

การพัฒนาตูรมไอน้ำผักผลไม้สำหรับการเก็บรักษา  
DEVELOPMENT OF A FUMIGATION CHAMBER FOR POST- HARVEST  
PRESERVATION OF FRUITS AND VEGETABLES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

การพัฒนาตูรมไอน้ำผักผลไม้สำหรับการเก็บรักษา

DEVELOPMENT OF A FUMIGATION CHAMBER FOR POST- HARVEST  
PRESERVATION OF FRUITS AND VEGETABLES



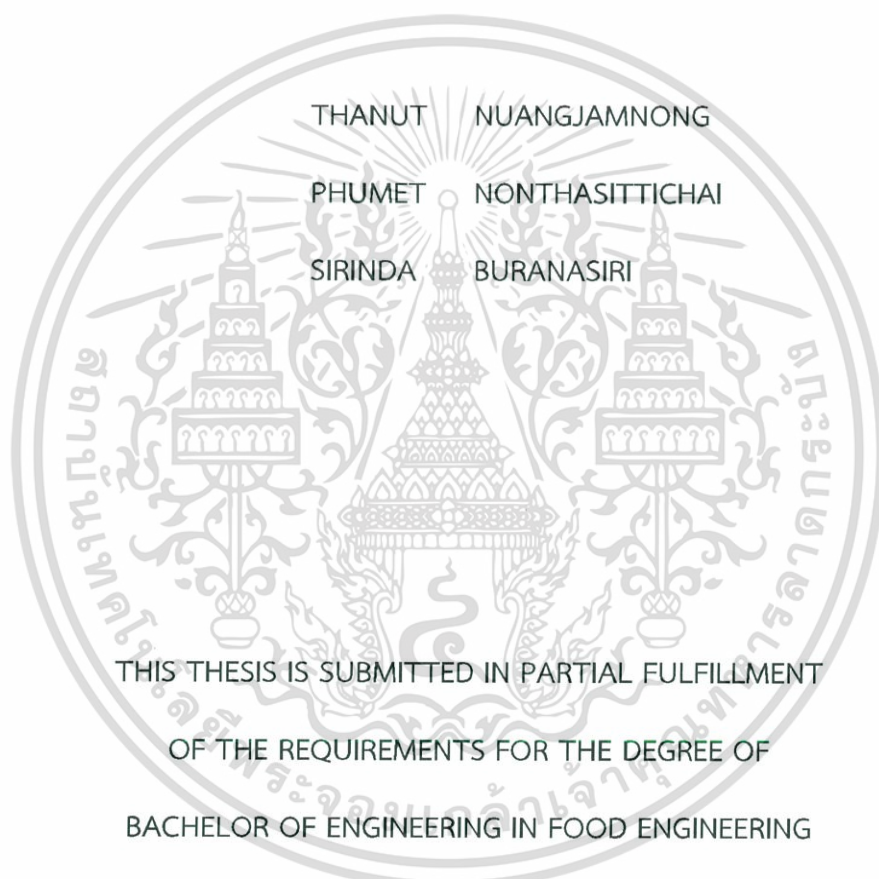
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF A FUMIGATION CHAMBER FOR POST- HARVEST  
PRESERVATION OF FRUITS AND VEGETABLES



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING  
KING MINGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาตู้รมไอน้ำผักผลไม้สำหรับการเก็บรักษา

Development of a Fumigation Chamber for Post-Harvest Preservation of Fruits and Vegetables

ผู้จัดทำ

1. นายธัช

เนื่องจำนงค์

2. นายภูเมธ

นนทสิทธิ์ชัย

3. นางสาวสิรินดา

บุรณศิริ



(ผศ.ดร. มาถุที ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ดร. พิมพ์ขวัญ หาญนันทอนันต์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การพัฒนาตุ้มไอดีผลไม้สำหรับการเก็บรักษา	
โดย	นายธัช	เนื่องจำนงค์
	นายภูเมธ	นนทสิทธิ์ชัย
	นางสาวสิรินดา	บุรณศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาฤดี	ผ่องพิพัฒน์พงศ์
	ดร.พิมพ์ขวัญ	หาญนันทอนันต์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันผักและผลไม้สดมีปัญหาการสูญเสียจากการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยวรวมทั้งปัญหาการตกค้างของสารเคมีที่ช่วยในการเก็บรักษา โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบตุ้มไอดีผลไม้ด้วยไฮดรอกซีสารละลายน้ำส้มสายชูซึ่งเป็นสารอินทรีย์ เพื่อช่วยปัญหาการสูญเสียผักผลไม้ที่เกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์และลดปัญหาการตกค้างของสารเคมี ตุ้มไอดีที่ออกแบบประกอบด้วยโครงสร้างที่มีปริมาตรบรรจุ 150 ลิตร ติดตั้งภายในตู้เย็น ไอที่ใช้เป็นไอจากสารละลายน้ำส้มสายชูเข้มข้น 8% ผลิตด้วยเครื่องฟอนอัลตราโซนิค อัตราการไหลของไอเท่ากับ 0.42 เมตร<sup>3</sup>ต่อนาที มีระบบ Arduino ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นระหว่างการบ่มภายในตู้เพื่อให้อุณหภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 10-25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-100% จากการทดสอบการทำงานของตุ้ม พบว่าการบ่มตัวอย่างบนจานเพาะเชื้อด้วยไฮดรอกซีสารละลายน้ำส้มสายชูเป็นเวลานาน 4 นาที ไอน้ำส้มสายชูสามารถยับยั้งเชื้อ *C. gloeosporioides* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของผลไม้บนจานเพาะเชื้อลงได้ ผลที่ได้อยู่ในระหว่างการนำไปดำเนินการทดสอบกับการบ่มผักผลไม้ เช่น มะม่วง ต่อไป

**Report Title** Development of a Fumigation Chamber for Post-Harvest Preservation of Fruits and Vegetables

**Students** Mr. Thanut Nuangjamnong  
Mr. Phumet Nonthasittichai  
Miss Sirinda Buranasiri

**Project Advisor** Asst.Prof.Dr.Maradee Phongpipatpong  
Dr.Pimkhuan Hannanta-anan

**Submitted for** Bachelor's Degree in Food Engineering, Major of Food Engineering  
Faculty of Engineering  
King's Mongkut Institute of Technology Ladkrabang

### ABSTRACT

In this study, we designed and fabricated the fumigated chamber with vinegar to prevent microbial growth during storage. 8% vinegar solution was used and atomized by ultrasonic system. The chamber was 150 L in volume inserted within a refrigeration unit. The gas flow rate to the chamber is 0.42 m<sup>3</sup>/min. The Arduino system is used to control fumigation temperature within 10 - 25 °C and maintain the relative humidity between 90 - 100%. Our initial experiment showed that a treatment of a petri dish-grown pathogenic fungus *C.gloeosporioides* with our fumigation system inhibited the fungal growth within 4 minutes, reducing the treatment time from previous systems by half

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และคอยชี้แนะให้คำปรึกษา แนะนำการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้ทดลอง

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความกรุณา คอยอบรมสั่งสอน ให้ความรู้แก่ผู้ทดลอง และคอยสนับสนุนผู้ทดลอง

ขอขอบคุณพี.โท นายราชธานี ผดุงเจริญ ที่คอยสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ทดลอง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมา และเป็นแรงบันดาลใจให้โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์



นายธัช เนืองจำนงค์

นายภูเมธ นนทสิทธิชัย

นางสาวสิรินดา บุณศิริ

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	viii
สารบัญรูปภาพ	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงาน	2
1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ปัญหาหลังการเก็บเกี่ยว	3
2.2 เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว	4
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว	7
2.4 ลักษณะทั่วไปของมะม่วงน้ำดอกไม้	7
2.5 น้ำส้มสายชู	11
2.5.1 องค์ประกอบของน้ำส้มสายชู	12
2.5.2 ฤทธิ์ของน้ำส้มสายชูในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์	12
2.5.3 วิธีการทำไอกรดน้ำส้มสายชู	12
2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สด้วย Gas Chromatography (GC)	13
2.7 หลักการอัลตราโซนิกและการนำไปประยุกต์ใช้	15

