

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ  
Development of Smart Solar Dryer



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ  
Development of Smart Solar Dryer



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF SMART SOLAR DRYER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายปัญญาภูมิ ล้วนเส้ง	59010834	
	นายพงศธรณ์ คงธนทรัพย์	59010896	
	นายภูตินันท์ สุขขัง	59011069	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.รวิภัทร ลาภเจริญสุข		
ปีการศึกษา	2562		

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะซึ่งสามารถควบคุมและติดตามสถานะการอบแห้งด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) ข้อมูลสถานะในการอบแห้งและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ถูกบันทึกไปยังระบบคลาวด์ (Cloud) ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ได้แก่ Blynk และ Line chat bot แอปพลิเคชันทั้งสองนี้แสดงข้อมูลสำคัญที่เกี่ยวข้อง เช่น สถานะในการอบแห้ง สถานะของผลิตภัณฑ์ที่ถูกอบ การพยากรณ์อากาศ การแจ้งเตือนเมื่อถึงเวลาที่เหมาะสมในการยุติการอบ โดยเครื่องมีต้นทุนเท่ากับ 36,000 บาท จุดคุ้มทุนของเครื่องอยู่ที่ 194.50 กิโลกรัมต่อปี และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 15 เดือน การทดสอบเครื่องดำเนินการร่วมกับวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา ผลิตภัณฑ์หลักของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนนี้คือกล้วยตาก ระยะเวลาในการอบกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะถูกเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมของเกษตรกร หลังจากนั้นคุณภาพของกล้วยตากจากทั้งสองวิธีการอบถูกศึกษา ได้แก่ สี สมบัติเชิงกล และสมบัติทางประสาทสัมผัส ระยะเวลาในการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเร็วกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม 31 ชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสีของผลิตภัณฑ์จากทั้งสองเครื่องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสมบัติเชิงกลของกล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะมีความเหนียว (Stringiness) สูงกว่ากล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม ในขณะที่ความเหนียว (Gumminess) กับความเคี้ยวได้ (Chewiness) ของกล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะมีค่าน้อยกว่ากล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม ผลการทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสพบว่ากล้วยตากจากด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะมีระดับคะแนนของทุกพารามิเตอร์มากกว่ากล้วยตากด้วยเครื่องอบแห้งแบบดั้งเดิม เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะได้รับความพึงพอใจจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจากกรณีศึกษาเป็นอย่างมาก จากข้อมูลทั้งหมดนี้กล่าวได้ว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะจะเป็นส่วนช่วยยกระดับการเกษตรกรรมของประเทศไทยสู่การเป็นเกษตรอัจฉริยะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Development of Smart Solar Dryer	
<b>Authors</b>	Mr. Panyawut Lounseng	59010834
	Mr. Pongsaton Kongtanasup	59010896
	Mr. Phudinan Sukkang	59011069
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Ravipat Lapcharoensuk	
<b>Year</b>	2019	

### ABSTRACT

The aim of this project is development of smart solar dryer which can control and monitor state of drying with Internet of Things (IoT) technology. Data of drying state and weight of product was recorded to cloud system. User could control smart solar dryer with smart phone applications including Blynk and Line chat bot. Both applications display important information such as drying state, status of dried product, weather forecast and notification of optimum time to stop drying process. The cost of smart solar dryer was about 36,000 Baht. Break-even point was 194.50 kg/year and payback period were 15 months. Testing of smart solar dryer was performed with agricultural community enterprise, Bang Khla district, Chachoengsao province. The major product of this community enterprise is dried banana. Drying time of dried banana using smart solar dryer was compared with the traditional solar dryer. After that, quality parameters of dried banana from 2 drying machines were studied including color, mechanical property and sensory attribute. Drying time of the smart solar dryer was faster than traditional solar dryer about 31 hours. Results showed that color of product from both machines did not differ significant. For mechanical property, stringiness of dried banana from smart solar dryer was higher than dried banana from traditional solar dryer. In another way, gumminess and of dried banana from smart solar dryer was less than dried banana from traditional solar dryer. Result of sensory property presented that dried banana from smart solar dryer showed score of all parameter more than traditional solar dryer. The smart solar dryer received high satisfaction from target community enterprise. This information indicated that smart solar dryer could help enhance agriculture of Thailand to be smart agriculture.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.รวิภัทร ลาภเจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา รวมทั้งอาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่ช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆชาววิศวกรรมเกษตร ที่สละเวลาให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ ทั้งกำลังกายและกำลังใจในการทดลองเสมอ

ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรอำเภอบางคล้าสำหรับการให้คำแนะนำข้อมูลในการผลิตกล้วยตากพร้อมทั้งการสนับสนุนตัวอย่างในการทดลอง พร้อมทั้งสถานที่และอุปกรณ์ในการทดลองในโครงการครั้งนี้

ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนการทำงานและให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณงามความดีที่เกิดจากปณิธานอันแน่วแน่ของข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดามารดาที่รักและเคารพ ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่คณะผู้วิจัย

ปัญญาวุฒิ  
พงศธรณ์  
ภูตินันท์

ล้วนเส็ง  
คงธนทรัพย์  
สุขขัง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
ABSTRACT	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ	4
2.2 การอบแห้ง	4
2.3 โซลาร์เซลล์	5
2.4 Internet of Things (IoT)	5
2.5 อุปกรณ์ตรวจวัดระบบควบคุมและแสดงผลสถานะการอบแห้ง	5
2.5.1 Node ESP32	5
2.5.2 Module DHT22	6
2.5.3 Module Load Cell	7
2.6 Artificial Intelligence (AI)	8
2.6.1 Chatbot	8
2.7 ค่าสี RGB	9
2.8 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล	9
2.9 การวิเคราะห์สมบัติทางประสาทสัมผัส	9
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนิน</b>	<b>11</b>
3.1 การออกแบบและสร้างโครงสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ	11
3.2 ระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ	12
3.2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ส่วนสื่อสารกับผู้ใช้งาน	13
3.2.3 ระบบคลาวด์	14
3.3 การทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อัจฉริยะ	15
3.4 การทดสอบการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะกับกลุ่ม วิสาหกิจชุมชน	16
3.4.1 สีของผลิตภัณฑ์	16
3.4.2 สมบัติเชิงกล	17
3.4.3 สมบัติทางประสาทสัมผัส	18
3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	19
3.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	19
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	21
4.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิ	21
4.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	21
4.3 คุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยตากจากวิธีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมกับ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ	22
4.3.1 สีของผลิตภัณฑ์	22
4.3.2 สมบัติเชิงกล	23
4.3.3 สมบัติทางประสาทสัมผัส	23
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	25
<b>บรรณานุกรม</b>	26
<b>ภาคผนวก</b>	28
ภาคผนวก ก. ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิ	29
ภาคผนวก ข. แบบสอบถามเพื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส	31
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองเปรียบเทียบกล้วยตากที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อัจฉริยะกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมต่อค่าสีและ สมบัติเชิงกล	34
ภาคผนวก ง. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกล้วยตาก	40

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ	4
รูปที่ 2.2 Node MCU ESP32	6
รูปที่ 2.3 Module DHT22	7
รูปที่ 2.4 Module Load Cell	7
รูปที่ 2.5 RGB Color Model	9
รูปที่ 3.1 แสดงภาพ 3 มิติของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ	11
รูปที่ 3.2 แสดงภาพด้านบนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ	12
รูปที่ 3.3 แสดงภาพด้านข้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ	12
รูปที่ 3.4 ระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ	14
รูปที่ 3.5 ภาพหน้าจอแอปพลิเคชัน Blynk ที่แสดงค่าต่างๆผ่านสมาร์ทโฟน	14
รูปที่ 3.6 ภาพหน้าจอแอปพลิเคชัน LINE Chatbot ที่ให้ข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน	15
รูปที่ 3.7 ตำแหน่งที่วัดการกระจายตัวของอุณหภูมิ	15
รูปที่ 3.8 กล้องดิจิทัล	17
รูปที่ 3.9 เครื่อง texture analyzer	17
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงแรงและเวลาในการทดสอบแบบการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)	18
รูปที่ 4.1 จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ	22
รูปที่ 4.2 สีของกล้วยตากที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงเวลาในยุติการอบแห้ง	16
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิในแต่ละชั้น	21
ตารางที่ 4.2 ค่าสีของกล้วยตากที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน	23
ตารางที่ 4.3 สมบัติเชิงกลของกล้วยตากที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน	23
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางประสาทสัมผัสของกล้วยตาก 3 แบบ	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงเวลาในยุติการอบแห้ง	17
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิในแต่ละชั้น	22
ตารางที่ 4.2 ค่าสีของกล้วยตากที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน	24
ตารางที่ 4.3 สมบัติเชิงกลของกล้วยตากที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน	24
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางประสาทสัมผัสของกล้วยตาก 3 แบบ	25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีสินค้าจากผลิตผลเกษตรหลากหลายชนิด เนื่องจากผลิตผลเกษตรมีลักษณะที่ออกผลผลิตเป็นฤดูกาลส่งผลให้บางครั้งนั้นปริมาณผลิตผลล้นตลาดเกินความต้องการของผู้บริโภค ราคาของผลผลิตจึงตกต่ำลงและเกิดการเน่าเสียจากผลผลิตที่ล้นตลาดนี้ การถนอมและแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรจึงเป็นสิ่งจำเป็น วิธีการหนึ่งที่เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ได้แก่ การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสะอาดโดยอาศัยพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ มีหลักการทำงานคืออากาศภายในเครื่องอบแห้งเมื่อได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว จะมีความชื้นสัมพัทธ์และความหนาแน่นลดลง และลอยตัวขึ้นสูง อากาศร้อนนี้จะพาความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์แล้วไหลออกจากเครื่องอบแห้งไปสู่อากาศแวดล้อม (วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย, 2556) ในอดีตการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมเป็นวิธีการตากแห้งในที่โล่งที่มีข้อเสียคือสภาพอากาศที่ไม่สามารถควบคุมได้ ทั้งยังมีสิ่งปนเปื้อนจากสัตว์ไม่ว่าจะเป็น นก มด และ แมลง รวมถึงปัญหาฝุ่นละอองในอากาศ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นโรงอบและตู้อบออกวางจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อแก้ไขปัญหานี้ อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในท้องตลาดปัจจุบันยังมีความต้องการในการพัฒนาให้สามารถสร้างความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้งานให้มากยิ่งขึ้น เช่น ความสามารถในการขนย้ายได้ง่าย การควบคุมสภาวะในการอบให้สม่ำเสมอและคงที่ตลอดการอบ การติดตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ภายในตู้อบและแจ้งเตือนเมื่อผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการจัดจำหน่าย และส่วนติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานที่ผู้ใช้งานสามารถติดตามการทำงานของเครื่องได้จากทุกสถานที่ผ่านอินเทอร์เน็ตและสมาร์ตโฟน สิ่งเหล่านี้ต้องนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยทั้งระบบอัตโนมัติ Internet of Things (IoT) ตลอดจนถึงเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ที่จะสามารถยกระดับการเกษตรกรรมไทยสู่เกษตรอัจฉริยะได้

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเป็นกลุ่มของชุมชนที่ดำเนินกิจการเกี่ยวกับการผลิตสินค้า การให้บริการหรือการอื่นๆ เพื่อสร้างรายได้และเพื่อการพึ่งพาตนเองของครอบครัว ชุมชนและระหว่างชุมชน (สำนักงานเกษตรจังหวัดนนทบุรี, 2563) ปัจจุบันมีกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ดำเนินการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เกษตรอบแห้งที่ใช้เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ อาทิเช่น กลัวย สมุนไพรลูกประคบ ปลา เป็นต้น ปัจจุบันกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเหล่านี้ยังประสบปัญหาในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์อยู่หลายประการ เช่น ไม่มีเครื่องอบแห้งเป็นของตนเองเนื่องจากราคาสูงจำเป็นต้องไปขอเช่าใช้ของกลุ่มชุมชนใกล้เคียงทำให้เกิดต้นทุนที่สูงขึ้น การไม่สามารถควบคุมสภาวะในการอบแห้งได้ตามความต้องการส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลการพยากรณ์อากาศได้ทำให้ไม่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วางแผนในการผลิตได้ และการเก็บตัวอย่างเพื่อจำหน่ายยังเป็นการอาศัยประสบการณ์ซึ่งยากต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีมาตรฐานได้ ดังนั้นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเหล่านี้จึงเป็นกลุ่มเกษตรกรที่ควรได้รับการยกระดับการดำเนินงานและขับเคลื่อนธุรกิจด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยกับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

