



การพัฒนาระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์  
ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง กรณีศึกษา : กระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ  
Development of Monitoring and Control Systems of Solar Dryer  
with Internet of Things Technology Case Study : Coffee bean Drying Process

สุรเกียรติ ทองเกียรติ  
Surakiat Thongkiat

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Minor Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Industrial Management  
Prince of Songkla University

2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การพัฒนาระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์  
ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง กรณีศึกษา : กระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ  
Development of Monitoring and Control Systems of Solar Dryer  
with Internet of Things Technology Case Study : Coffee bean Drying Process

สุรเกียรติ ทองเกียรติ  
Surakiat Thongkiat

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
A Minor Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Industrial Management  
Prince of Songkla University  
2568  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**ชื่อสารนิพนธ์**      การพัฒนาระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์  
ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง  
กรณีศึกษา : กระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ

**ผู้เขียน**            นายสุรเกียรติ์ ทองเกียรติ

**สาขาวิชา**        การจัดการอุตสาหกรรม

---

**อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์หลัก****คณะกรรมการสอบ**

#DS01# .....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลภัสร์ ทองแก้ว)

#DS02#.....ประธาน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุกีรี แดสา)

#DS03#.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลภัสร์ ทองแก้ว)

#DS04#.....กรรมการ  
(ดร.ดลยา บัวคำ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม

#DS06#.....

(ดร.สุรียา จิรสถิตสิน)

ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ #DS05# .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลภัทร์ ทองแก้ว)

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

ลงชื่อ นายสุรเกียรติ์ ทองเกียรติ

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ นายสุรเกียรติ ทองเกียรติ

นักศึกษา

<b>ชื่อสารนิพนธ์</b>	การพัฒนาระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง กรณีศึกษา : กระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ
<b>ผู้เขียน</b>	นายสุรเกียรติ ทองเกียรติ
<b>สาขาวิชา</b>	การจัดการอุตสาหกรรม
<b>ปีการศึกษา</b>	2567

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง (IoT) สำหรับกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟเพื่อลดระยะเวลาในกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟได้ งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจริงจากกระบวนการผลิตเพื่อนำมาวิเคราะห์สาเหตุของความล่าช้าในกระบวนการอบแห้งโดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหลและแผนผังก้างปลา ซึ่งพบว่าสาเหตุความล่าช้าเกิดจากการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟโดยใช้คนเป็นผู้ตรวจสอบ และไม่มีอุปกรณ์ช่วยตรวจความชื้นและอุณหภูมิโรงอบเมล็ดกาแฟส่งผลให้กระบวนการอบแห้งเฉลี่ยนานถึง 21 วันและควบคุมคุณภาพได้ยาก เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้มีการใช้หลักการลดความสูญเปล่าของกระบวนการ (ECRS) สำหรับการปรับปรุงกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ มีการพัฒนาระบบและเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่งที่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และพลังงานไฟฟ้าผ่านสมาร์ตโฟนและบันทึกข้อมูลผ่านระบบคลาวด์ได้ นอกจากนี้ระบบยังสามารถควบคุมการเปิด-ปิดพัดลมระบายอากาศเพื่อระบายความชื้นส่งผลให้ใช้เวลากระบวนการอบแห้งลดลง ผลการดำเนินงานพบว่าสามารถลดระยะเวลาในกระบวนการอบแห้งเหลือเฉลี่ย 13 วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 37.95 สิ่งนี้ช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เพิ่มความสม่ำเสมอของคุณภาพเมล็ดกาแฟและลดความสูญเสียนในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์แปรรูปเกษตรอื่นได้อีกด้วย

**คำสำคัญ :** โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์; อินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง; ระบบติดตามและควบคุม; กระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ

**Minor Thesis Title** Development of Monitoring and Control Systems of Solar Dryer with Internet of Things Technology  
Case Study : Coffee bean Drying Process

**Author** Mister Surakiat Thongkiat

**Major Program** Industrial Management

**Academic Year** 2024

### ABSTRACT

This research aims to develop a monitoring and control system for a solar-powered drying facility using Internet of Things (IoT) technology for the coffee bean drying process, in order to reduce the drying time. Real-world data was collected from the production process to analyze the causes of delays using flowcharts and fishbone diagrams. It was found that the delay was caused by manual inspection of coffee bean quality and the lack of equipment to monitor moisture and temperature in the drying facility. As a result, the drying process took an average of 21 days and maintaining quality was difficult. To address this issue, the ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) principle was applied to improve the coffee bean drying process. A system using IoT technology was developed to monitor temperature, humidity, and electricity usage via smartphone, with data recorded on a cloud platform. Additionally, the system can control the ventilation fan to reduce moisture, which helps shorten the drying time. The results showed that the drying time was reduced to an average of 13 days, a 37.95% reduction. This improvement enhances production efficiency, ensures more consistent coffee bean quality, and reduces production losses. Moreover, the system can be adapted for other agricultural processed products as well.

**Keyword :** Solar-powered drying facility; Internet of Things (IoT); Monitoring and control system; Coffee bean drying process

## กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากการสนับสนุนจากหลายหน่วยงาน และบุคคลผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ซึ่งผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน หน่วยงานต้นสังกัดของผู้จัดทำ ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาระดับปริญญาโทในประเทศ จากกองทุนเงินอุดหนุนจากสัญญาโรงกลั่นปิโตรเลียมและทุนวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่เอื้อต่อการดำเนินงานวิจัยและพัฒนานวัตกรรมด้านพลังงานในระดับชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอย่างยิ่งต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลภัสร์ ทองแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะและสนับสนุนด้านวิชาการด้วยความเอาใจใส่และอดทนเสมอมา จนทำให้สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ถ่ายทอดองค์ความรู้และประสบการณ์อันมีค่า ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

ผู้จัดทำขอขอบคุณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแพริษญาและแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ตำบลหนองปรือ อำเภอรัญญา จังหวัดตรัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลและทดลองจริงในพื้นที่ ทำให้สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์และพัฒนาระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ ครอบครัว, เพื่อนร่วมรุ่นและรุ่นพี่ MIM ที่อยู่เคียงข้างและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาของการศึกษาและการจัดทำสารนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำหวังว่าสารนิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ และสามารถนำไปต่อยอดพัฒนาในเชิงวิชาการและการใช้งานจริงได้ต่อไป

ขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วยความซาบซึ้งยิ่ง

สุรเกียรติ์ ทองเกียรติ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(5)
ABSTRACT.....	(6)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ.....	(8)
รายการตาราง.....	(10)
รายการภาพประกอบ.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	5
1.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	5
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	49
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	55
3.1 การศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	55
3.2 การศึกษาข้อมูลกระบวนการอบแห้งของเมล็ดกาแฟของกลุ่มวิสาหกิจที่ผลิตอยู่ในปัจจุบัน.....	57
3.3 การวิเคราะห์สาเหตุความล่าช้าของกระบวนการอบแห้ง.....	59
3.4 การออกแบบระบบควบคุมไอโอสำหรับโรงอบแห้ง.....	59
3.5 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบอบแห้ง.....	64
3.6 การติดตั้งและทดสอบการทำงานของระบบ.....	66

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลการติดตั้งระบบ.....	69
3.8 การฝึกอบรมและถ่ายทอดวิธีการใช้งานแก่กลุ่มเกษตรกร.....	71
3.9 การสรุปผลและจัดทำรายงานผลการวิจัย.....	71
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	72
4.1 ผลการวิเคราะห์สาเหตุความล่าช้าของกระบวนการด้วยเครื่องมือวิศวกรรมอุตสาหการ.....	72
4.2 ผลการพัฒนาระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งด้วยไอโอที.....	76
4.3 ข้อมูลสภาวะการอบแห้งจากระบบไอโอที.....	87
4.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพการติดตั้งระบบ.....	89
4.5 ผลการประเมินลักษณะของเมล็ดกาแฟ.....	93
4.6 สรุปผลการปรับปรุงกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟโดยใช้ไอโอที.....	95
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	97
5.1 สรุปผลการดำเนินการวิจัย.....	107
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย.....	100
บรรณานุกรม.....	102
ภาคผนวก.....	106
ภาคผนวก ก การเขียนโค้ดโปรแกรมควบคุมระบบ.....	107
ภาคผนวก ข รายการอุปกรณ์.....	123
ภาคผนวก ค ข้อมูลอุณหภูมิ, ความชื้นและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้.....	134
ประวัติผู้เขียน.....	141

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะกรรมวิธีการแปรรูปกาแฟ	24
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดรายการอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์หลักที่ใช้	63
ตารางที่ 3.2 จำนวนแรงงานคนและชั่วโมงการทำงานของกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ	70
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงด้วยหลักการลดความสูญเปล่าของกระบวนการ	75
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดงบประมาณการติดตั้งระบบ	86
ตารางที่ 4.3 จำนวนแรงงานคนและชั่วโมงการทำงานรวมของกระบวนการอบแห้ง หลังปรับปรุงระบบ	91
ตารางที่ 4.4 การคำนวณผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เปรียบเทียบก่อนและหลัง การปรับปรุงระบบ	93
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการอบแห้งเมล็ดกาแฟก่อนและหลังปรับปรุงระบบ	95

## รายการภาพประกอบ

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 1.1 โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 x 4 เมตร	1
ภาพที่ 1.2 การตากแห้งเมล็ดกาแฟด้วยวิถีธรรมชาติแบบดั้งเดิม	2
ภาพที่ 1.3 โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟรัชฎาฯ	3
ภาพที่ 1.4 การตากแห้งเมล็ดกาแฟด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	3
ภาพที่ 1.5 การประเมินความชื้น โดยวิธีการสังเกต	4
ภาพที่ 1.6 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟรัชฎาฯและแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร	5
ภาพที่ 2.1 แผนผังแสดงสาเหตุและผล	11
ภาพที่ 2.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนผังงาน	14
ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างการเขียนผังงาน	15
ภาพที่ 2.4 ลักษณะกิจกรรมขั้นตอนการทำงานแบบต่าง ๆ	16
ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลในแผนผังการไหลของวัสดุ	18
ภาพที่ 2.6 ลักษณะผลกาแฟโรบัสต้า	21
ภาพที่ 2.7 การตากเมล็ดกาแฟบนพื้นตาข่ายยกสูง	23
ภาพที่ 2.8 หลักการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	33
ภาพที่ 2.9 รูปแบบการพัฒนาโรงอบแห้งทั้ง 3 ประเภท	35
ภาพที่ 2.10 ส่วนประกอบของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 x 4 เมตร	36
ภาพที่ 2.11 หลักการทำงานของอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง	38
ภาพที่ 2.12 การประยุกต์ใช้งานอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง	39
ภาพที่ 2.13 องค์ประกอบของอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง	40
ภาพที่ 2.14 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์	42
ภาพที่ 2.15 องค์ประกอบหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์	44

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 2.16 ลักษณะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	45
ภาพที่ 2.17 โปรแกรม Arduino IDE	46
ภาพที่ 2.18 องค์ประกอบของ Blynk	47
ภาพที่ 2.19 แอปพลิเคชัน Blynk	48
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย	55
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนกระบวนการอบแห้งของเมล็ดกาแฟของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน	58
ภาพที่ 3.3 แผนผังโครงสร้างของระบบควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไอโอที	61
ภาพที่ 3.4 ผังงานของโปรแกรมควบคุมระบบ	64
ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบควบคุมไอโอทีในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	66
ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างการแสดงผลและควบคุมระบบของแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ทโฟน	67
ภาพที่ 3.7 การตรวจสอบการบันทึกข้อมูลบนระบบคลาวด์	68
ภาพที่ 4.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยผังก้างปลา	72
ภาพที่ 4.2 การเขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้ภาษาซี	76
ภาพที่ 4.3 การทดสอบระบบควบคุมไอโอที ก่อนนำไปติดตั้งจริง	78
ภาพที่ 4.4 การประกอบวงจรอุปกรณ์ของระบบควบคุมไอโอที	78
ภาพที่ 4.5 การทำงานของผู้วิจัยในการติดตั้งระบบ	79
ภาพที่ 4.6 การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบควบคุมไอโอที ในโรงอบแห้งฯ	79
ภาพที่ 4.7 โรงอบแห้งเมล็ดกาแฟ ก่อนติดตั้งระบบไอโอที	80
ภาพที่ 4.8 โรงอบแห้งเมล็ดกาแฟ หลังติดตั้งระบบไอโอที	80
ภาพที่ 4.9 การแสดงผลและควบคุมระบบ ของแอปพลิเคชัน Blynk (1)	81
ภาพที่ 4.10 การแสดงผลและควบคุมระบบ ของแอปพลิเคชัน Blynk (2)	82
ภาพที่ 4.11 การบันทึกผลบน Google Sheet	83

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 4.12 การฝึกอบรมและถ่ายทอดวิธีการใช้งานระบบควบคุมโรงอบแห้ง (1)	85
ภาพที่ 4.13 การฝึกอบรมและถ่ายทอดวิธีการใช้งานระบบควบคุมโรงอบแห้ง (2)	85
ภาพที่ 4.14 แนวโน้มความชื้นกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ	87
ภาพที่ 4.15 แนวโน้มของอุณหภูมิในกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ	87
ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นและอุณหภูมิในช่วงการอบแห้ง	88
ภาพที่ 4.17 กระบวนการอบแห้งของเมล็ดกาแฟหลังปรับปรุงระบบ	90
ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาของกระบวนการอบแห้ง	92
ภาพที่ 4.19 ลักษณะเมล็ดกาแฟแห้ง ก่อนใช้ระบบ	94
ภาพที่ 4.20 ลักษณะเมล็ดกาแฟแห้ง หลังใช้ระบบ	94

## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตอาหารแห้งทั้งในระดับครัวเรือน และในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งถือเป็นกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่มีความสำคัญทั้งในระดับท้องถิ่นและในระดับประเทศ [1] แต่การผลิตอาหารแห้งในประเทศไทยยังพบปัญหาอีกหลายประการ เช่น ผู้ผลิตส่วนใหญ่ใช้แสงแดดธรรมชาติและใช้พื้นที่โล่งในการตากแห้งอาหาร ทำให้อาหารตากแห้งมีการปนเปื้อนจากการรบกวนของแมลง ฝุ่น น้ำฝน และความชื้น ซึ่งส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน ถึงแม้จะมีเกษตรกรบางกลุ่มนำพลังงานชนิดอื่นมาใช้ในการผลิตอาหารอบแห้ง เช่น การใช้แก๊สหรือตู้อบไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือพลังงานไฟฟ้ามาเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง แต่เมื่อคำนึงถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นแล้วไม่เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และผลจากใช้พลังงานดังกล่าว ยังเป็นการสร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตร ทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงตลอดปี ดังนั้น กระทรวงพลังงาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจึงได้ทำการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ ซึ่งมีศักยภาพในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายรูปแบบและสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยสำนักงานพลังงานจังหวัดทั้ง 76 จังหวัดทั่วประเทศ ซึ่งเป็นหน่วยงานในต้นสังกัดของผู้วิจัย ได้นำนวัตกรรมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 x 4 เมตร ดังภาพที่ 1.1 ซึ่งเป็นโรงอบแห้งแบบเรือนกระจกโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีลักษณะเป็นโรงเรือนที่มีหลังคาเป็นทรงโค้งพาราโบลาทำด้วยแผ่นพลาสติกโพลีคาร์บอเนตแบบใส นำมาส่งเสริมให้กลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชน ได้มีการนำโรงอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าว มาใช้งานแปรรูปผลิตภัณฑ์การเกษตรตากแห้ง เพื่อลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ สะอาด ปลอดภัย ถูกต้องตามมาตรฐานสากล ทำให้ผลิตภัณฑ์มีมูลค่าสูงขึ้น ช่วยส่งเสริมเศรษฐกิจฐานรากและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 1.1 โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 x 4 เมตร

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยและภาคใต้ โดยนิยมปลูกกาแฟพันธุ์โรบัสต้าเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งก่อให้เกิดการจ้างงานและเป็นการสร้างรายได้ให้กับประเทศอีกทางหนึ่ง โดยอุตสาหกรรมกาแฟของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมแปรรูปในขั้นต้น ที่นำเมล็ดกาแฟสดมาแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมและสะดวกในการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์กาแฟต่อไป [2] โดยกระบวนการเตรียมเมล็ดกาแฟขั้นต้นนั้น จำเป็นต้องนำเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคัดเลือกมาหมักแล้วนำไปตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ด้วยวิธีธรรมชาติแบบดั้งเดิม โดยการตากบนลานซีเมนต์หรือในถาดตะแกรง ดังภาพที่ 1.2 ซึ่งภาคใต้ของประเทศไทยที่เป็นแหล่งเพาะปลูกกาแฟพันธุ์โรบัสต้า จะประสบปัญหาจากสภาพภูมิอากาศที่มีฝนตกชุกเกือบทั้งปี ส่งผลให้มีความชื้นที่สูงทำให้เกิดการหมักและสีของผลกาแฟมีความไม่สม่ำเสมอ ทำให้มีผลต่อคุณภาพและรสชาติของกาแฟที่ได้ และมีสิ่งปนเปื้อนจากการตากแห้งแบบดั้งเดิมสูง ซึ่งส่งผลกระทบต่อทางด้านราคาและการตลาด และกระทรวงพลังงานซึ่งมีภารกิจในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชน จึงได้สนับสนุนนวัตกรรมเทคโนโลยีพลังงานในระดับชุมชน โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เข้ามาช่วยแก้ปัญหาข้างต้นได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 1.2 การตากแห้งเมล็ดกาแฟด้วยวิธีธรรมชาติแบบดั้งเดิม [2]

ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของโรงอบแห้งแบบเรือนกระจกโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสำนักงานพลังงานจังหวัด กระทรวงพลังงาน ได้นำโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาส่งเสริมให้เกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนผู้แปรรูปผลิตภัณฑ์การเกษตรตากแห้ง ไปใช้งานอย่างหลากหลาย โดยเฉพาะกลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปเมล็ดกาแฟโรบัสต้าตากแห้ง เพื่อช่วยลดปัญหาที่อาจเกิดจากการตากแห้งแบบดั้งเดิมได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในภาพที่ 1.3 และ 1.4 ซึ่งสำนักงานพลังงานจังหวัดตรัง ได้สนับสนุนโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 x 4 เมตร ให้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟรัชฎา และแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร หมู่ที่ 8 ตำบลหนองปรือ อำเภอรัชฎา จังหวัดตรัง ภายใต้โครงการ

พลังงานเพื่อเศรษฐกิจฐานรากจังหวัดตรัง จากงบประมาณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน  
ของกระทรวงพลังงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563



ภาพที่ 1.3 โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแพรัชฎาฯ



ภาพที่ 1.4 การตากแห้งเมล็ดกาแฟด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์  
ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแพรัชฎาฯ

โดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแพรัชฎาฯและแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร มีผลิตภัณฑ์หลักที่ผลิต  
และจำหน่ายคือ เมล็ดกาแฟคั่วมือ และได้ดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็น กาแฟตริปคั่วบด และ ชา  
ดอกกาแฟ ซึ่งในการผลิตเมล็ดกาแฟคั่วมือนั้น ต้องนำเมล็ดกาแฟสดเข้าสู่กรรมวิธีหมักและตากแห้ง  
แบบวิธีดั้งเดิม โดยใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการตากแห้งเมล็ด การผลิตเมล็ดกาแฟตาก  
แห้ง นั้น พบว่าในขั้นตอนการตากแห้งและการประเมินความชื้นโดยวิธีการสังเกต ต้องอาศัยทักษะ

และประสบการณ์ของผู้ใช้งานเอง ในการสังเกต(Visual) ความชื้นและสีของเมล็ดกาแฟด้วยตาเปล่า เพื่อประเมินการจับเก็บเมล็ดกาแฟแห้ง สำหรับนำไปเข้ากระบวนการผลิตในลำดับถัดไป ดังภาพที่ 1.5



ภาพที่ 1.5 การประเมินความชื้น โดยวิธีการสังเกต

จากการประเมินความชื้นด้วยวิธีดังกล่าว เกษตรกรผู้ใช้งานโรงอบแห้งฯ ต้องพบกับปัญหา การสูญเสียเวลาในการตรวจสอบความชื้น ส่งผลกระทบให้ระยะเวลาในกระบวนการตากแห้งเป็น เวลานานประมาณ 15–21 วันต่อรอบการผลิต (เฉลี่ยประมาณ 18 วัน) ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการตาก แห้งจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในช่วงนั้นๆ และปัญหาความสม่ำเสมอของคุณภาพกาแฟแห้งที่ได้ในแต่ ละรอบการผลิต และบ่อยครั้งที่เกษตรกรผู้ใช้งานเอง ต้องมีภาระในการออกไปจำหน่ายสินค้านอก สถานที่ในต่างจังหวัด ทำให้ไม่มีเวลาเข้ามาตรวจสอบความชื้นได้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้ง สำนักงาน พลังงานจังหวัด ผู้สนับสนุนเทคโนโลยี ได้มีการให้เจ้าหน้าที่ของหน่วยงานลงพื้นที่เพื่อติดตามและเก็บ ข้อมูลการใช้งานโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้สนับสนุนเป็นระยะ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลและ ติดตามสถานะการใช้งานของโรงอบแห้งฯ แต่ยังคงประสบปัญหาในการรวบรวมข้อมูล เช่น ความไม่ ต่อเนื่องของข้อมูล ข้อมูลเกิดการสูญหาย และปัญหาการเดินทาง ฯลฯ

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งมาประยุกต์ใช้กับ โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อช่วยแก้ปัญหาให้เกษตรกรผู้ใช้งานในการตรวจติดตามสถานะและ ควบคุมการตากแห้งของผลิตภัณฑ์ ที่สามารถช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการตากแห้ง สามารถควบคุม คุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น และสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการระบายความชื้น และช่วย เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเจ้าหน้าที่สำนักงานพลังงานจังหวัด ในการเก็บข้อมูลและติดตามการ

ใช้งานโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งจะประกอบด้วย อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ตรวจวัด ที่สามารถเชื่อมต่อและควบคุมได้ด้วยระบบอินเทอร์เน็ต สามารถติดตามสถานะการใช้งานและควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ ของโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ทั้งภายในและภายนอกของโรงอบแห้งฯ ปริมาณการใช้พลังงาน อีกทั้งยังสามารถแสดงค่าตัวแปรต่างๆ เหล่านี้ได้ตามเวลาที่เกิดขึ้นจริง และยังสามารถเก็บบันทึกข้อมูลไว้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อสำนักงานพลังงานจังหวัด ผู้สนับสนุนงบประมาณการติดตั้งโรงอบแห้งฯ ในการติดตามการใช้งานระบบ ซึ่งผู้ติดตามและเกษตรกรผู้ใช้งานสามารถดูข้อมูลย้อนหลังได้ และนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงสภาพแวดล้อมในโรงอบแห้งฯ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและได้มาตรฐาน ที่จะทำให้อุปกรณ์ด้านราคาและการตลาดลดน้อยลง และจะทำให้ขายกาแฟได้ราคาดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลดีให้ชีวิตของเกษตรกรมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น และประเทศไทยยังสามารถรักษาระดับในการส่งกาแฟออกไปสู่ตลาดโลกได้ อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมภาพลักษณ์ของเกษตร 4.0 ตามนโยบายของรัฐ ในการขับเคลื่อนภาคการเกษตรกรรมด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยีสมัยใหม่ ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง สำหรับการติดตามและควบคุมการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2. เพื่อลดระยะเวลาในกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟได้ อย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์

## 1.3 สถานที่ทำการวิจัย

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟปรัชญาและแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร

สถานที่ตั้ง : เลขที่ 1 หมู่ที่ 8 ตำบลหนองปรือ อำเภอรัญญา จังหวัดตรัง 92130

พิกัด GPS : 7.89587, 99.66984



ภาพที่ 1.6 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟปรัชญาและแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร

## 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 พัฒนาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง สำหรับการอบแห้ง เมล็ดกาแฟด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 x 4 เมตร

1.4.2 ระบบสามารถสำหรับใช้ในการติดตาม ควบคุมและบันทึกข้อมูลของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ เช่น ค่าความชื้นภายในและภายนอก, ค่าอุณหภูมิภายในและภายนอก และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

1.4.3 สามารถใช้งานระบบเพื่อการติดตามและสั่งการควบคุมการตากแห้งด้วยอุปกรณ์สื่อสาร ได้ตามเงื่อนไขของค่าความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ และสามารถบันทึกและเรียกดูข้อมูลการใช้งาน โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านระบบการประมวลผลแบบคลาวด์ได้

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1) เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง สำหรับการติดตามและ ควบคุมการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้สามารถลดระยะเวลาที่ใช้ใน กระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟได้

1.5.2) สามารถช่วยในการตรวจและติดตามสถานการณ์ตากแห้งของผลิตภัณฑ์ และเพิ่ม ประสิทธิภาพการผลิตเมล็ดกาแฟอบแห้งได้

1.5.3) มีข้อมูลเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟตากแห้งด้วยโรง อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

1.5.4) สำนักงานพลังงานจังหวัด สามารถนำข้อมูลไปพัฒนาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อ เพิ่มประสิทธิภาพและขยายการสนับสนุนกลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนอื่นต่อไปได้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการใช้งานเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งสำหรับกระบวนการติดตาม บันทึกข้อมูลและควบคุมการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงการประยุกต์ใช้แนวคิดและเครื่องมือเทคนิควิศวกรรมอุตสาหกรรมเพื่อช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยผู้วิจัยได้ทำการ ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎี รวมถึงผลงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1.1 แนวคิดและเครื่องมือเทคนิควิศวกรรมอุตสาหกรรมเพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิต

##### 2.1.1.1 ความสูญเสีย 7 ประการ (7 wastes)

###### 2.1.1.1.1 การสูญเสียจากการผลิตที่มากเกินไป (Overproduction)

การสูญเสียที่เกิดจากการผลิตเกินความต้องการมักมีสาเหตุจากการวางแผนการผลิตที่ไม่สอดคล้องกับปริมาณความต้องการของตลาด เช่น การผลิตสินค้าที่มีอายุการเก็บรักษาสั้นเกินไป การส่งผลิตล่วงหน้าในปริมาณมากเกินไป เพื่อหวังลดต้นทุนด้วยการผลิตแบบครั้งเดียวจบ รวมถึงการตัดสินใจผลิตสินค้ามากกว่าคำสั่งซื้อจากลูกค้า โดยเข้าใจว่าสินค้าอาจขาดตลาดซึ่งนำไปสู่ภาวะสินค้าล้นตลาดในที่สุด และยังพบว่ามีความพยายามเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยเวลา โดยใช้งานเครื่องจักรหรือแรงงานอย่างเข้มข้นเกินขีดความสามารถของระบบ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดความสูญเสียในหลายด้าน เช่น การใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง ความล่าช้าในการแก้ไขข้อบกพร่อง การเสื่อมสภาพของสินค้าและอุปกรณ์ การเพิ่มภาระพื้นที่จัดเก็บ และการเคลื่อนย้ายวัสดุโดยไม่จำเป็น [3]

แนวทางในการลดปัญหาดังกล่าวสามารถดำเนินการได้โดยการผลิตสินค้าให้สอดคล้องกับปริมาณและช่วงเวลาที่ต้องการ วางแผนการใช้เครื่องจักรและแรงงานให้เหมาะสมกับภาระงาน ลดกระบวนการที่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม มุ่งเน้นที่กระบวนการหลัก ฝึกอบรมให้พนักงานมีทักษะที่เหมาะสม ดำเนินการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ และปรับปรุงกระบวนการที่เป็นจุดคอขวด เพื่อลดรอบเวลาการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานโดยรวม

###### 2.1.1.1.2 การสูญเสียจากการเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory)

การสูญเสียที่เกิดจากการเก็บวัสดุคงคลังในปริมาณมาก มักมีสาเหตุจากการตัดสินใจสั่งซื้อวัสดุในแต่ละครั้งเป็นจำนวนมากเกินความจำเป็น ซึ่งอาจมีเจตนาเพื่อให้ได้รับส่วนลดจากการสั่งซื้อในปริมาณมาก หรือเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการผลิตในอนาคต อย่างไรก็ตาม แนวทางดังกล่าวมักก่อให้เกิดปัญหาการสะสมวัสดุในคลังเกินระดับที่เหมาะสม ส่งผลให้ต้องใช้

ทรัพยากรในการจัดเก็บ ดูแลรักษา และบริหารคลังสินค้าเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลานาน รวมถึงปัญหาวัสดุล้าสมัยหรือล้าคุณค่าในเชิงเศรษฐกิจ [3]

แนวทางในการลดความสูญเสียจากการบริหารจัดการวัสดุคงคลังสามารถดำเนินการได้โดยการวางแผนการสั่งซื้อให้สอดคล้องกับความต้องการใช้จริงในแต่ละรอบการผลิต กำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมและมีหลักเกณฑ์ชัดเจนในการจัดเก็บ ควบคุมปริมาณวัสดุในคลังให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับกำลังการผลิต จัดระบบการทำงานให้เป็นระเบียบ ลดระยะเวลาและจำนวนครั้งของการจัดซื้อ พร้อมทั้งนำแนวทางการบริหารวัสดุแบบเข้าก่อน-ออกก่อน (First-In First-Out: FIFO) มาใช้ เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพและลดความเสียหายจากการสะสมวัสดุเกินจำเป็น

#### 2.1.1.1.3 การสูญเสียจากการขนส่ง (Transportation)

การสูญเสียที่เกิดจากการขนส่งวัสดุหรือสินค้า ซึ่งมีได้ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม อาจมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น การขนย้ายในระยะทางที่ไม่เหมาะสม การเคลื่อนย้ายสินค้าโดยไม่จำเป็น การวางแผนเส้นทางหรือกระบวนการขนส่งที่ไม่มีประสิทธิภาพ รวมถึงการออกแบบผังพื้นที่จัดเก็บที่ไม่สอดคล้องกับกระบวนการทำงาน หรือการใช้อุปกรณ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน ทั้งนี้ ความสูญเสียดังกล่าวส่งผลให้ต้นทุนด้านแรงงานและเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น การผลิตล่าช้า รวมถึงความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายของวัสดุจากการขนส่งที่ไม่เหมาะสม และเพิ่มโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุระหว่างการขนย้าย [3]

แนวทางในการลดความสูญเสียจากการขนส่งสามารถดำเนินการได้โดยการศึกษาวางแผนเส้นทางขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดระยะทางและลดความถี่ในการเคลื่อนย้ายสินค้า ควบคู่ไปกับการปรับปรุงผังการจัดเก็บและเลือกใช้อุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน ฝึกอบรมพนักงานในด้านการจัดการโลจิสติกส์อย่างเป็นระบบ และส่งเสริมการดำเนินกิจกรรม 5ส เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและลดความผิดพลาดในกระบวนการขนส่ง

#### 2.1.1.1.4 ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว (Motion)

การสูญเสียจากการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นจากการจัดสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น การวางท่าทางในการทำงานที่ไม่ถูกต้องหลักการยศาสตร์ การจัดวางอุปกรณ์ที่ไม่เอื้อต่อการหยิบจับ หรือการออกแบบผังโรงงานและระบบการทำงานที่ขาดมาตรฐาน ส่งผลให้เกิดความเหนื่อยล้า การเสียเวลาในการปฏิบัติงาน การทำงานล่าช้า และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในสถานที่ทำงาน [3]

แนวทางในการลดความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวสามารถดำเนินการได้โดยการวางแผนลำดับขั้นตอนการทำงานให้เหมาะสม ออกแบบระบบโรงงานตามมาตรฐานที่ดี ศึกษาและปรับปรุงวิธีการจัดท่าทางของพนักงานให้สอดคล้องกับลักษณะงาน รวมถึงจัดวางอุปกรณ์จำเป็น

ให้อยู่ในตำแหน่งที่สะดวกต่อการใช้งาน เพื่อช่วยลดเวลาในการทำงาน ลดความเหนื่อยล้า และเพิ่มความปลอดภัยในกระบวนการทำงานโดยรวม

#### 2.1.1.1.5 ความสูญเสียจากกระบวนการผลิต (Processing)

ความสูญเสียจากกระบวนการผลิตเกิดขึ้นเมื่อมีการกำหนดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นภายในกระบวนการผลิต ส่งผลให้เกิดจำนวนขั้นตอนมากเกินไปจนความจำเป็นโดยไม่ได้สร้างมูลค่าเพิ่มต่อผลิตภัณฑ์ นำไปสู่ต้นทุนที่สูงขึ้นโดยไม่จำเป็น และการใช้พื้นที่การทำงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งอาจทำให้ขาดพื้นที่ที่จำเป็นสำหรับกิจกรรมการผลิตในบางช่วง [3]

แนวทางในการลดความสูญเสียจากกระบวนการผลิต คือการวิเคราะห์ความจำเป็นของแต่ละขั้นตอนอย่างเป็นระบบ โดยประยุกต์ใช้หลัก 5W1H ในการพิจารณา พร้อมทั้งเลือกใช้เครื่องมือวิเคราะห์กระบวนการ เช่น Operation Process Chart, Flow Process Chart, Assembly Process Chart, Multi-Product Process Chart และ Travel Chart เพื่อปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด การดำเนินการดังกล่าวจะช่วยลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ภายในโรงงาน

#### 2.1.1.1.6 ความสูญเสียจากการรอคอย (Delay)

ความสูญเสียจากการรอคอยเกิดขึ้นเมื่อกระบวนการผลิตต้องหยุดชะงักเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น การขาดแคลนแรงงานจากการลาหรือขาดงาน การรอวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต หรือการรอเครื่องจักรที่จำเป็นต่อกระบวนการผลิตเนื่องจากการเสียหายและการซ่อมบำรุง ความล่าช้าดังกล่าวส่งผลให้เกิดการสูญเสียเวลาในการผลิต เพิ่มต้นทุนการดำเนินงาน บั่นทอนความต่อเนื่องของกระบวนการผลิต ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และทำให้เกิดปัญหาด้านขวัญกำลังใจของพนักงาน [3]

แนวทางในการลดความสูญเสียจากการรอคอยประกอบด้วย การวางแผนระบบการผลิตอย่างรัดกุม การตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักรก่อนใช้งาน ระหว่างการใช้งาน และหลังการใช้งานอย่างสม่ำเสมอ การวางแผนและจัดสรรจำนวนพนักงานให้สอดคล้องกับภาระงาน และการพัฒนาทักษะพนักงานให้สามารถปฏิบัติงานได้หลากหลาย เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและลดผลกระทบจากการขาดบุคลากร

#### 2.1.1.1.7 ความสูญเสียจากการผลิตของเสีย (Defect)

ความสูญเสียจากการผลิตของเสียเกิดขึ้นเมื่อกระบวนการผลิตก่อให้เกิดสินค้าที่ไม่ได้คุณภาพ ส่งผลให้ต้องเสียเวลาและแรงงานในการตรวจสอบ แก้ไข หรือผลิตใหม่ นำไปสู่ความล่าช้าในการดำเนินงาน การสิ้นเปลืองวัตถุดิบและต้นทุนที่เพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น อีกทั้งยังสูญเสีย

พื้นที่สำหรับการจัดเก็บและกำจัดของเสีย นอกจากนี้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่งหรือเคลื่อนย้ายวัสดุ ยังส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการผลิต [3]

แนวทางในการลดความสูญเสียจากการผลิตของเสีย ได้แก่ การกำหนดและดำเนินการตามมาตรฐานการทำงานและการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบอย่างเคร่งครัด การฝึกอบรมพนักงานให้มีความรู้ ทักษะ และจิตสำนึกในด้านคุณภาพการผลิตอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาวิธีการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยการลดความซับซ้อนของกระบวนการ และการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอทั้งก่อนการใช้, ระหว่างการใช้งานและหลังการใช้งาน เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจก่อให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตได้

### 2.1.1.2 แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

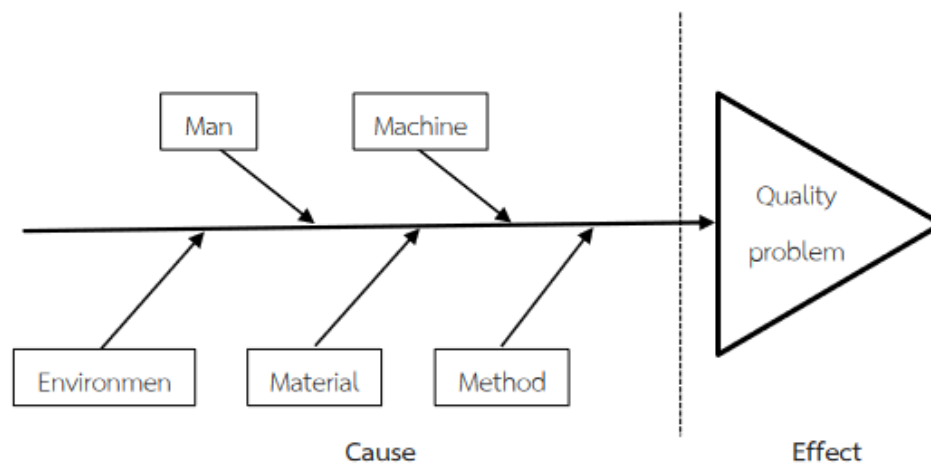
แผนผังสาเหตุและผล [3] หรือที่รู้จักในชื่อ แผนผังก้างปลา หรือ แผนผังอิชิกาวะ (ตั้งชื่อตาม ดร. อิชิกาวะ ผู้พัฒนาวิธีการนี้) เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุที่สามารถเกิดขึ้นได้ เพื่อระบุปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหานั้น โดยเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการวิเคราะห์ปัญหาในขั้นต้น หลังจากมีการรวบรวมข้อมูลและศึกษาสถานะปัจจุบันผ่านการทำแผนผังสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping)

การจัดวางปัจจัยต่างๆ บนแผนผังก้างปลาดังแสดงในภาพที่ 2.1 โดยการกำหนดปัญหาคุณภาพ (Quality Problem) ที่ต้องการแก้ไขและการระบุสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่ช่วยให้สามารถแยกแยะสาเหตุได้อย่างเป็นระบบและมีตรรกะที่ชัดเจน โดยทั่วไปจะใช้หลัก 4M1E ในการจัดกลุ่มปัจจัยเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ต้นตอของปัญหาได้อย่างครอบคลุมและเป็นระบบ ได้แก่

- M (Man) : คนงาน, พนักงานหรือบุคลากรที่ทำงานในกระบวนการ
- M (Machine) : อุปกรณ์, เครื่องจักรหรือเครื่องมืออำนวยความสะดวก
- M (Material) : วัตถุดิบหรืออะไหล่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ
- M (Method) : กระบวนการทำงานหรือวิธีการ
- E (Environment) : สิ่งแวดล้อมต่างๆ ในการทำงาน

แผนผังแสดงสาเหตุและผลมีข้อดีสำคัญ คือ ช่วยรวบรวมแนวคิดที่กระจัดกระจายของสมาชิกในทีมให้เป็นระบบระเบียบ ช่วยให้สามารถจำแนกสาเหตุหลักและสาเหตุรองของปัญหาได้อย่างชัดเจน นำไปสู่การกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาได้อย่างตรงจุดและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม แผนผังสาเหตุและผลยังมีข้อจำกัด กล่าวคือ การกำหนดหัวข้อหรือโครงสร้างของแผนผังอาจทำให้แนวคิดของสมาชิกขาดความยืดหยุ่น และอาจจำกัดการแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ นอกจากนี้ การ

ใช้งานแผนผังประเภทนี้จำเป็นต้องอาศัยผู้ที่มีทักษะสูงในการดำเนินการระดมความคิด เพื่อให้สามารถดึงศักยภาพของทีมงานออกมาได้อย่างเต็มที่



ภาพที่ 2.1 แผนผังแสดงสาเหตุและผล [3]

### 2.1.1.3 การวิเคราะห์วิธีการทำงานด้วย 5W+1H

แนวคิด 5W+1H เป็นแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงโครงสร้าง [3] โดยอาศัยการตั้งคำถามเพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการทำงานอย่างเป็นระบบ โดยจะนำมาใช้ภายหลังการวิเคราะห์ด้วยแผนผังสาเหตุและผล เพื่อเสริมความละเอียดในการตรวจสอบความเหมาะสมของกระบวนการทำงาน และช่วยกำหนดแนวทางการพัฒนาปรับปรุงที่เหมาะสมยิ่งขึ้น การตั้งคำถามสามารถจำแนกได้เป็น 6 ด้านหลัก ได้แก่

1. What - กำลังดำเนินการอะไร เพื่อย้ำเตือนถึงเนื้อหาหรือกิจกรรมของกระบวนการ
2. Why - เหตุใดจึงต้องดำเนินการดังกล่าว เพื่อตรวจสอบวัตถุประสงค์และความจำเป็นของกระบวนการ
3. Where - ดำเนินการที่ใด เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของสถานที่ทำงาน และพิจารณาการปรับเปลี่ยนหากจำเป็น
4. When - ดำเนินการเมื่อใด เพื่อทบทวนเวลาและลำดับขั้นตอนในการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

5. Who - ใครหรือเครื่องจักรใดที่ทำงานนี้อยู่ เพื่อประเมินความเหมาะสมของการมอบหมายงานระหว่างคนและเครื่องจักร

6. How - ดำเนินการอย่างไร เพื่อวิเคราะห์วิธีการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ลดความซับซ้อน และเพิ่มความสะดวกในการปฏิบัติงาน

การประยุกต์ใช้แนวคิด 5W+1H ในการพัฒนากระบวนการทำงาน จะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบกระบวนการใหม่กับกระบวนการเดิมอย่างรอบคอบ เพื่อยืนยันว่าการปรับปรุงที่ดำเนินการไปนั้นส่งผลให้ประสิทธิภาพดีขึ้น ลดโอกาสเกิดความผิดพลาด และสามารถลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการได้อย่างเป็นรูปธรรม ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในระบบการทำงาน

ตัวอย่างการใช้งานจริงของ 5W1H ในการปรับปรุงกระบวนการ

สถานการณ์สมมติ กระบวนการประกอบชิ้นงานมีความล่าช้าและของเสียสูง

- What กำลังประกอบตัวถังเครื่องจักรด้วยมือ → อาจทำให้ยึดไม่แน่น
- Why ต้องประกอบเพื่อความแข็งแรงของตัวเครื่อง แต่ขั้นตอนปัจจุบันทำให้เสียเวลาในการจัดวาง
- Where สถานที่ประกอบอยู่ไกลจากพื้นที่ตรวจสอบคุณภาพ → เสียเวลาเดินย้ายงาน
- When การประกอบทำหลังรับชิ้นงานมา 2 วัน → เสี่ยงต่อการเสียหายระหว่างรอ
- Who พนักงานเพียง 1 คนดูแลทั้งประกอบและตรวจสอบ → ภาระงานสูง
- How ใช้เครื่องมือพื้นฐานเท่านั้น ไม่มีอุปกรณ์ช่วยยึด

แนวทางปรับปรุง

- ย้ายพื้นที่ประกอบให้ใกล้คลังและจุดตรวจสอบ
- จัดตารางการทำงานใหม่ ให้ประกอบทันทีที่ได้รับชิ้นงาน
- นำเครื่องมือช่วยจับยึดมาใช้เพื่อลดเวลาและลดข้อผิดพลาด
- เพิ่มจำนวนพนักงาน หรืออบรมการใช้เครื่องมือเสริม

ผลลัพธ์

- เวลาประกอบลดลง 25%
- จำนวนของเสียจากการประกอบลดลง 40%
- พนักงานมีความพึงพอใจในการทำงานมากขึ้น

#### 2.1.1.4 การลดความสูญเปล่าของกระบวนการด้วยหลักการ ECRS

แนวคิด Eliminate, Combine, Rearrange, และ Simplify (ECRS) เป็นแนวทางในการลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงาน ซึ่งนำมาใช้หลังจากการวิเคราะห์สาเหตุและผล รวมถึงการตั้งคำถามตามแนวคิด 5W+1H เพื่อประเมินความเหมาะสมของแต่ละขั้นตอนการทำงาน หากพบว่ากระบวนการเดิมไม่เหมาะสม จำเป็นต้องหาแนวทางปรับปรุง แต่หากกระบวนการมีความเหมาะสมแล้ว ยังต้องพิจารณาว่ามีแนวทางที่ดีกว่าหรือไม่ กระบวนการวิเคราะห์เหล่านี้ช่วยระบุโอกาสในการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด [3]

##### 2.1.1.4.1 องค์ประกอบหลักของแนวคิด ECRS มีดังนี้

###### 1) การกำจัด (Eliminate)

การวิเคราะห์เพื่อระบุและขจัดขั้นตอนที่ก่อให้เกิดความสูญเปล่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสูญเสียดัง 7 ประการ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มในกระบวนการผลิต

###### 2) การรวมกัน (Combine)

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรวมขั้นตอนการทำงานที่คล้ายกัน หรือลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น เพื่อช่วยลดระยะเวลา ความยุ่งยาก ความซับซ้อน และลดต้นทุนการผลิต

###### 3) การจัดใหม่ (Rearrange)

การปรับเปลี่ยนลำดับขั้นตอนหรือการจัดวางตำแหน่งกระบวนการทำงานใหม่ เพื่อลดการเคลื่อนที่ไม่จำเป็น ลดเวลาการรอคอย และเพิ่มความต่อเนื่องของการทำงาน

###### 4) การทำให้ง่าย (Simplify)






การออกแบบหรือปรับปรุงเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือวิธีการทำงานให้ง่าย สะดวก และแม่นยำมากยิ่งขึ้น เช่น การใช้ Jig หรือ Fixture เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ลดโอกาสเกิดของเสีย และลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น

### 2.1.1.5 การเขียนผังงาน (Flowchart)

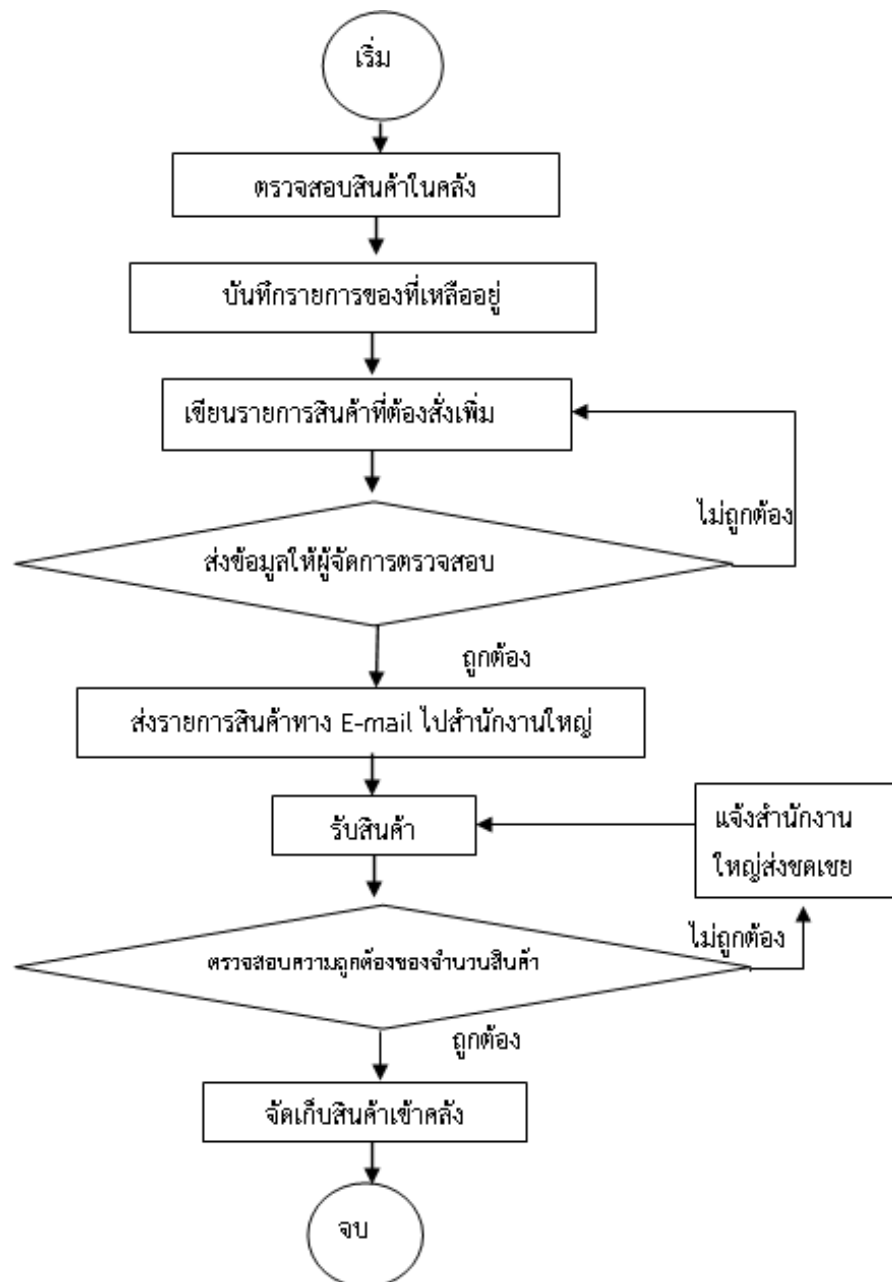
ผังงานเป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงขั้นตอน [4] หรือกระบวนการทำงานที่กระชับ เข้าใจง่าย โดยใช้สัญลักษณ์ที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดยใช้ข้อความสั้นๆ เพื่ออธิบายข้อมูล, ผลลัพธ์, คำสั่งหรือจุดตัดสินใจของขั้นตอน โดยเชื่อมโยงขั้นตอนเหล่านั้นด้วยเครื่องหมายเส้นที่มีลูกศรชี้ทิศทางการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นจนจบกระบวนการ ดังตัวอย่างในภาพที่ 2.3 เป็นแผนผังกระบวนการที่แสดงขั้นตอนการตรวจสอบและเติมสินค้าในคลังอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การตรวจนับและบันทึกสินค้าคงเหลือ การจัดทำรายการสั่งซื้อ ส่งข้อมูลให้ผู้จัดการและสำนักงานใหญ่ตรวจรับสินค้าและตรวจสอบความถูกต้องก่อนจัดเก็บเข้าคลัง โดยมีจุดควบคุมความถูกต้องหลายจุดเพื่อป้องกันข้อผิดพลาด