2.8 ระบบควบคุมอัตโนมัติ	18
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน</b>	<b>25</b>
3.1 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาลักษณะของไอ	25
3.1.1 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	25
3.1.2 การศึกษาการกระจายของไอน้ำส้มสายชู	25
3.1.3 การศึกษาข้อมูลการออกแบบตู้รมไอน้ำส้มสายชู	26
3.2 การออกแบบระบบควบคุม	27
3.2.1 บอร์ด Arduino mega 2560 ในการควบคุมและแสดงการทำงานของตู้รมไอ	27
3.2.2 โปรแกรม Arduino IDE สำหรับควบคุมการทำงานของบอร์ด Arduino	28
3.3 ขั้นตอนการออกแบบระบบรมไอน้ำส้มสายชู	28
3.4 วิธีการทดลอง	29
3.4.1 การทดสอบการทำงานของตู้รมไอเบื้องต้น	29
3.4.2 การทดสอบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้รมไอน้ำส้มสายชู	30
3.4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ <i>C.gloeosporioides</i> บนจานเพาะเชื้อ	30
3.4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ <i>C.gloeosporioides</i> บนผลมะม่วงน้ำดอกไม้	31
3.4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงตำหนิบนผิวมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการรมไอน้ำส้มสายชู	31
3.4.6 การศึกษาปริมาณกรดอะซิติกในไอน้ำส้มสายชู	32
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	<b>34</b>
4.1 ผลทดสอบการทำงานของตู้รมไอเบื้องต้น	34
4.2 เภนธ์การออกแบบส่วนประกอบของตู้รมไอน้ำส้มสายชู	34
4.2.1 โครงสร้างตู้รมไอน้ำภายใน	34
4.2.2 อุปกรณ์การผลิตไอน้ำส้มสายชู	35

4.2.3 ระบบทำความเย็น	36
4.2.4 ระบบควบคุมและเซนเซอร์	36
4.3 การออกแบบตู้รมไอน้ำส้มสายชู	39
4.3.1 ส่วนของตู้รมไอน้ำส้มสายชู	39
4.4 การประกอบตู้รมไอน้ำ	43
4.5.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้รมกรดไอน้ำส้มสายชู	46
4.5.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ <i>C. gloeosporioides</i> บนจานเพาะเชื้อ	49
4.5.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ <i>C. gloeosporioides</i> บนผลมะม่วงน้ำดอกไม้	51
4.5.4 คุณสมบัติมะม่วง	52
4.5.5 ผลการเกิดตำหนิบนผิวมะม่วง	52
4.2.7 ผลการวิเคราะห์ไอกรดอะซิติก	58
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>60</b>
5.1 ตู้รมไอน้ำด้วยกรดน้ำส้มสายชู	60
5.2 ผลการทดสอบการทำงานของตู้ ที่ 3 สภาวะ คือ	60
5.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อบนจานเพาะเชื้อ	60
5.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อในมะม่วง	60
5.5 ผลการศึกษาตำหนิบนผิวมะม่วงหลังการรมไอน้ำส้มสายชู	61
5.6 ผลการศึกษาองค์ประกอบของแก๊สในตู้รมไอน้ำ	61
5.7 ข้อเสนอแนะ	61
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>63</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>67</b>
ภาคผนวก ก.	68
ภาคผนวก ข.	73

ภาคผนวก ค.

77

ภาคผนวก ง.

82



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของมะม่วงน้ำดอกไม้ (สุก) ปริมาณ 100 g ของน้ำหนักผล	9
ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของอัลตราโซนิก	17
ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองการรมไอน้ำสัมผายชูบนมะม่วง	31
ตารางที่ 4.1 เกณฑ์ส่วนประกอบโครงสร้างตูรมไอน้ำภายใน	34
ตารางที่ 4.2 เกณฑ์ส่วนประกอบการผลิตทำไอน้ำสัมผายชู	35
ตารางที่ 4.3 เกณฑ์ระบบทำความเย็น	36
ตารางที่ 4.4 เกณฑ์ระบบควบคุมและเซนเซอร์	36
ตารางที่ 4.5 เกณฑ์ส่วนประกอบอื่นๆของระบบ	36
ตารางที่ 4.6 ชั้นส่วนอุปกรณ์ของส่วนประกอบต่าง ๆ ของตูรมไอน้ำ	39
ตารางที่ 4.7 ส่วนทำไอของระบบ	41
ตารางที่ 4.8 ส่วนระบบทำความเย็น	42
ตารางที่ 4.9 ส่วนประกอบอื่นๆของระบบ	43
ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของตำหนิบนผิวมะม่วงระหว่างการรมไอน้ำ	52
ตารางที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า p-value	53

## สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 ลักษณะผลและใบของมะม่วงน้ำดอกไม้	8
ภาพที่ 2.2 มะม่วงน้ำดอกไม้	8
ภาพที่ 2.3 Direct Piezo Effect	16
ภาพที่ 2.4 Indirect Piezo Effect	16
ภาพที่ 2.5 วงจรรีเลย์ควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟ	20
ภาพที่ 2.6 ลักษณะภายในรีเลย์โมดูล	21
ภาพที่ 2.7 แสดงสัญญาณดิจิทัลปิด (Low 0) และ เปิด (High 1)	21
ภาพที่ 2.8 ความกว้างของสัญญาณ	22
ภาพที่ 3.1 ตู้ทดลองการมไอเบื้องต้น	26
ภาพที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์ระบบควบคุม	28
ภาพที่ 3.3 โปรแกรม Arduino	28
ภาพที่ 3.4 ตู้การทดลองเบื้องต้น	30
ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่ชั่งที่เปลี่ยนแปลงและตำแหน่งการวางที่ชั่ง	34
ภาพที่ 4.2 รูปแบบของตุ้มน้ำ	37
ภาพที่ 4.3 รูปแบบตุ้มน้ำ (มุมมองด้านบน)	37
ภาพที่ 4.4 รูปแบบของตุ้มน้ำ (มุมมองด้านซ้าย)	38
ภาพที่ 4.5 รูปแบบของตุ้มน้ำ (มุมมองด้านขวา)	38
ภาพที่ 4.6 ตุ้มน้ำภายใน	38
ภาพที่ 4.7 ตุ้มน้ำภายใน (มุมมองด้านหลัง)	38

ภาพที่ 4.8 ส่วนทำโอ	44
ภาพที่ 4.9 ตู้รมไอน์แบบสำหรับผักผลไม้	45
ภาพที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอน์และน้ำส้มสายชูตั้งต้น 25 องศาเซลเซียส	46
ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และการรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอน์และน้ำส้มสายชูตั้งต้น 25 องศาเซลเซียส	46
ภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอน์ 10 องศาเซลเซียสและน้ำส้มสายชูตั้งต้น 25 องศาเซลเซียส	47
ภาพที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และการรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอน์ 10 องศาเซลเซียส น้ำส้มสายชูตั้งต้น 25 องศาเซลเซียส	47
ภาพที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอน์และน้ำส้มสายชูตั้งต้น 10 องศาเซลเซียส	48
ภาพที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และการรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอน์และน้ำส้มสายชูตั้งต้น 10 องศาเซลเซียส	48
ภาพที่ 4.16 จานเพาะเชื้อรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	49
ภาพที่ 4.17 จานเพาะเชื้อรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	50
ภาพที่ 4.18 จานเพาะเชื้อรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	50
ภาพที่ 4.19 มะม่วงรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที	51
ภาพที่ 4.20 มะม่วงรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที	51
ภาพที่ 4.21 มะม่วงรมไอน์น้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที	51
ภาพที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการการเปลี่ยนแปลงตำหนิบนผิวมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลาร่มไอน์ 1 นาที	54
ภาพที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการการเปลี่ยนแปลงตำหนิบนผิวมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลาร่มไอน์ 1 นาที	55

ภาพที่ 4.24	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการเปลี่ยนแปลง ตำหนักบนผิวมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลารมไอ 8 นาที	55
ภาพที่ 4.25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการเปลี่ยนแปลง ตำหนักบนผิวมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลารมไอ 8 นาที	56
ภาพที่ 4.26	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการเปลี่ยนแปลง ตำหนักบนผิวมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลารมไอ 15 นาที	56
ภาพที่ 4.27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการเปลี่ยนแปลง ตำหนักบนผิวมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลารมไอ 15 นาที	57
ภาพที่ 4.28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกและเวลาในการรมไอน์ ณ สภาวะที่ 1 อุณหภูมิตุ้มไอและที่อุณหภูมิน้ำส้มสายชู 25 องศาเซลเซียส	58
ภาพที่ 4.29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกและเวลาในการรมไอน์ ณ สภาวะที่ 2 อุณหภูมิตุ้มไอ 10 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิน้ำส้มสายชู 25 องศาเซลเซียส	58
ภาพที่ 4.30	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกและเวลาในการรมไอน์ ณ สภาวะที่ 3 อุณหภูมิตุ้มไอและอุณหภูมิน้ำส้มสายชู 10 องศาเซลเซียส	59

