



เครื่องอบกล้วยเล็บมือนางอัตโนมัติ

AUTOMATIC LEBMUERNANG BANANA DRYING MACHINE

ฉัตรมนตรี มนต์รีภักดิ์

CHATMONTREE MONTREPAK

ณัฐนิชา แซ่ฉั่ว

NATNICHIA SAECHUA

วรรณิศา สัญกุล

WANNISA SUNKOOL

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## AUTOMATIC LEBMUERNANG BANANA DRYING MACHINE

CHATMONTREE MONTREEPAK

NATNICHA SAECHUA

WANNISA SUNKOOL

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN

ENERGY ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องอบกล้วยเล็บมือนางอัตโนมัติ  
PROJECT TITLE AUTOMATIC LEBMUERNANG BANANA DRYING MACHINE.  
ชื่อนักศึกษา นายฉัตรมนตรี มนตรีภักดิ์ รหัสประจำตัว 60514010  
นางสาวณัฐนิชา แซ่ฉั่ว รหัสประจำตัว 60514017  
นางสาววรรณิศา สัญกุล รหัสประจำตัว 60514042  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมพลังงาน  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล  
ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ปัญญา	แดงวิไลลักษณ์	กรรมการสอบ	
ดร.วิสิทธิ์	เอกวานิช	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ปราโมทย์	กุศล	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 29 มิถุนายน 2564 เวลา ตั้งแต่ 15.00 – 17.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุมออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องอบกล้วยเล็บมือนางอัตโนมัติ	
ชื่อนักศึกษา	นายฉัตรมนตรี มนต์รักดิ์	รหัสประจำตัว 60514010
	นางสาวณัฐนิชา แซ่ฉั่ว	รหัสประจำตัว 60514017
	นางสาววรรณิศา สัญกุล	รหัสประจำตัว 60514042
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมพลังงาน	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล	

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปัญหาของระบบควบคุมเครื่องอบแห้งแบบเก่ายังมีความไม่เสถียร ดังนั้นเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบเก่าที่ควบคุมด้วยมือจึงถูกออกแบบ และพัฒนารูปแบบใหม่ที่สามารถควบคุมได้โดยอัตโนมัติ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นในเครื่องอบแห้งด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ และทดสอบประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้นในการทำให้แห้งด้วยการอบแห้งแบบอินฟราเรด การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ 1) การสอบเทียบระหว่างระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่องกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน 2) การทดสอบเครื่องกับตัวอย่างกล้วยเล็บมือนางด้วยการอบเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ผลจากการทดลองพบว่าค่าของอุณหภูมิ และความชื้นจากการสอบเทียบ มีความผิดพลาดต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 0.91 เปอร์เซ็นต์ และ 1.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในเตาอบอยู่ในช่วงระหว่าง 60 – 70 องศาเซลเซียส และมีค่า  $R^2 = 0.872$  ค่าของความชื้นที่ 1 - 4 ชั่วโมงแรกของการทดลอง มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากในกล้วยมีความชื้นที่สูง และจากนั้นความชื้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงชั่วโมงที่ 18 ค่าความชื้นจะคงที่ โดยมีค่า  $R^2 = 0.929$  อัตราการไหลของแก๊สเฉลี่ยในการอบกล้วยทั้ง 3 ครั้ง มีค่า 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง การอบกล้วยที่มีน้ำหนักรวมเริ่มต้น 4.5 กิโลกรัมของทั้ง 3 ถาดจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนไปถึง เวลา 20 ชั่วโมง น้ำหนักเฉลี่ยของกล้วยทั้ง 3 ถาดคงเหลือ 657 กรัม และการลดลงของกล้วยมีน้ำหนักใกล้เคียงกัน ระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่องอบกล้วยเล็บมือนางด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถคืนทุน ในระยะเวลา 4 เดือน

**คำสำคัญ:** เครื่องอบกล้วยเล็บมือนาง ระบบควบคุมการไหลอัตโนมัติ

<b>Project Title</b>	AUTOMATIC LEBMUERNANG BANANA DRYING MACHINE	
<b>Student</b>	Mr. Chatmontree Montreepak	<b>Student ID</b> 60514010
	Miss.Natnicha Sae-chua	<b>Student ID</b> 60514017
	Miss. Wannisa Sunkool	<b>Student ID</b> 60514042
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Program</b>	Energy Engineering	
<b>Project Advisor</b>	Asst.Prpf.Dr.Pramote Kuson	

## ABSTRACT

Nowadays, the problem of control system of traditional drying machine leads to the unstable. So, the traditional infrared drying machines with manual control were design and develop a new model that can be controlled automatically. The objectives of this research were to control temperature and humidity in the infrared drying machine an automatic control system and testing the performance of sensors for temperature and humidity in infrared drying. The experiments were separated into 2 parts 1) the calibration of temperature and the humidity of machine control systems with standard measuring tools 2) Testing the machine with Lebmuernang bananas sample for 20 hr. The results showed that the temperature and humidity from calibrations were a slight difference in error values at 0.91 % and 1.69 % respectively. The average temperature inside of oven was 60 – 70 c° and  $R^2 = 0.872$ . The value of the humidity at the first 1-4 hr was value declined rapidly due to the high moisture content after that the humidity was continuously reduced until to 18 hr the humidity constant  $R^2 = 0.929$ . The average gas flow rate of banana drying all 3 experiments was 0.05 m<sup>3</sup>/hr. The banana drying with an initial weight of 4.5 kg all 3 trays continued to decrease until 20 hr the average weight of the 3 trays remained at 657 g and the nearby reduction. The temperature and humidity control system of the Lebmuernang banana drying with infrared radiation able to pay back the investment in 4 months.

**Keyword:** Lebmuernang banana drying machine, Automatic flow control system.

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณ ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท  
ฉบับนี้ ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำทั้งด้านของข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการทำโครงการ รวมไปถึงขั้นตอน  
และวิธีการในการทำปริญญาโท และขอขอบคุณ นายสันติพงษ์ ธีสม นักศึกษาภาควิชา  
วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขต  
อุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ให้คำปรึกษา และช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อโครงการนี้

ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดคือบิดา มารดา ที่คอยให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ และให้  
กำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา รวมไปถึงสมาชิกกลุ่มทุกท่านในการช่วยเหลือกันทำงานให้สำเร็จ  
ลุล่วง ตลอดจนเพื่อนๆ นักศึกษาทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุน และให้กำลังใจมาตลอด  
ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ฉัตรมนตรี มนตรีภักดิ์  
ณัฐนิชา แซ่ฉั่ว  
วรรณิศา สัญกุล  
29 มิถุนายน 2564

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 สถานที่การดำเนินการ	4
1.7 แผนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 การออกแบบ และการสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น	22
3.2 การสอบเทียบระบบควบคุมของอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่อง	27
3.3 การทดสอบเครื่องกับตัวอย่างกล้วยเล็บมือนาง	27
3.4 การทดสอบหาค่าของอัตราการไหลของแก๊ส	28
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	
4.1 ผลการสอบเทียบระบบควบคุมของอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่อง	29

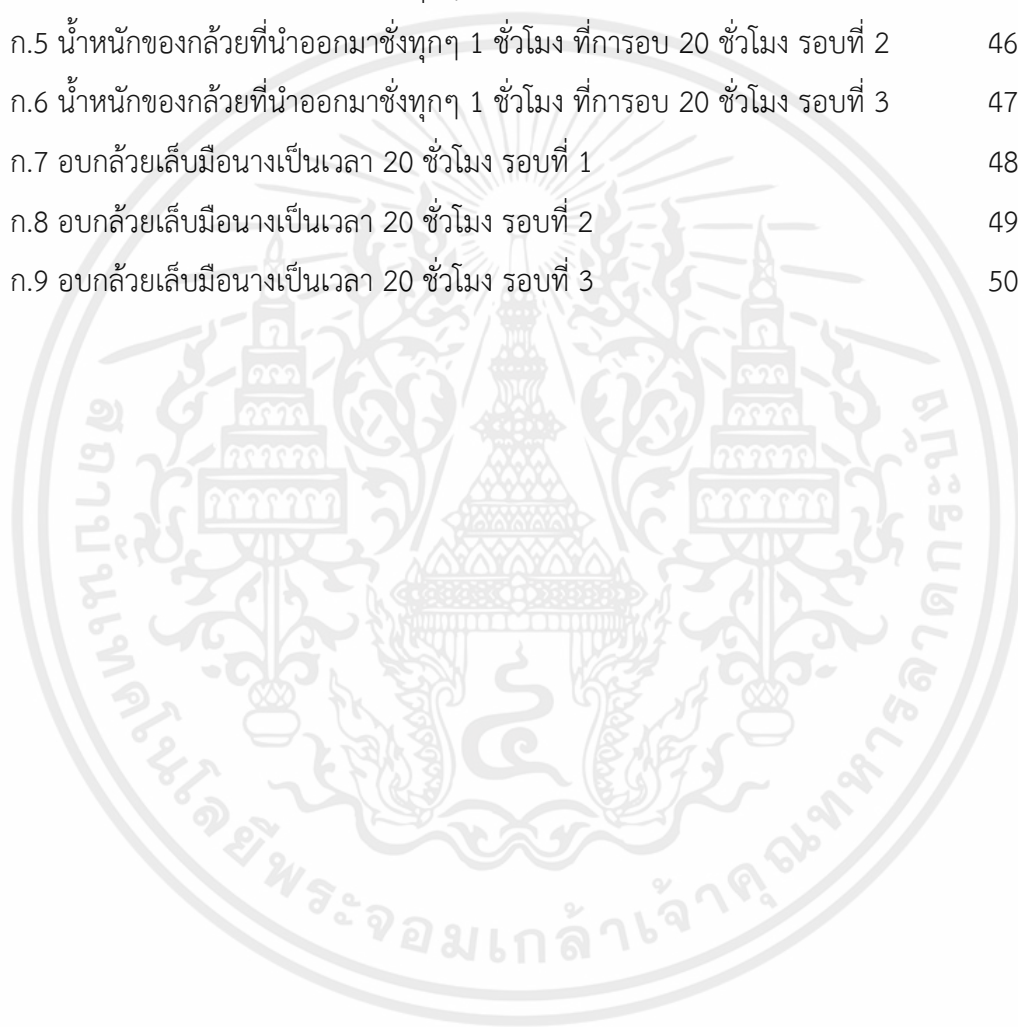
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการทดสอบเครื่องกับตัวอย่างกล้วยเล็บมือนาง	31
4.3 ผลวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	35
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	36
5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทดลอง	37
5.3 ข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	41
ประวัติผู้จัดทำ	51



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงการดำเนินงานของการศึกษา และพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรด	4
ก.1 สอบเทียบด้วยเครื่องมือสอบเทียบกับตัวเซนเซอร์ 1 ชั่วโมง รอบที่ 1	42
ก.2 สอบเทียบด้วยเครื่องมือสอบเทียบกับตัวเซนเซอร์ 1 ชั่วโมง รอบที่ 2	43
ก.3 สอบเทียบด้วยเครื่องมือสอบเทียบกับตัวเซนเซอร์ 1 ชั่วโมง รอบที่ 3	44
ก.4 น้ำหนักของกล้วยที่นำออกมาซั่งทุกๆ 1 ชั่วโมง ที่การอบ 20 ชั่วโมง รอบที่ 1	45
ก.5 น้ำหนักของกล้วยที่นำออกมาซั่งทุกๆ 1 ชั่วโมง ที่การอบ 20 ชั่วโมง รอบที่ 2	46
ก.6 น้ำหนักของกล้วยที่นำออกมาซั่งทุกๆ 1 ชั่วโมง ที่การอบ 20 ชั่วโมง รอบที่ 3	47
ก.7 อบกล้วยเล็บมือนางเป็นเวลา 20 ชั่วโมง รอบที่ 1	48
ก.8 อบกล้วยเล็บมือนางเป็นเวลา 20 ชั่วโมง รอบที่ 2	49
ก.9 อบกล้วยเล็บมือนางเป็นเวลา 20 ชั่วโมง รอบที่ 3	50



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
2.1 กล้วยเล็บมือนางสุก	7
2.2 ช่วงความยาวคลื่นของรังสีชนิดต่างๆ	8
2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบ	10
2.4 แสดงส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบ tray drier	12
2.5 Arduino Uno R3	14
3.1 เครื่องอบรังสีอินฟราเรดแบบใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว	23
3.2 พัฒนาระบายอากาศ	23
3.3 Gus flow meter	24
3.4 Servo Motor MG 995	24
3.5 Butterfly Valve	24
3.6 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ type K	25
3.7 เซนเซอร์วัดความชื้น DHT 22	25
3.8 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ยี่ห้อ Graphtec รุ่น DL 220	25
3.9 บอร์ด Arduino รุ่น Uno R3	26
3.10 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น ยี่ห้อ DIGICON รุ่น HT - 776	26
3.11 วาล์ววัดอัตราการไหลของแก๊ส	26
3.12 เครื่องชั่ง METTLER TOLEDO รุ่น RW00 - 3221 - TH	27
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาที่แสดงค่าผ่านระบบควบคุม และ เครื่องสอบเทียบ	29
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นกับเวลาที่แสดงค่าผ่านระบบควบคุม และ เครื่องสอบเทียบ	30
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิเฉลี่ยกับเวลา	31
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความชื้นเฉลี่ยกับเวลา	32
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์แรงดันแก๊สเฉลี่ยกับเวลา	33
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์น้ำหนักแก๊สเฉลี่ยกับเวลา	34

