



# วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี



ISSN 3027-849X (ONLINE)

VOL. 21, NO. 1, JANUARY - JUNE 2026



วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี  
ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2569

บรรณาธิการ

รศ.ว่าที่ ร.ต.ดร.ชูชาติ พยอม

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผศ.ดร.ลลิตธร มะระกานนท์

ผศ.ดร.กุลสมทรัพย์ เย็นน้ำชิต

ผศ.ดร.ธาดา คำแดง

ผู้ทรงคุณวุฒิในกองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สุมาลี สังข์ศรี

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

ศ.ดร.สายัณห์ ทัดศรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศ.ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศ.ดร.วุฒิพงศ์ อารีกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ.ดร.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต

สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา

รศ.ดร.สุมาลี อุณหวนิชย์

สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา

รศ.ดร.ชนศักดิ์ ป้ายเที่ยง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานนท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.ดร.กฤษณ์ อ่างแก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.วิสุทธิ สุนทรกนกพงศ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพชร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ฝ่ายจัดการวารสาร

นางนภาพร รอดแก้ว

นางสาววัชรีย์ ภูรักษา

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ อุตสาหกรรมการเกษตร เทคโนโลยีสารสนเทศ การจัดการอุตสาหกรรม

กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

ลักษณะบทความ

1. ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อนหรือต้องไม่อยู่ในขั้นตอนการพิจารณาเพื่อเผยแพร่ในวารสารอื่น
2. ต้องเป็นผลงานวิจัยที่มีผลกระทบในวงกว้างที่ไม่ใช่งานวิจัยในระดับสถาบัน

บทความที่ลงพิมพ์เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น

ผู้เขียนจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น

## สารบัญ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| การวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมกริดเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อการออกแบบองค์ประกอบป้องกัน<br>Short-Circuit Current Analysis in Distribution Power Systems with Grid-Connected Photovoltaic Systems for Protection Element Design<br>จิณัฐตา ชัดติจิตร และ ไตรรัตน์ ปะที                                                                                                                                                      | 1    |
| การออกแบบและประเมินสมรรถนะของเครื่องสับฟางข้าวเพื่อเพิ่มอัตราการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับการผลิตกระดาษ ในพื้นที่ตำบลคลองหลวงแพ่ง จังหวัดฉะเชิงเทรา<br>Design and Performance Evaluation of a Rice Straw Chopper for Enhancing Agricultural Waste Processing Efficiency in Paper Production in Khlong Luang Phaeng Sub-District Chachoengsao Province<br>กาหลง บัวนาค, นรินทร์ กุลนาคดล, ชัชวาล นิยมโรธรรม และ สุรพงษ์ แก่นมณี | 7    |
| การพัฒนาแผนที่สถานการณ์จำลองพื้นที่การรบ<br>Development of Simulated Battlefield Scenario Maps<br>ธเนศ เลิศจามิกร                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 15   |
| การกำหนดสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของกล้วยตากโดยใช้การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ<br>Determination of Optimal Hot-Air Drying Conditions for Dried Bananas Using Design of Experiments<br>ชนาธิป กาลจักร, ยุทธณรงค์ จงจันทร์, จตุพล พิสิษฐ์ศักดิ์, ภิรม พรประเสริฐ, เกียรติศักดิ์ พระเนตร, ดนัย สอนสุภาพ , สราวุธ อิศรานันต์ และ สมภาร ดอนจันดา                                                                                    | 24   |
| การใช้โปรแกรม TRUdairyFeed ต่อการยอมรับองค์ความรู้ ต้นทุนและผลตอบแทนค่าอาหาร และต่อการให้ผลผลิตน้ำนมโคของผู้เลี้ยงโคนม ตำบลดีลัง อ.พัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี<br>The Using of TRUdairyFeed Program on Knowledge Adoption, Feed Cost and Return and on Milk Production of Dairy Farmers in Dilang Sub district, Patthananihom District, Lop buri Province<br>อำพล จุปะมัตถา และ เฉลิมพล ปฏิพันธ์                                              | 34   |
| การวิเคราะห์พฤติกรรมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบต่อการจัดการโหลด : กรณีศึกษาแพลตฟอร์ม PEA Volta<br>EV Charging Behavior and Distribution Load Management : A Case Study from the PEA Volta Platform<br>สุรพงษ์ แก่นมณี, นรินทร์ กุลนาคดล, ชัชวาล นิยมโรธรรม และ อภิชาติ สังข์ทอง                                                                                                                                                      | 43   |

# การวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมกริดเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อการออกแบบองค์ประกอบการป้องกัน

## Short-Circuit Current Analysis in Distribution Power Systems with Grid- Connected Photovoltaic Systems for Protection Element Design

จินัฐตา ขัตติจิตร์<sup>1</sup> และ ไตรรัตน์ ปะที<sup>2\*</sup>  
Jinatta Khattijit<sup>1</sup>, Tritath Pati<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

<sup>1,2</sup> Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lannna

\* Email: TRP\_off@RMUTL.ac.th

Received: July 30, 2025; Revised: December 23, 2025; Accepted: April 16, 2026

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนอาทิเช่น พลังงานไฟฟ้าทดแทนด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบันโดยรูปแบบที่ใช้เป็นการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนานเข้ากับโครงข่ายของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเดิม ตามทฤษฎีการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าเมื่อมีการเพิ่มแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับโครงข่าย จะส่งผลต่อขนาดของกระแสลัดวงจรและอาจมีผลต่อปริมาณไฟฟ้าในโครงข่ายของระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเดิมด้วยเหตุนี้จึงได้นำเสนอการวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในโครงข่ายของระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าที่มีการเพิ่มแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่าย โดยการสร้างแบบจำลองของระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าที่ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดไฟฟ้าหลัก Utility ที่มีการเพิ่มแหล่งกำเนิดไฟฟ้า SPP Generator และแหล่งกำเนิดไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ มาทำการวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าลัดวงจรโดยอ้างอิงหลักการตามมาตรฐาน IEC 60909 เพื่อนำขนาดของกระแสลัดวงจรที่ได้จากการวิเคราะห์มาพิจารณาค่าพิกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโครงข่ายรวมถึงการพิจารณาค่าปรับตั้งการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE C37.230(2020) IEEE C37.234 (2021) และ IEEE C37.91 (2021)

**คำสำคัญ :** การวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าลัดวงจร, การป้องกันระบบไฟฟ้า, เซลล์แสงอาทิตย์

### Abstract

The growth of renewable energy with photovoltaic is extremely expanding in the present time. The favorite solution of photovoltaic installation is the grid connection to the existing distribution power network that is similar to enhance electricity generation source into the network. According to power system analysis fundamental, short circuit current and electric equipment in network will be affected. That is the reason to propose short circuit current analysis in distribution power network with addition of electricity generation source. The model of distribution power network, which consist of utility (main power source), SPP generator and photovoltaic, will be created and analyzed to achieve short circuit current according to IEC 60909. The result will be applied to consider rated electrical equipment and operation pickup value according to IEEE C37.230 (2020) IEEE C37.234 (2021)

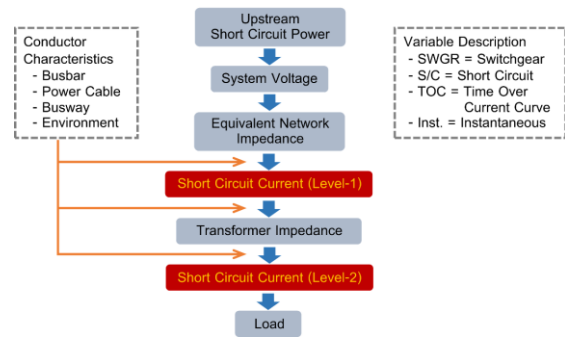
**Keywords :** Short circuit current analysis, Power system protection, Photovoltaic

## 1. บทนำ

ในการออกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้า การประเมินค่ากระแสลัดวงจร (Short-Circuit Current) ถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของโครงข่ายไฟฟ้าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อการกำหนดพิกัดการทนกระแสลัดวงจรของอุปกรณ์ต่าง ๆ อาทิ แผงสวิตช์ไฟฟ้า (Switchgear) และเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) ตลอดจนใช้ในการปรับตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Relay) เพื่อให้สามารถตัดต่อความผิดปกติออกจากระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ และเพิ่มความมั่นคงของระบบไฟฟ้าโดยรวม

มาตรฐานสากล IEC 60909 ได้กำหนดแนวทางการคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองทางไฟฟ้าแบบเชิงเส้น (Linear Equivalent Model) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั่วไปได้ โดยพิจารณาค่าพารามิเตอร์หลักที่มีผลต่อกระแสลัดวงจร เช่น แหล่งจ่ายต้นทาง หม้อแปลงไฟฟ้า ตัวนำไฟฟ้า และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในเส้นทางไหลของกระแส ทั้งนี้ ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จากการประเมินจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับของอุปกรณ์รวมถึงการกำหนดค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันอย่างเหมาะสมตามตำแหน่งในระบบ [1-3]

สำหรับการประเมินกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณประกอบด้วย ค่ากำลังลัดวงจรหรือกระแสลัดวงจรจากแหล่งจ่าย ระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งาน และค่าอิมพีแดนซ์ขององค์ประกอบในระบบ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า และตัวนำที่ใช้ในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า โดยค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จะถูกนำไปใช้กำหนดพิกัดการทนต่อกระแสของอุปกรณ์ตัดต่อ อาทิ แผงสวิตช์ไฟฟ้า (SWGR) และเซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB) รวมถึงใช้กำหนดค่าการตั้งของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน โดยเฉพาะในกรณีของการป้องกันแบบฉับพลัน (Instantaneous Overcurrent Protection) ที่ต้องใช้ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดในการตั้งค่า ขณะที่การป้องกันแบบหน่วงเวลา (Time Overcurrent Protection) จำเป็นต้องพิจารณาร่วมกับข้อมูลการไหลโหลด (Load Flow) เพื่อให้ระบบป้องกันมีความสอดคล้องและประสานงานอย่างเหมาะสม [4,5]



รูปที่ 1 ตัวอย่างวิเคราะห์การลัดวงจรของระบบไฟฟ้า

## 2. วิธีการวิจัย

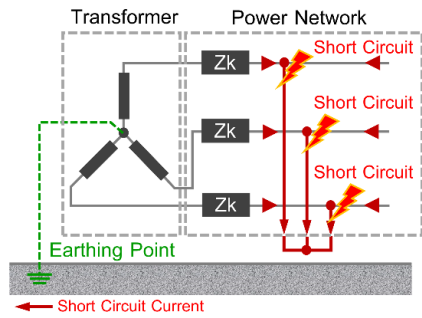
การประเมินกระแสไฟฟ้าลัดวงจรอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60909 ซึ่งได้กำหนดรูปแบบของการลัดวงจรไว้ทั้งหมด 4 รูปแบบด้วยกัน ประกอบด้วย การลัดวงจรแบบสามเฟสสมมาตร (Three Phases Short Circuit) การลัดวงจรระหว่างสายแบบไม่ลงดิน (Line to Line Short Circuit) การลัดวงจรระหว่างสายแบบลงดิน (Line to Line Short Circuit to Ground) และการลัดวงจรหนึ่งเฟสลงดิน (Line to Ground Short Circuit) ในการออกแบบระบบป้องกันของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะพิจารณาการลัดวงจร 2 รูปแบบ คือ [4,5]

### 2.1 การลัดวงจรแบบสามเฟสสมมาตร

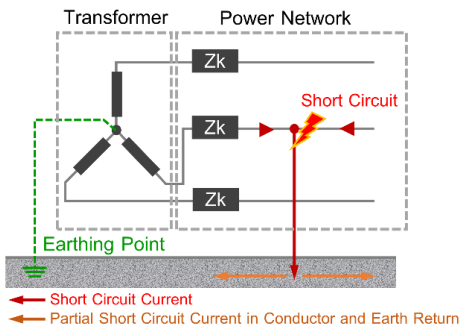
เป็นรูปแบบการลัดวงจรที่มีค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด ใช้กำหนดค่าพิกัดการทนต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงสวิตช์ไฟฟ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์ในแผงสวิตช์ไฟฟ้า และค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบฉับพลัน (Instantaneous Protection) ในส่วนของการลัดวงจรเฟส เนื่องจากทำให้กระแสลัดวงจรมีค่ามากที่สุด ส่งผลต่อการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันและการคำนวณความมั่นคงของระบบไฟฟ้า รวมไปถึงการทดสอบความสามารถของระบบในการรองรับความผิดปกติ

### 2.2 การลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน

เป็นรูปแบบการลัดวงจรที่โอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด ใช้ในการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบฉับพลันในส่วนของกระแสลัดวงจรลงดิน (Instantaneous Ground Protection)



(1) การลัดวงจรแบบสามเฟสสมมาตร



(2) การลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน

**รูปที่ 2** รูปแบบไฟฟ้าลัดวงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟฟ้าลัดวงจรของระบบ

จากรูปแบบของการลัดวงจรที่พิจารณาเพื่อใช้ในการประเมินกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามที่แสดงในรูปที่ 2 กระแสลัดวงจรของรูปแบบดังกล่าวสามารถพิจารณาได้ตามมาตรฐาน IEC 60909 ซึ่งกำหนดสมการสำหรับการคำนวณกระแสลัดวงจรไว้ดังนี้ [6,7]

1) กระแสลัดวงจรของการลัดวงจรแบบสามเฟสสมมาตร

$$I''_3 = \frac{(c)(U_n)}{(\sqrt{3})(Z_1)} \quad (1)$$

2) กระแสลัดวงจรของการลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน

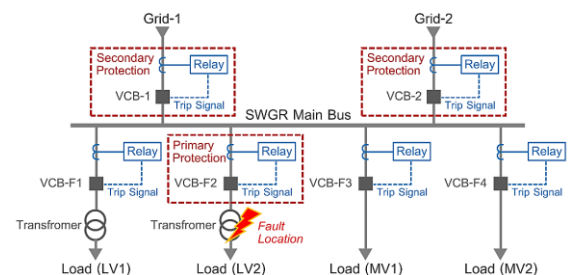
$$I''_{kE1} = \frac{(\sqrt{3})(c)(U_n)}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)} \quad (2)$$

นอกจากนี้ในกรณีที่มิโหลดประเภทเหนี่ยวนำเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายของระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะมีกระแสลัดวงจรที่มาจากโหลดเหนี่ยวนำจ่ายเข้ามาในระบบด้วยเมื่อเกิดการลัดวงจร การประเมินกระแสลัดวงจรจากโหลดเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้จากกระแสลัดวงจรจากโหลดเหนี่ยวนำ(L) กรณีที่โหลดเหนี่ยวนำเชื่อมต่อตรงเข้ากับระบบ

$$I''_{kE1} = \frac{(c)(U_n)}{(\sqrt{3})(Z_m)} \quad (3)$$

นอกจากการวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแล้วการกำหนดค่าพิกัดการทนต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของ แผงสวิตช์ไฟฟ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ในแผงสวิตช์ไฟฟ้าและค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน จะต้องพิจารณาดำเนินการของแผงสวิตช์ไฟฟ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์ป้องกันกระแสเกินด้วย [8]โดยค่าพิกัดการทนต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของอุปกรณ์ควรมีค่ามากกว่ากระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านอุปกรณ์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่จุดนั้นๆ สำหรับค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินควรปรับตั้งให้ต่ำกว่าขนาดของกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านอุปกรณ์และต้องไม่สูงกว่าค่าพิกัดการทนต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของอุปกรณ์ [2]

การกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินจะต้องคำนึงถึงการประสานการป้องกัน (Protective Coordination) ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินทั้งหมดที่อยู่ในระบบด้วย ตามหลักการที่แนะนำไว้ตามมาตรฐาน IEEE C37.230(2020) IEEE C37.234 (2021) และ IEEE C37.91 (2021) นั้น ควรมีการกำหนดลำดับการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินซึ่งจะมีการกำหนดอุปกรณ์ป้องกันขั้นต้น (Primary Protection) เป็นรีเลย์ที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดการลัดวงจรที่จะต้องสั่งปลดวงจรที่เกิดการลัดวงจรออกก่อน และอุปกรณ์ป้องกันสำรอง (Secondary Protection) เป็นรีเลย์ที่อยู่ห่างจากจุดที่เกิดการลัดวงจรรองลงมาจากอุปกรณ์ป้องกันขั้นต้นจะต้องสั่งปลดวงจรหลังจากอุปกรณ์ป้องกันขั้นต้นในกรณีที่เกิดความผิดพลาดในการทำงานของอุปกรณ์ [4-6]

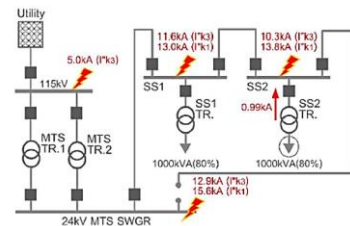


**รูปที่ 3** การทำการประสานสัมพันธ์ของรีเลย์และอุปกรณ์

### 2.3 การประสานสัมพันธ์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน

เพื่อจะทำได้สามารถจัดลำดับการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินได้ถูกต้องจำกัดการเกิดไฟดับจากการปลดวงจรที่เกิดการลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้อยู่ในบริเวณจำกัด หลีกเลี่ยงการเกิดไฟดับในบริเวณกว้าง มีการป้องกันสำรองในกรณีที่อุปกรณ์ขั้นต้นทำงานผิดพลาด ทำให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีเสถียรภาพมากขึ้นนอกจากนี้ในกรณีที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีขนาดใหญ่และมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าในลักษณะ 2 ทิศทางวนเป็นลูป (Loop)

ที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียวจาก Utility กระแส  
ลัดวงจรกรณีที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจาก Utility กับเครื่อง  
กำเนิดไฟฟ้า (SPP Generator) และกระแสลัดวงจรกรณีที่มี  
แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนานเชื่อมต่อเข้ากับ  
ระบบจำหน่ายไฟฟ้าร่วมกับ Utility และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า  
ได้ขนาดของกระแสลัดวงจรตามที่แสดงในรูปที่ 5 ถึง 6  
กระแสลัดวงจรลัดวงจรในกรณีที่ 3 ของโครงข่ายที่มี  
แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนานเชื่อมต่อเข้ากับ  
ระบบจำหน่ายไฟฟ้าร่วมกับ Utility และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า  
ตามที่แสดงในรูปที่ 7



#### รูปที่ 4 ระบบไฟฟ้าที่ทำการวิเคราะห์การลัดวงจร

**รูปที่ 6 ผลการคำนวณค่าลัดวงจรในระบบไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 95 MVA**

รูปที่ 7 กระแสไฟฟ้าลัดวงจรในระบบพร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 95 MVA และเซลล์แสงอาทิตย์

## ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการลัดวงจรของระบบไฟฟ้า

| สถานี | ค่าการลัดวงจรของระบบไฟฟ้า (kA) |      |           |      |           |      | ค่าลัดวงจร<br>ขั้นต่ำของ<br>อุปกรณ์ |
|-------|--------------------------------|------|-----------|------|-----------|------|-------------------------------------|
|       | กรณีที่ 1                      |      | กรณีที่ 2 |      | กรณีที่ 3 |      |                                     |
|       | 3<br>Ph.                       | SLG  | 3<br>Ph.  | SLG  | 3<br>Ph.  | SLG  |                                     |
| MTS   | 12.9                           | 15.6 | 14.8      | 17.5 | 14.8      | 17.5 | 18 kA                               |
| SS1   | 11.6                           | 13.0 | 13.1      | 14.3 | 13.1      | 14.3 | 15 kA                               |
| SS2   | 10.3                           | 10.8 | 11.5      | 11.6 | 11.5      | 11.6 | 12 kA                               |
| SS3   | -                              | -    | -         | -    | 10.4      | 9.9  | 11 kA                               |

ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569

จากผลการวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้ง 3 กรณี คือ ระบบที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้า Utility (Case-1) ระบบที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้า Utility และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Case-2) และ ระบบที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้า Utility เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเซลล์แสงอาทิตย์ (Case-3) ดังสรุปได้ในตารางที่ 1

#### 4. สรุปผลการทดลอง

จากสรุปผลการวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายของกรณีต่าง ๆ ทั้งหมด 3 กรณี สามารถสรุปได้ดังนี้

##### 4.1 การเพิ่มแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (SPP Generator)

เมื่อมีการเพิ่มแหล่งจ่าย 95 MVA ขนานเข้ามาในระบบจำหน่ายมีผลต่อค่ากระแสลัดวงจรในโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรในตำแหน่ง Substation ต่างๆ มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ ในกรณีที่มีการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ามาในระบบควรมีการพิจารณาค่าพิกัดทนกระแสลัดวงจรของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับกระแสลัดวงจรที่เพิ่มขึ้น

##### 4.2 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ขนานเข้ากับระบบจำหน่าย

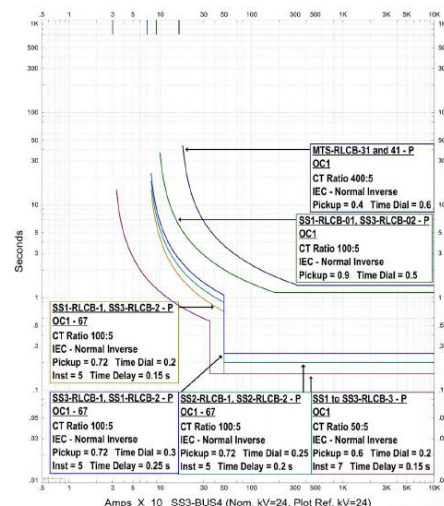
เมื่อนำระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 300 kVA กริดเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่ากระแสลัดวงจรในโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างมีนัยยะสำคัญ เนื่องจากกระแสลัดวงจรที่จ่ายเข้าระบบเมื่อเกิดการลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 kVA มีขนาดเพียง 0.09 kA อย่างไรก็ตามหากมีเซลล์แสงอาทิตย์รวมทั้งหมดที่ขนานเข้าระบบมีขนาดใหญ่ควรมีการพิจารณาค่าพิกัดทนกระแสลัดวงจรของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับกระแสลัดวงจรที่เพิ่มขึ้นด้วย

##### 4.3 ในขณะที่เกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบจะมีกระแสลัดวงจรจ่ายเข้าสู่ระบบจากโหลดเหนี่ยวนำ

หากขนาดของโหลดเหนี่ยวนำมีขนาดใหญ่ ย่อมส่งผลกระทบต่อกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ควรคำนึงในการออกแบบอุปกรณ์ด้วยจากการหลักการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ป้องกันในโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า และการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันให้ทำงานประสานกันได้อย่างเหมาะสมสามารถลดผลกระทบได้ถูกต้องตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น การประสานสัมพันธ์ค่าปรับตั้งในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบสามารถทำได้ดังรูปที่ 8

การจำลองและวิเคราะห์ผลในงานนี้มุ่งเน้นไปที่กระแสลัดวงจรในโครงข่ายระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก เพื่อนำผลที่ได้มาประเมินค่าพิกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในโครงข่ายและค่าปรับตั้งการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน แต่เนื่องจากอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโครงข่ายคือ อินเวอร์เตอร์ เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มีลักษณะการทำงานไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) ที่อาจสร้างกระแสฮาร์มอนิกส์เข้าสู่โครงข่ายและอาจสร้างผลกระทบต่อระบบในภาพรวมซึ่งสามารถกรณีนี้นำไปศึกษาเพิ่มเติมได้



รูปที่ 8 ค่ารีเลย์เซตตั้งและการประสานสัมพันธ์ของรีเลย์

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Zhang, Y. Li, Y. Huang, F. Huang and Z. Liu, "Research on Wide-Area Protection and Control Scheme for Closed-Loop Distribution Network," in proceeding of 2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON), Guangzhou, China, Nov. 6-8, 2018, pp. 299-304.
- [2] D. S. Fedosov and N. V. Bakeev, "Development of a Method for Providing the Breaking Capacity of High-Voltage Circuit Breakers using an Adjustable Deceleration of the Short-Circuit Clearance Time," in proceeding of 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Magnitogorsk, Russian Federation, Feb.24-26, 2021, pp. 403-407.
- [3] IEEE Guide for Protective Relay Applications to Distribution Lines, IEEE Standard C37. 230 (Revision of IEEE Standard C37.230-2007), IEEE Power and Energy Society, 2020.
- [4] IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power System Buses, IEEE Standard C37. 234

- (Revision of IEEE Standard C37.234-2009), IEEE Power and Energy Society, 2021.
- [5] *IEEE Guide for Protecting Power Transformers*, IEEE Standard C37.91 (Revision of IEEE Standard C37.91-2008), IEEE Power and Energy Society, 2021.
- [6] *Short-circuit Currents in Three-phase AC Systems - Part 0: Calculation of Currents*, IEC Standard 60909-0 (Revision of IEC Standard 60909-0:2002), International Electrotechnical Commission (IEC), 2016.
- [7] *Short-circuit Currents in Three-phase AC Systems - Part 1: Factors for the Calculation of Short-circuit Currents According to IEC 60909-0*, IEC Standard 60909-1 (Revision of IEC Standard 60909-1:1991), International Electro technical Commission (IEC), 2002.
- [8] *Short-circuit Currents in Three-phase AC Systems - Part 2: Data of Electrical Equipment for Short-circuit Current Calculations*, IEC Standard 60909-2 (Revision of IEEE Standard 60909-2:1992), International Electro technical Commission (IEC), 2008.
- [9] K. Liu and Association, “The Method of Circuit Breaker Interrupting Capacity Verification Considering Breaking Sequences,” in *Proc. 2021 IEEE 5th Conf. Energy Internet Energy Syst. Integr. (EI2)*, Oct. 2021, pp. 2691–2694.
- [10] V. N. Zheleznyak, N. V. Korovkin, A. A. Burmistrov and A. S. Adalev, “Simulation of Operating Condition of the Equipment of the Short-Circuit Generator Package,” in proceeding of 2024 Conference of Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElCon), Saint Petersburg, Russian Federation, Jan. 29-31, 2024, pp. 865-868.
- [11] W. Liang, D. Xie, C. Liu, Z. Zhai, X. Li and S. Xiao, “Analysis of Short Circuit Current Calculation Equivalence of External Power Grid with Distributed Generators,” in proceeding of 2024 4th International Conference on Energy Engineering and Power Systems (EEPS), Hangzhou, China, Aug. 9-11, 2024, pp. 831-835.

การออกแบบและประเมินสมรรถนะของเครื่องสับฟางข้าว  
เพื่อเพิ่มอัตราการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับการผลิตกระดาษ  
ในพื้นที่ตำบลคลองหลวงแพ่ง จังหวัดฉะเชิงเทรา

Design and Performance Evaluation of a Rice Straw Chopper for  
Enhancing Agricultural Waste Processing Efficiency in Paper Production  
in Khlong Luang Phaeng Sub-District Chachoengsao Province

กาหลง บัวนาค<sup>1</sup>, นรินทร์ กุลนาคดล<sup>1</sup>, ชัชวาล นิมโรธรม<sup>1</sup> และ สุรพงษ์ แก่นมณี<sup>2\*</sup>  
Kalong Buanak<sup>1</sup>, Narin Koolnapadol<sup>1</sup>, Chatchawal Nimrotham<sup>1</sup>, and Surapong Keanmanee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

<sup>1</sup>Department of Automotive Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

Email: surapong@techno.rru.ac.th

Received: November 3, 2025; Revised: April 22, 2026; Accepted: April 24, 2026

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนานวัตกรรมเครื่องสับฟางข้าว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกระดาษจากฟางข้าวของชุมชนคลองหลวงแพ่ง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยการออกแบบและสร้างเครื่องสับฟางข้าวต้นแบบขนาด 1.5 แรงม้า การประเมินสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างค่าอ้างอิงของวิธีการสับแบบเดิม (การใช้มีดสับด้วยแรงงานคน) กับการทดลองโดยใช้เครื่องสับฟางข้าว ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเครื่องสับฟางข้าวต้นแบบสามารถลดเวลาในการเตรียมวัตถุดิบลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยลดลงจาก 23.33 นาทีต่อกิโลกรัม เหลือ 1.21 นาทีต่อกิโลกรัม ในขณะที่พบการสูญเสียมวลฟางเพิ่มขึ้นเป็น 99.09 กรัม หรือร้อยละ 9.91 ของปริมาณฟางเริ่มต้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องสับฟางข้าวสามารถแก้ไขปัญหาในการเตรียมวัตถุดิบที่เป็นปัญหาคอขวด ทำให้บรรลุเป้าหมายในการเพิ่มอัตราการผลิตได้เป็นอย่างดี เป็นการยกระดับความสามารถในการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร อย่างไรก็ตาม ผลการสูญเสียวัสดุที่เพิ่มขึ้น เป็นประเด็นสำคัญสำหรับการพัฒนาการออกแบบเครื่องสับในอนาคต เพื่อให้ได้ระบบการแปรรูปที่มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งในด้านเวลาและการใช้ทรัพยากร

**คำสำคัญ :** การผลิตกระดาษ, เครื่องสับฟางข้าว, วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

### Abstract

This research aims to develop a rice straw chopper innovation to enhance the efficiency of rice straw paper production within the Khlong Luang Phaeng community, Chachoengsao Province. The methodology involved the design and fabrication of a 1.5 horsepower rice straw chopper prototype, followed by a performance evaluation comparing the reference baseline of the conventional chopping method with experimental results obtained from the prototype. The results show that the prototype machine significantly decreased raw material preparation time, with the average duration decreasing from 23.33 minutes per kilogram to 1.21 minutes per kilogram. Concurrently, an increase in straw mass loss was observed, totaling 99.09 grams, or 9.91 percent of the initial straw volume. The experimental results

unequivocally indicate that the implementation of the rice straw chopper effectively resolves the raw material preparation bottleneck, successfully achieving the goal of increasing the production rate and elevating the overall capability for processing agricultural waste. However, the increased material loss presents a critical consideration for the future development of the chopper's design, necessary to attain a processing system that maximizes efficiency in both time and resource utilization.