#### หลักการเขียนผังงาน (Flowchart)

- 1) ผังงานต้องมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดอย่างชัดเจน โดยใช้สัญลักษณ์มาตรฐานที่เหมาะสม พร้อมข้อความอธิบายสั้น กระชับ และเข้าใจง่าย หากมีรายละเอียดเพิ่มเติม ควรกำกับด้วยหมายเลขหรือตัวอักษร แล้วอธิบายในภาคผนวกหรือเอกสารแนบ
- 2) การใช้ลูกศรควรกำหนดทิศทางการทำงานจากบนลงล่าง หรือซ้ายไปขวา ตามลำดับเหตุการณ์ โดยทุกสัญลักษณ์ต้องมีลูกศรเข้าและออก ยกเว้นจุดเริ่มต้นที่มีเฉพาะลูกศรออก และจุดสิ้นสุดที่มีเฉพาะลูกศรเข้า

สัญลักษณ์	ความหมาย
	จุดเริ่มกระบวนการทำงาน หรือจุดสิ้นสุดกระบวนการทำงาน
	ขั้นตอนการทำงาน การเขียนต้องขึ้นต้นด้วยกริยาเสมอ
	ขั้นตอนการตัดสินใจ มีคำตอบอยู่ 2 ทางเลือก คือ yes หรือ no
	แสดงจุดเชื่อมต่อของกระบวนการ กรณีมีการเขียนต่อในหน้าต่อไป
	แสดงการไหลของการทำงาน หรือลำดับของการทำงาน

ภาพที่ 2.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนผังงาน



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างการเขียนผังงาน


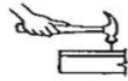



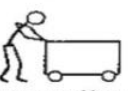



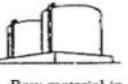
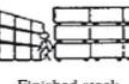








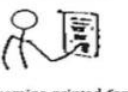
### 2.1.1.6 แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)

แผนภูมิกระบวนการไหล [4] ถือเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญในการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการทำงานอย่างละเอียดและกระชับ โดยแผนภูมิประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ได้แก่ สัญลักษณ์มาตรฐาน คำบรรยาย และเส้นเชื่อมโยง เพื่อแสดงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตอย่างเป็นลำดับตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด

การใช้แผนภูมิกระบวนการช่วยให้นักวิเคราะห์สามารถมองเห็นภาพรวมของกระบวนการผลิตได้อย่างชัดเจน และสามารถระบุจุดที่ควรปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานได้ แผนภูมินี้ใช้สำหรับวิเคราะห์การไหลของวัตถุดิบ ชิ้นส่วน พนักงาน และอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ไปในกระบวนการร่วมกับกิจกรรมต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.5

การแสดงข้อมูลในแผนภูมิกระบวนการจะอ้างอิงตามสัญลักษณ์มาตรฐาน 5 ประเภทที่กำหนดโดย American Society of Mechanical Engineers (ASME) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่

- 1) วงกลม (Operation) แทน การวางแผน, การคำนวณ, การให้คำสั่งและการรับคำสั่ง
  - 2) สีเหลี่ยม (Inspection) แทน การตรวจสอบคุณภาพ, ปริมาณและคุณลักษณะของวัตถุ
  - 3) ลูกศร (Transportation) แทน การเคลื่อนที่ หรือ พนักงานกำลังเดิน
  - 4) ครึ่งวงกลม (Delay) แทน การคอยเพื่อให้ชิ้นงานต่อไปเริ่มต้น, เก็บวัสดุชั่วคราวระหว่างทำงาน
  - 5) สามเหลี่ยม (Storage) แทน การเก็บวัสดุที่เป็นเวลานาน หรือ การเก็บถาวร
- ตัวอย่างการใช้โดยมีสัญลักษณ์ของขั้นตอนการทำงานทั้ง 5 กลุ่ม ในแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) ดังแสดงในภาพที่ 2.4

<b>OPERATION</b>  A large circle indicates an operation, such as →	 Drive nail	 Mix	 Drill hole
<b>TRANSPORTATION</b>  An arrow indicates a transportation, such as →	 Move material by truck	 Move material by conveyor	 Move material by carrying (messenger)
<b>STORAGE</b>  A triangle indicates a storage, such as →	 Raw material in bulk storage	 Finished stock stacked on pallets	 Protective filing of documents
<b>DELAY</b>  A large capital D indicates a delay, such as →	 Wait for elevator	 Material in truck or on floor at bench waiting to be processed	 Papers waiting to be filed
<b>INSPECTION</b>  A square indicates an inspection such as →	 Examine material for quality or quantity	 Read steam gauge on boiler	 Examine printed form for information

ภาพที่ 2.4 ลักษณะกิจกรรมขั้นตอนการทำงานแบบต่างๆ

แนวทางการวิเคราะห์แผนภูมิกระบวนการไหล

1. กำหนดวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ให้ชัดเจน เช่น ลดการปริมาณการเคลื่อนย้าย หรือเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

2. บ่งชี้กระบวนการที่ต้องศึกษาพร้อมทั้งรายละเอียดของกระบวนการ

3. กำหนดว่าเป็นการวิเคราะห์การไหลของเรื่องใดเรื่องหนึ่ง ดังนี้

ผลิตภัณฑ์ : การทำงานบนผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การนำชิ้นส่วนหรือวัตถุดิบเข้าสู่สายการผลิตจนประกอบเสร็จเป็นผลิตภัณฑ์

พนักงาน : การปฏิบัติงานของพนักงานในการทำงานเคลื่อนย้ายสิ่งของ และการเดินเครื่องมืออุปกรณ์, การโยกย้ายของเครื่องมือหรือการใช้งานของอุปกรณ์

4. เริ่มวิเคราะห์จากจุดเริ่มต้น บันทึกการทำงานตามที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดทุกขั้นตอน พร้อมทั้งบรรยายสั้นๆ ถึงลักษณะงานที่เกิดขึ้น

5. เก็บข้อมูลรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง

6. โยงเส้นระหว่างสัญลักษณ์จากบนลงล่าง

7. สรุปขั้นตอนการปฏิบัติงานลงในตารางสรุปผล

ข้อควรระวัง

1. ไม่ควรวิเคราะห์แผนภูมิการไหลของชิ้นส่วนปะปนกับแผนภูมิการเคลื่อนของพนักงาน เพราะพนักงานและชิ้นส่วนอาจไม่เคลื่อนที่ไปพร้อมกัน

2. พึงระวังในการแยกกิจกรรมการปฏิบัติงานที่ต่างวัตถุประสงค์ออกจากกัน

3. บันทึกรายละเอียดของงานลงบนแผนภูมิก่อนเริ่มต้นการวิเคราะห์เสมอ

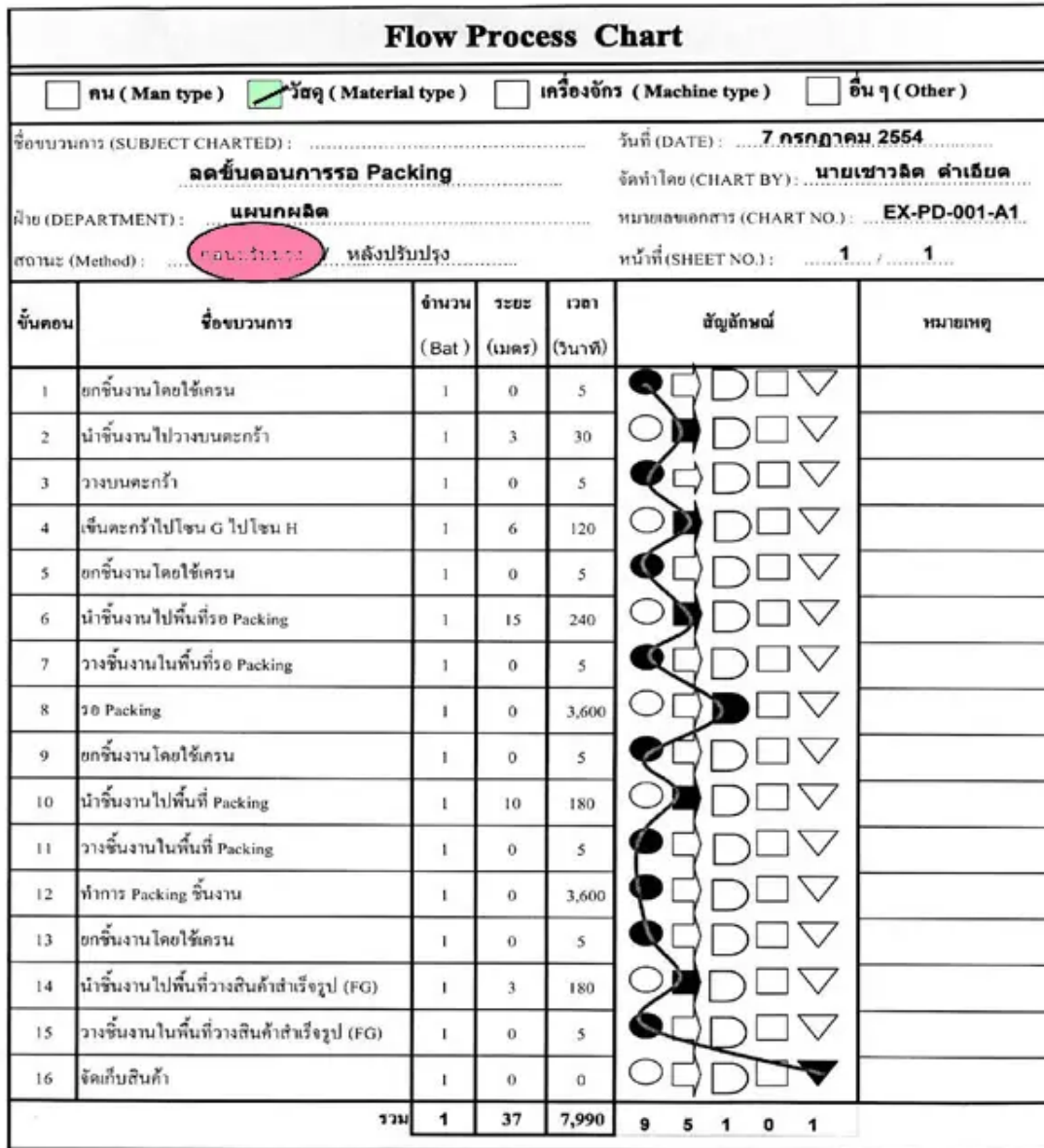
ประโยชน์ใช้งานของแผนภูมิกระบวนการไหล

1. เป็นแผนที่จำแนกกิจกรรมต่าง ๆ ออกจากกันเป็น 5 ประเภท โดยเริ่มจาก กิจกรรมที่มีมูลค่าเพิ่มได้แก่การปฏิบัติงานไปจนถึงกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า

2. แยกแยะกิจกรรมของพนักงานออกจากกิจกรรมที่ทำบนผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถมองเห็นจุดเน้นในการวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจน

3. ใช้ควบคู่ไปกับแผนภาพการไหล จะช่วยชี้ให้เห็นการรอคอยและระยะทางการเคลื่อนที่

4. สามารถใช้แผนภูมิเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบแสดงผลก่อนและหลังการปรับปรุง



หมายเหตุ :

= operation ;   
 = transportation ;   
 = inspection ;   
 = storage   
 = delay

ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลในแผนผังการไหลของวัสดุ

## 2.1.2 ผลผลิตกาแฟ

### 2.1.2.1 การผลิตเมล็ดกาแฟ

กาแฟนับเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย [2] โดยสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรในแต่ละปีประมาณ 2,000 ล้านบาท ในอดีต เกษตรกรนิยมขยายพันธุ์กาแฟทั้งพันธุ์อะราบิกา (Coffea arabica) และโรบัสตา (Coffea robusta) ด้วยการเพาะเมล็ดเป็นหลัก สำหรับสถานการณ์ด้านการค้าระหว่างประเทศในปี 2562 พบว่าการส่งออกเมล็ดกาแฟดิบมีปริมาณ 383.33 ตัน คิดเป็นมูลค่า 84.33 ล้านบาท ลดลงจากปีก่อนหน้าทั้งในด้านปริมาณและมูลค่าร้อยละ 18.26 และ 8.33 ตามลำดับ ขณะที่กาแฟคั่วมีปริมาณส่งออก 145.48 ตัน มูลค่า 40.17 ล้านบาท ลดลงร้อยละ 11.29 และ 10.73 ด้านกาแฟสำเร็จรูปส่งออก 2,666.70 ตัน มูลค่า 574.40 ล้านบาท ลดลงร้อยละ 32.48 และ 13.23 ตามลำดับ ส่วนการนำเข้าเมล็ดกาแฟดิบมีปริมาณ 44,831 ตัน มูลค่า 2,523 ล้านบาท ลดลงร้อยละ 28.45 และ 35.00 ส่วนกาแฟคั่วนำเข้า 3,238 ตัน มูลค่า 822 ล้านบาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 59.66 และ 35.86 สำหรับกาแฟสำเร็จรูป แม้ปริมาณนำเข้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ร้อยละ 0.05 เป็น 7,212 ตัน แต่มูลค่ากลับลดลงร้อยละ 9.99 เหลือ 1,837 ล้านบาท ด้านราคากาแฟในประเทศช่วงปี 2562-2563 (ต.ค. 62 – ก.พ. 63) พบว่าราคามะลิคกาแฟโรบัสตาที่เกษตรกรขายได้เฉลี่ยอยู่ที่ 66.75 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.47 สำหรับพื้นที่เพาะปลูกกาแฟในปีเดียวกันมีพื้นที่ให้ผลผลิตรวม 214,294 ไร่ แบ่งเป็นพันธุ์อะราบิกา 87,159 ไร่ และพันธุ์โรบัสตา 127,135 ไร่ รวมผลผลิตทั้งสิ้น 18,598 ตัน โดยภาคใต้มีสัดส่วนพื้นที่สูงสุดร้อยละ 58.47 รองลงมาคือภาคเหนือ การเลือกปลูกสายพันธุ์กาแฟมักพิจารณาจากลักษณะภูมิประเทศ เช่น อะราบิกาซึ่งเหมาะกับพื้นที่สูง 800–1,200 เมตรจากระดับน้ำทะเล นิยมในเขตภาคเหนือเนื่องจากให้กลิ่นและรสชาติ ส่วนโรบัสตาชอบพื้นที่ชุ่มชื้น ปลูกง่าย ได้ผลผลิตสูง เหมาะกับพื้นที่สูงราว 500–600 เมตร และนิยมปลูกในภาคใต้ของไทย เช่น จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช

### 2.1.2.2 พันธุ์กาแฟ

#### 1) กาแฟพันธุ์อะราบิกา (Arabica)

เป็นพันธุ์กาแฟที่นิยมปลูกมากที่สุดในตลาดโลกมีปริมาณถึง 80% ของตลาดกาแฟโลก แต่มีปริมาณเพียง 1 ใน 8 ที่มีคุณภาพสูง สามารถปลูกในพื้นที่สูง 800 เมตร ถึง 1,200 เมตร จากระดับน้ำทะเล ทำให้เมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพ กลิ่นหอม และรสชาติเด่น [2]

#### 2) กาแฟพันธุ์โรบัสตา (Robusta)

เป็นพันธุ์กาแฟที่ต้องการความชื้นสูง ทนทาน ปลูกง่าย ให้ผลผลิตสูง ปลูกได้ในพื้นที่สูง 500 เมตร ถึง 600 เมตรจากระดับน้ำทะเล ในประเทศไทยนิยมปลูกในภาคใต้ เช่น จังหวัดชุมพร, จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดนครศรีธรรมราช [2]

จากฐานข้อมูลพันธุ์กรรมพืชของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กาแฟโรบัสต้าได้รับการจัดประเภทเป็นพืชสวนในกลุ่มพืชอุตสาหกรรม โดยมีข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ระบุชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea canephora* อยู่ในวงศ์ RUBIACEAE และสกุล *Coffea* กระบวนการพัฒนาสายพันธุ์กาแฟโรบัสต้าในประเทศไทยเริ่มต้นในปี พ.ศ. 2532 โดยมีการดำเนินการสองแนวทางหลัก ได้แก่ การรวบรวมพันธุ์ภายในประเทศจากแหล่งปลูกต่าง ๆ เพื่อคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสม และการนำเข้าสายพันธุ์จากต่างประเทศเพื่อนำมาทดสอบความเหมาะสมด้านคุณภาพและการเจริญเติบโต แนวทางหลังนี้เริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2534 โดยศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพรได้รับการสนับสนุนพันธุ์จากบริษัทเนสท์เล่ (ไทย) ซึ่งรวบรวมสายพันธุ์จากศูนย์วิจัยเนสท์เล่ในฝรั่งเศสและมาเลเซียจำนวนรวม 45 สายพันธุ์ ซึ่งส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์กรรม Guinean (G) และ Congolese (C) หรือเป็นลูกผสมของทั้งสองกลุ่มนี้ หลังจากการทดสอบและประเมินผลอย่างต่อเนื่อง ในช่วงปี พ.ศ. 2543–2549 ทางศูนย์วิจัยสามารถคัดเลือกพันธุ์ที่มีศักยภาพสูงจำนวน 5 พันธุ์ และในปี พ.ศ. 2550 ได้พัฒนาและเสนอพันธุ์เด่น คือ FRT65 ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Congolese โดยมีแหล่งกำเนิดในประเทศโตโก และผ่านการรวบรวมโดย CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) ก่อนถูกส่งไปยังศูนย์วิจัยเนสท์เล่ประเทศฝรั่งเศสในปี พ.ศ. 2532 และนำเข้าประเทศไทยในปี พ.ศ. 2538 การคัดเลือกพันธุ์ดังกล่าวใช้เวลาวิจัยทั้งสิ้น 13 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 ถึง 2550 จึงสามารถพัฒนาเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมต่อความต้องการของตลาดทั้งด้านคุณภาพเมล็ดและลักษณะทางการเกษตร

### 2.1.2.3 ลักษณะของพันธุ์กาแฟโรบัสต้า

ต้นกาแฟโรบัสต้า ลักษณะทรงพุ่มขนาดปานกลาง ใบมีสีเขียวเข้มสด จำนวนผลเฉลี่ยต่อช่ออยู่ที่ 11.85 ผล ดอกมีสีขาวสะอาด ผลมีลักษณะกลมรี ปลายมน ขนาดผลเฉลี่ยอยู่ที่  $1.18 \times 1.32$  เซนติเมตร ขณะที่เมล็ดแห้งมีขนาดเฉลี่ย  $0.64 \times 0.84 \times 0.35$  เซนติเมตร โดยน้ำหนัก 100 เมล็ดแห้งเท่ากับ 16.2 กรัม ความยาวเฉลี่ยของก้านช่อดอกอยู่ที่ 78.72 เซนติเมตร และมีจำนวนข้อที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 18.04 ข้อ ลักษณะผลเมื่อแก่ยังคงมีสีเขียว และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อเข้าสู่ระยะสุกเต็มที่พร้อมเก็บเกี่ยว ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ลักษณะผลกาแฟโรบัสต้า

### 2.1.3 การแปรรูปเมล็ดกาแฟ

วิธีการแปรรูปกาแฟ [5] มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการกำหนดคุณภาพและรสชาติของผลผลิตกาแฟในขั้นสุดท้าย การเลือกวิธีการแปรรูปที่เหมาะสมไม่เพียงแต่ช่วยเสริมสร้างคุณลักษณะที่ซ่อนอยู่ในเมล็ดกาแฟให้โดดเด่นขึ้น แต่ยังส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มมูลค่าทางการตลาด และช่วยสร้างรายได้ที่สูงขึ้นให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟ และหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการเพิ่มคุณภาพกาแฟคือการพัฒนาวิธีการแยกเมล็ดกาแฟออกจากผลกาแฟสุกอย่างมีประสิทธิภาพ โดยแต่ละพื้นที่การปลูกกาแฟทั่วโลกมีลักษณะทางสภาพแวดล้อมเฉพาะตัว หรือที่เรียกว่า “เทค-คัวร์” (Terroir) ซึ่งส่งผลให้กาแฟในแต่ละพื้นที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ทั้งในด้านกลิ่น รสชาติ และคุณภาพ ทำให้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มในตลาดเฉพาะกลุ่มได้ เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์คุณภาพสูงอย่างไวน์ ช็อกโกแลต และชีส ฯลฯ และแนวโน้มของตลาดกาแฟชนิดพิเศษ (Specialty Coffee) ที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่องได้เน้นการแสวงหากาแฟที่มีลักษณะเฉพาะจากแหล่งปลูกเดียว เพื่อสร้างประสบการณ์การบริโภคที่แตกต่างและมีคุณค่า โดยกระบวนการแปรรูปกาแฟที่เหมาะสมจึงมีบทบาทสำคัญต่อการยกระดับกาแฟจากแหล่งปลูกต่าง ๆ ให้สามารถตอบโจทย์ตลาดพรีเมียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ไม่มีวิธีการแปรรูปใดที่สามารถระบุได้ว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับกาแฟทุกประเภท กระบวนการแปรรูปที่ดี

ต้องสามารถรักษาคุณภาพให้อยู่ในระดับมาตรฐานสูง พร้อมทั้งสอดคล้องกับสภาพพื้นที่และ วัตถุประสงค์ทางการตลาด ดังนั้นการทำความเข้าใจพื้นฐานของคุณภาพกาแฟและองค์ประกอบหลัก ของการแปรรูป จึงเป็นกุญแจสำคัญขององค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการ ที่ส่งผลต่อคุณภาพกาแฟ และต้องได้รับการควบคุมในกระบวนการแปรรูป ได้แก่ การเลือกเก็บผลกาแฟอย่างถูกต้อง, กระบวนการหมัก และการควบคุมปริมาณความชื้น

กระบวนการแปรรูปกาแฟหลังการเก็บเกี่ยวมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพรสชาติและ คุณลักษณะทางกายภาพของเมล็ดกาแฟ [5] โดยวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถจำแนกได้เป็น 3 รูปแบบหลัก ได้แก่ การแปรรูปแบบเปียก (Washed Process), การแปรรูปแบบแห้ง (Dry Natural Process) และการแปรรูปแบบผสม หรือที่เรียกว่าแบบน้ำผึ้ง (Pulped Natural หรือ Honey Process) ซึ่งแต่ละวิธีมีแนวทางปฏิบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม สภาพอากาศ ประเภทของสายพันธุ์กาแฟ และจุดประสงค์ของผู้ผลิต ทั้งในด้านปริมาณผลผลิตและการสร้าง เอกลักษณ์ด้านรสชาติ กระบวนการทั้งสามแบบมีรายละเอียดที่แตกต่างกัน และสามารถเลือกใช้อย่าง เหมาะสมตามบริบทของแหล่งปลูกและระบบการผลิต ดังนี้

### 2.1.3.1 การแปรรูปกาแฟแบบเปียก (Washed Process)

การแปรรูปกาแฟแบบเปียก [5] เป็นกระบวนการที่อาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการแยก ส่วนต่าง ๆ ของผลกาแฟออกจากเมล็ด โดยเริ่มต้นจากการนำผลกาแฟสุกเข้าสู่เครื่องสีเปียก ซึ่งจะทำ หน้าที่แยกเปลือกและเนื้อผลออก จากนั้นเมล็ดที่ยังมีเมือกหุ้มจะเข้าสู่กระบวนการหมัก เพื่อย่อย สลายเมือกก่อนทำความสะอาดอีกครั้งด้วยการขัดหรือล้างโดยใช้เครื่องจักรหรือเทคนิคผสมผสาน เมล็ดที่ผ่านการแปรรูปจะถูกแช่น้ำชำระหลายครั้ง ทำให้สามารถคัดเมล็ดที่มีคุณภาพต่ำออกได้โดยอาศัย หลักการลอยน้ำ ซึ่งเมล็ดลีบจะลอยและสามารถแยกทิ้งได้ง่าย หลังจากนั้นเมล็ดจะถูกนำไปตากแห้ง โดยมีตัวเลือกทั้งการตากแดดบนพื้นตาข่ายยกสูง (เรียกว่า African Raised Beds) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 หรือใช้เครื่องอบแห้ง ซึ่งมีทั้งแบบเป่าลมร้อนจากสองทิศทาง และแบบถังหมุนที่ให้ความร้อน สม่าเสมอ เพื่อควบคุมคุณภาพและลดความชื้นให้เหลือประมาณ 12% ทั้งนี้ในช่วงกลางคืน ผู้ผลิตมัก คลุมเมล็ดด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการดูดซึมความชื้นจากอากาศ

ข้อดีของการแปรรูปด้วยวิธีนี้คือ ช่วยให้กระบวนการผลิตมีความรวดเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีอื่น เนื่องจากสามารถแยกเนื้อออกจากเมล็ดได้ตั้งแต่ต้น จึงทำให้ใช้พื้นที่ในการตากน้อยลงและ ลดระยะเวลาในการทำให้แห้ง นอกจากนี้ยังช่วยยกระดับคุณภาพของเมล็ดกาแฟให้สม่าเสมอ เหมาะ กับผู้ผลิตที่ต้องการควบคุมมาตรฐานสินค้าในเชิงอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม กระบวนการดังกล่าว จำเป็นต้องอาศัยเครื่องจักรเฉพาะทางที่มีต้นทุนสูง และอาจต้องร่วมมือกับสหกรณ์หรือแหล่งผลิตที่มี ระบบสนับสนุนเพียงพอ



ภาพที่ 2.7 การตากเมล็ดกาแฟบนพื้นตาข่ายยกสูง [5]

### 2.1.3.2 การแปรรูปกาแฟแบบแห้งตามธรรมชาติ (Dry Natural Process)

กระบวนการแปรรูปกาแฟแบบแห้ง หรือที่เรียกกันว่า “Dry Process” [5] เป็นวิธีการที่มีการใช้มาอย่างยาวนานในประเทศผู้ผลิตกาแฟหลัก เช่น เอธิโอเปีย บราซิล และเยเมน โดยเฉพาะในสายพันธุ์โรบัสต้า วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรที่ซับซ้อนมากนัก โดยผลกาแฟสุกจะถูกนำไปตากทั้งเปลือกและเนื้อ โดยไม่ผ่านการลอกเยื่อหุ้มใด ๆ จนกว่าความชื้นในผลจะลดลงสู่ระดับประมาณ 12% เมื่อดอกแห้งได้ที่แล้วจึงนำเข้าสู่เครื่องสีแห้งเพื่อแยกเปลือกและเนื้อที่แห้งออกจากเมล็ดภายใน ซึ่งในระหว่างกระบวนการตาก น้ำตาลที่อยู่ในเนื้อผลกาแฟจะซึมเข้าสู่เมล็ด ทำให้กาแฟที่ได้มีรสชาติหวานตามธรรมชาติและกลิ่นหอมเฉพาะ ซึ่งเป็นลักษณะเด่นที่ได้รับความนิยมในกลุ่มตลาดกาแฟพิเศษ (Specialty Coffee) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มักใช้เวลาานานกว่าและต้องใช้พื้นที่ในการตากที่กว้างขวาง เนื่องจากต้องตากทั้งผลกาแฟที่ยังมีเนื้อหุ้มอยู่ แต่ในทางกลับกันก็มีข้อดีในแง่ของต้นทุนที่ต่ำกว่าวิธีอื่น เพราะใช้เพียงเครื่องสีแห้งในการแปรรูปหลังจากการตากเท่านั้น

### 2.1.3.3 การแปรรูปกาแฟแบบผสม (Pulped Natural หรือ Honey Process)

การแปรรูปกาแฟในรูปแบบผสม หรือที่เรียกว่า “Honey Process” [5] ถือเป็นแนวทางที่อยู่กึ่งกลางระหว่างระบบแปรรูปแบบเปียกและแบบแห้ง โดยเริ่มต้นจากการนำผลกาแฟสุกเข้าสู่เครื่องสีเปียกเพื่อลอกเปลือกและเนื้อออกคล้ายกับกระบวนการแบบเปียก อย่างไรก็ตาม แทนที่

จะนำเมล็ดที่ถูกแยกเนื้อออกไปหมักและล้างเมือกออกให้หมด เมล็ดจะถูกนำไปตากทั้งที่ยังมีชั้นเมือก (mucilage) หุ้มอยู่ เมล็ดจะค่อย ๆ แห้งลงจนระดับความชื้นลดลงสู่ประมาณ 12% โดยยังคงอยู่ในลักษณะของกาแพะลาที่มีผนังผลชั้นในห่อหุ้ม

กระบวนการนี้มีข้อได้เปรียบในเชิงคุณภาพ โดยเฉพาะการเพิ่มความหวานและกลิ่นหอมจากน้ำตาลในชั้นเมือกที่ซึมเข้าสู่เมล็ดขณะตาก อีกทั้งยังสามารถลดความเสี่ยงของเมล็ดที่มีข้อบกพร่องจากการลอยน้ำ โดยมีการคัดแยกเมล็ดที่คุณภาพต่ำออกในช่วงแรก การแปรรูปแบบผสมจึงเป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในกลุ่มผู้ผลิตที่มุ่งเป้าไปที่ตลาดกาแพพิเศษ โดยให้สมดุลระหว่างต้นทุนการผลิตและคุณภาพของเมล็ดที่ได้

การแปรรูปกาแพทั้ง 3 กรรมวิธี ได้แก่ แบบเปียกที่เน้นการหมักและล้างก่อนตาก, แบบแห้งที่ตากทั้งผลกาแพโดยไม่ลอกเปลือก และแบบกึ่งแห้งที่คงเมือกบางส่วนไว้ก่อนตาก ทั้งหมดต้องลดความชื้นลงสู่ระดับ 10–12% โดยแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อควรระวังต่างกันตามกระบวนการและสภาพแวดล้อม แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะกรรมวิธีการแปรรูปกาแพ [5]

กรรมวิธีการแปรรูปกาแพ	ลักษณะกระบวนการ	ความชื้นเป้าหมายหลังตาก	หมายเหตุ
แบบเปียก (Wet Process)	ล้างและหมักเมล็ด → ตากแห้ง	10–12%	ต้องควบคุมการหมักและล้างอย่างแม่นยำ
แบบแห้ง (Dry Process)	ตากผลกาแพทั้งผลโดยไม่ลอกเปลือก	10–12%	ใช้เวลานานและเสี่ยงต่อเชื้อรา หากสภาพอากาศไม่ดี
แบบกึ่งแห้ง (Honey Process)	ลอกเปลือกบางส่วน คงบางส่วนของเมือกไว้	10–12%	ให้ความหวานสูง แต่ต้องการการตากอย่างพิถีพิถัน

#### 2.1.3.4 ผลกระทบของกระบวนการตากแห้งต่อคุณภาพเมล็ดกาแฟ

กระบวนการแปรรูปแบบตากแห้งมีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อกลิ่นและรสชาติของเมล็ดกาแฟ โดยกาแฟที่ผ่านการแปรรูปด้วยวิธีนี้มักแสดงเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่แตกต่างจากแบบเปียก (Washed Process) อย่างเห็นได้ชัด เมล็ดกาแฟที่ถูกตากแห้งพร้อมเนื้อเชอร์รี่มักมีรสสัมผัสที่เข้มข้น ให้กลิ่นผลไม้สุกหวาน เช่น เบอร์รี่ และมีความหวานธรรมชาติสูง นอกจากนี้ยังให้เนื้อสัมผัสที่แน่น (บอดี) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่แปรรูปแบบเปียก ขณะเดียวกันระดับความเปรี้ยวในกาแฟที่ผ่านการตากแบบธรรมชาติจะต่ำลง เนื่องจากกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดช่วยปรับสมดุลของกรด ส่งผลให้รสชาติสุดท้ายมีความนุ่มนวลและกลมกล่อมมากขึ้น [8]

อย่างไรก็ตาม การตากแห้งก็มีข้อจำกัด หากควบคุมกระบวนการไม่ดี เช่น ตากไม่สม่ำเสมอหรือพื้นที่ที่มีความชื้นสูง อาจนำไปสู่การหมักที่ไม่พึงประสงค์หรือการปนเปื้อนของเชื้อรา ส่งผลให้เกิดกลิ่นแปลก เช่น กลิ่นเปรี้ยวฉุนหรือกลิ่นอับคล้ายรา [9] ผู้เชี่ยวชาญระบุว่ากาแฟที่แปรรูปแบบธรรมชาติมีความหลากหลายในกลิ่นรสสูง ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีเยี่ยมหากดำเนินการอย่างแม่นยำ แต่ก็เสี่ยงต่อการเกิดข้อบกพร่อง (defect) ได้ง่ายกว่าวิธีอื่น เช่น กลิ่นบูดหรือกลิ่นสาบ ดังนั้นมาตรฐานความสะอาดและการควบคุมในขั้นตอนการตากจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง [10]

ในเชิงวิทยาศาสตร์อาหารพบว่า วิธีการแปรรูปต่างกันมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดกาแฟสดอย่างมีนัยสำคัญ การตากเมล็ดพร้อมเนื้อเชอร์รี่ส่งผลให้สารบางชนิด เช่น ซูโครส และฟรุกโตส คงอยู่ในเมล็ดมากกว่ากระบวนการล้างแบบเปียก ซึ่งในขั้นตอนนั้น น้ำและการหมักจะชะล้างน้ำตาลออกไปบางส่วน ส่งผลให้กาแฟแบบเปียกมีปริมาณน้ำตาลน้อยกว่า งานวิจัยหลายฉบับรายงานว่ากาแฟที่แปรรูปแบบธรรมชาติและกึ่งล้าง (Honey Process) มีน้ำตาลรีดิวิซ์ เช่น ฟรุกโตส มากกว่าแบบเปียกอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสัมพันธ์กับความหวานที่เด่นชัดของกาแฟเมื่อผ่านการคั่ว [11]

น้ำตาลที่เหลืออยู่ในเมล็ดกาแฟยังมีบทบาทสำคัญในกระบวนการคั่ว โดยจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ซึ่งก่อให้เกิดสารกลิ่นรสที่ซับซ้อน เช่น กลิ่นคาราเมลหรือผลไม้สุก นอกจากน้ำตาลแล้ว สารประกอบอื่น เช่น กรดคลอโรจีนิค กรดคาเฟอิก คาเฟอีน และไตรโกเนลลีน ก็ได้รับผลจากวิธีการแปรรูปด้วยเช่นกัน โดยการศึกษาหนึ่งในประเทศไทยระบุว่ากาแฟอาราบิก้าที่ผ่านการแปรรูปแบบตากแห้งมีปริมาณสารกลุ่มเอสเทอร์ไขมัน (fatty esters) สูงกว่ากาแฟที่แปรรูปแบบเปียก ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลิ่นสัมผัสนุ่มลึกของกาแฟคั่ว [11]

แม้ว่าปริมาณคาเฟอีนไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยระหว่างวิธีการแปรรูปต่าง ๆ แต่การแปรรูปแบบเปียกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตบางชนิดสูงกว่า และหากใช้การอบแห้งแบบควบคุมความชื้นต่ำ (Low Temperature, Long Holding: LTLH) จะช่วยรักษาระดับกรดคลอโรจีนิคได้มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการแปรรูปมีผลต่อโครงสร้างสารเคมีภายในเมล็ด ซึ่งแสดงออกผ่านรสชาติและกลิ่นเมื่อผ่านการคั่ว [12]

ในด้านโภชนาการ แม้มะลัดกาแพไม่ใช่วิถีแห่งสารอาหารหลัก แต่สารประกอบฟีนอล กรดคลอโรจีนิก และสารต้านอนุมูลอิสระในมะลัดกาแพก็มีบทบาทต่อประโยชน์ทางสุขภาพ และอาจได้รับผลจากวิธีแปรรูป เช่น กาแฟธรรมชาติที่ไม่ได้ล้างน้ำอาจเก็บรักษาสารต้านอนุมูลอิสระไว้ได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม ปัจจัยอื่น เช่น สายพันธุ์และระดับการคั่วก็มีผลเช่นกัน

การตากมะลัดจนมีความชื้นในช่วง 11–12% ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดเชื้อราและแมลงในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีผลต่อความคงตัวของกลิ่นรสและลักษณะทางกายภาพของมะลัด หากความชื้นสูงเกิน 13% ความเสี่ยงในการปนเปื้อนและการเสื่อมคุณภาพจะเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม หากใช้อุณหภูมิสูงเกินไปในการอบแห้งเร็ว อาจทำให้มะลัดแตกภายในหรือลดอายุการเก็บรักษา การตากอย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิควบคุมจึงเป็นแนวทางที่ช่วยคงคุณภาพของมะลัดได้ดีที่สุด [13]

### 2.1.3.5 บทบาทของการหมักในกระบวนการแปรรูปกาแฟ

ไม่ว่ากาแฟจะถูกแปรรูปด้วยวิธีเปียกแห้ง หรือน้ำผึ้ง การหมักนับเป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลอย่างมีนัยต่อคุณภาพสุดท้ายของมะลัดกาแพ การหมักเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่จุลินทรีย์ เช่น ยีสต์และแบคทีเรีย เปลี่ยนน้ำตาลในผลกาแฟให้กลายเป็นกรด แอลกอฮอล์ หรือก๊าซ โดยปฏิกิริยาเหล่านี้เริ่มต้นขึ้นตั้งแต่ผลกาแฟสุกบนต้น และจะดำเนินไปจนกว่าความชื้นของมะลัดจะลดลงเหลือประมาณ 12% ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานในการเก็บรักษา

การจัดการกระบวนการหมักอย่างเหมาะสมจะช่วยส่งเสริมคุณภาพรสชาติของกาแฟ และเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ได้ในทางกลับกัน หากการหมักเกิดขึ้นนานเกินไปโดยขาดการควบคุม อาจส่งผลให้กาแฟเกิดกลิ่นหรือรสไม่พึงประสงค์ ซึ่งกระทบต่อคุณภาพและราคาจำหน่ายโดยตรง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราและคุณภาพของการหมัก ได้แก่ อุณหภูมิ แสงแดด การระบายอากาศ ปริมาณออกซิเจนหรือการขาดออกซิเจน และระดับของน้ำตาลในผลกาแฟ โดยปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์แต่ละชนิด แบคทีเรียซึ่งมีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติอาจส่งผลได้ทั้งในทางดีและไม่ดี ส่วนยีสต์แม้มีจำนวนน้อยในสภาพธรรมชาติ แต่ส่วนใหญ่มักให้ผลเชิงบวกต่อรสชาติ ขณะที่เชื้อราทั้งหมดที่สามารถมองเห็นหรือได้กลิ่นได้ชัดเจน ถือว่าเป็นตัวการที่ทำให้คุณภาพกาแฟลดลง

การควบคุมการหมักสามารถทำได้ด้วยการจัดการเวลาให้เหมาะสม เช่น เร่งกระบวนการตากให้เร็วขึ้น และหลีกเลี่ยงการคั้นความชื้นจากน้ำค้างหรืออุณหภูมิต่ำในเวลากลางคืน นอกจากนี้ ลักษณะของภาชนะที่ใช้หมักก็มีผลโดยตรงต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ภาชนะผิวหยาบมีแนวโน้มสะสมเชื้อโรคได้มากกว่าภาชนะที่มีพื้นผิวเรียบ เช่น โลหะ พลาสติก หรือซีเมนต์

โดยทั่วไป แบคทีเรียจะมีบทบาทเด่นในช่วงแรกของการตากที่ความชื้นยังสูง จากนั้น ยีสต์จะเติบโตในระยะกลาง และหากไม่ควบคุมให้ดี เชื้อราอาจเจริญเติบโตในช่วงท้ายของการแปรรูป

ที่เมล็ดกาแฟเริ่มแห้ง การทดลองในระดับย่อย เช่น การหมักผลกาแฟในถังปิดขนาดเล็ก อาจช่วยวิเคราะห์ชนิดของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น โดยสังเกตจากกลิ่นที่เกิดขึ้น เช่น กลิ่นคล้ายไวน์บ่งบอกถึงยีสต์ ในขณะที่กลิ่นเปรี้ยวหรือขมแสดงถึงเชื้อราที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งควรเร่งเข้าสู่กระบวนการตากทันทีเมื่อพบสัญญาณเหล่านี้

การหมักยังมีบทบาทในกระบวนการแปรรูปแบบเปียก โดยช่วยให้เมือกหุ้มเมล็ดกาแฟอ่อนตัวและสามารถล้างออกได้ง่าย ทั้งนี้สามารถเลือกใช้วิธีการหมักแบบใช้ออกซิเจน (หมักแห้ง) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (หมักในน้ำ) ก็ได้ การหมักในน้ำมีข้อดีที่สามารถคัดเมล็ดเสียได้เพิ่มเติมจากการลอยน้ำ แต่ต้องระวังเรื่องการจัดการน้ำเสีย เนื่องจากน้ำจากการหมักมีความเป็นกรดสูงและอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมหากปล่อยทิ้งโดยไม่ผ่านการบำบัด

#### 2.1.3.6 การลดความชื้นในการรักษาคุณภาพกาแฟ

กระบวนการลดความชื้นของผลกาแฟถือเป็นหนึ่งในขั้นตอนวิจัยและปฏิบัติที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าการหมัก เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณภาพ รสชาติ และอายุการเก็บรักษาของกาแฟ หลังการเก็บเกี่ยว ผลกาแฟสุกจะมีค่าความชื้นเฉลี่ยประมาณ 50% ไม่ว่าจะใช้วิธีการแปรรูปแบบใด (เปียกหรือแห้ง) เป้าหมายหลักคือการลดความชื้นของเมล็ดลงให้คงที่ที่ระดับ 12% ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการจัดเก็บโดยไม่ทำให้เมล็ดเสื่อมคุณภาพหรือเกิดการหมักซ้ำโดยไม่ตั้งใจ

การทำให้แห้งสามารถดำเนินการได้ทั้งแบบธรรมชาติ เช่น การตากแดด และแบบกลไกโดยใช้เครื่องอบแห้ง การตากบนพื้นโดยตรง เช่น พื้นดินหรือคอนกรีต อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วในช่วงกลางวันและกลางคืน ซึ่งส่งผลต่อความสม่ำเสมอของการแห้ง ในทางกลับกัน การตากบนตะแกรงยกสูง เช่น ตาข่ายมุ้งลวด หรือที่เรียกว่า Raised Beds ช่วยให้การระบายอากาศและการควบคุมอุณหภูมิมีประสิทธิภาพมากขึ้น ควรมีการปิดคลุมกาแฟที่กำลังแห้งในช่วงกลางคืนด้วยวัสดุกันน้ำ เช่น ผ้าใบหรือถุงพลาสติก เพื่อป้องกันการดูดซึมความชื้นกลับจากอากาศที่เย็นลงและก่อให้เกิดการควบแน่นซึ่งอาจเร่งการเจริญของเชื้อรา

สำหรับการตรวจสอบระดับความชื้นสามารถใช้เครื่องวัดเฉพาะทาง หรือประเมินค่าคร่าว ๆ ด้วยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยตัวอย่างเช่น หากนำผลกาแฟสุกน้ำหนัก 12 กิโลกรัมมาตากแห้งแบบธรรมชาติ จนเหลือเพียง 4 กิโลกรัม จะถือว่าความชื้นลดลงใกล้ระดับเป้าหมายที่ 12% ในกรณีของการแปรรูปแบบเปียก น้ำหนักสุดท้ายจะอยู่ที่ประมาณ 2.2 กิโลกรัม (เมื่อเริ่มจากผลกาแฟ 12 กิโลกรัม) ซึ่งความแตกต่างนี้เกิดจากสัดส่วนของเปลือกและเนื้อที่ถูกแยกออกตั้งแต่ต้น

กาแฟที่ผ่านการทำให้แห้งเรียบร้อยแล้วควรถูกจัดเก็บอย่างเหมาะสม เช่น วางบนพาเลทไม้ ไม่สัมผัสพื้นโดยตรง และจัดเก็บในสถานที่ที่มีหลังคาสูง มีระบบระบายอากาศ และป้องกันความร้อนจากภายนอกได้ดี ถุงบรรจุแบบ GrainPro ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะสามารถ

กันความชื้นจากภายนอกได้ดี ขณะเดียวกันก็อนุญาตให้ภายในอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศได้ เมล็ดกาแฟที่ มีความชื้นคงที่ที่ 12% ควรเก็บในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: RH) ระหว่าง 60–70% หรือต่ำกว่า โดยต้องตรวจสอบช่วงเวลาให้อุณหภูมิต่ำที่สุดในวัน เพื่อหลีกเลี่ยง ความชื้นสะสมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ทั้งนี้ เมล็ดกาแฟที่ยังมีชีวิตจะสามารถรักษาคุณลักษณะทางกายภาพและรสชาติไว้ ได้ดีจากการทำงานของเอนไซม์ภายใน แต่หากความชื้นต่ำเกินไป เช่น ต่ำกว่า 10% เมล็ดจะเริ่ม เปราะ และเสี่ยงต่อการแตกร้าวระหว่างการสี ซึ่งจะกระทบต่อคุณภาพในระดับปลายน้ำ โดยทั่วไป แล้ว ความชื้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกาแฟสาร (เมล็ดกาแฟดิบ) ควรอยู่ระหว่าง 10–12% เพื่อรักษา คุณภาพให้สูงที่สุดระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง

ความชื้นในเมล็ดกาแฟแห้ง [6] เป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพและอายุการ เก็บรักษาของกาแฟอย่างยิ่ง ความชื้นที่เหมาะสมช่วยรักษาคุณภาพด้านกลิ่นและรสชาติของกาแฟ ขณะที่ความชื้นที่สูงหรือต่ำเกินไปอาจก่อให้เกิดการเสื่อมเสียทั้งทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส ของเมล็ดกาแฟ ดังนั้นในการผลิตกาแฟ การควบคุมระดับความชื้นของเมล็ดกาแฟถือเป็นขั้นตอน สำคัญเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอและปลอดภัย

#### 2.1.3.7 ค่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดกาแฟแห้ง

ช่วงความชื้นที่แนะนำ [7] โดยทั่วไปค่า ความชื้นที่เหมาะสม สำหรับเมล็ดกาแฟดิบ (เมล็ดกาแฟแห้งก่อนคั่ว) อยู่ที่ประมาณ 10–12% ของน้ำหนักเปียก ซึ่งถือเป็นช่วงที่เมล็ดกาแฟ สามารถเก็บรักษาได้อย่างปลอดภัยและคงคุณภาพของกลิ่นรสได้ดีสอดคล้องกับแนวทางในวงการ กาแฟพิเศษที่ยอมรับกันว่าความชื้นของสารกาแฟควรอยู่ในช่วงนี้ก่อนการจัดส่งหรือจำหน่าย นอกจากนี้หลายแหล่งยังระบุว่าความชื้นราว 11% เป็นค่าเป้าหมายที่ดีในการรักษาคุณภาพเมล็ด กาแฟไว้ได้สูงสุด ในทางปฏิบัติ ผู้ผลิตมักหลีกเลี่ยงไม่ให้เมล็ดกาแฟมีความชื้นสูงเกินประมาณ 12–13% เพราะเกินค่านี้จะเริ่มมีความเสี่ยงต่อการเกิดเชื้อราและการเสื่อมคุณภาพได้ง่ายยิ่งขึ้น[8] ดังนั้นมาตรฐานการผลิตและการค้าเมล็ดกาแฟหลายแห่งจึงกำหนดค่าเผื่อระวังไม่ให้ความชื้นเกิน ระดับดังกล่าว ผลจากงานวิจัยในประเทศไทย[9] พบว่าเมล็ดกาแฟที่อบแห้งจนความชื้นไม่เกิน 13% สามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 6 เดือน ในสภาพอากาศร้อนชื้น โดยไม่พบการทำลายจากแมลงหรือ เชื้อราในช่วงเวลาดังกล่าว แต่หลังจากนั้นคุณภาพจะเริ่มลดลง (พบทั้งด้วงกาแฟและเชื้อราปนเปื้อน เมื่อเก็บนาน 9–12 เดือน) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับคำแนะนำที่ว่า การลดความชื้นของเมล็ดกาแฟ ลงมาอยู่ในช่วงประมาณ 10–12% หลังการเก็บเกี่ยว จะช่วยให้เมล็ดมีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ และคงคุณภาพได้ดีก่อนนำไปคั่วหรือจัดเก็บระยะยาว[10]

### 2.1.3.8 วิธีการวัดและควบคุมความชื้นในกระบวนการผลิต

การตรวจวัดค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟทำได้โดย วิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ เช่น การอบตัวอย่างเมล็ดกาแฟแล้วชั่งน้ำหนักเพื่อตรวจสอบปริมาณน้ำที่สูญเสียไป (วิธีอบแห้งมาตรฐาน AOAC) ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ค่าความชื้นที่แม่นยำ นอกจากนี้ ในภาคสนามหรือโรงงานมักใช้เครื่องวัดความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ [11] (เช่น เครื่องวัดความชื้นแบบความจุไฟฟ้าสำหรับเมล็ดพืช) ที่ปรับเทียบสำหรับเมล็ดกาแฟ เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการตรวจสอบค่าความชื้นของตัวอย่างจำนวนมาก การตรวจวัดความชื้นถือเป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่สำคัญในการประเมินคุณภาพและความพร้อมในการซื้อขายเมล็ดกาแฟแต่ละล็อต ผู้ประกอบการจะวัดความชื้นของทั้งเมล็ดกาแฟกะลาและสารกาแฟเพื่อให้มั่นใจว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมก่อนการเก็บรักษาหรือส่งมอบ

