช
3. การหาสถานะที่เหมาะสมของผลผลิตไบโอชาร์จากกากข้าวโพดหวานผ่านกระบวนการไพโรไลซิส
แบบซ้ำด้วยการวิเคราะห์พื้นผิวดูดซับ..... 36
นพดล ปันจันทร์
4. แบบจำลองการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ โดยอาศัยวิธีการหน่วย
ความจำระยะสั้นแบบยาวและเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูตัสติง..... 48
อดิเรก ปันบุญ และวฤชาย รมสายหยุด

**การศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมาตรการลดผลกระทบ
กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่ง ในจังหวัดระยอง**
**An Assessment Study on Greenhouse Gas Emission and Mitigation Measures:
A Case Study of a Combined Cycle Power Plant in Rayong Province**

สมบุญ ใจประการ^{1*} ชนกานต์ สกุลแถว² และ ธารทิพย์ ทองมี³

^{1,3}คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันสารสนเทศเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

Somboon Chaiprakarn^{1*}, Chanakarn Sakulthaew² and Tarnthip Thongme³

^{1*}Faculty of Engineering, Science and Technology, Sarasas Suvarnabhumi Institute of Technology,

*E-mail: somboon.chn@svit.ac.th

²Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University,

E-mail: chanakarn.s@nsru.ac.th

³Faculty of Engineering, Science and Technology, Sarasas Suvarnabhumi Institute of Technology,

E-mail: tarntip.toe@svit.ac.th

วันที่รับบทความ 6 พฤษภาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 12 มิถุนายน 2568

วันตอบรับบทความ 23 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง โดยใช้ข้อมูลตลอดปี พ.ศ. 2567 ในการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ตามเอกสารแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรการแบ่งแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Scope 1) (2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Scope 2) และ (3) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากแหล่งอื่นๆ (Scope 3) โดยอาศัยข้อมูลทั้งจากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งเก็บรวบรวมจากกิจกรรมของโรงไฟฟ้าภายในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2567 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากกิจกรรมภายในโรงไฟฟ้าดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 424,240 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO₂eq) แยกเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Scope 1) จำนวน 331,513 tCO₂eq จากปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Scope 2) จำนวน 119 tCO₂eq และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากแหล่งอื่นๆ (Scope 3) จำนวน 92,608 tCO₂eq ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ความร้อน และไอน้ำ ทั้งที่ใช้ภายในองค์กรและเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้งานภายนอก ตลอดจนการสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งผ่านพลังงาน กระบวนการดังกล่าวมี

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลัก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ด้วยเหตุผลดังกล่าว องค์กรควรพิจารณานำแนวทางหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยพิจารณาทั้งความเหมาะสมต่อกระบวนการผลิตและความคุ้มค่าของการลงทุน

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก, มาตรการลดผลกระทบ, โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

ABSTRACT

This study aims to investigate greenhouse gas (GHG) emissions resulting from various activities within a combined cycle power plant located in Rayong Province, Thailand. The assessment focuses on emissions data collected throughout the calendar year 2024, specifically from electricity generation processes. The evaluation follows the methodology outlined by the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), which categorizes emissions into three scopes: (1) direct GHG emissions (Scope 1), (2) indirect GHG emissions from energy consumption (Scope 2), and (3) other indirect GHG emissions from external sources (Scope 3). The study utilizes both primary and secondary data, collected from the plant's operations between January and December 2024. The results reveal that the total GHG emissions from the plant's activities amounted to 424,240 metric tons of carbon dioxide equivalent (tCO_2eq), consisting of 331,513 tCO_2eq from direct emissions (Scope 1), 119 tCO_2eq from energy-related indirect emissions (Scope 2), and 92,608 tCO_2eq from other indirect sources (Scope 3).

The analysis indicates that the majority of GHG emissions originate from the production of electricity, heat, and steam—both for internal use and for distribution to external users—as well as from energy losses during transmission. The primary GHGs emitted in these processes include carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), and nitrous oxide (N_2O). Therefore, it is recommended that the organization consider adopting appropriate mitigation strategies or technologies to reduce GHG emissions from its electricity generation processes, taking into account both the technical feasibility and cost-effectiveness of such measures.

KEYWORDS: Greenhouse Gas, Mitigation Measures, Combine Cycle Power Plant

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกให้ความสนใจโดยเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) จากภาคพลังงานซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อน (Songpattanasilp, P. et al., 2025) ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคพลังงานคิดเป็นสัดส่วนมากกว่า 70% ของการปล่อยทั้งหมดโดยเฉพาะจากการผลิตไฟฟ้าและความร้อน (อรุณลักษณ์ จิรธนภิญโญ, 2562) จังหวัดระยองเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีการพัฒนาอุตสาหกรรมและการผลิตพลังงานอย่างเข้มข้น ส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2566) การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมในจังหวัดระยองจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อระบุแหล่งที่มาของการปล่อยและวางแผนมาตรการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาในระดับองค์กรช่วยให้องค์กรสามารถวางแผนกลยุทธ์ในการลดการปล่อยก๊าซ เช่น การปรับปรุง

ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การเปลี่ยนไปใช้พลังงานหมุนเวียน หรือการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้ยั่งยืนมากขึ้น (GHG Management Institute, 2024 และ สถาบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, 2566) นอกจากนี้ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ยังเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการสื่อสารความมุ่งมั่นขององค์กรต่อความยั่งยืนต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และสามารถใช้ในการรายงานตามกรอบการเปิดเผยข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม เช่น CDP หรือ ESG Reporting ซึ่งช่วยยกระดับภาพลักษณ์องค์กรและเพิ่มความเชื่อมั่นในหมู่นักลงทุนและสาธารณชน (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2561) การดำเนินการตามมาตรฐานเหล่านี้ไม่เพียงแต่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังเสริมสร้างความน่าเชื่อถือและภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กรในสายตาของสาธารณชนและนักลงทุน (Greenhouse Gas Protocol, 2024)

จังหวัดระยองเป็นหนึ่งในพื้นที่เศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย โดยเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ภายใต้เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor: EEC) ซึ่งมีอัตราการใช้พลังงานและการผลิตไฟฟ้าสูงมาก (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก, 2565) โรงไฟฟ้าหลายแห่งในพื้นที่ทำหน้าที่สนับสนุนระบบไฟฟ้าให้กับภาคอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม พลังงานที่ใช้ผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ยังคงเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสะสมในบรรยากาศ ในบริบทของความตกลงปารีส (Paris Agreement) ประเทศไทยได้ให้คำมั่นว่าจะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2573 หากได้รับการสนับสนุนจากนานาชาติ และได้จัดทำยุทธศาสตร์ระยะยาวเพื่อลดการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ (Carbon Neutrality) ภายในปี พ.ศ. 2593 (UNFCCC, 2015; ONEP, 2565) ดังนั้นหน่วยงานภาคพลังงานและโรงไฟฟ้าต่างๆ จึงต้องมีส่วนร่วมในการปรับตัวสู่ทิศทางดังกล่าว ด้วยการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตพลังงานอย่างเป็นระบบและดำเนินการลดผลกระทบอย่างเป็นรูปธรรม

การศึกษานี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสร้างฐานข้อมูลเชิงปริมาณในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง เพื่อประเมินสถานการณ์จริงและค้นหาแนวทางหรือเทคโนโลยีที่สามารถลดผลกระทบได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งไปกว่านั้น ข้อมูลที่ได้จากการศึกษายังสามารถใช้สนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายของหน่วยงานภาครัฐ ตลอดจนเสริมสร้างภาพลักษณ์ขององค์กรด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนในระดับนานาชาติ

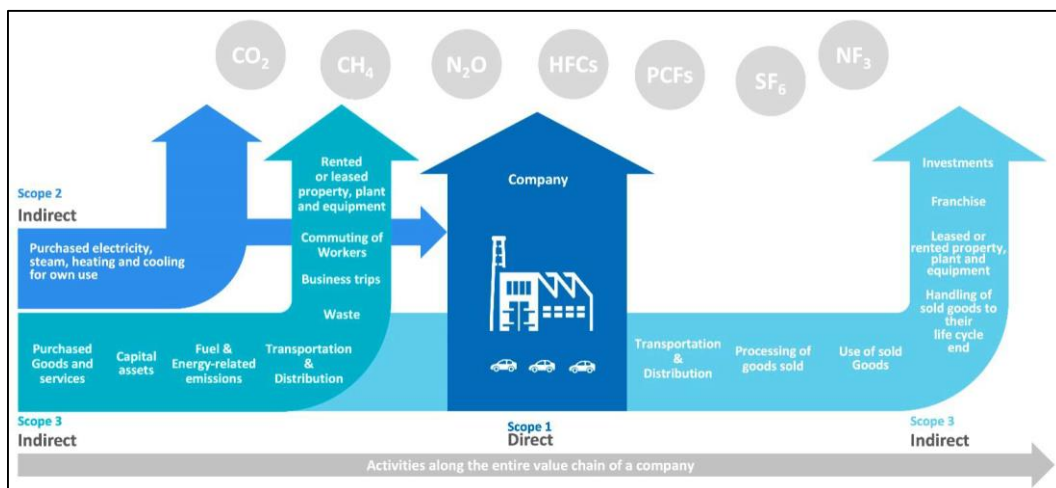
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเสนอแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเสนอแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลจากเว็บไซต์ ตำรา เอกสารทางวิชาการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย การศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) ได้แก่ ปริมาณรวมของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมของบุคคล องค์กร ผลิตภัณฑ์ หรือเหตุการณ์ใดๆ ตลอดช่วงอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์หรือกิจกรรมดังกล่าว (เกียรติจิร แก่นลา และคณะ, 2566) โดยการประเมินนี้มักรายงานในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) เช่น กิโลกรัม (kgCO_2eq) หรือ ตัน (tCO_2eq) เพื่อสะท้อนศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซแต่ละชนิดเมื่อเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์ การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ครอบคลุมการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจกที่สำคัญ 7 ชนิด ซึ่งได้รับการยอมรับภายใต้พิธีสารเกียวโต ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), มีเทน (CH_4), ไนตรัสออกไซด์ (N_2O), ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs), เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs), ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) ก๊าซแต่ละชนิดมีศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ที่แตกต่างกัน โดยการเปรียบเทียบนี้มักใช้ระยะเวลา 100 ปี เพื่อประเมินผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Center for Sustainable Systems, 2024 และ IPCC, 2006) ดังแสดงในรูปที่ 1 และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) เป็นกระบวนการในการวัดปริมาณ และรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กร ในช่วงเวลาที่กำหนด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุแหล่งที่มาของการปล่อยก๊าซดังกล่าว รวมถึงวางแผนเชิงกลยุทธ์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ (GHG Management Institute, 2024; Center for Sustainable Systems, 2024) มาตรฐานสากลที่เป็นที่ยอมรับในการดำเนินการประเมิน ได้แก่ ISO 14064-1 ซึ่งกำหนดกรอบการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกขององค์กร และ Greenhouse Gas (GHG) Protocol ที่จำแนกการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็น 3 ขอบเขต ได้แก่ Scope 1 การปล่อยโดยตรงจากแหล่งกำเนิดภายในองค์กร Scope 2 การปล่อยทางอ้อมจากการใช้พลังงานที่ซื้อ และ Scope 3 การปล่อยทางอ้อมจากกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทาน (Greenhouse Gas Protocol, 2024; ISO, 2018) นอกจากนี้ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ยังช่วยให้องค์กรสามารถระบุแหล่งที่มาหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และใช้ข้อมูลดังกล่าวในการพัฒนาแนวทางลดการปล่อย เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การเปลี่ยนมาใช้พลังงานหมุนเวียน หรือการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้ยั่งยืนมากขึ้น (Thanatrakolsri, P., & Sirithian, D., 2024) นอกจากนี้การประเมินดังกล่าวยังมีบทบาทสำคัญในการแสดงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมขององค์กรต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และเป็นองค์ประกอบสำคัญของการรายงานความยั่งยืนภายใต้กรอบการเปิดเผยข้อมูล เช่น Carbon Disclosure Project (CDP) หรือ Environmental, Social and Governance (ESG Reporting) ซึ่งช่วยยกระดับภาพลักษณ์องค์กรและเพิ่มความเชื่อมั่นในหมู่นักลงทุนและสาธารณชน (Econos ESG, 2024)

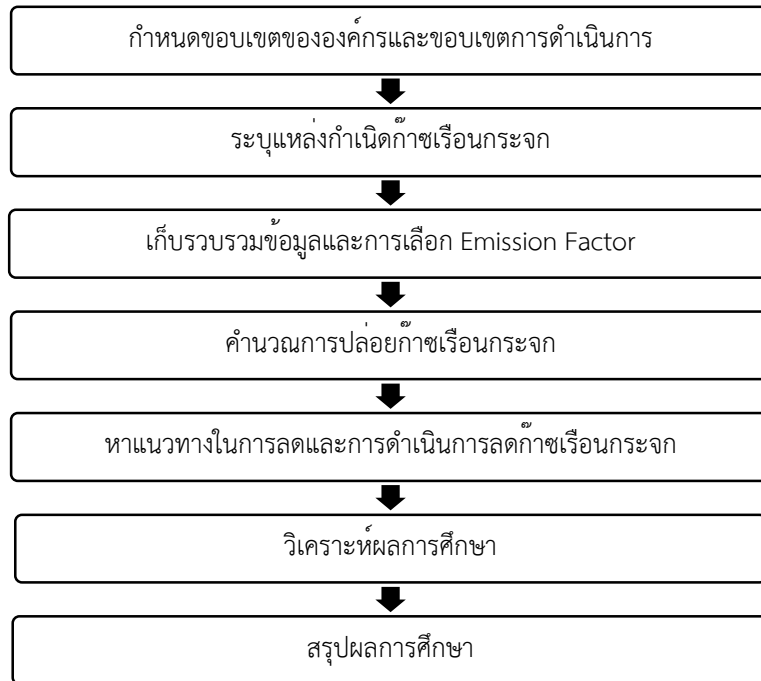


รูปที่ 1 ขอบเขตในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร

ที่มา: สถาบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (2566)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรมขององค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง มีรายละเอียดของขั้นตอนการศึกษา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงสำรวจโดยผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรตามแนวทางการประเมินที่กำหนดโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2561) การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการเป็นไปตามลำดับดังต่อไปนี้

- กำหนดขอบเขตขององค์กร

กำหนดขอบเขตขององค์กรในการศึกษานี้ใช้แนวทางการควบคุม (Control Approach) ซึ่งองค์กรเป็นผู้ดำเนินการประเมินและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2567 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 12 เดือน

- กำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน

จัดกลุ่มกิจกรรมการดำเนินงานที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็น 3 ขอบเขตการดำเนินงาน หลัก ได้แก่

ประเภทที่ 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร (direct emission) ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบอยู่กับที่ (stationary combustion) และแบบเคลื่อนที่ (mobile combustion) ในส่วนของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบอยู่กับที่ ปัจจุบันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติและ

เชื้อเพลิงสำรอง ได้แก่ น้ำมันดีเซล

ประเภทที่ 2 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (indirect emission) ได้แก่ การนำเข้าพลังงานมายังโรงไฟฟ้า ได้แก่ การนำเข้าไฟฟ้าเพื่อใช้ในอาคารสำนักงานหรือใช้ในการผลิตระหว่างมีการซ่อมบำรุง (shut down) และการเกิดไฟดับในวงกว้าง (black out)

ประเภทที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ นอกเหนือจากที่ระบุในประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ซึ่งองค์กรสามารถวัดหรือประเมินเพื่อการรายงานผลเพิ่มเติมได้โดยไม่ถือเป็นข้อบังคับ

ทั้งนี้รายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรมภายในขอบเขตขององค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง แสดงรายการดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรมภายในขอบเขตขององค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

ขอบเขตการดำเนินงาน	รายการกิจกรรม	ลักษณะข้อมูล	แหล่งเก็บข้อมูล	หน่วย
ประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (Direct GHG emissions)	การใช้น้ำมันพาหนะขององค์กร	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้	บันทึกปริมาณการใช้น้ำมัน	litre
	การใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า	ปริมาณการก๊าซธรรมชาติ	ข้อมูลปริมาณก๊าซธรรมชาติจากใบเสร็จ	MMBTU
	ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้	บันทึกปริมาณการใช้น้ำมัน	litre
	การใช้สารทำความเย็นในโรงไฟฟ้าหรือการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณการใช้สารทำความเย็น สารดับเพลิง และ SF6	บันทึกปริมาณการใช้สารทำความเย็น สารดับเพลิง และ SF6	kg
	กระบวนการปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบ Septic Tank	ปริมาณ BOD ที่เข้าระบบ Septic tank	บันทึกปริมาณ BOD ที่เข้าระบบ Septic tank	kgBOD
ประเภทที่ 2 (Indirect Emissions)	การใช้พลังงานไฟฟ้า	ปริมาณไฟฟ้าที่นำเข้ามาใช้	ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า	kWh
ประเภทที่ 3 (Other Indirect Emissions)	การใช้วัสดุสำนักงาน	ปริมาณการใช้กระดาษ	เอกสารบันทึกข้อมูล เอกสารรายงานผู้บริหาร เอกสารลงเวลางาน ใบสั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์ เอกสารสื่อประชาสัมพันธ์	kg
	การใช้น้ำประปา	ปริมาณการใช้น้ำประปา	ใบแจ้งหนี้ค่าน้ำประปา	m ³

ขอบเขตการดำเนินงาน	รายการกิจกรรม	ลักษณะข้อมูล	แหล่งเก็บข้อมูล	หน่วย
			ข้อมูลบันทึกการใช้น้ำจากการอ่านค่ามิเตอร์น้ำ	
	ของเสียจากกระบวนการผลิต	ปริมาณของเสียที่ส่งกำจัด	แบบบันทึกปริมาณของเสียที่ส่งกำจัด	tonnes

- คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

เมื่อได้ข้อมูลดังกล่าวข้างต้น จึงนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$GHG\ emissions = Activity\ Data \times Emission\ Factor \quad (1)$$

โดยที่

- GHG emissions คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก
- Activity Data คือ ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก เช่น ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำประปา การใช้กระดาษ เป็นต้น
- Emission Factor คือ ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรมและค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สำหรับการประเมินรายงานข้อมูลก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สำหรับการประเมินรายงานข้อมูลก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

ขอบเขตการดำเนินงาน	รายการกิจกรรม	หน่วย	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				แหล่งข้อมูลอ้างอิง
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total	
			kg CO ₂ /Unit	kg CH ₄ /Unit	kg N ₂ O /Unit	kg CO ₂ eq/Unit	
ประเภทที่ 1	การใช้น้ำมันพาหนะขององค์กร (น้ำมันดีเซล)	liter	2.6987	0.0001	0.0001	2.7406	¹ TGO-CFO AR5
	การใช้น้ำมันพาหนะขององค์กร (น้ำมันเบนซิน)	liter	2.1816	0.000787	0.00025184	2.2394	TGO-CFO AR5
	การใช้ก๊าซธรรมชาติ	MMBTU	59.188866	0.00105506	0.000105506	59.2485	TGO-CFO

ขอบเขต การ ดำเนินงาน	รายการกิจกรรม	หน่วย	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				แหล่งข้อมูล อ้างอิง
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total	
			kg CO ₂ /Unit	kg CH ₄ /Unit	kg N ₂ O /Unit	kg CO ₂ eq/Unit	
	ในกระบวนการผลิต กระแสไฟฟ้า						AR5
	การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ในกระบวนการผลิต (น้ำมันดีเซล)	liter	2.698722	0.00010926	0.000021852	2.7078	TGO-CFO AR5
	การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ในกระบวนการผลิต (น้ำมันเบนซิน)	liter	2.181564	0.00009444	0.000018888	2.1894	TGO-CFO AR5
	การใช้สารทำความ เย็นในโรงไฟฟ้าหรือ การรั่วไหลของก๊าซ เรือนกระจก	kg	-	-	1.0000	23,500.000	² IPCC 2013 AR5
	กระบวนการปล่อย ก๊าซมีเทนจากระบบ Septic Tank	kgBOD	-	0.3000	-	8.4000	IPCC 2013 AR5
ประเภทที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	kWh	-	-	-	0.4999	³ Thai National LCI Database
ประเภทที่ 3	การใช้น้ำประปา	m ³	-	-	-	0.2575	TGO-CFP
	การใช้กระดาษ	kg	-	-	-	2.1639	TGO-CFP
	การซื้อก๊าซธรรมชาติ เข้ามาใช้ใน กระบวนการผลิต	m ³	-	-	-	0.5767	TGO- CFO AR5
	การซื้อน้ำมันดีเซล	liter	-	-	-	0.3522	¹ TGO- CFO AR5
	การใช้งานรองรับ ปริมาณความต้องการ ไฟฟ้าของตนเอง	kWh	-	-	-	0.0987	¹ TGO- CFO AR5

ขอบเขต การ ดำเนินงาน	รายการกิจกรรม	หน่วย	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				แหล่งข้อมูล อ้างอิง
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total	
			kg CO ₂ /Unit	kg CH ₄ /Unit	kg N ₂ O /Unit	kg CO ₂ eq/Unit	
	ของเสียจาก กระบวนการผลิต	tonnes	-	-	-	3.1292	⁴ EF CFP TGO AR5
	น้ำเสียจาก กระบวนการผลิต	m ³	-	-	-	0.1302	EF CFP TGO AR5

อ้างอิง: ^{1,2,3,4} ค่า Emission Factor องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2565)

<https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=YjNKblLXNXBlbUYwYVc5dVgyVnRhWE56YVc5dQ>

- จัดทำบัญชีรายการ

ดำเนินการรวบรวมข้อมูลการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมทั้ง 3 ขอบเขตการดำเนินงานและสรุปผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

- ประเมินและจัดการความไม่แน่นอน

ทำการประเมินและจัดการความไม่แน่นอน เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับคุณภาพของข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เก็บรวบรวมได้ โดยสามารถตรวจสอบระดับคุณภาพของข้อมูลได้โดยการกำหนดระดับคะแนน ตามที่แสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 และพิจารณาระดับข้อมูลโดยรวม ดังแสดงตารางที่ 5

- การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการใช้เชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำประปา รวมถึงข้อมูลการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ โดยข้อมูลดังกล่าวได้นำมาประมวลผลเพื่อคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ตามสูตรมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ได้ใช้สถิติพรรณนาในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ ซึ่งประกอบด้วยการแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย เพื่อใช้ในการอธิบายปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

ตารางที่ 3 ระดับคะแนนอ้างอิงของคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา การประเมินและจัดการความไม่แน่นอน

รายการ	ระดับคุณภาพของข้อมูล			
ลักษณะการเก็บข้อมูล	X = 6 คะแนน		Y = 3 คะแนน	Z = 1 คะแนน
	เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องด้วยการติดตั้งระบบอัตโนมัติ		เก็บข้อมูลจากมิเตอร์และใบเสร็จ	เก็บข้อมูลจากการประมาณค่า
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	A = 4 คะแนน	B = 3 คะแนน	C = 2 คะแนน	D = 1 คะแนน
	EF จากการวัดที่มีคุณภาพ	EF จากผู้ผลิตหรือ EF ระดับประเทศ	EF ระดับภูมิภาค	EF ระดับสากล

ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2561)

ตารางที่ 4 ระดับคะแนนและเกณฑ์ที่ใช้ประเมินความไม่แน่นอนและคุณภาพข้อมูล

ระดับ	ระดับคะแนนโดยรวมของข้อมูล	คำอธิบาย
1	1 – 6	มีความไม่แน่นอนสูง คุณภาพของข้อมูลไม่ดี
2	7 – 12	มีความไม่แน่นอนเล็กน้อย คุณภาพของข้อมูลปานกลาง
3	13 – 18	มีความไม่แน่นอนต่ำ คุณภาพของข้อมูลดี
4	19 – 24	มีความไม่แน่นอนต่ำ คุณภาพของข้อมูลดีเยี่ยม

ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2561)

ตารางที่ 5 ระดับคุณภาพข้อมูลโดยรวม

ขอบเขตการดำเนินงาน	แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก	คะแนนการเก็บข้อมูล (A)	คะแนน Emission Factor (B)	A x B	ระดับคุณภาพของข้อมูล
ประเภทที่ 1	การไถยานพาหนะขององค์กร (การใช้น้ำมันดีเซล และเบนซิน)	6	1	6	1
	การใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า	6	1	6	1
	ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต (การใช้น้ำมันดีเซล และเบนซิน)	6	1	6	1
	การใช้สารทำความเย็นในโรงไฟฟ้าหรือการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก	6	1	6	1
	กระบวนการปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบ Septic Tank	6	1	6	1
ประเภทที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	3	3	9	2

ขอบเขตการดำเนินงาน	แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก	คะแนนการเก็บข้อมูล (A)	คะแนน Emission Factor (B)	A x B	ระดับคุณภาพของข้อมูล
ประเภทที่ 3	การซื้อกระดามาใช้	3	1	3	1
	การซื้อน้ำประปาเข้ามาใช้	3	1	3	1
	การซื้อก๊าซธรรมชาติเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต	3	3	9	2
	การซื้อน้ำมันดีเซล	3	3	9	2
	การใช้งานรองรับปริมาณความต้องการไฟฟ้าของตนเอง	3	3	9	2
	ของเสียจากกระบวนการผลิต	1	1	1	1
	น้ำเสียจากกระบวนการผลิต	1	1	1	1

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

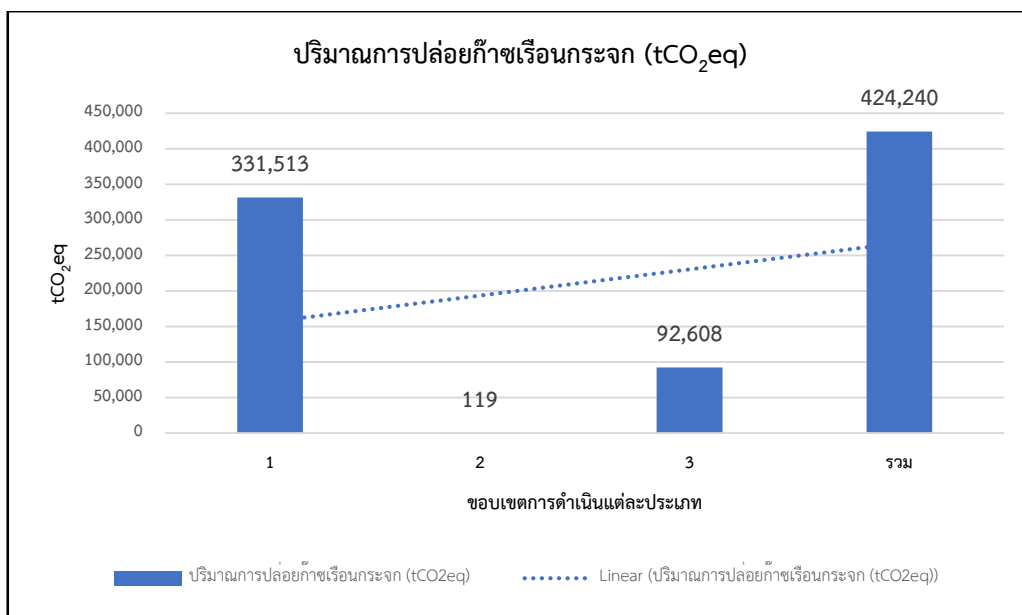
การศึกษานี้เป็นการศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมาตรการลดผลกระทบ โดยใช้กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ซึ่งการดำเนินการโดยบันทึกข้อมูลตามแนวทางการจำแนกกิจกรรมออกเป็น 3 ขอบเขตกิจกรรมดำเนินงาน (ตามที่แสดงในตารางที่ 1) ทั้งนี้ ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วยปริมาณการใช้ทรัพยากรและกิจกรรมต่างๆ เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ และการใช้ทรัพยากรจากการดำเนินกิจกรรมประเภทต่างๆ จากนั้นจึงนำปริมาณที่บันทึกได้มาคำนวณเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้วิธีการคำนวณที่เหมาะสมกับแต่ละประเภทกิจกรรม ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ โดยแบ่งเป็นแต่ละขอบเขตการดำเนินงานแต่ละประเภทตามที่ระบุในตารางที่ 6 และรูปที่ 3

