



การวิจัยและพัฒนาประยุกต์ใช้ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ แบบเคลื่อนที่



สำนักพัฒนาพื้นที่ปฏิรูปที่ดิน

กลุ่มวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตร



การวิจัยและพัฒนาระบบการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

กลุ่มวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตร

สำนักพัฒนาพื้นที่ปฏิรูปที่ดิน

สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม

กันยายน 2566

คำนำ

ประเทศไทยเป็นสังคมการเกษตร การถือครองที่ดินมีขนาดเล็กเป็นการเกษตรรายย่อย ต่างคนต่างทำ เกิดความหลากหลายของผลผลิต เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การรวมตัวของเกษตรกรไทยเกิดขึ้นได้ยาก หรือการรวมตัวเกิดขึ้นอาจจะเป็นเพียงกลุ่มที่ไม่มีความเข้มแข็ง เกษตรกรจึงประสบปัญหาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเกษตรกรยังขาดการรวมตัวในการวางแผนการผลิตผลทางการเกษตร ในบางช่วงจึงเกิดปัญหาการล้นตลาดของผลผลิตทางเกษตรนั้น ๆ เพื่อลดกระทบจากการเน่าเสียของผลผลิต อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้นจึงเกิดการแปรรูปในรูปแบบต่าง ๆ มากมาย การตากแดดเป็นวิธีการที่มีต้นทุนต่ำมากที่สุด โรงอบตากแบบเคลื่อนที่ในโครงการวิจัย จัดทำขึ้นเพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้อบตากผลผลิตที่สามารถควบคุมสภาวะภายในให้เหมาะสมกับความต้องการช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของผลผลิตที่นำมาอบตาก คาดหวังให้เทคโนโลยีระบบ IoT ถูกนำไปขยายผลสู่ชุมชนเกษตรกร จะมีส่วนช่วยให้เกษตรกรประยุกต์ใช้กับชุมชนของหรือครัวเรือน อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบคุณผู้บริหารสำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม (ส.ป.ก.) ที่ให้การสนับสนุนในทุกด้าน ๆ ด้าน มีส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนสู่เป้าหมายของงานพัฒนาเชิงคุณภาพ ต่อไป

สำนักพัฒนาพื้นที่ปฏิรูปที่ดิน

กันยายน 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบ IoT ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโรงอบตากฯ ที่จะนำสู่การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงานของโรงอบตากให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ผลวิจัยพบว่า สามารถพัฒนาเครื่องต้นแบบโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุม การทำงาน มีขนาดความกว้าง 120 เซนติเมตร ความยาว 200 เซนติเมตร สูง 163 เซนติเมตร สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ลักษณะของหลังคาเป็นทรงโค้งทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม วัสดุคลุมใสเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนต ทำให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านได้ดี ติดตั้ง ระบบ IoT สำหรับใช้ในการตรวจวัดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในโรงอบตากด้วยเซนเซอร์ DHT21 และ SHT20 ที่ต่อเข้ากับกล่อง IoT Medela อุณหภูมิและความชื้นจะถูกกรายงานและแสดงสถานะขึ้นบนสมาร์ทโฟนผ่านแอปพลิเคชัน Modela IoT และควบคุมให้พัดลมที่ใช้หมุนเวียนอากาศและพัดลมที่ใช้ในการระบายอากาศขึ้นออกสู่ภายนอกโรงอบตากทำงาน ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมให้ภายในโรงอบตากมีอุณหภูมิตามที่ต้องการ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของโรงอบตาก ณ ศูนย์เครื่องจักรกล ตำบลบ้านกลาง อำเภอมะนัง จังหวัดปทุมธานี โดยทำการทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าแบบเต็มพื้นที่ตาก สามารถอบแห้งกล้วยได้ครั้งละ 40 กิโลกรัม พบว่า อุณหภูมิภายในโรงอบตากจะแปรผันกับความเข้มรังสีอาทิตย์ ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระหว่างการทดสอบ 605 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 4 วัน ระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงอบตากอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 45 องศาเซลเซียสตามที่กำหนด

คำสำคัญ: โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์, ระบบ IoT

Abstract

This research studied various information related to solar drying plants and IoT systems that can be applied in drying plants. That will lead to the design and construction of a prototype of a mobile solar drying plant that uses the IoT system to control the operation of the drying plant to be more efficient. The research found that it develops a prototype of a mobile solar drying plant that uses the IoT system to control operations. It has dimensions of width 120 centimeters, length 200 centimeters, height 163 centimeters, and can be moved easily. The roof is curved and made from galvanized steel. The clear covering material is a polycarbonate sheet. Allows sunlight to shine through well. Install an IoT system for measuring and controlling the temperature and humidity of the air inside the drying plant, with DHT21 and SHT20 sensors connected to the Medela IoT box and control the fan used to circulate air and the fan used to exhaust moist air outside the drying plant to work. It can set conditions to control the temperature inside the drying plant as desired.

In this research, the efficiency of the drying plant was tested at the Machinery Center, Ban Klang Subdistrict, Mueang District, Pathum Thani Province. By testing the drying of Namwa bananas in the entire drying area. Can dry 40 kilograms of bananas at a time. It was found that the temperature inside the drying plant varies with the intensity of solar radiation. The average solar radiation intensity during testing was 605 watts per square meter. Using a drying time of 4 days, the developed IoT system can control the temperature inside the drying plant within the specified temperature range of 40 to 45 degrees Celsius.

Keywords: solar drying plant, IoT system

สารบัญเรื่อง

	หน้า
คำนำ	(1)
บทคัดย่อ	(2)
Abstract	(3)
สารบัญเรื่อง	(4)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(7)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 แผนการดำเนินการวิจัย	4
1.6 คณะผู้ดำเนินการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	5
2.2 พื้นฐานการอบแห้งวัสดุ	13
2.3 การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	23
2.4 เทคโนโลยี IoT	27
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
2.6 กรอบแนวคิดการวิจัย	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	38
3.1 การวางแผนกระบวนการงานวิจัย	38
3.2 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน	38
3.3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ	39

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบเก็บข้อมูล	49
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ	57
5.1 อภิปรายผล	57
5.2 สรุป	58
5.3 ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก	62
ภาคผนวก ก	63

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ตารางแผนการดำเนินงานวิจัย	4
2.1	แสดงเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวัน เฉลี่ยต่อปีในระดับต่าง ๆ	10
2.2	ตัวอย่างข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ รายตำบลของอำเภอเมือง ปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี	12
2.3	ตัวอย่างอุณหภูมิของอากาศแนะนำที่ใช้ในการอบแห้ง	22
2.4	ตัวอย่างฮาร์ดแวร์ที่ใช้ประมวลผลสำหรับงาน IoT	29

สารบัญภาพ

รูปภาพที่		หน้า
2.1	สัดส่วนการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในชั้น บรรยากาศและผิวโลก	6
2.2	เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	7
2.3	เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย	7
2.4	เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	8
2.5	แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูล ดาวเทียม ปี 2563	9
2.6	การแปรค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ย ทุกพื้นที่ทั่วประเทศ	11
2.7	การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง	13
2.8	การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง	
2.9	แผนภูมิอากาศชื้นสำหรับช่วงอุณหภูมิ 0 – 50 °C และความดัน 101.325 kPa	14
2.10	แผนภูมิอากาศชื้นสำหรับช่วงอุณหภูมิ 10 – 120 °C และความ ดัน 101.325 kPa	17
2.11	ลักษณะเส้นข้อมูลคุณสมบัติอากาศชื้นต่าง ๆ บนแผนภูมิอากาศชื้น	17
2.12	กระบวนการต่าง ๆ บนแผนภูมิอากาศชื้น	19
2.13	แสดงความชื้นสมดุลของผลิตผลทางการเกษตร	21
2.14	แสดงขั้นตอนของวิวัฒนาการเครื่องอบแห้งผลิตผลโดยใช้พลังงาน แสงอาทิตย์	23
2.15	การตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ	24
2.16	เครื่องอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรงชนิดตู้	24
2.17	โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ แบบพาราโบลา	25
2.18	เครื่องอบแห้งแบบใช้แผงรับแสงอาทิตย์	25
2.19	ตัวอย่างเครื่องอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ระบบ Passive	26

สารบัญภาพ

รูปภาพที่		หน้า
2.20	ตัวอย่างเครื่องอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ระบบ Active	26
2.21	ระบบ IoT & Cloud Computing integration.	30
2.22	เครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	33
2.23	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน	34
2.24	โครงสร้างตู้อบแสงอาทิตย์อัจฉริยะด้วยระบบเทคโนโลยี การเชื่อมต่อขอสรรพสิ่ง	35
2.25	ระบบควบคุมภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	35
2.26	ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการแปรรูปอาหารด้วยระบบ IoT และวงจรภายใน	36
3.1	สรุปขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาระบบประยุกต์ใช้ IoT เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพ	39
3.2	โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ 3 มิติ	40
3.3	การสร้างประกอบชุดโครงสร้างด้านล่างบริเวณส่วนขาและส่วน เสริมความแข็งแรง	41
3.4	ชุดโครงสร้างด้านล่างโรงอบตาก	41
3.5	การสร้างประกอบชุดโครงสร้างด้านบน	42
3.6	ทาสีชุดโครงสร้างด้านบนก่อนทำการหุ้มโพลีคาร์บอเนต	42
3.7	ลักษณะชุดโครงสร้างด้านบนที่ทำการหุ้มโพลีคาร์บอเนตแล้วเสร็จ	43
3.8	การสร้างประกอบชุดถาดตาก	43
3.9	ลักษณะชุดถาดตากผลผลิตภายในโรงอบตาก	43
3.10	ชุดพัดลมระบายอากาศและช่องระบายอากาศ	44
3.11	จุดบริเวณติดตั้งพัดลมภายในโรงอบตาก	44
3.12	จุดบริเวณติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและวัดความชื้นอากาศ ภายในโรงอบตาก	45
3.13	ลักษณะและแอปพลิเคชัน Modela IoT ที่ใช้ในการวิจัย	45
3.14	ลักษณะการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ของโรงอบตาก	46
3.15	ลักษณะการติดตั้งตัวควบคุมการชาร์จและแบตเตอรี่ของระบบ	46

สารบัญภาพ

รูปภาพที่		หน้า
3.16	ลักษณะการติดตั้งตัวจัดการแหล่งที่มาของพลังงานที่สามารถเลือกได้ 2 แหล่ง	46
3.17	ไดอะแกรมการจ่ายพลังงานให้แก่ระบบควบคุม IoT ภายใต้การวิจัย	47
3.18	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบควบคุม IoT ภายใต้การวิจัย	49
3.19	การรับส่งข้อมูลระบบควบคุม IoT ภายใต้การวิจัย	49
4.1	การแปรค่าของความเข้มข้นสีในช่วงเวลาที่ทดสอบวันที่ 16 กรกฎาคม 2566	51
4.2	การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศภายในโรงอบตากเทียบกับอุณหภูมิ แวดล้อมในช่วงเวลาทำการทดสอบ วันที่ 16 กรกฎาคม 2566	51
4.3	การแปรค่าของความเข้มข้นสีในช่วงเวลาที่ทดสอบวันที่ 17 กรกฎาคม 2566	52
4.4	การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศภายในโรงอบตากเทียบกับอุณหภูมิ แวดล้อมในช่วงเวลาทำการทดสอบ วันที่ 17 กรกฎาคม 2566	53
4.5	การแปรค่าของความเข้มข้นสีในช่วงเวลาที่ทดสอบ (18 – 21 กรกฎาคม 2566)	54
4.6	การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศภายในโรงอบตากเทียบกับอุณหภูมิ แวดล้อมในช่วงเวลาทำการทดสอบ (18 – 21 กรกฎาคม 2566)	54
4.7	การทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยโรงอบตากพลังงาน แสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT	55
4.8	ลักษณะการวางกล้วยน้ำว้าในถาดตากของโรงอบตากพลังงาน แสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT	55
4.9	ลักษณะกล้วยน้ำว้าก่อนการอบแห้งในโรงอบตากพลังงาน แสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT	56
4.10	ลักษณะกล้วยน้ำว้าหลังการอบแห้งในโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT	56
ก.1	แบบรูปส่วนประกอบโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบ เคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT	64
ก.2	แบบรูปส่วนประกอบโครงสร้างด้านบนโรงอบตากพลังงาน แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT แผ่นที่ 1	65

สารบัญภาพ

รูปภาพที่		หน้า
ก.3	แบบรูปส่วนประกอบโครงสร้างด้านบนโรงอบตากพลังงาน แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT แผ่นที่ 2	66
ก.4	แบบรูปส่วนประกอบโครงสร้างด้านล่างโรงอบตากพลังงาน แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT แผ่นที่ 1	67
ก.5	แบบรูปส่วนประกอบโครงสร้างด้านล่างโรงอบตากพลังงาน แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT แผ่นที่ 2	68
ก.6	ลักษณะการตัดโค้งโครงสร้างด้านบนส่วนของหลังคาโค้งของ โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ ระบบ IoT	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้กำหนดยุทธศาสตร์เกษตรและสหกรณ์ 20 ปี (พ.ศ.2560 - 2579) โดยมุ่งเน้นการแก้ไขจุดอ่อนและเสริมจุดแข็งให้เอื้อต่อการพัฒนาภาคการเกษตรในระยะยาว เพื่อบรรลุวิสัยทัศน์ “เกษตรกรรมมั่นคง ภาคการเกษตรมั่งคั่ง ทรัพยากรการเกษตรยั่งยืน” โดยมี ยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับประเด็นนวัตกรรมและเทคโนโลยีการเกษตรอยู่สามยุทธศาสตร์ คือ ยุทธศาสตร์ที่ 1 สร้างความเข้มแข็งให้กับเกษตรกรและสถาบันเกษตรกร มุ่งพัฒนาการบริหารจัดการ แรงงานภาคการเกษตรและเทคโนโลยีทดแทนแรงงานอย่างเป็นระบบรองรับสังคมเกษตรสูงอายุ ยุทธศาสตร์ที่ 2 เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและยกระดับมาตรฐานสินค้าเกษตร โดยการพัฒนา ประสิทธิภาพและคุณภาพมาตรฐานสินค้าสู่มาตรฐานระดับสากล โดยใช้วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและ ความรู้แบบองค์รวม และยุทธศาสตร์ที่ 3 เพิ่มความสามารถในการแข่งขันภาคการเกษตรด้วย เทคโนโลยีและนวัตกรรม โดยการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อการขับเคลื่อนเกษตร 4.0 ภายใต้ Thailand 4.0 ซึ่งการขับเคลื่อนเกษตร 4.0 ภายใต้ Thailand 4.0 เป็นการปรับเปลี่ยนจาก การเกษตรแบบดั้งเดิมในปัจจุบันไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ ที่เน้นการบริหารจัดการและเทคโนโลยี (Smart Farming) รวมทั้งการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) หรือ IoT มาใช้ในภาคการเกษตรซึ่งเป็นการนำอุปกรณ์หรือเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ เชื่อมโยงเข้าด้วยกันบนโลก อินเทอร์เน็ต เทคโนโลยี IoT ถูกนำมาใช้กับงานด้านการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านฟาร์ม อัจฉริยะ เช่น การนำอุปกรณ์เซนเซอร์มาตรวจวัดความชื้นในดิน ปริมาณแสงแดด อุณหภูมิในอากาศ และนำข้อมูลที่ได้อุปกรณ์และสั่งการไปยังอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ เพื่อสร้างสภาวะแวดล้อมที่ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น

สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม (ส.ป.ก.) ซึ่งเป็นหนึ่งในหน่วยงานภายใต้การ กำกับดูแลของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีภารกิจหลักในการจัดที่ดินทำกินให้เกษตรกรหรือ สถาบันเกษตรกร ภายหลังจากการจัดที่ดินทำกินให้แก่เกษตรกรแล้ว ส.ป.ก. ยังมีภารกิจอื่น ๆ ที่ สำคัญในการพัฒนาเพื่อสร้างความพร้อมและเข้มแข็งให้ในภาคการผลิตทางการเกษตร ได้แก่ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่อำนวยความสะดวกต่อการผลิต เช่น แหล่งน้ำ ระบบกระจายน้ำ เส้นทางคมนาคม ระบบแปลงเกษตรกรรม และสนับสนุนส่งเสริมโครงสร้างพื้นฐานในการพัฒนาอาชีพ ได้แก่ เทคโนโลยีเครื่องมือ เครื่องจักรกลการเกษตร นวัตกรรมและเทคโนโลยีการเกษตรเพื่อเพิ่ม ศักยภาพการทำการเกษตร ในปีงบประมาณ 2565 ส.ป.ก. ได้ดำเนินโครงการส่งเสริมการผลิตสินค้า เกษตรเศรษฐกิจชีวภาพตามความต้องการของตลาด (พืชสมุนไพร แมลงเศรษฐกิจ และไม้มีค่า) โดย

สนับสนุนโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำให้กลุ่มเกษตรกร เพื่อยกระดับการแปรรูปและเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบสมุนไพรให้สามารถสร้างรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรในเขตปฏิรูปที่ดิน จำนวน 40 กลุ่ม ขนาด โรงอบฯ มีความกว้าง 430 เซนติเมตร ความยาว 550 เซนติเมตร และสูง 187 เซนติเมตร โดยสถานที่ก่อสร้างส่วนใหญ่แต่ละจุดจะตั้งอยู่ในพื้นที่แปลงของตัวแทนกลุ่มเกษตรกร ซึ่งมีการสละพื้นที่เพื่อให้เป็นที่สาธารณะประโยชน์ให้ทุกคนสามารถใช้ประโยชน์ร่วมกัน และสามารถใช้ในการอบตากผลผลิตทางการเกษตรของสมาชิกได้เป็นอย่างดี แต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานเนื่องจากเป็นโรงอบที่ไม่สามารถเคลื่อนย้าย ในขณะที่สมาชิกกลุ่ม มีการผลิตทางการเกษตรชนิดเดียวกัน และในการอบผลผลิตบางชนิดมีระยะเวลาในการอบโดยเฉลี่ยประมาณ 2 – 3 วันต่อครั้ง สมาชิกรายอื่นต้องมีการรอที่จะใช้บริการ บางครั้งอาจก่อให้เกิดความเสียหายกับผลผลิต อีกทั้งเกษตรกรบางรายอยู่ห่างไกลไม่มีความสะดวกในการขนย้ายผลผลิตมาใช้บริการโรงอบในพื้นที่ส่วนกลางสร้างความยุ่งยากให้กับสมาชิกกลุ่มตามมา

ที่กล่าวมาในข้างต้นเป็นสิ่งที่กลุ่มเกษตรกรได้สะท้อนถึงข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์จากโรงอบตาก พลังงานแสงอาทิตย์แบบกลุ่ม คณะวิจัยมองว่าถ้ามีแนวทางที่สามารถลดข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจะทำให้การใช้ประโยชน์โรงอบฯ ของสมาชิกกลุ่มทั่วถึง มีความคล่องตัว ใช้งานได้ตามต้องการ จึงมีแนวคิดในการวิจัยและพัฒนาโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีขนาดที่เหมาะสมกับเกษตรกรรายย่อย ที่มีต้นทุนไม่สูง เกษตรกรสามารถครอบครองเป็นของตนเองได้ อีกทั้งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอบตากผลผลิตด้วยการประยุกต์ใช้ระบบ IoT เข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพของโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ จึงจัดทำ ”โครงการวิจัยและพัฒนาโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ ควบคุมการทำงานด้วยระบบ IoT” ซึ่งคาดหวังให้โรงอบตากที่พัฒนาขึ้นจะเป็นเครื่องมืออุปกรณ์ที่ช่วยลดการสูญเสีย และเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตรของเกษตรกรได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับเกษตรกรรายย่อยอย่างแท้จริง ในที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบและหลักการทำงานของระบบ IoT ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.2 เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน

1.2.3 เพื่อทดสอบเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ผลการทำงานของโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ศึกษาข้อมูลทฤษฎีเกี่ยวกับการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรและสมุนไพร ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ ข้อมูลระบบ IoT ที่สามารถนำมาใช้ในโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบัน

1.3.2 ขอบเขตของการสร้างต้นแบบ

ต้องการให้โรงอบตากฯ มีขนาดที่เหมาะสมกับเกษตรกรรายย่อยอย่างแท้จริง และให้เกิดการใช้ประโยชน์จากวัสดุโดยมีเศษเหลือใช้น้อยที่สุด ซึ่งมีแผ่นโพลีคาร์บอนเป็นวัสดุหลัก กำหนดให้มีการใช้ไม่เกิน 2 แผ่น (ขนาดแผ่นมาตรฐาน 4 x 8 ฟุต)

1.3.3 ขอบเขตการทดสอบและเก็บข้อมูล

ทดสอบการทำงาน โดยความสามารถในการประยุกต์ใช้ระบบ IoT วัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการรายงานสถานการณ์ทำงานของโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ ดำเนินการ ณ ศูนย์เครื่องจักรกล ส.ป.ก. อำเภอมือง จังหวัดปทุมธานี

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เจ้าหน้าที่มีองค์ความรู้ในองค์ประกอบ และหลักการทำงานของระบบ IoT ที่นำมาประยุกต์ใช้ในโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์

1.4.2 มีเครื่องต้นแบบโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT เข้ามาควบคุมการทำงานของโรงอบฯ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.3 มีชุดข้อมูลผลการทดลองการนำระบบ IoT เข้ามาใช้กับโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย

1.4.4 สามารถนำผลงานวิจัยชิ้นนี้ไปขยายผลสู่เกษตรกรในเขตปฏิรูปที่ดินให้เกิดประโยชน์ต่อไป

1.5 แผนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนระยะเวลา	ปี พ.ศ. 2565			ปี พ.ศ. 2566								
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. วางแผนการดำเนินงาน สรุปหัวข้อการศึกษา	↔											
2. จัดทำแผนการดำเนินงาน		↔										
3. จัดทำข้อเสนอโครงการ จัดทำเอกสารวิชาการ			↔									
4. ศึกษา รวบรวม และ จัดลำดับความสำคัญของ ข้อมูล					↔							
5. ออกแบบและจัดทำแบบ รูปชิ้นงาน					↔							
6. สร้างชิ้นงานต้นแบบ					↔							
7. ทดสอบเก็บข้อมูล								↔				
8. สรุปผลการศึกษา									↔			
9. จัดทำเอกสารการศึกษา								↔				
10. รายงานผลการศึกษา												↔

1.6 คณะผู้ดำเนินการวิจัย

- | | | |
|-------------------|------------|----------------|
| 1) นางสาวโชติวรรณ | พัฒนจันทร์ | หัวหน้าโครงการ |
| 2) นายสิทธิพันธ์ | บานเย็น | |
| 3) นายวุฒิชัย | แพ่งคำรัก | |
| 4) นายวิสุทธิ์ | เลิศไกร | |

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

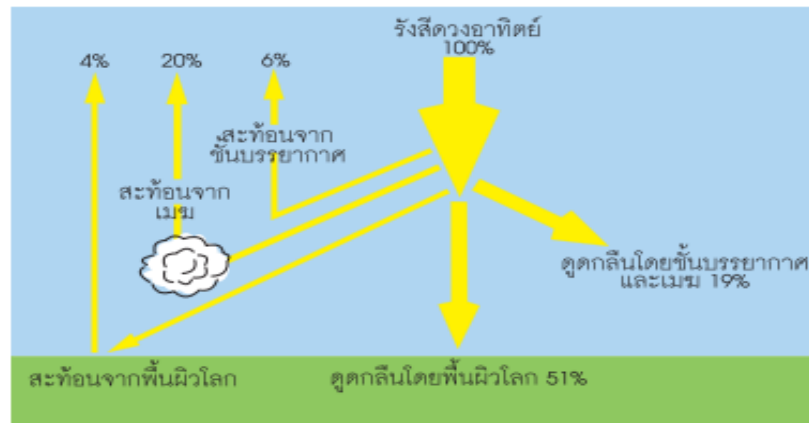
การวิจัยและพัฒนาการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโรงอบตาก พลังงานแสงอาทิตย์ แบบเคลื่อนที่ มีการศึกษาทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย

- พลังงานแสงอาทิตย์
 - ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย
- พื้นฐานการอบแห้งวัสดุ
 - ทฤษฎีการอบแห้ง
 - คุณสมบัติของอากาศชื้น
 - ความชื้นวัสดุ
- การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
 - ประเภทเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
 - ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง
- เทคโนโลยี IoT
 - ความหมายของเทคโนโลยี IoT
 - องค์ประกอบของระบบ IoT
 - การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ในภาคการเกษตร
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- กรอบแนวคิดการวิจัย

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ (The Sun) เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพมหาศาล ไม่มีวันหมด พลังงานจาก ดวงอาทิตย์เป็นพลังงานในรูปแบบคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า รังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) ที่ปลดปล่อยออกมาจากชั้นโฟโตสเฟียร์ (Photosphere) ของดวงอาทิตย์ในรูปแบบการแผ่ความร้อนผ่านสุญญากาศมายังโลกโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง (กระทรวงพลังงาน, 2557) รังสีดวงอาทิตย์ ร้อยละ 97 ที่ตกกระทบขอบบรรยากาศชั้นนอกสุดของโลก เรียกว่า รังสีที่นอกโลก (Extraterrestrial Solar Radiation) เป็นรังสีช่วงคลื่นสั้น ตั้งแต่ 290 – 300 นาโนเมตร มีพลังงานเท่ากับค่าคงที่รังสีดวงอาทิตย์ (Solar constant) ซึ่งเป็นค่าความเข้มต่อหน่วยพื้นที่ของพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ต่อหน่วยเวลาที่ตกกระทบ ณ ขอบของชั้นบรรยากาศชั้นนอกของโลกตำแหน่งที่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ มีค่าประมาณ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลกความเข้ม

พลังงานของพลังงานจะลดลงกว่าร้อยละ 70 เนื่องจากการสะท้อนแสงของชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก และพื้นผิวโลกรวมไปถึงการกระจายแสงและการดูดกลืนพลังงานของอนุภาคและเมฆในชั้นบรรยากาศ ซึ่งมีปริมาณและสมบัติเชิงแสงแตกต่างกันไปขึ้นกับสภาพอากาศและตำแหน่งละติจูด (Latitude) บนโลก

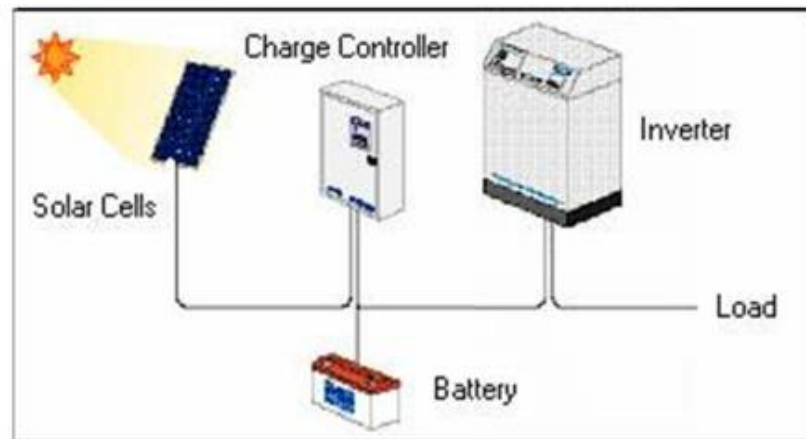


รูปภาพที่ 2.1 สัดส่วนการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศและผิวโลก
ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2557)

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่สามารถผลิตได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปแบบพลังงานแสงและความร้อน การใช้พลังงานแสงอาทิตย์จำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน กระทรวงพลังงาน (2554) ได้นำเสนอประเภทของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานในประเทศไทย อย่างแพร่หลาย และมีความคุ้มค่าในปัจจุบัน ได้แก่ เทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า และความร้อนในรูปแบบของการผลิตน้ำร้อนและการอบแห้ง ดังนี้

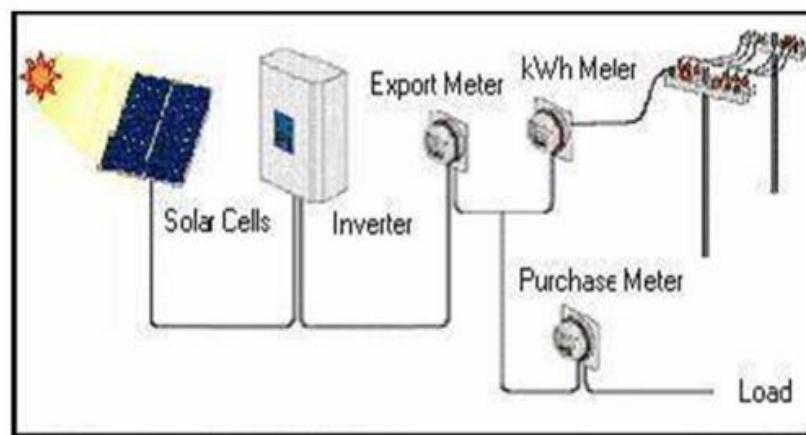
- เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

- 1) เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับ การออกแบบสำหรับการใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ



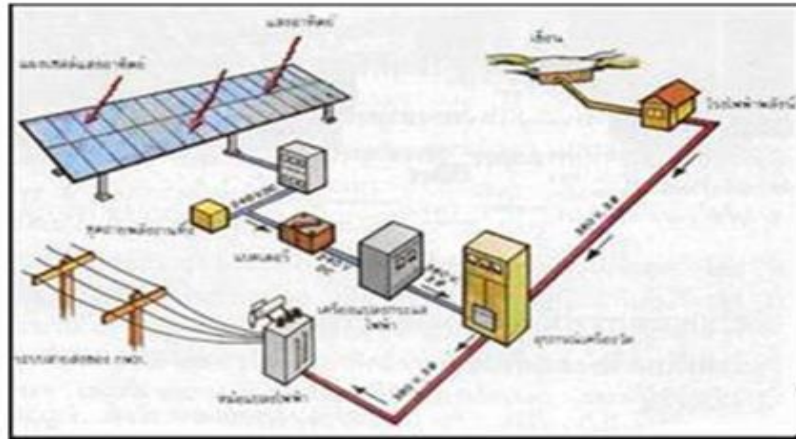
รูปภาพที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ
ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2554)

2) เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า



รูปภาพที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย
ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2554)

3) เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ



รูปภาพที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2554)

● เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน ได้แก่ การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

1) การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Water Heating) หรือการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะประเทศเมืองหนาวที่มีความต้องการใช้น้ำร้อนในแต่ละวันในปริมาณที่สูง ในขณะที่ประเทศไทยเครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์เป็นการใช้พลังงานในรูปความร้อน โดยตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (Solar Collector) เป็นตัวแปลงและเก็บพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำ ทำให้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำเป็นน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 40 – 70 องศาเซลเซียส (°C) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการอาบน้ำ การซักล้าง ซึ่งเป็นการทำน้ำร้อนเพื่อรองรับการใช้งานทั้งในบ้านพักอาศัย โรงแรม โรงพยาบาลหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ส่วนใหญ่มักยังใช้ไฟฟ้า แก๊ส เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากความสะดวกสบายในการใช้งานและมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก

2) การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรมทางการเกษตรขนาดเล็ก เนื่องจากความสะดวกและมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำ โดยวิธีที่สะดวกที่สุดคือการกระจายวัสดุที่ต้องการอบแห้ง ลงบนพื้นผิวที่แสงอาทิตย์ส่องถึง และพลิกวัสดุเป็นครั้งคราวเพื่อให้วัสดุแห้งอย่างทั่วถึง

2.1.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

กระทรวงพลังงาน โดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) และ ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้ศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และจัดทำ “แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย” (Solar resource map of Thailand)

รูปภาพที่ 2.5 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียม ปี 2563
ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2565)

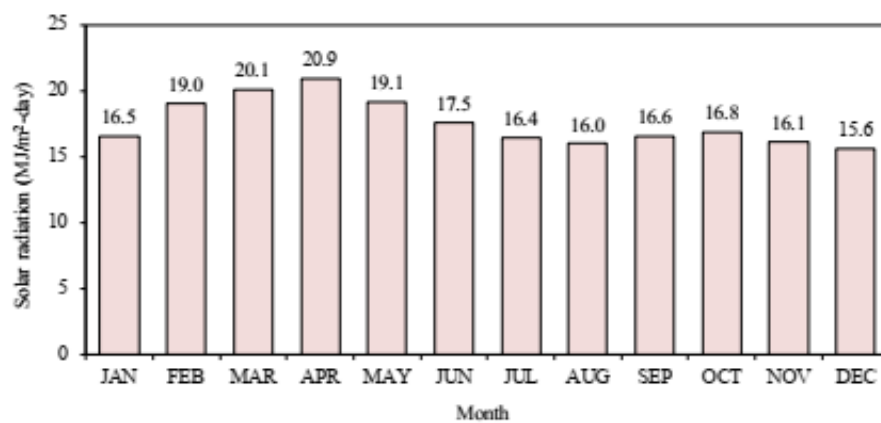
ปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์โดยเฉลี่ยทั้งปีแสดงได้ด้วยแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ดังรูปภาพที่ 2.5 จากรูปจะเห็นว่า การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของทุกภาคทั่วประเทศไทยมีลักษณะคล้ายคลึงกันมีการกระจายอยู่ในช่วง $16 - 20 \text{ MJ/m}^2 - \text{day}$ โดยบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีพื้นที่ซึ่งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง $20 - 22 \text{ MJ/m}^2 - \text{day}$ ปรากฏอยู่เป็นบริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด และบริเวณใกล้เคียง โดยจากการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีของประเทศพบว่า มีค่าเท่ากับ $17.5 \text{ MJ/m}^2 - \text{day}$

ตารางที่ 2.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในระดับต่าง ๆ

ช่วงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวัน เฉลี่ยต่อปี ($\text{MJ/m}^2 - \text{day}$)	ร้อยละของพื้นที่เมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด ของประเทศ
15 – 16	3.03
16 – 17	18.99
17 – 18	44.60
18 – 19	32.99
มากกว่า 19	0.39

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2565)

นอกจากนี้ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบทุกพื้นที่ทั่วประเทศจากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือน แล้วนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบปี แสดงดังรูปภาพที่ 2.6 จากกราฟพบว่าประเทศไทยจะแปรค่าในรอบปีอยู่ระหว่าง $15 - 21 \text{ MJ/m}^2 - \text{day}$ โดยค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม ($16.5 \text{ MJ/m}^2 - \text{day}$) และสูงสุดในเดือนเมษายน ($20.9 \text{ MJ/m}^2 - \text{day}$) จากนั้นความเข้มแสงจะค่อย ๆ ลดลง จนถึงเดือนสิงหาคม ในเดือนกันยายนจะเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูกาลถึง ในช่วงเดือนตุลาคมความกดอากาศสูงแผ่กำลังลงมาจากภาคเหนือของประเทศไทยเมื่อเจอกับความชื้นจะก่อตัวเป็นเมฆทำให้ประเทศไทยได้รับความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลง ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม แสดงดังรูปภาพที่ 2.6



รูปภาพที่ 2.6 การแปรค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ
ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2565)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ รายตำบลของอำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี

ตำบล	ความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน (MJ/m ² – day)*												
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
บางกะดี	17.16	18.73	19.60	20.28	18.53	18.13	17.45	17.15	17.46	17.40	17.13	16.77	17.98
บางชะแมง	17.18	18.77	19.67	20.37	18.46	18.15	17.48	17.13	17.49	17.29	17.04	16.80	17.98
บางคูวัด	17.22	18.92	19.89	20.65	18.66	18.18	17.61	17.26	17.56	17.32	16.99	16.72	18.08
บางเตือ	17.22	18.93	19.87	20.69	18.87	18.27	17.66	17.23	17.67	17.47	17.12	16.69	18.14
บางปรอก	17.17	18.79	19.69	20.45	18.84	18.26	17.62	17.27	17.58	17.55	17.18	16.75	18.10
บางพูด	17.17	18.71	19.59	20.31	18.68	18.18	17.48	17.12	17.46	17.34	17.21	16.74	18.00
บางพูน	17.18	18.69	19.57	20.27	18.43	18.00	17.34	17.11	17.41	17.47	17.24	16.79	17.96
บางหลวง	17.22	18.93	19.87	20.69	18.87	18.27	17.66	17.23	17.67	17.47	17.12	16.69	18.14
บ้านกระแจะ	17.18	18.77	19.62	20.40	18.80	18.23	17.57	17.24	17.58	17.49	17.23	16.79	18.07
บ้านกลาง	17.18	18.75	19.60	20.33	18.70	18.20	17.52	17.19	17.53	17.44	17.16	16.81	18.03
บ้านฉาง	17.17	18.83	19.75	20.56	18.86	18.28	17.71	17.25	17.65	17.59	17.11	16.70	18.12
บ้านใหม่	17.15	18.70	19.58	20.26	18.39	18.11	17.37	17.11	17.38	17.30	17.12	16.77	17.94
สวนพริกไทย	17.19	18.81	19.64	20.39	18.73	18.20	17.51	17.18	17.54	17.46	17.23	16.77	18.05
หลักหก	17.17	18.70	19.56	20.26	18.33	17.95	17.24	17.0	17.31	17.43	17.22	16.80	17.92

ที่มา: * ฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย (ออนไลน์), กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.), <https://maps.su.ac.th/solarth/>

2.2 พื้นฐานการอบแห้งวัสดุ

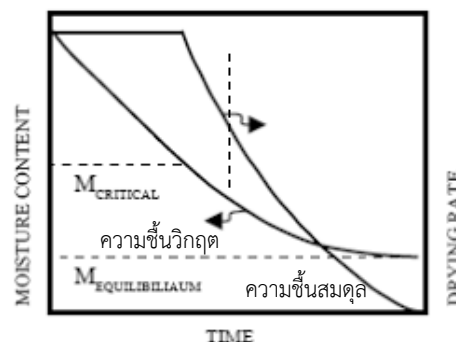
2.2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2540) ได้ให้ความหมายการอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุวัสดุที่ขึ้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูง ขณะทำการเก็บเกี่ยวทำให้เก็บรักษาไม่ได้นาน ประโยชน์ของการอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารอาจสรุปได้ตามลำดับความสำคัญดังต่อไปนี้

1. เพื่อการถนอมรักษาอาหาร อาหารที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้ยาวนานโดยไม่เน่าเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตสร้างความเสียหายแก่ผลผลิตได้
 2. เพื่อลดปริมาตรและน้ำหนัก ผลผลิตที่แห้งแล้วจะมีปริมาตรและน้ำหนักลดลง สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่งได้ระดับหนึ่ง
 3. เพื่อช่วยให้การจัดการในกระบวนการผลิตทำได้สะดวกขึ้น
- โดยทั่วไปกระบวนการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรที่ส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน สามารถแบ่งการอบแห้งได้เป็นสองช่วง คือ

1) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เป็นช่วงแรกในขณะที่ยังมีความชื้นสูงอยู่ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุเท่านั้น น้ำจะเกาะอยู่ที่ผิวของวัสดุเป็นจำนวนมาก เมื่อเพิ่มความร้อนที่ไหลผ่านวัสดุ จะทำให้ฟิล์มอากาศที่มีความหนาลดลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิววัสดุและของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น และเมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง จะเป็นผลให้ความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นอิ่มตัวที่ผิววัสดุและอัตราส่วนความชื้นของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลดีขึ้น (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540)



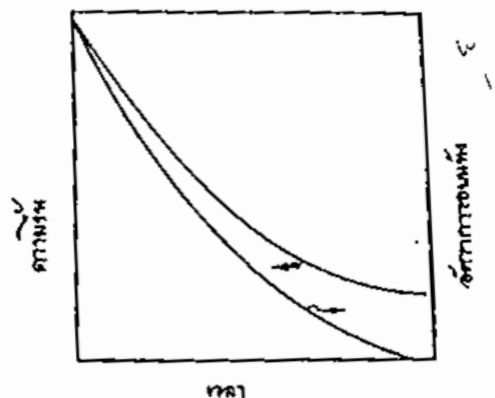
รูปภาพที่ 2.7 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง

ที่มา: สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2540)

จากรูปภาพที่ 2.7 ความชื้นวิกฤต คือ ความชื้นที่อยู่ระหว่างช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เป็นจุดที่เปลี่ยนจากอัตราการอบแห้งคงที่เป็นอัตราการอบแห้งลดลง

2) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การถ่ายเทความร้อนและมวลจะไม่จำกัดอยู่ที่ผิวหน้าของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นภายในผิวและเนื้อวัสดุด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งจะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิมีมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย (ศิระ อัจฉริยะวิริยะ และสมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2533 อ้างถึงใน สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540) เมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของการอบแห้ง จะเป็นผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้นและมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแล้ว จะเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วลมพบว่าความหนาของฟิล์มอากาศนี้มีค่าลดลง เป็นผลให้ความต้านทานลดลงเนื่องจากความต้านทานที่ฟิล์มอากาศมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความต้านทานตัวอื่น ดังนั้นจึงไม่มีผลต่ออัตรา การถ่ายเทความร้อนและมวลมากนัก



รูปภาพที่ 2.8 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

ที่มา: สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2540)

จากการศึกษาในข้างต้น อาจสรุปได้ว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และอาจจะมีอิทธิพลของความเร็วลมด้วยโดยเฉพาะอัตราการอบแห้งคงที่ หรือช่วงต่อกับช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

2.2.2 คุณสมบัติของอากาศชื้น

ในการอบแห้งวัสดุทั่ว ๆ ไป มักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากกระแसाากาศไปยังผิววัสดุที่ต้องการทำให้แห้ง อากาศนี้เรียกว่าอากาศชื้น ซึ่งประกอบด้วย

อากาศแห้งและไอน้ำ อากาศแห้งประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ คุณสมบัติของอากาศชื้น เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น

2.2.2.1 คำจำกัดความของศัพท์ไซโครเมตริก

ศัพท์ไซโครเมตริก (Psychrometric terms) หมายถึง คำศัพท์ที่แสดงคุณสมบัติอากาศชื้น เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

1) ความดันไอ (Vapor Pressure, P_v) คือ ส่วนของความดันย่อย (partial pressure) ที่กระทำโดยโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้น ถ้าอากาศนี้อิ่มตัวด้วยไอน้ำ เรียกความดันไอนี้ว่า ความดัน ไออิ่มตัว (saturated vapor pressure, P_{vs}) ค่าความดันไออิ่มตัวจะขึ้นกับอุณหภูมิ

2) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH หรือ ϕ) คือ อัตราส่วนของเศษส่วนเชิงโมล (mole fraction) หรือ ความดันไอของไอน้ำในอากาศต่อเศษส่วนเชิงโมล หรือ ความดันไอของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่าง 0 – 1

3) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio, W) คือ มวลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศแห้งหนึ่งหน่วยมวล โดยค่าอัตราส่วนความชื้นนี้ จะบอกถึงปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศในขณะใดขณะหนึ่ง ซึ่งค่านี้จะมีค่าสำคัญที่จะบอกว่า อากาศนั้น ๆ จะสามารถรับน้ำได้อีกเท่าใด มีหน่วยเป็นกิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง (kg/kg dry air)

4) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry – Bulb Temperature, T) คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่ชี้บอกโดยเทอร์มมิเตอร์ทั่วไป ทั้งแบบกระเปาะ แบบหน้าปัด หรือ เครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบต่าง ๆ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) หรือ องศาฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}\text{F}$)

5) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – Bulb Temperature, T_{wb}) คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่ชี้บอกโดยเทอร์มมิเตอร์ที่กระเปาะถูกหุ้มด้วยผ้ากอสมเปียก และมีลมเป่าผ่านกระเปาะด้วยความเร็วอย่างน้อย 4.6 เมตรต่อวินาที (m/s) โดยอุณหภูมิที่วัดได้นี้จะอ่านค่าได้ต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เนื่องจากเมื่อน้ำระเหยจากผ้าสู่บรรยากาศจะดึงเอาความร้อนไปด้วย ทำให้ผ้าที่หุ้มกระเปาะเย็นตัวลง สำหรับในกรณีที่อากาศมีไอน้ำอิ่มตัวแล้ว หรือความชื้นสัมพัทธ์ 100% น้ำก็ไม่สามารถระเหยจากผ้าได้ ค่าที่อ่านได้จากอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) หรือ องศาฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}\text{F}$)

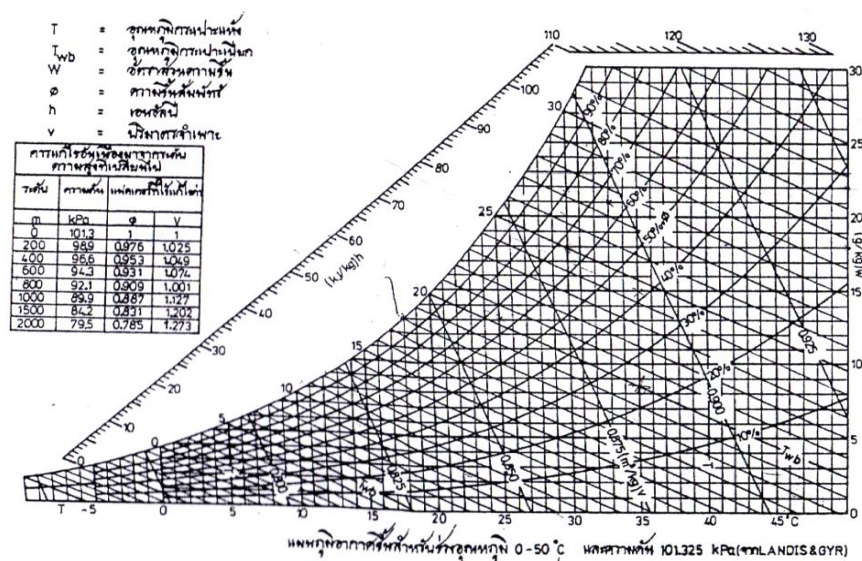
6) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew – Point Temperature, T_{dp}) คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่นเมื่ออากาศนั้นถูกทำให้เย็นลงที่อัตราส่วนความชื้นและความดันบรรยากาศคงที่

7) เอนทัลปี (Enthalpy, h) เอนทัลปีของอากาศชื้น คือ ค่าปริมาณความร้อนของอากาศชื้นต่อหนึ่งหน่วยอากาศแห้ง ที่สูงกว่าค่าที่อุณหภูมิจำลองที่กำหนดขึ้น โดยทางปฏิบัติเรามักจะใช้อุณหภูมิจำลองของน้ำ เท่ากับ $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ และของอากาศแห้ง เท่ากับ $0\text{ }^{\circ}\text{F}$ ในระบบอังกฤษ และอุณหภูมิจำลองของทั้งน้ำและอากาศ เท่ากับ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในระบบเมตริกและระบบสากล

8) ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume, v) คือ ปริมาตรของอากาศขณะนั้นต่ออากาศแห้ง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ($\text{m}^3 / \text{kg dry air}$)