การควบคุมความชื้นในกระบวนการผลิต โดยหลังการเก็บเกี่ยวผลกาแฟต้องผ่านกระบวนการลดความชื้นลงอย่างถูกวิธี ขั้นตอนการตากหรืออบแห้ง เป็นหัวใจสำคัญในการควบคุมความชื้นให้ได้ตามเป้าหมาย โดยเกษตรกรผู้ผลิตกาแฟจะทำการตากแดดหรืออบเมล็ดจนค่าความชื้นลดจากระดับแรกเริ่ม (50–60% ในเมล็ดกาแฟเปียก) ลงมาอยู่ในช่วง 9–12% ซึ่งถือเป็นช่วงความชื้นที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บเมล็ดไว้ก่อนการคั่ว การอบแห้งที่ดีควรทำอย่างสม่ำเสมอและหลีกเลี่ยงการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเกินไปหรือนานเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดสูญเสียคุณภาพอื่นๆ เช่น กลิ่นรส หรือเกิดการแตกหักเสียหายจากการแห้งเกินไป ในทางปฏิบัติ ผู้ผลิตอาจใช้วิธีตากบนลานหรือบนตะแกรงยกสูงที่อากาศถ่ายเทดี หรือใช้เครื่องอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อให้ได้ความชื้นปลายทางที่ต้องการ พร้อมทั้งมีการพลิกกองเมล็ดและตรวจวัดความชื้นเป็นระยะๆ เพื่อให้มั่นใจว่าทุกส่วนของเมล็ดกาแฟแห้งสม่ำเสมอและไม่มีส่วนใดที่ความชื้นสูงค้างอยู่

การควบคุมความชื้นในการจัดเก็บ เมื่อเมล็ดกาแฟผ่านการอบแห้งได้ความชื้นตามต้องการแล้ว การเก็บรักษา จะต้องป้องกันไม่ให้เมล็ดดูดความชื้นกลับเข้าไปอีกจากสภาพแวดล้อมภายนอก ผู้ผลิตและผู้ส่งออกกาแฟมักเก็บเมล็ดกาแฟสารในภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์ที่ปิดผนึกมิดชิด เช่น ถุงพลาสติกหนาแบบสุญญากาศ หรือถุงบรรจุที่มีชั้นป้องกันความชื้น (เช่น ถุง GrainPro ที่กันอากาศเข้าออก) บรรจุภัณฑ์เหล่านี้ช่วยป้องกันความชื้นภายนอกและเชื้อปนเปื้อนไม่ให้เข้าสู่เมล็ดในระหว่างการเก็บและการขนส่ง นอกจากนี้ควรเก็บเมล็ดกาแฟไว้ในสถานที่ที่แห้งและเย็นพอสมควร เพื่อชะลอปฏิกิริยาการเสื่อมสภาพทางเคมีและชีวภาพของเมล็ด ระหว่างการจัดเก็บควรมีการตรวจสอบระดับความชื้นของเมล็ดอย่างสม่ำเสมอหรืออย่างน้อยควบคุมสภาพแวดล้อม (เช่น ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ) ไม่ให้เกินเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งจะช่วยรักษาคุณภาพเมล็ดกาแฟในระยะยาวได้ดี หากพบว่าเมล็ดกาแฟมีความชื้นสูงขึ้นผิดปกติ (เช่น ในฤดูฝนที่ความชื้นบรรยากาศสูง) ผู้เก็บรักษาอาจนำเมล็ดออกมาตากผึ่งลมหรืออบซ้ำให้ความชื้นลดลงสู่ระดับปลอดภัยก่อนนำไปเก็บต่อ

### 2.1.3.9 ผลกระทบของความชื้นต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟ

ระดับความชื้นที่มากหรือน้อยเกินไปล้วนส่งผลต่อ คุณภาพด้านกลิ่น, รสชาติ และอายุการเก็บรักษา ของเมล็ดกาแฟ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ [13]

#### 2.1.3.9.1 ผลกระทบของความชื้นที่สูงเกินไปในเมล็ดกาแฟ

การที่เมล็ดกาแฟมีความชื้นเกินระดับมาตรฐาน (มากกว่า 12%) ถือเป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญที่ส่งผลต่อทั้งคุณภาพของเมล็ดและความปลอดภัยในการบริโภค ความชื้นส่วนเกินนี้เป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะเชื้อรา เช่น *Aspergillus spp.* ซึ่งสามารถสร้างสารพิษประเภทอะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) และโอคราทอกซิน (Ochratoxin) ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพหากปนเปื้อนในปริมาณสูง นอกจากความเสี่ยงทางสุขภาพแล้ว ความชื้นที่มากเกินไปยังส่งผลให้เกิดการหมักภายในเมล็ดโดยไม่ตั้งใจ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นอับ (stale odor) และรสชาติที่ผิดปกติหรือไม่น่าดื่ม เช่น กลิ่นรา กลิ่นเปรี้ยว หรือรสเก่า เมล็ดกาแฟในสภาพนี้ยังมีแนวโน้มเกิดการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่ง ทำให้อายุการเก็บสั้นลงอย่างมีนัยสำคัญ และในทางการค้า เมล็ดกาแฟที่มีความชื้นเกินเกณฑ์มักสูญเสียคุณค่าทางตลาด เนื่องจากกลิ่น รส และคุณภาพลดลงจนสามารถตรวจจับได้ชัดเจน ส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผู้ผลิตและโอกาสในการขายโดยรวม ดังนั้น การควบคุมความชื้นให้คงที่ในช่วง 10–12% จึงเป็นข้อกำหนดสำคัญเพื่อรักษาคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์กาแฟ

#### 2.1.3.9.2 ผลกระทบของความชื้นที่ต่ำเกินไปในเมล็ดกาแฟ

ในขณะที่ความชื้นที่มากเกินไปเป็นปัญหา ความชื้นที่ต่ำเกินมาตรฐาน (ต่ำกว่า 9–10%) ก็ส่งผลเสียต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน เมล็ดที่แห้งเกินไปจะสูญเสียน้ำหนักและความชื้นภายในที่จำเป็นต่อการรักษาความสดใหม่ ซึ่งส่งผลให้กลิ่นหอมตามธรรมชาติลดลง และองค์ประกอบรสชาติบางส่วนสลายไปอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ เมล็ดที่มีความชื้นต่ำมากจะมีโครงสร้างเปราะบาง แตกหักได้ง่ายระหว่างขนส่งหรือกระบวนการสีเปลือก ทำให้ได้เมล็ดที่แตกเสียหายซึ่งส่งผลต่อคุณภาพรวมของผลผลิต และในด้านประสาทสัมผัส เมล็ดกาแฟที่แห้งเกินไปมักให้รสชาติที่จืดจาง ขาดความหวาน ความหอม และมิติของรส (flavour complexity) ทำให้กาแฟที่ได้มีรสขมและฝาดเด่นขึ้น ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคทั่วไป ยิ่งไปกว่านั้น ในกระบวนการคั่ว ความชื้นต่ำเกินไปทำให้การส่งผ่านความร้อนเข้าสู่เมล็ดเร็วเกิน ส่งผลให้เมล็ดเกิดการไหม้ที่ผิวภายนอกก่อนที่ภายในจะสุกทั่วถึง การคั่วจึงออกมาไม่สม่ำเสมอ และทำให้กาแฟที่ได้มีรสขมไหม้ เสียสมดุลของรสชาติไป ด้วยเหตุนี้ ผู้เชี่ยวชาญด้านการคั่วกาแฟจึงให้ความสำคัญกับการควบคุมความชื้นของเมล็ดให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 10–12% เพื่อรักษาคุณภาพ กลิ่นรส และความยืดหยุ่นในการควบคุมโปรไฟล์การคั่วให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

### 2.1.3.10 มาตรฐานระดับความชื้นในอุตสาหกรรมกาแฟ

เพื่อรับประกันคุณภาพและความปลอดภัยของเมล็ดกาแฟ หลายหน่วยงานทั้งในประเทศและสากลได้กำหนดมาตรฐานหรือข้อกำหนดเกี่ยวกับระดับความชื้นของเมล็ดกาแฟไว้ดังนี้

#### 2.1.3.10.1 มาตรฐานสินค้าเกษตรของประเทศไทย

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้ประกาศมาตรฐานสินค้าเกษตรสำหรับเมล็ดกาแฟโรบัสต้า (มกษ. 5700-2561) ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551 กำหนดให้เมล็ดกาแฟสารต้องมีความชื้นไม่เกิน 12.5% โดยมวล เพื่อให้ได้คุณภาพตามเกณฑ์และป้องกันการเกิดปัญหาเชื้อราหรือแมลงในระหว่างเก็บรักษา มาตรฐานนี้สอดคล้องกับเกณฑ์การเก็บรักษาที่หน่วยงานวิจัยของไทยแนะนำ และเป็นตัวเลขอ้างอิงสำคัญในการซื้อขายกาแฟสารภายในประเทศ [14]

#### 2.1.3.10.2 มาตรฐานระดับความชื้นในระดับสากล

ในระดับสากล องค์การกาแฟระหว่างประเทศ (International Coffee Organization, ICO) ได้ระบุช่วงความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดกาแฟดิบไว้ที่ประมาณ 8–12.5% โดยน้ำหนัก ถือเป็นเกณฑ์ความชื้นที่ปลอดภัยสำหรับการค้าขายและขนส่งกาแฟทั่วโลก ขณะเดียวกัน สมาคมกาแฟพิเศษ (Specialty Coffee Association, SCA) ซึ่งกำหนดมาตรฐานสำหรับกาแฟคุณภาพสูง ได้ระบุว่าเมล็ดกาแฟที่จะจัดอยู่ในเกรดพิเศษควรมีความชื้นอยู่ระหว่าง 9–13% โดยน้ำหนัก (ไม่เกิน 13% สำหรับกาแฟเกรดพิเศษ) นอกจากนี้องค์กรอย่าง ศูนย์การค้าระหว่างประเทศ (International Trade Centre, ITC) และผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรมกาแฟหลายรายยังแนะนำว่าระดับความชื้นประมาณ 11–12% เป็นระดับที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการรักษาคุณภาพกลิ่นรสของกาแฟระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง ดังนั้นผู้ประกอบการกาแฟทั่วโลกจึงยึดถือแนวทางว่าควรรักษาความชื้นของเมล็ดกาแฟให้อยู่ในช่วงประมาณ 10–12% และไม่ให้ออกเกิน 12.5–13% เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพและหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจเกิดขึ้น [8]

### 2.1.4 การอบแห้งเมล็ดกาแฟ

ปัจจุบันมีเครื่องจักรและเทคโนโลยีหลากหลาย ที่ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยให้การอบแห้งเมล็ดกาแฟให้มีประสิทธิภาพและควบคุมได้มากขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของการตากแดดล้วนๆ เช่น ขึ้นกับดินฟ้าอากาศ ใช้เวลานาน และต้องใช้แรงงานมากในการดูแล มีหลายหลายรูปแบบดังนี้

#### 2.1.4.1 เครื่องอบแห้งแบบกล (Mechanical Dryers)

เครื่องอบแห้งแบบกล [22] สำหรับผู้ผลิตหรือโรงงานขนาดใหญ่ มักใช้เครื่องจักรในการอบแห้งเมล็ดกาแฟแทนการพึ่งพาแดดทั้งหมด เครื่องอบแห้งเหล่านี้มีหลายแบบ เช่น เครื่องอบแบบหมุนกระบอบก (Rotary Drum Dryer หรือที่บางครั้งเรียกว่า Guardiola Dryer) ซึ่งภายในเป็นทรงกระบอบกหมุนได้และมีลมร้อนเป่าผ่าน ทำให้เมล็ดกาแฟที่อยู่ภายในถูกพลิกเคล้าโดยอัตโนมัติและแห้งอย่างสม่ำเสมอ, เครื่องอบแนวตั้ง (Vertical Dryer) ที่เมล็ดจะค่อยๆ ไหลลงตามแรงโน้มถ่วงผ่านชั้นที่มีลมร้อนเป่า เป็นต้น ข้อดีของการใช้เครื่องอบคือสามารถลดเวลาการทำแห้งเหลือเพียงหลักชั่วโมงถึงไม่กี่วัน (ขึ้นกับชนิดเครื่อง) เมื่อเทียบกับหลายสัปดาห์ในการตากแดด อีกทั้งยังควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตามต้องระวังไม่ใช้อุณหภูมิสูงเกินไป เพราะจะทำให้เมล็ดเกิดความเสียหายภายในและคุณภาพลดลง ดังที่งานวิจัยรายงานว่าการอบด้วยอุณหภูมิสูงเกิน (เช่น  $>45^{\circ}\text{C}$ ) สามารถลดอายุการเก็บรักษาและทำให้โครงสร้างเมล็ดเปราะบางขึ้น ดังนั้นโรงงานใหญ่ ๆ จึงมักอบที่อุณหภูมิกลาง ๆ ( $30\text{--}40^{\circ}\text{C}$ ) และใช้เวลานานพอควรเพื่อรักษาคุณภาพ (เรียกว่าแนวทาง Low-Temperature Long-Humidity drying, LTLH) ซึ่งพบว่าสามารถรักษาสีและสารบางอย่างได้ดีกว่าอบเร็วที่อุณหภูมิสูง [15]

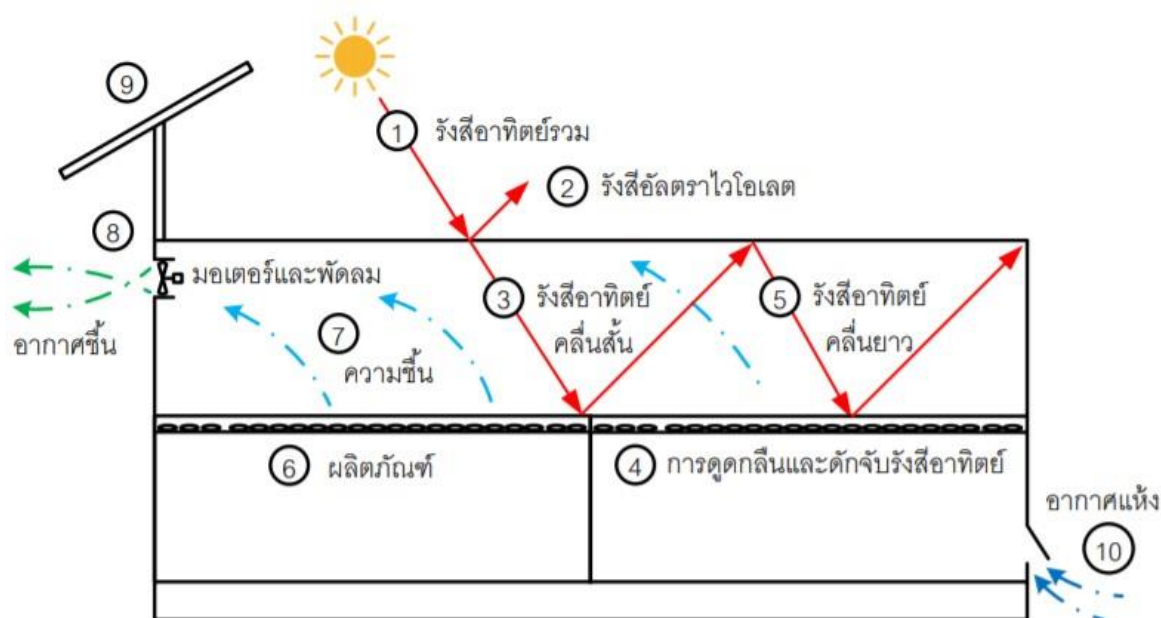
#### 2.1.4.2 โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Dryer)

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ภาคเกษตรกรรมถือเป็นรากฐานสำคัญที่มีบทบาทต่อรายได้ของประเทศมาอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา เกษตรกรต้องเผชิญกับปัญหาผลผลิตออกสู่ตลาดในช่วงเวลาเดียวกันจำนวนมาก ส่งผลให้ราคาผลผลิตตกต่ำและมีความสูญเสียจากการเน่าเสียเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวทางในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยเฉพาะการอบแห้ง ซึ่งเป็นกระบวนการลดความชื้นออกจากผลผลิตโดยใช้พลังงานความร้อน เช่น จากน้ำร้อนหรือไอน้ำ แม้กระบวนการนี้จะมีการใช้พลังงานในระดับสูง แต่หากนำพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการอบแห้ง (ที่เรียกว่า โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์) จะสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานลงได้อย่างมีนัยสำคัญ และเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับหลักการพัฒนาอย่างยั่งยืนในภาคเกษตรกรรม [16]

โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ [17] เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยผสมผสานข้อดีของการใช้พลังงานจากแสงแดดและการออกแบบโรงเรือนหรืออุปกรณ์อบแห้งให้ควบคุมสภาพแวดล้อมได้บางส่วน เตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มักมีลักษณะเป็นโรงเรือนพลาสติกใสหรือกล่องที่บุด้วยฉนวนซึ่งแสงอาทิตย์ส่องผ่านได้ ภายในมีชั้นตะแกรงสำหรับกระจายผลกาแฟ คล้ายเรือนกระจกขนาดเล็กที่ช่วยเพิ่มอุณหภูมิและลดความชื้นภายในให้เหมาะกับการอบแห้ง ร่วมกับการป้องกันฝุ่น ฝน และแมลง บางระบบอาจติดตั้งพัดลมหรือปล่องระบายความชื้นเพื่อให้อากาศถ่ายเทและควบคุมความชื้นภายใน

ได้ดียิ่งขึ้น การใช้โรงอบแสงอาทิตย์ช่วยให้กาแพแห้งเร็วขึ้นและปลอดภัยจากสภาพอากาศแปรปรวนมากกว่าการตากบนลานกลางแจ้งอย่างเดียว กรณีศึกษาจากเม็กซิโกพบว่าการพัฒนาเตาอบแห้งแบบใช้วัสดุท้องถิ่น (ไม้และพลาสติก) สามารถลดเวลาการตากลง 40% และลดงานพลิกกลับ/เก็บเมล็ดลง 50% เมื่อเทียบกับการตากบนพื้นปูนซีเมนต์แบบเดิม ทั้งยังได้เมล็ดที่สะอาดขึ้น ไม่มีฝุ่นดินปนและไม่มีกลิ่นควันหรือกลิ่นอัสตัวปะปนเหมือนบางวิธีดั้งเดิม

โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ [1] เป็นเทคโนโลยีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรทั้งในกลุ่มพืชและสัตว์ เช่น กล้วยตาก พริกแห้ง ปลาแดดเดียว และเนื้อแดดเดียว โดยอาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลักในการอบแห้ง ถือเป็นทางเลือกที่ช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และมีแนวโน้มสอดคล้องกับแนวทางการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โรงอบแห้งประเภทนี้ได้รับการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะระบบที่ใช้โครงสร้างแบบเรือนกระจก (Solar Drying System) ซึ่งทำงานตามหลักการของปรากฏการณ์เรือนกระจก กล่าวคือ โครงสร้างจะกักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ภายในโรงอบ ช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องอบให้เหมาะสมกับกระบวนการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ระบบนี้มีข้อดีด้านต้นทุนที่ต่ำ ทั้งในการก่อสร้างและการดำเนินงาน ทำให้เหมาะกับการประยุกต์ใช้ในระดับชุมชนและภาคเกษตรกรรมขนาดเล็กถึงปานกลาง ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 หลักการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ [16]

หลักการการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ตามภาพที่ 2.8)

ระบบโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานโดยอาศัยหลักการคล้ายกับปรากฏการณ์เรือนกระจก ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

ในขั้นตอนแรก (จุดที่ 1) รังสีจากดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นหลากหลายจะตกกระทบหลังคาของโรงอบแห้ง ซึ่งมักใช้วัสดุโปร่งแสงอย่างแผ่นโพลีคาร์บอเนตเป็นวัสดุกันแดด วัสดุดังกล่าวจะสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเลตบางส่วนกลับออกไป (จุดที่ 2) ขณะที่รังสีแสงอาทิตย์ในช่วงคลื่นสั้นสามารถทะลุผ่านและเข้าสู่ภายในโรงอบได้ (จุดที่ 3) เมื่อรังสีคลื่นสั้นเหล่านี้ตกกระทบกับพื้นผิวและวัสดุต่าง ๆ ภายในโรงอบ เช่น พื้น ผนัง หรือวัสดุรองรับผลิตภัณฑ์ (จุดที่ 4) จะเกิดการดูดกลืนพลังงาน ส่งผลให้พลังงานแสงถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อน รังสีคลื่นสั้นที่ถูกดูดกลืนจะสูญเสียพลังงานและเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาวหรือรังสีอินฟราเรด (รังสีความร้อน) ซึ่งไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตออกสู่ภายนอกได้ (จุดที่ 5) ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องอบเพิ่มขึ้น ความร้อนที่สะสมภายในโรงอบจะถูกถ่ายเทไปยังผลิตภัณฑ์ (จุดที่ 6) ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกสู่บรรยากาศภายในโรงอบ (จุดที่ 7) จากนั้นอากาศที่มีความชื้นสูงจะถูกระบายออกผ่านระบบพัดลมดูดอากาศ (จุดที่ 8) ซึ่งใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (จุดที่ 9) เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า พัดลมจะทำหน้าที่ผลักดันอากาศร้อนขึ้นออกจากโรงอบและดึงเอาอากาศใหม่จากภายนอกที่มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำเข้าสู่ระบบแทนที่ (จุดที่ 10) ช่วยรักษาสภาพแวดล้อมภายในให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งอย่างต่อเนื่อง

#### 2.1.4.2.1 การทำงานและรูปแบบของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การพัฒนาโรงอบแห้งสามารถแบ่งรูปแบบออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

##### 1) การอบแห้งแบบพาสซีฟ (Passive Drying)

การอบแห้งแบบไม่อาศัยการขับเคลื่อนของอากาศ (Passive) เป็นกระบวนการอบแห้งที่ไม่ใช้พัดลมหรืออุปกรณ์ช่วยในการหมุนเวียนอากาศและความร้อนภายในโรงอบแห้ง แต่จะอาศัยการไหลเวียนของอากาศตามธรรมชาติเพียงอย่างเดียว เพื่อถ่ายเทความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์

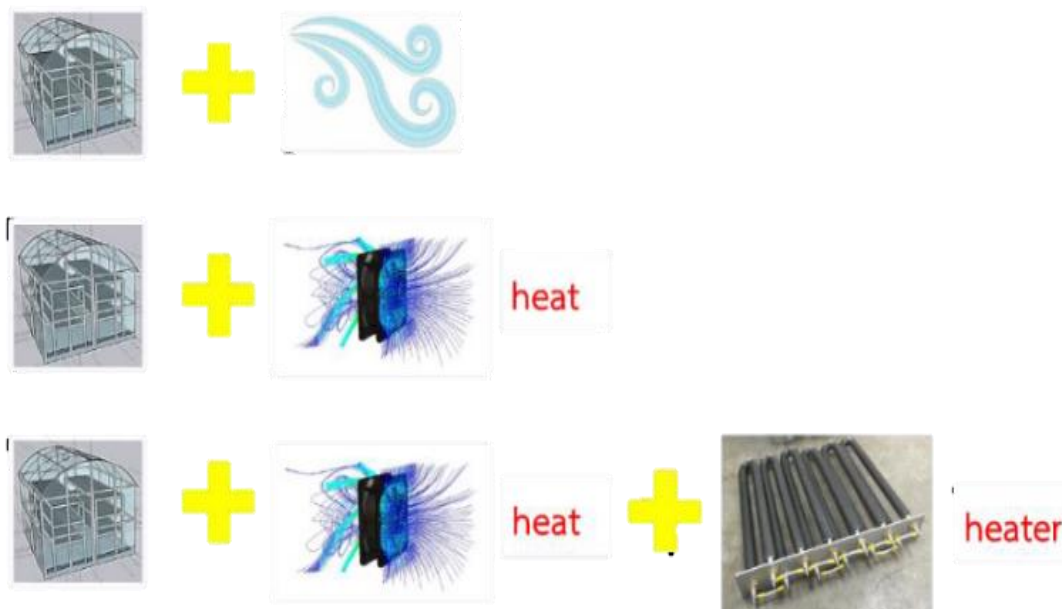
##### 2) การอบแห้งแบบแอคทีฟ (Active Drying)

การอบแห้งแบบอาศัยเครื่องช่วยให้อากาศหมุนเวียนไปในทิศทางที่ต้องการ (Active) เป็นระบบที่ใช้อุปกรณ์ เช่น พัดลมที่สามารถดูดอากาศออกจากภายในและทำให้อากาศไหลผ่านผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง เพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการ

##### 3) การอบแห้งแบบไฮบริด (Hybrid Drying)

เป็นกระบวนการอบแห้งที่ผสมการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งพลังงานเสริมอื่น เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานจากการเผาก๊าซหุงต้ม (LPG) หรืออุปกรณ์

สร้างความร้อนจากการดูดกลืนรังสีแสง (Solar Absorber) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งและรองรับสถานะที่มีแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอแสดงในภาพที่ 2.9

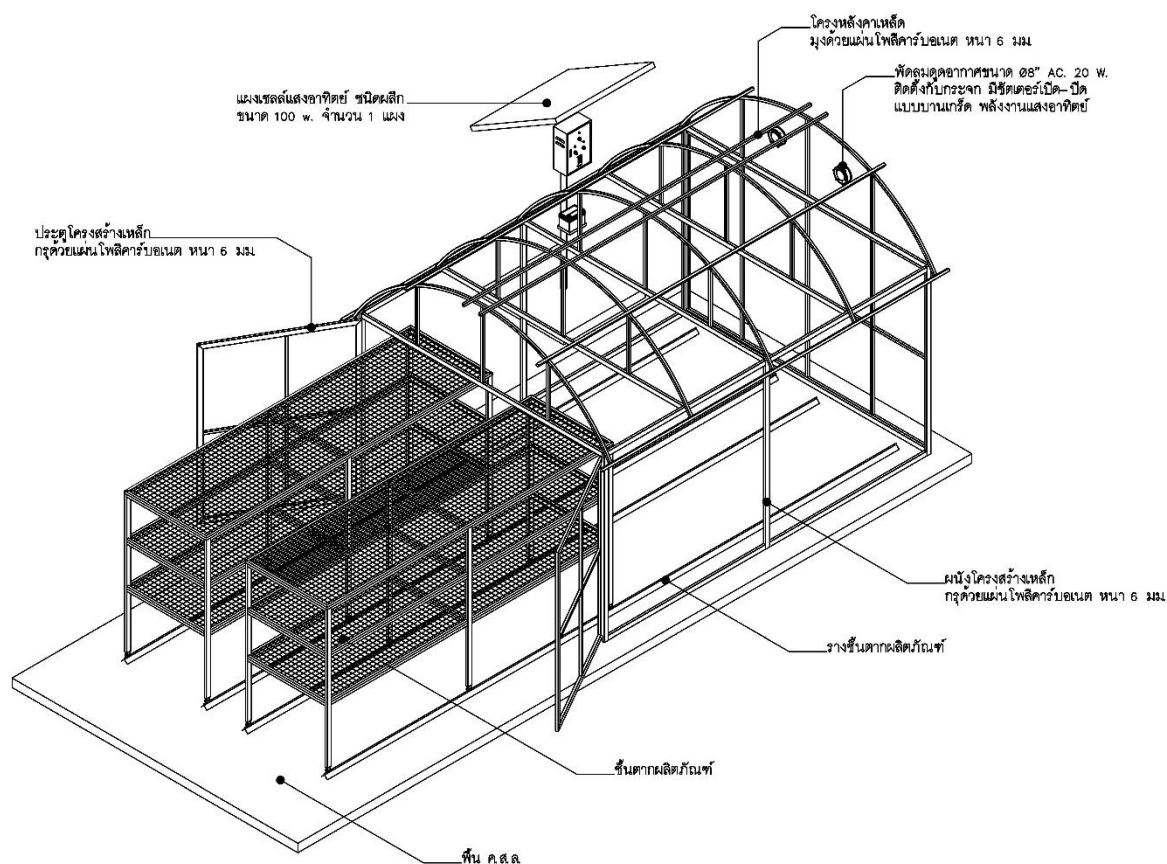


ภาพที่ 2.9 รูปแบบการพัฒนาโรงอบแห้งทั้ง 3 ประเภท

#### 2.1.4.2.2 โครงสร้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 x 4 เมตร

โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 3 x 4 เมตร หรือที่เรียกว่า "พาราโบลาโดม" เป็นโครงสร้างที่ออกแบบมาเพื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหรืออาหาร โดยมีส่วนประกอบหลักดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.10)

- 1) โครงสร้างหลัก ทำจากเหล็กกล้าวาล์นซ์หรืออลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงและทนทาน เพื่อรองรับน้ำหนักและสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ
- 2) วัสดุโปร่งใสสำหรับผนังและหลังคา ใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบใสที่เคลือบสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) เพื่อให้แสงแดดส่องผ่านได้ดีและเก็บความร้อนไว้ภายในโรงอบ
- 3) ระบบถ่ายเทอากาศ ติดตั้งพัดลมดูดอากาศเพื่อช่วยระบายความชื้นออกจากโรงอบ โดยพัดลมนี้สามารถใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งร่วมด้วย
- 4) พื้นโรงอบ พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความแข็งแรง รองรับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง



ภาพที่ 2.10 ส่วนประกอบของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 x 4 เมตร

#### 2.1.4.2.3 ข้อดีและข้อเสียของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีสวย สวยงามสม่ำเสมอ มีความสะอาดและปลอดภัยจากฝุ่นละอองหรือแมลง ควบคุมสภาพแวดล้อมได้ดี และใช้เวลาน้อยกว่าการตากแดดแบบเปิดโล่ง จึงช่วยลดเวลาและแรงงานที่ใช้ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของระบบคือระยะเวลาในการอบแห้งยังขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ และวัสดุก่อสร้างโรงอบมีราคาค่อนข้างสูง จึงอาจเป็นอุปสรรคต่อการลงทุนในระยะเริ่มต้น [4]

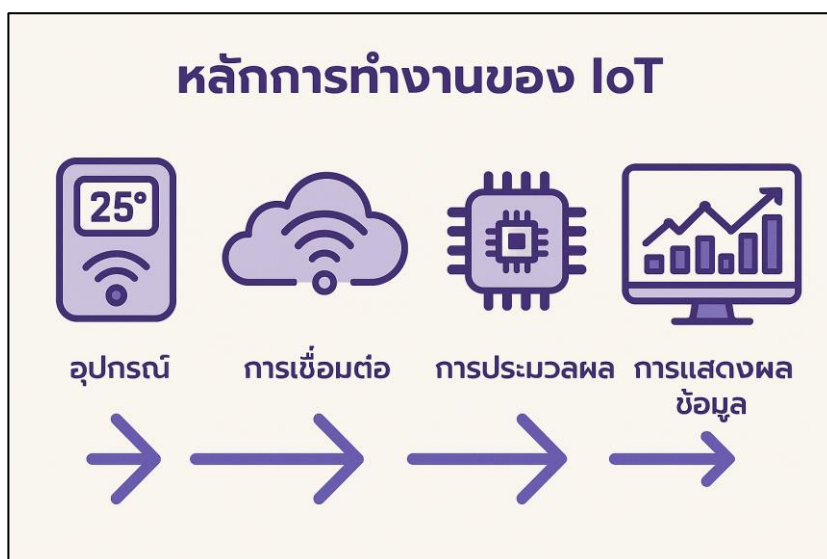
### 2.1.5 อินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง (Internet of Things : IoT)

อินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง หรือ Internet of Things (IoT) หมายถึง ระบบเครือข่ายที่เชื่อมโยงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเซนเซอร์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันผ่านอินเทอร์เน็ต โดยอุปกรณ์เหล่านี้สามารถสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูล และดำเนินการได้โดยอัตโนมัติ อินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในหลายอุตสาหกรรม เช่น เกษตรกรรม อุตสาหกรรมการผลิต เมืองอัจฉริยะ และระบบสาธารณสุข เป็นต้น อินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่งมีเป้าหมายในการสร้างความเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และอำนวยความสะดวกเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งาน โดยข้อมูลที่รวบรวมจากเซนเซอร์ถูกนำไปประมวลผลเพื่อใช้ในการตัดสินใจแบบเรียลไทม์ [18]

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เป็นแนวคิดที่กล่าวถึงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์หรือสิ่งของต่าง ๆ ผ่านระบบเครือข่ายดิจิทัล เพื่อการรับส่งข้อมูล ประมวลผล และสั่งการแบบอัตโนมัติ โดยอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง หรือที่เรียกว่า "Things" หรือ "Devices" ได้แก่ เครื่องมือสำนักงาน อุปกรณ์ในภาคเกษตรกรรม เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม หุ่นยนต์ แขนกล อุปกรณ์ในอาคาร บ้านเรือน และสิ่งของในชีวิตประจำวัน เช่น นาฬิกา รถยนต์ ตู้เย็น หรืออุปกรณ์รักษาความปลอดภัย ทั้งนี้ อุปกรณ์เหล่านี้จะติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อรับรู้สภาพแวดล้อม และมีความสามารถในการสื่อสารแบบเครื่องสู่เครื่อง (Machine-to-Machine Communication: M2M) ผ่านโพรโทคอลและเครือข่ายดิจิทัลที่เหมาะสม การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ในระบบ IoT เปรียบเสมือนการสนทนาระหว่างเครื่องจักร ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถตอบสนองและดำเนินการได้อย่างอัตโนมัติ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ที่เห็นได้ชัดคือในระบบเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm) เช่น การควบคุมการให้น้ำต้นไม้อัตโนมัติ เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นในดินพบว่าค่าความชื้นต่ำกว่ากำหนด ระบบจะส่งข้อมูลเพื่อสั่งการให้ระบบรดน้ำทำงานทันที ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรและลดการสูญเสีย [19]

#### 2.1.5.1 หลักการทำงานของอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง

อินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก [20] ได้แก่ อุปกรณ์อัจฉริยะ (Smart Devices) เซนเซอร์ (Sensors) ระบบสื่อสารไร้สาย และแพลตฟอร์มคลาวด์ (Cloud Platforms) โดยอุปกรณ์จะเก็บรวบรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ แล้วส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อประมวลผลที่คลาวด์ และตอบสนองกลับไปยังอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 หลักการทำงานของอินเทอร์เน็ตประสาทรพลิ่ง

#### 2.1.5.2 องค์ประกอบของอินเทอร์เน็ตประสาทรพลิ่ง

ประกอบด้วย 5 ส่วนสำคัญที่ทำงานร่วมกัน เพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับประมวลผล และตอบสนองได้อย่างอัจฉริยะ [21] ดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.12)

##### 1) การนำเข้าข้อมูล (Data Ingestion)

อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์ กล้อง หรือมอเตอร์ จะทำหน้าที่รับข้อมูลเข้าสู่ระบบ แบ่งเป็นข้อมูลแบบซับซ้อน เช่น วิดีโอเรียลไทม์ และข้อมูลแบบไม่ซับซ้อน เช่น ค่าน้ำหนัก หรืออุณหภูมิ

##### 2) การรับส่งข้อมูล (Data Transmission)

ข้อมูลถูกส่งผ่าน IoT Gateway ไปยังอุปกรณ์หรือระบบประมวลผล โดยใช้เทคโนโลยีสื่อสารต่าง ๆ เช่น Bluetooth, Wi-Fi, 4G, 5G, LoRa, NB-IoT หรือแม้แต่สาย LAN

##### 3) การประมวลผลข้อมูล (Data Processing)

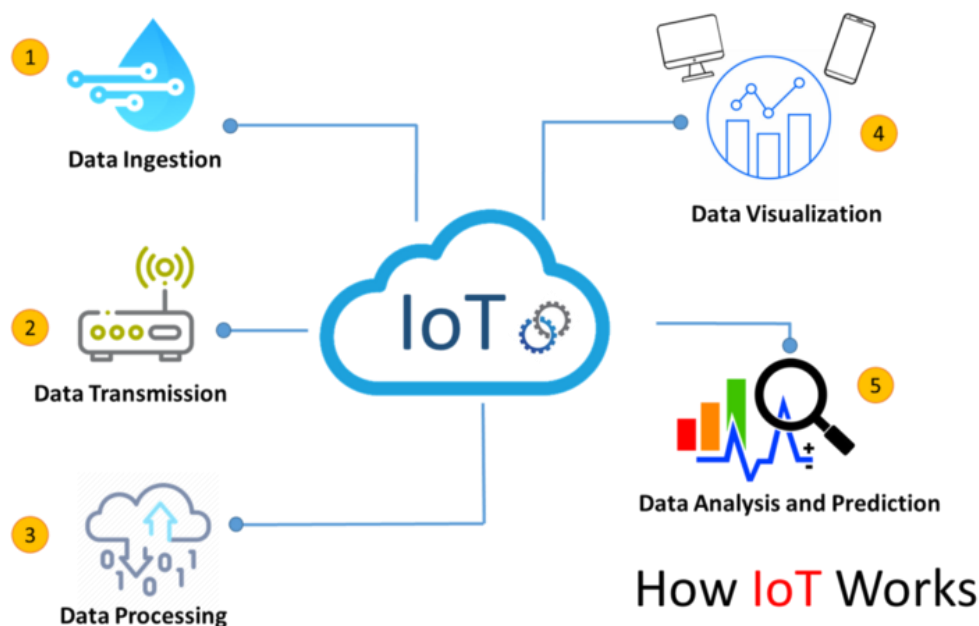
การประมวลผลอาจเกิดที่จุดใกล้แหล่งข้อมูล (Edge Computing) หรือลงบนคลาวด์ (Cloud Computing) เพื่อรองรับข้อมูลจำนวนมากและการวิเคราะห์เชิงลึก

##### 4) การแสดงผลข้อมูล (Data Visualization)

ข้อมูลที่ประมวลผลแล้วจะถูกแสดงผ่าน Dashboard, แอปพลิเคชัน หรือเว็บไซต์ ในรูปแบบกราฟหรือข้อความ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและสั่งงานได้ง่าย

### 5) การวิเคราะห์และคาดการณ์ (Data Analysis and Prediction)

ใช้เทคนิค Data Mining, Machine Learning และ AI วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตัดสินใจล่วงหน้า เช่น คาดการณ์ราคาหุ้น หรือปรับปรุงระบบอัตโนมัติให้แม่นยำยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.12 องค์ประกอบของอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง [21]

#### 2.1.5.3 การประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง

การประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง คือการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง ไปเชื่อมโยงและควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ลดต้นทุน และสร้างระบบอัจฉริยะในหลากหลายภาคส่วนดังแสดงในภาพที่ 2.13 โดยสามารถแบ่งการประยุกต์ใช้หลักๆ ได้ดังนี้

1) Transportation (การขนส่ง) : การใช้อินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง สำหรับติดตามพิกัด GPS, จัดการระบบขนส่งสาธารณะ, ตรวจสอบการจราจร หรือควบคุมระบบโลจิสติกส์แบบเรียลไทม์

2) Industry (อุตสาหกรรม) : การนำอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง มาใช้ในระบบการผลิตอัตโนมัติ, ตรวจสอบสภาพเครื่องจักร, การซ่อมบำรุงเชิงคาดการณ์ (Predictive Maintenance) และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

- 3) Market (ตลาด) : การใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ในระบบ POS อัจฉริยะ, การติดตามพฤติกรรมลูกค้า, และการจัดการสินค้าคงคลังแบบเรียลไทม์
- 4) School (โรงเรียน) : การใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ในการเรียนการสอนแบบ Smart Board, ตรวจสอบการเข้าเรียน, ระบบควบคุมอุปกรณ์การเรียนรู้
- 5) Vehicles (ยานพาหนะ) : การใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ในระบบรถอัจฉริยะ (Smart Car), ระบบเตือนอุบัติเหตุ, ระบบควบคุมจราจรและความปลอดภัย
- 6) Smart Cities (เมืองอัจฉริยะ) : การใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ในบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ไฟถนนอัตโนมัติ, การจัดการขยะ, ระบบน้ำ, และการควบคุมมลพิษ
- 7) Agriculture (การเกษตร) : การใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ในการวัดความชื้นของดิน, การควบคุมการให้น้ำ, การเก็บข้อมูลสภาพอากาศ เพื่อการเพาะปลูกที่มีประสิทธิภาพ
- 8) Healthcare (สาธารณสุข) : การใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ติดตามข้อมูลผู้ป่วย, วัตถุประสงค์แบบเรียลไทม์, และเชื่อมต่อกับแพทย์ผ่านอุปกรณ์ Wearable



ภาพที่ 2.13 การประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง [21]

#### 2.1.5.4 ข้อดีและข้อเสียของอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง หรือ Internet of Things (IoT) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในหลายภาคส่วน ทั้งในอุตสาหกรรม เกษตรกรรม สาธารณสุข และชีวิตประจำวัน โดยทำหน้าที่เป็นระบบที่เชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับอินเทอร์เน็ต เพื่อให้สามารถส่งข้อมูล ควบคุม และตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้แบบอัตโนมัติ อย่างไรก็ตาม แม้ว่า IoT จะสร้างคุณประโยชน์หลายประการ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดและความเสี่ยงที่ควรพิจารณาในเชิงวิชาการเพื่อการนำไปใช้อย่างเหมาะสม

##### 2.1.5.4.1 ข้อดีของอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง

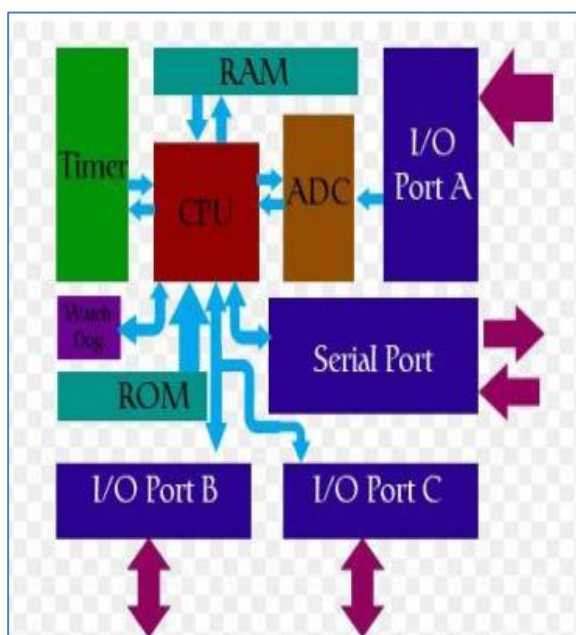
การใช้งานเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง มีข้อได้เปรียบในหลายด้าน โดยเฉพาะเรื่อง ความสะดวกสบาย เนื่องจากผู้ใช้งานสามารถควบคุมอุปกรณ์ได้จากระยะไกลผ่านสมาร์ตโฟนหรือคอมพิวเตอร์ เช่น การเปิด-ปิดไฟ เครื่องปรับอากาศ หรือระบบให้น้ำในภาคการเกษตร อีกทั้ง เพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน ด้วยการลดเวลาและแรงงานมนุษย์ เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เซนเซอร์เพื่อตรวจวัดและควบคุมกระบวนการผลิตอย่างแม่นยำ นอกจากนี้ IoT ยังช่วย ลดต้นทุนการผลิต ในระยะยาว โดยเฉพาะในระบบเกษตรอัจฉริยะที่สามารถรดน้ำหรือให้ปุ๋ยตามค่าที่วัดได้จริง ซึ่งลดการสิ้นเปลืองทรัพยากร อีกทั้งการเชื่อมโยงข้อมูลแบบเรียลไทม์ยังเอื้อให้เกิดการ วิเคราะห์และตัดสินใจที่แม่นยำยิ่งขึ้น เช่น การแจ้งเตือนภัย หรือการซ่อมบำรุงเครื่องจักรเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)

##### 2.1.5.4.2 ข้อเสียของอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง

การพัฒนาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง ยังเผชิญกับความท้าทายที่สำคัญ โดยเฉพาะ การพึ่งพาระบบอินเทอร์เน็ต อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ หากเกิดเหตุขัดข้องในเครือข่ายอาจทำให้อุปกรณ์ไม่สามารถทำงานหรือควบคุมได้ตามต้องการ อีกหนึ่งปัญหาที่สำคัญคือ ความปลอดภัยของข้อมูล เนื่องจากอุปกรณ์ในระบบอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่งเชื่อมต่อกันผ่านเครือข่ายเดียวกัน หากไม่มีระบบรักษาความปลอดภัยที่เข้มงวด อาจเกิดการรั่วไหลของข้อมูลหรือถูกโจมตีจากภายนอกได้ นอกจากนี้ การใช้งาน IoT ยังมีความเสี่ยงจาก ข้อผิดพลาดในการประมวลผล โดยเฉพาะเมื่ออุปกรณ์หรือซอฟต์แวร์ไม่ได้รับการออกแบบอย่างรัดกุม ซึ่งหากมีอุปกรณ์หนึ่งเกิดข้อผิดพลาด จะส่งผลกระทบต่อระบบโดยรวม อาจทำให้เกิดความเสียหายทั้งทางข้อมูลและการทำงาน และยังมีประเด็นด้าน ต้นทุนเริ่มต้นที่สูง สำหรับการจัดหาอุปกรณ์และโครงสร้างพื้นฐาน เช่น เซนเซอร์ แพลตฟอร์มคลาวด์ และระบบสื่อสาร ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดสำหรับองค์กรขนาดเล็กหรือกลุ่มเกษตรกรรายย่อย

### 2.1.6 ความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (อังกฤษ : Microcontroller มักย่อว่า  $\mu$ C, uC หรือ MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ [22] คืออุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กที่รวมวงจรสำคัญหลายส่วนเข้าไว้ภายในชิปเดียว ได้แก่ หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit: CPU), หน่วยความจำ (ทั้ง ROM และ RAM), หน่วยประมวลผลสัญญาณ, และพอร์ตสำหรับรับ-ส่งข้อมูล (I/O Ports) ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบหลักที่พบในระบบคอมพิวเตอร์เช่นกัน แต่ถูกออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัด ใช้พลังงานต่ำ และเหมาะสำหรับงานควบคุมแบบฝังตัวในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกออกแบบให้สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ได้อย่างอิสระ ผ่านการเขียนคำสั่งในภาษาโปรแกรม เช่น C, C++, หรือ Assembly เพื่อควบคุมสัญญาณอินพุต-เอาต์พุต (Input/Output) ได้โดยตรง ไม่ว่าจะเป็นการตรวจจับสถานะของเซ็นเซอร์ หรือการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น รีเลย์ มอเตอร์ หลอดไฟ ฯลฯ โดยสามารถทำงานได้ทั้งกับสัญญาณดิจิทัลและแอนะล็อกไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในระบบอัตโนมัติและอุปกรณ์อัจฉริยะในชีวิตประจำวัน เช่น ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร, ระบบรดน้ำอัตโนมัติ เป็นต้น นอกจากนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่ยังรองรับการเชื่อมต่อกับเครือข่าย (Networking Capability) เช่น Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee หรือ Ethernet ทำให้สามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบควบคุมระยะไกล หรือระบบที่เชื่อมโยงกับอินเทอร์เน็ต (IoT – Internet of Things) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ [22]

### 2.1.6.1 องค์ประกอบหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่รวมวงจรต่าง ๆ ไว้ในตัวเดียวเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของระบบฝังตัว โดยมีองค์ประกอบสำคัญเป็น 5 ส่วน ที่ทำหน้าที่ร่วมกันอย่างเป็นระบบ ดังต่อไปนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.15)

#### 1) หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit)

ทำหน้าที่เสมือนสมองของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยรับคำสั่งจากหน่วยความจำประมวลผลทั้งในเชิงตรรกะและเลขคณิต พร้อมทั้งควบคุมการทำงานของโมดูลอื่นภายในระบบ ประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมที่ใช้ งาน เช่น ขนาดบิต (8 บิต, 16 บิต, 32 บิต) และความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการขับเคลื่อน ตัวอย่างเช่น ในระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ CPU จะประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิ และตัดสินใจสั่งการคอมเพรสเซอร์เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ตามค่าที่ตั้งไว้

#### 2) หน่วยความจำ (Memory)

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

(1) หน่วยความจำโปรแกรม เช่น Flash Memory ใช้เก็บชุดคำสั่งที่เขียนไว้ถาวรและไม่สูญหายแม้ไม่มีไฟเลี้ยง เปรียบได้กับฮาร์ดดิสก์ของระบบคอมพิวเตอร์

(2) หน่วยความจำข้อมูล เช่น RAM ใช้เป็นพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลชั่วคราวขณะประมวลผล ซึ่งจะสูญหายเมื่อไม่มีไฟฟ้าหล่อเลี้ยง อย่างไรก็ตาม ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่อาจรวมหน่วยความจำแบบไม่ลบเลือน เช่น EEPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ในกรณีที่ไม่มีไฟฟ้าหล่อเลี้ยง และสามารถเขียนข้อมูลใหม่ได้ด้วยกระแสไฟฟ้า

#### 3) พอร์ตเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก (Input/Output Ports)

ทำหน้าที่เป็นช่องทางเชื่อมโยงระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก โดยแบ่งเป็นพอร์ตอินพุตสำหรับรับข้อมูลเข้าสู่ระบบ เช่น สวิตช์หรือเซ็นเซอร์ และพอร์ตเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณควบคุมออกไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น การควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟ ถือเป็นส่วนที่สำคัญในการสร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบกับสภาพแวดล้อม