ตารางที่ 6 ตารางคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในองค์กร กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ข้อมูลกิจกรรม (Activity Data: AD)		ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: EF)*		ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tCO ₂ eq)
	ค่า AD	หน่วย	ค่า EF	หน่วย	

ขอบเขตการดำเนินงาน ประเภทที่ 1					
การเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ (Mobile Combustion)					
การใช้น้ำมันขององค์กร (น้ำมันดีเซล)	19,841	litre	2.7406	kgCO ₂ e/litre	54
การใช้น้ำมันขององค์กร (น้ำมันเบนซิน)	908	litre	2.2394	kgCO ₂ e/litre	2
การเผาไหม้อยู่กับที่ (Stationary Combustion)					
การใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า	5,588,415	MMBTU	59.2485	kgCO ₂ e/MMBTU	331,105
ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต (น้ำมันดีเซล)	6,431	litre	2.7078	kgCO ₂ e/litre	17
การรั่วไหลและอื่นๆ (Fugitive Emissions)					
การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF ₆)	14	kg	23,500.000	kgCO ₂ e/kg	329
การใช้สารดับเพลิงที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC-22)	4	kg	677	kgCO ₂ e/kg	3
กระบวนการปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบ Septic Tank	224	kgBOD	8.4000	kgCO ₂ e/ kgBOD	2
รวมประเภทที่ 1					331,513
ขอบเขตการดำเนินงาน ประเภทที่ 2					
การใช้พลังงานไฟฟ้า	238,562	kWh	0.4999	kgCO ₂ e/kWh	119
รวมประเภทที่ 2					119
ขอบเขตการดำเนินงาน ประเภทที่ 3					
การซื้อกระดาษมาใช้	1	kg	2.1639	kgCO ₂ e/kg	0
การซื้อน้ำประปาเข้ามาใช้	2,348,913	m ³	0.2575	kgCO ₂ e/m ³	605
การซื้อก๊าซธรรมชาติเข้า	159,381,595	m ³	0.5767	kgCO ₂ e/m ³	91,915

มาใช้ในกระบวนการผลิต สารรอง					
การใช้น้ำมันดีเซลสารรอง	22,174	kg	0.3522	kgCO ₂ e/kg	8
การใช้งานรองรับปริมาณ ความต้องการไฟฟ้าของ ตนเอง	238,562	kWh	0.0987	kgCO ₂ e/kWh	24
ของเสียจากกระบวนการ ผลิต	13	tonnes	3.1292	kgCO ₂ e/ tonnes	0
น้ำเสียจากกระบวนการ ผลิต	431,509	m ³	0.1302	kgCO ₂ e/m ³	56
รวมประเภทที่ 3					92,608
รวมทั้งหมด					424,240



รูปที่ 3 กราฟแสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ปี 2567

เมื่อวิเคราะห์ตามขอบเขตการดำเนินงานของแต่ละประเภทพบว่า ประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 78.14 รองลงมาเป็นประเภทที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 21.83 และประเภทที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานขององค์กร คิดเป็นร้อยละ 0.03 ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามรายประเภท ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ปี 2567

ขอบเขตการดำเนินงาน	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tCO ₂ eq)	ร้อยละ
ประเภทที่ 1	331,513	78.14
ประเภทที่ 2	119	0.03
ประเภทที่ 3	92,608	21.83
รวม	424,240	100

จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่ากิจกรรมภายในองค์กรมีบทบาทสำคัญต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของฐิติกร หมายมั่น และคณะ (2561) รวมถึงพินิจพิ ช้างเผือก และคณะ (2567) ที่ระบุว่า ประเภทและลักษณะของกิจกรรมภายในองค์กรเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดระดับของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในด้านการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก สำหรับกรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม พบว่ากิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบอยู่กับที่ (stationary combustion) และแบบเคลื่อนที่ (mobile combustion) ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวมีความสอดคล้องกับการศึกษาของอลงกต สุตคุณ และคณะ (2562) รวมถึงสุพรรณิ มีสุข และคณะ (2565) ที่พบว่า การใช้วัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตเป็นแหล่งสำคัญของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงสุด นอกจากนี้จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ซึ่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 424,240 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO₂eq) ต่อปี กับเป้าหมายระดับประเทศในการบรรลุความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ. 2050) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) ภายในปี พ.ศ. 2608 (ค.ศ. 2065) นั้น พบว่า การดำเนินงานของโรงไฟฟ้าดังกล่าวยังคงมีส่วนสำคัญต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมของประเทศ โดยเฉพาะภาคพลังงาน ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักของประเทศไทย (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2566) การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคพลังงานเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์หลักของแผนที่นำทางการพัฒนาพลังงานคาร์บอนต่ำ โดยเน้นการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบพลังงานสะอาด การใช้พลังงานหมุนเวียน และการยกระดับประสิทธิภาพพลังงาน (IEA, 2021) อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าแบบความร้อนร่วม (Combined Heat and Power: CHP) ยังถือเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าแบบดั้งเดิม เนื่องจากสามารถนำพลังงานความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์ ลดการสูญเสียพลังงานและลดการปล่อยก๊าซได้ในระดับหนึ่ง แม้ว่าโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมจะมีประสิทธิภาพสูง แต่ในภาพรวมยังคงใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก เช่น ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งส่งผลกระทบต่อปล่อยคาร์บอนในระยะยาว ดังนั้น เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมาย Net Zero ประเทศไทยจำเป็นต้องสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีดักจับและกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture and Storage: CCS) รวมถึงการเปลี่ยนผ่านไปสู่แหล่งพลังงานที่ไม่มีการปล่อยคาร์บอน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานชีวมวล (IPCC, 2022)

แนวทางการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม สามารถดำเนินการได้ผ่านมาตรการที่ครอบคลุมทั้งด้านเทคโนโลยี การจัดการ และนโยบาย อาทิ การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงาน โดยการควบคุมกระบวนการเผาไหม้และการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างเหมาะสม การปรับเปลี่ยนมาใช้เชื้อเพลิงที่มีค่าการปล่อยคาร์บอนต่ำ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ชีวมวล หรือเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของเศรษฐวุฒิ (2564) และสุพรรณิ มีสุขและคณะ (2565) ซึ่งเสนอให้องค์กรนาระบบการบริหารจัดการพลังงานตามมาตรฐานสากล เช่น ISO 50001 มาใช้ ควบคู่กับการใช้ระบบตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานแบบเรียลไทม์

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมการใช้พลังงาน นอกจากนี้ การพัฒนาและส่งเสริมเทคโนโลยีการดักจับและใช้ประโยชน์จากก๊าซเรือนกระจก (Carbon Capture and Utilization: CCU) ตลอดจนการดำเนินโครงการชดเชยคาร์บอน เช่น การปลูกป่าและการลงทุนในโครงการพลังงานสะอาด เป็นแนวทางเสริมที่ช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนและสนับสนุนเป้าหมายด้านการลดคาร์บอนขององค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาว

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมาตรการลดผลกระทบ กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ที่ 424,240 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO₂eq) โดยสามารถจำแนกออกเป็น 3 ขอบเขตการดำเนินงาน ดังนี้

ประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากการใช้ยานพาหนะขององค์กร มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 331,513 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO₂eq)

ประเภทที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 119 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO₂eq)

ประเภทที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้น้ำประปา การใช้กระดาษ และการจัดการของเสียมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 92,608 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO₂eq)

ทั้งนี้ ขอบเขตที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ ขอบเขตที่ 1 เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร คิดเป็นร้อยละ 78.14 ของปริมาณทั้งหมด

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 แม้โรงไฟฟ้าจะใช้ก๊าซธรรมชาติซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าถ่านหิน แต่การเปลี่ยนบางส่วนของระบบให้สามารถใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น ไบโอดีเซล หรือพลังงานจากแสงอาทิตย์ ควบคู่กับระบบพลังความร้อนร่วม (Combined Heat and Power: CHP) จะช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะยาว

7.2 องค์กรควรจัดทำระบบการตรวจวัด รายงาน และทวนสอบ (Measurement, Reporting, and Verification) อย่างเป็นระบบเพื่อใช้ในการควบคุม ปรับปรุง และสื่อสารข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้จะช่วยรองรับต่อข้อกำหนดทางกฎหมายหรือมาตรฐานสิ่งแวดล้อมในอนาคต เช่น มาตรการปรับราคาคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน (Carbon Border Adjustment Mechanism: CBAM)

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ซึ่งได้ให้ข้อมูลและสถานที่ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณทีมวิจัยที่ให้การสนับสนุนและส่งเสริมการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- เกียรติขจร แก่นลา, พีรณิธิ อักษร และ วุฒิพงษ์ กุศลคุ้ม. (2566). การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเศษวัสดุในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ามหานครสายสีส้มช่วงศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย-มีนบุรี. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 23(2), 40-42.
- ฐิติกร หมายมัน, สมบัติ ทิมทรัพย์, อติกร เสรีพัฒนานนท์, และ บัณฑิต รัตนไตร. (2561). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 12(2), 109-205.
- พิณทิพ ช่างเผือก และคณะ. (2567). การศึกษาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษาศูนย์เวลเนสประเภทสปาเพื่อสุขภาพ. วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อมและสุขภาพชุมชน, 9(4), 290-297.
- เศรษฐวุฒิ ฝูหนองโพธิ์. (2564). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของวิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล. ใน รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 20 ประจำปี พ.ศ. 2564 (หน้า 387-393). การประชุมจัดวันที่ 12-13 พฤษภาคม 2564.
- สุพรรณิ มีสุข, และ สุพรรณิกา วัฒน. (2565). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เบียร์. ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 23 (หน้า 213-225). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2566). รายงานสถิติพลังงานประเทศไทย ปี 2565. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก. (2565). รายงานประจำปีเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก.[ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]. สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2568 สืบค้นจาก <https://www.eeco.or.th>
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ONEP). (2565). ยุทธศาสตร์ระยะยาวการพัฒนาที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดต่ำของประเทศไทย (LT-LEDS). กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2566). ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำแนกตามภาคการผลิต [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]. สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2568, จาก [https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1)
- สถาบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2566). ความรู้เบื้องต้นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. กรุงเทพมหานคร: ผู้แต่ง.
- อลงกต สุตคุณสันติการ และคณะ. (2566). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากขบวนการผลิตคอมพิวเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม. วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อมและสุขภาพชุมชน, 9(1), 1-9.
- อรุณลักษณ์ จิรณภิญโญ. (2562). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ บทบาทการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคผลิตไฟฟ้าของไทย. วารสารสิ่งแวดล้อม, 23(1), 1-8.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2558). คู่มือการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร รายสาขาอุตสาหกรรม (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2561). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพมหานคร: บริษัท พีทู ดีไซน์ แอนด์ พริ้นท์ จำกัด.

- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2565). *ค่า Emission Factor* [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]. สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2568, จาก <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5mWlcxcGMzTnBiMjO9>
- Center for Sustainable Systems. (2024). *Carbon Footprint Factsheet*. University of Michigan. Retrieved from <https://css.umich.edu/publications/factsheets/sustainability-indicators/carbon-footprint-factsheet>
- Greenhouse Gas Protocol. (2024). *Corporate Standard*. Retrieved from <https://ghgprotocol.org/corporate-standardghgprotocol.org>
- GHG Management Institute. (2024). *201 Basics of Organizational GHG Accounting*. Retrieved from <https://ghginstitute.org/product/201-basics-organizational-ghg-accounting/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- International Energy Agency. (2021). *Carbon capture, utilisation and storage: A key technology for net zero*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/carbon-capture-utilisation-and-storage>
- International Greenhouse Gas Inventories Programme (IPCC). (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. สืบค้นจาก <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- International Energy Agency (IEA). (2021). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 14064-1:2018 Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/66453.html>
- Songpattanasilp, P., Kanokkantapong, V., & Wongkiew, S. (2025). Assessing the effects of Thailand's greenhouse gas mitigation mechanism on carbon footprint and greenhouse gas reduction: A case study of a compound rubber factory. *International Journal of Environmental Science and Development*, 16(1), 1–6. <https://doi.org/10.18178/ijesd.2025.16.1.1504>
- Thanatrakolsri, P., & Sirithian, D. (2024). Evaluation of greenhouse gas emissions and mitigation measures at Thammasat University's Lampang campus in Thailand. *Environmental Health Insights*, 18, 1–10. <https://doi.org/10.1177/11786302241253589>
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). *Paris Agreement*. Retrieved from <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>



สมบุญ ใจประการ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันสารสนเทศเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ
55/56 หมู่ 7 ซอยสามมิตร ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
หมายเลขโทรศัพท์ 094-553-9529 E-mail: somboon.chn@svit.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: อาชีวอนามัยและความปลอดภัย การจัดการอนามัยสิ่งแวดล้อมและ
ความปลอดภัย การจัดการความเสี่ยงทางด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมและอาชีวอนามัย
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



ชนกานต์ สุกุลแก้ว อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ หลักสูตรอาชีวอนามัยและ
ความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
398 หมู่ 9 ถนนสวรรค์วิถี ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ 60000
หมายเลขโทรศัพท์ 083-536-9874 E-mail: chanakarn.s@nsru.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: อาชีวอนามัยและความปลอดภัย การจัดการความเสี่ยงทางด้านอนามัย
สิ่งแวดล้อมและอาชีวอนามัย



ธารทิพย์ ทองมี อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันสารสนเทศเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ
55/56 หมู่ 7 ซอยสามมิตร ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
หมายเลขโทรศัพท์ 081-559-4542 E-mail: tarntip.toe@svit.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมความปลอดภัย อาชีวอนามัยและความปลอดภัย

การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ : กรณีศึกษา

โรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดเลย

Development of an Information System for Online Admission: A Case Study of Saint John's Thaboam School, Chiang Khan District, Loei Province

ชรินทรญา หวังวัชรกุล¹ ชวลิต ยศสุนทร² และ ณัฐพล เพาะพืช³

¹ คณะวิทยาการจัดการ สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย , charinya.wan@lru.ac.th

² คณะวิทยาการจัดการ สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, chawalit.yos@lru.ac.th

³ คณะวิทยาการจัดการ สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, natthaphonphopect@gmail.com

Charinya Wangwatcharakul¹ Chawalit Yossunthon² and Nattapon Phoaphuet³

¹ Faculty of Management Science, Digital Business Computer, Loei Rajabhat University, charinya.wan@lru.ac.th

² Faculty of Management Science, Digital Business Computer, Loei Rajabhat University, chawalit.yos@lru.ac.th

³ Faculty of Management Science, Digital Business Computer, Loei Rajabhat University,
natthaphonphopect@gmail.com

วันที่รับบทความ 6 พฤษภาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 14 มิถุนายน 2568

วันตอบรับบทความ 23 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ กรณีศึกษา โรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดเลย 2) ประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ 3) ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ มีกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ในการประเมินคุณภาพ และผู้สมัครเรียน จำนวน 400 คน ในการประเมินความพึงพอใจ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) แบบประเมินประสิทธิภาพ 2) แบบประเมินความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย พบว่า 1) ระบบสามารถช่วยบริหารจัดการข้อมูลการรับสมัคร ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชันที่รองรับการทำงานในทุกแพลตฟอร์ม ทั้งในส่วนของผู้ดูแลระบบ ครูบุคลากร และผู้สมัคร เพื่อให้กระบวนการรับสมัครเรียนเป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ โดยเฉพาะการใช้ระบบที่ช่วยในการจัดการข้อมูลผู้สมัคร การตรวจสอบสถานะการชำระเงิน และการติดตามข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2) ประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับดี ระบบทำงานได้อย่างถูกต้อง มีฟังก์ชันตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน มีประสิทธิภาพสูงสะดวกและใช้งานง่าย พร้อมทั้งมีมาตรฐานความปลอดภัยสูง 3) ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด ระบบทำงานมีประสิทธิภาพและมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศ, ระบบรับสมัครออนไลน์, สถาบันการศึกษา, เว็บแอปพลิเคชัน

ABSTRACT

This research aimed to: 1) develop an information system for online admissions, using Saint John's Tha Bom School, Chiang Khan District, Loei Province as a case study; 2) evaluate the efficiency of the online admission information system; and 3) study user satisfaction with the system. The sample group consisted of 5 experts for system quality evaluation and 400 student applicants for satisfaction assessment. The research tools included: 1) a system efficiency evaluation form and 2) a satisfaction questionnaire. Data were analyzed using percentage, mean, and standard deviation.

The research results revealed that: 1) the system successfully facilitated the management of admission data in the form of a web application compatible across all platforms. It supported administrators, teachers, staff, and applicants, streamlining the admission process to enhance convenience, speed, and accuracy, particularly in managing applicant data, tracking payment status, and monitoring information; 2) the system's efficiency was rated at a good level. It functioned accurately, matched user requirements, was highly efficient and easy to use, and maintained a high standard of security; and 3) users expressed the highest level of satisfaction with the system, citing its effectiveness and usefulness in practical application.

KEYWORDS: Information System, Online Admission System, Educational Institution, Web Application

1. บทนำ

ในปัจจุบันกระบวนการรับสมัครเข้าศึกษาต่อในสถาบันการศึกษา ยังคงใช้วิธีการแบบดั้งเดิมที่ต้องดำเนินการผ่านเอกสารกระดาษ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาหลายประการทั้งในด้านการจัดเก็บข้อมูล การสืบค้นข้อมูลที่ซับซ้อน และการทำงานที่ล่าช้า นอกจากนี้ยังมีการสูญหายของเอกสารหรือความผิดพลาดในการกรอกข้อมูลจากผู้สมัคร ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเจ้าหน้าที่และสร้างความไม่สะดวกให้กับผู้สมัครที่ต้องเดินทางมาที่สถาบันการศึกษาเพื่อดำเนินการสมัครเรียน

ในยุคที่เทคโนโลยีสารสนเทศมีความเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการรับสมัครออนไลน์จึงเป็นแนวทางที่สามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการจัดการข้อมูล การรับสมัคร และการเก็บเอกสารในรูปแบบดิจิทัล จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกไป ทำให้การดำเนินการสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถทำให้ผู้สมัครเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายและสะดวก โดยไม่ต้องเดินทางมาที่โรงเรียน

โรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดเลย เป็นโรงเรียนที่มีผู้สมัครเข้าศึกษาต่อในทุกปีจำนวนมาก โดยในแต่ละรอบการรับสมัคร เจ้าหน้าที่ต้องดำเนินการกรอกเอกสารด้วยตนเอง รวมถึงการจัดเก็บและตรวจสอบข้อมูลด้วยวิธีการใช้กระดาษ ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น ข้อมูลซ้ำซ้อน การกรอกข้อมูลผิดพลาดจากลายมือที่อ่านยาก หรือการตกหล่นของเอกสารที่สำคัญ นอกจากนี้ เจ้าหน้าที่ต้องใช้เวลามากกว่า 10-15 นาทีต่อใบสมัครในการตรวจสอบความถูกต้อง ส่งผลให้กระบวนการโดยรวมใช้เวลานานและเกิดความล่าช้าในการประมวลผลข้อมูลทั้งหมด จากปัญหาดังกล่าว การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ จึงเป็นทางเลือกสำคัญในการลดความผิดพลาด เพิ่มความรวดเร็ว และเพิ่มความสะดวกแก่ทั้งผู้สมัครและเจ้าหน้าที่ของโรงเรียน เพื่อให้กระบวนการรับสมัครมีประสิทธิภาพ โปร่งใส และสามารถตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายขึ้น (โรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม, 2567)

ดังนั้นนักวิจัยจึงเห็นความสำคัญของการพัฒนาระบบสารสนเทศที่สามารถรองรับการสมัครเรียนออนไลน์ได้อย่างครบวงจร ตั้งแต่การกรอกข้อมูล การอัปโหลดเอกสารประกอบการสมัคร และการยืนยันหลักฐานการชำระเงิน ไปจนถึงการประมวลผลข้อมูลอย่างเป็นระบบ เพื่อแก้ไขปัญหาที่พบจากระบบเดิม เช่น ข้อมูลซ้ำซ้อน การกรอกข้อมูลผิดพลาด การส่งเอกสารล่าช้าหรือไม่ครบถ้วน ตลอดจนความยุ่งยากของเจ้าหน้าที่ในการรวบรวม ตรวจสอบ และจัดเก็บข้อมูลด้วยตนเอง จากการศึกษาพบว่าโรงเรียนบางแห่งจะ

ประยุกต์ใช้เครื่องมือพื้นฐานอย่าง Google Form หรือเอกสารแนบผ่านแอปพลิเคชันแชท แต่ยังไม่สามารถรองรับกระบวนการทั้งหมดอย่างเป็นระบบ หรือเชื่อมโยงข้อมูลแบบ Real-Time ได้ จึงส่งผลต่อความแม่นยำในการจัดการข้อมูลผู้สมัครและความรวดเร็วในการตัดสินใจ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแบบ Responsive Web Design ซึ่งสามารถใช้งานได้ทุกแพลตฟอร์ม โดยเลือกโรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดเลย เป็นกรณีศึกษา มีการเก็บและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน และออกแบบระบบให้เหมาะสมกับกระบวนการรับสมัครเข้าศึกษาต่อออนไลน์ตามหลัก SDLC (System Development Life Cycle) ระบบที่พัฒนาขึ้นจะช่วยให้กระบวนการสมัครเรียนมีความรวดเร็ว แม่นยำ ลดข้อผิดพลาดในการกรอกข้อมูล เพิ่มความสะดวกให้กับผู้สมัคร และลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ พร้อมทั้งสามารถติดตาม ตรวจสอบ และจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลอย่างเป็นระบบและปลอดภัย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ กรณีศึกษาโรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดเลย

2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์

2.3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิดระบบสารสนเทศในสถาบันการศึกษา

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยและแนวคิดของระบบสารสนเทศในสถาบันการศึกษา พบว่า

ระบบสารสนเทศในงานการศึกษา (Educational Information Systems) เป็นเครื่องมือสำคัญในการจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนและการประเมินผลในสถาบันการศึกษา ระบบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของครูและผู้บริหาร รวมทั้งเสริมสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ของผู้เรียน เทคโนโลยีสารสนเทศได้เปลี่ยนแปลงวิธีการเรียนการสอนในหลายด้าน เช่น การใช้สื่อการสอนดิจิทัล การเรียนการสอนออนไลน์ และเครื่องมือการเรียนรู้แบบอินเทอร์แอคทีฟ (interactive tools) ซึ่งช่วยให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพและน่าสนใจมากขึ้น ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา (วรุณณ์ ม่วงนาถ, 2566; มนพ การกล้าและคณะ, 2566; จารุกิตติ์ สายสิงห์, 2566)

ระบบสารสนเทศในสถาบันการศึกษา ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การบูรณาการระหว่างเทคโนโลยี และข้อมูลในองค์กร เพื่อให้สามารถบริหารจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ (กัญจนพร โชติอัครฐิติกุล และ สุรพงษ์ แสงสิมข, 2568)

การพัฒนาสารสนเทศควรมีการวัดประสิทธิภาพและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน การวัดประสิทธิภาพเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินว่าระบบสามารถทำงานได้ตามเป้าหมายหรือไม่ ขณะที่การประเมินความพึงพอใจช่วยตรวจสอบว่าระบบสามารถตอบสนองความต้องการและความคาดหวังของผู้ใช้ได้หรือไม่ ผลการวัดและประเมินทั้งด้านประสิทธิภาพและความพึงพอใจสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบในอนาคต การปรับปรุงระบบควรมุ่งเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาที่พบและการเพิ่มประสิทธิภาพในส่วนที่ยังไม่สมบูรณ์ การทำงานร่วมกันระหว่างนักพัฒนาระบบและผู้ใช้งานจะช่วยให้การพัฒนาระบบในอนาคตสามารถตอบสนองความต้องการและความคาดหวังของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสร้างความพึงพอใจมากยิ่งขึ้น (ประยงค์ ฐิตินานนท์, 2562)

สรุปได้ว่าระบบสารสนเทศในงานการศึกษา หมายถึง ระบบที่ประกอบไปด้วยกลุ่มขององค์ประกอบต่าง ๆ ในสถาบันการศึกษาร่วมกันเพื่อการเก็บ, ประมวลผล, และเผยแพร่ข้อมูลหรือสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจและการดำเนินงานในองค์กร โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการจัดการข้อมูลให้มีความถูกต้อง ทันเวลา และสามารถเข้าถึงได้ง่าย

3.2 แนวคิดระบบรับสมัครออนไลน์

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยและแนวคิดของระบบรับสมัครออนไลน์ พบว่า

การพัฒนาระบบรับสมัครเข้าศึกษาต่อแบบออนไลน์สำหรับโรงเรียนทักษะกวีวิทยา มุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในการอำนวยความสะดวกให้กับผู้สมัคร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการและลดขั้นตอนการดำเนินงานของเจ้าหน้าที่ ผลการวิจัยพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในระดับมาก ทั้งในด้านการดำเนินงานที่ครอบคลุมและลดภาระของเจ้าหน้าที่ อีกทั้งผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบในระดับมาก โดยเฉพาะในด้านความสะดวก ชัดเจน และความเร็วในการใช้งาน แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแม้จะได้รับความพึงพอใจจากผู้ใช้งานในระดับมาก แต่ยังคงขาดการรองรับการทำงานแบบ Responsive และการจัดเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูลที่มีโครงสร้างชัดเจน (ตรัยวัชร กาญจนประดิษฐ์ และคณะ, 2568)

การพัฒนาระบบรับสมัครนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรีในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันออนไลน์ โดยมีเมนูการใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบ สมาชิก และผู้สมัคร ระบบสามารถเข้าถึงได้จากเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัย ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญพบว่าระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ไม่มีการกล่าวถึงฟังก์ชันการอัปเดตเอกสารหรือการยืนยันการชำระเงินที่ครบวงจร รวมถึงยังไม่ชัดเจนว่าเป็นระบบที่รองรับการทำงานหลายอุปกรณ์หรือไม่ (คันสนีย์ วิชัยดิษฐ์, 2567)