**Keywords :** Paper Production, Rice Straw Chopper, Agricultural Waste

## 1. บทนำ

จังหวัดฉะเชิงเทรา มีพื้นที่ทั้งหมด 3,344,375 ไร่ เป็นพื้นที่เกษตรกรรม 2,316,913 ไร่ (69.25 % ของพื้นที่ทั้งหมด) เป็นพื้นที่นา 721,818 ไร่ พืชไร่ 274,401 ไร่ ไม้ผล 84,754 ไร่ ไม้ยืนต้น 837,818 พืชสวน 5,411 ไร่ ประมง 327,319 ไร่ ปศุสัตว์ 19,888 ไร่ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ 504 ไร่ [1] พื้นที่ตำบลคลองหลวงแพ่ง อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่มีประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพหลักคือ การปลูกข้าว โดยมีพื้นที่ทำข้าวนาปีและนาปรังประมาณ 10,210 ไร่ [2] ในฤดูกาลเก็บเกี่ยวจะมีฟางข้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในปริมาณมาก แม้ฟางข้าวจะเป็นทรัพยากรที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์และจำหน่ายได้ แต่ปัจจุบันยังคงมีราคาจำหน่ายต่ำ จากการสำรวจพบว่า รายได้จากการจำหน่ายผลผลิตข้าวต่อพื้นที่ 1 ไร่ จะสามารถทำฟางอัดก้อนจำนวน 35 ก้อน จำหน่ายในราคาก่อนละ 10 บาท จึงมีแนวโน้มที่ฟางข้าวจะถูกกำจัดด้วยวิธีการเผาทำลาย ซึ่งเป็นการทำลายโครงสร้างดิน ทำลายธาตุอาหารในดิน ทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น ทำลายสิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์ในดิน ทำให้เกิดฝุ่นควันและก๊าซพิษ [3] ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของคนในชุมชน

องค์การบริหารส่วนตำบลคลองหลวงแพ่ง จังหวัดฉะเชิงเทราตระหนักถึงศักยภาพของฟางข้าว จึงได้ริเริ่มแนวคิดในการแปรรูปฟางข้าวเป็นกระดาดและเยื่อกระดาษ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและเป็นอาชีพเสริมให้กับคนในท้องถิ่น อย่างไรก็ตามจากการดำเนินการผลิตกระดาดที่ผ่านมาพบว่าปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (การตัดและสับฟางข้าว) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เครื่องมือพื้นฐาน เช่น มีดหรือเครื่องมือที่ต้องใช้แรงกายสูง ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยทำให้เกิดความล่าช้าในการดำเนินงาน จึงไม่สามารถผลิตในปริมาณมากพอสำหรับจำหน่ายเชิงพาณิชย์ และไม่สามารถต่อยอดให้เกิดรายได้ในครัวเรือน นำไปสู่ความเสียหายที่โครงการจะไม่สามารถดำเนินต่อไปได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน เพื่อหาแนวทางการแก้ไข ปัญหา คณะผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์ปัญหาทั้ง 2 ด้าน ได้แก่

- ด้านประสิทธิภาพและการจัดการ เมื่อเกิดความล่าช้าในขั้นตอนการสับฟางข้าว จะทำให้เกิดปัญหากลายเป็นคอขวดในกระบวนการผลิต ทำให้ไม่สามารถขยายกำลังการผลิตเพื่อรองรับความต้องการของตลาดได้

- ด้านความยั่งยืนของโครงการ หากกระบวนการผลิตขาดเครื่องมือทุนแรง อาจทำให้กลุ่มผู้ผลิตถอดใจ ซึ่งจะนำไปสู่การยุติโครงการในที่สุด

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่าที่ผ่านมา มีการพัฒนาเครื่องตัดและสับฟางข้าวเพื่อแก้ไขปัญหาการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอย่างต่อเนื่อง ดังเช่นงานวิจัยของปณณวิชญ์ ทองคำ และคณะ [4] ซึ่งได้ออกแบบและสร้างเครื่องตัดฟางข้าวซึ่งประกอบด้วยชุดโครงสร้าง ชุดป้อนลำเลียง ชุดใบมีดตัด โดยใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ทำการทดสอบความเร็วของใบมีด 3 ระดับ และมุมของใบมีด 3 มุม ผลการทดลองดีที่สุดที่ความเร็วใบมีด 7.80 เมตรต่อวินาที มุมใบมีด 45 องศา พบว่าเครื่องตัดสามารถทำงานได้มากกว่าแรงงานคน 6.7 เท่า ซึ่งมีความโดดเด่นในด้านกำลังการผลิต ในขณะที่อิริช ลีตระกูล และคณะ [5] ได้สร้างเครื่องสับฟางข้าวที่มุ่งเน้นกำลังการผลิตเพื่อรองรับปริมาณฟางจำนวนมาก โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า ชุดสับใบมีด 120 องศา หมุนด้วยความเร็ว 1,400 รอบต่อวินาที พร้อมชุดป้อนวัสดุ พูลเล่ย์และสายพาน ตะแกรงร่อน ฝาครอบเครื่องและถาดคายวัสดุ ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับโดยการคำนวณน้ำหนักฟางข้าวหลังสับเทียบกับก่อนสับคิดเป็นร้อยละ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าเครื่องมีประสิทธิภาพเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 80 และได้รับผลการประเมินภาพรวมจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีมาก อย่างไรก็ตาม เครื่องจักรที่พัฒนาขึ้นก่อนหน้านี้รวมไปถึงเครื่องสับฟางข้าวเชิงพาณิชย์ที่มีจำหน่ายทั่วไปส่วนมากมักมุ่งเน้นที่ปริมาณผลผลิตสูงสุด มีกลไกการทำงานซับซ้อน โครงสร้างขนาดใหญ่ หรือใช้ต้นกำลังขนาดใหญ่ เพื่อมุ่งเน้นสมรรถนะและปริมาณผลผลิตต่อชั่วโมงเป็นหลัก และมีราคาสูง ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับบริบทของวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ ทำให้เกิดช่องว่างในการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่เน้นความประหยัด สะดวกในการใช้งาน ลดภาระทางกายภาพควบคู่ไปกับประสิทธิภาพการทำงานที่เพียงพอต่อการผลิต

จากการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีกรอบแนวคิดในการสร้างเครื่องสับฟางข้าวและประเมินประสิทธิภาพของนวัตกรรมต่อการลดภาระแรงงานและเพิ่มผลผลิต เพื่อให้สามารถเพิ่มผลผลิต ใช้งานได้ง่าย และคำนึงถึงหลักการยศาสตร์ เป็นเครื่องที่สามารถบำรุงรักษาและซ่อมบำรุงได้ง่าย หลักการทำงานไม่ซับซ้อน และสามารถหาอะไหล่สำรองได้ในท้องตลาด โดยคณะผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าเครื่องสับฟางข้าวจะสามารถเพิ่มผลผลิตในการทำกระดาษจากฟางข้าว เพื่อจำหน่ายเป็นรายได้เสริม เป็นการเสริมสร้างความเข้มแข็งของเศรษฐกิจฐานรากและคุณภาพชีวิตของประชากรในชุมชนอย่างยั่งยืนต่อไป

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 2.1 การวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิต

กลุ่มผู้ผลิตกระดาษในตำบลคลองหลวงแพ่งมีความคาดหวังในการช่วยแก้ปัญหาการจำหน่ายฟางข้าวในราคาถูก และปัญหาการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ อีกทั้งยังมีแนวคิดในการขึ้นรูปกระดาษเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุ การมีเป้าหมายในการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ จำเป็นต้องมีกำลังการผลิตสูงที่สูงขึ้น รูปที่ 1 แสดงกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ ซึ่งประกอบด้วย การสับฟางข้าว โดยใช้มีดสับให้ได้ความยาว 2-5 เซนติเมตร แล้วนำไปแช่สารละลายต่าง 1.25% (โซดาไฟ 187-188 กรัม ต่อน้ำ 15 ลิตร) รูปที่ 1(ก) แสดงกระบวนการต้มฟางซึ่งใช้เวลา 1 ชั่วโมง โดยกวนเป็นระยะ จะได้ฟางที่พร้อมเข้าสู่กระบวนการตีเยื่อดังแสดงในรูปที่ 1(ข) จากนั้นนำไปตีเยื่อฟางโดยเครื่องปั่น และเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปแผ่นกระดาษ รูปที่ 1(ค) และ 1(ง) จะได้แผ่นกระดาษที่สามารถนำไปประดิษฐ์หรือทำบรรจุภัณฑ์ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1(จ) และ 1(ฉ)

จากการศึกษาปัญหาในการผลิต เกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมฟางข้าว ขั้นตอนการต้ม และการตีเยื่อฟาง ซึ่งผู้วิจัยมีแนวคิดในการยกระดับกระบวนการเตรียมฟางข้าว หรือ การสับฟางข้าว ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการผลิต เนื่องจากหากขั้นตอนการเตรียมเกิดปัญหาเป็นคอขวด (Bottleneck) ซึ่งหมายถึง กระบวนการที่จำกัดผลผลิตของทั้งระบบ มีรอบเวลาช้าที่สุด หรือกำลังการผลิตต่ำที่สุด ทำให้เกิดเวลาสูญเสียไป หรือเกิดงานสะสมที่ขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง จะทำให้กระบวนการผลิตทั้งระบบต้องหยุดชะงักและล่าช้าตามไปด้วย [6] ทำให้ไม่สามารถเริ่มกระบวนการผลิตขึ้นต่อไปได้ ในกรณีของการผลิตกระดาษด้วยฟางข้าว ขั้นตอนการสับฟางข้าวด้วยมีดมีความล่าช้าและอาจทำให้เกิดความเมื่อยล้า โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องสับในปริมาณมาก หากขั้นตอนนี้ใช้

ระยะเวลานานในการเตรียมจะทำให้ไม่สามารถดำเนินการในขั้นต่อไปได้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 1 กระบวนการผลิตกระดาษจากฟางข้าวและผลิตภัณฑ์

### 2.2 การออกแบบและสร้างนวัตกรรม

#### 2.2.1 การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบ

การออกแบบเครื่องสับฟางข้าวคำนึงถึงหลักการยศาสตร์ เนื่องจากหากเครื่องจักรและเครื่องมือเครื่องใช้ที่ถูกออกแบบมาไม่เหมาะสมกับสภาพร่างกายของผู้ใช้ ไม่สอดคล้องกับความแตกต่างและข้อจำกัดของมนุษย์ ตลอดจนท่าทางการทำงานที่ผิดธรรมชาติ อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานได้ โดยแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ประกอบด้วย ผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน และผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของงาน [7]

การออกแบบจึงเน้นการปรับปรุงจุดที่มีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน เช่น การป้อน การควบคุม และความสูง รายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ออกแบบฐานให้มีความมั่นคงโดยใช้โครงสร้างหลักให้มีจุดศูนย์ถ่วงต่ำ ป้องกันการลื่นสะเทือนในขณะที่ทำงาน
2. ความสูงของช่องป้อนฟางออกแบบให้อยู่ในระดับเอวถึงข้อศอกของผู้ใช้งานทั่วไป โดยสูงจากพื้น 100-110 เซนติเมตร ป้องกันการก้มหลังที่มากเกินไป และทำให้การ

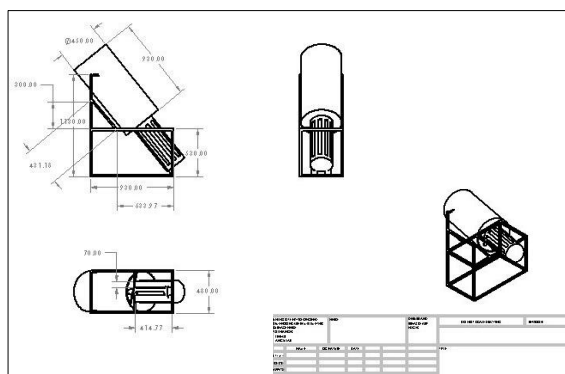
บ่อนวัสดุทำได้ง่ายโดยไม่ต้องยกแขนสูง (ความสูงผู้ใช้งาน 160-170 เซนติเมตร)

3. ถังบรรจุมีส่วนที่ติดตั้งใบมีดด้านใน ออกแบบให้ถังถูกยกขึ้นจากพื้น เพื่อให้มีช่องทางออกของฟางข้าวที่สับแล้วอยู่ด้านล่างและอยู่ในระดับที่สะดวกต่อการขนย้าย

4. ออกแบบให้ใบมีดสับฟางเป็นชิ้นเล็ก ๆ ในลักษณะการหมุนเหวี่ยงและสับ เพื่อให้ได้ฟางที่มีขนาดสม่ำเสมอสำหรับการทำกระดาศ มีการป้องกันมิติดชิด ไม่ให้ผู้ใช้งานสัมผัสได้โดยตรง

5. ปุ่มเปิด-ปิดเป็นปุ่มกดขนาดใหญ่ มีสีที่ตัดกันชัดเจน เพื่อให้ง่ายต่อการมองเห็น ติดตั้งที่ความสูงที่สามารถเอื้อมถึงทันที เพื่อหยุดเครื่องได้อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน

จากการรวบรวมข้อมูลในการออกแบบสามารถร่างแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยขนาดของเครื่องสับฟางข้าวมีความกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 50×120×160 เซนติเมตร กำหนดความสูงของช่องบ่อนฟางจากพื้นประมาณ 100-110 เซนติเมตร โดยใช้ถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่ายและทำให้เครื่องมีน้ำหนักเบา ติดตั้งมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ซึ่งมีกำลังเพียงพอสำหรับงานสับฟางในปริมาณไม่มาก ช่วยให้เครื่องมีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป การติดตั้งมอเตอร์ไว้ด้านล่างของถังเพื่อหมุนใบมีดที่ติดอยู่ข้างถัง ยังสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี หากมีการใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลานาน



รูปที่ 2 แบบเครื่องสับฟางข้าว

## 2.2.2 การออกแบบระบบควบคุมไฟฟ้า

1. การออกแบบองค์ประกอบ ระบบควบคุมมอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ วงจรหลัก (Main circuit) และวงจรควบคุม (Control circuit) ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยวงจรหลักทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ประกอบด้วยองค์ประกอบ ดังนี้

- แหล่งจ่ายไฟ ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 Hz

- Circuit breaker ขนาด 10 แอมแปร์ ป้องกันกระแสเกินและไฟฟ้าลัดวงจร

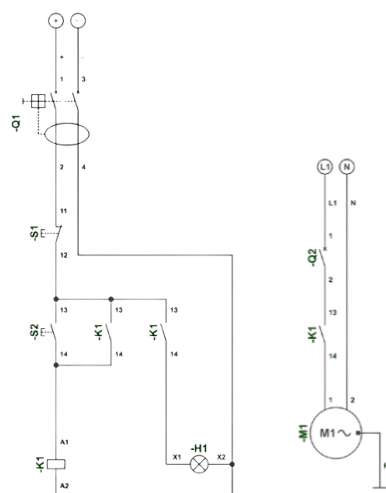
- Magnetic contactor ทำหน้าที่เปิด-ปิดไฟเข้ามอเตอร์ตามสัญญาณจากวงจรควบคุม

- Thermal overload relay ป้องกันมอเตอร์จากภาวะโอเวอร์โหลด ตั้งค่าที่ 110-120% ของกระแสทำงานเต็มภาระ

- มอเตอร์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส กำลังมอเตอร์ 1.5 แรงม้า ขนาดแรงดัน 220 โวลต์ ความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที

- สายดิน เชื่อมต่อตัวมอเตอร์และตู้ควบคุมเข้ากับระบบสายดิน

- การเลือกขนาดสายไฟสำหรับวงจรหลักใช้สายขนาด 2.5 ตารางมิลลิเมตร (THW) ซึ่งมีกำลังรับกระแสประมาณ 20-24 แอมแปร์ เพียงพอสำหรับรองรับกระแสเริ่มต้นของมอเตอร์ที่อาจสูงถึง 3-5 เท่าของกระแสทำงานปกติ



รูปที่ 3 วงจรหลักและวงจรควบคุมมอเตอร์ในเครื่องตัดฟางแบบไดเรค

## 2. หลักการทำงานของระบบ

- ขั้นตอนการเริ่มต้น เมื่อเปิด Circuit breaker เพื่อจ่ายไฟเข้าสู่ระบบ หลอดสัญญาณสีแดงจะติด แสดงว่าระบบพร้อมใช้งาน

- เมื่อกดปุ่ม START สัญญาณไฟฟ้าไหลผ่านวงจรควบคุม (STOP → TH-RY Contact → START)

- Contactor coil ได้รับแรงดันไฟฟ้า สร้างสนามแม่เหล็ก

- Main contacts ปิด จ่ายไฟเข้ามอเตอร์

- Auxiliary contact ปิดพร้อมกัน ทำ Latching แม้ปล่อยปุ่ม START มอเตอร์ยังคงทำงาน

- มอเตอร์เริ่มหมุน หลอดสัญญาณสีเขียวติด

- ขั้นตอนการหยุดทำงาน โดยแบ่งเป็นการหยุดปกติ โดยการกดปุ่ม STOP → ตัดวงจรควบคุม → Coil ไม่มีแรงดัน → Contacts เปิด → มอเตอร์หยุด ส่วนการหยุดฉุกเฉินเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าเกินปกติ Thermal Overload Relay จะตรวจจับความร้อนที่สูงขึ้นและจะสั่งตัดการทำงานขอวงจรควบคุม ทำให้วงจรหลักที่จ่ายไฟให้มอเตอร์ถูกตัด ส่งผลให้มอเตอร์หยุดการทำงาน

รูปที่ 4 แสดงการประกอบส่วนถึงบรรจุกับมอเตอร์ และภาพเครื่องสับฟางข้าวที่เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 4 เครื่องสับฟางข้าว

## 2.3 การทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องสับฟางข้าว

การทดสอบและประเมินสมรรถนะเชิงกลไกของเครื่องสับ ด้วยการทดลองใช้เครื่องสับในสถานการณ์จริงโดยเทียบกับวิธีการสับแบบเดิม การวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย

1. ปริมาณฟางข้าวที่สูญเสีย โดยพื้นที่ทดลองเป็นที่โล่งไม่มีสิ่งกีดขวาง เพื่อให้สามารถเก็บเศษฟางข้าวที่ฟุ้งกระจายได้ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 5 น้ำหนักฟางข้าวเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง 1,000 กรัม ( $W_{in}$ ) ทำการสับจนกว่าจะไ้ความยาวของฟางข้าวที่ต้องการ (ไม่เกิน 5 เซนติเมตร) ซึ่งน้ำหนักฟางข้าวที่ถูกสับ ( $W_{out}$ ) ทำการทดลอง 5 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เปรียบเทียบอัตราการสูญเสียต่อการสับในแต่ละครั้งกับค่าอ้างอิงของระบบการผลิตแบบเดิม โดยอัตราฟางข้าวที่สูญเสียคิดเป็นร้อยละดังสมการที่ (1)

$$Mass\ Loss\ (\%) = \left( \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $W_{in}$  คือ น้ำหนักฟางข้าวเริ่มต้น (กรัม)

$W_{out}$  คือ น้ำหนักฟางข้าวที่ผ่านการสับ (กรัม)

ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of variation, CV) ใช้ในการเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลชุดต่าง ๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) กับค่าสัมบูรณ์ของค่าเฉลี่ย (Mean) ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$Coefficient\ of\ variation\ (CV) = \frac{SD}{Mean} \quad (2)$$

เมื่อ CV คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Mean คือ ค่าสัมบูรณ์ของค่าเฉลี่ย

หากข้อมูลมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันสูง จะแสดงให้เห็นว่าข้อมูลชุดนั้นมีการกระจายตัวสูงมากซึ่งทำให้เกิดความน่าเชื่อถือในข้อมูลน้อยหรืออาจมีค่าผิดปกติ ในทำนองเดียวกันหากข้อมูลชุดใดมีการกระจายน้อยกว่าย่อมดีกว่าข้อมูลที่มีการกระจายมาก [8] โดยทั่วไปไม่ควรให้ค่านี้เกินร้อยละ 10 [9]

2. ระยะเวลาที่ใช้ในการสับ ทดสอบการสับฟางข้าว 1,000 กรัม โดยจับเวลาเป็นนาที ตั้งแต่เริ่มป้อนฟางข้าวเข้าเครื่องจนกระทั่งฟางที่ถูกตัดออกจากเครื่องทั้งหมด เปรียบเทียบระยะเวลาของการสับในแต่ละครั้งกับค่าอ้างอิงของระบบการผลิตแบบเดิม



รูปที่ 5 การทดสอบเครื่องสับฟางข้าว

3. อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้า คำนวณได้จากการสมการที่ (3) [10]

$$P = \frac{IVt}{1000} \quad (3)$$

เมื่อ P คือ การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kW-hr)

I คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)

t คือ เวลา (ชั่วโมง)

### 3. ผลการวิจัย

#### 3.1 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องสับฟางข้าว

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 1 ในด้านปริมาณความสูญเสียของฟางข้าว พบว่าในการตัดฟางข้าวปริมาณ 1,000 กรัม เมื่อเทียบกับค่าอ้างอิงที่ใช้วิธีตัดด้วยมีด จะได้ฟางข้าวที่มีความยาวตามที่ต้องการ 980.00 กรัม ฟางข้าวที่สูญเสียไป 20.00 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.00 ซึ่งเกิดจากการฟุ้งกระจายในกรรมวิธีการสับ เมื่อเทียบกับการใช้เครื่องสับที่จะได้ฟางข้าวที่ 900.91 กรัม ฟางข้าวที่สูญเสียไป 99.09 กรัม คิดเป็นร้อยละ 9.91 ซึ่งมากกว่าการสับแบบวิธีเดิมร้อยละ 7.91 ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการทำทดลองมีฟางข้าวที่ถูกสับละเอียดจนกลายเป็นผง และมีการฟุ้งกระจายออกนอกภาชนะขณะสับ และบางส่วนตกค้างอยู่ใต้ใบมีดภายในถังบรรจุ ค่า SD อยู่ที่ 8.72

การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการสับฟางข้าว ค่าอ้างอิงที่ใช้วิธีตัดด้วยมีดจะใช้เวลาเฉลี่ย 23.33 นาที ส่วนการใช้เครื่องสับใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 1.21 นาที แสดงให้เห็นว่า การใช้เครื่องสับสามารถลดเวลาการทำงานลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยลดลงจาก 23.33 นาทีต่อกิโลกรัม เหลือ 1.21 นาทีต่อกิโลกรัม ซึ่งลดระยะเวลาที่ใช้ในการสับฟางลงได้ถึงร้อยละ 94.81 แสดงถึงกำลังการผลิตต่อหน่วยเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ค่า SD ของเครื่องสับเท่ากับ 0.12 ถือว่ามีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย แสดงให้เห็นว่าเครื่องสับมีความสม่ำเสมอในการทำงานสูง

ตารางที่ 1 ข้อมูลฟางข้าวที่สูญเสียไปในกระบวนการสับและเวลาที่ใช้ในการสับฟางข้าว 1,000 กรัม

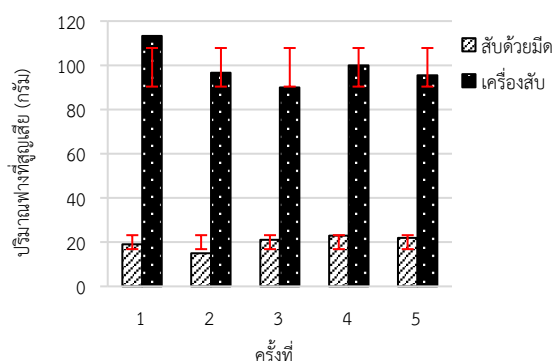
| ครั้งที่ | ปริมาณฟางข้าวที่สูญเสีย (กรัม) |            | เวลาที่ใช้ในการสับ (นาที) |            |
|----------|--------------------------------|------------|---------------------------|------------|
|          | สับด้วยมีด                     | เครื่องสับ | สับด้วยมีด                | เครื่องสับ |
| 1        | 19.00                          | 113.33     | 20.05                     | 1.00       |
| 2        | 15.00                          | 96.67      | 22.05                     | 1.30       |
| 3        | 21.00                          | 90.00      | 23.50                     | 1.30       |
| 4        | 23.00                          | 100.00     | 25.45                     | 1.20       |
| 5        | 22.00                          | 95.50      | 25.59                     | 1.25       |
| เฉลี่ย   | 20.00                          | 99.00      | 23.33                     | 1.21       |
| SD       | 3.06                           | 12.02      | 2.35                      | 0.12       |

รูปที่ 6 แสดงปริมาณฟางข้าวที่สูญเสียในกระบวนการสับเปรียบเทียบระหว่างการใช้วิธีเดิมคือการสับด้วยมีดและการใช้เครื่องสับ แกน x แสดงจำนวนครั้งที่ใช้ในการทดลอง แกน y แสดงปริมาณฟางข้าว (กรัม) จากภาพแสดงให้เห็นว่า

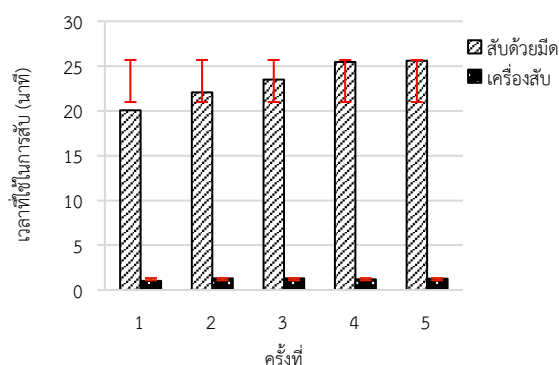
การใช้เครื่องสับจะมีปริมาณฟางข้าวที่สูญเสียมีมวลสูงขึ้นมาเมื่อเทียบกับการใช้วิธีเดิม แถบความคลาดเคลื่อนในกราฟแท่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของข้อมูลรอบค่าเฉลี่ย จากรูปการทดลองหาความสูญเสียโดยใช้เครื่องสับมีแถบความคลาดเคลื่อนยาวกว่าของเวลา (SD=12.02) ซึ่งหมายถึงข้อมูลมีความแปรปรวนมากกว่า มีความแม่นยำและความสม่ำเสมอต่ำกว่า แต่ยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับการทดลองในสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง

รูปที่ 7 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการสับจะเห็นได้ว่าเวลาในการสับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีเครื่องสับฟางค่า SD ที่ 0.12 แสดงแถบความคลาดเคลื่อนที่สั้นมาก แสดงให้เห็นว่าเครื่องสับช่วยลดความแปรปรวนของเวลาในการทำงานได้จริง ทำให้ผลผลิตมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (CV) ของข้อมูลปริมาณฟางข้าวที่สูญเสีย และระยะเวลาที่ใช้ในการสับของการใช้เครื่องสับที่มีค่าเท่ากับ 12.14 และ 10.29 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของข้อมูลแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูงมาก ชี้ให้เห็นว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งสาเหตุของการกระจายตัวของข้อมูลอาจเกิดจากวิธีการทดสอบ หรือจำนวนครั้งในการทดสอบ



รูปที่ 6 ปริมาณฟางข้าวที่สูญเสียในกระบวนการสับ



รูปที่ 7 ระยะเวลาที่ใช้ในการสับ

นอกจากระยะเวลาที่ลดลงแล้ว เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของฟางข้าว พบว่าฟางข้าวที่ผ่านเครื่องสับมีขนาดเล็ก สมำเสมอ และเส้นใยแตกตัวได้ดีกว่าการสับด้วยมีด ซึ่งลักษณะดังกล่าวส่งผลต่ออย่างยิ่งต่อกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากช่วยลดระยะเวลาในการต้มและทำให้การตีเยื่อกระดาษละเอียดและเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่ายขึ้น

### 3.2 อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้า

ในกรณีสับฟาง 1 กิโลกรัม โดยใช้เวลา 1.21 นาที หรือ 0.02017 ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ 1 เฟส 220 โวลต์ 1.5 แรงม้า เท่ากับ 1119 วัตต์ กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 5.09 แอมแปร์ จะสามารถคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าได้ 0.0225 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

### 3.3 ผลกระทบด้านประสิทธิภาพและการจัดการ

1. ลดภาระแรงงาน เนื่องมาจากการลดเวลาสับฟางลงจาก 23.33 นาทีต่อกิโลกรัม เหลือ 1.21 นาทีต่อกิโลกรัม คิดเป็นการลดของเวลาลงร้อยละ 94.81 ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงของอาการบาดเจ็บจากการทำงานซ้ำซาก

2. เพิ่มความปลอดภัย การใช้เครื่องจักรแทนการใช้มีดช่วยลดความเสี่ยงของการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุเฉียบพลัน

3. เพิ่มความสามารถในการผลิต ด้วยเวลาที่ลดลงอย่างมากในการสับ จะทำให้สามารถผลิตกระดาษได้ในปริมาณที่สูงขึ้นในระยะเวลาเท่าเดิม ทำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการเชิงพาณิชย์ได้

4. การดำรงอยู่ของกลุ่มอาชีพ การใช้เครื่องจักรทำให้สามารถทำงานต่อไปได้นานขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้โครงการมีความยั่งยืนทางสังคมและเศรษฐกิจ

## 4. สรุปผลและอภิปรายผล

1. เครื่องจักรต้นแบบสามารถลดเวลาในการเตรียมวัตถุดิบลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงถึงการยกระดับประสิทธิภาพการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ถือเป็น การแก้ปัญหาคอขวดในสายการผลิตได้เป็นอย่างดี

2. แม้ว่าปริมาณฟางข้าวที่สูญเสียจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.00 เป็นร้อยละ 9.91 จำเป็นต้องมีการปรับปรุงเครื่องจักร โดยอาจมีการออกแบบเพิ่มเติม เช่น การเพิ่มฝาครอบหรือกลไกการเก็บฝุ่นผงจากการสับ หรือการทำตะแกรงเสริมใต้ใบมีด เพื่อไม่ให้ฟางข้าวลงไปติดอยู่ใต้ใบมีด ทำให้ใบมีดสับฟางข้าวได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามในมุมมองทางเศรษฐศาสตร์ การสูญเสียวัตถุดิบเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 9.91 จากการใช้เครื่องสับ เมื่อเทียบกับการที่สามารถลดเวลาการเตรียมวัตถุดิบได้ถึงร้อยละ 94.81 ยังถือว่าเป็นผลลัพธ์ที่คุ้มค่า อีกทั้งฟางข้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาต่ำ การสูญเสียในปริมาณดังกล่าว

จึงไม่สร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจมากเท่ากับการสูญเสียเวลาและสุขภาพของแรงงานในชุมชน

3. เครื่องสับฟางข้าวมีการสิ้นเปลืองไฟฟ้า แต่สามารถทำให้กระบวนการผลิตประหยัดเวลาร้อยละ 94.81 ทำให้ต้นทุนรวมของแรงงานลดลงอย่างมาก ซึ่งส่งผลให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องสับสูงขึ้น

## 5. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้รับความร่วมมือจากหลายหน่วยงาน ในการนี้ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ที่สนับสนุนด้านงบประมาณ ขอขอบคุณองค์การบริหารส่วนตำบลคลองหลวงแพ่ง อำเภอเมืองจังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล สภาพปัญหาและความต้องการ ทำให้เกิดแนวคิดในการพัฒนา งานวิจัย และบุคคลทุกฝ่ายที่มีส่วนร่วมมา ณ โอกาสนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chachoengsao Provincial Agriculture and Cooperatives Office. Basic provincial information used to support official inspections and mobile cabinet meetings. [Online]. (2025). [Cited June 15, 2025]. Available: <https://www.opsmoac.go.th/chachoengsao-dwl-files-471391791050> (in Thai)
- [2] Khlong Luang Phaeng Subdistrict Administrative Organization. General condition information. [Online]. (2025). [Cited June 15, 2025]. Available: <https://klongluangpanag.go.th/public/list/data/index/menu/1144> (in Thai)
- [3] Plant Protection Group, Phichit Provincial Agriculture Office. Negative effects caused by rice straw burning. [Online]. (2024). [Cited January 10, 2025]. Available: <https://url.in.th/LsHRT> (in Thai)
- [4] P. Thongkham, J. Langkapin, R. Kalsirisilp and S. Parnsakhorn, "Design and Fabrication of Straw Cutting Machine," Srinakharinwirot University Engineering Journal, vol. 17, no. 2, pp. 31-41, 2022. (in Thai)
- [5] A. Leetrakool, J. Pitpeng, W. Vanpetch and A. Wannakayont, "Creation and Testing The Efficiency of The Rice Straw Chopper," Industrial Technology Journal, vol. 9, no. 1, pp. 126-139, 2024. (in Thai)

- [6] S. Sangsana. Bottleneck. [Online]. (2021). [Cited January 10, 2025]. Available: <https://goterrestrial.com/2021/01/18/bottleneck/> (in Thai)
- [7] P. Boriboonsuksri. Ergonomics or human factors engineering or human Factors Engineering. [Online]. (2020). [Cited May 15, 2024]. Available: <https://www.ohswa.or.th/17533379/ergonomics> (in Thai)
- [8] W. Suriyachatkul. Study on the efficiency of the sample coefficient of variation. [Online]. (2011). [Cited June 15, 2025]. Available: <https://www.lib.buu.ac.th/st/ST0002607.pdf> (in Thai)
- [9] V. Senasing. What does C.V.%. [Online] (2019). [Cited July 10, 2025]. Available: <https://www.scimath.org/article-mathematics/item/10626-c-v>. (in Thai)
- [10] H. W. Beaty, Handbook of Electric Power Calculations, 3rd ed., New York: McGraw-Hill, 2001.

