



การออกแบบและสร้างระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจาก  
ก๊าซแอลพีจี

Design and construction of solar drying system combined with  
hot air from LPG gas

เอกชนที่ร่วมโครงการ

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชุมชนเกษตรผสมผสานบ้านหนองฮี

วันที่ 25 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2566

ศูนย์ความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การออกแบบและสร้างระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจาก  
ก๊าซแอลพีจี

Design and construction of solar drying system combined with  
hot air from LPG gas

คณะผู้ร่วมโครงการ

1. อาจารย์ ดร. ปริญญา ชุปวา
2. นายสุระ ทับสีแก้ว

โครงการพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและวิจัยของภาคเอกชนในพื้นที่

(Industrial Research and Technology Capacity Development : IRTC)

ภายใต้โครงการอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โดยอุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การออกแบบและสร้างระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากก๊าซแอลพีจี ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานเลขาธิการคณะกรรมการส่งเสริมกิจการอุทยานวิทยาศาสตร์ (สอว.) สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และศูนย์ความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรม หรืออุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปีงบประมาณ 2565 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้รับความช่วยเหลือ ด้านการเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมืออุปกรณ์ที่จำเป็นในการดำเนินโครงการ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และได้รับคำปรึกษา คำแนะนำ การถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ในการดำเนินโครงการตลอดจนการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จากอีกหลายท่าน และอีกหลายส่วนงาน ซึ่งทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และพัฒนาสร้างระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับ ลมร้อนเพื่ออบแห้งผลิตผลทางการเกษตร โรงเรือนอบแห้งมีขนาด 4 เมตร x 8 เมตร หลังคาทำด้วยวัสดุโพลี คาร์บอนเนตซึ่งสามารถเพิ่มอุณหภูมิในโรงเรือนได้ถึงประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส นอกจากนั้น ยังได้ออกแบบ ระบบให้ความร้อนเสริมเพื่อใช้ในกรณีที่แสงแดดมีไม่เพียงพอหรือใช้ในเวลากลางคืน สามารถควบคุมความชื้น สัมพัทธ์และอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้ผ่านชุดควบคุม จากการทดสอบอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร ได้แก่ ข้าวเจิบ หรือข้าวเกรียบว่าว พบว่าการใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสองโหมดการอบแห้งสามารถลดระยะเวลา ในการอบแห้งได้ถึง 1.5-2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดดโดยธรรมชาติ นอกจากนั้นการอบแห้งโดยใช้ โรงเรือนอบแห้งยังสามารถป้องกันการปนเปื้อนที่มาจากแมลงหรือฝุ่นที่มาจากอากาศภายนอกได้ ดังนั้น การใช้ โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นการใช้เทคโนโลยีที่สามารถลดระยะเวลาการอบแห้งได้อีกทั้งผลิตภัณฑ์ อบแห้งที่ได้ยังมีความสะอาดถูกสุขลักษณะซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสินค้าอบแห้ง

## Abstract

The objectives of this research project were to design, construct and test a solar drying system in order to dry agricultural produces. The drying system had a size of 4 x 8 m, equipped with polycarbonate roof, which could increase air temperature to approximately 50-60°C. Moreover, additional air heating system was also designed to be used in a case that insufficient solar light or in the night. Relative humidity and temperature of the air inside the system could be controlled using a controller. Drying runs with various raw agricultural materials including cornflakes were conducted. It was found that the use of the parabolic solar dryer with both drying modes resulted in reduction of drying period of 1.5-2 times, when comparing to natural sun drying. In addition, drying with the use of parabolic solar drying system could prevent the insect contamination or dust. Therefore, the use of such drying system could be considered as the technology which reduced drying time with hygienic process.

# สารบัญ

	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 สมมติฐาน	3
1.4 ขอบเขต	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
<b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>5</b>
2.1 การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้งานเชิงพาณิชย์	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโรงอบแห้งแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก	8
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินงานโครงการ</b>	<b>13</b>
3.1 ออกแบบและสร้างโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Greenhouse	13
3.2 ออกแบบและสร้างชุดให้ความร้อนเสริมจากแก๊ส LPG	14
3.3 ออกแบบและสร้างชุดควบคุมสภาวะอากาศในการอบแห้ง	14
3.4 ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน	14
3.5 ทดสอบอบแห้งตัวอย่างผลิตผลทางการเกษตร	15
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงานโครงการ</b>	<b>17</b>
4.1 ผลการดำเนินงานออกแบบและสร้างโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก	17
4.2 ผลการดำเนินงานออกแบบและสร้างชุดให้ความร้อนเสริมจากแก๊ส LPG	21
4.3 ผลการดำเนินการออกแบบและสร้างชุดควบคุมสภาวะอากาศในการอบแห้ง	24
4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	32

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการ	37
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิงและบรรณานุกรม	38

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชุมชนเกษตรผสมผสานบ้านหนองฮี (ดังรูปที่ 1) ตั้งอยู่ที่ 19 หมู่ที่ 5 ตำบลเมืองเตา อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย จังหวัดมหาสารคาม หมายเลขทะเบียน 0443564001103 จดทะเบียนเมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2564 โดยมีนายเด่นชัย ชาวสวน เป็นผู้ดำเนินการหลัก มีหุ้นส่วนทั้งสิ้น 1 คน ประกอบธุรกิจจำหน่ายสินค้าทางการเกษตร และสินค้าแปรรูปทางการเกษตร เช่น ข้าวเข็บ ข้าวฮางงอก และผักปลอดสารพิษ เช่น พริกกล้วย ต้นหอม ข่า ตะไคร้ ผักกาด มะกรูด เป็นต้น ซึ่งสินค้าดังกล่าวถูกจัดจำหน่ายตามความต้องการของลูกค้า และจัดจำหน่ายตามกิจการที่เป็นเครือข่าย เช่น ร้านค้าชุมชน กลุ่มเครือข่าย OTOP รวมถึงเครือข่ายสังคมออนไลน์ต่าง ๆ ได้แก่ Facebook Shopee LAZADA เป็นต้น



รูปที่ 1 ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชุมชนเกษตรผสมผสานบ้านหนองฮี

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชุมชนเกษตรผสมผสานบ้านหนองฮี มีผลิตภัณฑ์หลัก คือ ข้าวเข็บ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ข้าวโป่ง หรือข้าวเกรียบวาว (ดังรูปที่ 2) โดยมียอดขายรวม 170,000 บาทต่อปี ปัจจุบันห้างหุ้นส่วนจำกัดฯ มีจุดมุ่งหมายหลัก คือ เป็นศูนย์กลางการจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร เพื่อช่วยให้เกษตรกรภายในชุมชน



ท้องถิ่นและชุมชนใกล้เคียงสามารถสร้างรายได้จากการผลิตและแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรได้อย่างยั่งยืน ข้าวเข็มนี้นับว่ามีกระบวนการแปรรูป ซึ่งประกอบด้วย 1) การแช่ข้าวเหนียว 2) การนึ่งข้าวเหนียว 3) การเตรียมส่วนผสม 4) การปั้นขนาดและใส่ส่วนผสม 5) การขึ้นรูปแผ่นข้าวเข็มนี้นี้น 6) การตากแห้ง 7) การบรรจุผลิตภัณฑ์ จากขั้นตอนการผลิตดังกล่าว การทำให้แห้งถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อคุณภาพทั้งทางกายภาพและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ข้าวเข็มนี้น

ปัจจุบันผู้ประกอบการทำแห้งแผ่นแป้งข้าวเข็มนี้นโดยมีวิธีการตากแดดโดยธรรมชาติ ซึ่งถึงแม้ว่าวิธีการนี้เป็นกระบวนการทำแห้งที่ง่ายและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ [1] แต่เนื่องจากการตากแดดโดยปราศจากการปกคลุมนั้นอาจเกิดผลเสียจากการปนเปื้อนจากฝุ่น แมลง และนกรบกวน เป็นต้น [2] อีกทั้งการทำแห้งด้วยวิธีนี้ต้องอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ ดังนั้น จึงมีข้อจำกัดในช่วงฤดูฝนหรือในวันที่มีเมฆปกคลุม [3, 4] ส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณที่ไม่ตรงตามเป้าหมายกับยอดที่สั่งซื้อ

ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีงานวิจัยในการสร้างเครื่องอบหรือโรงอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ เช่น โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกที่ใช้หลักการสะสมความร้อนของเรือนกระจก กล่าวคือ เมื่อดังรังสีดวงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกหรือพลาสติกใสเข้าไปภายในแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน และแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา แต่ไม่สามารถผ่านกระจกหรือพลาสติกออกมาข้างนอกได้ทำให้อากาศภายในโรงอบร้อนขึ้นโดยไม่ต้องใช้แผงรับแสงอาทิตย์สามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลงได้ [5] อีกทั้งยังลดระยะเวลาในการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดโดยธรรมชาติ [6] อุณหภูมิของอากาศภายในโรงอบแห้งตอนกลางวันที่มีแดดจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยมากกว่า 10 องศาเซลเซียส โดยโรงอบแห้งเป็นทั้งตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์และห้องอบแห้ง

ผลิตภัณฑ์ในเครื่องเดียวกัน ตัวอย่างเช่น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (2547) [7] ได้ทำการออกแบบโครงสร้างของตัวเครื่องให้เป็นรูปทรงพาราโบลา ใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตใสคลุมห้องอบแห้งซึ่งโรงอบแห้งแบบนี้มีประสิทธิภาพและทนทาน แต่ต้นทุนค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังพบปัญหาการตากแห้งในช่วงที่มีฝนตก และช่วงเวลากลางคืนที่มีปริมาณความชื้นสูง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้อยลง เช่น เกิดเชื้อรา และเน่าเสีย เป็นต้น ปัญหาดังกล่าวทำให้มีการศึกษาการใช้พลังงานความร้อนเสริมจากเชื้อเพลิงอื่นร่วมด้วย เช่น โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากก๊าซแอลพีจี ก๊าซแอลพีจีเป็นแหล่งพลังงานที่นิยมใช้ในการผลิตลมร้อน เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย และความสะดวกต่อการใช้งาน [8] ตัวอย่างการอบแห้งวิธีดังกล่าว เช่น วสันต์ (2564) [9] ทำการออกแบบและสร้างระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากแก๊สเหลือทิ้ง พบว่า การอบแห้งโดยใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริมจากแก๊สช่วยลดระยะเวลาการอบแห้งได้ถึงร้อยละ 30-50 เมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดดโดยธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการปนเปื้อนที่มาจากแมลงหรือฝุ่นที่มาจากภายนอกได้ และสามารถอบแห้งในช่วงฝนตก และกลางคืน ได้โดยยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ดังนั้น จากประเด็นต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วทั้งหมด จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ซึ่งนำเสนอโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากก๊าซแอลพีจี สำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เพื่อเพิ่มคุณภาพและปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและพัฒนาสร้างระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากก๊าซแอลพีจี

## 1.3 สมมติฐาน

1.3.1 ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากก๊าซแอลพีจี สามารถอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรโดยลดการสูญเสียจากการจากการตากแห้งแบบธรรมชาติ คิดเป็นเงินประมาณ 2,500-5000 บาทต่อปี

1.3.2 ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากก๊าซแอลพีจี สามารถอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรโดยเพิ่มเพิ่มการอัตราการผลิตได้ 30% เมื่อเปรียบเทียบกับการตากแห้งแบบธรรมชาติ