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงาน

โดยทั่วไปผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวหากไม่นำไปบริโภคทันทีจะสามารถเน่าเสียได้ การสูญเสียอาจมีปริมาณสูง :ซึ่งเกิดจากสาเหตุสำคัญ 3 ประการคือ 1) สูญเสียจากการตัดแต่งส่วนที่ไม่ใช้ทิ้ง 57-79% 2) สูญเสียจากโรคพืช 75-79% และ 3) สูญเสียจากแมลง 16-44% (El-Ramady et al., 2015, ดนัย,2549) หากพิจารณาถึงการสูญเสียจากการเน่าเสีย ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น การเกิดปฏิกิริยาเอนไซม์ที่เกิดในผัก การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพจากการกระทบกระเทือนในระหว่างการขนส่ง แมลงเข้าทำลาย และการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญโดยเฉพาะในประเทศไทย เนื่องจากมีอากาศที่ร้อนชื้นเหมาะแก่การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ นับเป็นการสูญเสียที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง (ดนัย,2549) แต่อย่างไรก็ตามการป้องกันและการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การล้างด้วยสารละลายคลอรีน การใช้ความร้อน การบ่มด้วยแก๊ส เช่น SO<sub>2</sub> แต่การใช้สารเคมีในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์มักสร้างความกังวลเกี่ยวกับสารตกค้าง (Krusong et al.,2015 ; อังคณา,2561) นอกจากนั้น การใช้ความร้อนและการใช้สารประกอบแคลเซียม มักสร้างปัญหาทำให้ผักและผลไม้เกิดตะหนิ (พัชรี และคณะ,2534 ; ชัยณรงค์,2560)

มีรายงานการศึกษาว่าการรมไอน้ำผักและผลไม้ด้วยแก๊สที่เป็นกรดน้ำส้มสายชูมีข้อได้เปรียบหลายประการ โดยปริมาณกรดน้ำส้มสายชูที่ใช้เป็นกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้นต่ำ มีประสิทธิภาพในการควบคุมการลดลงของสปอร์และเชื้อราไม่ทำให้ผักและผลไม้เกิดดำหนิ (Sholberg & Gaunce,1995) ยิ่งกว่านั้น กรดน้ำส้มสายชูได้มาจากการหมักธรรมชาติ จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ปลอดภัย และไม่มีสารพิษตกค้าง (Krusong et al.,2015; Sholberg et al., 2000) มีการนำไปประยุกต์ใช้กับผักผลไม้หลายชนิดได้เป็นผลดี เช่น ผักชี (Krusong et al.,2015) แอปเปิ้ล (Sholberg & Gaunce,1995) มะขามหวานพันธุ์สีทอง (นฤมล และคณะ,2558)

นอกจากนั้นอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศยังเป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการเก็บรักษาอาหาร มีการแนะนำวิธีการแช่เย็นควบคู่กับกรรมวิธีแปรรูปอื่นๆ เช่น การหมักหรือการพาสเจอร์ไรซ์ เพื่อยืดอายุให้กับอาหาร โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาผักและผลไม้อยู่ในช่วง 5-15 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ได้นานยิ่งขึ้น ผลไม้บางชนิดที่เป็นผลไม้หน้าร้อนไม่ควรเก็บที่อุณหภูมิต่ำเกินไป เนื่องจากจะเกิดอาการสะท้านหนาวของผลไม้ได้ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาผักและผลไม้หากต่ำเกินไป จะส่งผลให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำ และหากสูงมากเกินไปสามารถทำให้เชื้อราเจริญเจริญเติบโตได้ดี ผลิตผลอาจเกิดการเน่าเสียได้ (จริงแท้,2546)

โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบตู้บ่มสำหรับเก็บรักษาผักและผลไม้ด้วยไอของสารละลายกรดน้ำส้มสายชู ร่วมกับการใช้ความเย็น ทำการสร้างและทดสอบการใช้งานของตู้บ่มที่ออกแบบ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงาน

1. ศึกษากรรมวิธีการรมไอแก๊สเพื่อช่วยลดการสูญเสียและยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้
2. ศึกษาลักษณะของตูรมไอและทำการออกแบบตูรมไอผักและผลไม้

### 1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน

1. ศึกษาการออกแบบตูรมไอสำหรับเก็บรักษาผักและผลไม้ ขนาดไม่เกิน 200 ลิตร
2. ไอที่ใช้ในตูรมได้จากสารละลายกรดน้ำส้มสายชู
2. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการศึกษา คือ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถได้รูปแบบของตูรมไอที่ใช้เก็บรักษาผักผลไม้
2. ช่วยยืดอายุการเก็บผักและผลไม้ได้นานขึ้น เป็นผลดีในด้านเศรษฐกิจและเพิ่มมูลค่าให้กับผักผลไม้
3. สามารถนำข้อมูลที่ได้ ไปขยายขนาดตูรมไอที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ปัญหาหลังการเก็บเกี่ยว

โดยทั่วไปภาคเกษตรกรรมมักมีปัญหาหลังการเก็บเกี่ยวที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร เช่น ผักและผลไม้เกิดการเสื่อมเสีย ซึ่งมีสาเหตุหลักสำคัญ 3 ประการ คือ

1. การเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์ เป็นโปรตีนที่พบในสิ่งมีชีวิต มีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในเซลล์ และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เช่น การสลายโมเลกุลของสารอาหารที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง รวมทั้งเร่งการสังเคราะห์สารต่างๆ ภายในเซลล์เมื่อผักและผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวเอนไซม์ที่ยังคงทำหน้าที่อยู่จะไปเร่งการสลายโมเลกุลของอาหาร เช่น เร่งให้ผลไม้สุก สีเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลือง เปลี่ยนสตาร์ช (starch) ให้เป็นน้ำตาล ทำให้ผลไม้มีรสหวาน มีเนื้อนุ่ม เอนไซม์เพกทิเนส (pectinase) เร่งการย่อยสลายเพกทิน (pectin) ซึ่งเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่เป็นตัวเชื่อมประสานทำให้โครงสร้างเซลล์ของผักและผลไม้ แข็งแรง ทำให้ผักและผลไม้มีเนื้อสัมผัสที่แน่น

2. การเสื่อมเสียที่มีสาเหตุจากจุลินทรีย์ เป็นสาเหตุหลักสำคัญที่ส่งผลให้ผักและผลไม้เกิดการเน่าเสีย เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนชื้น จึงเหมาะแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และแบคทีเรีย ได้แก่ แบคทีเรียที่ต้องการอากาศ แบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติก แบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม เช่น *Klebsiella pneumoniae penicillium* หรือ *expansum Botrytis cinereal Rhizopus Stolonifer* และ ยีสต์

3. การเสื่อมเสียที่มีสาเหตุจากทางกายภาพ แรงกระแทก การกัดกินของแมลงและสัตว์ ทำให้ผักเกิดการแตกหัก มีบาดแผล การเจริญเติบโต เช่น การงอกของหอมหัวใหญ่ยังเป็นการเสื่อมเสียทางกายภาพ และสาเหตุจากทางเคมีและจุลินทรีย์เนื่องจากบาดแผลบนผิวผักและผลไม้ เช่น บาดแผลที่เกิดบนผิวผักและผลไม้ ทำให้เกิดการเร่งการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์กับสภาพแวดล้อม เช่น ออกซิเจน (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2561)