## การพัฒนาแผนที่สถานการณ์จำลองพื้นที่การรบ Development of Simulated Battlefield Scenario Maps

ธเนศ เลิศจามีกร  
Thanet Lertjameekorn

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี  
Department of Computer, Faculty of Information Technology, Thepsatri Rajabhat University  
Email: thanet.l@lawasri.tru.ac.th

Received: August 6, 2025; Revised: December 1, 2025; Accepted: December 23, 2025

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผนที่สถานการณ์จำลองพื้นที่การรบขนาดไม่น้อยกว่า 30 ตารางกิโลเมตร โดยใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ร่วมกับการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ โดยมีการกำหนดให้สนามฝึกภูลำไย จังหวัดนครราชสีมา ในการพัฒนาแผนที่จำลองสถานการณ์การรบในครั้งนี้ ใช้โดรนรุ่น DJI Mavic Pro 2 ในการบินเก็บภาพถ่ายซอฟต์แวร์ Pix4DCapture สำหรับการวางแผนการบิน และ WebOpenDroneMap สำหรับการประมวลผลแผนที่ที่วิธีการวิจัยประกอบด้วยทดสอบการบินในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การตั้งค่า Overlap และ Sidelap ที่ 60/60, 70/70 และ 80/80 ความสูงการบิน 300 และ 400 เมตร และความละเอียดของภาพ 7 และ 50 เซนติเมตร/พิกเซล รวมถึงการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) เพื่อเพิ่มความถูกต้องของพิกัดบนแผนที่ ผลการวิจัยพบว่า การบินที่ค่า Overlap 60/60 ความสูง 300 เมตร ให้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาถึงความสมดุลระหว่างเวลาที่ใช้ในการบิน (450 นาที) เวลาประมวลผล และคุณภาพแผนที่ แผนที่ความละเอียด 7 เซนติเมตร/พิกเซล ใช้เวลาประมวลผล 1,400 นาทีและมีขนาดไฟล์ 5.6 GB ในขณะที่ความละเอียด 50 เซนติเมตร/พิกเซล ใช้เวลาเพียง 110 นาทีและมีขนาดไฟล์ 222 MB พบว่า การทำความละเอียดของแผนที่ 50 เซนติเมตร/พิกเซลมีความเหมาะสมทั้งในด้านของความคมชัด และระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างแผนที่จำลองพื้นที่การรบ การใช้ GCP อย่างน้อย 5 จุดสามารถลดความคลาดเคลื่อนของพิกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ แผนที่ความละเอียด 50 เซนติเมตร/พิกเซล มีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งในระบบอำนวยการยิงปืนใหญ่ทางยุทธวิธีอัตโนมัติด้วยเครือข่ายคอมพิวเตอร์ และสามารถนำไปใช้การวางแผนการรบในระดับยุทธวิธี

**คำสำคัญ :** แผนที่สถานการณ์จำลองพื้นที่การรบ, อากาศยานไร้คนขับ, การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

### Abstract

This research aimed to develop a simulated combat area mapping system covering at least 30 square kilometers using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology combined with aerial photogrammetry processing. The study was conducted at Phu Lamai training field in Nakhon Ratchasima Province, utilizing a DJI Mavic Pro 2 drone, Pix4DCapture software for flight planning, and WebOpenDroneMap for map processing. The research methodology involved testing various flight configurations including overlap and sidelap settings of 60/60, 70/70, and 80/80, flight altitudes of 300 and 400 meters, and image resolutions of 7 and 50 centimeters per pixel. Ground Control Points (GCP) were employed to enhance coordinate accuracy. Results demonstrated that the 60/60 overlap configuration at 300-meter altitude provided optimal performance when considering the balance between flight time (450 minutes), processing time, and map quality. Maps with 7 cm/pixel resolution required 1,400 minutes processing time with 5.6 GB file size, while 50 cm/pixel resolution maps required only 110 minutes with 222 MB file size. The use of at least 5 GCP significantly reduced coordinate deviation. The 50 cm/pixel resolution maps proved suitable for installation in artillery fire control systems and tactical-level combat planning. The research contributes valuable insights

for military mapping applications, demonstrating that UAV-based mapping technology can effectively produce high-quality tactical maps with optimized resource utilization. The findings provide practical guidelines for selecting appropriate flight parameters and resolution settings based on specific operational requirements and resource constraints.

**Keywords :** Simulated battlefield scenario maps, UAV, Aerial image processing

## 1. บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีทางการทหารมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เพื่อสำรวจและจัดทำแผนที่มีความสำคัญต่อการปฏิบัติการทางทหารเป็นอย่างมาก ด้วยความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึง ความรวดเร็วในการปฏิบัติงาน และความแม่นยำในการเก็บข้อมูล ทำให้อากาศยานไร้คนขับถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทำแผนที่จำลองพื้นที่อย่างแพร่หลาย [1]

แผนที่สถานการณ์จำลองพื้นที่การรบเป็นเครื่องมือสำคัญในการวางแผนยุทธวิธี การฝึกซ้อม และการปฏิบัติการทางทหาร ข้อมูลที่ได้จากแผนที่ช่วยให้ผู้บังคับบัญชาและหน่วยปฏิบัติการสามารถวิเคราะห์ภูมิประเทศ กำหนดตำแหน่งทางยุทธศาสตร์ และวางแผนการเคลื่อนกำลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การจัดทำแผนที่แบบดั้งเดิมมักใช้เวลานาน มีค่าใช้จ่ายสูง และอาจไม่ทันต่อสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

การพัฒนาแผนที่สถานการณ์จำลองพื้นที่การรบนี้มุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการถ่ายภาพทางอากาศและประมวลผลเป็นแผนที่ที่มีความละเอียดสูง ทันสมัย และสามารถนำไปใช้งานได้อย่างรวดเร็ว [2] โดยดำเนินการศึกษาและทดลองในพื้นที่สนามยิงปืนจังหวัดนครราชสีมา เพื่อพัฒนาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการจัดทำแผนที่ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าในสนามยิงปืนอื่นๆต่อไป

### 1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาแผนที่สถานการณ์จำลองพื้นที่การรบ พื้นที่ไม่น้อยกว่า 30 ตารางกิโลเมตร

### 1.2 ขอบเขตการศึกษา

1.จัดทำแผนที่สถานการณ์จำลองพื้นที่การรบพื้นที่ไม่น้อยกว่า 30 ตารางกิโลเมตร

2.จัดทำแผนที่โดยใช้พิกัดแบบ Geographic Coordinate System (Lat/Long) และแบบ UTM โดยใช้พื้นหลักฐานอ้างอิง (Datum) เป็นแบบ WGS1984 ใช้เครื่องมือกำหนดพิกัดด้วยสัญญาณ ดาวเทียมความละเอียดสูง R10

3. ความสูงที่ใช้ในการบินไม่น้อยกว่า 300 เมตร

## 2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 โดรน (drone)

หมายถึง ยานพลอตมนุษย์โดยสาร แต่ถูกบังคับโดยมนุษย์ทางวิทยุหรือโดยระบบอัตโนมัติ โดรนมีหลายประเภท ทั้งโดรนบนบก โดรนใต้น้ำ และโดรนอากาศ ถ้าเป็นโดรนอากาศมักถูกเรียกว่า อากาศยานไร้คนขับ (UAV) ยูเอวีนั้นมีรูปร่าง ขนาด รูปแบบ และเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันไป (เป็นอากาศยานที่ควบคุมจากระยะไกล) แต่การควบคุมอัตโนมัติที่เหมือนกับยูเอวีมากกว่า ยูเอวีมีสองแบบ ควบคุมจากระยะไกล และบินได้ด้วยตนเองโดยอาศัยการโปรแกรมที่เป็นระบบซึ่งซับซ้อนกว่า

เอกลักษณ์ของอากาศยานไร้คนขับสร้างขึ้นจากวัตถุขนาดเบาซึ่งประกอบด้วยหลายส่วนเพื่อลดน้ำหนักและเพิ่มความคล่องตัว วัตถุขนาดเบาเข้ามาเสริมโดรนทางการทหารเพื่อให้เคลื่อนที่ขึ้นไปในที่สูงมาก ๆ โดรนต่างๆ ถูกติดตั้งสถานะของศิลปะทางเทคโนโลยีที่แตกต่างกันไปอย่างเช่น กล้องอินฟราเรด (อากาศยานไร้คนขับทางการทหาร) ระบบบอกพิกัดและเลเซอร์ (อากาศยานไร้คนขับทางการทหาร) โดรนถูกควบคุมด้วยระบบเครื่องควบคุมระยะไกลและบางครั้งก็ควบคุมด้วยห้องนักบินภาคพื้นดิน ระบบอากาศยานไร้คนขับมีอยู่สองส่วน คือตัวโดรนเองและระบบควบคุม ส่วนหัวของอากาศยานไร้คนขับมีพวกเซ็นเซอร์ต่างๆทั้งหมดและระบบการบิน ส่วนที่เหลือเป็นตัวโดรนที่เต็มไปด้วยระบบเทคโนโลยีเนื่องจากว่าไม่ต้องการเนื้อที่สำหรับให้คนอยู่ วัตถุชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้สำหรับสร้างโดรนประกอบด้วยชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนสูงมากซึ่งคอยขับเคลื่อนเพื่อลดเสียงและทำให้น้ำหนักเบา

### 2.2 การถ่ายภาพทางอากาศ

การถ่ายภาพทางอากาศคือการบันทึกภาพพื้นผิวโลกจากมุมสูงโดยใช้อากาศยานเป็นแพลตฟอร์ม เช่น เครื่องบิน เฮลิคอปเตอร์ โดรน หรือบอลลูน จุดมุ่งหมายสำคัญคือได้ภาพที่มองเห็นสภาพภูมิประเทศและสิ่งปลูกสร้างจากมุมมองด้านบนอย่างครอบคลุมและทันสมัย เพื่อใช้ประกอบการทำแผนที่ การสำรวจ และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในสาขาต่างๆ การวางแผนและความสม่ำเสมอของการเก็บภาพ ภาพถ่ายจะถูกจัดเก็บเป็นแนวนับต่อเนื่อง โดยกำหนดการซ้อนทับของภาพตามยาวและขวางเพื่อให้

สามารถมองภาพแบบสามมิติและนำไปประมวลผล เมื่อมีการซ้อนภาพที่เพียงพอ ระบบสามารถคำนวณระยะเชิงลึกและแบบจำลองความสูงของพื้นที่ แล้วนำไปตัดแก้เรขาคณิตของภาพให้แปลงเป็นภาพที่วัดระยะและพื้นที่ได้ถูกต้อง ภาพถ่ายทางอากาศแบ่งเป็นสองลักษณะหลัก คือ ภาพแนวตั้งที่แกนกล้องตั้งฉากกับพื้น ซึ่งเหมาะสำหรับงานทำแผนที่เพราะมาตราส่วนคงที่มากกว่า และภาพแนวเฉียงที่ให้มุมมองเข้าใจง่าย เห็นด้านข้างของสิ่งก่อสร้าง เหมาะกับการสื่อสารและสำรวจเชิงคุณลักษณะ แม้มาตราส่วนจะไม่สม่ำเสมอเท่าภาพตั้งก็ตาม [3]

### 2.3 จุดควบคุมภาคพื้นดิน

จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground control point : GCP) คือจุดที่ทราบค่าพิกัดในระบบพิกัดภูมิประเทศ เพื่อเป็นตัวกลางที่ทำให้สามารถจัดภาพให้มีความสัมพันธ์อ้างอิงกับพื้นภูมิประเทศ ช่วยเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลภาพถ่าย ผู้ใช้งานจะต้องให้ค่าพิกัดกับจุดควบคุมภาคพื้นดิน รวมถึงจุดตรวจสอบ หรือ Checkpoint ซึ่งเป็นจุดที่ต้องทำการรังวัดค่าพิกัดตำแหน่งในระบบพิกัดภูมิประเทศจริงเพื่อกำหนดความถูกต้องให้กับข้อมูลภาพถ่ายที่ต้องการประมวลผล โดยสามารถคำนวณค่าพิกัดจาก GNSS ได้ทันทีที่หน้างาน (Real time Kinematics : RTK) หรือ เก็บข้อมูลมาดำเนินการประมวลผลในภายหลัง (Post-processed kinematic : PPK) เพื่อความถูกต้องมากยิ่งขึ้น [4]

### 2.4 การทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศ

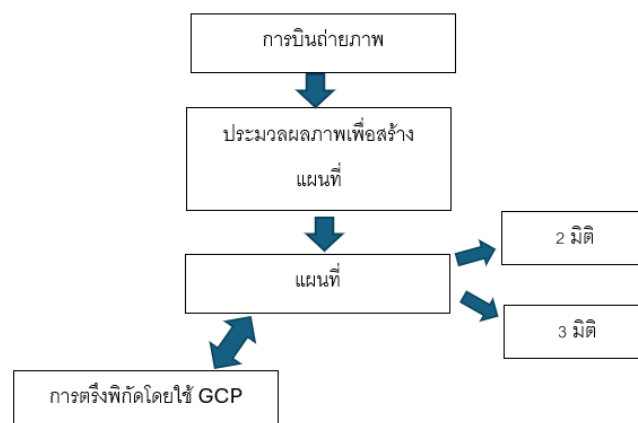
การทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศเป็นกระบวนการที่ใช้หลักโฟโตแกรมเมตรีเพื่อแปลงภาพ 2 มิติให้เป็นข้อมูลเชิงแผนที่ที่มีพิกัดจริง ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง เพื่อผลิตภาพออร์โธ (Orthophoto), แบบจำลองภูมิประเทศ (DTM/DSM) และแผนที่มาตราส่วนต่างๆ สำหรับงานสำรวจผังเมือง ที่ดิน วิศวกรรม และสิ่งแวดล้อม[5]

## 3.วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

การออกแบบการทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ มีการออกแบบโดยต้องการความละเอียดของภาพเพื่อทำแผนที่ขนาด 7 เซนติเมตร/พิกเซล เพื่อนำมาประมวลผลแผนที่โดยใช้โปรแกรม WebOpenDroneMap ในการสร้างแผนที่สถานการณ์จำลองพื้นที่การรบทั้งในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ มีการติดตั้งพิกัด GNSS เพื่อความถูกต้องของพิกัด

การออกแบบการบินถ่ายภาพประกอบไปด้วย การวางแผนการบินและการบินถ่ายภาพ ในการวางแผนการบินมีการกำหนดขอบเขตการบินไม่น้อยกว่า 30 ตร.กม. โดยมีการแบ่งขอบเขตการบินออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ พื้นที่ 5 – 10 ตร.กม./พื้นที่ มีการตั้งค่าให้โดรนสามารถควบคุมจากระยะไกลเพื่อสะดวกต่อการบิน มีการกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ไม่น้อยกว่า 5 จุด หรือให้ครอบคลุมพื้นที่และวางจุดตามที่กำหนดและเก็บพิกัด โดยเครื่อง GNSS โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการพัฒนาแผนที่สถานการณ์จำลองพื้นที่การรบ

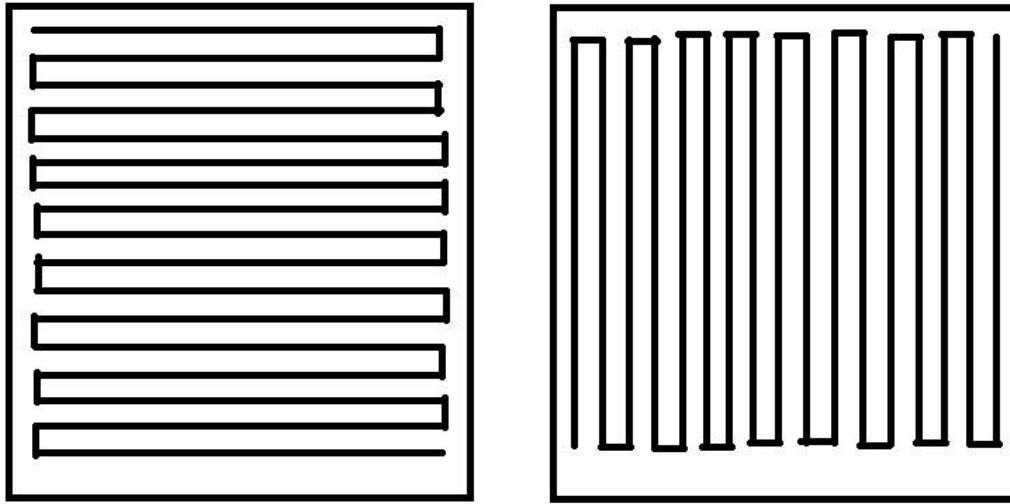
### 3.2 การพัฒนา

การพัฒนาแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสถานการณ์จำลองพื้นที่การรบ ได้มีการควบคุมขอบเขตการบิน ณ สนามยิงปืนภูลำไย จังหวัดนครราชสีมา เพื่อที่จะได้สภาพอากาศและ

ปัจจัยต่างๆ ที่เหมือนกัน โดยในการพัฒนาในครั้งนี้มีการใช้อุปกรณ์ประกอบไปด้วยโดรน DJI Mavic Pro 2 เครื่อง คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล แท็บเล็ตที่ใช้ในการควบคุมการบิน ซอฟต์แวร์ Pix4DCapture สำหรับการ

วางแผนและควบคุมการบิน และซอฟต์แวร์ WebOpenDroneMap สำหรับการจัดทำแผนที่ โดยมีกำหนดวิธีบินโดรนในการวิจัยดังนี้ ตั้งค่าการ Overlap และ sidelap ที่ 80/80 ,70/70 และ 60/60 กำหนดเพดานบินที่

ความสูง ไม่น้อยกว่า 300 เมตร ความละเอียดของภาพ 7 เซนติเมตร/พิกเซล และ 50 เซนติเมตร/พิกเซล ทดสอบการบินทั้งแนวตั้งและแนวนอน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการบินแนวตั้งและแนวนอน

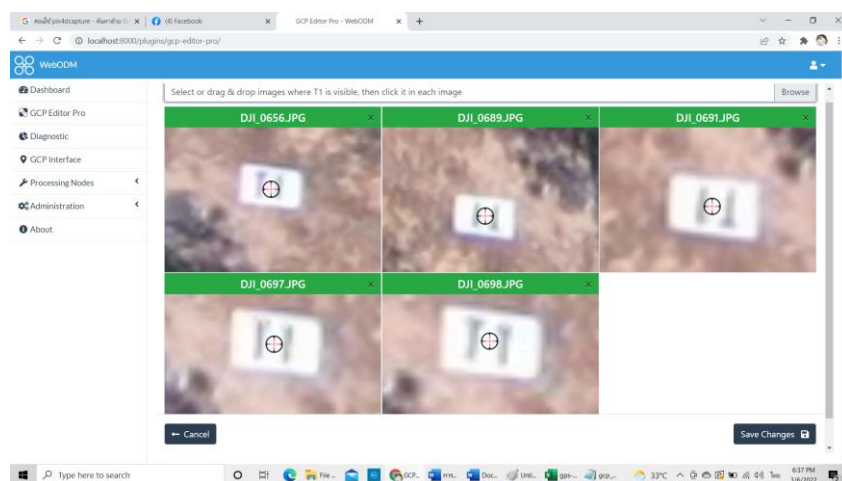
### วิธีการบินถ่ายภาพ

ในการบินถ่ายภาพโดยใช้โปรแกรมPix4Dcapture ทำการเลือกรุ่นของโดรนที่จะใช้ในการบินทำการเลือกรูปแบบการบินแบบ Grid ซึ่งเหมาะสำหรับการถ่ายภาพพื้นที่ ตั้งค่ากล้องที่มุม 90 องศา (ตั้งฉากกับพื้น) กำหนดค่า Overlap และ Sidelap ที่ 60 เพื่อให้ภาพถ่ายมีความทับซ้อนเพียงพอ ตั้งค่าการถ่ายภาพเป็น Fast Mode และกำหนดความเร็วในการบินเป็น Fast เพื่อความรวดเร็วในการบิน กำหนดความสูงในการบินที่ 300 เมตร เลือกพื้นที่ที่ต้องการถ่ายภาพบนแผนที่ ตรวจสอบรายละเอียดขนาดพื้นที่และเวลาที่ใช้ในการบิน และสั่งให้โดรนเริ่มทำการบินโดรนจะ

บินถ่ายภาพตามเส้นทางที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ เมื่อแบตเตอรี่ใกล้หมด โดรนจะบินกลับมายังจุดขึ้นเพื่อเปลี่ยนแบตเตอรี่โดยอัตโนมัติ หลังจากเสร็จสิ้นภารกิจ ให้คัดลอกไฟล์ภาพจากโดรนเพื่อเตรียมนำไปประมวลผลต่อไป

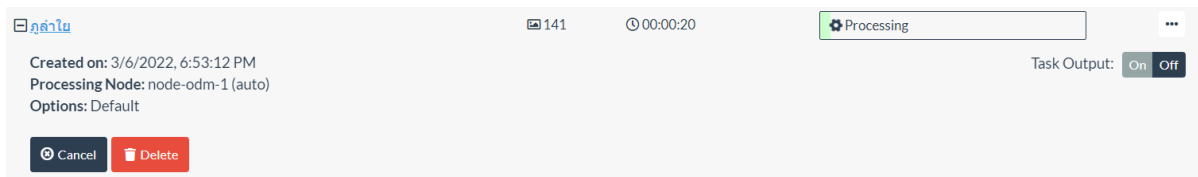
### การสร้างแผนที่

ในการสร้างแผนที่เริ่มต้นจากการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) โดยการใช้รูปภาพจากที่ถ่ายมาจากโดรน ซึ่งได้มีการกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินไว้ และมีการวัดพิกัดโดย ระบบหาพิกัดด้วยดาวเทียม GNSS ซึ่งแต่ละจุดต้องมีภาพมากกว่า 5 ภาพดังรูปที่ 3



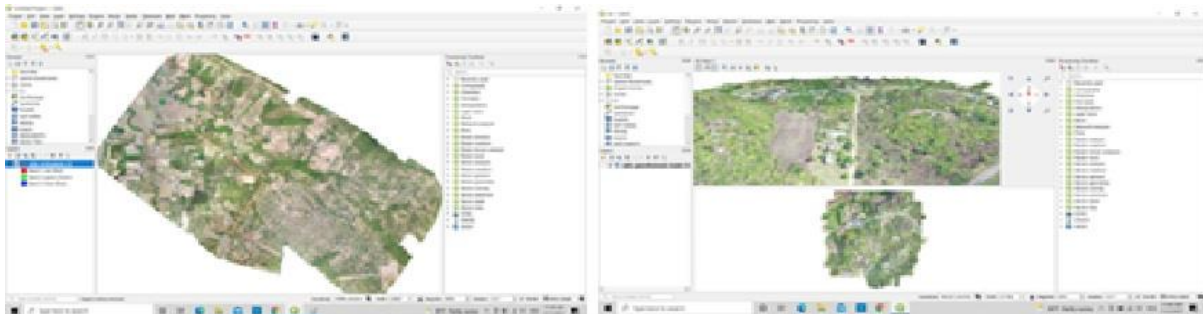
รูปที่ 3 แสดงการตั้งค่าจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP)

เมื่อกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินเรียบร้อยแล้วจึงทำการนำภาพถ่ายที่ได้ทั้งหมดอัปโหลดไปยังโปรแกรม WebOpenDroneMap แล้วทำการปรับขนาดรูปภาพให้ได้ขนาดตามที่ต้องการรูปภาพขนาดเล็กจะประมวลผลเร็วขึ้นแต่ความละเอียดจะน้อยลง แล้วทำการประมวลผลแผนที่ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การประมวลผลแผนที่

เมื่อการประมวลผลแผนที่เรียบร้อยแล้วจึงสามารถทำการนำแผนที่ ทั้ง 2 มิติและ 3 มิติไปใช้งานต่อไป ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนที่แบบ 2 มิติ และ 3 มิติ

#### 4. ผลการดำเนินงานวิจัย

การทดสอบการจัดทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ ขนาด 5.7 ตารางกิโลเมตร ณ สนามฝึกภูเก้าไทย จังหวัดนครราชสีมา ผู้รับผิดชอบ กองพันทหารปืนใหญ่ที่ 3 กรมทหารปืนใหญ่ที่ 3 ประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์ (WebOpenDroneMap) ช่วยในการประมวลผลร่วมกับระบบหาพิกัดด้วยดาวเทียม GNSS ผลลัพธ์ที่ได้คือ แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ (orthophoto) แบบจำลองข้อมูลจุด

ความสูงเชิงพื้นผิว (digital surface model) และแบบจำลองสามมิติเสมือนจริง (3D virtualization model) ในประเด็น Overlap (60/60,70/70,80/80) การบินแนวตั้งและแนวนอน โดยในการบินทั้ง 2 แนว ผลลัพธ์และเวลาที่ใช้ไม่แตกต่างกัน แต่การบินแนวตั้งมีโอกาสที่สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมจะมีการค้นหาสัญญาณไม่พบมากกว่าแบบแนวนอน การประมวลผล แบบขนาดเต็ม และ ขนาด 1024 การทดลองพบว่า การ overlap และความสูง ในการบินให้ค่าความถูกต้องของพิกัดไม่แตกต่าง ดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการประมวล ภาพถ่ายทางอากาศ

| Overlap | ความสูง | ขนาด | เวลาที่ใช้ | GSD   | เวลาProcess | ลักษณะการบิน (เวลา) |       |          |            |
|---------|---------|------|------------|-------|-------------|---------------------|-------|----------|------------|
|         | ตร.กม.  |      | บิน        | 1024  | เต็ม        | 1024                | เต็ม  | Vertical | Left/Right |
|         |         |      | (นาท)      |       |             | (นาท)               | (นาท) | (นาท)    | (นาท)      |
| 60 /60  | 300     | 5.7  | 60         | 39.1  | 7.39        | 15                  | 43    | 55       | 60         |
| 70 /70  | 300     | 5.7  | 90         | 38.58 | 7.4         | 42                  | 65    | 80       | 90         |
| 80 /80  | 300     | 5.7  | 110        | 38.98 | 7.41        | 64                  | 93    | 99       | 110        |
| 60/60   | 400     | 5.7  | 50         | 16.35 | 9.54        | 12                  | 36    | 35       | 51         |
| 70 /70  | 400     | 5.7  | 55         | 16.45 | 9.67        | 24                  | 47    | 40       | 55         |
| 80 /80  | 400     | 5.7  | 70         | 16.56 | 9.52        | 54                  | 82    | 55       | 70         |

ตารางที่ 2 แสดงพิกัดของแผนที่ ในการประมวลใช้จำนวน CGP ขนาด 5 และ 6 จุด และไม่ใช้ CGP

|            | พิกัดตะวันออก | พิกัดเหนือ |
|------------|---------------|------------|
| จุดอ้างอิง | 179146        | 1609037    |
| ไม่ใช้ GCP | 179145        | 1609025    |
| CGP 5 จุด  | 179145        | 1609034    |
| CGP 6 จุด  | 179145        | 1609036    |



รูปที่ 6 แผนที่การบิน Overlap 60/60 ความสูง 300 เมตร ส่วน 1:10000

จากตารางที่ 2 พบว่าการใช้จำนวนจุดควบคุม (GCP) ตั้งแต่ 5 จุดขึ้นไปจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของพิกัดน้อยมากซึ่งไม่มีผลต่อการพัฒนาแผนที่จำลองสถานการณ์การรบและความชัดของภาพที่ได้มีความคมชัดดังรูปที่ 6

จากการทดสอบการพัฒนาทำแผนที่จำลองการรบขนาดไม่น้อยกว่า 30 ตารางกิโลเมตร จึงใช้การบินที่ 60/60 ความ