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากประเทศไทยมีผลผลิตจากผลไม้ในแต่ละปีจำนวนมากแต่ความต้องการของผู้บริโภคลดน้อยลง จึงส่งผลให้ผลไม้ล้นตลาด อันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาจากโรคระบาดโควิด 19 ปัญหาเศรษฐกิจ ทำให้คนไม่กล้าที่จะออกมาซื้อของ หรือถ้าซื้อก็จะเลือกซื้อเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปที่สามารถเก็บไว้ได้นาน ดังนั้นจึงส่งผลให้การนำผลไม้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ นั้นมีบทบาทสำคัญที่จะเพิ่มมูลค่า และสามารถยืดอายุของผลไม้ได้ เช่น การกวน การฉาบ การเชื่อม การดอง และการอบ เป็นต้น กล่าวถึงว่าเป็นผลไม้ที่ให้ผลผลิตเยอะในแต่ละปี อีกทั้งจังหวัดชุมพรมีการปลูกกล้วยเล็บมือนางจำนวนมาก เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ประจำท้องถิ่นของทางภาคใต้ ปัจจุบันผลิตภัณฑ์แปรรูปด้วยการอบเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย และกล้วยเล็บมือนางยังขึ้นเป็นสินค้าโอท็อปของจังหวัดชุมพรอีกด้วย สืบเนื่องจากรุ่นที่ปีการศึกษา 2560 ได้ทำการประดิษฐ์เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรดขึ้นมา เพื่อผลิตกล้วยอบแห้งที่มีคุณภาพที่ดี รสชาติดี สี และเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าตามท้องตลาดทั่วไป แต่จากการศึกษาเราได้พบถึงปัญหาของเครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรดอยู่หลายจุด เช่น ภายในตัวเครื่องยังไม่สามารถควบคุมความชื้นได้ การลด และเพิ่มอุณหภูมิก็ยังคงต้องปรับด้วยมือทำให้ความแม่นยำในการรักษาอุณหภูมิจึงเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงเลือกที่จะปรับปรุงในส่วนตรงนี้ให้เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรดมีประสิทธิภาพในการผลิตที่ดีขึ้น โดยการติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้น และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เพื่อวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรดได้แบบอัตโนมัติ โดยจะมีความแม่นยำ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ลดเวลาของผู้ผลิต และลดความเสียหายของผลิตภัณฑ์ที่ได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญานិพนธ์

1.2.1 เพื่อควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นภายในเครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรด ด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และเซนเซอร์วัดความชื้น ในการอบแห้งด้วยอินฟราเรด

## 1.3 ขอบเขตของปฏิญานิพนธ์

1.3.1 อุณหภูมิในเตาอบอยู่ในช่วง 0 - 70 องศาเซลเซียส

1.3.2 ใช้ตัวอย่างเป็นกล้วยเล็บมือนางที่ปลูกในจังหวัดชุมพร

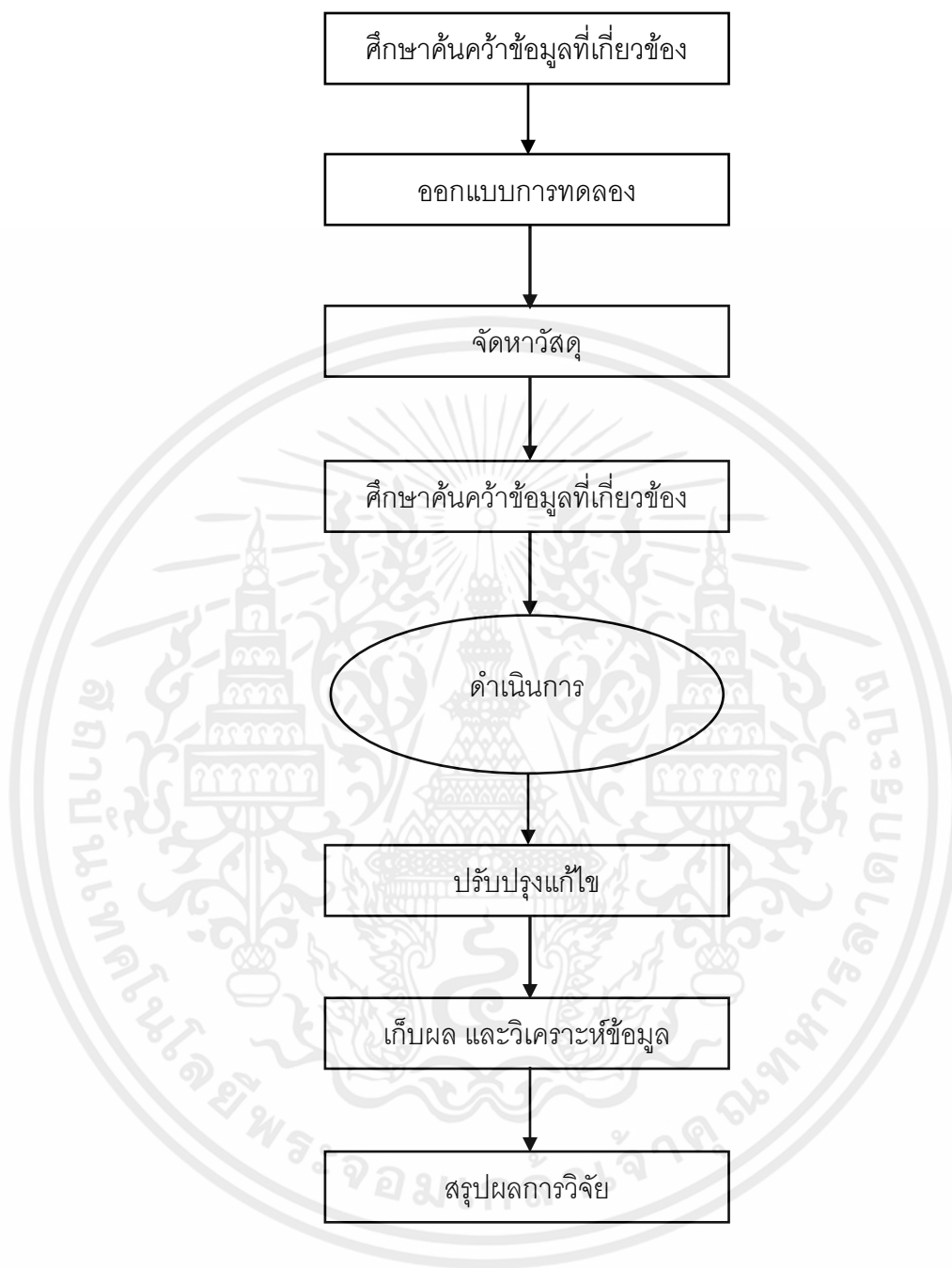
1.3.3 ใช้บอร์ดในการประมวลผล Arduino สำหรับควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส และควบคุมปริมาณความชื้นในเครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรด

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรดได้โดยอัตโนมัติ

1.4.2 ลดขั้นตอนของการใช้แรงงานคนในการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรด

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 สถานที่ดำเนินงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร และอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

## 1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงการดำเนินงานของการศึกษา และพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรด

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินการ 2563-2564										
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
	63	63	63	63	63	64	64	64	64	64	64.
1.ศึกษา และค้นคว้าข้อมูล	←————→										
2.ออกแบบ และจัดหาวัสดุ	←————→										
3.ทำการทดลอง และรวบรวมเก็บข้อมูล	←————→										
4.เก็บผล และวิเคราะห์ผล การทดลอง	←————→										
5.สรุปผล และจัดทำเล่มปริญญานิพนธ์	←————→										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 กล้วยเล็บมือนาง

กล้วยเล็บมือนาง (Kluai Leb Mu Nang) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Musa Sapientum* Linn.

Kingdom : Metaphyta

Division : Trachaeophyta

Class : Angiospermae

Order : Scitamineae

Family : Musaceae

Genera : Musa

Species : Musa

กล้วยเล็บมือนาง เป็นกล้วยประจำท้องถิ่นของภาคใต้ที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากผลกล้วยมีลักษณะเรียวยาวเล็ก ทำให้มีขนาดเหมาะแก่การเคี้ยว ผลมีสีเหลืองทอง เนื้อมีความนุ่มคล้ายกับกล้วยหอม มีรสหวาน และมีกลิ่นหอม

คำว่า เล็บมือนาง เป็นชื่อที่ตั้งมาจากลักษณะก้านเกสรตัวเมียที่แห้งติดบริเวณปลายผล ซึ่งเปรียบเสมือนส่วนของเล็บ ส่วนมือนั้น มาจากลักษณะของผลกล้วยที่มีรูปร่างเล็ก และเรียวยาวเหมือนนิ้วสตรี ทั้งนี้คนโบราณเชื่อว่า การเก็บผลกล้วยเล็บมือนางจะต้องให้มีก้านเกสรตัวเมียนั้นห้อยติดมาด้วย เพราะจะช่วยให้กล้วยมีความสมบูรณ์ มีรสหวาน และมีกลิ่นหอม ดังแสดงใน (รูปที่ 2.1)

##### 2.1.1.1 สายพันธุ์ของกล้วยเล็บมือนาง แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

2.1.1.1.1 กาบลำต้นสีเขียว ผลไม่มีขน

2.1.1.1.2 กาบลำต้นสีเขียว ผลมีขน

2.1.1.1.3 กาบลำต้นสีม่วงแดง ผลไม่มีขน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.1.1.1.4 กาบลำต้นสีม่วงแดง ผลมีขน

### 2.1.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

2.1.1.2.1 ราก กล้วยเล็บมือนางทอง มีระบบรากเป็นแบบ adventitious root ที่มีลักษณะเป็นเส้นกลมยาว แตกกอกด้านข้างของหัวหรือเหง้ากล้วย ขนาดรากประมาณ 0.5 - 1 เซนติเมตร หยั่งลึกลงดินได้ยาวกว่า 5 เมตร

2.1.1.2.2 ลำต้น กล้วยเล็บมือนาง มีลำต้น 2 ส่วน คือ ลำต้นแท้ และ ลำต้นเทียม ลำต้นแท้ของกล้วยเล็บมือนาง คือส่วนเหง้าที่อยู่ใต้ดิน มีลักษณะทรงกลมสั้น ขนาดประมาณ 12 - 18 เซนติเมตร เปลือกหุ้มเหง้ามีสีดำ และส่วนลำต้นเทียมของกล้วยเล็บมือนาง เป็นส่วนที่อยู่เหนือดินที่มักเรียกทั่วไปว่า ต้นกล้วย ซึ่งประกอบด้วยกาบใบที่เรียงซ้อนกันแน่นเป็นวงกลม ขนาดกว้างประมาณ 12 - 15 เซนติเมตร สูงประมาณ 2 - 2.5 เมตร ผิวกาบด้านนอกสุดมีสีม่วงอมแดง และมีจุดประสีดำกระจายทั่ว หรือบางชนิดมีสีเขียว

2.1.1.2.3 ใบ ใบกล้วยเล็บมือนางออกเป็นใบเดี่ยว ประกอบด้วยก้านใบ และแผ่นใบ ก้านใบมีลักษณะเรียวยาว ยาวประมาณ 50 - 100 เซนติเมตร ผิวก้านใบมีสีชมพูอมแดง และมีร่องตรงกลางในด้านบน ถัดมาเป็นแผ่นใบ เป็นรูปขอบขนาน สีเขียวอ่อน กว้างประมาณ 40 - 60 เซนติเมตร ยาวประมาณ 1.5 - 4 เมตร

2.1.1.2.4 ดอก หรือ ปลี ดอกกล้วย เรียกว่า ปลี ปลีของกล้วยเล็บมือนาง จะแทงออกตรงกลางของลำต้นเทียม ประกอบด้วยก้านดอกทรงกลม ปลายก้านดอกเป็นช่อดอกหรือ ปลีกล้วย ที่ประกอบด้วยกาบหุ้มด้านนอกสีแดงอมม่วง กาบหุ้มด้านในมีสีแดงซีด โคนปลีใหญ่ ปลายปลีแหลม เมื่อบานกาบหุ้มจะกางออกจนมองเห็นดอกด้านใน ทั้งนี้ปลีกล้วยจะออกหลังการปลูกแล้ว ประมาณ 7 - 8 เดือน

2.1.1.2.5 ผล ผลของกล้วยมีหลายผลรวมกันบนก้านผลหลักอันเดียวกัน เรียกว่า เครือ กล้วยแต่ละลูกแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ เรียกว่า หวี หวีกล้วยเล็บมือนางจะมีประมาณ 5 - 8 หวี แต่ละหวีของกล้วยเล็บมือนางมีผลกล้วย 10 - 16 ผล มีก้านผลสั้น แต่ละผลมีขนาดเล็ก และเรียวยาว กว้างประมาณ 2 - 2.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 10 - 12 เซนติเมตร ผลมีลักษณะโค้งงอ ปลายผลเรียวแหลม และมีก้านเกสรตัวเมียติดอยู่ เปลือกผลค่อนข้างหนา เมื่อดิบเปลือกผลมีสีเขียวเข้ม เมื่อสุกจะมีสีเหลืองทอง ผิวเปลือกมีทั้งชนิดที่มีขน และไม่มีขนส่วนเนื้อด้านในมีสีเหลืองอ่อน หรือสีครีม เนื้อนุ่ม รสหวาน และมีกลิ่นหอม ทั้งนี้กล้วยเล็บมือนางจะสามารถเก็บผลได้หลังการตกเครือแล้วประมาณ 3 - 3.5 เดือน



รูปที่ 2.1 กล้วยเล็บมือนางสุก [1]

### 2.1.2 รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared : IR) หรือรังสีความร้อน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.76 - 1,000 ไมโครเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงที่สายตามองไม่เห็นแต่สามารถรับรู้ถึงความร้อนที่เกิดขึ้นได้ โดยรังสีอินฟราเรดมีคุณสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ทุกประการ เช่น การหักเห การสะท้อน การดูดซับ และการส่องผ่านตัวกลาง สามารถแบ่งช่วงรังสีอินฟราเรดตามความยาวคลื่นออกได้เป็น 3 ช่วง (รูปที่ 2.2)