## 1.4 ขอบเขต

การออกแบบและพัฒนาสร้างระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากก๊าซแอลพีจี ซึ่งได้มีขอบเขตดังนี้

1.4.1 ระบบอบแห้งเป็นแบบ greenhouse ขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 8 เมตร

1.4.2 ระบบให้ความร้อนเสริมเป็นแบบใช้แก๊สเชื้อเพลิงเหลว สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ถึง 60 องศาเซลเซียส

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 มีกำลังการผลิตที่เพิ่มมากขึ้นจากเดิม และลดของเสีย สามารถรองรับกับความต้องการของตลาดได้อย่างเพียงพอ อุปกรณ์เครื่องมือในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ได้มาตรฐานการผลิต เป็นศูนย์กลางการรับผลิตผลทางการเกษตรให้ชุมชนในท้องถิ่น รวมถึงการแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่อส่งขายกลุ่มร้านค้าในเครือข่าย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้งานเชิงพาณิชย์

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ผลิตผลทางการเกษตรจำนวนมากต้องแปรรูปด้วยการตากแห้งหรืออบแห้ง โดยวิธีที่เกษตรกรและผู้ประกอบการนิยมใช้กันในอดีตคือ การตากแดดตามธรรมชาติ วิธีดังกล่าวถึงแม้จะทำได้ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่ผลผลิตที่ตากมักเสียหายจากการเปียกฝน และถูกทำลายด้วยนก หนู หรือแมลง อีกทั้งยังถูกปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรกจากสภาพแวดล้อม ด้วยตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว ในช่วง 40 ปี ที่ผ่านมา นักวิจัยด้านพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยได้พยายามพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ สำหรับกรณีของศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทรฉาย ก็ได้พยายามพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar dryer) แบบต่างๆ มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 เพื่อใช้ออบแห้งผลผลิตทางการเกษตรทดแทนการตากแดดตามธรรมชาติ แต่เครื่องอบแห้งดังกล่าวยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ที่ต้องการอบแห้งผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ได้ จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2546 ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทรฉาย ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกหรือ แบบ “พาราโบลาโดม” เครื่องอบแห้งดังกล่าวมีองค์ประกอบเป็นหลังคาโค้งรูปพาราโบลา ซึ่งติดตั้งบนพื้นคอนกรีตและปิดคลุมด้วยแผ่นพลาสติกที่เรียกว่า โพลีคาร์บอเนต (polycarbonate) ด้านหน้ามีพัดลมซึ่งทำงานด้วยโซลาร์เซลล์เพื่อดูดอากาศภายในเครื่องออกไปภายนอก และด้านหลังมีช่องอากาศเพื่อให้อากาศไหลเข้าไปแทนที่อากาศที่ไหลออกจากเครื่องอบแห้ง โดยรูปทรงพาราโบลาช่วยทำให้รับแสงอาทิตย์ได้ดีตลอดทั้งวัน ช่วยลดความต้านทานทางต่อลมและเป็นรูปทรงที่สวยงาม

การใช้พัดลมที่ใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ช่วยควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งอัตโนมัติ กล่าวคือ ขณะที่แสงอาทิตย์มีความเข้มสูง อากาศภายในเครื่องอบแห้งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกัน โซลาร์เซลล์ก็ได้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นทำให้พัดลมหมุนเร็วขึ้น ซึ่งช่วยดูดอากาศออกจากเครื่องอบแห้งมากขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิของอากาศไม่สูงเกินไป ในทางกลับกันขณะที่แสงอาทิตย์มีความเข้มต่ำ พัดลมจะหมุนช้า จึงทำให้อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบแห้งไม่ลดลงมาก การใช้คอนกรีตเป็นพื้นจะช่วยเก็บพลังงานความร้อน จึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งไม่เปลี่ยนแปลงรวดเร็วตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีอาทิตย์ ในการใช้งานผู้ใช้เพียงนำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบใส่ตะแกรงไปวางบนชั้นในเครื่องอบแห้ง และปล่อยให้แห้งจนผลิตภัณฑ์แห้งแล้วจึงนำออกจากเครื่องอบแห้ง จะเห็นว่า ใช้งานได้สะดวกและยังสามารถอบแห้งผลผลิตสดได้ครั้งละ 100-300 กิโลกรัม ซึ่งผู้ใช้สามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์แห้งเชิงพาณิชย์ได้

หลังจากที่ทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งดังกล่าวที่มหาวิทยาลัยศิลปากรจนใช้งานได้ดีในระดับหนึ่งแล้ว ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทรฉาย จึงได้ร่วมมือกับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

สร้างเครื่องอบแห้งแบบพาราโบลาโดม ซึ่งมีพื้นที่ฐาน  $5.5 \times 8.2$  ตารางเมตร ที่โครงการอุทยานธรรมชาติวิทยาตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ อภิเษกสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี โดยปรับปรุงระบบระบายอากาศให้มีพัดลมเพิ่มขึ้น และเปลี่ยนตำแหน่งของพัดลมดูดอากาศจากด้านหน้าไปเป็นด้านหลัง เปลี่ยนช่องอากาศเข้าไปไว้ด้านหน้า ทั้งนี้เพื่อสาธิตและทดลองใช้งานในภาคสนาม โครงการฯ ได้ใช้เครื่องอบแห้งดังกล่าวผลิตกล้วยตากเพื่อจำหน่ายให้กับผู้มาเยี่ยมชมโครงการฯ

ต่อมาเมื่อผู้ผลิตกล้วยตากจากอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลกมาเยี่ยมชมเครื่องอบแห้งดังกล่าวและได้แจ้งต่อนักวิจัยว่า เครื่องอบแห้งแบบพาราโบลาโดมที่ติดตั้งใช้งานในโครงการฯ มีศักยภาพในการอบแห้งกล้วยที่อำเภอบางกระทุ่มได้ แต่ต้องปรับปรุงให้สามารถอบแห้งกล้วยน้ำว้าสุกได้อย่างน้อย 1,000 กิโลกรัม ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทรฉาย จึงได้ทำการปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบพาราโบลาโดมให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (มีพื้นที่ฐาน  $7.5 \times 20$  ตารางเมตร) และเพิ่มพัดลมระบายอากาศให้สามารถอบแห้งกล้วยสุกได้ครั้งละ 1,000 กิโลกรัม โดยได้เครื่องอบแห้งดังกล่าวร่วมกับ พพ. ที่วิทยาลัยเกษตรและป่าไม้ ปากเซ ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) เมื่อ พ.ศ. 2550 และทำการทดลองอบเมล็ดกาแฟและกล้วย

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

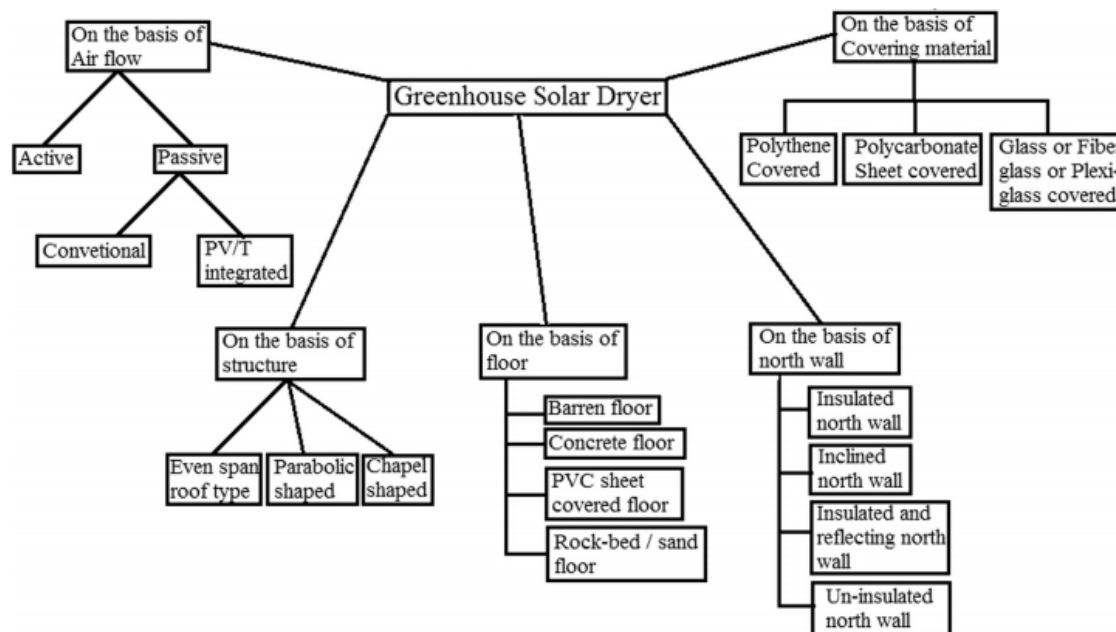
การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลกในปัจจุบันถือเป็นปัญหาหลักที่ทุกคนจำเป็นต้องคำนึงถึงเนื่องจากจำนวนของประชากรที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติที่มนุษย์ต้องใช้ในการบริโภค เพื่อเติมเต็มความต้องการดังกล่าวนี้ปริมาณอาหารจะต้องผลิตให้เหมาะสมหรืออาหารที่ผลิตได้จะต้องเก็บสะสมไว้ได้หลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป ดังนั้น การผลิตที่ต่อเนื่องอาจจะไม่สามารถทำได้แต่สามารถเก็บรักษาไว้ได้เพื่อบริโภคในช่วงเวลาที่ต้องการโดยใช้กระบวนการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ช่วยในการลดความชื้นของผลิตผลทางการเกษตรหรืออาหารเพื่อให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย การอบแห้งแบบแสงอาทิตย์ถือเป็นวิธีการอบแห้งที่ใช้ตั้งแต่ดั้งเดิมซึ่งสามารถใช้ได้ในทุกๆ ที่สำหรับการถนอมผลิตผลทางการเกษตร การอบแห้งแบบแสงอาทิตย์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในแง่ของการใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์ [10] การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรทำให้ลดกิจกรรมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะทำให้เกิดผลิตผลเกิดความเสียหาย ทำให้สามารถเก็บผลิตผลไว้ได้นาน [11] อาหารแห้งมีข้อดีหลายอย่างคือเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ได้นานขึ้นและลดการสูญเสียเนื่องจากการเก็บเกี่ยว [12] การถ่ายเทความร้อนในรูปแบบการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนมีบทบาทที่สำคัญต่อกระบวนการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ [13]

การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ด้วยการตากแดดโดยธรรมชาติของผลิตผลทางการเกษตรทำได้โดยง่าย คือวางผลิตผลบนพื้นหรือเสื่อในวันที่มีแดดจัด แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผลิตผลได้รับแสงแดดโดยตรงโดยไม่มีอุปกรณ์ปกปิด จึงทำให้ผลิตผลอาจได้รับการปนเปื้อนจากฝุ่น แผลง และนก เป็นต้น นักวิจัยจึงได้ทำการพัฒนาเทคนิคการ

อบแห้งต่างๆ มากมายเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว การอบแห้งในเรือนกระจกก็เป็นหนึ่งในเทคนิคการอบแห้งที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีข้อดีมากมายและเหมาะสมสำหรับเป็นทางเลือกของการอบแห้ง [10] การอบแห้งในลักษณะไม่ใช่เป็นเพียงเทคนิคการอบแห้งที่ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินเท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มคุณภาพทางด้านสีและกลิ่นรสสำหรับผลิตภัณฑ์อบแห้งอีกด้วย [14] เครื่องมือในการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์สมัยใหม่ใช้พลังงานและเวลาที่พอเหมาะ และใช้พื้นที่น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดแบบดั้งเดิม