ดังนั้นเป้าหมายของโครงการนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่มีต้นทุนต่ำ สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ในทุกพื้นที่ได้สะดวก สามารถควบคุมสภาวะในการอบแห้งได้ตามต้องการ พร้อมทั้งพัฒนาระบบ IoT เพื่อสามารถแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำหนักวัสดุ พร้อมทั้งควบคุมการทำงานได้จากทุกที่ผ่านทางแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือเพื่อสร้างความสะดวกสบายให้แก่ผู้ใช้งานโดยแหล่งพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะมาจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะนี้มีแนวทางในการออกแบบเพื่อเหมาะสมกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนซึ่งสามารถช่วยยกระดับเกษตรกรเหล่านี้สู่การเกษตรอัจฉริยะของประเทศได้

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ
- 2) เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของกล้วยตากที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะกับวิธีการอบแห้งแบบดั้งเดิม

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และน้ำหนักของวัสดุที่อบ โดยควบคุมการทำงานด้วยระบบ IoT โดยใช้ NodeMCU ESP32 ส่งการทำงานพัดลมระบายอากาศและแสดงสภาวะการอบแห้งผ่านโทรศัพท์มือถือด้วยแอปพลิเคชัน Blynk โดยมีแหล่งพลังงานของเครื่องคือระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งทดสอบการทำงานของเครื่อง
- 2) พัฒนาแอปพลิเคชัน LINE Chatbot เพื่อให้ข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน ดังนั้น การพยากรณ์อากาศระยะเวลาในการอบแห้งโดยประมาณ ข้อมูลของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ และ ข้อมูลเพิ่มเติม
- 3) ทดสอบอบแห้งผลิตภัณฑ์กล้วยตาก และเปรียบเทียบคุณภาพกับกล้วยตากจากวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลไม้ ณ ภูธร อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา
- 4) วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยรายงานต้นทุนคงที่ ต้นทุนผันแปร ต้นทุนทั้งหมด จุดคุ้มทุน และระยะเวลาคืนทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่สามารถควบคุมและติดตามสถานะในการอบแห้งได้ โดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งมีแอปพลิเคชันในการสื่อสารและให้ข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน คือแอปพลิเคชัน Blynk และ LINE Chatbot

## 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1) ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมทั้งสอบถามข้อมูลและความต้องการของผู้ใช้งานเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้เลือกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลไม้ไม้จันทน์ อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา เป็นกรณีศึกษา
- 2) ออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักที่ถูกพัฒนาขึ้น ได้แก่ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ แอปพลิเคชันควบคุมการทำงาน และ ระบบคลาวด์สำหรับรับและเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องในระหว่างการอบแห้ง
- 3) ทดสอบอบแห้งผลิตภัณฑ์กล้วยตาก และเปรียบเทียบคุณภาพกับกล้วยตากจากวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลไม้ไม้จันทน์ อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา โดยทำการทดสอบดังนี้ สีของผลิตภัณฑ์ สมบัติเชิงกล และ สมบัติทางประสาทสัมผัส พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้
- 4) วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยรายงานต้นทุนคงที่ ต้นทุนผันแปร ต้นทุนทั้งหมด จุดคุ้มทุน และระยะเวลาคืนทุน
- 5) สรุปผลการทดลองและอภิปรายผล

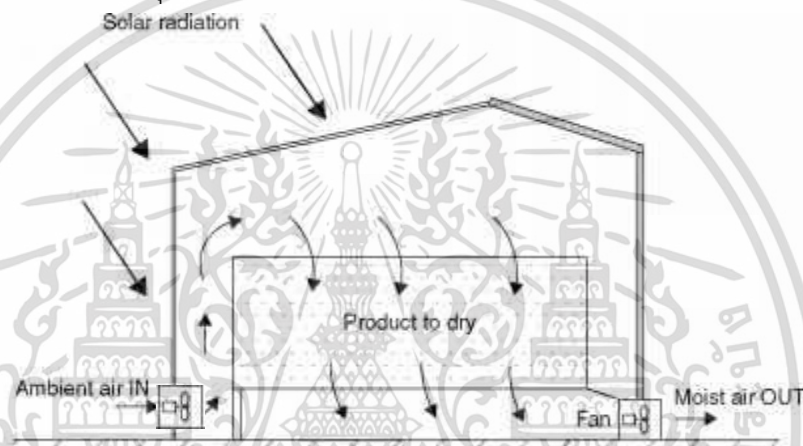
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ

เครื่องอบแห้งซึ่งปกคลุมด้วยวัสดุโปร่งใสความร้อนที่ใช้อบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และมีการพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection) ซึ่งใช้พัดลมเป็นตัวสร้างความดัน ทำให้มีความแตกต่างของความดันมากพอที่จะทำให้ อากาศร้อนปริมาณพอเหมาะไหลผ่านชั้นของวัสดุที่นำมาอบแห้ง (อนิรุทธิ์ ต่ายขาว และ สมบัติ ทีฆทรัพย์, 2556)



รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ

ที่มา: Solar Energy, 2020

### 2.2 การอบแห้ง (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้นที่ใช้หลักการในการถ่ายโอนความร้อนไปยังวัสดุที่ขึ้นเพื่อไล่ความชื้นในตัววัสดุด้วยการระเหย วัสดุหลังการเก็บเกี่ยวจะมีความชื้นที่ค่อนข้างสูงทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาผลผลิตไว้ได้เป็นระยะเวลานาน การอบแห้งจะมาช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาให้มีระยะเวลานานมากขึ้น นอกจากนี้การอบแห้งยังช่วยลดปริมาณและน้ำหนักของผลผลิตให้มีน้ำหนักที่ลดลงทำให้ลดต้นทุนในการขนส่งและการเก็บรักษา

การอบแห้งจะใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง เพราะเป็นสภาวะที่ทำให้สามารถอบแห้งได้เร็ว โดยอุณหภูมิสูงที่เลือกใช้จะต้องเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่วัสดุสามารถรับได้และคุณภาพไม่เสียหาย เมื่ออากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นวัสดุจะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นพร้อมกัน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังวัสดุทำให้น้ำที่อยู่บริเวณผิวของวัสดุระเหยไปสู่อากาศเป็นผลให้อุณหภูมิอากาศลดลงและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ส่วนวัสดุจะมีความชื้นที่ต่ำลงและมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 โซลาร์เซลล์ (สุบิน แพทย์รัตน์, 2560)

เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟฟ้าให้ เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ไฟฟ้าที่ได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) โซลาร์เซลล์ ประดิษฐ์ขึ้นจากการใช้สารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด คือ P-Type และ N-Type มาต่อกันทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อได้รับ พลังงานแสงอาทิตย์ โซลาร์เซลล์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอน จะใช้สารซิลิกอนมาทำให้ไม่บริสุทธิ์ (Dope) โดยการเติมธาตุในกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 5 ในตารางธาตุลงไป P-Type มีคุณสมบัติของอะตอมเป็น ช่องว่างซึ่งเรียกว่า โฮล (Hole) ส่วน N-Type มีคุณสมบัติของอะตอมเป็นอิเล็กตรอนเกินขึ้นมา 1 ตัว เรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในก้อนผลึก เมื่อนำสารกึ่งตัวนำ P-Type และ N-Type ที่มาต่อกันแล้วทำให้รอยต่อได้รับพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า

## 2.4 Internet of Things (IoT)

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีความสำคัญของการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมากหนึ่งในเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบันนี้ คือ Internet of Things (IoT) หรือภาษาไทย คือ อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Mann, 2558) หมายถึง การส่งข้อมูลต่างๆเข้าไปสู่อินเทอร์เน็ต ทำให้มนุษย์สามารถควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆได้ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ เช่น การสั่งเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า โทรศัพท์มือถือ เครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น

## 2.5 อุปกรณ์ตรวจวัด ระบบควบคุมและแสดงผลสถานะในการอบแห้ง

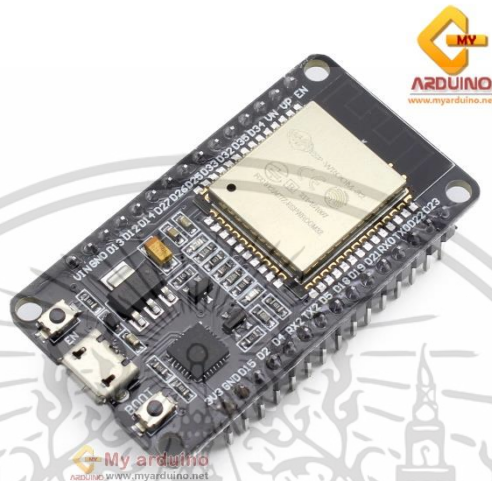
### 2.5.1 Node ESP32 (วิสิทธิ์ เวียงนา, 2560)

ESP32 เป็นชื่อของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi และสามารถเชื่อมต่อ Bluetooth Low-Energy (BLE, BT4.0, Bluetooth Smart) ผลิตโดยบริษัท Espressif โดย ESP32 ได้รับพัฒนาต่อเนื่องจาก ESP8266 เหมาะสำหรับการทำอุปกรณ์ IoT คือสามารถเป็นได้ทั้ง Node และ Gateway ซึ่งปกติการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำเป็น Node และทำการเชื่อมต่อ Wi-Fi จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากเมื่อมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องแต่สำหรับ ESP32 จะมีฟังก์ชัน Deep Sleep ที่สามารถช่วยทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้ โดยฟังก์ชัน Deep sleep จะทำการปิดระบบต่างๆไม่ว่าจะเป็น Wi-Fi และ CPU และสามารถปลุกให้ตื่นตามเวลาหรือเงื่อนไขที่ต้องการเพื่อทำการรับส่งข้อมูลได้ รวมทั้ง ESP32 ยังรองรับซอฟต์แวร์ในการพัฒนาได้หลากหลายโปรแกรมไม่ว่าจะเป็น Python, Arduino IDE, JavaScript, C++ เป็นต้น โดยมีฟีเจอร์หลักที่สำคัญ ดังนี้

- 240 MHz dual core Tensilica LX6 microcontroller with 600 DMIPS
- Integrated 520 KB SRAM
- Integrated 802.11 b/g/n HT40 Wi-Fi transceiver, baseband, stack and LWIP
- Integrated dual mode Bluetooth (classic and BLE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 16 MB flash, memory-mapped to the CPU code space
- 2.3V to 3.6V operating voltage
- -40°C to +125°C operating temperature
- On-board PCB antenna / IPEX connector for external antenna



รูปที่ 2.2. Node MCU ESP32

ที่มา: บริษัท มายอาดูโน่ จำกัด, 2563

### 2.5.2 Module DHT22 (บริษัท มายอาดูโน่ จำกัด, 2560)

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22 โดย DHT ย่อมาจาก Digital Humidity and Temperature Sensor เซ็นเซอร์จะทำการส่งค่าเป็นค่าดิจิทัล มีความสามารถในการวัดค่าต่างๆได้ 3 ค่า คือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และดัชนีความร้อน สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -40 ไปจนถึง 80 องศาเซลเซียสและช่วงความชื้นระหว่าง 0-100 RH โดยมีความคลาดเคลื่อน สำหรับอุณหภูมิที่  $\pm 0.2$  องศาเซลเซียส และสำหรับความชื้นสัมพัทธ์ที่  $\pm 2\%$  RH โดยวิธีการติดต่อสื่อสารกับ DHT22 จะใช้ขาสัญญาณดิจิทัลเพียงเส้นเดียว (one-wire bus) ในการเชื่อมต่อแบบบิตอนุกรมสองทิศทาง (serial data, bi-directional) โดยจะใช้ความกว้างของสัญญาณพัลส์เป็นตัวตัดสินลอจิก 1 และ 0 มีขาออกให้ใช้งานจำนวน 4 ขา แต่ใช้จริง 3 ขา แบ่งเป็นขา VCC DATA และ GND และใช้แรงดันไฟเลี้ยงได้ในช่วง 3.3V ถึง 5.5V DC (ดังนั้นจึงใช้ได้กับ 3.3V และ 5V) มีอัตราการวัดสูงสุด 0.5Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.3** Module DHT22

ที่มา: บริษัท มายอาตโน้ จำกัด, 2560

### 2.5.3 Module Load Cell (บ.เอ็นที สเกล แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด, 2019)

โหลดเซลล์ คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนจากแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อตัวโหลดเซลล์เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งเราสามารถนำสัญญาณทางไฟฟ้านี้ไปจ่ายเข้าจอแสดงผล เพื่อแสดงค่าเป็นน้ำหนักหรือแรงที่กระทำ โดยโหลดเซลล์ทำมาจาก Strain Gauge ที่จัดเรียงวงจรในรูปแบบวงจร วิจสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) ซึ่งสามารถแปลงค่าแรงกด หรือแรงดึง ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ โดยโหลดเซลล์สามารถแบ่งออกเป็นสามประเภทหลักๆคือ แบบใช้แรงกด แบบใช้แรงดึง และแบบที่สามารถใช้ได้ทั้งแรงกดและแรงดึง รวมทั้งยังมีวิธีการคำนวณหาขนาดและจำนวนของโหลดเซลล์เพื่อความเหมาะสมของงานแต่ละประเภท โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 1

$$\text{ขนาดของโหลดเซลล์} = ((\text{น้ำหนักที่ต้องการชั่ง} + \text{น้ำหนักของเพลทตราชั่ง}) \times 2) / \text{จำนวนของ Load cell} \quad (1)$$