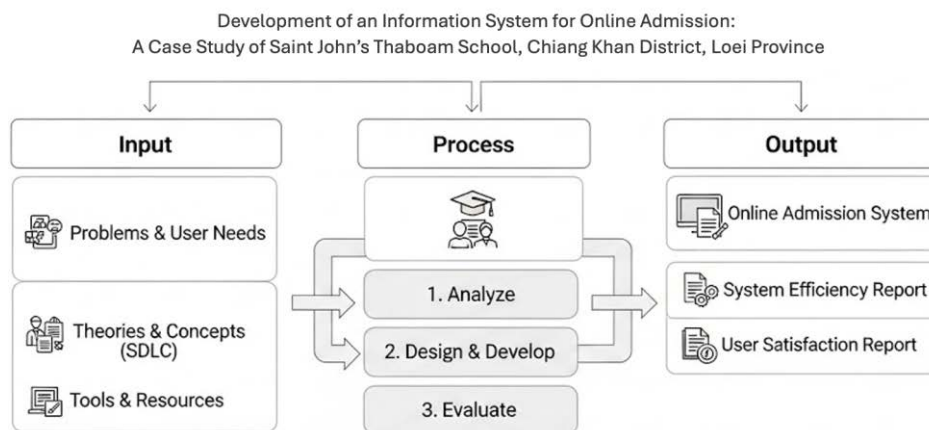
การศึกษาการประยุกต์ใช้แนวคิดแบบโอโลในการพัฒนาระบบรับสมัครนักศึกษาออนไลน์ของมหาวิทยาลัยนครพนม โดยใช้เทคโนโลยี HTML, CSS, JavaScript, Bootstrap, PHP และ MySQL ผลการวิจัยพบว่า ระบบมีความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบในระดับมาก โดยระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน ลดข้อจำกัดของระบบเดิม และเพิ่มประสิทธิภาพการชำระเงินออนไลน์ได้ดี แต่ยังไม่มีการกล่าวถึงการใช้งานแบบ Responsive หรือระบบจัดการสิทธิ์ผู้ใช้ที่แยกชัดเจน (วุฒิกัทร พงษ์เพชร และคณะ, 2566)

ดังนั้นจากแนวคิดดังกล่าว จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบที่ซึ่งจะมีจุดเด่นเพิ่มเติม คือ การออกแบบให้เป็นเว็บแอปพลิเคชันแบบ Responsive Web Design รองรับการใช้งานได้ทั้งในคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์มือถือ มีระบบการจัดการสิทธิ์ผู้ใช้งาน แยกส่วนการเข้าถึงของผู้สมัครและผู้ดูแลระบบอย่างชัดเจน รองรับการอัปเดตไฟล์เอกสาร การยืนยันการชำระเงิน และการประมวลผลข้อมูลในระบบฐานข้อมูลที่เชื่อมโยงแบบ Real-Time อีกทั้งยังออกแบบตามกระบวนการ SDLC ทำให้ระบบสามารถรองรับการใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ได้อย่างเป็นรูปธรรม

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

ประกอบด้วย 1) **ปัจจัยนำเข้า (Input)** ได้แก่ ปัญหาและความต้องการของผู้ใช้ (Problem and User needs) , ทฤษฎี SDLC ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ, และเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา (Tools) 2) **กระบวนการ (Process)** ได้แก่ ขั้นตอนการดำเนินงานของงานวิจัย ตั้งแต่การวิเคราะห์ระบบ (Analyst) , การออกแบบและพัฒนาระบบ (Design & Develop) และการประเมินผลระบบ (Evaluate) 3) **ผลลัพธ์ (Output)** ได้แก่ ระบบสารสนเทศการรับสมัครออนไลน์ (Online Admission System) ผลการประเมินประสิทธิภาพ (System Efficiency Report) และผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งาน (User Satisfaction Report) ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย แสดงกรอบแนวคิด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

4.2 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ : กรณีศึกษาโรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดเลย ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตไว้ดังนี้

4.2.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การพัฒนาสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ แบ่งระบบการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1) ส่วนของผู้ดูแลระบบ สามารถเข้าสู่ระบบได้ แก้ไขข้อมูลส่วนตัวได้ จัดการข้อมูลบุคลากรได้ จัดการข้อมูลผู้สมัครได้ ดูรายงานผลสถานะการสมัคร ดูรายชื่อผู้สมัครได้
- 2) ส่วนของบุคลากร สามารถเข้าสู่ระบบได้ แก้ไขข้อมูลส่วนตัวได้ จัดการข้อมูลผู้สมัครได้ ดูรายงานผลสถานะการสมัคร ดูรายชื่อผู้สมัครได้
- 3) ส่วนของผู้สมัคร ประกอบด้วย ผู้ปกครองและนักเรียน สามารถลงทะเบียนได้ เข้าสู่ระบบได้ สมัครเรียนได้ จัดการข้อมูลส่วนตัวได้ แจ้งการชำระค่าเทอมได้ ดูรายงานผลสถานะการสมัคร

4.2.2 ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ ผู้ปกครองและนักเรียนในระดับชั้นประถมศึกษา ในเขตจังหวัดเลยและจังหวัดใกล้เคียง ไม่ทราบจำนวนประชากร และบุคลากรโรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดเลย

กลุ่มตัวอย่าง

สำหรับการประเมินความพึงพอใจของระบบ จำนวน 400 คน ได้แก่ ผู้สมัคร ประกอบด้วย ผู้ปกครองและนักเรียนในระดับชั้นประถมศึกษา ในเขตจังหวัดเลยและจังหวัดใกล้เคียง ที่มีความสนใจจะสมัครเรียน ซึ่งได้มาจากการสุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตร W.G. Cochran (1953) และบุคลากรโรงเรียน ได้แก่ ครูคอมพิวเตอร์ เจ้าหน้าที่รับสมัคร และผู้บริหารโรงเรียน

สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของระบบ จำนวน 5 คน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญทางเทคโนโลยีสารสนเทศและการศึกษา เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling)

4.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเชิงพัฒนา (Developmental research) ใช้วงจรการพัฒนาแบบ SDLC (System Development Life Cycle) โดยรวบรวมข้อมูลในการศึกษาระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ รายละเอียดดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการดำเนินงานวิจัย

ระยะที่ 1 : ศึกษาปัญหาของระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ โดยการลงพื้นที่เพื่อสอบถามข้อมูลและความต้องการจากคณะครูและเจ้าหน้าที่ของโรงเรียน ซึ่งใช้เทคนิคการสัมภาษณ์และการสังเกตการณ์ในกระบวนการรับสมัครนักเรียน การศึกษาในระยะนี้พบว่าผู้ใช้งานระบบสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ดูแลระบบ, บุคลากร และผู้สมัคร (ผู้ปกครองและนักเรียน)

ระยะที่ 2 : การออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์

1) ออกแบบและวิเคราะห์ความต้องการ: ผู้วิจัยได้สร้างแผนภาพความต้องการระบบ (Use Case Diagram) แผนภาพบริบท (Context Diagram) แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) การออกแบบฐานข้อมูล (ER Diagram) และการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface Design) เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการใช้งานและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานแต่ละกลุ่ม ดังรูปที่ 3 แสดงแผนภาพความต้องการระบบ

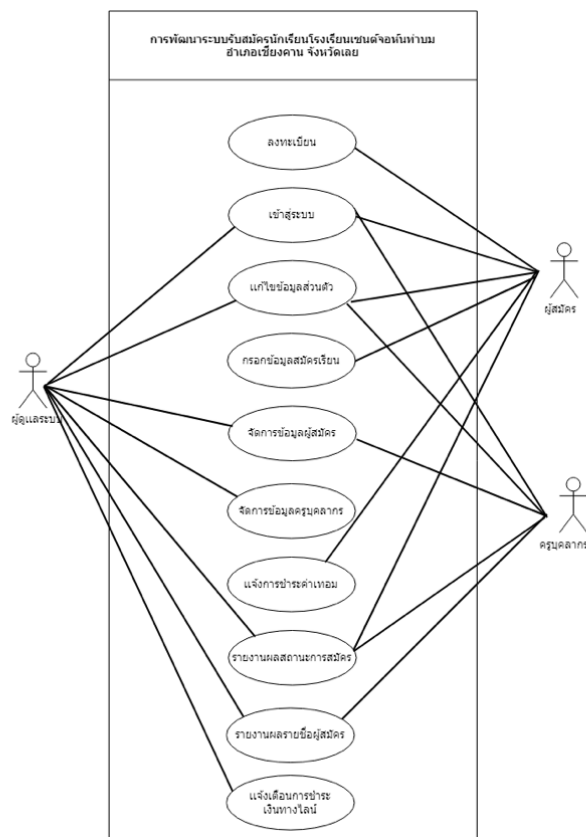
2) พัฒนาระบบสารสนเทศ: ระบบถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยเลือกใช้เครื่องมือและโปรแกรมที่เหมาะสมในการพัฒนา ซึ่งประกอบด้วยภาษาเว็บ PHP, HTML, CSS, และ JavaScript โดยการพัฒนาบนเครื่องมือ Visual Studio Code และเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL และ Line Messaging API

3) ทดสอบระบบ: นักวิจัยได้ดำเนินการทดสอบระบบเพื่อหาข้อผิดพลาดและทดสอบการยอมรับ (Acceptance Testing) โดยมีการปรับแก้ไขข้อผิดพลาดที่พบ

ระยะที่ 3 : การประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ ได้ดำเนินการโดยใช้แบบสอบถามที่ให้คะแนนในระดับ 5 ระดับ ตามมาตรฐานลิเคิร์ต (Likert Scale) โดยการแปลผลใช้ค่าเฉลี่ยตามเกณฑ์ของ Best (1981) แบบสอบถามได้รับการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาผ่านดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและจุดประสงค์ (IOC) โดยเลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC มากกว่า 0.50 เนื่องจากแสดงถึงความสอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย การประเมินผลได้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ การประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน (ครูบุคลากร , ผู้ปกครองและนักเรียน) และการประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ โดยมีการประเมินผล 2 ส่วนได้แก่

1) แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญ แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย 1) การทดสอบด้านการออกแบบของระบบ (Design Test) ซึ่งตรวจสอบความเหมาะสมและความสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ 2) การทดสอบด้านการใช้งาน (Usability Test) ที่เน้นความสะดวกในการใช้งานและการนำทาง 3) การทดสอบด้านประสิทธิภาพ (Efficacy Test) เพื่อประเมินการทำงานที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ และ 4) การทดสอบด้านการติดตามและการประมวลผลข้อมูล (Tracking and Processing Test)

2) แบบประเมินความพึงพอใจของระบบ โดยผู้ใช้งาน แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านการออกแบบ (Design) 2) ด้านประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency) 3) ด้านความปลอดภัยของระบบ (Security) และ 4) ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ (Practical application)



รูปที่ 3 แผนภาพความต้องการของระบบ (Use Case Diagram)

การวิเคราะห์ความพึงพอใจของระบบ ค่าสถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งกำหนดค่าเฉลี่ยและแปลความหมายของค่าเฉลี่ย โดยอาศัยการปรับปรุงเกณฑ์ของบุญชม ศรีสะอาด (2560) กำหนดเกณฑ์การประเมินความพึงพอใจระบบสารสนเทศ ดังนี้

- ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจมากที่สุด
- ค่าเฉลี่ย 3.51 – 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจมาก
- ค่าเฉลี่ย 2.51 – 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจปานกลาง
- ค่าเฉลี่ย 1.51 – 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อย
- ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

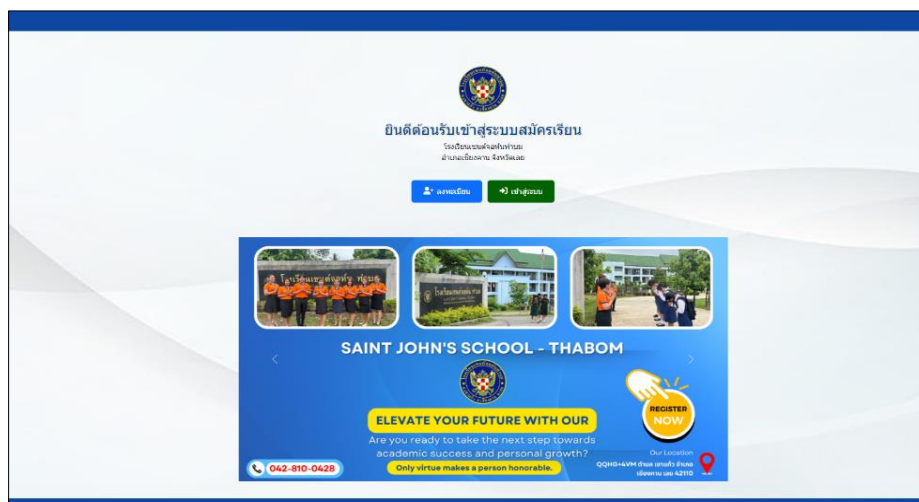
5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลการวิจัย

การพัฒนาเว็บไซต์ระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ : กรณีศึกษาโรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม อำเภอยางตลาด จังหวัดเลย แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

5.1.1 การพัฒนาเว็บไซต์ระบบสำหรับการรับสมัครออนไลน์

1) ส่วนของผู้ดูแลระบบ สามารถเข้าสู่ระบบได้ แก้ไขข้อมูลส่วนตัวได้ จัดการข้อมูลครูบุคลากรได้ จัดการข้อมูลผู้สมัครได้ ดูรายงานผลการชำระค่าเทอมได้ ดูรายชื่อผู้สมัครได้



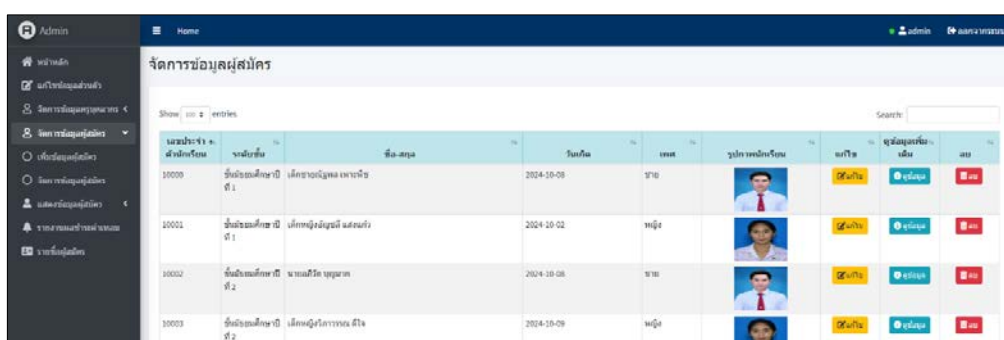
รูปที่ 4 หน้าแรกเข้าสู่ระบบ

จากรูปที่ 4 แสดงหน้าจอการเข้าสู่ระบบสมัครเรียน หากผู้ใช้เป็นบัญชีของผู้ดูแลระบบจะนำไปสู่หน้าจัดการข้อมูลต่างๆ ของระบบได้



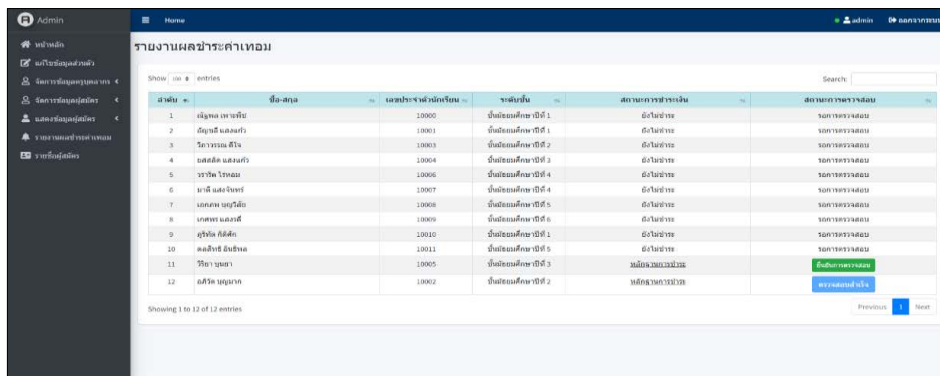
รูปที่ 5 หน้าจอแรกสำหรับผู้ดูแลระบบ

จากรูปที่ 5 แสดงหน้าจอของผู้ดูแลระบบ ประกอบด้วยเมนู หน้าหลัก แก้ไขข้อมูลส่วนตัว จัดการข้อมูลบุคลากร ได้แก่ การเพิ่ม การลบ และการแก้ไข จัดการข้อมูลผู้สมัคร ได้แก่ การเพิ่ม การลบ และการแก้ไข แสดงข้อมูลผู้สมัคร รายงานผลชำระค่าเทอม แสดงข้อมูลผู้สมัคร ได้แก่การเพิ่ม การลบ และการแก้ไขข้อมูลผู้สมัคร ตามลำดับ



รูปที่ 6 หน้าจอจัดการข้อมูลผู้สมัคร

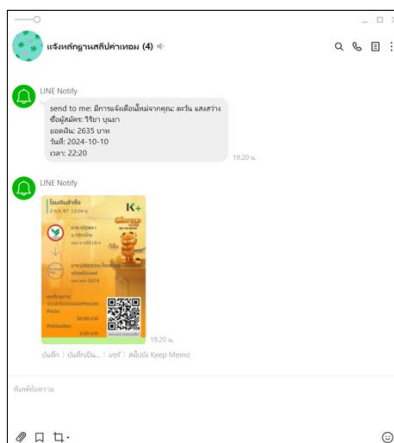
จากรูปที่ 6 แสดงหน้าจอข้อมูลของผู้สมัครในแต่ละระดับชั้น โดยประกอบด้วยข้อมูลสำคัญ ได้แก่ เลขประจำตัวผู้สมัคร ระดับชั้น ชื่อ-สกุล วันเกิด เพศ และรูปถ่าย ผู้ดูแลระบบสามารถคลิกเพื่อดูข้อมูลเพิ่มเติมและตรวจสอบสถานะของผู้สมัครแต่ละรายได้ นอกจากนี้ยังสามารถจัดเรียงข้อมูลตามหมวดหมู่ต่าง ๆ และค้นหาผู้สมัครได้อย่างสะดวกผ่านระบบค้นหาในหน้าจอ



ลำดับ	ชื่อ-สกุล	เลขประจำตัวผู้สมัคร	ระดับชั้น	สถานะการชำระเงิน	สถานะการชำระเงิน
1	ผู้สมัคร คนแรก	10000	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1	ยังไม่ชำระ	รอการตรวจสอบ
2	ผู้สมัคร คนที่สอง	10001	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1	ยังไม่ชำระ	รอการตรวจสอบ
3	ผู้สมัคร คนที่สาม	10003	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2	ยังไม่ชำระ	รอการตรวจสอบ
4	ผู้สมัคร คนที่สี่	10004	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2	ยังไม่ชำระ	รอการตรวจสอบ
5	ผู้สมัคร คนที่ห้า	10006	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4	ยังไม่ชำระ	รอการตรวจสอบ
6	ผู้สมัคร คนที่หก	10007	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4	ยังไม่ชำระ	รอการตรวจสอบ
7	ผู้สมัคร คนที่เจ็ด	10008	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5	ยังไม่ชำระ	รอการตรวจสอบ
8	ผู้สมัคร คนที่แปด	10009	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5	ยังไม่ชำระ	รอการตรวจสอบ
9	ผู้สมัคร คนที่เก้า	10010	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1	ยังไม่ชำระ	รอการตรวจสอบ
10	ผู้สมัคร คนที่สิบ	10011	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5	ยังไม่ชำระ	รอการตรวจสอบ
11	ผู้สมัคร คนที่สิบเอ็ด	10005	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3	ไม่พบการชำระเงิน	รอการตรวจสอบ
12	ผู้สมัคร คนที่สิบแปด	10002	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2	ไม่พบการชำระเงิน	รอการตรวจสอบ

รูปที่ 7 หน้าจอแสดงรายงานผลการชำระเงิน

จากรูปที่ 7 แสดงหน้าจอรายงานผลการชำระค่าเทอมจะแสดงข้อมูลให้ผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบสถานะการชำระเงินของผู้สมัครได้ โดยสถานะจะประกอบด้วย "รอการตรวจสอบ" "ยืนยันการตรวจสอบ" และ "ตรวจสอบสำเร็จ" ในขั้นตอนนี้ ผู้ดูแลระบบจะต้องตรวจสอบว่าสลิปการโอนเงินที่ผู้สมัครแจ้งเข้ามานั้น มียอดเงินเข้าบัญชีธนาคารจริงหรือไม่ หากตรวจสอบพบว่ายอดเงินถูกต้อง จึงจะสามารถอัปเดตสถานะเป็น "ชำระเงินสำเร็จ" โดยผู้สมัครสามารถติดตามความคืบหน้าของสถานะการชำระเงินได้จากหน้าจอของตนเอง



รูปที่ 8 แสดงหน้าจอรายละเอียดการชำระเงินผ่านแชท

จากรูปที่ 8 แสดงหน้าจอรายละเอียดการชำระเงินผ่านแชทไลน์ (Line Chat) ซึ่งผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบข้อมูลสลิปการโอนเงินของผู้สมัครได้อย่างสะดวก เมื่อผู้สมัครแนบสลิปการโอนเงินผ่านระบบ ระบบจะทำการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ไปยังสมาร์ทโฟนของผู้ดูแลระบบและบุคลากรที่เกี่ยวข้อง ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ในกลุ่มที่กำหนดไว้ การแจ้งเตือนนี้ช่วยให้รับทราบข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ลดขั้นตอนในการตรวจสอบ และเพิ่มความคล่องตัวในการบริหารจัดการข้อมูลการชำระเงินของผู้สมัคร (Line developer, 2567)

2) ส่วนของครูบุคลากร สามารถเข้าสู่ระบบได้ แก้ไขข้อมูลส่วนตัวได้ จัดการข้อมูลผู้สมัครได้ ดูรายงานผลการชำระค่าเทอมได้ ดูรายชื่อผู้สมัครได้

The screenshot shows a web interface for adding a new user. The form is titled 'เพิ่มข้อมูล' (Add Information). It contains several input fields and dropdown menus for user registration details.

รูปที่ 9 แสดงหน้าจอการเพิ่มผู้สมัคร

รูปที่ 9 แสดงหน้าจอเพิ่มข้อมูลผู้สมัคร ครูบุคลากรสามารถเพิ่มข้อมูลผู้สมัครได้ ประกอบด้วยข้อมูล ระดับชั้นที่ต้องการสมัคร เลขประจำตัวผู้สมัคร ชื่อ สกุล วันเกิด เพศ สัญชาติ เบอร์ อีเมล ที่อยู่ ภาพผู้สมัคร และประวัติการศึกษา

3) ส่วนของผู้สมัคร ประกอบด้วย ผู้ปกครองและนักเรียน สามารถลงทะเบียนได้ เข้าสู่ระบบได้ สมัครเรียนได้ จัดการข้อมูลส่วนตัวได้ แจ้งการชำระค่าเทอมได้ ติดตามสถานะการสมัครได้

The screenshot shows a web interface for registration and login. It includes a header with the university logo and name, and a main area with buttons for 'สมัครเรียน' (Register), 'สถานะการสมัคร' (Registration Status), and 'แก้ไขข้อมูลส่วนตัว' (Edit Personal Information). Below these are two boxes: 'ระเบียบการรับสมัครนักเรียนเข้าใหม่' (New Student Admission Regulations) and 'ขั้นตอนวิธีการสมัครออนไลน์จากฟอร์ม' (Online Application Process from Form).