การทำงานของโรงอบแห้งแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก (Greenhouse solar dryer) อาศัยหลักการพื้นฐานของปรากฏการณ์เรือนกระจกซึ่งยอมให้เกิดการแผ่รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้าไปในโรงอบแห้งเท่านั้น โดยทั่วไปแล้ว โรงอบแห้งแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกสามารถทำงานได้ทั้งแบบการพาโดยธรรมชาติ (Natural convection) และแบบการพาโดยบังคับ (Forced convection) [15] รูปที่ 3 แสดงการแบ่งประเภทของโรงอบแห้งแบบเรือนกระจก ซึ่งถ้าเป็นแบบการพาโดยธรรมชาติการระบายอากาศจะอาศัยการระบายอากาศที่มีการระบายอากาศโดยอาศัยการลอยตัวของอากาศร้อนจากภายในโรงอบแห้งออกสู่ภายนอก ในขณะที่กรณีของโรงอบแห้งแบบการพาโดยบังคับจะใช้พัดลมดูดอากาศขึ้นภายในโรงอบแห้งออกสู่ภายนอก



รูปที่ 3 การแบ่งประเภทของโรงอบแห้งแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก

นับจนถึงปัจจุบันได้มีการศึกษา วิจัยเกี่ยวกับการออกแบบพัฒนาโรงอบแห้งแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก ลักษณะต่างๆ ซึ่งการปรับปรุงดัดแปลงมีทั้งสำหรับเรือนอบแห้งแบบการพาโดยธรรมชาติและโดยบังคับดังสรุปต่อไปนี้

- 1) การใช้ PV ร่วมกับโรงอบแห้งแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก [4, 10, 15, 16, 18, 22, 24-26, 27, 28, 31, 33, 35]
- 2) การใช้ผนังโปร่งแสงในทิศเหนือเพื่อเป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความ [19, 20, 21, 23, 26, 32]
- 3) การใช้วัสดุสำหรับกักเก็บความร้อน เช่น ทราย หิน คอนกรีตทาสีดำ และแผ่น PVC โดยมีวัสดุประสงค์สำหรับเก็บความร้อนไว้ใช้ในช่องไม่มีแสงอาทิตย์ [10, 19, 29, 33, 36]
- 4) การใช้ผนังเอียงและสะท้อนแสงในทิศเหนือเพื่อเก็บการแผ่รังสีที่สูงที่สุด [17]
- 5) การใช้เรือนกระจกร่วมกับเครื่องให้ความร้อนอากาศโดยใช้แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มอัตราการอบแห้ง [30, 37]
- 6) การเพิ่มพื้นที่ในการอบแห้ง [34]

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโรงอบแห้งแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก

Janjai และคณะ [10] ได้พัฒนาโรงอบแห้งแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกโดยใช้ PV ที่มีรูปร่างเป็นรูปโค้ง พาราโบลาและพื้นคอนกรีตทาสีดำ โรงอบแห้งดังกล่าวนี้ติดตั้งที่ศูนย์วิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ขนาดของโรงอบแห้งเท่ากับ 44 ตารางเมตร คลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต ใช้แผงโซลาเซลล์ขนาด 53 วัตต์สำหรับการทำงานของพัดลมดูดอากาศ ขนาดความจุของเครื่องอบแห้งสามารถอบพริกสดได้สูงสุดถึง 150 กิโลกรัม จากผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวนี้สามารถลดความชื้นของพริกสดจาก 80% เป็น 10% (ฐานเปียก) ใช้เวลาในการอบประมาณ 2 ถึง 3 วันครึ่ง ในขณะที่การอบแห้งแบบตากแดดโดยธรรมชาติใช้เวลาจนถึง 6 วัน

Kumar และ Tiwari [11] ได้ศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลโดยการพาเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนมวลของหอมหัวใหญ่ในโรงอบแห้งแบบเรือนกระจก ณ IIT Delhi ประเทศอินเดีย ใช้ปริมาณหัวหอมที่แตกต่างกันคือ 300, 600 และ 900 กรัม อบอุ่นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 33 ชั่วโมงโดยใช้ระบบการอบแห้งทั้งแบบตากแดดและใช้โรงอบแห้งแสงอาทิตย์เรือนกระจก รูปที่ 4 แสดงชุดทดลองการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบตากแดด การพาโดยธรรมชาติและการพาโดยบังคับ โรงอบแห้งแบบเรือนกระจกที่ใช้คลุมแผ่นฟิล์ม UV ขนาดพื้นที่เท่ากับ 1.2 x 0.78 ตารางเมตร จากผลการทดลองพบว่า สำหรับการอบแห้งในแต่ละโหมดนั้นการส่งถ่ายมวลเพิ่มขึ้น 30%-135% เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมวลจาก 300 กรัม เป็น 900 กรัม



(ก)

(ข)

#### รูปที่ 4 ชุดทดลองอบแห้งหัวหอมด้วยแสงอาทิตย์

(ก) การพาโดยธรรมชาติ (ข) การพาโดยบังคับ

Barnwal และ Tiwari [12] ได้ออกแบบ สร้างโรงอบแห้งแบบเรือนกระจกซึ่งมีรูปแบบหลังคาเอียง  $30^\circ$  Span hybrid PV/T โดยมีความจุ 100 กิโลกรัมภายใต้การพาแบบบังคับ ณ IIT Delhi ประเทศอินเดีย โรงอบแห้งดังกล่าวประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ PV ขนาด 75 วัตต์ 2 แผ่น สำหรับใช้กับพัดลมดูดอากาศกระแสตรง ขนาดโรงอบแห้งเท่ากับ  $2.5 \times 2.6 \times 1.05$  เมตร อากาศไหลเข้าโรงอบแห้งจากด้านล่างและผ่านตะแกรงออกจากระบบทางด้านบน โครงสร้างของโรงอบแห้งคลุมด้วยแผ่นโพลีเอทิลีนเพื่อกักเก็บการแผ่รังสีอินฟราเรด งานวิจัยดังกล่าวนี้ได้ศึกษาและประเมินสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาของอุณหภูมิตั้งสองชนิดและเปรียบเทียบผลที่ได้กับห้องอบแห้งแบบ PV/T ทั้งสองโหมดคือแบบตากแดดโดยธรรมชาติและแบบเรือนกระจก

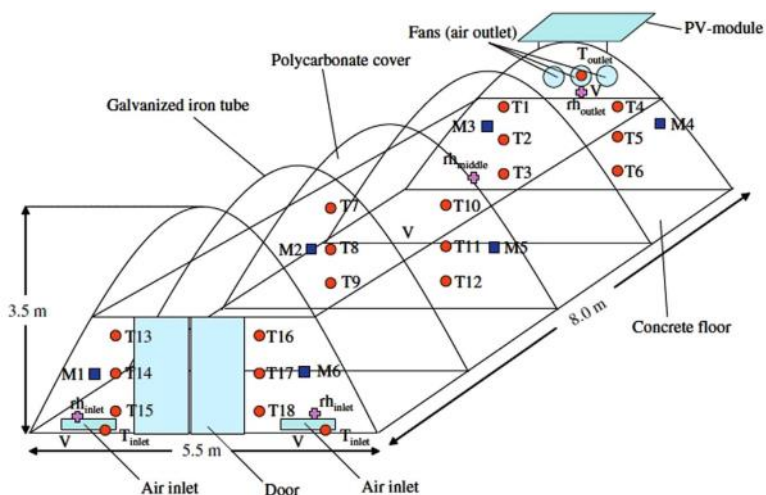
Nayak และ Tiwari [15] ได้ทำการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานเพื่อทำนายพฤติกรรมของโรงอบแห้งแบบเรือนกระจกที่ใช้ตัวกักเก็บความร้อน PV/T ร่วมด้วย รูปที่ 5 แสดงชุดการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งติดตั้ง ณ IIT Delhi ประเทศอินเดีย ใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 75 วัตต์ 8 แผงติดตั้งบนโครงสร้างไม้ พัดลมดูดอากาศที่ใช้มีขนาด 12 วัตต์ พลังงานไฟฟ้าที่จากแผง PV ถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ 12 ลูก ค่าประสิทธิภาพของพลังงานที่นำมาใช้ได้ (energy efficiency) มีค่าเท่ากับ 4%





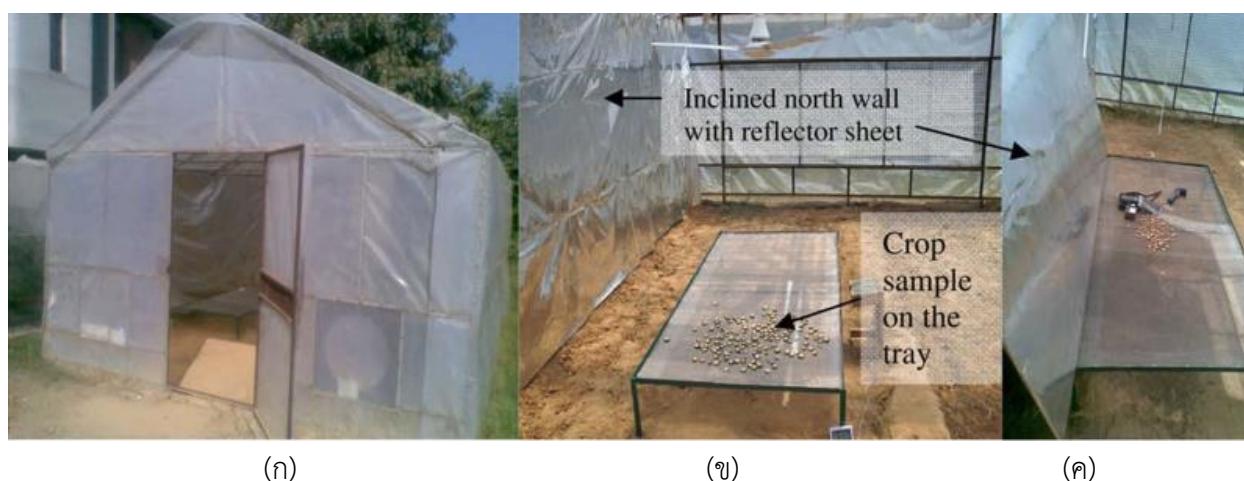
รูปที่ 5 โรงอบแห้งแบบเรือนกระจกที่ติดตั้ง ณ อุทยานพลังงานแสงอาทิตย์ IIT Delhi

Janjai และคณะ [16] ได้นำเสนอการศึกษาทั้งเชิงการทดลองและเชิงตัวเลขของการอบแห้งลำไยและกล้วยโดยใช้เรือนอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการใช้แผงโซลาร์เซลล์ พื้นที่ใช้เป็นคอนกรีตและหลังคาเป็นรูปพาราโบลา ขนาด  $8 \times 5.5 \times 3.5$  เมตร คลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต แผง PV ขนาด 50 วัตต์สำหรับใช้กับพัดลมดูดอากาศ 3 เครื่อง ตำแหน่งที่ศึกษาแสดงดังรูปที่ 6 โดยในระหว่างการอบแห้งกล้วยและลำไยนั้น ได้ทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีความแตกต่างกัน จาก  $30^{\circ}\text{C}$  ถึง  $60^{\circ}\text{C}$  และ จาก  $31^{\circ}\text{C}$  ถึง  $58^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ เวลาสำหรับการอบแห้งลำไยเท่ากับ 3 วัน ในขณะที่กล้วยใช้เวลา 4 วัน จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จากเรือนอบแห้งแบบเรือนกระจกมีสีและรสชาติที่ดีกว่า