สูง 300 เมตร และ บิน overlap ความสูง 300 เมตร เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ต่อขนาดความละเอียดของภาพที่ได้ 2 ความละเอียด คือ 7 เซนติเมตร/พิกเซล และ 50 เซนติเมตร/พิกเซล ผลที่ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงเวลาที่ใช้ในการ process แผนที่จำลองการรบ

| Overlap | ความสูง | ขนาด ตร.กม. | เวลาที่ใช้บิน (นาที) | ความละเอียด | GSD   | เวลา Process (นาที) | ขนาดไฟล์ |
|---------|---------|-------------|----------------------|-------------|-------|---------------------|----------|
| 60 /60  | 300     | 30          | 450                  | 7           | 7.39  | 1400                | 5.6 GB   |
| 60 /60  | 300     | 30          | 450                  | 50          | 57.19 | 110                 | 222 MB   |
| 80 /80  | 300     | 30          | 600                  | 7           | 7.21  | 3600                | 18.9 GB  |
| 80 /80  | 300     | 30          | 600                  | 50          | 54.15 | 300                 | 6.3 GB   |

จากตารางที่ 3 พบว่า เมื่อกำหนดความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ประมาณ 7 เซนติเมตรต่อพิกเซล ชุดข้อมูลที่มีเวลาบิน 600 นาทีใช้เวลาในการประมวลผลยาวนานกว่าชุดที่มีเวลาบิน 450 นาทีอย่างชัดเจน (3,600 นาที เทียบกับ 1,400 นาที) และมีขนาดไฟล์เพิ่มขึ้นจาก 5.6 GB เป็น 18.9 GB แสดงให้เห็นว่าปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาประมวลผลและขนาดไฟล์สูงขึ้นตามลำดับ ในทางกลับกันเมื่อปรับความละเอียดเป็น 50 เซนติเมตร เวลาในการประมวลผลลดลงอย่างมาก โดยกรณีเวลาบิน 450 นาทีใช้

เวลาเพียง 110 นาที และกรณี 600 นาทีใช้เวลา 300 นาที พร้อมกับขนาดไฟล์ที่ลดลงเหลือ 222 MB และ 6.3 GB ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการลดความละเอียดเชิงพื้นที่ช่วยลดภาระด้านการประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญเชิงปฏิบัติ

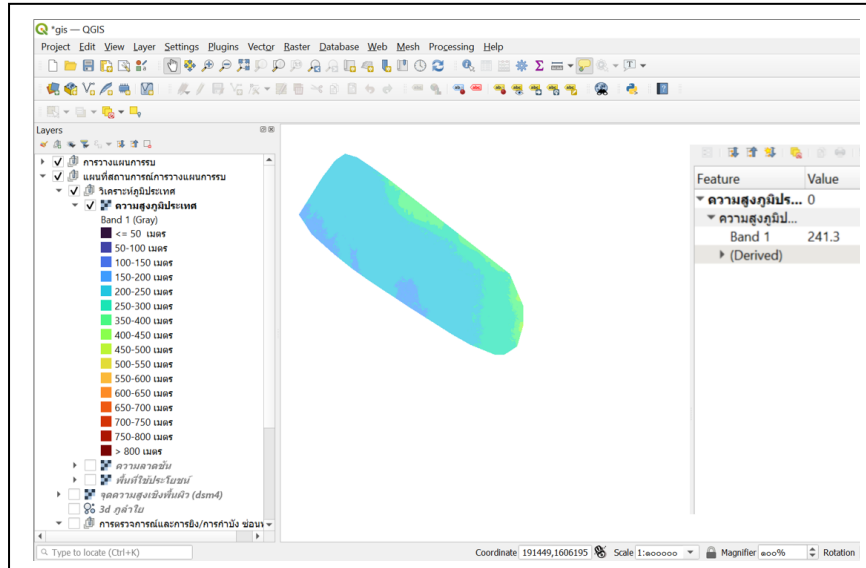
ความชัดของแผนที่ พบว่า ในมาตราส่วน 1:10000 ความชัดของแผนที่ไม่มีความแตกต่างกัน มาตราส่วน 1:1000 ความชัดมีความแตกต่างกัน ความละเอียดที่ 7 เซนติเมตร/พิกเซล ชัดและภาพไม่แตก ดีกว่าความละเอียด

ที่ 50 เซนติเมตร/พิกเซล

ความละเอียด 50 เซนติเมตร/พิกเซล สามารถติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ ระบบอำนวยการยิงปืนใหญ่ที่ใช้งานใน 11 กองพันทหารปืนใหญ่ และผู้ใช้สามารถใช้ในการวางแผนการรบได้

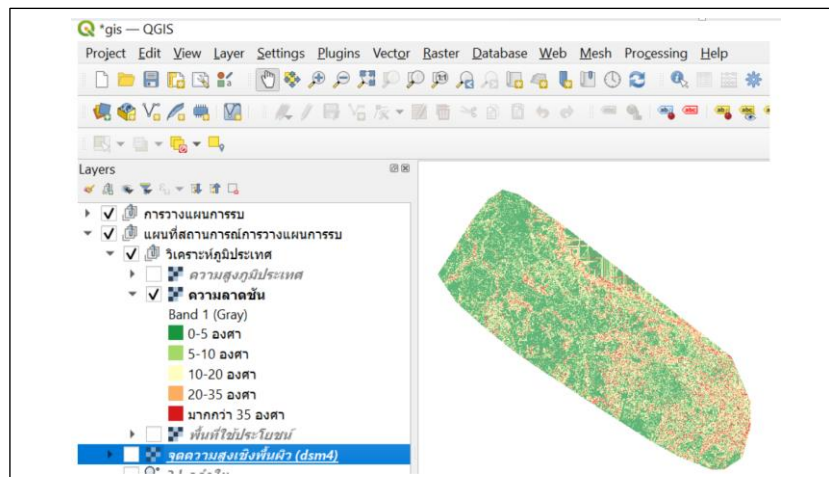
แผนที่ที่ได้มาสามารถนำมาวิเคราะห์ภูมิประเทศประกอบด้วย

1. การวิเคราะห์ความสูงภูมิประเทศ ซึ่งมีการใช้สีในการบอกถึงความสูงของพื้นที่โดยในแต่ละสีจะบ่งบอกถึงความสูงที่ไม่เท่ากัน เช่น ค่าคือพื้นที่ที่มีความสูงน้อยกว่า 50 เมตร และสามารถแสดงความสูงตามพิกัดที่ต้องการ โดยมีดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การวิเคราะห์ความสูงภูมิประเทศ

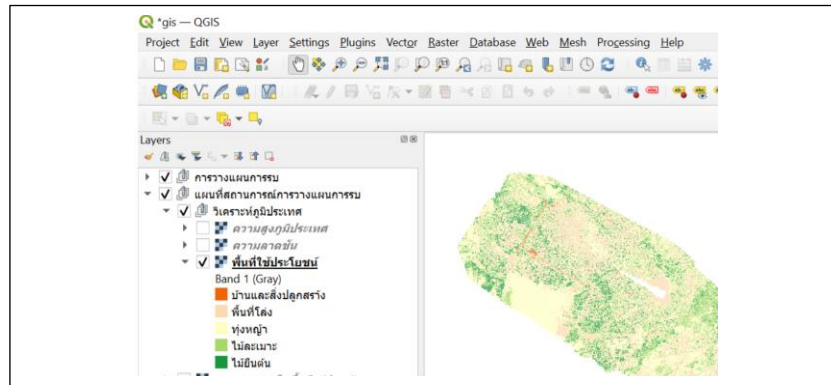
2. การวิเคราะห์ความลาดชัน ซึ่งจะมีการใช้สีในการบอกความลาดชันตามองศาของพื้นที่ เช่น ถ้าเป็นสีแดงจะมีความลาดชันมากกว่า 35 องศา ดังรูปที่ 8



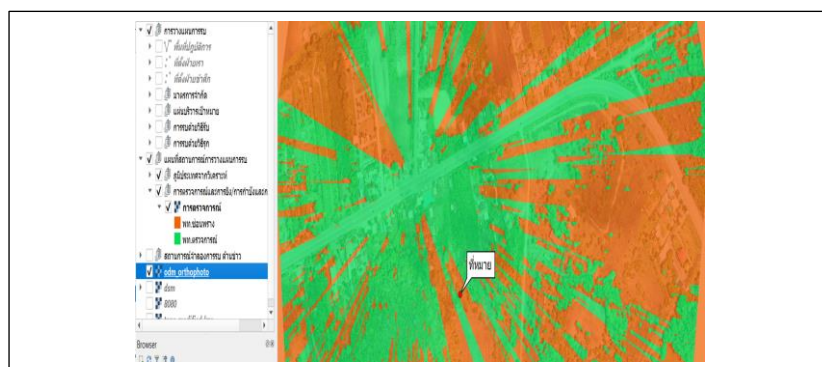
รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความลาดชัน

3. การวิเคราะห์พื้นที่การใช้ประโยชน์แสดงถึงสิ่งปลูกสร้าง ต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ได้ เช่น บ้านและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่โล่ง โดยใช้สีในการแสดง เช่น สีเขียวอ่อน คือ ไม้ละเมาะ สีแดงคือถนนและสิ่งปลูกสร้าง ดังรูปที่ 9

4. การวิเคราะห์การตรวจการณ์ การยิงกำบัง และการซ่อนพราง แสดงถึงความสามารถในการมองเห็นสิ่งต่างๆ เมื่อไปสังเกตการณ์จากจุดนั้นๆ โดย สีเขียว แสดงแทนจุดที่สามารถมองเห็นได้ และจุดสีแดงแสดงแทนจุดที่มีสิ่งกำบัง ดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 การวิเคราะห์พื้นที่การใช้ประโยชน์



รูปที่ 10 การวิเคราะห์การตรวจการณ์ การยิงกำลัง และการซ่อนพราง

## 5. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสามารถอภิปรายประเด็นสำคัญได้ดังนี้ การบินถ่ายภาพทางอากาศด้วยโดรนเพื่อจัดทำแผนที่สถานการณ์จำลองพื้นที่การรบมีปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ ได้แก่ ค่า Overlap, ความสูงในการบิน และรูปแบบการบินผลการวิจัยพบว่า การบินที่ค่า Overlap 60/60 ที่ความสูง 300 เมตรให้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [7] เมื่อพิจารณาถึงความสมดุลระหว่างเวลาที่ใช้ในการบินถ่ายภาพ เวลาที่ใช้ในการประมวลผล และคุณภาพของแผนที่ที่ได้ อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ค่า Overlap ที่สูงขึ้น (70/70 หรือ 80/80) อาจมีความจำเป็นในกรณีที่ต้องการความละเอียดและความถูกต้องของแผนที่ที่สูงขึ้น หรือในกรณีที่พื้นที่มีลักษณะภูมิประเทศที่ซับซ้อน ความละเอียดของภาพ (GSD) เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณภาพของแผนที่ ผลการวิจัยพบว่า แผนที่ที่มีความละเอียด 7 เซนติเมตร/พิกเซล ให้ภาพที่มีความชัดเจนสูงในมาตราส่วน 1:1000 แต่ใช้เวลาในการประมวลผลและมีขนาดไฟล์ที่ใหญ่กว่าแผนที่ที่มีความละเอียด 50 เซนติเมตร/พิกเซล อย่างมีนัยสำคัญ ในการใช้งานจริง การเลือกความละเอียดของแผนที่ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และข้อจำกัดด้านทรัพยากร

โดยแผนที่ที่มีความละเอียด 50 เซนติเมตร/พิกเซล มีความเหมาะสมสำหรับ การวางแผนการรบในระดับยุทธวิธี เนื่องจากมีความละเอียดเพียงพอ การใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความถูกต้องของพิกัดในแผนที่ โดยการใช้ GCP อย่างน้อย 5 จุด สามารถลดความคลาดเคลื่อนของพิกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ในการปฏิบัติงานจริง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [8] การกำหนดและวัดพิกัดของ GCP ควรดำเนินการอย่างรอบคอบและแม่นยำ โดยใช้อุปกรณ์กำหนดพิกัดที่มีความแม่นยำสูง เช่น GNSS ความละเอียดสูง ตามที่ใช้ในการวิจัยนี้ การวิจัยนี้เน้นประเมินประสิทธิภาพในมิติด้านเวลาในการบิน เวลาในการประมวลผล ความละเอียดของแผนที่ และความถูกต้องเชิงพิกัด โดยยังไม่ได้ทดสอบการประยุกต์ใช้สถานการณ์ยุทธวิธีจริง เช่น การให้หน่วยปฏิบัติการทดลองใช้แผนที่ในการกิจจำลองหรือภารกิจผสมกับระบบอำนาจการยิงอัตโนมัติ จึงเป็นข้อจำกัดที่ควรได้รับการต่อยอดในการวิจัยครั้งต่อไปเพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงปฏิบัติการอย่างแท้จริง

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดีได้ ต้องขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพบก และศูนย์การทหารปืนใหญ่

UAS,” *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 26, no. 2, pp. 129–138, Apr. 2023, doi: 10.9766/ kimst. 2023.26.2.129.

## 7.เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Budiharto, E. Irwansyah, J. S. Suroso, A. Chowanda, H. Ngarianto, and A. A. S. Gunawan, “Mapping and 3D modelling using quadrotor drone and GIS software,” *Journal of Big Data*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, Jan. 2021.
- [2] A. Skondras et al., “UAV mapping and 3D modeling as a tool for promotion and management of the urban space,” *Drones*, vol. 6, no. 5, pp. 115, May. 2022.
- [3] T. Minohara, “Map view for remote control of drones,” in *Proc. IEEE/AIAA 42nd Digital Avionics Systems Conference (DASC 2023)*, Barcelona, Spain, Oct. 1-5, 2023
- [4] K. Zhang, H. Okazawa, K. Hayashi, T. Hayashi, L. Fiwa, and S. Maskey, “Optimization of Ground Control Point Distribution for Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry for Inaccessible Fields,” *Sustainability*, vol. 14, no. 15, pp. 9505, Aug. 2022, doi: 10.3390/ su14159505.
- [5] G. Muradás Odriozola et al., “Automating ground control point detection in drone imagery: From computer vision to deep learning,” *Remote Sensing*, vol. 16, pp. 794, Feb. 2024.
- [6] G. Vacca, “WEB Open Drone Map (WebODM) a software open source to photogrammetry process,” in *Proc. FIG Working Week 2020: Smart Surveyors for Land and Water Management*, Art. no. 10728, Amsterdam, Netherlands, May. 2020.
- [7] A. Ansari, B. Sah, H. Dhungel, and D. Gautam, “3D Drone Mapping,” *Journal of Innovative Image Processing*, vol. 5, no. 1, pp. 1–19, Feb. 2023, doi: 10.36548/jiip.2023.1.001.
- [8] K. Lim and S. Jeong, “Acquiring Precise Coordinates of Ground Targets through GCP Geometric Correction of Captured Images in

การกำหนดสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของกล้วยตากโดยใช้  
การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

Determination of Optimal Hot-Air Drying Conditions for Dried  
Bananas Using Design of Experiments

ชนาธิป กาลจักร<sup>1</sup> ยุทธณรงค์ จงจันทร<sup>2</sup> จตุพล พิสิษฐ์ศักดิ์<sup>3</sup> ภูมิ พรประเสริฐ<sup>4</sup> เกียรติศักดิ์ พระเนตร<sup>5</sup>  
ดนัย สอนสุภาพ<sup>6</sup> สราวุธ อิศรานูวัฒน์<sup>7</sup> และ สมภาร ดอนจันดา<sup>8\*</sup>

Chanathip Kalchuk<sup>1</sup>, Yuthanarong Jongjun<sup>2</sup>, Jatuphon Pisitsak<sup>3</sup>, Peema Pornprasert<sup>4</sup>,  
Kiattisak Pranet<sup>5</sup>, Danai Sornsuphap<sup>6</sup>, Sarawut Itsaranuwat<sup>7</sup> and Sompan Donchanda<sup>8\*</sup>

<sup>1,6</sup>สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น

<sup>2,3</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

<sup>4</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

<sup>5</sup>สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

<sup>7</sup>สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

<sup>8\*</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

<sup>1,6</sup>Department of Industrial Technical Education Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus

<sup>2,3</sup>Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

<sup>4</sup>Department of Technology Engineering, Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchatani Rajabhat University

<sup>5</sup>Department of Logistics Management, Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchatani Rajabhat University

<sup>7</sup>Department of Product Design, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

<sup>8\*</sup>Department of Mechanical and Production Engineering, Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University

\*Email: donchandasompan@gmail.com

Received: December 1, 2025; Revised: April 7, 2026; Accepted: April 9, 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การแก้ปัญหาความไม่คงที่ของคุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยตากของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน ซึ่งเป็นผลมาจากการพึ่งพาพลังงานจากแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติในกระบวนการอบแห้ง เพื่อควบคุมสภาวะการผลิตให้ได้มาตรฐาน ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์อบลมร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาได้อย่างแม่นยำและคงที่หลังจากพัฒนาอุปกรณ์แล้ว ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางสถิติของการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยหลักสองประการ ได้แก่ อุณหภูมิการอบที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบที่ 4, 6, และ 8 ชั่วโมง ตัวแปรตอบสนองที่ใช้ในการประเมินคุณภาพ คือ ความชื้น (%wb) และคะแนนเนื้อสัมผัสของกล้วยตาก ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (p-value < 0.05) ยืนยันว่าทั้งอุณหภูมิและเวลาในการอบมีปฏิสัมพันธ์และอิทธิพลหลักต่อคุณสมบัติเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยสภาวะการอบที่เหมาะสมที่สุดคืออุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งให้ค่าความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 20% (wb) และคะแนนเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด (4.5 จาก 5) งานวิจัยนี้เสนอแนวทางที่สามารถใช้ได้จริงและยั่งยืน โดยการบูรณาการการออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมได้เข้ากับการใช้หลักการทางสถิติเพื่อยกระดับมาตรฐานคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยนี้สามารถลดความแปรปรวนของคุณภาพผลิตภัณฑ์ และเป็นแนวทางมาตรฐานที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตของวิสาหกิจชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : กล้วยตาก, สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม, ความชื้น, การออกแบบการทดลอง

## Abstract

This research focuses on addressing the issue of quality instability in the dried banana products of the "Khon Rak Wang Takiang" community enterprise, which results from reliance on natural solar energy in the drying process. To standardize the production process, the researcher designed and developed a hot-air drying device that can precisely and consistently control temperature and time. After the development of the equipment, the researcher applied statistical methods for factorial design to analyze the influence of two main factors: drying temperature at 50°C, 60°C, and 70°C, and drying time at 4, 6, and 8 hours. The response variables used for quality evaluation were moisture content (%wb) and texture score of the dried bananas. The statistical analysis ( $p$ -value < 0.05) clearly confirmed that both drying temperature and time have significant interactions and main effects on the quality attributes of the product. The optimal drying condition was determined to be 60°C for 6 hours, resulting in a final moisture content of 20% (wb) and the best texture score of 4.5 out of 5. This research presents a practical and sustainable approach by integrating a controllable drying device with statistical principles to enhance quality standards and improve the production process of the community enterprise efficiently. The findings of this study can reduce variability in product quality and serve as a standard guideline that can be effectively applied in the production processes of community enterprises.

**Keywords :** Dried Bananas, Optimal Drying Conditions, Moisture Content, Design of Experiments

## 1. บทนำ

การผลิตกล้วยตากเป็นหนึ่งในกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในชุมชนท้องถิ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ซึ่งถือเป็นกลไกสำคัญในการสร้างรายได้และส่งเสริมเศรษฐกิจฐานรากของประเทศ อย่างไรก็ตาม หนึ่งในปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์กล้วยตาก คือ การพึ่งพาพลังงานจากแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติในกระบวนการอบแห้ง ซึ่งมีความผันแปรตามสภาพอากาศและไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิหรือระยะเวลาในการอบได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่คงที่ ทั้งในด้านความชื้น เนื้อสัมผัส และอายุการเก็บรักษา กลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นหนึ่งในกลุ่มที่ประสบปัญหาดังกล่าวมาโดยตลอด แม้จะมีความเชี่ยวชาญในการผลิตกล้วยตากจากประสบการณ์ แต่ข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีการอบแห้งยังเป็นอุปสรรคต่อการยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐานที่ยอมรับในเชิงพาณิชย์ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการพัฒนาอุปกรณ์อบแห้งหรือวิธีการอบแห้งในหลายรูปแบบ โดยเฉพาะการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งที่ได้รับการศึกษาและพัฒนามาแล้วมากมาย เช่น งานวิจัยของ ถกรัตน์ ทักขิมา ปิยุพงษ์ ยุงเพชร และ ปณิธิ สุวรรณอมรเลิศ [1] ที่พัฒนาอุปกรณ์อบแห้งเพื่อผลิตปลาตากแดดเดียว โดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ “รุ่นหลังเต่า”

ซึ่งผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีและสามารถคงความสดใหม่ได้ในระยะยาว อย่างไรก็ตาม ยังขาดการนำเสนอวิธีการควบคุมสภาวะอย่างเป็นระบบผ่านการออกแบบการทดลอง (DOE) ซึ่งจะช่วยให้สามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพอย่างต่อเนื่อง อีกตัวอย่างหนึ่ง คือ งานวิจัยของกรมส่งเสริมการเกษตร [2] ที่พัฒนาผลิตภัณฑ์เกษตรแปรรูปของวิสาหกิจชุมชน โดยเน้นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ กระบวนการผลิต และมาตรฐานคุณภาพสินค้า วิสาหกิจชุมชนที่เข้าร่วมโครงการได้รับการสนับสนุนทางด้านเทคนิคและงบประมาณเพื่อนำไปพัฒนากระบวนการผลิตและเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรแปรรูป ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิสาหกิจชุมชนสามารถเพิ่มศักยภาพทางการตลาดและความสามารถในการแข่งขันได้ แต่ยังขาดการควบคุมและจัดการกระบวนการผลิตให้มีความสม่ำเสมอในการผลิตสินค้าให้ได้มาตรฐานการวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาอุปกรณ์อบแห้งที่สามารถควบคุมสภาวะการผลิตได้อย่างแม่นยำ โดยการออกแบบและประยุกต์ใช้ระบบอบลมร้อนที่สามารถกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะช่วยลดความแปรปรวนในการผลิตและยกระดับมาตรฐานคุณภาพของกล้วยตากให้คงที่ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการผลิตได้จริงในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน แม้จะมีการศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งในหลายแง่มุม แต่ยังขาดการใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (DOE) อย่างเป็น

ระบบในการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตของวิสาหกิจชุมชน โดยการนำ DOE มาใช้ในงานวิจัยนี้จะช่วยในการค้นหาสภาวะการอบที่เหมาะสมที่สุดและสามารถควบคุมการผลิตได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้ งานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในการพัฒนาอุปกรณ์อบแห้งที่สามารถควบคุมสภาวะได้และการประยุกต์ใช้ DOE เพื่อยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยตาก และสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในวิสาหกิจชุมชนอย่างยั่งยืน

### 1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์อบลมร้อนและกำหนดสภาวะการอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์กล้วยตากโดยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) เป้าหมายเพื่อยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอย่างยั่งยืน

## 2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเป็นแนวทางสำคัญในการลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต และควบคุมคุณภาพสินค้าให้ได้มาตรฐานสม่ำเสมอ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ระบบการผลิตแบบ (Lean Manufacturing) ที่ช่วยลดของเสียและเพิ่มความรวดเร็ว การบริหารจัดการคุณภาพโดยรวม (Total Quality Management) [3] ที่เน้นการพัฒนาในด้านคุณภาพต่อเนื่องและแนวคิดหลักการในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตซิกซิกมา (Six Sigma) [4] ช่วยลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำนอกจากนี้ยังมีการใช้ระบบอัตโนมัติและระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Automation & Internet of Things) เป็นทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังมีแนวคิดในการบริหารจัดการวัตถุดิบ (Material Requirement Planning) ช่วยลดของเสียจากการใช้วัตถุดิบสำหรับการผลิตปลาแดดเดียว การนำเทคโนโลยีอบแห้งที่ ควบคุมความชื้นแทนการพึ่งพาแสงแดด สามารถช่วยลดระยะเวลาในการผลิตและเพิ่มคุณภาพของสินค้าให้ได้มาตรฐานการตลาดที่สูงขึ้น [5]

### 2.2 ความชื้นสุดท้าย

ความชื้นสุดท้าย (Final Moisture Content) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพ อายุการเก็บรักษา และความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อบแห้ง เช่น อาหารแปรรูป เมล็ดพืช และสมุนไพร หากค่าความชื้นสูงกว่าที่กำหนดอาจก่อให้เกิดการเจริญของจุลินทรีย์หรือเชื้อรา ในขณะที่ค่าความชื้นที่ต่ำเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เปราะบางและเสียคุณค่าทางโภชนาการ [6] ความชื้นสมดุล (Equilibrium

Moisture Content: EMC) ทำหน้าที่ควบคุมความเสถียรของผลิตภัณฑ์ในสภาวะแวดล้อม โดยช่วยลดปัญหาการดูดซับหรือสูญเสียความชื้นในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้การอบแห้งแบบดั้งเดิม เช่น การตากแดด แม้จะประหยัดพลังงาน แต่มีข้อจำกัดด้านการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จึงมักให้ผลผลิตที่ไม่สม่ำเสมอ ในทางกลับกันการอบแห้งด้วยลมร้อนหรือการใช้เตาอบควบคุมอุณหภูมิสามารถลดระยะเวลาในการอบ และให้ค่าความชื้นสุดท้ายที่แม่นยำยิ่งขึ้น โดยเฉพาะเมื่อผสานกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้น และระบบ IoT ที่ช่วยควบคุมกระบวนการได้แบบเรียลไทม์ [7] ยิ่งกว่านั้นอุปกรณ์วัดความชื้น เช่น Moisture Meters หรือเทคนิค Near-Infrared Spectroscopy (NIR) ยังช่วยยืนยันคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างแม่นยำ

### 2.3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยการตั้งคำถาม 5 Whys

การตั้งคำถาม “ทำไม ทำไม” (5 Whys) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis) ที่พัฒนาโดย Sakichi Toyoda และใช้ในระบบ Toyota Production System (TPS) โดยมีหลักการตั้งคำถามซ้ำ ๆ ด้วยคำว่า “ทำไม” อย่างน้อย 5 ครั้ง เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เทคนิคนี้ช่วยให้องค์กรสามารถระบุสาเหตุเชิงลึกและแก้ไขได้อย่างตรงจุด เช่น หากเครื่องจักรหยุดทำงาน การถามคำถาม “ทำไม” ครั้งแรกอาจพบว่าสาเหตุคือมอเตอร์ขัดข้อง แต่เมื่อถามต่อไปอีก อาจพบว่าสาเหตุที่แท้จริงคือการขาดแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ข้อดีของเทคนิคนี้คือความเรียบง่าย ใช้งานได้ทันที และเหมาะสมสำหรับปัญหาที่ไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อนำไปใช้กับปัญหาที่ซับซ้อน ควรใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่น เช่น Ishikawa Diagram เพื่อความแม่นยำมากขึ้น หลังจากวิเคราะห์ด้วย 5 Whys แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการแก้ไขปัญหาด้านเหตุ เช่น การจัดทำแผน PM หรืออบรมพนักงานเพื่อป้องกันการเกิดซ้ำ ทำให้เทคนิคนี้เป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอย่างยั่งยืน [8]

### 2.4 กำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยการตั้งคำถาม 5W1H

เทคนิค 5W1H เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา โดยใช้คำถาม 6 ข้อ ได้แก่ What (ทำอะไร), Why (ทำไม), Who (ใคร), Where (ที่ไหน), When (เมื่อไหร่) และ How (อย่างไร) เพื่อตรวจสอบและระบุสาเหตุรากเหง้าของปัญหา เทคนิคนี้ช่วยให้สามารถรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบและเข้าใจถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ช่วยในการตัดสินใจที่มีข้อมูลสนับสนุนอย่างเพียงพอ งานวิจัยของ [9] นำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

เฟอร์นิเจอร์เพื่อระบุสาเหตุของความสูญเสีย เช่น การขนย้ายวัสดุที่ไม่จำเป็นและการใช้ทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ 5W1H สามารถลดของเสียลงได้ถึง 15% และเพิ่มกำลังการผลิตได้ถึง 20% โดยการตั้งคำถามเชิงโครงสร้างช่วยในการระบุปัญหาหลักและแนวทางการปรับปรุงอย่างตรงจุด นอกจากนี้ เทคนิคนี้ยังช่วยลดการใช้พลังงานและทรัพยากร ซึ่งส่งเสริมความยั่งยืนในอุตสาหกรรมการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.5 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เป็นกระบวนการที่รวมหลักการทางวิศวกรรม ศาสตร์วัสดุ และนวัตกรรมเข้าด้วยกันเพื่อสร้างอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพและใช้งานได้จริง การออกแบบเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้และข้อกำหนดทางเทคนิค จากนั้นนักวิจัยจะใช้แนวคิดทางทฤษฎี เช่น ทฤษฎีฟังก์ชันเพื่อศึกษาคุณสมบัติวัสดุและเทคนิคปัญญาประดิษฐ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบ การพัฒนาอุปกรณ์มักต้องอาศัยกระบวนการทดลองและการทดสอบซ้ำเพื่อปรับปรุงการทำงานเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เช่น เครื่องกลไฟฟ้า พลศาสตร์ของไหล และการประมวลผลสัญญาณ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการพัฒนา นอกจากนี้ การออกแบบที่ดีต้องคำนึงถึงความยั่งยืนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันการพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ได้รับอิทธิพลจากแนวโน้มอุตสาหกรรม 4.0 ซึ่งเน้นการผลิตอัจฉริยะและการใช้วัสดุขั้นสูงในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติพิเศษ [10]

## 2.6 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) เป็นวิธีทางสถิติที่ใช้วางแผนและวิเคราะห์การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (independent variables) และตัวแปรตอบสนอง (response variables) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มความถูกต้องของผลลัพธ์ ลดความคลาดเคลื่อน และค้นหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต ตัวอย่างของเทคนิคในการออกแบบการทดลองที่ใช้บ่อยๆ ได้แก่ แบบแฟกทอเรียลสมบูรณ์ (Full Factorial Design) ซึ่งคล้ายงานวิจัยของ Avci, A., Çetinbaş, A., & Karakaya, H. [11] ได้ประยุกต์ใช้ แบบแฟกทอเรียลสมบูรณ์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งของผลสตรอว์เบอร์รี่ในระบบ Solar Chimney Collector โดยวิเคราะห์ผลของ อุณหภูมิและเวลาในการอบ ต่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ พบว่าการวางตำแหน่งผลิตภัณฑ์ภายในระบบอบและระดับพลังงานความร้อนที่จ่าย มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการลดความชื้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือ

สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้ง และควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้อย่างแม่นยำ

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและเพิ่มคุณภาพของสินค้าสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย จึงมีงานวิจัยมากมายที่เป็นแนวทางในการปรับปรุง เช่น

งานวิจัย Chaudhari และ Salve [12] ทำการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารและสินค้าเกษตรต่าง ๆ โดยเน้นไปที่หลักการทำงานประเภทของเครื่องอบแห้งและประสิทธิภาพของระบบที่แตกต่างกัน งานวิจัยระบุว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้ง ลดการสูญเสียสารอาหาร และเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากกว่าการตากแดดแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ยังกล่าวถึงการออกแบบระบบควบคุมความร้อนและการไหลเวียนของอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง บทความนี้ยังได้เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบแอคทีฟ (ที่ใช้พัดลมช่วย) และแบบพาสซีฟ (อาศัยการไหลเวียนอากาศธรรมชาติ) พร้อมทั้งเน้นถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มของแสงแดด ผลการศึกษาพบว่า การนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น ระบบเซ็นเซอร์และพลังงานทดแทนมาใช้ร่วมกันสามารถช่วยให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานได้ดียิ่งขึ้น สุดท้าย ผู้วิจัยเสนอแนะว่าควรพัฒนาและปรับปรุงการออกแบบเครื่องอบแห้งให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและความต้องการของผู้ใช้ในแต่ละพื้นที่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดงาน

งานวิจัยของ Luginasin, Peña และ Dumlaog [13] ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลายชั้น (Multilevel Solar Dryer) ที่มีการผนวกเข้ากับ Internet of Things (IoT) เพื่อควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และเวลาแบบเรียลไทม์ ระบบนี้ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดสถานะและส่งข้อมูลไปยัง ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control System) เพื่อปรับการทำงานของพัดลมและช่องระบายอากาศได้ทันที จึงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแม่นยำสูงในการควบคุมความชื้น การใช้ IoT ทำให้สามารถ มอนิเตอร์และจัดการกระบวนการจากระยะไกลผ่านแอปพลิเคชัน พร้อมจัดเก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และปรับปรุงในเชิงประสิทธิภาพ ลดเวลาการอบได้เฉลี่ย 20%–30% เมื่อเทียบกับวิธีเดิมและรักษาคุณภาพด้านสีและพื้นผิวได้ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ถือเป็นตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อยกระดับการผลิตทางการเกษตรให้มีประสิทธิภาพ

### 3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สํารวจกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตกล้วยตากของชุมชนคนรักวังตะเคียน เริ่มต้นจากการคัดเลือก กล้วยน้ำว้า ที่มีคุณภาพดี โดยเลือกผลที่มีอายุการสุกประมาณ 5-7 วันหลังการตัดจากต้น มีลักษณะเปลือกสีเหลืองอมเขียว เนื้อแน่น ไม่ช้ำ และไม่มีร่องรอยของการเน่าเสีย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กล้วยที่ตัดจากต้นและพร้อมแปรรูป

กล้วยที่ใช้ในการทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลประมาณ 100-150 กรัม และมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วงประมาณ 65-70% ซึ่งเหมาะสมต่อการนำมาศึกษากระบวนการลดความชื้นด้วยวิธี การตากแดดแบบธรรมชาติ ปัจจุบันกลุ่มวิสาหกิจชุมชนยังคงใช้วิธี การตากแดดจากธรรมชาติ เป็นหลัก โดยนำกล้วยที่ปอกเปลือกแล้ววางเรียงบนถาดตากในที่โล่งแจ้ง ให้ได้รับแสงแดดโดยตรง กระบวนการถ่ายเทความร้อนเกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เกิดการระเหยน้ำออกจากเนื้อกล้วยอย่างค่อยเป็นค่อยไป แม้ว่าวิธีการตากแดดจะเป็นวิธีที่ประหยัดและไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ก็มีข้อจำกัดในด้านการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งอาจทำให้คุณภาพของกล้วยตากไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน เช่น แดดจัด เมฆมาก หรือฝนตก ซึ่งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แห้งสนิท เกิดเชื้อรา หรือสูญเสียคุณลักษณะทางกายภาพขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบในการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การตากกล้วยของชุมชนในปัจจุบัน

#### 3.2 วิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิค 5 Whys

จากการสำรวจกระบวนการผลิตกล้วยตากของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน พบว่าปัญหาหลักคือความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์ และ ระยะเวลาการตากที่ใช้เวลานาน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการพึ่งพาแสงแดดธรรมชาติในการอบแห้ง ทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้อย่างสม่ำเสมอและแม่นยำ เพื่อให้เข้าใจรากของปัญหาอย่างละเอียด ผู้วิจัยได้ใช้ เทคนิค 5 Whys เพื่อวิเคราะห์สาเหตุเชิงลึก โดยการตั้งคำถาม “ทำไม” ซ้ำ ๆ จนสามารถระบุสาเหตุหลักได้ดังนี้:

คำถาม: ทำไมกล้วยตากจึงมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ

คำตอบ: เพราะระยะเวลาในการตากแต่ละครั้งไม่คงที่

คำถาม: ทำไมระยะเวลาการตากจึงไม่คงที่

คำตอบ: เพราะต้องพึ่งพาแสงแดดธรรมชาติ

คำถาม: ทำไมแสงแดดจึงแปรปรวน

คำตอบ: เพราะสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง เช่น มีเมฆ ฝน หรือแดดไม่สม่ำเสมอ

คำถาม: ทำไมจึงไม่มีวิธีควบคุมสภาพการตากให้คงที่ได้

คำตอบ: เพราะยังไม่มีระบบอบแห้งที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้

คำถาม: ทำไมยังไม่มีการใช้ระบบอบแห้งที่ควบคุมได้

คำตอบ: เพราะชุมชนยังคงใช้วิธีดั้งเดิมที่ไม่ต้องพึ่งพาเครื่องจักรหรือเทคโนโลยีระบบ

**ผลการวิเคราะห์:** สาเหตุหลักที่ทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอคือการพึ่งพาสภาพอากาศธรรมชาติทำให้ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอย่างเหมาะสม ส่งผลให้การผลิตกล้วยตากไม่เป็นไปตามมาตรฐานและมีความเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5 Whys พบปัญหาหลักคือความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่คงที่ สาเหตุสำคัญเกิดจากการพึ่งพาสภาพอากาศธรรมชาติที่แปรปรวนขาดระบบควบคุมความร้อนและความชื้นที่เหมาะสม และมีการจัดการปริมาณการผลิตไม่สอดคล้องกับพื้นที่ตาก ส่งผลให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ลดลงและไม่เป็นมาตรฐาน ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H กำหนดแนวทางแก้ไข ดังนี้

#### 1. แก้ไขปัญหาความชื้นสุดท้าย:

**What:** ปัญหาความชื้นไม่คงที่ เสี่ยงต่อเชื้อราและคุณภาพ

**Why:** พึ่งพาแสงธรรมชาติ ไม่มีระบบควบคุมความชื้น

**Who:** ทีมวิจัยและสมาชิกวิสาหกิจชุมชน

**Where:** ที่ทำการวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน

**When:** พัฒนาและทดสอบภายใน 1 เดือน

**How:** พัฒนาอุปกรณ์อบลมร้อนพลังงานทดแทนและทดสอบการอบกล้วยให้มีความชื้นตามมาตรฐาน

## 2. แก้ไขปัญหาการใช้เวลาตกนาน:

**What:** ความชื้นไม่คงที่ เสี่ยงต่อเชื้อราและคุณภาพ

**Why:** พืชสภาพอากาศธรรมชาติ ไม่มีระบบควบคุม

**Who:** ทีมวิจัยและสมาชิกวิชาหลัก

**Where:** ที่ทำการวิชาหลักชุมชนคนรักวังตะเคียน

**When:** พัฒนาและทดสอบภายใน 1 เดือน

**How:** พัฒนาอุปกรณ์อบลมร้อนพลังงานทดแทนและทดสอบการอบกล้วยให้ได้ความชื้นตามมาตรฐาน

จากข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการ จัดสร้างอุปกรณ์อบลมร้อนแบบพาลาโบลาดม ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 อุปกรณ์อบลมร้อนแบบพาลาโบลาดมต้นแบบ

ตารางที่ 1 ตัวแปรในการทดลอง

| Factors  | Levels                          | Responses        |
|----------|---------------------------------|------------------|
| อุณหภูมิ | 50°C, 60°C, 70°C                | ความชื้น (%wb)   |
| เวลา     | 4 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมง | คะแนนเนื้อสัมผัส |

## 3.4 การประเมินคุณภาพ

การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยตากจะใช้ การประเมินเชิงประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) ร่วมกับการวัดเชิงวัตถุ (Instrumental Measurement) เช่น การใช้เครื่องมือวัดความชื้นและการทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยตาก เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการประเมินคุณภาพ ผู้วิจัยจะ:

- เพิ่มจำนวนผู้ประเมิน: จำนวนผู้ประเมินจะเพิ่มขึ้นเป็น 10-15 คน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือ
- ใช้การวิเคราะห์ความสอดคล้องของผู้ประเมิน: ใช้ Cronbach's alpha เพื่อประเมินความสอดคล้อง
- การใช้เครื่องมือวัดความชื้น: เครื่องมือวัดความชื้นจะถูกใช้ควบคู่ไปกับการประเมินเชิงประสาทสัมผัส เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมิน

## 3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์ Minitab และวิธี ANOVA (Analysis of Variance) เพื่อ

## 3.3 การออกแบบการทดลองและการเก็บข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design  $3^2$  ซึ่งเป็นการออกแบบที่ช่วยวิเคราะห์ผลกระทบจากหลายปัจจัยพร้อมกัน เพื่อกำหนดสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งกล้วยตาก

**รายละเอียดของการออกแบบการทดลอง (DOE):**

- ประเภทการทดลอง: Full Factorial Design ( $3^2$ )
- ระดับของปัจจัย: อุณหภูมิ: 50°C, 60°C, 70°C
- เวลา: 4 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมง
- จำนวนชุดทดลองทั้งหมด: 9 ชุดทดลอง (เนื่องจากมี 3 ระดับของอุณหภูมิ  $\times$  3 ระดับของเวลา)
- การสุ่มลำดับการทดลอง: เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการลำดับทดลอง ผู้วิจัยทำการสุ่มลำดับการทดลอง
- การทำซ้ำ: การทดสอบซ้ำ 3 ครั้งต่อชุดการทดลอง เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและความแม่นยำในการเก็บข้อมูล

**เหตุผลในการเลือกการทำซ้ำ:** การทำซ้ำช่วยลดความแปรปรวนจากปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ และทำให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ดังตารางที่ 1

ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยให้อาจตัดสินใจเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ ประกอบด้วย

- ซอฟต์แวร์ที่ใช้: Minitab
- วิธีการที่ใช้: ANOVA (Analysis of Variance)
- เกณฑ์การตัดสินใจสำคัญ: ใช้  $\alpha = 0.05$  เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์มีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่

## 3.6 สรุปวิธีวิจัย

การ Full Factorial Design  $3^2$  ร่วมกับการประเมินคุณภาพและการวิเคราะห์ทางสถิติ ผู้วิจัยสามารถกำหนดสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งกล้วยตากเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคงที่และลดเวลาในการอบ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ช่วยลดความแปรปรวนในกระบวนการผลิตและยกระดับมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยตากในวิชาหลักชุมชน

### 3.7 ผลการทดลอง

ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลการทดลอง:

| การทดลอง | อุณหภูมิ (°C) | เวลา (ชั่วโมง) | ความชื้นสุดท้าย (%wb) | ลักษณะ/รสชาติ                                     | ต้นทุนพลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) |
|----------|---------------|----------------|-----------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1        | 50            | 4              | 30                    | เนื้อนุ่มมาก, สีดี, แต่ความชื้นสูงไป              | ต่ำ                               |
| 2        | 50            | 6              | 25                    | คงโครงสร้างเนื้อกล้วย, สีสวย, เนื้อนุ่มดีที่สุดใน | ปานกลาง                           |
| 3        | 50            | 8              | 20                    | เนื้อเริ่มแข็งขึ้นเล็กน้อย, สีเข้มขึ้น            | ปานกลาง                           |
| 4        | 60            | 4              | 25                    | เนื้อเริ่มแข็ง, แห้งเร็วเกินไป                    | ปานกลาง                           |
| 5        | 60            | 6              | 20                    | เนื้อเหนียวนุ่ม, สีเหลืองทองสวย, รสชาติดีที่สุดใน | สูง                               |
| 6        | 60            | 8              | 15                    | เนื้อค่อนข้างแข็ง, สีเริ่มคล้ำ                    | สูง                               |
| 7        | 70            | 4              | 20                    | เนื้อแข็งมาก, รสชาติเริ่มเปลี่ยน                  | สูง                               |
| 8        | 70            | 6              | 15                    | เนื้อแข็งกระด้าง, รสชาติแห้งเกินไป                | สูง                               |
| 9        | 70            | 8              | 10                    | เนื้อแห้งกรอบ, บางส่วนอาจไหม้เกรียม               | สูงมาก                            |

### 3.8 สรุปผลการทดลอง

การทดลองอบกล้วยตากมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการอบ พบว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อความชื้นสุดท้ายและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยรายละเอียดผลการทดลองและการวิเคราะห์สถิติมีดังนี้:

3.8.1 การวิเคราะห์ทางสถิติที่ใช้คือ ANOVA (Analysis of Variance) เพื่อทดสอบผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาในการอบต่อค่าความชื้นสุดท้ายและคะแนนคุณภาพของกล้วยตาก โดยค่า p-value สำหรับแต่ละปัจจัยและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปปัจจัยและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

| ปัจจัย      | ค่า p-value | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> (adj) |
|-------------|-------------|----------------|----------------------|
| อุณหภูมิ    | 0.001       | 0.85           | 0.82                 |
| เวลา        | 0.005       | 0.87           | 0.83                 |
| ปฏิสัมพันธ์ | 0.03        | 0.89           | 0.86                 |

จากตารางที่ 3 ค่า p-value น้อยกว่า 0.05 ในทุกปัจจัยและปฏิสัมพันธ์ ซึ่งแสดงว่ามีผลกระทบทางสถิติที่มีนัยสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ R<sup>2</sup> และ R<sup>2</sup>(adj) สูงแสดงว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง

อุณหภูมิ, เวลา และคุณภาพผลิตภัณฑ์ อย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือในการคาดการณ์ผลลัพธ์จากปัจจัยที่ศึกษา

3.8.2 การวิเคราะห์ผลคะแนนคุณภาพสำหรับเนื้อสัมผัสและสีของกล้วยตากได้รับการประเมินและนำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ย  $\pm$  SD ดังตารางที่ 4

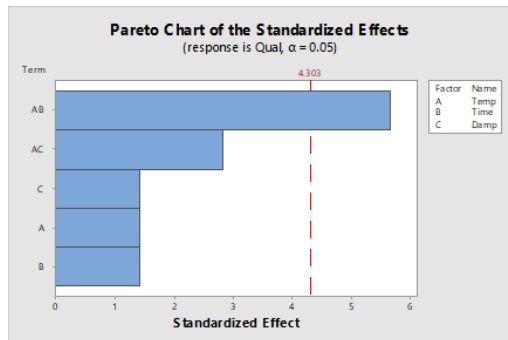
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คะแนนคุณภาพ

| การทดลอง | คะแนนเนื้อสัมผัส (เฉลี่ย $\pm$ SD) | คะแนนสี (เฉลี่ย $\pm$ SD) |
|----------|------------------------------------|---------------------------|
| 1        | 3.2 $\pm$ 0.3                      | 4.1 $\pm$ 0.2             |
| 2        | 4.1 $\pm$ 0.2                      | 4.5 $\pm$ 0.1             |
| 3        | 3.8 $\pm$ 0.4                      | 4.3 $\pm$ 0.3             |
| 4        | 2.5 $\pm$ 0.3                      | 3.2 $\pm$ 0.4             |

#### 4. การยืนยันผลทางสถิติ

##### 4.2 การวิเคราะห์แผนภูมิพาเรโต

การทดลองและการพิจารณาความสัมพันธ์ทั้งหมดจาก 3 ปัจจัยหลัก (Main Factors) สามารถแสดงผลกระทบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ได้ด้วยแผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) ดังแสดงใน รูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภูมิพาเรโตของผลกระทบมาตรฐาน

จากรูปที่ 4 แผนภูมิพาเรโตของผลกระทบมาตรฐาน (Standardized Effects) แสดงให้เห็นขนาดและนัยสำคัญทางสถิติของผลกระทบจากปัจจัยหลัก (อุณหภูมิ, เวลา, ความชื้น) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านั้นต่อตัวแปรตาม (Response: คุณภาพของกล้วยตาก) โดยพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  (เส้นประสีแดง) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ามีเพียง 3 ผลกระทบที่มีนัยสำคัญทางสถิติในการควบคุมคุณภาพของกล้วยตาก:

- 1) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา: ผลกระทบที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างชัดเจน
- 2) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้น: ผลกระทบที่มีขนาดรองลงมาและมีนัยสำคัญทางสถิติ
- 3) ปัจจัยหลักอุณหภูมิ: เป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปัจจัยเวลา (Time) ความชื้น (Damp) และปฏิสัมพันธ์อื่น ๆ (เช่น TC, ATC) ไม่ส่งผลต่อคุณภาพกล้วยตากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากค่าผลกระทบต่ำกว่าเส้น t-valueวิกฤต โดยความชื้นมีผลกระทบต่ำที่สุด แสดงว่าไม่ได้มีบทบาทสำคัญในการควบคุมคุณภาพ และอาจต้องพิจารณาปัจจัยหรือเทคนิคอื่นเพิ่มเติม แสดงดังรูปที่ 5

| Analysis of Variance |    |         |        |         |         |
|----------------------|----|---------|--------|---------|---------|
| Source               | DF | Adj SS  | Adj MS | F-Value | P-Value |
| Model                | 5  | 11.5000 | 2.3000 | 9.20    | 0.101   |
| Linear               | 3  | 1.5000  | 0.5000 | 2.00    | 0.350   |
| Temp                 | 1  | 0.5000  | 0.5000 | 2.00    | 0.293   |
| Time                 | 1  | 0.5000  | 0.5000 | 2.00    | 0.293   |
| Damp                 | 1  | 0.5000  | 0.5000 | 2.00    | 0.293   |
| 2-Way Interactions   | 2  | 10.0000 | 5.0000 | 20.00   | 0.048   |
| Temp*Time            | 1  | 8.0000  | 8.0000 | 32.00   | 0.030   |
| Temp*Damp            | 1  | 2.0000  | 2.0000 | 8.00    | 0.106   |
| Error                | 2  | 0.5000  | 0.2500 |         |         |
| Total                | 7  | 12.0000 |        |         |         |

| Model Summary |        |           |            |
|---------------|--------|-----------|------------|
| S             | R-sq   | R-sq(adj) | R-sq(pred) |
| 0.5           | 95.83% | 85.42%    | 33.33%     |

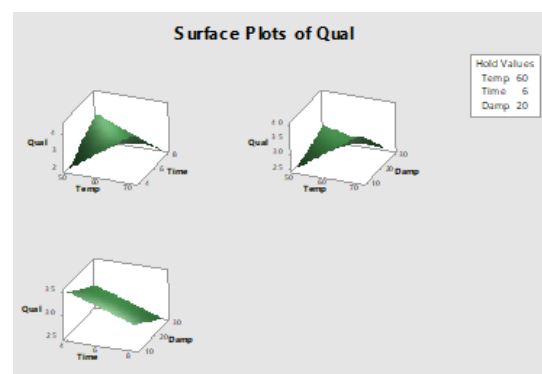
  

**Regression Equation in Uncoded Units**

Qual = -21.25 + 0.4250 Temp + 2.875 Time + 0.275 Damp - 0.05000 Temp\*Time - 0.00500 Temp\*Damp

รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากรูปที่ 5 พบว่าค่าความแปรปรวนจากการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ผลของ R-sq มีค่าเท่ากับ 95.83% และ R-sq (adj) มีค่าเท่ากับ 85.42% ซึ่งมากกว่า 70% แสดงว่าการทดลองนี้มีความถูกต้องและเหมาะสม และปัจจัยระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบกล้วยตาก มีค่า P-Value เท่ากับ 0.030 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยระหว่างอุณหภูมิและเวลาของเครื่องอบกล้วยตากนั้นส่งผลต่อคุณภาพของกล้วยตาก (Response) ของการทดลองมากที่สุด โดยการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องอบกล้วยตากที่อุณหภูมิ 60°C ระยะเวลา 6 ชั่วโมง และ ปรับความชื้นสุดท้าย 20% จึงจะเหมาะสม จึงจะทำให้ระดับความเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่มไม่แข็งไม่ละ สีทองสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟ Surface Plots

## 5. อภิปรายผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 อภิปรายผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) เพื่อกำหนดสภาวะการอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์กล้วยตาก ได้แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมสูงในการอธิบายความแปรปรวนของคุณภาพผลิตภัณฑ์ ( $R^2 = 95.83\%$ ) ซึ่งเป็นการยืนยันทางสถิติที่ชัดเจน ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และแผนภูมิพาเรโต ชี้ชัดว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ( $\text{Temp} \cdot \text{Time}$ ) มีผลกระทบสูงสุดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ และมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P = 0.030$ ) โดยสมการการถดถอยแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาไปพร้อมกันในระดับสูงจะส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งหมายความว่าความสมดุลระหว่างอุณหภูมิและเวลาเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมคุณภาพกล้วยตาก การปรับปรุงกระบวนการอบจึงต้องมุ่งเน้นไปที่การควบคุมปฏิสัมพันธ์นี้ โดยผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจะเป็นที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ตามเกณฑ์สูงสุด คล้ายกับงานวิจัย Avila et al. [14] ที่ใช้ Response Surface Methodology (RSM) ในการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งกล้วยตาก โดยพบว่าอุณหภูมิและเวลาในการอบมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ เช่น สีและความแข็ง ซึ่งสอดคล้องกับข้อสรุปในงานวิจัยที่ย้ำถึงอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการอบกล้วยตากในสองมิติที่เชื่อมโยงกัน:

5.2.1 การควบคุมคุณภาพในทางปฏิบัติ ผู้วิจัยควรนำผลการการถดถอย ที่ได้ไปใช้กำหนดเป็นมาตรฐานในการควบคุมกระบวนการ (Process Control) ที่มีความเข้มงวด โดยเฉพาะการใช้ชุดค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Conditions) คือ อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  และเวลา 6 ชั่วโมง ควบคู่กับการตรวจสอบ ความชื้นสุดท้าย อย่างต่อเนื่อง การดำเนินการนี้จะช่วยลดความแปรปรวนของคุณภาพที่เคยเกิดจากการพึ่งพาปัจจัยธรรมชาติ

5.2.2 ขยายขอบเขตการวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ควรใช้ Response Surface Methodology (RSM) เพื่อปรับช่วงของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ (เช่น อุณหภูมิและเวลา) ให้ละเอียดขึ้น เพื่อให้ได้จุดสูงสุดของพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) ที่สามารถนำไปสู่การตั้งค่าที่ให้คุณภาพดีที่สุทธอย่างแท้จริง นอกจากนี้ ควรขยายแบบจำลองโดยการรวม ต้นทุนพลังงาน และ ประสิทธิภาพ

ในการอบแห้ง เป็นตัวแปรตอบสนองร่วม เพื่อให้การหาจุดเหมาะสมที่สุดไม่เพียงแต่ตอบโจทย์ด้านคุณภาพเท่านั้น แต่ยังตอบโจทย์ด้านเศรษฐศาสตร์การผลิตได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์

## 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สาขาวิชาเกษตรกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ และ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านทรัพยากรและบุคลากรงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนรักวังตะเคียน ที่ให้ความร่วมมือในการทดลองและอนุเคราะห์ข้อมูลอย่างดียิ่ง ตลอดจนผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการประเมินผล ซึ่งคุณูปการเหล่านี้คือรากฐานสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในเชิงปฏิบัติ

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Takshima, P. Yungphet, and P. Suwanamonlert, "The development of community enterprise sun-dried catfish product using a 'Turtle-back model' solar drying oven," *Rajabhat University Uttaradit Academic Journal: Science and Technology for Local Development*, vol. 18, no. 2, pp. 40–46, Jul.–Dec. 2023.
- [2] Department of Agricultural Extension, "The development of community enterprise processed agricultural products," Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand, Rep., 2020.
- [3] H. Fatorachian and H. Kazemi, "A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: Theoretical operationalisation framework," *Production Planning & Control*, vol. 29, no. 8, pp. 633–644, 2018, doi: 10.1080/09537287.2018.1424960.
- [4] J. Antony, "Lean Six Sigma for small and medium-sized enterprises: A roadmap for change," *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 36, no. 3, pp. 415–439, Mar. 2019.
- [5] T. E. Vollmann, W. L. Berry, and D. C. Whybark, "Integrated material planning and execution in

- modern industries,” *Production and Inventory Management Journal*, vol. 56, no. 2, pp. 78–95, May 2020.
- [6] M. V. Zambrano, B. Dutta, D. G. Mercer, and H. L. MacLean, “Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review,” *Trends in Food Science & Technology*, vol. 88, pp. 484–496, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.tifs.2019.04.006.
- [7] B. P. Carter and A. J. Fontana Jr., “Measurement of water activity, moisture sorption isotherm, and moisture content of foods,” in *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2020, pp. 145–169.
- [8] A. Supriyatna and L. Okdinawati, “Optimizing operational efficiency through improved crushing & loading strategies at PT Girimulya Resource,” *Asian Journal of Engineering, Social and Health*, vol. 3, no. 11, pp. 2485–2504, Nov. 2024.
- [9] T. Udonsathian and W. Worapun, “Enhancing analytical thinking in grade 8 science education: Integrating 5E inquiry-based and 5W1H techniques,” *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, vol. 11, no. 5, pp. 62–69, May 2024.
- [10] C. Su, H. Wu, L. Dai, Z. Zhang, S. Li, and Y. Hu, “Nonclassical heat transfer and recent progress,” *ASME Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 147, no. 3, Art. no. 032502, Mar. 2025.
- [11] A. Avcı, A. Çetinbaş, and H. Karakaya, “Analysis of strawberry drying behavior under a solar chimney collector using a full factorial experimental design,” *Heat Transfer*, vol. 54, no. 1, pp. 245–263, Jan. 2025.
- [12] A. D. Chaudhari and S. P. Salve, “A review of solar dryer technologies,” *International Journal of Research in Advent Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 223–231, Jan. 2014.
- [13] J. V. B. Lughasin, R. A. S. Peña, S. M. G. Dumlaog, and E. Q. B. Macabebe, “IoT-enabled multilevel solar dryer for agriculture,” in *2023 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (IoTIS)*, Bali, Indonesia, Nov. 28–30, 2023, pp. 21–27.
- [14] S. A. Avila, B. M. Rengifo, and C. P. Rincón, “Optimization of oven drying conditions of banana (*Musa* spp., AAA Group, cv 'Luvhele' and 'Mabonde') using response surface methodology,” *Agrociencia*, vol. 52, no. 4, pp. 539–555, May–Jun. 2018.

# การใช้โปรแกรม TRUdairyFeed ต่อการยอมรับองค์ความรู้ ต้นทุนและผลตอบแทน ค่าอาหาร และต่อทำให้ผลผลิตน้ำนมโคของผู้เลี้ยงโคนม ตำบลดีลัง อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

## The Using of TRUdairyFeed Program on Knowledge Adoption, Feed Cost and Return and on Milk Production of Dairy Farmers in Dilang Sub district, Patthananiikhom District, Lop buri Province

อำพล จูปะมัตถา<sup>1\*</sup> และ เฉลิมพล ปฏิพันธ์<sup>2</sup>

Amphol Jupamatta<sup>1\*</sup> and Chalermpon Patipan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

<sup>2</sup>สำนักงานปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ ลพบุรี

<sup>1</sup>Agriculture and Innovation program, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

<sup>2</sup>Lopburi provincial livestock office, Lopburi Province

\*Email: amphol.j@lawasri.tru.ac.th

Received: February 23, 2026; Revised: April 23, 2026; Accepted: April 24, 2026

### บทคัดย่อ

การวิจัยเป็นการพัฒนาศักยภาพผู้เลี้ยงโคนมแบบมีส่วนร่วม ผ่านการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านอาหารโคนมและอบรมเชิงปฏิบัติการใช้โปรแกรม TRUdairyFeed ปรับปรุงสูตรอาหาร แล้วนำอาหารที่ปรับปรุงไปเลี้ยงโคนมของผู้เลี้ยงโคนม ต.ดีลัง อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี เก็บข้อมูลการยอมรับองค์ความรู้จากค่าความพึงพอใจและผลผลิตน้ำนมโคก่อนและหลังการเปลี่ยนสูตรอาหาร 3 เดือน ผลการวิจัยพบว่า ผู้เลี้ยงโคนมมีการยอมรับองค์ความรู้เฉลี่ยระดับดี การใช้โปรแกรม TRUdairyFeed ทำให้อาหารมีปริมาณและสัดส่วนโภชนะใกล้เคียงกับความต้องการของโคนมมากขึ้น แต่ด้วยผู้เลี้ยงโคนมมีทุนทรัพย์จำกัดเน้นใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น อาหารจึงยังขาดโปรตีนที่ไม่สลายในรูเมนและพลังงานสุทธิเพื่อการสร้างนม อาหารมีราคา 5.50 บาท/กก. การเลี้ยงไม่สามารถทำอาหารที่เอ็มอาร์ (TMR) ให้โคกินได้ ปริมาณการกินของโคลดลง 5.75 กก./ตัว/วัน ต้นทุนค่าอาหารลดลง 5.88 บาท/ตัว/วัน ผลตอบแทนการเลี้ยงเพิ่มขึ้นวันละ 16.74 บาท/ตัว/วัน ได้น้ำนม 14.29 กก./ตัว/วัน (เพิ่มขึ้น 0.79 กก./ตัว/วัน) คุณภาพน้ำนมหลายรายการมีแนวโน้มดีขึ้น แต่โปรตีนยังต่ำกว่าเกณฑ์รับซื้อ ทุกรายการมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงสูตรอาหาร สรุป ผู้เลี้ยงโคนมมีการยอมรับองค์ความรู้ในระดับดี การใช้โปรแกรม TRUdairyFeed คำนวณสูตรอาหารช่วยลดต้นทุนอาหารที่โคกินต่อวัน ทำให้มีแนวโน้มได้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น คุณภาพน้ำนมหลายรายการมีแนวโน้มดีขึ้น ควรถ่ายทอดองค์ความรู้ให้เกษตรกรเพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ :** โปรแกรม TRUdairyFeed, การยอมรับองค์ความรู้, ผลผลิตน้ำนมโค

### Abstract

A participatory approach was employed to enhance the capacity of dairy farmers through knowledge transfer on dairy nutrition and training in the use of the TRUdairyFeed program for ration formulation. The improved rations were subsequently implemented in dairy herds in Dilang sub district, Patthananiikhom district, Lop buri province. Data on knowledge adoption were collected through satisfaction assessments, and milk production was evaluated before and after dietary adjustment over a three-month period. The results indicated that knowledge adoption among dairy farmers was at a good level on average. The use of

the TRUdairyFeed program resulted in rations with nutrient composition and proportions closer to the requirements of dairy cattle. However, due to limited financial resources and reliance on locally available feed ingredients, the rations were still deficient in rumen undegradable protein and net energy for lactation. The feed cost was 5.50 Baht/kg. Total mixed ration (TMR) feeding was not implemented on farms. Feed intake decreased by 5.75 kg/head/day, while feed cost was reduced by 5.88 Baht/head/day. Economic return increased by 16.74 Baht/head/day. Milk yield averaged 14.29 kg/head/day, representing an increase of 0.79 kg/head/day. Several milk quality parameters tended to improve; however, milk protein content remained below the standard threshold. There were no statistically significant differences were observed between pre- and post-ration adjustment in all measured parameters. In conclusion, a good level of knowledge adoption was achieved among dairy farmers. The application of the TRUdairyFeed program for ration formulation contributed to reduced daily feed costs, milk yield and several milk quality parameters tended to improve. Therefore, further dissemination of this knowledge and technology to dairy farmers is recommended.