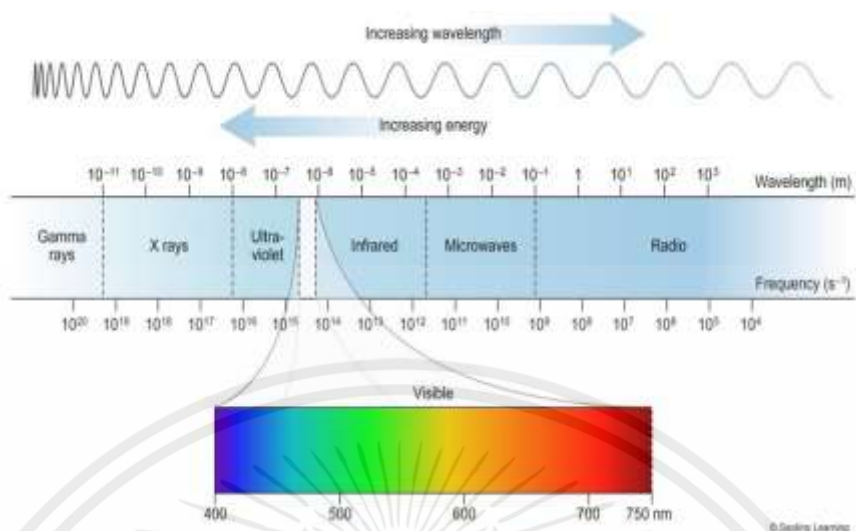
2.1.2.1 รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (Short-wavelength infrared : SWIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 1.2 - 2 มิลลิเมตร สามารถให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 2,204 - 1,190 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้สูง ความร้อนผ่านทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกและรวดเร็ว

2.1.2.2 รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นปานกลาง (Mid - wavelength infrared : MWIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 2 - 4 มิลลิเมตร สามารถให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 1,190 - 458 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้ต่ำกว่าแบบช่วงคลื่นสั้น

2.1.2.3 รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาว (Long-wavelength infrared : LWIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 4 - 6 มิลลิเมตร สามารถให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 458 - 204 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้ต่ำกว่าแบบช่วงคลื่นสั้นและแบบช่วงคลื่นปานกลาง

การดูดซับรังสีอินฟราเรดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นรังสีอินฟราเรด ส่วนประกอบของวัตถุ ลักษณะของผิววัตถุ มุมตกกระทบ และสีของวัตถุ วัตถุที่เป็นของแข็งส่วนใหญ่จะดูดซับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 2 มิลลิเมตรได้ดี ยกเว้นโลหะที่ขัดขึ้นเงาจะสะท้อนรังสีอินฟราเรดออก การใช้งานรังสีอินฟราเรดจะต้องมีตัวปล่อยคลื่น (IR Emitter) ในลักษณะของหลอดอินฟราเรด ซึ่งแบ่งออกเป็น ตัวปล่อยคลื่นสั้น (Short Wave Infrared Emitters) ตัวปล่อยคลื่นปานกลาง (Medium Wave Infrared Emitters) และตัวปล่อยคลื่นยาว (Long Wave Infrared Emitters) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ช่วงความยาวคลื่นของรังสีชนิดต่างๆ [2]

#### 2.1.2.4 ข้อดีของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

1. ทำความร้อน และลดความร้อนได้อย่างรวดเร็ว
2. ผลิตภัณฑ์มีความแห้งสม่ำเสมอ
3. เป็นเตาที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
4. มีการควบคุมที่แม่นยำ
5. ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
6. สามารถถ่ายเทความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ได้ดี และความร้อนสามารถทะลุผ่านเข้าไป

ในผลิตภัณฑ์ได้สูง

#### 2.1.3 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง เพื่อไล่ความชื้นออก โดยการระเหยน้ำในการอบแห้งวัสดุ ทั่วไปมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยความร้อนจะมีการถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการระเหยน้ำโดยไอน้ำจะเคลื่อนที่จากผิววัสดุมายังกระแสอากาศ และถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่มาก อุณหภูมิ และความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวจะคงที่ ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิววัสดุมีปริมาณน้ำลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลือน้อยอุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำ ที่ผิววัสดุยอมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิของวัสดุจะสูงขึ้น และความเข้มข้นของไอน้ำจะลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง และความชื้นที่อยู่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงจากอัตราการอบแห้งคงที่ และอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤต [3]

### 2.1.3.1 ค่าความชื้นมาตรฐานและอัตราส่วนความชื้น

วิธีการหาความชื้นสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis)

$$M_w = \frac{w-d}{w} - 100 \quad (2.1)$$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) (ชุตินา และคณะ, 2562)

$$M_d = \frac{w-d}{w} - 100 \quad (2.2)$$

โดย

$M_w$  คือ ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก (%<sub>wb</sub>)

$M_d$  คือ ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง (%<sub>db</sub>)

$w$  คือ มวลของวัสดุเปียก

$d$  คือ มวลของวัสดุแห้ง

อัตราส่วนความชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (อำไพศักดิ์ และคณะ, 2553)

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (2.3)$$

โดย

$M_t$  คือ ความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)

$M_{in}$  คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)

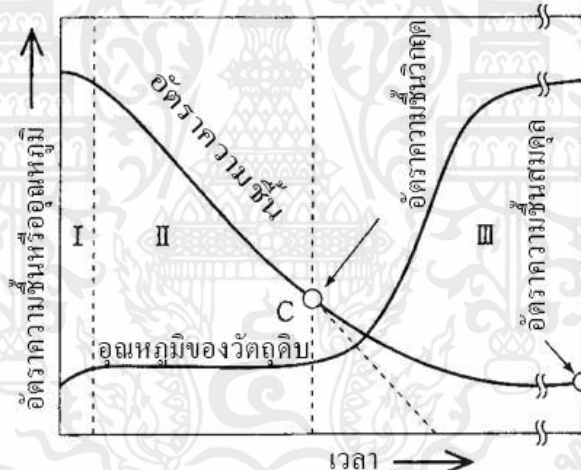
$M_{eq}$  คือ ความชื้นสมดุล (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)

### 2.1.3.2 ความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content)

ปริมาณความชื้นของวัสดุที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับสิ่งแวดล้อมภายนอก วัสดุขึ้นจะไม่มีการดูด และคายความชื้นจากอากาศรอบๆ จึงมีอัตราการทำให้แห้ง (drying rate) เป็นศูนย์ มีค่าความชื้นคงที่ ความชื้นจะไม่ลดลงอีก สภาวะสมดุลจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ถ้าต้องการให้ความชื้นลดลงจากนี้ต้องเปลี่ยนสภาวะการอบ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุ เช่น ลดขนาด [4]

### 2.1.3.3 อัตราเร็วในการอบกับเส้นกราฟแสดงสมบัติการอบแห้ง [5]

เมื่อนำวัตถุดิบที่จะอบซึ่งเปียกชื้นอย่างเพียงพอถึงผิวหน้ามาแขวนไว้ในกระแสลมร้อนแล้วติดตามตรวจวัดอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบนั้น โดยทั่วไปจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งกลไกการอบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะเวลาที่มีลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ (I) ช่วงอุ่นวัตถุดิบ (II) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ (III) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง [5]



รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบ [5]

รูปที่ 2.3 (I) ช่วงอุ่นวัตถุดิบ ช่วง I เป็นช่วงที่อุณหภูมิของวัตถุดิบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิตั้งต้น จนถึงอุณหภูมิสมดุลที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการอบ เรียกว่า ช่วงอุ่นวัตถุดิบ ในกรณีที่วัตถุดิบได้รับความร้อนด้วยการพาความร้อนโดยลมร้อน อุณหภูมิสมดุลนี้จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมร้อนนั้น

รูปที่ 2.3 (II) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ ในช่วง II วัตถุดิบจะมีอุณหภูมิกว่า ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับจะถูกใช้ไปในการระเหยความชื้นเท่านั้น ขั้นตอนของการระเหยจะเกิดที่ผิวหน้าของวัตถุดิบโดยอัตราเร็วในการอบจะมีค่าคงที่ ช่วงนี้เรียกว่า ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งจะดำเนินไป

ตราบเท่าที่มีความชื้นอิสระให้ระเหยอยู่ที่ผิวหน้าของวัตถุดิบ โดยอัตราความชื้นของวัตถุดิบจะลดลงด้วยอัตราเร็วคงที่

รูปที่ 2.3 (III) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง เมื่ออบไปเรื่อยๆ จนปริมาณความชื้นที่ผิวหน้าวัตถุดิบแห้งลง และความชื้นภายในเนื้อวัตถุดิบเริ่มลดลง ความชื้นอิสระภายในตัววัตถุดิบจะซึมขึ้นมาทดแทน ให้ทันกับอัตราเร็วในการระเหยที่ผิวหน้า จึงเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ III ได้แก่ ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง ขั้นตอนของการระเหยจะค่อยๆ เลื่อนลงลึกเข้าไปในเนื้อวัตถุดิบ อุณหภูมิของวัตถุดิบจะเริ่มเข้าใกล้อุณหภูมิของลมร้อนจากบริเวณพื้นผิว ในการอบความร้อนจะต้องเข้าไปถึงภายในเนื้อวัตถุดิบ นอกจากนี้ความร้อนส่วนหนึ่งยังต้องใช้ในการให้ความร้อนตัววัตถุดิบเองอีกด้วย อัตราเร็วในการอบจึงค่อยๆ ลดลงตามเวลาที่ผ่านมาไป

#### 2.1.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

2.1.3.4.1 ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

2.1.3.4.2 ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหาร ที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก ทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นหากอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อย เนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

2.1.3.4.3 ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้า เนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ ทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

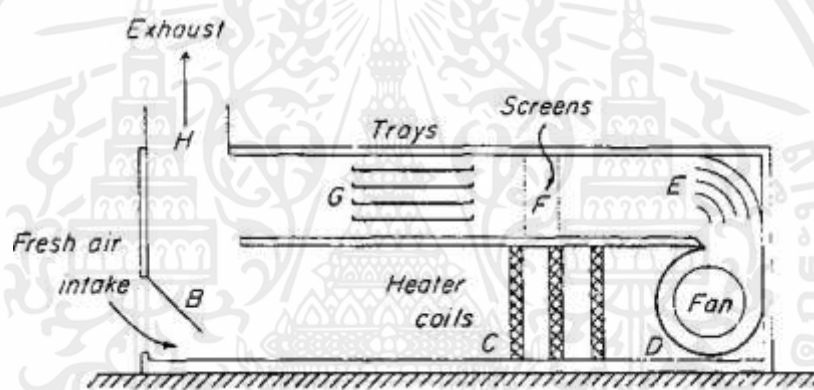
2.1.3.4.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศ และความเร็วลม

2.1.3.4.5 ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่มีความดันต่ำๆ ลงมา น้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

### 2.1.3.5 ตู้อบแห้ง (Cabinet Drier)

ตู้อบแห้ง หมายถึง เครื่องทำแห้ง (drier) ที่ใช้เพื่อการทำแห้ง (dehydration) อาหาร มีลักษณะเป็นตู้ (cabinet) ทำงานเป็นกะ (batch) เหมาะสำหรับโรงงานขนาดเล็ก ที่ไม่ต้องการกำลังการผลิตสูงมาก ได้แก่ การอบแห้งผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ สัตว์น้ำ สมุนไพร และเครื่องเทศ เช่น กุ้งแห้ง กระจายดำแห้ง

ส่วนประกอบของตู้อบแห้ง มีช่องเข้าของอากาศ (fresh air intake, B) ถูกดูดเข้าไปในตู้อบ ผ่านคอยล์ร้อน (heater coil, C) โดยใช้พัดลม (fan, D) ก่อนลมร้อนแห้งจะถูกเป่าเข้าไปในห้องอบแห้ง อาจผ่านตะแกรงกรอง (screen, F) เพื่อให้ทำให้อากาศสะอาด ลมร้อนแห้งจะระเหยเอาน้ำจากอาหารเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนระหว่างการอบ ลมร้อนชื้นที่ผ่านอาหารจะถูกปล่อยออก (exhaust, H) ดังรูปที่ 2.4 [6]



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบ tray drier [6]

### 2.1.3.6 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้นเมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลาง การถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature Different)

การถ่ายเทความร้อน แบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ [7]

2.1.3.6.1 การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งอยู่ติดกันไปเรื่อยๆ จากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ ยกตัวอย่างเช่น หากเราจับทัพพีในหม้อหุงข้าว ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านทัพพีมายังมือของเรา ทำให้เรารู้สึกร้อน โลหะเป็นตัวนำความร้อนที่ดี โลหะ และอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.6.2 การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของอะตอม และโมเลกุลของสสาร ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลว และแก๊ส ส่วนของแข็งนั้น จะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน และการแผ่รังสีเท่านั้น การพาความร้อนจึงมักเกิดขึ้นในบรรยากาศ และมหาสมุทร รวมทั้งภายในโลก และดวงอาทิตย์

2.1.3.6.3 การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ดังเช่น การนำความร้อน และการพาความร้อน การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า  $-273$  องศาเซลเซียส หรือ  $0$  เคลวิน ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว

#### 2.1.4 เครื่องมือควบคุม

การที่นำชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่างๆ มาใช้ร่วมกันในภาษา C ซึ่งภาษา C นี้เป็นลักษณะเฉพาะ คือมีการเขียนไบบารีของ Arduino ขึ้นมาเพื่อให้การสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน สามารถใช้งานโค้ดตัวเดียวกันได้ โดยตัวโครงการได้ออกบอร์ดทดลองมาหลายๆรูปแบบเพื่อใช้งานกับ IDE ของตนเอง [8]