รูปที่ 10 แสดงหน้าแรกของผู้สมัครที่ลงทะเบียนแล้ว

รูปที่ 10 แสดงหน้าจอแรกสำหรับผู้สมัครที่ลงทะเบียนเรียบร้อยแล้วและเข้าสู่ระบบแล้ว จะสามารถไปยังเมนู “สมัครเรียน” “ติดตามสถานะการสมัคร” และ “แก้ไขข้อมูลส่วนตัว” ผู้สมัครอาจเป็นผู้ปกครอง คุณครูในโรงเรียน หรือนักเรียนที่ต้องการสมัครเข้ามาเรียน สามารถทำการนี้ได้ โดยผู้สมัคร สามารถสมัครเรียนได้มากกว่า 1 คน

โรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบอม						
สวัสดีคุณ ตะวัน แสงสว่าง						
สถานะการสมัคร						
ลำดับ	รายชื่อผู้สมัคร	เลขประจำตัวผู้สมัคร	ชั้น	รายละเอียด	สถานะการชำระเงิน	สถานะการสมัคร
1	อภิรัตน์ นุ่มมาก	10002	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2	ดูข้อมูล	ชำระเงินแล้ว	สมัครสำเร็จ
2	วิภาวรรณ ดีใจ	10003	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2	ดูข้อมูล	แจ้งชำระเงิน	รอการชำระเงิน
3	อัสสิด แสงแก้ว	10004	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3	ดูข้อมูล	แจ้งชำระเงิน	รอการชำระเงิน
4	วิธยา นุนา	10005	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3	ดูข้อมูล	ชำระเงินแล้ว	รอการตรวจสอบ

© 2024 Saint John's Thabom School. All Rights Reserved.
 โทร: 042-810-0428 | อีเมล: thabom@stjohn.ac.th
 หมู่ ๘ ตำบลเขาแก้ว อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา ๘๖๑๐๐

รูปที่ 11 แสดงหน้าแรกของผู้สมัครที่ลงทะเบียนแล้ว

รูปที่ 11 แสดงหน้าจอข้อมูลรายการสมัครเรียนของผู้สมัคร ซึ่งสามารถใช้เพื่อติดตามสถานะการสมัครได้ หน้าจอนี้แสดงข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ชื่อ-สกุลของนักเรียน เลขประจำตัวผู้สมัคร และระดับชั้นที่สมัคร นอกจากนี้ ผู้ใช้งานสามารถคลิกที่ปุ่ม “รายละเอียด” เพื่อดูข้อมูลประวัติที่นักเรียนได้กรอกไว้ รวมถึงสามารถตรวจสอบสถานะการชำระเงินในหัวข้อ “สถานะชำระเงิน” ได้ หากยังไม่ได้แนบสลิปการโอนเงิน ผู้สมัครสามารถดำเนินการได้โดยเลือกเมนู “แจ้งชำระเงิน” ในขั้นตอนถัดไป

โรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบอม

สวัสดีคุณ ตะวัน แสงสว่าง

ลำดับ	รายชื่อผู้สมัคร	เลขประจำตัวผู้สมัคร
1	อภิรัตน์ นุ่มมาก	10002
2	วิภาวรรณ ดีใจ	10003
3	อัสสิด แสงแก้ว	10004
4	วิธยา นุนา	10005

ยอดค่าใช้จ่าย:

2635

แนบสลิป:

Choose File No file chosen

วิธีการชำระเงิน

กรุณามำรเงินผ่านบัญชีธนาคาร กรุงไทย

ชื่อบัญชี: โรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบอม 1

เลขบัญชี: 403-0-01573-6

หรือ สแกน QR ได้เพื่อทำการชำระเงิน

ดำเนินการชำระเงิน

สถานะการชำระเงิน

สถานะการสมัคร

ชำระเงินแล้ว

สมัครสำเร็จ

แจ้งชำระเงิน

รอการชำระเงิน

แจ้งชำระเงิน

รอการชำระเงิน

ชำระเงินแล้ว

รอการตรวจสอบ

© 2024 Saint John's Thabom School. All Rights Reserved.
 โทร: 042-810-0428 | อีเมล: thabom@stjohn.ac.th
 หมู่ ๘ ตำบลเขาแก้ว อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา ๘๖๑๐๐

รูปที่ 12 แสดงหน้าจอการชำระเงินค่าสมัครเรียน

รูปที่ 12 แสดงหน้าจอการชำระเงินค่าสมัครเรียน แบบสลิปการชำระเงิน ซึ่งผู้สมัครสามารถอัปโหลดสลิปการชำระค่าสมัครหรือค่าเทอมได้โดยตรงผ่านระบบ หน้าจอนี้จะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการชำระเงินอย่างชัดเจน รวมถึงแสดง QR Code เพื่ออำนวยความสะดวกในการชำระเงินผ่านแอปพลิเคชันธนาคาร

5.1.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ โดยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศ โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. ด้านการออกแบบของระบบ (Design Test)	4.55	0.51	มากที่สุด
2. ด้านการใช้งาน (Usability Test)	4.40	0.68	มาก
3. ด้านประสิทธิภาพ (Efficacy Test)	4.35	0.49	มาก
4. ด้านการติดตามและการประมวลผลข้อมูล (Tracking and Processing Test)	4.50	0.61	มาก
รวม	4.45	0.57	มาก

จากตารางที่ 1 ผลการวิจัยพบว่า ในภาพรวมผู้เชี่ยวชาญได้ประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.45, S.D. = 0.57) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ด้านการออกแบบของระบบ (Design Test) อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.55, S.D. = 0.51) รองลงมา ด้านการติดตามและการประมวลผลของระบบ (Tracking and Processing Test) อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.50, S.D. = 0.61) ด้านการใช้งานของระบบ (Usability Test) อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.40, S.D. = 0.68) และด้านประสิทธิภาพของระบบ (Efficacy Test) ($\bar{X}$ = 4.35, S.D. = 0.49) ตามลำดับ

5.1.3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของการพัฒนาระบบสารสนเทศ สำหรับการรับสมัครออนไลน์

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบสารสนเทศ สำหรับการรับสมัครออนไลน์ ด้านการออกแบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1) ความสวยงามและความเป็นระเบียบของหน้าจอ	4.80	0.42	มากที่สุด
2) การจัดวางปุ่มและเมนูต่างๆ ชัดเจนและเข้าใจง่าย	4.60	0.52	มากที่สุด
3) ความสอดคล้องของสีและตัวอักษรที่ใช้ในระบบ	4.70	0.48	มากที่สุด
4) ระบบรองรับหลายแพลตฟอร์ม	4.50	0.53	มาก
5) การนำทางภายในระบบทำได้ง่ายและสะดวก	4.20	0.79	มาก
รวม	4.56	0.58	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 ผลการศึกษาความพึงพอใจของระบบด้านการออกแบบ ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.56, S.D. = 0.58) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงจากความพึงพอใจสูงสุดพบว่า ความสวยงามและความเป็นระเบียบของหน้าจอการสมัครเรียน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.80, S.D. = 0.42) รองลงมา ความสอดคล้องของสีและตัวอักษรที่ใช้ในระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.70, S.D. = 0.48) รองลงมา การจัดวางปุ่มและเมนูต่างๆ ชัดเจนและเข้าใจง่าย ($\bar{X}$ = 4.60, S.D. = 0.52) ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบสารสนเทศ สำหรับการรับสมัครออนไลน์ ด้านประสิทธิภาพของระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1) ระบบสามารถแก้ไขข้อมูลที่กรอกผิดพลาดได้ง่าย	4.60	0.52	มากที่สุด
2) ระบบมีความเสถียร ไม่เกิดข้อผิดพลาดหรือหยุดทำงานบ่อยครั้ง	4.30	0.67	มาก
3) ระบบสามารถเข้าถึงข้อมูลระเบียบการสมัครได้สะดวกรวดเร็ว	4.70	0.48	มากที่สุด
4) ความรวดเร็วในการโหลดหน้าเว็บไซต์	4.40	0.52	มาก
5) การตอบสนองของระบบเมื่อทำการบันทึกหรือส่งข้อมูล	4.50	0.53	มาก
รวม	4.50	0.54	มาก

จากตารางที่ 3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของระบบสารสนเทศด้านประสิทธิภาพของระบบ ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.50, S.D. = 0.54) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงจากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูงสุดพบว่า ระบบสามารถเข้าถึงข้อมูลระเบียบการสมัครได้สะดวกรวดเร็ว อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.70, S.D. = 0.48) รองลงมา ระบบสามารถแก้ไขข้อมูลที่กรอกผิดพลาดได้ง่าย อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.60, S.D. = 0.52) รองลงมา การตอบสนองของระบบเมื่อทำการบันทึกหรือส่งข้อมูล ($\bar{X}$ = 4.50, S.D. = 0.53) ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบสารสนเทศ สำหรับการรับสมัครออนไลน์ ด้านความปลอดภัยของระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1) ความมั่นใจในความปลอดภัยของข้อมูลส่วนบุคคล	4.40	0.52	มาก
2) สามารถเปลี่ยนรหัสผ่านได้ และปลอดภัย	4.60	0.52	มากที่สุด
3) ระบบมีการตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้งานก่อนเข้าสู่ระบบ	4.70	0.48	มากที่สุด
4) การจัดการข้อมูลการชำระเงินและข้อมูลทางการเงิน	4.30	0.48	มาก
รวม	4.50	0.51	มาก

จากตารางที่ 4 ผลการศึกษาความพึงพอใจของระบบสารสนเทศ ด้านความปลอดภัยของระบบภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก ($\bar{X}$ = 4.50, S.D. = 0.51) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงจากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูงสุดพบว่า ระบบระบบมีการตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้งานก่อนเข้าสู่ระบบ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.70, S.D. = 0.48) รองลงมา สามารถเปลี่ยนรหัสผ่านได้และปลอดภัย อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.60, S.D. = 0.52) ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบสารสนเทศ สำหรับการรับสมัครออนไลน์ ด้านการนำไปใช้ประโยชน์

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1) ระบบช่วยลดขั้นตอนและระยะเวลาในกระบวนการรับสมัคร	4.45	0.58	มาก
2) ระบบช่วยลดข้อผิดพลาดในการจัดเก็บและตรวจสอบข้อมูลผู้สมัคร	4.70	0.60	มากที่สุด
3) ระบบช่วยติดตามสถานะของผู้สมัครได้อย่างสะดวกและทันเวลา	4.75	0.42	มากที่สุด
4) ระบบสนับสนุนการบริหารจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.44	0.48	มาก
รวม	4.59	0.52	มากที่สุด

จากตารางที่ 5 ผลการศึกษาความพึงพอใจของระบบสารสนเทศ ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.59, S.D. = 0.52) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงจากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูงสุดพบว่า ระบบช่วยลดข้อผิดพลาดในการจัดเก็บและตรวจสอบข้อมูลผู้สมัคร อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.75, S.D. = 0.42) รองลงมา ระบบช่วยลดข้อผิดพลาดในการจัดเก็บและตรวจสอบข้อมูลผู้สมัคร อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.70, S.D. = 0.60) ตามลำดับ

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการพัฒนาระบบสารสนเทศ สำหรับการรับสมัครออนไลน์ กรณีศึกษาโรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม อำเภอยะรัง จังหวัดเลย สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1) ประเด็นประสิทธิภาพของระบบ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศโดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านการออกแบบระบบ ได้รับผลการประเมินประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงคุณภาพใน

การวางโครงสร้างและกระบวนการพัฒนาระบบที่มีประสิทธิภาพ โดยระบบดังกล่าวได้รับการออกแบบและพัฒนาภายใต้เทคโนโลยีเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานผ่านอุปกรณ์ที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ต ทั้งยังมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี CSS ที่มีความยืดหยุ่นสูง ช่วยให้สามารถปรับรูปแบบการแสดงผลให้เหมาะสมกับลักษณะของอุปกรณ์และพฤติกรรมผู้ใช้งาน ส่งผลให้ระบบมีความเสถียร ใช้งานได้ง่าย และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ระบบยังมีคุณสมบัติในการสื่อสารกับผู้ใช้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิผล ซึ่งมีส่วนสำคัญในการสร้างความเชื่อมั่นและความพึงพอใจในการใช้งาน ส่งเสริมให้ผู้ใช้งานมีแนวโน้มในการใช้งานระบบอย่างต่อเนื่องในระยะยาว ทั้งนี้ ผลการประเมินดังกล่าวมีความสอดคล้องกับผลการวิจัยของ ตรีวัชร กาญจนประดิษฐ์ และคณะ (2568) ที่ได้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบรับสมัครเข้าศึกษาต่อแบบออนไลน์ของโรงเรียนทับสะแกวิทยา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาประจวบคีรีขันธ์ โดยพบว่าการพัฒนาระบบรับสมัครออนไลน์ไม่เพียงช่วยเพิ่มความสะดวกในการสมัครและลดความผิดพลาดในการกรอกข้อมูลเท่านั้น หากยังช่วยยกระดับประสิทธิภาพในการบริหารจัดการข้อมูลให้มีความเป็นระบบมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบในการสนับสนุนให้สถานศึกษาและหน่วยงานสามารถปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาองค์กรในยุคดิจิทัลอย่างยั่งยืน นอกจากนี้ ยังพบว่า งานวิจัยของคันสนีย์ วิชัยดิษฐ์ (2567) ซึ่งได้พัฒนาระบบรับสมัครนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบคือ กระบวนการออกแบบและพัฒนาที่ยึดตามความต้องการของผู้ใช้งานเป็นหลัก ผ่านการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรง ทำให้ระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างแท้จริง อีกทั้งยังให้ความสำคัญกับการอำนวยความสะดวกแก่ผู้สมัครในทุกขั้นตอน ตลอดจนการลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็น ทั้งนี้ แนวทางดังกล่าวมีความสอดคล้องกับการออกแบบระบบรับสมัครออนไลน์ในงานวิจัยปัจจุบัน ที่มุ่งเน้นการใช้งานที่ง่าย มีเสถียรภาพ และสามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันให้เหมาะสมกับผู้ใช้งานได้อย่างยืดหยุ่นและต่อเนื่อง

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นจะมีประสิทธิภาพในระดับมาก และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในหลายมิติ แต่ก็ยังพบข้อจำกัดบางประการที่ควรได้รับการพิจารณาในการพัฒนาระบบในอนาคต โดยเฉพาะในด้านการขยายขีดความสามารถของระบบให้รองรับผู้ใช้งานจำนวนมากในช่วงเวลาพีค เช่น ช่วงปิดภาคเรียนหรือช่วงเปิดรับสมัคร ซึ่งยังไม่ได้ดำเนินการทดสอบภายใต้สภาวะโหลดสูง (High Load Condition) อย่างเป็นระบบ ประเด็นนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Saefullah et al. (2024) ซึ่งทำการประเมินความสามารถในการรองรับผู้ใช้งานจำนวนมากของระบบการเรียนรู้แบบเปิด (MOOC platform) และพบว่าหากไม่มีการออกแบบโครงสร้างระบบและเซิร์ฟเวอร์ที่เหมาะสม ระบบมีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาด้านความล่าช้าหรือระบบล่มได้ง่าย การประเมินและวางแผนการขยายขีดความสามารถของระบบให้สามารถรองรับปริมาณผู้ใช้ในระดับสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกสถานการณ์ และตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานในระดับองค์กรได้อย่างยั่งยืน

นอกจากนี้ ระบบยังไม่รองรับการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลของหน่วยงานภายนอก เช่น ระบบตรวจสอบสถานะนักเรียนหรือระบบการยืนยันตัวตนแบบอัตโนมัติ ซึ่งหากสามารถบูรณาการได้จะช่วยลดภาระของเจ้าหน้าที่และเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบข้อมูล สอดคล้องกับงานของ วุฒิภัทร พงษ์เพชรและคณะ (2566) ที่พบว่าการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้กับระบบรับสมัครออนไลน์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน ลดข้อจำกัดของระบบเดิม และเพิ่มความสามารถในการเชื่อมต่อกับระบบอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) ประเด็นผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการใช้งานระบบ ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ มีความพึงพอใจสูงสุดเป็นอันดับหนึ่ง ระบบนี้สามารถสนับสนุนกระบวนการรับสมัครได้อย่างมีประสิทธิภาพ ครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการกรอกข้อมูล การตรวจสอบเอกสาร ไปจนถึงการจัดเก็บและบริหารข้อมูล ผู้สมัครอย่างเป็นระบบ ความสำเร็จนี้เป็นผลมาจากการออกแบบระบบโดยยึดตามความต้องการของผู้ใช้งานจริง ได้แก่ ผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ และผู้สมัคร นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อเพิ่มความสะดวก ความถูกต้อง และความรวดเร็วใน

การใช้งาน ผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของจิระวดี สินทร (2565) ได้ศึกษาสภาพการบริหารระบบข้อมูลสารสนเทศในโรงเรียนมัธยมศึกษา พบว่าส่วนใหญ่ยังขาดความยั่งยืนในการจัดการข้อมูล โดยมีข้อจำกัดด้านความถูกต้อง ความรวดเร็ว และการเข้าถึงข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยชี้ให้เห็นว่าสถาบันการศึกษาควรพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศให้สามารถใช้งานได้สะดวก เข้าถึงง่าย และตอบโจทย์ผู้ใช้งานในทุกระดับ รองรับความหลากหลายของผู้ใช้งาน และสนับสนุนการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ งานวิจัยของ วรยุทธ วงศ์ประเสริฐ และคณะ (2566) ซึ่งศึกษาการพัฒนากระบวนการสารสนเทศในการบริหารงานงบประมาณของโรงเรียนมัธยมในจังหวัดพังงา ได้เน้นถึงความสำคัญของประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ โดยระบบต้องมีความเสถียรและสามารถทำงานได้อย่างราบรื่น โดยไม่มีปัญหาการค้างหรือขัดข้องบ่อยครั้ง ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการบริหารจัดการข้อมูลงบประมาณอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังได้เน้นถึงความสำคัญของการพัฒนาระบบที่รองรับการใช้งานได้หลากหลายและสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ในทุกระดับ

การพัฒนากระบวนการสารสนเทศให้มีความเสถียรและใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการสนับสนุนการบริหารจัดการในทุกด้าน รวมถึงการวางแผนการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางในการพัฒนาระบบรับสมัครที่ต้องมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และถูกต้อง ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการพัฒนาและยกระดับคุณภาพการบริหารงานในองค์กร

แม้ว่าระบบจะได้รับความพึงพอใจในภาพรวมในระดับดี แต่ยังมีผู้ใช้งานบางกลุ่ม โดยเฉพาะกลุ่มผู้ปกครองบางส่วน หรือผู้ใช้งานที่ไม่คุ้นเคยกับเทคโนโลยีดิจิทัล อาจประสบปัญหาในการใช้งานบางฟังก์ชันของระบบ แม้จะมีการออกแบบให้รองรับอุปกรณ์หลากหลายก็ตาม โดยมีงานวิจัยของ Vaportzis et al. (2017) ระบุว่าผู้ใช้งานกลุ่มสูงวัยหรือผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับเทคโนโลยีมักมีความวิตกในการใช้งานระบบดิจิทัล และต้องการคำแนะนำที่ชัดเจนหรือการสนับสนุนเพิ่มเติมจากเจ้าหน้าที่ เพื่อให้สามารถใช้งานระบบได้อย่างมั่นใจ ดังนั้น การออกแบบระบบในอนาคตควรพิจารณาเพิ่มฟีเจอร์ช่วยเหลือ เช่น คู่มือการใช้งานแบบอินเทอร์แอคทีฟ ปุ่มช่วยเหลือออนไลน์ (Help Bot) หรือการให้บริการโทรศัพท์สายด่วนควบคู่ไปกับระบบออนไลน์

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์ที่โรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม อำเภอยะรัง จังหวัดเลย พบว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการรับสมัครออนไลน์สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการสมัครเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการพัฒนาระบบนี้มุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่รองรับการทำงานในทุกแพลตฟอร์ม ทั้งในส่วนของผู้ดูแลระบบ ครูบุคลากร และผู้สมัคร เพื่อให้กระบวนการรับสมัครเรียนเป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ โดยเฉพาะการใช้ระบบที่ช่วยในการจัดการข้อมูลผู้สมัคร การตรวจสอบสถานะการชำระเงิน และการติดตามข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังช่วยลดข้อผิดพลาดในการกรอกข้อมูลและลดความยุ่งยากในการทำงานของเจ้าหน้าที่ โดยจากผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น การออกแบบระบบ ประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และการใช้งานจริง พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจสูงต่อระบบที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้ระบบสารสนเทศที่พัฒนามีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี สามารถรองรับการใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม และสะดวกสบายมากขึ้น ช่วยให้ทั้งผู้สมัครและเจ้าหน้าที่สามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว ลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็น และเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการการสมัครเรียนได้อย่างมีคุณภาพ

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ควรนำระบบไปใช้งานในโรงเรียนและสถานศึกษาอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับสมัครนักเรียน โดยควรฝึกอบรมบุคลากรให้เข้าใจการใช้งานระบบอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ควรมีการติดตามและปรับปรุงระบบอย่างต่อเนื่องตามข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งาน เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างสมบูรณ์และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน และ ควรมีคู่มือการใช้งานแบบอินเทอร์แอคทีฟ เมนูช่วยเหลือออนไลน์ หรือการให้บริการโทรศัพท์สายด่วนควบคู่ไปกับระบบออนไลน์

7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

ควรพิจารณานำเทคโนโลยีใหม่ มาปรับใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกในการใช้งาน เช่น การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการประมวลผลข้อมูลและคาดการณ์ความต้องการของนักเรียนในอนาคต นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาแอปพลิเคชันมือถือที่รองรับการใช้งานที่หลากหลายและสะดวกสบายยิ่งขึ้นก็เป็นอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถนำไปใช้ในการวิจัยครั้งต่อไปได้เช่นกัน

8. เอกสารอ้างอิง

- กาญจนาพร โชติอัครฐิติกุล, & สุรพงษ์ แสงสีมูข. (2568). แนวทางการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารสถานศึกษาสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาแม่ฮ่องสอน. *Journal of Buddhist Education and Research*, 11(2), 78–90.
- จารุกิตติ์ สายสิงห์. (2566). การพัฒนาระบบสารสนเทศกิจกรรมนักศึกษาผ่านเว็บแอปพลิเคชัน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารการพัฒนาระบบการเรียนรู้สมัยใหม่*. 8(4), 160-173.
- จิระวดี สินทร. (2565). การบริหารระบบข้อมูลสารสนเทศเพื่อการจัดการที่ยั่งยืนของโรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. *วารสารการวิจัยพัฒนาชุมชน (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์)*, 7(4), 15–29.
- ศรัยวัชร กาญจนประดิษฐ์, & สมใจ สืบเสาะ. (2568). การพัฒนาระบบรับสมัครเข้าศึกษาต่อแบบออนไลน์ของโรงเรียนทัสสะแกวิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาประจำบุรีรัมย์. *วารสารนวัตกรรมการบริหารการศึกษา*, 4(1).
- บุญชม ศรีสะอาด. (2560). *หลักการวิจัยเบื้องต้น* (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- ประยงค์ จิตินานนท์. (2562). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อประเมินสมรรถนะผู้เรียนคณะวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. *วารสารบัณฑิตวิทยาลัย พิษณุตรศน์*. 14(2), 99-104.
- มนพ การกล้า, ชูศักดิ์ เอกเพชร, และนัจจรี เจริญสุข. (2566). การพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลสารสนเทศออนไลน์เพื่อการบริหารงานของโรงเรียนในเครือข่ายศรีลันตา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาจังหวัดกระบี่. *วารสารรัชต์ภาค*, 16(46), 197-209.
- โรงเรียนเซนต์จอห์นท่าบม. (2567). *ข้อมูลโรงเรียน*. เข้าถึงเมื่อ 14 มกราคม 2568, จาก <https://www.stjohn-thabom.school>.
- วรยุทธ วงศ์ประเสริฐ, นัจจรี เจริญสุข, & ชูศักดิ์ เอกเพชร. (2566). การพัฒนาระบบสารสนเทศในการบริหารงานงบประมาณของโรงเรียนมัธยมในจังหวัดพังงา. *วารสาร มจร อุบลปริทรรศน์*, 8(1), 1–15.
- วรวัฒน์ ม่วงนาค. (2566). การพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศการจัดเก็บข้อมูลออนไลน์เพื่อการบริหารสถานศึกษา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาประจวบคีรีขันธ์ เขต 2. *วารสารการจัดการภาครัฐและการเมือง*. 1(3), 30-41.
- วุฒิภัทร พงษ์เพชร, อภิชาติ จำปา, & อัจฉริยา ทุมพานิชย์. (2566). การประยุกต์ใช้แนวคิดแบบบอโลจเพื่อพัฒนาระบบรับสมัครนักศึกษาออนไลน์มหาวิทยาลัยนครพนม. *วารสารศิลปศาสตร์ (วังนางเลิ้ง)*, 3(1), 1–10.
- คันสนีย์ วิชัยดิษฐ์. (2567). การพัฒนาระบบรับสมัครนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี. *วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี*, 6(2), 75–94.
- Best, J. W. (1981). *Research in education* (3rd ed.). Prentice-Hall.
- Cochran, W. G. (1953). *Sampling techniques*. John Wiley & Sons.
- Saefullah, A., Ferdiana, R., & Hantono, B. S. (2024). Load testing method for measure the capability of MOOC platform to handle massive user. In *2024 International Conference on TVET Excellence & Development (ICTeD)* (pp. 219–224). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICTeD62334.2024.10844671>
- Vaportzis, E., Clausen, M. G., & Gow, A. J. (2017). Older adults' perceptions of technology and barriers to interacting with tablet computers: A focus group study. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 1687, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01687>

ประวัติผู้เขียนบทความ



นางสาวชรินทร์ญา หวังวัชรกุล

อาจารย์สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจดิจิทัล คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

โทร 086-702-2202, Email: charinya.wan@lru.ac.th



นายชวลิต ยศสุนทร

อาจารย์สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจดิจิทัล คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

โทร 081-049-0191, Email: chawalit.yos@lru.ac.th



นายณัฐพล เพาะพีช

นักศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจดิจิทัล คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

โทร 083-979-3792, Email: natthaphonphopect@gmail.com

การหาสภาวะที่เหมาะสมของผลผลิตไบโอชาร์จากกากข้าวโพดหวานผ่านกระบวนการ
ไพโรไลซิสแบบช้าด้วยการวิเคราะห์พื้นผิวดตอบสนอง
Optimization of Biochar Yield from Sweet Corn Residue Through Slow
Pyrolysis Using Response Surface Methodology

นพดล ปันจันทร^{1,2}

¹ภาควิชาวิศวกรรมกระบวนการและอุตสาหกรรม สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530

²ศูนย์ความเชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย
เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530

noppadol@mut.ac.th

Noppadol Panchan^{1,2}

¹Department of Process and Industrial Engineering, School of Engineering and Industrial Technology,
Mahanakorn University of Technology, 140 Chuem Samphan Rd., Krathum Rai, Nong Chok, Bangkok 10530

²Center of Excellence in Sustainable Engineering, Mahanakorn University of Technology, 140 Chuem
Samphan Rd., Krathum Rai, Nong Chok, Bangkok 10530

noppadol@mut.ac.th

วันที่รับบทความ 3 พฤษภาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 8 พฤษภาคม 2568

วันตอบรับบทความ 25 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตไบโอชาร์จากกากข้าวโพดหวานผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า การออกแบบการทดลองใช้เทคนิค Box-Behnken Design (BBD) เพื่อตรวจสอบผลกระทบของอุณหภูมิไพโรไลซิส (300-700 °C) อัตราการให้ความร้อน (2-20 °C/min) และระยะเวลาคงอุณหภูมิ (2-10 h) ต่อร้อยละผลผลิตของไบโอชาร์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวดตอบสนอง และพัฒนาเป็นแบบจำลองกำลังสอง พบว่าอุณหภูมิไพโรไลซิสมีผลกระทบเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละผลได้ และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือการผลิตไบโอชาร์คือที่อุณหภูมิ 300 °C อัตราการให้ความร้อน 2 °C/min และระยะเวลาคงอุณหภูมิ 2 h ซึ่งให้ผลผลิตไบโอชาร์สูงสุดถึง 49.2% จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยการทดลองเพิ่มเติม 10 จุด แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำสูงของแบบจำลองที่ได้ โดยมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสัมบูรณ์เพียง 1.97%

คำสำคัญ: ไบโอชาร์, ไพโรไลซิสแบบช้า, การออกแบบการทดลอง, วิธีการพื้นผิวดตอบสนอง, การหาสภาวะที่เหมาะสม

ABSTRACT

This research aimed to optimize the biochar production process from sweet corn residues through slow pyrolysis. The experimental design was based on the Box-Behnken Design (BBD) to evaluate the effects of pyrolysis temperature (300-700 °C), heating rate (2-20 °C/min), and holding time (2-10 h) on the biochar yield.

The experimental data were analyzed using Response Surface Methodology (RSM) to develop a quadratic model. The results indicated that pyrolysis temperature had a significantly negative impact on % Yield, and significant interactions among the three factors were also observed. Numerical optimization revealed that the highest predicted yield of 49.2% could be achieved at 300 °C, 2 °C/min heating rate, and 2 h holding time. The model's reliability was confirmed by additional randomized experiments, with an average absolute deviation of only 1.97%.