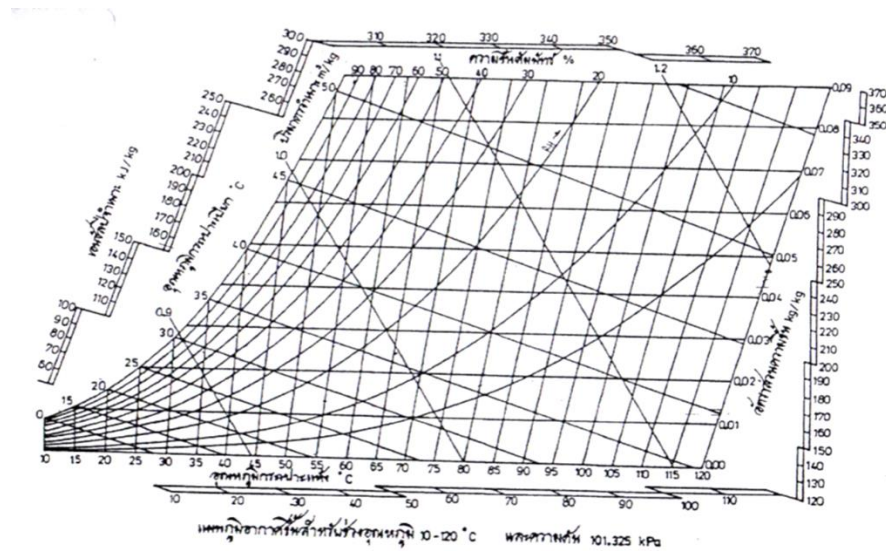
2.2.2.2 แผนภูมิอากาศชื้น (Psychrometric Chart)

คุณสมบัติอากาศชื้นต่าง ๆ สามารถหาได้จากการใช้แผนภูมิอากาศชื้นช่วยในการวิเคราะห์การอบแห้งให้สะดวกขึ้น และสามารถประหยัดเวลา การใช้แผนภูมิอากาศชื้นจะต้องรู้ค่าคุณสมบัติอากาศชื้นอย่างน้อย 2 ค่า จากนั้นจะสามารถอ่านค่าอื่น ๆ ที่เหลือ แผนภูมิอากาศชื้นแต่ละอันจะใช้ได้สำหรับความดันบรรยากาศหนึ่ง ๆ ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องเลือกแผนภูมิอากาศชื้นที่มีความดันบรรยากาศตรงกับที่ต้องการ ตัวอย่างแผนภูมิอากาศชื้นที่มีความดัน 101.325 kPa แสดงดังรูปภาพที่ 2.9 และ 2.10 ส่วนภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะเส้นข้อมูลคุณสมบัติอากาศชื้นต่าง ๆ บนแผนภูมิอากาศชื้น

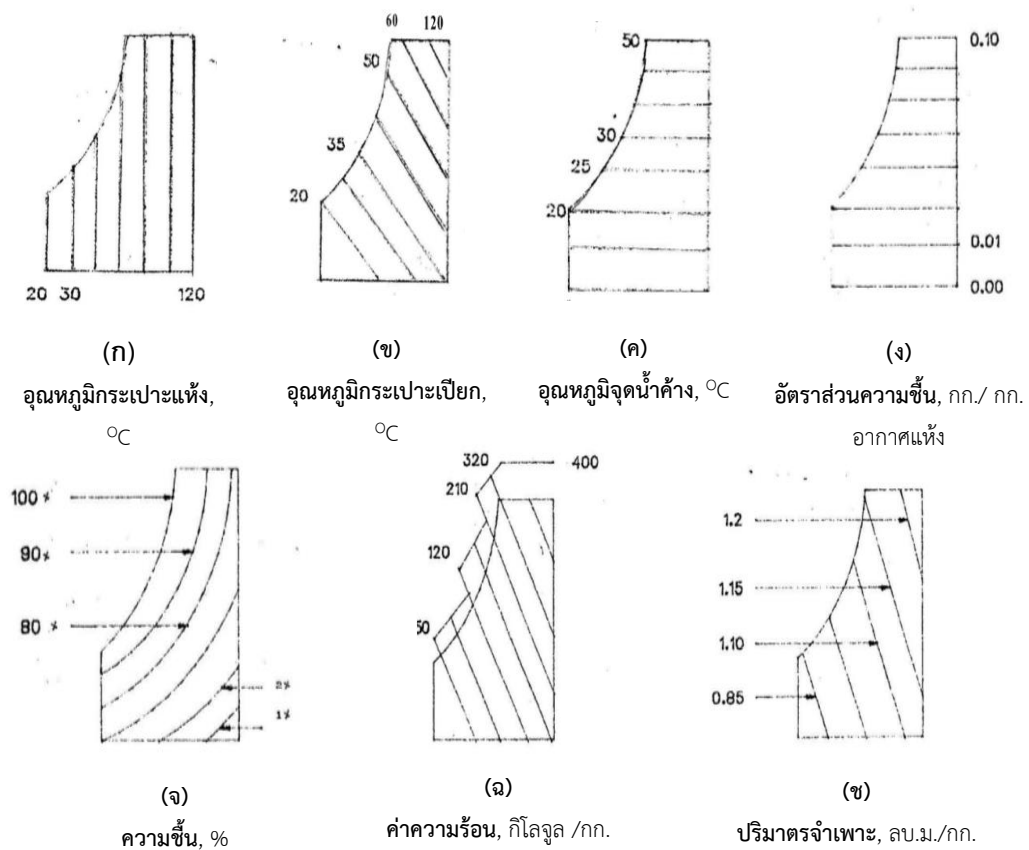


รูปภาพที่ 2.9 แผนภูมิอากาศชื้นสำหรับช่วงอุณหภูมิ $0 - 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ และความดัน 101.325 kPa

ที่มา: สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2540)



รูปภาพที่ 2.10 แผนภูมิอากาศชื้นสำหรับช่วงอุณหภูมิ 10 – 120 °C และความดัน 101.325 kPa
ที่มา: สมชาติ ไสภณธรฤทธิ์ (2540)



รูปภาพที่ 2.11 ลักษณะเส้นข้อมูลคุณสมบัติอากาศชื้นต่าง ๆ บนแผนภูมิอากาศชื้น
ที่มา: วิบูลย์ เทพนนท์ (มปป.)

สมชาติ โสภณธรณฤทธิ์ (2540) ได้อธิบายกระบวนการต่าง ๆ บนแผนภูมิอากาศขึ้นดังนี้

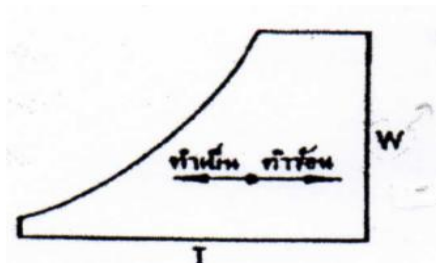
1) กระบวนการทำร้อนและเย็น ในกระบวนการทำร้อนและเย็น อัตราส่วนความชื้นของอากาศจะคงที่ ทั้งนี้เพราะอากาศจะไม่รับเอาความชื้นเข้ามา หรือสูญเสียความชื้นออกไป ตัวอย่างเช่น การอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นด้วยขดลวดไฟฟ้า เป็นต้น หรือการทำให้อากาศเย็นโดยให้อากาศไหลผ่านคอยล์เย็นแต่อุณหภูมิยังลดลงไม่ถึงจุดน้ำค้าง รูปภาพที่ 2.12 (ก) แสดงกระบวนการทำร้อนและเย็นบนแผนภูมิอากาศขึ้น

2) กระบวนการทำร้อนและเพิ่มความชื้น ตัวอย่างของกระบวนการนี้ได้แก่ การเผาอากาศให้ร้อนขึ้นด้วยเชื้อเพลิงต่าง ๆ ซึ่งจะมีน้ำเกิดขึ้นด้วยในระหว่างการเผาไหม้ หรือโดยการฉีด ไอน้ำเข้าไปในอากาศ จะทำให้อากาศร้อนและชื้นขึ้น รูปภาพที่ 2.12 (ข) แสดงกระบวนการทำร้อนและเพิ่มความชื้นบนแผนภูมิอากาศขึ้น

3) กระบวนการทำเย็นและลดความชื้น หากผ่านอากาศเข้าคอยล์เย็น และทำให้อากาศเย็นลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ และอุณหภูมิก็จะลดต่ำลงด้วย ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.12 (ค)

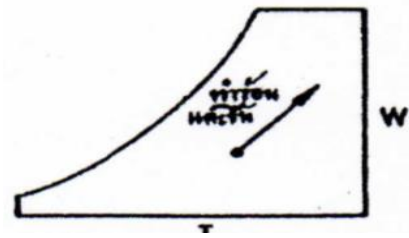
4) กระบวนการอบแห้ง ขณะที่อากาศไหลผ่านวัสดุที่ต้องการจะลดความชื้น จะเกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้น ระหว่างอากาศและวัสดุ โดยที่อากาศจะมีอุณหภูมิลดลงแต่อัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น กระบวนการดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีของอากาศขึ้นน้อย จนมักจะสมมุติกันว่าเอนทัลปีของอากาศขึ้นไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้ง รูปภาพที่ 2.12 (ง) แสดงกระบวนการอบแห้งบนแผนภูมิอากาศขึ้น

5) กระบวนการผสมกระแสอากาศสองกระแส ในการอบแห้งวัสดุบางครั้งอาจพบว่าอากาศที่ผ่านการอบแห้งแล้วยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ และความชื้นสัมพัทธ์อาจจะไม่สูงนัก ดังนั้นจึงมีการนำเอาอากาศบางส่วนที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศใหม่ แล้วจึงค่อยทำให้ร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการทำการอบแห้ง ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.12 (จ)



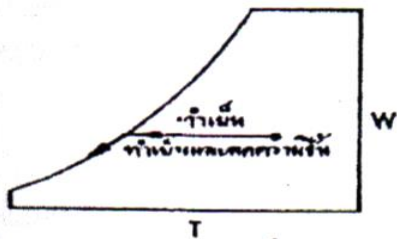
(ก)

กระบวนการทำเย็นและเย็น



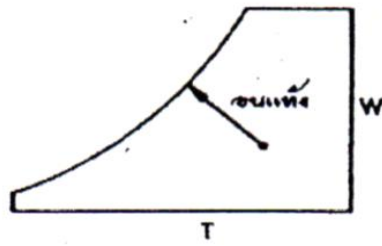
(ข)

กระบวนการทำร้อนและชื้น



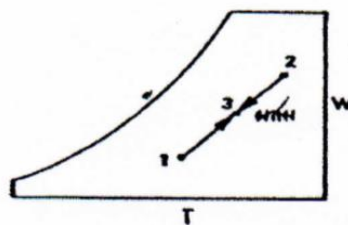
(ค)

กระบวนการทำเย็นและลดความชื้น



(ง)

กระบวนการอบแห้ง



(จ)

กระบวนการผสมกระแสอากาศสองกระแส

รูปภาพที่ 2.12 กระบวนการต่าง ๆ บนแผนภูมิอากาศชื้น

ที่มา: สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2540)

2.2.3 สมบัติของวัสดุขึ้น

ความชื้นของวัสดุอบแห้งนั้น มีความสำคัญเป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณออกแบบระบบอบแห้งและการหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้ง ซึ่งค่าที่จำเป็นสำหรับการอบแห้ง ประกอบด้วย ความชื้นในวัสดุและความชื้นสมดุล

2.2.3.1 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ คือ

1) ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = (w - d) / w \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ	M_w	คือ	ความชื้นมาตรฐานเปียก, เศษส่วน
	w	คือ	มวลของวัสดุ, กิโลกรัม (kg)
	d	คือ	มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), กิโลกรัม (kg)

ความชื้นมาตรฐานเปียก นิยมใช้กันในวงการค้าโดยทั่ว ๆ ไปจะอ้างถึงในรูปเปอร์เซ็นต์ (%)

2) ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = (w - d) / d \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง

ตัวอย่าง การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Percentage Moisture) สมมติว่ามีผลไม้ 100.00 กรัม หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (°C) จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักได้ 87.00 กรัม เปอร์เซ็นต์ความชื้น มีค่าเท่าไร (ให้ขึ้นกับน้ำหนักเริ่มต้น)

วิธีการคำนวณ น้ำหนักของความชื้น = $100.00 - 87.00 = 13.00$ กรัม

%ความชื้นมาตรฐานเปียก = $[(100.00 - 87.00)/100] \times 100$
= 13 %ความชื้นมาตรฐานเปียก

%ความชื้นมาตรฐานแห้ง = $[(100.00 - 87.00)/87.00] \times 100$
= 14.94 %ความชื้นมาตรฐานแห้ง

การแสดงความชื้นแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้ในงานด้านวิจัย เพราะสามารถคำนวณค่าแตกต่างที่เกี่ยวข้องในกระบวนการอบแห้งได้ง่าย เนื่องจากน้ำหนักแห้งของวัตถุคงที่ ซึ่งค่าปริมาณความชื้นสามารถหาได้ 2 วิธี คือ

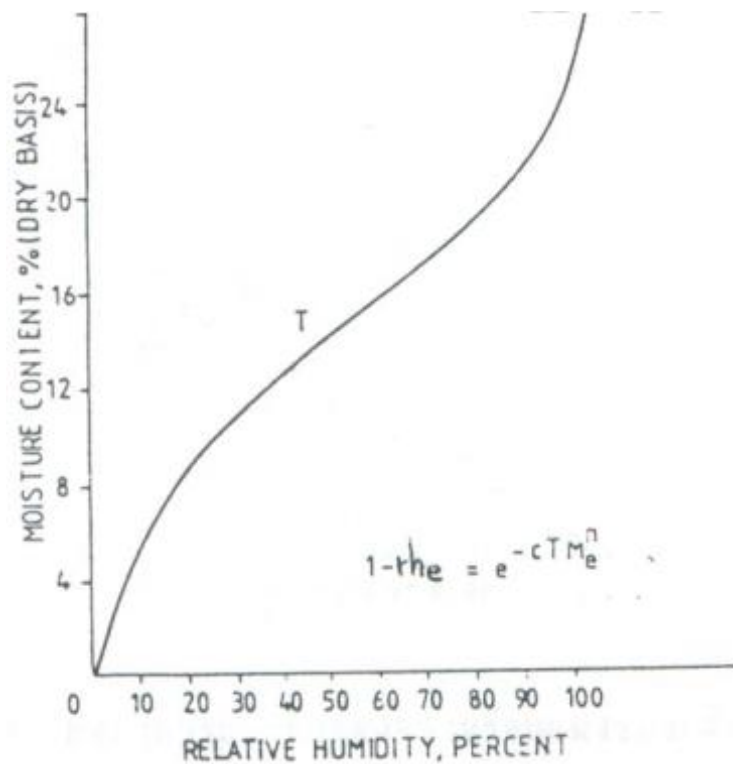
● วิธีตรง

- ใช้ตู้อบ (Oven method) โดยนำตัวอย่างมาอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 °C เป็น 1 – 2 ชั่วโมง หรืออบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 72 – 96 ชั่วโมง ตัวเลขที่กล่าวนี้เป็นเพียงข้อเสนอแนะเท่านั้น ความแตกต่างอาจเกิดขึ้นได้สำหรับมาตรฐานของแต่ละประเทศ
- ใช้วิธีการกลั่น (Distillation method) โดยนำตัวอย่างใส่ไว้ในน้ำมันและทำให้ร้อน เนื่องจากน้ำมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำมัน ดังนั้นจึงระเหยออกมาก่อน โดยผ่านไอน้ำเข้าเครื่องควบแน่นจะได้หยดน้ำ น้ำส่วนนี้คือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัตถุตัวอย่าง

- วิธีอ้อม ทำได้โดยการหาความต้านทานไฟฟ้าหรือคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก (Dielectric) ของวัตถุ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นกับปริมาณความชื้นของวัตถุ

2.2.3.2 ความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content : M_{eq})

วัตถุขึ้นจะมีการรับและดูดความชื้นจากอากาศรอบ ๆ จนกระทั่งความชื้นมีค่าคงที่ เรียกว่า ความชื้นสมดุล ความชื้นสมดุลจะขึ้นกับธรรมชาติของวัตถุ อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



รูปภาพที่ 2.13 แสดงความชื้นสมดุลของผลิตผลทางการเกษตร

ที่มา: Sodha (1987)

2.2.3.2 การลดความชื้นผลิตผลทางการเกษตรและพืชสมุนไพร

การลดความชื้นผลิตผลทางการเกษตรและพืชสมุนไพรด้วยวิธีการอบแห้ง จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของวัสดุที่นำมาอบแห้ง เนื่องจากวัสดุที่นำมาอบแห้งมีการสูญเสียน้ำและได้รับความร้อน ในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรและพืชสมุนไพร ผู้ศึกษาวิจัยได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิของอากาศแนะนำที่ใช้ในการอบแห้ง ดังแสดงตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างอุณหภูมิของอากาศแนะนำที่ใช้ในการอบแห้ง

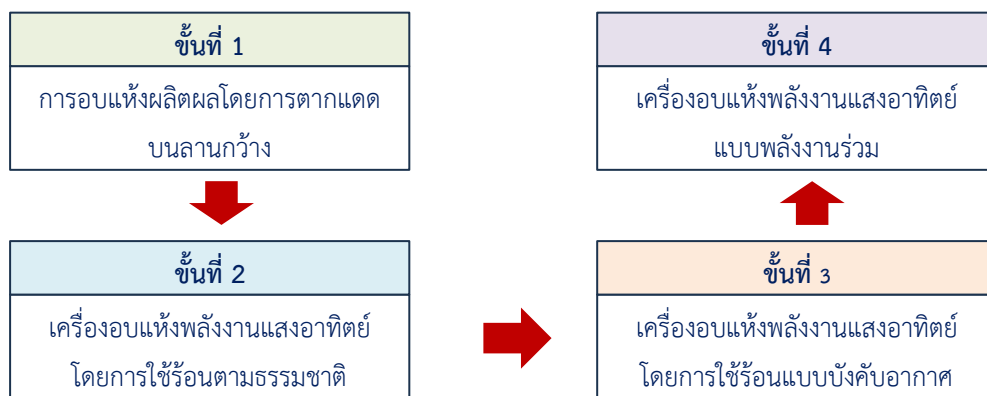
ผลผลิตที่นำมาอบแห้ง	เงื่อนไขการอบแห้งแนะนำ	ที่มา
1. เมล็ดพืช		
- เมล็ดพืชไว้ทำพันธุ์	อุณหภูมิไม่ควรเกิน 43 °C	Brooker et al., 1974 อ้างถึงใน สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2540)
- เมล็ดพืชกรณีทำแป้ง	อุณหภูมิไม่ควรเกิน 60 °C	
- เมล็ดพืชกรณีใช้ทำอาหารสัตว์	อุณหภูมิไม่ควรเกิน 100 °C (อบช่วงระยะเวลาสั้น ๆ)	
- เมล็ดข้าวโพด - ข้าวสาลี - ข้าวฟ่างและเมล็ดทานตะวัน	อุณหภูมิไม่ควรเกิน 110 – 120 °C อุณหภูมิไม่ควรเกิน 85 °C อุณหภูมิไม่ควรเกิน 67 °C	Anon, 1986 อ้างถึงใน สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2540)
2. ผลไม้		
- กลัวย่าน้ำหว้า	อุณหภูมิ 65 °C, อัตราการไหลอากาศจำเพาะ 10 kg/(h·kg dry banana) อัตราส่วนอากาศเวียนกลับ 65%	Soponronnarit et al., 1992 ^a อ้างถึงใน สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2540)
- มะละกอแช่หิมทรงลูกบาศก์ขนาด 0.5 เซนติเมตร (cm)	อุณหภูมิ 65 °C, อัตราการไหลอากาศจำเพาะ 35 kg/(h·kg dry matter) อัตราส่วนอากาศเวียนกลับ 65%	Soponronnarit et al., 1992 ^b อ้างถึงใน สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2540)
- สับปะรดแช่หิมทรงวงแหวนความหนา 1 cm	อุณหภูมิ 65 °C, อัตราการไหลอากาศจำเพาะ 11 kg/(h·kg dry matter) อัตราส่วนอากาศเวียนกลับ 75%	Soponronnarit et al., 1993 อ้างถึงใน สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2540)
3. พืชสมุนไพร		
- ดอกใบและพืชล้มลุก	อุณหภูมิไม่ควรเกิน 55 °C	สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่ (2556)
- เปลือก ราก และกิ่ง	อุณหภูมิไม่ควรเกิน 65 °C	
- ผลและเมล็ด	อุณหภูมิไม่ควรเกิน 80 °C	
- สมุนไพรที่มีสารระเหยง่าย	อุณหภูมิไม่ควรเกิน 45 °C	
- สมุนไพรที่มีไกลโคไซด์และอัลคาลอยด์	อุณหภูมิไม่ควรเกิน 60 °C	
- สัตถุષี (ตีนตุ๊กตอย)	อุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลา 8 ชั่วโมง	สุพัฒนภิกจ โพธิ์สว่าง และคณะ(ม.ป.ป.)
- หญ้าหวาน	อุณหภูมิ 55 °C ระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง	
- โกฐเชียง	อุณหภูมิ 55 °C ระยะเวลา 3 ชั่วโมง	

2.3 การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีมานานแล้วและในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมใช้ ทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรมเกษตรขนาดเล็ก เนื่องจากสะดวกและมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำ โดยทั่วไปการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะเหมาะกับพื้นที่ที่อากาศร้อนและแห้ง ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะถูกทำให้แห้งโดยวิธีการตากแดด เวลาที่ใช้สำหรับการตากแห้งขึ้นอยู่กับชนิดและความชื้นของผลิตภัณฑ์ ความหนาของชั้นตากแห้ง และสภาวะอากาศ

2.3.1 ประเภทเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ คือ เครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และการพาความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ได้ผ่านผลผลิต เพื่อทำให้น้ำในผลผลิตเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำระเหยออกจากตัวผลผลิต วิวัฒนาการของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถแบ่งได้ 4 ขั้น โดยสามารถสรุปเป็นขั้นของวิวัฒนาการของเครื่องอบได้ดังรูปภาพที่ 2.14



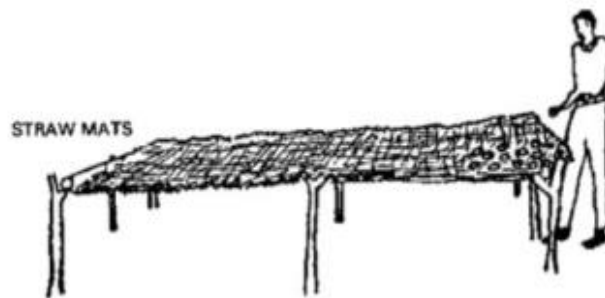
รูปภาพที่ 2.14 แสดงขั้นของวิวัฒนาการเครื่องอบแห้งผลผลิตโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือการอบแห้งแบบหมุนเวียนด้วยธรรมชาติ (Passive System) และแบบหมุนเวียนแบบบังคับ (Active System) โดยมีรูปแบบการทำงาน (กระทรวงพลังงาน, 2554) ดังนี้

1) การอบแห้งระบบหมุนเวียนด้วยธรรมชาติ (Passive System)

การอบแห้งระบบ Passive คือ ระบบที่ทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และกระแสลมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ แบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ

- การอบแห้งได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งวัสดุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่ใช้ออบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานจากแสงอาทิตย์ และอาศัยการขยายตัวของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศขึ้น



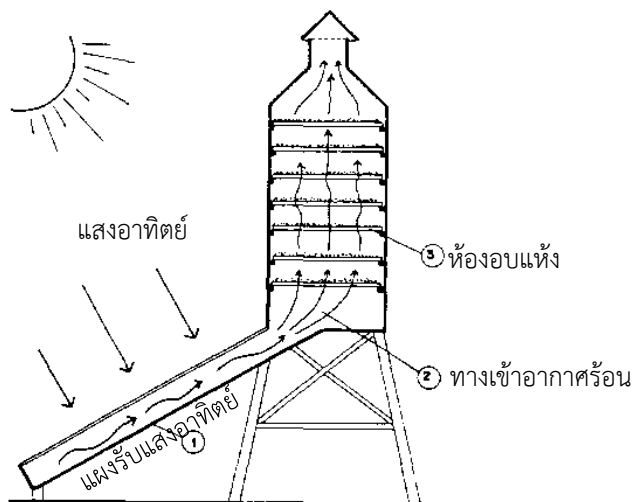
รูปภาพที่ 2.15 การตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ



รูปภาพที่ 2.16 เครื่องอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรงชนิดตู้
ที่มา: www.อยากใช้พลังงานแสงอาทิตย์.com (ออนไลน์)



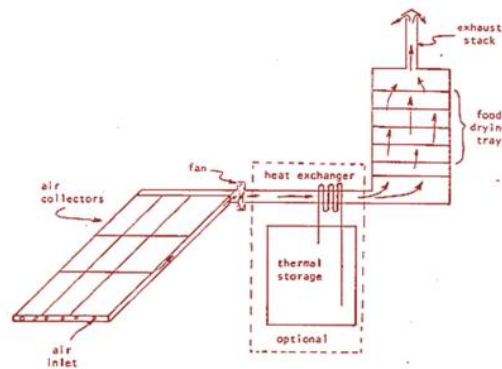
รูปภาพที่ 2.17 โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ แบบพาราโบลา



รูปภาพที่ 2.18 เครื่องอบแห้งแบบใช้แผงรับแสงอาทิตย์

ที่มา: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0961/solar-drier>

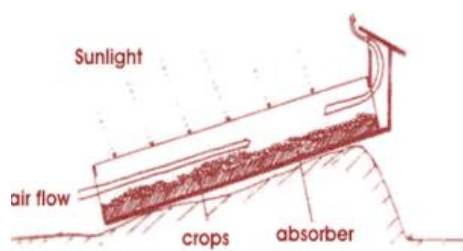
- การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัสดุที่อยู่ภายใน จะได้รับความร้อนจากสองทาง ทั้งทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแหล่งอื่น ๆ ที่ทำให้อากาศ ร้อนก่อนที่จะผ่านวัสดุที่ต้องการอบแห้ง



รูปภาพที่ 2.19 ตัวอย่างเครื่องอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ระบบ Passive
แบบ Cabinet Dryer Fitted with Chimney and Heat Storage
ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2554)

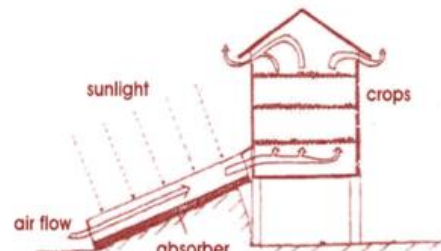
1) การอบแห้งระบบหมุนเวียนแบบบังคับ (Active System)

การอบแห้งระบบ Active System เป็นการอบแห้งที่มีอุปกรณ์ช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น พัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับการไหลของอากาศภายในตู้อบ โดยพัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ ให้อากาศร้อนที่ไหลผ่านพัดลมและห้องอบแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นบางพืชผล จึงนำพาความร้อนขึ้นจากพืชผลออกสู่ภายนอกทำให้พืชผลที่อบไว้แห้งได้



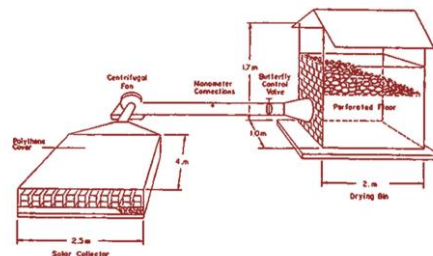
(ก) เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบ

Direct Solar Dryers



(ข) เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบ

Indirect Solar Dryers



(ค) เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบ Mixed – Type

รูปภาพที่ 2.20 ตัวอย่างเครื่องอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ระบบ Active
ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2554)

2.3.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง

การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวสามารถหาได้จากสัดส่วนของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่ระบบ โดยประเภทของเครื่องอบแห้งแบบธรรมชาติ สามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.3 (Khullar, 1995 และ Kirirat, et al, 2006 อ้างถึงใน พลวัฒน์ พลเดชะ, 2563)

$$\eta_{th,solar} = m_L L / I A \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

เมื่อ	m_L	คือ	ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากตัวผลิตภัณฑ์ (kg)
	L	คือ	ค่าของความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของน้ำ (kJ/kg)
	I	คือ	ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ (KJ/m ²)
	A	คือ	พื้นที่รับแสงอาทิตย์ (m ²)

2.4 เทคโนโลยี IoT

2.4.1 ความหมายของเทคโนโลยี IoT

สุวิทย์ ภูมิฤทธิกุล และ ปานวิทย์ ชูะนุติ (2559: 61-72) ได้แปลความหมายของ Internet of Things (IoT) ที่ให้คำนิยามโดย สถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์นานาชาติ (IEEE) ซึ่งแปลความได้ว่า IoT คือ โครงข่ายที่เชื่อมต่อสรรพสิ่งใด ๆ (Things) เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยที่สรรพสิ่งใด ๆ จะมีความสามารถในการรับรู้ ตอบสนอง และมีศักยภาพในการโปรแกรมหรือสั่งการการทำงานได้ จากประโยชน์ของความสามารถในการระบุเอกลักษณ์ และความสามารถในการรับรู้นี้ สารสนเทศบนสรรพสิ่งใด ๆ จะสามารถถูกรวบรวมจัดเก็บ และสถานภาพของสรรพสิ่งใด ๆ ก็สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาสถานที่ใด ๆ เวลาใด ๆ โดยสิ่งใด ๆ และได้ นิยาม IOT ในชื่อไทยว่า “อินเทอร์เน็ตกับสรรพสิ่งใด ๆ” พร้อมทั้งได้สรุปคุณลักษณะสำคัญของ IOT ดังนี้

- 1) เป็นการเชื่อมต่อกันระหว่างสรรพสิ่งใด ๆ (Interconnection of Things)
- 2) เชื่อมต่อสรรพสิ่งใด ๆ เข้ากับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต (Connection of Things to the Internet)
- 3) สรรพสิ่งใด ๆ มีลักษณะที่ระบุเอกลักษณ์ได้ (Uniquely Identifiable Things)
- 4) สามารถพบได้ทั่วไป (Ubiquity)
- 5) มีความสามารถในการรับรู้ และตอบสนองได้ (Sensing/Actuation capability)
- 6) เป็นระบบฝังตัวแบบอัจฉริยะ (Embedded intelligence)

- 7) มีความสามารถในการสื่อสารทำงานร่วมกันได้ (Interoperable Communication Capability)
- 8) สามารถตั้งค่าด้วยตนเองได้ (Self - configurability)
- 9) สามารถโปรแกรมหรือสั่งการการทำงานได้ (Programmability)

ฉันทพร กำจร (มปป) ได้กล่าวถึง IoT คือ เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นเทคโนโลยีที่เชื่อมอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกัน โดยสามารถเชื่อมโยงและสื่อสารกันได้ โดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ต สามารถสั่งการการทำงานของโปรแกรมหรือสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ปัจจุบันมีการพัฒนาอุปกรณ์ให้สามารถทำงานบนแนวคิดของ Internet of Things โดยนำมาประยุกต์ใช้งานมากขึ้น เช่น การประยุกต์ใช้งานใน Smart Farm โดยนำเทคโนโลยีที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้งานกับระบบโรงเรือนหรือในแปลงปลูกให้มีผลผลิตและคุณภาพที่ดีขึ้น Smart Farm IoT สามารถดูค่าอุณหภูมิความชื้น การเปิด-ปิด ป้อนน้ำและหล่อไฟได้จากมือถือหรือคอมพิวเตอร์

2.4.2 องค์ประกอบของระบบ IoT

พนิดา พงษ์ไพบูลย์ (2560) กล่าวถึงองค์ประกอบของระบบ IoT มีส่วนประกอบที่สำคัญต้องพิจารณาอยู่ 4 องค์ประกอบหลัก คือ

องค์ประกอบที่ 1 คือ “อุปกรณ์” หรือ Thing ที่ใช้รับส่งข้อมูล ซึ่งเรียกกันว่า Connected Device โดย Thing ในที่นี้ไม่จำกัดเฉพาะสิ่งของที่จับต้องได้ทางกายภาพเท่านั้น แต่หมายรวมถึงแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน หรือ โปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ที่ใช้สื่อสารกับอุปกรณ์อื่น ๆ เนื่องจากฮาร์ดแวร์สำหรับงาน IoT มีหลากหลาย ในการพัฒนาระบบหรือผลิตภัณฑ์ IoT จึงควรเลือกใช้ฮาร์ดแวร์ให้เหมาะสมกับงาน ตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่างฮาร์ดแวร์ที่ใช้ประมวลผลสำหรับงาน IoT

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างฮาร์ดแวร์ที่ใช้ประมวลผลสำหรับงาน IoT

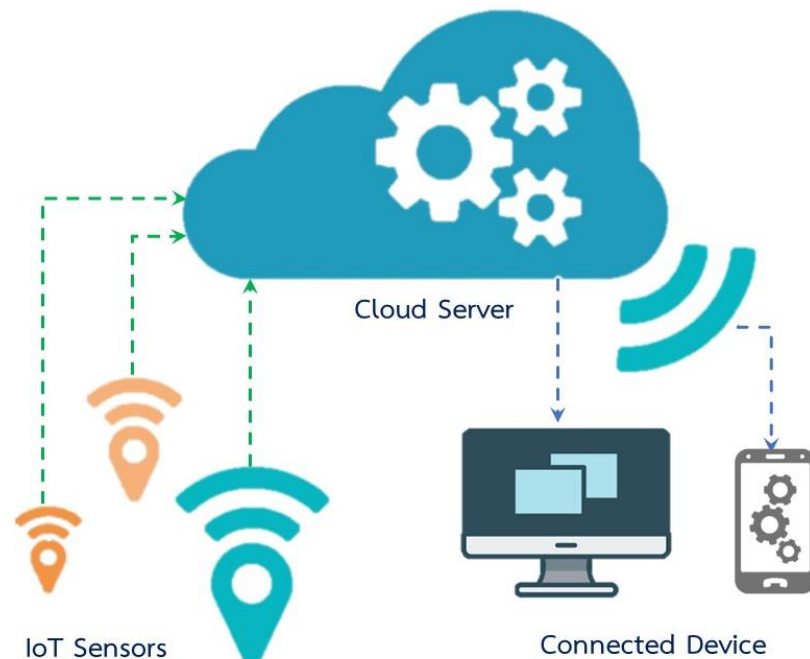
ประเภทฮาร์ดแวร์	ลักษณะงานที่ใช้	ภาพตัวอย่าง
ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก	- ใช้ควบคุมระบบเปิด-ปิดสวิตช์ อุปกรณ์ - ใช้ต่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้นในโรงเรือน	 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino
Single-board Computer (SBC)	- ใช้ในระบบที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น ● ประมวลผลจากกล้อง เพื่อรู้จำใบหน้าหรือทะเบียนรถ ● นำไปสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีชุดควบคุมขนาดเล็ก ● นำไปเป็นศูนย์กลางของข้อมูล (Server) ● นำไปใช้เป็นชุดสถานีตรวจสภาพอากาศโดยใช้งานร่วมกับเซนเซอร์ เพื่อตรวจความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศหรืออุณหภูมิ	 SBC Raspberry – Pi  SBC Intel Galileo
คอมพิวเตอร์หรือเซิร์ฟเวอร์ขนาดใหญ่	- ใช้กับงานประมวลผลสูงขึ้น เช่น ด้านกราฟิก เป็นต้น	 Server Tower ยี่ห้อ Dell

องค์ประกอบที่ 2 คือ “การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต” ซึ่งเป็นระบบที่ IoT จะขาดไม่ได้ โดยการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตมีตั้งแต่ระบบเดินสาย (LAN) ไปจนถึงการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication) ปัจจุบันมีให้เลือกมากมายหลากหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็น 3G/4G/5G, WiFi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave สำหรับการเลือกใช้พิจารณาในแง่อัตรารับส่งข้อมูล ระยะการส่งสัญญาณ (Coverage area) และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน ตัวอย่างเช่น

- การใช้ 3G/4G/5G เหมาะกับการใช้ภายนอกครอบคลุมพื้นที่ได้หลายกิโลเมตร
- การใช้ WiFi เหมาะกับการใช้ภายในอาคารสัญญาณอยู่ในระดับสิบเมตร

อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ IoT ทั้งแบบ 3G/4G/5G และ WiFi จำเป็นต้องมีไฟเลี้ยงเพราะใช้พลังงานสูง หากต้องการใช้แบตเตอรี่ที่อยู่ได้เป็นเดือนต้องพิจารณาการเชื่อมต่อแบบอื่น เช่น Zigbee, 6Lowpan หรือ Lora เป็นต้น

องค์ประกอบที่ 3 คือ “เซิร์ฟเวอร์” ที่เป็นตัวประสานงานให้ข้อมูลที่ส่งจากอุปกรณ์ที่ 1 ส่งไปถึงอุปกรณ์ที่ 2 อุปกรณ์ IoT สมัยใหม่ มีการนำเซิร์ฟเวอร์มาวางไว้ที่ศูนย์กลาง (Data Center) แนวคิดของการวางเซิร์ฟเวอร์ไว้ที่ใดที่หนึ่งตรงกลาง คือ แนวปฏิบัติของการประมวลผลแบบคลาวด์ (Cloud Computing)



รูปภาพที่ 2.21 ระบบ IoT & Cloud Computing integration.

องค์ประกอบที่ 4 คือ “ถึงข้อมูลและการจัดการข้อมูล” ข้อมูลของระบบ IoT จะเป็นข้อมูลขนาดเล็กจำนวนมาก ไหลเข้ามาตลอดเวลาเป็นชุดข้อมูลแบบอนุกรมของเวลา ในการเก็บข้อมูลอาจใช้ Time-series Database หรือ Key-value Database ก็เพียงพอ ทั้งนี้คุณค่าของข้อมูลของระบบ IoT จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการเอาข้อมูลเหล่านี้มาใช้ประโยชน์อย่างไร เช่น การนำข้อมูลมาประมวลผลทันทีเพื่อดูว่าเมื่อไรที่เซนเซอร์สูงเกินค่าที่กำหนดให้แจ้งเตือน หรือการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ย้อนหลัง เป็นต้น ซึ่งการเลือกใช้เครื่องมือในการจัดการข้อมูลจะขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละแบบ

2.4.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ในภาคการเกษตร

เทคโนโลยี IoT เข้ามามีบทบาทในหลายกิจกรรมทางการเกษตรตั้งแต่การเตรียมการเพาะปลูก ไปจนถึงการเพาะปลูกในหลาย ๆ ด้าน ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ศึกษาและรวบรวมการประยุกต์ใช้ IoT สำหรับ ภาคการเกษตรมาทั้งหมด 9 ประเภท ได้แก่

1) เครื่องจักรกลเกษตรอัจฉริยะ แบบไร้คนขับโดยใช้เทคโนโลยีดาวเทียมนำทาง GNSS เพื่อให้เกิดการทำงานแบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ (Auto self-driving) หรือใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อช่วยในการทำงานแบบอัตโนมัติ และการประมวลผลให้มีประสิทธิภาพการประยุกต์นำเทคโนโลยีเข้ามาใช้จะช่วยให้เกษตรกรสามารถควบคุมการทำงานได้จากทางไกลผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟน เป็นต้น นอกจากการพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรอัจฉริยะในรูปแบบไร้คนขับดังที่นำเสนอในข้างต้น ประเทศไทยยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัจฉริยะ โดยใช้นวัตกรรมสื่อสารด้าน IoT มาใช้เพื่อทำให้เครื่องจักรกลมีความอัจฉริยะมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ใช้ระบบ GPS Telematics เพื่อให้ระบุพิกัดของเครื่องจักรกลจะสามารถดึงรายงานข้อมูลต่าง ๆ เช่น แจ้งเตือนการบำรุงรักษา กำหนดขอบเขตพื้นที่การทำงานของเครื่องจักร เป็นต้น

2) การใช้อุปกรณ์อากาศยานไร้คนขับสำหรับการจัดการแปลง โดยประยุกต์ใช้ IoT ร่วมกับดาวเทียมต้นทุนต่ำแต่ความแม่นยำสูง (สำหรับการถ่ายภาพและวางตำแหน่ง) ตัวอย่างเช่น การใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles: UAV) ร่วมกับ ภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อรวบรวมข้อมูลภูมิศาสตร์และข้อมูลภาพถ่ายมัลติสเปกตรัม (Multi spectrum) ตรวจสอบความสมบูรณ์ของพืช ซึ่งช่วยให้การทำเกษตรขนาดใหญ่ สามารถปรับการเจริญเติบโตของพืชให้เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการให้ปุ๋ย และยาฆ่าแมลงที่เหมาะสม และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

3) การติดตามสภาพดิน (Soil Monitoring) จะเป็นการใช้เซนเซอร์ตรวจสอบคุณภาพและคุณสมบัติของดิน ความชื้น และแร่ธาตุ เพื่อนำมาปรับปรุงดินให้เหมาะสม และนำมาใช้วิเคราะห์ รวมถึง วางแผนการเพาะปลูก เพื่อการดูแลพืชได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังจะช่วยทำให้เกษตรกรทราบว่าควรปลูกพืชชนิดใดในสภาพดินที่มีอยู่

4) การควบคุมโรคและศัตรูพืช (Pest and Disease Control) เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและควบคุมโรคศัตรูพืชด้วยระบบ IoT ที่ช่วยควบคุมระบบเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิให้ระบุถึงการ

แพร่กระจายของศัตรูพืชได้ดีขึ้น ซึ่งช่วยลดต้นทุนการใช้สารกำจัดวัชพืชและควบคุมโรคและศัตรูพืชให้มีคุณภาพและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5) การติดตามสภาพอากาศ (Climate Change Monitoring) การใช้ระบบงาน IoT ถูกใช้เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลเรดาร์ติดตามสภาพอากาศผ่านภาพถ่ายดาวเทียมหรือระบบเรดาร์ ซึ่งช่วยคาดการณ์สภาพอากาศในปัจจุบันและในอนาคตได้แบบล่วงหน้าเกี่ยวกับ ภัยพิบัติต่าง ๆ เช่น เส้นทางพายุ ปริมาณน้ำฝน ฯลฯ เพื่อลดต้นทุนจากความเสียหายของผลผลิตจากปัญหาภัยธรรมชาติ และสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ยากนั่นเอง

6) การติดตามและดูแลปศุสัตว์ (Livestock Monitoring) เป็นการทำให้ฟาร์มปศุสัตว์ยุคใหม่โดยใช้ระบบงาน IoT แบบไร้สายเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ สภาพความเป็นอยู่ ตำแหน่งของฝูงปศุสัตว์ และสุขภาพของสัตว์ภายในฟาร์มได้ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน และช่วยป้องกันการแพร่กระจายของโรคของปศุสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7) การควบคุมการให้น้ำ (Water Controlling) เป็นการใช้เซนเซอร์วัดค่าความชื้น รวมทั้งปริมาณน้ำ น้ำใต้ดิน เพื่อให้สามารถคำนวณปริมาณน้ำและเวลาในการรดน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ สำหรับการจัดเก็บข้อมูลของระบบการให้น้ำอัจฉริยะสำหรับพืชแปลงเปิด มีการจัดเก็บข้อมูลใน Cloud Server และแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ต สามารถดูผ่านโทรศัพท์มือถือได้เลย เกษตรกรจะเห็นภาพรวมของสภาพแวดล้อมจริง แต่ทั้งนี้เทคโนโลยีดังกล่าวเน้นการติดตาม (Monitor) สภาพแวดล้อมที่เกี่ยวกับพืช ไม่ใช่การควบคุม (Control) เป็นการใช้ข้อมูลจากทางสถิติจากระบบบริหารจัดการเพื่อลดความเสี่ยงในการจัดการสวนที่เกิดจากแสง อุณหภูมิ ความชื้นในดิน และอากาศให้ผิดพลาดน้อยที่สุด

8) การควบคุมโรงเรือน (Smart Greenhouses) โรงเรือนอัจฉริยะ (Smart Greenhouses) เป็นวิธีในการช่วยเพิ่มผลผลิตที่ช่วยควบคุมตัวแปรด้านสิ่งแวดล้อมผ่านระบบ IoT จะช่วยลดการสูญเสียผลผลิต และการสูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ โดยสภาพแวดล้อมด้วยโรงเรือนระบบอัจฉริยะจะสามารถควบคุมได้ทั้งระบบน้ำ ระบบระบายและปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบตรวจจับอื่น ๆ ซึ่งจะช่วยลดความจำเป็นในการตรวจสอบด้วยตนเองหรือต้องใช้แรงงานคนในการดูแลไปได้มาก

9) การควบคุมอุณหภูมิอัจฉริยะในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ โรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ที่นิยมใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและวัดความชื้นสัมพันธ์ต่อเข้ากับเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ สำหรับควบคุมระบบระบายอากาศภายในโรงอบ เพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ภายในโรงอบให้เป็นไปตามที่กำหนด ปัจจุบันมีการศึกษาและพัฒนานำเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรณัท ปฐพีจรรย์สวงศ์ และคณะ (2564) วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 120 เซนติเมตร ยาว 170 เซนติเมตร สูง 150 เซนติเมตร ด้านข้างของ Solar cell เป็นตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ และมีพัดลมระบายอากาศไว้ช่วยระบายความชื้นออกไปภายนอก พร้อมทั้งติดตั้งระบบฮีตเตอร์อินฟราเรดในเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยเพื่อใช้ในกรณีแสงอาทิตย์ ไม่เพียงพอ โดยเครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้จำนวน 10 – 50 กิโลกรัม สามารถตั้งค่าอุณหภูมิในช่วง 45 – 55 °C ให้พัดลมระบายความชื้นออกจากระบบ และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 10-15% ในกรณีความเข้มแสงไม่เพียงพอ จะใช้ไฟจากแบตเตอรี่มาจ่ายพลังงานให้แก่พัดลมระบายความชื้น และใช้ไฟฟ้า 220 V จ่ายให้แก่ระบบฮีตเตอร์อินฟราเรด โดยตั้งค่าอุณหภูมิในช่วง 45 – 55 °C ระบบฮีตเตอร์อินฟราเรดจะทำงานอัตโนมัติ พร้อมพัดลมกระจายความร้อนภายในเครื่องอบแห้ง



รูปภาพที่ 2.22 เครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: อรณัท ปฐพีจรรย์สวงศ์ และคณะ (2564)

สรารุณี แนนเนียร เพ็ญพร นิมนวล และ อรอนงค์ เสนาะจิต (2563) ทำการทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำหว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีลักษณะเป็นรูปโค้งแบบพาราโบลาที่ทำจากแผ่นโพลีคาร์บอเนต พร้อมทั้งติดตั้งพัดลมจำนวน 2 ตัวต่อเข้ากับแผงโซลาร์เซลล์(Solar cell) ขนาด 10 วัตต์ เครื่องอบแห้งนี้สามารถอบแห้งกล้วยน้ำหว้าได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งอยู่ระหว่าง 33 – 58 °C สามารถอบแห้งกล้วยที่มีความชื้นเริ่มต้น 73 %มาตรฐานเปียก (%wb) จนเหลือความชื้นเพียง 25 %wb ภายในระยะเวลา 4 วัน และทำการทดสอบเปรียบเทียบกับตากแห้งตามธรรมชาติ ซึ่งเหลือความชื้นสุดท้าย 40 %wb โดยใช้ระยะเวลา 7 – 8 วัน