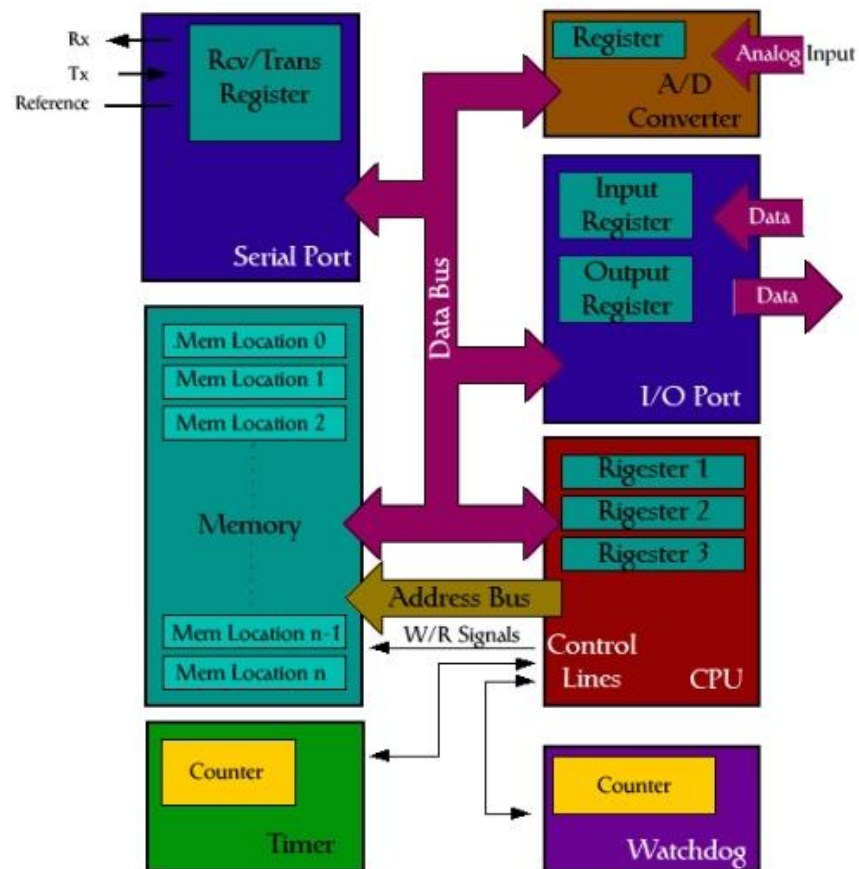
#### 4) บัสข้อมูล (Bus System)

เป็นชุดของเส้นทางการส่งสัญญาณภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ บัสข้อมูล (Data Bus): ใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างหน่วยต่าง ๆ, บัสแอดเดรส (Address Bus): ใช้ระบุตำแหน่งของข้อมูลในหน่วยความจำ, บัสควบคุม (Control Bus): ใช้ส่ง

สัญญาณควบคุมและกำกับการทำงานของโมดูลต่าง ๆ ระบบบัสนี้ช่วยให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

#### 5) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator)

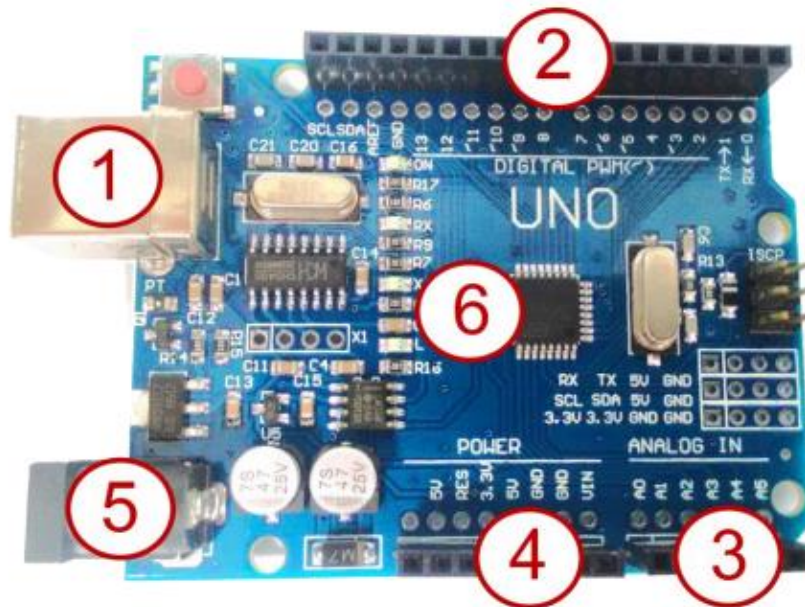
มีบทบาทในการสร้างจังหวะการทำงานให้กับทุกองค์ประกอบในระบบ ซึ่งความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจะมีผลต่อความเร็วในการประมวลผลโดยรวม ยิ่งความถี่สูง การทำงานของระบบก็จะยิ่งรวดเร็ว ทั้งนี้ ภาษาซี (C language) มักถูกใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากเป็นภาษาระดับกลางที่มีความยืดหยุ่นและสามารถควบคุมฮาร์ดแวร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2.15 องค์ประกอบหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ [22]

### 2.1.6.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่รวมเอาตัวไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์อื่นๆ มาไว้ในบอร์ดเดียวกัน และยังเปิดเผยข้อมูลต่างๆ ทั้งลายวงจรและโปรแกรมต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ง่ายออกมาให้ใช้งานง่าย เหมาะกับผู้เริ่มต้นเรียนรู้การเขียนโปรแกรมและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เหมือนเป็น “คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก” ที่สามารถใช้โปรแกรม Arduino IDE เพื่อเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ เช่น ไฟ LED, มอเตอร์, เซ็นเซอร์, หรือแม้แต่จอแสดงผล ปัจจุบัน Arduino มีบอร์ดให้เลือกใช้งานตามความถนัดและความเหมาะสมมากกว่า 20 รุ่น แต่ละรุ่นก็จะมีขนาดความจุ ความเร็ว จำนวนขาอินพุต เอาต์พุต ที่แตกต่างกันออกไป เช่น Arduino UNO ดังแสดงในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ลักษณะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ [22]

ส่วนประกอบของ Arduino Board มีดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.17)

- หมายเลข 1 คือ USB Plug
- หมายเลข 2 คือ Digital Pin 2 - 13
- หมายเลข 3 คือ Analog Pin A0 - A5
- หมายเลข 4 คือ Power Supply Pin
- หมายเลข 5 คือ External Power Supply
- หมายเลข 6 คือ Microcontroller

### 2.1.7 เครื่องมือพัฒนาโปรแกรม Arduino IDE

Arduino IDE [23] เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมและสามารถทำการแปลงไฟล์ดังกล่าวเพื่อนำไปอัปโหลดลงยังบอร์ด Arduino โดยเราสามารถที่จะเลือกใช้โปรแกรมแบบ online IDE หรือ desktop IDE ก็ได้(ในงานวิจัยนี้ จะอธิบายเฉพาะแบบ Desktop IDE ที่ใช้กับ Windows OS เท่านั้น) โดยมีลักษณะโปรแกรมที่ใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 โปรแกรม Arduino IDE

การเขียนโปรแกรมสำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino สามารถดำเนินการได้ผ่านสองแนวทางหลัก ได้แก่ เครื่องมือพัฒนาแบบออนไลน์ (Online IDE) และเครื่องมือแบบติดตั้งในเครื่อง (Desktop IDE) โดยแต่ละแบบมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันดังนี้

#### 1) โปรแกรม Arduino Web Editor (Online IDE)

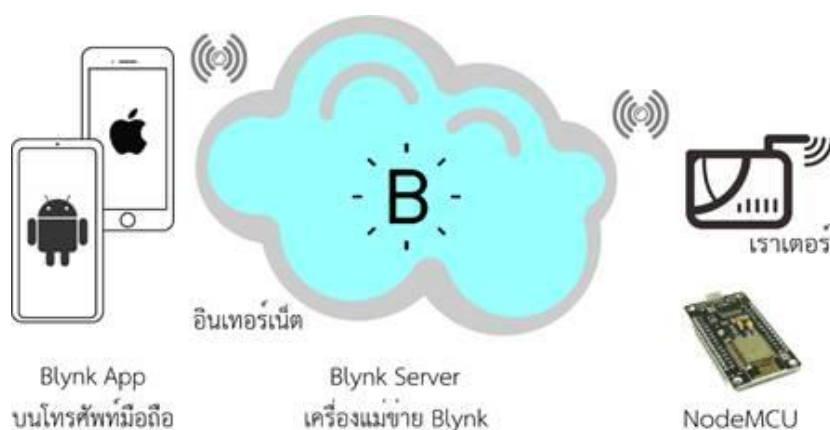
เป็นเครื่องมือพัฒนาแบบออนไลน์ที่ใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้งานได้จากทุกที่ที่มีอินเทอร์เน็ตผ่านเว็บไซต์ <https://create.arduino.cc/editor> ความสะดวกของระบบนี้คือไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ และไม่ต้องดำเนินการอัปเดตซอฟต์แวร์หรือไลบรารีด้วยตนเอง เนื่องจากระบบจะเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลกลางและจัดการให้โดยอัตโนมัติ ทั้งนี้โค้ดโปรแกรมที่เขียนจะถูกบันทึกไว้บนคลาวด์ (Cloud Storage) ซึ่งช่วยให้สามารถเข้าถึงและพัฒนาโค้ดต่อได้จากอุปกรณ์ใด ๆ ที่เชื่อมต่อกับบัญชีผู้ใช้

#### 2) โปรแกรม Arduino IDE for Desktop (Offline IDE)

เป็นซอฟต์แวร์แบบติดตั้งลงในเครื่องผู้ใช้งาน ซึ่งต้องดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ทางการของ Arduino ที่ <https://www.arduino.cc/en/software> โดยมีให้เลือกติดตั้งตามระบบปฏิบัติการ เช่น Windows, macOS และ Linux สำหรับผู้ใช้งานระบบปฏิบัติการ Windows 10 ขึ้นไป (64 บิต) จะต้องเลือกเวอร์ชันที่รองรับ และดำเนินการติดตั้งผ่านไฟล์ .EXE ที่ดาวน์โหลดมา ข้อได้เปรียบของรูปแบบนี้คือสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต และผู้ใช้งานสามารถกำหนดเวอร์ชันของไลบรารีหรือคอมไพเลอร์ได้เองอย่างยืดหยุ่น

### 2.1.8 Blynk Application

Blynk Application [23] คือแพลตฟอร์มที่ใช้ในการสร้างแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมและตรวจสอบอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) ผ่านสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ต โดยสามารถใช้งานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ Android และ iOS จุดเด่นของ Blynk คือความสะดวกในการพัฒนาแอปพลิเคชันแบบไม่ต้องเขียนโค้ดส่วนหน้าจเอง (no front-end coding) ซึ่งช่วยให้นักพัฒนาและผู้ใช้งานทั่วไปสามารถสร้างแดชบอร์ดสำหรับควบคุมอุปกรณ์ เช่น เปิด-ปิดพัดลมหรือปั้มน้ำ และรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ (อุณหภูมิ, ความชื้น ฯลฯ) ได้อย่างรวดเร็ว โดยระบบจะเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น ESP8266, ESP32 หรือ Arduino ผ่าน Blynk Cloud หรือเซิร์ฟเวอร์ส่วนตัว (Local Server) ผ่านอินเทอร์เน็ต สามารถดูภาพรวมขององค์ประกอบได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 องค์ประกอบของ Blynk

ซึ่งการทำงานของ Blynk อาศัย 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

- 1) Blynk App (Mobile Interface): สำหรับสร้าง UI เช่น ปุ่ม, กราฟ, ตัวแสดงค่า ฯลฯ
- 2) Blynk Server: เป็นตัวกลางที่เชื่อมต่อข้อมูลระหว่างแอปกับอุปกรณ์
- 3) Blynk Library: ติดตั้งในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้สามารถสื่อสารกับเซิร์ฟเวอร์ได้

#### 2.1.8.1 คุณสมบัติหลักของ Blynk Application

- 1) ควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกล เช่น เปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า, ตรวจสอบค่าจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต
- 2) อินเทอร์เฟซใช้งานง่าย มีระบบลากวาง (drag-and-drop) สำหรับสร้าง UI บนแอปมือถือ
- 3) รองรับบอร์ดหลากหลาย เช่น ESP32, ESP8266, Arduino, Raspberry Pi ฯลฯ

- 4) เชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ต (Blynk Cloud) ผู้ใช้สามารถควบคุมอุปกรณ์ได้จากทุกที่ที่มีอินเทอร์เน็ต
- 5) มีฟังก์ชัน Automation และ Notification เช่น ตั้งค่าให้แจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิเกินค่าที่กำหนด

ในเชิงอุตสาหกรรมและวิชาการ Blynk ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยและพัฒนาระบบควบคุม เช่น ระบบควบคุมการให้น้ำในแปลงเกษตรอัจฉริยะ ระบบควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ หรือระบบตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ ข้อดีของ Blynk คือสามารถลดระยะเวลาในการพัฒนาแอปพลิเคชัน และรองรับการปรับแต่งได้หลากหลายโดยไม่ต้องลงทุนสูง อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดอยู่ที่ความต้องการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตอย่างต่อเนื่อง และข้อจำกัดของบัญชีแบบฟรีที่อาจจำกัดจำนวนวิดเจ็ตหรืออุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ ซึ่งแอปพลิเคชัน Blynk สามารถใช้งานได้ฟรีและใช้งานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ IOS และ Android ซึ่งสามารถแสดงผลการติดตามและควบคุมอุปกรณ์ของระบบได้ดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 แอปพลิเคชัน Blynk

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรสรพสิ่งสำหรับกระบวนการติดตาม, การบันทึกข้อมูลและควบคุมการใช้งานโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงการประยุกต์ใช้แนวคิดและเครื่องมือเทคนิควิศวกรรมอุตสาหกรรมเพื่อช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

### 2.2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรสรพสิ่ง

1) ศิริชัย ศิริชนะ และคณะ [24] ได้จำแนกเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ (1) การตากแดดโดยตรง ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยนำไปตากไว้กลางแจ้งให้สัมผัสแสงแดดโดยตรง แม้จะมีต้นทุนต่ำแต่ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและมักมีปัญหาเรื่องความสะอาดและระยะเวลาในการอบแห้ง (2) เครื่องอบแห้งแบบไหลเวียนอากาศธรรมชาติ (Passive Solar Dryer: PSD) ซึ่งใช้อุณหภูมิภายในห้องอบที่สูงกว่าอากาศภายนอกเพื่อให้อากาศภายในลอยตัวขึ้นและถูกแทนที่ด้วยอากาศใหม่จากภายนอก จนเกิดการไหลเวียนตามธรรมชาติ ส่งผลให้การระบายความชื้นทำได้ดีกว่าการตากแดด แต่ข้อจำกัดคือการไหลเวียนอากาศไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดการสะสมความชื้นที่ผิวผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดเชื้อราและจุลินทรีย์ (3) เครื่องอบแห้งแบบไหลเวียนอากาศบังคับ (Forced Convection Solar Dryer) ซึ่งเพิ่มพัดลมเพื่อช่วยระบายอากาศออกจากห้องอบ ส่งผลให้สามารถควบคุมการระบายความชื้นได้แม่นยำยิ่งขึ้นและลดความชื้นสะสมภายในเครื่องได้มากกว่าระบบแบบธรรมชาติ แม้อุณหภูมิภายในจะลดลงบ้างเนื่องจากการพาความร้อนออกไปพร้อมอากาศ ในการศึกษาของผู้วิจัยยังได้ทดลองเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไหลเวียนอากาศบังคับด้วยการควบคุมการทำงานของพัดลมตามค่าผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างอากาศทางเข้าและทางออก โดยใช้เนื้อหุส่วนสั้นนอกเป็นกรณีศึกษา พบว่าการตั้งค่าระดับความต่างความชื้นสัมพัทธ์ไว้ที่ 10% (SD-RH10) ช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งได้สูงที่สุด พร้อมทั้งลดค่าพลังงานจำเพาะในการอบแห้งลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบอื่น

2) ชยางกูร ไชยวงศ์ และคณะ [25] ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ซึ่งมีวัตถุประสงค์ 3 ประการ ได้แก่ (1) ออกแบบและสร้างตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ผ่านระบบ IoT (2) ทดสอบสมรรถนะการทำงานของตู้อบที่พัฒนาขึ้น และ (3) ประเมินระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยมีประชากรกลุ่มเป้าหมายคือเกษตรกรผู้ประกอบการแปรรูปอาหารทะเลในอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 10 ราย ซึ่งได้จากการคัดเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยแบบบันทึกข้อมูลระบบและแบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติที่ใช้

วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการพัฒนาพบว่า ตู้อบที่สร้างขึ้นมีขนาด 3 ชั้น 6 ช่อง ใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีการควบคุมอุณหภูมิผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่เชื่อมต่อกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งตั้งค่าอุณหภูมิภายในตู้อบไว้ที่ 50°C ระบบจะทำงานอัตโนมัติโดยสั่งเปิดหลอดไฟให้ความร้อนเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้ และสั่งเปิดพัดลมเพื่อระบายอากาศเมื่ออุณหภูมิสูงเกินค่าที่กำหนด ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตลอดเวลา ส่วนการควบคุมความชื้นตั้งไว้ที่ 40%, 25% และ 20% สำหรับวัตถุดิบ 3 ประเภท โดยระบบสามารถตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์แบบเรียลไทม์และส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันเมื่อถึงค่าที่กำหนด จากการประเมินผลด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า วัตถุดิบที่ผ่านการอบมีลักษณะของสี ความแห้ง และพื้นผิวตรงตามเกณฑ์คุณภาพ และในส่วนของความพึงพอใจของผู้ใช้งานโดยรวมอยู่ในระดับมาก สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของการประยุกต์ใช้ระบบ IoT ในการควบคุมกระบวนการอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ปลายทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) พลวัฒน์ พลเดช และ โสภา แคนสี [26] ได้ดำเนินการวิจัยเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก และศึกษาผลของลักษณะการเตรียมปลานิลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 3.0 เมตร × 4.0 เมตร × 2.3 เมตร ติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด 3.4 วัตต์ เพื่อช่วยในการถ่ายเทอากาศและควบคุมความชื้นภายในระบบ ตัวอย่างที่ใช้คือปลานิลขนาดเล็กที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน โดยแบ่งการเตรียมออกเป็นสองลักษณะ ได้แก่ การแผ่ตัวปลานิลและการไม่แผ่ตัว ก่อนนำไปหมักด้วยเครื่องปรุงรสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วเข้าสู่กระบวนการอบแห้งในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติในช่วงเวลา 09.00–17.00 น. เป็นระยะเวลา 2 วัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้น รวมถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทั้งสองวิธี ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 12.8°C ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ภายในระบบต่ำกว่าภายนอก 13%RH ซึ่งเอื้อต่อการลดความชื้นของปลานิลจากค่าเริ่มต้น 80% w.b. เหลือ 25.8% w.b. โดยสามารถลดความชื้นได้มากกว่าการตากแดดถึง 6.2% w.b. นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะการเตรียมปลานิลมีผลต่อค่าความชื้นที่เหลือและค่า Water Activity ( $a_w$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งสะท้อนถึงอิทธิพลของรูปแบบการจัดเตรียมต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในกระบวนการอบแห้ง อย่างไรก็ตาม ค่าสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งไม่ได้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวิธีการเตรียมทั้งสองแบบ ซึ่งบ่งชี้ว่าปัจจัยด้านการเตรียมมีผลกระทบต่อคุณลักษณะทางกายภาพในด้านสีของผลิตภัณฑ์ปลานิลอบแห้ง

4) พิมพ์พรรณ ปรีองาม, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และวัชรพล ชยประเสริฐ [27] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้โรงเรือนปลูกพืชซึ่งหุ้มด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตมาเป็นโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับกล้วย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโรงเรือนอบแห้งสองรูปแบบ ได้แก่ โรงเรือนแบบฐานเปิด ซึ่งยกตัวโรงเรือนสูงจากพื้นเพื่อให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ และโรงเรือนแบบฐานปิด ซึ่งปิดด้านล่างด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีนสีดำเพื่อจำกัดการแลกเปลี่ยนอากาศกับภายนอก ทั้งนี้ได้เปรียบเทียบกับการตากกลางแจ้ง โดยใช้กล้วยที่มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 75% w.b. และตั้งเป้าความชื้นสุดท้ายที่ 56.5% w.b. ซึ่งอยู่ในช่วงความชื้นที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ การทดลองดำเนินตั้งแต่วันที่ 8.00–16.00 น. ต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน ผลการทดลองพบว่า โรงเรือนแบบฐานปิดสามารถลดความชื้นของกล้วยได้มากที่สุด โดยได้ค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 52.8% w.b. ขณะที่โรงเรือนแบบฐานเปิดและการตากกลางแจ้งมีค่าความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 58.8% w.b. และ 59.2% w.b. ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโรงเรือนแบบฐานปิดมีอุณหภูมิภายในสูงกว่าและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าแบบอื่น จึงให้ประสิทธิภาพการอบแห้งดีกว่า นอกจากนี้ ยังพบว่าโรงเรือนแบบฐานปิดมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าโรงเรือนแบบฐานเปิดและการตากกลางแจ้ง คิดเป็นร้อยละ 29.2 และ 34.9 ตามลำดับ สะท้อนถึงความเหมาะสมในการพัฒนาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยอาศัยโครงสร้างโรงเรือนปลูกพืชแบบปิดเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการใช้งานจริง

5) ปรีชา ศรีประภาคาร [28] ได้ศึกษารูปแบบการจัดการพลังงานระดับชุมชนโดยเน้นการบูรณาการความร่วมมือระหว่างหน่วยงานภาครัฐจำนวน 7 หน่วยงาน กับการนำเทคโนโลยีพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้ โดยเฉพาะระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีการวางแผนกลยุทธ์ร่วมกันให้สอดคล้องกับพันธกิจของแต่ละหน่วยงาน และดำเนินการประชุมเพื่อจัดทำแผนปฏิบัติงานอย่างเป็นระบบ ส่งผลให้ชุมชนได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ในการก่อสร้างห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดพื้นที่ 48 ตารางเมตร ซึ่งสามารถรองรับการอบผลิตภัณฑ์ได้สูงถึง 4,500 กิโลกรัมต่อวัน โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 8 ชั่วโมง ภายใต้ค่ารังสีแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ย 692 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 35°C และอุณหภูมิภายในห้องอบเฉลี่ย 44.2°C โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบพบว่าอยู่ที่ร้อยละ 12 และสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ประมาณ 66,000 บาทต่อปี เมื่อพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบดังกล่าวมีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เท่ากับ 7.2 ปี แสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการลงทุนและศักยภาพของการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนผ่านกลไกความร่วมมือเชิงบูรณาการในระดับชุมชน

6) รวิภา ยงประยูร [29] ได้ดำเนินการวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการผลิตเห็ดอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก โดยอาศัยการมีส่วนร่วมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคุก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งให้เหมาะสมกับบริบทการใช้งานจริงในชุมชน ทั้งในด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน การดำเนินการเริ่มจากการปรับปรุงเครื่องอบแห้งเดิมที่ใช้งาน ณ บ้านของคุณพัชรินทร์ หอมสุวรรณ โดยการเปลี่ยนวัสดุห่อหุ้มเครื่องอบแห้งใหม่ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นจากเดิม 2% เป็น 14.36% และเมื่อเพิ่มอุปกรณ์ช่วยเร่งการไหลของอากาศผ่านผลิตภัณฑ์ ยิ่งช่วยให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 24.29% นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อจำหน่ายเห็ดแปรรูปในรูปแบบบรรจุกระปุกขนาด 25 กรัม ราคาขายปลีก 35 บาท โดยมีปริมาณการผลิต 1,905 กระปุก สามารถคืนทุนภายในระยะเวลาเพียง 1 ปี ซึ่งสะท้อนถึงความคุ้มค่าในการลงทุน ทั้งนี้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่เข้าร่วมโครงการ ได้แก่ กลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น และกลุ่มหัวใจผักกาดตากแห้งร่องเคาะ ยังรายงานว่ามีความพึงพอใจในระดับสูง (มากกว่าร้อยละ 91) ทั้งในด้านความรู้ ความเข้าใจ และการสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ได้จริง ในบริบทของชุมชน สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในการพัฒนากระบวนการผลิตแบบมีส่วนร่วมอย่างยั่งยืน

7) พงษ์รวิ นามวงศ์ และกรมวิชาการเกษตร [30] ได้ทำการวิจัยการลดความชื้นของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านระบบโรงตากแบบหลังคาโค้ง ขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร โดยติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว เพื่อควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 45°C และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในระดับไม่เกิน 75% ภายในโรงตากประกอบด้วยชั้นตากกาแฟจำนวน 8 ชั้น สามารถรองรับการอบแห้งเมล็ดกาแฟได้ไม่น้อยกว่า 1.5 ตันต่อรอบการผลิต พร้อมติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด 30 วัตต์ จำนวน 2 ตัว ที่มีอัตราการไหลรวม 1,400 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เพื่อระบายความร้อนและความชื้นออกจากโรงตากโดยอัตโนมัติเมื่อเกินค่าที่กำหนด การทดลองดำเนินในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม โดยสุ่มกะลากาแฟสดครั้งละ 2.5 กิโลกรัม ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 55% w.b. นำมาลดความชื้นภายใต้สภาพอุณหภูมิภายในโรงตากสูงสุด 39.4°C ต่ำสุด 6.1°C และเฉลี่ย 18.73°C โดยมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 57.27% ใช้เวลาในการอบแห้ง 7-10 วัน จนได้เมล็ดกาแฟที่มีความชื้นสุดท้าย 12% w.b. โดยมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 0.2665% w.b. ต่อชั่วโมง ทั้งนี้ เมล็ดกาแฟที่ผ่านการอบแห้งมีลักษณะทางกายภาพที่ดี ไม่มีการแตกร้าวหรือบิดงอ และให้คุณภาพไม่แตกต่างจากวิธีการผึ่งลมแบบดั้งเดิม แต่ใช้เวลาน้อยกว่าถึงสามเท่า แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการควบคุมแบบอัตโนมัติในการลดระยะเวลาและคงคุณภาพเมล็ดกาแฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการ

1) จุฑาภรณ์ แก้วสุด [3] ได้ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมชาติ จังหวัดสงขลา โดยประยุกต์ใช้แนวคิดลีน (Lean Manufacturing) เพื่อวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิตและหาแนวทางการปรับปรุงที่สามารถลดความสูญเปล่าและลดระยะเวลาการผลิตโดยรวม การดำเนินงานเริ่มจากการเก็บข้อมูลเชิงลึกของกระบวนการผลิตและจัดทำแผนผังสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping: VSM) ของสถานการณ์ปัจจุบัน จากนั้นจึงวิเคราะห์กิจกรรมแต่ละขั้นตอนเพื่อระบุจุดที่เกิดความสูญเปล่า พร้อมเสนอแนวทางแก้ไขโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เช่น แผนผังสาเหตุและผล (Fishbone Diagram), หลักการ 5W+1H (What, Why, Where, When, Who, How) และเทคนิค ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) หลังจากปรับปรุงกระบวนการแล้ว ได้จัดทำแผนผังสายธารคุณค่าฉบับใหม่เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ พบว่า จำนวนกิจกรรมที่ไม่สร้างมูลค่าถูกลดลงคิดเป็นร้อยละ 17.78 และระยะเวลารวมของกระบวนการผลิตลดลงร้อยละ 9.69 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แนวคิดลีนในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในภาคอุตสาหกรรม

2) ชัชวาล มงคล [31] ได้ดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการผลิตของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มสตรีแปรรูปผลไม้ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตมะม่วงกวนผ่านการจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน และศึกษาความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการ ทั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์หลัก ได้แก่ แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิต และแผนผังสาเหตุและผล (Fishbone Diagram) ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคนิค 5W+1H และหลักการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาและกำหนดแนวทางในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน จากนั้นได้จัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Standard Work) เพื่อให้กระบวนการผลิตมีความสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณการผลิตต่อวันเพิ่มขึ้น ขณะที่เวลาในกระบวนการผลิตและระยะทางการไหลของงานลดลงอย่างชัดเจน ความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานหลังการใช้มาตรฐานการปฏิบัติงานอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย 3.85 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.39 นอกจากนี้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังการปรับปรุงยังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าแนวทางการปรับปรุงที่ใช้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้จริง และช่วยยกระดับคุณภาพการทำงานของกลุ่มอาชีพในชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม

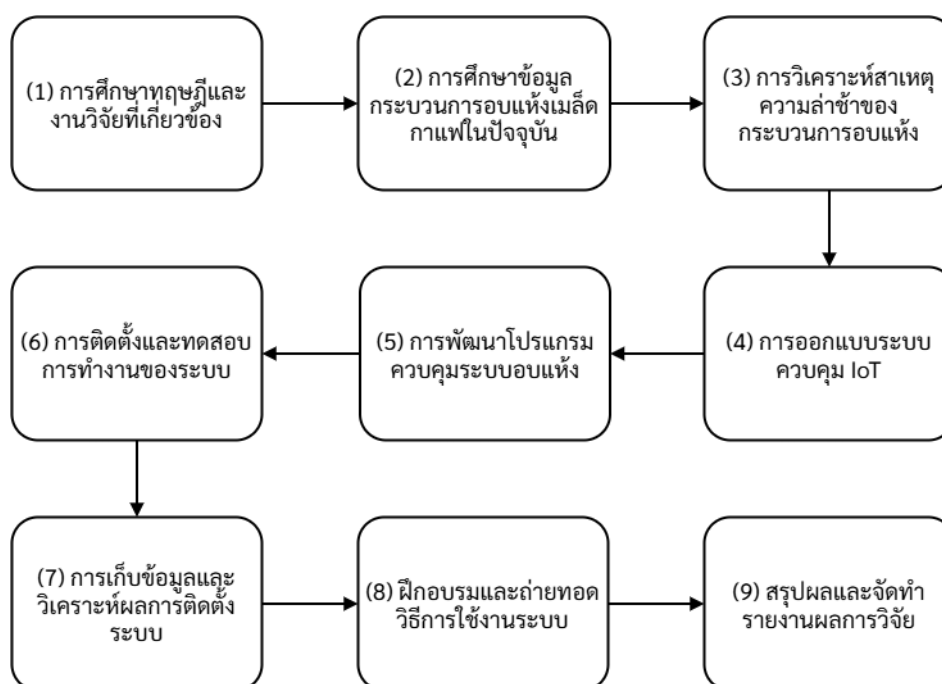
3) วิทยุ จันทร์พราหมณ์ [32] ได้ดำเนินการวิจัยเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานในอู่ซ่อมรถ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ ลดสัดส่วนของรถยนต์ที่ส่งมอบล่าช้าในงานซ่อมประเภท A และ B ลงอย่างน้อยร้อยละ 10 จากการวิเคราะห์กระบวนการทำงานพบว่า มีขั้นตอนหลัก 9 ขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลามากกว่า 30 นาที จึงได้ดำเนินการวิเคราะห์รายละเอียดในระดับงานย่อยโดยใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการ (Process Flowchart) เพื่อระบุงานย่อยที่เป็นคอขวดหรือใช้เวลานานเกินไป จากนั้นได้วิเคราะห์หาสาเหตุของความล่าช้าโดยอาศัยหลักการ Why-Why Analysis หรือการตั้งคำถามเชิงลึกเพื่อค้นหาสาเหตุราก (Root Cause) ของปัญหาในแต่ละขั้นตอนสุดท้ายได้กำหนดแนวทางในการแก้ไขซึ่งครอบคลุมทั้งด้านกระบวนการทำงาน การจัดสรรทรัพยากร และการสื่อสารภายในองค์กร การศึกษานี้สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการวิเคราะห์เชิงระบบและการใช้เครื่องมือทางอุตสาหกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการในภาคยานยนต์อย่างเป็นรูปธรรม

4) กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ และ ณัฐวุฒิ พลศรี [33] ได้ดำเนินการศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและลดระยะเวลากระบวนการผลิตในโรงงานผลิตเส้นขนมจีนหมัก โดยมีเป้าหมายเพื่อลดความสูญเสียดังเกิดขึ้นในกระบวนการ ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ 7 Waste เพื่อระบุปัจจัยที่ก่อให้เกิดความสูญเปล่าในระบบการผลิต โดยเฉพาะในด้านการรอคอย (Waiting) และการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Motion) จากนั้นได้นำแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) ร่วมกับหลักการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) มาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการวางผังเครื่องจักรและขั้นตอนการทำงานใหม่ ผลการปรับปรุงแสดงให้เห็นว่าสามารถลดระยะเวลากระบวนการผลิตจากเดิม 360.88 นาที เหลือ 342.08 นาที คิดเป็นการลดลงร้อยละ 5.21 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของแนวคิดลีนในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพผลในกระบวนการแปรรูปอาหารประเภทเส้น

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ที่มุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต ประสานสรรพสิ่ง เพื่อควบคุมและติดตามการอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมจริงของชุมชน กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟรัชฎาและแปรรูปผลผลิต การเกษตร อำเภอรัชฎา จังหวัดตรัง โดยการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานพลังงานจังหวัด กระทรวงพลังงาน ให้ชุมชนใช้ในการตากแห้งเมล็ดกาแฟ

ในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 9 ขั้นตอนดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยเริ่มต้นด้วยการศึกษาข้อมูลทฤษฎี งานวิจัยที่ผ่านมา และเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งเมล็ดกาแฟ, การออกแบบและประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบ IoT สำหรับโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้สืบค้นข้อมูลทางทฤษฎีจากแหล่งต่าง ๆ ทั้งหนังสือ งานวิจัย และบทความวิชาการ ตัวอย่างหัวข้อที่ได้ศึกษาประกอบด้วย ดังนี้

1) เทคโนโลยีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ศึกษาหลักการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โครงสร้างทั่วไปของโรงเรือนอบแห้ง วัสดุที่ใช้ทำหลังคาเพื่อให้แสงอาทิตย์ส่องผ่าน และปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการระบายอากาศ ตลอดจนแนวทางการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์การเกษตรแต่ละประเภท

2) เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ศึกษาแนวคิดของ IoT และส่วนประกอบพื้นฐาน ได้แก่ เซ็นเซอร์ (Sensors), ไมโครคอนโทรลเลอร์หรืออุปกรณ์ประมวลผล (Microcontroller/Embedded Device), การสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่าย (Networking) และระบบคลาวด์ (Cloud System) เพื่อใช้ในการรับส่งและจัดเก็บข้อมูล นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาตัวอย่างงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ IoT ในการควบคุมสภาพแวดล้อมด้านการเกษตรหรือโรงเรือนอบแห้ง เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบ ทั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเซ็นเซอร์วัดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย (เช่น Wi-Fi) สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์สู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ต ตลอดจนการใช้แพลตฟอร์มคลาวด์ในการบันทึกและแสดงผลข้อมูลระยะไกล

3) การประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมอุตสาหกรรม การนำแนวคิดและเทคนิคทางด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมเข้ามาประยุกต์ใช้ในการระบุปัญหาและแก้ไขเพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตงานของวิจัยนี้ เช่น การศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ปรับปรุงกระบวนการผลิต ได้แก่ แผนภูมิกระบวนการไหล ซึ่งใช้ในการบันทึกและวิเคราะห์ลำดับขั้นตอนและเวลาที่ใช้ในกระบวนการอย่างละเอียด และการระบุสาเหตุและเพื่อให้เห็นรากเหง้าของปัญหาด้วยแผนผังก้างปลา รวมถึงการวิเคราะห์ความสูญเปล่า 7 ประการ (7 Wastes) ในกระบวนการ เพื่อระบุส่วนที่ไม่เพิ่มคุณค่า เช่น การรอคอย, การเคลื่อนไหวที่เกินจำเป็น, ความสิ้นเปลืองจากกระบวนการที่ไม่จำเป็น เป็นต้น เครื่องมือเหล่านี้จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยระบบ IoT เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น

ผลจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยเข้าใจถึงปัญหาและความต้องการในการอบแห้งเมล็ดกาแฟของชุมชน ตลอดจนแนวทางเทคโนโลยีที่จะนำมาแก้ไขปัญหา ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงกำหนดแนวทางในการวิจัยต่อไป คือการออกแบบและพัฒนาระบบ IoT ที่สามารถตรวจวัดสภาพแวดล้อม (อุณหภูมิและความชื้น) ภายในโรงอบแห้งแบบเรียลไทม์ ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ระบายอากาศโดยอัตโนมัติตามเงื่อนไขที่กำหนด และเชื่อมต่อข้อมูลการตรวจวัดเข้าสู่ระบบคลาวด์เพื่อการติดตามผล ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

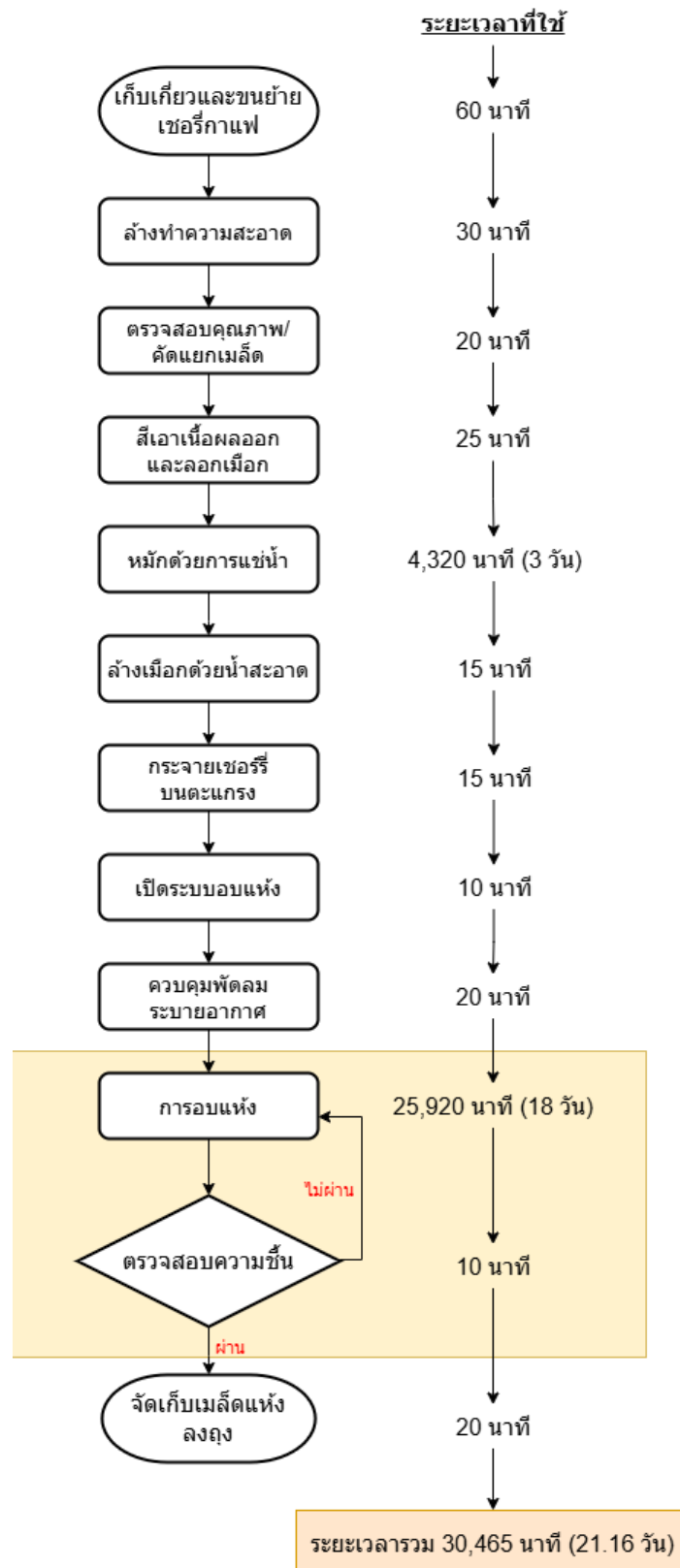
## 3.2 การศึกษาข้อมูลกระบวนการอบแห้งของเมล็ดกาแฟของกลุ่มวิสาหกิจที่ผลิตอยู่ในปัจจุบัน

### 3.2.1 การศึกษาข้อมูลโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟรักษาและแปรรูปผลผลิตการเกษตร อำเภอรักษา จังหวัดตรัง มีผลิตภัณฑ์หลักที่ผลิตและจำหน่ายคือ เมล็ดกาแฟคั่วมือ และได้ต่อยอดผลิตภัณฑ์เป็นกาแฟดริปคั่วบด และชาดอกกาแฟ ซึ่งในการผลิตเมล็ดกาแฟคั่วมือนั้น ต้องนำเมล็ดกาแฟสดเข้าสู่กรรมวิธีหมักและตากแห้งแบบวิธีดั้งเดิม โดยใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 x 4 เมตร ซึ่งเป็นโรงอบแห้งแบบเรือนกระจกโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีลักษณะเป็นโรงเรือนที่มีหลังคาเป็นทรงโค้งพาราโบลา ครอบคลุมด้วยแผ่นพลาสติกโพลีคาร์บอเนตแบบใส มีระบบระบายความชื้นด้วยพัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว แบบใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 20 วัตต์ จำนวน 2 ตัว ในการตากแห้งเมล็ดกาแฟ โดยใช้วิธีตากแห้งแบบดั้งเดิมในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีระบบควบคุมอัตโนมัติใด ๆ โดยเมล็ดกาแฟจะถูกกระจายบนตะแกรงภายในโรงอบและปล่อยให้แห้งตามสภาพอากาศธรรมชาติ ผู้ปฏิบัติงานจะประเมินความแห้งของเมล็ดกาแฟจากการสังเกตหรือประสบการณ์ โดยการกะปริมาณความชื้นด้วยมือหรือสายตา เนื่องจากโรงอบแห้งดังกล่าวไม่มีอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นได้ระหว่างการตาก

### 3.2.2 การศึกษาขั้นตอนการอบแห้ง

ผู้วิจัยได้ทำการสังเกตและบันทึกกิจกรรมการทำงานในกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟของกลุ่มวิสาหกิจฯ ทั้งในกรณี ก่อนปรับปรุง (วิธีดั้งเดิม) โดยใช้ แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) เป็นเครื่องมือในการบันทึก ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การจดบันทึกทุกกิจกรรมที่ผู้ปฏิบัติงานดำเนินการตั้งแต่เริ่มกระบวนการ (เช่น การนำเมล็ดกาแฟเข้าโรงอบ, การตรวจเช็คความชื้นทุกวัน, การพลิกหรือเกลี่ยเมล็ดกาแฟ, การเปิด/ปิดโรงเรือนเพื่อระบายอากาศ, จนถึงการเก็บเมล็ดกาแฟเมื่อแห้งสนิท) พร้อมกับบันทึก เวลาที่ใช้ ในแต่ละกิจกรรมอย่างละเอียด รวมถึงเวลาที่เป็นการรอคอยหรือพักคอยระหว่างกิจกรรม ผลที่ได้คือนำข้อมูลทั้งหมดมาเขียนเป็นแผนภูมิกระบวนการไหล ซึ่งแสดง ลำดับกิจกรรม และ เวลาของ แต่ละกิจกรรม ตลอดจนเวลารวมของทั้งกระบวนการ จากการศึกษาพบว่า มีขั้นตอนการทำงานหลายลำดับและใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน โดยการอบแห้งแบบดั้งเดิมที่ใช้ระยะในกระบวนการอบแห้งเป็นเวลานาน รวมเป็นจำนวน 30,465 นาที (21.16 วัน) โดยมีระยะเวลาที่ใช้เฉพาะในขั้นตอนการนำเมล็ดกาแฟมาตากแดดให้แห้งหรือการอบแห้งเป็นจำนวน 25,920 นาที (18 วัน) ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการตากแห้งดังกล่าวขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในช่วงนั้นๆ (เช่น ช่วงที่มีแดดดีจะใช้เวลาน้อยกว่าช่วงที่ฝนตกหรือมีความชื้นสูง) ในการลดความชื้นของเมล็ดกาแฟจนถึงระดับเป็นที่พึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยการประเมินความชื้นด้วยประสบการณ์ที่คิดว่าเหมาะสมสำหรับการแปรรูปด้วยการคั่วต่อไป ซึ่งขั้นตอนการทำงานทั้งหมดสามารถถ่ายทอดให้เห็นด้วยแผนภูมิกระบวนการไหล ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนกระบวนการอบแห้งของเมล็ดกาแฟของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

จากแผนภูมิกระบวนการไหลของการผลิตเมล็ดกาแฟแบบดั้งเดิม (ภาพที่ 3.2) จะเห็นว่ากระบวนการที่ใช้เวลานานที่สุดคือ การรอคอยให้เมล็ดกาแฟแห้ง และ การประเมินความชื้น โดยการสังเกตด้วยตนเอง ซึ่งรวมแล้วใช้เวลาประมาณ 18 วัน (โดยเฉลี่ย) กว่าจะได้เมล็ดกาแฟที่แห้งพร้อมสำหรับขั้นตอนต่อไป นอกจากนี้ ยังพบปัญหาว่าโรงอบแห้งแบบดั้งเดิมไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ตามต้องการของผลิตภัณฑ์ ทำให้คุณภาพของเมล็ดกาแฟที่ได้อาจไม่สม่ำเสมอ และใช้เวลานานเกินความจำเป็นในการตากแห้ง นอกจากนี้การตากเมล็ดกาแฟเป็นเวลานานดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาหลายประการ ได้แก่ ความล่าช้าในการผลิต (เกิดความสูญเสียประเภทการรอคอย) ความเสี่ยงที่ผลิตผลอาจขึ้นราเสียหายหากสภาพอากาศชื้นเกินไป ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นโอกาสในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมปัจจัยสภาพแวดล้อมภายในโรงอบแห้งแบบอัตโนมัติ ซึ่งคาดว่าจะสามารถช่วยลดระยะเวลาการอบแห้งตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความสามารถในการผลิตและปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดกาแฟให้สม่ำเสมอมากขึ้นด้วย

### 3.3 การวิเคราะห์สาเหตุความล่าช้าของกระบวนการอบแห้ง

เมื่อเก็บข้อมูลของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการอบแห้งครบถ้วนแล้ว ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการที่ได้เตรียมไว้ คือ แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart), การวิเคราะห์สาเหตุด้วยแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ตัวอย่างเช่น นำระยะเวลาการรอคอยในขั้นตอนอบแห้งที่ใช้เวลานานที่สุดในกระบวนการตากแห้งซึ่งผู้วิจัยมีความต้องการปรับปรุงในขั้นตอนนี้ มาวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดขึ้น โดยการนำเครื่องมือการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ คือแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) มาใช้ในการจำแนกสาเหตุที่มีผลต่อประสิทธิภาพของขั้นตอนการอบแห้งในกระบวนการผลิต โดยวิเคราะห์ครอบคลุมใน 6 หมวดหมู่หลัก ได้แก่ บุคลากร (Man), วิธีการ (Method), วัตถุดิบ (Material), เครื่องจักรและอุปกรณ์ (Machine), การวัดผล (Measurement) และสิ่งแวดล้อม (Environment) เพื่อระบุปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดความล่าช้า, ความสูญเสียหรือความไม่สม่ำเสมอในกระบวนการอบแห้ง จากนั้นจึงวิเคราะห์ความเชื่อมโยงของสาเหตุเหล่านี้กับผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังการติดตั้งและใช้งานระบบควบคุมด้วย IoT เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการอย่างเป็นระบบต่อไป

### 3.4 การออกแบบระบบควบคุม IoT สำหรับโรงอบแห้ง

หลังจากเข้าใจปัญหาและความต้องการจากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบระบบ IoT สำหรับควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีเป้าหมายให้ระบบสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงอบแห้ง (โดยเฉพาะความชื้นและการระบายอากาศ) ได้อย่างอัตโนมัติ ตามค่าที่เหมาะสมกับการอบแห้งเมล็ดกาแฟ นอกจากนี้ ระบบจะต้องสามารถติดตาม

สถานะการทำงานและส่งข้อมูลการอบแห้งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและสั่งการระยะไกลผ่านอุปกรณ์สื่อสาร (เช่น สมาร์ทโฟน) ได้ แนวทางการออกแบบระบบถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ แนวคิดการออกแบบระบบ และ รายการอุปกรณ์ที่ใช้ ดังต่อไปนี้