KEYWORDS: Biochar, Slow Pyrolysis, Experimental Design, Response Surface Methodology, Optimization

1. บทนำ

การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดให้เป็นน้ำมันข้าวโพดได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากเป็นเครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น วิตามินเอ วิตามินบี แคลเซียม และฟอสฟอรัส อีกทั้งยังสามารถบริโภคได้ทุกช่วงวัย ทำให้มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันข้าวโพดอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดใหญ่ (รุ่งทิพาและวิชาญ, 2563) อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตดังกล่าวส่งผลให้เกิดของเสียในปริมาณมาก ซึ่งหากไม่มีการจัดการอย่างเหมาะสมอาจก่อให้เกิดปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงตามมา (Nguyen et al., 2024) ทั้งนี้ของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันข้าวโพดแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ เปลือกและขังข้าวโพด ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น การนำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรม (กิตติการ และคณะ, 2558) รวมถึงการนำไปผลิตเป็นวัสดุชีวภาพสำหรับการผลิตพลาสติกชีวภาพและวัสดุก่อสร้าง (วิโรจน์ และคณะ, 2564; Nurhayati et al., 2025) ส่วนที่สองคือกากข้าวโพด ซึ่งเป็นของเสียที่เหลือจากการคั้นน้ำซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ โดยทั่วไปมักนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ในราคาถูก (Jiao et al., 2022) ทั้งนี้กากข้าวโพดมีปัญหาการเน่าเสียที่รวดเร็ว หากไม่ได้รับการจัดการอย่างเร่งด่วน จะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง เช่น การปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายกากข้าวโพดด้วยจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนและคุณภาพอากาศโดยรวม อีกทั้งยังเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดเชื้อโรคได้ (University of Nebraska-Lincoln, 2018) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการจัดการของเสียประเภทนี้ให้มีประสิทธิภาพ

แนวทางหนึ่งที่สามารถนำกากข้าวโพดไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดคือ การนำกากข้าวโพดมาผลิตเป็นไบโอชาร์ (biochar) ซึ่งเป็นวัสดุคาร์บอนที่มีคุณสมบัติเด่นคือมีรูพรุนและพื้นที่ผิวสูง (Lehmann et al., 2016) มีความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในดิน ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ (Yadav et al., 2023) โดยทั่วไปกระบวนการผลิตไบโอชาร์จากชีวมวลสามารถดำเนินการได้ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) จัดเป็นกระบวนการให้ความร้อนกับชีวมวลในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจำกัด ทำให้เกิดการย่อยสลายเชิงความร้อนและแปรสภาพเป็นไบโอชาร์ (Ahmad et al., 2014) กระบวนการนี้สามารถดำเนินการภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของไบโอชาร์ที่ต้องการ อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสมักอยู่ในช่วง 300-800°C โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นมักส่งผลให้เกิดรูพรุนใน

โครงสร้างของไบโอชาร์มากขึ้น ส่งผลต่อการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในดิน ทั้งนี้อุณหภูมิที่แตกต่างกันจะให้ไบโอชาร์ที่มีคุณสมบัติต่างกัน เช่น ความสามารถในการดูดซับ ความเสถียรของโครงสร้าง และปริมาณคาร์บอนคงเหลือ ดังนั้นการควบคุมสภาวะการผลิตที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตไบโอชาร์ที่มีคุณภาพสูง (Qambrani et al., 2017)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตไบโอชาร์จากกากข้าวโพดหวานผ่านกระบวนการไพโรไลซิส โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน และระยะเวลาคงอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสต่อร้อยละผลผลิตของไบโอชาร์ ด้วยการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายผลผลิตได้อย่างแม่นยำ ผลลัพธ์จากการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการของเสียจากการผลิตนํ้ามันข้าวโพดและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับชุมชนหรืออุตสาหกรรมขนาดย่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตไบโอชาร์จากกากข้าวโพดหวานผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า โดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิไพโรไลซิส อัตราการให้ความร้อน และระยะเวลาในการคงอุณหภูมิ เพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ไบโอชาร์สูงสุด รวมถึงการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายผลได้ของไบโอชาร์ได้อย่างแม่นยำ

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1. กระบวนการไพโรไลซิส

การไพโรไลซิส (Pyrolysis) หมายถึงกระบวนการสลายตัวของวัสดุชีวมวลโดยอาศัยความร้อนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1. ไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis)

ไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis) เป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการย่อยสลายชีวมวลนานกว่ากระบวนการไพโรไลซิสประเภทอื่น โดยทั่วไปใช้เวลาในการคงอุณหภูมิหลายนาที่ถึงหลายชั่วโมง ดำเนินการที่อุณหภูมิระหว่าง 300-700 °C และอัตราการให้ความร้อนต่ำประมาณ 0.1-10 °C/min กระบวนการนี้มักถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มผลผลิตของแข็งหรือที่เรียกว่าไบโอชาร์ ซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน การดูดซับมลพิษ และการกักเก็บคาร์บอนในระยะยาว (Qambrani et al., 2017)

3.1.2. ไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis)

ไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) เป็นกระบวนการที่ออกแบบมาเพื่อเพิ่มผลผลิตของน้ำมันชีวภาพซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ทดแทนได้ กระบวนการนี้ดำเนินการที่อุณหภูมิประมาณ 400-600°C และมีอัตราการให้ความร้อนสูงกว่าไพโรไลซิสแบบช้า โดยอยู่ในช่วง 10-200 °C/min และมีเวลาในการเกิดไพโรไลซิสที่สั้น กระบวนการนี้เหมาะสำหรับชีวมวลที่มีโครงสร้างเซลลูโลสสูง และเป็นที่ยอมรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (Adelawon et al., 2021)

3.1.1. ไพโรไลซิสแบบวาบ (Flash Pyrolysis)

ไพโรไลซิสแบบวาบ (Flash Pyrolysis) เป็นกระบวนการที่มีอัตราการให้ความร้อนสูงมาก (1000 °C/min) ที่อุณหภูมิระหว่าง 450-1000 °C และเวลาในการเกิดไพโรไลซิสสั้นมาก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นก๊าซสังเคราะห์ (syngas) ในปริมาณสูง และมีน้ำมันชีวภาพเป็นผลพลอยได้ กระบวนการนี้เหมาะสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้า เนื่องจากสามารถนำก๊าซสังเคราะห์ที่ได้ไปเผาไหม้โดยตรง หรือใช้ในกระบวนการแปลงก๊าซเป็นของเหลว (Gas-to-Liquid, GTL) เพื่อผลิตเชื้อเพลิงที่มีค่าพลังงานสูง อย่างไรก็ตาม ไพโรไลซิสแบบวาบต้องการอุปกรณ์ที่ทนต่ออุณหภูมิสูงและควบคุมกระบวนการ

ที่รวดเร็ว ทำให้มีความซับซ้อนมากกว่ากระบวนการไพโรไลซิสประเภทอื่น (Adelawon et al., 2021)

จากการเปรียบเทียบกระบวนการไพโรไลซิสตารางที่ 1 พบว่ากระบวนการไพโรไลซิสแบบช้ามีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างจากกระบวนการอื่น ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้มีสัดส่วนของไบโอชาร์สูงกว่าผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น ตรงกันข้ามกับไพโรไลซิสแบบเร็วที่มุ่งเน้นการเพิ่มผลผลิตของน้ำมันชีวภาพ (Al Arni, 2018) อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสแบบช้าขึ้นอยู่กับลักษณะของชีวมวลและสถานะของกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะองค์ประกอบของวัสดุชีวมวลซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน การสลายตัวขององค์ประกอบเหล่านี้ภายใต้อัตราการให้ความร้อนที่ช้าเอื้อให้เกิดปฏิกิริยาทุติยภูมิ นำไปสู่การเพิ่มปริมาณการก่อตัวของถ่าน (Char) จากลักษณะเฉพาะดังกล่าว กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าจึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการผลิตไบโอชาร์ที่มีสัดส่วนผลผลิตสูง นอกจากนี้ การใช้ไพโรไลซิสแบบช้ายังมีข้อดีด้านความเหมาะสมกับการดำเนินการในระดับชุมชน เนื่องจากสามารถใช้เครื่องปฏิกรณ์ที่มีโครงสร้างทางวิศวกรรมไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับระบบไพโรไลซิสแบบอื่นๆ (Qambrani et al., 2017; Lataf et al., 2022)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบกระบวนการไพโรไลซิสต่างๆ

คุณสมบัติ	ไพโรไลซิสแบบช้า	ไพโรไลซิสแบบเร็ว	ไพโรไลซิสแบบแฟลช
อุณหภูมิ (°C)	300-700	400-600	450-1000
อัตราการให้ความร้อน (°C/min)	0.1-10	10-200	>1000
เวลาในการคงอุณหภูมิ	หลายนาที่ถึงหลายชั่วโมง	0.5-2 วินาที	<1 วินาที
ผลิตภัณฑ์หลัก	ไบโอชาร์	น้ำมันชีวภาพ	ก๊าซสังเคราะห์
ปริมาณไบโอชาร์ (%)	สูง (มากกว่า 30%)	ต่ำ (10-20%)	ต่ำมาก (<10%)
ปริมาณน้ำมันชีวภาพ (%)	ต่ำ (10-20%)	สูง (มากกว่า 60%)	ปานกลาง (20-40%)
ปริมาณก๊าซสังเคราะห์ (%)	ปานกลาง (20-30%)	ปานกลาง (20-30%)	สูง (>50%)
ลักษณะเด่น	ผลิตไบโอชาร์คุณภาพสูง	ผลิตน้ำมันชีวภาพได้ในปริมาณสูง	ผลิตก๊าซสังเคราะห์ได้ในปริมาณสูง
การนำไปใช้ประโยชน์	ปรับปรุงดิน และกักเก็บคาร์บอน	ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ	ผลิตพลังงานและเชื้อเพลิงสังเคราะห์
ความซับซ้อนของกระบวนการ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
อ้างอิง	Qambrani et al., 2017	Adelawon et al., 2021	Adelawon et al., 2021

3.2. ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตไบโอชาร์ในกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า

ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตไบโอชาร์จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าคืออุณหภูมิของกระบวนการ โดยทั่วไปพบว่าเมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสเพิ่มสูงขึ้น ผลผลิตไบโอชาร์จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อให้ได้ผลผลิตเป็นไบโอชาร์ในปริมาณสูงจะอยู่ในช่วง 300-500 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม แม้ว่าอุณหภูมิที่สูงกว่า 500 องศาเซลเซียสจะให้ผลผลิตไบโอชาร์ในสัดส่วนที่ต่ำลง แต่พบว่าที่อุณหภูมิสูงสามารถช่วยเพิ่ม

คุณสมบัติสำคัญอื่น ๆ ของไบโอชาร์ เช่น ปริมาณคาร์บอน ความพรุน และเสถียรภาพทางเคมีให้ดีขึ้น (Lataf et al., 2022) อัตราการให้ความร้อนเป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญ โดยทั่วไปพบว่าอัตราการให้ความร้อนที่ช้า (น้อยกว่า 20 °C/min) มีแนวโน้มให้ผลผลิตไบโอชาร์สูงกว่าการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบคือระยะเวลาในการคงอุณหภูมิ (Holding Time) ในระหว่างกระบวนการไพโรไลซิส จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าการใช้เวลานานขึ้นมีส่วนช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของการระเหยของสารอินทรีย์และการก่อตัวของคาร์บอนในไบโอชาร์ แต่อาจนำไปสู่การลดลงของผลผลิตเล็กน้อยและการให้เวลาในการไพโรไลซิสที่ยาวนานก่อให้เกิดต้นทุนด้านพลังงานที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Adelawon et al., 2021)

3.3. ทฤษฎีวิธีการพื้นผิวตอบสนอง Response Surface Methodology (RSM)

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างหลายตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ (Factors) กับการตอบสนอง (Response) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหรือระบบ ซึ่ง RSM นิยมใช้เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การตอบสนองที่ได้รับจากการปรับเปลี่ยนหลายปัจจัยหรือตัวแปร เพื่อหาค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดย RSM มีขั้นตอนดังนี้ (Montgomery, 2017)

3.3.1. **การเลือกปัจจัยและระดับ** เป็นการเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการตอบสนอง เช่น ความดัน อุณหภูมิ เวลา และปริมาณส่วนผสมต่างๆ จากนั้นจะต้องกำหนดระดับของปัจจัยแต่ละตัว (เช่น สูง กลาง ต่ำ) ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.2. **การออกแบบการทดลอง** เป็นการเลือกการออกแบบการทดลอง เช่น การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบนเคน การออกแบบการทดลองแบบแฟกเตอร์-เบอร์แมน ซึ่งวิธีเหล่านี้จะช่วยลดจำนวนการทดลองในขณะที่ยังคงสามารถให้ข้อมูลที่เพียงพอในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยได้

3.3.3. **การสร้างแบบจำลองการถดถอย (Regression Modeling)** เป็นการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหรือตัวแปรควบคุมกับการตอบสนอง โดยปกติแบบจำลองจะมีลักษณะเป็นสมการพหุนามที่เชื่อมโยงค่าของปัจจัยและการตอบสนอง ตัวอย่างของสมการพหุนามกำลังสอง ดังสมการ (Montgomery, 2017)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1^2 + \beta_5 X_2^2 + \beta_6 X_3^2 + \beta_7 X_1 X_2 + \beta_8 X_1 X_3 + \beta_9 X_2 X_3 + \varepsilon \quad (1)$$

เมื่อ Y คือการตอบสนอง โดยที่ X_1 X_2 และ X_3 คือปัจจัยหรือตัวแปรต้นต่างๆ ในการทดลอง β คือค่าสัมประสิทธิ์ และ ε คือค่าความคลาดเคลื่อน

3.3.4. **การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Response Surface)** เป็นแสดงการตอบสนองในรูปของกราฟสามมิติ และแผนที่คอนทัวร์ (Contour Plot) ช่วยให้เราสามารถมองเห็นได้ว่าค่าของปัจจัยใดที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และหาจุดที่เหมาะสมของปัจจัยที่จะให้ผลลัพธ์สูงสุด (หรือต่ำสุด) ในการตอบสนอง

3.3.5. **การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)** เป็นการนำผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง เพื่อทำการหาค่าของปัจจัยที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เมื่อได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จะนำแบบจำลองนั้นมาทดสอบกับการทดลองจริงเพื่อดูว่าได้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามที่แบบจำลองทำนายไว้หรือไม่

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1. การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองคือกากข้าวโพดหวาน ที่เหลือทิ้งจากการคั้นน้ำนมข้าวโพดแล้ว นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้ความชื้นต่ำกว่า 5% เพื่อป้องกันการเน่าเสีย จากนั้นนำกากข้าวโพดหวาน

แห้งมาบดให้ได้ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1–5 มิลลิเมตร เพื่อควบคุมให้มีขนาดที่สม่ำเสมอในทุกการทดลองและมีประสิทธิภาพในการเกิดไฟโรไลซิสมากยิ่งขึ้น

4.2. การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

การทดลองนี้ได้ออกแบบโดยใช้เทคนิค Box-Behnken Design (BBD) โดยกำหนดให้มีตัวแปรต้นสามปัจจัย และแบ่งเป็นระดับสูง กลาง และต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติจะใช้โปรแกรม R (version 4.5.0)

ตารางที่ 2 แสดงตัวแปรต้นและระดับของแต่ละตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ตัวแปรต้น	ระดับ		
	ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (+1)
X ₁ : อุณหภูมิไฟโรไลซิส (°C)	300	500	700
X ₂ : อัตราการให้ความร้อน (°C/min)	2	11	20
X ₃ : ระยะเวลาคองอุณหภูมิ (h)	2	6	10

4.3. การเตรียมไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไฟโรไลซิส

การทดลองดำเนินการโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ไฟโรไลซิสแบบเบดนิ่ง (Fixed-bed Reactor) ซึ่งเป็นท่อสแตนเลสและติดตั้งภายในเตาเผาไฟฟ้าที่สามารถตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนได้ สำหรับกระบวนการดำเนินการในแต่ละการทดลอง เริ่มจากบรรจุกากข้าวโพดหวานที่ผ่านการอบแห้งและบดแล้วการทดลองละ 100 g ลงในท่อปฏิกรณ์และติดตั้งท่อปฏิกรณ์เข้ากับชุดเตาไฟโรไลซิส จากนั้นป้อนก๊าซไนโตรเจนที่อัตรา 1 L/min เพื่อสร้างสภาวะปราศจากออกซิเจนในระบบ ทำการตั้งค่าการให้ความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ตามที่กำหนด เมื่อความร้อนของระบบถึงอุณหภูมิเป้าหมาย ทำการคองอุณหภูมิไว้เป็นระยะเวลาที่กำหนด เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการลดอุณหภูมิสู่อุณหภูมิห้องภายใต้การไหลของก๊าซไนโตรเจน จากนั้นเก็บรวบรวมไบโอชาร์ที่ได้เพื่อนำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาผลได้ของไบโอชาร์ดังสมการที่ 2 (Adelawon et al., 2021)

$$\text{ผลได้ไบโอชาร์ (\%)} = \left(\frac{\text{มวลของไบโอชาร์ที่ผลิตได้}}{\text{มวลของชีวมวลหรือกากข้าวโพดแห้งเริ่มต้น}} \right) \times 100 \quad (2)$$

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษากระบวนการไฟโรไลซิสของกากข้าวโพดหวานที่มีตัวแปรต้น 3 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน และเวลาในการคองอุณหภูมิ เพื่อหาร้อยละผลได้ของไบโอชาร์ (%Yield) โดยออกแบบการทดลองแบบ BBD ได้จำนวน 17 การทดลอง ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3 พบว่าผลได้ของไบโอชาร์อยู่ในช่วง 25.1–48.5% การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษาเกี่ยวกับค่าตอบสนองในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองการถดถอยแบบกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Regression Model) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% พบว่าแบบจำลองพหุนามกำลังสอง (Quadratic Model) มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ และสามารถนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังแสดงในสมการที่ 3

$$Y (\%) = 38.44 - 9.55X_1 + 0.88X_2 - 2.10X_3 + 2.41X_1X_2 + 1.68X_1X_3 + 1.29X_2X_3 - 3.07X_1^2 - 1.22X_2^2 - 1.87X_3^2 \quad (3)$$

โดยที่ X₁ X₂ และ X₃ คือ อุณหภูมิไฟโรไลซิส อัตราการให้ความร้อน และระยะเวลาคองอุณหภูมิ ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมและประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น โดยผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4 พบว่าตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model) มีนัยสำคัญทางสถิติสูง

($p < 0.05$) และการขาดความพอดี (Lack of Fit) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้มีความเหมาะสมในการอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ และสามารถทำนายผลการตอบสนองได้แม่นยำในระดับสูง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9910 ขณะที่ค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 0.9793 แสดงว่าแบบจำลองยังคงรักษาความแม่นยำได้แม้มีการปรับค่าตามจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ ส่วนค่า Predicted R^2 ที่ได้เท่ากับ 0.9285 บ่งชี้ว่าแบบจำลองมีความสามารถในการทำนายข้อมูลใหม่ได้ดี (Montgomery, 2017)

ตารางที่ 3 เมทริกซ์การออกแบบ Box-Behnken และผลได้ของไบโอชาร์

การทดลอง ที่	ตัวแปรต้น			ผลได้ของไบโอชาร์ (%)
	X ₁ : อุณหภูมิ (°C)	X ₂ : อัตราการให้ความร้อน (°C/นาท)	X ₃ : เวลาในการคงอุณหภูมิ (ชั่วโมง)	
1	300 (-1)	2 (-1)	6 (0)	48.5
2	700 (+1)	2 (-1)	6 (0)	25.1
3	300 (-1)	20 (+1)	6 (0)	45.2
4	700 (+1)	20 (+1)	6 (0)	28.8
5	300 (-1)	11 (0)	2 (-1)	47.1
6	700 (+1)	11 (0)	2 (-1)	29.5
7	300 (-1)	11 (0)	10 (+1)	42.6
8	700 (+1)	11 (0)	10 (+1)	26.3
9	500 (0)	2 (-1)	2 (-1)	39.8
10	500 (0)	20 (+1)	2 (-1)	41.5
11	500 (0)	2 (-1)	10 (+1)	35.4
12	500 (0)	20 (+1)	10 (+1)	33.9
13	500 (0)	11 (0)	6 (0)	38.2
14	500 (0)	11 (0)	6 (0)	38.8
15	500 (0)	11 (0)	6 (0)	38.5
16	500 (0)	11 (0)	6 (0)	38.0
17	500 (0)	11 (0)	6 (0)	38.6

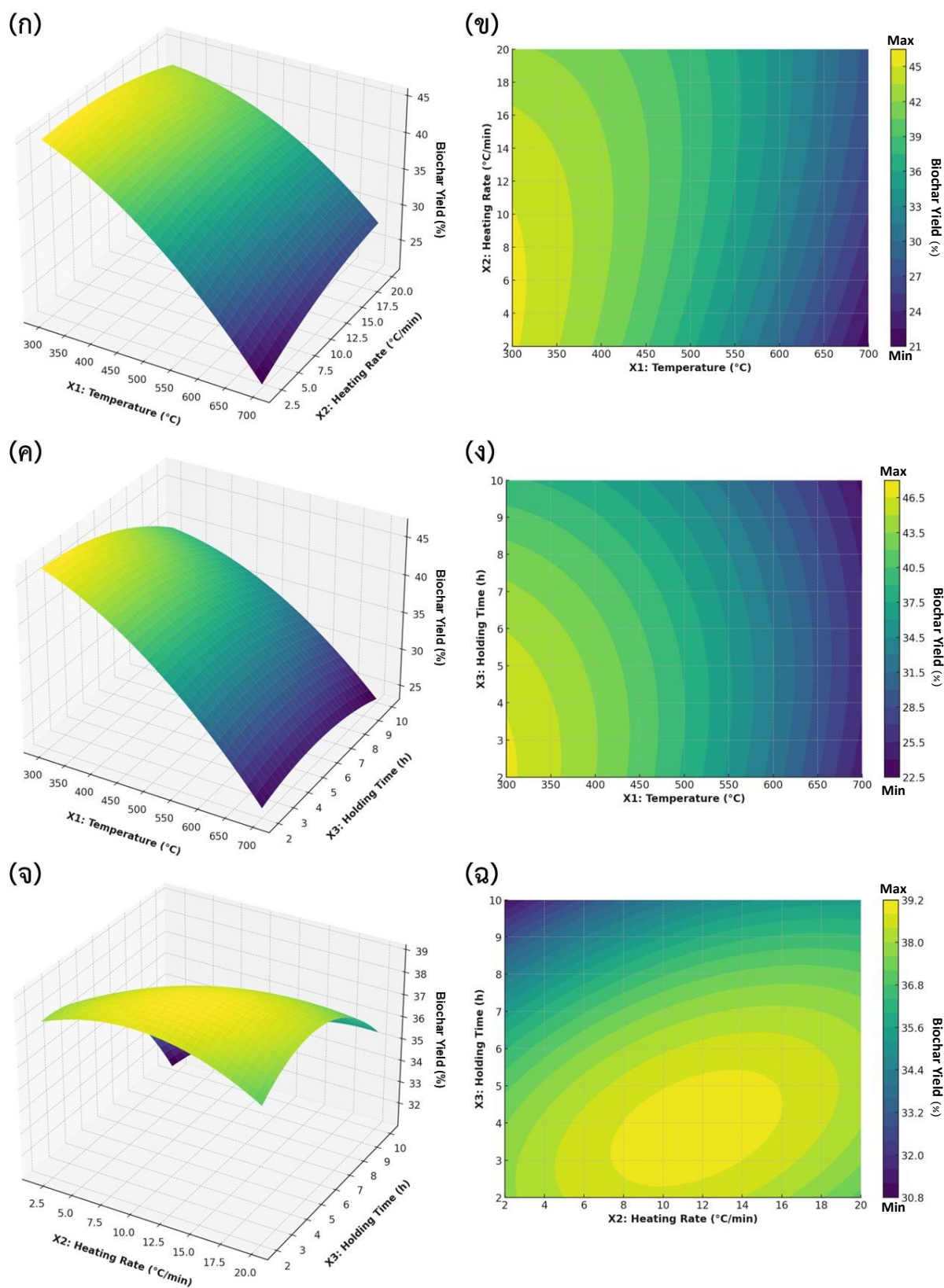
เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ 3 ซึ่งแสดงอิทธิพลของตัวแปรต้นต่อตัวแปรตามหรือผลการตอบสนอง (ร้อยละผลได้ของไบโอชาร์) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นบวกแสดงถึงเมื่อค่าของตัวแปรต้นเพิ่มขึ้น ผลตอบสนองจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบแสดงถึงเมื่อค่าของตัวแปรต้นเพิ่มขึ้นผลตอบสนองจะลดลง โดยเมื่อพิจารณาร่วมกับการวิเคราะห์ ANOVA จะพบว่าทุกพจน์ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งพจน์ของตัวแปรที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญที่สุดต่อร้อยละผลได้ของไบโอชาร์คือ อุณหภูมิไพโรไลซิส ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ผลผลิตลดลงอย่างชัดเจน ทั้งในเชิงเส้นและเชิงกำลังสอง ในขณะที่อัตราการให้ความร้อนและระยะเวลาไพโรไลซิสมีผลกระทบรองลงมา โดยแสดงผลกระทบทั้งในรูปแบบเชิงเส้น เชิงกำลังสอง และปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับแบบจำลองกำลังสองของ %Yield ไบโอดี

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	P-Value	นัยสำคัญ
แบบจำลอง (Model)	685.15	9	76.13	85.14	<0.0001	***
X ₁ -อุณหภูมิไฟโรไลซิส (°C)	512.11	1	512.11	572.73	<0.0001	***
X ₂ -อัตราการให้ความร้อน (°C/นาท)	4.36	1	4.36	4.87	0.0415	*
X ₃ -เวลาในการคงอุณหภูมิ (ชั่วโมง)	24.64	1	24.64	27.56	0.0008	***
X ₁ ²	37.65	1	37.65	42.11	0.0002	***
X ₂ ²	8.41	1	8.41	9.40	0.0181	*
X ₃ ²	19.78	1	19.78	22.12	0.0017	**
X ₁ X ₂	18.49	1	18.49	20.68	0.0022	**
X ₁ X ₃	9.00	1	9.00	10.07	0.0157	*
X ₂ X ₃	5.06	1	5.06	5.66	0.0478	*
คลาดเคลื่อนตกค้าง (Residual)	6.26	7	0.89	-	-	-
การขาดความพอดี (Lack of Fit)	1.89	3	0.63	4.50	0.0591	-
ความคลาดเคลื่อนบริสุทธิ์ (Pure Error)	0.58	4	0.14	-	-	-
ผลรวม (Total)	691.41	16	-	-	-	-

หมายเหตุ ระดับของความมีนัยสำคัญ * ** และ *** หมายถึงมีนัยสำคัญน้อย ปานกลาง และสูง ตามลำดับ

การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่ส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้ของไบโอดี โดยวิเคราะห์จากกราฟพื้นผิวตอบสนองและแผนที่คอนทัวร์ดังแสดงในรูปที่ 1 จากกราฟพื้นผิวตอบสนอง (รูปที่ 1ก) แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิไฟโรไลซิสมิอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อการลดลงของ %Yield เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 500–700 °C ซึ่งเป็นผลจากการสลายตัวขององค์ประกอบกลไกโนเซลลูโลสและการปลดปล่อยสารระเหยอย่างรวดเร็ว (Lataf et al., 2022) ในขณะที่อัตราการให้ความร้อนมีผลกระทบในระดับปานกลาง โดยพบว่าในช่วง 2–10 °C/min จะได้ %Yield สูงกว่า แผนที่คอนทัวร์ (รูปที่ 1ข) แสดงเส้นโค้งที่ไม่ขนานกัน ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าในบริเวณอุณหภูมิต่ำและอัตราการให้ความร้อนต่ำจะให้ %Yield สูงที่สุด (ประมาณ 48–49%) สำหรับปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการคงอุณหภูมิ กราฟพื้นผิวตอบสนอง (รูปที่ 1ค) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมียังคงเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ผลผลิตลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ระยะเวลาการคงอุณหภูมิมีผลกระทบรองลงมา ซึ่งพบว่าระยะเวลาที่สั้นกว่าจะให้ %Yield สูงกว่า ในช่วงอุณหภูมิต่ำจนถึงปานกลาง อย่างไรก็ตาม ที่อุณหภูมิสูงผลของระยะเวลาเริ่มลดลงหรือไม่ชัดเจน แผนที่คอนทัวร์ (รูปที่ 1ง) แสดงรูปแบบโค้งที่เป๋ไปทางช่วงอุณหภูมิต่ำถึงเวลาสั้น ซึ่งยืนยันตำแหน่งของสภาวะที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ผลกระทบของอัตราการให้ความร้อนและระยะเวลามีลักษณะซับซ้อน (รูปที่ 1จ) โดยในช่วงอัตราการให้ความร้อนต่ำและระยะเวลานั้นจะให้ %Yield สูงที่สุด ในขณะที่เมื่ออัตราการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ร่วมกับเวลาที่ยาวนานขึ้น จะทำให้ %Yield ลดลงเล็กน้อย แผนที่คอนทัวร์ (รูปที่ 1ฉ) แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นเชิงเส้นอย่างชัดเจน โดยมีจุดโค้งเว้าซ้อนกันสะท้อนถึงผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัยนี้ที่ต้องควบคุมร่วมกันจึงจะสามารถรักษาค่าผลผลิตให้อยู่ในระดับสูงได้



รูปที่ 1 กราฟพื้นผิวตอบสนองและแผนที่คอนทัวร์ของอิทธิพลร่วมกันของตัวแปรต้นต่าง ๆ ที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของไบโอชาร์

การนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปใช้ในขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสมของการไพโรไลซิสด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยอาศัยฟังก์ชันการตอบสนองร่วมกับเกณฑ์ Desirability Function เพื่อค้นหาสภาวะที่ให้ผลผลิตสูงสุดภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ อุณหภูมิ 300.0 °C อัตราการให้ความร้อน 2.0 °C/min และระยะเวลาไพโรไลซิส 2.0 h โดยภายใต้สภาวะดังกล่าว แบบจำลองทำนายว่าจะให้คาร์บอนผลิตไบโอชาร์เท่ากับ 49.2% ซึ่งเป็นค่าสูงสุดในเชิงคณิตศาสตร์ของแบบจำลองภายใต้ข้อจำกัดที่ศึกษา และมีค่า Desirability เท่ากับ 1.000 ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมสูงสุดในเชิงการออกแบบการทดลอง ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ไบโอชาร์ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงผลิตภัณฑ์ไบโอชาร์จากกากข้าวโพดหวานที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสในสภาวะที่เหมาะสม

เพื่อเป็นการประเมินความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น จึงได้มีการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองโดยการสุ่มเลือกสภาวะที่เป็นเลขจำนวนเต็มทั้งหมดจำนวน 10 ชุด ภายในช่วงของตัวแปรต้นที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง จากนั้นคำนวณค่าผลได้ของไบโอชาร์จากการทำนาย และนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าค่าผลได้ของไบโอชาร์ที่ทำนายได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง โดยมีค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงไม่เกิน 3% และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของทั้ง 10 การทดลองเท่ากับ 1.97% สะท้อนว่าแบบจำลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ผลผลิตภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 5 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ทำนายได้กับค่าที่ได้จากการทดลองจริง

การทดลอง ที่	ตัวแปรต้น			ผลได้ของไบโอชาร์ (%)		ความแตกต่างสัมบูรณ์ (%)
	X ₁	X ₂	X ₃	จากการทำนาย	จากการทดลองจริง	
1	350	2	4	45.44	46.43	2.18
2	350	5	2	46.3	45.86	0.95
3	650	10	4	29.26	28.96	1.03
4	450	10	2	41.38	41.74	0.86
5	400	20	4	41.26	40.15	2.69
6	600	10	10	29.38	28.72	2.24
7	550	2	4	34.18	35.06	2.59
8	550	15	6	36.28	35.02	3.47
9	550	5	8	32.59	32.32	0.84
10	650	5	6	27.22	26.43	2.89
เฉลี่ย	-	-	-	-	-	1.97

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตไบโอชาร์จากกากข้าวโพดหวานด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ BBD ซึ่งศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน และระยะเวลาการคงอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสต่อร้อยละผลได้ของไบโอชาร์ ผลการวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญที่สุด โดยมีผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละผลได้ของไบโอชาร์ ทั้งในลักษณะเชิงเส้นและกำลังสอง ขณะที่อีกสองปัจจัยมีผลกระทบรองลงมา รวมถึงพบปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ทั้งนี้แบบจำลองพหุนามกำลังสองที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมและมีความแม่นยำในการทำนายสูง ($R^2 = 0.9910$) การวิเคราะห์กราฟพื้นผิวและคอนทัวร์ยืนยันปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปัจจัยอื่น ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตไบโอชาร์จากกากข้าวโพดหวานผ่านกระบวนการไพโรไลซิสคือการใช้อุณหภูมิ 300°C อัตราการให้ความร้อน 2°C/min และเวลาคงอุณหภูมิ 2 h ซึ่งให้ผลผลิตไบโอชาร์สูงสุดที่ 49.2% การตรวจสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลสุ่มเพิ่มเติม 10 จุด ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง 1.97% แสดงถึงความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีขอบเขตในการศึกษาเฉพาะการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไบโอชาร์จากกากข้าวโพดหวาน และพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายผลได้ของไบโอชาร์เท่านั้น เพื่อใช้ในการพิจารณาศักยภาพในการนำของเหลือทิ้งดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการต่อยอดจากผลการศึกษานี้ การวิจัยในอนาคตควรพัฒนาแบบจำลองที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ เช่น Random Forest หรือ Neural Network เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายผลผลิตภายใต้สภาวะที่ซับซ้อนกว่าเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการขยายช่วงตัวแปรหรือรวมตัวแปรใหม่ที่ไม่ได้อยู่ในขอบเขตการศึกษาเดิม นอกจากนี้ควรมีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไบโอชาร์ที่ได้ เพื่อเป็นการยืนยันและพิจารณาความเหมาะสมของการนำไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ได้ อีกทั้งยังควรทำการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตไบโอชาร์ โดยวิเคราะห์ต้นทุน พลังงานที่ใช้ และผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับในระดับชุมชนหรือระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม เพื่อสนับสนุนการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ได้จริง

8. เอกสารอ้างอิง

- กิตติกร สาสุจิตต์, วราพงศ์ แสนพินิจ, ณัฐพงษ์ วงศ์รินทร์, และ ณัฐภูมิ ดุษฎี. (2558). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งซึ่งและเปลือกข้าวโพดด้วยเทคนิคการอัดรีดขึ้นรูปโดยใช้ตัวประสานแป้งมันผสมปูนขาว. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*. 18(1): 5-14.
- รุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ และ วิชาญ พงษ์สานต์ศิริ. (2563). ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันข้าวโพดสามสายพันธุ์. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*. 14(2) : 152-159.
- วิโรจน์ เกษภูาลักษณ์, ณัฐริกา ศรีเกตุ, ปิยะมาส ชูดี, และ สุภาวดี หงษ์ทอง. (2564). ต้นแบบผลิตภัณฑ์ภาชนะสำหรับอาหารแห้งจากเปลือกข้าวโพด. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี*. 11(2) : 11-21.
- Abdul Raheem, A., Ding, L., He, Q., Mangi, F. H., Khand, Z. H., Sajid, M., Ryzhkov, A., & Yu, G. (2022). Effective pretreatment of corn straw biomass using hydrothermal carbonization for co-gasification with coal: Response surface methodology–Box Behnken design. *Fuel*, 324(Part B), 124544.
- Adelawon, B. O., Latinwo, G. K., Eboibi, B. E., Agbede, O. O., & Agarry, S. E. (2021). Comparison of the slow, fast, and flash pyrolysis of recycled maize-cob biomass waste, Box-Behnken process optimization and

- characterization studies for the thermal fast pyrolysis production of bio-energy. *Chemical Engineering Communications*, 209(9), 1246–1276.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., ... & Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*, 99, 19–33.
- Al Arni, S. (2018). Comparison of slow and fast pyrolysis for converting biomass into fuel. *Renewable Energy*, 124, 197–201.
- Jiao, Y., Chen, H. D., Han, H., & Chang, Y. (2022). Development and utilization of corn processing by-products: A review. *Foods*, 11(22), 3709–3727.
- Lataf, A., Jozefczak, M., Vandecasteele, B., Viaene, J., Schreurs, S., Carleer, R., ... & Vandamme, D. (2022). The effect of pyrolysis temperature and feedstock on biochar agronomic properties. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 168, 105728.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2016). Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of The Total Environment*, 543, 295–306.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). Wiley.
- Nguyen, T. Q. N., Nguyen, P. H., Vo, M. T., & Le, V. V. M. (2024). Utilizing sweet corn “milk” residue to develop fiber-rich pasta: Effects of replacement ratio and transglutaminase treatment on pasta quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2024(1), 5853459–5853467.
- Nurhayati, I., Kurniawati, C. T., & Kholif, M. A. (2025). Sustainable bioplastics from sweet corn cob waste: Influence of zinc oxide and glycerol on mechanical properties and biodegradability. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, 9, 1–11.
- Qambrani, N. A., Rahman, M. M., Won, S., Shim, S., & Ra, C. (2017). Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 255–273.
- University of Nebraska-Lincoln. (2018). Corn residue removal and CO₂ emissions. *CropWatch*. Retrieved March 22, 2025, from <https://cropwatch.unl.edu/2018/corn-residue-removal-and-co2-emissions/>
- Yadav, S. P. S., Bhandari, S., Bhatta, D., Poudel, A., Bhattarai, S., Yadav, P., ... & Shrestha, R. (2023). Biochar application: A sustainable approach to improve soil health. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100498.



ประวัติผู้เขียนบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพดล ปั่นจันทร์ ตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมกระบวนการและอุตสาหกรรม สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530 โทรศัพท์ 02-588-3655 ต่อ 2328 E-mail: noppadol@mut.ac.th

งานวิจัยที่สนใจ: ไบโอดีเซล เศรษฐกิจหมุนเวียน การจัดการและการใช้ประโยชน์ของเสีย

**แบบจำลองการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ โดยอาศัยวิธีการ
หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวและเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูตติ้ง
Floating Solar Power Generation Forecasting Model Based On
Long Short-Term Memory And Extreme Gradient Boosting Methods**

อดิเรก ปันบุญ¹ และ วลัยยา ร่มสายหยุด²

¹แขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช,

E-Mail adirek.pb@gmail.com

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, E-Mail walisa.rom@stou.ac.th

Adirek Panboon¹ and Walisa Romsaiyud²

¹Digital Technology, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University,

E-Mail adirek.pb@gmail.com

²School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University,

E-Mail walisa.rom@stou.ac.th

วันที่รับบทความ 28 พฤษภาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 29 พฤษภาคม 2568

วันตอบรับบทความ 25 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาวิธีการและสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ โดยอาศัยวิธีการหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวและเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูตติ้ง และ (2) ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ โดยอาศัยวิธีการหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวและเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูตติ้ง วิธีการวิจัยดำเนินการตามกระบวนการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ ขั้นตอนแรก เก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าและข้อมูลจากเซนเซอร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ ขนาดกำลังการผลิต 45 เมกะวัตต์ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2566 จำนวน 6,511 ระเบียบ และ 11 คุณลักษณะ ขั้นตอนที่สอง การคัดเลือกคุณลักษณะและการจำแนกประเภท โดยประยุกต์ใช้วิธีการแบบผสมผสานด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก 2 อัลกอริทึม ได้แก่ 1) หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM) สำหรับการจดจำข้อมูลในระยะยาวตามอนุกรมเวลา และ 2) เอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูตติ้ง (XGBoost) สำหรับการเรียนรู้จากชุดข้อมูลที่ไม่น่าสนใจและการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง และขั้นตอนที่สาม การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ตัวชี้วัด ได้แก่ การวัดค่าเฉลี่ยของผลต่างสัมบูรณ์ (MAE) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MSE) และรากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (RMSE)

สำหรับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการพยากรณ์ ได้ค่า MAE เฉลี่ย 0.0577, MSE เฉลี่ย 0.0143 และ RMSE เฉลี่ย 0.1196 ซึ่งแสดงถึงค่าที่เหมาะสมในสถานการณ์จริง

คำสำคัญ: การพยากรณ์, พลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ, หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว, เอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูสติง, วิธีการพยากรณ์แบบผสม

ABSTRACT

The purposes of this research were to (1) build a forecasting model for floating solar energy generation based on Long Short-Term Memory and Extreme Gradient Boosting methods and (2) to evaluate the performance of a model based on Long Short-Term Memory and Extreme Gradient Boosting methods. The research methodology follows the deep learning pipeline, which consists of three main steps: In the first step, the data were collected from the electricity generation records and sensor readings obtained from a floating solar power facility with a capacity of 45 megawatts during February–October 2023, which consisted of 6,511 examples and 11 features. In the second step, feature extraction and classification were applied using the hybrid model by using two deep learning algorithms: 1) Long Short-Term Memory (LSTM) for memorizing long-term dependencies of time-series data, and 2) Extreme Gradient Boosting (XGBoost) for learning from uncertain data and predicting high performance; and In the third step, model evaluation was assessed using metrics including the mean absolute error (MAE), mean square error (MSE) and root mean square error (RMSE) for the indicated values from the forecasting model.

The experiment result shows an average MAE of 0.0577, an average MSE of 0.0143, and an average RMSE of 0.1196 that represent suitable values in a real situation.

KEYWORDS: Forecasting, Floating Solar Power, Long Short-Term Memory, Extreme Gradient Boosting, Hybrid Forecasting Method

1. บทนำ

ประเทศไทยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้า รองลงมาคือถ่านหิน ซึ่งเชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด หากใช้อย่างต่อเนื่อง อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการที่กำลังเพิ่มขึ้นในอนาคต แม้ว่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลยังคงเป็นที่ต้องการในปัจจุบัน แต่กลับส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เกิดเป็นภาวะโลกร้อน จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยได้แสดงเจตนารมณ์ในการมีส่วนร่วมลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อที่ประชุมรัฐภาคีสมาชิกของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ COP26 เพื่อยกระดับการแก้ปัญหาภูมิอากาศ โดยมีเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี พ.ศ. 2593 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) ในปี พ.ศ. 2608 และยกระดับเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจก (Nationally Determined Contribution) ภายในปี พ.ศ. 2573 มีการจัดตั้งโมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน (Bio-Circular-Green Economy: BCG) ปี พ.ศ. 2562 เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน สนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ในปัจจุบันประเทศไทยมีการสนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียน (renewable energy) ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า เช่น พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานชีวมวล เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2564)

จากศักยภาพพื้นที่ของประเทศไทย ที่มีปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์สูงเพียงพอ ทำให้การก่อสร้างและพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เติบโตอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงาน ทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (AEDP2018) และแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 ฉบับ

ปรับปรุงครั้งที่ 1 (PDP2018 Revision 1) ที่มุ่งเน้นการพัฒนาที่ยั่งยืน สนับสนุนการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนตามศักยภาพของแหล่งเชื้อเพลิงในพื้นที่ โดยมีเป้าหมายการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทติดตั้งบนพื้นดิน (solar farm) ติดตั้งบนหลังคา (solar rooftop) และติดตั้งบนทุ่นลอยน้ำ (floating solar) รวมทั้งหมด 14,864 เมกะวัตต์ ภายในปี พ.ศ. 2580 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2561)

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ หรือ โซลาร์เซลล์ลอยน้ำ (floating solar) เป็นแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งบนโครงสร้างที่ลอยอยู่บนแหล่งน้ำ โดยทั่วไปจะเป็นอ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบ โรงไฟฟ้าประเภทนี้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในประเทศจีน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส อินเดีย และเกาหลีใต้ เป็นต้น ถือเป็นนวัตกรรมที่หลายประเทศในยุโรปและภูมิภาคเอเชียนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า (Cazzaniga & Rosa-Clot, 2021) ด้วยข้อดีในการลดการระเหยของน้ำและการที่มีโครงสร้างแบบลอยตัวบนผิวน้ำ สามารถช่วยระบบระบายความร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ได้ดีขึ้น (World Bank, 2018) สำหรับประเทศไทย ได้มีการก่อสร้างและพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ บนพื้นที่อ่างเก็บน้ำในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขนาดกำลังการผลิต 45 เมกะวัตต์ สามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ช่วยเสริมความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าให้กับประเทศได้อีกทางหนึ่ง แต่ข้อจำกัดที่สำคัญของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความไม่แน่นอน เนื่องจากปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเวลานั้น ๆ มีความผันผวนไม่คงที่ เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิบนแผง ความชื้น ความเร็วลม เป็นต้น ล้วนเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมและหลีกเลี่ยงได้ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องปรับปรุงความแม่นยำในการพยากรณ์ล่วงหน้าแบบวันต่อวัน การมีระบบพยากรณ์ที่เชื่อถือได้จะช่วยให้การวางแผนบริหารจัดการกำลังไฟฟ้ามีประสิทธิภาพดีขึ้น

เพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับการวางแผนบริหารจัดการกำลังไฟฟ้าและลดข้อจำกัดด้านภูมิอากาศ จึงได้มีการนำเสนอวิธีการพยากรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence method) (Ye et al., 2022) ผ่านวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) เช่น การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network: ANN) งานวิจัยของ (ภาณุพงศ์ น้ำแก้ว, 2563) นำเสนอโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multilayer network) โดยมีรูปแบบการทำงานแบบป้อนไปข้างหน้า (feed forward) มีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (back propagation) มาสร้างแบบจำลองการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในวันถัดไปโดยใช้ข้อมูลป้อนเข้าจากอุปกรณ์วัดที่ติดตั้งบนหลังคาที่פקอาศัย ต่อมาได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) เช่น โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำ (Recurrent Neural Network: RNN) หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) และโครงข่ายประตูกกลับ (Gated Recurrent Unit: GRU) สำหรับใช้จัดการข้อมูลที่มีลักษณะเป็นข้อมูลที่มีลำดับหรืออนุกรมเวลา งานวิจัยของ (Jebli et al., 2021) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองในการพยากรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า แบบจำลอง RNN และ LSTM มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ เนื่องจากความสามารถในการจัดการข้อมูลที่เป็นลำดับและปัญหาการถดถอยอนุกรมเวลา เมื่อเทียบกับแบบจำลอง GRU ที่ให้ประสิทธิภาพน้อยกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอแบบจำลอง Convolutional Neural Network (CNN) มาใช้พยากรณ์ผสมกับแบบจำลอง LSTM เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์ให้กับข้อมูล เช่น งานวิจัยของ (Lim et al., 2022) ใช้แบบจำลอง CNN ในการจำแนกสภาพอากาศ ผสมกับแบบจำลอง LSTM ในการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าตามสภาพอากาศ เพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ให้สูงขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแบบจำลองการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ โดยอาศัยวิธีการหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) และเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูสติง (Extreme Gradient Boosting: XGBoost) ที่มีความสามารถในการจัดการกับข้อมูลที่ไม่เป็นไม่เชิงเส้นและแยกแยะลักษณะความผันผวนของข้อมูลอนุกรมเวลาได้ดี และเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดจากแบบจำลองทั้งสองจึงได้นำเสนอวิธีการพยากรณ์แบบผสม เพื่อปรับปรุงคุณภาพและความแม่นยำในการพยากรณ์โดยรวมให้ดีขึ้น ทำให้การวางแผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มี

ประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ในการวางแผนและบริหารจัดการการผลิตไฟฟ้าเพื่อรองรับการเติบโตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่กำลังจะเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต

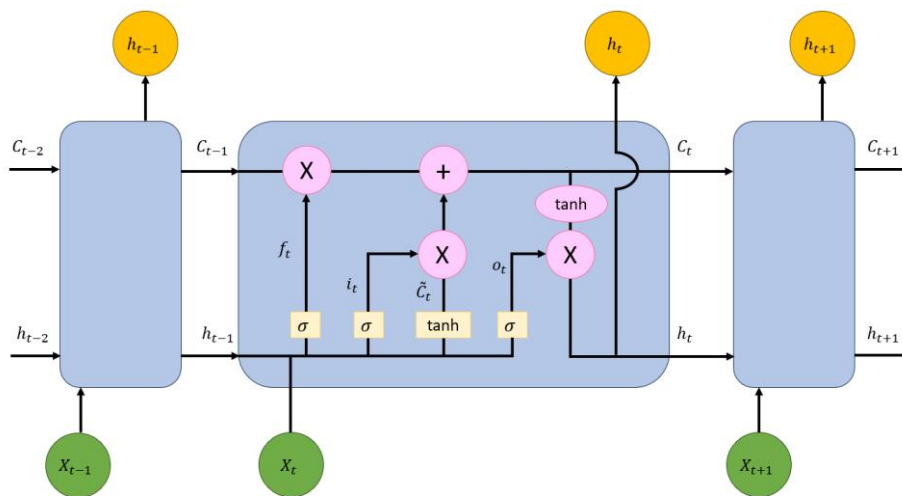
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาวิธีการและสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ โดยอาศัยวิธีการหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวและเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูตตึง

2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ โดยอาศัยวิธีการหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวและเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูตตึง

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) ถูกพัฒนาจากโครงข่ายประสาทแบบวนซ้ำ (Recurrent neural network: RNN) รู้จักในปี ค.ศ. 1997 (Hochreiter & Schmidhuber, 1997) เพื่อแก้ปัญหาการลดลงของเกรเดียนต์ (vanishing gradient) ด้วยการเพิ่มหน่วยความจำระยะยาว (long term memory) คำนวณร่วมกับหน่วยความจำระยะสั้น (short term memory) โดยที่หน่วยความจำระยะยาวใน LSTM สามารถเก็บความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความยาวได้ดี มีความเหมาะสมในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลตามลำดับ (sequential data) มีการเพิ่มประตูสัญญาณ (gate) สำหรับการตัดสินใจของ cell state จำนวน 3 ประตู ได้แก่ forget gate (f_t), input gate (i_t) และ output gate (o_t) (Saxena, 2021) แสดงดังรูปที่ 1 คำนวณได้ดังสมการที่ 1 – 6



รูปที่ 1 โครงสร้างของหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, X_t] + b_f) \quad (1)$$

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, X_t] + b_i) \quad (2)$$

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, X_t] + b_o) \quad (3)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (4)$$

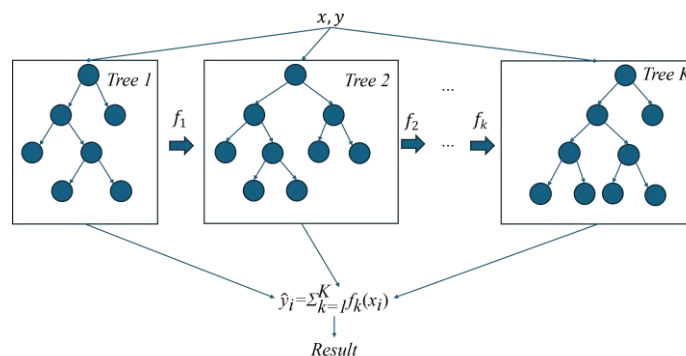
$$C_t = \sigma(f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tilde{C}_t) \quad (5)$$

$$h_t = \tanh(C_t) \cdot o_t \quad (6)$$

โดยที่

f_t	คือ	Forget Gate
i_t	คือ	Input Gate
o_t	คือ	Output Gate
c_t	คือ	ค่า Cell State ณ เวลา t
h_t	คือ	ค่า ค่า Hidden State ณ เวลา t
$\tilde{C}_t$	คือ	ค่า Candidate Values ของ Cell State ณ เวลา t
$\tanh$	คือ	ฟังก์ชัน tanh
σ	คือ	ฟังก์ชันซิกมอยด์
W	คือ	ค่าน้ำหนักของ Matrices
h_{t-1}	คือ	ค่าน้ำหนักของ Output ของ Cell State ก่อนหน้า ณ เวลา t-1
x_t	คือ	ค่า Input ที่เข้ามาใน Cell State ณ เวลา t
b	คือ	ค่า Bias

3.2 เอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูสตีง (Extreme Gradient Boosting: XGBoost) เป็นเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องที่พัฒนามาจากอัลกอริทึมต้นไม้ความเร็วแบบไล่ระดับ (gradient boosted tree) จัดอยู่ในกลุ่ม ensemble learning โดยแบบจำลองได้เลือกใช้ต้นไม้ตัดสินใจมาฝึกสอนต่อกันจำนวนหลาย ๆ ต้น เพื่อเรียนรู้จากค่าความผิดพลาดของกระบวนการทำงานก่อนหน้า ส่งผลต่อการพยากรณ์ที่ให้ค่าความแม่นยำมากขึ้น โดยแบบจำลองจะถูกหยุดการเรียนรู้ เมื่อพบว่าการเรียนรู้ของต้นไม้ตัดสินใจต่อเนื่องจนมีความลึกมากเพียงพอ จนไม่เหลือค่าความผิดพลาดจากต้นไม้ตัดสินใจต้นก่อนหน้าให้เรียนรู้ (Chen & Guestrin, 2016) ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการถดถอยและการจำแนกประเภท สามารถตรวจจับความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความเป็นลำดับ รวมถึงข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้น แสดงดังรูปที่ 2 คำนวณได้ดังสมการที่ 7



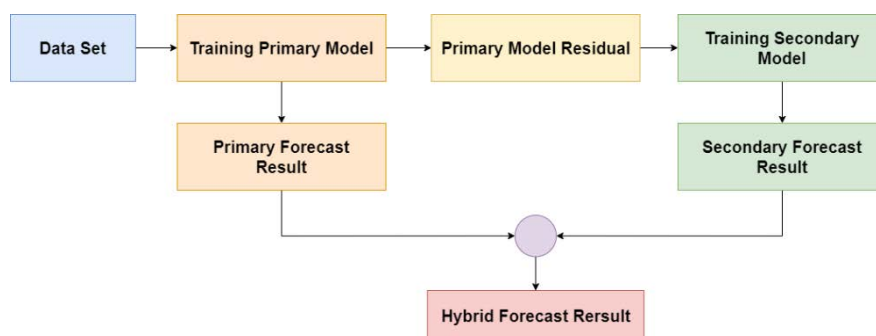
รูปที่ 2 โครงสร้างของเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูสตีง

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^K f_k(x_i) \quad (7)$$

โดยที่

$\hat{y}_i$	คือ	ค่าพยากรณ์ของข้อมูลลำดับที่ i
x_i	คือ	Feature Vector
K	คือ	จำนวนต้นไม้ในการตัดสินใจ
$f_k(x_i)$	คือ	ค่าพยากรณ์ของลำดับที่ k