จากการสำรวจความเสียหายของมะม่วงน้ำดอกไม้ในแหล่งปลูกและแหล่งวางจำหน่ายในเขตภาคเหนือและตลาดกลางสินค้าเกษตรในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่ามีความเสียหายของมะม่วงน้ำดอกไม้ในระยะเก็บเกี่ยว 10-50% เมื่อเทียบกับผลผลิตทั้งหมด แยกประเภทความเสียหายได้ 7 กลุ่มอาการพบโรคแอนแทรกโนสมากที่สุด รองลงมาคือ ผลแตก ผลช้ำ ราดำ มีตำหนิที่ผิว ยางไหล และโรคช้ำเน่า คือ 62.8, 12.5, 9.4, 6.0, 5.3, 2.3 และ 1.5% ของผลผลิตที่เสียหายตามลำดับในระยะขนส่งพบความเสียหาย 13.7-47.0% โดยส่วนใหญ่ เสียหายเนื่องจากผลช้ำและโรคแอนแทรกโนส คือ 45.6 และ 44.3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ ในระยะวางจำหน่ายพบความเสียหาย 10-40 % จำแนกความเสียหายได้ 5 กลุ่มอาการพบโรคแอนแทรกโนสมากที่สุด คือ 63.2% รองลงมาได้แก่ผลซ้ำ โรคข้าวเน่า ราดำ และอาการยางไหล 29.0, 4.4, 2.4 และ 1.1% ตามลำดับ (ประนอม,2547)

มีการศึกษาที่รายงานว่าประเทศไทยมีการสูญเสียพืชผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว 30-84% (จริงแท้, 2546) มีการสูญเสียพริกชี้หนูหลังการเก็บเกี่ยวถึง 19-38% โดยสาเหตุหลักมาจากโรค (ละอองดาว และคณะ, 2561) ความเสียหายของผลผลิตลำไยหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 15-20% มีมูลค่าความเสียหายประมาณ 600 ล้านบาท (สังคม, 2542) รายงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2546 รายงานประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกพืชผลทางการเกษตรสูงถึง 63,000 ล้านบาท แต่มีการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว ถึง 35% คิดเป็น 10,000 บาท และมีการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวในมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งเป็นผลไม้ขึ้นชื่อของไทย มีมูลค่าถึง 73 ล้านบาท โดยสาเหตุหลักของการสูญเสียมาจากโรคแอนแทรกโนส (อุราภรณ์ และคณะ, 2546) ผักกะหล่ำปลีของโครงการหลวงมีการสูญเสียจากโรคและแมลงระหว่างการขนส่งมีการสูญเสียถึง 34% (วิบูลย์ และคณะ, 2555)

## 2.2 เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้หลายชนิดส่วนมากมักจะทำในขณะที่ผลไม้มายังไม่สุก เพื่อที่จะขนส่งไปขายได้ในระยะทางไกลๆ เมื่อถึงเวลาขายจึงจำเป็นต้องทำให้สุกก่อนโดยการบ่ม เพราะถ้าหากปล่อยให้มะม่วงนั้นสุกเอง จะมีบางผลที่สุกก่อนและบางผลสุกช้ามาก เนื่องจากอายุการเก็บเกี่ยวของแต่ละผลไม่เท่ากัน จึงทำให้ไม่สะดวกต่อการขนส่งในระยะไกล ดังนั้นจึงมีเทคโนโลยีที่ช่วยในการยืดอายุได้ดังนี้

### 1. การบ่มด้วยก๊าซ

การบ่มด้วยก๊าซ รสชาติไม่ดีเหมือนกับที่บ่มหรือสุกตามธรรมชาติ เพราะในกระบวนการสุกนั้นมีการบวนการย่อยหลายกระบวนการ เช่น การเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล การสลายตัวของกรด การอ่อนนุ่มของเนื้อ การเปลี่ยนแปลงสี เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มักจะมีอัตราความเร็วของการเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับมะม่วงแต่ละลูก การบ่มให้สุกด้วยก๊าซ ก๊าซจะเร่งกระบวนการสุกแต่ละกระบวนการให้เกิดเร็วขึ้นแตกต่างกันออกไป ดังนั้นคุณภาพของผลไม้ที่บ่มให้สุกด้วยก๊าซอาจไม่ดีเท่าบ่มตามธรรมชาติ โดยเฉพาะถ้าใช้ก๊าซความเข้มข้นสูง เพื่อบ่มให้สุกในเวลาอันสั้น เช่น ผลไม้อาจอ่อนนุ่มลงอย่างรวดเร็วในขณะที่แป่งเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้เพียงเล็กน้อย (กนกมณฑล,2526)

### 2. การบ่มโดยใช้ถ่านแก๊ส

การบ่มโดยใช้ถ่านแก๊ส หรือ calcium carbide ( $\text{CaC}_2$ ) ที่เป็นก้อนขนาดเล็ก โดยความชื้นจากผลไม้จะทำปฏิกิริยากับถ่านแก๊ส ได้เป็นก๊าซอะเซทิลีน ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) ที่ช่วยเร่งการสุกของผลไม้ แต่ก็อาจบ่มไม่

สุกสม่ำเสมอเพราะมีการหมุนเวียนของอากาศภายในกองผลไม้ต่ำ รวมทั้งอาจมีกลิ่นอะเซทิลีนติดไปกับผลไม้ถ้าหากใช้ถ่านแก๊สมากเกินไป แต่การบ่มวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายที่น้อย (จริงแท้,2542)

### 3. การใช้ก๊าซเอทิลีน

นิยมใช้ความเข้มข้น 10-100 พีพีเอ็มในห้องบ่มนานประมาณ 24-72 ชั่วโมงโดยมีพัลลมหมุนเวียนอากาศให้ทั่วถึง ในช่วงอุณหภูมิ 15-25 องศาเซลเซียส ขึ้นกับชนิดของผลไม้ สำหรับในประเทศไทย การใช้เอทิลีนในการบ่มผลไม้โดยตรงยังปฏิบัติกันน้อย เนื่องจากก๊าซเอทิลีนมีราคาแพง ส่วนในต่างประเทศนิยมใช้เอทิลีนกันอย่างแพร่หลายในการบ่มผลไม้ ซึ่งนอกจากจะใช้เอทิลีนจากถังบรรจุโดยตรงแล้วยังมีการใช้เอทิลีนจากเครื่องผลิตเอทิลีน หรือ ethylene generator กันมาก โดยเครื่องดังกล่าวประกอบด้วยเครื่องทำความร้อนที่จะช่วยเร่งปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อให้แอลกอฮอล์แตกตัวเป็นเอทิลีน และสามารถควบคุมอัตราการผลิตเอทิลีนได้ตามที่ต้องการอีกด้วย (จริงแท้,2542)

### 4. การใช้สารเคมีเอทิลฟอน (ethephon)

ที่มีชื่อทางการค้าต่างๆกัน เช่น ฟลอเรล โปรเทรล ซึ่งมีความคงตัวที่สภาพเป็นกรด หรือ pH ต่ำกว่า 4 แต่เมื่อนำมาละลายในน้ำสภาพ pH จะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 4.5 จะสลายตัวให้เอทิลีน สาร ethephon จัดว่าเป็นสารที่มีพิษน้อยและสลายตัวได้ง่าย แต่มีข้อกำหนดที่ผู้บริโภครับสารเข้าไปในร่างกายไม่เกินวันละ 4.5 มิลลิกรัม แต่ส่วนมากมักจะนิยมใช้สารนี้ก่อนการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้ เช่น ใช้เพื่อเร่งการสุกของผลผลิต หรือการเปลี่ยนแปลงสีในผลผลิต สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีกฎระเบียบที่แน่ชัดในการควบคุมการใช้สารตัวนี้ แต่อนุโลมได้ว่าการใช้สารนี้ได้อย่างปลอดภัยกับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวสำหรับผลไม้ที่ไม่รับประทานเปลือกและมีเปลือกที่หนา

### 5. การล้างด้วยสารคลอรีน

การล้างผักผลไม้ด้วยสารละลายคลอรีนเป็นวิธีที่สามารถลดสารเคมีตกค้างได้วิธีหนึ่ง โดยความเข้มข้นอยู่ในช่วง 50 ppm ระยะเวลาแช่ 30 นาที แต่ไม่ค่อยนิยมกันนักเพราะสารเคมีดังกล่าวมีราคาแพงและไม่สามารถหาซื้อได้ในตลาดทั่วไป แต่ก็มีข้อดีอีกอย่างคือการล้างด้วยสารละลายคลอรีนมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์ได้น้อยลง และไม่พบการเปลี่ยนสีและรูปร่างของผักและผลไม้ ไม่พบการบวมหรือเหี่ยวของผักสด