##### คุณสมบัติของบอร์ด Arduino รุ่น Uno R3 (รูปที่ 2.5)

1. ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ : ATmega 328
2. ใช้แรงดันไฟฟ้า : 5 โวลต์
3. รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า : 7 - 12 โวลต์
4. พอร์ต Analog Input : 6 พอร์ต
5. กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต : 40 มิลลิแอมป์
6. กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3 โวลต์ : 50 มิลลิแอมป์
7. ความถี่คริสตัล : 16 เมกะเฮิรตซ์
8. ขนาด : 68.6 x 53.4 มิลลิเมตร
9. น้ำหนัก : 25 กรัม
10. ใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 328

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ใช้แรงดันไฟฟ้าเลี้ยงไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 328 มีค่า 5 โวลต์
12. แรงดันไฟฟ้าป้อนที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 อยู่ในช่วง 7 - 12 โวลต์
13. มีพอร์ตดิจิตอลอินพุต / เอาต์พุต (Digital VO) จำนวน 14 พอร์ต
14. มีพอร์ตอนาล็อกอินพุต (Analog Input) จำนวน 6 พอร์ต
15. สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า แต่ละพอร์ตได้ 40 มิลลิแอมป์
16. สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าในพอร์ต 3.3 โวลต์ จ่ายได้ 50 มิลลิแอมป์
17. มีพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรม 32 กิโลไบต์
18. มีพื้นที่หน่วยความจำชั่วคราวแบบ SRAM 2 กิโลไบต์
19. มีพื้นที่หน่วยความจำถาวรแบบ EEPROM 1 กิโลไบต์
20. ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 16 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 2.5 Arduino Uno R 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.5 ความคลาดเคลื่อน

ความคลาดเคลื่อน หมายถึง ผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง โดยทั่วไปแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ถ้าค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากแสดงว่าการวัดนั้นมีความแม่นยำหรือความถูกต้อง (accuracy) สูง โดยการวัดทุกครั้งมักมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การเข้าใจถึงสาเหตุจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงได้ โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความไม่แน่นอน (uncertainty) [29]

### 2.1.5.1 การวัดความคลาดเคลื่อน แบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

2.1.5.1.1 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้วัด (gross error หรือ human error)

2.1.5.1.2 ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (systematic error)

2.1.5.1.3 ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (random error)

### 2.1.5.2 การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัด

2.1.5.2.1 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (absolute error) คือ ค่าปริมาณความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการวัด สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Absolute error} = |x_{\text{mea}} - x_t| \quad (2.4)$$

2.1.5.2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (relative error) สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Relative error} = \left| \frac{x_{\text{mea}} - x_t}{x_t} \right| \quad (2.5)$$

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธวัชชัย และ คณะ [9] ได้ทำการประเมินสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพื่อใช้กับวัสดุเกษตร โดยการออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งพลังงาน กำลังของหลอดอินฟราเรดที่ใช้เท่ากับ 4,000 วัตต์ ควบคุมอุณหภูมิของห้องอบโดยการปรับแรงดันให้แปรผันตามอุณหภูมิภายในห้องอบ และทดสอบการกระจายอุณหภูมิในห้องอบแห้งโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซับพลังงาน ทำการทดลองอบแห้งด้วยใบหอมซอยพันธุ์ลับแล เริ่มต้นความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 90 เหลือความชื้นสุดท้าย ประมาณร้อยละ 4 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบมี 3 ค่า คือ 45 55 และ 65 องศาเซลเซียส ระยะความสูงของหลอดอินฟราเรดจากจุดศูนย์กลางหลอดถึงระดับพื้นห้องอยู่ที่ระยะ 10 เซนติเมตร และอัตราการไหลอากาศ เชิงปริมาตรรวมเท่ากับ 51 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีจากผลการทดสอบพบว่า ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 36 นาที 55 องศาเซลเซียส 46 นาที และ 45 องศาเซลเซียส 54 นาที มีการใช้กำลังงาน เท่ากับ 1,190 1,330 และ 1,180 วัตต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ

ธนิต และ คณะ [10] ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้น และอุณหภูมิของเนื้อหมูปด แผ่นในระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และเปรียบเทียบสมบัติ ทางกายภาพของเนื้อหมูปดแผ่นที่ได้หลังการอบแห้งทางด้านสี การหดตัว ความแข็ง และความเหนียว รวมทั้งหาความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะของการอบแห้ง และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยอบแห้งเนื้อหมูปดแผ่นขนาด  $10 \times 10 \times 0.13$  และ  $10 \times 10 \times 0.22$  เซนติเมตร (ขนาดการบดที่ 2 มิลลิเมตร และ 4.5 มิลลิเมตร) ด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลที่ความดันของห้องอบแห้ง 10 กิโลปาสคาล และควบคุมอุณหภูมิอากาศเหนือผลิตภัณฑ์ 3 เซนติเมตร ที่ 110 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งเนื้อหมูปดแผ่นหนา 1.3 มิลลิเมตร ใช้เวลาอบแห้งน้อยกว่า แต่มีความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะ มากกว่าการอบแห้งเนื้อหมูปดแผ่นหนา 2.2 มิลลิเมตร ขนาดการบดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ต่อเวลาที่ใช้ออบแห้งและความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะ ส่วนคุณภาพของเนื้อหมูปดแผ่นหลังการอบแห้ง พบว่า ความสว่างและสีเหลืองมีค่าลดลง แต่สีแดงและร้อยละการหดตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนา ของเนื้อหมูเพิ่มขึ้น ขนาดการบดไม่มีผล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ต่อสี ร้อยละการหดตัว ความแข็ง และความเหนียวของเนื้อหมูปดแผ่นอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อหมูปดแผ่นอบแห้งที่ได้ จากงานวิจัยนี้มีคะแนนทางด้านประสาทสัมผัสเฉลี่ยอยู่ในช่วงของความชอบปานกลาง

ศุภชัย [11] ศึกษากระบวนการอบแห้ง สภาวะที่เหมาะสม และปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง สำหรับการอบแห้งกุ้งกะปิด้วยรังสีความร้อนอินฟราเรด ได้ทำการออกแบบ และสร้างตู้อบแห้ง

ต้นแบบ โดยทำการศึกษาอุณหภูมิที่ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าผลการอบแห้งกะปิโดยใช้ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กะปิที่นำมาอบแห้งมีลักษณะขึ้นมาก ลักษณะเหมือนกะปิที่ไม่ได้ผ่านการ อบหรือตากแดดมาก่อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ลักษณะกะปิแห้งไม่ดี โดยผิวภายนอกแห้งไม่ทั่ว ทั้งก่อน ด้านนอกแห้งแต่ด้านในของกะปียังมีความชื้นอยู่ และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กะปิแห้งดี ทั้งภายนอกและภายใน ตามที่ต้องการสามารถนำไปใช้ปรุงอาหารหรือจำหน่าย และการวิเคราะห์ ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าข้อมูลแต่ละตัวที่นำมาทำการทดลอง ข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ และข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สุวรรณ และ คณะ [12] ศึกษาแนวทางการอบแห้งใบบัวบกเพื่อผลิตเป็นใบบัวบกแห้งขงดื่ม และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งใบบัวบกด้วยการแผ่รังสีได้ แดง และในส่วนสุดท้ายการทดสอบทางประสาทสัมผัส และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะได้ นำเสนอในงานวิจัยนี้ช่วงอุณหภูมิตอบแห้งที่เลือกใช้ในการทดสอบอยู่ระหว่าง 50 - 70 องศาเซลเซียส กำลังของรังสีอินฟราเรดเท่ากับ 500 - 1,500 วัตต์ ขณะที่ใบบัวบกอ้างอิงอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์เพื่อ ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งการทดลองเริ่มจากใบบัวบกสดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 600 มาตรฐานแห้งอบแห้งจนกระทั่งใบบัวบกแห้งมีความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 20 มาตรฐานแห้งจากผลการ ทดลองพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Midilli และคณะสามารถอธิบายจลนพลศาสตร์ของ การอบแห้งใบบัวบกได้ดีที่สุดทุกเงื่อนไขการทดลองเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยของแนวทางการอบแห้งต่าง ๆ ที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์คุณภาพ และความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งใบบัวบกผลการศึกษา พบว่าอุณหภูมิตอบแห้ง และกำลังของรังสีอินฟราเรดส่งผลต่อการอบแห้งทั้งในเรื่องของอัตราการ อบแห้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งโดย พบว่าการอบแห้งใบบัวบกด้วยรังสีอินฟราเรดกำลัง 1,500 วัตต์ อุณหภูมิตอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด (30 นาที) และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุด ใน การศึกษาได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ใบบัวบกแห้งในรูปของชาขงดื่มโดยการประเมิน ทางประสาทสัมผัสพบว่าอุณหภูมิตอบแห้ง และกำลังรังสีอินฟราเรดมีผลต่อคุณลักษณะด้านสีกลิ่น รสชาติและรูปลักษณ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามใบบัวบกแห้งที่อบด้วยรังสี อินฟราเรดที่เงื่อนไขต่างๆ ต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

ณัฐพล [13] การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด เพื่อหา แบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสม และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน ศึกษาค่าความ สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง และสีของขมิ้นชันภายหลังการอบแห้งโดยทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้งภายใต้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน 4 เงื่อนไข ได้แก่ การอบแห้งลมร้อน การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดโดยไม่ควบคุมอุณหภูมิอากาศอบแห้ง และควบคุมอุณหภูมิอากาศอบแห้ง และการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยที่ในทุกการทดลองที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะใช้กำลังอินฟราเรดเท่ากับ 600 800 และ 1,000 วัตต์ อุณหภูมิอากาศอบแห้งเท่ากับ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีที่ใช้ลมร้อนจะใช้ความเร็วของอากาศเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที โดยที่ความชื้นเริ่มต้นของขมิ้นชันอยู่ในช่วงร้อยละ 420 - 640 และอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วงร้อยละ 5 - 10 ผลการศึกษา พบว่า อัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และกำลังของอินฟราเรด โดยที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ และกำลังของอินฟราเรดสูงขึ้นส่งผลทำให้อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งขมิ้นชันด้วยลมร้อน และอัตราส่วนของน้ำหนักของตัวอย่างต่อกำลังของอินฟราเรดสำหรับการอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดตามรูปแบบสมการของ Arrhenius โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และกำลังของอินฟราเรด

เรวดี และ คณะ [14] ศึกษาอัตราการแห้งตัวของขมิ้นชันโดยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบระบบสุญญากาศ เพื่อหาอุณหภูมิ และระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับเนื้อขมิ้นชันที่เหมาะสม เครื่องอบแห้งประกอบด้วยถังอบแห้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 เมตร ยาว 0.8 เมตร ฮีตเตอร์อินฟราเรดขนาด 220 โวลต์ 250 วัตต์ จำนวน 2 หลอด เครื่องทำสุญญากาศขนาด 13.42 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ติดตั้งชุดดักน้ำโดยใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 0.252 กิโลวัตต์ ทดสอบอบเนื้อขมิ้นชันจำนวน 2 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 350 - 400 ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส ทำการปรับเปลี่ยนความดันสัมบูรณ์ 1 5 10 และ 15 กิโลปาสกาล และทำการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างหลอดฮีตเตอร์อินฟราเรดกับชั้นวางขมิ้นชัน 12 15 และ 18 เซนติเมตร อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้าย มีค่าไม่เกินร้อยละ 19 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมการอบแห้งเนื้อขมิ้นชันคือ อุณหภูมิอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 1 กิโลปาสกาล ระยะห่างของฮีตเตอร์อินฟราเรดกับชั้นวางที่ 12 เซนติเมตร ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด 480 นาที สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด 21.67 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และอัตราการอบแห้ง ที่สูงที่สุด 0.172 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากการทำสุญญากาศที่ความดันต่ำ สามารถลดอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำภายในเนื้อขมิ้นชัน และระยะห่างของฮีตเตอร์อินฟราเรดกับวัสดุที่ใกล้กับเนื้อขมิ้นชันให้กำลังของอินฟราเรด ต่อพื้นที่สูงมีผลทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น

Elkin E. Henao-Bravo et al. [15] ได้ศึกษาถึงการพัฒนาระบบควบคุมวาล์วไฟฟ้าเพื่อควบคุมของเหลว ในขั้นตอนการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้า จะเชื่อมต่อกับก้านวาล์วโดยใช้บูสมอเตอร์เพื่อควบคุมการปิด และเปิดของวาล์ว มอเตอร์จะถูกควบคุมด้วย Electronic card และระบบที่ติดตั้ง