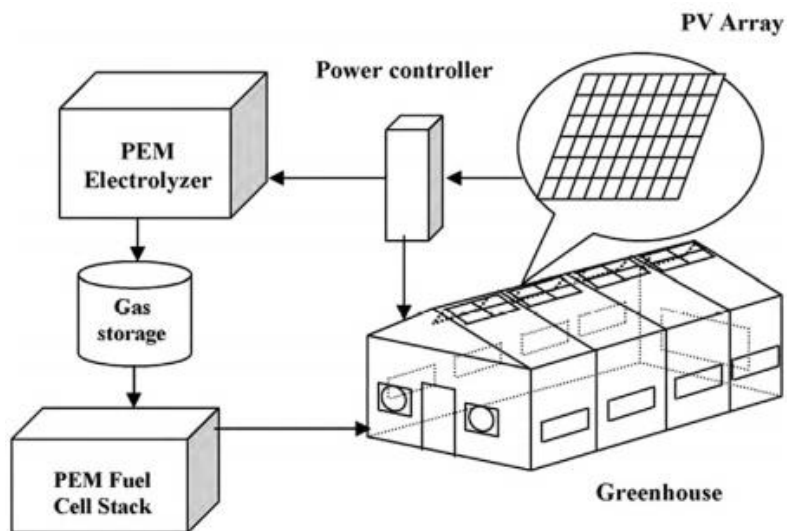
รูปที่ 6 ตำแหน่งการวัดการกระจายอุณหภูมิในเรือนอบแห้งแบบเรือนกระจก [16]

Sethi และ Arora [17] ได้ดัดแปลงโรงอบแห้งแบบเรือนกระจกทั่วไปโดยการใช้ผนังที่เอียงไปทิศเหนือ มุมเอียงที่ใช้ผ่านการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อหามุมที่เหมาะสมมาแล้ว ทโหมดการอบแห้งที่ใช้มีทั้งแบบการพาโดยธรรมชาติและแบบโดยบังคับ การทดสอบสมรรถนะของระบบอบแห้งดังกล่าวนี้มีทั้งแบบผนังเอียงและไม่เอียงเพื่อเปรียบเทียบกัน วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือมะระขมแผ่น การทดลองนี้มีการติดตั้งเครื่องอบแห้ง ณ Ludhiana Punjab ประเทศอินเดีย รูปที่ 7 แสดงภายนอกและภายในโรงอบแห้งแบบเรือนกระจกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยมีขนาดพื้นที่เท่ากับ 6 x 4 ตารางเมตร หลังคาคลุมด้วยแผ่นโพลีเอธิลีน UV ผนังทางด้านเหนือทำด้วย wooden ply board ติดด้วยแผ่นโพลีเอสเตอร์เคลือบอะลูมิเนียม จากการทดลองพบว่าการใช้ผนังเอียงที่ทำมุมไปทิศเหนือใช้เวลาใช้เวลานในการอบแห้งเร็วขึ้น 13.13% และ 16.67% สำหรับโหมดการพาแบบธรรมชาติและแบบบังคับตามลำดับ



รูปที่ 7 โรงอบแห้งแบบเรือนกระจก  
(ก) ภายนอก (ข) ภายในโรงอบแห้งแบบเรือนกระจก (ค) ผนังเอียง [17]

Ganguly และคณะ [18] ได้แสดงแบบจำลองของโรงอบแห้งแบบเรือนกระจกพร้อมกับระบบการสร้างและการกักเก็บพลังงาน จากผลการศึกษาพบว่าการจัดการพลังงานดังกล่าวนี้ให้ทางเลือกที่เป็นไปได้สำหรับโรงอบแห้งระบบพลังงานที่ใช้ร่วมกับโรงอบแห้งแสดงในรูปที่ 8 โดยประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 75 วัตต์จำนวน 51 แผง ซึ่งใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง PEM ขนาด 480 วัตต์ จำนวน 2 ระบบใช้ร่วมกับ electrolyzer ขนาด 3.3 kV สำหรับการสำรองไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่สร้างได้บางส่วนจากแผงโซลาร์เซลล์ถูกนำมาใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าในเรือนกระจกและไฟฟ้าที่เหลือถูกนำมาใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนในเครื่อง electrolyzer



รูปที่ 8 การใช้ระบบการจัดการพลังงานร่วมกับโรงอบแห้งแบบเรือนกระจก [18]

## บทที่ 3

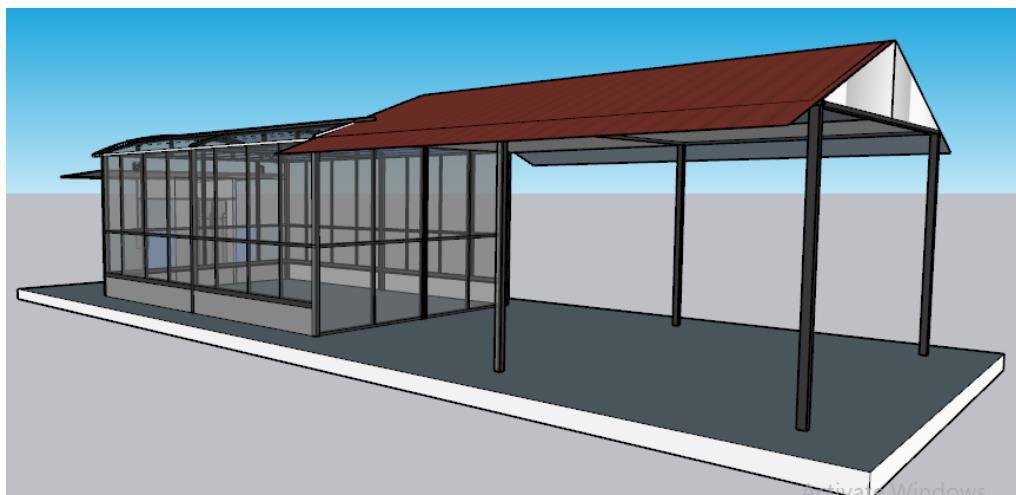
### วิธีการดำเนินงานโครงการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินโครงการ การออกแบบการจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ ตลอดจนขั้นตอนการออกแบบ และพัฒนาระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากก๊าซแอลพีจี จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์โดยมีรายละเอียดการดำเนินงาน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 3.1 ออกแบบและสร้างโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Greenhouse

โครงสร้างระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ greenhouse (แบบโครงสร้างทั้งหมดแสดงในภาคผนวก) ดังรูปที่ 9 ประกอบด้วย

1. หลังคากรุดด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต หนา 6 มิลลิเมตร ชนิดใสไม่มีสี
2. ผิวด้านบนแผ่นโพลีคาร์บอเนต หรือด้านรับแสงเคลือบสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) หนาไม่น้อยกว่า 30 ไมโครเมตร
3. แผ่นโพลีคาร์บอเนต ด้านริมแผ่นที่วางติดกับพื้น ค.ส.ล. ใส่อลูมิเนียมตัว U ที่ใช้เฉพาะงานแผ่นโพลีคาร์บอเนต
4. แปะหรือเหล็กโครงด้านข้าง เป็นเหล็กกล่อง ขนาด 1"x2"x2.3 มม.
5. จันทัน หรือเหล็กโครงหลังคา เป็นเหล็กทอกกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2" หนา 2.0 มม. ตัดโค้งตามแบบ
6. ยึดโครงสร้างอาคารกับพื้นคอนกรีตด้วยเพลทเหล็ก ยึดด้วยพุกกระเบิด ร้อยน๊อต
7. พื้นเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก หล่อในที่ พื้นผิวขัดเรียบ พื้นภายในผสมสีฝุ่นสีดำ
8. งานส่วนที่เป็นเหล็กทั้งหมด ชันวางผลิตภัณฑ์ และน๊อตยึด ชุบกัลป์วาไนซ์ และตะแกรงชันวางผลิตภัณฑ์เป็นอลูมิเนียม



รูปที่ 9 ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนจากแก๊ส

### 3.2 ออกแบบและสร้างชุดให้ความร้อนเสริมจากแก๊ส LPG

3.2.1 สามารถเลือกกระบวนการให้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือใช้ความร้อนเสริมด้วยได้ (ในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์) พร้อมพัฒนาระบายสำหรับระบบไหลเวียนและระบายอากาศซึ่งควบคุมโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงอบแห้งผ่านอุปกรณ์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.2 ออกแบบสร้างระบบให้ความร้อนเสริมจากแก๊ส LPG จากถังขนาด 50 กิโลกรัม

### 3.3 ออกแบบและสร้างชุดควบคุมสภาวะอากาศในการอบแห้ง

3.3.1 ใช้เซ็นเซอร์เป็นตัววัดและควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้ง ซึ่งจะต่อกับชุดควบคุมที่ติดตั้งอยู่ด้านหลังของโรงอบแห้ง

3.3.2 ใช้เซ็นเซอร์วัดสภาวะอากาศ 2 ตัว โดยวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือนอบแห้ง

### 3.4 ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน

3.4.1 ทดสอบการกระจายอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งโดยการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจำนวน 5 ตำแหน่งภายในห้องอบแห้งดังรูปที่ 10 เพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการทดลองจะทำการวัดทุกๆ 15 นาที ในสภาวะการอบแห้งต่างๆ ได้แก่

- 1) การอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวัน
- 2) การอบแห้งโดยให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวัน
- 3) การอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางคืน
- 4) การอบแห้งโดยให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางคืน



รูปที่ 10 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิสำหรับทดสอบการกระจายอุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง

3.4.2 ทดสอบระยะเวลาการอบแห้งที่เหมาะสมจะนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักก่อนทำการอบแห้ง และระหว่างการอบแห้งทุกๆ 15 นาที จากนั้นค่าน้ำหนักจะวิเคราะห์หาความชื้นตามหัวข้อ 3.4.6 ซึ่งเวลาการอบแห้งที่เหมาะสมจะอ้างอิงจากความชื้นของตัวอย่างควบคุม ในสภาวะการอบแห้งต่างๆ ได้แก่

- 1) การอบแห้งนอกโรงอบแห้งในช่วงกลางวัน (ตากแดด)
- 2) การอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวัน
- 3) การอบแห้งโดยให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวัน
- 4) การอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางคืน
- 5) การอบแห้งโดยให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางคืน

### 3.5 ทดสอบอบแห้งตัวอย่างผลิตผลทางการเกษตร

3.5.1 ทดสอบการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร ได้แก่ ข้าวเข็บ หรือ ข้าวเกรียบว่าว

3.5.2 หาความชื้นเริ่มต้นของผลิตผลทางการเกษตรด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC

3.5.3 นำตัวอย่างผลิตผลทางการเกษตรในข้อ 3.4.1 วางบนตะแกรงอะลูมิเนียม ประมาณ 2 กิโลกรัม โดยวางแบบ 1 ชั้น หรือชั้นบาง

3.5.4 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เวลาต่างๆ กัน จนกระทั่งน้ำหนักเริ่มคงที่