### 6. การจุ่มความร้อน

การจุ่มมะม่วงในน้ำร้อนเป็นการใช้ความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งที่นิผลใช้กับมะม่วงกันอย่างแพร่หลาย เพื่อการชะลอการเกิดโรคขั้วผลเน่า และโรคแอนแทรกคโนสในระหว่างการเก็บรักษา เช่น มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง (สมศิริ และวนิดา, 2551; ชัยณรงค์ และคณะ, 2555; จิตติมา และคณะ,

2557) นอกจากน้ำการจุ่มผลมะม่วงในน้ำร้อนสามารถลดความรุนแรงของอาการสะท้อนหนาวของผลมะม่วงได้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5-10 องศาเซลเซียส) (McCollum *et al.*, 1993; Zhang *et al.*, 2012) มะม่วงส่วนใหญ่ที่ได้รับความร้อนมักจะแสดงอาการและระดับความรุนแรงของโรคลดลง แต่อาจมีผลกระทบต่อระยะเวลาการสุกของผลและมีคุณภาพของเนื้อผลที่เปลี่ยนไป เช่น มะม่วงที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จะแสดงอาการเหี่ยวที่ผิวของผลมะม่วง และผลมีอัตราการผลิตเอทิลีนที่ต่ำกว่าผลที่ไม่ได้รับความร้อน นอกจากนี้การใช้ความร้อนยังส่งผลให้ผลไม้เกิดตำหนิ

### 7. การบ่มด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การบ่มด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถช่วยในการรักษาสีของเปลือกผลไม้ และสามารถป้องกันเชื้อรา แต่การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการบ่มมักจะก่อให้เกิดสารพิษตกค้างในผลไม้ได้ และยังมีส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อม การบ่มด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีเกณฑ์กำหนดการตกค้างของสารเคมี ดังนั้นจึงต้องควบคุมปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในผิวและผลไม้ จึงเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ไม่นิยมวิธีนี้

### 8. การรมไอน้ำด้วยน้ำส้มสายชู

การรมไอน้ำผลไม้ด้วยแก๊สที่เป็นกรดน้ำส้มสายชูมีข้อได้เปรียบหลายประการ โดยปริมาณกรดน้ำส้มสายชูที่ใช้เป็นกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้นต่ำ มีประสิทธิภาพในการควบคุมการลดลงของสปอร์เชื้อรา ไม่ทำให้ผลไม้มีตำหนิ (Sholberg & Gaunce, 1995) ยิ่งกว่านั้นกรดน้ำส้มสายชูได้มาจากการหมักธรรมชาติ จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยไม่มีสารพิษตกค้าง (Krusong *et al.*, 2015; Sholberg *et al.*, 2000) มีการนำไปประยุกต์ใช้กับผิวผลไม้หลายชนิดได้เป็นผลดี เช่น ผักชี (Krusong *et al.*, 2015) แอปเปิ้ล (Sholberg & Gaunce, 1995) มะขามหวานพันธุ์สีทอง (นฤมล และ คณะ, 2558 )

### 9. การใช้ความเย็นในการเก็บรักษา

อุณหภูมิเป็นปัจจัยภายนอกที่สำคัญมากต่อการเก็บรักษาผิวและผลไม้ มักเกี่ยวข้องกับอัตราการหายใจของผลไม้ ปกติอัตราการหายใจของผลไม้จะช้าลงต่อเมื่ออุณหภูมิลดลงใกล้จุดเยือกแข็ง (0 องศาเซลเซียส) และจะมีมากที่สุดระหว่างอุณหภูมิ (30-40 องศาเซลเซียส) ถ้าอุณหภูมิเลยขึ้นไปอัตราการหายใจจะลดลง และถ้าหากมีความชื้นมากจะส่งผลให้การหายใจของผลไม้ช้าลงและยังส่งผลให้เกิดการคายน้ำของผลไม้ได้อีก หากอุณหภูมิต่ำเกินไป นอกจากจะช่วยลดอัตราการหายใจของผลไม้แล้ว ยังสามารถยับยั้งการแพร่พันธุ์ของจุลินทรีย์บางชนิด แต่การใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปควรระมัดระวังเพราะผลไม้บางชนิดไม่สามารถทนความเย็นที่ต่ำได้ เช่น มะม่วง ส้ม และกล้วย เป็นต้น ถ้าหากผลไม้เหล่านี้อยู่

อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส จะได้รับความเสียหาย ดังนั้นจึงต้องควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษา ให้พอเหมาะกับผลไม้ในแต่ละชนิด

## 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว

การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้ เกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวจนถึงมือผู้บริโภค ในกระบวนการต่างๆที่เกิดการสูญเสีย ได้แก่ 1.การเก็บเกี่ยว 2.การเตรียมการก่อนขนส่ง 3.การบรรจุ 4.การขนส่ง 5.การเก็บรักษา 6.การจัดจำหน่าย ปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้ (สายชล,2528) สาเหตุการสูญเสียผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวมีหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากปฏิกิริยาเอนไซม์ที่เกิดในผักและผลไม้ แมลงเข้าทำลายพืชผล การสูญเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ การบอบช้ำจากการกระทบกระแทกในระหว่างการขนส่ง ซึ่งปัญหาการสูญเสียที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์นั้นเป็นสาเหตุสำคัญในการสูญเสียของพืชผลในประเทศไทย เนื่องจากภูมิอากาศประเทศไทยเป็นแบบร้อนชื้น เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (दनัย, 2549) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเข้าทำลายพืชผลจากเชื้อจุลินทรีย์นั้น มีหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ปัจจัยจากผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผักผลไม้แต่พันธุ์จะอ่อนแอต่อเชื้อแต่ละชนิดกัน ปัจจัยด้านอุณหภูมิ การเก็บรักษาพืชผลที่อุณหภูมิต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน ส่งผลให้พืชผลเกิดความเสียหาย และเชื้อที่ก่อมห้เกิดโรคในพืชผล มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่ต่างกัน ปัจจัยด้านความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์ส่งผลต่อการคายน้ำของพืชผลและส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ ปัจจัยด้านการบรรจุหีบห่อและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว ก็ส่งผลต่อการเกิดโรคในพืชผล (สมศิริ,2554)