3.3 วิธีการพยากรณ์แบบผสม (Hybrid Forecasting Method) ถูกพัฒนาเพื่อลดข้อจำกัดของวิธีการหนึ่งด้วยข้อดีของอีกวิธีการหนึ่ง ช่วยแก้ปัญหาสมมติฐานเชิงเส้น เนื่องจากข้อมูลอนุกรมเวลาอาจเป็นแบบเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้นก็ได้ ช่วยให้การพยากรณ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในกรณีที่วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบดั้งเดิมมีข้อจำกัด (Berberich, 2020) โดยเป็นการสร้างแบบจำลองเดี่ยวและคัดเลือกแบบจำลองเดี่ยวที่มีความเหมาะสมและแม่นยำมากที่สุด มาสร้างแบบจำลองผสม เมื่อได้แบบจำลองจากวิธีพยากรณ์หลักให้นำมาหาค่าส่วนเหลือ (Residual) จากแบบจำลองพยากรณ์หลัก จากนั้นนำค่าส่วนเหลือที่ได้เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองด้วยวิธีพยากรณ์รอง จากนั้นนำค่าผลลัพธ์จากวิธีพยากรณ์หลักมารวมกับค่าพยากรณ์จากวิธีพยากรณ์รอง จะได้ค่าผลลัพธ์สุดท้าย (อุรสา จันทรภา, 2564) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วิธีการพยากรณ์แบบผสม

จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยพบว่า วิธีการที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ มีดังนี้

1) **หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM)** เนื่องจากวิธีการนี้ มีการเพิ่มประตู (gates) ที่ช่วยควบคุมการไหลของข้อมูล ทำให้สามารถรักษาข้อมูลที่สำคัญไว้ได้นานขึ้นและลดปัญหาการลดลงของเกรเดียนต์ รวมถึงจัดการกับลำดับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีความยาวไม่คงที่ มีความสามารถในการเรียนรู้รูปแบบระยะยาวและจัดการกับความซับซ้อนของข้อมูล ให้ผลลัพธ์การพยากรณ์ที่แม่นยำกว่าเมื่อเทียบกับแบบจำลองทางสถิติแบบดั้งเดิม จึงเหมาะกับชุดข้อมูลการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ ที่เป็นข้อมูลประเภทอนุกรมเวลาและไม่เป็นเชิงเส้น

2) **เอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูตติ้ง (XGBoost)** เนื่องจากวิธีการนี้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพในการคำนวณแบบขนาน (Parallel Processing) และการจัดการหน่วยความจำที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงมีความเร็วในการฝึกสอนแบบจำลองและการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูง มีความสามารถในการตรวจจับความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความเป็นลำดับ และข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้น รวมถึงจัดการกับข้อมูลที่มีความซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้ดี สามารถตรวจจับแนวโน้ม ฤดูกาล และ

ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของข้อมูลได้ จึงเหมาะสมกับการพยากรณ์ข้อมูลที่มีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ข้อมูลจาก เซนเซอร์ตรวจวัดสภาพอากาศและสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ

3) *วิธีการพยากรณ์แบบผสม (Hybrid Forecasting Method)* เนื่องจากวิธีการนี้มีความสามารถในการพยากรณ์ข้อมูลแบบอนุกรมเวลาและไม่เป็นเชิงเส้น โดยการผสมผสานวิธีการเรียนรู้ของเครื่องและการพยากรณ์ทางสถิติ มาใช้ในการสร้างตัวแบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสม ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์ให้สูงขึ้นกว่าการใช้แบบจำลองแบบเดี่ยว จึงเหมาะกับการพยากรณ์ปริมาณการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ ที่เป็นข้อมูลประเภทอนุกรมเวลาและไม่เป็นเชิงเส้น

4. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ การเก็บรวบรวมข้อมูล การคัดเลือกคุณลักษณะและการจำแนกประเภท การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง มีรายละเอียดดังนี้

4.1 **การเก็บรวบรวมข้อมูล** โดยใช้ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และข้อมูลจากอุปกรณ์เซนเซอร์ที่อยู่บนฐานข้อมูลของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำแห่งหนึ่ง ขนาดกำลังการผลิต 45 เมกะวัตต์ ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2566 จำนวน 6,511 ระเบียบ ซึ่งถูกเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นรายชั่วโมง (hourly) และมี 11 คุณลักษณะ โดยมีรายละเอียดคุณลักษณะดังตารางที่ 1 ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลดิบจากเซนเซอร์โดยตรง ซึ่งอาจมีค่าผิดปกติ (outlier) เช่น ค่าอุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดที่ 3 ที่มีค่าสูงที่สุดถึง 100 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยเฉพาะขณะทำการวัด แต่งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อสร้างแบบจำลองที่ทนทานต่อความผันผวนของข้อมูลจริง

ตารางที่ 1 รายละเอียดคุณลักษณะ

คุณลักษณะ	รายละเอียด	ช่วงข้อมูล	หน่วยวัด
Date	วันที่	1/2/2023 - 31/10/2023	-
Time	เวลา	00:00 - 23:00	-
Solar_active_power	ค่ากำลังไฟฟ้า	0.00 - 47.61961	เมกะวัตต์ (MW)
Obliquity_radiation	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์	0.00 - 1321.00	วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m ²)
Environment_temperature	อุณหภูมิสภาพแวดล้อม	16.5 - 37.1	องศาเซลเซียส (°C)
Environment_humidity	ค่าความชื้น	82.0 - 99.0	ร้อยละ (%)
Wind_speed	ความเร็วลม	0.00 - 42.00	เมตรต่อวินาที (m/s)
Wind_direction	ทิศทางลม	0.00 - 360	องศา (Degree)
Panel_temperature_1	อุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดที่ 1	12.9 - 74.1	องศาเซลเซียส (°C)
Panel_temperature_2	อุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดที่ 2	10.4 - 69.3	องศาเซลเซียส (°C)
Panel_temperature_3	อุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดที่ 3	10.0 - 100	องศาเซลเซียส (°C)

4.2 การคัดเลือกคุณลักษณะและการจำแนกประเภท

4.2.1 การแปลงข้อมูล เป็นการทำความสะอาดข้อมูลเพื่อตัดข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกันออก ข้อมูลที่ขาดหายไป (missing values) จัดกลุ่มของคุณลักษณะ และทำการแปลงข้อมูลซึ่งเป็นการทำให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่พร้อมนำเอาไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลตามอัลกอริทึมที่เลือกใช้

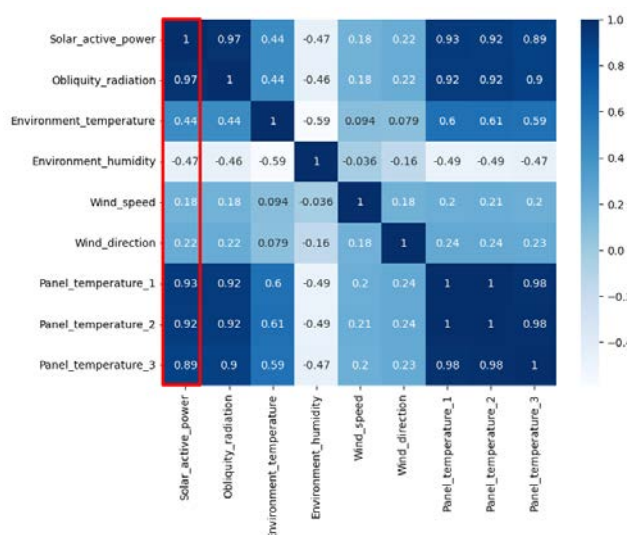
4.2.2 การคัดเลือกคุณลักษณะ เป็นวิธีการที่ช่วยลดจำนวนคุณลักษณะ โดยหาความสัมพันธ์จากคุณลักษณะทั้งหมดที่มีเพื่อดูความเกี่ยวข้องกัน ดังนั้นจึงใช้การเลือกคุณลักษณะเพื่อกำจัดเฉพาะคุณลักษณะที่มีความเกี่ยวข้องกันเท่านั้น (เกศินี ช่อนกลิ่น, 2566) เนื่องจากชุดข้อมูลมีลักษณะเป็นตัวเลข (numeric) และผลลัพธ์เป้าหมาย (target result) เป็นตัวเลข ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การคัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธีสหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's correlation) เพื่อหาคุณลักษณะที่สัมพันธ์กันจำนวนได้ดังสมการที่ 8

$$r_{xy} = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (8)$$

โดยที่

r_{xy}	คือ	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน
x	คือ	ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น
y	คือ	ตัวแปรตาม
n	คือ	ขนาดข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้คัดเลือกคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้า โดยใช้เกณฑ์การคัดเลือกที่มีค่าตั้งแต่ 0.5 – 1.0 จึงจะถือว่าคุณลักษณะนั้นมีความสัมพันธ์กัน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

จากรูปที่ 4 พบว่าคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้า (Solar_active_power) ตามเกณฑ์ที่กำหนด (ค่าสัมประสิทธิ์ ≥ 0.5) ในกรอบสีแดง ได้แก่ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (0.97), อุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดที่ 1 (0.93), อุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดที่ 2 (0.92) และอุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดที่ 3 (0.89) ดังนั้น คุณลักษณะทั้ง 4 นี้จึงถูกเลือกเป็นข้อมูลป้อนเข้าแบบจำลอง

4.2.3 การปรับขนาดข้อมูลให้มาตรฐาน (scaling data) เนื่องจากคุณลักษณะในงานวิจัยนี้มีช่วงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมาก สังเกตได้จากค่าอุณหภูมิบนแผง เทียบกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีช่วงข้อมูลกว้างกว่า เมื่อพบว่าข้อมูลส่วนใหญ่ที่เป็นตัวเลขมีความแตกต่างจากข้อมูลตัวเลขอื่น จำเป็นต้องมีการปรับขนาดข้อมูลให้สมมาตร (Liu et al., 2021) ผู้วิจัยใช้วิธีการทำให้เป็นมาตรฐาน (normalization) เป็นการแปลงค่าข้อมูลให้อยู่ในช่วงสั้น ๆ ตั้งแต่ 0 – 1 หรือที่เรียกว่าการทำให้เป็นมาตรฐานต่ำสุด-สูงสุด (min-max normalization) คำนวณได้ดังสมการที่ 9

$$X^* = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (9)$$

โดยที่

X^*	คือ	ค่าที่จะทำให้เป็นมาตรฐานของตัวแปร x
x	คือ	ค่าดั้งเดิมของตัวแปร x
X_{min}	คือ	ค่าต่ำสุดของตัวแปร x
X_{max}	คือ	ค่าสูงสุดของตัวแปร x

4.2.4 การแบ่งข้อมูลรูปแบบ Sliding Window เป็น การแบ่งชุดข้อมูลฝึกสอนก่อนนำเข้าแบบจำลอง จุดเริ่มต้นของข้อมูลจะถูกขยับออกไปเรื่อย ๆ แต่จำนวนชุดข้อมูลทั้งหมดยังคงเดิม (Judith Foster et al., 2017) ผู้วิจัยใช้การแบ่งข้อมูลทุก ๆ 24 ค่า เพื่อพยากรณ์ค่าถัดไป

4.2.5 การแบ่งข้อมูลเพื่อประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง งานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการแบ่งข้อมูลตามลำดับเวลา (sequential split) ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีปัจจัยด้านฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ ถูกแบ่งออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลฝึกสอน (training data) ชุดข้อมูลตรวจสอบ (validation data) และชุดข้อมูลทดสอบ (testing data) ในอัตราส่วน 80:10:10 ตามลำดับ สำหรับข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ครอบคลุมช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงตุลาคม ซึ่งกินระยะเวลา 9 เดือน และครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลในประเทศไทย (เช่น การเปลี่ยนผ่านจากฤดูร้อนเข้าสู่ฤดูฝน) ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอน (training data) ซึ่งมีขนาดใหญ่ถึงร้อยละ 80 ของข้อมูลทั้งหมด จึงเพียงพอให้แบบจำลองได้เรียนรู้รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ (เช่น ความเข้มแสง, อุณหภูมิ) กับกำลังการผลิตไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล

4.2.6 การจำแนกประเภท งานวิจัยนี้ได้เลือกอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก 2 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM) และอัลกอริทึมเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูสติง (XGBoost) และประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์แบบผสม (Hybrid Forecasting Method) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับแบบจำลอง ดังนี้

1) วิธีการหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM) ต้องอาศัยค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ (hyperparameter) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการกำหนดจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนโหนด 32 โหนด แม้ว่าหลักการทั่วไปจะแนะนำว่า จำนวนโหนดในชั้นซ่อนไม่ควรเกิน 2 เท่าของจำนวนโหนดชั้นนำเข้า (ศรีรักษ์ ศรีทองชัย, 2566) แต่จากการทดลอง พบว่าการใช้จำนวนโหนดที่ 32 ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการเรียนรู้รูปแบบที่ซับซ้อนของข้อมูลอนุกรมเวลา และเพื่อป้องกันการเกิดภาวะ Overfitting ซึ่งอาจ

เกิดขึ้นได้ในแบบจำลองที่มีความซับซ้อน จึงได้กำหนดค่า dropout เท่ากับ 0.2 กำหนด batch size เท่ากับ 32 ใช้ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) คือ Relu ใช้ optimizer คือ Adam (Adaptive Moment Estimation) กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อน Mean Absolute Error (MAE) เป็นฟังก์ชันการสูญเสีย (loss function) และกำหนดรอบการสอน (epoch) เท่ากับ 100 ฟังก์ชัน callback early stopping เท่ากับ 50 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ไฮเปอร์พารามิเตอร์สำหรับวิธีการหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว

Hyperparameter	LSTM
Model	Sequential
Activation	Relu
Input	Input Array
Hidden Node	32 neurons
Hidden Layer	(Dropout)
Output	Output Array
Loss Calculation	MAE
Optimizer	Adam

2) วิธีการเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูสตีง (Extreme Gradient Boosting: XGBoost) งานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์โดยยึดถือหลักการสร้างแบบจำลองพื้นฐาน (Baseline Model) ที่มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยจึงอ้างอิงและปรับปรุงชุดพารามิเตอร์จากงานวิจัยของ (Li et al., 2019) และ (Obiora et al., 2021) ซึ่งมีชุดข้อมูลที่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้และมีบริบทของปัญหาที่คล้ายคลึงกัน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์สำหรับวิธีการเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูสตีง

Class	Parameter	Value
General Parameters	Default	-
Booster Parameters	colsample_bytree	0.7
Booster Parameters	learning_rate	0.01
Booster Parameters	max_depth	3
Booster Parameters	n_estimators	1000
Early Stopping	early_stopping_rounds	20
Learning Task Parameters	eval_metric	MAE

3) วิธีการพยากรณ์แบบผสม (Hybrid Forecasting Method) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับแบบจำลองขั้นสุดท้าย วิธีการพยากรณ์แบบผสมจึงถูกนำมาใช้ในขั้นตอนนี้ ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองขั้นสุดท้ายด้วยวิธีการพยากรณ์แบบผสม แสดงดังรหัสเทียม (Pseudo Code)

Algorithm: Hybrid Forecasting (LSTM-XGBoost)**Input:** Dataset (D)**Output:** Hybrid Forecast Result (F_H)

// --- Primary Model (LSTM) Processing ---

1. $Data_{train} \leftarrow D$ // Assuming entire dataset D is used for training in this context
2. $Model_{lstm} \leftarrow Train_Primary_Model (Data_{train})$
3. $F_{lstm} \leftarrow Generate_Primary_Forecast (Model_{lstm}, Data_{train,features})$
4. $R_{lstm} \leftarrow Compute_Residual(Data_{train,actuals}, F_{lstm})$ // $R_{lstm} = Actual - F_{lstm}$

// --- Secondary Model (XGBoost) Processing (Forecasting Residuals) ---

5. $Model_{XGBoost} \leftarrow Train_Secondary_Model (R_{lstm}, Data_{train,features_for_residual})$
6. $F_{Residual} \leftarrow Generate_Secondary_Forecast (Model_{XGBoost}, Data_{train,features_for_residual})$

// --- Hybrid Forecast Composition ---

7. $F_H \leftarrow Combine_Forecasts (F_{lstm}, F_{Residual})$ // $F_H = F_{lstm} + F_{Residual}$
8. **Return** F_H

4.3 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

งานวิจัยครั้งนี้ ได้มุ่งเน้นการวัดผลในด้านความแม่นยำของแบบจำลองในการพยากรณ์ให้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด เพื่อนำไปใช้งานในเชิงปฏิบัติ จึงดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยการวัดค่าเฉลี่ยของผลต่างสัมบูรณ์ (MAE) การหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MSE) และการหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมในการนำมาประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองแบบการถดถอย คำนวณได้ดังสมการที่ 10 – 12

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t| \quad (10)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2 \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (12)$$

โดยที่

y_t	คือ	ค่าจริงที่ t ไต ๆ
$\hat{y}_t$	คือ	ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ที่ t ไต
n	คือ	ขนาดข้อมูล

จากสมการ 10 - 12 เป็นการประเมินความสามารถของแบบจำลองที่ได้ผ่านการฝึกสอนแล้ว โดยการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองจะถูกตัดสินด้วยความแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง หากค่าความผิดพลาดจากค่าจริงน้อย คือ มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าแบบจำลองสามารถทำนายได้ถูกต้อง (วฤชาย รมสายหยุด, 2566)

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

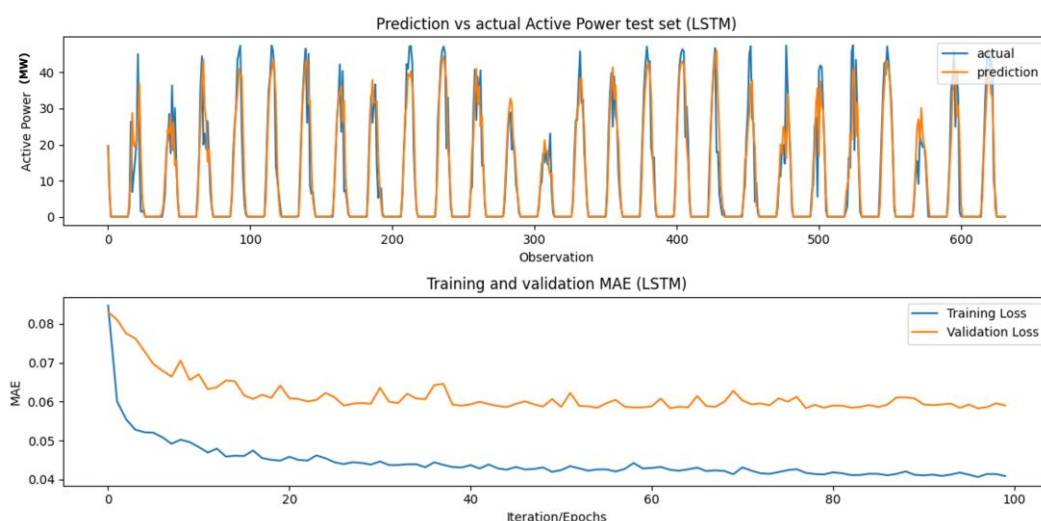
ในการศึกษาและสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ โดยอาศัยวิธีการหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวและเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูตติ้ง ซึ่งใช้ข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าและข้อมูลจากเซนเซอร์ที่บันทึกอยู่บนฐานข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ ได้รับการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าเฉลี่ยของผลต่างสัมบูรณ์ (MAE) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MSE) และรากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) ผลการประเมินประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 3 วิธี

Methods	MAE	MSE	RMSE
LSTM	0.0585	0.0148	0.1215
XGBoost	0.0630	0.0147	0.1211
Hybrid	0.0577	0.0143	0.1196

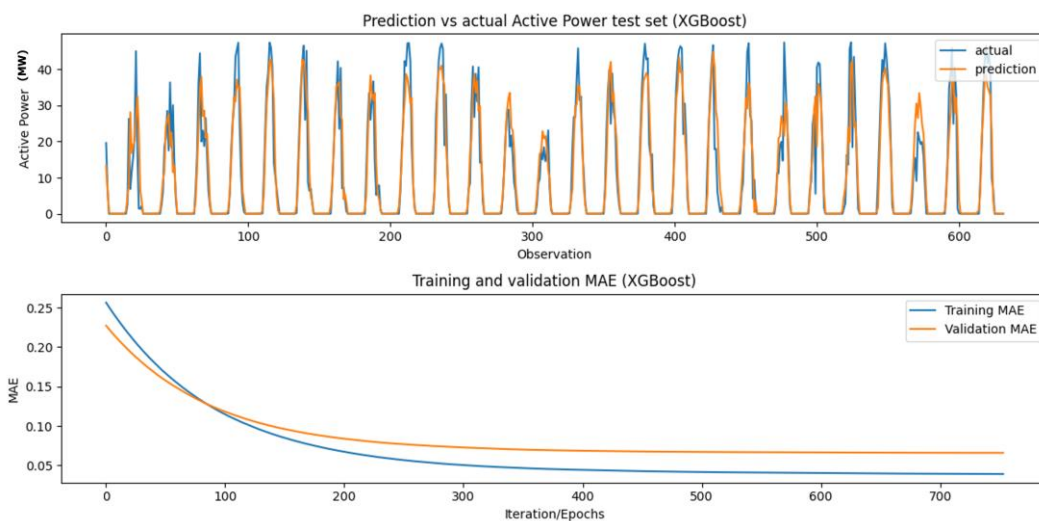
จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่สร้างจากวิธีการพยากรณ์แบบผสม (Hybrid) มีค่า MAE เท่ากับ 0.0577 ค่า MSE เท่ากับ 0.01430 และค่า RMSE เท่ากับ 0.1196 ซึ่งดีกว่าแบบจำลอง LSTM และ XGBoost

สำหรับผลการพยากรณ์ด้วยชุดข้อมูลทดสอบ (testing data) ที่ได้จากขั้นตอนการแบ่งข้อมูล ซึ่งครอบคลุมเวลา 632 ชั่วโมง ถูกแสดงในรูปที่ 5-7



รูปที่ 5 ผลการพยากรณ์ด้วยชุดข้อมูลทดสอบที่สร้างจาก LSTM

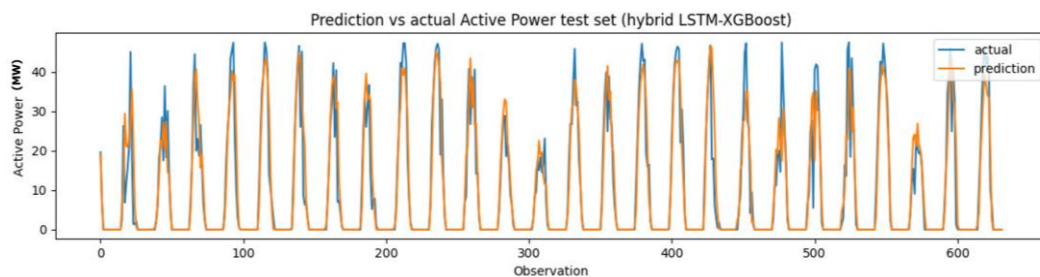
จากรูปที่ 5 ผลการพยากรณ์ด้วยชุดข้อมูลทดสอบที่สร้างจาก LSTM กราฟบนเส้นสีน้ำเงิน คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและเส้นสีส้ม คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจากการพยากรณ์ จากชุดข้อมูลทดสอบ พบว่า ค่าพยากรณ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 - ชั่วโมงที่ 632 โดยที่ LSTM สามารถติดตามรูปแบบของข้อมูลจริงได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของกำลังไฟฟ้าขาขึ้น (Active Power) กราฟล่างเส้นสีน้ำเงิน คือ ค่าสูญเสียจากข้อมูลชุดฝึกสอนและเส้นสีส้ม คือ ค่าสูญเสียจากชุดข้อมูลการตรวจสอบ จากการเรียนรู้แต่ละรอบด้วย loss function พบว่า เมื่อมีการฝึกสอนแบบจำลอง ค่า training loss มีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับ ค่า validation loss ที่เริ่มมีค่าคงที่ (stabilize) หลังผ่านไปประมาณ 20-30 epochs ซึ่งบ่งชี้ว่าแบบจำลองได้เรียนรู้รูปแบบสำคัญส่วนใหญ่แล้ว การฝึกฝนต่อไปอาจไม่ช่วยลดความคลาดเคลื่อนในชุดข้อมูลตรวจสอบและเสี่ยงต่อการเกิด overfitting



รูปที่ 6 ผลการพยากรณ์ด้วยชุดข้อมูลทดสอบที่สร้างจาก XGBoost

จากรูปที่ 6 ผลการพยากรณ์ด้วยชุดข้อมูลทดสอบที่สร้างจาก XGBoost กราฟบนเส้นสีน้ำเงิน คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและเส้นสีส้ม คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจากการพยากรณ์ จากชุดข้อมูลทดสอบ พบว่าค่าพยากรณ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงตั้งแต่ชั่วโมงที่ 100 - ชั่วโมงที่ 200 โดยแบบจำลองสามารถจับแนวโน้มทั่วไปของข้อมูลได้ แต่มีความล่าช้า (lag effect) ในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของข้อมูล และให้ค่าความแม่นยำที่ต่ำกว่าในหลายจุด กราฟล่างเส้นสีน้ำเงิน คือค่า training MAE และเส้นสีส้ม คือ ค่า validation MAE จากการเรียนรู้แต่ละรอบของแบบจำลอง พบว่า เมื่อมีการฝึกสอนแบบจำลอง ค่า training MAE และ ค่า validation MAE มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และค่อย ๆ ชะลอตัวลง ประกอบกับจำนวน iteration สูงถึง 700 รอบ แสดงให้เห็นว่าต้นไม้แต่ละต้นที่เพิ่มเข้าไปในช่วงหลัง ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ทีละน้อย จนกระทั่งประสิทธิภาพบนชุดข้อมูลตรวจสอบไม่ดีขึ้นและเข้าเกณฑ์การหยุดก่อนกำหนด ซึ่งยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และไม่แสดงสัญญาณของการเกิด overfitting ที่รุนแรง

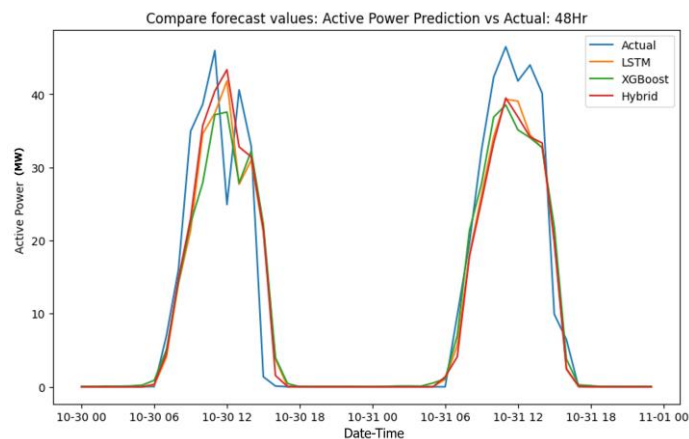
เมื่อพิจารณาผลการประเมินแบบจำลองด้วยค่า MAE แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างแบบจำลองทั้งสอง โดยแบบจำลอง LSTM ให้ค่าสุดท้ายที่ 0.04-0.06 ในขณะที่แบบจำลอง XGBoost ให้ค่าสุดท้าย 0.05-0.06 นอกจากนี้แบบจำลอง LSTM ยังแสดงการลู่เข้าที่เร็วกว่าและมีเสถียรภาพสูงกว่าตลอดกระบวนการฝึกสอน หากพิจารณาในบริบทของข้อมูลที่มีค่ากำลังไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง 0-45 เมกะวัตต์ ผลการประเมินด้วยค่า MAE ให้ค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำ (สรุณี และคณะ., 2566) คิดเป็นร้อยละความคลาดเคลื่อนเพียง ร้อยละ 0.16-0.30 ของค่าเฉลี่ยของข้อมูล หรือประมาณร้อยละ 0.1-0.15 ของช่วงข้อมูลทั้งหมด