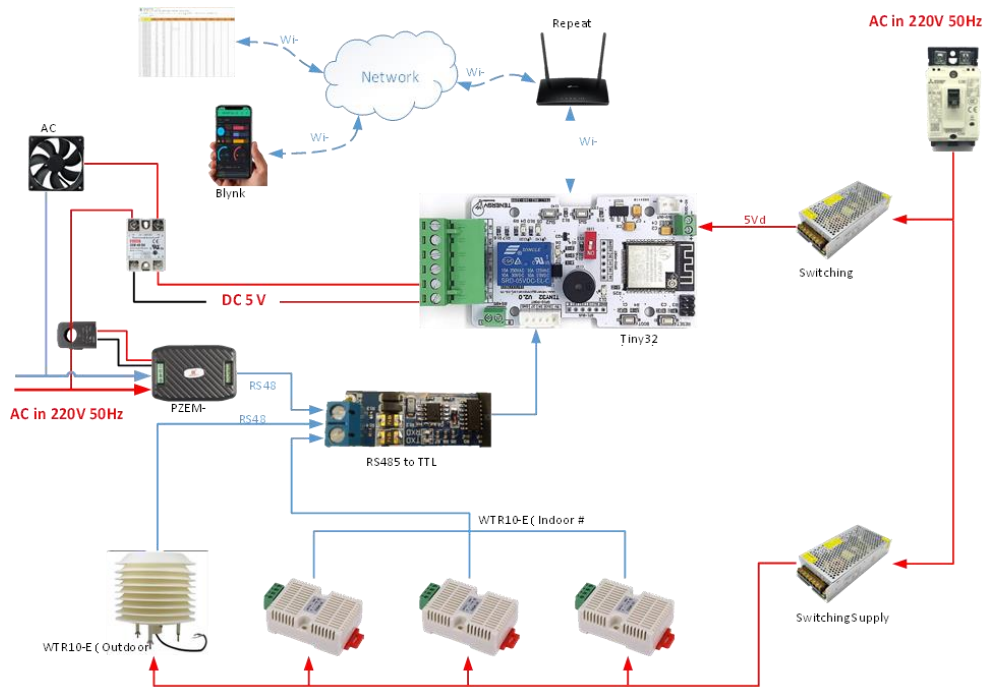
### 3.4.1 แนวคิดการออกแบบ

จากปัญหาในกระบวนการตากแห้งเมล็ดกาแฟข้างต้น แนวคิดในการวิจัยครั้งนี้คือ การพัฒนาระบบควบคุมและติดตามการอบแห้งโดยใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อให้สามารถควบคุมตัวแปรสภาพแวดล้อมที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิและความชื้น ภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ตามความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ เป้าหมายสำคัญคือเพื่อ ลดระยะเวลาในการอบแห้งเมล็ดกาแฟให้สั้นลง และรักษาคุณภาพของเมล็ดกาแฟให้ได้มาตรฐาน ลดความเสี่ยงการเกิดเชื้อราและความเสียหายอื่น ๆ ที่ไม่คาดคิด อีกทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยสามารถผลิตได้ปริมาณมากขึ้นในเวลาเท่าเดิม ระบบที่พัฒนาขึ้นจะเน้นการทำงานที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเรียนรู้และใช้งานได้สะดวก และสามารถติดตามการทำงานหรือสั่งการควบคุมระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลาผ่านอุปกรณ์สื่อสาร เช่น โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน

ผลที่คาดว่าจะได้รับ จากแนวคิดนี้ คือ โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งระบบควบคุมและติดตามการอบแห้งด้วย IoT จะสามารถลดเวลาในการอบแห้งเมล็ดกาแฟจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟแห้งที่มีคุณภาพสม่ำเสมอยิ่งขึ้น เพิ่มความน่าเชื่อถือในกระบวนการผลิต อีกทั้งระบบที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนไม่สูงมากเมื่อเทียบกับมูลค่าที่เพิ่มขึ้นของผลผลิตและสามารถปรับใช้เทคโนโลยี IoT ดังกล่าวกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ ในอนาคตได้นอกจากนี้การพัฒนาระบบดังกล่าวยังช่วยยกระดับโรงอบแห้งแบบดั้งเดิมให้กลายเป็นศูนย์การเรียนรู้ด้านการใช้เทคโนโลยีพลังงานและ IoT ในชุมชน สร้างต้นแบบให้กลุ่มเกษตรกรอื่นเกิดแรงจูงใจในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของตนเองต่อไป (เกิดการขยายผลในวงกว้างของงานวิจัย)

ในการออกแบบระบบควบคุมและติดตามผลการอบแห้ง ผู้วิจัยเน้นหลักการ “ง่าย ไม่ซับซ้อน แต่มีประสิทธิภาพและเสถียร” ทั้งในส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ระบบประกอบด้วยส่วนย่อยสำคัญคือ (1) ส่วนตรวจวัด (sensing) สำหรับวัดค่าตัวแปรสภาพแวดล้อม, (2) ส่วนประมวลผลและควบคุม (control) ทำหน้าที่ตัดสินใจสั่งการอุปกรณ์, (3) ส่วนเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูล (connectivity) สำหรับรับส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต, และ (4) ส่วนแสดงผลและจัดเก็บข้อมูล (user interface & cloud) สำหรับให้ผู้ใช้งานเข้าถึงข้อมูลและควบคุมระบบจากระยะไกล

ภาพรวมของระบบที่ออกแบบแสดงในภาพที่ 3.3 ซึ่งเป็นแผนผังการทำงานของระบบ IoT สำหรับควบคุมโรงอบแห้ง โดยประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ และการเชื่อมโยงระหว่างกัน ได้แก่ เซ็นเซอร์, ไมโครคอนโทรลเลอร์, โมดูลสื่อสาร, พัดลม, ผู้ใช้, และฐานข้อมูลคลาวด์



ภาพที่ 3.3 แผนผังโครงสร้างของระบบควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไอโอที

จากภาพที่ 3.3 จะเห็นว่าเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ/ความชื้นจะเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อส่งข้อมูลการวัดเข้าไประบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลข้อมูลและสั่งงานพัดลมตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ขณะเดียวกันโมดูลสื่อสาร Wi-Fi ซึ่งอยู่บนไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งข้อมูลขึ้นไปบันทึกบน Google Sheets (คลาวด์) และส่งสัญญาณไปยังแอปพลิเคชัน Blynk บนโทรศัพท์มือถือของผู้ใช้งานเพื่อแสดงผลและรับคำสั่งควบคุม ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะและสั่งงานพัดลมผ่าน Blynk ได้ทุกที่ที่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต กระบวนการทั้งหมดนี้ทำงานแบบอัตโนมัติและต่อเนื่อง ช่วยลดภาระในการเฝ้าสังเกตและควบคุมของผู้ปฏิบัติงานโดยตรง

### 3.4.2 อุปกรณ์สำหรับการติดตั้งระบบควบคุมการอบแห้ง

ในการสร้างระบบต้นแบบ ผู้วิจัยได้คัดเลือกและจัดหาอุปกรณ์ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่สอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบข้างต้น โดยคำนึงถึงความง่ายในการใช้งาน ความแม่นยำ และต้นทุนที่ประหยัด รายการอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย (ดังแสดงในตารางที่ 3.1)

1) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น : ใช้โมดูลเซ็นเซอร์ดิจิทัล DHT22 (หรือชนิดที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่า) ติดตั้งภายในโรงอบแห้งเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบเรียลไทม์ เซ็นเซอร์ DHT22 เป็นเซ็นเซอร์ที่มีความละเอียดและความแม่นยำสูงสำหรับการวัดอุณหภูมิ

และความชื้นในช่วงที่เหมาะสมกับการอบแห้งเมล็ดกาแฟ ค่าอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้จะถูกส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปประมวลผล

2) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมโมดูล Wi-Fi : ใช้บอร์ด Arduino (พร้อมโมดูลควบคุมที่มี Wi-Fi ในตัว เช่น ESP32) เป็นหน่วยประมวลผลกลางของระบบ ทำหน้าที่อ่านค่าจากเซ็นเซอร์ ประมวลผลตามโปรแกรมควบคุม และสื่อสารข้อมูลผ่าน Wi-Fi ไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ESP32 เลือกใช้เนื่องจากมีหน่วยประมวลผลความเร็วสูง, มีเซ็นเซอร์ Wi-Fi/Bluetooth ในตัว, หน่วยความจำเพียงพอสำหรับโปรแกรม, และรองรับการเขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE (ภาษา C/C++) ได้สะดวก

3) วงจรอินเทอร์เฟซและอุปกรณ์ขับเคลื่อน : เช่น รีเลย์ (Relay Module) สำหรับควบคุมการเปิด/ปิด พัดลมไฟฟ้า ตามสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยรีเลย์จะต่อเข้ากับพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งในโรงอบแห้ง (พัดลมขนาดและกำลังที่เหมาะสมกับขนาดโรงอบแห้ง เพื่อให้อัตราการถ่ายเทอากาศเพียงพอในการลดความชื้น)

4) แหล่งจ่ายไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ : เช่น หม้อแปลง/แหล่งจ่ายไฟ 5V สำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรเซ็นเซอร์, และแหล่งจ่าย 220V สำหรับพัดลม (ผ่านรีเลย์) และระบบใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์จากสายไฟหลักของสถานที่สำหรับจ่ายพลังงานให้กับพัดลมและอะแดปเตอร์แปลงไฟให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (หากบริเวณติดตั้งไม่มีไฟฟ้าบ้าน อาจใช้แผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับแบตเตอรี่สำรองในการจ่ายไฟให้ระบบ ซึ่งในกรณีนี้หน่วยงานพลังงานจังหวัดได้จัดให้มีไฟฟ้าใช้งาน จึงใช้ไฟฟ้าเป็นหลัก)

5) ซอฟต์แวร์แพลตฟอร์ม Blynk : สำหรับใช้สร้างอินเทอร์เฟซผู้ใช้บนสมาร์ทโฟน เพื่อแสดงผลข้อมูลเซ็นเซอร์แบบเรียลไทม์และรับคำสั่งควบคุมจากผู้ใช้ บัญชี Blynk และแอปพลิเคชันบนมือถือถูกตั้งค่าให้เชื่อมต่อกับบอร์ด ESP32 ของระบบนี้

6) บริการ Google Sheets (Google Cloud) และสคริปต์ Google Apps Script : สำหรับใช้บันทึกข้อมูลค่าตัวแปรที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ในรูปแบบตาราง (Spreadsheet) บนคลาวด์ ระบบจะส่งค่าอุณหภูมิ ความชื้น และสถานะพัดลมขึ้นไปยังชีตโดยอัตโนมัติตามช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อให้ได้ชุดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ภายหลัง

7) เครื่องมือและอุปกรณ์เสริมอื่นๆ : เช่น สายไฟ สายสัญญาณ, โมดูลแปลงระดับแรงดัน (ถ้าจำเป็นสำหรับเซ็นเซอร์บางประเภท), โครงยึดเซ็นเซอร์และพัดลมในโรงอบแห้ง, คอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนาโปรแกรม และเครื่องมือช่างพื้นฐานสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์

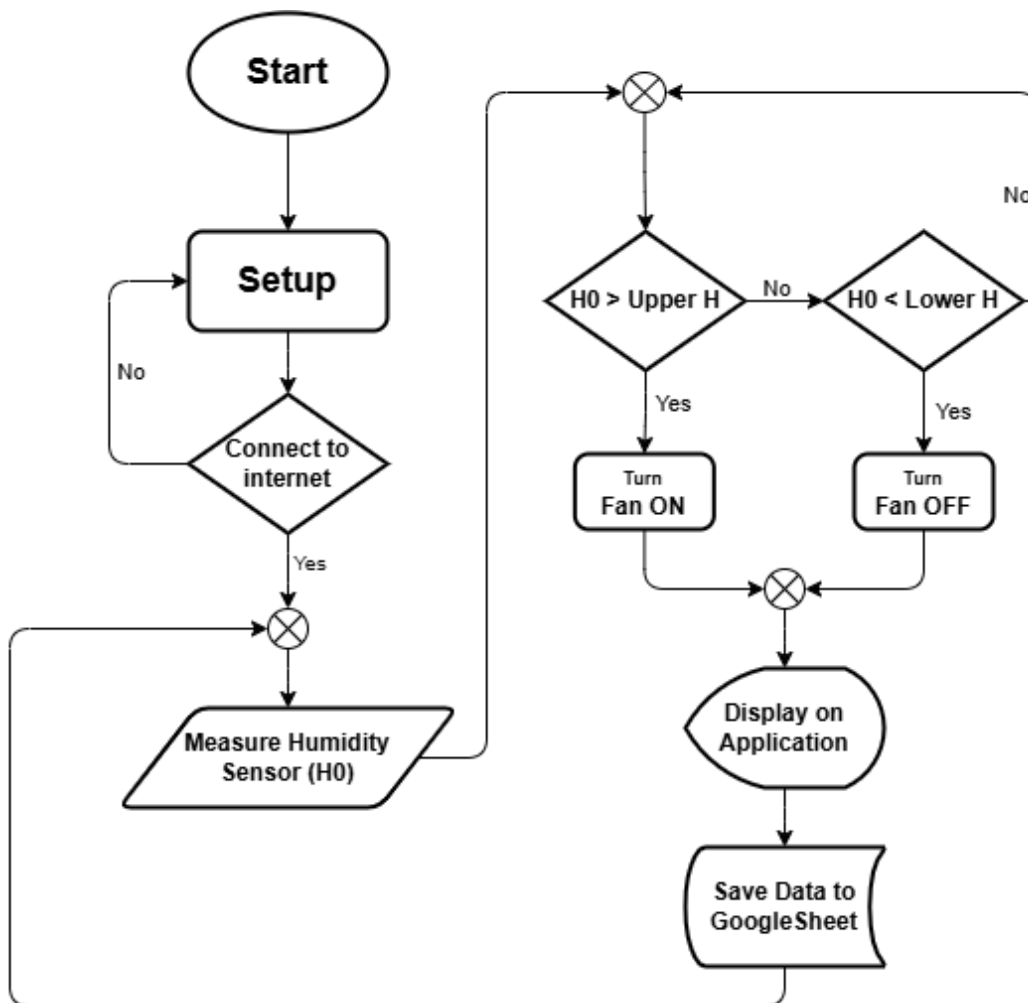
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดรายการอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์หลักที่ใช้

ลำดับ	รายการ	คุณลักษณะ	หน้าที่
1	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Tiny32	บอร์ด ESP32 ขนาดเล็ก รองรับ Wi-Fi, Bluetooth, Dual-core	ควบคุมระบบ IoT ทั้งหมด
2	อุปกรณ์วัดไฟฟ้ากระแสสลับ PZEM-016 (AC meter)	วัดแรงดัน, กระแส, กำลังไฟฟ้า, ความถี่, พลังงาน สะสม	วัดและส่งข้อมูล พลังงานไฟฟ้า
3	Sensor วัดอุณหภูมิและความชื้น WTR10-E	วัดอุณหภูมิ -40 ถึง 125°C, ความชื้น 0-100% RH, RS485	วัดอุณหภูมิและ ความชื้น ภายในและภายนอก โรงอบแห้ง
4	Radiation Shield/Housing สำหรับ WTR10-E	โครงสร้างหลายชั้น ป้องกัน แสงแดดและฝน	ช่วยให้การวัด อุณหภูมิมีความ แม่นยำ
5	Switching 5V 3A	แปลงไฟ AC เป็น DC 5V กระแสสูงสุด 3A	จ่ายไฟให้กับบอร์ด ควบคุมและเซนเซอร์
6	Switching 12V 5A	แปลงไฟ AC เป็น DC 12V กระแสสูงสุด 5A	จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ โหลด 12V
7	Solid State Relay AC	ควบคุมโหลด AC ด้วย สัญญาณ DC, ไม่มีชิ้นส่วน เคลื่อนไหว	ควบคุมเปิด-ปิดโหลด AC จากบอร์ด ควบคุม
8	Breaker ยี่ห้อ Philips	ตัดวงจรเมื่อมีกระแสเกินหรือ ลัดวงจร	ป้องกันความเสียหาย จากไฟเกิน
9	ตัวขยายสัญญาณ WiFi TP-Link RE450 AC1750 Repeater	Access Point รองรับ 2.4GHz / 5GHz, Ethernet Port เสาอากาศปรับได้	ขยายสัญญาณ อินเทอร์เน็ต

เมื่อออกแบบเลือกอุปกรณ์ครบถ้วน ผู้วิจัยได้เตรียมอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมควบคุมและการประกอบติดตั้งตามลำดับขั้นตอนถัดไป

### 3.5 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบอบแห้ง

ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของระบบ IoT ตามแนวคิดที่ออกแบบไว้ โดยการเขียนโปรแกรมครั้งนี้ใช้ภาษาซี (C/C++) ผ่านแพลตฟอร์ม Arduino IDE เนื่องจากบอร์ด ESP32 ที่ใช้สามารถพัฒนาโดยเครื่องมือนี้ได้มีประสิทธิภาพ ก่อนลงมือเขียนโค้ด ผู้วิจัยได้จัดทำผังงาน (Flowchart) เพื่อกำหนดลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมอย่างชัดเจน ลดความผิดพลาดและช่วยให้มองเห็นภาพรวมการทำงานของระบบได้ง่ายขึ้น ผังงานการทำงานของโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 3.4



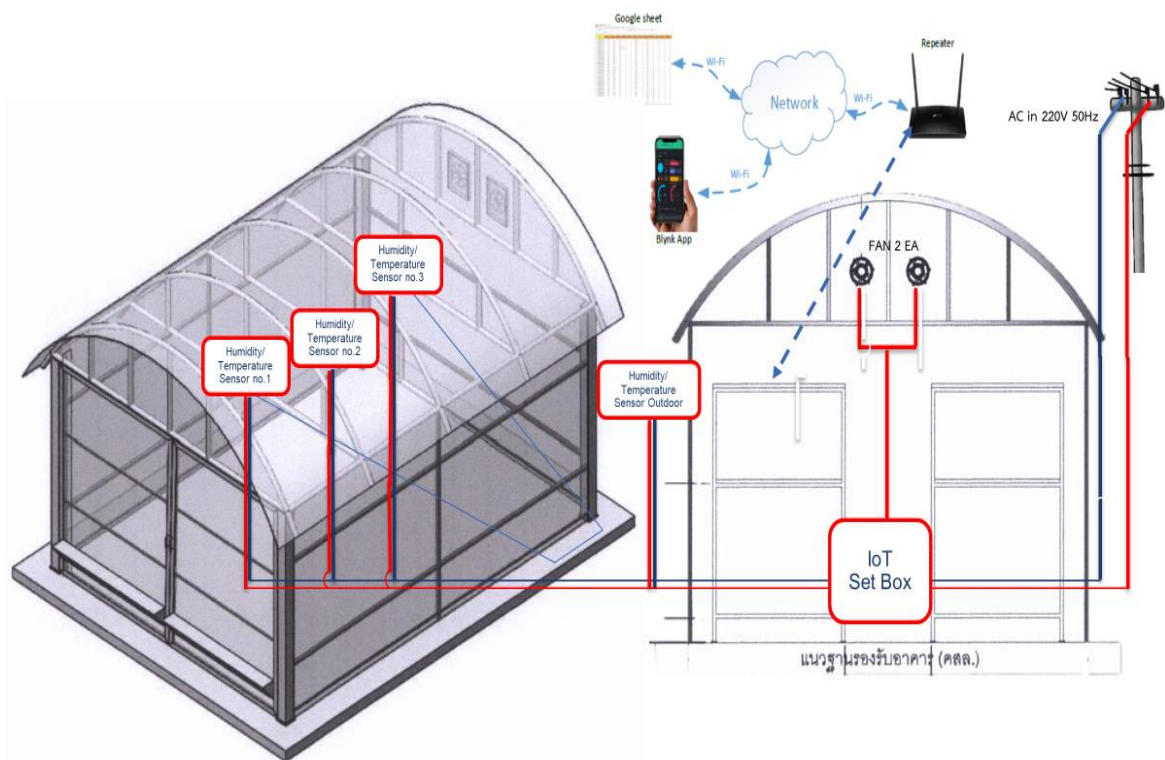
ภาพที่ 3.4 ผังงานของโปรแกรมควบคุมระบบ

จากภาพที่ 3.4 ผังงานการทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบเริ่มต้นจากคำสั่ง Start เพื่อเริ่มกระบวนการทำงาน จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอน Setup เพื่อกำหนดค่าพื้นฐาน เช่น การตั้งค่าเซ็นเซอร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อ ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนตรวจสอบการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (Connect to Internet) ซึ่งหากเชื่อมต่อสำเร็จ ระบบจะดำเนินการต่อ แต่หากล้มเหลวจะย้อนกลับไปตั้งค่าใหม่ เมื่อเชื่อมต่อได้แล้ว ระบบจะทำการวัดค่าความชื้นจากเซ็นเซอร์ H0 (Measure Humidity Sensor) และประมวลผลโดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หากค่าความชื้นสูงกว่าค่าบน (Upper H) จะสั่งเปิดพัดลม (Turn Fan ON) แต่หากต่ำกว่าค่าล่าง (Lower H) จะสั่งปิดพัดลม (Turn Fan OFF) เพื่อควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ข้อมูลที่วัดได้และสถานะการทำงานจะถูกแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน (Display on Application) และถูกบันทึกลงใน Google Sheets เพื่อใช้ในการติดตามและวิเคราะห์ผลในอนาคต สุดท้าย โปรแกรมจะวนกลับไปทำการวัดค่าความชื้นใหม่อีกครั้งในรูปแบบ Loop เพื่อให้ระบบทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา.

หลักการทำงานโดยสรุปของระบบที่ออกแบบ คือ เซ็นเซอร์ภายในโรงอบแห้งจะตรวจวัดค่าความชื้น (และอุณหภูมิ) ในอากาศอย่างต่อเนื่อง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าจากเซ็นเซอร์เป็นระยะ และเปรียบเทียบกับ ค่าที่ตั้งไว้ (เช่น ระดับความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งเมล็ดกาแฟ) หากความชื้นภายในสูงเกินกว่าค่ากำหนดบน (Upper limit) ระบบจะสั่งให้ พัดลมระบายอากาศทำงานโดยทันที เพื่อระบายความชื้นออกจากโรงอบแห้ง แต่หากความชื้นลดลงต่ำกว่าค่ากำหนดล่าง (Lower limit) ระบบจะสั่งให้พัดลมหยุดทำงาน การควบคุมแบบวนรอบป้อนกลับเช่นนี้ทำให้ความชื้นภายในถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงที่ต้องการตลอดเวลา ในขณะเดียวกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลค่าความชื้น อุณหภูมิ และสถานะการทำงานของพัดลมขึ้นไปเก็บบนฐานข้อมูลคลาวด์ตามเวลาที่กำหนด (เช่น ทุกๆ 5 นาที) เพื่อให้สามารถ ติดตามข้อมูลย้อนหลัง และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอบแห้งได้ นอกจากนี้ ระบบถูกออกแบบให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเป็นส่วนแสดงผลและสั่งการ ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบค่าความชื้นและอุณหภูมิแบบเรียลไทม์ผ่านแอป รวมทั้งสามารถสั่งเปิด/ปิดพัดลมระบายอากาศเองได้ทุกเวลาที่ต้องการ กรณีต้องการควบคุมเองหรือเกิดเหตุฉุกเฉิน

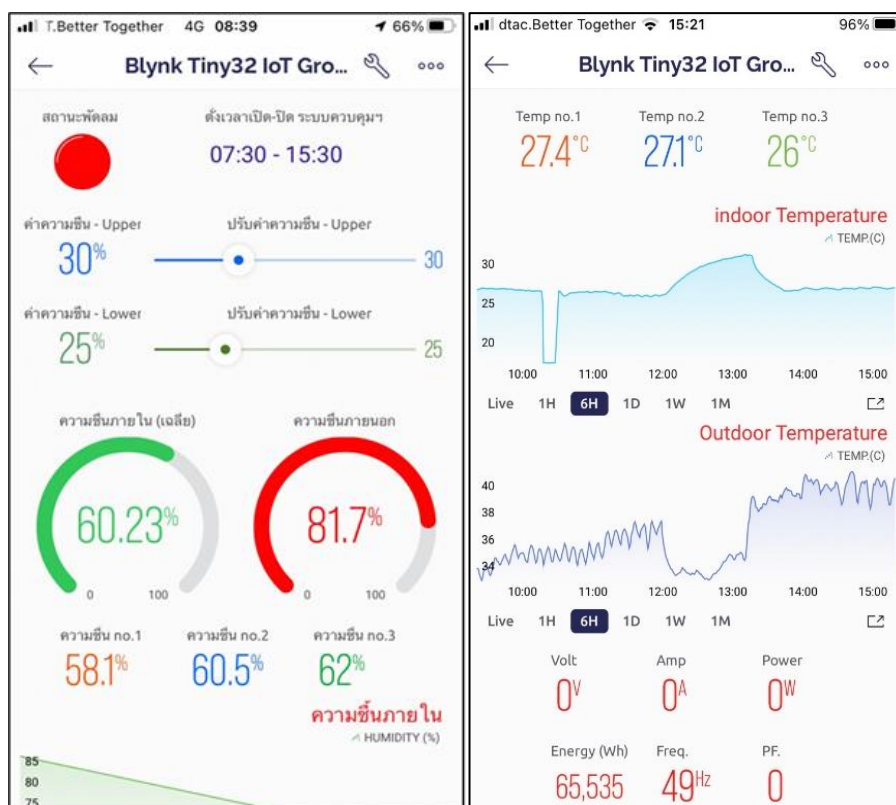
### 3.6 การติดตั้งและทดสอบการทำงานของระบบ

เมื่อพัฒนาโปรแกรมและเตรียมอุปกรณ์พร้อมแล้ว ผู้วิจัยได้นำระบบต้นแบบไปติดตั้งใน โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟปรัชญา เพื่อทดสอบการทำงานจริง ณ สภาพแวดล้อมหน้างาน ขั้นตอนการติดตั้งเริ่มจากการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ในตำแหน่งที่เหมาะสม ภายในโรงอบแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 3.5 โดยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ/ความชื้นถูกติดตั้งไว้บริเวณใจกลาง โรงเรือนใกล้กับระดับของผลิตภัณฑ์ที่ตากอยู่ เพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนสภาพแวดล้อมการอบแห้งจริง บอร์ดควบคุม (ESP32 พร้อมวงจรรีเลย์) ถูกติดตั้งในกล่องกันความชื้นและยึดไว้ด้านข้างของ โครงสร้างโรงอบแห้ง มีการเดินสายไฟจากเซ็นเซอร์มายังบอร์ดควบคุม และต่อสายจากบอร์ดควบคุม ไปยังพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งบนผนังหรือหลังคาของโรงอบแห้ง (ตำแหน่งที่สามารถดึงอากาศขึ้น ออกได้ดี) สำหรับพัดลมที่ใช้ เป็นพัดลมไฟฟ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 นิ้ว ติดตั้งไว้ที่ช่อง ระบายอากาศด้านบนของโรงเรือน เพื่อช่วยดูดอากาศขึ้นออกภายนอกอย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

หลังการติดตั้งฮาร์ดแวร์ ผู้วิจัยจะทำการทดสอบระบบในสถานที่จริงเพื่อยืนยันว่าทุกองค์ประกอบทำงานประสานกันถูกต้อง เริ่มจากตรวจสอบการเชื่อมต่อเครือข่ายโดยเปิดระบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อ Wi-Fi ของพื้นที่ (เช่น ฮอตสปอตจากมือถือหรือเครือข่ายอินเทอร์เน็ตชุมชน) จากนั้นเปิดแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ทโฟนเพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อ พบว่าแอปสามารถออนไลน์และแสดงค่าจากเซ็นเซอร์ได้ในทันที หน้าจอในแอป Blynk (ดังแสดงในภาพที่ 3.6) จะแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงอบแห้งแบบเรียลไทม์ผ่าน Widget ของเกจวัด (Gauge) และแสดงค่าอุณหภูมิผ่านหน้าจอเลขดิจิทัล นอกจากนี้ ยังมีปุ่มสวิตช์สำหรับเปิด/ปิดพัดลมที่ผู้ใช้สามารถกดสั่งงานได้ โดยในโหมดปกติระบบจะควบคุมพัดลมเองอัตโนมัติตามค่าความชื้น แต่ผู้ใช้สามารถทดลองสั่งงานเองเพื่อทดสอบการตอบสนองของระบบ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อกดปุ่ม “FAN ON” ในแอป พัดลมที่ติดตั้งในโรงอบแห้งก็ทำงานทันที และเมื่อกด “FAN OFF” พัดลมก็หยุดหมุน สะท้อนว่าการสื่อสารระหว่างแอปกับอุปกรณ์ผ่านเซิร์ฟเวอร์ Blynk นั้นทำงานถูกต้อง



ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างการแสดงผลและควบคุมระบบของแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ทโฟน

ถัดมา ผู้วิจัยจะตรวจสอบการบันทึกข้อมูลบนระบบคลาวด์ โดยเปิดดูสเปรดชีตบน Google Sheets ที่เชื่อมต่อกับระบบ (ดังแสดงใน ภาพที่ 3.7) ให้ระบบสามารถบันทึกข้อมูลค่าความชื้นและอุณหภูมิที่วัดได้ในตาราง พร้อมระบุวันที่-เวลา ที่บันทึก แต่ละแถวของสเปรดชีตจะแสดงข้อมูลช่วงเวลาการรอบแห้ง เช่น คอลัมน์เวลา (Timestamp), ค่าอุณหภูมิ (°C), ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%) และสถานะพัดลม (ON/OFF) ผลการตรวจสอบยืนยันว่าข้อมูลถูกบันทึกทุกๆ 10 นาทีตามที่กำหนดไว้ และไม่มีข้อมูลสูญหาย ระบบเครือข่ายมีความเสถียรเพียงพอในการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง สรุปได้ว่าฟังก์ชันการติดตามและบันทึกข้อมูลระยะไกลของระบบทำงานเป็นที่น่าพอใจ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Date	FAN_Status	Upper_humidity	Lower_humidity	Humi_AVG(indoor)	Humidity_4(Outd)	Temp_AVG(m)	Temperature_4(Outd)	Humidity_1	Humidity_2	Humidity_3	Temperature_1	Temperature_2	Temper
44	27/02/2025 6:45:41	0	15	15	23.9	0	9.1	0	0	71.7	0	0	27.3	
45	27/02/2025 6:55:32	0	15	15	23.93	0	9.1	0	0	71.8	0	0	27.3	
46	27/02/2025 7:05:23	0	15	15	23.8	0	9.17	0	0	71.4	0	0	27.5	
47	27/02/2025 7:15:16	0	15	15	23.63	0	9.23	0	0	70.9	0	0	27.7	
48	27/02/2025 7:25:07	0	15	15	23.53	0	9.37	0	0	70.6	0	0	28.1	
49	27/02/2025 7:34:59	1	15	15	23.57	0	9.47	0	0	70.7	0	0	28.4	
50	27/02/2025 7:44:52	1	15	15	23.7	0	9.6	0	0	71.1	0	0	28.8	
51	27/02/2025 7:54:47	1	15	15	23.23	0	9.73	0	0	69.7	0	0	29.2	
52	27/02/2025 8:04:41	1	15	15	22.63	0	9.97	0	0	67.9	0	0	29.9	
53	27/02/2025 8:14:34	1	15	15	22.43	0	10.07	0	0	67.3	0	0	30.2	
54	27/02/2025 8:24:28	1	15	15	21.9	0	10.2	0	0	65.7	0	0	30.6	
55	27/02/2025 8:34:21	1	15	15	21.83	0	10.3	0	0	65.5	0	0	30.9	
56	27/02/2025 8:44:13	1	15	15	21.6	0	10.3	0	0	64.8	0	0	30.9	
57	27/02/2025 8:54:06	1	15	15	21.43	0	10.4	0	0	64.3	0	0	31.2	
58	27/02/2025 9:04:04	1	15	15	20.07	0	10.8	0	0	62.0	0	0	31.0	

ภาพที่ 3.7 การตรวจสอบการบันทึกข้อมูลบนระบบคลาวด์

หลังการทดสอบการทำงานพื้นฐานดังกล่าว ผู้วิจัยจะทำการทดลองอบแห้งเมล็ดกาแฟจริง โดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในการปฏิบัติงานระยะยาว โดยนำเมล็ดกาแฟที่ผ่านการหมักตามกรรมวิธีเปียกมาบรรจุในถาดตากและวางในโรงอบแห้งดังกล่าว เปิดระบบ IoT ให้ทำงานตลอดระยะเวลาการอบแห้ง และเฝ้าสังเกตการทำงานพร้อมทั้งบันทึกเหตุการณ์สำคัญ เช่น เวลาที่พัดลมทำงาน/หยุด, ค่าความชื้นที่อ่านได้แต่ละช่วงวัน, รวมถึงตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดกาแฟเป็นระยะๆ การทดสอบนี้ดำเนินการเป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ (จนเมล็ดกาแฟแห้งได้ที่) ซึ่งระหว่างนั้นระบบสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ไม่มีการขัดข้องของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ความชื้นภายในโรง

อบแห้งถูกควบคุมให้อยู่ในระดับไม่เกิน 12% ตามเป้าหมายความชื้นที่ได้ตั้งไว้ตามเกณฑ์มาตรฐานของเมล็ดกาแฟแห้งที่ได้ศึกษามา ที่จะช่วยให้เมล็ดกาแฟไม่เกิดเชื้อราและมีผลต่อคุณภาพของกาแฟ

### 3.7 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลการติดตั้งระบบ

#### 3.7.1 การเก็บข้อมูลกระบวนการผลิต (แผนภูมิกระบวนการไหล)

ผู้วิจัยได้ทำการสังเกตและบันทึกกิจกรรมการทำงานในกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟของกลุ่มวิสาหกิจหลังการติดตั้งระบบที่ปรับปรุงโดยใช้ แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) เป็นเครื่องมือในการบันทึก ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การจดบันทึกทุกกิจกรรมที่ผู้ปฏิบัติงานดำเนินการตั้งแต่เริ่มกระบวนการ ผลที่ได้คือการนำข้อมูลทั้งหมดมาเขียนเป็นแผนภูมิกระบวนการไหล ซึ่งแสดงลำดับกิจกรรม และเวลารวมของแต่ละกิจกรรม ตลอดจนเวลารวมของทั้งกระบวนการที่ใช้หลังการปรับปรุงระบบ

#### 3.7.2 การวิเคราะห์กระบวนการผลิต

เมื่อเก็บบันทึกข้อมูลครบถ้วนตามที่กำหนด ข้อมูลความชื้นและอุณหภูมิที่เซ็นเซอร์เก็บข้อมูลได้และบันทึกลงใน Google Sheets ก็ถูกนำมาสร้างกราฟแสดงแนวโน้มของอุณหภูมิและความชื้น เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและสภาพแวดล้อมต่างๆของโรงอบแห้งที่เกิดขึ้น และจากข้อมูลในแผนภูมิกระบวนการไหลที่ได้บันทึกกิจกรรมต่างๆ ผู้วิจัยจะคำนวณเวลาทั้งหมดที่ใช้แรงงานคน (Man-Hours) ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการอบแห้งโดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการใช้ระบบ IoT โดยรวมกิจกรรมทั้งหมดที่ผู้ปฏิบัติงานต้องดำเนินการ และคิดออกมาเป็นชั่วโมงคนทำงาน (เช่น หากมีผู้ปฏิบัติงาน 1 คนทำงาน 2 ชั่วโมง เท่ากับ 2 ชั่วโมง-คน) โดยการวิเคราะห์ว่า Man-Hours รวมของกระบวนการอบแห้งลดลงหรือไม่หลังจากใช้ระบบ IoT เนื่องจากงานหลายอย่างที่เคยใช้เวลาของผู้ปฏิบัติงาน (เช่น การตรวจวัดความชื้นทุกวัน การควบคุมอุณหภูมิด้วยการเปิด/ปิดโรงเรือน) ถูกทำให้เป็นอัตโนมัติ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้เวลาช่วงนั้นไปทำงานอื่นที่เป็นประโยชน์ได้ นอกจากนี้ ยังวิเคราะห์ เวลารวมของกระบวนการ (Throughput Time) ซึ่งหมายถึงเวลาตั้งแต่เริ่มนำเมล็ดกาแฟเข้าตากจนพร้อมสำหรับขั้นตอนต่อไป ในการบันทึกผลการวิเคราะห์ด้วย Man-hour ที่ใช้ในกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบแต่ละอย่าง โดยใช้ ตารางที่ 3.2 จำนวนแรงงานคนและชั่วโมงการทำงานของกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ เพื่อบันทึกข้อมูลและสรุปผล

ตารางที่ 3.2 จำนวนแรงงานคนและชั่วโมงการทำงานของกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ

ลำดับ	ชื่อกิจกรรม	ก่อนปรับปรุงระบบ								
		สัญลักษณ์					ระยะทาง (เมตร)	คนทำงาน (คน)	เวลา (ชั่วโมง)	Man-Hour (ชั่วโมง-คน)
		●	➔	■	■	▼				
1	เก็บเกี่ยวและขนย้ายเชอร์รี่กาแฟ	●					30	2	1.00	2.00
2	ล้างทำความสะอาด		➔				5	2	0.50	1.00
3	ตรวจสอบคุณภาพ/คัดแยกเมล็ด			■			5	2	0.33	0.67
4	สีเอาเนื้อผลออกและลอกเมือก						5	2	0.42	0.83
5	หมักด้วยการแช่น้ำ						5	1	72.00	72.00
6	ล้างเมือกด้วยน้ำสะอาด						5	1	0.25	0.25
7	กระจายเชอร์รี่บนตะแกรง						5	2	0.25	0.50
8	เปิดระบบอบแห้ง						30	1	0.17	0.17
9	ควบคุมพัดลมระบายอากาศ						30	1	0.33	0.33
10	การอบแห้ง						0	1	432.00	432.00
11	ตรวจความชื้น						30	1	0.17	0.17
12	จัดเก็บเมล็ดแห้งลงถุง						30	2	0.33	0.67
	รวม	10	0	2	0	0	180	18	507.75	510.58

### 3.8 การฝึกอบรมและถ่ายทอดวิธีการใช้งานแก่กลุ่มเกษตรกร

เพื่อให้การนำระบบใหม่ไปใช้งานเกิดประสิทธิผล ผู้วิจัยได้ดำเนินการฝึกอบรมและถ่ายทอดวิธีการใช้งานระบบควบคุมโรงอบแห้งที่พัฒนาขึ้นให้กับสมาชิกของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟรักษา และผู้ที่เกี่ยวข้อง การฝึกอบรมจัดขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบและทดสอบจนพร้อมใช้งาน เนื้อหาการอบรมจะครอบคลุมการอธิบายการทำงานของระบบ, แนะนำวิธีใช้งานระบบ, การดูข้อมูลที่บันทึกในระบบคลาวด์ และข้อระมัดระวังในการใช้งานระบบ เป็นต้น

### 3.9 การสรุปผลและจัดทำรายงานผลการวิจัย

ภายหลังจากดำเนินการวิจัยครบทุกขั้นตอนตามแผนที่วางไว้ ผู้วิจัยจะทำการรวบรวมผลการทดลอง ข้อค้นพบ และบทเรียนที่ได้รับจากการพัฒนาระบบ IoT สำหรับควบคุมการอบแห้งเมล็ดกาแฟ มาจัดทำเป็นรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ในรูปแบบสารนิพนธ์ระดับปริญญาโท รายงานฉบับนี้ประกอบด้วยการบรรยายถึงวัตถุประสงค์และความสำคัญของปัญหา, วิธีดำเนินการวิจัย,

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ (เช่น ข้อมูลเปรียบเทียบก่อน-หลังการใช้ระบบ IoT) ตลอดจนข้อสรุป และข้อเสนอแนะในการประยุกต์ใช้ผลงานวิจัย

ในการจัดทำรายงาน ผู้วิจัยจะจัดเตรียม รูปภาพ แผนภูมิ ตาราง และ เอกสารอ้างอิง ที่เกี่ยวข้องให้ครบถ้วนเพื่อสนับสนุนเนื้อหา ตัวอย่างเช่น ได้นำเสนอแผนภูมิกระบวนการไหลและตารางวิเคราะห์เวลาในบทที่ว่าด้วยผลการทดลอง เพื่อให้ผู้อ่านเห็นภาพเชิงปริมาณของการปรับปรุงกระบวนการ นอกจากนี้ ได้อธิบายข้อค้นพบเชิงคุณภาพ เช่น ความสะดวกที่เพิ่มขึ้นในการควบคุมดูแลโรงอบแห้งโดยกลุ่มเกษตรกร เป็นต้น รายงานผลการวิจัยได้รับการจัดรูปแบบตามมาตรฐานการพิมพ์วิทยานิพนธ์ของบัณฑิตวิทยาลัย และได้ส่งให้คณะกรรมการที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของเนื้อหา

หลังจากแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำของที่ปรึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว ผู้วิจัยจึงได้จัดพิมพ์เล่มสารนิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ พร้อมทั้งจัดทำ สรุปผลการวิจัย ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายเพื่อเผยแพร่ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแพรัชฎาและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ที่ได้รับทราบ ซึ่งครอบคลุมถึงวิธีการติดตั้งและใช้งานระบบ IoT ดังกล่าว ตลอดจนผลประโยชน์ที่ได้รับ เช่น การลดเวลาในการอบแห้งและการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดกาแฟ ผลที่ได้รับจากการถ่ายทอดผลงานวิจัยนี้คาดว่าจะช่วยให้ชุมชนสามารถนำองค์ความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์จริง เกิดการต่อยอดเทคโนโลยี IoT ในด้านการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตรอื่นๆ ในอนาคต และเป็นไปตามเป้าหมายของงานวิจัยในการสร้างความยั่งยืนให้แก่ชุมชนทั้งทางด้านเศรษฐกิจและองค์ความรู้ทางเทคโนโลยี

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

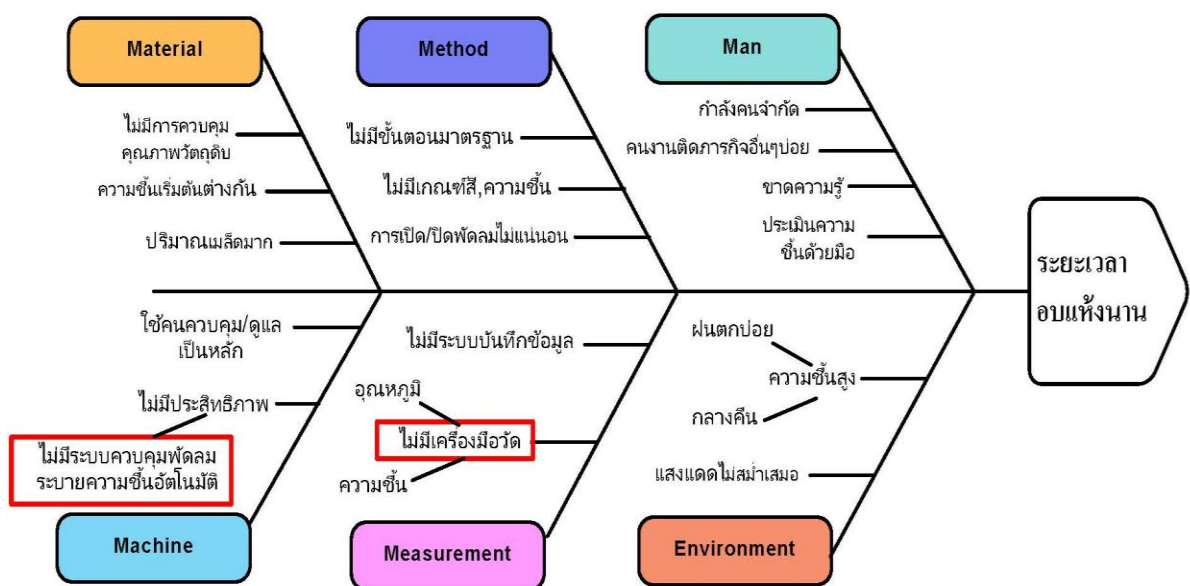
บทนี้นำเสนอผลการพัฒนาระบบ IoT สำหรับควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบเมล็ดกาแฟ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังการนำระบบ IoT มาใช้ ตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ของระบบ IoT ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง และการประเมินผลด้านเวลาการผลิตและการใช้แรงงานตามหลักวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ได้ดำเนินการไว้ ผลการศึกษาจะถูกนำเสนอทั้งในรูปตารางเปรียบเทียบ กราฟแสดงแนวโน้มของตัวแปรสำคัญ และภาพถ่ายประกอบ เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของเมล็ดกาแฟก่อนและหลังการอบแห้งอย่างชัดเจน ดังนี้

### 4.1 ผลการวิเคราะห์สาเหตุความล่าช้าของกระบวนการเครื่องมือวิศวกรรมอุตสาหกรรม

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟไร้ภูเขา ในหัวข้อที่ 3.2 พบว่าในขั้นตอนการรอกอบการอบแห้งมีการใช้เวลานานมาก จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพื่อลดระยะเวลาการอบแห้ง โดยการวิเคราะห์สาเหตุและปัญหาและวิเคราะห์วิธีปรับปรุงกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1.1 การวิเคราะห์สาเหตุด้วยแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram)

การวิเคราะห์สาเหตุด้วยแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) หรือแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งเป็นผังที่ใช้เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ โดยแยกสาเหตุออกเป็นหมวดหมู่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหานั้นๆ โดยเน้นวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีปัญหาเรื่องระยะเวลาอบแห้งนาน จึงได้นำปัจจัยต่างๆมาวิเคราะห์โดยการจัดทำแผนผังก้างปลา ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งสาเหตุหลักแยกออกเป็น 6 ด้าน ดังนี้



ภาพที่ 4.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยผังก้างปลา

1) ด้านบุคลากร (Man) เป็นปัจจัยสาเหตุที่เกิดจากผู้ปฏิบัติงานหรือแรงงานคน เช่น ขาดความรู้ความชำนาญในการประเมินความชื้นที่แท้จริงของเมล็ดกาแฟ ผู้ปฏิบัติงานต้องใช้วิธีคาดคะเนจากประสบการณ์ซึ่งอาจคลาดเคลื่อน และมีกำลังคนงานจำกัด อาจจะติดภาระกิจอื่นๆ เช่น การออกไปขายสินค้า ทำให้ไม่สามารถเฝ้าดูหรือเฝ้าตรวจวัดความชื้นได้ ส่งผลให้บางช่วงการอบแห้งไม่ได้รับการดูแลทำให้มีระยะเวลาอบแห้งนานขึ้น

2) ด้านวิธีการ (Method) เป็นปัจจัยสาเหตุที่เกิดจากวิธีการหรือขั้นตอนการดำเนินงานที่ใช้ในกระบวนการ เช่น การใช้วิธีตากแห้งโดยอาศัยแสงแดดธรรมชาติ และการพลิกเมล็ดด้วยแรงงานคน ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องความต่อเนื่องและการควบคุมสภาวะแวดล้อม และยังไม่มีความมาตรฐานหรือเกณฑ์ชี้วัดที่ชัดเจน ในการตัดสินใจว่าเมล็ดกาแฟแห้งสนิทแล้ว (ต้องอาศัยการคาดเดาเป็นหลัก) และไม่มีการกำหนดขั้นตอนการระบายความชื้นที่แน่นอน เช่น การเปิด/ปิดพัดลมระบายอากาศตามดุลยพินิจหรือความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงาน

3) ด้านวัตถุดิบ (Material) เป็นปัจจัยสาเหตุที่เกิดจากคุณสมบัติของเมล็ดกาแฟและปริมาณที่นำมาอบแห้งในแต่ละรอบการผลิต เช่น ระดับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดกาแฟที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นกับสภาพของผลกาแฟเชอร์รี่ที่เก็บมา บางส่วนสุกหรืออาจแห้งไม่เท่ากัน, ปริมาณเมล็ดต่อการอบหนึ่งรอบที่มาก ทำให้มีการกระจายเมล็ดบนตะแกรงได้หนา ต้องใช้ระยะเวลานานในการให้น้ำระเหยออกหมด รวมถึงขนาดและความหนาแน่นของเมล็ดที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้บางส่วนแห้งเร็ว ในขณะที่บางส่วนยังชื้นอยู่

4) ด้านเครื่องจักร/อุปกรณ์ (Machine) เป็นปัจจัยสาเหตุที่เกิดจากข้อจำกัดของอุปกรณ์และเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบเดิมไม่มีประสิทธิภาพ เช่น โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกที่ใช้ไม่มีระบบกลไกช่วยในการกำหนดการระบายอากาศหรือควบคุมความชื้น, ใช้แรงงานคนในการควบคุมดูแลการอบแห้งเป็นหลัก ซึ่งในบางครั้งผู้ปฏิบัติงานอาจจะออกไปปฏิบัติภารกิจอื่นๆในต่างท้องถิ่น จึงไม่ได้เปิดพัดลมระบายอากาศตั้งไว้ ทำให้การอบแห้งไม่ดีเท่าที่ควร พังพาการพาความร้อนตามธรรมชาติเท่านั้น ไม่มีพัดลมช่วยระบายความชื้น และนอกจากนี้ยังไม่มีเซ็นเซอร์วัดสภาพอากาศภายในโรงอบ ผู้ปฏิบัติงานจึงไม่ได้รับทราบข้อมูลตัวเลขของอุณหภูมิหรือความชื้นแบบเรียลไทม์ได้

5) ด้านการวัดและการควบคุม (Measurement) เป็นปัจจัยสาเหตุที่เกิดจากการตรวจวัดและการควบคุมกระบวนการ เช่น ไม่มีเครื่องมือที่ใช้วัดความชื้นของเมล็ดโดยตรงในระหว่างการอบแห้ง ผู้ปฏิบัติงานจึงไม่ทราบค่าความชื้นที่แท้จริงในแต่ละเวลา ต้องใช้วิธีคาดเดาจากน้ำหนักและสีส้มของเมล็ดกาแฟตากแห้งเท่านั้น ซึ่งเกิดจากประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเอง อีกทั้งไม่มีระบบบันทึกข้อมูลการอบแห้ง ทำให้ไม่สามารถติดตามความก้าวหน้าหรือวิเคราะห์ปรับปรุงกระบวนการ

อบแห้งได้ มีการควบคุมกระบวนการตากแห้งทั้งหมดโดยการทำแล้วค่อยมารอดูผลภายหลัง โดยขาด feedback ในระหว่างกระบวนการ

6) ด้านสภาพแวดล้อม (Environment) เป็นปัจจัยที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ส่งผลต่อการอบแห้ง เช่น สภาพอากาศที่แปรปรวน, แสงแดดมีความเข้มไม่สม่ำเสมอ บางวันมีเมฆเยอะหรือมีฝนตกบ่อย ทำให้การอบแห้งหยุดชะงัก ความชื้นในอากาศภายนอกที่สูงในบางช่วงเวลา (โดยเฉพาะเวลากลางคืนหรือช่วงฝนตก) ทำให้การระเหยของน้ำจากเมล็ดกาแฟมีความช้าลงและอาจเกิดความชื้นย้อนกลับจากภายนอกเข้ามาในเมล็ดกาแฟหรือในโรงอบแห้งได้ นอกจากนี้อุณหภูมิภายนอกที่ลดลงต่ำในตอนกลางคืน ส่งผลให้ภายในโรงอบแห้งมีอุณหภูมิลดลงตาม ไม่เพียงพอต่อการไล่ความชื้น ต้องเสียเวลาอบนานขึ้นในวันถัดไป ปัจจัยเหล่านี้ล้วนยากต่อการควบคุมในกระบวนการอบแห้งในปัจจุบัน