## 2.4 ลักษณะทั่วไปของมะม่วงน้ำดอกไม้

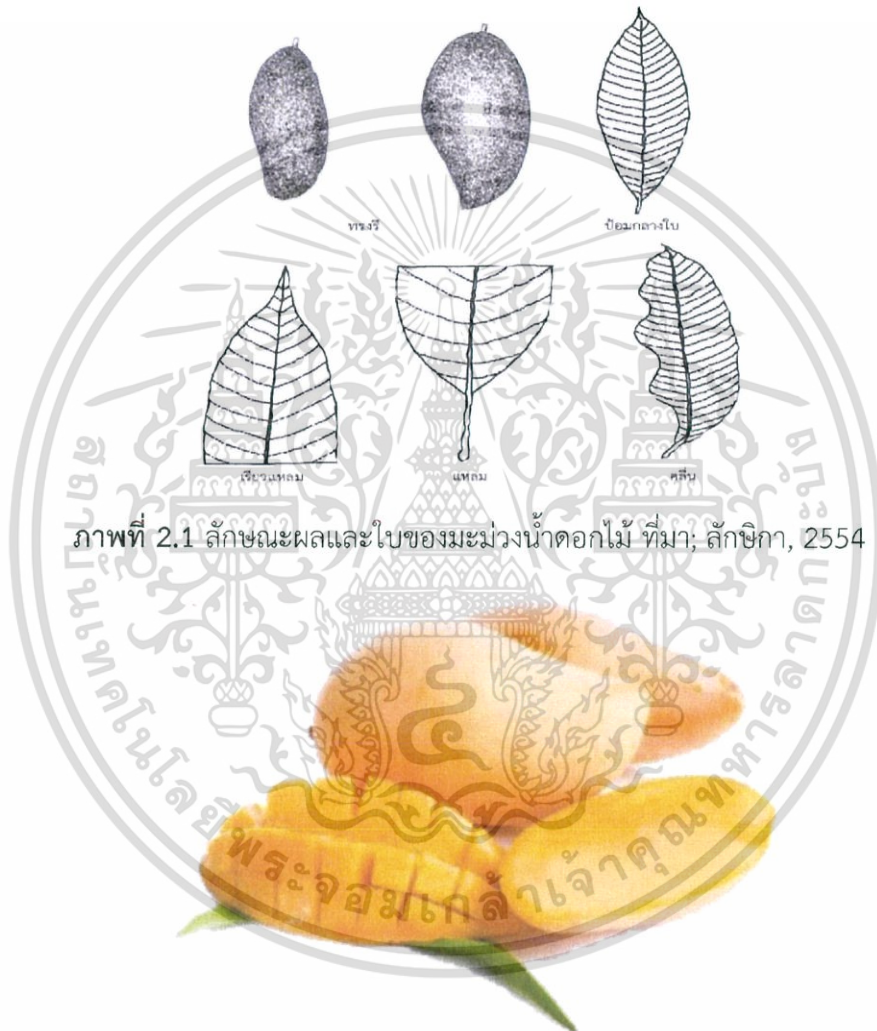
มะม่วง (*Mangifera indica L*) มีชื่อสามัญว่า Mango จัดอยู่ในวงศ์ Anacardiceae เป็นไม้ผลเมืองร้อน ไม้ผลัดใบ มีถิ่นกำเนิดแถบภาคตะวันออกเฉียง อินเดีย พม่า และเกาะอันดามัน ต่อมา ได้กระจายพันธุ์ไปยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก (ลักชิกา, 2554) มะม่วงเป็นไม้ผลที่นิยมปลูกกันแพร่หลายเพราะเป็นพืชที่ปลูกง่าย สามารถเจริญเติบโตได้ใน ดินเกือบทุกชนิด ทนต่ออากาศร้อนได้ดี จึงเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย เนื่องจากสามารถบริโภคได้ทั้งดิบและสุก รสชาติอร่อย มีกลิ่นหอม และสามารถแปรรูปเก็บไว้สำหรับ จำหน่ายหรือรับประทานนอกฤดู

ผลมะม่วงเป็นแบบผลเดี่ยว (fleshy drupe) โดยในแต่ละพันธุ์จะมีความแตกต่าง กันในเรื่องของขนาด รูปร่าง สี ปริมาณเสี้ยน รสชาติ และกลิ่น ผิวเรียบ ขนาดความยาวของผลมี ตั้งแต่ 5-20 เซนติเมตร ความกว้าง 4-8 เซนติเมตร (ลักชิกา, 2554) รูปร่างของผลมีตั้งแต่กลมไปจนถึงรูปไข่ค่อนข้างยาว อาจแตกต่างกันในส่วนของแก้ม ไหล่ หลัง ปลาย คาง และจะงอยปาก สีเปลือกด้านนอก ของผลประกอบด้วยส่วนผสมของสีต่าง ๆ เช่น เขียว เหลือง และแดง มะม่วงมีฝักผล 3 ชั้น คือ ฝักผลชั้นนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาและมีต่อมเกิดเป็นจุด ๆ ผนังผลชั้นกลางเป็นเนื้อที่ รับประทานได้ ความหวานของเนื้อเล็กน้อยขึ้นอยู่กับชนิด และผนังผลชั้นใน มีลักษณะ 5 เป็นเส้นย่น แข็ง คล้ายไม้ เปลือกชั้นในอาจล่อนหรือมีเส้นย่นยึดติดกับผนังผลชั้นกลางก็ได้

มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงในกลุ่มนี้มีลักษณะผลเป็นรูปทรงรี ทรงใบมีลักษณะป้อมกลางใบ บริเวณปลายใบมีลักษณะเรียวแหลม ฐานใบแหลม ขอบใบมีลักษณะเป็นคลื่น (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะผลและใบของมะม่วงน้ำดอกไม้ ที่มา; ลักขิกา, 2554

ภาพที่ 2.2 มะม่วงน้ำดอกไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของมะม่วงน้ำดอกไม้ (สุก) ปริมาณ 100 g ของน้ำหนักผล

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
พลังงาน (kcal)	79
น้ำ (g)	80
โปรตีน (g)	0.6
ไขมัน (g)	0.2
คาร์โบไฮเดรต (g)	18.5
ใยอาหาร (g)	0.8
เถ้า (g)	0.4
โซเดียม (mg)	2
โพแทสเซียม (mg)	197
แมกนีเซียม (mg)	8
แคลเซียม (mg)	4
ฟอสฟอรัส (mg)	16
เหล็ก (mg)	tr.
สังกะสี (mg)	tr.
ไอโอดีน (µg)	16
เบต้าแคโรทีน (µg)	878
วิตามินซี (mg)	15
น้ำตาล (g)	15

หมายเหตุ: tr. หมายถึง มีค่าน้อยมาก

(ที่มา: นิตดา, 2550)

### การสุกของมะม่วง

มะม่วง เป็นผลไม้ประเภท drupe มีการเจริญของเนื้อผลและเมล็ดเป็นไปในลักษณะเดียวกัน (Chacko, 1970) หลังจากการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียในรังไข่ภายในดอกแล้ว รังไข่จะพัฒนาและเจริญเป็นผล เนื่องจากจำนวนดอกสมบูรณ์เพศที่ทำหน้าที่เป็น ดอกเพศเมียในช่อดอกมีมากแต่ติดผลเพียงเล็กน้อย มีเพียง 15-35% ของดอกที่ได้รับการปฏิสนธิ และจะมีเพียง 0.4% ของดอกที่ติดผลและ 0.25% ที่ผลจะเจริญเติบโตจนเก็บเกี่ยวได้ ผลมีการสร้างส่วนของเมล็ดและสะสมอาหารในเนื้อผลทั้งในรูปของแป้งน้ำตาล กรดอินทรีย์ ฯลฯ จนกระทั่งผลพัฒนาและเจริญเต็มที่จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพในระยะเวลานั้น ๆ ซึ่งสามารถเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น รส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเนื้อสัมผัส อย่างชัดเจน เรียกว่าการสุก การเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลง เป็นน้ำตาล การลดลงของปริมาณกรด การเปลี่ยนสีของผิวและเนื้อ การอ่อนนุ่มของเนื้อ การสังเคราะห์ สารไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ ในกลุ่มของ monoterpene และ lactonase ทำให้เกิดกลิ่นและรสเฉพาะของ ผลมะม่วงขณะสุก นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน อาทิ การหายใจ (respiration) การผลิตเอทิลีน (ethylene) และการเกี่ยวข้องของฮอร์โมนพืช ชนิดต่าง ๆ ระหว่างการสุก การแบ่งประเภทของผลไม้ อาจแบ่งได้ 2 ประเภทตามลักษณะการหายใจระหว่างการสุก ได้แก่ climacteric และ non-climacteric ในประเภทแรก ในช่วงผลไม้มักยังไม่สุกมีอัตราการหายใจค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อผลเริ่มสุกจะมีการหายใจที่สูงมากขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วจึงลดลง ผลไม้ประเภทนี้มักสังเกตพบการ เปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกที่ชัดเจน เช่น มะม่วง กัลย มะละกอ หน่อหนา ฝรั่ง มะเขือเทศ แอปเปิ้ล ฯลฯ ส่วนผลไม้ประเภทที่สอง ระหว่างการสุกหรือระหว่างการเปลี่ยนแปลงในช่วงสุดท้ายของผลมีอัตรา การหายใจลดลงโดยตลอด มักพบในผลไม้ที่มีการเปลี่ยนแปลง ระหว่างการสุกไม่ชัดเจน เช่น ส้ม ชมพู องุ่น ลำไย ลิ้นจี่ สับปะรด ฯลฯ (ศักยะ และคณะ, 2555)