โปรแกรมเอาไว้ผ่านระบบสัญญาณอะนาล็อก โดยกำหนดกระแสไฟ 4 - 20 มิลลิแอมป์ แรงดันไฟฟ้า 0 - 10 โวลต์ มีสเตปมอเตอร์ทำหน้าที่ปิดวาล์ว โปรแกรมที่ใช้เขียนควบคุมวาล์ว คือ Arduino mega 2560 เพื่อควบคุมการเปิด และปิดวาล์ว มีอินพุตที่ควบคุมการไหลแบบอะนาล็อก เรียกว่า Data Input ในการออกแบบขั้นตอนแรกบวช และข้อต่อถูกกึ่งกับช่องเปิดที่ปลายของบวช เพื่อหลีกเลี่ยงการเคลื่อนของบวชในเวลาหมุนเพลลา ปัมป์ที่ใช้คือ PKM60 by Pedrollo ที่ 0.37 กิโลวัตต์ มีช่วง output 5 - 4 ลิตร/นาที่ ใช้ใบพัดหมุน FS 300 มีช่วงการวัดที่ 1 - 60 ลิตร/นาที่ ความแม่นยำ 3 เปอร์เซ็นต์ Siemens PCC รุ่น S7 34 C - 2 DP ใช้เพื่อควบคุมระบบเปิดวาล์ว หลังจากทดสอบการเปิด ปิด 5 ครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้คือ วาล์วประตูมีลักษณะการทำงานของวาล์วที่รวดเร็ว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการไหล หากแรงดันไฟฟ้าขาเข้าแตกต่างกันระหว่าง 0 ถึง 1 โวลต์ ในระหว่างการปิด หรือ ระหว่าง 8 ถึง 10 โวลต์ ระบบจะถึงจุดอิมิตัวที่ 21.64 ลิตร/นาที่ สร้างโดเมนในแบบจำลอง Simulink การใช้ PID control เพื่อใช้อนุพันธ์กับสัญญาณขาออก ที่ควบคุมข้อผิดพลาด ผลของการทดสอบ PID control ที่ปรับด้วยกฎ CC พารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบมี  $K_P = 13.5$   $T_I = 46.5$  และ  $T_d = 75$  เมื่อเปรียบเทียบกับ PI แล้วมีความใกล้เคียงกัน TC LAB Arduino มีโหมดควบคุมในการทดสอบคือสวิตช์เปิด ปิด P PI PD และ PID ถูกตั้งโปรแกรมทดสอบ TC LAB ใน Python พารามิเตอร์โมเดล FOPTD จะถูกประมาณจากการตอบสนอง โดยใช้วิธี 2 point method และวิธี PSO ตัวควบคุมจะปรับแต่งโดยใช้กฎ CCA

M. Bahadadir Ozdemir et al. [16] ได้ทำการศึกษาการสร้างแบบจำลองของกระบวนการอบแห้งกาวด้วยอินฟราเรด ผลลัพธ์ที่ถูกต้องทำให้แห้งในระบบ CIRHR ที่อุณหภูมิ 40 45 50 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ กาวที่โดนความร้อนจากรังสีอินฟราเรด เมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการช่วง 10 - 15 นาที ค่าความต่างของอุณหภูมิในอากาศประมาณ 10 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ออกมาจากรอบอยู่ที่ 37 - 21 องศาเซลเซียส ค่า SEC สำหรับกาวในเครื่องอบแห้งด้วยความเร็วลมเดียวกัน ค่า SEC ลดลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าความชื้นเพิ่มขึ้น หรือเมื่อความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้น ในช่วงที่ 2 ของการทดลอง ค่า SEC เพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าความชื้นลดลง และอุณหภูมิของผลกาวที่เพิ่มสูงขึ้น ความผันผวนในช่วงที่ 2 เกิดขึ้นเนื่องจากการควบคุมอุปกรณ์ค่า SEC เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 40 องศาเซลเซียส เป็น 55 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกของการอบแห้ง น้ำที่ระเหยออกมาค่อนข้างสูง แต่เมื่อถึงช่วงสุดท้ายของการอบ น้ำจะอยู่ในระดับที่ต่ำลง เวลาในการอบแห้งกาว และอัตราการใช้พลังงานในการอบแห้งใน CIRHR จะใช้เวลาในการอบแห้งลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น

Can Ertekin and Nursel Heybeli [17] ได้ศึกษาขั้นตอนการอบแห้งของไบมันต์ ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้ไบมันต์ประมาณ 1.34 กรัม เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีการคำนวณปริมาณจาก 10 เปอร์เซ็นต์ใช้เวล 18 27 และ 38 นาที ในการอบ เพื่อให้ได้อุณหภูมิในการอบที่เหมาะสมอยู่ที่ 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

70 และ 60 องศาตามลำดับ ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการอบไอน้ำที่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมอัตราการอบแห้ง ในการอบแห้งแบบหมุนเวียนจะใช้เวลาในการอบอยู่ที่ระหว่าง 5 ชั่วโมง อุณหภูมิในอากาศ 30 องศาและความเร็วลมจาก 0.2 เป็น 0.4 เมตรต่อวินาที เวลาในการอบลดลงจาก 10 ชั่วโมงเหลือ 9 ชั่วโมง 40 นาที ความเร็วลมเพิ่มขึ้นเป็น 0.6 เมตรต่อวินาที และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศจาก 35 องศา เป็น 45 องศา ทำให้เวลาในการอบลดลงประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และที่ 55 องศา เป็น 26.7 เปอร์เซ็นต์ การลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจาก 70 เปอร์เซ็นต์เป็น 59 เปอร์เซ็นต์จะช่วยลดเวลาในการอบแห้งประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ และหากลดความชื้นลงอีก 40 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ลดเวลาลงได้อีก 37.5 เปอร์เซ็นต์ การอบแห้งด้วยอินฟราเรด ทำให้เวลาลดลงอย่างมาก กระบวนการอบด้วยอินฟราเรดจะใช้เวลาประมาณ 3 - 12.5 นาที ขึ้นอยู่กับกำลังของอินฟราเรดและปริมาณของไอน้ำ เมื่อพลังงานของอินฟราเรดลดลงจะทำให้ไอน้ำแห้งมากขึ้นอยู่ระหว่าง 11 - 16 นาที การอบด้วยอินฟราเรดในระบบสุญญากาศจะใช้เวลา 10 - 30 นาที นอกจากนี้ยังมีช่วงเวลาระหว่าง 64 และ 180 นาที สำหรับความเร็วลมในการอบแห้งของค่า IR คงที่ 1,080 วัตต์ต่อเมตร ในการอบอินฟราเรดแบบหมุนเวียน เครื่องอบที่ใช้พลังงานความร้อน Photovol-taic แบบไฮบริด ใช้เวลา 21 ชั่วโมง เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุมความชื้นใช้เวลา 7 ชั่วโมง และการตากแดดตามธรรมชาติจะใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง

P.B de Moura et al. [18] การศึกษาระบบควบคุมดิจิทัล TC LAB Arduino kit การควบคุมอุณหภูมิด้วย Ap monitor TCLA เป็นชุดควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ Arduino เชื่อมกับ usb กับคอมพิวเตอร์ และแหล่งจ่ายไฟ มีเซ็นเซอร์ TMP 36 ส่งค่าอุณหภูมิไปยัง Arduino โดยใช้สัญญาณแรงดันไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นดิจิทัลใน Arduino เป็นมิเตอร์โวลต์โดย  $mV = DL$  อุณหภูมิ  $T = 0.1$  มิลลิโวลต์ -50 มีความแม่นยำของเซ็นเซอร์ TMP 36 คือ +1 องศาเซลเซียส ที่ 25 องศาเซลเซียส สูงสุด +2 องศาเซลเซียส ตลอดช่วง -40 ถึง 150 องศาเซลเซียส หากวัดได้เกิน 1100 องศาเซลเซียส Arduino จะปิดการทำงานเพื่อป้องกันอุปกรณ์ Heatertransistor TIP 31T ทำหน้าที่เป็นเครื่องทำความร้อน และสวิทช์ ถูกควบคุมผ่าน Pulse Width Modulation Heatertransistor สามารถตั้งค่าผ่าน Arduino ได้ตั้งแต่ 0 - 100 เปอร์เซ็นต์ และควบคุมได้หลายเครื่องผ่าน Arduino ตัวเดียว เช่น ตัวที่ 1 ถึง ร้อยละ 65 เป็นเวลา 15 นาที และตัวที่ 2 ถึงร้อยละ 85 เป็นเวลา 5 วินาที ในการออกแบบระบบ การทดสอบการควบคุมการเปิดปิดใน TCLAB ต้องควบคุมด้วย แถบ Hysteresis เพื่อหลีกเลี่ยงความบกพร่องในระหว่างสถานะการส่งสัญญาณเปิด ปิดการควบคุม P-only เนื่องจากปัญหาการเริ่มต้นใหม่ของสถานะ การตอบสนองของระบบ และปัญหาการดำเนินงานของระบบจึง ความผันผวนในช่วงที่ 2 เกิดขึ้นเนื่องจากการควบคุมอุปกรณ์ ค่า SEC เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 40 องศาเซลเซียส เป็น 55 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกของการอบแห้ง น้ำที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหยออกมาค่อนข้างสูง แต่เมื่อถึงช่วงสุดท้ายของการอบ น้ำจะอยู่ในระดับที่ต่ำลง เวลาในการอบแห้งก็วี และอัตราการใช้พลังงานในการอบแห้งใน CIRHR จะใช้เวลาในการอบแห้งลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาวีธีปรับปรุงคุณภาพกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ทำโดยการ ออกแบบ และสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่องอบรังสีอินฟราเรดแบบใช้แก๊ส ปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยมีการควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส รวมทั้งควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น ของแก๊ส จากนั้นนำกล้วยเล็บมือนางเข้าอบในเครื่องอบ เพื่อศึกษาและทดสอบระบบควบคุมของ อุณหภูมิ และความชื้นของเครื่องอบรังสีอินฟราเรดแบบใช้แก๊ส

#### 3.1 การออกแบบ และการสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น

##### 3.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบกล้วยด้วยรังสีอินฟราเรดแบบใช้แก๊ส LPG

3.1.1.1 เครื่องอบรังสีอินฟราเรดแบบใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) (รูปที่ 3.1) โดยตัวเครื่องประกอบด้วย ส่วนรองรับหัวเตาอินฟราเรด ส่วนรองรับถาดวางกล้วย มีการติดตั้งพัดลม ระบายอากาศ ส่วนควบคุมอัตราการไหลเวียนของอากาศร้อน

3.1.1.2 พัดลมระบายอากาศ (รูปที่ 3.2) ยี่ห้อ CNDF TA 15051 HSL - 2 โวลต์ : 220 VAC ผลิตที่ประเทศจีน จำนวน 4 ตัว

3.1.1.3 Gas Flow Meter (รูปที่ 3.3) Regulator 0.35 MPA ขนาด 17 x 6 x 3.5 มิลลิเมตร น้ำหนัก 125 กรัม ตัวเชื่อมต่อ 7 มิลลิเมตร ปรับได้ 1 - 25 ลิตร/นาที

3.1.1.4 Servo Motor รุ่น MG995 (รูปที่ 3.4) แรงบิด 13 กิโลกรัม/เซนติเมตร

3.1.1.5 Butterfly Valve รุ่น RVD - 3 (รูปที่ 3.5)

3.1.1.6 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ type K (รูปที่ 3.6) ช่วงการวัดอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 80 องศาเซลเซียส ความแม่นยำในการวัดความชื้น 2 relative humidity

3.1.1.7 เซนเซอร์วัดความชื้น รุ่น DHT 22 (รูปที่ 3.7) แรงดันไฟ 3.3 - 6 โวลต์ การวัดความชื้น 0 - 10 relative humidity ความแม่นยำในการวัดความชื้น 2 relative humidity

3.1.1.8 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ยี่ห้อ Graphtec รุ่น DL 220 (รูปที่ 3.8) GL 220 Series Multi-Channel Data Logger - 10 Channels - JAPAN เชื่อมต่อโปรบวัดอุณหภูมิ ความชื้น Voltage Isolated input 10 channels Built - in 2 GB Flash Memory เชื่อมต่อ คอมพิวเตอร์ ผ่าน USB

3.1.1.9 บอร์ด Arduino รุ่น Uno R3 (รูปที่ 3.9) Arduino Uno R 3 ผลิตจาก ประเทศจีน รองรับแหล่งจ่ายไฟจาก USB 5 โวลต์ และช่องเสียบไฟ DC 7 - 2 โวลต์ มี Digital Input/Output 14 ขา การเชื่อมต่อแบบ I2 C และ Serial

3.1.1.10 เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้น ยี่ห้อ DIGICON รุ่น HT - 776 (รูปที่ 3.10) จอ LCD ขนาด 52 x 38 มิลลิเมตร หน่วยการวัดความชื้น %RH ใช้ไฟแบตเตอรี่ 1.5 โวลต์

3.1.1.11 วาล์ววัดอัตราการไหลของแก๊ส รุ่น LZB - 6M (รูปที่ 3.11) ความดัน 0.1 เมกะปาสกาล ความสูง 93 มิลลิเมตร

3.1.1.12 เครื่องชั่ง METTLER TOLEDO ยี่ห้อ Mettler - Toledo รุ่น RW00-3221-TH (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.1 เครื่องอบรังสีอินฟราเรดแบบใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG)



รูปที่ 3.2 พัดลมระบายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 Gas flow meter



รูปที่ 3.4 Servo Motor MG 995



รูปที่ 3.5 Butterfly Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ type K



รูปที่ 3.7 เซนเซอร์วัดความชื้น DHT 22



รูปที่ 3.8 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ยี่ห้อ Graphtec รุ่น DL 220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 บอร์ด Arduino รุ่น Uno R3



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้น ยี่ห้อ DIGICON รุ่น HT - 776



รูปที่ 3.11 วาล์ววัดอัตราการไหลของแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 เครื่องชั่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น RW00 – 3221 - TH

### 3.2 การสอบเทียบระบบควบคุมของอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่อง

#### 3.2.1 อุปกรณ์ในการสอบเทียบระบบควบคุมของอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่อง

3.2.1.1 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ยี่ห้อ Graphtec รุ่น DL 220 (รูปที่ 3.8)

3.2.1.2 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น ยี่ห้อ DIGICON รุ่น HT - 776 (รูปที่ 3.10)