3.5.5 คำนวณหาค่าความชื้นของตัวอย่างผลิตผลทางการเกษตร จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่ช่วงความชื้นข้าวเข็บเริ่มต้นจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 10 ฐานเปียก เริ่มจากการนำตัวอย่างข้าวเข็บปริมาณ 3 กรัม ใส่ในภาชนะอะลูมิเนียมที่ถูกชั่งน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำภาชนะไปใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccator) รอให้ภาชนะที่มีตัวอย่างเย็นลง 30 นาที แล้วนำภาชนะออกมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน และคำนวณความชื้นจากสมการ 1

$$MC = \frac{W_t - W_d}{W_w} \quad (1)$$

เมื่อ	MC	คือ	ความชื้น (ร้อยละฐานเปียก)
	$W_t$	คือ	น้ำหนักข้าวเข็บที่เวลาใดๆ (กรัม)
	$W_d$	คือ	น้ำหนักแห้งของข้าวเข็บ (กรัม)
	$W_w$	คือ	น้ำหนักเปียกของข้าวเข็บ (กรัม)

3.5.6 วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) โดยการบดตัวอย่างและชั่งน้ำหนักประมาณ 5 กรัม จากนั้นใส่ในภาชนะโดยต้องให้ตัวอย่างปิดพื้นที่ฐานภาชนะและให้ปริมาณตัวอย่างอยู่สูงระดับครึ่งหนึ่งของภาชนะใส่ตัวอย่าง จากนั้นนำภาชนะใส่ในเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระรุ่น Aqualab (Decagon, United of Kingdom) โดยการทดลองจะทำการวัด 5 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

3.5.7 วิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างข้าวเข็บโดยการบดตัวอย่างและชั่งน้ำหนักประมาณ 3 กรัม จากนั้นใส่ในภาชนะและทำการวัดสีในระบบ CIE ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ) ด้วยเครื่อง HunterLab รุ่น Mini Scan EZ รายงานค่าเป็น  $L^*$  (ค่าความสว่าง)  $a^*$  (ค่าความเป็น สีแดง)  $-a^*$ (ค่าความเป็นสีเขียว)  $b^*$  (ค่าความเป็นสีเหลือง)  $-b^*$ (ค่าความเป็น สีน้ำเงิน) โดยการทดลองจะทำการวัด 5 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานโครงการ

#### 4.1 ผลการดำเนินงานออกแบบและสร้างโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก

โครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Greenhouse โดยมีขนาด 4 x 8 เมตร ซึ่งขั้นตอนการสร้างได้แสดงในรูปที่ 11-18



รูปที่ 11 การทำโครงสร้างของโรงเรือนอบแห้ง





รูปที่ 12 การติดตั้งโครงหลังคายื่นออกจากโรงอบเพื่อเก็บผลิตภัณฑ์



รูปที่ 13 โรงเรือนอบแห้งที่ทำการติดตั้งแผ่นโพลีคาร์บอเนตเสร็จเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 14 การวางท่อส่งความร้อนและตัวเบิร์นเนอร์แก๊ส LPG



รูปที่ 15 ห้องควบคุมระบบให้ความร้อนเสริมและสภาพอากาศภายในโรงเรือนอบแห้ง





รูปที่ 16 ฐานสำหรับวางตะแกรง



รูปที่ 17 ประตูทางเข้าแบบบานพับ



รูปที่ 18 ช่องระบายอากาศ

#### 4.2 ผลการดำเนินงานออกแบบและสร้างชุดให้ความร้อนเสริมจากแก๊ส LPG

4.2.1 ถังแก๊สนำมาใช้งานในระบบการให้ความร้อนเสริมผ่านเครื่องเบิร์นเนอร์ ทำให้เกิดการใช้งานเต็มประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์สูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 19 และ 20



รูปที่ 19 การติดตั้งแก๊สเชื้อเพลิง



รูปที่ 20 ตู้เบิร์นเนอร์

#### 4.2.2 ระบบส่งความร้อนจากแก๊ส มีส่วนประกอบดังนี้

หัวแก๊สทำหน้าที่ปล่อยติดไฟเพื่อให้พัดลมเป่าความร้อนเข้าไปในท่อส่งความร้อนแสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 21 หัวแก๊ส

เซ็นเซอร์ตรวจจับการติดไฟใช้ในกรณีที่ไฟไม่ติดที่หัวแก๊ส ระบบจะสั่งงานให้หยุดการจ่ายแก๊สเพื่อป้องกันแก๊สรั่วเข้าโรงอบแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 22



รูปที่ 22 เซ็นเซอร์ตรวจจับการติดไฟ

พัดลมเบรินเนอร์ทำหน้าที่ส่งความร้อนเข้าไปในท่อส่งความร้อนดังแสดงในรูปที่ 23(ก) และพัดลมส่งความร้อนทำหน้าที่เป่าส่งความร้อนเข้าไปยังพัดลมเบรินเนอร์ดังแสดงในรูปที่ 23(ข)



(ก)

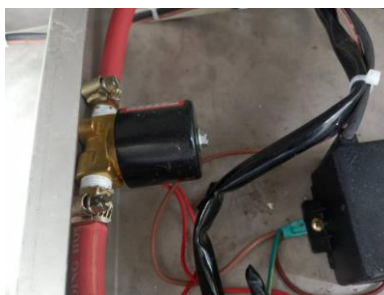


(ข)

รูปที่ 23 รายละเอียดของพัดลมเบิร์นเนอร์

(ก) พัดลมเบิร์นเนอร์ (ข)พัดลมส่งความร้อน

โซลินอยด์วาล์วทำหน้าที่เปิดปิดแก๊สตามคำสั่งของระบบคอนโทรล ดังแสดงในรูปที่ 24



รูปที่ 24 โซลินอยด์วาล์ว

ท่อส่งความร้อนทำหน้าที่ส่งความร้อนเพื่อเข้าไปในโรงอบแห้ง โดยความร้อนจากออกตามรูที่เจาะไว้ตามจุดต่าง เพื่อให้ความร้อนส่งไปทั่วถึง ดังแสดงในรูปที่ 25



รูปที่ 25 ท่อส่งความร้อน



#### 4.3 ผลการดำเนินการออกแบบและสร้างชุดควบคุมสถานะอากาศในการอบแห้ง

##### 4.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ภายในตู้คอนโทรล

ตู้คอนโทรลทำหน้าที่เปิดและเปิดการทำงานของระบบ โดยสามารถตั้งค่าและตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้นภายในโรงอบ จากนั้นแสดงผลค่าอุณหภูมิและความชื้นบนหน้าตู้คอนโทรล ดังแสดงในรูปที่ 26



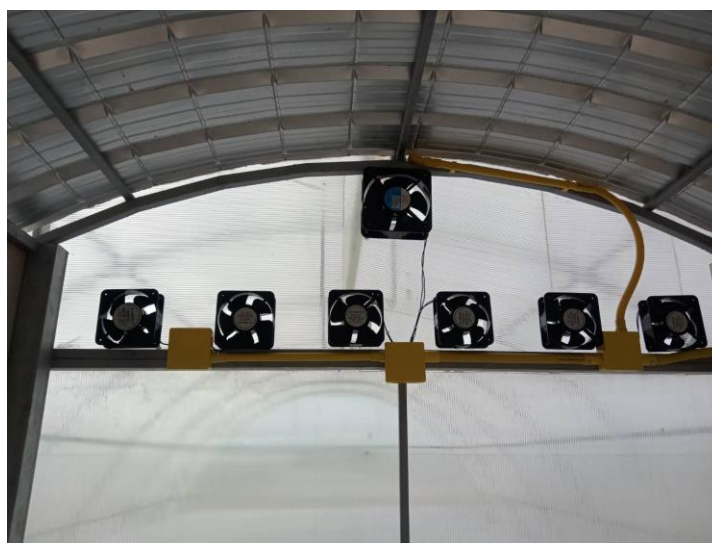
(ก)



(ข)

รูปที่ 26 รายละเอียดของตู้คอนโทรล  
(ก)ภายในตู้คอนโทรล (ข)หน้าตู้คอนโทรล

พัฒนาคูความชื้นจำนวน 6 ตัว ทำหน้าที่ดูดอากาศภายในห้องสู่ออกเพื่อลดความชื้นภายในห้องอบแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 พัฒนาคูความชื้น

ช่องดูดอากาศทำหน้าที่ส่งผ่านลมจากภายในห้องอบสู่ภายนอกห้องอบเพื่อแลกเปลี่ยนความชื้นสัมพัทธ์  
ดังแสดงในรูปที่ 28



รูปที่ 28 ช่องดูดอากาศ

เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบ ถูกติดตั้งบริเวณใต้  
คานหลังคาตรงกลางโรงอบ แสดงในรูปที่ 29



รูปที่ 29 เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบ



#### 4.3.2 หลักการทำงานระบบคอนโทรล ระบบควบคุมความร้อนเสริม และความชื้น

การใช้งานชุดควบคุมระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากก๊าซแอลพีจี มีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

- 1) เปิดเบรกเกอร์ เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าเครื่อง
- 2) เปิดแก๊ส โดยปรับแรงดันไว้ที่ 2 บาร์ (ดังแสดงในรูปที่ 30)



รูปที่ 30 การปรับแรงดันของแก๊สเชื้อเพลิง

- 3) เปิดสวิตช์ชุดควบคุมหลัก หลอดไฟ LED จะติดเมื่อระบบเริ่มทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 31



รูปที่ 31 ตำแหน่งปุ่มเปิด-ปิด และหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานของชุดควบคุมหลัก

4) เปิดสวิตช์เพื่อเริ่มควบคุมความร้อน และความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 32



รูปที่ 32 ตำแหน่งปุ่มเปิด-ปิด ของการควบคุมความร้อน และความชื้น

5) เปิดสวิตช์เพื่อเริ่มใช้งานพัดลมด้วยการใช้ไฟฟ้าจากโซลาเซลล์ (หากไม่เปิดสวิตช์พัดลมจะทำงานด้วยการใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าทั่วไป) หลอดไฟ LED จะติดเมื่อระบบเริ่มทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 33



รูปที่ 33 ตำแหน่งปุ่มเปิด-ปิด และหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานของการทำงานของการใช้งานพัดลม

6) ตั้งเวลาการทำงาน และตั้งการนับถอยหลังของการทำงาน จากนั้นกดปุ่มเริ่มงานใหม่ เพื่อให้ระบบปรับเปลี่ยนค่าเวลาการทำงาน และเวลาการนับถอยหลังของการทำงานใหม่ การตั้งเวลาและการ

นับถอยหลังของการทำงาน สามารถเลือกหน่วยเวลา ได้ เช่น S คือ วินาที/การทำงาน, M คือ นาที/การทำงาน และ H คือ ชั่วโมง/การทำงาน หลอดไฟ LED จะติดเมื่อระบบเริ่มทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 34



รูปที่ 34 ตำแหน่งตัวตั้งเวลาการทำงาน และตั้งการนับถอยหลังของการทำงาน และหลอดไฟแสดงแสดงสถานะการทำงาน

- 7) ตั้งค่าการควบคุมอุณหภูมิ สามารถตั้งค่าได้ในอุปกรณ์หน้าตู้คอนโทรล แสดงดังรูปที่ 35(ก)
  - 7.1) ผู้ใช้งานจะต้องกดปุ่ม “ขึ้น” (หมายเลข 3) หนึ่งครั้งเพื่อแสดงอุณหภูมิเริ่มต้น
  - 7.2) กดปุ่ม “ขึ้น” (หมายเลข 3) ค้าง เป็นเวลาประมาณ 3 วินาที จนกระทั่งตัวเลขแสดงค่าอุณหภูมิสีแดง (หมายเลข 2) จะกระพริบ
  - 7.3) กดปุ่ม “ขึ้น” (หมายเลข 3) หรือ “ลง” (หมายเลข 4) เพื่อตั้งค่าการควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นที่ต้องการ
  - 7.4) กดปุ่ม “ลง” (หมายเลข 4) หนึ่งครั้งเพื่อแสดงอุณหภูมิหยุดการทำงาน
  - 7.5) กดปุ่ม “ลง” (หมายเลข 4) เป็นเวลาประมาณ 3 วินาที จนกระทั่งตัวเลขแสดงค่าอุณหภูมิสีแดง (หมายเลข 2) จะกระพริบ
  - 7.6) กดปุ่ม “ขึ้น” (หมายเลข 3) หรือ “ลง” (หมายเลข 4) เพื่อตั้งค่าการควบคุมอุณหภูมิหยุดการทำงานที่ต้องการ แสดงดังรูปที่ 35(ข)