**รูปที่ 2.4** Module Load Cell

ที่มา: บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด, 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 Artificial Intelligence (AI)

AI ย่อมาจาก Artificial Intelligence ชื่อในภาษาไทยเรียกว่า ปัญญาประดิษฐ์ เป็นเทคโนโลยีในรูปแบบหนึ่งที่ทำให้คอมพิวเตอร์ มีลักษณะเหมือนมนุษย์หรือจักรกลอัจฉริยะ ทั้งในเรื่องของความคิด การวิเคราะห์หรือการเลียนแบบ พฤติกรรมต่างๆของมนุษย์ (ศรัณย์ศิริ คัมภีรานนท์, 2562)

การเรียนรู้ของ AI เกิดจากการเรียนรู้ด้วยวิธีการคิด (Algorithm) ที่ใช้การเรียนรู้จากตัวอย่าง และประสบการณ์ โดยอาศัยหลักการที่ว่าทุกสิ่งมีรูปแบบและมีแบบแผนที่สามารถบ่งบอกความเป็นไปได้ของสิ่งนั้น AI จะนำหลักการดังกล่าวมาทำนายถึงความเป็นไปได้ในอนาคต

AI ถูกจำแนกออกเป็น 3 ระดับความสามารถหรือความฉลาดดังนี้ (สมาคมโปรแกรมเมอร์ไทย, 2018)

- 1) ปัญญาประดิษฐ์เชิงแคบ (Narrow AI) หรือ ปัญญาประดิษฐ์แบบอ่อน (Weak AI) คือ AI ที่มีความสามารถเฉพาะทางได้ดีกว่ามนุษย์ เช่น AI ที่ช่วยในการผ่าตัด (AI-assisted robotic surgery) ที่อาจจะเชี่ยวชาญเรื่องการผ่าตัดกว่าแพทย์ในยุคปัจจุบัน แต่ AI ชนิดนี้ไม่สามารถที่จะทำอาหาร ร้องเพลง หรือทำสิ่งอื่นที่นอกเหนือจากการผ่าตัดได้ ซึ่งผลงานวิจัยด้าน AI ณ ปัจจุบัน ยังอยู่ที่ระดับนี้
- 2) ปัญญาประดิษฐ์ทั่วไป (General AI) คือ AI ที่มีความสามารถระดับเดียวกับมนุษย์ สามารถทำทุกอย่างที่มนุษย์ทำได้และได้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับมนุษย์
- 3) ปัญญาประดิษฐ์แบบเข้ม (Strong AI) คือ AI ที่มีความสามารถเหนือมนุษย์ในหลายๆด้าน

### 2.6.1 Chatbot (Coraline Team, 2019)

Chatbot คือ โปรแกรมอย่างหนึ่งที่สร้างขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการสื่อสาร เพื่อช่วยในการตอบข้อความ ตอบคำถาม ให้ข้อมูล ให้ความช่วยเหลือ ให้ความบันเทิง โดย Chatbot ที่มีการใช้งานกันจะมี 3 แบบหลัก คือ

1. แบบถูกกำหนดด้วยกฎเกณฑ์ (Rule-Based Chat-Bot) คือ การพัฒนาระบบตอบรับอัตโนมัติที่มีการกำหนดการถามตอบชัดเจน เช่น พิมพ์ 1 เพื่อเลือกหัวข้อการซื้อผลิตภัณฑ์ โดยมีข้อจำกัดคือคือ ต้องพิมพ์ตัวอักษรหรือตัวเลขให้ถูกต้องเท่านั้น ดังนั้น chatbot ชนิดนี้ไม่ถือว่าเป็น AI

2. NLP-Based Chat-Bot (Natural Language Processing) คือ Chat-Bot ที่ทำความเข้าใจ "ประโยค" ที่พิมพ์เข้าไป โดยไม่จำเป็นต้องมีการจดจำประโยคดังกล่าวเอาไว้ก่อน หลังจากนั้น Bot จะส่งคำตอบที่มีการกำหนดเอาไว้ เช่น ถ้าคำถามเกี่ยวข้องกับสภาพอากาศ bot จะทำการดึงข้อมูลสภาพอากาศมาแสดงผล เป็นต้น

#### 3. NLP แบบ Dynamic Learning

เป็นการต่อยอดจาก NLP แบบเดิม ตรงที่ตัว AI จะเก็บข้อมูลถามตอบที่เกิดขึ้นใหม่ ไปเป็นต้นแบบในการเรียนรู้ต่อไป ดังนั้น ในกรณีที่พิมพ์ผิด หรือพิมพ์ตกหล่น AI จะสามารถเข้าใจ

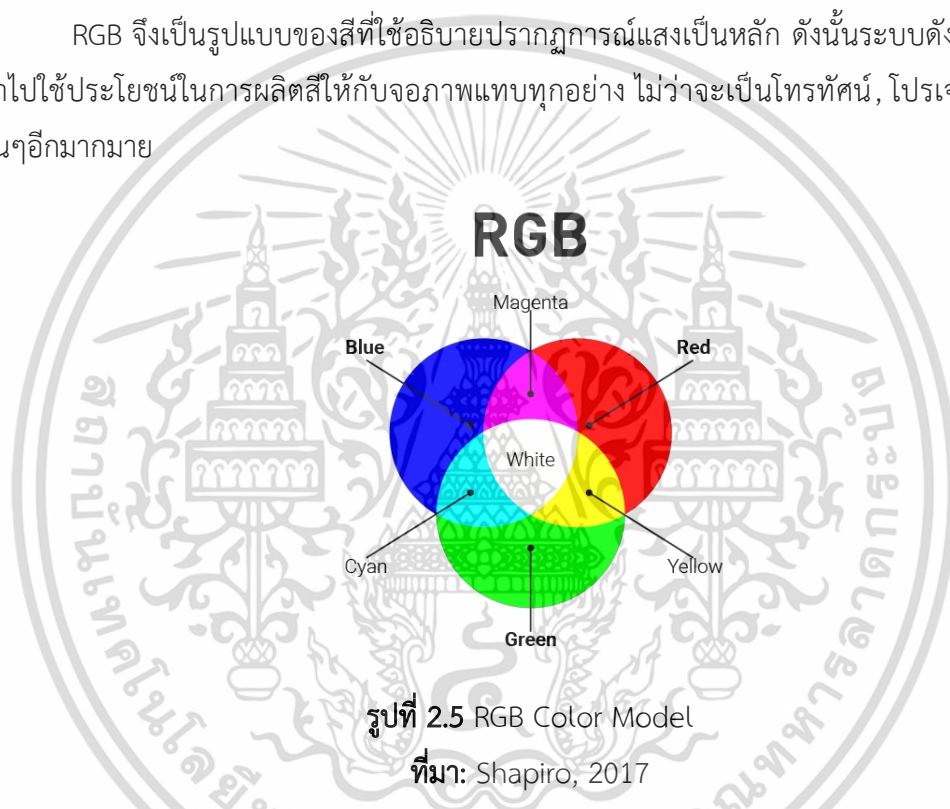
รายละเอียดได้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ค่าสี RGB (ไฟโรจน์ คล้ายเพ็ชร, 2556)

RGB Color คือ ระบบสีที่อิงมาจากอุปกรณ์ (Device Dependent Color) เช่น กล้องถ่ายภาพ จอภาพ เป็นต้น โดยจะประกอบไปด้วยแม่สี 3 สี ได้แก่ R (แดง) G (เขียว) และ B (น้ำเงิน) เมื่อนำแม่สีทั้ง 3 มาผสมผสานกันจะทำให้เกิดสีต่างๆ บนจอคอมพิวเตอร์ได้มากถึง 16.7 ล้านสี โดยจะเป็นการเก็บข้อมูลจากทั้ง 3 สีๆ ละ 8 Bit ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นปกติ

แนวคิดของรูปแบบสี RGB นี้มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีของนักฟิสิกส์ ‘ยังและเฮล์มโฮลทซ์’ (The Young-Helmholtz Theory – ว่าด้วยการมองเห็นสีเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างกันของเซลล์ Cone ในเรตินา)

RGB จึงเป็นรูปแบบของสีที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์แสงเป็นหลัก ดังนั้นระบบดังกล่าวจึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตสีให้กับจอภาพแทบทุกอย่าง ไม่ว่าจะเป็นโทรทัศน์, โปรเจกเตอร์และอื่นๆอีกมากมาย



รูปที่ 2.5 RGB Color Model  
ที่มา: Shapiro, 2017

## 2.8 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลเป็นการศึกษาเนื้อสัมผัสจากการตอบสนองของผลิตผลทางการเกษตรต่อแรงที่กระทำ โดยอาจเกี่ยวข้องกับการรับประทานหรือเกี่ยวข้องกับลักษณะการรับแรงในส่วนภายนอกของผลิตผลชนิดนั้น สมบัติเชิงกลจากการใช้เครื่องมือวัดสามารถช่วยชี้วัดคุณภาพการรับประทานของผลิตผลชนิดนั้นถูกต้องละแม่นยำกว่าคนทั้งนี้เนื่องจากการใช้การรับรู้ของแต่ละคนจะไม่เหมือนกันจึงมีอคติสูง (ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, 2559)

## 2.9 การวิเคราะห์สมบัติทางประสาทสัมผัส

เนื้อสัมผัสของอาหารเป็นองค์ประกอบของคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ ซึ่งยังรวมไปถึงขนาด รูปร่าง และสีของอาหาร โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารมีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งต่อการยอมรับของผู้บริโภค (ัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2549-2550) ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าว วิธีการที่เป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันก็คือ วิธีการประเมินโดยการใช้  
ประสาทสัมผัสของมนุษย์ ซึ่งเป็นการประเมินลักษณะปรากฏภายนอก สี รูปร่าง และเนื้อสัมผัส ความ  
เหนียว ความนุ่ม ความหนึบ และความชอบโดยรวมจากการเคี้ยววัสดุ



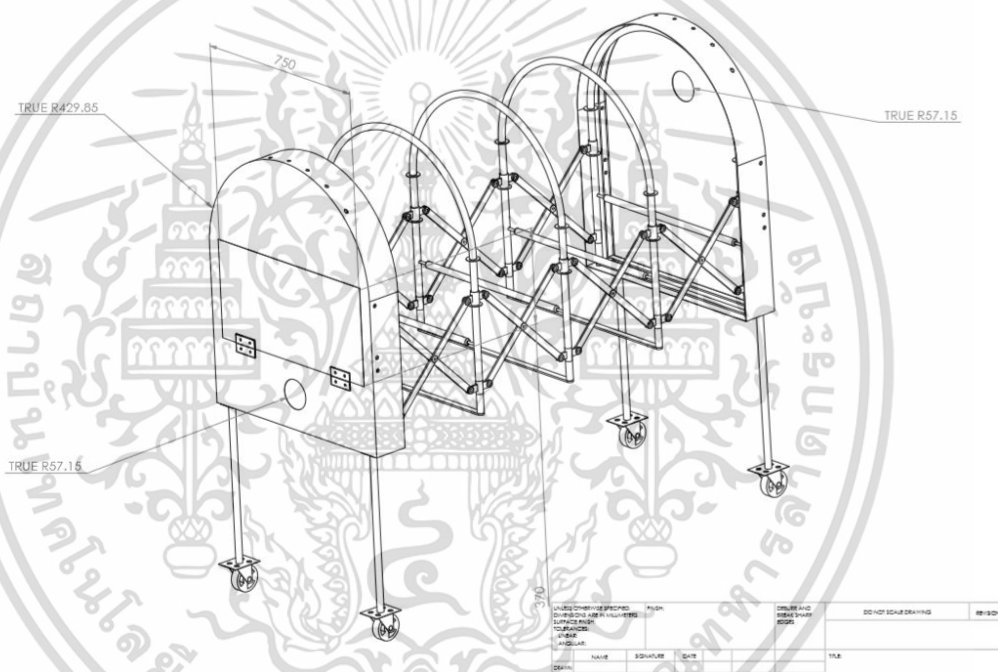
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงาน

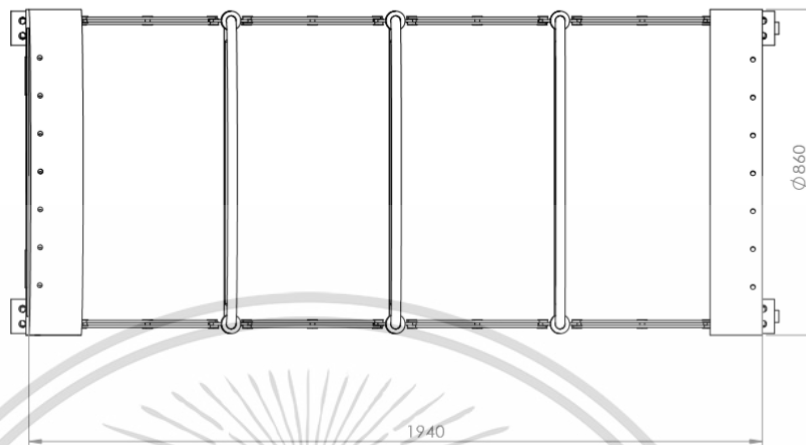
### 3.1 การออกแบบและสร้างโครงสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

โครงสร้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 , 3.2 , 3.3 ลักษณะของเครื่องสามารถยืดและหดได้ ในส่วนของสิ่งที่นำมาคลุมเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกและสิ่งเจือปนใช้เป็นผ้าใบพลาสติกใสมีการติดตั้งพัดลมระบายความชื้นอากาศขนาด 4.5 นิ้ว 2 เครื่องที่บริเวณฝาของเครื่องที่ด้านหน้าและด้านหลัง มีการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในตัวเครื่องดังรูปที่ 3.3

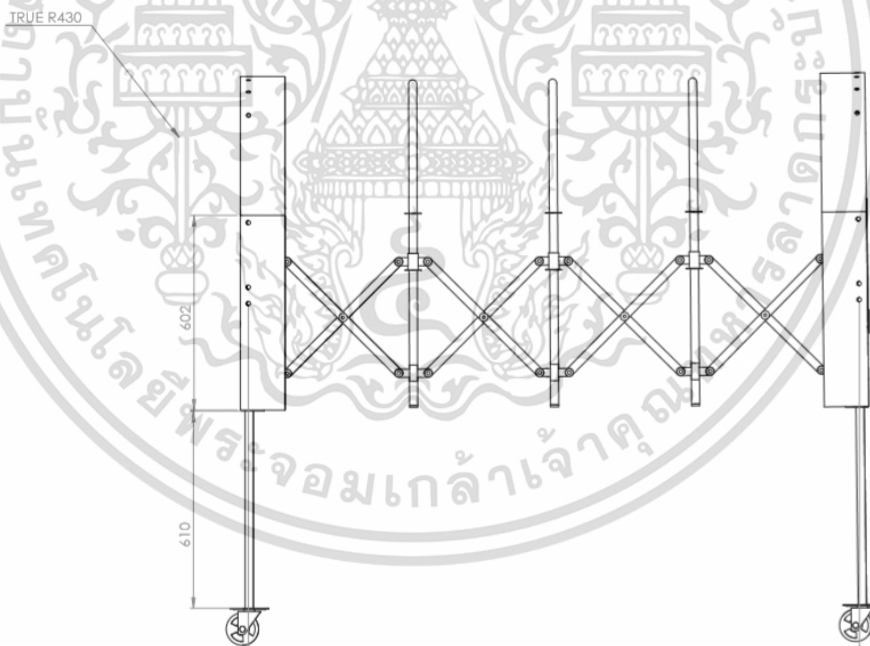


รูปที่ 3.1 แสดงภาพ 3 มิติของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงภาพด้านบนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ



รูปที่ 3.3 แสดงภาพด้านข้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

### 3.2 ระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักซึ่งถูกพัฒนาขึ้น

ได้แก่ 1.เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ 2.แอปพลิเคชันควบคุมการทำงาน และ 3.ระบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลาวด์สำหรับรับและเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องในระหว่างการอบแห้ง แผนผังการทำงานของเครื่องแสดงดังรูปที่ 3.4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 3.2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

ส่วนประกอบหลักของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ ได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เซนเซอร์ไหลดเซลล์ พัดลมระบายอากาศ เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า หลักการทำงานของส่วนควบคุมสถานะในการอบแห้งคือเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอ่านค่าสถานะอากาศจากภายในเครื่องอบแห้งและจะส่งสัญญาณมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ (NodeMCU esp32) ซึ่งถูกป้อนฟังก์ชันเงื่อนไขควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศเพื่อให้ทำงานตามอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์ ในส่วนเก็บข้อมูลน้ำหนักรผลิตภัณ์เซนเซอร์ไหลดเซลล์อ่านข้อมูลน้ำหนักของผลิตภัณ์ทีในระหว่างอบแห้งและส่งสัญญาณมายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงค่าน้ำหนักไปยังส่วนติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานต่อไป ข้อมูลสถานะในการอบ (อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) และน้ำหนักตัวอย่างระหว่างอบถูกส่งไปเก็บไว้ใน cloud และแสดงผลบนส่วนสื่อสารกับผู้ใช้งานผ่านระบบ IoT ซึ่งอธิบายในหัวข้อถัดไป พลังงานไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการทำงานของเครื่องมาจากชุดกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

### 3.2.2 ส่วนสื่อสารกับผู้ใช้งาน

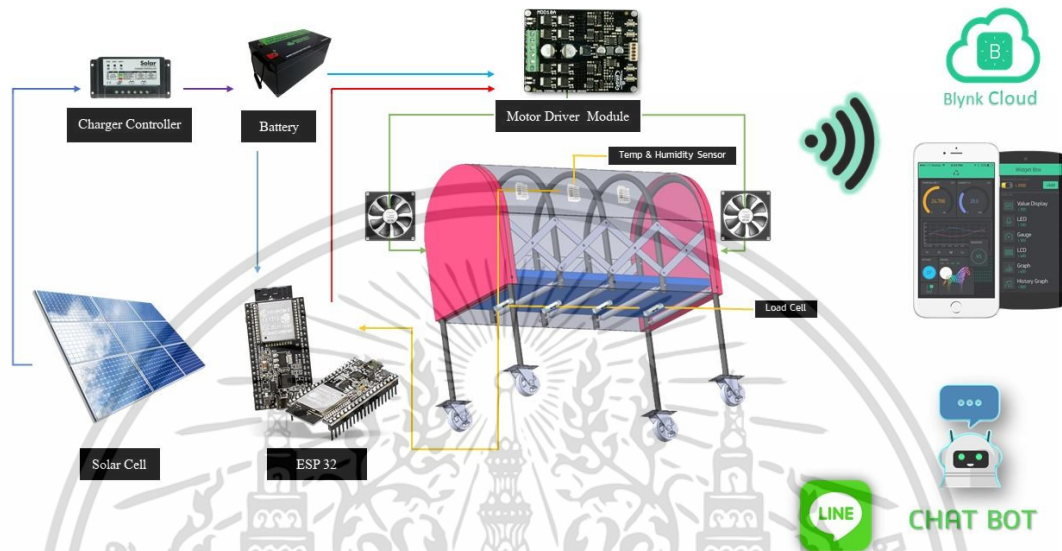
ส่วนสื่อสารกับผู้ใช้งานถูกพัฒนาขึ้นมา 2 แอปพลิเคชัน ได้แก่ แอปพลิเคชันสำเร็จรูป Blynk และ Line chatbot ในส่วนของ Blynk ถูกนำมาแสดงผลและควบคุมการทำงานของเครื่องซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งระบบปฏิบัติการ IOS และ Android โดยแอปพลิเคชันมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.5 รูปที่ 3.5 (a) เป็นหน้าต่างสำหรับเลือกผลิตภัณ์ที่ต้องการอบแห้ง รูปที่ 3.5 (b) แสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในระหว่างการอบแห้ง รูปที่ 3.5 (c) แสดงน้ำหนักของผลิตภัณ์ทีในระหว่างการอบแห้ง โดยข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศและน้ำหนักของผลิตภัณ์ทีในระหว่างการอบแห้งจะถูกส่งไปเก็บไว้ยัง cloud

นอกจากนั้นเพื่อความคล่องตัวของผู้ใช้งานแอปพลิเคชันสำเร็จรูป Line chatbot ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายและได้รับความนิยมเป็นอย่างมากได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นอีกช่องทางในการสื่อสารและให้ข้อมูลแนะนำการใช้งานกับผู้ใช้งาน โดยส่วนต่างๆ ของ Line chatbot (รูปที่ 3.6) ได้แก่ 1. ส่วนให้คำแนะนำเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณ์แต่ละชนิดเบื้องต้น (รูปที่ 3.6 (a)) 2. ส่วนตรวจเช็คสภาพภูมิอากาศ ณ บริเวณที่ผู้ใช้งานตั้งวางเครื่อง (รูปที่ 3.6 (b)) 3. ส่วนในการให้ข้อมูลเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ (รูปที่ 3.6 (c)) 4. ส่วนขอความช่วยเหลือเพิ่มเติม ได้แก่ วิธีการใช้งาน Line chatbot, วิธีการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ, วิธีการใช้งาน Blynk, การให้คำแนะนำในการเตรียมวัสดุก่อนนำมาอบแห้ง (รูปที่ 3.6 (d)) และผู้ใช้งานสามารถพิมพ์ข้อความสื่อสารกับ Bot เพื่อขอข้อมูลต่างๆ ผ่านช่องพิมพ์ข้อความแบบอัตโนมัติได้อีกด้วย

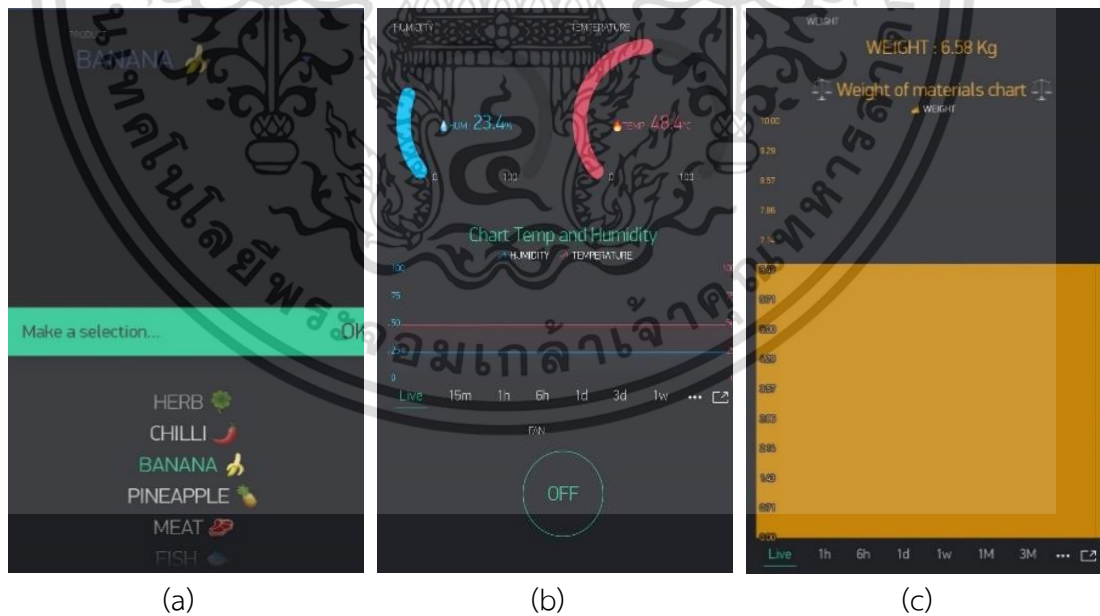
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 ระบบคลาวด์

ข้อมูลสถานะในการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศและน้ำหนักวัสดุในระหว่างการอบแห้ง



รูปที่ 3.4 ระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ



รูปที่ 3.5 ภาพหน้าจอแอปพลิเคชัน Blynk ที่แสดงค่าต่างๆผ่านสมาร์ทโฟน

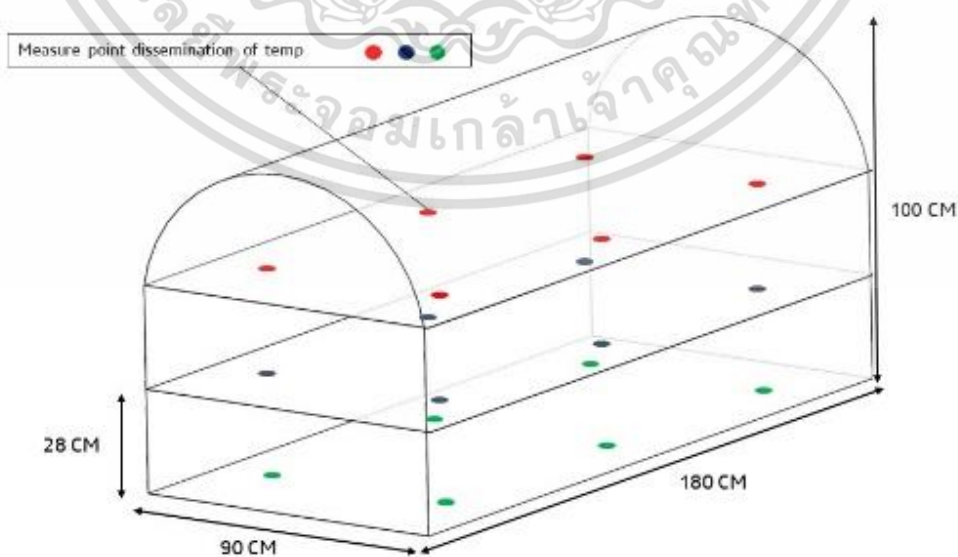
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ภาพหน้าจอแอปพลิเคชัน LINE Chatbot ที่ให้ข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน

### 3.3 การทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

เนื่องจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นการติดตั้งระบบควบคุมสภาพบรรยากาศภายในเครื่องเพื่อควบคุมสภาวะในการอบให้มีความสม่ำเสมอ จึงจำเป็นต้องทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิเพื่อยืนยันว่าผลผลิตทางการเกษตรที่อบอยู่ภายในเครื่องนี้จะอยู่ในสภาวะการอบเดียวกัน โดยการทดสอบจะกำหนดอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดอุณหภูมิภายในเครื่องทั้งหมด 18 ตำแหน่ง แบ่งเป็น 3 ชั้น ชั้นละ 6 ตำแหน่ง โดยแต่ละจุดวัดจำนวน 3 ชั่วโมง นำค่าที่วัดได้จากทั้ง 18 จุดมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในรูป 3.7



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งที่วัดการกระจายตัวของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การทดสอบการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน (กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรอำเภอบางคล้า)

การทดสอบการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะดำเนินการร่วมกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทราซึ่งดำเนินการปฏิบัติการแปรรูปกล้วยตาก จากการสัมภาษณ์นางน้อย ไทยเจริญ (2562) ได้ข้อมูลสำคัญดังนี้ 1. อุณหภูมิในการอบแห้งกล้วยที่เหมาะสมต้องน้อยกว่า 68 องศาเซลเซียสและต้องมีความสม่ำเสมอของอุณหภูมิตลอดการอบแห้ง 2. เงื่อนไขที่เกษตรกรตัดสินใจการอบและเก็บผลิตภัณฑ์เพื่อจำหน่าย ได้แก่ ระยะเวลาในการอบแห้ง การพิจารณาสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยประสาทสัมผัสจากประสบการณ์ของเกษตรกรเอง ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดสอบการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ โดยการทดสอบใช้ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าสุกอมจำนวน 120 ลูก แบ่งอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 60 ลูก และการอบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมของเกษตรกรอีก 60 ลูก (โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมของเกษตรกรไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบได้ โดยเกษตรกรต้องเลื่อนถาดวางผลิตภัณฑ์ออกนอกโรงอบเมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป) แบบจำลองการลดลงของความชื้นระหว่างการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะถูกศึกษาโดยเก็บข้อมูลน้ำหนักตัวอย่างในระหว่างอบแห้งทุก 60 นาทีเพื่อใช้สร้างฟังก์ชันเงื่อนไขในการแจ้งเตือนการยุติการอบต่อผู้ใช้งาน การยุติการอบแห้งพิจารณาจากสีของกล้วยตากที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะมีสีเหมือนกับกล้วยตากที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม ตารางที่ 3.1 แสดงเวลาในยุติการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม หลังจากนั้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกับผลิตภัณฑ์จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะถูกศึกษาเพื่อเปรียบเทียบถึงความแตกต่าง ได้แก่ สีของผลิตภัณฑ์ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางประสาทสัมผัส

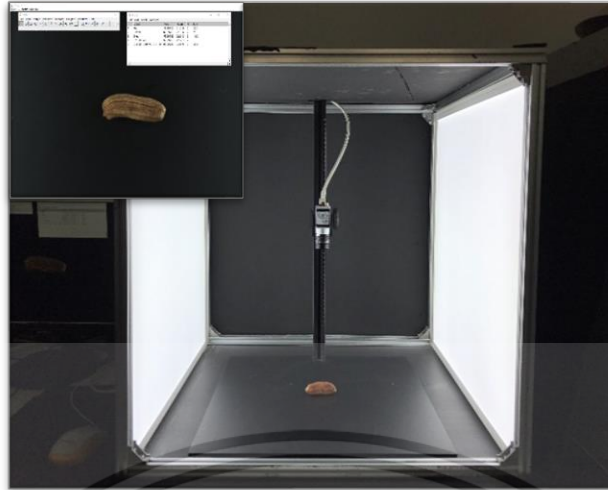
ตารางที่ 3.1 แสดงเวลาในยุติการอบแห้ง

Condition	Traditional solar dryer	Smart solar dryer
Time	84 hours	53 hours

#### 3.4.1 สีของผลิตภัณฑ์

สีของผลิตภัณฑ์กล้วยตากจากวิธีดั้งเดิมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกับผลิตภัณฑ์จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะทั้ง 120 ลูกถูกบันทึกด้วยกล้องดิจิทัล (acA2500-14um/uc, Basler ace Series, Basler Asia Pte Ltd., Singapore) แสดงในรูปที่ 3.8 การวิเคราะห์สีของภาพผลิตภัณฑ์ใช้โปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์ ค่าสีของตัวอย่างถูกรายงานด้วยค่า R (ความเป็นสีแดง) G (ความเป็นสีเขียว) และ B (ความเป็นสีน้ำเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 กล้องดิจิทัล acA2500-14um/uc, Basler ace Series, Basler Asia Pte Ltd.,Singapore

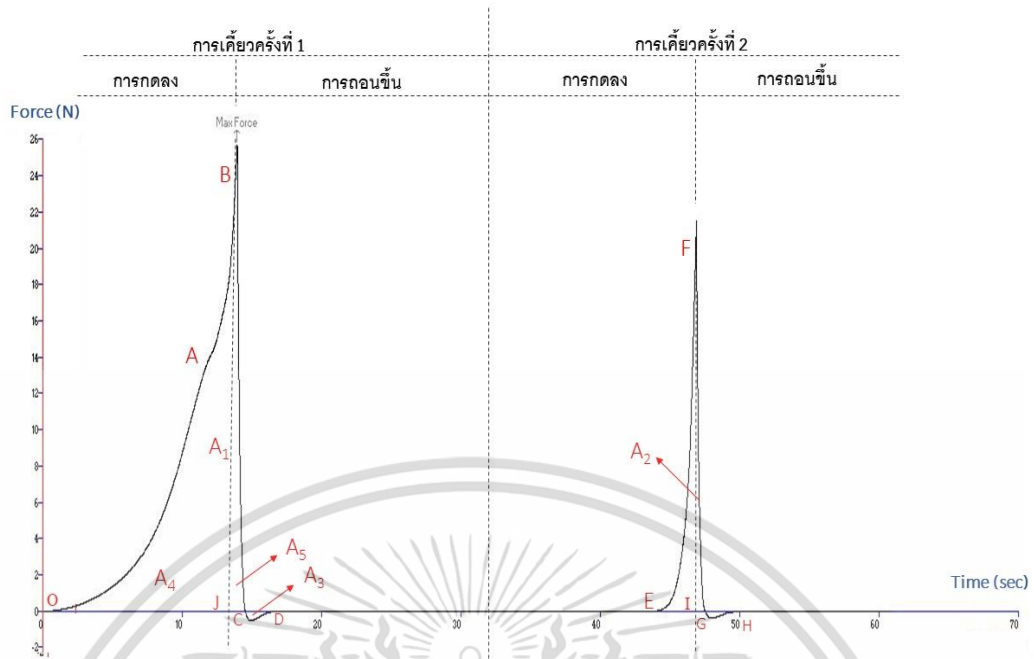
### 3.4.2 สมบัติเชิงกล

การวัดสมบัติเชิงกลใช้เครื่อง texture analyzer (stable micro system model TA. HD. Plus, London, UK) แสดงในรูปที่ 3.9 ทดสอบโดยวิธี Instrumental Texture Profile Analysis (TPA) เป็นการจำลองการเคี้ยวของฟันกรามสองครั้ง หัวกดแบนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ค่าที่ได้มา ได้แก่ การยึดติด (Adhesiveness) ความยืดหยุ่นของอาหาร (Springiness) ความหนึบ (Stringiness) ความหยุ่น (Resilience) การเกาะติด (Cohesiveness) ความเหนียว (Gumminess) และความเคี้ยวได้ (Chewiness)



รูปที่ 3.9 เครื่อง texture analyzer (stable micro system model TA. HD. Plus, London, UK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงแรงและเวลาในการทดสอบแบบการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)

รูปที่ 3.10 การกดในจุด B เป็นจุดแรงสูงที่สุดในการกดครั้งแรก เรียกว่า ความแข็ง 1 (hardness 1) มีหน่วยเป็น นิวตัน พื้นที่ A3 เป็นพื้นที่ที่ติดลบเกิดขึ้นในกรณีที่วัสดุมีความเหนียวหนืดติดกับวัสดุอื่น เรียกว่า ค่าการยึดติด (Adhesiveness) มีหน่วยเป็น นิวตัน-วินาที เป็นเสมือนพลังงานที่ใช้ในการดึงวัสดุออกจากแผ่นกด ระยะ CD เรียกว่าความหนืด (Stringiness) มีหน่วยเป็นวินาที ระยะ EI เป็นระยะเวลาซึ่งสมมูลกับระยะทางในการกดลงต่ำสุดครั้งที่ 2 ตามเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่กำหนดไว้ ระยะ OJ เป็นระยะเวลาซึ่งสมมูลกับระยะทางในการกดลงต่ำสุดครั้งที่ 1 ตามเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่กำหนดไว้ อัตราส่วนระหว่าง EI ต่อ OJ เรียกว่า ความตึง (Springiness) เดิมเรียกว่า ความยืดหยุ่น (Elasticity) หากวัสดุมีการคืนรูปได้มากหลังจากการกดครั้งที่ 1 จะมีระยะการกดครั้งที่ 2 มาก ถ้าอัตราส่วนมีค่าใกล้ 1 แสดงว่ามีความตึงหรือยืดหยุ่นมาก พื้นที่ A4 เป็นเสมือนพลังงานที่ใช้ในการกดครั้งแรกถึงเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่ตั้งไว้ พื้นที่ A5 เป็นเสมือนพลังงานที่วัสดุคายออกมาในการคืนรูปช่วงถอนแผ่นขึ้น อัตราส่วนระหว่าง A5 กับ A4 เรียกว่า ความหยุ่น (Resilience) หากมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าพลังงานที่ให้เท่ากับพลังงานที่คาย วัสดุจะคืนสู่สภาพเดิมเท่ากับมีความยืดหยุ่นสมบูรณ์ อัตราส่วนระหว่าง A2 ต่อ A1 เรียกว่าการเกาะตัวกันเอง (Cohesiveness) แสดงถึงความสามารถที่วัสดุสามารถรักษาโครงสร้างเดิมไว้ได้ ความเหนียว (Gumminess) เป็นผลคูณของความแข็ง 1 กับการเกาะตัวกันเอง และความเคี้ยวได้ (Chewiness) เป็นผลคูณของความเหนียวกับความตึง มีหน่วยเป็น นิวตัน (ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, 2559)

### 3.4.3 สมบัติทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบความชอบหรือการยอมรับ (Affective test or acceptance test) เพื่อประเมินความรู้สึกของผู้ทดสอบที่มีต่อกล้วยตากในแง่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความชอบหรือการยอมรับ ผู้ทดสอบในวิธีนี้เป็นผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝน (เพ็ญขวัญ ชมปรีดา , 2536) การทดสอบทางประสาทสัมผัสจะใช้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเป็นเวลา 53 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ถูกรอบแห้งในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเป็นเวลา 72 ชั่วโมง (ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ผู้ทดลองต้องการศึกษาเพิ่มเติมถึงคุณภาพของกล้วยตาก) และผลิตภัณฑ์กล้วยตากจากวิธีดั้งเดิมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน โดยสมบัติทางประสาทสัมผัสถูกรายงานด้วย ลักษณะปรากฏของผล (Appearances), สี (Color), ความเหนียว (Gumminess), ความเคี้ยวได้ (Chewiness), ความหนึบ (Stringiness), ความชอบโดยรวม (Overall acceptance) ระดับคะแนนความชอบ 5 ระดับ โดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ไม่มีการควบคุมเพศและอายุของผู้ทดสอบ