#### 4.1.2 แนวทางการแก้ไขปัญหาจากฝังก้างปลา

จากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลาแสดงให้เห็นว่า สาเหตุหลักอยู่ที่การขาดระบบตรวจวัดและเครื่องมืออัตโนมัติเป็นปัจจัยสำคัญ เช่น ด้านเครื่องจักร โรงอบแห้งที่ไม่มีเซ็นเซอร์, ไม่มีระบบเปิด/ปิดพัดลมอัตโนมัติ และด้านการวัดควบคุมที่ไม่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการตรวจวัดความชื้นโดยตรง ซึ่งทั้งสองด้านนี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการไม่มีระบบ IoT มาช่วยในการควบคุมการทำงานของระบบ ในขณะที่ด้านคนและวิธีการที่ยังเน้นถึงการต้องพึ่งพาทักษะและประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเพราะไม่มีเทคโนโลยีช่วยเหลือ และในด้านสิ่งแวดล้อมชี้ให้เห็นว่าแม้ปัจจัยภายนอกจะไม่สามารถคุมได้ แต่หากมีระบบหรืออุปกรณ์เพิ่มเติมที่สามารถตอบสนองต่อสภาพอากาศอัตโนมัติก็จะช่วยลดผลกระทบได้

ดังนั้นการแก้ปัญหาคือการจัดการกับสาเหตุในทุกด้านตามที่ระบุเบื้องต้น สามารถแก้ปัญหาทั้งหมดด้วยการปรับปรุงเทคโนโลยีและวิธีการทำงานด้วยการพัฒนาระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคโนโลยี IoT ซึ่งเป็นทางเลือกที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ตรงจุด สามารถลดแรงงานคนและลดระยะเวลาในกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ โดยระบบที่จะนำมาประยุกต์ใช้จะประกอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อม, ระบบควบคุมพัดลมระบายความชื้นและระบบบันทึกข้อมูล สามารถควบคุมจากอุปกรณ์สื่อสารจากระยะไกลได้ ที่จะช่วยลดปัญหาเหล่านี้ได้อย่างเป็นระบบให้บรรลุวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ได้

#### 4.1.2 การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงกระบวนการด้วยหลักการลดความสูญเปล่าของกระบวนการ

การวิเคราะห์กระบวนการด้วยหลักการลดความสูญเปล่าของกระบวนการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) เป็นหนึ่งในแนวคิดหลักของการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม โดยมุ่งเน้นการลดความสูญเปล่าและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ โดยเลือกใช้เทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงระบบ ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงด้วยหลักการลดความสูญเปล่าของกระบวนการ

หลักการ (ECRS)	แนวทางการปรับปรุง	กระบวนการที่ปรับปรุง	ผลลัพธ์หลังปรับปรุง
<b>Eliminate</b> (ตัดทิ้ง)	กำจัดขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า	กำจัดขั้นตอนการประเมินความชื้นด้วยสายตาของคณงาน	ลดการใช้แรงงานคน
<b>Combine</b> (รวม)	รวมขั้นตอนหรืออุปกรณ์เข้าด้วยกัน	-	-
<b>Rearrange</b> (จัดเรียงใหม่)	ปรับลำดับ/ตำแหน่งการทำงานให้เหมาะสม	-	-
<b>Simplify</b> (ทำให้ง่าย)	ทำให้การดำเนินการง่ายและสะดวกขึ้น	- ปรับปรุงขั้นตอนการตรวจสอบความชื้นให้สะดวกขึ้น โดยการติดตั้งระบบ IoT - ปรับปรุงการทำงานของพัดลมระบายอากาศ	- ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถควบคุมระบบได้ง่ายขึ้น, ใช้แอปพลิเคชันควบคุม IoT แทนการเดินตรวจ - ตรวจวัดความชื้นและควบคุมระบบสั่งเปิด-ปิดพัดลมอัตโนมัติตาม RH ที่วัดได้

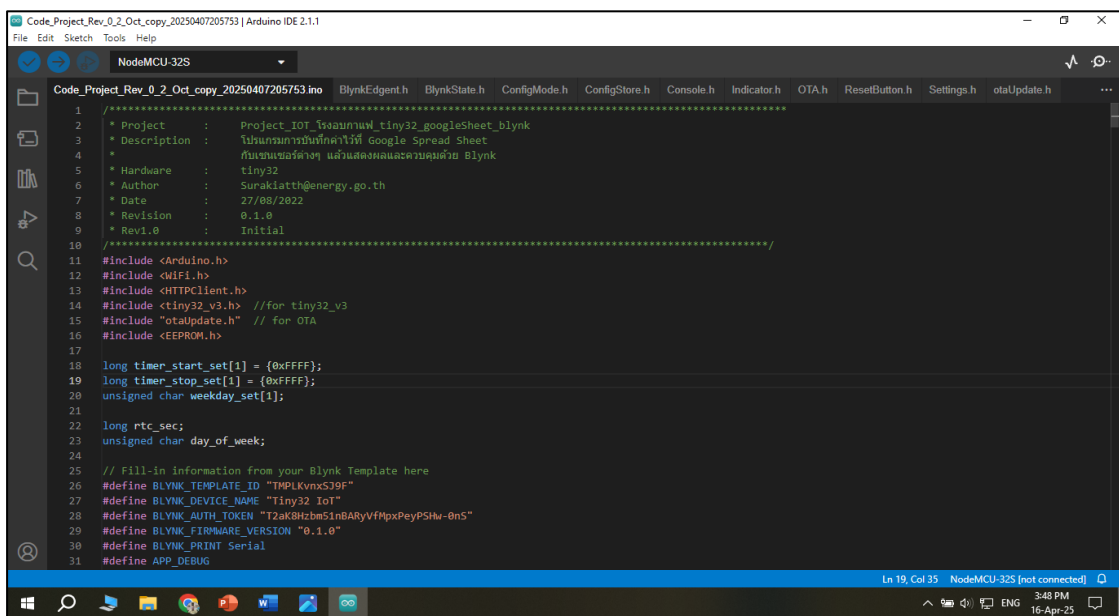
จากการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟโดยประยุกต์ใช้หลัก ECERS พบว่าสามารถระบุแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างเป็นระบบ โดยการ กำจัด (Eliminate) กิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า เช่น การตรวจสอบความชื้นด้วยการสังเกตด้วยสายตา, และการทำให้ง่าย (Simplify) ขั้นตอนการควบคุมผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ที่สามารถลดระยะเวลาอบแห้งได้ และช่วยลดภาระแรงงานในการดูแลกระบวนการอบแห้งได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ ECERS ร่วมกับเทคโนโลยี IoT มีประสิทธิภาพในการยกระดับกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟในระดับชุมชนอย่างแท้จริง

## 4.2 ผลการพัฒนาระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งด้วย IoT

จากการพัฒนาระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) พบว่าระบบที่ออกแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีเสถียรภาพในการตรวจวัดและควบคุมกระบวนการอบแห้งในสภาวะจริง โดยสามารถติดตามข้อมูลสถานะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์หลัก (เช่น พัดลมดูดอากาศ) แบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และบันทึกข้อมูลอัตโนมัติลงใน Google Sheets เพื่อการวิเคราะห์ย้อนหลัง ความสามารถของระบบในการประมวลผลข้อมูลความชื้นและควบคุมการเปิด/ปิดพัดลมช่วยลดการสูญเสียพลังงานและควบคุมคุณภาพการอบแห้งได้ดีขึ้น เมื่อเทียบกับระบบดั้งเดิมที่ใช้การสังเกตด้วยสายตาและเปิด/ปิดพัดลมด้วยตนเอง โดยมีผลการพัฒนาระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย IoT แยกเป็นลำดับดังหัวข้อดังนี้

### 4.2.1 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของระบบ IoT ตามแนวคิดที่ออกแบบไว้ตามผังงานในบทที่ 3 โดยการเขียนโปรแกรมครั้งนี้ใช้ภาษาซี (C/C++) ผ่านแพลตฟอร์ม Arduino IDE ดังแสดงในภาพที่ 4.2 (รายละเอียดโปรแกรมแสดงในภาคผนวก ก)



```

Code_Project_Rev_0_2_Oct_copy_20250407205753 | Arduino IDE 2.1.1
File Edit Sketch Tools Help
NodeMCU-32S
Code_Project_Rev_0_2_Oct_copy_20250407205753.ino BlynkEdge.h BlynkState.h ConfigMode.h ConfigStore.h Console.h Indicator.h OTA.h ResetButton.h Settings.h otaUpdate.h
1
2 * Project : Project_IOT โรงอบแห้ง tiny32_googleSheet_blynk
3 * Description : โปรแกรมบันทึกค่าไว้ Google Spread Sheet
4 * Hardware : tiny32
5 * Author : Surakiath@energy.go.th
6 * Date : 27/08/2022
7 * Revision : 0.1.0
8 * Rev1.0 : Initial
9
10 //*****
11 #include <Arduino.h>
12 #include <WiFi.h>
13 #include <HTTPClient.h>
14 #include <tiny32_v3.h> //for tiny32_v3
15 #include <otaUpdate.h> // for OTA
16 #include <EEPROM.h>
17
18 long timer_start_set[1] = {0xFFFF};
19 long timer_stop_set[1] = {0xFFFF};
20 unsigned char weekday_set[1];
21
22 long rtc_sec;
23 unsigned char day_of_week;
24
25 // Fill-in information from your Blynk Template here
26 #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPLKvnxS30F"
27 #define BLYNK_DEVICE_NAME "Tiny32 IoT"
28 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "T2ak8Hzbm5InBARYVffPpxPeyPSHw-0n5"
29 #define BLYNK_FIRMWARE_VERSION "0.1.0"
30 #define BLYNK_PRINT Serial
31 #define APP_DEBUG

```

ภาพที่ 4.2 การเขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้ภาษาซี

โดยในการเขียนโปรแกรมระบบที่พัฒนามีโครงสร้างโปรแกรมเริ่มจากการเตรียมการ (Initialization) ซึ่งรวมถึงการกำหนดขาอินพุต/เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ การเชื่อมต่อ Wi-Fi และการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ Blynk และ Google Sheets จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่ Loop หลัก ซึ่งวนทำงานตลอดเวลาขณะระบบเปิดอยู่ในแต่ละรอบของ loop โปรแกรมจะอ่านค่าความชื้น (และอุณหภูมิ) จากเซ็นเซอร์ เมื่อได้ค่ามาแล้วจะนำมาเปรียบเทียบกับ ค่าความชื้นเป้าหมาย ที่กำหนดไว้ (ซึ่งอาจกำหนดในโค้ดหรือปรับเปลี่ยนได้ผ่านแอป) หากค่าความชื้นที่วัดได้สูงกว่าเป้าหมาย (แสดงว่าภายในโรงอบแห้งขึ้นเกินไป) โปรแกรมจะส่งสัญญาณ เปิดพัดลม (FAN ON) โดยสั่งรีเลย์ให้ทำงานเพื่อจ่ายไฟให้พัดลมหมุน ระหว่างนั้นโปรแกรมจะคอยอ่านค่าความชื้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อพบว่าค่าความชื้นลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด (ขึ้นต่ำกว่าช่วงที่ต้องการ) ก็จะส่งสัญญาณ ปิดพัดลม (FAN OFF) เพื่อหยุดการระบายอากาศ ให้ความชื้นกลับมาอยู่ในช่วงที่เหมาะสม กระบวนการควบคุมนี้จะเกิดขึ้นอัตโนมัติในทุกๆ รอบการทำงาน

นอกเหนือจากการควบคุมความชื้น โปรแกรมยังมีส่วนการ สื่อสารข้อมูล ซึ่งในแต่ละรอบ loop จะทำการอัปเดตข้อมูลล่าสุดไปยังระบบคลาวด์ ประกอบด้วย ค่าความชื้น ค่าอุณหภูมิ และสถานะการทำงานของพัดลม ณ เวลานั้น โดยใช้คำสั่งเรียก API ของ Google Sheets (ผ่าน Google Apps Script Web API ที่เตรียมไว้) ในการบันทึกค่าลงตารางสเปรดชีตบน Google Drive และใช้ไลบรารี Blynk ในการส่งค่าตัวแปรไปอัปเดตบนแอปพลิเคชัน Blynk ของผู้ใช้งานบนสมาร์ตโฟน เพื่อให้ข้อมูลที่แสดงบนหน้าจอมือถือเป็นปัจจุบันเสมอ ผู้วิจัยได้กำหนดช่วงเวลาการส่งข้อมูล (Data logging interval) ทุก 10 นาที (สามารถปรับเปลี่ยนได้) เพื่อไม่ให้เกิดภาระส่งข้อมูลบ่อยเกินไป ในกรณีที่ข้อมูลไม่เปลี่ยนแปลงฉับพลัน การส่งข้อมูลทั้งสองช่องทางนี้ทำให้มั่นใจว่า ข้อมูลการอบแห้งถูกบันทึกไว้ครบถ้วน สามารถเรียกดูย้อนหลังได้ และผู้ใช้ก็ได้รับข้อมูลเรียลไทม์ไปพร้อมกัน

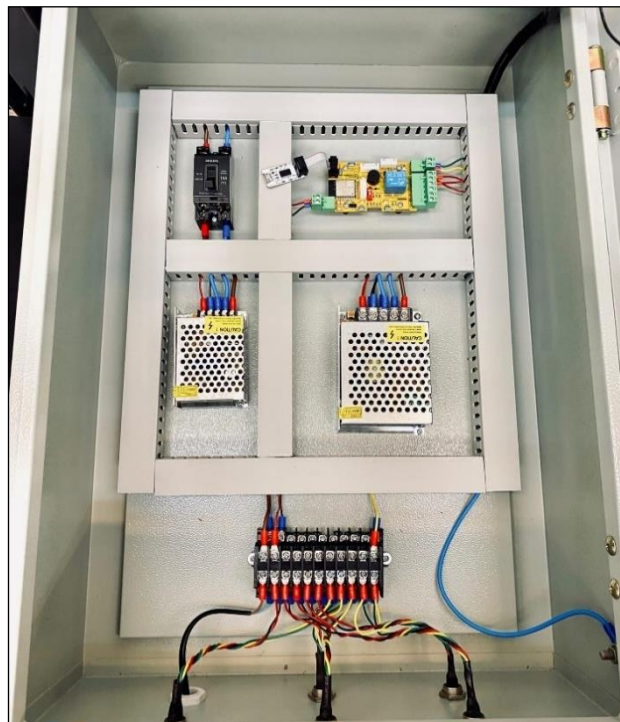
ในการพัฒนาโปรแกรม ผู้วิจัยได้ทดสอบการทำงานของแต่ละส่วนแยกย่อย เช่น การอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ การส่งงานรีเลย์ การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต และการส่งข้อมูลไปยัง Blynk/Google Sheets บนโต๊ะทดลอง (bench test) ก่อน เมื่อตรวจสอบว่าแต่ละส่วนทำงานถูกต้องตามที่คาดแล้ว จึงรวมโค้ดส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันเป็นโปรแกรมหลักของระบบ จากนั้นได้ทำการอัปเดตโปรแกรมลงบนบอร์ด ESP32 เพื่อเตรียมนำไปติดตั้งจริงในโรงอบแห้ง การทดสอบเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถควบคุมพัดลมตามค่าความชื้นที่ตั้งไว้ได้อย่างถูกต้อง และส่งข้อมูลขึ้นคลาวด์/แอปได้สำเร็จ ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 การทดสอบระบบควบคุมไอโอที ก่อนนำไปติดตั้งจริง

#### 4.2.4 การติดตั้งระบบในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้วิจัยได้นำระบบต้นแบบที่ทำการประกอบวงจรและทดสอบความพร้อมของระบบเรียบร้อยแล้ว นำไปติดตั้งในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกานาแพร์ชญา เพื่อใช้งานจริง โดยการติดตั้งจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ในตำแหน่งที่เหมาะสมภายในโรงอบแห้งที่ได้วางแผนออกแบบไว้ ดังแสดงในภาพที่ 4.4 – 4.8



ภาพที่ 4.4 การประกอบวงจรอุปกรณ์ของระบบควบคุมไอโอที



ภาพที่ 4.5 การทำงานของผู้วิจัยในการติดตั้งระบบ



ภาพที่ 4.6 การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบควบคุมไอโอที ในโรงอบแห้งฯ



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.7 โรงอบแห้งเมล็ดกาแฟ ก่อนติดตั้งระบบไอโอที

(ก) ภายนอกโรงอบแห้ง

(ข) ภายในโรงอบแห้ง



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.8 โรงอบแห้งเมล็ดกาแฟ หลังติดตั้งระบบไอโอที

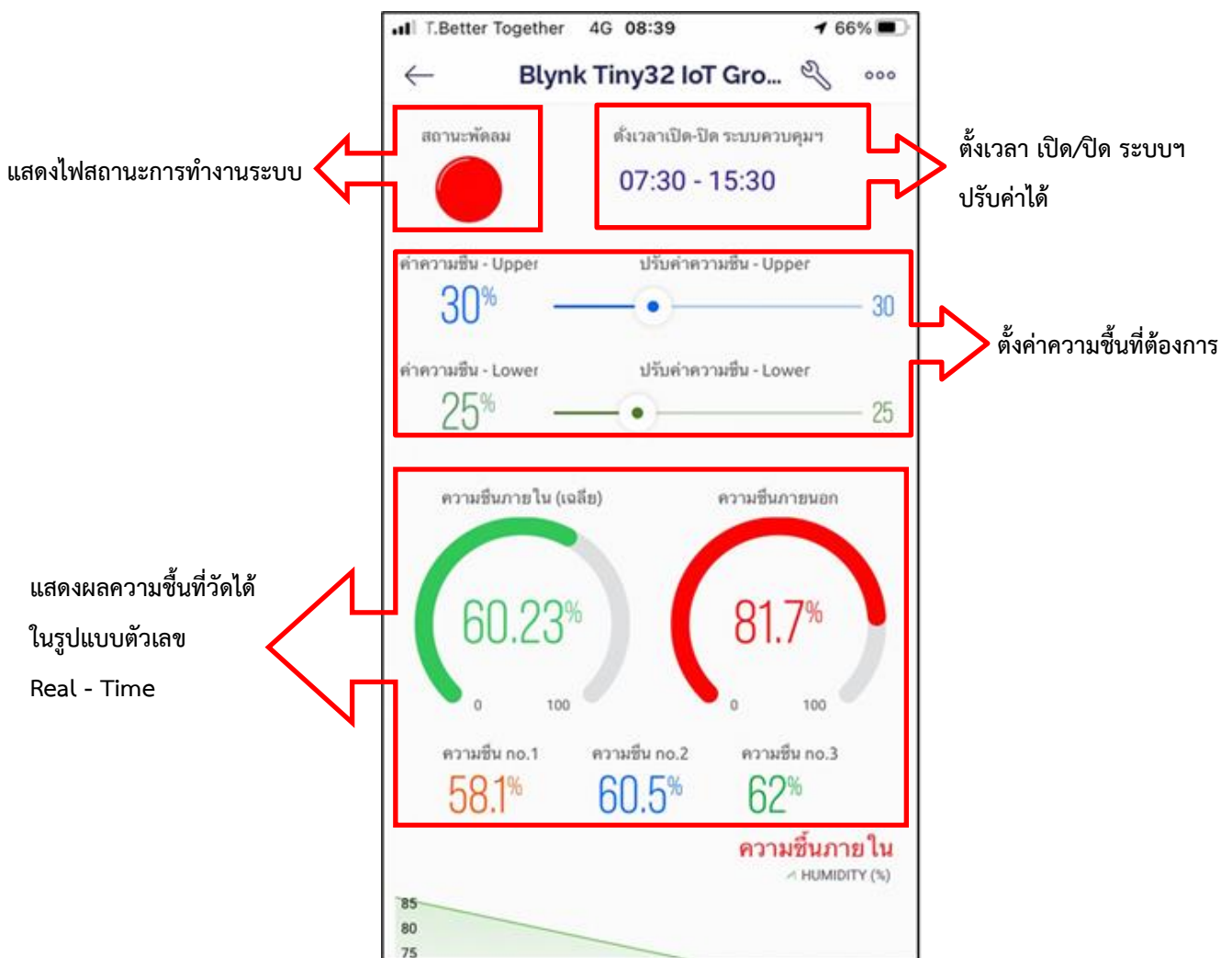
(ก) ภายนอกโรงอบแห้ง

(ข) ภายในโรงอบแห้ง

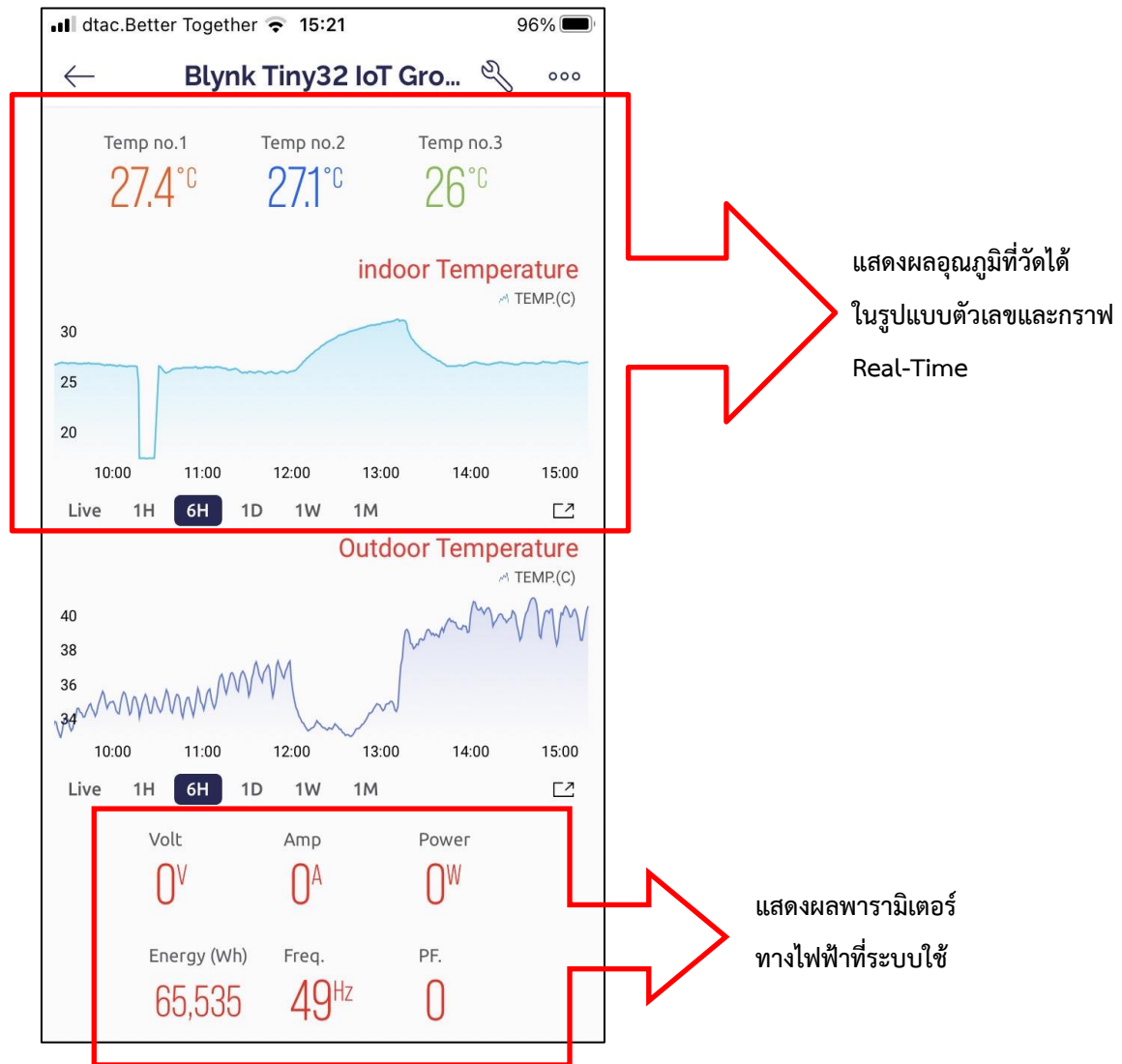
#### 4.2.3 การแสดงผลและควบคุมระบบ ของแอปพลิเคชัน Blynk

ในการพัฒนาระบบติดตามและควบคุมการอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยเทคโนโลยี IoT ผู้วิจัยได้เลือกใช้แอปพลิเคชัน Blynk เป็นเครื่องมือหลักในการแสดงผลข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบจากระยะไกล โดย Blynk ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านอินเทอร์เน็ตที่ออกแบบให้ใช้งานง่าย บนสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ต

ในส่วนของการแสดงผล แอปพลิเคชันจะแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) และอุณหภูมิ (Temperature) แบบตัวเลขดิจิทัล พร้อมกราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมตลอดระยะเวลาการอบแห้ง นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันควบคุมที่ผู้ใช้งานสามารถสั่งการเปิด-ปิดพัดลมระบายอากาศ หรือกำหนดค่าการทำงานอัตโนมัติเมื่อความชื้นเกินค่าที่ตั้งไว้ได้ทันที ผ่านหน้าจอ ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และ 4.10



ภาพที่ 4.9 การแสดงผลและควบคุมระบบ ของแอปพลิเคชัน Blynk (1)



ภาพที่ 4.10 การแสดงผลและควบคุมระบบ ของแอปพลิเคชัน Blynk (2)

แอปพลิเคชัน Blynk มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาระบบ IoT สำหรับโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำหน้าที่เป็นอินเทอร์เฟซกลางในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับอุปกรณ์ภาคสนามผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในรูปแบบเรียลไทม์ ในมุมมองทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม Blynk ช่วยสนับสนุนแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ (Process Optimization) และการลดความสูญเปล่า (Waste Reduction) โดยช่วยลดความจำเป็นในการเดินตรวจสภาพด้วยตนเอง (Motion Waste), ลดเวลาในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (Waiting Waste) และลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากการตรวจสอบด้วยมือ (Defect Waste) นอกจากนี้ Blynk ยังช่วย Simplify วิธีการทำงานด้วยการออกแบบอินเทอร์เฟซที่ใช้งานง่าย รองรับการควบคุมพัลลภระยะยาว

อากาศตามค่าความชื้นที่ได้ตั้งไว้และการตั้งค่าระบบอัตโนมัติได้ผ่านสมาร์ทโฟน ทำให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้อย่างแม่นยำ แม้ในสถานะที่ไม่มีแรงงานฝ้าตลอดเวลา จึงถือเป็นเครื่องมือสำคัญที่ส่งเสริมให้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความยืดหยุ่น (Flexibility), ความรวดเร็วในการตอบสนอง (Responsiveness) และความสามารถในการเพิ่มผลผลิต (Productivity) ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานในการออกแบบระบบอุตสาหกรรมสมัยใหม่

#### 4.2.4 การบันทึกผลบน Google Sheet

ในการพัฒนาระบบติดตามและควบคุมการอบแห้งเมล็ดกาแฟ ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบให้สามารถส่งค่าข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ภายในโรงอบแห้ง ไปยัง Google Sheet ผ่านการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยอัตโนมัติ เพื่อทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูล (Data Logging) สำหรับการบันทึกและวิเคราะห์ย้อนหลัง การบันทึกผลใน Google Sheet มีการตั้งค่าให้อัปเดตข้อมูลแบบเรียลไทม์ทุกช่วงเวลาที่กำหนด (เช่น ทุก ๆ 10 นาที) โดยข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วยวันเวลา (Time stamp), ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH), และค่าอุณหภูมิ (Temperature), ค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบใช้ (Power) ซึ่งช่วยให้ผู้วิจัยสามารถติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมระหว่างกระบวนการอบแห้งได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งยังสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพิ่มเติม เช่น การหาค่าเฉลี่ย, การคำนวณอัตราการลดความชื้น, การประเมินประสิทธิภาพการควบคุมของระบบ หรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน ดังแสดงในรูปที่ 4.11

	A	B	C	D	P	Q	R	S	T	U
1	Date	FAN_Status	Upper_humidity	Lower_humidity	Amp	Power	Energy(KWh)	Freq	PF	Loop_count
615	12/02/2024 15:59:51	0	12	20	0	0	38.946	50	0	3415
616	12/02/2024 16:09:46	0	12	20	0	0	38.946	50	0	3476
617	12/02/2024 16:19:40	0	12	20	0	0	38.946	50	0	3537
618	12/02/2024 16:29:34	0	12	20	0	0	38.946	50	0	3598
619	12/02/2024 16:39:28	0	12	20	0	0	38.946	50	0	3659
620	12/02/2024 16:49:21	0	12	20	0	0	38.946	50	0	3720
621	12/02/2024 16:59:14	1	12	20	0.22	44.2	38.949	50	0.93	3781
622	12/02/2024 17:09:08	1	12	20	0.22	44.5	38.955	49.9	0.94	3842
623	12/02/2024 17:19:02	1	12	20	0.23	48.2	38.96	49.9	0.93	3903
624	12/02/2024 17:28:56	1	12	20	0.23	48.2	38.96	49.9	0.93	3964
625	12/02/2024 17:38:51	1	12	20	0.23	48.2	38.96	49.9	0.93	4025
626	12/02/2024 17:48:46	1	12	20	0.23	48.2	38.96	49.9	0.93	4086
627	12/02/2024 17:58:40	1	12	20	0.23	48.2	38.96	49.9	0.93	4147
628	12/02/2024 18:08:34	1	12	20	0.23	48.2	38.96	49.9	0.93	4208

ภาพที่ 4.11 การบันทึกผลบน Google Sheet

การใช้ Google Sheet เป็นฐานข้อมูลกลางมีข้อดีคือ สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทุกที่ผ่านระบบคลาวด์, รองรับการทำงานแบบเรียลไทม์ และง่ายต่อการนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์หรือจัดทำรายงานต่อไป ส่งผลให้กระบวนการติดตามประสิทธิภาพของการอบแห้งมีความรวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น

#### 4.2.5 การฝึกอบรมและถ่ายทอดวิธีการใช้งานแก่กลุ่มเกษตรกร

ผู้วิจัยได้ดำเนินการฝึกอบรมและถ่ายทอดวิธีการใช้งานระบบควบคุมโรงอบแห้งที่พัฒนาขึ้นให้กับสมาชิกของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟรัชฎาฯ และผู้ที่เกี่ยวข้อง (ดังแสดงในภาพที่ 4.12 และ 4.13) การฝึกอบรมนี้จัดขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบและทดสอบจนพร้อมใช้งาน ซึ่งเนื้อหาการอบรมประกอบด้วย

(1) อธิบายหลักการทำงานของระบบ IoT ที่พัฒนา ตั้งแต่การทำงานของเซ็นเซอร์ การควบคุมพัดลมอัตโนมัติ ตลอดจนการสื่อสารข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังแอปพลิเคชัน ให้ผู้เข้ารับการอบรมเข้าใจภาพรวมของระบบ

(2) แนะนำวิธีการใช้งานแอป Blynk บนโทรศัพท์มือถือ โดยให้ผู้เข้าร่วมทดลองเปิดดู Dashboard ของโรงอบแห้งตนเองบนสมาร์ตโฟน การอ่านค่าอุณหภูมิ/ความชื้น การตีความกราฟหรือข้อมูลที่แสดงบนหน้าจอ และการสั่งงานหรือตั้งค่าต่าง ๆ ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk เช่น การเปลี่ยนค่าความชื้นที่ต้องการ หรือการสั่งเปิดพัดลมแบบแมนนวล และการตั้งเวลาเปิด/ปิดระบบฯ

(3) สอนวิธีการดูข้อมูลย้อนหลังที่บันทึกบน Google Sheets เพื่อในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์ข้อมูลเอง หรือกรณีที่ต้องการรายงานผลการอบแห้ง เช่น วิธีเปิดไฟล์สเปรดชีตที่บันทึกข้อมูล วิธีการกรองหรือคัดลอกข้อมูลไปใช้งานต่อ

(4) สาธิตและฝึกปฏิบัติการใช้งานจริง เช่น ให้สมาชิกลองทำการตากเมล็ดกาแฟในโรงอบที่ติดตั้งระบบแล้ว โดยมีการสังเกตลักษณะการทำงานอัตโนมัติของพัดลมเมื่อความชื้นสูงขึ้น หรือการแจ้งเตือนในแอปพลิเคชัน Blynk เพื่อสร้างความคุ้นเคยในการใช้งานจริง

(5) อธิบายข้อควรระวังในการใช้งาน เช่น การตรวจสอบสถานะไฟฟ้าของระบบ การบำรุงรักษาเซ็นเซอร์ (เช่น หากเซ็นเซอร์สกปรกควรทำความสะอาดอย่างไร) และขั้นตอนที่ควรปฏิบัติหากระบบอินเทอร์เน็ตขัดข้องหรืออุปกรณ์ไม่ตอบสนอง (มีแผนสำรอง เช่น การควบคุมพัดลมแบบแมนนวลแทน)

หลังการฝึกอบรม สมาชิกกลุ่มเกษตรกรได้ทดลองใช้งานระบบด้วยตนเองในการผลิตจริง ซึ่งผู้วิจัยได้เฝ้าสังเกตและให้คำปรึกษาอยู่ระยะหนึ่งจนมั่นใจว่าสมาชิกสามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้ การมีส่วนร่วมของผู้ใช้งานตั้งแต่ขั้นตอนต้นน้ำนี้ ช่วยสร้างความคุ้นเคยและยอมรับในเทคโนโลยีใหม่ ทำให้การถ่ายทอดเทคโนโลยีเป็นไปอย่างราบรื่น



ภาพที่ 4.12 การฝึกอบรมและถ่ายทอดวิธีการใช้งานระบบควบคุมโรงอบแห้ง (1)



ภาพที่ 4.13 การฝึกอบรมและถ่ายทอดวิธีการใช้งานระบบควบคุมโรงอบแห้ง (2)

#### 4.2.6 อุปกรณ์และงบประมาณสำหรับระบบ IoT

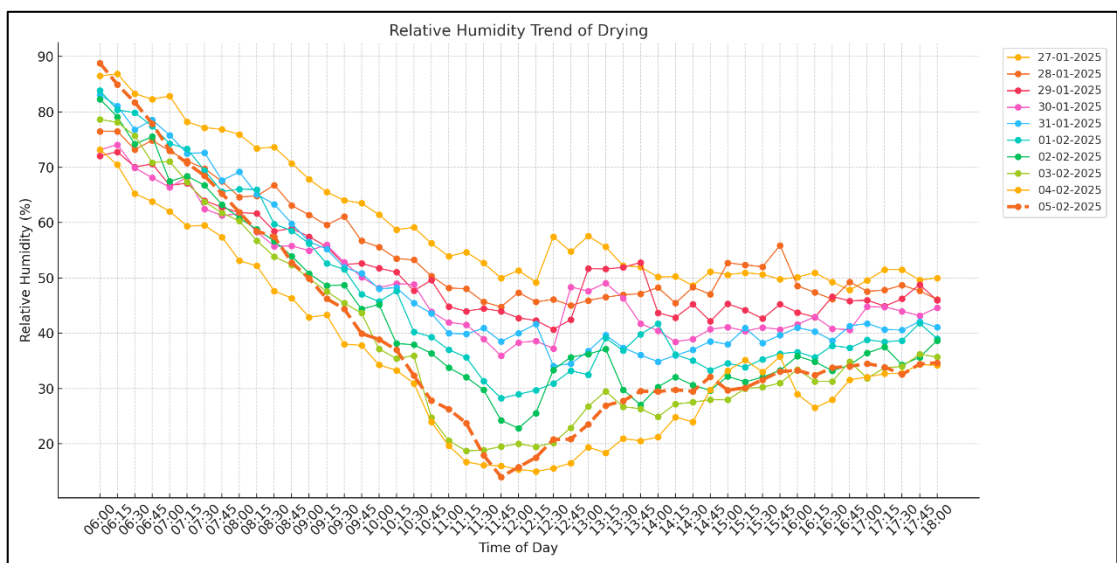
จากตารางที่ 4.2 รายการประมาณราคาค่าอุปกรณ์และการติดตั้งระบบควบคุมและติดตามโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคโนโลยี IoT พบว่า การจัดซื้อครอบคลุมทั้งฮาร์ดแวร์ควบคุมหลัก เช่น บอร์ด Tiny32, เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (WTR10-E), อุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้า (PZEM-016), ชุดป้องกันสภาพแวดล้อม (Radiation Shield), และอุปกรณ์รองรับการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น Wi-Fi Repeater โดยมีการรวมค่าอุปกรณ์เชื่อมต่อ ระบบไฟฟ้า สายสัญญาณ ระบบตู้ควบคุม ตลอดจนค่าติดตั้งและประกอบอุปกรณ์เข้าด้วยกันทั้งหมด ในราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่มเป็นยอดงบประมาณรวมทั้งสิ้นอยู่ที่ 46,142.68 บาท ซึ่งสะท้อนถึงราคาต้นทุนของระบบที่ควบคุมด้วยเทคโนโลยี IoT ยังมีมูลค่าสูงเป็นผลทำให้ต้นทุนในการลงทุนนั้นสูงเกินไปสำหรับวิสาหกิจขนาดเล็ ก ซึ่งสามารถลดอุปกรณ์ในการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นลงให้เหลือแค่ไม่เกินสองจุดภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 3 x 4 เมตร และติดตั้งชุดควบคุมพัดลมระบายอากาศอัตโนมัติเท่านั้นก็เพียงพอและทำให้เป็นที่น่าสนใจต่อการลงทุนต่อไป

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดงบประมาณการติดตั้งระบบ

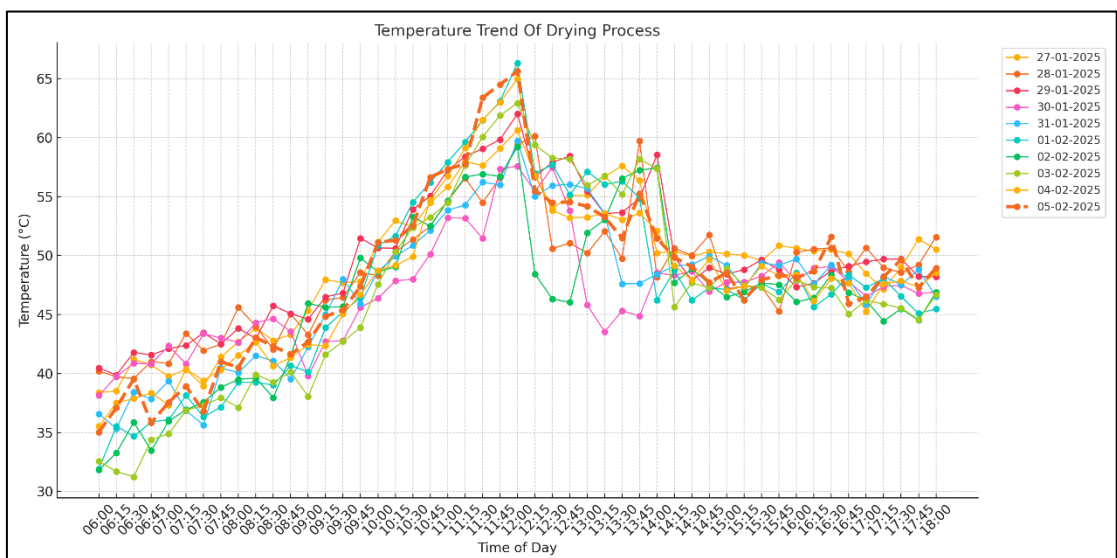
ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)	หมายเหตุ
1	บอร์ด Tiny32	1	ชุด	2,590.00	2,590.00	
2	อุปกรณ์วัดไฟฟ้ากระแสสลับ-PZEM-016 (AC meter)	1	ชุด	790.00	790.00	
3	Sensor วัดอุณหภูมิและความชื้น-WTR10-E	4	ชุด	875.00	3,500.00	
4	Radiation Shield/Housing สำหรับ WTR10-E	1	ชุด	3,200.00	3,200.00	
5	Switching 5V 3A	1	ตัว	330.00	330.00	
6	Switching 12V 5A	1	ตัว	480.00	480.00	
7	Solid State Relay AC	1	ชุด	500.00	500.00	
8	Breaker-Philips	1	ตัว	290.00	290.00	
9	สาย cable 3-core shield	26	เมตร	39.00	1,014.00	
10	ตัวขยายสัญญาณ wifi-TP-Link RE450 AC 1750 Repeater	1	ชุด	3,630.00	3,630.00	
11	Leetech ตู้กันน้ำพลาสติกฝาใสitech (for PZEM sensor)	1	ตู้	800.00	800.00	
12	ตู้เหล็กกันน้ำ (for Tiny32 controller )	1	ตู้	1,000.00	1,000.00	
13	อุปกรณ์ประกอบตู้ควบคุม (สาย AWG, สายไฟคู่, ปลั๊กตัวผู้, Terminal, สาย VSF, Pilot Lamp, Connector, Push switch ฯลฯ)	1	งาน	7,000.00	7,000.00	
14	อุปกรณ์เบ็ดเตล็ดอื่นๆ (ท่อร้อยสายไฟ/Ground rod/สายไฟจาก Main ฯลฯ)	1	รายการ	5,000.00	5,000.00	
15	ค่าแรงประกอบพร้อมทดสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์และ Sensor ต่างๆ พร้อมบรรจุภัณฑ์สำหรับการขนส่ง	1	งาน	13,000.00	13,000.00	
งบประมาณรวมทั้งสิ้น (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)					43,124.00	
ภาษีมูลค่าเพิ่ม ร้อยละ 7					3,018.68	
งบประมาณรวมทั้งสิ้น (รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม ร้อยละ 7)					46,142.68	

### 4.3 ข้อมูลสถานะการอบแห้งจากระบบ IoT

ในการทดลองหลังปรับปรุงระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นได้ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบแห้งเพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงของสภาวะระหว่างการอบเมล็ดกาแฟตลอดเวลา โดยการอบแห้งเมล็ดกาแฟในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟรัชฎาฯ จ.ตรัง ในระยะช่วงเวลาววันที่ 27 มกราคม 2568 ถึง วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2568 เป็นเวลาทั้งสิ้น 10 วัน โดยข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้ จะถูกส่งไปบันทึกยังระบบคลาวด์ในรูปแบบของ Google sheet ที่สามารถดึงมาวิเคราะห์เป็นกราฟแสดงแนวโน้มของค่าต่างๆ ดังภาพที่ 4.14 และ 4.15



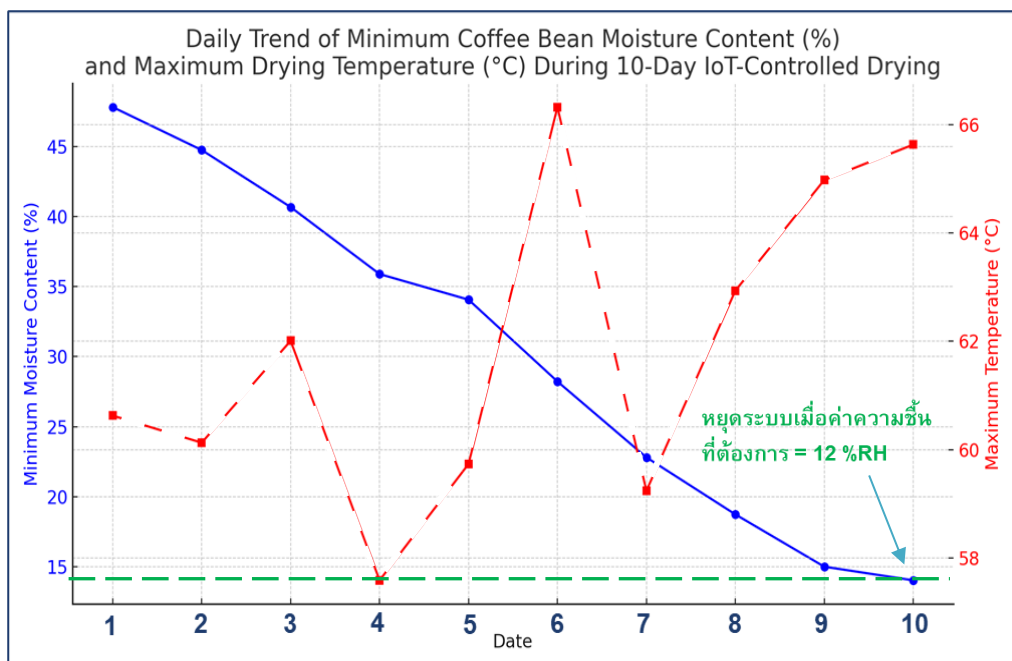
ภาพที่ 4.14 แนวโน้มความชื้นในกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ



ภาพที่ 4.15 แนวโน้มของอุณหภูมิในกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟ

จากการวิเคราะห์กราฟที่แสดงถึงสถานะการอบแห้งเมล็ดกาแฟที่ควบคุมด้วยระบบ IoT ตลอดช่วงเวลา 10 วัน พบว่ามีความเชื่อมโยงที่ชัดเจนระหว่างอุณหภูมิ และค่าความชื้นในเมล็ดกาแฟ ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่สะท้อนประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งหลังจากการปรับปรุงระบบ ภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มความชื้นภายในโรงอบมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ช่วงเช้าถึงช่วงบ่าย โดยเฉพาะในช่วงเวลา 11.00–15.00 น. ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับกราฟภาพที่ 4.15 ที่แสดงอุณหภูมิภายในโรงอบซึ่งเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลาเดียวกัน โดยมีค่าสูงสุดถึงประมาณ 65 °C ในบางวัน ส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำในเมล็ดกาแฟเป็นไปอย่างรวดเร็ว

เมื่อนำค่าความชื้นต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละวันมาเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.16 จะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มลดลงของค่าความชื้นในเมล็ดกาแฟอย่างต่อเนื่องจากประมาณ 47% เหลือเพียง 12% ภายในวันที่ 10 ซึ่งถือเป็นค่ามาตรฐานที่ต้องการ การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมโดยไม่สูงเกินไป ช่วยหลีกเลี่ยงการแตกร้าวของเมล็ดหรือรสชาติที่เสีย สรุปได้ว่าการเชื่อมโยงของค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นในเมล็ดกาแฟสะท้อนให้เห็นว่า ระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมและติดตามกระบวนการอบแห้งได้อย่างแม่นยำและเสถียร ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้ง ขณะเดียวกันก็รักษาคุณภาพของเมล็ดกาแฟให้สม่ำเสมอและได้ตามมาตรฐาน



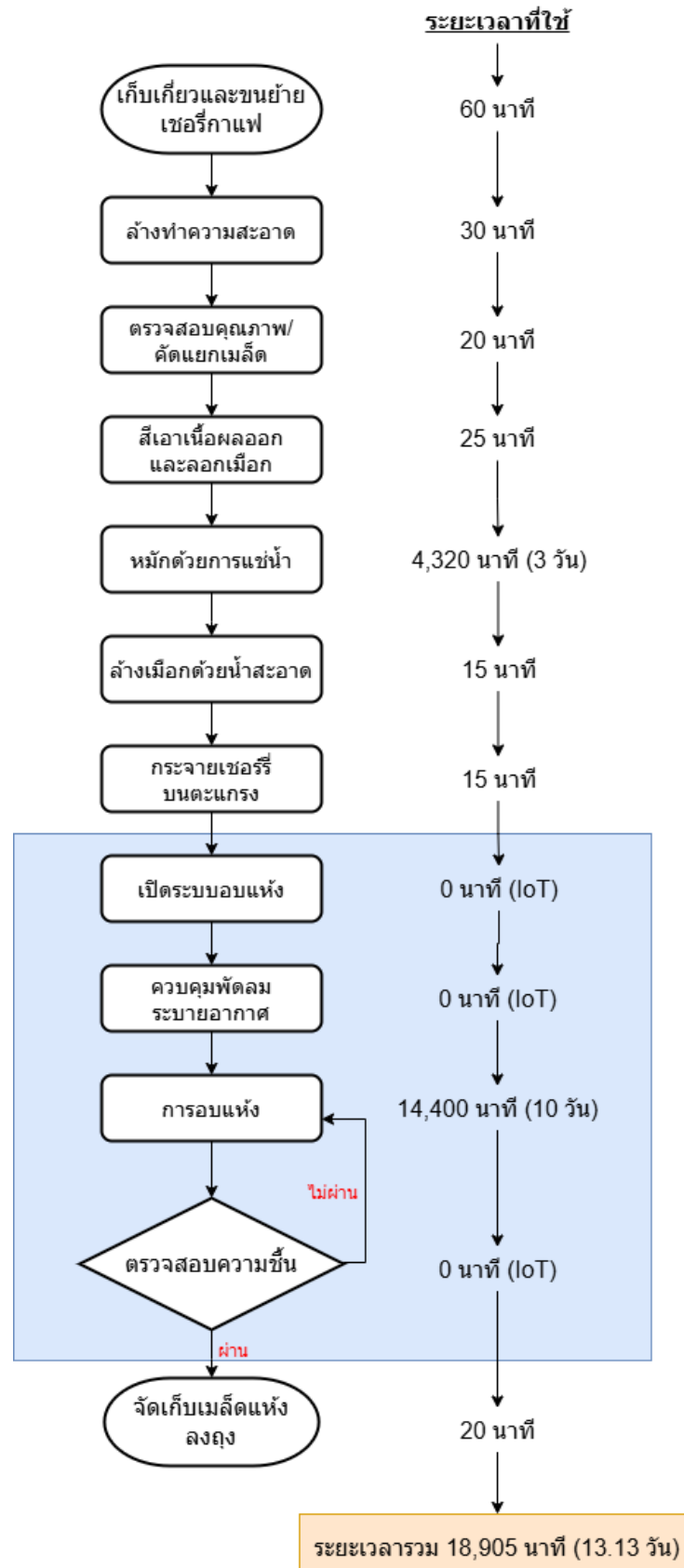
ภาพที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ของความชื้นและอุณหภูมิในช่วงการอบแห้ง