รูปที่ 35 การตั้งค่าอุณหภูมิ

(ก)ตำแหน่งตัวตั้งค่าอุณหภูมิ (ข)การตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้นและหยุดทำงาน

- 8) ตั้งค่าการควบคุมความชื้น สามารถตั้งค่าได้ในอุปกรณ์หน้าตู้คอนโทรล แสดงดังรูปที่ 36(ก)
  - 8.1) ผู้ใช้งานจะต้องกดปุ่ม “ขึ้น” (หมายเลข 5) หนึ่งครั้งเพื่อแสดงความชื้นเริ่มต้น
  - 8.2) กดปุ่ม “ขึ้น” (หมายเลข 5) ค้าง เป็นเวลาประมาณ 3 วินาที จนกระทั่งตัวเลขแสดงค่าความชื้นสีน้ำเงิน (หมายเลข 7) จะกระพริบ
  - 8.3) กดปุ่ม “ขึ้น” (หมายเลข 5) หรือ “ลง” (หมายเลข 6) เพื่อตั้งค่าการควบคุมความชื้นเริ่มต้นที่ต้องการ
  - 8.4) กดปุ่ม “ลง” (หมายเลข 6) หนึ่งครั้งเพื่อแสดงความชื้นหยุดการทำงาน
  - 8.5) กดปุ่ม “ลง” (หมายเลข 6) เป็นเวลาประมาณ 3 วินาที จนกระทั่งตัวเลขแสดงค่าความชื้นสีน้ำเงิน (หมายเลข 7) จะกระพริบ
  - 8.6) กดปุ่ม “ขึ้น” (หมายเลข 5) หรือ “ลง” (หมายเลข 6) เพื่อตั้งค่าการควบคุมความชื้นหยุดการทำงานที่ต้องการ แสดงดังรูปที่ 36(ข)

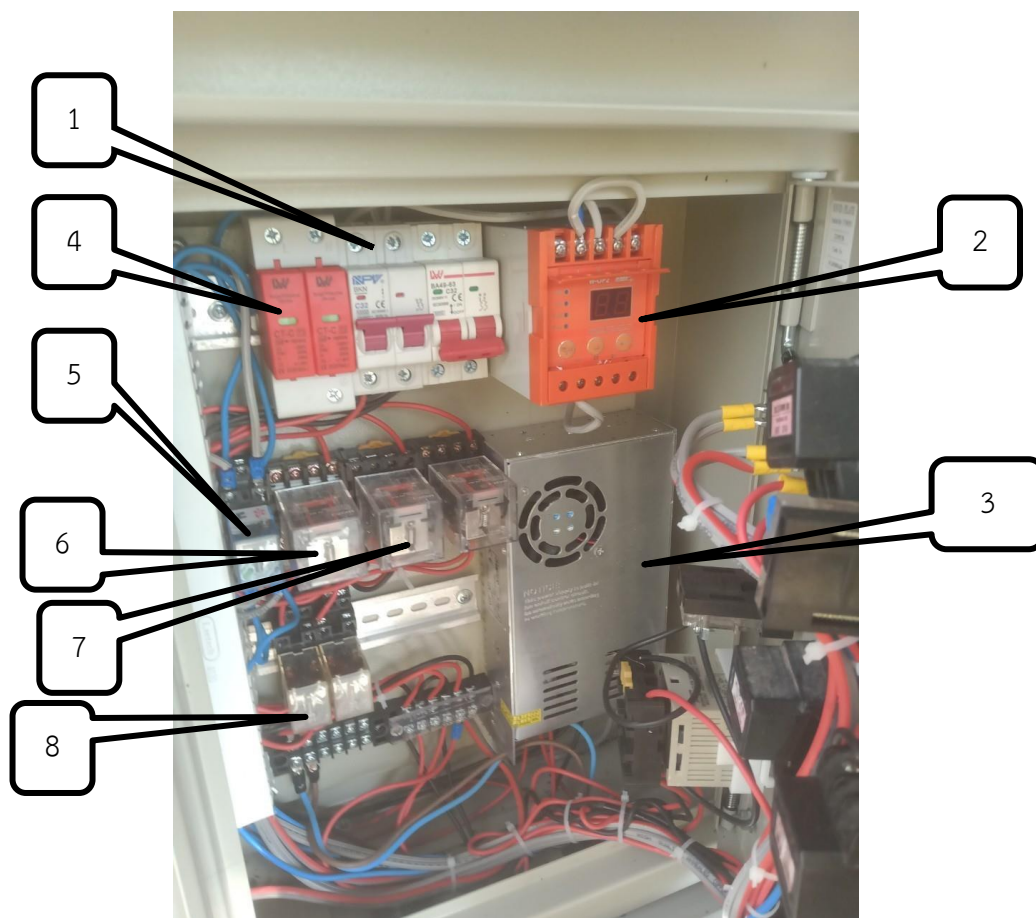


รูปที่ 36 การตั้งค่าอุณหภูมิ

(ก) ตำแหน่งตัวตั้งค่าอุณหภูมิ (ข) การตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้นและหยุดทำงาน

- 7) ระบบความร้อนเสริมจะทำงานในกรณีที่อุณหภูมิภายในโรงอบต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ และจะตัดการทำงานในกรณีที่อุณหภูมิภายในโรงอบสูงกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้
- 8) พัดลมระบายความชื้นจะทำงานกรณีที่ค่าความชื้นสูงกว่าค่าความชื้นที่ตั้งไว้
- 9) ค่าอุณหภูมิและความชื้นจะแสดงผลจากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นซึ่งติดตั้งไว้ภายในโรงอบ

#### 4.3.4 หน้าี่การทำงานของอุปกรณ์ตู้คอนโทรล (Control box)



รูปที่ 37 อุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม

1. เบรกเกอร์ 220 V. (Breaker) ทำหน้าที่ในการตัดวงจรไฟฟ้าแบบอัตโนมัติเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบ เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสายไฟ
2. เฟส โปรเทคชั่น (Phase Protection) อุปกรณ์สำหรับป้องกันแรงดันในเฟส ไฟตก ป้องกันไฟเกิน ป้องกันความเสียหายที่เกิดจากไฟฟ้าในเฟสเสียหาย มีฟังก์ชันตรวจสอบความถูกต้องของลำดับเฟสในระบบไฟฟ้า
3. หม้อแปลงไฟ 12 V (Switching Power Supply) ทำหน้าที่จ่ายไฟไปยังพัดลมระบายความชื้น และระบบควบคุมวงจรการทำงานของอุปกรณ์
4. อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า (Surge Protection Device.SPD ) ทำหน้าที่เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ถูกฟ้าผ่า และกันความเสียหายของอุปกรณ์ภายในตู้เมื่อเกิดฟ้าผ่า
5. รีเลย์ (Relay) หมายเลข 5 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของพัตรบบโซล่าเซลล์

6. รีเลย์ (Relay) หมายเลข 6 ทำหน้าที่จ่ายไฟ 220 V ไปยังเครื่องเบิร์นเนอร์
7. รีเลย์ (Relay) หมายเลข 7 ทำหน้าที่จ่ายไฟ 12 VDC ไปยังพัดลมระบายความชื้น จำนวน 6 ตัว
8. รีเลย์ (Relay) หมายเลข 8 ควบคุมการทำงานของรีเลย์จ่ายไฟ 12 Vdc เข้ารีเลย์ หมายเลข 6 ,7

#### 4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

โดยปกติแล้วการอบแห้งผลิตผลทางเกษตรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อพฤติกรรมการอบแห้งและประสิทธิภาพการอบแห้ง เช่น สภาพการอบแห้ง สภาพแวดล้อม คุณภาพของวัสดุ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบการกระจายอุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง จลนศาสตร์การอบแห้งของข้าวเข็บข้าวเข็บ หรือข้าวเกรียบว่า การวัดคุณภาพด้านสีและปริมาณน้ำอิสระ ที่ได้จากวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกัน

4.4.1 ทดสอบการกระจายอุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง จะทำการเฉลี่ยค่าอุณหภูมิตั้งตาราง 1 ในสภาพการอบแห้งต่างๆ ช่วงกลางวันตั้งแต่ 12.00 – 17.00 น. และช่วงกลางคืนตั้งแต่ 19.00 – 24.00 น. ได้แก่

- 1) การอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวัน (A)
- 2) การอบแห้งโดยการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวัน (B)
- 3) การอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางคืน (C)
- 4) การอบแห้งโดยการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางคืน (D)

การอบแห้งโดยการให้ความร้อนเสริม โดยตั้งค่าแรงดันก๊าซแอลพีจี 2 บาร์ และการควบคุมอุณหภูมิ ถูกตั้งค่าอุณหภูมิในช่วง 58 – 61 องศาเซลเซียส ทั้งกลางวันและกลางคืน

ตาราง 1 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในโรงอบแห้งในสภาพการอบแห้งต่างๆ

เวลา (นาที)	สภาพการอบแห้งในโรงอบแห้ง			
	A	B	C	D
0	44.8±0.77	47.9±0.62	27.5±0.44	28.2±0.59
15	50.0±0.62	53.0±0.50	26.9±0.47	36.8±0.43
30	52.6±0.82	58.4±0.60	26.7±0.57	41.3±0.38
45	53.1±0.82	60.9±0.42	26.3±0.37	45.1±0.15
60	51.7±1.09	59.8±0.32	26.2±0.44	48.4±0.27
75	53.1±0.82	58.8±0.63	25.8±0.49	51.3±0.29
90	51.8±0.64	59.7±0.36	25.7±0.49	54.0±0.29



เวลา (นาที)	สภาวะการอบแห้งในโรงอบแห้ง			
	A	B	C	D
105	53.9±0.65	60.1±0.42	25.5±0.42	56.5±0.38
120	53.4±0.87	60.5±0.76	25.1±0.50	58.6±0.40
135	54.2±0.51	61.1±0.61	25.0±0.45	60.3±0.38
150	53.5±1.03	60.6±0.70	25.0±0.50	59.8±0.28
165	53.6±0.78	60.7±0.80	24.9±0.53	58.6±0.23
180	53.4±0.60	59.6±0.76	24.9±0.40	58.2±0.43
195	53.7±0.88	60.0±0.87	25.0±0.45	59.4±0.64
210	51.5±0.61	60.8±0.89	25.0±0.41	60.5±0.60
225	50.2±0.48	60.3±0.80	24.8±0.42	59.7±0.24
240	45.3±0.77	60.4±0.78	24.5±0.36	58.9±0.35
255	42.3±0.44	59.8±0.51	24.4±0.41	58.1±0.34
270	39.7±0.52	58.9±0.80	24.1±0.32	59.3±0.34
285	37.8±0.36	59.2±0.73	24.0±0.45	60.2±0.34
300	37.1±0.25	60.1±0.41	23.9±0.33	59.5±0.21