**Keywords :** TRUdairyFeed program, Knowledge adoption, Dairy milk production

## 1. บทนำ

การผลิตน้ำนมดิบเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีบทบาทต่อระบบเศรษฐกิจภาคการเกษตรและความมั่นคงทางอาหารของประเทศไทย แต่ปัจจุบันอุตสาหกรรมเลี้ยงโคนมยังคงเผชิญกับความท้าทายหลายประการเช่น ต้นทุนอาหารสัตว์ที่สูงขึ้น การจัดการด้านโภชนาการที่ยังไม่สอดคล้องกับความต้องการของโค โคนให้ผลผลิตน้ำมน้อย คุณภาพน้ำนมยังไม่บรรลุเกณฑ์มาตรฐานการรับซื้อ ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตและความสามารถในการแข่งขันเชิงเศรษฐกิจของเกษตรกร[1]

กระบวนการจัดการอาหารโคนมที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องบูรณาการความรู้ด้านโภชนาการศาสตร์ วัตถุดิบอาหาร และการคำนวณสูตรอาหาร ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีซอฟต์แวร์ในการคำนวณสูตรอาหาร แต่การนำไปใช้ปฏิบัติจริงในระดับฟาร์มยังมีข้อจำกัด เพราะมีลิขสิทธิ์ยากต่อการเข้าถึง ขาดกระบวนการถ่ายทอดองค์ความรู้เชิงปฏิบัติการและการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมที่สอดคล้องกับบริบทและเงื่อนไขเฉพาะของแต่ละพื้นที่

โปรแกรมคำนวณสูตรอาหารโคนม TRUdairyFeed ผู้วิจัยสร้างขึ้นบนพื้นฐานของข้อมูลและความต้องการของเกษตรกรที่ได้จากการวิจัยในพื้นที่ [2] พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เป็นพื้นฐานเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่าย ใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์และตรรกะในเวิร์กชีตจนได้โปรแกรมและใช้ในการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับเกษตรกรในจังหวัดลพบุรี ขั้นตอนการใช้เริ่มจากเลือกค่าระดับความต้อง

การสารอาหารสำหรับโคนมในระยะเวลาที่ต้องการทำสูตร ระบุปริมาณวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เติมในปริมาณคงที่ในสูตร ระบุปริมาณอาหารหยาบ ระบุปริมาณวัตถุดิบอาหารชั้น โปรแกรมจะคำนวณค่าสัดส่วนวัตถุดิบและปริมาณโภชนะให้ [3]

โปรแกรมคำนวณสูตรอาหารโคนม TRUdairyFeed ผู้วิจัยสร้างขึ้นบนพื้นฐานของข้อมูลและความต้องการของเกษตรกรที่ได้จากการวิจัยในพื้นที่ [2] พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เป็นพื้นฐานเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่าย ใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์และตรรกะในเวิร์กชีตจนได้โปรแกรมและใช้ในการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับเกษตรกรในจังหวัดลพบุรี ขั้นตอนการใช้เริ่มจากเลือกค่าระดับความต้องการสารอาหารสำหรับโคนมในระยะเวลาที่ต้องการทำสูตร ระบุปริมาณวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เติมในปริมาณคงที่ในสูตร ระบุปริมาณอาหารหยาบ ระบุปริมาณวัตถุดิบอาหารชั้น โปรแกรมจะคำนวณค่าสัดส่วนวัตถุดิบและปริมาณโภชนะให้ [3] และได้พัฒนาต่อยอดจนได้ส่วนประกอบของโปรแกรมที่สามารถระบุปริมาณอาหารหยาบ ปริมาณอาหารชั้น ปริมาณอาหารผสมรวมหรือที่เอ็มอาร์ (TMR) ปริมาณโภชนะต่างๆ ที่มีในวัตถุดิบอาหารที่จำเป็นสำหรับโคนม ข้อมูลระดับความต้องการสารอาหารของโคนม ข้อมูลราคาวัตถุดิบและอาหาร และส่วนของการคาดการณ์ผลตอบแทนการผลิต ลักษณะโดยย่อของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 1

| TRUdairyFeed(%DM basis)      |                            |            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |                 |        |         |                     |  |             |  |  |
|------------------------------|----------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|--------|---------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--|--|
| รายการ                       | เตรียม                     | ให้กิน     | DM     | CP     | RUP    | EE     | CF     | NDF    | ADF    | Ash    | Ca     | P      | TDN    | NE <sub>L</sub> | ราคา   | ราคารวม | ให้กิน              | เมื่อ                                                                               |             |  |  |
| ประเภท                       | วัตถุดิบ                   | %          | Kg/hd  | %      | %DM    | %DM    | %DM    | %DM    | %DM    | %DM    | %DM    | %DM    | %DM    | Mcal/Kg         | บ./Kg  | บาท     | กก/หัว/วัน          | DM = สิ่งแห้ง                                                                       |             |  |  |
| อาหารหมัก                    | ข้าวฟ่าง                   | 13.70      | 13.70  | 93.50  | 3.60   | 0.31   | 1.85   | 32.30  | 68.80  | 42.30  | 16.70  | 0.32   | 0.13   | 44.00           | 0.93   | 1.87    | 25.57               | 2.41                                                                                | CP = โปรตีน |  |  |
|                              | รวมอาหารหมัก               | 50.70      | 50.70  | 49.35  | 6.88   | 1.62   | 2.32   | 26.97  | 55.81  | 31.86  | 6.05   | 0.25   | 0.20   | 62.97           | 1.11   |         | 114.37              | 8.92                                                                                |             |  |  |
| เนื้อสัตว์                   | อ่าวเหลือง กัวดัลเมด 11%CP | 13.00      | 13.00  | 91.00  | 12.10  | 4.00   | 2.10   | 36.00  | 67.00  | 50.00  | 5.00   | 0.45   | 0.21   | 72.00           | 1.40   | 6.00    | 78.00               | 2.29                                                                                |             |  |  |
|                              | โคแคลเซียมฟอสเฟต (Ca30P14) | 0.90       | 0.90   | 95.00  |        |        |        |        |        |        | 97     | 30.00  | 14.00  | 95.00           |        | 8.00    | 7.20                | 0.16                                                                                |             |  |  |
| แร่ธาตุ                      | รวมอาหารข้น                | 49.30      | 49.30  | 88.08  | 19.43  | 8.13   | 2.21   | 19.56  | 40.40  | 28.05  | 7.31   | 1.13   | 0.64   | 77.72           | 1.63   |         | 523.32              | 8.68                                                                                |             |  |  |
|                              | รวม TMR                    | 100.00     | 100.00 | 68.44  | 13.07  | 4.83   | 2.27   | 23.32  | 48.21  | 29.98  | 6.67   | 0.68   | 0.42   | 70.24           | 1.87   | 6.38    | 17.60               |                                                                                     |             |  |  |
|                              |                            |            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |                 |        |         |                     |                                                                                     |             |  |  |
| เปอร์เซ็นต์การได้รับสารอาหาร |                            |            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |                 |        |         |                     | ค่าการประเมินแทน                                                                    |             |  |  |
| ปริมาณให้กิน                 | ปริมาณ                     | ให้กิน กก. | ปริมาณ | ปริมาณ | ปริมาณ | ปริมาณ | ปริมาณ | ปริมาณ | ปริมาณ | ปริมาณ | ปริมาณ | ปริมาณ | ปริมาณ | ปริมาณ          | ปริมาณ | ปริมาณ  | ต้นทุนต่อตัวต่อวัน  |                                                                                     |             |  |  |
|                              |                            | 17.60      | 12.05  | 1.57   | 0.58   |        | 2.81   | 5.81   | 3.61   | 0.80   | 0.08   | 0.05   | 8.46   | 0.16            |        |         | 112 บาท             |                                                                                     |             |  |  |
|                              | % ความต้องการ นม10         | %          | 115    | 103    | 113    |        | 191    | 154    | 164    |        | 131    | 119    | 126    | 92              |        |         | ผลลบแทนต่อตัวต่อวัน |                                                                                     |             |  |  |
| % ความต้องการ นม15           | %                          | 100        | 81     | 82     |        | 166    | 141    | 142    |        | 105    | 92     | 103    | 80     |                 |        |         | 294 บาท             |                                                                                     |             |  |  |
|                              |                            |            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |                 |        |         | ผลลบต่อตัวต่อวัน    |                                                                                     |             |  |  |
|                              |                            |            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |                 |        |         |                     | 182 บาท                                                                             |             |  |  |

รูปที่ 1 ลักษณะโดยย่อของโปรแกรม TRUdairyFeed

จังหวัดลพบุรีเป็นหนึ่งในพื้นที่ยุทธศาสตร์การเลี้ยงโคนมของประเทศ การศึกษาบริบทปัญหาในพื้นที่พบว่า เกษตรกรรายย่อยส่วนใหญ่ยังขาดเครื่องมือและต้องการมีทักษะในการปรับปรุงสูตรอาหาร การวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการถ่ายทอดความรู้ด้านอาหารโคนม อบรมเชิงปฏิบัติการการใช้โปรแกรมคำนวณสูตรอาหาร TRUdairyFeed ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของกลุ่มผู้เลี้ยงโคนม ต.ดัล อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี คาดหวังว่าจะสามารถพัฒนาศักยภาพเกษตรกรในการปรับปรุงสูตรอาหาร ลดต้นทุนการผลิต เพิ่มขีดความสามารถในการผลิตน้ำนม และเพิ่มคุณภาพน้ำนมให้สูงขึ้นซึ่งเป็นผลดีและช่วยเสริมสร้างความยั่งยืนให้กับระบบการจัดการฟาร์มโคนมในระยะยาว

## 2. วิธีการวิจัย

การพัฒนาศักยภาพผู้เลี้ยงโคนม พัฒนาการวิจัยแบบมีส่วนร่วม (Participatory research) กลุ่มผู้เลี้ยงโคนมเป็นเกษตรกรใน ต. ดัล อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี ซึ่งในพื้นที่มีจำนวน 61 ฟาร์ม มีโคนม 1,694 ตัว ในจำนวนนี้เป็นโคระยะรีดนม 625 ตัว [4] คัดเลือกเกษตรกรเข้าร่วมโครงการด้วยความสมัครใจ โดยมีคุณสมบัติสามารถร่วมอบรมในระยะเวลา 1 วัน มีความสนใจที่จะรับการถ่ายทอดองค์ความรู้ สามารถตัดสินใจเลือกใช้อัตราอาหารสัตว์และนำสูตรอาหารที่ได้หลังการอบรมไปใช้เลี้ยงโคนมของตนเองเป็นเวลา 3 เดือนสามารถให้ข้อมูลปริมาณและคุณภาพน้ำนมได้มีจำนวนทั้งหมด 10 คน มาจาก 10 ฟาร์ม

กรรมวิธีการถ่ายทอดองค์ความรู้ จัดอบรม ณ ฟาร์มเกษตรกรบ้านเลขที่ 88 ม. 4 ต.ดัล อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี เป็นเวลา 1 วัน ช่วงเช้าเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านอาหารโคนม บรรยายโดยผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารสัตว์จาก

สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดลพบุรี ในหัวข้อวัตถุดิบอาหารสัตว์ การใช้อาหารของโค และนวัตกรรมอาหารโคนม ช่วงบ่ายอบรมเชิงปฏิบัติการการใช้โปรแกรม TRUdairyFeed โดยนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี หัวข้อขั้นตอนการใช้โปรแกรมคำนวณสูตรอาหาร และให้เกษตรกรใช้โปรแกรมคำนวณสูตรอาหารโคนมของฟาร์มตนเอง

การเก็บบันทึกข้อมูลการยอมรับองค์ความรู้ ด้านการถ่ายทอดความรู้อาหารโคนม ด้านการอบรมเชิงปฏิบัติการใช้โปรแกรม TRUdairyFeed และด้านการปฏิบัติได้ของเกษตรกร เก็บจากค่าความพึงพอใจ โดยใช้แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่าคะแนน 1 ถึง 5 ประยุกต์ตามแบบของลิเคิร์ต (Likert Scale) ดัดแปลงจาก[5] แปลผลคะแนนการยอมรับองค์ความรู้เป็นร้อยละ (%) โดยคะแนนเต็ม 5 เท่ากับ 100% มุ่งเน้นที่การนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงและความสนใจในการใช้โปรแกรม ประเมิน ณ วันที่จัดอบรม ด้านการปฏิบัติได้ของเกษตรกรเก็บข้อมูลเพิ่มประเด็นผลสำเร็จการปรับปรุงสูตรอาหารหลังจากอบรมแล้ว 1 สัปดาห์ มุ่งเน้นให้ได้สูตรอาหารที่ดีก่อนตัดสินใจนำอาหารตามที่ได้รับสูตรใหม่ไปเลี้ยงโคนม

การเก็บบันทึกข้อมูลอาหารโคนมและการให้ผลผลิตน้ำนมของโค เก็บข้อมูลจากผู้เลี้ยงโคนมจำนวน 4 ฟาร์ม ที่เข้าร่วมโครงการผลิตพ่อพันธุ์โคนมทรอปิคอลโฮลสไตน์ (Master bull project) ด้วยความสมัครใจให้ข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลวัตถุดิบและโภชนาในอาหาร ราคาอาหาร ปริมาณและคุณภาพน้ำนม คำนวณต้นทุนและผลตอบแทนจากค่าอาหารในการให้ผลผลิตนม โดยเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงสูตรอาหารช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน พ.ศ.2568 และหลังการปรับปรุงสูตรอาหารช่วงเดือนกรกฎาคม-กันยายน พ.ศ. 2568

การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วางแผนการทดลองแบบเปรียบเทียบ 2 ปัจจัยที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Dependent) ปัจจัยที่ 1 คือ สูตรอาหารก่อนการปรับสูตร ปัจจัยที่ 2 คือ สูตรอาหารหลังการปรับสูตรด้วยโปรแกรม TRUdairyFeed มีหน่วยทดลองคือ แม่โคที่กำลังรีดนมจำนวนทั้งหมด 49 ตัว จาก 4 ฟาร์ม (แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามความแตกต่างของสูตรอาหารแต่ละกลุ่มมี 2 ฟาร์มย่อย) แต่ละฟาร์มวัวได้รับอาหารที่เป็นปัจจัยการทดลอง ปัจจัยที่ 1 เสร็จแล้วจึงได้รับปัจจัยที่ 2 ตามลำดับ วิเคราะห์ข้อมูลการยอมรับองค์ความรู้จากค่าความพึงพอใจของเกษตรกรด้วยสถิติค่าเฉลี่ย (Mean,  $\bar{X}$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; SD) และค่าร้อยละ (Percentage; %) วิเคราะห์ข้อมูลผลตอบแทนการเลี้ยงจากค่าอาหารด้วยสถิติค่าความถี่ (Frequency) วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำนม (แยกฟาร์ม) และคุณภาพน้ำนม (รวมทุกฟาร์ม) ด้วยสถิติค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและหลังการปรับสูตรอาหาร โดยใช้สถิติการเปรียบเทียบแบบคู่สัมพันธ์ (Paired sample T-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 [6]

### 3. ผลและอภิปรายผล

การยอมรับองค์ความรู้จากค่าความพึงพอใจของผู้เลี้ยงโคนมทุกด้านมีค่าเฉลี่ย 4.14 (82.77%) ผลการศึกษาแต่ละด้านแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าด้านการถ่ายทอดความรู้อาหารโคนมมีค่า 86.67% มีจุดเด่นที่เนื้อหามีประโยชน์ต่อการเลี้ยงโคนม ด้านการอบรมเชิงปฏิบัติการใช้โปรแกรม TRUdairyFeed มีค่า 82.00% พบข้อจำกัดที่การคาดว่าจะนำไปใช้ต่อที่มีค่า 76.00% เพราะเกษตรกรมีแนวโน้มที่จะหยุดเลี้ยงโคนมเนื่องจากผลตอบแทนไม่มาก และลูกหลานไม่สนใจที่จะสืบทอดกิจการ ด้านการปฏิบัติได้ของเกษตรกรมีค่า 81.20% พบข้อจำกัดที่ ผลการใช้โปรแกรมขั้นต้น ณ วันที่ร่วมอบรมมีค่า 66.00% ทั้งนี้เพราะผู้รับการอบรมส่วนมากเป็นผู้สูงอายุ (อายุเฉลี่ย 52 ปี) ไม่มีพื้นฐานการใช้คอมพิวเตอร์ จึงทำให้การคำนวณสูตรอาหารไม่สามารถสำเร็จผลได้โดยใช้เวลาเพียง 3 ชั่วโมง ผลการศึกษาสอดคล้องกับ[7] ที่ระบุว่า การส่งเสริมการใช้นวัตกรรมต่อเกษตรกรต้องพิจารณาความสอดคล้องตามหลักปฏิบัติ วิถีชีวิต เศรษฐกิจชุมชน การนำไปใช้ประโยชน์ และการมีส่วนร่วมของชุมชน ตลอดจนต้องใช้เวลาพอสมควรในกระบวนการถ่ายทอดองค์ความรู้และนวัตกรรมเทคโนโลยี จึงจะสามารถบรรลุผลสำเร็จได้อย่างยั่งยืน

ตารางที่ 1 การยอมรับองค์ความรู้ของผู้เลี้ยงโคนม

| รายการ                                 | $\bar{X} \pm SD$ | เปอร์เซ็นต์ |
|----------------------------------------|------------------|-------------|
| <b>การถ่ายทอดความรู้อาหารโคนม</b>      |                  |             |
| เนื้อหาเหมาะสมกับชุมชน                 | 4.20±0.63        | 84.00       |
| มีประโยชน์ต่อการเลี้ยงโคนม             | 4.60±0.52        | 92.00       |
| สามารถนำไปใช้ได้จริง                   | 4.20±0.63        | 84.00       |
| เฉลี่ย                                 | 4.33±0.59        | 86.67       |
| <b>การอบรมเชิงปฏิบัติการใช้โปรแกรม</b> |                  |             |
| ครอบคลุมสิ่งที่ต้องการทราบ             | 4.10±0.74        | 82.00       |
| ความเหมาะสมกับชุมชน                    | 4.40±0.70        | 88.00       |
| ความง่ายในการใช้                       | 4.00±0.67        | 80.00       |
| มีประโยชน์ใช้ได้จริง                   | 4.20±0.79        | 84.00       |
| คาดว่าจะนำไปใช้ต่อ                     | 3.80±0.63        | 76.00       |
| เฉลี่ย                                 | 4.10±0.71        | 82.00       |
| <b>การปฏิบัติได้ของเกษตรกร</b>         |                  |             |
| ความกล้าใช้                            | 3.90±0.74        | 78.00       |
| ความสนใจที่จะลองใช้                    | 4.00±0.82        | 80.00       |
| ความพึงพอใจต่อโปรแกรม                  | 4.60±0.52        | 92.00       |
| ผลการใช้โปรแกรมขั้นต้น                 | 3.30±0.98        | 66.00       |
| ผลปรับปรุงสูตรอาหาร                    | 4.50±0.52        | 90.00       |
| เฉลี่ย                                 | 4.06±0.71        | 81.20       |
| เฉลี่ยทุกด้าน                          | 4.14±0.68        | 82.77       |

หมายเหตุ:  $\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ย, SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n = 10

ส่วนประกอบสูตรอาหารโคนม ลักษณะสูตรอาหารก่อนและหลังปรับสูตรแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งได้จากผู้เลี้ยงโคนม 2 กลุ่ม (แหล่งรับซื้อน้ำนมดิบ) กลุ่มละ 2 ฟาร์ม พบว่า วัตถุดิบอาหารหยาบมีใช้ไม่หลากหลาย หลัาสดปลูกใช้เอง มีทั้งปริมาณพอใช้และไม่พอใช้ตลอดปี พางข้าวและต้นข้าวโพดหมักซื้อจากสหกรณ์ วัตถุดิบอาหารข้นทุกฟาร์มซื้อจากสหกรณ์ ผู้เลี้ยงโคนมที่ร่วมโครงการไม่สามารถซื้อวัตถุดิบจากต่างพื้นที่เพราะมีข้อจำกัดด้านทุนทรัพย์ จึงใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นและตามที่สหกรณ์จำหน่ายผ่านระบบสินเชื่อ ลักษณะสูตรอาหาร ข้อมูลของผู้เลี้ยงโคนมกลุ่มที่ 1 และ 2 ก่อนการปรับสูตรมีสัดส่วนอาหารหยาบ 55.77% และ 75.62% ตามลำดับ หลังปรับมีสัดส่วนอาหารหยาบ 54.31% และ 60.46% ตามลำดับ ซึ่งเป็นสัดส่วนอาหารหยาบที่เหมาะสมสำหรับโคระยะให้นมที่นมไม่มาก [8] ทั้งสองกลุ่มอาหารข้นมีวัตถุดิบของแหล่งโปรตีนและวิตามินในสูตร แต่ขาดแหล่งแร่ธาตุหลัก นอกจากนี้นักกลุ่มที่ 2 ยังมีปริมาณโปรตีนน้อย หลัง

การปรับสูตรทั้งสองกลุ่มมีสารอาหารใกล้เคียงกัน ในสูตรมีการเสริมด้วยหินปูนและ ไคแคลเซียมฟอสเฟต มีเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (NDF) ลดลง กลุ่มที่ 2 มีโปรตีนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามทั้งสองกลุ่มมีพลังงานสุทธิเพื่อการสร้างนม (NE<sub>L</sub>) ไม่เพียงพอตามที่ต้องการคือ 1.6 เมกะแคลอรี/กิโลกรัม (Mcal/Kg) [3] และ [9] อาหารกลุ่มที่ 2 มีราคาแพงขึ้นแต่ยังไม่เท่ากับราคาอาหารที่เอ็มอาร์ (TMR) ของสหกรณ์โคนมที่จำหน่ายราคา กิโลกรัมละ 11 บาท (ข้อมูลจากผู้เลี้ยงโคนมที่ร่วมโครงการ)

ต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยง เมื่อพิจารณาเฉพาะค่าอาหารแสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ก่อนและหลังปรับสูตรอาหารทั้ง 2 กลุ่มมีราคาเฉลี่ย 4.64 บาท/กก. และ 5.50 บาท/กก. ตามลำดับ (หลังการปรับสูตรอาหารมีราคาเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.86 บาท/กก.) แต่การปรับสูตรอาหารส่งผลให้สามารถลดปริมาณการกินอาหารของโคลดลงเฉลี่ย 5.75 กก./ตัว/วัน จึงทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตน้ำนม 1 กก. จากก่อนปรับสูตร 9.81 บาท หลังปรับสูตรลดลงเป็น 8.85 บาท (เฉลี่ยลดลง 0.96 บาท/กก.) หรือลดลง 5.88 บาท/ตัว/วัน ขณะที่ได้ปริมาณน้ำนมเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.79 กก./ตัว/วัน ทำให้ได้ผลตอบแทนเพิ่มขึ้น 16.74 บาท/ตัว/วัน โดยต้นทุนการผลิตน้ำนมดิบของประเทศไทยปี 2563 [1] ระบุว่าเท่ากับ 14.70 บาท/กก. เป็นต้นทุนผันแปร 85.03% ในจำนวนนี้เป็นค่าอาหารหยาบและอาหารข้น 65.89% (9.68 บาท/กก.) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การปรับสูตรโดยใช้โปรแกรม TRUdairyFeed ในครั้งนี้ช่วยลดต้นทุนการผลิตด้านราคาอาหารของผู้เลี้ยงโคนมได้จริง

ปริมาณน้ำนมโคก่อนและหลังปรับสูตรอาหารแสดงดังตารางที่ 4 ก่อนการปรับสูตรโคให้นมเฉลี่ย 13.49 กก./ตัว/วัน ซึ่งมากกว่ารายงานของ[1] ที่ระบุว่า โคนมในประเทศไทยให้นมเฉลี่ย 11.00 กก./ตัว/วัน แต่น้อยกว่า[8] ที่รายงานไว้ว่า โคนมในประเทศไทยส่วนมากเป็นลูกผสม 87% ไฮสโตร์ ฟรีเซียนให้นมเฉลี่ย 14.60 กก./ตัว/วัน แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ยังไม่สอดคล้องกับศักยภาพของพันธุ์โคนม หลังการปรับสูตรและนำอาหารไปเลี้ยงโคนมในฟาร์มของเกษตรกร โดยการเลี้ยงการดูแลแบบเดิม ให้กินอาหารแบบ

แยกอาหารหยาบอาหารข้น เพราะไม่สามารถผลิตอาหารที่เอ็มอาร์ (TMR) ให้โคกินได้ พบว่าปริมาณน้ำนมโคเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.79 กก./ตัว/วัน เป็น 14.29 กก./ตัว/วัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการปรับสูตรอาหารให้มี โภชนามากขึ้นแต่หาก RUP และพลังงาน (NE<sub>L</sub>) ยังไม่เพียงพอการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำนมโคจะเพิ่มเพียงเล็กน้อย [10] ระบุว่าปริมาณพลังงานจากอาหารหากมีไม่เพียงพอจะทำให้หลังฮอร์โมนเพื่อสลายไขมันสะสม (Adipose tissue) ออกมาเป็นกรดไขมันอิสระในกระแสเลือดเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งส่งผลเสียต่อดัชนี (เช่น เกิดสภาวะไขมันพอกตับ) และทำให้กระบวนการสร้างน้ำตาลกลูโคส (Gluconeogenesis) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักของน้ำนมลดลงส่งผลให้ปริมาณน้ำนมลดลงตามไปด้วย เมื่อแยกวิเคราะห์ก่อนและหลังปรับสูตรแต่ละฟาร์มจึงมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P-value>0.05) อย่างไรก็ตามเมื่อรวมจำนวนโครีดนมจากทั้ง 4 ฟาร์มกลับพบว่า มีแนวโน้มที่โคให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น (P-value = 0.07) ซึ่งน่าสนใจอย่างยิ่งหากมีจำนวนโครีดนม และจำนวนฟาร์มโคนมที่สามารถให้ข้อมูลปริมาณและคุณภาพน้ำนมเข้าร่วมโครงการมากกว่านี้

ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าคุณภาพน้ำนม ทุกรายการของส่วนประกอบที่บ่งถึงคุณภาพน้ำนมในการวิจัยนี้มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติระหว่างก่อนและหลังการปรับสูตรอาหาร (P-value>0.05) อย่างไรก็ตามหลังการปรับสูตรทุกฟาร์มมีคุณภาพน้ำนมดีขึ้นเป็นไปตามประกาศของ[11] ดังตารางที่ 5 โดยปริมาณไขมัน แลคโตส เนื่อนมไม่รวมไขมัน เนื่อนมรวม มีค่ามากขึ้นกว่าก่อนการปรับสูตรอาหารและผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการรับซื้อของสหกรณ์โคนม จำนวนโซมาติกเซลล์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการรับซื้อและมีจำนวนลดลงจาก 481.75 เป็น 109.00 (x1000 cell/ml) แต่ปริมาณโปรตีนยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของและลดลงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลจากในสูตรอาหารมีพลังงาน (NE<sub>L</sub>) ไม่เพียงพอกับความ ต้องการของโคนม[10] (เป็นไปตามที่แจ้งไว้ก่อนใช้เลี้ยงสัตว์) เนื่องจากผู้เลี้ยงโคนมเลือกใช้วัตถุดิบอาหารเฉพาะตามที่มี และหาได้ง่ายในท้องถิ่น ไม่สามารถจัดหาวัตถุดิบแหล่งโปรตีนที่มีโปรตีนที่ไม่สลายในกระเพาะรูเมนสูง และวัตถุดิบที่มีพลังงานสูงได้ เพราะทุนทรัพย์มีจำกัด