จากภาพที่ 4.16 กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความชื้นเมล็ดกาแฟ (%) และอุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง (°C) ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง 10 วัน หลังการติดตั้งระบบ IoT เพื่อควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ กราฟเส้นสีน้ำเงินแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ของเมล็ดกาแฟ (แกนซ้าย) ที่ลดลงจากจากระดับประมาณ 65 - 70% เหลือเพียงประมาณ 30% ภายใน 4-5 วันแรก และเข้าสู่ระดับเป้าหมายที่ 12% ภายในวันที่ 10 ในขณะที่เส้นสีแดงแสดงอุณหภูมิอากาศภายในโรงอบแห้ง (แกนขวา) ซึ่งมีการผันแปรตามช่วงเวลาของวันและสภาพภูมิอากาศโดยรอบ โดยในระหว่างการเก็บข้อมูลนั้นมีฝนตกในบางวัน ทำให้กราฟที่แสดงมีลักษณะการแกว่งแต่ยังอยู่ในช่วง 57- 66°C และจากกราฟจะเห็นว่าช่วงแรกเมล็ดกาแฟมีความชื้นสูงและค่อยๆ ลดลงอย่างรวดเร็วในวันแรกๆ ของการอบแห้งเนื่องจากอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งสามารถเพิ่มสูงขึ้นช่วงกลางวัน และระบบควบคุมได้เปิดพัดลมระบายความชื้นออกเมื่อถึงเกณฑ์ที่กำหนดระบบควบคุมก็เลยสั่งปิดพัดลมระบายความชื้น ส่งผลให้อัตราการระบายความชื้นในช่วงแรกสูงกว่าช่วงท้ายๆ เมื่อความชื้นของเมล็ดเข้าใกล้ระดับเป้าหมาย หลังจากผ่านไปประมาณ 9 - 10 วัน ความชื้นของเมล็ดกาแฟจะค่อยๆ ลดลงมาอยู่ใกล้ระดับ 12% ซึ่งเป็นระดับที่สามารถสั่งการให้ระบบปิดการทำงานของพัดลมระบายความชื้นเพื่อหยุดกระบวนการอบแห้งได้ โดยในระหว่างกระบวนการอบแห้งนั้น จะเห็นว่าระบบ IoT สามารถรักษาอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้โดยอัตโนมัติ เช่น ในเวลากลางคืนหรือวันที่สภาพอากาศชื้น ระบบจะปิดช่องระบายและควบคุมพัดลมให้ทำงานเป็นช่วงๆ เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศชื้นจากภายนอกเข้ามา ลดการหยุดชะงักของการอบแห้งอันเนื่องมาจากฝนหรือความชื้นสูงภายนอก แม้ในช่วงที่ไม่มีแสงแดดจัด กระบวนการอบแห้งก็ยังดำเนินต่อไปได้บางส่วนด้วยการควบคุมดังกล่าวแทนที่จะหยุดสนิทเหมือนในอดีตที่ไม่มีระบบ IoT ช่วยเหลือ

#### 4.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพการติดตั้งระบบ

##### 4.4.1 การวิเคราะห์จำนวนเวลาที่ลดลงของกระบวนการ

เพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงเวลาของกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟก่อนและหลังการปรับปรุงระบบด้วยการประยุกต์ใช้ระบบ IoT เพื่อติดตามและควบคุมการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการอบแห้งในรูปแบบแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) หลังการปรับปรุงกระบวนการอบแห้งด้วยระบบ IoT ดังแสดงในภาพที่ 4.17 และนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลของกระบวนการอบแห้งเดิมก่อนการปรับปรุง (ในหัวข้อที่ 3.2) มาวิเคราะห์ร่วมกับจำนวนแรงงานคนและชั่วโมงการทำงานที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม โดยการแปลงจำนวนกิจกรรมของแต่ละขั้นตอนร่วมกับเวลาที่ใช้และจำนวนคนงานนำไปสู่การคำนวณชั่วโมงแรงงานรวมของกระบวนการทั้งระบบ ซึ่งสามารถสรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ IoT ได้ด้วยแผนภูมิแรงงานคนและชั่วโมงการทำงานรวมของกระบวนการอบแห้งหลังการปรับปรุงระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3



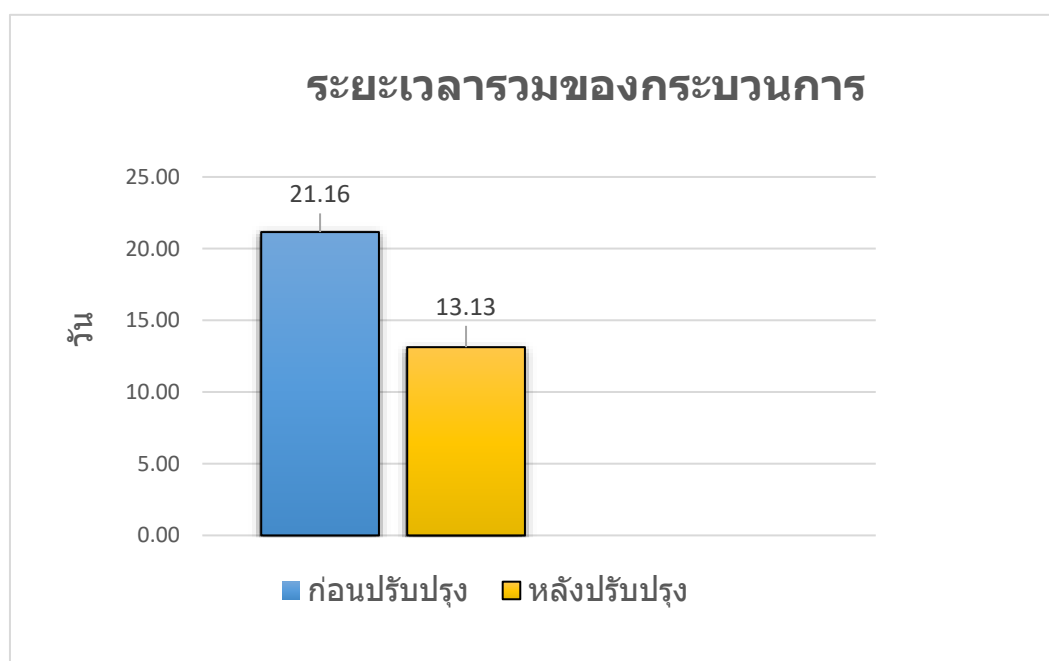
ภาพที่ 4.17 กระบวนการอบแห้งของเมล็ดกาแฟหลังปรับปรุงระบบ

จากการวิเคราะห์กระบวนการรอบแห่งเมล็ดกาแฟภายหลังการพัฒนาและปรับปรุงระบบ โดยอ้างอิงแนวคิดการวิเคราะห์ด้วยหลักการ ECRS และแนวทางการแก้ปัญหาจากสาเหตุจากการวิเคราะห์ด้วยผังก้างปลา (Fishbone Diagram) พบว่าหลายขั้นตอนในกระบวนการผลิตสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นผ่านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT โดยเฉพาะในส่วนของ การเปิดระบบอบแห้ง, การควบคุมพัดลมระบายอากาศและการตรวจสอบค่าความชื้น ซึ่งเดิมต้องอาศัยแรงงานคนและใช้เวลาปฏิบัติงานซ้ำซ้อน ได้ถูกพัฒนาให้เป็นระบบอัตโนมัติ ทำให้สามารถตัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น (Eliminate) และลดความซับซ้อนของการดำเนินงาน (Simplify) ส่งผลให้ลดภาระงานของผู้ปฏิบัติงาน ลดข้อผิดพลาดจากแรงงานคน และสามารถตรวจสอบและติดตามข้อมูลการอบแห้งได้แบบเรียลไทม์บนระบบคลาวด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบสามารถหยุดทำงานอัตโนมัติเมื่อค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟลดลงถึงระดับที่ต้องการ (12%) ซึ่งช่วยให้กระบวนการอบแห้งมีความแม่นยำ ประหยัดพลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตโดยรวม

ตารางที่ 4.3 จำนวนแรงงานคนและชั่วโมงการทำงานรวมของกระบวนการอบแห้งหลังปรับปรุงระบบ

ลำดับ	ชื่อกิจกรรม	หลังปรับปรุงระบบ								
		สัญลักษณ์					ระยะทาง (เมตร)	คนทำงาน (คน)	เวลา (ชั่วโมง)	Man-Hour (ชั่วโมง-คน)
		●	➔	■	■	▼				
1	เก็บเกี่ยวและขนย้ายเชอร์รี่กาแฟ	●					30	2	1.00	2.00
2	ล้างทำความสะอาด		➔				5	2	0.50	1.00
3	ตรวจสอบคุณภาพ/คัดแยกเมล็ด			■			5	2	0.33	0.67
4	สีเอาเนื้อผลออกและลอกเมือก	●					5	2	0.42	0.83
5	หมักด้วยการแช่น้ำ	●					5	1	72.00	72.00
6	ล้างเมือกด้วยน้ำสะอาด	●					5	1	0.25	0.25
7	กระจายเชอร์รี่บนตะแกรง	●					5	2	0.25	0.50
8	เปิดระบบอบแห้ง	●					0	0	0.00	0.00
9	ควบคุมพัดลมระบายอากาศ	●					0	0	0.00	0.00
10	การอบแห้ง	●					0	1	240.00	240.00
11	ตรวจความชื้น			■			0	0	0.00	0.00
12	จัดเก็บเมล็ดแห้งลงถุง	●					30	2	0.33	0.67
	รวม	10	0	2	0	0	90	15	315.08	317.92

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบจำนวนแรงงานคนและชั่วโมงการทำงานรวมของกระบวนการอบแห้งก่อนปรับปรุงในตารางที่ 3.2 และหลังปรับปรุงระบบดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่าจำนวน Man-Hour รวม ลดลงจาก 510.58 ชั่วโมง-คน ลดเหลือ 317.92 ชั่วโมง-คน คิดเป็นการลดจำนวน 37.73% จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ระบบ IoT มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการลดภาระงานของแรงงานคน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีเวลาเหลือเพียงพอสำหรับกิจกรรมอื่น ๆ ที่เพิ่มคุณค่าแทนการทำงานซ้ำซ้อนเดิม ๆ อีกทั้งยังช่วยลดโอกาสเกิดความผิดพลาดจากมนุษย์ และทำให้กระบวนการอบแห้งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การลด Man-Hour อย่างมีนัยสำคัญนี้สอดคล้องกับแนวคิด Lean Process ที่มุ่งลดความสูญเสียดังกล่าวในกระบวนการผลิต



ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาของกระบวนการอบแห้ง

จากการวิเคราะห์การเปรียบเทียบระยะเวลาของกระบวนการอบแห้งก่อนและหลังปรับปรุง และการใช้กราฟแท่งเพื่อเปรียบเทียบผลดังกล่าวดังแสดงในภาพที่ 4.18 พบว่าระยะเวลาของกระบวนการอบแห้งเฉลี่ยรวม จาก 507.75 ชั่วโมง (21.16 วัน) ลดเหลือ 315.08 ชั่วโมง (13.13 วัน) คิดเป็นการลดลงของระยะเวลาในกระบวนการอบแห้งเฉลี่ยรวมเป็นจำนวน 37.95% ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ โดยกิจกรรมที่ลดลงมากที่สุดคือ การรอคอยการอบแห้ง, การตรวจวัดความชื้น และการควบคุมการระบายอากาศ ตามลำดับ เนื่องจากระบบ IoT ที่ติดตั้งสามารถวัดความชื้นด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดเพื่อควบคุมการเปิดและปิดพัดลมโดยอัตโนมัติตามเงื่อนไข

ของค่าความชื้นเป้าหมายที่ตั้งไว้ 12% นอกจากนี้ในระยะการเดินตรวจสอบความชื้นภายในโรงอบแห้งและการควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศลดลงอย่างมาก เพราะสามารถตรวจสอบความชื้นและควบคุมระบบผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ได้ตลอดเวลา และระบบจะบันทึกข้อมูลอัตโนมัติไปยัง Google Sheets โดยไม่ต้องใช้แรงงานคนทำซ้ำ

#### 4.4.2 การวิเคราะห์ด้านพลังงานไฟฟ้า

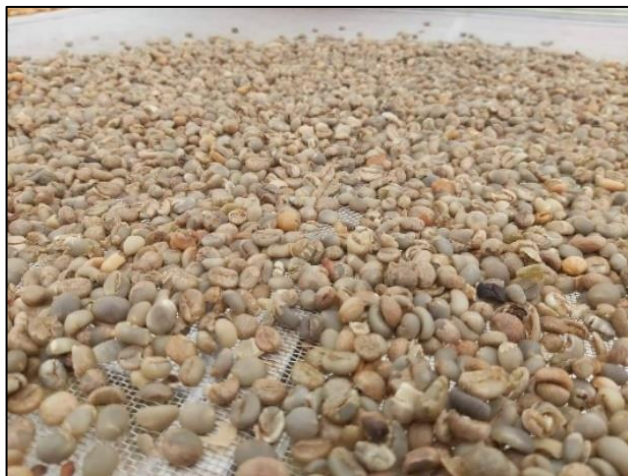
จากข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ดังแสดงในภาคผนวก ค. สามารถสรุปผลการประเมินเชิงคุณภาพด้านพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับกระบวนการตากแห้งเมล็ดกาแฟ โดยใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ PZEM-016 (AC meter) แบบเรียลไทม์ สำหรับการบันทึกค่าผ่านระบบ IoT ที่ได้พัฒนา โดยเป็นการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว ชนิด AC มีกำลังไฟฟ้า 20 Watt จำนวน 2 ตัว ซึ่งมีผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การคำนวณผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงระบบ

	การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า	หมายเหตุ
ก่อนปรับปรุง	$= (20 \text{ W.} \times 2 \text{ ea.} \times 10 \text{ hr.} \times 18 \text{ Day})/1000$ $= 7.20 \text{ kWh}$	พัดลม AC 20 Watt .จำนวน 2 ตัว เปิดใช้งานตั้งแต่เวลา 7.00 น. – 17.00 น. ตลอดระยะเวลาอบแห้ง 18 วัน
หลังปรับปรุง	$= 52.054 - 48.990$ $= 3.064 \text{ kWh}$	ข้อมูลจากบันทึกการตรวจวัดจริง (ภาคผนวก ค.)
ผลประหยัด	$= ((7.200 - 3.064)/7.200) \times 100\%$ $= 57.44 \%$	

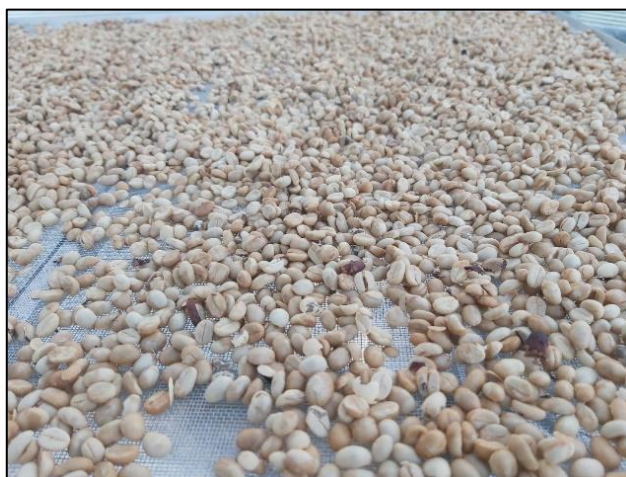
#### 4.5 ผลการประเมินลักษณะของเมล็ดกาแฟ

เพื่อประเมินผลเชิงคุณภาพ นอกเหนือจากข้อมูลเชิงปริมาณดังกล่าว ได้มีการสังเกตและบันทึกภาพลักษณะของเมล็ดกาแฟทั้งก่อนและหลังการอบแห้งโดยใช้ระบบ IoT เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.19 และ 4.20 แสดงสภาพเมล็ดกาแฟตัวอย่างจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ก่อนและหลังผ่านกระบวนการอบแห้งโดยใช้ระบบ IoT ตามลำดับ



ภาพที่ 4.19 ลักษณะเมล็ดกาแฟแห้ง ก่อนปรับปรุงระบบ

จากภาพที่ 4.19 แสดงลักษณะของเมล็ดกาแฟที่ผ่านการอบแห้ง โดยไม่ได้ใช้ระบบติดตามและควบคุมการอบแห้งด้วย IoT พบว่าผิวเมล็ดมีสีเขียวหม่น, สีไม่สม่ำเสมอและมีปริมาณเมล็ดที่เสียหายจากการอบแห้งเยอะ



ภาพที่ 4.20 ลักษณะเมล็ดกาแฟแห้ง หลังปรับปรุง

จากภาพที่ 4.20 แสดงลักษณะของเมล็ดกาแฟที่ผ่านการอบแห้ง โดยใช้ระบบติดตามและควบคุมการอบแห้งด้วย IoT พบว่าผิวเมล็ดมีน้ำตาลอ่อน, สีสม่ำเสมอและไม่มีปริมาณเมล็ดที่เสียหาย

#### 4.6 สรุปผลการปรับปรุงกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟโดยใช้ IoT

สรุปผลการเปรียบเทียบตัวชี้วัดสำคัญระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการอบแห้งด้วยระบบ IoT ดังตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งต่อรุ่น (batch) ลดลงอย่างชัดเจนหลังใช้ระบบ IoT โดยเดิมกระบวนการอบแห้งแบบดั้งเดิมใช้เวลาในการรอคอยการอบแห้งประมาณ 15–21 วันต่อรุ่นการผลิต (ค่าเฉลี่ยประมาณ 18 วัน) ในขณะที่หลังปรับปรุงเหลือประมาณ 10 วัน (ลดลง 44.44%) ส่งผลให้ระยะเวลารวมทั้งกระบวนการอบแห้งลดลง 37.95% ทั้งนี้เวลาที่ลดลงเกิดจากการที่ระบบ IoT สามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการอบแห้งอยู่ตลอดเวลา และลดช่วงหยุดชะงักที่ไม่จำเป็น นอกจากระยะเวลาแล้ว ปริมาณงานของแรงงานคนที่ใช้ในกระบวนการก็ลดลงด้วย เนื่องจากหลายกิจกรรมที่เดิมต้องใช้เวลาของผู้ปฏิบัติงานถูกทำให้เป็นอัตโนมัติ (เช่น การตรวจวัดความชื้นประจำวัน, การเปิด/ปิดโรงพัดลมระบายอากาศ) ทำให้โดยรวมชั่วโมงคนทำงาน (Man-Hours) ที่ใช้ลดลงไป 37.73% เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้เวลาส่วนที่เหลือไปทำงานอื่นได้มากขึ้นเช่น การออกไปจำหน่ายสินค้า เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการระบายอากาศถึง 57.44%

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการอบแห้งเมล็ดกาแฟก่อนและหลังปรับปรุงระบบ

ตัวชี้วัด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ระยะเวลารวมของกระบวนการอบแห้ง	507.75 ชั่วโมง (21.16 วัน)	315.08 ชั่วโมง (13.13 วัน) (ลดลง 37.95%)
ระยะเวลารอคอยการอบแห้ง	432 ชั่วโมง (18 วัน) (โดยเฉลี่ย)	240 ชั่วโมง (10 วัน) (ลดลง 44.44%)
ปริมาณแรงงานที่ใช้ (Man-Hours)	510.58 ชั่วโมง-คน	317.92 ชั่วโมง-คน (ลดลง 37.73%)
ความถี่การตรวจเช็คค่าความชื้น	2–3 ครั้งต่อวัน (ต้องเผื่อระวังใกล้ขีด)	1 ครั้งต่อวัน (ตรวจผ่านระบบออนไลน์)
ความชื้นของเมล็ดหลังอบแห้ง	N/A (ใช้การคาดเดาของผู้ใช้งาน)	12%
ความสม่ำเสมอของคุณภาพเมล็ดกาแฟ	ไม่สม่ำเสมอ, เสี่ยงเกิดเชื้อรา เกิดความเสียหายประมาณ 3%	สม่ำเสมอมากขึ้น, ไม่เกิดความเสียหาย
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	7.20 kWh. (พัดลม AC 20W. จำนวน 2ตัว)	3.06 kWh. (ประหยัดไฟฟ้า 57.44%)

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ชัดเจนว่าการใช้ระบบ IoT ทำให้กระบวนการอบแห้งมีประสิทธิภาพขึ้นอย่างมาก ระยะเวลารวมของกระบวนการสั้นลงกว่าเดิมหลายวัน ส่งผลให้สามารถเพิ่มรอบการผลิตต่อปีได้มากขึ้น นอกจากนี้จำนวนครั้งในการเข้าไปตรวจสอบในโรงอบแห้งต่อวัน ลดลงจากเดิมที่คนงานต้องเข้าไปตรวจความชื้นหรือพลิกเมล็ดวันละหลายครั้ง เหลือเพียงวันละครั้ง หรือน้อยกว่านั้น เพราะผู้ปฏิบัติงานสามารถติดตามข้อมูลต่างๆ ผ่านแอปพลิเคชันได้แบบเรียลไทม์ โดยรวมแล้วการปรับปรุงนี้ช่วยลดความสูญเปล่าจากการรอคอยและความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหวยกเว้นจำเป็นลงอย่างเป็นรูปธรรม กล่าวคือ ลดทั้งเวลาที่เมล็ดกาแฟต้องรอจนแห้งสนิท และลดการเดินเข้า-ออกหรือทำงานซ้ำซ้อนของแรงงานคนลง ซึ่งสอดคล้องกับหลักการปรับปรุงกระบวนการตามแนวคิดวิศวกรรมอุตสาหการที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

## บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง ในการพัฒนาระบบควบคุม และติดตามการอบแห้งเมล็ดกาแฟภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดชุมชน และได้ดำเนินการประเมินประสิทธิผลของระบบดังกล่าวเมื่อเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบเดิม ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นมีส่วนช่วยลดความล่าช้าในการอบแห้งและเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการผลิต ดังต่อไปนี้ ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งต่อรุ่น ลดลงจำนวน 8 วัน หรือ 37.95% ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ สามารถลดระยะเวลาในกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟได้ อย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สามารถหมุนเวียนการผลิตได้เร็วขึ้น ปริมาณงานของแรงงานคนที่ต้องใช้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากการที่หลายขั้นตอนทำงานแบบอัตโนมัติ คุณภาพของเมล็ดกาแฟที่ได้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น และความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายลดลง (เช่น เชื้อราจากความชื้นสะสม) ทั้งหมดนี้นำไปสู่กระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ ยิ่งขึ้นตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

เมื่อพิจารณาข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพร่วมกัน จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้ระบบ IoT ส่งผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟอย่างชัดเจน การวิเคราะห์ แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) ก่อนและหลังปรับปรุงชี้ให้เห็นว่าขั้นตอนย่อยต่างๆ ในกระบวนการผลิตลดลง โดยเฉพาะขั้นตอนการรอคอยและการตรวจสอบที่ไม่จำเป็นถูกกำจัดออกไป หรือถูกรวมเข้าเป็นระบบอัตโนมัติ ส่งผลให้แผนภูมิล่วงปรับปรุงมีจำนวนน้อยขั้นตอนลงและเวลารอคอยสั้นลงอย่างมีนัยสำคัญ เช่น จากเดิมต้องรอคอยการตากเมล็ดกาแฟบนลานตากหลายวัน ระบบ IoT ที่ควบคุมการระบายอากาศอัตโนมัติทำให้สามารถอบต่อเนื่องได้แม้ในวันที่ไม่มีแดด ลดเวลาการรอโดยเปล่าประโยชน์ลง นอกจากนี้การคำนวณ ปริมาณงานและเวลาทำงานของแรงงานจากข้อมูล แผนภูมิการไหลพบว่า จำนวนชั่วโมงคนทำงานรวมตลอดกระบวนการอบแห้งลดลงอย่างเด่นชัดหลังการใช้ IoT เนื่องจากงานหลายอย่างที่เคยต้องใช้คน ถูกทำให้เป็นระบบอัตโนมัติ ผู้ปฏิบัติงานจึงเสียเวลาลดลงกับงานเหล่านี้น้อยลงมาก ผลการวิเคราะห์ยังชี้ให้เห็นว่า เวลารวมของกระบวนการผลิต (Throughput Time) นับตั้งแต่เริ่มนำเมล็ดกาแฟเปียกเข้าอบจนสามารถนำเมล็ดที่แห้งสนิทไปดำเนินการขั้นตอนถัดไปได้ มีแนวโน้มลดลงมากกว่าประมาณ 30% ตามที่ได้กล่าวแล้ว ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้เป็นอย่างดี

ในเชิงสถิติ หากมีการรวบรวมข้อมูลการรอบแห้งหลายๆ รอบอย่างเพียงพอ ก็อาจทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันความแตกต่างของเวลาการรอบแห้งหรือค่าใช้จ่ายแรงงานก่อนและหลังการปรับปรุงได้ อย่างไรก็ตาม จากผลที่ได้ในครั้งนี้ก็มีความชัดเจนในตัวว่าระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยยกระดับประสิทธิภาพโดยรวม ไม่เพียงลดเวลาการผลิตแต่ยังลดความสูญเสียเปล่าและความผันแปรของคุณภาพลง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดการวิเคราะห์ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes) ที่พบว่าความสูญเสียหลักที่มีอยู่ในกระบวนการดั้งเดิมคือ การรอคอย (Waiting) และการเคลื่อนไหวที่เกินจำเป็น (Unnecessary Motion) ดังที่ได้กล่าวถึง โดยระบบ IoT สามารถช่วยลดการรอคอยได้บางส่วนผ่านการเร่งการรอบแห้งในบางช่วงและดำเนินการรอบได้ต่อเนื่องแม้สภาพอากาศไม่อำนวย และช่วยลดความเคลื่อนไหวที่สูญเสียของแรงงานด้วยการมอนิเตอร์และควบคุมระยะไกลแทนการเดินทางไปตรวจด้วยตนเองทุกครั้ง สอดคล้องกับหลักการปรับปรุงกระบวนการตามแนวคิด Lean ซึ่งเมื่อปรับใช้แล้วจะทำให้กระบวนการผลิตมีความคล่องตัวและมีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

โดยสรุป งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการนำ IoT มาประยุกต์ใช้ในภาคการแปรรูปผลผลิตการเกษตรระดับชุมชน อันนำไปสู่การเพิ่มผลิตภาพ ลดความสูญเสีย และยกระดับคุณภาพของผลผลิตเมล็ดกาแฟ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่รายงานว่า การควบคุมสภาวะการรอบแห้ง (เช่น การเพิ่มอัตราการไหลเวียนของอากาศ) สามารถลดเวลาการรอบแห้งและรักษาคุณภาพของเมล็ดกาแฟได้ตลอดจนเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนากระบวนการผลิตกาแฟให้มีความทันสมัยและมีประสิทธิภาพมากขึ้นในยุคของอุตสาหกรรม 4.0 และการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น ต่อไป

จากผลการวิจัยที่ได้สามารถอภิปรายได้ในหลายมิติของประสิทธิภาพของระบบติดตามและควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งที่กำลังพัฒนาขึ้น ดังนี้

### 5.1.1 ความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบควบคุม

ระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดและควบคุมอุณหภูมิ-ความชื้นภายในโรงอบแห้งได้ค่อนข้างแม่นยำและเชื่อถือได้ เห็นได้จากการที่ข้อมูลเซ็นเซอร์แสดงแนวโน้มถูกต้องตามสถานการณ์จริง (เช่น อุณหภูมิสูงขึ้นในเวลากลางวันและลดลงตอนกลางคืน) และระบบสามารถตอบสนองต่อข้อมูลนั้นด้วยการเปิด/ปิดพัดลมได้อย่างเหมาะสมโดยไม่มีปัญหาข้อผิดพลาดร้ายแรงตลอดช่วงการทดลอง ทั้งนี้ความแม่นยำของเซ็นเซอร์และความถูกต้องของการทำงานอัตโนมัติได้รับการตรวจสอบเบื้องต้นโดยการเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานและการสังเกตของผู้เชี่ยวชาญ ผลปรากฏว่าระบบสามารถรักษาสภาวะการอบแห้งให้อยู่ในค่าที่ตั้งไว้ได้ใกล้เคียง ทำให้เชื่อมั่นได้ว่าระบบมีความน่าเชื่อถือสำหรับการใช้งานจริง

### 5.1.2 ประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้ง (ด้านเวลาและคุณภาพ)

จากข้อมูลที่ได้ กระบวนการอบแห้งหลังติดตั้ง IoT มีระยะเวลาารวมลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับก่อนติดตั้ง แสดงถึงประสิทธิภาพด้านเวลาที่ดีขึ้น ระบบควบคุมช่วยลดช่วงเวลาที่เมล็ดกาแฟต้องรอคอยโดยเปล่าประโยชน์ (เช่น ในคืนที่ความชื้นสูงหรือวันฝนตก) เพราะยังคงมีการจัดการระบายอากาศช่วยให้การอบแห้งดำเนินต่อไปได้บางส่วน ผลที่ได้คือสามารถลดระยะเวลาในกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟเฉลี่ยต่อรุ่นลง 8 วัน ดังที่ระบุไว้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่ว่า การอบแห้งด้วยการควบคุมสภาวะอย่างเหมาะสมจะเร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้อบตามธรรมชาติอย่างเดียว นอกจากนี้ด้านเวลาแล้ว คุณภาพของเมล็ดกาแฟหลังอบก็มีความสม่ำเสมอและอยู่ในเกณฑ์ที่ดีทุกครั้ง ไม่พบปัญหาเมล็ดบางส่วนที่ยังไม่แห้งหรือความชื้นเกินมาตรฐาน ซึ่งเดิมอาจเกิดขึ้นได้เมื่ออบแบบดั้งเดิมโดยไม่มีเครื่องมือการตรวจวัดที่เป็นมาตรฐาน และการที่เมล็ดทุกส่วนถูกอบจนได้ความชื้นประมาณ 12% โกล้เคียงกันทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ ส่งผลดีต่อขั้นตอนการคั่วและรสชาติของกาแฟในที่สุด อีกทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงการเกิดเชื้อราและการเน่าเสียของเมล็ดระหว่างการเก็บพักหลังอบแห้ง

### 5.2.3 ด้านแรงงานและการปฏิบัติงานของผู้ใช้งาน

ระบบ IoT ที่ติดตั้งช่วยลดภาระงานของแรงงานคนอย่างเป็นรูปธรรม ดังที่ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความถี่ในการเข้าไปตรวจสอบโรงอบแห้งลดลงจากหลายครั้งต่อวันเหลือเพียงประมาณวันละครั้งหรือน้อยกว่า ผู้ปฏิบัติงานสามารถตรวจเช็คสถานะต่างๆ ผ่านสมาร์ตโฟนหรือคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้ไม่ต้องเฝ้าดูแลอย่างใกล้ชิดตลอดเวลาเหมือนในอดีต กิจกรรมที่ต้องทำซ้ำๆ เป็นประจำ (routine) เช่น การวัดความชื้นเมล็ดหรือการพลิกกลับเมล็ดกาแฟ ถูกทดแทนด้วยระบบอัตโนมัติและการออกแบบการไหลเวียนอากาศภายในที่ดีขึ้น ผู้ปฏิบัติงานจึงมีเวลาไปทำงานอื่นที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตหรือการเกษตรส่วนอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ การที่ระบบมีการแจ้งเตือนและแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ตยังช่วยลดความผิดพลาดจากมนุษย์ (Human Error) ที่อาจลืมหรือมองข้ามการตรวจเช็คบางอย่าง ความสม่ำเสมอของการควบคุมโดยระบบอัตโนมัติทำให้งานของแรงงานคนง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพขึ้น กล่าวโดยสรุปคือแรงงานคนยังคงมีบทบาทในการดูแลภาพรวมและจัดการขั้นตอนที่ระบบอัตโนมัติไม่ครอบคลุม แต่ภาระงานโดยรวมลดลงและความสะดวกสบายในการทำงานเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยี IoT มีศักยภาพสูงในการปรับปรุงกระบวนการอบแห้ง เมล็ดกาแฟในระดับชุมชน ดังนั้นเพื่อให้เกิดการประยุกต์ใช้จริงอย่างยั่งยืนและต่อยอดองค์ความรู้ไปในวงกว้าง ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

### 5.2.1 การนำระบบไปใช้จริงในชุมชน

ควรมีการถ่ายทอดองค์ความรู้และฝึกอบรมเกษตรกรหรือผู้ปฏิบัติงานในชุมชนอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับวิธีการติดตั้ง ใช้งาน และบำรุงรักษาระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการใช้งานจริง ระหว่างการใช้งานจริงควรมีคู่มือหรือมาตรการรองรับในกรณีที่ระบบขัดข้อง (เช่น การสลับมาใช้งานแบบแมนวอลชั่วคราว) เพื่อป้องกันความเสียหายของผลผลิต นอกจากนี้ ควรพิจารณาปรับปรุงตัวโครงสร้างโรงอบแห้งให้มีความทนทานและเหมาะสม เช่น การป้องกันน้ำฝนรั่วซึม การจัดแหล่งพลังงานสำรอง (แบตเตอรี่หรือโซลาร์เซลล์เพิ่มเติม) สำหรับจ่ายไฟให้ระบบ IoT ในกรณีไฟฟ้าดับ ฯลฯ เพื่อให้การใช้งานจริงเป็นไปอย่างราบรื่น

### 5.2.2 การพัฒนาระบบเพิ่มเติมในอนาคต

จากประสบการณ์ในการวิจัยครั้งนี้ สามารถเสนอแนวทางการพัฒนาต่อยอดได้หลายประการ เช่น (1) เพิ่มเซ็นเซอร์วัดแสงแดดหรือปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ เพื่อให้ระบบรับรู้สถานะภายนอกได้ล่วงหน้าและปรับการควบคุมให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เช่น หากแสงแดดแรงมากอาจปรับลดการระบายอากาศเพื่อกักเก็บความร้อน หรือหากแดดอ่อนและความชื้นสูงอาจเพิ่มรอบการทำงานของพัดลม เป็นต้น (2) พัฒนาระบบการแจ้งเตือน (Alert System) ส่งไปยังผู้ดูแลผ่านทางแอปพลิเคชันมือถือหรือ SMS เมื่อมีเหตุการณ์สำคัญ เช่น ความชื้นหรืออุณหภูมิอยู่นอกช่วงที่กำหนด หรือเมื่อต้องมีการดำเนินการจากมนุษย์ (เช่น เมล็ดแห้งถึงระดับที่ต้องนำออกจากโรงอบแล้ว) ระบบแจ้งเตือนนี้จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานตอบสนองได้ทัน่วงทีและเพิ่มความมั่นใจในการควบคุมระยะไกล; (3) การต่อยอด IoT สู่กระบวนการอื่นๆ ในการแปรรูปทางการเกษตร เช่น การอบแห้งผลผลิตชนิดอื่น (พริก เห็ด สมุนไพร เป็นต้น) ซึ่งอาจต้องปรับแต่งเงื่อนไขการควบคุมตามลักษณะของวัสดุ แต่สามารถใช้โครงสร้างพื้นฐานของระบบที่พัฒนานี้เป็นฐานได้ ผลการถ่ายทอดองค์ความรู้จากงานวิจัยนี้คาดว่าจะช่วยให้ชุมชนสามารถนำเทคโนโลยี IoT ไปปรับใช้ให้เกิดประโยชน์จริง และเกิดการต่อยอดนวัตกรรม การแปรรูปในภาคการเกษตรอื่นๆ ในอนาคต ตลอดจนสอดคล้องกับเป้าหมายในการสร้างความยั่งยืนให้แก่ชุมชนทั้งทางด้านเศรษฐกิจและองค์ความรู้ทางเทคโนโลยี สำหรับการวิจัยในอนาคตควรมีการศึกษาประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งระบบ IoT ในกระบวนการอบแห้งอย่างละเอียด เช่น เปรียบเทียบต้นทุนอุปกรณ์กับมูลค่าเพิ่มของผลผลิตที่ได้หรือการประหยัดแรงงานที่เกิดขึ้น เพื่อยืนยันถึงความเหมาะสมในการลงทุนในระดับกว้างขวาง นอกจากนี้ อาจพิจารณา

เทคนิคการวิเคราะห์เชิงข้อมูลและการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) เข้ามาช่วยปรับปรุงการควบคุมกระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยอัตโนมัติ เช่น การสร้างโมเดลทำนายความชื้นของเมล็ดจากสภาพอากาศและประวัติข้อมูล เพื่อให้ระบบ IoT สามารถวางแผนการอบแห้งหรือปรับการทำงานล่วงหน้าได้อย่างชาญฉลาดยิ่งขึ้น สุดท้ายนี้ การสร้างเครือข่ายการเรียนรู้ระหว่างชุมชนผู้ใช้งานหลายๆ แห่งก็เป็นสิ่งที่น่าส่งเสริม เพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์และปรับปรุงนวัตกรรมให้เหมาะสมกับบริบทที่หลากหลาย อันจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพการผลิตกาแฟไทยและผลผลิตการเกษตรอื่นๆ ได้อย่างยั่งยืนต่อไป

### บรรณานุกรม

- [1] “ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ | กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน”. Available at: <https://webkc.dede.go.th/testmax/node/386>. [สืบค้น: 22 ตุลาคม 2022]
- [2] สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, “สถานการณ์การผลิตกาแฟ”, 2563, Available at: [https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/05/สํานกการณํกกาแฟ\\_พฤษภาคม63.pdf](https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/05/สํานกการณํกกาแฟ_พฤษภาคม63.pdf). [สืบค้น: 22 ตุลาคม 2022]
- [3] จ. จุฑาภรณ์ แก้วสุด, “การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการประยุกต์ใช้แนวคิดลีน กรณีศึกษา: โรงงานผลิตถั่วม้อย่าง จ. สงขลา”, Thesis, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2019. Available at: <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2016/17319>. [สืบค้น: 1 เมษายน 2024]
- [4] “การเขียนผังงาน (Flowchart) - การจัดการความรู้ (KM)”, 21 สิงหาคม 2019. Available at: <https://www2.si.mahidol.ac.th/km/knowledgeassets/kmexperience/kmarticle/10008/>. [สืบค้น: 2 เมษายน 2024]
- [5] “คู่มือเบื้องต้นในการเก็บเกี่ยวและแปรรูปกาแฟ”, ECHOcommunity. Available at: <https://www.echocommunity.org/resources/dc7d7a6b-6835-4121-9a06-fdb5aff8b3f6>. [สืบค้น: 6 เมษายน 2025]
- [6] “ความชื้น กับเมล็ดกาแฟ”. Available at: [https://www.bluekoff.com/Article/ความชื้น\\_กับเมล็ดกาแฟ](https://www.bluekoff.com/Article/ความชื้น_กับเมล็ดกาแฟ). [สืบค้น: 5 เมษายน 2025]
- [7] admin, “Understanding Water Activity in Relation to Green Coffee and Quality Control | SCITH”, 4 มีนาคม 2021. Available at: <https://www.scith.coffee/2021/03/04/water-activity/>. [สืบค้น: 5 เมษายน 2025]
- [8] J. Tétreault, “Green Bean Coffee Moisture For Roasting”, 12 มีนาคม 2024. Available at: <https://nucleuscoffee.com/en/blogs/cafe/green-coffee-humidity>. [สืบค้น: 5 เมษายน 2025]
- [9] ทิพย์ ไกรทอง, ปิยนุช นาคะ, ปานหทัย นพชินวงศ, เสรี อยู่สถิตย, และ ลิลลี่ พรานสุร, “การเก็บรักษาเมล็ดกาแฟต่อการเข้าทำลายของด้วงกาแฟและสารออกคราทอกซิน เอ (Ochratoxin A) ในเมล็ดกาแฟ”, *กรมวิชาการเกษตร*, 2020, Available at: <https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/10/การเก็บรักษาเมล็ดกาแฟ.pdf>. [สืบค้น: 1 ธันวาคม 2024]

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- [10] S. Aung Moon, S. Wongsakul, H. Kitazawa, และ R. Saengrayap, “Influence of Post-Harvest Processing and Drying Techniques on Physicochemical Properties of Thai Arabica Coffee”, *AgriEngineering*, ปี 6, ฉบับที่ 3, Art. ฉบับที่ 3, ก.ย. 2024, doi: 10.3390/agriengineering6030129. Available at: <https://www.mdpi.com/2624-7402/6/3/129>. [สืบค้น: 5 เมษายน 2025]
- [11] “เครื่องวัดความชื้นกาแฟ | MISTER LEE’S”, 6 กุมภาพันธ์ 2015. Available at: <https://misterlees.com/2015/02/06/เครื่องวัดความชื้นกาแฟ/>. [สืบค้น: 5 เมษายน 2025]
- [13] “Moisture content detection in green coffee beans with the QSorter® Explorer”, *QualySense*. Available at: <https://www.qualysense.com/blog/coffee-moisture-content>. [สืบค้น: 5 เมษายน 2025]
- [14] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, “ประกาศมาตรฐานสินค้าเกษตรสำหรับเมล็ดกาแฟ โรบัสต้า (มกษ. 5700-2561) ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551”, 2561. Available at: <https://www.opsmoac.go.th/saraburi-manual-files-431491791810>. [สืบค้น: 23 เมษายน 2025]
- [15] “Elevating the Quality of Arabica Coffee Beans with Synchrotron Light Technology”. Available at: [https://www.sri.or.th/en\\_web/hotnews/elevating-the-quality-of-arabica-coffee-beans-with-synchrotron-light-technology.html](https://www.sri.or.th/en_web/hotnews/elevating-the-quality-of-arabica-coffee-beans-with-synchrotron-light-technology.html). [สืบค้น: 5 เมษายน 2025]
- [16] Green, “โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์”, *iEnergyGuru*, 11 มกราคม 2021. Available at: <https://ienergyguru.com/2021/01/โรงอบแห้งพลังงานแสง/>. [สืบค้น: 16 มีนาคม 2024]
- [17] V. M. B. Soriano และ F. L. Aguirre, “Developing a solar dryer for coffee”, *LEISA Mag.*, น. 24–25, 2005, Available at: <https://edepot.wur.nl/91838>. [สืบค้น: 5 เมษายน 2025]
- [18] Admin, “That ‘Internet of Things’ Thing”, *RFID JOURNAL*, 22 มิถุนายน 2009. Available at: <https://www.rfidjournal.com/expert-views/that-internet-of-things-thing/73881/>. [สืบค้น: 5 เมษายน 2025]
- [19] โภคี บุญนรากร, “ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที”, Thesis, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2021. Available at: <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2016/17309>. [สืบค้น: 22 ตุลาคม 2022]

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- [20] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, และ M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions”, *Future Gener. Comput. Syst.*, ปี 29, ฉบับที่ 7, น. 1645–1660, ก.ย. 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X13000241>. [สืบค้น: 5 เมษายน 2025]
- [21] R. Ranokphanuwat, “How IoT Works”, *Medium*, 13 พฤษภาคม 2020. Available at: <https://medium.com/iot-innovation-lab/how-iot-works-b869325b67cc>. [สืบค้น: 22 ตุลาคม 2022]
- [22] ท. ภูริรักษ์, “เอกสารประกอบการสอนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น”. Available at: [https://dsdi.msu.ac.th/articles/iot/books/microcontroller/TNP\\_Unit\\_1.pdf](https://dsdi.msu.ac.th/articles/iot/books/microcontroller/TNP_Unit_1.pdf). [สืบค้น: 16 มีนาคม 2024]
- [23] “การสร้างแอปพลิเคชันเพื่อควบคุมสิ่งประดิษฐ์ด้วย Blynk”. Available at: <http://suwitkiravittaya.eng.chula.ac.th/B2i2019BookWeb/blynkapp1.html>. [สืบค้น: 16 มีนาคม 2024]
- [24] ศ. ศิริชนะ, อ. นามเขต, อ. ทิบุญญา, ป. สมศิลา, และ ท. พุ่มชุมพล, “การเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์”, *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, ปี 4, ฉบับที่ 2, Art. ฉบับที่ 2, ต.ค. 2022, Available at: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite/article/view/247403>. [สืบค้น: 22 ตุลาคม 2022]
- [25] ช. ไชยวงศ์, ธ. ลิ้มสุวรรณ, ร. คำหวาน, และ ศ. เป็ดสุวรรณ, “การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบ IoT”, *วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคใต้ 1*, ปี 6, ฉบับที่ 2, Art. ฉบับที่ 2, ธ.ค. 2021, Available at: [https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/csnp\\_veis1/article/view/244010](https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/csnp_veis1/article/view/244010). [สืบค้น: 22 ตุลาคม 2022]
- [26] P. Pontecha, “การอบแห้งปลานิลด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก”, *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, ปี 26, ฉบับที่ 2, Art. ฉบับที่ 2, ก.ย. 2020, Available at: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/TSAEJ/article/view/236238>. [สืบค้น: 28 ตุลาคม 2022]

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- [27] พ. ปรีองาม, ศ. ปฐวีรัตน์, และ ว. ชยประเสริฐ, “การประยุกต์ใช้โรงเรือนปลูกพืชสำหรับ อบแห้งกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์”, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี*, ปี 21, ฉบับที่ 3, Art. ฉบับที่ 3, ธ.ค. 2019, Available at: [https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sci\\_ubu/article/view/228402](https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sci_ubu/article/view/228402). [สืบค้น: 28 ตุลาคม 2022]
- [28] ป. ศรีประภาคาร, “การจัดการพลังงานชุมชนโดยบูรณาการหน่วยงานรัฐและการส่งเสริมพลังงาน หมุนเวียน ตัวอย่างการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในท้องถิ่น จังหวัดมหาสารคาม”, *วารสาร วิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม*, ปี 1, ฉบับที่ 1, Art. ฉบับที่ 1, 2560, Available at: <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/JIT/article/view/91133>. [สืบค้น: 7 พฤศจิกายน 2022]
- [29] ร. ยงประยูร, “การพัฒนากระบวนการผลิตเห็ดอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบเรือนกระจก โดยการมีส่วนร่วมของวิสาหกิจชุมชน กลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอน้ำขุ่น จังหวัดลำปาง”, *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*, ปี 3, ฉบับที่ 2, น. 133–140, 2015, Available at: <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/JCDLQ/article/view/132381>. [สืบค้น: 1 เมษายน 2024]
- [30] นายพงษ์วี นามวงศ์, “วิจัยและพัฒนาโรงอบแห้งกาแฟกะลาอะราบิกาด้วยพลังงาน แสงอาทิตย์สำหรับเกษตรกร แบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายใน อัตโนมัติ”, กรมวิชาการ เกษตร, 2564. Available at: <https://www.doa.go.th/plan/wp-content/uploads/2023/08/68.pdf>
- [31] ช. มงคล, “การพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตของวิสาหกิจชุมชน กลุ่มสตรีแปรรูปผลไม้ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา”, *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ อุบลราชธานี*, ปี 6, ฉบับที่ 2, น. 99–114, 2016, Available at: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jitubru/article/view/74753>. [สืบค้น: 1 เมษายน 2024]
- [32] ว. จันทร์พรหมณ์, “การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานอยู่ช่อมรณต์ : กรณีศึกษา”, Thesis, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2561. Available at: <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2016/11887>. [สืบค้น: 1 เมษายน 2024]
- [33] G. Jirasilerd และ N. Ponsri, “การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลิ้น เพื่อลดระยะเวลากระบวนการผลิต กรณีศึกษา โรงงานผลิตเส้นขนมจีนหมัก”, *Thai Ind. Eng. Netw. J.*, ปี 9, ฉบับที่ 1, Art. ฉบับที่ 1, มิ.ย. 2023, Available at: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/ienj/article/view/247697>. [สืบค้น: 1 เมษายน 2024]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
การเขียนโค้ดโปรแกรมควบคุมระบบ

## 1. รูปแบบการเขียนโค้ดโปรแกรมด้วยภาษาซี (C/C++) ผ่านแพลตฟอร์ม Arduino IDE

```

/*****
*****
* Project      :   Project_IOT_โรงงานกาแฟ_tiny32_googleSheet_blynk
* Description  :   โปรแกรมการบันทึกค่าไว้ที่ Google Spread Sheet
*              :   กับเซนเซอร์ต่างๆ แล้วแสดงผลและความคุมด้วย Blynk
* Hardware    :   tiny32
* Author      :   Surakiatth@energy.go.th
* Date        :   27/08/2022
* Revision    :   0.1.0
* Rev1.0     :   Initial
*****
*****/

#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <tiny32_v3.h> //for tiny32_v3
#include "otaUpdate.h" // for OTA
#include <EEPROM.h>

long timer_start_set[1] = {0xFFFF};
long timer_stop_set[1] = {0xFFFF};
unsigned char weekday_set[1];

long rtc_sec;
unsigned char day_of_week;

// Fill-in information from your Blynk Template here
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPLKvnxSJ9F"
#define BLYNK_DEVICE_NAME "Tiny32 IoT"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "T2aK8Hzbm51nBARYVfMpxPeyPSHw-0nS"
#define BLYNK_FIRMWARE_VERSION "0.1.0"
#define BLYNK_PRINT Serial
#define APP_DEBUG
#include "BlynkEdgent.h"
#include <TimeLib.h>
#define RELAY_PIN 14 // ความคุม เปิด-ปิด ไฟแสดงสถานะสีน้ำเงิน

tiny32_v3 mcu;
BlynkTimer timer;

//Change SSID and password of WiFi router here
const char* ssid = "IoT WiFi by MOEN";