มะม่วงมีวิตามินซีสูง จึงช่วยในการต้านอนุมูลอิสระได้เป็นอย่างดี มะม่วงมีวิตามินเอและ วิตามินซี ซึ่งมีส่วนช่วยบำรุงผิวพรรณให้เปล่งปลั่งสดใสไม่หมองคล้ำ ประโยชน์ของมะม่วงช่วยบำรุงและ รักษาสายตาให้สามารถมองเห็นได้ปกติยิ่งขึ้นเพราะอุดมไปด้วยวิตามินเอและเบต้าแคโรทีน เป็นผลไม้ที่มี ส่วนช่วยบำรุงร่างกายช่วยทำให้ผ่อนคลาย และปรับสมดุลให้ร่างกายจนนอนหลับสบายได้ดียิ่งขึ้น จาก งานวิจัยพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในมะม่วงสามารถป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ มะเร็งเต้านม รวมถึง มะเร็งเม็ดเลือดขาวและมะเร็งต่อมลูกหมากได้ มะม่วงมีวิตามินซีสูงจึงช่วยป้องกันและรักษาเลือดออกตาม ไรฟัน มะม่วงมีเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายโปรตีนทำให้อิ่มได้ดี และอุดมไปด้วยกากใยอาหาร เป็นจำนวนมาก จึงมีส่วนช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบย่อยอาหารได้ดี พร้อมทั้งทำให้การขับถ่าย ทำงานเป็นปกติ ในมะม่วงมีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่มีส่วนสำคัญต่อระบบไหลเวียนโลหิต โดยจะ ช่วยควบคุมระดับความดันโลหิตให้สมดุลปกติ นอกจากนี้วิตามินอีจากมะม่วงยังมีส่วนในการช่วย เสริมสร้างฮอร์โมนเพศได้เป็นอย่างดีอีกด้วย มะม่วงมีวิตามินเอ วิตามินอีและซีลีเนียมที่มีส่วนช่วยป้องกัน โรคหัวใจได้ นอกจากนี้ยังมีวิตามินบี 6 ที่จะช่วยในการป้องกันโรคหัวใจโดยช่วยลดระดับของโฮโมซิสเตอีน (Homocysteine) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จะสร้างความเสียหายให้แก่ผนังหลอดเลือด อันเป็นที่มาของ โรคหัวใจนั่นเอง วิตามินบี 6 จากมะม่วงมีส่วนป้องกันและเสริมสร้างการทำงานของสมองได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีส่วนสำคัญต่อการทำงานของสารสื่อประสาทที่มีส่วนช่วยกำหนดอารมณ์และรูปแบบของการ นอนหลับ ซึ่งหากเรารับประทานมะม่วงยังทำให้ร่างกายได้รับกลูตามีน (Glutamine) อันเป็นสารที่มีส่วน ช่วยเหลือสมองเกิดการจดจำที่ดีขึ้น ที่สำคัญยังทำให้เซลล์สมองเกิดความตื่นตัวอยู่ตลอดเวลาได้อีกด้วยใน มะม่วงอุดมไปด้วยวิตามินซี และวิตามินเอ รวมถึงยังมีสารแคโรทีนอยด์อีก 25 ชนิด จึงช่วยเสริมสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบภูมิคุ้มกันร่างกายให้แข็งแรง ทำให้ร่างกายสามารถต่อกรกับสารพิษและเหล่าแบคทีเรียชนิดต่างๆ ได้ดี ทำให้ร่างกายแข็งแรงยิ่งขึ้น โอกาสในการเจ็บป่วยก็มีน้อยลง (Diana,2012)

เชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในมะม่วงคือ *Colletotrichum gloeosporioides* เป็นเชื้อราที่เป็นสาเหตุหลักของโรคแอนแทรคโนส โรคแอนแทรคโนสนี้เป็นโรคที่ทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงในพืชทั้งพืชตระกูลถั่ว หนุ่ย ผัก ไม้ผลและไม้ประดับ การระบาดของโรคนี้อันตรายและรุนแรง เข้าทำลายทุกส่วนของพืช ลำต้น ใบ ก้าน ดอก ผล เมล็ด ราก และหัว โรคแอนแทรคโนสนี้เป็นปัญหาใหญ่ของประเทศในเขตร้อนชื้น เนื่องจากเชื้อรา *C. Gloeosporioides* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส การเข้าทำลายผลผลิตของเชื้อแอนแทรคโนส สามารถเข้าทำลายได้ตั้งแต่ระยะดอก ผลดอก แต่โรคยังไม่ได้แสดงอาการออกมา โรคนี้อาจแสดงอาการออกมาเมื่อผลเริ่มสุก โดยมีอาการของโรคคือที่ผลจะเกิดแผลเล็กๆสีน้ำตาลและแผลจะขยายใหญ่ออกและสีเข้มขึ้นเมื่อผลสุกมากขึ้น จนเปลือกฉีกออกเป็นรู

## 2.5 น้ำส้มสายชู

น้ำส้มสายชูมีลักษณะเป็นของเหลวที่มีกลิ่นรสเปรี้ยว โดยน้ำส้มสายชูเป็นสารประเภท General Recognized as Safe (GRAS) เพราะไม่เป็นพิษต่อร่างกาย น้ำส้มสายชูโดยทั่วไปประกอบด้วยกรดอะซิติก 4.2-6% (น้ำหนักต่อปริมาตรมีค่าPH อยู่ระหว่าง 2-3.5 น้ำส้มสายชูแบ่งได้ 3 ประเภทตามวิธีการผลิต ได้แก่ น้ำส้มสายชูหมัก น้ำส้มสายชูกลั่น และน้ำส้มสายชูเทียม (ฐิตินันท์,2555)

น้ำส้มสายชูหมัก (Fermented vinegar) คือน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักผลไม้ ธัญพืชหรือน้ำตาล ด้วยยีสต์ โดยน้ำส้มสายชูหมักจะมีสีเหลืองอ่อน ใส แลมีกลิ่น รส ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาหมัก (ดุชนี,2538)

น้ำส้มสายชูกลั่น (Distilled vinegar ) คือน้ำส้มสายชูที่ได้จากการนำสุราขาวมาเจือจาง หรือ แอลกอฮอล์มาเจือจางกับหัวเขื่อน้ำส้มสายชูโดยมีการเติมเกลือแร่และสารอาหารที่จำเป็นสำหรับเขื่อน้ำส้มสายชู นอกจากวิธีการดังกล่าวแล้ว ยังสามารถผลิตน้ำส้มสายชูกลั่นจากการนำน้ำส้มสายชูหมักมาผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้น้ำส้มสายชูที่มีลักษณะใส ไม่มีสี และไม่มีกลิ่นที่ลดลงจากน้ำส้มสายชูหมัก (ดุชนี,2538)

น้ำส้มสายชูเทียม คือน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากกระบวนการทางเคมี โดยการผสมกรดอะซิติก (glacial acetic acid) ในน้ำบริสุทธิ์ น้ำส้มสายชูเทียมมีความบริสุทธิ์สูงแต่ไม่มีกลิ่นรสที่แตกต่างจากน้ำส้มสายชูชนิดอื่น (ดุชนี,2538)

### 2.5.1 องค์ประกอบของน้ำส้มสายชู

Soisuda และคณะ (2017) ได้ศึกษาไอน้ำส้มสายชูหมักพบว่าภายในไอน้ำส้มสายชู มีสารประกอบหลัก 7อย่าง ได้แก่

1. Acetic acid
2. Butanol, 3-methyl-, acetate
3. Isoamylalcohol
4. b-Phenylethyl acetate
5. Benzeneethanol
6. Hexadecanoic acid, methyl ester
7. Ethyl ester

### 2.5.2 ฤทธิ์ของน้ำส้มสายชูในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

น้ำส้มสายชูเป็นสารเจือปนอาหารได้รับการยอมรับเรื่องความปลอดภัยให้ใช้ภายใต้การควบคุม และยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์นั้นจะมีผลต่อ Electrochemical proton gradient และไปยับยั้ง Amino acid uptake ภายในเซลล์ของเชื้อรา โดยจะการยับยั้งจะมีประสิทธิภาพที่ pH ต่ำกว่า 4.5 น้ำส้มสายชูสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยการแพร่เข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้โปรตีนที่ผนังเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยกรดจะไปรบกวนกระบวนการสร้าง ATP ด้วยการยับยั้งกระบวนการขนถ่ายเมแทบอลิไทป์ไปยังเซลล์ และมีประสิทธิภาพการแพร่ของกรดสูงขึ้นเมื่ออยู่ในรูปกรดไม่แตกตัว

### 2.5.3 วิธีการทำไอกรดน้ำส้มสายชู

ไอน้ำส้มสายชู คือ น้ำส้มสายชูในสถานะละออง หรือหมอกน้ำส้มสายชู ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันตามวิธีการทำไอน้ำส้มสายชู สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