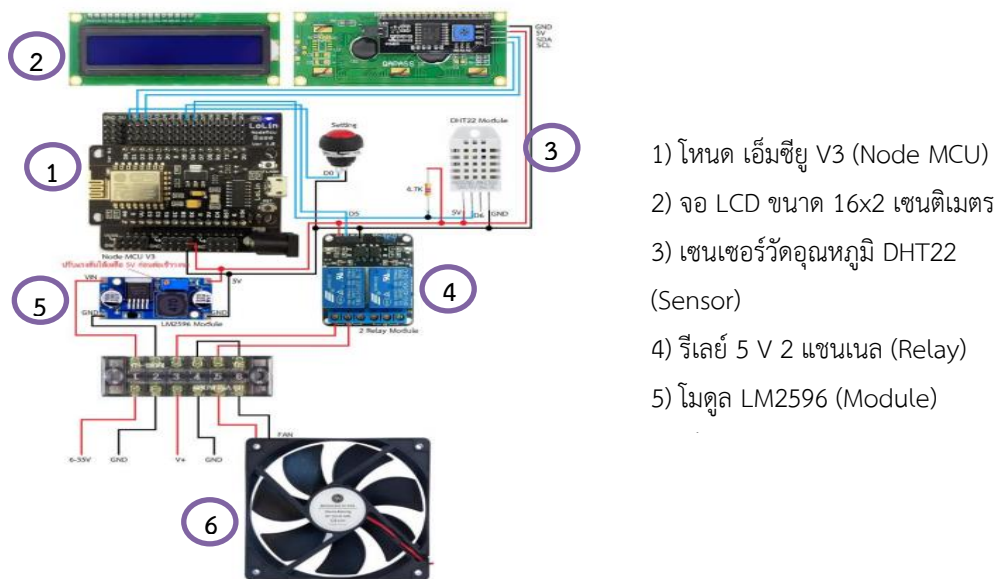
รูปภาพที่ 2.23 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน

ที่มา: สราวุฒิ แบนเนียร์ เพ็ญพร นิ่มนวล และ อรอนงค์ เสนาะจิต (2563)

ทักษิณ วังสิงห์ จินณวัตร เสมกัณ และ นิพัฐพนธ์ ฤชา (2564) ได้ศึกษาและพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะด้วยระบบเทคโนโลยีการเชื่อมต่อขอสรรพสิ่ง ขนาดของตู้อบมีความกว้าง 85 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และสูง 150 เซนติเมตร ซึ่งได้ออกแบบระบบการทำงานด้วยการใช้เทคโนโลยี IoT และโปรแกรม Arduino มาใช้ในการสั่งการและตั้งค่ากำหนดค่าของอุณหภูมิเพื่อเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศโดยสามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือ 1) ควบคุมโดยเทคโนโลยี IoT เพื่อทำงานแบบระบบอัตโนมัติโดยใช้อินเทอร์เน็ตในการรับการแจ้งเตือน สามารถทำงานโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง DC (Direct current) จากแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ 12 V รายงานผลอุณหภูมิ และความชื้นผ่านจอ LCD และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (Line) เหมาะสำหรับเกษตรกรผู้ที่อยู่ไกลจากบริเวณตู้อบแห้ง แต่ต้องการทราบผลอุณหภูมิภายใน 2) ควบคุมโดยเครื่องปรับอากาศฮีตเตอร์ระบบทำงานแบบไฟฟ้ากระแสสลับ AC (alternating current electricity) 220 V เหมาะสำหรับผู้ที่อยู่ใกล้บริเวณตู้อบแห้ง ซึ่งสามารถเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยเครื่องปรับอากาศฮีตเตอร์ เหมาะสำหรับ อุณหภูมิความร้อนไม่ถึงจุดที่ต้องการ สามารถทำการเปิดระบบเครื่องปรับอากาศฮีตเตอร์ เพิ่มความร้อนได้ ผ่านแอปพลิเคชัน ewelink โดยทำการอบแห้งผลผลิตทาง การเกษตรจำนวน 3 ชนิด ซึ่งผลการทดสอบพบว่า การทดสอบโดยใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวจะ ใช้อุณหภูมิในการอบระหว่าง 35 – 45 °C สามารถอบพริก ได้จำนวน 3 กิโลกรัมต่อครั้ง ใช้เวลาในการอบ 48 ชั่วโมง ส่วนกล้วย ได้จำนวน 120 ลูก ต่อครั้ง ใช้เวลาในการอบ 72 ชั่วโมง และมะม่วง ได้จำนวน 5 กิโลกรัม ต่อครั้งในการอบ 40 ชั่วโมง ในส่วนการทดสอบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องอุณหภูมิฮีตเตอร์พบว่า สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40 – 50 °C ปรากฏว่าสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็วขึ้น คือ พริก จำนวน 3 กิโลกรัม ใช้เวลาในการอบแห้ง 24 ชั่วโมง ส่วนกล้วย 120 ลูก ใช้เวลาในการอบ 48 ชั่วโมง และมะม่วง 5 กิโลกรัมใช้เวลาในการอบแห้ง 12 ชั่วโมง



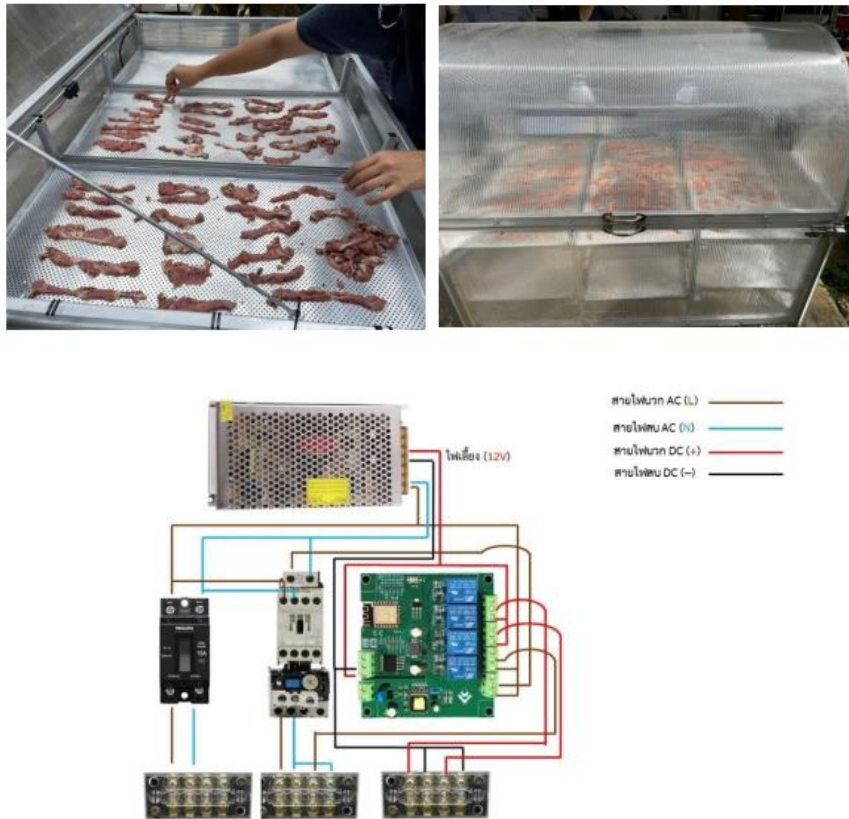
รูปภาพที่ 2.24 โครงสร้างตู้อบแสงอาทิตย์อัจฉริยะด้วยระบบเทคโนโลยีการเชื่อมต่อของสรรพสิ่ง
ที่มา: ทักษิณ วังสิงห์ จินณวัตร เสมกัน และ นิพัฐพนธ์ ฤๅชา (2564)



รูปภาพที่ 2.25 ระบบควบคุมภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์
ที่มา: ทักษิณ วังสิงห์ จินณวัตร เสมกัน และ นิพัฐพนธ์ ฤๅชา (2564)

อภิญา สายศรีแก้ว และคณะ (2565) ทำการพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการแปรรูปอาหารควบคุมด้วยระบบ Internet of Things (IoT) โดยทำการสร้างเครื่องอบแห้งขนาดความกว้าง 80 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร และสูง 140 เซนติเมตร หลังคาทรงโค้งทำจากวัสดุใสสามารถอบแห้งได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ อบเฉพาะแสงแดด อบเฉพาะหลอดไฟ และอบได้ทั้ง 2 รูปแบบพร้อมกัน มีพัดลมดูดอากาศเพื่อลดความชื้น นำระบบ IoT เข้ามาใช้ในการตรวจวัด และควบคุม

อุณหภูมิ โดยใช้เซ็นเซอร์ DHT21 ในการตรวจวัดอุณหภูมิและแสดงสถานะขึ้นสมาร์ทโฟน เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมพัดลมดูดอากาศในการลดอุณหภูมิให้ได้ตามที่ตั้งค่าไว้ รวมไปถึงมีแผงพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ และเมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ฯ โดยการอบแห้งเนื้อหมู 1 กิโลกรัม พบว่าผลการทดสอบเฉพาะแสงแดดอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบ 40°C ความเข้มแสงแดด 532 W/m^2 ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 2 ชั่วโมง ผลการทดสอบเฉพาะหลอดไฟ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบ 40°C ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า 1A แรงดันไฟฟ้า 224 V และพลังงาน 240 W ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง และผลการทดสอบแสงแดดและหลอดไฟ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบ 40°C ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า 1A แรงดันไฟฟ้า 224 V และพลังงาน 240 W ความเข้มของแสงแดด 523 W/m^2 ใช้เวลาในการอบแห้ง 1 ชั่วโมง



รูปภาพที่ 2.26 ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการแปรรูปอาหารด้วยระบบ IoT และวงจรภายใน
ที่มา: อภิญญา สารศรีแก้ว และคณะ (2565)

2.6 กรอบแนวคิดการวิจัย

ประเทศไทยมีสภาพอากาศและลักษณะทางกายภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเกษตรกรรม อาชีพการเกษตรจึงเป็นอาชีพของคนส่วนใหญ่ของประเทศ และเป็นเกษตรกรรายย่อย และแต่ละภูมิภาคมีความแตกต่างทางกายภาพ ทำให้มีผลผลิตการเกษตรหลายชนิดตามมา ตั้งแต่การเกษตรบนพื้นที่สูงสามารถปลูกพืชเมืองหนาวได้ ไปจรดการทำประมงในทะเล และเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า ผลผลิตการเกษตรทั้งพืช ปศุสัตว์ ประมง มักจะเน่าเสียได้ง่ายจากสภาพอากาศเขตร้อนชื้น เกษตรกรมักจะประสบปัญหาการเก็บรักษาผลผลิต หรือการแปรรูปให้สามารถเก็บรักษาได้ยาวนาน หรือเป็นการเพิ่มมูลค่า และจากการที่ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน มีแสงแดดดี จึงควรรหาทางใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการสร้างเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแสงแดดกับการใช้ประโยชน์กับผลผลิตทางการเกษตรต่าง ๆ ที่ผ่านมามีตัวอบตากผลผลิตเป็นสิ่งที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ยังไม่มีการควบคุมสภาวะการทำให้ให้เหมาะสม หากสามารถสร้างระบบควบคุมการทำงานของแสงแดดให้เหมาะสมกับผลผลิตแต่ละชนิด จะช่วยให้กระบวนการอบตากต่าง ๆ มีประสิทธิภาพตามมา

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยและพัฒนาระบบการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโรงอบตาก พลังงานแสงอาทิตย์ แบบเคลื่อนที่ มีรายละเอียดกระบวนการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 วางแผนกระบวนการงานวิจัย

3.1.1 วางแผนกำหนดแนวทางการดำเนินงานวิจัย

3.1.2 กำหนดขอบเขตงานวิจัย

1) ขอบเขตด้านการศึกษาข้อมูล

- ข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย
- ข้อมูลทฤษฎีเกี่ยวกับการอบแห้งวัสดุ เช่น ทฤษฎีการอบแห้ง คุณสมบัติของอากาศขึ้น ความชื้นวัสดุ การลดความชื้นผลผลิตทางการเกษตรและพืชสมุนไพรด้วยวิธีการอบแห้ง
- ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น ประเภทเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง
- ข้อมูลเกี่ยวกับระบบ IoT ที่มีการนำมาใช้ในโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบัน
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2) ขอบเขตการทดสอบเก็บข้อมูล

- ความสามารถในการทำงานของโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT
- ความสามารถในการวัดค่าอุณหภูมิความชื้นและการรายงานของระบบ IoT

3.2 ขั้นตอนวิธีดำเนินงาน

1) ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เป็นการศึกษาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลทฤษฎีเกี่ยวกับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เนื้อสัตว์ และพืชสมุนไพร ข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมด้วยระบบ IoT ที่มีการนำมาใช้ในโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบ

2) วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาพัฒนาโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ แบบเคลื่อนที่ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT

3) ออกแบบและจัดทำแบบรูปของเครื่อง เป็นการกำหนดรูปร่างของเครื่องที่กระทัดรัด กลไกการทำงาน ไม่ซับซ้อน มีความคล่องตัว และออกแบบระบบ IoT ของโรงอบตากพลังงานอาทิตย์ เช่น การติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบ IoT เป็นต้น

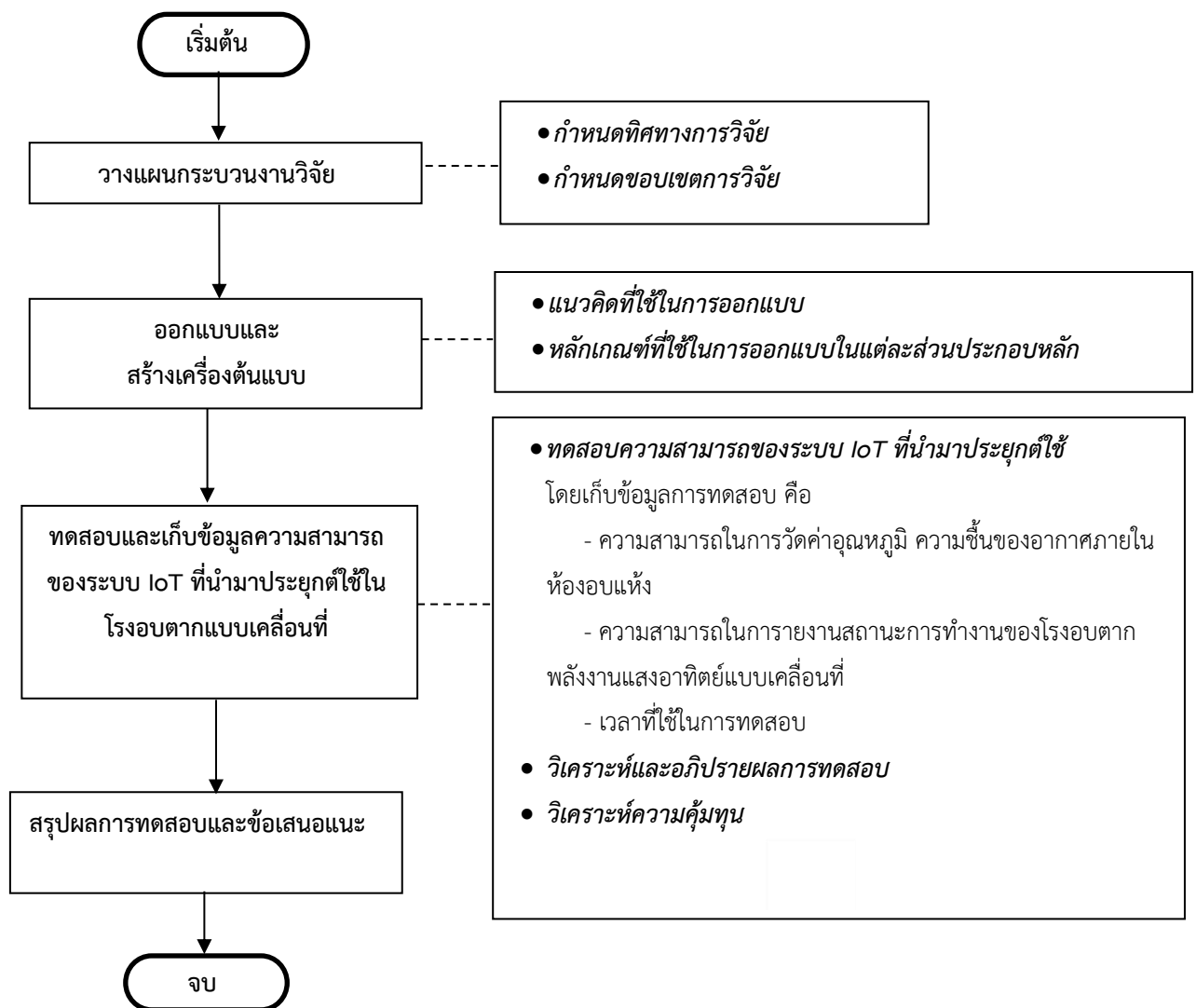
4) จัดหา/จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ โดยประยุกต์ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ได้ทำไว้ไป ไม่มีความซับซ้อน

5) สร้างเครื่องต้นแบบ จากตามแบบรูปที่กำหนดไว้ โดยมีแนวคิดที่กำหนดเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับใช้ในการทดสอบเก็บข้อมูลการทำงาน

6) ทดสอบเก็บข้อมูล เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่เป็นการทำงานเสมือนจริงของเครื่องทำการทดสอบความสามารถของระบบ IoT ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และการรายงานสถานการณ์ทำงานของโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

7) ปรับปรุงแก้ไข เป็นการปรับปรุงเครื่องต้นแบบภายหลังการทดสอบ หากมีจุดใดที่ควรปรับปรุงแก้ไขให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

8) จัดทำเอกสารที่เกี่ยวข้อง เป็นการจัดทำเอกสารการวิจัย เพื่อเผยแพร่ผลการวิจัยในช่องทางต่าง ๆ ให้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจต่อไป



รูปภาพที่ 3.1 สรุปขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโรงอบตาก พลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

3.3 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

3.3.1 การออกแบบโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ มีรายละเอียดดังนี้

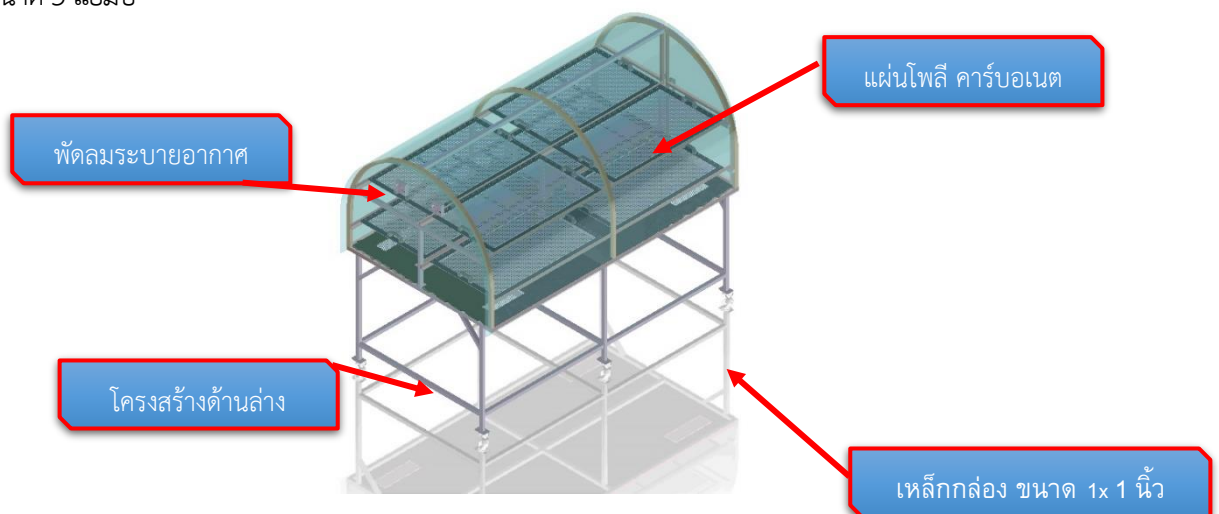
1) แนวคิดที่ใช้ในการออกแบบโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

- กลไกการทำงานไม่ซับซ้อน เกษตรกรที่สนใจสามารถเรียนรู้ในการสร้างประกอบได้เอง
- วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ สามารถประยุกต์ใช้หรือหาซื้อได้โดยทั่วไป
- ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องต่ำ เกษตรกรสามารถเข้าถึงได้
- ขนาดกะทัดรัด มีความคล่องตัวและมีประสิทธิภาพการใช้งาน

2) หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

ในการออกแบบและสร้างโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ คำนึงถึงการใช้วัสดุให้มีเศษเหลือน้อยที่สุด ซึ่งมีขนาดความกว้าง 120 เซนติเมตร ความยาว 200 เซนติเมตร สูง 163 เซนติเมตร ประกอบด้วยอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- ส่วนโครงสร้างด้านบน มีลักษณะโค้งเป็นหลังคาหุ้มด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต
- ส่วนโครงสร้างด้านล่าง เป็นชุดโครงสร้างที่ทำมาจากเหล็กกล่องประกอบขึ้นรูปเป็นโต๊ะมีขนาดที่ชุดบนสามารถสวมลงได้พอดี ซึ่งโครงสร้างด้านล่างและด้านบนจะสามารถแยกส่วนกันได้เพื่อให้ง่ายต่อการทำความสะอาดภายในโรงอบตาก และการซ่อมบำรุง
- ส่วนถาดตาก เป็นส่วนที่ออกแบบให้สามารถตากผลผลิตได้ 2 ชั้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการตากผลผลิต
- ชุดพัดลมระบายอากาศ และช่องระบายอากาศเพื่อช่วยระบายความชื้นออกไปภายนอก และควบคุมอุณหภูมิภายในโรงตากให้คงที่
- แผงโซลาร์เซลล์ เป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ 12 ขนาด 5 แอมป์



รูปภาพที่ 3.2 โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ 3 มิติ

3.3.1.1 ขั้นตอนการสร้าง

- 1) จัดเตรียมวัสดุเหล็กตามขนาดที่ต้องการ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- 2) ตัดขนาดเหล็กตามขนาดที่กำหนดและออกแบบไว้
- 3) สร้างชุดโครงสร้างด้านล่าง

ทำการจัดเตรียมและตัดเหล็ก ตามขนาดและความยาวรายละเอียดตามรูปภาพที่ 3.3 ในการสร้างชุดโครงสร้างด้านล่าง ทำการประกอบเหล็กโครงสร้างในส่วนขาและส่วนเสริมความแข็งแรงก่อน โดยการเชื่อมประสานไฟฟ้า



รูปภาพที่ 3.3 การสร้างประกอบชุดโครงสร้างด้านล่างบริเวณส่วนขาและส่วนเสริมความแข็งแรง

ทำการปูเหล็กซิงค์ขนาด 120 x 240 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ด้านบนของส่วนขา และติดตั้งล้อเพื่อให้เคลื่อนย้ายได้สะดวก



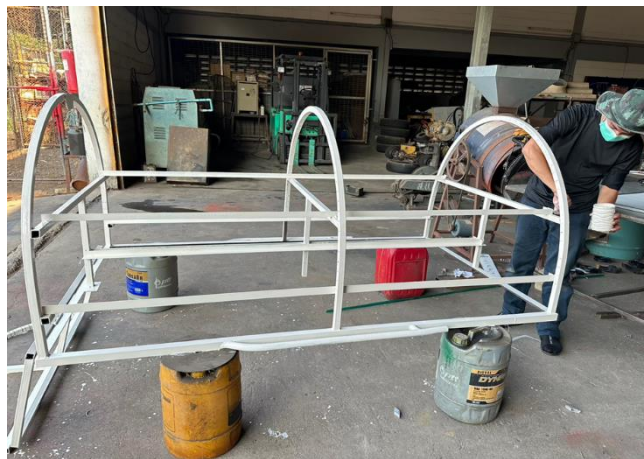
รูปภาพที่ 3.4 ชุดโครงสร้างด้านล่างโรงอบตาก

4) สร้างชุดโครงสร้างด้านบน

ชุดโครงสร้างด้านบนจะเป็นชิ้นส่วนที่ประกอบไปด้วยหลังคาโค้งที่หุ้มด้วยโพลีคาร์บอเนต และติดตั้งชุดโครงสร้างรองรับลาดตากที่สามารถตากผลผลิตได้ 2 ชั้น ในการสร้างชุดโครงสร้างด้านบนในส่วนหลังคาโค้งจะใช้เหล็กกล่องกัลวาไนซ์ขนาด 1 x 1 นิ้วเป็นชิ้นส่วนหลักโดยนำมาตัดโค้งให้ได้ตามรูปร่างและรัศมีตามรูปภาพที่ ก.6 และทำการเชื่อมไฟฟ้าให้ได้รูปร่างลักษณะตามที่ออกแบบและทำการทาสีด้านบนให้แล้วเสร็จก่อนหุ้มด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.5, 3.6 และ 3.7