```

```

const char* password = "0937574031";

String GOOGLE_SCRIPT_ID =
"AKfycbzys_f7L03oH8026gUI5NIMV1GsQjXskmESFVKJRst65eGq14Gtr3AgxcDFwKsJ4o
vLLg"; //Change Deployment ID here

const char* root_ca =
"-----BEGIN CERTIFICATE-----\n"
"MIIDujCCAqKgAwIBAgILBAAAAAABD4Ym5g0wDQYJKoZIhvcNAQEFBQAwTDEgMB4G\n"
"A1UECXMXR2xvYmFsU2l1bnBiBSb290IENBIC0gUjIxZzARBgNVBAoTCkdsb2JhbFNp\n"
"Z24xEzARBgNVBAMTCkdsb2JhbFNpZ24wHhcNMjYxMjE1MDgwMDAwWWhcNMjE1\n"
"MDgwMDAwWjBMMSAwHgYDVQQLExdHbG9iYWxTaWduIFJvb3QgQ0EgLSBSMjE1\n"
"A1UEChMKR2xvYmFsU2l1bnBiBSb290IENBIC0gUjIxZzARBgNVBAMTCkdsb2JhbFNp\n"
"hvcNAQEBBQADggEPADCCAQoCggEBBAKbPJA6+Lm8omUVCxKs+IVSbC9N/hHD6ErPL\n"
"v4dfxn+G07IwXNb9r-fF730X4YJYJkhD10FPe+3t+c4isUoh7SqBKSaZeqKeMWhG8\n"
"eoLrvozps6yWJQeXSpkqBy+0Hne/ig+1AnwblrjFuTosvNYSuetZfeLQBoZfXk1q\n"
"tTleiDTsvHgMCJiEbKjNS7SgfQx5TfC4LcshytVsw33hoCmEofnT1EnLJGKRILzd\n"
"C9XZzPnqJworc5HGnRusyMvo4KD0L5CLTfuvNhv2GXqF4G3yYR0IXJ/gkwpR14pa\n"
"zqr1feqCapgvdzZX99yqWATXgABYUr6P6TqBwMhAo6CygPCm48CAwEAAoBnDCB\n"
"mTAOBgNVHQ8BAf8EBAMCAQYwDwYDVR0TAQH/BAUwAwEB/zAdBgNVHQ4EFgQUm+IH\n"
"V2ccHsBqBt5ZtJot39wZhi4wNgYDVR0fBC8wLTARoCmgJ4Y1aHR0cDovL2Nybc5n\n"
"bG9iYWxzawduLm5ldC9yb290LXIyLmNybdAfbgNVHSMEGDAWgBSb4gdXxwewGoG\n"
"3lm0mi3f3BmGLjANBgkqhkiG9w0BAQUFAA0CAQEAmYFTxoxo14aR70BKuEQLq4Gs\n"
"J0/WwbgcQ3izDJr86iw8bmEbTUsp9Z8FHSbBu0mDAGJFtqkIk7mpM0sYmsL4h4h0\n"
"291xNBrBVNpGP+DTKqttVCL10mLNIG+6KYnX3ZHu01yiPqFbQfXf5WRDLenV0avS\n"
"ot+3i9DAgBkcRcAtj0j4LaR0VknFBbVPFd5uRHg5h6h+u/N5GJG79G+dwfCMNYxd\n"
"AfvDbbnvRG15RjF+Cv6pgsH/76tuIMRQyV+dTZsXjAzlAcmgQWpzU/q1ULRuJQ/7\n"
"TBj0/VLZjmmx6BEP3ojY+x1J96re1c8geMJgEtslQIxq/H5COEBkEveegeGTLg==\n"
"-----END CERTIFICATE-----\n";

/**/ Add ***/
#define WIFI_IP          V100 /**/ String IP

void sendData(String params);
void ReadSensor(void);
void condition(void);

WiFiClientSecure client; //ประกาศตัวแปร Object WiFi Client

uint8_t wifistatus; //ตัวแปรสำหรับตรวจสอบสถานะของการเชื่อมต่อ WiFi
uint8_t id_1 = 1; //Address of XY-MD02 sensor module, sensor temp_1
& humi_1
uint8_t id_2 = 2; //Address of XY-MD02 sensor module, sensor temp_2
& humi_2

```

```

uint8_t id_3 = 3;    //Address of XY-MD02 sensor module, sensor temp_3
& humi_3
uint8_t id_4 = 4;    //Address of XY-MD02 sensor module, sensor temp_4
& humi_4
uint8_t id_5 = 5;    //Address if PZEM-016, sensor AC meter
float volt, amp, power, freq, pf;
uint16_t energy;
float energy_kW;

int cnt = 0;        //ตัวแปรนับสำหรับการส่งค่าไปขัง google sheet
int cnt_loop = 0;  // ตัวแปรนับรอบ loop เพื่อ reboot อุปกรณ์

//define the number of bytes you want to access
#define EEPROM_SIZE 512

//EEPROM Address
#define upper_humidity_eep 0 //4 bytes -> 0x00 - 0x03
#define lower_humidity_eep 4 //4 bytes -> 0x04 - 0x07
#define timer_start_set_eep 8 //4 bytes -> 0x08 - 0x11
#define timer_stop_set_eep 12 //4 bytes -> 0x12 - 0x19
#define google_record_eep 16//4 bytes -> 0x12 - 0x19

float upper_humidity; // ค่าความชื้นค่าสูง *****
float lower_humidity; // ค่าความชื้นค่าต่ำ *****

float google_record, google_cal;

//#####
#####
BLYNK_WRITE(V19) //กำหนด Blynk Visual PIN
{
  upper_humidity = param.asInt();
  Serial.printf("upper_humidity => %.1f\r\n", upper_humidity);
  EEPROM.writeFloat(upper_humidity_eep, upper_humidity);
  EEPROM.commit();
}
//#####
#####
BLYNK_WRITE(V20) {
  lower_humidity = param.asInt();
  Serial.printf("lower_humidity => %.1f\r\n", lower_humidity);
  EEPROM.writeFloat(lower_humidity_eep, lower_humidity);
  EEPROM.commit();
}

```

```

#####
//#####
#####
BLYNK_WRITE(V21) // Timer 1
{
  unsigned char week_day;

  TimeInputParam t(param);

  if (t.hasStartTime() && t.hasStopTime() )
  {
    timer_start_set[0] = (t.getStartHour() * 60 * 60) +
(t.getStartMinute() * 60) + t.getStartSecond();
    timer_stop_set[0] = (t.getStopHour() * 60 * 60) +
(t.getStopMinute() * 60) + t.getStopSecond();

    Serial.println(String("Start Time: ") +
                    t.getStartHour() + ":" +
                    t.getStartMinute() + ":" +
                    t.getStartSecond());

    Serial.println(String("Stop Time: ") +
                    t.getStopHour() + ":" +
                    t.getStopMinute() + ":" +
                    t.getStopSecond());

    for (int i = 1; i <= 7; i++)
    {
      if (t.isWeekdaySelected(i))
      {
        week_day |= (0x01 << (i-1));
        Serial.println(String("Day ") + i + " is selected");
      }
      else
      {
        week_day &= (~(0x01 << (i-1)));
      }
    }

    weekday_set[0] = week_day;
  }
  else
  {
    timer_start_set[0] = 0xFFFF;
    timer_stop_set[0] = 0xFFFF;
  }
}

```

```

EEPROM.writeFloat(timer_start_set_eep, timer_start_set[0]);
EEPROM.writeFloat(timer_stop_set_eep, timer_stop_set[0]);
EEPROM.commit();
}
//#####
#####
BLYNK_WRITE(V22) // button for Energy PZEM-016 Reset
{
  int Reset_energy = param.asInt();
  if(Reset_energy == 1)
  {
    Serial.println("##### Reset PZEM-016 : Energy #####");
    mcu.buzzer_beep(3);
    vTaskDelay(1000);
    mcu.PZEM_016_ResetEnergy(id_5);
  }
  else {Reset_energy=0;}
}

//#####
#####
BLYNK_WRITE(V23) {
  google_record = param.asInt();
  Serial.printf("google loop record => %.1f\r\n", google_record);
  EEPROM.writeFloat(google_record_eep, google_record);
  EEPROM.commit();
}

//#####
#####
BLYNK_WRITE(V24) // Push button for reboot
{
  int Reboot_swt = param.asInt();
  if(Reboot_swt == 1)
  {
    Serial.println("##### PUSH Reboot #####");
    mcu.buzzer_beep(3);
    vTaskDelay(1000);
    ESP.restart();
  }
  else {Reboot_swt=0;}
}

//#####
#####
BLYNK_WRITE(InternalPinRTC)

```

```

{
  const unsigned long DEFAULT_TIME = 1357041600; // Jan 1 2013
  unsigned long blynkTime = param.asLong();

  if (blynkTime >= DEFAULT_TIME)
  {
    setTime(blynkTime);

    day_of_week = weekday();

    if ( day_of_week == 1 )
      day_of_week = 7;
    else
      day_of_week -= 1;

    rtc_sec = (hour()*60*60) + (minute()*60) + second();

    Serial.println(blynkTime);
    Serial.println(String("RTC Server: ") + hour() + ":" + minute() +
    ":" + second());
    Serial.println(String("Day of Week: ") + weekday());
  }
}
//#####
#####
BLYNK_CONNECTED()
{
  Blynk.sendInternal("rtc", "sync");
}
//
//#####
##
void checkTime()
{
  Blynk.sendInternal("rtc", "sync");
}
//
//#####
##
float t1, t2, t3, t4; //ตัวแปรเก็บค่าอุณหภูมิ
float h1, h2, h3, h4; //ตัวแปรเก็บค่าความชื้น
//float t6,h6; //เก็บค่าเฉลี่ยของความชื้นและอุณหภูมิภายใน
bool relay_status = 0; //ตัวแปรสถานะการทำงานของ relay
//#####
#####

```

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("**** IoT _Coffee Rev. 0.1.0 **** \n");
  mcu.XY_MD02_begin(RXD2, TXD2);
  mcu.PZEM_016_begin(RXD2, TXD2);
  mcu.library_version();
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT); // กำหนด PIN 14

  Serial.println("Info: Connecting Wi-Fi");
  uint8_t _error_cnt = 0;
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.print("Connecting");

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(1000);
    if (_error_cnt++ > 60) // more than 60 second if can't connect to
wifi, system will restart
    {
      Serial.printf("\n Error: Can't connect to wifi\r\n");
      ESP.restart();
      mcu.buzzer_beep(3);
    }
  }

  Serial.println("Connected \n");
  Serial.print(" SSID: ");
  Serial.println(WiFi.SSID());
  Serial.print(" IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());

  otaUpdateFunction(); //call OTA function
  mcu.buzzer_beep(2);
  vTaskDelay(45000);

  mcu.buzzer_beep(4);
  vTaskDelay(1000);

  Blynk.begin("T2aK8Hzbm51nBARYvFmpxPeyPSHw-0nS", "IoT WiFi by MOEN",
"0937574031"); //เริ่มการเชื่อมต่อ Blynk Server
  bool blynk_result = Blynk.connected();
  uint8_t blynk_cnt = 0;

  while (blynk_result == false) {

```

```

    delay(1000);
    Serial.print(".");
    if (blynk_cnt++ > 60) // more than 60 second if can't connect ,
system will restart
    {
        Serial.println("Error: Can't connect to Blynk server\r\n");
        Serial.println(" **** System will restart\r\n");
        ESP.restart();
        mcu.buzzer_beep(3);
    }
}

Serial.println("Blynk Connected\n");
mcu.buzzer_beep(2);
vTaskDelay(1000);

Serial.println("**** EEPROM read ****");
EEPROM.begin(EEPROM_SIZE);
/* EEPROM read */
upper_humidity = EEPROM.readFloat(upper_humidity_eep);
lower_humidity = EEPROM.readFloat(lower_humidity_eep);
timer_start_set[0] = EEPROM.readFloat(timer_start_set_eep);
timer_stop_set[0] = EEPROM.readFloat(timer_stop_set_eep);
google_record = EEPROM.readFloat(google_record_eep);

/* ตรวจสอบว่าค่าอ่านได้ถูกต้อง ถ้าไม่ถูกต้องจะกำหนดค่า default ให้กับ EEPROM */
if (isnan(upper_humidity) || isnan(lower_humidity) || (upper_humidity
== 0) || (lower_humidity == 0)) {
    Serial.println("Write default humidity to EEPROM !!!\r\n");
    EEPROM.writeFloat(upper_humidity, 60.0);
    EEPROM.writeFloat(lower_humidity, 40.0);
    EEPROM.commit();
}

Serial.printf("EEPROM Upper humidity = %.1f\r\n", upper_humidity);
Serial.printf("EEPROM Lower humidity = %.1f\r\n", lower_humidity);

timer.setInterval(10000L, checkTime);
vTaskDelay(1000);
}

void loop() {
    timer.run();
    serverOTA.handleClient(); // OTA function
}

```

```

static int _error_wifi = 0; //ตัวแปรสำหรับนับ ใช้ตรวจสอบการเชื่อมต่อกับWiFi router ที่เกิด
การ error
/**/ ตรวจสอบการเชื่อมต่อกับWiFi router ***/
wifistatus = WiFi.status();
if (wifistatus == WL_CONNECTED) {
    _error_wifi = 0; //ทำการรีเซตค่าตัวแปร _error_wifi
    serverOTA.handleClient(); //ตรวจสอบ OTA update

    sprintf(string, "IP: %s", WiFi.localIP().toString().c_str());
    Blynk.virtualWrite(WIFI_IP, string);

} else {
    _error_wifi++; //เพิ่มค่าตัวแปรไปที่ละ 1
    Serial.printf("Warning: WiFi lost connection [%d/12]\r\n",
_error_wifi);
}

/**/ ถ้าเชื่อมต่อไม่ได้เป็นจำนวน 12 ครั้ง หรือประมาณ 1 นาที ตามเวลา loop ให้ทำการรีเซตระบบใหม่ ***/
if (_error_wifi >= 12) {
    Serial.println("Error: can't connect network, tiny32 will reset
board");
    mcu.buzzer_beep(3);
    ESP.restart(); //คำสั่งในการรีเซตบอร์ด tiny32
}

static int error_blynk = 0; //ตัวแปรสำหรับนับ ใช้ตรวจสอบการเชื่อมต่อกับblynk server ที่เกิด
การ error

/**/ ตรวจสอบการเชื่อมต่อกับblynk server ***/
bool blynk_status = Blynk.connected();
if (blynk_status == true) //if (blynk_status == true)
{
    error_blynk = 0; //ทำการรีเซตค่าตัวแปร error_blynk
} else {
    error_blynk++; //เพิ่มค่าตัวแปรไปที่ละ 1
    Serial.printf("Warning: Blynk server lost connection [%d/12]\r\n",
error_blynk);
}

/**/ ถ้าเชื่อมต่อไม่ได้เป็นจำนวน 12 ครั้ง หรือประมาณ 1 นาที ตามเวลา loop ให้ทำการรีเซตระบบใหม่ ***/
if (error_blynk >= 12) {
    Serial.println("Error: can't connect Blynk server, tiny32 will
reset board");
    mcu.buzzer_beep(3);
    ESP.restart(); //คำสั่งในการรีเซตบอร์ด tiny32
}

```

```

}

ReadSensor(); // อ่านเซ็นเซอร์

bool time_set_overflow;

for (int i=0; i<1; i++)
{
    time_set_overflow = 0;

    if ( timer_start_set[i] != 0xFFFF && timer_stop_set[i] != 0xFFFF)
    {
        if ( timer_stop_set[i] < timer_start_set[i] ) time_set_overflow =
1;

        if (((time_set_overflow == 0 && (rtc_sec >= timer_start_set[i])
&& (rtc_sec < timer_stop_set[i])) ||
            (time_set_overflow && ((rtc_sec >= timer_start_set[i]) ||
(rtc_sec < timer_stop_set[i])))) &&
            (weekday_set[i] == 0x00 || (weekday_set[i] & (0x01 <<
(day_of_week - 1) )))) )
        {
            Serial.println("***** TIME
START *****");
            condition();
        }
        else {
            relay_status = 0;
            mcu.Relay(0);
            Serial.println("***** TIME STOP / FAN OFF
*****");
            digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
            delay(1000); }
    }
}

float h6 = ((h1 + h2 + h3) / 3); // ค่าเฉลี่ยความชื้น
float t6 = ((t1 + t2 + t3) / 3); // ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ

google_cal = google_record*6; // รับค่า V23 Blynk มาคำนวณรอบเวลาในการบันทึก google
sheet

//หน่วยเวลาไปการส่ง 30 รอบของ loop (เก็บข้อมูล ทุก 5 นาที)
if (cnt >= google_cal) {
    //Record data to google sheet

```

```

String DataString = "FAN_Status="; //label of row don't have space
bar (ชื่อหัวข้อต้องไม่มีเว้นช่องว่าง*)
DataString += String(relay_status);
DataString += "&Upper_humidity=";
DataString += String(upper_humidity, 2);
DataString += "&Lower_humidity=";
DataString += String(lower_humidity, 2);
DataString += "&Humi_AVG(indoor)=";
DataString += String(h6, 2);
DataString += "&Humidity_4(Outdoor)=";
DataString += String(h4, 2);
DataString += "&Temp_AVG(indoor)=";
DataString += String(t6, 2);
DataString += "&Temperature_4(Outdoor)=";
DataString += String(t4, 2);
DataString += "&Humidity_1="; //ใช้เครื่องหมาย & เป็นตัวแบ่ง row
DataString += String(h1, 2);
DataString += "&Humidity_2=";
DataString += String(h2, 2);
DataString += "&Humidity_3=";
DataString += String(h3, 2);
DataString += "&Temperature_1="; //ใช้เครื่องหมาย & เป็นตัวแบ่ง row
DataString += String(t1, 2);
DataString += "&Temperature_2=";
DataString += String(t2, 2);
DataString += "&Temperature_3=";
DataString += String(t3, 2);
DataString += "&Volt=";
DataString += String(volt, 2);
DataString += "&Amp=";
DataString += String(amp, 2);
DataString += "&Power=";
DataString += String(power, 1);
DataString += "&Energy(kWh)=";
DataString += String(energy_kWh, 3);
DataString += "&Freq=";
DataString += String(freq, 2);
DataString += "&PF=";
DataString += String(pf, 2);
DataString += "&Loop_count=";
DataString += String(cnt_loop);
sendData(DataString);

cnt = 0; //รีเซ็ตค่าในตัวแปร cnt
} else {

```

```

cnt++; //เพิ่มค่าตัวแปร cnt

}

Blynk.virtualWrite(V0, h6);
Blynk.virtualWrite(V1, t1);
Blynk.virtualWrite(V2, h1);
Blynk.virtualWrite(V3, t2);
Blynk.virtualWrite(V4, h2);
Blynk.virtualWrite(V5, t3);
Blynk.virtualWrite(V6, h3);
Blynk.virtualWrite(V7, t4);
Blynk.virtualWrite(V8, h4);
Blynk.virtualWrite(V9, volt);
Blynk.virtualWrite(V10, amp);
Blynk.virtualWrite(V11, power);
Blynk.virtualWrite(V12, energy_kW);
Blynk.virtualWrite(V13, freq);
Blynk.virtualWrite(V14, pf);
Blynk.virtualWrite(V15, t6);
Blynk.virtualWrite(V16, upper_humidity);
Blynk.virtualWrite(V17, lower_humidity);
Blynk.virtualWrite(V18, relay_status);

if (cnt_loop > 8640) // Reboot อุปกรณ์ เมื่อวน loop ครบ 4320 รอบ ประมาณ 12 ชั่วโมง/ครั้ง,
8640รอบ/24ชั่วโมง
{
  Serial.printf("Reboot system every %d Loops \r\n", cnt_loop);
  cnt_loop = 0; //รีเซ็ตค่าในตัวแปร cnt_loop
  mcu.buzzer_beep(3);
  ESP.restart();
} else {
  cnt_loop++; //เพิ่มค่าตัวแปร cnt_loop
  Serial.printf("Info: Count Loop = %d \r\n", cnt_loop);
}

vTaskDelay(3000);
}

void sendData(String params) {
  mcu.buzzer_beep(1);
  HTTPClient http;
  String url = "https://script.google.com/macros/s/" + GOOGLE_SCRIPT_ID
+ "/exec?" + params;
  Serial.print(url);

```

```

Serial.print("Making a request");
http.begin(url, root_ca); //Specify the URL and certificate
int httpCode = http.GET();
http.end();
Serial.println(": done " + httpCode);
}

void ReadSensor(void) {

    Serial.println("##### Read sensor function #####");

    /** ID: 1 **/
    if(mcu.XY_MD02(id_1,t1,h1))
    {
        Serial.printf("Info: Temperature[%d] => %.1f C\r\n",id_1,t1);
        Serial.printf("Info: Humidity[%d]    => %.1f%c\r\n",id_1,h1,37);
    }
    else
    {
        Serial.printf("Error: Can't get data from XY-MD02[%d]
sensor!!!\r\n",id_1);
    }

    /** ID: 2 **/
    if(mcu.XY_MD02(id_2,t2,h2))
    {
        Serial.printf("Info: emperature[%d] => %.1f C\r\n",id_2,t2);
        Serial.printf("Info: Humidity[%d]    => %.1f%c\r\n",id_2,h2,37);
    }
    else
    {
        Serial.printf("Error: Can't get data from XY-MD02[%d]
sensor!!!\r\n",id_2);
    }

    /** ID: 3 **/
    if(mcu.XY_MD02(id_3,t3,h3))
    {
        Serial.printf("Info: Temperature[%d] => %.1f C\r\n",id_3,t3);
        Serial.printf("Info: Humidity[%d]    => %.1f%c\r\n",id_3,h3,37);
    }
    else
    {
        Serial.printf("Error: Can't get data from XY-MD02[%d]
sensor!!!\r\n",id_3);
    }
}

```

```

}

/** ID: 4 */
if(mcu.XY_MD02(id_4,t4,h4))
{
  Serial.printf("Info: Temperature[%d] => %.1f C\r\n",id_4,t4);
  Serial.printf("Info: Humidity[%d]   => %.1f%\r\n",id_4,h4,37);
}
else
{
  Serial.printf("Error: Can't get data from XY-MD02[%d]
sensor!!!\r\n",id_4);
}
/** ID: 5 */
if(mcu.PZEM_016(id_5, volt, amp, power, energy, freq, pf))
//function return: true=success, false=unsuccess
{
  energy_kW = energy*0.001;
  Serial.printf("Info: volt      = %.2fV\r\n",volt);
  Serial.printf("Info: current = %.2fA\r\n",amp);
  Serial.printf("Info: Power    = %.1fW\r\n",power);
  Serial.printf("Info: energy   = %0.3fkWh\r\n",energy_kW);
  Serial.printf("Info: frequency = %0.1fHz\r\n",freq);
  Serial.printf("Info: pf        = %.2f\r\n",pf);
}
else //can't get data from PZEM-016
{
  Serial.printf("Error: Can't get data from PZEM-016!!\r\n");
}
vTaskDelay(2800);
}

//ตรวจสอบค่าอุณหภูมิว่าอยู่ในช่วง Threshold ควบคุมเปิด-ปิดพัดลม และไฟแสดงสถานะตู้น้ำเงิน
void condition(void) {

  float h6 = ((h1 + h2 + h3) / 3); // ค่าเฉลี่ยความชื้น
  float t6 = ((t1 + t2 + t3) / 3); // ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ

  Serial.println("*****");
};
  Serial.printf("Info: Humidity Average (indoor) = %.1f %c\r\n", h6,
'%');
  Serial.printf("Info: Humidity_4 (outdoor) = %.1f %c\r\n", h4, '%');
  Serial.printf("Info: Temperature Average (indoor) = %.1f °C\r\n",
t6);

```

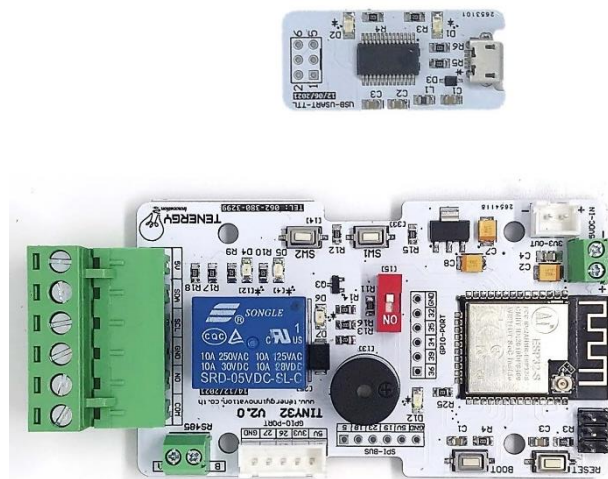
```
Serial.printf("Info: Temperature_4 (outdoor) = %.1f °C\r\n\r\n", t4);
Serial.printf("upper humidity setup=> %.1f %c\r\n", upper_humidity,
'%');
Serial.printf("Lower humidity setup=> %.1f %c\r\n\r\n",
lower_humidity, '%');
Serial.println("*****
*");

if (h6 >= upper_humidity) {
    relay_status = 1;
    mcu.Relay(1);
    Serial.println("***** FAN ON
*****");
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
    delay(1000);
} else if (h6 <= lower_humidity) {
    relay_status = 0;
    mcu.Relay(0);
    Serial.println("***** FAN OFF
*****");
    digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
    delay(1000);
}
}
```

ภาคผนวก ข  
รายการอุปกรณ์

## คุณลักษณะเฉพาะ (Specifications) ของอุปกรณ์หลักสำหรับงานวิจัย

### 1. บอร์ด Tiny32 IoT Board



ภาพที่ ข-1 Tiny32 IoT Board

บอร์ด tiny32 เป็นบอร์ด IoT ขนาดเล็กใช้สำหรับงาน Monitoring หรืองาน control ก็ได้ ตัวบอร์ด tiny32 เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32-S (Wi-Fi+BT SoC Module, 160MHz 32-Bit CPU, 4Mbytes SPI Flash, Bluetooth V4.2 BR/EDR and BLE, Wi-Fi 802.11 b/g/n/e/i, PCB Antenna) เป็นตัวควบคุมและสั่งงาน โดยโมดูลนี้สามารถต่อสายอากาศเสริมความแรงของสัญญาณ WiFi บอร์ด tiny32 ใช้ไฟเลี้ยง 5VDC สำหรับการทำงาน บนบอร์ดจะมี button switch 2 ตัว slid switch 1 ตัว นำไปเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งรับค่าจากผู้ใช้ได้ มี LED building บนบอร์ดอยู่ 3 ตัว (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน) สามารถนำไปเขียนโปรแกรมแสดงผลติดดับ มีพอร์ต SPI bus สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์เช่น SD card module หรือ เซนเซอร์ต่างๆที่เชื่อมต่อแบบ SPI bus มี RELAY อยู่บนตัวบอร์ด 1 ตัวต่อพอร์ต NO-COM เอาไว้ มีพอร์ต I2C สำหรับเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์อื่นได้ และยังมีพอร์ต RS485 สำหรับเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ต่างๆ หรืออุปกรณ์ต่างๆตามมาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนั้นยังมี optional port สำหรับเลือกใช้งานต่างๆ ซึ่งสามารถเลือกใช้เป็น Serial port หรือเป็น I/O port ได้ในการพัฒนาหรือเขียนโปรแกรม จะมี library และ Example

## 1.1 Specifications

- Connector เชื่อมต่อกับ I2C Port / Relay
- พอร์ต RS 485
- Connector เชื่อมต่อกับ
- 5V,3V,Pin26,Pin27,GND, (Pin26,27 เชื่อมเป็นพอร์ต Serial ได้)
- Optional port เชื่อมต่อกับ GND,SW,19,23,18,5 ซึ่งเป็นตำแหน่งของ SPI BUS
- Buzzer
- Bootswitch
- Resetswitch
- Connector สำหรับ uploade program
- ESP32-S
- Optional port เชื่อมต่อกับPin
- 36,39,3532,GND
- DC Input 5V
- 3.3V DC Input 5V
- Tackswitch ต่อกับ Pin33
- Tackswitch ต่อกับ Pin14
- Slid sw Pin15
- Blue LED ต่อกับ Pin4
- Red LED ต่อกับ Pin12

## 2. Sensor วัดอุณหภูมิและความชื้น WTR10-E



ภาพที่ ข-2 Sensor วัดอุณหภูมิและความชื้น WTR10-E

### 2.1 Specifications

- Temperature and Humidity transmitter
- DC power supply : DC 5V-30V
- Output signal : RS485 signal Temperature Measuring Range :  $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$
- Temperature accuracy :  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ( $25^{\circ}\text{C}$ )
- Humidity accuracy :  $\pm 3\% \text{RH}$
- Temperature range :  $0\% \text{RH} - 80\% \text{RH}$
- Temperature resolution :  $0.1^{\circ}\text{C}$
- Humidity resolution :  $0.1\% \text{RH}$
- Equipment power consumption :  $\leq 0.2 \text{W}$
- Communication address : 1-247 can be set, default 1
- Baud rate : configurable, default 9600, 8-bit data, 2-bit stop, no parity
- RS485 communication distance up to 1000 meters.
- Modbus protocol :
  - 0 x 03 : Read keep register
  - 0 x 04 : Read input register
  - 0 x 06 : Write a single keep register
  - 0 x 10 : Write more keep registers

### 3. อุปกรณ์วัดไฟฟ้ากระแสสลับ PZEM-016 (AC meter)



ภาพที่ ข-3 อุปกรณ์วัดไฟฟ้ากระแสสลับ PZEM-016

#### 3.1 Specifications

- Voltage
  - Measuring range : 80~260V
  - Resolution : 0.1V
  - Measurement accuracy : 0.5%
- Current
  - Measuring range : 0~100A
  - Starting measure current : 0.02A
  - Resolution : 0.001A
  - Measurement accuracy : 0.5%
- Active power
  - Measuring range : 0~23kW
  - Starting measure power : 0.4W
  - Resolution : 0.1W
  - Display format :

- When the data is  $< 1000$  W, it display one decimal, such as:  
999.9W
- When the data is  $\geq 1000$ W, it display only integer, such as:  
1000W
- Measurement accuracy : 0.5%
- **Power factor**
  - Measuring range : 0.00~1.00
  - Resolution : 0.01
  - Measurement accuracy : 1%
- **Frequency**
  - Measuring range : 45Hz~65Hz
  - Resolution : 0.1Hz
  - Measurement accuracy : 0.5%
- **Active energy**
  - Measuring range : 0~9999.99kWh
  - Resolution : 1Wh
  - Measurement accuracy : 0.5%
  - Display format :
    - When the data is  $< 10$  kWh, the display unit is Wh (1 kWh=1000 Wh), such as : 9999 Wh
    - When the data is  $\geq 10$  kWh, the display unit is kWh, such as :  
9999.99 kWh
  - Reset energy : use software to reset
  - Communication interface : RS485 interface

#### 4. Solid State Relay 40 DA In DC Out AC



ภาพที่ ข-4 Solid State Relay 40 DA In DC Out AC

##### 4.1 Specification

- Model : SSR-40 DA
- Output voltage : AC 24-380 V.
- Output current : 40 A.
- Input voltage : DC 3-32 V.
- Control Method : DC to AC.
- Mounting Method : Bolts fixed.
- Size : 6.5 x 4.5 x 2.2 cm./ 2.56 x 1.77 x 0.87 inch.
- Fast switching

## 5. Switching 5V 3A



ภาพที่ ข-5 Switching 5V 3A

### 5.1 Specification

- Switching power supply AC 100-220V to DC 5V 3A 15W
- Input Voltage : 100-220VAC
- Output Voltage : 5Vdc
- Output Current : 3A
- Output power : 15W

## 6. Switching 12V 3A



ภาพที่ ข-6 Switching 12V 3A

### 6.1 Specification

- Switching power supply AC 100-220V to DC 12V 3A 36W
- Input Voltage : 100-220VAC
- Output Voltage : 12Vdc
- Output Current : 3A
- Output power : 36W

## 7. ตัวขยายสัญญาณ WiFi TP-Link RE450 AC 1750 Repeater



ภาพที่ ข-7 ตัวขยายสัญญาณ WiFi

### 7.1 Specification

- Standards and Protocols : IEEE802.11ac, IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b AC1750
- Interface : 1 x 10/100Mbps Ethernet Port
- Plug Type : US
- Button : RE (Range Extender) Button, Reset Button, LED Button, Power Button
- Power : N/A
- LED Indicator : Yes
- Weight : 0.20 Kg.
- Dimensions : W x D x H 16.30 x 7.64 x 6.65 cm.
- Power Consumption : 9 W.
- Range Extension : 10,000 Square foot
- Connection Speed : 5GHz: Up to 1300Mbps, 2.4GHz: Up to 450Mbps
- Wireless technology : N/A

- Certification : CE, FCC, RoHS
- System Requirements : Microsoft Windows 98SE, NT, 2000, XP, Vista or Windows 7, 8, 10 and Mac
- Operating Temperature : 0°C ~ 40°C (32°F ~ 104°F)
- Storage Temperature : -40°C ~ 70°C (-40°F ~ 158°F)
- Operating Humidity : 10% ~ 90% (Non-condensing)
- Storage Humidity : 5% ~ 90% (Non-condensing)

ภาคผนวก ค

ข้อมูลอุณหภูมิ, ความชื้นและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

ในการทดลองดำเนินการรวบรวมการอบแห้งเมล็ดกาแฟหลังการปรับปรุงระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นโดยติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบแห้ง รวมถึงอุปกรณ์วัดค่าทางไฟฟ้า (AC meter) เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงของสภาวะระหว่างการอบเมล็ดกาแฟตลอดเวลา โดยการอบแห้งเมล็ดกาแฟในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกาแฟปรัชญา จ.ตรัง ในระยะเวลาช่วงเวลาที่ 27 มกราคม 2568 ถึง วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2568 เป็นเวลาทั้งสิ้น 10 วัน โดยข้อมูลอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ), ความชื้นที่วัด (%RH) และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) ได้ถูกส่งไปบันทึกยังระบบคลาวด์ในรูปแบบของ Google sheet โดยผู้วิจัยได้นำมาแสดงดังตาราง ที่ ค-1, ค-2 และ ค-3 ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลความชื้นเมล็ดกาแฟ ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง 10 วัน

Time	27-01-2025	28-01-2025	29-01-2025	30-01-2025	31-01-2025	01-02-2025	02-02-2025	03-02-2025	04-02-2025	05-02-2025
06:00	86.5	76.5	72.1	73.1	83.1	83.8	82.3	78.6	73.2	88.8
06:15	86.9	76.5	72.8	74.1	81.1	80.4	79.1	78.1	70.4	85.0
06:30	83.3	73.2	70.0	69.9	76.8	79.9	74.2	75.7	65.2	81.7
06:45	82.3	74.9	70.6	68.1	78.5	77.4	75.5	70.8	63.8	77.9
07:00	82.9	73.0	66.7	66.4	75.8	74.3	67.4	71.0	62.0	73.0
07:15	78.2	71.1	67.1	68.2	72.5	73.3	68.4	67.3	59.3	70.8
07:30	77.2	69.8	64.0	62.5	72.6	69.4	66.7	63.7	59.5	68.4
07:45	76.9	67.4	62.7	61.3	67.6	65.6	63.2	61.7	57.4	65.2
08:00	75.9	64.6	61.8	61.6	69.1	66.0	60.8	60.3	53.1	61.8
08:15	73.4	64.8	61.7	58.3	65.1	66.0	58.8	56.7	52.2	58.4
08:30	73.6	66.8	58.4	55.7	63.3	59.7	56.6	53.8	47.6	57.4
08:45	70.7	63.1	58.9	55.8	59.8	58.5	53.9	52.3	46.3	52.8
09:00	67.8	61.4	57.4	54.9	56.5	56.2	50.8	49.9	42.9	49.9
09:15	65.5	59.5	55.6	56.0	55.2	52.6	48.6	47.5	43.3	46.2
09:30	64.0	61.1	52.4	52.8	51.9	51.6	48.7	45.5	38.0	44.4
09:45	63.5	56.7	52.6	50.1	50.8	47.0	44.3	43.6	37.8	39.9
10:00	61.4	55.6	51.7	48.2	48.0	45.7	45.2	37.1	34.3	38.9
10:15	58.7	53.5	51.0	49.0	48.2	47.6	38.1	35.4	33.3	37.0
10:30	59.1	53.3	47.7	48.8	45.4	40.3	37.9	35.9	30.9	32.3

10:45	56.3	50.3	49.6	43.9	43.6	39.3	36.4	24.7	24.0	27.8
11:00	53.9	48.2	44.8	42.0	40.0	37.0	33.8	20.6	19.7	26.3
11:15	54.7	48.0	44.0	41.5	39.8	35.6	32.1	18.7	16.7	23.8
11:30	52.7	45.6	44.4	39.0	40.9	31.3	29.8	18.8	16.1	17.9
11:45	50.0	44.7	44.0	35.9	38.5	28.2	24.2	19.5	16.0	14.0
12:00	51.3	47.3	42.8	38.3	40.0	28.9	22.8	20.0	15.4	15.8
12:15	49.2	45.7	42.3	38.6	41.6	29.7	25.6	19.5	15.0	17.5
12:30	57.4	46.1	40.7	37.2	34.1	30.9	33.4	20.2	15.6	20.8
12:45	54.8	45.0	42.5	48.3	34.5	33.2	35.7	22.9	16.5	20.8
13:00	57.5	45.9	51.7	47.6	36.8	32.5	36.2	26.8	19.4	23.5
13:15	55.6	46.5	51.6	49.1	39.6	39.1	37.1	29.5	18.4	26.9
13:30	52.2	46.9	51.9	46.3	37.4	36.8	29.8	26.7	20.9	27.7
13:45	52.0	47.1	52.8	41.7	36.0	39.8	27.0	26.3	20.5	29.5
14:00	50.2	48.3	43.7	40.4	34.8	41.7	30.3	24.9	21.2	29.4
14:15	50.2	45.4	42.8	38.5	36.0	36.1	32.1	27.2	24.8	29.8
14:30	48.6	48.3	45.2	38.9	37.0	35.0	30.6	27.5	24.0	29.5
14:45	51.1	47.0	42.2	40.7	38.5	33.3	29.6	28.0	29.8	32.1
15:00	50.6	52.7	45.3	41.1	38.0	34.6	32.2	28.0	33.2	29.7
15:15	50.9	52.3	44.2	40.4	40.9	33.8	31.2	30.0	35.2	30.1
15:30	50.6	52.0	42.6	41.0	38.2	35.3	32.0	30.2	33.0	31.6
15:45	49.7	55.9	45.2	40.7	39.6	36.3	33.3	31.0	35.8	33.1
16:00	50.1	48.6	43.8	41.6	41.0	36.6	35.8	33.4	29.0	33.3
16:15	50.9	47.4	42.9	43.0	40.3	35.6	34.8	31.3	26.5	32.4
16:30	49.2	46.2	46.6	40.8	38.6	37.7	33.2	31.3	28.0	33.8
16:45	47.8	49.3	45.8	40.6	41.3	37.3	34.3	34.9	31.6	34.0
17:00	49.5	47.6	46.0	44.8	41.7	38.8	36.4	31.8	32.1	34.5
17:15	51.5	47.8	44.9	44.7	40.7	38.4	37.5	33.8	32.7	33.9
17:30	51.5	48.7	46.2	44.0	40.6	38.7	34.2	34.0	32.8	32.5
17:45	49.6	47.6	48.8	43.2	42.1	41.8	35.6	36.2	34.3	34.4
18:00	50.0	46.1	45.9	44.6	41.1	39.0	38.7	35.7	34.2	34.7

ตารางที่ ค-2 ข้อมูลอุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง 10 วัน

Time	27-01-2025	28-01-2025	29-01-2025	30-01-2025	31-01-2025	01-02-2025	02-02-2025	03-02-2025	04-02-2025	05-02-2025
06:00	38.4	40.2	40.5	38.1	36.6	31.9	31.8	32.6	35.5	35.0
06:15	38.5	39.7	39.9	39.8	35.3	35.5	33.3	31.7	37.5	37.1
06:30	41.2	39.6	41.8	40.9	38.4	34.7	35.9	31.2	37.9	39.5
06:45	40.7	41.0	41.6	40.8	37.8	35.9	33.5	34.4	38.4	35.8
07:00	39.8	40.8	42.1	42.3	39.4	36.1	36.0	34.9	37.3	37.6
07:15	40.3	43.4	42.4	40.8	36.9	38.1	36.9	36.9	40.4	38.9
07:30	38.9	42.0	43.4	43.4	35.6	36.3	37.6	37.3	39.4	36.8
07:45	41.4	42.5	42.5	43.0	40.5	37.2	38.8	37.9	40.3	41.0
08:00	42.7	45.6	43.8	42.6	40.1	39.3	39.5	37.1	41.6	40.5
08:15	43.8	44.0	43.0	44.3	41.5	39.3	39.6	39.9	42.7	43.0
08:30	42.8	42.0	45.7	44.7	41.1	39.0	37.9	39.3	40.6	42.3
08:45	43.3	45.0	45.1	43.6	39.5	40.7	41.5	40.1	41.3	41.6
09:00	45.4	43.3	44.6	39.8	42.3	40.1	46.0	38.1	42.5	42.7
09:15	48.0	46.2	46.5	42.7	45.0	43.9	45.6	41.6	42.4	44.8
09:30	47.7	46.5	46.8	42.8	48.0	45.2	45.7	42.7	45.0	45.4
09:45	47.8	48.6	51.5	45.6	45.9	46.4	49.8	43.9	46.7	47.4
10:00	51.1	48.3	50.6	46.4	48.7	50.9	48.6	47.6	48.7	51.1
10:15	53.0	50.3	50.6	47.9	49.9	51.7	49.0	50.3	49.2	51.3
10:30	52.4	51.4	53.9	48.0	50.9	54.5	53.3	52.4	49.9	52.5
10:45	54.5	52.5	55.1	50.1	52.1	56.2	52.5	53.3	54.7	56.6
11:00	55.8	54.6	57.2	53.2	53.8	57.9	54.7	54.5	56.7	57.3
11:15	58.0	56.6	58.4	53.2	54.3	59.6	56.7	57.6	59.1	57.8
11:30	57.6	54.5	59.1	51.5	56.2	61.5	56.9	60.1	61.5	63.4
11:45	59.1	56.6	59.8	57.3	56.0	63.1	56.7	61.9	63.0	64.5
12:00	60.6	59.4	62.0	57.6	59.7	66.3	59.2	62.9	65.0	65.6
12:15	56.9	60.1	56.7	55.4	55.0	57.0	48.4	59.4	56.8	55.5

12:30	54.0	50.6	57.9	57.5	55.9	57.7	46.3	58.3	53.8	54.5
12:45	55.1	51.1	58.4	53.8	56.0	55.2	46.0	58.2	53.2	54.5
13:00	55.1	50.2	55.5	45.8	55.7	57.1	51.9	56.0	53.3	54.2
13:15	56.7	52.1	53.6	43.5	53.6	56.0	53.0	56.8	53.6	53.3
13:30	57.6	49.8	53.7	45.3	47.6	56.3	56.5	55.2	53.0	51.5
13:45	56.4	59.7	54.8	44.9	47.6	54.9	57.2	58.2	53.6	55.3
14:00	50.2	48.2	58.5	48.5	48.4	46.2	57.4	57.4	52.1	51.5
14:15	50.4	50.6	49.9	48.3	49.1	48.8	47.7	45.6	49.1	49.9
14:30	49.9	50.0	47.9	48.7	49.2	46.2	48.9	47.7	47.9	49.0
14:45	50.3	51.8	49.0	47.0	50.0	47.3	47.6	47.3	49.7	47.7
15:00	50.1	47.2	48.4	47.7	49.2	47.1	46.5	48.9	47.0	48.5
15:15	50.0	47.4	48.8	47.7	47.2	46.2	46.9	47.5	47.4	46.2
15:30	49.6	47.3	49.6	48.3	49.4	47.6	47.7	47.3	49.1	47.9
15:45	50.8	45.3	48.8	49.4	49.2	46.9	47.5	46.3	48.3	48.3
16:00	50.6	50.3	47.3	47.9	49.7	48.5	46.1	47.9	48.4	48.1
16:15	50.4	50.5	47.7	48.9	47.6	45.6	46.4	47.3	46.2	48.7
16:30	50.5	50.6	48.7	49.1	49.2	46.7	48.4	47.2	48.1	51.6
16:45	50.2	48.6	49.1	47.8	48.0	48.4	46.9	45.0	47.7	45.9
17:00	48.5	50.7	49.5	46.5	45.9	47.3	46.2	46.2	45.2	46.5
17:15	47.1	49.0	49.7	47.4	48.2	48.1	44.4	45.9	47.6	48.2
17:30	49.0	48.6	49.7	47.5	47.5	46.5	45.5	45.5	47.8	49.6
17:45	51.4	49.2	48.2	46.8	48.8	45.1	44.5	44.6	47.3	47.3
18:00	50.5	51.6	48.2	46.9	46.5	45.5	46.9	46.7	48.5	48.9

ตารางที่ ค-3 ข้อมูลพลังงานที่ใช้ (kWh) ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง 10 วัน

Time	27-01-25	28-01-25	29-01-25	30-01-25	31-01-25	01-02-25	02-02-25	03-02-25	04-02-25	05-02-25
6:00	48.990	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693
6:15	48.990	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693
6:30	48.990	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693
6:45	48.990	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693
7:00	48.990	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693
7:15	48.990	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693
7:30	48.994	49.382	49.802	50.144	50.409	50.615	50.877	51.066	51.284	51.696
7:45	49.005	49.394	49.813	50.156	50.421	50.627	50.888	51.077	51.296	51.708
8:00	49.016	49.405	49.823	50.167	50.433	50.639	50.898	51.087	51.307	51.720
8:15	49.027	49.417	49.835	50.178	50.445	50.650	50.908	51.098	51.318	51.732
8:30	49.038	49.429	49.845	50.188	50.456	50.660	50.917	51.107	51.328	51.742
8:45	49.049	49.440	49.854	50.198	50.468	50.670	50.926	51.117	51.340	51.753
9:00	49.060	49.451	49.863	50.208	50.478	50.680	50.934	51.126	51.351	51.763
9:15	49.079	49.471	49.881	50.224	50.496	50.697	50.950	51.143	51.371	51.781
9:30	49.082	49.474	49.884	50.227	50.499	50.700	50.953	51.146	51.375	51.784
9:45	49.093	49.486	49.894	50.237	50.508	50.711	50.962	51.155	51.387	51.795
10:00	49.105	49.496	49.904	50.248	50.518	50.721	50.972	51.164	51.399	51.805
10:15	49.116	49.508	49.914	50.258	50.528	50.732	50.982	51.174	51.410	51.816
10:30	49.127	49.519	49.923	50.268	50.537	50.742	50.992	51.184	51.422	51.825
10:45	49.131	49.523	49.926	50.272	50.541	50.746	50.996	51.187	51.426	51.829
11:00	49.150	49.542	49.942	50.289	50.557	50.762	51.012	51.203	51.445	51.844
11:15	49.161	49.554	49.953	50.298	50.567	50.771	51.022	51.213	51.456	51.855
11:30	49.173	49.565	49.964	50.308	50.577	50.780	51.031	51.223	51.468	51.864
11:45	49.185	49.576	49.974	50.317	50.584	50.789	51.041	51.234	51.479	51.875
12:00	49.196	49.588	49.983	50.327	50.585	50.798	51.051	51.244	51.491	51.884
12:15	49.208	49.599	49.993	50.337	50.585	50.809	51.060	51.252	51.503	51.895
12:30	49.219	49.610	50.002	50.347	50.585	50.812	51.064	51.253	51.514	51.904
12:45	49.231	49.622	50.012	50.357	50.585	50.812	51.064	51.253	51.526	51.915

13:00	49.243	49.634	50.021	50.366	50.585	50.812	51.064	51.253	51.537	51.924
13:15	49.254	49.645	50.031	50.377	50.585	50.812	51.064	51.253	51.549	51.936
13:30	49.266	49.657	50.040	50.386	50.585	50.812	51.064	51.253	51.560	51.945
13:45	49.278	49.668	50.050	50.386	50.585	50.812	51.064	51.253	51.572	51.953
14:00	49.285	49.680	50.060	50.386	50.585	50.812	51.064	51.253	51.583	51.956
14:15	49.286	49.691	50.070	50.386	50.585	50.812	51.064	51.253	51.595	51.966
14:30	49.289	49.703	50.079	50.386	50.585	50.812	51.064	51.253	51.605	51.975
14:45	49.300	49.714	50.090	50.386	50.585	50.813	51.064	51.253	51.617	51.984
15:00	49.312	49.726	50.099	50.386	50.585	50.819	51.064	51.253	51.627	51.994
15:15	49.323	49.738	50.109	50.386	50.585	50.827	51.064	51.253	51.639	52.004
15:30	49.335	49.750	50.118	50.386	50.585	50.836	51.064	51.253	51.650	52.014
15:45	49.346	49.761	50.128	50.386	50.586	50.845	51.064	51.253	51.661	52.024
16:00	49.357	49.773	50.137	50.386	50.592	50.854	51.064	51.259	51.672	52.033
16:15	49.369	49.785	50.140	50.397	50.602	50.864	51.064	51.269	51.683	52.043
16:30	49.379	49.796	50.140	50.406	50.612	50.873	51.064	51.279	51.693	52.053
16:45	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693	52.054
16:50	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693	52.054
17:00	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693	52.054
17:10	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693	52.054
17:15	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693	52.054
17:30	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693	52.054
17:45	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693	52.054
18:00	49.379	49.797	50.140	50.406	50.612	50.874	51.064	51.280	51.693	52.054

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายสุรเกียรติ ทองเกียรติ  
รหัสประจำตัวนักศึกษา 6410121008

## วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	พ.ศ. 2552

## ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนการศึกษาระดับปริญญาโทในประเทศ จากกองทุนเงินอุดหนุนจากสัญญาโรงกลั่นปิโตรเลียม  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

## ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

วิศวกรปฏิบัติการ สังกัดกลุ่มส่งเสริมและกำกับกิจการพลังงาน สำนักงานพลังงานจังหวัดสุราษฎร์ธานี