#### 3.2.2 วิธีการทดสอบระบบควบคุมของอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่อง

3.2.2.1 นำเทอร์โมคัปเปิล type K ติดตั้งกับเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ยี่ห้อ Graphtec รุ่น DL 220 สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ลงในตำแหน่งที่ใกล้กับกับเซนเซอร์วัดความชื้น DHT 22 ใช้ตัวเทียบโดยเครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้น ยี่ห้อ DIGICON รุ่น HT - 776 สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบความชื้น ติดไว้ด้านในของท่อ pvc หรือตรงกลางท่อ ระหว่างพัดลมระบายอากาศ และดูดอากาศ

3.2.2.2 จากนั้นนำกล้วยเล็บมือนางที่ได้จัดเรียงไว้ทั้ง 3 ถาด เข้าไปในตู้อบ

3.2.2.3 เปิดเครื่องตั้งค่าความร้อนโดยควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบให้อยู่ที่ 60 - 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และจะเก็บค่าของความชื้น และอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที

3.2.2.4 บันทึกผลการทดลอง และนำผลที่ได้มาพล็อตกราฟ ทำซ้ำจนครบทั้ง 3 รอบ

### 3.3 การทดสอบเครื่องกับตัวอย่างกล้วยเล็บมือนาง

เมื่อทำการสอบเทียบอุปกรณ์ระบบควบคุมแล้ว ทำการปรับค่าให้ได้ใกล้เคียงกับเครื่องสอบเทียบ จากนั้นทำการทดลองกับตัวอย่างกล้วยเล็บมือนาง

#### 3.3.1 อุปกรณ์ในการอบกล้วยเล็บมือนาง

3.3.1.1 เครื่องอบกล้วยด้วยรังสีอินฟราเรดที่ติดตั้งระบบควบคุมแล้ว

3.3.1.2. กะละมังพลาสติก

3.3.1.3. มีดสำหรับปอกเปลือกกล้วย

3.3.1.4. เครื่องชั่ง METTLER TOLEDO (รูปที่ 3.12)

### 3.3.2 วิธีการอบกล้วยเล็บมือนาง

3.3.2.1 นำกล้วยเล็บมือนางสุก มาปอกเปลือก จากนั้นนำกล้วยใส่กะละมังที่เตรียมไว้แล้วทำการเขย่ากะละมังเบาๆ เพื่อให้ให้น้ำหวานของกล้วยออกมา

3.3.2.2 นำกล้วยที่เตรียมการจากข้อ 1 เรียงใส่ถาด นำไปชั่งน้ำหนักให้ได้กล้วยถาดละ 1.5 กิโลกรัม จากนั้นนำถาดที่จัดวางกล้วยเรียบร้อยแล้วนำไปใส่ตู้อบ

3.3.2.3 เปิดระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น โดยทำตั้งค่าอุณหภูมิ 60 - 70 องศาเซลเซียส

3.3.2.4 นำกล้วยที่เตรียมแล้วเข้าเครื่องอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วให้นำกล้วยออกมาจากเตาจากนั้น พลิกด้านของกล้วยทั้ง 3 ถาด โดยตั้งทิ้งไว้ให้กล้วยอยู่ที่อุณหภูมิห้อง

3.3.2.5 นำกล้วยเข้าเครื่องอบต่ออีกครั้ง และนำออกมาซึ่งทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นนำหนักของกล้วย (น้ำหนักเฉลี่ยทั้ง 3 ถาดควรให้ใกล้เคียง 657 กรัม)

3.3.2.6 เก็บค่า แล้วบันทึกผล ทำซ้ำแบบเดิม 3 รอบ

### 3.4 การทดสอบหาค่าอัตราการไหลของแก๊ส

#### 3.4.1 อุปกรณ์ในการวัดอัตราการไหล

3.4.1.1 วาล์ววัดอัตราการไหลของแก๊ส (รูปที่ 3.11)

#### 3.4.2 วิธีการหาค่าอัตราการไหลของแก๊ส

3.4.2.1 ติดตั้งวาล์ววัดอัตราการไหลของแก๊สกับถังแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG)

3.4.2.2 จดบันทึกค่าอัตราการไหลของแก๊สจาก วาล์ววัดอัตราการไหลของแก๊ส ทุกๆ 1 ชั่วโมงที่นำตัวอย่างกล้วยออกมาซึ่งน้ำหนัก

3.4.2.3 แปลงหน่วยจาก ลิตร/นาที่ เป็น ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง โดยนำค่าที่อ่านได้จากวาล์ววัดอัตราการไหลของแก๊สมาคูณ 0.06

## บทที่ 4

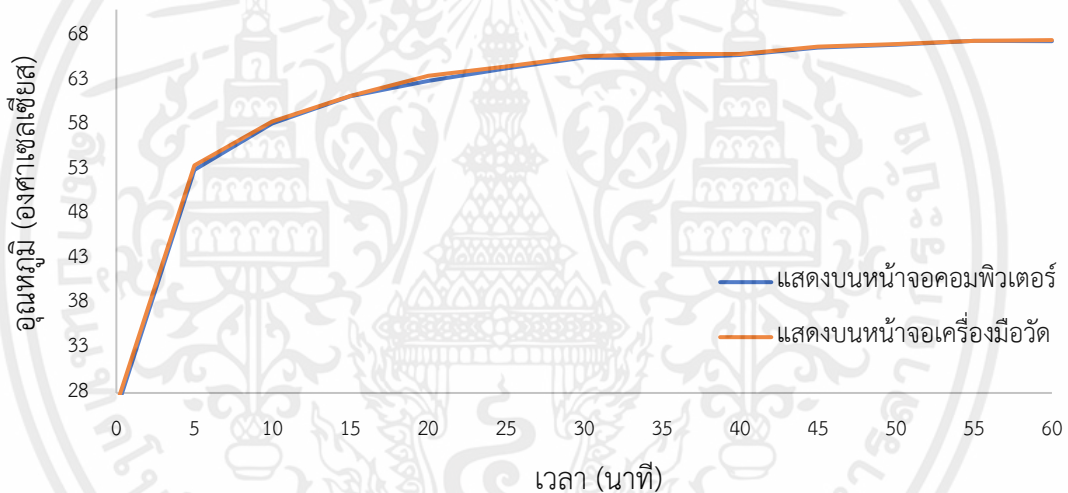
### ผลและวิจารณ์ผล

ผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ข้อ ได้แก่ 1) ผลการสอบเทียบระบบควบคุมของอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่อง 2) ผลการทดสอบเครื่องกับตัวอย่างกล้วยเล็บมือนาง 3) ผลวิเคราะห์เชิง เศรษฐศาสตร์ ผลการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการสอบเทียบระบบควบคุมของอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่อง

##### 4.1.1 การสอบเทียบระบบควบคุมกับอุณหภูมิของอากาศภายในตู้อบ

การวิเคราะห์ผลการสอบการสอบเทียบระบบควบคุมกับอุณหภูมิ อธิบายได้ดังนี้

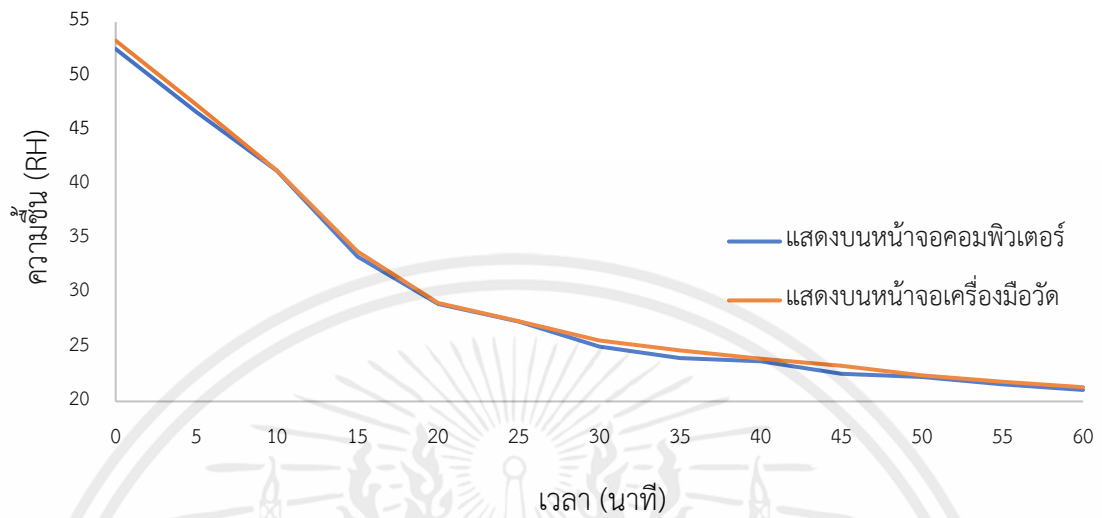


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับเวลาที่แสดงค่าผ่านระบบควบคุม และเครื่องสอบเทียบ

จากกราฟการสอบการสอบเทียบระบบควบคุมกับอุณหภูมิ จากรูป 4.1 พบว่า ค่าของ เครื่องวัดอุณหภูมิ (แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์) กับเครื่องสอบเทียบ (แสดงบนหน้าจอเครื่องมือวัด) แสดงให้เห็นค่าของอุณหภูมิทั้ง 2 มีค่าความผิดพลาดต่างกันเพียงเล็กน้อย

#### 4.1.2 สอบเทียบระบบควบคุมการกับ ความชื้นของอากาศภายในตู้อบ

การวิเคราะห์ผลการสอบการสอบเทียบระบบควบคุมกับความชื้น อธิบายได้ดังนี้



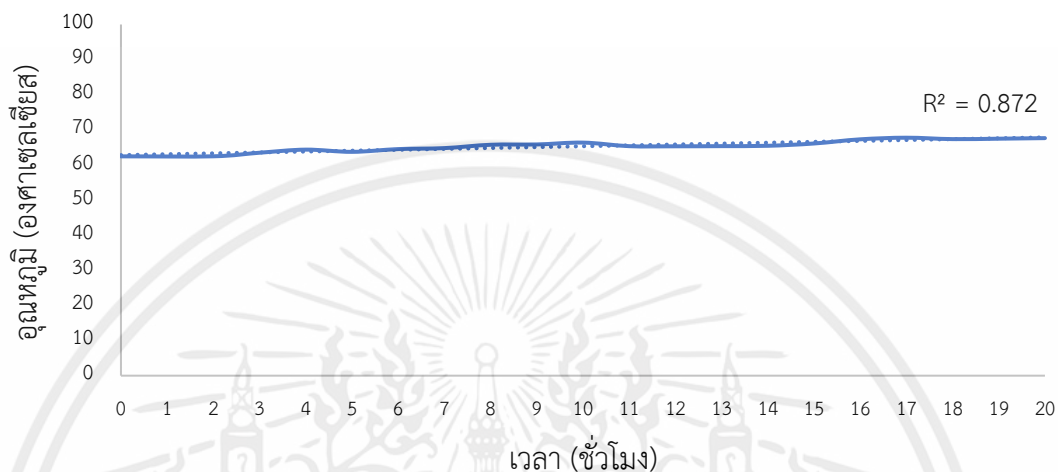
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความชื้น กับเวลาที่แสดงค่าผ่านระบบควบคุม และเครื่องสอบเทียบ

จากกราฟการสอบการสอบเทียบระบบควบคุมกับความชื้น จากรูป 4.2 พบว่า ค่าของเครื่องวัดความชื้น (แสดงบนหน้าจอดีจิตอล) กับเครื่องสอบเทียบ (แสดงบนหน้าจอดีจิตอล) แสดงให้เห็นค่าของความชื้นทั้ง 2 มีความผิดพลาดต่างกันเพียงเล็กน้อย

## 4.2 ผลการทดสอบเครื่องกับตัวอย่างกล้วยเล็บมือนาง

### 4.2.1 ผลการทดสอบหาค่าของอุณหภูมิของอากาศภายในตู้อบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าของอุณหภูมิ อธิบายได้ดังนี้

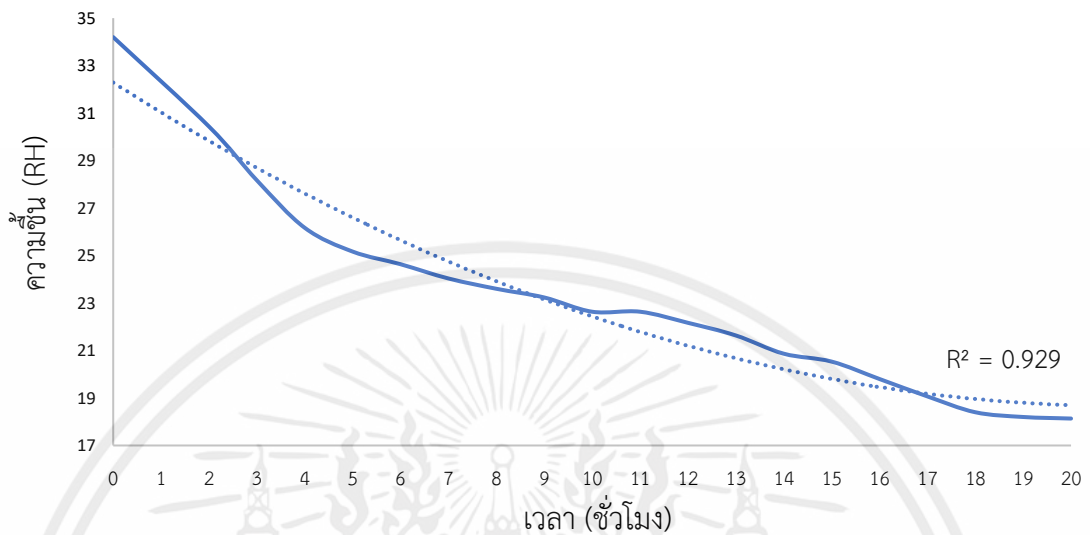


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิเฉลี่ยกับเวลา

จากกราฟการทดสอบหาค่าของอุณหภูมิ จากรูป 4.3 โดยการนำกล้วยน้ำหนักรับน้ำหนัก 1.5 กิโลกรัม/ถาด เข้าไปอบในตู้อบ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง พบว่า ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในเตาอบ อยู่ในช่วงระหว่าง 60 – 70 องศาเซลเซียส และเมื่อดูจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  $R^2 = 0.872$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีการแปรผันกับเวลาที่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น