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบสูตรอาหารโคนมที่ใช้โปรแกรม TRUdairyFeed ปรับโดยการมีส่วนร่วมของเกษตรกร

| รายการสูตรอาหาร                               | กลุ่มที่ 1 |          | กลุ่มที่ 2 |          |
|-----------------------------------------------|------------|----------|------------|----------|
| วัตถุดิบ (%)                                  | ก่อนปรับ   | หลังปรับ | ก่อนปรับ   | หลังปรับ |
| ฟางข้าว                                       | 16.68      | 16.24    | 21.39      | 1.36     |
| ข้าวโพด ต้นรวมเปลือกฝักหมัก                   | 39.09      | 38.07    | 23.92      | 40.67    |
| หญ้าหูก 45 วัน                                |            |          | 30.3       | 18.44    |
| รวมอาหารหยาบ                                  | 55.77      | 54.31    | 75.62      | 60.46    |
| กากข้าวโพดหมักยีสต์สด                         | 15.64      | 16.5     |            |          |
| กากถั่วเหลือง 46                              | 1.3        | 2.79     |            | 5.69     |
| อาหารสำเร็จ 18%CP                             | 26.06      | 24.11    |            | 24.4     |
| อาหารสำเร็จ 16%CP                             |            |          |            | 8.13     |
| อาหารสำเร็จ 14%CP                             |            |          | 23.92      |          |
| ผงฟู                                          |            |          | 0.09       |          |
| ไคแคลเซียมฟอสเฟต (Ca30%:P14%)                 |            | 0.51     |            | 0.87     |
| หินปูน (Ca 34%)                               |            | 0.43     |            |          |
| เกลือ                                         |            | 0.15     |            | 0.17     |
| พรีมิกซ์วิตามิน แร่ธาตุรอง                    | 0.18       | 0.18     | 0.09       | 0.07     |
| อีโพร                                         |            |          | 0.18       | 0.14     |
| พรีมิกซ์แร่ธาตุ อสค.                          |            |          | 0.09       | 0.07     |
| นมหมักกากน้ำตาล (60:40)                       | 1.04       | 1.02     |            |          |
| รวมอาหารข้น (%)                               | 44.23      | 45.69    | 24.38      | 39.54    |
| รวมวัตถุดิบ (%)                               | 100        | 100      | 100        | 100      |
| <b>โภชนะ (คำนวณ) % DM</b>                     |            |          |            |          |
| สิ่งแห้ง (DM)                                 | 58.84      | 59.03    | 55.68      | 53.29    |
| โปรตีน (CP)                                   | 14.52      | 15       | 9.27       | 14.27    |
| โปรตีนที่ไม่ละลายในรูเมน (RUP)                | 5.55       | 5.18     | 3.5        | 5.3      |
| ไขมัน (EE)                                    | 3.68       | 3.7      | 2.27       | 2.23     |
| เยื่อใย (CF)                                  | 22.21      | 21.81    | 27.04      | 21.85    |
| เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (NDF) | 45.83      | 44.63    | 55.75      | 44.94    |
| เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (ADF)  | 25.92      | 25.1     | 32.2       | 26.03    |
| เถ้าทั้งหมด (Total ash)                       | 5.09       | 6.92     | 7.05       | 4.44     |
| แคลเซียม (Ca)                                 | 0.36       | 0.64     | 0.42       | 0.65     |
| ฟอสฟอรัส (P)                                  | 0.38       | 0.45     | 0.25       | 0.45     |
| โภชนะที่ย่อยทั้งหมด (TDN)                     | 70.7       | 71.22    | 60.58      | 69.92    |
| พลังงาน (NE <sub>L</sub> , Mcal/Kg)           | 1.42       | 1.41     | 1.23       | 1.39     |
| ราคา (บาท/กก.)                                | 4.89       | 4.94     | 4.36       | 6.06     |

ตารางที่ 3 ต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยงจากค่าอาหารก่อนและหลังปรับสูตร

| กลุ่ม/<br>ฟาร์ม | ปรับสูตร | อาหารที่กิน<br>(กก./วัน) | ราคาอาหาร<br>(บาท/กก.) | ทุนอาหาร<br>(บาท/วัน/ตัว) | ปริมาณนม<br>(กก./วัน/ตัว) | ราคานม<br>(บาท/กก.) | ผลตอบแทน<br>(บาท/ตัว/วัน) |
|-----------------|----------|--------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| 1/1             | ก่อน     | 25                       | 4.89                   | 122.25                    | 13.28                     | 21                  | 278.88                    |
|                 | หลัง     | 23                       | 4.94                   | 113.62                    | 13.68                     | 21                  | 287.07                    |
| 1/2             | ก่อน     | 27                       | 5.11                   | 137.97                    | 12.57                     | 21                  | 263.97                    |
|                 | หลัง     | 23                       | 4.94                   | 113.62                    | 13.38                     | 21                  | 280.98                    |
| 2/1             | ก่อน     | 33                       | 4.36                   | 143.88                    | 14.80                     | 21                  | 310.80                    |
|                 | หลัง     | 23                       | 6.06                   | 139.38                    | 15.13                     | 21                  | 317.73                    |
| 2/2             | ก่อน     | 30                       | 4.18                   | 125.4                     | 13.33                     | 21                  | 279.93                    |
|                 | หลัง     | 23                       | 6.06                   | 139.38                    | 14.98                     | 21                  | 314.58                    |
| เฉลี่ย          | ก่อน     | 28.75                    | 4.64                   | 132.38                    | 13.50                     | 21.00               | 283.40                    |
|                 | หลัง     | 23.00                    | 5.50                   | 126.50                    | 14.29                     | 21.00               | 300.14                    |

หมายเหตุ : ราคามาตรฐานน้ำมันดิบเดือน ส.ค. 2568

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำนมโคของเกษตรกรก่อนและหลังปรับสูตรอาหาร

| กลุ่ม/ฟาร์ม | ก่อนปรับสูตรอาหาร | หลังปรับสูตรอาหาร | P-value |
|-------------|-------------------|-------------------|---------|
| 1/1         | 13.28±3.44 (n=13) | 13.68±3.97 (n=13) | 0.23    |
| 1/2         | 12.57±2.80 (n=9)  | 13.38±3.33 (n=9)  | 0.63    |
| 2/1         | 14.80±3.15 (n=16) | 15.13±3.34 (n=14) | 0.57    |
| 2/2         | 13.33±3.13 (n=11) | 14.98±3.24 (n=11) | 0.17    |
| เฉลี่ยรวม   | 13.49±3.17 (n=49) | 14.29±3.46 (n=47) | 0.07    |

หมายเหตุ: ก่อนปรับสูตรอาหารข้อมูล เม.ย. 2568 ถึง มิ.ย. 2568 หลังปรับสูตรอาหารข้อมูล ก.ค. 2568 ถึง ก.ย. 2568,

n = จำนวนตัวโครีตนมเฉลี่ยในเดือนที่เก็บข้อมูล, น้ำค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำนมของแต่ละเดือน แต่ละฟาร์ม แยกเป็น 3 ระยะการให้นมของโคก่อนนำตัวเลขเข้าทดสอบค่าทางสถิติ, P-value = Paired sample T-test

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติคุณภาพน้ำมันดิบของเกษตรกรก่อนและหลังปรับสูตรอาหาร

| รายการ: มาตรฐานคุณภาพน้ำมันดิบ          | ก่อนปรับสูตรอาหาร    | หลังปรับสูตรอาหาร   | P-value |
|-----------------------------------------|----------------------|---------------------|---------|
| ไขมัน: ≥3.40%                           | 3.77±0.35 (n=12)     | 3.80±0.05 (n=12)    | 0.86    |
| โปรตีน: ≥3.0%                           | 2.92±0.23 (n=12)     | 2.86±0.12 (n=12)    | 0.67    |
| แลคโตส                                  | 4.68±0.17 (n=12)     | 4.78±0.04 (n=12)    | 0.41    |
| เนื้อมันไม่รวมไขมัน: ≥8.35%             | 8.37±0.35 (n=12)     | 8.45±0.10 (n=12)    | 0.60    |
| เนื้อมันรวม: ≥12.15%                    | 12.18±0.69 (n=12)    | 12.24±0.06 (n=12)   | 0.87    |
| จำนวนโซมาติกเซลล์: ≤500 (x1000 cell/ml) | 481.75±385.32 (n=12) | 109.00±19.15 (n=12) | 0.16    |

หมายเหตุ: ก่อนปรับสูตรอาหารเก็บข้อมูล เม.ย. 2568 ถึง มิ.ย. 2568 หลังปรับสูตรอาหารเก็บข้อมูล ก.ค. 2568 ถึง ก.ย. 2568,

n = จำนวนฟาร์มXจำนวนใบรายงานผลตรวจคุณภาพน้ำมันประจำเดือน, P-value = Paired sample T-test

#### 4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

##### สรุป

1) การพัฒนาศักยภาพผู้เลี้ยงโคนมใน ต.ดิลัง อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี โดยการถ่ายทอดความรู้ด้านอาหารโคนม และอบรมเชิงปฏิบัติการการใช้โปรแกรม TRUdairyFeed และการปฏิบัติได้ของเกษตรกร มีการยอมรับองค์ความรู้ระดับดี (4.14 จาก 5.00) หรือ 82.77%

2) การใช้โปรแกรม TRUdairyFeed คำนวณสูตรอาหาร ทำให้ได้อาหารมีปริมาณและสัดส่วนโภชนะสอดคล้องกับความต้องการของโคระยะให้นมมากขึ้น แต่ผู้เลี้ยงโคนมมีทุนทรัพย์จำกัด เน้นใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น สูตรอาหารจึงมีโปรตีนที่ไม่สลายในรูเมนและพลังงานสุทธิเพื่อการสร้างนมไม่เพียงพอ ราคาอาหารมีค่าเฉลี่ย 5.50 บาท/กก.

3) ผลตอบแทนและการให้ผลผลิตน้ำนมโค ปริมาณอาหารที่กินของโคลดลง 5.75 กก./ตัว/วัน ต้นทุนค่าอาหารลดลง 5.88 บาท/ตัว/วัน ได้ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 14.29 กก./ตัว/วัน (เพิ่มขึ้น 0.79 กก./ตัว/วัน) มีผลตอบแทนการเลี้ยงเพิ่มขึ้นวันละ 16.74 บาท/ตัว/วัน คุณภาพน้ำนมโคดีขึ้นโดยมีไขมัน แลคโตส เนื่อนมไม่รวมไขมัน เนื่อนมรวมมากขึ้น จำนวนโซมาติกเซลล์ลดลง แต่โปรตีนยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานรับซื้อ ทุกรายการมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติระหว่างก่อนและหลังการปรับสูตรอาหาร

##### ข้อเสนอแนะ

1) ผู้เลี้ยงโคนมที่ร่วมโครงการเป็นผู้สูงอายุซึ่งมีข้อจำกัดด้านทักษะดิจิทัล ส่งผลให้การอบรมเชิงปฏิบัติการการใช้โปรแกรม TRUdairyFeed ผ่านระบบคอมพิวเตอร์ไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้ในระยะเวลาอันสั้น การดำเนินโครงการครั้งต่อไปควรขยายระยะเวลาในการฝึกอบรมให้เหมาะสมหรือพิจารณาให้บุตรหลานเข้าร่วมเป็นเครือข่ายสนับสนุนในการเรียนรู้เทคโนโลยี

2) ผู้เลี้ยงโคนมควรปลูกพืชอาหารหยาบไว้ใช้เองและทำพืชอาหารหมักเพื่อเพิ่มคุณภาพอาหารและลดราคาวัตถุดิบ และต้องจัดหาแหล่งโปรตีนและแหล่งพลังงานใช้เลี้ยงโคนม เพราะส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพน้ำนมที่จะได้รับ

3) การใช้โปรแกรม TRUdairyFeed เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้ผู้เลี้ยงโคนมสามารถปรับปริมาณวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ตามเหมาะสม ช่วยให้ควบคุมต้นทุนค่าอาหาร และช่วยลดความเสี่ยงการขาดอาหารลงได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ปีงบประมาณ 2568

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dairy Development Strategy Review Committee, The 1<sup>st</sup> action plan for dairy cattle and dairy products (2021–2027). [Online]. (2021). [Cited November 25, 2024]. Available: [https://dld.go.th/th/images/stories/law/draft/biotech/25640607/final\\_plan25640607.pdf](https://dld.go.th/th/images/stories/law/draft/biotech/25640607/final_plan25640607.pdf). (in Thai).
- [2] A. Jupamatta, D. Boonkusol, P. Saekhow, P. Daengkham, D. Alai, I. Ngoensawang and J. Suksaprasert, *A study on the context and utilization of local feed resources and agricultural by-products as animal feed for large-scale ruminant farmer groups in Lopburi province*. Upper Central Region Research Network, Research Rep., 2024. (in Thai).
- [3] A. Jupamatta, *Animal feed production: Local feed resources and innovations*. Agriculture and Innovation Program, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi, Thailand, 2025. (in Thai).
- [4] Information and Statistics Group, Information and Communication Technology Center, Department of Livestock Development, "Report on the number of dairy farmers and dairy cattle in Lopburi province 2026", Lopburi Provincial Livestock Office, Thailand, 2026.
- [5] T. Phongchongmit and T. Norrapoke, "The study on situation of beef cattle and satisfaction of farmers in Kalasin province", *KKU Veterinary Journal*, vol 29, no. 1. pp. 15-22, Jan.-Jun. 2019. (in Thai).
- [6] K. Wanichpuncha, *Using SPSS for windows in data analysis*. (16th ed.), Department of Statistics, Faculty of Commerce and Accountancy, Chulalongkorn University, Bangkok, 2010. (in Thai).
- [7] J. Kanchanakaroon and W. Wongchaya, "Adoption of agricultural innovation and technology in Yonglae village community", *RMUTP Research Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 92-101, March. 2010. (in Thai).

- [8] W. Phattharachinda, *TMR for dairy cattle premium*. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, [Online]. (2021). [Cited July 25, 2025]. Available: [https://nutrition.dld.go.th/nutrition/images/pdf/IDP/use\\_264.pdf](https://nutrition.dld.go.th/nutrition/images/pdf/IDP/use_264.pdf). (in Thai).
- [9] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Nutrient requirements of dairy cattle*. (8<sup>th</sup> ed.), Washington, DC, [Online]. (2021). [Cited June 20, 2024]. Available: <https://https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK600587/>.
- [10] H. Martens, “Invited review: Increasing milk yield and negative energy balance: A gordian knot for dairy cows?”, *Animals*, vol 13, no. 19, Art. no. 3097, Oct. 2023. Available: <https://doi.org/10.3390/ani13193097>.
- [11] Dairy and Dairy Products Committee, *Notification of the dairy and dairy products committee on raw milk purchasing standards (B.E. 2015)*. [Online]. (2015). [Cited December 28, 2025]. Available: <https://www.dpo.go.th/wpcontent/uploads/2013/12/Announcedpurchaserawmilk2015.pdf>. (in Thai).

# การวิเคราะห์พฤติกรรมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบต่อการจัดการโหลด : กรณีศึกษาแพลตฟอร์ม PEA Volta EV Charging Behavior and Distribution Load Management : A Case Study from the PEA Volta Platform

สุรพงษ์ แก่นมณี<sup>1</sup>, นรินทร์ กุลนภาดล<sup>2</sup>, ชัชวาล นิมโรธรม<sup>2</sup> และ อภิชาติ สังข์ทอง<sup>3\*</sup>  
Surapong Keanmanee<sup>1</sup>, Narin Koolnapadol<sup>2</sup>, Chatchawal Nimrotham<sup>2</sup>  
and Apichart Sungthong<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์สมัยใหม่ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

<sup>3</sup>สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

<sup>1</sup>Department of Electrical and Energy Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

<sup>2</sup>Department of Modern Automotive Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

<sup>3</sup>Department of Applied Physics, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

\*Email: apichart.sun@rru.ac.th

Received: April 11, 2026; Revised: June 8, 2026; Accepted: June 11, 2026

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) ของลูกค้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จากข้อมูลจริงจำนวน 48,752 ครั้งการอัดประจุ จากสถานี DC Fast Charger จำนวน 124 สถานีที่ติดตั้งโดยบริษัท พีจี อีเล็คทริก กรุ๊ป จำกัด และเชื่อมต่อกับระบบ PEA Volta ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2567 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 (14 เดือน) ผลการวิเคราะห์พบว่า ผู้ใช้บริการเลือกช่วง Off-Peak (22:00–09:00 น.) สูงถึง 62.2% (เทียบกับ Peak 37.8%) โดยมีอัตราส่วน Off-Peak:Peak  $\approx 1.65:1$  พลังงานเฉลี่ยต่อครั้งในช่วง Off-Peak สูงกว่าช่วง Peak 57.2% (29.4 kWh เทียบกับ 18.7 kWh) การอัดประจุเต็ม 100% SoC เกิดขึ้น 41.7% ใน Off-Peak เทียบกับเพียง 12.3% ใน Peak การใช้บริการกระจุกตัวในภาคกลางและภาคตะวันออกถึง 81.5% และ หั้วชาร์จ CCS Combo II ได้รับความนิยมสูงสุด (64.1%) โดยพบว่าโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time-of-Use (TOU) ช่วยกระจายโหลดการอัดประจุและลด Peak Charging Demand ได้ประมาณ 24–28% ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการติดตั้งสถานี การกำหนดอัตราค่าบริการแบบไดนามิก และการพัฒนาระบบ Smart Charging เพื่อรองรับการเติบโตของ EV ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทั้งนี้ ข้อมูลจำนวน 48,752 ครั้งการอัดประจุถูกใช้สำหรับการวิเคราะห์สถิติระดับระบบและการกำหนดบริบทการวิจัย ขณะที่กลุ่มตัวอย่างตัวแทนจำนวน 86 ครั้งจาก 12 จังหวัดถูกใช้สำหรับการวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมที่นำเสนอในส่วนผลการวิจัย

**คำสำคัญ :** รถยนต์ไฟฟ้า, การอัดประจุแบบเร็วด้วยไฟตรง, พฤติกรรมผู้ใช้, อัตราค่าไฟฟ้าตามการใช้งาน, การจัดการโหลด, PEA Volta, ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

## Abstract

This study aims to analyze the Electric Vehicle (EV) charging behavior of Provincial Electricity Authority (PEA) customers based on real-world data comprising 48,752 charging sessions collected from 124 DC Fast Charger stations installed by P.G. Electric Group Co., Ltd. and integrated with the PEA Volta platform. The analysis covers the 14 month period from January 2024 to February 2025. The results reveal that users predominantly choose to charge during Off-Peak hours (22:00–09:00) accounting for 62.2% of total sessions,

compared to 37.8% during Peak hours, yielding an Off-Peak to Peak session ratio of approximately 1.65:1. The average energy delivered per session during Off-Peak periods was 57.2% higher than during Peak periods (29.4 kWh versus 18.7 kWh). Full charging to 100% state of charge (SoC) occurred in 41.7% of Off-Peak sessions, in contrast to only 12.3% of Peak sessions. Charging activity was heavily concentrated in the Central and Eastern regions, which together accounted for 81.5% of all sessions. The CCS Combo II connector was the most frequently used standard, representing 64.1% of total charging events. The findings indicate that the Time-of-Use (TOU) tariff structure effectively shifted charging demand away from peak periods, resulting in an estimated reduction of Peak Charging Demand by approximately 24–28%. These results provide valuable insights for strategic planning of charging infrastructure expansion, implementation of dynamic pricing mechanisms, and development of smart charging systems to support the continued growth of electric vehicles within the distribution network. Note: The total dataset of 48,752 charging sessions was used for system-level statistical analysis and contextual framing, while a representative sub-sample of 86 sessions across 12 provinces was used for behavioral pattern analysis presented in the results section.

**Keywords :** Electric Vehicle (EV), DC Fast Charging, User Charging Behavior, Time-of-Use (TOU) Pricing, Load Management, PEA Volta, Distribution System.

## 1. บทนำ

ในปัจจุบัน ปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะภาวะโลกร้อน ได้รับความสนใจอย่างมากจากนานาประเทศและองค์กรระหว่างประเทศ ปัญหาที่ถูกยกให้มีความสำคัญสูงสุด ได้แก่ ปัญหาโลกร้อน ปัญหาขยะพลาสติก มลพิษทางน้ำ ภาวะขาดแคลนน้ำ และมลพิษทางอากาศ โดยปัญหาโลกร้อนถูกมองว่าเป็นภัยคุกคามที่รุนแรงที่สุดต่อมนุษยชาติ เนื่องจากส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ การเกษตร ความมั่นคงทางอาหาร และสุขภาพประชาชนในวงกว้างสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อนมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) จากกิจกรรมมนุษย์ [1] สำหรับประเทศไทย ในปี 2565 ภาคการขนส่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> ราว 29–30% ของปริมาณการปล่อยทั้งประเทศ ซึ่งสูงเป็นอันดับต้น ๆ เมื่อเทียบกับสาขาเศรษฐกิจอื่น ๆ [2] การใช้รถยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ PM2.5 และภาวะโลกร้อนเพื่อลดผลกระทบดังกล่าว แนวคิดพลังงานสะอาด พลังงานทดแทน และนวัตกรรมยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) จึงถูกนำมาใช้เป็นกลยุทธ์สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจสีเขียว [3] รถยนต์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ (1) รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV) (2) รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV) (3) รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) และ (4) รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) โดยเฉพาะ BEV ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว จึงไม่ก่อให้เกิดการปล่อยมลพิษทางอากาศโดยตรง [4] รัฐบาลไทยได้ให้ความสำคัญกับการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าอย่างจริงจัง ผ่านนโยบาย 30@30 ของ

คณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติ โดยตั้งเป้าหมายภายในปี พ.ศ. 2573 จะผลิตรายานยนต์ไฟฟ้า Zero Emission Vehicle (ZEV) ได้ไม่น้อยกว่า 30% ของการผลิตรถยนต์ทั้งหมด [5] นโยบายนี้ถือเป็นกลไกสำคัญในการผลักดันประเทศไทยสู่สังคมคาร์บอนต่ำ (Low-Carbon Society) และลดการพึ่งพาน้ำมันเชื้อเพลิงนำเข้า อย่างไรก็ตามการเติบโตอย่างรวดเร็วของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าได้สร้างความท้าทายใหม่ให้กับระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะระบบจำหน่ายไฟฟ้า การอัดประจุไฟฟ้าพร้อมกันของผู้ใช้ EV จำนวนมาก (simultaneous charging) โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak hours) อาจก่อให้เกิดแรงกดดันต่อโครงข่ายไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก หม้อแปลงไฟฟ้า overload และเพิ่มต้นทุนการลงทุนโครงสร้างพื้นฐาน [6] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งรับผิดชอบการจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่นอกเขตกรุงเทพฯ กว่า 74 จังหวัด ได้พัฒนาแพลตฟอร์ม PEA Volta เป็นระบบดิจิทัลเพื่อรองรับการอัดประจุไฟฟ้า โดยมีเป้าหมายขยายสถานีอัดประจุให้ครอบคลุมเส้นทางหลักและแหล่งท่องเที่ยวทั่วประเทศ อย่างไรก็ตาม แม้จะมีโครงสร้างพื้นฐาน แต่ยังคงขาดข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ครอบคลุมเกี่ยวกับพฤติกรรมการอัดประจุจริงของผู้ใช้ โดยเฉพาะภายใต้โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time-of-Use (TOU) งานวิจัยต่างประเทศในช่วงปี 2020–2026 พบว่าโครงสร้าง TOU สามารถช่วยกระจายโหลดการอัดประจุได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในบางกรณีอาจก่อให้เกิด “Shadow Peaks” ซึ่งเป็นยอดโหลดใหม่ในช่วง Off-Peak หากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม [7] นอกจากนี้ระบบ Smart Charging และ Vehicle-to-Grid (V2G) ถูก

เสนอเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มความยืดหยุ่นของโครงข่ายไฟฟ้า [11, 12] เนื่องจากยังมีช่องว่างในการศึกษาพฤติกรรมการอัดประจุของผู้ใช้ EV ในบริบทประเทศไทย โดยเฉพาะข้อมูลจริงจากสถานี DC Fast Charger การวิจัยนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ในการวิเคราะห์ข้อมูลจริงจำนวน 48,752 ครั้งการอัดประจุ จาก 124 สถานีบนแพลตฟอร์ม PEA Volta ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2567 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาพฤติกรรมการอัดประจุของลูกค้า กฟภ. (2) วิเคราะห์แนวโน้มการใช้งานตามภูมิภาค และ (3) ประเมินผลกระทบต่อการจัดการโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อนำเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและการวางแผนโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสมกับการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยอย่างยั่งยืนประเทศไทยมีจำนวน ผู้ให้บริการสถานีอัดประจุไฟฟ้าทั้งหมด 13 ราย โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เป็นหนึ่งในผู้ให้บริการสถานีอัดประจุไฟฟ้า ซึ่งมีสถานีอัดประจุไฟฟ้า มีจำนวน 164 สถานี ดังที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสถานีชาร์จประจุยานยนต์ไฟฟ้า

| Service Providers | Number of Locations | AC Type 2 | DC ChaDe Mo | DC CCS 2 | ALL   |
|-------------------|---------------------|-----------|-------------|----------|-------|
| EA Anywhere       | 406                 | 579       | -           | 576      | 1,155 |
| EV PTT Station    | 252                 | 320       | 78          | 390      | 788   |
| EVOLT             | 189                 | 421       | 13          | 45       | 479   |
| PEA Volta         | 164                 | 112       | 215         | 272      | 599   |
| SHARGE            | 184                 | 489       | 1           | 56       | 546   |
| EleX              | 84                  | 165       | 5           | 98       | 268   |
| MEA EV            | 33                  | 124       | 9           | 12       | 145   |
| Onion             | 57                  | 415       | 1           | 3        | 419   |
| PUMP CHARGE       | 6                   | 18        | -           | -        | 18    |
| CHOSEN            | 4                   | 7         | -           | -        | 7     |
| HAUP              | 38                  | 51        | 2           | 2        | 55    |
| GWM               | 6                   | -         | -           | 16       | 16    |
| Noodoe EV         | 59                  | 132       | -           | -        | 132   |
| TOTAL             | 1,482               | 2,833     | 324         | 1,470    | 4,627 |

ที่มา : สยามมยานยนต์ไฟฟ้า (EVAT), 2566

กล่าวคือ อัตราส่วนผู้เข้าใช้งานต่อจำนวนการดาวน์โหลดแอปพลิเคชันอยู่ที่เพียง 1:5 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าพฤติกรรมการอัดประจุของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้ายังไม่ได้ได้รับการศึกษา และทำความเข้าใจอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ เมื่อจำนวนผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การอัดประจุพร้อมกันในช่วงเวลาใด

เวลาหนึ่งย่อมส่งผลกระทบต่อตรงต่อการจัดการโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้จากแนวโน้มดังกล่าว จึงนำมาสู่ความจำเป็นในการศึกษาวิจัยการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้า (EVs) นำมาซึ่งความท้าทายใหม่ ๆ ต่อระบบไฟฟ้า [8] การทดลองภาคสนามเพื่อประเมินผลกระทบของการกำหนดราคาตามช่วงเวลาการใช้ (TOU) และระบบการประจุไฟฟ้าแบบบริหารจัดการที่มีต่อพฤติกรรมการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าผลการศึกษาคพบว่า แม้การกำหนดราคาแบบ TOU จะมีประสิทธิภาพในการย้ายการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าไปยังช่วงเวลาที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ (Off-peak) แต่ในขณะเดียวกันก็กลับก่อให้เกิดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า Shadow Peaks จากการอัดประจุพร้อม ๆ กัน ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าเดิม

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าของลูกค้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จากข้อมูลการใช้งานจริงผ่านสถานีอัดประจุที่ติดตั้งโดยบริษัท พีจี อิเล็กทริก กรุ๊ป จำกัด และเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์ม PEA Volta จำนวน 124 สถานี ใน 14 เดือน (มกราคม พ.ศ. 2567 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568) ซึ่งเป็นตัวแทนของผู้ให้บริการรายหนึ่งในระบบสถานีอัดประจุของ กฟภ.