#### 3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

คุณภาพของกล้วยตากจากการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมของเกษตรกรเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะถูกเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการเปรียบเทียบสมบัติทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่เวลา 53 ชั่วโมง 72 ชั่วโมง และจากวิธีดั้งเดิมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนถูกศึกษาโดยวิธีทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว (one way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

#### 3.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ เป็นการวิเคราะห์ถึงต้นทุนเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ค่าใช้จ่ายคงที่) ได้แก่ ค่าเสื่อมสภาพและดอกเบี้ยจากทุนในการสร้างเครื่อง โดยการคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight-Line Depreciation) เป็นวิธีที่นิยมใช้เพราะคำนวณง่าย (พิมพ์พรรณ ปรีองาม และคณะ 2560) โดยรายละเอียดในการคำนวณค่าเสื่อมสภาพ ดอกเบี้ยจากทุนในการสร้างเครื่องและต้นทุนคงที่เป็นดังนี้

$$\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่อง (บาทต่อปี)} = \frac{\text{ราคาเครื่อง (บาท)} - \text{ราคาซากเครื่อง (บาท)}}{\text{อายุการใช้งาน (ปี)}} \quad (1)$$

โดยที่ราคาซาก เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของราคาต้นทุนเครื่องและอายุการใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว เท่ากับ 10 ปี (พิมพ์พรรณ ปรีองาม และคณะ 2560)

$$\text{ดอกเบี้ยในการลงทุน (บาทต่อปี)} = \frac{\text{ราคาเครื่อง (บาท)} - \text{ราคาซากเครื่อง(บาท)}}{2} \times \frac{\text{อัตราดอกเบี้ยต่อปี(เปอร์เซ็นต์)}}{100} \quad (2)$$

โดยที่ อัตราดอกเบี้ยต่อปี (MOR) เท่ากับ 7.8018 เปอร์เซ็นต์ (ธนาคารแห่งประเทศไทย,2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ต้นทุนคงที่ (บาทต่อปี)} = \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่อง (บาทต่อปี)} + \text{ดอกเบี้ยในการลงทุน (บาทต่อปี)} \quad (3)$$

ส่วนต้นทุนผันแปร (Variable cost) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะในแต่ละครั้งของการอบ ได้แก่ ค่าบำรุงรักษา ค่าเสื่อมสภาพ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าบำรุงรักษา (บาทต่อปี)} = \text{ราคาเครื่อง (บาท)} \times \text{ค่าซ่อมแซม (เปอร์เซ็นต์ต่อปี)} \quad (4)$$

โดยที่ค่าซ่อมแซมประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ของต้นทุนในการสร้างเครื่อง (พิมพ์พรรณ ปรีองาม และคณะ 2560)

$$\text{ค่าไฟฟ้า (บาทต่อปี)} = (\text{ความสิ้นเปลืองไฟฟ้า (กิโลวัตต์)} \times \text{ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง)}) \times \text{ค่าหน่วยไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)} \times \text{วันทำงาน (วัน)} \quad (5)$$

เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะมาจากพลังงานแสงอาทิตย์ค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าในที่นี่จึงไม่มี

$$\text{ต้นทุนผันแปร (บาทต่อปี)} = \text{ค่าบำรุงรักษา (บาทต่อปี)} \quad (6)$$

จากข้อมูลต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรจะนำมาคำนวณต้นทุนรวมทั้งหมดได้ดังนี้

$$\text{ต้นทุนรวมทั้งหมด (บาทต่อปี)} = \text{ต้นทุนคงที่ (บาทต่อปี)} + \text{ต้นทุนผันแปร (บาทต่อปี)} \quad (7)$$

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break Even Point) ซึ่งเป็นจุดที่รายรับที่ได้จากการขายผลิตภัณฑ์หรือจากการบริการเท่ากับต้นทุนทั้งหมดที่ลงทุน โดยจุดคุ้มทุนสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{จุดคุ้มทุน (กิโลกรัมต่อปี)} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่ (บาทต่อปี)}}{\text{รายรับจากการขายกล้วยตากต่อหน่วย (บาทต่อกิโลกรัม)} - \text{ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (บาทต่อกิโลกรัม)}} \quad (8)$$

โดยที่รายรับที่ได้มาจากการขายกล้วยตากหลังจากหักต้นทุนเท่ากับ 30 บาทต่อกิโลกรัม นอกจากนั้นการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ซึ่งคือเวลาที่ทำให้การลงทุนเริ่มต้นได้รับการคืนทุนโดยไม่คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ราคาเครื่อง (บาท)}}{\text{รายได้ต่อปี (บาทต่อปี)} - \text{ต้นทุนรวมทั้งหมด (บาทต่อปี)}} \quad (9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิ

จากการทดสอบหาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ ทำให้ทราบว่าในแต่ละชั้นมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงดัง Table 2 และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงดัง ตารางที่ 4.1

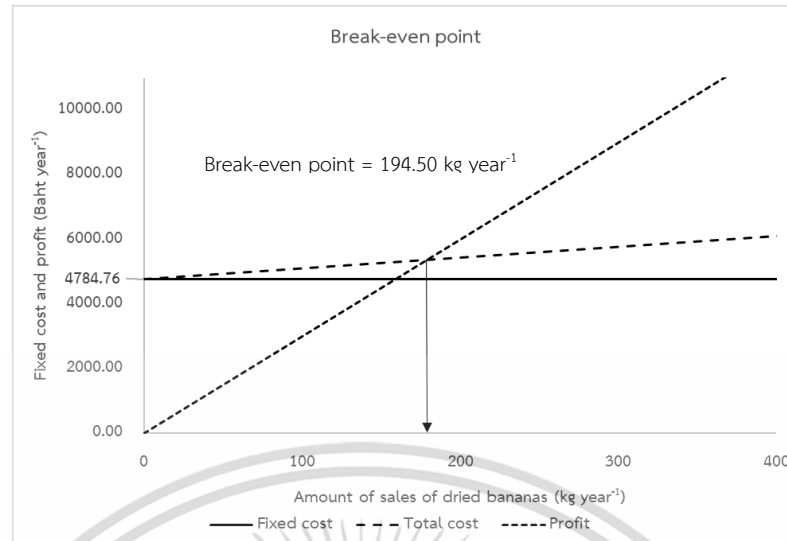
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิในแต่ละชั้น

ชั้น	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	51.2	0.7891
2	50.0	2.5191
3	51.5	1.7872

#### 4.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะมีต้นทุนในการสร้างเครื่อง เครื่องละ 25,000 บาท อุปกรณ์และเซนเซอร์ต่างๆ รวม 11,000 บาท รวมราคาสุทธิ 36,000 บาท โดยมีต้นทุนคงที่เท่ากับ 4,784.76 บาทต่อปี ซึ่งเป็นผลรวมของค่าเสื่อมราคาเครื่อง (3,240 บาทต่อปี) และดอกเบี้ยในการลงทุน (1,544.76 บาทต่อปี) สำหรับค่าใช้จ่ายผันแปรมาจากค่าบำรุงรักษา (4,320 บาทต่อปี) และค่าไฟฟ้า (0 บาทต่อปี) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4,320 บาทต่อปี ต้นทุนรวมทั้งหมดเท่ากับ 9,104.76 บาทต่อปี การประเมินจุดคุ้มทุนตามสมการที่ (8) โดยต้นทุนผันแปรต่อหน่วยที่ความสามารถในการอบแห้งสูงสุด คือ 8 กิโลกรัมต่อรอบ ดังนั้นหาก 1 ปีอบแห้ง 100 รอบ แต่ละรอบอบแห้ง 3 วัน จะได้ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยเท่ากับ 5.4 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นจะคุ้มทุนเมื่อขายกล้วยตากได้ 194.50 กิโลกรัมต่อปี รูปที่ 4.1 แสดงถึงแผนภูมิของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ อย่างไรก็ตามจากความสามารถในการอบแห้งกล้วย 8 กิโลกรัมต่อรอบและระยะเวลาในการทำงานต่อปีที่กล่าวไว้ข้างต้นทำให้ใน 1 ปี จะมีความสามารถในการผลิตเท่ากับ 800 กิโลกรัมต่อปีซึ่งมีค่าสูงกว่าจุดคุ้มทุนที่ได้คำนวณมาข้างต้น เมื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนจากสมการที่ (9) จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 1.2 ปีหรือประมาณ 15 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

### 4.3 คุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยตากจากวิธีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

#### 4.3.1 สีของผลิตภัณฑ์

สีของกล้วยตากแสดงดัง รูปที่ 4.2 แสดงเวลาในยุติการอบแห้ง รูปที่ 4.2 (ก) แสดงสีกล้วยที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ รูปที่ 4.2 (ข) แสดงสีกล้วยที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม ตารางที่ 4.2 แสดงผลค่าสี (R, G และ B) ของกล้วยตากที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าสีจากกล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งบอกได้ว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิในการอบไม่ส่งผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์และเกษตรกรไม่ต้องเสียเวลาในการเลื่อนถ่ายผลิตภัณฑ์ออกจากโรงอบเหมือนแต่ก่อน



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 สีของกล้วยตากที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน: (ก)เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ; (ข) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** ค่าสี (R, G, B) ของกล้วยตากที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน

ค่าสี	สภาวะในการอบ	
	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ
R	87.14±52.81 <sup>ns</sup>	87.47±13.30 <sup>ns</sup>
G	67.42±10.44 <sup>ns</sup>	67.42±66.18 <sup>ns</sup>
B	41.61±13.19 <sup>ns</sup>	41.97±5.80 <sup>ns</sup>

หมายเหตุ: ตัวอักษร ns ในแนวตั้งบ่งชี้ถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### 4.3.2 สมบัติเชิงกล

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของสมบัติเชิงกลของกล้วยตากที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสมบัติเชิงกลทั้ง 7 ประเภท ได้แก่ ความยืดหยุ่นของอาหาร (Springiness) ความหนึบ (Stringiness) การเกาะติด (Cohesiveness) ความเหนียว (Gumminess) ความเคี้ยวได้ (Chewiness) การยึดติด (Adhesiveness) และความหยุ่น (Resilience) ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**ตารางที่ 4.3** สมบัติเชิงกลของกล้วยตากที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน

สมบัติเชิงกล	สภาวะในการอบ	
	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ
ความหนึบ	9.27±6.20 <sup>a</sup>	33.45±1.98 <sup>b</sup>
ความยืดหยุ่น	0.30±0.04 <sup>a</sup>	0.23±0.02 <sup>b</sup>
ความหยุ่น	0.06±0.01 <sup>a</sup>	0.04±0.01 <sup>b</sup>
การเกาะติด	0.20±0.01 <sup>a</sup>	0.17±0.01 <sup>b</sup>
ความเหนียว	108.43±16.65 <sup>a</sup>	35.20±6.44 <sup>b</sup>
ความเคี้ยวได้	33.15±7.69 <sup>a</sup>	8.12±1.95 <sup>b</sup>
การยึดติด	26.80±9.44 <sup>a</sup>	10.10±3.22 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งบ่งชี้ถึงความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### 4.3.3 สมบัติทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ 53 ชั่วโมง กล้วยตากที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ 72 ชั่วโมงและกล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม โดยลักษณะปรากฏ สีและ ความเคี้ยวได้ของกล้วยตากทั้ง 3 แหล่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล้วยตากที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ 72 ชั่วโมงมีระดับคะแนนสูงสุดและกล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ 53 ชั่วโมงมีระดับคะแนนต่ำสุดและกล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมมีระดับคะแนนปานกลาง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมมีระดับคะแนนต่ำสุด ความเหนียวของกล้วยตากที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ 72 ชั่วโมงมีความแตกต่างกับกล้วยตากที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ 53 ชั่วโมงและกล้วยตากด้วยที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนึบของกล้วยตากทั้ง 3 แหล่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาถึงการยอมรับโดยรวมของกล้วยตากทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยลำดับได้ดังนี้คือ อันดับที่ 1 กล้วยตากที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ 72 ชั่วโมง อันดับที่ 2 กล้วยตากที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ 53 ชั่วโมง และอันดับที่ 3 กล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ากล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเป็นกล้วยที่ได้รับการยอมรับและความพึงพอใจจากผู้บริโภคมากกว่ากล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม

**ตารางที่ 4.4** สมบัติทางประสาทสัมผัสของกล้วยตาก 3 แบบประกอบไปด้วย: (1) กล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม; (2) กล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ 53 ชั่วโมง; (3) กล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ 72 ชั่วโมง