## 4.2.2 ผลการทดสอบหาค่าของความชื้นของอากาศภายในตู้อบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าของความชื้น อธิบายได้ดังนี้

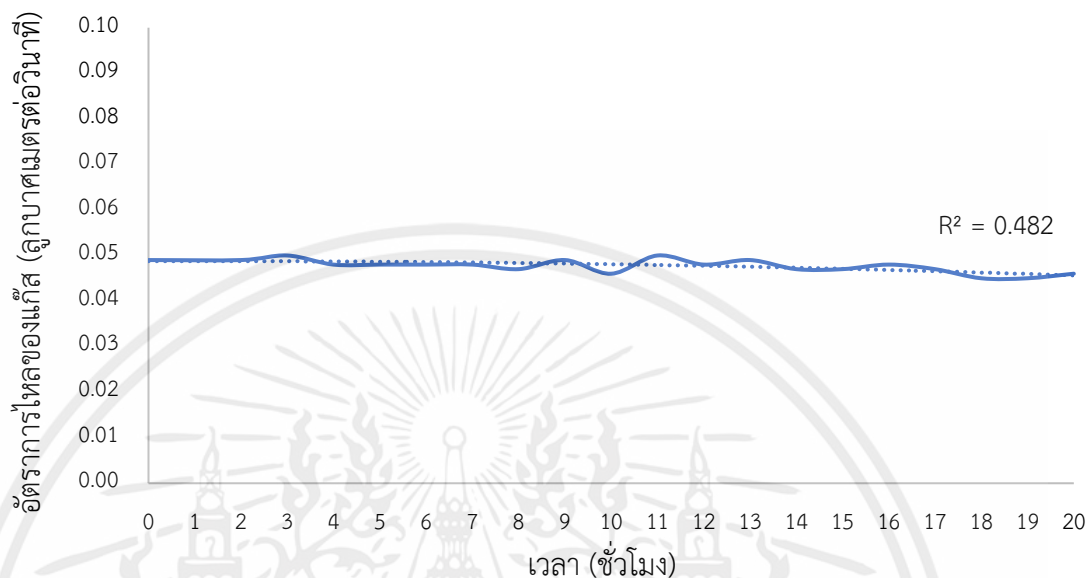


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความชื้นเฉลี่ยกับเวลา

จากกราฟการทดสอบหาค่าของความชื้น จากรูป 4.4 พบว่าใน 4 ชั่วโมงแรกค่าของความชื้น มีการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในกล้วยมีความชื้นที่สูงอยู่ แล้วเมื่อเข้าชั่วโมงที่ 5 ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ และต่อเนื่อง จนกระทั่ง ชั่วโมงที่ 18 ค่าของความชื้นเริ่มคงที่ นั้นแสดงให้เห็นว่าภายในกล้วยเริ่มมีความชื้นที่เหลือน้อย และเมื่อดูที่ค่าของสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ค่า  $R^2 = 0.929$  แสดงให้เห็นว่าความชื้นและเวลา มีความสัมพันธ์กันแบบเอกซ์โพเนนเชียล

#### 4.2.3 ผลการทดสอบหาค่าของอัตราการไหลของแก๊ส

การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าของอัตราการไหลของแก๊ส อธิบายได้ดังนี้

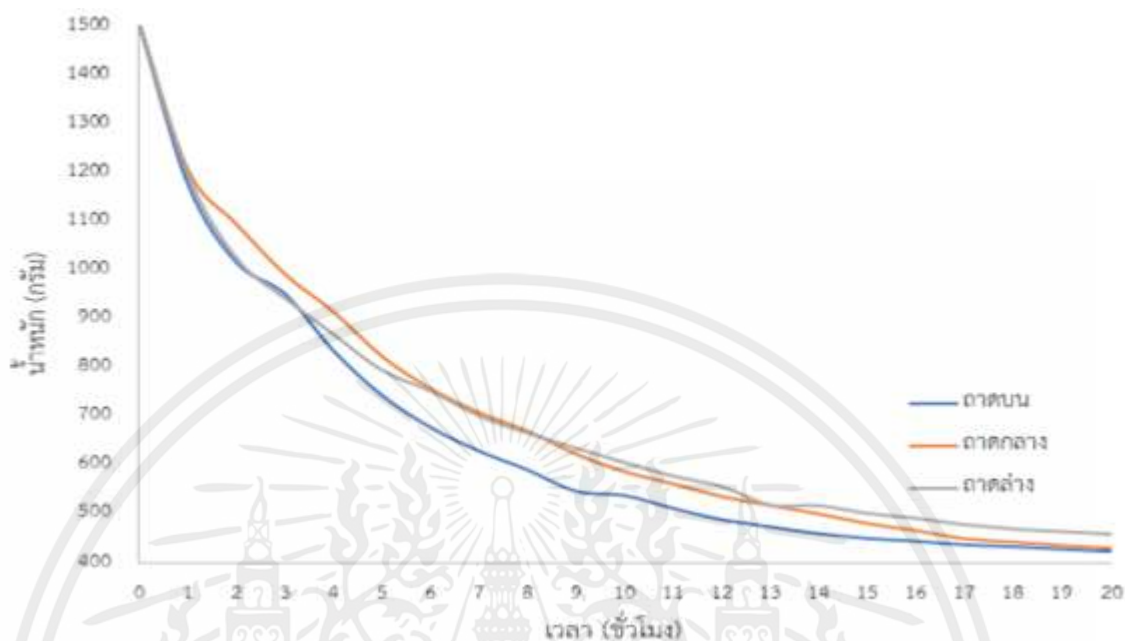


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราการไหลของแก๊สเฉลี่ยกับเวลา

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราการไหลของแก๊สเฉลี่ยกับเวลา รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ตลอดระยะเวลาในการอบ อัตราการไหลของแก๊สเฉลี่ยของผลการอบทั้ง 3 รอบ จะอยู่ในช่วง 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากอัตราการไหลของแก๊สจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายในตู้ เพื่อรักษาให้อุณหภูมิให้คงที่ ดังนั้นอัตราการไหลของแก๊สจึงคงที่เช่นกัน แต่เมื่อดูค่าของสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ค่า  $R^2 = 0.482$  แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของแก๊ส และเวลา มีการแปรผันตรงกันน้อยมาก

#### 4.2.4 ผลการทดสอบหาค่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักกล้วย

การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าของน้ำหนักกล้วยได้ดังนี้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์น้ำหนักกล้วยกับเวลา

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์น้ำหนักกล้วยกับเวลา รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักก่อนการอบกล้วยที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 4.5 กิโลกรัม เมื่ออบน้ำหนักของทั้ง 3 ถาดจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ที่เวลา 18 ชั่วโมง น้ำหนักของทั้ง 3 ถาดจะเริ่มคงที่ การลดลงของน้ำหนักทั้ง 3 ถาดที่รวดเร็วที่สุดคือ ถาดที่อยู่ตำแหน่งบนสุดของตู้อบ ตำแหน่งบนสุดจะได้รับความร้อนมากที่สุดของตัวเครื่องเนื่องจากความร้อนลอยตัวทำให้ความร้อนสะสมอยู่ที่จุดนี้ แต่การลดลงของน้ำหนักกล้วยทั้ง 3 ถาด ในเวลาสุดท้ายมีน้ำหนักกล้วยที่ใกล้เคียงกัน

### 4.3 ผลวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

จากข้อมูลการใช้จ่ายในการลงทุนสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น สามารถวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ได้ดังนี้

#### 4.1.5 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรายปี

จะคิดคำนวณจากต้นทุนในการสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น โดยไม่คิดค่าแรง และค่าซ่อมบำรุงระหว่างการใช้งาน

ต้นทุนการผลิตเครื่องอบกล้วยเล็บมือนางด้วยรังสีอินฟราเรด ที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น แบบอัตโนมัติ

เครื่องอบกล้วยเล็บมือนางด้วยรังสีอินฟราเรด 13,000 บาท

สิ่งที่ได้พัฒนาต่อคือสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น 5,800 บาท

ค่าแรงงาน 180 บาท/วัน

ต้นทุน  $13,000 + 5,800 = 18,800$  บาท

ค่าแรง รายปี  $180 \times 269 = 48,420$  บาท

ระยะคืนทุน  $\frac{18,800}{48,420} = 0.388$  ปี หรือประมาณ 4.656 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากการพัฒนาเครื่องอบกล้วยเล็บมือนางแบบอินฟราเรด โดยการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น เพื่อควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นแบบอัตโนมัติ แทนการควบคุมอุณหภูมิ ด้วยแรงงานคน การออกแบบระบบควบคุมใช้อุปกรณ์ บอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ซึ่งได้แก่ บอร์ด Arduino ร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และเซนเซอร์ความชื้น เพื่อควบคุมการทำงานของ เซอร์โว มอเตอร์ในการปรับอัตราการไหลของแก๊ส และควบคุมวาล์วแบตเตอรี่ไฟสำหรับการ หมุนเวียนของอากาศภายในตู้ โดยการทดลองกับตัวอย่างกล้วยเล็บมือนาง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ 1) การสอบเทียบระบบควบคุมของอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่อง กับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ผลจากการทดลองพบว่าค่าของอุณหภูมิ และความชื้นจากการสอบเทียบ มีค่าความผิดพลาดต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 0.91 เปอร์เซ็นต์ และ 1.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ 2) การทดสอบเครื่องกับตัวอย่างกล้วยเล็บมือนาง อบเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ผล จากการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอุณหภูมิกายในเตาอบ อยู่ในช่วงระหว่าง 60 – 70 องศา เซลเซียส และมีค่า  $R^2 = 0.872$  จากการทดสอบหาค่าของความชื้น พบว่าใน 4 ชั่วโมงแรกค่าของ ความชื้น มีการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในกล้วยมีความชื้นที่สูงอยู่ แล้วเมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 5 ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ และต่อเนื่อง จนกระทั่ง ชั่วโมงที่ 18 ค่าของความชื้นเริ่มคงที่ นั้นแสดงให้เห็นว่าภายในกล้วยเริ่มมีความชื้นที่เหลืออยู่น้อย และมีค่า  $R^2 = 0.929$  โดยมีแรงดันของแก๊สเฉลี่ย ของการอบทั้ง 3 รอบ จะอยู่ในช่วง 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากการอบกล้วยที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 4.5 กิโลกรัม เมื่ออบน้ำหนักของทั้ง 3 ถาดจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนไปถึง เวลา 20 ชั่วโมง พบว่ามี น้ำหนักกล้วยของทั้ง 3 ถาดคงเหลือเฉลี่ย 657 กรัม และน้ำหนักการลดลงของกล้วยถาดที่อยู่ตำแหน่ง บนสุดของตู้อบ มีการลดลงดีที่สุด การสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นของเครื่องอบกล้วย เล็บมือนางด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถคืนทุน ในระยะเวลา 0.28 ปี หรือประมาณ 4 เดือน

## 5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทดลอง

จากการพัฒนาเครื่องอบกล้วยเล็บมือนางแบบอินฟราเรด โดยการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ปัญหาที่พบมีดังนี้

5.2.1 หากเปิดเตาอินฟราเรดทั้ง 2 ด้านพร้อมกันจะทำให้อุณหภูมิภายในเตามีความร้อนที่สูงเกินไป ดังนั้นในการทดลองจึงใช้วิธีการเปิดหัวเตาแค่ข้างเดียวเพื่อลดอุณหภูมิภายในเตา

5.2.2 มีการเปลี่ยนสถานที่ทดลอง เนื่องจากสถานการณ์การระบาดของโรค โควิด - 19

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรใช้เตาอินฟราเรดได้ทั้งสองข้าง

5.3.2 ต้องนำกล้วยแต่ละถาดมาสลับชั้นกันทุกๆ 1 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Treerasak Suakee. (2560). กล้ายเล็บมือนาง. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<http://moslovekue22.blogspot.com/2017/02/leb-mu-nang-kingdom-metaphyta-division.html>
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน. (2562). เทคโนโลยีการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด (Electric Infrared Heating). [Online]. เข้าถึงจาก:  
<http://webkc.dede.go.th/testmax/node/3825>
- [3] Chutima Wongsena, Suwit Phethuayluk and Sujane Promeaun. The optimum conditions study for drying fresh mulch by using hot air oven. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 29 ประจำปี 2562 วิจัยและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน, 1341-1348.
- [4] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. (2559). ความชื้นสมดุล. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0410/equilibrium-moisture-content->
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2547). การอบแห้ง. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<https://ienergyguru.com/2015/09/drying/?fbclid=IwAR3A540iw619ul83QF9xVuBGiv55PqXfD2cMFZzq9oLPx149Pbukli8M25w>
- [6] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. (2560). Cabinet drier/ตู้อบแห้ง. [Online]. เข้าถึงจาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0594/cabinet-drier->
- [7] Thermophysics. (2561). การถ่ายโอนความร้อน. [Online]. เข้าถึงจาก:  
[https://sites.google.com/site/thermophysic/heat/heat\\_transfer](https://sites.google.com/site/thermophysic/heat/heat_transfer)
- [8] สุริยา ศรีวิเศษ. (2563). บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<https://sites.google.com/site/mikhorkhxnthorllexr1/bxrd-mikhorkhxnthorllexr-arduino-uno-r3>
- [9] ธวัชชัย ธรรมขันแก้ว และวีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล. (2559). การประเมินสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพื่อใช้กับวัสดุเกษตร. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<http://www.tsae.asia/data/2012conf/pdf/POE/POE19.pdf>