รูปที่ 7 ผลการพยากรณ์ด้วยชุดข้อมูลทดสอบที่สร้างจาก LSTM-XGBoost

จากรูปที่ 7 กำหนดเส้นสีน้ำเงิน คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริง และเส้นสีส้ม คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจากการพยากรณ์ จากชุดข้อมูลทดสอบ 632 ชั่วโมง พบว่าแบบจำลองที่สร้างโดยอาศัยวิธีการแบบผสม ด้วยหน่วยจำระยะสั้นแบบยาวและเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูตติ้ง (LSTM-XGBoost) มีค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าจริง จากกราฟเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับค่าจริงแสดงให้เห็นว่าวิธีการแบบผสม มีความสามารถในการติดตามรูปแบบข้อมูลที่ใกล้เคียงกับแบบจำลอง LSTM แต่มีความเสถียรมากกว่าในบางช่วง และสามารถจับรูปแบบข้อมูลในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าอย่างทันทีทันใด

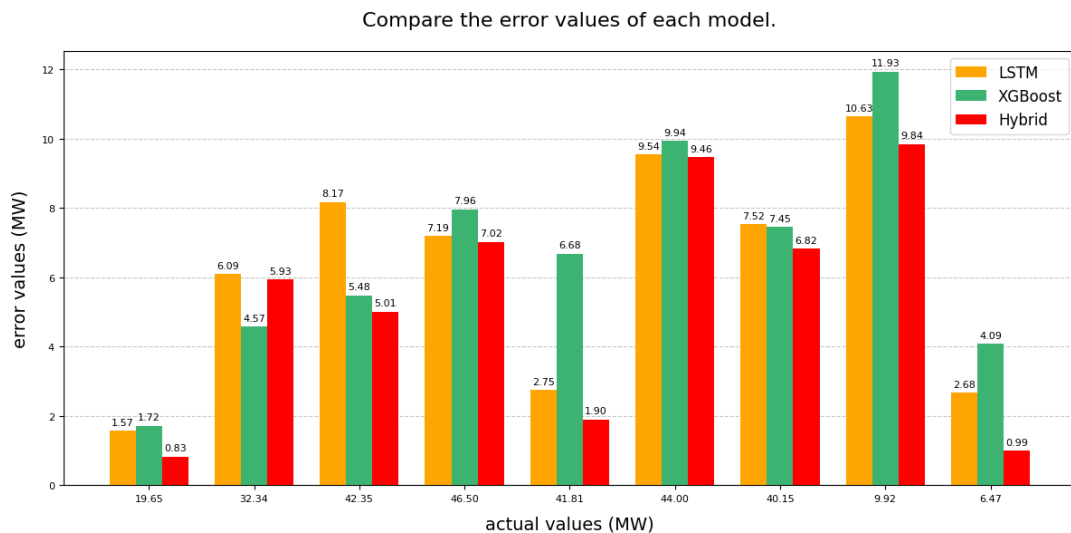
สำหรับการประเมินผลที่สำคัญที่สุดของแบบจำลองที่สร้างโดยอาศัยวิธีการแบบผสม มุ่งเน้นที่ประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยรวมเมื่อทำงานเสร็จสมบูรณ์แล้วกับชุดข้อมูลทดสอบ ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการฝึกสอนแบบจำลองที่แยกจากกัน การสร้างกราฟการเรียนรู้แบบรวมจึงไม่สามารถดำเนินการได้ในทางปฏิบัติและไม่สื่อถึงประสิทธิภาพที่แท้จริง ดังนั้น ผู้วิจัยเลือกนำเสนอผลลัพธ์สุดท้ายบนชุดข้อมูลทดสอบ เพื่อแสดงประสิทธิภาพของแบบจำลองแบบผสม



รูปที่ 8 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ของแบบจำลองทั้ง 3 วิธี

จากรูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ของแบบจำลองทั้ง 3 วิธี ในช่วงเวลา 48 ชั่วโมง ตั้งแต่วันที่ 30 ตุลาคม เวลา 00:00 น. ถึง วันที่ 1 พฤศจิกายน เวลา 00:00 น. โดยแกน X แสดงวันและเวลา (รูปแบบ เดือน-วัน ชั่วโมง) และแกน Y คือ Active Power (MW) แสดงให้เห็นลักษณะเฉพาะของแต่ละแบบจำลองได้อย่างชัดเจน จากกราฟ พบว่า แบบจำลอง LSTM แสดงความแม่นยำสูงในการพยากรณ์ในช่วงที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่มีแนวโน้มการประมาณต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อยในบางจุด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อวางแผนการผลิตไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (peak load) ในขณะที่แบบจำลอง

XGBoost แสดงผลการพยากรณ์ที่เสถียรมากกว่า แต่มีความล่าช้าในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน โดยเฉพาะในช่วงการขึ้นและลงของโหลด ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาที่สำคัญ ส่วนแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการพยากรณ์แบบผสม แสดงประสิทธิภาพที่สมดุลกว่า สามารถจับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้แม่นยำใกล้เคียงกับแบบจำลอง LSTM และเสถียรมากกว่าในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย



รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน (error) ของแบบจำลองทั้ง 3 วิธี

จากรูปที่ 9 เพื่อให้เห็นความแตกต่างของค่าความคลาดเคลื่อน (error) ที่พยากรณ์ได้ในเชิงตัวเลข ผู้วิจัยได้เลือกข้อมูลบางส่วนมาจากช่วงเวลาที่แสดงในรูปที่ 8 แสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองแต่ละวิธี โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีการแบบผสม (แท่งสีแดง) มีค่าต่ำที่สุดในกรณีส่วนใหญ่ (8 จาก 9 กรณี) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองแบบผสมให้ความแม่นยำและเสถียรภาพในการพยากรณ์สูงที่สุดในชุดการทดสอบนี้

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนพุ่มลอยน้ำ โดยประยุกต์ใช้วิธีการแบบผสมด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก 2 ชนิด ได้แก่ วิธีการหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM) และเอ็กซ์ตรีมเกรเดียนต์บูสติ่ง (XGBoost) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองแบบผสม (LSTM-XGBoost) มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงกว่าแบบจำลองแบบเดี่ยว

เมื่อพิจารณาในเชิงปริมาณจากข้อมูลประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองที่ประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์แบบผสม (Hybrid) ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่า MAE เท่ากับ 0.0577 ค่า MSE เท่ากับ 0.0143 และค่า RMSE เท่ากับ 0.1196 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดในทุกตัวชี้วัด เพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับแบบจำลองเดี่ยวที่ดีที่สุดในกลุ่มคือ LSTM (MAE 0.0585, RMSE 0.1215) แบบจำลองแบบผสมสามารถลดค่า MAE ลงได้ คิดเป็นร้อยละ 1.37 และลดค่า RMSE ลงได้ คิดเป็นร้อยละ 1.56 เมื่อเทียบกับแบบจำลอง XGBoost (MAE 0.0630, RMSE 0.1211) แบบจำลองแบบผสมให้ค่า MAE ที่ต่ำกว่า คิดเป็นร้อยละ 8.41 และ RMSE ต่ำกว่า คิดเป็นร้อยละ 1.24

จากผลการประเมินประสิทธิภาพพบว่า การผสมผสานความสามารถของแบบจำลองหลายชนิดสามารถลดข้อจำกัดของแต่ละวิธีได้จริง โดยแบบจำลองหลัก (LSTM) ทำหน้าที่จับรูปแบบอนุกรมเวลาที่ซับซ้อนของข้อมูลการผลิตไฟฟ้า จากนั้นแบบจำลอง

รอง (XGBoost) จะเข้ามาเรียนรู้และพยากรณ์ในส่วนของคุณค่าความคลาดเคลื่อนส่วนเหลือ (residual) ที่แบบจำลองหลักไม่สามารถจับรูปแบบได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (อุรสา จันทระ, 2564) ที่พบว่าการสร้างแบบจำลองแบบผสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่เนื่องจากลักษณะเฉพาะของชุดข้อมูลนำเข้ามีความแตกต่างกัน อาจไม่สามารถนำผลการวิจัยมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของเทคนิคการพยากรณ์แต่ละวิธี สามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการจับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ซับซ้อน โดยเฉพาะในช่วงที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลมาจากการผสมผสานความสามารถในการจดจำรูปแบบข้อมูลอนุกรมเวลาของ LSTM กับความสามารถในการจัดการข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้นของ XGBoost

ผลการวิจัยนี้ เป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบจัดการพลังงานอัจฉริยะและการวางแผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ รวมถึงระบบงานจริงที่ต้องการค่าพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูง ทั้งนี้ ในการนำไปใช้งานจริงอาจต้องพิจารณาจากความต้องการเฉพาะของระบบ ความรวดเร็วในการประมวลผล ข้อจำกัดด้านทรัพยากร และระดับความแม่นยำที่ต้องการ

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 พิจารณาข้อมูลคุณลักษณะ (Feature) อื่น ๆ ที่เป็นปัจจัยหรือส่งผลต่อการพยากรณ์ เช่น ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในระนาบของแผง (Plane of Array Irradiance) รวมถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลในอดีตในปริมาณมาก จะช่วยให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้ได้อย่างแม่นยำและประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

7.2 ควรมีการปรับปรุงไฮเปอร์พารามิเตอร์ในแบบจำลองการเรียนรู้ XGBoost และ LSTM โดยใช้วิธีการค้นหาที่เป็นระบบ เช่น Grid Search หรือ Bayesian Optimization และพิจารณาใช้ฟังก์ชันกระตุ้นและฟังก์ชันการสูญเสียชนิดอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบและหาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

7.3 ประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกอื่น ๆ ที่มีความสามารถในการพยากรณ์ข้อมูลแบบลำดับหรืออนุกรมเวลา เช่น GRU หรือแบบจำลองที่มีกลไก Attention เพื่อเพิ่มความสามารถในการจับความสัมพันธ์ที่สำคัญในข้อมูล

7.4 แบบจำลองที่ได้จากการวิจัยนี้ สามารถนำไปพัฒนาเขียนเป็นโปรแกรมสำหรับระบบการพยากรณ์พลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำแบบรายชั่วโมง หรือรายวัน เพื่อช่วยให้ผู้ควบคุมระบบ สามารถบริหารจัดการการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (ม.ป.ป.). การจัดการก๊าซเรือนกระจก. เข้าถึงได้จาก

<https://www.dede.go.th/articles?id=191>

เกศินี ช่อนกลิ่น. (2566). แบบจำลองการพยากรณ์ราคาอนุพันธ์โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ 1 มิติ

หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาวและซัพพอร์ตเวกตอร์รีเกรสชัน. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ:

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.

ภาณุพงศ์ น้ำแก้ว. (2563). การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอุปกรณ์วัดด้วยโครงข่าย

ประสาทเทียม. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วฤชัย ร่มสายหยุด. (2566). การเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทำนายและการประยุกต์. นนทบุรี:

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

- ศรีรักษ์ ศรีทองชัย. (2565). แบบจำลองการพยากรณ์ค่า PM2.5 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ LSTM ในพื้นที่ กรุงเทพมหานคร. *Journal of Engineering and Digital Technology (JEDT)*, 10(1), 1-9.
- สรุจภูมิ จิตตานนท์ และจักรกฤษ เต็มฤทธิกุล. (2566). การพยากรณ์การใช้พลังงานภายในอาคาร SGtech อย่างชาญฉลาด ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2561). แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ (Power Development Plan : PDP). เข้าถึงได้จาก <https://www.eppo.go.th/index.php/th/electricity/pdp>
- อุรชา จันทรรภา. (2564). การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบของประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Berberich, D. (2020). *Hybrid Methods for Time Series Forecasting*. Retrieved from <https://www.inovex.de/de/blog/hybrid-time-series-forecasting/>
- Cazzaniga, R., & Rosa-Clot, M. (2021). The booming of floating PV. *Solar Energy*, 219, 3–10.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794.
- Foster, J., Liu, X., & McLoone, S. (2017). Adaptive sliding window load forecasting. *2017 28th Irish Signals and Systems Conference (ISSC)*, 1–6.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780.
- Jebli, I., Belouadha, F.-Z., Kabbaj, M. I., & Tilioua, A. (2021). Deep Learning based Models for Solar Energy Prediction. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 6(1), 349–355.
- Li, C., Chen, Z., Liu, J., Li, D., Gao, X., Di, F., Li, L., & Ji, X. (2019). Power Load Forecasting Based on the Combined Model of LSTM and XGBoost. *Proceedings of the 2019 the International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 46–51.
- Lim, S.-C., Huh, J.-H., Hong, S.-H., Park, C.-Y., & Kim, J.-C. (2022). Solar Power Forecasting Using CNN-LSTM Hybrid Model. *Energies*, 15(21), 8233.
- Liu, C.-H., Gu, J.-C., & Yang, M.-T. (2021). A Simplified LSTM Neural Networks for One Day-Ahead Solar Power Forecasting. *IEEE Access*, 9, 17174–17195.
- Obiora, C. N., Ali, A., & Hasan, A. N. (2021). Implementing Extreme Gradient Boosting (XGBoost) Algorithm in Predicting Solar Irradiance. *2021 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, 1–5.
- Obiora, C. N., Ali, A., & Hasan, A. N. (2022). Efficient Method of Finding the Best Time Interval for Predicting Short Term Solar Radiation Using CNN-LSTM Model. *2022 11th International Conference on Power Science and Engineering (ICPSE)*, 159–163.
- Saxena, S. (2021, March 16). What is LSTM? Introduction to Long Short-Term Memory. Retrieved from <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/03/introduction-to-long-short-term-memory-lstm/>
- World Bank Group. (2018, OCTOBER 30). Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/where-sun-meets-water>
- Ye, H., Yang, B., Han, Y., & Chen, N. (2022). State-Of-The-Art Solar Energy Forecasting Approaches: Critical Potentials and Challenges. *Frontiers in Energy Research*, 10, 875790.

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายอดิเรก ปั่นบุญ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต แขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
โทรศัพท์ 08-6431-7255
E-Mail: adirek.pb@gmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: Machine Learning for data analytics



รองศาสตราจารย์ ดร.วณิชยา ร่มสายหยุด อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
โทรศัพท์ 0-2504-8267
E-Mail: walisa.rom@stou.ac.th
ความเชี่ยวชาญ: Machine learning for data analytics, Big data management

คำแนะนำในการจัดเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้เขียน

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

1. ข้อมูลเบื้องต้นของวารสาร

ขอบเขตเนื้อหา ประกอบด้วย

- 1.1 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- 1.2 วิศวกรรม
- 1.3 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
- 1.4 เทคโนโลยีสารสนเทศ
- 1.5 สหวิทยาการ

2. นโยบายการพิจารณาตีพิมพ์ผลงาน

2.1 คำแนะนำทั่วไป

2.1.1 ผลงานที่เสนอตีพิมพ์ต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร เอกสารการประชุม หรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน (ยกเว้นรายงานวิจัย และวิทยานิพนธ์)

2.1.2 ผลงานที่เสนอตีพิมพ์ต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด ทัศนะและข้อคิดเห็นใดๆ ในบทความถือเป็นทัศนะของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วยกับทัศนะเหล่านั้นและไม่ถือว่าเป็นความรับผิดชอบของกองบรรณาธิการ กรณีมีการฟ้องร้องเรื่องการละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงฝ่ายเดียว

2.1.3 ลิขสิทธิ์บทความเป็นของผู้เขียนและสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับการสงวนสิทธิตามกฎหมาย การตีพิมพ์ซ้ำต้องได้รับอนุญาตโดยตรงจากผู้เขียนและสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เป็นลายลักษณ์อักษร

2.2 ประเภทผลงานที่รับตีพิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช รับพิจารณาตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ดังนี้

- 2.2.1 บทความวิชาการ (Academic Article)
- 2.2.2 บทความวิจัย (Research Article)
- 2.2.3 บทความปริทัศน์ (Review Article)
- 2.2.4 บทวิจารณ์หนังสือ (Book Review)

2.3 การพิจารณาถ่วงถ่วงบทความ

2.3.1 บทความที่จะได้รับพิจารณาตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพทางวิชาการและมีประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีเพื่อให้นักวิจัยสามารถนำไปพัฒนาหรือสร้างองค์ความรู้ใหม่ และประโยชน์ในเชิงปฏิบัติที่นักปฏิบัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในภาคส่วนต่างๆ ทั้งภาครัฐ ภาคธุรกิจ และภาคสังคมและชุมชน

2.3.2 บทความที่จะได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านกระบวนการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewer) ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ท่านและได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

2.4 กระบวนการพิจารณาการกลั่นกรองบทความ (Peer Reviewer)

2.4.1 กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้เขียนทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการจะตรวจสอบบทความว่าอยู่ในขอบเขตเนื้อหาวารสารหรือไม่ รวมถึงคุณภาพทางวิชาการและประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ

2.4.2 ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับบทความไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการส่งบทความเพื่อกลั่นกรองต่อไป โดยจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ท่าน ประเมินคุณภาพของบทความว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะลงตีพิมพ์หรือไม่ โดยกระบวนการกลั่นกรองนี้ทั้งผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น 1 ควรนำลงตีพิมพ์ หรือควรส่งให้ผู้เขียนแก้ไขแล้วส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินอีกครั้งหนึ่ง หรือปฏิเสธ การตีพิมพ์

3. ข้อกำหนดต้นฉบับ

3.1 การจัดพิมพ์ต้นฉบับ

3.1.1 ผลงานที่เสนอพิจารณาตีพิมพ์ควรมีความยาวประมาณ 5 - 15 หน้ากระดาษ A4

3.1.2 บทความภาษาไทย พิมพ์ด้วย TH Sarabun New ขนาดตัวอักษร 14 Point บทความภาษาอังกฤษ พิมพ์ด้วย TH Sarabun New ขนาดตัวอักษร 14 Point

3.1.3 ระยะขอบกระดาษ 1 นิ้ว (เท่ากันทุกด้าน)

3.1.4 ชื่อเรื่องบทความ ขนาดตัวอักษร 18 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้ายของกระดาษ

3.1.5 ชื่อหัวข้อ ขนาดตัวอักษร 16 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้ายของกระดาษ

3.1.6 บทคัดย่อภาษาไทย ความยาว 1 ย่อหน้า (250 คำ) ขนาดตัวอักษร 14 Point พิมพ์ 1 คอลัมน์ และต้องพิมพ์คำสำคัญต่อท้าย

3.1.7 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ความยาว 1 ย่อหน้า (250 คำ) ขนาดตัวอักษร 14 P 1 คอลัมน์ และต้องพิมพ์คำสำคัญต่อท้าย

3.1.8 เนื้อหาพิมพ์ 1 คอลัมน์ ขนาดตัวอักษร 14 Point

3.1.9 ชื่อและหมายเลขกำกับตาราง ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา ให้พิมพ์ไว้บนตารางจัดชิดซ้ายใต้ตารางบอกแหล่งที่มา จัดชิดซ้าย

3.1.10 ชื่อภาพและหมายเลขกำกับภาพ ชื่อแผนภูมิและหมายเลขกำกับแผนภูมิ ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) ให้พิมพ์ไว้ใต้ภาพ (ควรเป็นภาพที่ชัดเจน และควรแนบ File ภาพมาด้วย)

3.1.11 แผนภูมิ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ ได้ภาพ แผนภูมิบอกแหล่งที่มา จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

3.1.12 ชื่อบรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย ส่วนเนื้อหา บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 14 Point พิมพ์ 1 คอลัมน์

3.1.13 พิมพ์ชื่อและนามสกุลของผู้เขียนทุกคน พร้อมระบุคุณวุฒิสูงสุด ตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) ตำแหน่งงาน และหน่วยงานที่สังกัด หรือสถานศึกษา และแนบ File JPG ภาพถ่ายผู้เขียนมาด้วย

3.1.14 ผู้เขียนต้องตรวจสอบความถูกต้องของการพิมพ์ต้นฉบับ เช่น ตัวสะกด วรรคตอน และความ สละสลวยของการใช้ภาษา

3.2 ส่วนประกอบของบทความ

3.2.1 บทความวิชาการ หัวข้อและเนื้อหาควรชี้ประเด็นที่ต้องการนำเสนอให้ชัดเจนและมีลำดับ เนื้อหาที่เหมาะสมเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ชัดเจน รวมถึงมีการใช้ทฤษฎีวิเคราะห์และเสนอแนะประเด็น อย่างสมบูรณ์ โดยควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

(1) ชื่อเรื่อง (Title)

(2) บทคัดย่อ (Abstract)

สรุปเนื้อหาของบทความให้ได้ใจความชัดเจน กำหนดให้มีทั้งบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยเขียนเป็นภาษาไทยก่อน ความยาว 1 ย่อหน้า ไม่เกิน 250 คำ

(3) คำสำคัญ (Keyword)

ระบุคำที่เป็นคำสำคัญของเนื้อหาเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นคำค้นในระบบฐานข้อมูล

(4) บทนำ (Introduction)

เป็นส่วนแนะนำและปูพื้นเรื่องเพื่อให้ผู้อ่านทราบข้อมูลเบื้องต้นของเนื้อหา เป็นการจูงใจให้ผู้อ่านเกิดความ สนใจในเรื่องนั้น ๆ

(5) เนื้อหา (Body of Text)

เป็นส่วนหลักของเนื้อหาบทความ การจัดลำดับเนื้อหา ควรมีการวางแผนจัดโครงสร้างของเนื้อหา ที่นำเสนอให้เหมาะสมกับธรรมชาติของเนื้อหานั้น การนำเสนอเนื้อหาควรมีความต่อเนื่องเพื่อช่วยให้ผู้อ่าน เข้าใจสาระนั้นได้โดยง่าย

(6) สรุป (Conclusion)

เป็นการสรุปเนื้อหาในบทความทั้งหมดออกมาอย่างชัดเจน และกระชับโดยมีการสรุปปิดท้ายเนื้อหาที่เราได้ นำเสนอไปแล้วว่ามีผลดี หรือผลเสียอย่างไร

(6) เอกสารอ้างอิง (Reference)

เขียนบรรณานุกรมในรูปแบบ APA (American Psychological Association)

3.2.2 บทความวิจัย ควรมีการนำเสนอผลการวิจัยที่ได้รับอย่างเป็นระบบ โดยควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

(1) ชื่อเรื่อง (Title)

ชื่อเรื่องควรมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยพิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยและตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษในบรรทัดต่อมา

(2) บทคัดย่อ (Abstract)

กำหนดให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยเขียนเป็นภาษาไทยก่อน ความยาว 1 ย่อหน้า ไม่เกิน 250 คำ (การเขียนบทคัดย่อ คือ การสรุปสาระสำคัญของเรื่องโดยเฉพาะวัตถุประสงค์ วิธีการ และผลการวิจัย)

(3) คำสำคัญ (Keyword)

ระบุคำที่เป็นคำสำคัญของเนื้อหาเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นตัวค้นในระบบฐานข้อมูล

(4) บทนำ (Introduction)

เป็นการอธิบายถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา และเหตุผลที่นำไปสู่การวิจัยมีข้อมูลทางวิชาการสนับสนุนหรือโต้แย้ง รวมถึงแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

(5) วัตถุประสงค์ (Research Objectives)

ระบุถึงวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการวิจัย

(6) วิธีการวิจัย (Research Methodology)

อธิบายถึงกระบวนการดำเนินการวิจัยอย่างละเอียดและชัดเจน

(7) ผลการวิจัย (Results)

เสนอผลการวิจัยที่ตรงประเด็นตามลำดับขั้นของการวิจัย การใช้ตารางหรือแผนภูมิไม่ควรเกิน 5 ตารางหรือแผนภูมิโดยมีการแปลความหมายและวิเคราะห์ผลที่ค้นพบอย่างชัดเจน

(8) อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

ผสมผสานเปรียบเทียบและตีความผลการวิจัยให้เข้ากับหลักทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเชื่อมโยงผลการวิจัยให้สอดคล้องกับประเด็นปัญหาการวิจัย

(9) สรุป (Conclusion)

สรุปสาระสำคัญของผลการวิจัย และให้ข้อเสนอแนะที่จะนำผลการวิจัยนั้นไปใช้ประโยชน์

(10) เอกสารอ้างอิง (Reference)

เขียนบรรณานุกรมในรูปแบบของ APA (American Psychological Association)

3.3 การอ้างอิง

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ใช้รูปแบบการอ้างอิงของ APA (American Psychological Association)

3.3.1 การอ้างอิงในเนื้อหาให้ใช้รูปแบบ ดังนี้

(ชื่อ-นามสกุลผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, เลขหน้า)

ตัวอย่าง

(เกียรติศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์, 2546, 64)

3.3.2 บรรณานุกรมท้ายบทให้ใช้รูปแบบ ดังนี้

(1) หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อหนังสือ. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

Bolinger, Dwinght (1977). The Form of Language. London: Longmans

(2) บทความจากวารสาร

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร ปีที่(ฉบับที่), เลขหน้าที่อ้างอิงถึง

ตัวอย่าง

Klimoski, R., & Palmer, S. (1993). The ADA and the hiring process in organizations. Consulting Psychology Journal: Practice and Research, 45(2), 10-36

(3) วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อวิทยานิพนธ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ชื่อมหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง

สรรพพงษ์ จันทเลิศ (2546) การสร้างเว็บไซต์ท่องเที่ยวของจังหวัดเชียงราย

วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

(4) เว็บไซต์

ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานเจ้าของเว็บไซต์. (ปีที่จัดทำ). ชื่อเรื่อง. สืบค้นเมื่อจาก URL.

ตัวอย่าง

ชนะ ภาวนันท์. (2548). ธุรกิจสปาไทยนำก้าวไกลไปกว่านี้. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม

2548, จาก <https://www.businesssthai.co.th/content.php?data=407720-Opinion>

4. ข้อพิจารณาทางด้านจริยธรรม

ค่านึงหลักจริยธรรมโดยเคารพในบุคคล (Respect to person) เช่น ยินยอม ความเป็นส่วนตัว การเก็บรักษาความลับ

5. การส่งต้นฉบับ

ผู้เขียนส่งต้นฉบับพร้อมไฟล์ (Microsoft Word) และแบบฟอร์มเสนอแนะบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ไปที่ <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/stouscitech> เพื่อทำการลงทะเบียนสมาชิกวารสาร และดำเนินการส่งบทความเข้าฐานข้อมูลระบบออนไลน์ของวารสาร จึงสามารถดาวน์โหลดคำแนะนำการได้ที่ <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/stouscitech/about/submissions>