สมบัติทางประสาทสัมผัส	แหล่งที่มาของตัวอย่าง		
	1	2	3
ลักษณะปรากฏ	2.97±1.00 <sup>a</sup>	3.60±0.77 <sup>b</sup>	4.27±0.83 <sup>c</sup>
สี	2.83±0.99 <sup>a</sup>	3.63±1.07 <sup>b</sup>	4.33±0.92 <sup>c</sup>
ความเหนียว	3.23±0.94 <sup>a</sup>	3.30±1.12 <sup>a</sup>	3.90±0.80 <sup>b</sup>
ความนุ่ม	2.60±1.00 <sup>a</sup>	3.57±1.30 <sup>b</sup>	4.13±0.78 <sup>c</sup>
ความหนึบ	3.30±1.18 <sup>a</sup>	3.23±1.25 <sup>a</sup>	3.77±1.07 <sup>a</sup>
ความชอบโดยรวม	3.17±0.75 <sup>a</sup>	3.70±0.92 <sup>b</sup>	4.17±0.83 <sup>c</sup>

**หมายเหตุ:** ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งบ่งชี้ถึงความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ );

ตัวอักษรที่ไม่แตกต่างกันในแนวตั้งบ่งชี้ถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้มีความสามารถในการควบคุมสภาวะในการอบแห้งได้อย่างสม่ำเสมอ พร้อมเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่เกษตรกรในการติดตามการทำงานของเครื่องและติดตามน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ด้วยระบบ Internet of Things (IoT) ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และ Line chat bot บนหน้าจอสมาาร์ทโฟนได้ตลอดเวลา นอกจากนี้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะสามารถลดเวลาในการอบผลิตภัณฑ์ลงได้ โดยสีของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบดั้งเดิม ส่วนของสมบัติเชิงกลของกล้วยตากที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะมีความเหนียวสูงกว่ากล้วยตากที่อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบดั้งเดิมและมีความเหนียวกับความเคี้ยวได้ที่น้อยกว่ากล้วยตากจากเครื่องอบแห้งแบบดั้งเดิม การประเมินจากผู้บริโภคต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสพบว่ากล้วยตากจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะมีระดับคะแนนของทุกพารามิเตอร์มากกว่ากล้วยตากด้วยเครื่องอบแห้งแบบดั้งเดิม เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะนี้มีต้นทุนเครื่องเท่ากับ 36,000 บาท เครื่องสามารถอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยความจุ 8 กิโลกรัมต่อรอบการอบส่งผลให้คืนทุนได้ภายในระยะเวลา 15 เดือน ซึ่งได้รับความพึงพอใจจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในกรณีศึกษาครั้งนี้เป็นอย่างมาก จากข้อมูลทั้งหมดนี้กล่าวได้ว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะจะเป็นส่วนช่วยยกระดับการเกษตรกรรมของประเทศไทยสู่การเป็นเกษตรอัจฉริยะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- Mann. 2558. **Trend Watch: Internet of Things (IoT)**. [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/trend-watch-internet-of-things-iot>
- Shapiro. 2017. **color model**. [Online]. Available: <https://www.mediafrontier.ch/blog/cmyk-vs-rgb/>. [26 พฤษภาคม 2563].
- Solar Energy. 2020. **Everything about solar energy**. [Online]. Available: <http://energyprofessionalsymposium.com/?cat=62&paged=16>. [26 พฤษภาคม 2563].
- ชาติชาย โสบุญ และ สรจารุวรรณชัย. 2556. **การศึกษาเชิงเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของ เซลล์แสงอาทิตย์**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.mut.ac.th/research-detail-6>
- ทีมงานโคโรไลน์. 2562. **Chatbot เป็น AI จริงหรือ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.coraline.co.th/single-post/Is-Chat-Bot-AI>. [26 พฤษภาคม 2563].
- ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2549-2550. **การประเมินเนื้อสัมผัสในอาหาร**. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยสยาม. 3(1), 6.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2563. **อัตราดอกเบี้ยประจำวันของธนาคารพาณิชย์**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [https://www.bot.or.th/thai/statistics/\\_layouts/application/interest\\_rate/in\\_rate.aspx](https://www.bot.or.th/thai/statistics/_layouts/application/interest_rate/in_rate.aspx). [1 กุมภาพันธ์ 2563].
- น้อย ไทยเจริญ. วิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรอำเภอบางคล้า. (23 ตุลาคม 2562). สัมภาษณ์.
- บริษัท มายอาดูโน่ จำกัด. 2563. **การใช้งานesp32**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.myarduino.net/product/1149/esp32-nodemcu-esp-wroom-32-wi-fi-and-bluetooth-module-dual-core-consumption>. [26 พฤษภาคม 2563].
- บริษัท มายอาดูโน่ จำกัด. 2563. **การใช้งานdht22**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.myarduino.net/article/>. [26 พฤษภาคม 2563].
- บริษัท วินัส ซีพพลาย จำกัด. 2562. **วิธีการใช้งานโหลดเซลล์**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/how-to-use-load-cell-and-hx711-amplifier-module.html>. [26 พฤษภาคม 2563].
- บริษัท เอ็นที สเกล แอนด์ เอ็นจิเนียริง จำกัด. 2019. **โหลดเซลล์คืออะไร**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.svs-en.com/load-cell/>. [26 พฤษภาคม 2563].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปานมนัส ศิริสมบุญ. 2559. **การวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 1)**. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด มิน เซอร์วิส ซัพพลาย.
- พิมพ์พรรณ ปรีอาม, นงลักษณ์ เล็กรุ่งเรืองกิจ และ ภวินท์ ธีญภัทรานนท์. 2560. เครื่องล้างทำความสะอาดอ้อยสำหรับทำอ้อยคั้นน้ำ. **วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย**. 23(2), 52-58.
- เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2536. **การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพโรจน์ คล้ายเพชร. 2556. **วิธีการวัดสีแผ่นพิมพ์ธนบัตรด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์สีพื้น**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [https://www.cp.eng.chula.ac.th/~prabhas//thesis/pairoj\\_msc\\_thesis.pdf](https://www.cp.eng.chula.ac.th/~prabhas//thesis/pairoj_msc_thesis.pdf). [26 พฤษภาคม 2563].
- วิสิทธิ์ เวียงนา. 2560. **Esp32 สมองของระบบใส่ใจ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://medium.com/@visitwnk/>. [26 พฤษภาคม 2563].
- ศรัณย์ศิริ คัมภีรานนท์. 2562. AI เทคโนโลยีอนาคตของประเทศไทย. **บทความวิชาการสำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา**. 9, 1.
- สมาคมโปรแกรมเมอร์ไทย. 2018. **ปัญญาประดิษฐ์คืออะไร**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.thaiprogrammer.org/2018/12/whatisai/>. [26 พฤษภาคม 2563].
- สุบิน แพทย์รัตน์. 2560. **การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.tpc.ac.th/images/Journal/solarcell.pdf>. [26 พฤษภาคม 2563].
- สุนทร สืบคำ, สมชาย ชวนอดุม และระวิน สืบคำ. (ม.ป.ป.). **การประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์ในงานวิศวกรรมเกษตร**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [http://journal.rmutto.ac.th/template/design/file\\_article/article.166pdf](http://journal.rmutto.ac.th/template/design/file_article/article.166pdf). [1 กุมภาพันธ์ 2563].
- สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท (พิมพ์ครั้งที่ 7)**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมชาย ปกรณอดม. 2520. **กระบวนการผลิตเกษตรทางวิศวกรรม**. ขอนแก่น : ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- สำนักงานเกษตรจังหวัดนนทบุรี. (ม.ป.ป.). **วิสาหกิจชุมชน**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [http://www.nonthaburi.doae.go.th/community\\_01.html](http://www.nonthaburi.doae.go.th/community_01.html). [8 กุมภาพันธ์ 2563].
- อนิรุทธิ์ ต่ายขาว และ สมบัติ ทีฆทรัพย์. 2556. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติและชนิดพาความร้อนแบบบังคับ. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีเทิร์นเอเชีย**. 29-30.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

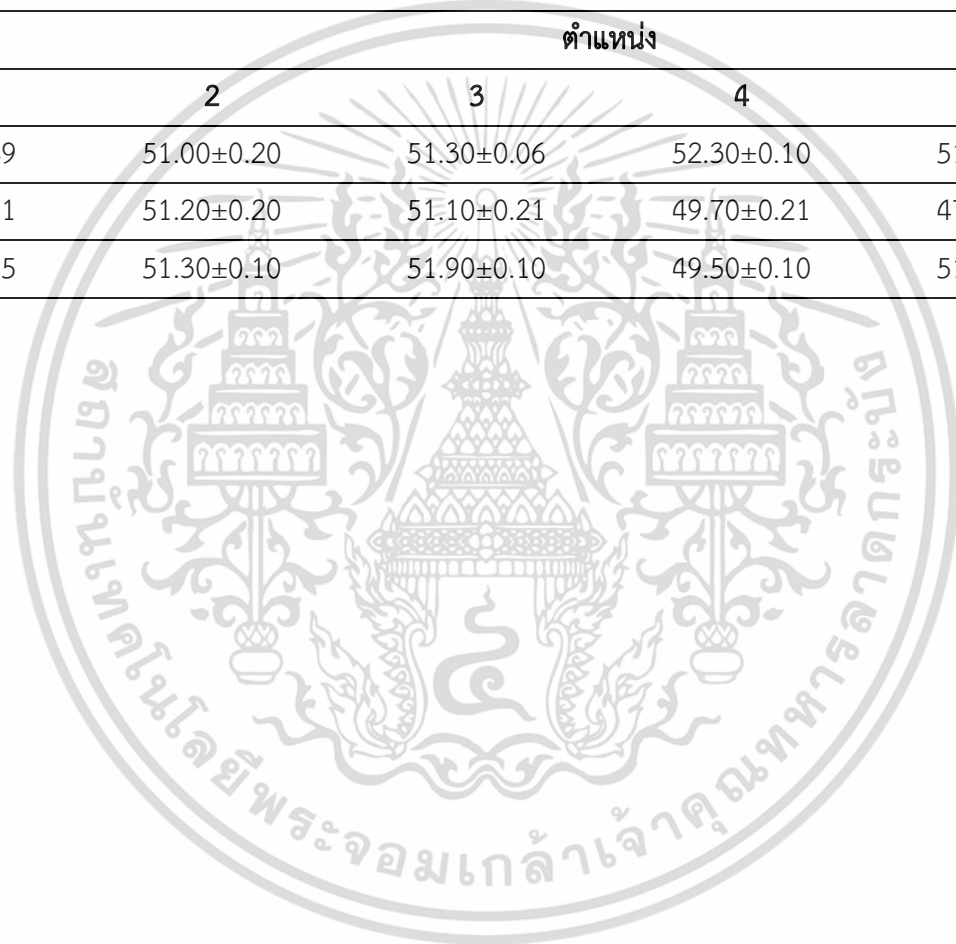


**ภาคผนวก ก**  
**ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

ชั้น	ตำแหน่ง					
	1	2	3	4	5	6
บน	49.30±0.49	51.00±0.20	51.30±0.06	52.30±0.10	51.50±0.15	51.30±0.20
กลาง	53.70±0.21	51.20±0.20	51.10±0.21	49.70±0.21	47.20±0.21	47.20±0.20
ล่าง	54.80±0.15	51.30±0.10	51.90±0.10	49.50±0.10	51.30±0.10	50.50±0.21





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส: ระดับความชอบ

### ตัวอย่างทดสอบ : กลัวยอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

รหัสผู้ทดสอบ..... เพศ..... อายุ.....ปี วันที่.....

**คำชี้แจง:** ทดสอบ 3 ตัวอย่าง และให้คะแนนในช่องตามรหัสตัวอย่าง เพื่อประเมินความชอบในแต่ละคุณลักษณะตามความรู้สึกของท่าน และโปรดตีมน้ำระหว่างตัวอย่าง

### ระดับความชอบ

1 = ไม่ชอบมาก      2 = ไม่ชอบเล็กน้อย      3 = เฉยๆ      4 = ชอบเล็กน้อย      5 = ชอบมาก

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
ลักษณะปรากฏ (appearance)			
สี (color)			
ความเหนียว (Gumminess)			
ความนุ่ม (Chewiness)			
ความหนึบ (Stringiness)			
ความชอบโดยรวม (overall)			

### หมายเหตุ

ความเหนียว กรุณากัดวัสดุด้วยฟันกราม 1 ครั้ง และ พิจารณาถึงแรงที่ใช้ในการกัด จากนั้นโปรดระบุคะแนนความพึงพอใจของท่านในความเหนียวของผลิตภัณฑ์

ความนุ่ม กรุณาเคี้ยวผลิตภัณฑ์ และ พิจารณาถึงความยากง่ายในการเคี้ยว จากนั้นโปรดระบุคะแนนความพึงพอใจของท่านในความนุ่มของผลิตภัณฑ์

ความหนึบ กรุณาทดสอบโดยการกัดด้วยฟันกราม 1 ครั้ง และ พิจารณาถึงความยากง่ายในการยกฟันกรามออกจากผลิตภัณฑ์ จากนั้นโปรดระบุคะแนนความพึงพอใจของท่านต่อความหนึบของผลิตภัณฑ์

→ โปรดเรียงระดับความชอบของท่านต่ออาหารทดสอบ ตัวอย่างที่ชอบมากที่สุดในระดับแรก และตัวอย่างที่ชอบน้อยที่สุดในลำดับสุดท้าย

ลำดับที่ 1 .....      ลำดับที่ 2 .....      ลำดับที่ 3 .....

แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณลักษณะของอาหารทดสอบ

.....

.....

.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ค

ผลการทดลองเปรียบเทียบกล้วยตากที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์  
อัจฉริยะกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมต่อค่าสีและสมบัติเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค1 R, G, B ของกล้วยตากตามสภาวะในการอบที่แตกต่างกัน**

สภาวะ	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ดั้งเดิม			เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ		
	R	G	B	R	G	B
1	86.667	65.651	39.696	86.667	65.651	39.696
2	86.501	62.278	40.382	84.111	67.052	42.607
3	84.173	65.93	42.455	85.995	64.909	39.223
4	92.44	68.639	43.399	93.534	70.317	41.979
5	87.011	56.896	37.135	78.911	66.973	41.017
6	84.045	63.159	40.201	87.311	64.14	40.127
7	86.522	72.843	46.349	98.222	67.02	41.709
8	91.635	68.954	38.499	81.04	70.014	41.861
9	89.778	62.753	41.503	85.402	70.809	44.966
10	86.597	69.309	45.215	91.301	65.984	40.479
11	92.457	74.695	47.779	100.688	69.742	42.009
12	83.005	60.046	39.162	80.625	63.301	38.791
13	92.941	66.644	42.238	92.11	71.654	44.194
14	85.28	72.842	45.916	99.252	65.421	40.918
15	88.993	63.074	41.398	84.415	68.157	42.409
16	82.262	70.258	44.797	92.516	61.778	37.641
17	84.241	58.36	37.781	79.756	62.454	38.201
18	93.687	54.596	36.112	75.899	72.708	45.776
19	90.43	64.632	41.859	86.403	68.601	42.195
20	87.883	73.598	48.53	97.775	67.907	42.965
21	83.988	70.145	45.689	93.691	66.836	44.263
22	92.204	69.257	38.291	83.69	73.203	47.248
23	83.363	68.704	44.199	93.282	64.25	40.052
24	89.475	56.22	36.492	76.478	69.099	42.908
25	90.232	72.842	47.14	94.022	69.929	42.96
26	81.967	63.049	39.803	87.312	63.507	40.157
27	89.776	67.538	37.446	78.634	71.584	46.061
28	81.629	67.362	42.829	89.358	62.265	39.168
29	84.986	67.799	38.012	77.018	66.838	42.851
30	89.984	67.359	37.851	78.753	70.569	44.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค2** สมบัติเชิงกลของกล้วยตากที่ถูกรอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

สมบัติเชิงกล							
	ความหนืด	ความยืดหยุ่น	ความหยุ่น	การเกาะติด	ความเหนียว	ความเคี้ยวได้	การยึดติด
1	32.5250	0.1985	0.0368	0.1510	26.8231	5.3235	-8.7070
2	35.9300	0.1958	0.0418	0.1677	31.8454	6.2352	-10.3460
3	33.5200	0.1937	0.0419	0.1615	32.5893	6.3118	-11.5040
4	34.4650	0.2647	0.0432	0.1735	37.5827	9.9487	-6.1120
5	34.7150	0.2234	0.0530	0.1958	39.8467	8.8998	-7.3590
6	32.0900	0.2508	0.0550	0.1955	38.3814	9.6254	-9.9440
7	30.3100	0.2385	0.0468	0.1837	26.8524	6.4052	-6.8560
8	32.7800	0.2161	0.0374	0.1562	31.2165	6.7474	-10.0280
9	35.6950	0.2073	0.0363	0.1534	23.3898	4.8480	-6.6740
10	31.7500	0.2604	0.0479	0.1845	42.8684	11.1637	-10.0890
11	35.1150	0.2633	0.0485	0.1955	41.9280	11.0380	-6.7690
12	33.3550	0.2211	0.0463	0.1708	36.1110	7.9831	-12.0050
13	35.2400	0.2280	0.0374	0.1602	29.7571	6.7843	-11.6120
14	35.5150	0.1971	0.0351	0.1577	25.6061	5.0469	-11.8950
15	32.6100	0.2558	0.0468	0.1726	27.4315	7.0162	-4.6010
16	35.3700	0.2109	0.0344	0.1654	29.2397	6.1659	-16.6510
17	33.0450	0.2402	0.0445	0.1670	36.9635	8.8798	-10.9380
18	31.8200	0.2487	0.0525	0.1875	39.4386	9.8098	-11.7410
19	32.5900	0.1905	0.0364	0.1555	34.2505	6.5250	-20.9210
20	35.8750	0.1982	0.0401	0.1568	28.0715	5.5632	-11.4900
21	30.8650	0.2507	0.0382	0.1498	32.2091	8.0734	-8.7790
22	29.9550	0.2422	0.0514	0.1748	48.1072	11.6524	-10.8010
23	32.3350	0.2447	0.0475	0.1800	32.7484	8.0138	-7.9020
24	31.7400	0.2374	0.0500	0.1752	37.4034	8.8806	-9.4520
25	35.3450	0.2588	0.0433	0.1664	35.8048	9.2669	-9.6980
26	37.0300	0.2148	0.0490	0.1857	39.1793	8.4174	-5.4730
27	32.6000	0.2200	0.0412	0.1589	40.6289	8.9366	-11.9470
28	30.8100	0.2271	0.0485	0.1730	47.8609	10.8710	-11.3870
29	36.5900	0.2241	0.0469	0.1795	41.1039	9.2120	-10.6450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30 31.9350 0.2423 0.0455 0.1779 40.7368 9.8720 -10.6430

---



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค3** สมบัติเชิงกลของกล้วยตากที่ถูกรอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม

สมบัติเชิงกล							
	ความหนืด	ความยืดหยุ่น	ความเหนียว	การเกาะติด	ความเหนียว	ความเคี้ยวได้	การยึดติด
1	3.9150	0.2328	0.0656	0.2237	102.1571	23.7777	-11.9970
2	7.5900	0.3786	0.0629	0.1912	120.9946	45.8043	-33.3150
3	3.8550	0.2529	0.0517	0.1832	93.2308	23.5749	-24.9260
4	7.1050	0.3625	0.0581	0.2054	111.4487	40.3979	-36.8040
5	7.1900	0.3372	0.0595	0.1977	132.9220	44.8211	-25.1740
6	11.0500	0.3025	0.0556	0.2135	119.2962	36.0905	-49.5570
7	6.7150	0.3556	0.0555	0.1895	119.5059	42.5005	-30.1270
8	9.8050	0.3362	0.0504	0.1941	106.2601	35.7285	-32.5070
9	14.6100	0.3143	0.0576	0.2148	111.4111	35.0216	-39.8870
10	6.1150	0.2912	0.0612	0.2002	111.6807	32.5193	-19.4840
11	5.6450	0.2580	0.0527	0.1755	105.5570	27.2306	-34.4410
12	8.0800	0.2814	0.0590	0.1932	131.2171	36.9245	-22.5640
13	19.5350	0.3506	0.0633	0.2097	141.7616	49.6996	-37.3940
14	16.8350	0.3589	0.0531	0.2039	98.3522	35.2963	-37.6830
15	21.5200	0.2384	0.0485	0.1923	77.3191	18.4348	-34.4960
16	7.8850	0.2896	0.0588	0.1975	113.0445	32.7369	-28.4130
17	4.7600	0.3203	0.0617	0.2173	104.2618	33.3900	-19.1800
18	3.8250	0.3068	0.0459	0.1803	79.4942	24.3874	-16.0740
19	2.5700	0.2330	0.0651	0.2195	102.3636	23.8461	-10.9200
20	9.2200	0.3117	0.0642	0.2103	132.0150	41.1434	-27.8110
21	2.9050	0.2304	0.0623	0.2105	115.2697	26.5541	-13.2460
22	3.6950	0.3039	0.0676	0.2022	114.9157	34.9279	-16.5390
23	10.5100	0.3111	0.0605	0.2050	80.7386	25.1165	-29.0390
24	10.4550	0.3835	0.0467	0.1843	100.2064	38.4283	-28.1180
25	4.0350	0.2798	0.0585	0.1980	94.1759	26.3511	-13.4300
26	22.8000	0.3057	0.0560	0.1874	92.4783	28.2666	-26.5160
27	25.3050	0.2977	0.0526	0.1846	96.5405	28.7353	-36.1350
28	5.1400	0.2621	0.0528	0.1778	104.9005	27.4965	-19.5800
29	5.8550	0.2836	0.0494	0.1804	139.3090	39.5055	-26.3730

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30 9.7200 0.3580 0.0642 0.2068 100.0787 35.8302 -22.1250

---



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกล้วยตาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 1** ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม

ผู้ทดสอบ การชิมคนที่	ลักษณะ ปรากฏ	สี	ความเหนียว	ความนุ่ม	ความหนึบ	ความชอบโดยรวม
1	5	5	4	3	4	4
2	4	4	4	5	4	5
3	1	1	4	4	5	3
4	2	2	2	1	3	3
5	3	3	4	4	4	4
6	2	3	3	3	2	3
7	1	1	3	2	4	3
8	2	3	3	2	4	2
9	3	2	2	2	1	3
10	3	3	3	2	2	3
11	4	4	4	3	4	4
12	5	2	2	1	1	3
13	3	3	3	2	2	3
14	3	3	2	2	2	3
15	2	2	5	5	5	5
16	3	2	2	2	5	3
17	2	2	4	4	3	3
18	2	2	3	2	3	3
19	3	4	3	2	3	3
20	3	2	4	2	4	3
21	5	5	4	3	3	4
22	3	3	2	2	2	2
23	3	3	4	3	4	3
24	3	3	4	2	4	3
25	3	3	3	3	3	3
26	3	3	2	2	3	2
27	3	3	5	3	5	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28	3	3	4	3	5	4
29	3	2	2	2	2	2
30	4	4	3	2	3	3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2** ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์  
อัจฉริยะที่ 52 ชั่วโมง

ผู้ทดสอบ การชิมคนที่	ลักษณะ ปรากฏ	สี	ความเหนียว	ความนุ่ม	ความหนึบ	ความชอบโดยรวม
1	5	5	4	4	4	4
2	2	3	3	2	2	2
3	3	3	3	5	4	3
4	4	4	2	5	3	4
5	3	3	4	4	4	4
6	4	4	3	5	4	4
7	4	4	3	4	4	4
8	3	4	4	3	5	4
9	5	5	3	3	4	4
10	3	2	4	3	3	4
11	4	5	3	4	3	4
12	3	2	2	1	1	3
13	4	4	4	4	3	4
14	3	3	5	5	3	4
15	4	4	1	1	1	1
16	4	4	5	5	5	5
17	2	2	4	4	4	4
18	4	4	4	3	4	4
19	3	4	5	5	5	5
20	4	3	4	5	5	5
21	3	4	3	3	3	3
22	4	5	3	2	2	3
23	4	5	4	4	4	4
24	4	4	2	3	1	5
25	3	4	4	5	4	4
26	5	4	5	4	4	4
27	4	3	1	1	1	3
28	4	5	2	5	2	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29	3	2	2	2	2	2
30	3	1	3	3	3	3

---



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3** ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์  
อัจฉริยะที่ 72 ชั่วโมง

ผู้ทดสอบการ ชิมคนที่	ลักษณะ ปรากฏ	สี	ความเหนียว	ความนุ่ม	ความหนึบ	ความชอบโดยรวม
1	5	5	4	4	5	5
2	5	5	4	3	5	4
3	4	4	3	5	4	4
4	3	4	3	3	5	4
5	5	5	4	4	3	5
6	4	3	4	4	3	4
7	3	3	3	3	3	3
8	5	5	4	5	5	5
9	5	5	5	4	5	5
10	4	5	5	5	5	5
11	4	4	4	3	4	4
12	5	5	3	5	3	5
13	5	5	5	5	5	5
14	4	4	5	5	3	4
15	5	5	4	4	2	2
16	5	5	4	5	3	4
17	2	2	4	4	3	3
18	5	4	4	5	4	5
19	4	5	5	5	5	5
20	5	4	3	4	4	4
21	4	4	5	5	5	5
22	4	5	3	3	4	3
23	5	5	4	4	3	4
24	4	4	2	3	1	3
25	4	5	4	4	5	5
26	5	5	5	4	4	4
27	3	3	4	3	3	4
28	4	5	4	5	3	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29	3	2	3	4	3	3
30	5	5	3	4	3	4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้