- [10] ภูมิใจ สอาดโหมม และชนิด สวัสดิ์เสวี. (2560). การอบแห้งเนื้อหมูปดแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศ ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<https://li.tcithaijo.org/index.php/lttech/article/view/29400>
- [11] ศุภชัย แก้วจิ้ง. (2561). ศึกษาอิทธิพลรังสีอินฟราเรดกับการอบแห้งกะปิ. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<http://ird.skru.ac.th/RMS/file/14153.pdf>
- [12] สุภาวรรณ ภูริระวณิชย์กุล, สลิลลา ชาญเชื้อ และยุทธนา ภูริระวณิชย์กุล. (2561). การอบแห้งใบ บัวบกเพื่อผลิตใบบัวบกแห้งขงดื่มด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด. [Online]. เข้าถึงจาก:  
[http://resjournal.kku.ac.th/abstract/18\\_2\\_11.pdf](http://resjournal.kku.ac.th/abstract/18_2_11.pdf)
- [13] ณัฐพล กระจ่าง. (2562). การอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด. [Online]. เข้าถึงจาก:  
[http://digital\\_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files/56910031.pdf](http://digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files/56910031.pdf)
- [14] เรวัต คำวัน, สุรสิทธิ์ เทียงจันตา และสวัสดิ์ กีไสย์. (2562). การหาอัตราการแห้งตัวของขนุน โดยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ. [Online]. เข้าถึงจาก: <https://li01.tcithaijo.org/index.php/lttech/article/view/165131/119602>
- [15] Jafar, R., Shahrour, I., Juran, I., 2010. “Application of Artificial Neural Networks (ANN) to model the failure of urban water mains. Mathematical and Computer Modeling”, 51(9-10): 1170 – 1180.
- [16] Simpson A R., Dandy G C., Murphy L J., 1994. “Genetic algorithms compared to other techniques for pipe optimization. Journal of Water Resources Planning and Management”, 120(4): 423–443.
- [17] Wang, Z.K., Yang, Y.S., Stefka, A.T., Sun, G., Peng, L.H., 2014. Review article: fungal microbiota and digestive diseases. Aliment. Pharmacol. Ther. 39(8), 751–766.
- [18] WANG, D.C., FON, D.S., FANG, W. and SOKHANSANJ, S. 2004. “Development of a visual method to test the range of applicability of thin layer drying equations using MATLAB tools. Dry”. Technol. 22, 1921–1948.
- [19] TOGRUL, H. 2006. “Suitable drying model for infrared drying of carrot”. J. Food Eng. 77, 610–619.
- [20] จิตวิวัฒน์. (2562). หัวเตาอินฟราเรด Model A-802. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<http://www.soonthongas.com/productth996469618035494+Model.+A+802.html>

- [21] เพลาพัดลมระบายความร้อน. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<https://thaipricegood.com/product/oriental-cndf-ta-15052-hsl-2-220-v-0--25-a-17-cm-s162584151-p7108319253.html>
- [22] บริษัท สมหวังทรัพย์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด. (2563). Flow meter (เครื่องมือวัดอัตราการไหล). [Online]. เข้าถึงจาก : <https://www.somwangsub.co.th/17656505/flow-meter>
- [23] Bingo. (2563). MG995 Servo Motor 0-180 องศา. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<https://www.myarduino.net/product/62/mg995-servo-motor-0-180->
- [24] Consolution72. (2563). Butterfly valve 3 นิ้ว. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<https://thai.biggo.com/s/butterfly+valve+3+%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B9%89%E0%B8%A7>
- [25] Consolution72. (2563). สายเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<http://www.consolution72.com/product/17/-k-type-0-400->
- [26] RUNGRUENG INSTRUMENT. (2562). เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น. [Online]. เข้าถึงจาก: <https://www.raspberrypi.com/product/270/-dht22-digital-temperature-and-humidity-sensor-module-am2302>
- [27] Mcucity. (2561). Arduino UNO R3 (พร้อมสาย USB). [Online]. เข้าถึงจาก:  
<https://www.mcucity.com/product/26/arduino-uno-r3-usb-atmega328p-dip28-atmega16u2>
- [28] Ponpe. (2562). TEMP METER. [Online]. เข้าถึงจาก: <https://www.ponpe.com/ph-meter/com-300-detail.html>
- [29] นวภัทรา หนูนาค. (2559). ความคลาดเคลื่อน. [Online]. เข้าถึงจาก:  
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7240/error>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 สอบเทียบด้วยเครื่องมือสอบเทียบกับตัวเซนเซอร์ 1 ชั่วโมง รอบที่ 1

เวลา (นาที)	เซนเซอร์ วัดอุณหภูมิ (°C)	เครื่องสอบเทียบ วัดอุณหภูมิ (°C)	เซนเซอร์ วัดความชื้น (%)	เครื่องสอบเทียบ วัดความชื้น (%)
1	26.52	27.02	52.44	53.54
5	50.35	50.62	50.36	50.87
10	52.74	53.24	48.23	48.27
15	56.56	55.90	35.61	35.36
20	60.29	60.00	30.87	30.14
25	63.40	62.83	29.46	29.02
30	65.67	64.91	26.90	27.48
35	65.83	65.52	25.34	26.14
40	66.32	65.98	25.11	25.43
45	67.45	66.77	23.55	24.22
50	66.94	66.85	23.53	23.41
55	67.33	67.13	22.42	22.36
60	67.58	67.36	22.12	22.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 สอบเทียบด้วยเครื่องมือสอบเทียบกับตัวเซนเซอร์ 1 ชั่วโมง รอบที่ 2

เวลา (นาที)	เซนเซอร์ วัดอุณหภูมิ (°C)	เครื่องสอบเทียบ วัดอุณหภูมิ (°C)	เซนเซอร์ วัดความชื้น (%)	เครื่องสอบเทียบ วัดความชื้น (%)
1	26.00	26.94	55.17	55.79
5	58.42	58.94	49.05	50.02
10	59.06	59.76	45.37	45.64
15	61.31	61.79	38.25	39.07
20	63.47	64.32	30.82	31.08
25	63.59	64.58	27.38	28.05
30	64.78	65.39	25.19	25.36
35	63.81	65.47	24.61	25.25
40	64.02	65.74	23.59	24.09
45	65.38	65.96	22.07	23.42
50	66.72	66.63	22.06	22.17
55	67.38	67.80	21.74	22.07
60	66.96	68.01	21.01	21.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 สอบเทียบด้วยเครื่องมือสอบเทียบกับตัวเซนเซอร์ 1 ชั่วโมง รอบที่ 3

เวลา (นาที)	เซนเซอร์ วัดอุณหภูมิ (°C)	เครื่องสอบเทียบ วัดอุณหภูมิ (°C)	เซนเซอร์ วัดความชื้น (%)	เครื่องสอบเทียบ วัดความชื้น (%)
1	25.53	26.07	50.06	51.38
5	50.27	51.05	40.78	41.91
10	62.84	63.87	29.81	30.09
15	65.97	65.99	26.24	27.05
20	65.32	66.32	25.39	26.39
25	66.21	66.42	25.28	25.07
30	66.50	66.78	23.07	24.59
35	66.87	67.01	22.11	23.10
40	67.35	67.49	22.39	22.27
45	67.43	67.87	22.09	22.11
50	67.59	67.92	21.18	21.58
55	67.77	67.92	20.60	20.98
60	67.86	68.02	20.07	20.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 น้ำหนักของกล้วยที่นำออกมาซึ่งทุกๆ 1 ชั่วโมง ที่การอบ 20 ชั่วโมง รอบที่ 1

เวลา (ชั่วโมง)	ถาดที่ 1 (กรัม)	ถาดที่ 2 (กรัม)	ถาดที่ 3 (กรัม)
1	1173	1356	1158
2	1013	1126	991
3	913	1011	927
4	835	956	840
5	740	866	765
6	671	796	700
7	621	744	647
8	577	697	606
9	545	657	572
10	515	622	545
11	492	591	523
12	474	563	505
13	460	542	490
14	449	523	477
15	439	506	469
16	433	492	461
17	426	479	454
18	421	468	448
19	420	463	446
20	418	457	444

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 น้ำหนักของกล้วยที่นำออกมาซึ่งทุกๆ 1 ชั่วโมง การอบ 20 ชั่วโมง รอบที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	ถาดที่ 1 (กรัม)	ถาดที่ 2 (กรัม)	ถาดที่ 3 (กรัม)
1	1176	1269	1223
2	1016	1136	1078
3	986	1033	972
4	819	935	882
5	731	837	812
6	683	792	763
7	639	748	712
8	611	710	688
9	573	662	657
10	552	627	626
11	531	608	604
12	505	588	580
13	488	570	516
14	477	554	545
15	462	539	528
16	455	532	521
17	447	520	511
18	444	514	505
19	436	508	495
20	432	500	487

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 น้ำหนักของกล้วยที่นำออกมาซึ่งทุกๆ 1 ชั่วโมง ที่การอบ 20 ชั่วโมง รอบที่ 3

เวลา (ชั่วโมง)	ถาดที่ 1 (กรัม)	ถาดที่ 2 (กรัม)	ถาดที่ 3 (กรัม)
1	1174	1296	1197
2	1014	1129	998
3	952	1041	924
4	847	962	878
5	756	876	803
6	677	795	789
7	626	743	740
8	582	715	700
9	521	661	671
10	546	623	642
11	511	599	603
12	486	568	581
13	473	554	546
14	453	536	527
15	449	509	504
16	445	487	489
17	438	462	467
18	434	458	452
19	428	449	448
20	420	445	442

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 อบกัวยเล็บบมีอนางเป็นเวลา 20 ชั่วโมง รอบที่ 1

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของแก๊ส (m <sup>3</sup> /h)
1	34.0	62.50	0.048
2	30.1	62.59	0.048
3	27.9	63.25	0.045
4	26.2	64.50	0.042
5	25.0	63.75	0.042
6	24.6	64.62	0.042
7	24.0	64.63	0.045
8	23.5	65.63	0.045
9	23.1	65.70	0.048
10	22.8	65.26	0.048
11	22.6	65.33	0.048
12	22.0	65.36	0.054
13	21.6	65.37	0.048
14	20.9	65.54	0.054
15	20.5	65.98	0.045
16	19.8	67.28	0.045
17	19.0	67.73	0.048
18	18.4	68.25	0.042
19	18.2	67.35	0.045
20	18.3	67.54	0.048

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 อบกัวยเล็บมีอนางเป็นเวลา 20 ชั่วโมง รอบที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของแก๊ส (m <sup>3</sup> /h)
1	34.2	62.35	0.048
2	30.7	62.36	0.051
3	28.2	63.61	0.042
4	26.3	64.22	0.042
5	25.4	63.82	0.045
6	24.8	64.52	0.045
7	24.1	64.89	0.045
8	23.7	65.78	0.045
9	23.4	65.99	0.048
10	22.6	66.38	0.048
11	22.5	65.29	0.048
12	22.1	65.41	0.054
13	21.8	66.23	0.054
14	21.0	66.39	0.051
15	20.7	66.10	0.051
16	20.0	67.51	0.048
17	19.2	67.66	0.048
18	18.3	67.34	0.045
19	18.1	67.63	0.042
20	18.0	67.75	0.042

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 อบกัวยเล็บมีอนางเป็นเวลา 20 ชั่วโมง รอบที่ 3

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของแก๊ส (m <sup>3</sup> /h)
1	34.4	62.50	0.051
2	30.5	62.46	0.042
3	28.4	63.59	0.051
4	26.0	64.37	0.054
5	25.1	63.63	0.045
6	24.5	64.42	0.042
7	24.0	64.87	0.042
8	23.6	65.84	0.042
9	23.2	65.83	0.042
10	22.5	66.46	0.045
11	22.8	65.45	0.048
12	22.4	65.17	0.048
13	21.5	65.49	0.048
14	20.7	65.45	0.051
15	20.4	66.25	0.048
16	19.6	67.11	0.057
17	19.0	67.89	0.054
18	18.5	67.48	0.048
19	18.3	67.47	0.045
20	18.1	67.62	0.045

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล	นายฉัตรมนตรี มนตรีภักดิ์
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2541
ภูมิลำเนา	จังหวัดเพชรบุรี
ที่อยู่	75/6 หมู่ 3 ตำบล ทับคาบ อำเภอเขาชัย้อย จังหวัดเพชรบุรี 76140

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ปีการศึกษา 2556 จากโรงเรียนพรหมานุสรณ์ จังหวัดเพชรบุรี
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนพรหมานุสรณ์ จังหวัดเพชรบุรี
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวณัฐนิชา แซ่ฉั่ว  
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 5 กันยายน พ.ศ.2540  
 ภูมิลำเนา จังหวัดตรัง  
 ที่อยู่ 195/1 หมู่ 1 ตำบล ท่าพญา อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง 92140

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ปีการศึกษา 2556 จากโรงเรียนย่านตาขาวรัฐชนูปถัมภ์
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนย่านตาขาวรัฐชนูปถัมภ์
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาววรรณิศา สัญกุล  
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ.2542  
 ภูมิลำเนา จังหวัดตรัง  
 ที่อยู่ 80/10 หมู่ 1 ตำบล ควนปริง อำเภอ  
 เมืองตรัง จังหวัดตรัง 92000

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ปีการศึกษา 2556 จากโรงเรียนมัธยมวัดควนวิเศษมูลนิธิ จังหวัดตรัง
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนสภาราชินี2 จังหวัดตรัง
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้