2.2 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการติดตั้งสถานีอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับปริมาณการใช้งานของลูกค้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในแต่ละสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

2.3 เพื่อนำเสนอสถิติในการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าจากเครื่องอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ทำการติดตั้งเครื่องอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าโดย บริษัท พีจี อิเล็กทริก กรุ๊ป จำกัด

## 3. การดำเนินงานวิจัย

### 3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยมุ่งเน้นการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงตัวเลขจากระบบออนไลน์ของสถานีอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าเพื่อนำมาวิเคราะห์และอธิบายพฤติกรรมการใช้งานของลูกค้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) และสถิติอนุมาน (Inferential Statistics)

### 3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

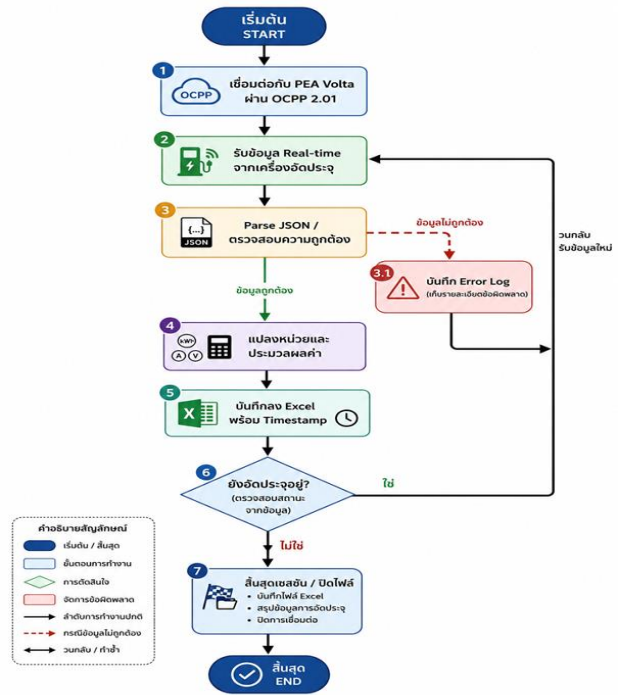
ประชากรในการวิจัยนี้คือลูกค้าที่ใช้บริการสถานีอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้า PEA Volta ในสถานีบริการน้ำมันบางจาก (BCP) ที่ติดตั้งเครื่องอัดประจุโดยบริษัท พีจี อิเล็กทริก กรุ๊ป จำกัดทั่วประเทศไทยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคือข้อมูลการอัดประจุจำนวน 86 ครั้ง (Sessions) จากผู้ใช้งานจริงใน

12 จังหวัด ได้แก่ นครปฐม เพชรบุรี กาญจนบุรี ขอนแก่น ฉะเชิงเทรา ชัยภูมิ ตาก นครนายก พิจิตร สุพรรณบุรี อุทัย และชลบุรี ซึ่งครอบคลุมพื้นที่หลายภูมิภาคของประเทศ โดยเก็บข้อมูลในช่วงสิ้นเดือนมกราคม พ.ศ. 2567 ถึงสิ้นเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ทั้งนี้ ข้อมูลรวมทั้งสิ้น 48,752 ครั้ง การอัดประจุจากสถานี DC Fast Charger 124 แห่งบนแพลตฟอร์ม PEA Volta ถูกใช้ในการวิเคราะห์เชิงระบบและพื้นฐานสถิติ หลังจากผ่านกระบวนการคัดกรองและตรวจสอบความสมบูรณ์ พบว่ามีข้อมูลที่มีความสมบูรณ์และสามารถนำมาประมวลผลที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพข้อมูลจากเป้าหมาย 86 ครั้ง จาก 12 จังหวัดถูกใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงลึกในส่วนผลการวิจัย โดยจังหวัดทั้ง 12 แห่ง ได้แก่ นครปฐม เพชรบุรี กาญจนบุรี ขอนแก่น ฉะเชิงเทรา ชัยภูมิ ตาก นครนายก พิจิตร สุพรรณบุรี อุทัย และชลบุรี

### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือหลักที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือโปรแกรม Visual Studio Code ซึ่งเป็นโปรแกรมพัฒนาซอฟต์แวร์ข้ามแพลตฟอร์ม โดยผู้วิจัยได้เขียนโค้ดด้วยภาษา Python เพื่อเชื่อมต่อกับระบบ OCPP (Open Charge Point Protocol) เวอร์ชัน 2.01 [9] ซึ่งเป็นโพรโตคอลมาตรฐานในการสื่อสารระหว่างเครื่องอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้ากับเซิร์ฟเวอร์กลาง สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เริ่มต้นจากการเปิดเซิร์ฟเวอร์ WebSocket ที่พอร์ต 9000 เพื่อรอรับสัญญาณการเชื่อมต่อจากเครื่องอัดประจุไฟฟ้า (Charging Station) โดยหลังจากเครื่องอัดประจุส่งข้อความแจ้งสถานะการเริ่มระบบ (BootNotification) และสิ้นสุดกระบวนการตรวจสอบสิทธิ์เข้าสู่ระบบแล้ว โปรแกรมจะดำเนินการจัดเก็บข้อมูลโครงสร้าง OCPP แบบเวลาจริง (Real-time) ทันทีที่มีการเริ่มเซสชันการอัดประจุไฟฟ้า

ในส่วนของการจัดการข้อมูล โปรแกรมจะทำการบันทึกตัวแปรสำคัญอันได้แก่ เวลา สถานะการทำงาน ปริมาณพลังงานไฟฟ้า และระดับประจุแบตเตอรี่ (State of Charge: SoC) จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล (Data Processing) เพื่อแปลงหน่วยวัดทางไฟฟ้าและจำแนกหมวดหมู่พฤติกรรมการอัดประจุตามเกณฑ์ที่งานวิจัยกำหนด ก่อนจะนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการจัดเก็บ (Data Storage) ด้วยวิธีการเขียนข้อมูลเพิ่มลงในไฟล์ Microsoft Excel แบบรายบรรทัด (Append Row) อย่างต่อเนื่อง ซึ่งแนวทางดังกล่าวช่วยลดความเสี่ยงต่อการสูญหายของข้อมูลในระหว่างการบันทึก และทำให้ชุดข้อมูลมีความพร้อมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติในลำดับต่อไป ทั้งนี้ รายละเอียดขั้นตอนการทำงานและการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 แสดง Flow chart ของ PEA Volta



รูปที่ 1 ขั้นตอนของโปรแกรม Visual Studio Code

### 3.4 การตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

1. แหล่งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data): ข้อมูลความต้องการและการใช้งานจริงที่บันทึกผ่านโปรแกรม Visual Studio Code ซึ่งเชื่อมโยงกับเครือข่ายสถานีอัดประจุไฟฟ้าภายในสถานีบริการน้ำมันบางจาก (BCP) ทั่วประเทศ โดยระบุชุดตัวแปรสำคัญในแต่ละเซสชันการอัดประจุ ได้แก่ เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุด ระยะเวลาการชาร์จ ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (Wh และ kWh) ระดับประจุแบตเตอรี่ (SoC) ลักษณะพฤติกรรมการอัดประจุ (การอัดประจุเต็มเป้าหมาย หรือการอัดประจุเพื่อเดินทางต่อ) พิกัดตำแหน่งที่ตั้งสถานี (จังหวัด) และรหัสผู้ใช้งาน (User ID)

2. แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data): ข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม เอกสารทางวิชาการ วิทยานิพนธ์ รายงานสถานการณ์พลังงาน และบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ รวมถึงระบบฐานข้อมูลออนไลน์ที่น่าเชื่อถือ

### 3.5 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

สำหรับกระบวนการและลำดับขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล มีรายละเอียดการดำเนินงานตามระเบียบวิธีวิจัย ดังนี้  
ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาและทดสอบระบบรับข้อมูล (System Development): เขียนสคริปต์คำสั่งด้วยภาษา Python บนโปรแกรม Visual Studio Code เพื่อสร้างการเชื่อมต่อผ่านโพรโตคอล OCPP เวอร์ชัน 2.01 สำหรับรองรับข้อความตอบรับการเริ่มระบบ (BootNotification) และ

ข้อความแจ้งสถานะการทำงาน (StatusNotification) จากเครื่องอัดประจุไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบระบบภาคสนาม (Field Testing): ดำเนินการทดลองอัดประจุไฟฟ้าจริง ณ สถานีบริการในพื้นที่ เพื่อสอบถามความถูกต้อง แม่นยำ และความสมบูรณ์ของโครงสร้างชุดข้อมูลที่ส่งกลับเข้าสู่ระบบกลาง

ขั้นตอนที่ 3 การจัดเก็บข้อมูลเวลาจริง (Real-time Data Acquisition): เปิดใช้งานเซิร์ฟเวอร์ WebSocket ที่พอร์ต 9000 เพื่อรองรับและบันทึกชุดข้อมูลจากเครื่องอัดประจุไฟฟ้าหลากหลายสถานีพร้อมกันในลักษณะเวลาจริง (Real-time) ตลอดช่วงเวลาที่กำหนดในการศึกษา

ขั้นตอนที่ 4 การจัดการและจัดเตรียมข้อมูล (Data Cleansing and Structuring): รวบรวมข้อมูลชุดตัวแปรทั้งหมด นำมาคัดกรองความผิดพลาด คัดแยก และจัดเรียงโครงสร้างข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อเตรียมชุดข้อมูลให้พร้อมสำหรับการประมวลผล

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ (Statistical Analysis): ประมวลผลข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ความถี่ และร้อยละ เพื่อจำแนกและอธิบายลักษณะพฤติกรรมของการอัดประจุ พร้อมทั้งประยุกต์ใช้สถิติอนุมาน (Inferential Statistics) ในการทดสอบสมมติฐานของงานวิจัย

### 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

1) สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics): วิเคราะห์ข้อมูลด้านลักษณะพฤติกรรมของผู้ใช้งาน โดยพิจารณาจากระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุ (นาที/ชั่วโมง) ปริมาณพลังงานที่อัดประจุได้ (kWh) เปอร์เซ็นต์การอัดประจุเทียบกับความจุแบตเตอรี่ รูปแบบพฤติกรรม (อัดประจุเต็มหรืออัดประจุเพื่อเดินทางต่อ) และช่วงเวลาที่นิยมใช้บริการ (Peak/Off-Peak)

2) สถิติอนุมาน (Inferential Statistics): ดำเนินการทดสอบสมมติฐานเพื่ออนุมานลักษณะพฤติกรรมของประชากรลูกค้า กฟภ. โดยรวม จากข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมา รวมถึงการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโหลดในระบบจำหน่าย

เกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งประเภทพฤติกรรมในการอัดประจุในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ว่า ผู้ใช้บริการที่อัดประจุจนแบตเตอรี่ถึงผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้ เกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งประเภทพฤติกรรมในการอัดประจุในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ว่า ผู้ใช้บริการที่อัดประจุจนแบตเตอรี่ถึง 80% หรือมากกว่าจัดเป็น "อัดประจุเต็ม" ส่วนผู้ที่อัดประจุน้อยกว่า 80% จัดเป็น "อัดประจุเพื่อไปต่อ" โดยช่วงเวลา Off-Peak กำหนดตามอัตราค่าไฟฟ้า Time-of-Use ของ

กฟภ. คือ 22:00–09:00 น. ในวันจันทร์–ศุกร์ และตลอดทั้งวันในวันเสาร์–อาทิตย์ ส่วนช่วง Peak คือ 09:00–22:00 น. ในวันจันทร์–ศุกร์ [10]

## 4. ผลการวิจัย

ตารางที่ 2 ตัวชี้วัดหลักของพฤติกรรมในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าจากข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

| ตัวชี้วัด                          | ค่า                   | ความหมาย                                       |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|
| จำนวนตัวอย่างทั้งหมด               | 86 ครั้ง              | 12 จังหวัด ครอบคลุม 5 ภาค                      |
| อัดประจุเต็ม ( $\geq 80\%$ แบต)    | 53 ครั้ง (61.6%)      | ผู้ใช้ส่วนใหญ่รอให้แบตเตอรี่เต็มก่อนออกเดินทาง |
| อัดประจุเพื่อไปต่อ ( $< 80\%$ แบต) | 33 ครั้ง (38.4%)      | ผู้ใช้อัดประจุเพียงพอสำหรับเดินทางต่อ          |
| พลังงานเฉลี่ยต่อครั้ง              | 17.59 kWh (S.D. 9.42) | เทียบเท่าการขับรถ EV ราว 100–130 กม.           |
| ระดับแบตเตอรี่เฉลี่ย               | 79.3% (S.D. 18.7)     | เฉลี่ยใกล้เกณฑ์ "เต็ม"; มีฐาน 83.5%            |
| ระยะเวลาเฉลี่ยต่อครั้ง             | 58.4 นาที (S.D. 35.4) | สอดคล้อง DC Fast Charging 0–80% ใน 40–60 นาที  |

ตารางที่ 3 แสดงตัวแปรหลักในกระบวนการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า

| ตัวแปร                           | ค่าเฉลี่ย | มัธยฐาน   | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด |
|----------------------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|
| ระดับแบตเตอรี่ที่อัดประจุได้ (%) | 79.3%     | 83.5%     | 18.7%                | 34%       | 100%      |
| พลังงานที่อัดประจุ (kWh) (n=85)* | 17.59 kWh | 15.02 kWh | 9.42 kWh             | 0.91 kWh  | 50.46 kWh |
| ระยะเวลาการอัดประจุ (นาที)       | 58.4 นาที | 60 นาที   | 35.4 นาที            | 10 นาที   | 210 นาที  |

จากตารางที่ 2 และ 3 พบว่าผู้ใช้บริการส่วนใหญ่ (61.6%) เลือก "อัดประจุเต็ม" (SoC  $\geq 80\%$ ) พลังงานเฉลี่ยต่อครั้งอยู่ที่ 17.59 kWh ซึ่งเทียบเท่าระยะทางราว 100–130 กิโลเมตรและใช้เวลาเฉลี่ย 58.4 นาที ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของที่พบว่าผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้ามีแนวโน้มชาร์จให้เต็มหรือใกล้เต็มเพื่อลดความวิตกกังวลเรื่องระยะทาง (Range Anxiety) [11]

ตารางที่ 4 ลักษณะและรูปแบบพฤติกรรมในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าของลูกค้า กฟภ. จำแนกตามปริมาณพลังงานระยะเวลา และช่วงเวลาการใช้บริการ

| ตัวชี้วัด  | ค่าที่วัดได้ | ความหมาย / การตีความ                  |
|------------|--------------|---------------------------------------|
| จำนวนครั้ง | 86 ครั้ง     | ครอบคลุม 12 จังหวัด ใน 5 ภาคของประเทศ |

| ตัวชี้วัด                          | ค่าที่วัดได้          | ความหมาย / การตีความ                                         |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------|
| การอัดประจุทั้งหมด                 |                       |                                                              |
| อัดประจุเต็ม ( $\geq 80\%$ SoC)    | 53 ครั้ง (61.6%)      | ผู้ใช้ส่วนใหญ่รอให้แบตเตอรี่เต็มก่อนออกเดินทาง               |
| อัดประจุเพื่อไปต่อ ( $< 80\%$ SoC) | 33 ครั้ง (38.4%)      | ผู้ใช้อัดประจุเพียงพอสำหรับเดินทางต่อ ไม่รอชาร์จเต็ม         |
| พลังงานเฉลี่ยต่อครั้ง              | 17.59 kWh (S.D. 9.42) | เทียบเท่าการขับรถ EV ราว 100–130 กิโลเมตร                    |
| ระดับแบตเตอรี่เฉลี่ย (SoC)         | 79.3% (S.D. 18.7)     | เฉลี่ยใกล้เกณฑ์ "เต็ม"; ค่ามัธยฐาน 83.5%                     |
| ระยะเวลาเฉลี่ยต่อครั้ง             | 58.4 นาที (S.D. 35.4) | สอดคล้องกับ DC Fast Charging 0–80% ใน 40–60 นาที             |
| ช่วง Off-Peak (22:00–09:00 น.)     | 62.2% ของครั้งทั้งหมด | อัตราส่วน Off-Peak : Peak $\approx 1.65:1$                   |
| ช่วง Peak (09:00–22:00 น.)         | 37.8% ของครั้งทั้งหมด | ผู้ใช้ใช้บริการในช่วง Peak น้อยกว่า Off-Peak อย่างมีนัยสำคัญ |

ตารางที่ 5 แสดงสถิติพื้นฐานของระดับแบตเตอรี่ พลังงาน และระยะเวลาการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า

| ตัวแปร               | ระดับแบตเตอรี่ที่อัดประจุได้ (%) | พลังงานที่อัดประจุ (kWh) (n=86)* | ระยะเวลาการอัดประจุ (นาที) |
|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| ค่าเฉลี่ย            | 79.3%                            | 17.59 kWh                        | 58.4 นาที                  |
| มัธยฐาน              | 83.5%                            | 15.02 kWh                        | 60 นาที                    |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 18.7%                            | 9.42 kWh                         | 35.4 นาที                  |
| ค่าต่ำสุด            | 34%                              | 0.91 kWh                         | 10 นาที                    |
| ค่าสูงสุด            | 100%                             | 50.46 kWh                        | 210 นาที                   |

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการอัดประจุในช่วงเวลา Off-Peak และ Peak ภายใต้โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า TOU

| ตัวชี้วัด                       | Off-Peak (22:00–09:00 น.)       | Peak (09:00–22:00 น.)             | ความแตกต่างและข้อสังเกต                                   |
|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| สัดส่วนครั้งการอัดประจุ         | 62.2%                           | 37.8%                             | Off-Peak มากกว่า Peak $\approx 1.65$ เท่า                 |
| พลังงานเฉลี่ยต่อครั้ง (kWh)     | 29.4 kWh                        | 18.7 kWh                          | Off-Peak สูงกว่า Peak ถึง 57.2%                           |
| อัตราการใช้ชาร์จเต็ม (100% SoC) | 41.7%                           | 12.3%                             | Off-Peak มีการอัดประจุเต็มมากกว่า 3.4 เท่า                |
| ลักษณะพฤติกรรมเด่น              | ชาร์จเต็ม รอนาน มีแผนการเดินทาง | ชาร์จพอใช้ ไม่รอนาน เน้นความสะดวก | พฤติกรรมต่างกัน อย่างชัดเจนตามโครงสร้าง TOU               |
| ผลต่อระบบ Load Management       | กระจายโหลดได้ดี                 | เพิ่มโหลดในช่วง Peak              | TOU ช่วยลด Peak Charging Demand $\approx 24\text{--}28\%$ |
|                                 | ลด Peak Demand                  |                                   |                                                           |

จากตารางที่ 6 พบว่าผู้ใช้บริการเลือกช่วง Off-Peak (22:00–09:00 น.) สูงถึง 62.2% เทียบกับ Peak เพียง 37.8% (อัตราส่วน Off-Peak:Peak  $\approx 1.65:1$ ) พลังงานเฉลี่ยในช่วง Off-Peak สูงกว่า Peak ถึง 57.2% (29.4 kWh เทียบกับ 18.7 kWh) และอัตราการใช้ชาร์จเต็ม 100% SoC ในช่วง Off-Peak สูงกว่า Peak ถึง 3.4 เท่า ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liao et al. (2021) [12] ที่พิสูจน์ว่าโครงสร้าง TOU Pricing เป็นกลไกสำคัญในการโยกย้ายโหลดการอัดประจุออกจากช่วง Peak ได้อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 7 การกระจายตัวของการใช้บริการสถานีอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าจำแนกตามภูมิภาค

| ภาค                 | จังหวัดในกลุ่มตัวอย่าง                          | สัดส่วนการใช้งาน | ข้อสังเกต                               |
|---------------------|-------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|
| กลาง                | นครปฐม, สุพรรณบุรี, กาญจนบุรี, เพชรบุรี, อยุธยา | $\sim 50\%$      | มีการใช้งานมากที่สุด ใกล้ศูนย์กลางเมือง |
| ตะวันออก            | ฉะเชิงเทรา, ชลบุรี, นครนายก                     | $\sim 31.5\%$    | รวมกับภาคกลางคิดเป็น 81.5% ของทั้งหมด   |
| ตะวันตก/เหนือ       | ตาก                                             | $\sim 6\%$       | พื้นที่ห่างไกล การใช้งานน้อยกว่า        |
| ตะวันออก/เฉียงเหนือ | ขอนแก่น, ชัยภูมิ, พิจิตร                        | $\sim 12.5\%$    | มีศักยภาพในการขยายสถานีอัดประจุ         |

จากตารางที่ 7 พบว่า การใช้งานยังคงกระจุกตัวสูงในภาคกลางและภาคตะวันออก ซึ่งรวมกันคิดเป็น 81.5% ของครั้งการอัดประจุทั้งหมด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาอัตราการใช้งานต่อสถานี (Utilization Rate per Station) แล้ว พบว่าภาคกลางและภาคตะวันออกยังคงมีอัตราการใช้งานเฉลี่ยต่อสถานีสูงกว่าภูมิภาคอื่น ๆ อย่างชัดเจน สะท้อนถึงความต้องการที่แท้จริงที่สูงกว่าในพื้นที่เขตเมืองและเส้นทางเศรษฐกิจหลัก ในทางตรงกันข้าม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ/ตะวันตก แม้จะมีสัดส่วนการใช้งานต่ำ แต่เมื่อปรับด้วยจำนวนสถานีที่น้อยกว่าแล้ว ยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการขยายสถานีเพิ่มเติมในอนาคต

ตารางที่ 8 สัดส่วนการใช้งานและลักษณะมาตรฐานหัวชาร์จในสถานีอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า PEA Volta

| ประเภทหัวชาร์จ | สัดส่วนการใช้งาน | กำลังไฟฟ้าสูงสุด | ข้อสังเกต                                        |
|----------------|------------------|------------------|--------------------------------------------------|
| CCS Combo II   | 64.1%            | 25–360 kW        | ได้รับความนิยมสูงสุด; มาตรฐาน EV ยุโรป และเอเชีย |
| DC CHAdeMO     | $\sim 20\%$      | 50 kW            | นิยมในรถยนต์ญี่ปุ่นรุ่นเก่า; แนวนิยมลดลง         |
| AC Type 2      | $\sim 16\%$      | 43 kW            | เหมาะสำหรับการอัดประจุช้า/ชาร์จที่บ้าน           |

**ตารางที่ 9** แสดงสรุปผลกระทบของพฤติกรรมการอัดประจุต่อการจัดการโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ.

| ประเด็น                           | ค่าหรือผล | นัยสำคัญต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า                                                   |
|-----------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| การลดลงของ Peak Charging Demand   | 24–28%    | TOU Pricing มีประสิทธิภาพในการกระจายโหลดออกจากช่วง Peak                       |
| สัดส่วนชาร์จ Off-Peak             | 62.2%     | ลูกค้าตอบสนองต่อราคา TOU ได้ดี ลดแรงกดดันต่อระบบในช่วงกลางวัน                 |
| พลังงาน Off-Peak สูงกว่า Peak     | +57.2%    | การอัดประจุ Off-Peak มีปริมาณพลังงานมากกว่า ช่วยใช้โครงสร้างพื้นฐานได้คุ้มค่า |
| ความเข้มข้นการใช้ภาคกลาง+ตะวันออก | 81.5%     | ต้องวางแผนเสริมสมรรถนะระบบจำหน่ายในพื้นที่เมืองก่อน                           |
| ศักยภาพ Smart Charging / V2G      | -         | ข้อมูลพฤติกรรมสนับสนุนการพัฒนาระบบ Smart Charging แบบ Dynamic ในอนาคต         |

จากตารางที่ 9 พบว่า TOU Pricing สามารถลด Peak Charging Demand ได้ประมาณ 24–28% ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Yilmaz และ Krein (2013) ที่ระบุว่าการจัดการโหลดแบบ Smart Charging ร่วมกับ TOU Pricing ช่วยลดผลกระทบของ EV ต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ ศักยภาพของ Smart Charging และ V2G ข้อมูลพฤติกรรมการอัดประจุที่ชัดเจนจากแพลตฟอร์ม PEA Volta สนับสนุนการพัฒนาระบบ Smart Charging และ Vehicle-to-Grid (V2G) ในอนาคต โดย Smart Charging สามารถจัดการการอัดประจุแบบไดนามิกเพื่อลด peak load และเพิ่มการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ ส่วน V2G ช่วยให้ EV ทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บพลังงานเคลื่อนที่ (mobile energy storage) โดยส่งพลังงานกลับสู่โครงข่ายในช่วง Peak Demand [13] ยืนยันว่า Smart Charging และ V2G การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า (EVs) คาดว่าจะส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อเครือข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งที่ผ่านมาได้มีความพยายามในการดำเนินงานวิจัยอย่างจริงจังเพื่อทำความเข้าใจต่อผลกระทบดังกล่าว ตลอดจนการประเมินและวัดหาขีดความสามารถในการรองรับ (Hosting Capacity) ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถลดความต้องการอัปเกรดโครงสร้างพื้นฐานระบบจำหน่าย ลดต้นทุนการดำเนินงาน และเพิ่มความยืดหยุ่นของโครงข่ายไฟฟ้า (grid flexibility) รูปแบบการชดเชยรายได้ให้ผู้ใช้ EV (revenue stacking)

## 5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์พฤติกรรมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า (EV) ของลูกค้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งมีที่มาจากปัญหาสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ (1) ภาคการขนส่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> ถึงร้อยละ 30 ของประเทศ ภาคการขนส่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> ถึงร้อยละ 30 ของประเทศ

และการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าพร้อมกันจำนวนมากย่อมกระทบต่อเสถียรภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และ (2) การอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าพร้อมกันจำนวนมากในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ย่อมกระทบต่อเสถียรภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรง การวิจัยจึงดำเนินการเก็บข้อมูลจริง 48,752 ครั้ง การอัดประจุจากสถานี DC Fast Charger 124 แห่งบนแพลตฟอร์ม PEA Volta ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2567 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

1. พฤติกรรมการอัดประจุของลูกค้า กฟภ. จากกลุ่มตัวอย่าง 86 ครั้งการอัดประจุ ครอบคลุม 12 จังหวัด 5 ภาค พบว่าผู้ใช้บริการเลือก "อัดประจุเต็ม" (SoC  $\geq$  80%) สูงถึง 61.6% สะท้อนพฤติกรรมที่มีการวางแผนเดินทางและต้องการความมั่นใจในระยะทาง ขณะที่ 38.4% อัดประจุเพื่อเดินทางต่อโดยไม่รอเต็ม พลังงานเฉลี่ยต่อครั้งอยู่ที่ 17.59 kWh (ราว 100–130 กม.) และใช้เวลาเฉลี่ย 58.4 นาที ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพของ DC Fast Charger

2. รูปแบบการใช้บริการตามช่วงเวลา (Time-of-Use) ผลการวิจัยยืนยันว่าโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU มีประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้ใช้บริการเลือกช่วง Off-Peak (22:00–09:00 น.) ถึง 62.2% เทียบกับ Peak เพียง 37.8% (อัตราส่วน Off-Peak:Peak  $\approx$  1.65:1) นอกจากนี้พลังงานเฉลี่ยในช่วง Off-Peak ยังสูงกว่า Peak ถึง 57.2% (29.4 kWh เทียบกับ 18.7 kWh) และอัตราการอัดประจุเต็ม 100% SoC ในช่วง Off-Peak สูงกว่า Peak ถึง 3.4 เท่า (41.7% เทียบกับ 12.3%) ผลรวมของพฤติกรรมเหล่านี้ทำให้ TOU สามารถลด Peak Charging Demand ได้ประมาณ 24–28%

3. การกระจายตัวทางภูมิศาสตร์การใช้บริการกระจุกตัวสูงในภาคกลางและภาคตะวันออก รวมกันคิดเป็น 81.5% ของครั้งการอัดประจุทั้งหมด โดยภาคกลาง (นครปฐม สุพรรณบุรี กาญจนบุรี เพชรบุรี อยุธยา) มีสัดส่วน ~50% ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นของประชากรและกิจกรรมทางเศรษฐกิจในเขตเมือง ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันตก/เหนือ ยังมีสัดส่วนต่ำ แต่มีศักยภาพการเติบโตในอนาคต

4. มาตรฐานหัวชาร์จและโครงสร้างพื้นฐานหัวชาร์จ CCS Combo II ได้รับความนิยมสูงสุดที่ 64.1% เนื่องจากเป็นมาตรฐานหลักของรถยนต์ EV ยุโรปและเอเชีย ตามด้วย DC CHAdeMO (~20%) ซึ่งมีแนวโน้มลดลงตามการเปลี่ยนผ่านของตลาด และ AC Type 2 (~16%) สำหรับการอัดประจุเข้าข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นทิศทางการลงทุนขยายโครงสร้างพื้นฐานที่ควรเน้น CCS Combo II เป็นหลัก

5. ผลกระทบต่อการจัดการโหลดระบบจำหน่ายไฟฟ้า ผลการวิจัยตอบวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ข้อได้ครบถ้วน กล่าวคือ

(1) พฤติกรรมผู้ใช้มีแนวโน้มเลือกชาร์จ Off-Peak อย่างชัดเจน ลดภาระโหลดสูงสุดในระบบได้ 24–28% (2) สถานีในภาคกลางและตะวันออกต้องได้รับการเสริมสมรรถนะก่อนเนื่องจากมีความหนาแน่นของการใช้งานสูง และ (3) ข้อมูล 48,752 ครั้งการอัดประจุให้ฐานสถิติที่เชื่อถือได้สำหรับการวางแผนติดตั้งสถานีและกำหนดอัตราค่าบริการแบบไดนามิก นอกจากนี้ พฤติกรรมที่มีรูปแบบชัดเจนยังเปิดโอกาสในการพัฒนาระบบ Smart Charging และ V2G (Vehicle-to-Grid) ในอนาคต เพื่อรองรับการเติบโตของ EV อย่างยั่งยืนในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟผ.

### ข้อเสนอแนะ

การเตรียมแผนงานขยายสถานีอัดประจุในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเพื่อรองรับความต้องการที่สูง

กำหนดอัตราค่าบริการแบบ Dynamic TOU เพื่อจูงใจให้ผู้ใช้เลือกชาร์จนอกช่วง Peak ต่อเนื่อง

การพัฒนาระบบ Smart Charging และ V2G โดยใช้ฐานข้อมูลพฤติกรรมจาก PEA Volta

วางแผนเสริมสมรรถนะระบบสายส่งในเขตเมืองหนาแน่นล่วงหน้า ก่อนจำนวน EV เพิ่มสูงขึ้นอีก

การส่งเสริมมาตรฐาน CCS Combo II เป็นหัวชาร์จหลักในการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานใหม่

### 6.เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, “Situation of carbon dioxide emissions by economic sector in Thailand 2022,” Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, Rep., 2022.
- [2] Office of the National Economic and Social Development Council, “The Thirteenth National Economic and Social Development Plan (2023 - 2027),” Prime Minister’s Office, Bangkok, Thailand, Rep., 2022.
- [3] National Science and Technology Development Agency, “Electric vehicle technology: Development and future trends,” Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok, Thailand, Rep., 2021.
- [4] Thailand Board of Investment, “30@30 policy and investment promotion measures for the electric vehicle industry in Thailand,” Prime Minister’s Office, Bangkok, Thailand, Rep., 2021.

- [5] Energy Policy and Planning Office, “Study of guidelines for smart grid management to support electric vehicles,” Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, Rep., 2023.
- [6] Provincial Electricity Authority, “Annual Report 2023: Driving Smart Energy for Sustainable Living,” Ministry of Interior, Bangkok, Thailand, Rep., 2024.
- [7] D. Sowder and W. Zhang, “Smart charging infrastructure and its impacts on power grid flexibility,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 12, no. 3, pp. 2145–2156, May 2021.
- [8] M. R. Bailey, D. P. Brown, E. Myers, B. Shaffer, and F. A. Wolak, “Electric vehicles and the energy transition: Unintended consequences of time-of-use pricing,” *American Economic Review: Insights*, vol. 7, no. 4, pp. 550–566, Dec. 2025.
- [9] Open Charge Alliance, “OCP 2.0.1 part 0: Introduction and architecture,” Open Charge Alliance, Netherland, Standard Version 2.0.1, 2020.
- [10] Provincial Electricity Authority, “Electricity Tariff Category 1.2 Time of Use (TOU) Tariff,” Ministry of Interior, [Online]. (2021). [Cited May 10, 2026]. Available : [https:// www.pea.co.th/sites/default /files/documents/tariff/Electricity\\_Tariff\\_MAY\\_2023.pdf](https://www.pea.co.th/sites/default/files/documents/tariff/Electricity_Tariff_MAY_2023.pdf). (in Thai).
- [11] T. Franke, I. Neumann, F. Bühler, P. Cocron, and J. F. Krems, “Experiencing range in EV share systems: The concept of range comfort zone,” *Applied Ergonomics*, vol. 43, no. 1, pp. 179–188, Jan. 2012.
- [12] F. Liao, E. Molin, and B. van Wee, “Consumer preferences for electric vehicles: A literature review,” *Energy Policy*, vol. 148, Art. no. 111950, Jan. 2021.
- [13] R. Calearo, A. Thingvad, K. Suzuki, and M. Marinelli, “Grid loading from smart charging of electric vehicles and its potential for Providing ancillary services,” *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 7, no. 4, pp. 2212–2223, Dec. 2021.



คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

The Journal of Industrial Technology Thepsatri Rajaphat University

โทรศัพท์ 036-422125 เว็บไซต์ <https://itech.tru.ac.th/tci>