รูปภาพที่ 3.5 การสร้างประกอบชุดโครงสร้างด้านบน



รูปภาพที่ 3.6 ทาสีชุดโครงสร้างด้านบนก่อนทำการหุ้มโพลีคาร์บอเนต



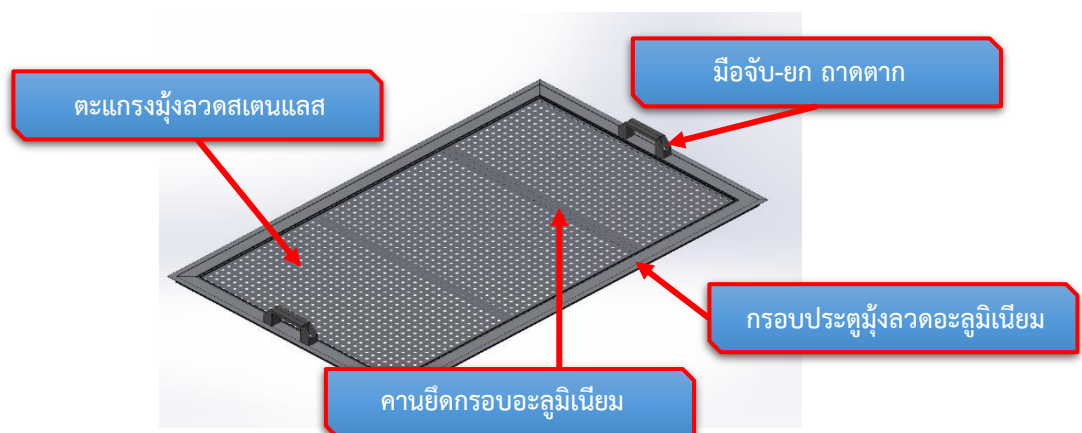
รูปภาพที่ 3.7 ลักษณะชุดโครงสร้างด้านบนที่ทำการหุ้มโพลีคาร์บอเนตแล้วเสร็จ

5) สร้างชุดถาดตาก

ทำการสร้างชุดถาดตาก โดยใช้กรอบอลูมิเนียมและตะแกรงมุ้งลวดเป็นวัสดุหลัก
ทำการสร้างประกอบชุดถาดตาก ขนาด 58 x 90 เซนติเมตร จำนวน 4 ถาด และ ขนาด 98 x 90 เซนติเมตร



รูปภาพที่ 3.8 การสร้างประกอบชุดถาดตาก



รูปภาพที่ 3.9 ลักษณะชุดถาดตากผลผลิตภายในโรงอบตาก

6) ติดตั้งชุดพัฒนาระบายอากาศและช่องระบายอากาศ

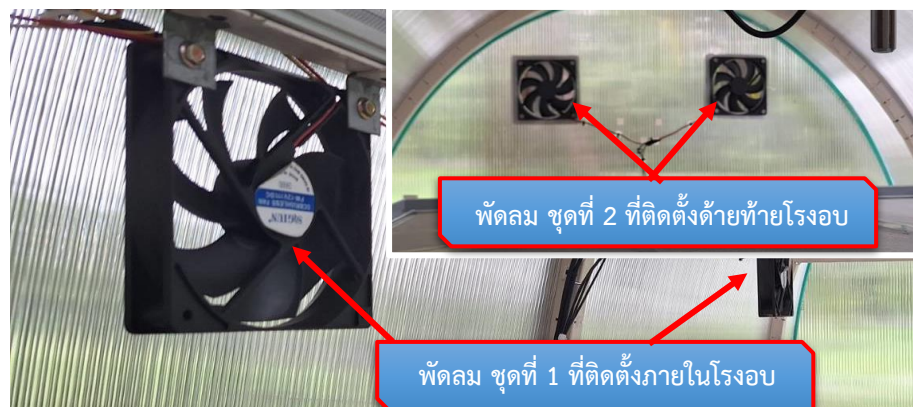
โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่มีการระบายอากาศชั้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้งจำนวน 2 จุด คือ 1) บริเวณด้านหน้าโรงอบตากจะถูกเจาะให้เป็นช่องบริเวณประตูโรงอบตากด้านล่าง 2) บริเวณด้านท้ายโรงอบตาก จะทำการติดตั้งชุดพัฒนาระบายอากาศ ขนาด 4 นิ้ว จำนวน 2 ตัว ใช้ไฟกระแสตรง 12 โวลต์



รูปภาพที่ 3.10 ชุดพัฒนาระบายอากาศและช่องระบายอากาศ

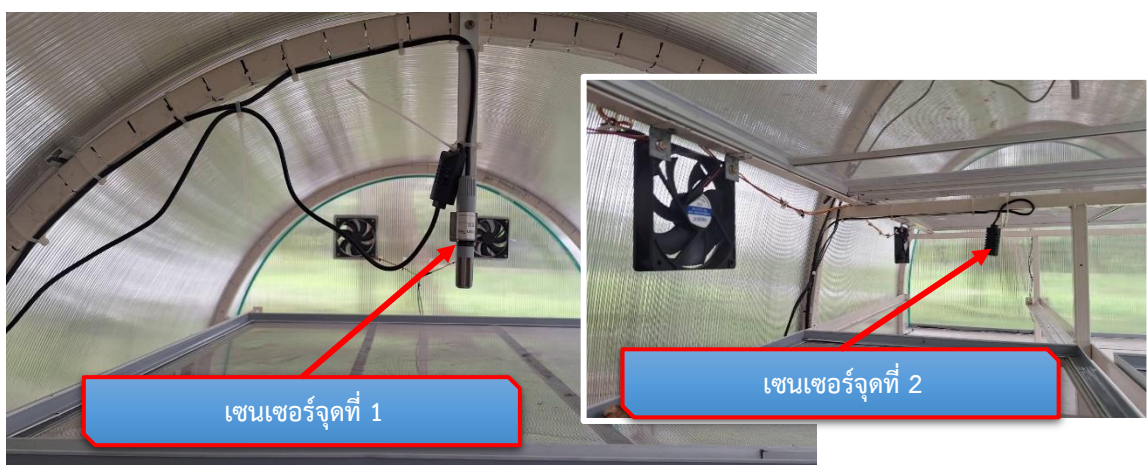
3.3.2 การออกแบบระบบ IoT ที่นำมาประยุกต์ใช้ในโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

ระบบควบคุมโรงอบอัจฉริยะ นั้น เป็นระบบที่สามารถควบคุมได้ทั้งแบบ แมนนวล และแบบอัตโนมัติ โดยการควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ตโฟน (Smart phone) ที่รองรับ และสามารถควบคุมหน้าตู้ได้ การควบคุมโรงอบตากนั้นจะเป็นการควบคุมการหมุนเวียนอากาศของพัดลม ชุดที่ 1 ที่ติดตั้งภายในโรงอบตาก และการระบายอากาศของพัดลมชุดที่ 2 ที่ติดตั้งด้านท้ายของโรงอบ

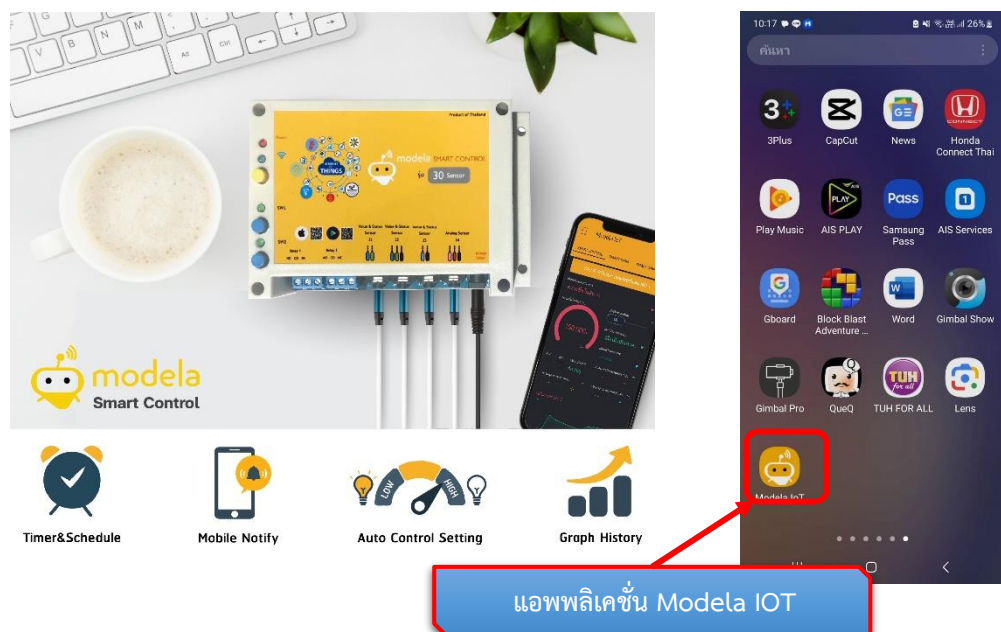


รูปภาพที่ 3.11 จุดบริเวณติดตั้งพัดลมภายในโรงอบตาก

การทำงานของพัดลมภายในโรงอบตากจะควบคุมด้วยระบบ IoT Modela ที่เชื่อมต่อการควบคุมผ่านโทรศัพท์ด้วยแอปพลิเคชัน Modela IoT โดยจะทำการรับสัญญาณการทำงานผ่านเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศ จำนวน 2 จุด เพื่อควบคุมการทำงานของพัดลมให้สอดคล้องกับอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบตาก โดยได้กำหนดตั้งค่าเงื่อนไขว่า หากอุณหภูมิในโรงอบมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ พัดลมระบายอากาศหรือพัดลมหมุนเวียนอากาศจะทำงาน ซึ่งระบบ IoT Modela จะทำการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน Modela IoT ไปยังผู้ใช้ ว่าอุณหภูมิหรือความชื้นเกินกว่าหรือต่ำกว่า ค่าที่กำหนดไว้



รูปภาพที่ 3.12 จุดบริเวณติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและวัดความชื้นอากาศภายในโรงอบตาก



รูปภาพที่ 3.13 ลักษณะและแอปพลิเคชัน Modela IoT ที่ใช้ในการวิจัย

แหล่งพลังงานของระบบควบคุม IoT เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) 12 โวลต์ ทั้งระบบ สามารถใช้งานจากแหล่งไฟฟ้าได้ 2 ระบบด้วยกัน คือ ระบบไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ และระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ที่ผ่านการแปลงกระแสไฟฟ้าจากตัวแปลงไฟฟ้าให้เป็นกระแสตรง 12 โวลต์



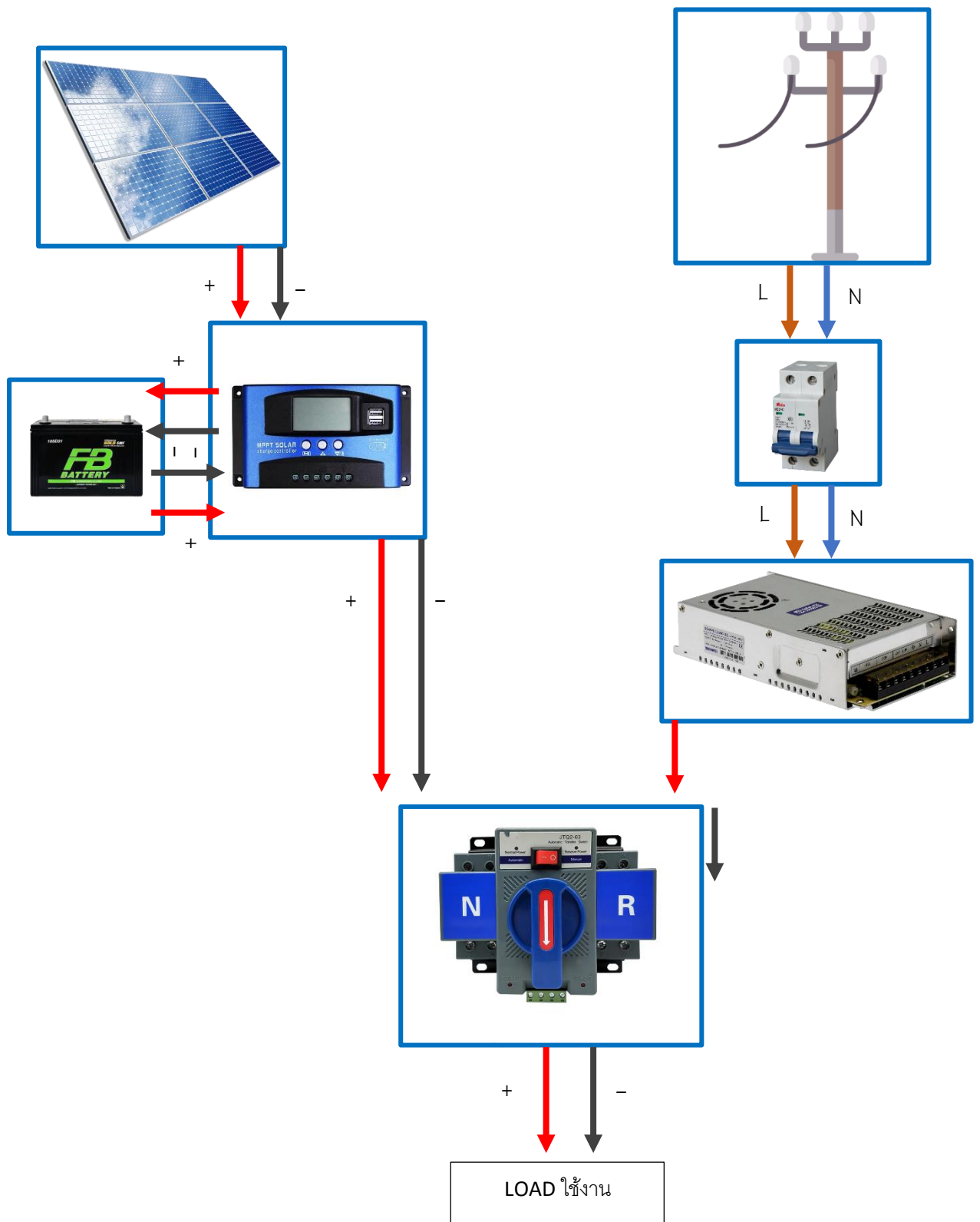
รูปภาพที่ 3.14 ลักษณะการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ของโรงอบตาก



รูปภาพที่ 3.15 ลักษณะการติดตั้งตัวควบคุมการชาร์จและแบตเตอรี่ของระบบ



รูปภาพที่ 3.16 ลักษณะการติดตั้งตัวจัดการแหล่งที่มาของพลังงานที่สามารถเลือกได้ 2 แหล่ง



รูปภาพที่ 3.17 ไดอะแกรมการจ่ายพลังงานให้แก่ระบบควบคุม IoT ภายใต้การวิจัย

หลักการทำงานของโรงอบตากโดยระบบ IOT ควบคุม

การตั้งค่า

1. ตั้งค่าความชื้นที่ต้องการควบคุม กำหนด ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุดที่ต้องการให้พัดลมทำงาน
2. ตั้งค่าความอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม กำหนด ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุดที่ต้องการให้พัดลมทำงาน

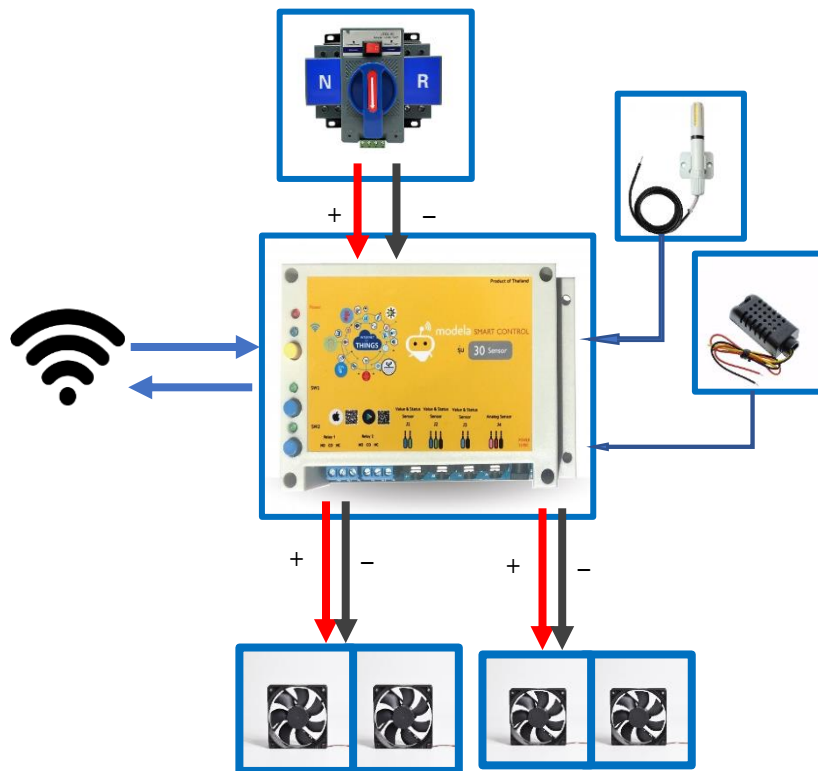
3. ตั้งค่า ว่าจะให้อุณหภูมิหรือความชื้นสั่งงานพัดลม ชุดที่ 1 หรือชุดที่ 2
4. ตั้งค่าว่าจะให้ระบบทำงานแบบแมนนวล หรือระบบอัตโนมัติ

การทำงาน เมื่อเปิดระบบ ระบบควบคุมจะเริ่มต้นทำงานโดยรับสัญญาณจาก เซนเซอร์ พัดลมจะยังคงไม่ทำงาน เมื่ออุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในโรงอบมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าที่กำหนดไว้ ระบบจะส่งข้อความเตือน

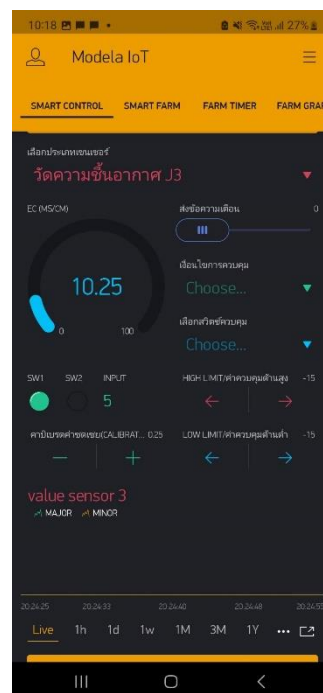
ในกรณีที่ตั้งค่าระบบให้เป็นแบบแมนนวล จะเป็นเพียงการแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานทราบเท่านั้น แต่จะไม่มีการสั่งงานให้พัดลมทำงาน หากผู้ใช้ต้องการสั่งงานก็สามารถกระทำได้ด้วยตนเอง หากยังคงต้องการให้อยู่ภายในโรงอบตากมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นอีกก็สามารถตั้งค่าให้สูงกว่าอุณหภูมิ ณ ปัจจุบัน และรอการแจ้งเตือนใหม่อีกครั้ง หากมีการระบายความชื้นและอุณหภูมิในโรงอบตาก อุณหภูมิถึงค่าต่ำสุดที่ตั้งไว้ ระบบจะทำการส่งการแจ้งเตือนเช่นกัน แต่เป็นเพียงการแจ้งเตือนผ่าน แอปพลิเคชันเท่านั้น จะไม่มีการสั่งตัดการทำงานของพัดลมผู้ใช้จะต้องทำการปิดด้วยตนเอง

ในกรณีที่ผู้ใช้ตั้งค่าให้เป็นระบบอัตโนมัติ เมื่อเมื่ออุณหภูมิถึงค่าสูงสุดที่ตั้งไว้ ระบบจะส่งข้อความเตือนเพื่อให้ผู้ใช้งานทราบและสั่งการให้พัดลมทำงานทันที และเมื่อมีการระบายความชื้นและอุณหภูมิในโรงอบตาก อุณหภูมิถึงค่าต่ำสุดที่ตั้งไว้ ระบบจะส่งข้อความเตือนเพื่อให้ผู้ใช้งานทราบและสั่งการให้พัดลมหยุดทำงานทันที

ค่าการวัดของเซนเซอร์ ระบบจะจัดเก็บไว้ในลักษณะกราฟข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์การใช้งานและพื้นที่การรับความร้อนของระบบต่อไป อีกทั้งระบบยังสามารถควบคุมการทำงานด้วยการตั้งเวลาได้ หากผู้ใช้ต้องการให้พัดลมทำงานเป็นเวลากี่ชั่วโมงครั้ง และครั้งละกี่นาที



รูปภาพที่ 3.18 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบควบคุม IoT ภายใต้การวิจัย



รูปภาพที่ 3.19 การรับส่งข้อมูลระบบควบคุม IoT ภายใต้การวิจัย

บทที่ 4

ผลการทดสอบเก็บข้อมูล

ภายใต้การวิจัยและพัฒนาระบบการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบและหลักการทำงานของระบบ IoT ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ 2) เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน 3) เพื่อทดสอบเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลการการทำงานของโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการ ผลการทดสอบสามารถแบ่งเป็นประเด็นหลัก ๆ ดังนี้

ประเด็นที่ 1) ผลการพัฒนาโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน

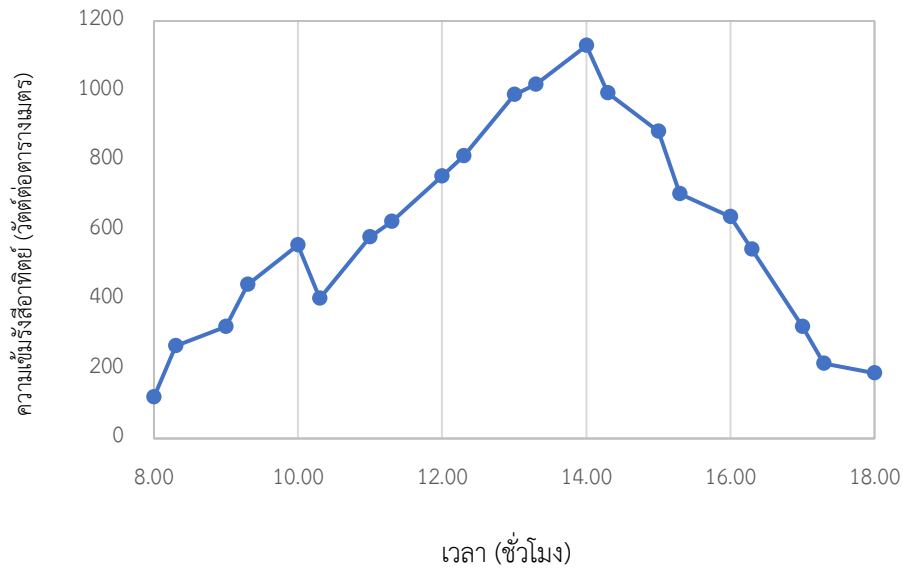
ประเด็นที่ 2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน

ประเด็นที่ 1) ผลการพัฒนาโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน

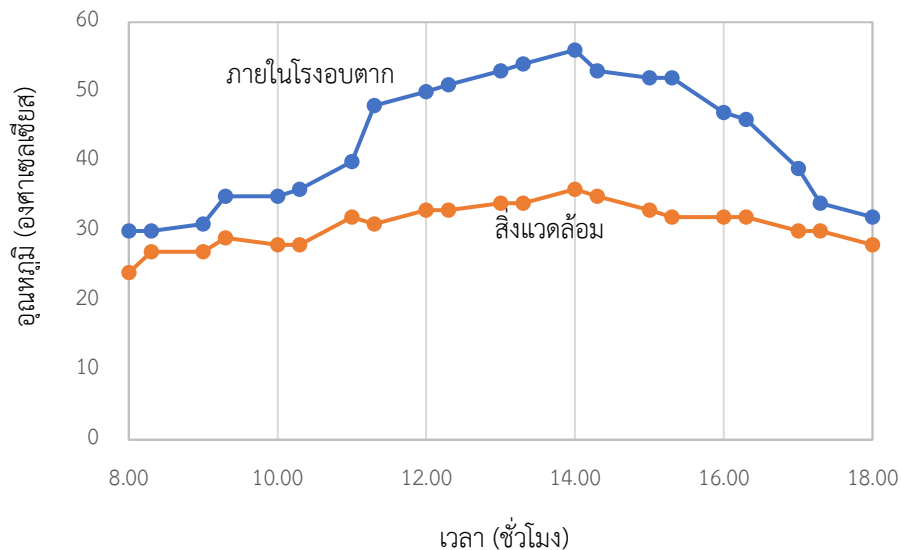
ผลการพัฒนาโรงอบตากแบบเคลื่อนที่ เป็นโรงอบตากเคลื่อนที่ต้นแบบ มีขนาดความกว้าง 120 เซนติเมตร ความยาว 200 เซนติเมตร สูง 163 เซนติเมตร สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ออกแบบให้มี 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนโครงสร้างของชุดตู้อบเป็นส่วนด้านบน และส่วนด้านล่างเป็นโครงสร้าง 4 เหลี่ยม สามารถนำส่วนด้านบนมาวางครอบชุดด้านล่างได้ ทำให้ง่ายต่อการทำความสะอาดและซ่อมบำรุงภายในโรงอบตาก ในส่วนโครงสร้างด้านบนมีลักษณะเป็นหลังคาทรงโค้ง ทำจากเหล็กกล้าปั๊มไนซ์ วัสดุคลุมสีเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนต ทำให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านได้ดี แสงจะสะท้อนผ่านออกมาได้น้อยจึงทำให้ความร้อนส่วนใหญ่ถูกกักเก็บไว้ภายในโรงอบตาก แหล่งพลังงานความร้อนของโรงอบตากใช้เพียงแสงอาทิตย์เท่านั้น โรงอบตากสามารถตากผลผลิตได้ 2 ชั้น เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการตากผลผลิต โดยมีถาดตากจำนวน 6 ถาด ประกอบด้วยถาดตากขนาด 58 x 90 เซนติเมตร จำนวน 4 ถาด และขนาด 98 x 90 เซนติเมตร จำนวน 2 ถาด

ผลการประยุกต์ใช้ระบบ IoT กับโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ จากการทดสอบเก็บค่าอุณหภูมิภายในโรงอบตาก ในช่วงวันที่ 16 – 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 ตั้งแต่เวลา 8.00 – 18.00 น. โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิภายในโรงอบตากที่ไม่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT (วันที่ 16 กรกฎาคม 2566) กับมีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT (วันที่ 17 กรกฎาคม 2566) พบว่า โรงอบตากที่ไม่มี

การประยุกต์ใช้ระบบ IoT ค่าอุณหภูมิภายในโรงอบตากจะมีอุณหภูมิผันแปรกับความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยมี ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อวัน 595 วัตต์ต่อตารางเมตร แสดงดังรูปภาพที่ 4.1 และอุณหภูมิภายในโรงอบตาก อยู่ในช่วง 31 ถึง 56 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปภาพที่ 4.2

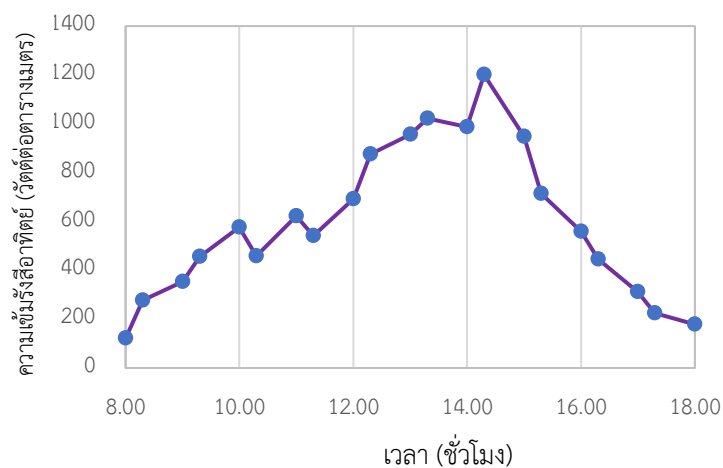


รูปภาพที่ 4.1 การแปรค่าของความเข้มรังสีในช่วงเวลาที่ทดสอบวันที่ 16 กรกฎาคม 2566

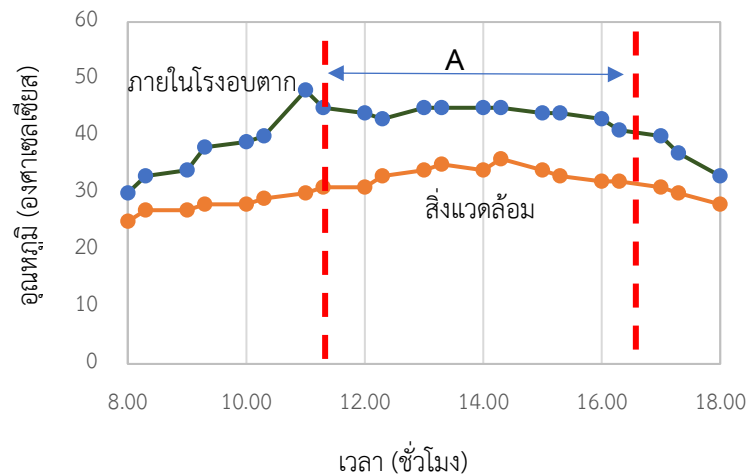


รูปภาพที่ 4.2 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศภายในโรงอบตากเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อม
ในช่วงเวลาทำการทดสอบ วันที่ 16 กรกฎาคม 2566

ในส่วนการทดสอบโรงอบตากเมื่อมีการติดตั้ง ระบบ IoT สำหรับใช้ในการตรวจวัดควบคุม อุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในโรงอบตาก โดยกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมให้ภายในโรงอบตากมี อุณหภูมิภายในอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 45 องศาเซลเซียส พบว่าจากการเก็บข้อมูลผลทดสอบอุณหภูมิ ภายในโรงอบตากยังผันแปรกับความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อวัน 597 วัตต์ ต่อตารางเมตร แสดงดังรูปภาพที่ 4.3 ในการเก็บข้อมูลผลการทดสอบอุณหภูมิภายในโรงอบตาก จะเพิ่ม สูงขึ้นตามความเข้มรังสีอาทิตย์และเมื่ออุณหภูมิภายในโรงอบตากมีอุณหภูมิที่สูงเกิน 45 องศาเซลเซียส เซนเซอร์ DHT21 และเซนเซอร์ SHT20 ที่ต่อเข้ากับกล่อง IoT Medela ทำการตรวจวัดอุณหภูมิและ ความชื้นจะรายงานและแสดงสถานะขึ้นบนสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชัน Modela IoT และควบคุมให้ พัดลมที่ใช้หมุนเวียนอากาศและพัดลมที่ใช้ในการระบายอากาศขึ้นออกสู่ภายนอกโรงอบตากทำงาน จนเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบลดลงต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส ระบบ IoT จะทำการสั่งหยุดการทำงาน ของพัดลมหมุนเวียนและพัดลมระบายอากาศขึ้น ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงอบตากได้ ตามเงื่อนไขที่กำหนด จากรูปภาพที่ 4.4 ช่วงระยะเวลา A เป็นช่วงระยะเวลาที่ระบบ IoT สามารถควบคุม อุณหภูมิภายในโรงอบตากอยู่ในช่วง 40 ถึง 45 องศาเซลเซียส การรักษาอุณหภูมิภายในโรงอบตากให้มี ช่วงอุณหภูมิที่สม่ำเสมอจะทำให้ผลผลิตที่นำมาอบแห้ง มีคุณภาพที่ดีมากยิ่งขึ้นเป็นการรักษาคุณภาพ ของผลผลิต อีกทั้งช่วยป้องกันให้คุณสมบัติบางประการของผลผลิตที่นำมาอบแห้งไม่ถูกทำลาย โดยอุณหภูมิมอบแห้งที่สูงเกินไป



รูปภาพที่ 4.3 การแปรค่าของความเข้มรังสีในช่วงเวลาที่ทดสอบวันที่ 17 กรกฎาคม 2566

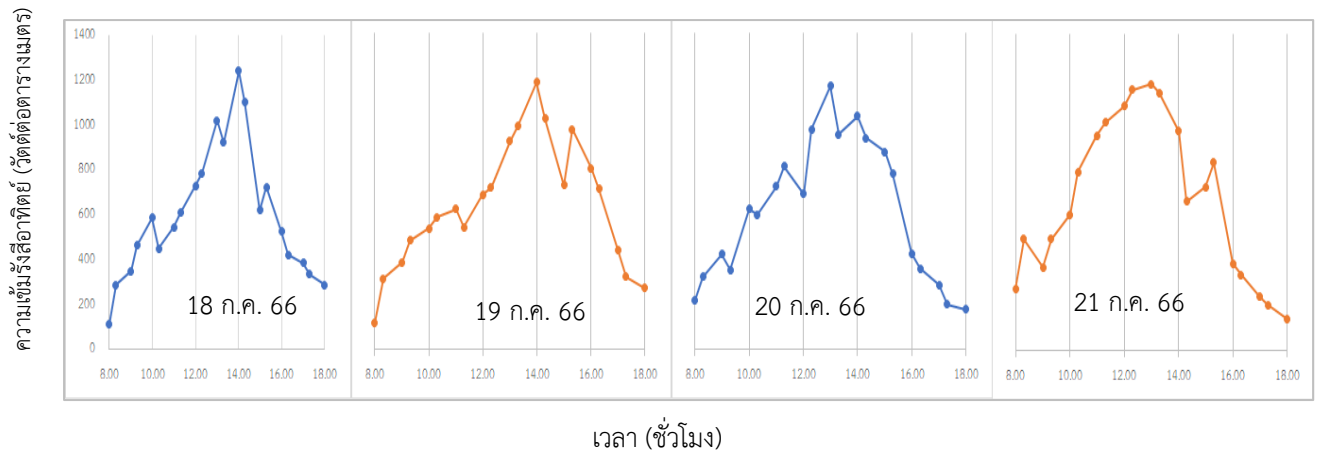


รูปภาพที่ 4.4 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศภายในโรงอบตากเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อม
ในช่วงเวลาทำการทดสอบ วันที่ 17 กรกฎาคม 2566

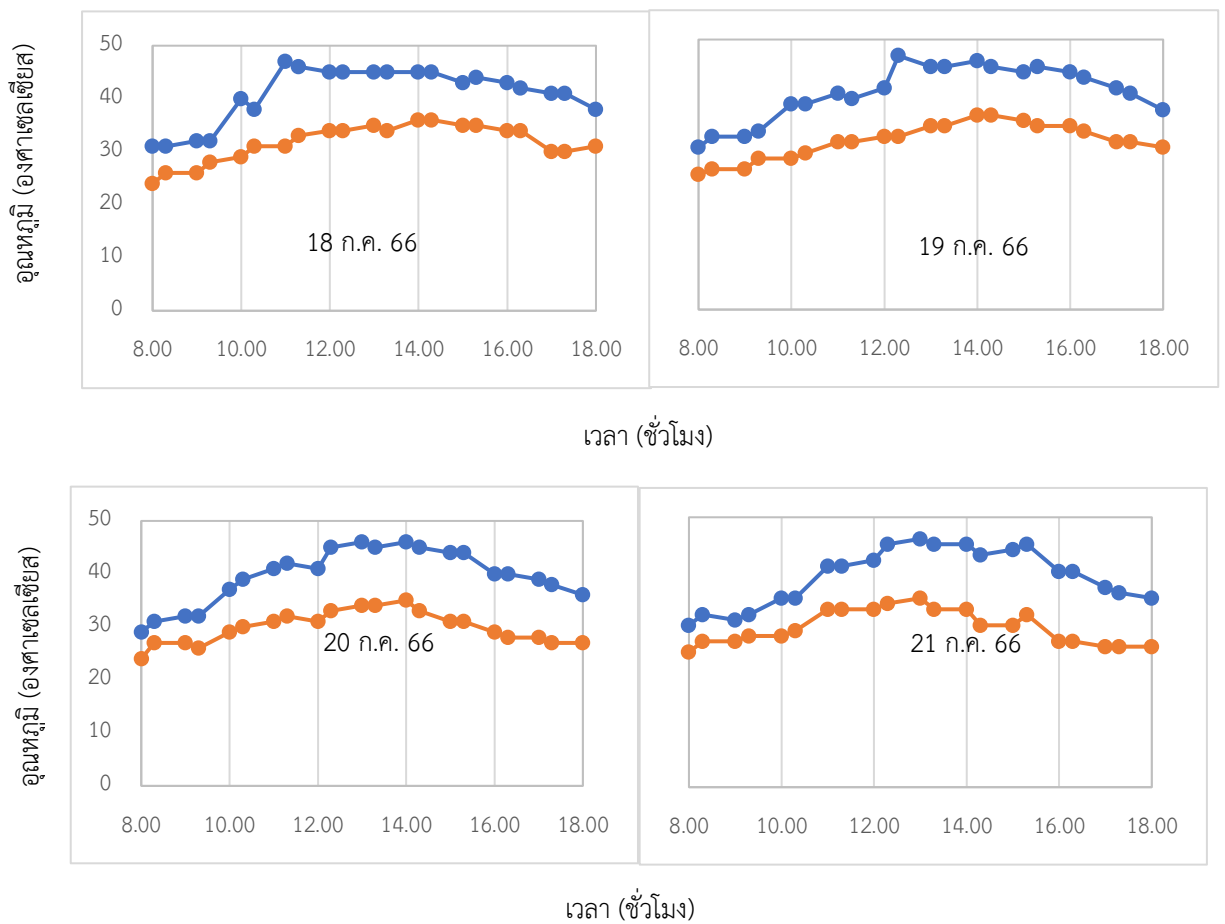
ประเด็นที่ 2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน

ในการทดสอบประสิทธิภาพของโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าแบบเต็มพื้นที่ตาก โดยทำการทดสอบอบแห้งในช่วงเดือนมิถุนายน ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ท้องฟ้าแจ่มใสมีแดดดีเกือบตลอดทั้งวัน โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 8.00 – 18.00 น.

สำหรับการทดสอบความสามารถในการทำความร้อนภายในโรงอบตาก คณะผู้วิจัยได้เสนอผลการทดสอบในช่วงวันที่ 18 – 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 ณ ศูนย์เครื่องจักรกล ตำบลบ้านกลาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี โดยทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบตาก และความชื้นรังสีอาทิตย์ภายนอกโรงอบตาก ตั้งแต่เวลา 8.00 – 18.00 น. ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวมีลักษณะของท้องฟ้าแจ่มใส และมีเมฆบางส่วนตลอดระยะเวลาของการทดสอบ โดยมีค่าความชื้นรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 115 – 1,264 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าความชื้นแสงอยู่ในวันแรกของการทดสอบ สำหรับอุณหภูมิภายในโรงอบตากอยู่ในช่วง 30 ถึง 46 องศาเซลเซียส



รูปภาพที่ 4.5 การแปรค่าของความเข้มรังสีในช่วงเวลาที่ทดสอบ (18 – 21 กรกฎาคม 2566)



รูปภาพที่ 4.6 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศภายในโรงอบตากเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อม
ในช่วงเวลาทำการทดสอบ (18 – 21 กรกฎาคม 2566)

สำหรับการทดสอบในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่ประยุกต์ระบบ IoT เข้ามาควบคุมการทำงาน สามารถอบแห้งกล้วยได้ครั้งละ 40 กิโลกรัม แบบเต็มพื้นที่ โดยมีเงื่อนไขการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 45 องศาเซลเซียส ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 605 วัตต์ต่อตารางเมตร สามารถใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 4 วัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสรารุณี แนนเนียร เพ็ญพร นิ่มนวล และ อรอนงค์ เสนาะจิต (2563) นอกจากนี้กล้วยอบแห้งที่ได้ยังมีความสะอาดปราศจากฝุ่นละออง และแมลงต่าง ๆ ที่มารบกวนขณะอบแห้ง ทำให้กล้วยอบแห้งมีคุณภาพ



รูปภาพที่ 4.7 การทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT



รูปภาพที่ 4.8 ลักษณะการวางกล้วยน้ำว้าในถาดตากของโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT



รูปภาพที่ 4.9 ลักษณะกล้วยน้ำว้าก่อนการอบแห้งในโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT



รูปภาพที่ 4.10 ลักษณะกล้วยน้ำว้าหลังการอบแห้งในโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผล

การวิจัยและพัฒนาการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโรงอบตาก พลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ แบ่งการอภิปรายผลการวิจัยออกเป็น 2 ประเด็นหลัก ๆ ดังนี้

1) ผลการพัฒนาโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน พบว่า คณะผู้วิจัยได้พัฒนาโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน ได้ตรงต่อความต้องการของเกษตรกรรายย่อยที่ต้องการโรงอบตากขนาดเล็กเพียงพอแก่การใช้ในครัวเรือน สามารถเคลื่อนย้ายสะดวก มีความคล่องตัว สามารถใช้งานได้ตามต้องการ และเพื่อลดปัญหาความเสียหายจากการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิ ที่ใช้ในการอบแห้งภายในโรงอบตากให้สอดคล้องกับอุณหภูมิที่เหมาะสมกับผลผลิตที่นำมาอบแห้ง โรงอบดังกล่าวจึงมีการนำเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานสั่งการการเปิด-ปิดชุดพัดลมที่ใช้หมุนเวียนอากาศและระบายอากาศขึ้นออกภายนอกโรงอบตาก โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิโรงอบตากให้มีความสม่ำเสมอตามที่ตั้งค่ากำหนดไว้ และรายงานสถานะขึ้นบนสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชัน Modela IoT ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทักษิณ วังสิงห์ จินณวัตร เสมกัน และ นิพัทธ์พนธ์ ฤชา (2564) ที่ศึกษาและพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะด้วยระบบเทคโนโลยีการเชื่อมต่อสรรพสิ่ง ที่นำระบบ IoT และโปรแกรม Arduino มาใช้ในสั่งการและตั้งค่ากำหนดค่าของอุณหภูมิ เพื่อเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศ และใช้อินเตอร์เน็ตในการรับการแจ้งเตือนรายงานผลอุณหภูมิและความชื้นผ่านจอ LCD และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (Line)

2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน พบว่า สามารถทำการอบที่ช่วงอุณหภูมิที่กำหนดเพื่อการแปรรูปอาหาร คงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารและคุณสมบัติทางยาของสมุนไพร ช่วยลดระยะเวลาการอบแห้ง สอดคล้องกับ อภิษฎา สายศรีแก้ว และคณะ (2565) ที่ทำการพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการแปรรูปอาหารควบคุมด้วยระบบ Internet of Things (IoT) ที่ว่าตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสม จะมีประสิทธิภาพและสามารถช่วยลดระยะเวลาในการอบให้น้อยลง และสอดคล้องกับงานวิจัยของสรารุณี แนนเนียร เพ็ญพร นิมนวล และ อรอนงค์ เสนาจิต (2563) ที่ได้ศึกษาวิจัยการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กเคลื่อนที่มีผลทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอบฯ มีประสิทธิภาพใช้เวลาในการอบเร็วกว่าทำการตากแห้ง

ด้วยสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ และผลผลิตที่อบแห้งด้วยเครื่องอบฯ ยังมีความสะอาดปราศจากฝุ่นละออง และแมลงต่าง ๆ ที่มารบกวนขณะอบแห้ง ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพ

5.2 สรุป

การวิจัยและพัฒนาระบบการประยุกต์ใช้ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ สามารถสรุปผลวิจัยได้ ดังนี้

ผลการพัฒนาโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน มีขนาดความกว้าง 120 เซนติเมตร ความยาว 200 เซนติเมตร สูง 163 เซนติเมตร สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ลักษณะของหลังคาเป็นทรงโค้งทำจากเหล็กกล้าปาวาไนซ์ วัสดุคลุมใสเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนต ทำให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านได้ดี มีการติดตั้ง ระบบ IoT สำหรับใช้ในการตรวจวัดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในโรงอบตาก ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมให้ภายในโรงอบตากมีอุณหภูมิตามที่ต้องการ ระบบ IoT จะควบคุมการทำงานของพัดลมที่ใช้หมุนเวียนอากาศ และพัดลมที่ใช้ในการระบายอากาศขึ้นออกสู่ภายนอกโรงอบตาก ลักษณะการควบคุมการทำงานสามารถควบคุมด้วยตนเองหรือตั้งเป็นระบบอัตโนมัติ ระบบ IoT ที่นำมาประยุกต์ใช้จะช่วยรักษารักษาอุณหภูมิภายในโรงอบตากให้มีช่วงอุณหภูมิที่สม่ำเสมอทำให้ผลผลิตที่นำมาอบแห้งมีคุณภาพที่ดีมากยิ่งขึ้น เป็นการรักษาคุณภาพของผลผลิต อีกทั้งช่วยป้องกันคุณสมบัติบางประการของผลผลิตที่นำมาอบแห้งไม่ถูกทำลายโดยอุณหภูมิอบแห้งที่สูงเกินไป

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT มาควบคุมการทำงาน ณ ศูนย์เครื่องจักรกล ตำบลบ้านกลาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี โดยทำการทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าแบบเต็มพื้นที่ตาก สามารถอบแห้งกล้วยได้ครั้งละ 40 กิโลกรัม ในการทดสอบได้กำหนดเงื่อนไขการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 45 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิภายในโรงอบตากจะแปรผันกับความเข้มรังสีอาทิตย์ ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระหว่างการทดสอบ 605 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 4 วัน ระบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงอบตากอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 45 องศาเซลเซียสตามที่กำหนด พร้อมทั้งสามารถรายงานและแสดงสถานะขึ้นบนสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชัน Modela IoT ได้ตามที่ต้องการ

5.3 ข้อเสนอแนะ

1) ควรพัฒนาให้มีแหล่งความร้อนเพิ่มเติม เพื่อให้การอบแห้งมีความต่อเนื่อง ลดข้อจำกัดในการใช้งานในสภาวะอากาศไม่เอื้ออำนวย เช่น เวลากลางวัน หรือในพื้นที่มีฝนตกชุกในพื้นที่ภาคใต้หรือพื้นที่ ภาคตะวันออก เป็นต้น

2) งานวิจัยชิ้นนี้เป็นเพียงต้นแบบที่ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จัดหาได้ง่าย และมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ จึงอาจจะมีคุณภาพและความแม่นยำในการทำงานเพียงระดับหนึ่ง หากมีงบประมาณเพียงพอ และต้องนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมสามารถจัดหาอุปกรณ์ที่มีคุณภาพและความแม่นยำที่สูงขึ้น และมีความคงทน

3) ยังสามารถพัฒนาและต่อยอด Internet of Things (IoT) สำหรับกิจกรรมอื่น ๆ ได้ หลากหลาย เช่น ระบบควบคุมสภาวะอากาศในการดูแลพืช เป็นต้น