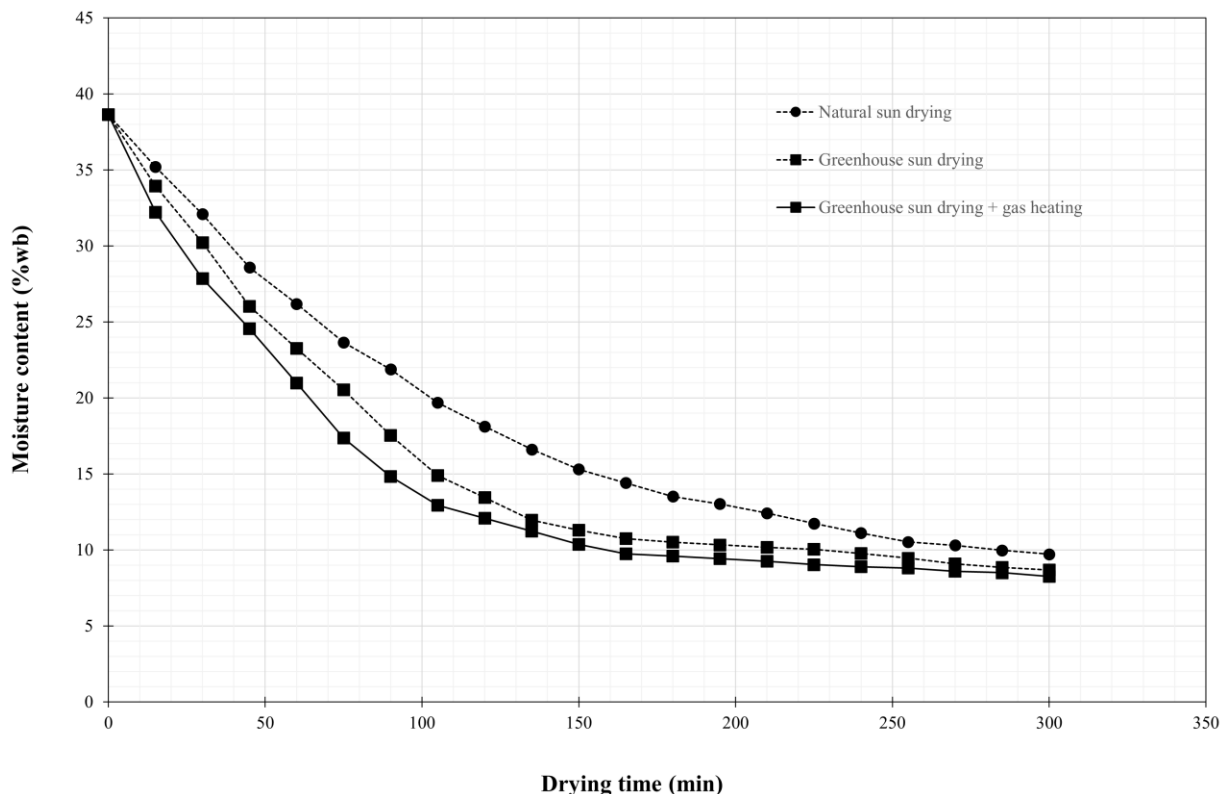
จากตาราง 1 พบว่า การกระจายอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งในช่วงกลางวันและกลางคืนในสภาวะการอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การอบแห้งโดยการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวันจะใช้เวลาประมาณ 45 นาที ซึ่งสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้รวดเร็วกว่าช่วงกลางคืนที่ใช้เวลาประมาณ 135 นาที หรือ 2 ชั่วโมง 15 นาที ดังนั้นผู้ใช้งานประสงค์จะอบแห้งข้าวเปียกในสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวยต่อการอบแห้ง ได้แก่ ช่วงฝนตก ช่วงฤดูหนาว หรือช่วงกลางคืน ทั้งสองสภาวะการอบแห้งที่ให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นและสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดี อีกทั้งสภาวะการอบแห้งดังกล่าวส่งผลต่อจลนศาสตร์การอบแห้ง และคุณภาพต่างๆ ของข้าวเปียก แสดงดังหัวข้อต่อไป

#### 4.4.2 จลนศาสตร์การอบแห้งของข้าวเปียก

พฤติกรรมการอบแห้งหรือเรียกว่าจลนศาสตร์การอบแห้งของข้าวเปียกโดยใช้วิธีการอบแห้งที่แตกต่างกันในช่วงกลางวัน ได้แก่ การอบแห้งนอกโรงอบแห้งหรือการตากแดดโดยธรรมชาติ การอบแห้งในโรงอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิ และการอบแห้งในโรงอบแห้งร่วมกับการให้ความร้อนเสริม

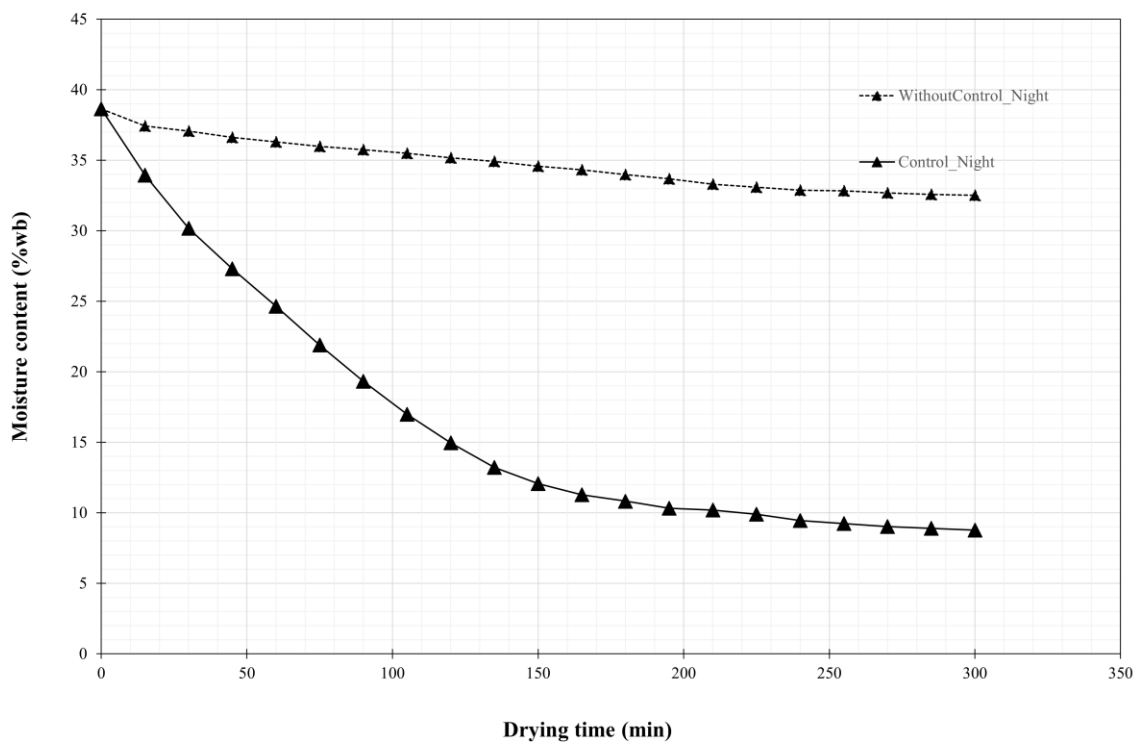


และควบคุมอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 38 และช่วงกลางคืน ได้แก่ การอบแห้งในโรงอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิ และการอบแห้งในโรงอบแห้งร่วมกับการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 39



รูปที่ 38 พฤติกรรมการอบแห้งของข้าวเข็บโดยใช้วิธีการอบแห้งที่แตกต่างกันในช่วงกลางวัน

จากรูปที่ 38 พบว่าวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกันส่งผลให้พฤติกรรมการอบแห้งของข้าวเข็บแตกต่างกัน การตากแดดเป็นวิธีการอบแห้งที่ส่งผลให้ความชื้นของข้าวเข็บลดลงช้าที่สุด โดยใช้เวลาในการลดความชื้นจากเริ่มต้นประมาณ 38% (ฐานเปียก) เป็นประมาณ 10.32% (ฐานเปียก) ใช้เวลามากถึงประมาณ 255 นาที (พิจารณาเวลาการอบแห้ง 12.00-17.00 น.) หรือ 4 ชั่วโมง 15 นาที สำหรับการอบแห้งในโรงอบแห้งทั้งสองโหมดการอบแห้งนั้นพบว่า สามารถลดความชื้นของข้าวเข็บจากเริ่มต้นลงเหลือความชื้นที่ระดับเดียวกันกับการตากแดดโดยใช้เวลานั้นน้อยกว่าการตากแดดประมาณ 1.5-2 เท่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งโดยใช้โรงเรือนอบแห้งทั้งสองโหมด พบว่า การใช้โรงอบแห้งร่วมกับการใช้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิสามารถลดความชื้นถึงระดับที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา (10.32%) ใช้เวลานั้นน้อยกว่าการใช้โรงอบแห้งเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 39 พฤติกรรมการอบแห้งของข้าวเขิบโดยใช้วิธีการอบแห้งที่แตกต่างกันในช่วงกลางคืน

จากรูปที่ 39 พบว่าวิธีการอบแห้งในโรงอบแห้งในช่วงกลางคืนในช่วงเวลาการอบแห้งตั้งแต่ 19.00 – 24.00 น. ส่งผลต่อพฤติกรรมการอบแห้งของข้าวเขิบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การอบแห้งในโรงอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิส่งผลให้ความชื้นของข้าวเขิบลดลงช้ามาก เนื่องจากไม่มีแสงแดด ทำให้การลดความชื้นจากเริ่มต้นประมาณ 38% (ฐานเปียก) เป็นประมาณ 10.32% (ฐานเปียก) ซึ่งไม่สามารถทำได้ การอบแห้งในโรงอบแห้งร่วมกับการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้เวลาในการลดความชื้นจากเริ่มต้นประมาณ 38% (ฐานเปียก) เป็นประมาณ 10.32% (ฐานเปียก) ใช้เวลามากถึงประมาณ 195 นาที หรือ 3 ชั่วโมง 15 นาที เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งโดยใช้โรงเรือนอบแห้งทั้งสองโหมด พบว่าการใช้โรงเรือนอบแห้งร่วมกับการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงเวลากลางคืนสามารถลดความชื้นถึงระดับที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา (10.32%) ใช้เวลาสั้นกว่าการใช้โรงเรือนอบแห้งเพียงอย่างเดียวในช่วงเวลากลางคืนอย่างมีนัยสำคัญ

4.4.3 ทดสอบการวัดค่าสีและปริมาณน้ำอิสระจากการเก็บตัวอย่างข้าวเขิบหลังจากการอบแห้งดังตาราง 2 ในสภาวะการอบแห้งต่างๆ ได้แก่

- 1) ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (Non-drying)
- 2) ตัวอย่างหลังอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวัน (A)

- 3) ตัวอย่างหลังอบแห้งโดยให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวัน (B)
- 4) ตัวอย่างหลังอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวัน (C)
- 5) ตัวอย่างหลังอบแห้งโดยให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวัน (D)
- 6) ตัวอย่างควบคุม (Control)