บรรณานุกรม

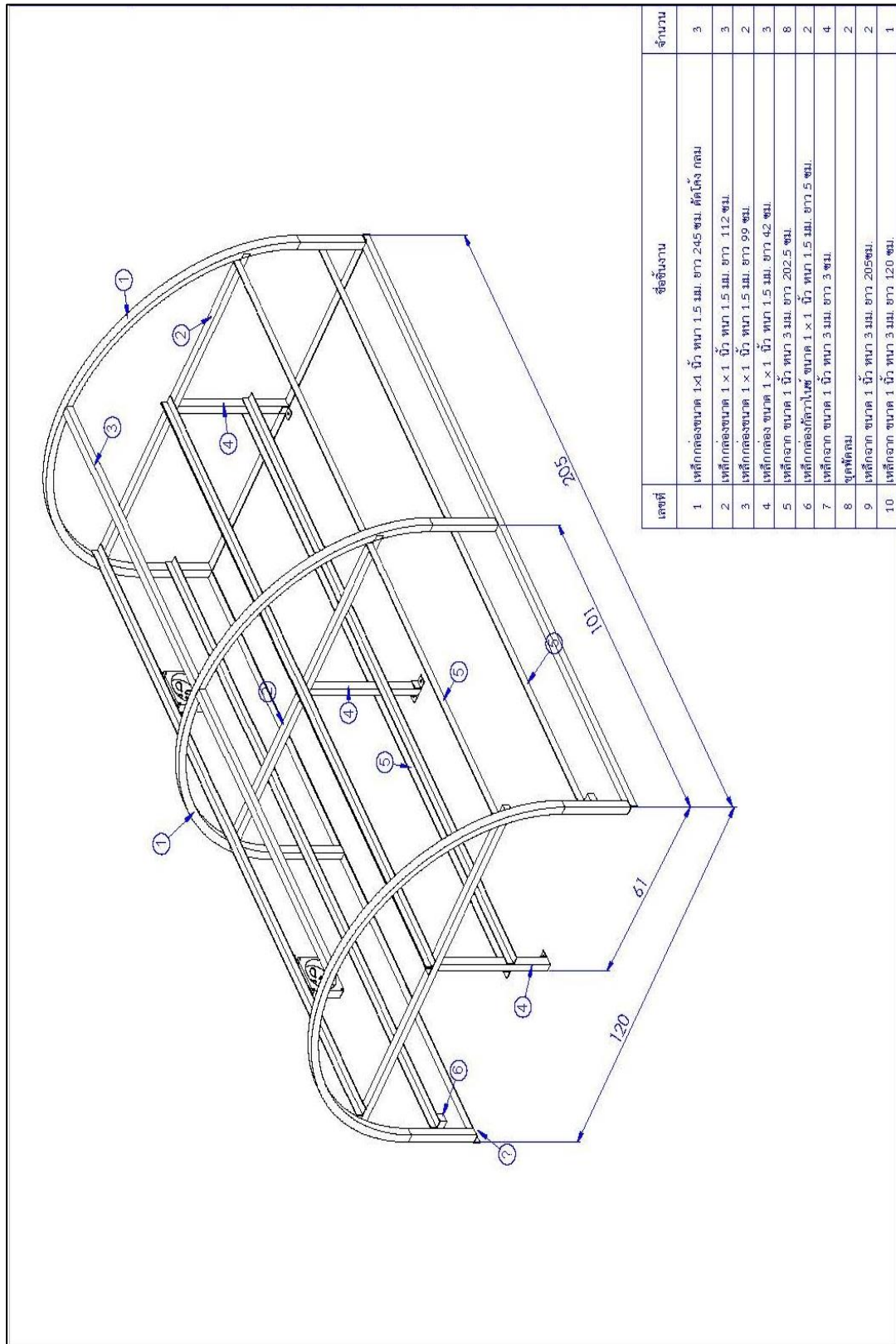
- กระทรวงพลังงาน. (ม.ป.ป). ฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ในไทย (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2566 จาก <https://maps.su.ac.th/solarth/>
- กระทรวงพลังงาน. (2554). คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน พลังงานแสงอาทิตย์ (ชุดที่ 2). กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (อัดสำเนา)
- กระทรวงพลังงาน. (2557). สารานุกรมพลังงานทดแทน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (อัดสำเนา)
- กระทรวงพลังงาน. (2565). รายงานฉบับสมบูรณ์ พัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 1 ระบบ โดย มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (อัดสำเนา)
- ทักษิณ วังสิงห์, จิณณวัตร เสมกัน, และ นิพัทธ์พนธ์ ฤชา. (2564, 22 กุมภาพันธ์). ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะด้วยระบบเทคโนโลยีการเชื่อมต่อของสรรพสิ่ง. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติสำหรับนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 1. หน้า 1015 – 1026
- ฉันทพร กำจร. มปป. การประยุกต์ใช้ Internet of Things (IoT) ในการเกษตร. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2566 จาก <http://www.agri.ubu.ac.th/mis/seminar/upload/53.pdf>
- พนิดา พงษ์ไพบูลย์. 11 พฤษภาคม 2560. องค์ประกอบของระบบ IoT. โพสต์ทูเดย์. หน้า C3 (ล่างขวา)
- พลวัฒน์ พลเดชะ. (2563). การพัฒนาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกร่วมกับเตาชีวมวลสำหรับอบแห้งปลานิล (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม).
- วิทย์ ภูมิฤทธิกุล และ ปานวิทย์ ธวัชนุติ. (2559). Internet of Thing เพื่อการเฝ้าระวังและเตือนภัยต่อสุขภาพของมนุษย์และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยใช้โปรแกรม Hadoop Internet of Things for Human Healthcare Services and Data Analytics with Hadoop.วารสารวิชาการปทุมวัน ปีที่ 6. ฉบับที่ 15 . มกราคม - เมษายน 2559. หน้า 61 -72
- วิบูลย์ เทเพนทร์. (มปป). *คุณสมบัติของอากาศ (Psychrometry)* [ออนไลน์]. กรมวิชาการเกษตร. สืบค้นจาก <http://doa.go.th/aeri/download/km5712-13.pdf>, 24 พฤษภาคม 2566.
- ศิวัะ อัจฉริยะวิริยะ และสมชาติ โสภณธรณฤทธิ. (2533) อ้างถึงใน สมชาติ โสภณธรณฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. หนังสือในโครงการส่งเสริมการสร้างตำราสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 123
- สมชาติ โสภณธรณฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. หนังสือในโครงการส่งเสริมการสร้างตำราสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สรารุณ นิยมเนียร เพ็ญพร นิมนวล และ อรอนงค์ เสนาะจิต (2563). การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน. วารสารบริการวิชาการสถาบันอุดมศึกษาไทยรับใช้สังคม. หน้า 19 – 31

- สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่ (2556). คู่มือแปรรูปวัตถุดิบสมุนไพร ภายใต้โครงการ Lanna Health Hub 2013. บริษัท แท้พ เทคโนโลยี จำกัด. (อัดสำเนา). หน้า 5
- สุพัฒนธณกิจ โพธิ์สว่าง และคณะ. (ม.ป.ป.). การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งโดยไม่สูญเสียคุณภาพของพืชสมุนไพรเมืองหนาวที่มีศักยภาพ. รายงานผลงานโครงการวิจัยและพัฒนาการผลิตพืชสมุนไพรเมืองหนาวที่มีศักยภาพ, กิจกรรมที่ 3 เทคโนโลยีการแปรรูปผลผลิตสมุนไพรเมืองหนาวที่มีศักยภาพ. ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่. (อัดสำเนา)
- อภิญา สายศรีแก้ว และคณะ. (2565). การพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการแปรรูปอาหารควบคุมด้วยระบบ Internet of Thing (IoT). Industrial Technology Journal, ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2565. หน้า 42 – 52
- อรณัท ปฐพีจรัสวงศ์ และคณะ. (2564). คู่มือเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. โครงการจัดการความรู้เพื่อการใช้ประโยชน์เชิงชุมชน สังคม ตามแนวพระราชดำริ ภายใต้โครงการส่งเสริมและสนับสนุนการจัดการความรู้การใช้ประโยชน์ประจำปี 2564. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และสำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช).
- Brooker et al. (1974). อ้างถึงใน สมชาติ โสภณธนฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. หนังสือในโครงการส่งเสริมการสร้างตำราสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 217
- Sodha, M. s. (1987). Solar Crop Drying, Boca Raton: CRC Press, Inc.
- Soponronnarit et al. (1992)^a อ้างถึงใน สมชาติ โสภณธนฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. หนังสือในโครงการส่งเสริมการสร้างตำราสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 255
- Soponronnarit et al. (1992)^b อ้างถึงใน สมชาติ โสภณธนฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. หนังสือในโครงการส่งเสริมการสร้างตำราสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 255
- Soponronnarit et al. (1993) อ้างถึงใน สมชาติ โสภณธนฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. หนังสือในโครงการส่งเสริมการสร้างตำราสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 257

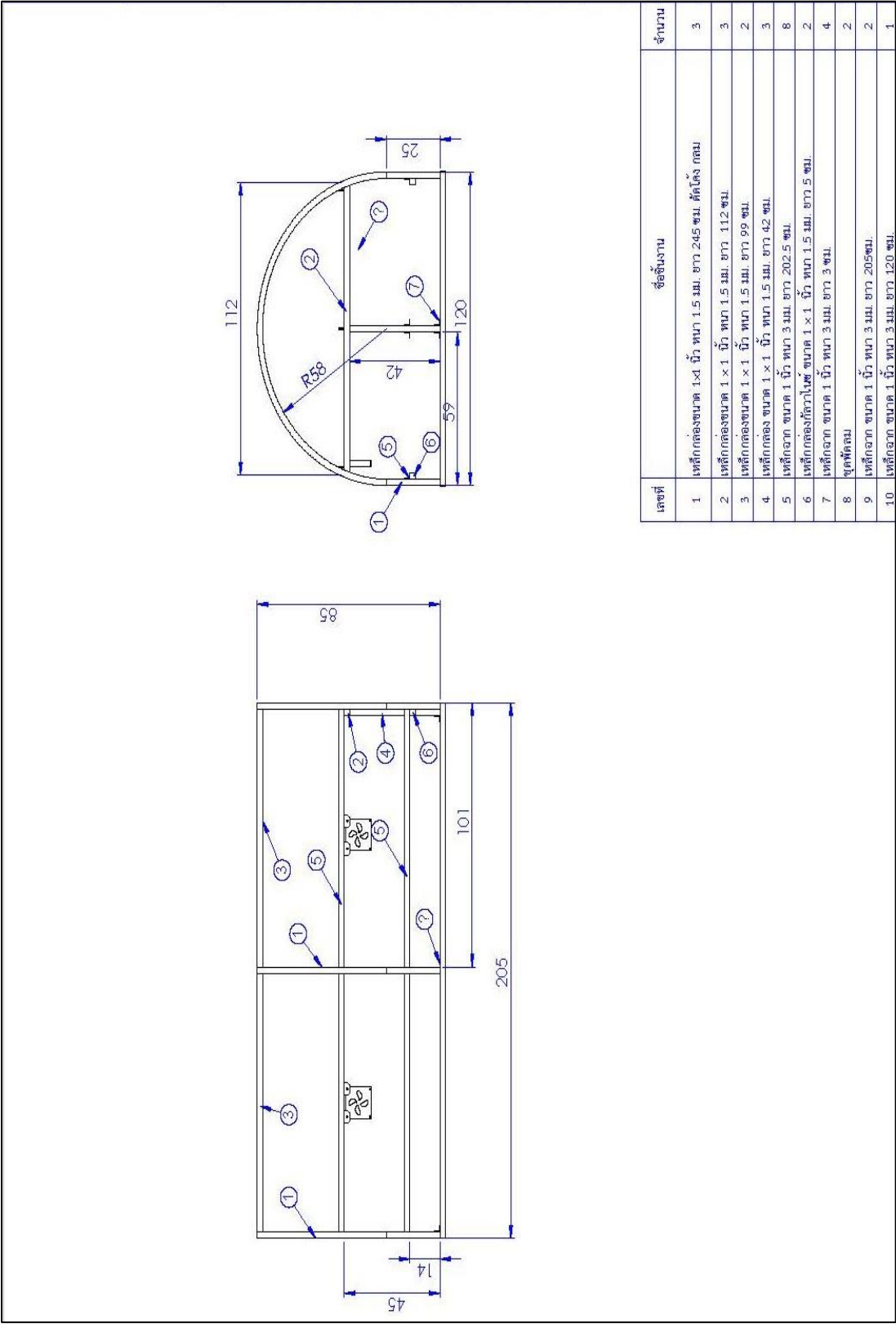
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

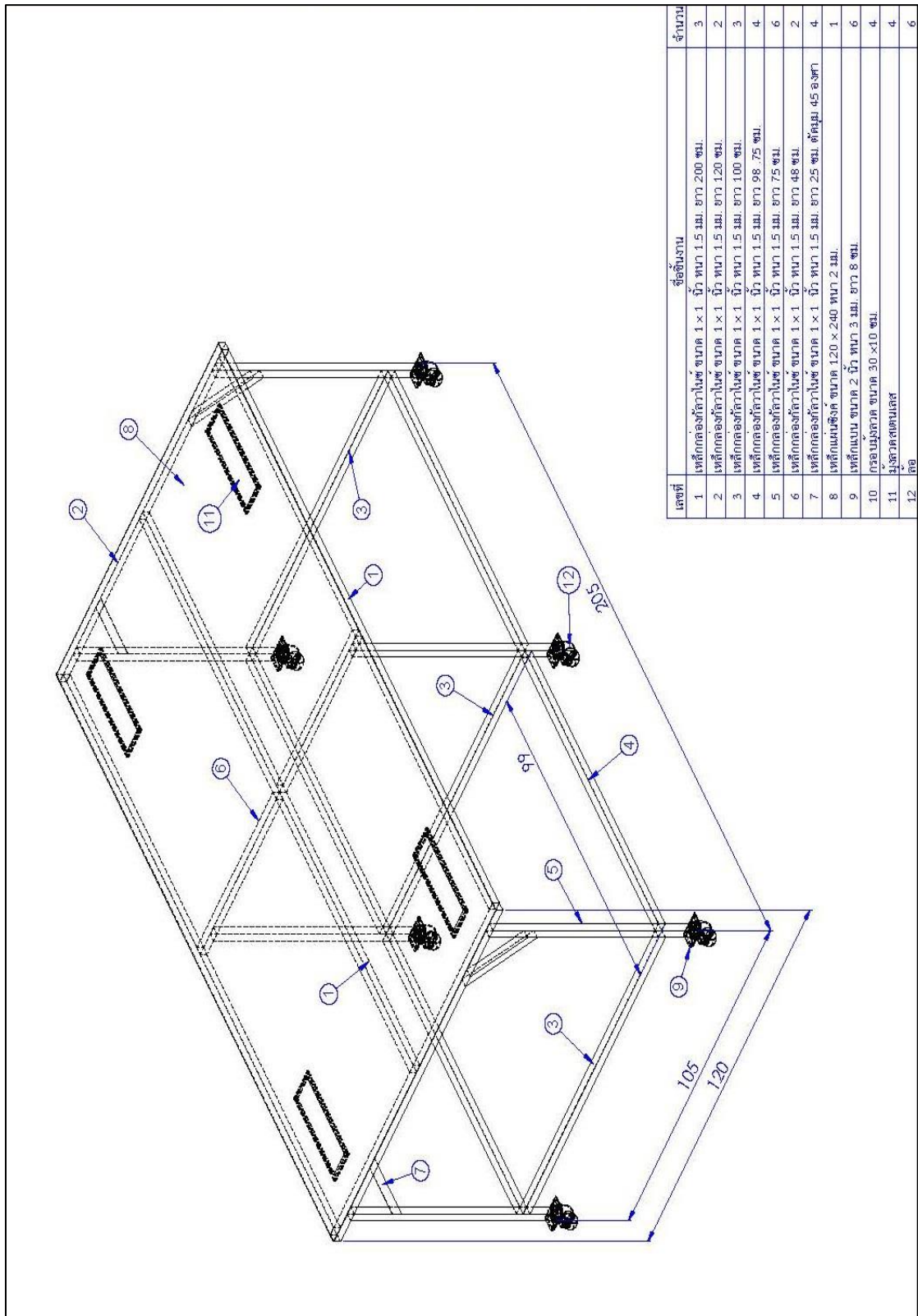
แบบรูปโรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้ระบบ IoT



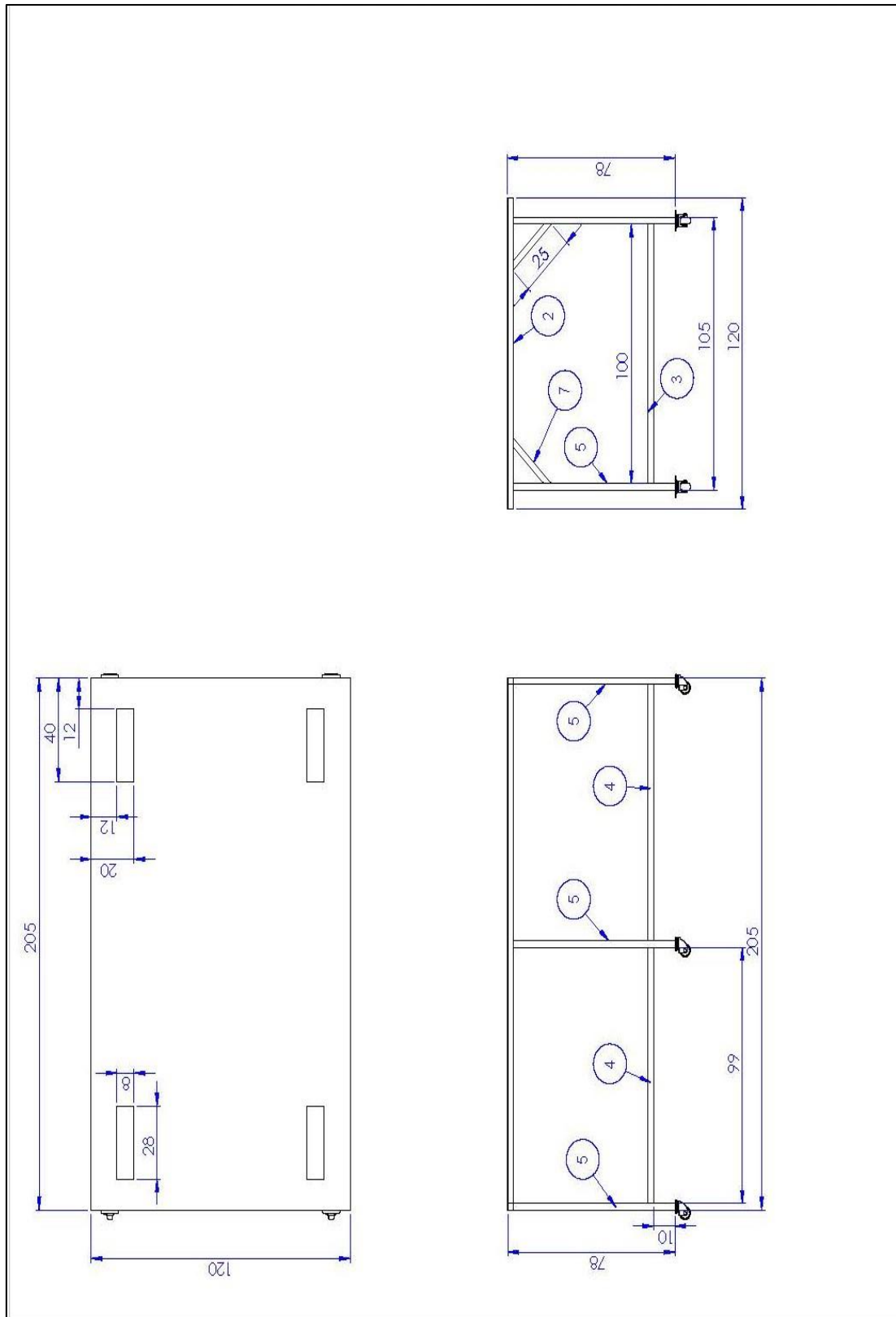
รูปภาพที่ ก.2 แบบรูปส่วนประกอบโครงสร้างด้านบน
โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT แผ่นที่ 1



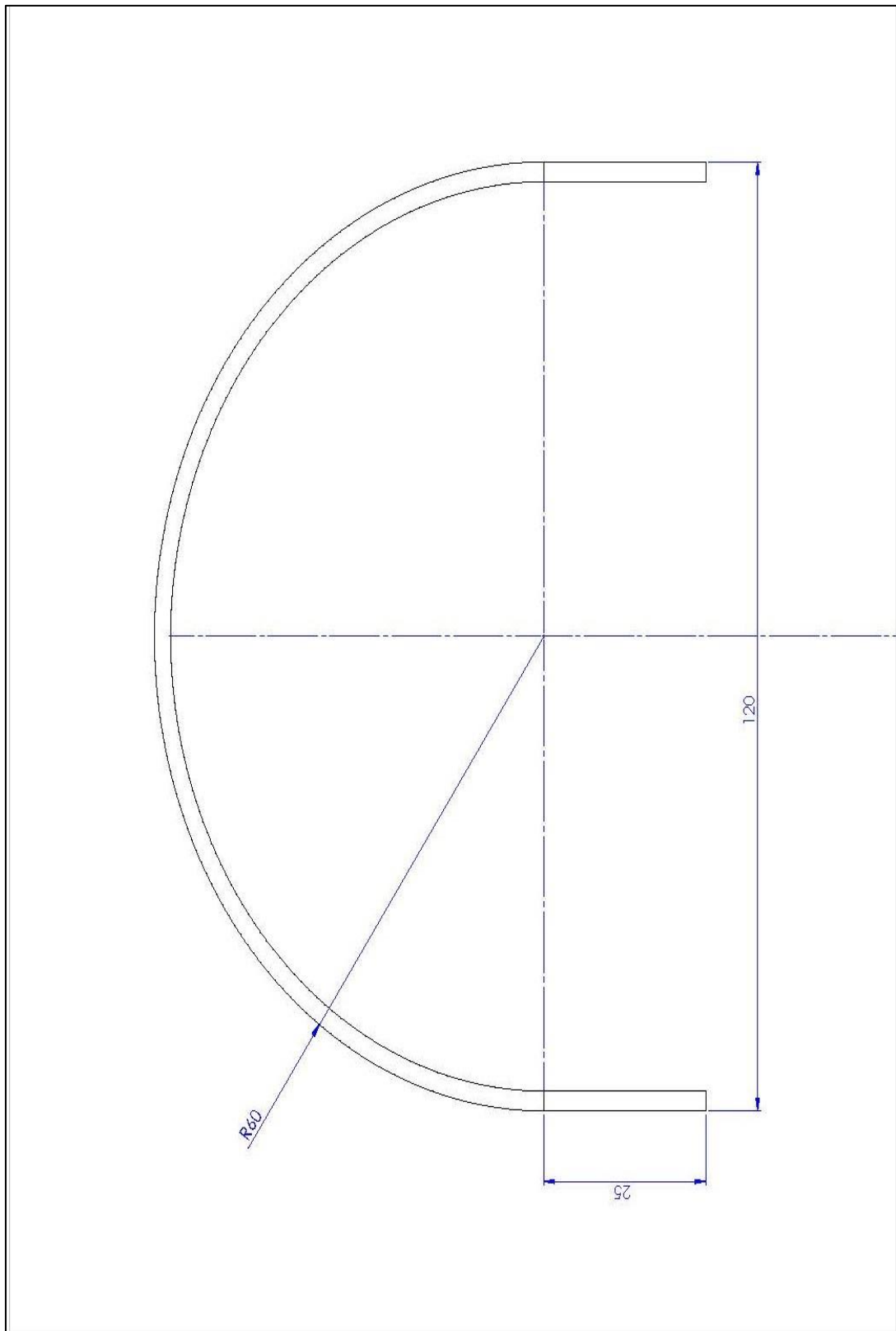
รูปภาพที่ ก.3 แบบรูปส่วนประกอบโครงสร้างด้านบน
โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT แผ่นที่ 2



รูปภาพที่ ก.4 แบบรูปส่วนประกอบโครงสร้างด้านล่าง
 โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT แผ่นที่ 1



รูปภาพที่ ก.5 แบบรูปส่วนประกอบโครงสร้างด้านล่าง
 โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT แผ่นที่ 2



รูปภาพที่ ก.6 ลักษณะการตัดโค้งโครงสร้างด้านบนส่วนของหลังคาโค้งของ
โรงอบตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบ IoT



IoT



IoT
Ecosystem