ตาราง 2 ค่าสีและปริมาณน้ำอิสระในสภาวะการอบแห้งต่างๆ

สภาวะการอบแห้ง	L*	a*	b*	$\Delta E$	$A_w$
Non-drying	71.39±2.59	0.2±0.04	13.72±0.28	-	0.92±0.00
A	76.00±0.52	0.59±0.1	12.92±0.28	2.97	0.67±0.01
B	77.23±0.61	0.63±0.09	10.82±0.29	1.79	0.62±0.01
C	75.32±0.21	0.35±0.1	13.09±0.25	3.69	0.78±0.01
D	76.04±0.73	0.46±0.04	14.37±0.47	3.76	0.64±0.00
Control	78.73±0.47	0.84±0.11	11.77±1.59	-	0.61±0.01

จากตาราง 2 พบว่า ค่าความสว่าง (L\*) ค่าความเป็นสีแดงหรือสีน้ำเงิน (a\*) และค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีเขียว (b) ของข้าวเข็บก่อนอบแห้งมีค่า เท่ากับ 71.39±2.59 0.2±0.04 และ 10.43±0.03 ตามลำดับ ข้าวเข็บเมื่อผ่านการอบแห้งในสภาวะต่างๆ พบว่า ค่า L\* และ a\* มีแนวโน้มที่สูงกว่าข้าวเข็บก่อนอบแห้ง อย่างไรก็ตามค่า b\* กลับมีแนวโน้มต่ำกว่าข้าวเข็บก่อนอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวบ่งบอกถึงสีของข้าวเข็บที่สว่างขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้ง ค่า  $\Delta E$  ที่บ่งบอกถึงความแตกต่างจากสีของตัวอย่างควบคุม จากตาราง 2 พบว่า ค่า  $\Delta E$  มีแนวโน้มน้อยที่สุดที่สภาวะของการอบแห้งโดยให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวัน

จากตาราง 2 ค่าปริมาณน้ำอิสระหลังจากอบแห้ง พบว่า สภาวะการอบแห้งทั้งสองในช่วงกลางวันและสภาวะการอบแห้งโดยให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวันมีค่า  $A_w$  ต่ำกว่า 0.7 ซึ่งรา หรือแบคทีเรีย ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตามในสภาวะการอบแห้งโดยปราศจากการให้ความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวันมีค่า 0.78 ซึ่งสูงกว่า 0.7 ค่าดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการเจริญเติบโตของรา หรือแบคทีเรีย

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินโครงการ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

โครงการวิจัยนี้ได้ดำเนินการออกแบบ สร้างและทดสอบระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรของผู้ประกอบการ โดยมีขนาด 4 เมตร x 8 เมตร หลังคาทำด้วยวัสดุโพลีคาร์บอเนตซึ่งสามารถเพิ่มอุณหภูมิในโรงเรือนได้ถึงประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ยังได้ออกแบบระบบให้ความร้อนเสริมเพื่อใช้ในกรณีที่สภาพภูมิอากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการอบแห้ง ได้แก่ แสงแดดไม่เพียงพอ ช่วงฝนตก ช่วงฤดูหนาว หรือใช้ในเวลากลางคืน สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้ผ่านชุดควบคุมจากการทดสอบอบแห้งข้าวเปียกในช่วงกลางวัน พบว่า การใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสองโหมดการอบแห้งสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ถึง 1.5-2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดดโดยธรรมชาติ และสามารถอบแห้งข้าวเปียกในช่วงกลางคืนได้โดยใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง 15 นาที นอกจากนี้การอบแห้งโดยใช้โรงเรือนอบแห้งยังสามารถป้องกันการปนเปื้อนที่มาจากแมลงหรือฝุ่นที่มาจากอากาศภายนอกได้ ดังนั้น การใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นการใช้เทคโนโลยีที่สามารถลดระยะเวลาการอบแห้งได้อีกทั้งผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ยังมีความสะอาดถูกสุขลักษณะซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสินค้าอบแห้ง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการอบแห้งโดยให้ความร้อนเสริมยังต้องคำนวณในเรื่องของค่าไฟฟ้าของการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีข้อเสนอแนะ คือ เพิ่มเติมเรื่องการคำนวณค่าไฟฟ้าและจุดคุ้มทุน

### เอกสารอ้างอิงและบรรณานุกรม

- [1] Pintana, P., Thanompongchart, P., Phimphilai, K., Tippayawong, N., Improvement of Airflow Distribution in a Glutinous Rice Cracker Drying Cabinet. *Energy Procedia*. 2017; 138:325-330.
- [2] Chavda, T.V., Kumar, N., Solar dryers for high value agro products at spreri. *Proceedings of the International Solar Food Processing Conference*. 2009; 205-226.
- [3] Okoroigwe, E.C., Eke, M.N., Ugwu, H.U. Design and evaluation of combined solar and biomass dryer for small and medium enterprises for developing countries. *International journal of physical sciences*. 2013; 8(25): 1341-1349.
- [4] Janjai, S., A greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: development and dissemination. *Int J. Energy Environ*. 2012; 3:383-398.
- [5] เวียง อากรชี, วิบูลย์ เทเพนทร์, ทวีศักดิ์ บุญคุ้ม, บัณฑิต จิตรจางนงค์, อนุชา เชาวโชติ, บัณฑิต แสงวงษา, อุทัยธานี และ อัครพล เสนาณรงค์. ศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบชั้นวางร่วมกับโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการทำพริกแห้ง. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51; 5-7 ก.พ. 2556; กรุงเทพฯ. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย; 2556. หน้า 184-188
- [6] ศิริวรรณ อัจฉารุ่ง. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูง. รายงานการวิจัย สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม; 2562.
- [7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. การพัฒนาสาริตและเผยแพร่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตผลทางการเกษตร. รายงานวิจัยปี 2547.
- [8] ภาสพงศ์ภัสส์ บุญรัตน์. การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนด้วยลมร้อนแบบสลับทิศทางที่ผลิตจากเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2561.
- [9] วสันต์ ดั่งคำจันทร์. โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริมจากแก๊สเหลือทิ้งสำหรับการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร. รายงานการวิจัย ศูนย์ความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2564.
- [10] Janjai, S., Khamvongsa, V., Bala, B.K. Developments, design, and performance of a pv ventilated greenhouse dryer. *Int. Energy J*. 2007; 8:249-258.
- [11] Kumar, A., Tiwari, G.N. Effect of mass on convective mass transfer coefficient during open sun and greenhouse drying of onion flakes. *J. Food Eng*. 2007; 79:1337-1350.

- [12] Barnwal, P., Tiwari, G.N. Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) greenhouse dryer: an experimental study. *Sol. Energy*. 2008; 82:1131-1144.
- [13] Shrivastava, V., Kumar, A. Experimental investigation on the comparison of fenugreek drying in an indirect solar dryer and under open sun. *Heat Mass Transf.* 2016; 52:1963-1972.
- [14] Patil, R., Gawande, R. A review on solar tunnel greenhouse drying system. *Renew Sustain Energy Rev.* 2016; 56:196-214.
- [15] Nayak, S., Tiwari, G.N., Energy and exergy analysis of photovoltaic/thermal integrated with a solar greenhouse. *Energy Build.* 2008; 40:2015-2021.
- [16] Janjai, S., Lamler, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, B.K., Nagle, M., Müller, J. Experimental and simulated performance of a pv-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. *Sol Energy*. 2009; 83:1550-1565.
- [17] Sethi, V.P., Arora, S., Improvement in greenhouse solar drying using inclined north wall reflection. *Sol Energy*. 2009; 83:1472-1484.
- [18] Ganguly, A., Misra, D., Ghosh, S. Modeling and analysis of solar photovoltaic-electrolyzer-fuel cell hybrid power system integrated with a floriculture greenhouse. *Energy Build.* 2010; 42:2036-2043.
- [19] Sevda, M.S., Rathore, N.S., Performance evaluation of the semicylindrical solar tunnel dryer for drying handmade paper. *J. Renew Sustain Energy*. 2010; 2(013107):1-18.
- [20] Rathore, N.S., Panwar, N.L. Experimental studies on hemi cylindrical walk-in type solar tunnel dryer for grape drying. *Appl Energy*. 2010; 87:2764-2767.
- [21] Adu, E.A., Bodunde, A.A., Awagu, E.F., Olayemi, F.F. Design, construction and performance evaluation of a solar agriculture drying tent. *Int J Eng Res Technol*. 2012; 1:1-11.
- [22] Kaewkiew, J., Nabnean, S., Janjai, S. Experimental investigation of the performance of a large-scale greenhouse type solar dryer for drying chilli in Thailand. *Procedia Eng.* 2012; 32:433-439.
- [23] Panwar, N.L., Kaushik, S.C., Kothari, S. Thermal modeling and experimental validation of solar tunnel dryer: a clean energy option for drying surgical cotton. *Int. J. Low-Carbon Technol.* 2013; 11:16-28.

- [24] Nayak, S., Kumar, A., Mishra, J., Tiwari, G.N. Drying and testing of mint (*Mentha piperita*) by a hybrid photovoltaic-thermal (PVT)-based greenhouse dryer. *Dry Technol.* 2011; 29:1002-1009.
- [25] Prakash, O., Kumar, A., Thermal performance evaluation of modified active greenhouse dryer. *J. Build Phys.* 2014; 37:395-402.
- [26] Prakash, O., Kumar, A., Performance evaluation of greenhouse dryer with opaque north wall. *Heat Mass Transf.* 2014; 50:493-500.
- [27] Janjai, S., Phusampao, C., Nilnont, W., Pankaew, P. Experimental performance and modeling of a greenhouse solar dryer for drying macadamia nuts. *Int J Sci Eng Res.* 2014; 5:1156-1161.
- [28] Nagarajan, S., Premkumar, M. Analysis of thermal performance in solar dryer. *IOSR Journal Mech Civil Eng.* 2014; 11:71-74.
- [29] Ayyappan, S., Mayilsamy, K., Sreenarayanan, V.V. Performance improvement studies in a solar greenhouse dryer using sensible heat storage materials. *Heat Mass Transf.* 2016; 52:459-467.
- [30] Chan, Y., Dyah, N., Abdullah, K. Performance of a recirculation type integrated collector drying chamber (ICDC) solar dryer. *Energy Procedia.* 2015; 68:53-59.
- [31] Fudholi, A., Yendra, R., Basri, D.F., Ruslan Mohd., H., Kamaruzzaman, S. Energy and exergy analysis of hybrid solar drying system. *Contemp Eng Sci.* 2016; 9:215-223.
- [32] Chauhan, P.S., Kumar, A. Heat transfer analysis of north wall insulated greenhouse dryer under natural convection mode. *Energy.* 2017; 118:1264-1274.
- [33] Prakash, O., Kumar, A., Laguri, V., Performance of modified greenhouse dryer with thermal energy storage. *Energy Rep.* 2016; 2:155-162.
- [34] Jitjack, K., Thepa, S., Sudaprasert, K., Namprakai, P. Improvement of a rubber drying greenhouse with a parabolic cover and enhanced panels. *Energy Build.* 2016; 124:178-193.
- [35] Tiwari, S., Tiwari, G.N., Al-Helal, I.M. Performance analysis of photovoltaic-thermal (PVT) mixed mode greenhouse solar dryer. *Sol Energy.* 2016; 133:421-428.
- [36] Belloulid, M.O., Hassan, Hamdi., Laila, Mandi., Naaila, Ouazzani. Solar greenhouse drying of wasted water sludges under arid climate. *Waste Biomass-Valoriz.* 2017; 8:193-202.

[37] Azaizia, Z., Kooli, S., Elkhadraoui, A., Hamdi, I., Guizani, A. Investigation of a new solar greenhouse drying system for peppers. *Int J Hydrog Energy*. 2017; 42:8818-8826.