#### - Ultrasonic atomizer

การใช้Ultrasonic atomizer ในการผลิตไอ เหมาะกับการใช้เพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ ละอองกลั่นตัวน้อยเมื่อสัมผัสวัตถุ เหมาะกับพื้นที่ปริมาตรขนาดเล็ก หรือตามกำลังผลิตไอของเครื่อง Ultrasonic ได้ละอองน้ำที่ละเอียด (fine mist) ขนาดอนุภาคอยู่ที่ 10-100 ไมครอน ใช้ความถี่คลื่นเสียงอยู่ระหว่าง 20 kHz ถึง 40 kHz ในการทำให้อนุภาคของเหลวแตกตัวเป็นละอองเล็กๆ (M. Ajay et al.,2013)

#### - Dry mist atomizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้เทคโนโลยีผลิตหมอกแห้ง (Dry fog) ละอองกลั่นตัวน้อยมากเมื่อสัมผัสวัตถุขนาดละอองที่ผ่านการทดสอบแล้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดโดยเครื่องวิเคราะห์ด้วยเลเซอร์ขนาด 7.5 ไมครอน หรือมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน แก้ปัญหาไฟฟ้าสถิตในระบบได้ดี ช่วยเพิ่มผลผลิตโดยการควบคุมความชื้นในพื้นที่ขนาดใหญ่ มีราคาแพงกว่าวิธีอื่นๆ (M. Mezhericher et al.,2016)

#### - Spray nozzle

การใช้แรงดันจากปั๊มอัดน้ำสัสมายชูผ่านหัว nozzle ได้ละอองน้ำ ขนาดอนุภาคอยู่ที่ 100 ไมครอนขึ้นไป หรือตามขนาดรูของหัว nozzle และแรงดันที่ใช้ เหมาะกับการใช้เพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่กว้าง สามารถผลิตละอองน้ำได้เยอะและทั่วถึง (A.H. Lefebvre et al.,2017)

#### - การอัดอากาศผ่านน้ำสัสมายชู

เป็นการใช้ปั๊มอัดอากาศผ่านท่อลม ลงสู่ถังเก็บน้ำสัสมายชู และได้อากาศที่มีไอน้ำสัสมายชูผสมอยู่ในปริมาณหนึ่ง (ฐิตินันท์, 2555)

#### - การต้ม

เป็นการใช้ความร้อนทำให้น้ำสัสมายชูเดือด และระเหยกลายเป็นไอน้ำสัสมายชู ไม่เหมาะกับงานที่ใช้อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากจะเกิดการกลั่นตัวได้ง่าย (บัญชา, 2554)

## 2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สด้วย Gas Chromatography (GC)

แก๊สโครมาโตกราฟีเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกและวิเคราะห์องค์ประกอบของสารในของผสมที่สามารถระเหยกลายเป็นไอ ที่อุณหภูมิพอเหมาะ เทคนิคโครมาโตกราฟีทุกประเภทจะมีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกัน คือ ทำการแยกองค์ประกอบของสารที่กระจายอยู่ระหว่างเฟสที่ไม่ผสมกันสองเฟส คือ เฟสอยู่กับที่(stationary phase) และ เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) องค์ประกอบของสารตัวอย่างซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างจากเฟสทั้งสองจะเคลื่อนที่ผ่านด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน เมื่อองค์ประกอบของสารเคลื่อนที่ผ่านออกมาจากระบบจะถูกชะแล้วผ่านไปยังเครื่องตรวจจับซึ่งจะทำการรายงานผลออกมาในรูปแบบของโครมาโตแกรมเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography, GC) คือ เครื่องมือที่ใช้เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ 2 ประเภท คือ สารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) และ สารประกอบอินทรีย์ที่สามารถระเหยได้บางส่วน (Semi-Volatile Organic Compounds, VOCs) เป็นต้น เทคนิคการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของ ตัวอย่างด้วยเครื่อง GC ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่มีความไว มีความเฉพาะต่อสารวิเคราะห์ได้ รวดเร็วด้วยมีระบบอัตโนมัติและมีอุปกรณ์ ประกอบหลายชนิดร่วมทำงาน อาทิ Headspace

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Purge and Trap เป็นต้น ตัวอย่างที่สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC มีทั้งตัวอย่างประเภทแก๊ส ของแข็ง และ ของเหลว ได้แก่ การวิเคราะห์หาชนิดและ ปริมาณของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ, การวิเคราะห์หาปริมาณ ของสารเคมีกำจัดแมลงที่ตกค้างในน้ำดื่มและ อาหาร, การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบ อินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำประปา, น้ำใต้ดิน, น้ำเสีย, ดิน, ตะกอน และของเสีย เป็นต้น

สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึง คือ ประเภทและสมบัติของตัวอย่าง เพื่อเลือกเทคนิคการเตรียมตัวอย่าง ตัวอย่างประเภทแก๊ส สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC ได้โดยตรงผ่านการใช้อุปกรณ์ เก็บตัวอย่างแก๊ส อาทิ ถุงเก็บตัวอย่าง (Sampling Bag) และถังเก็บตัวอย่างอากาศ (Canister) และนำ แก๊สตัวอย่างผ่านเข้าสู่เครื่อง GC โดยใช้ระบบวาล์ว หรือใช้เข็มฉีดยาตัวอย่าง (Gas tight syringe) พาแก๊ส เข้าสู่เครื่อง GC อีกวิธีการหนึ่ง คือ ใช้วิธีการดูดซับ (Absorption) แก๊สโดยใช้วัสดุดูดซับ (Adsorbent Materials) อาทิ Tenax, Silica Gel, Coconut Charcoal, Graphitized carbon black (GCB) และ Carboxen เป็นต้น จากนั้นนำวัสดุดูดซับมาสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent extraction) หรือใช้วิธีให้ความร้อนเพื่อให้แก๊สคายตัวออกจากวัสดุดูดซับ (Thermal desorption) รวมถึงการใช้เทคนิคการเตรียม ตัวอย่างเพื่อให้สารที่ต้องการวิเคราะห์อยู่ในสถานะแก๊สก่อน อาทิ ต้องการวิเคราะห์แก๊ส VOCs ที่อยู่ใน ตัวอย่างน้ำใต้ดิน นิยมใช้เทคนิค Purge and Trap (P&T-GC) หรือการวิเคราะห์การสารสกัดจากพืช เพื่อหาชนิดของกลิ่นหอม อาทิ กลิ่นจากเมล็ดกาแฟ, ข้าวหอมมะลิ และน้ำมันหอมระเหย จะใช้เทคนิค การสกัดสารโดยใช้วัสดุดูดซับที่สัมผัสสารโดยตรง (Solid phase microextraction, SPME) และเทคนิค Headspace (HS) ที่สามารถเตรียมขึ้นเอง และ/หรือ เลือกใช้เทคนิคที่เป็นระบบอัตโนมัติซึ่งเชื่อมต่อกับ เครื่อง GC (HS-GC, HS-GCMS) ซึ่งเทคนิคการเตรียมตัวอย่างดังกล่าวเป็นเทคนิคที่แทบไม่มี สิ่งรบกวนจากตัวอย่างเหมาะสมสำหรับวิเคราะห์กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายและมีความเข้มข้นต่ำ ระดับไมโครกรัมต่อลิตร (mg/L) ถึง มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) เป็นต้น ตัวอย่างประเภทของแข็ง ต้องผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสม โดยมากนิยมใช้ เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย อาทิ การสกัดโดยใช้เครื่องไมโครเวฟ (Microwave Extraction), การ สกัดโดยใช้ชุดสกัด Soxhlet, การสกัดโดยใช้คลื่นความถี่ (Ultrasonic), การสกัดโดยใช้เทคนิคความดัน ร่วมกับใช้ตัวทำละลาย (Pressurized Fluid Extraction, PFE) / Accelerated Solvent Extraction, ASE) และเทคนิคการสกัดในสถานะอุณหภูมิและความดันเหนือจุดวิกฤต (Supercritical Fluid Extraction) เป็น ต้น ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดควรเลือกชนิดที่มีความบริสุทธิ์(Purity) ขึ้นกับสารที่เราวิเคราะห์ อาทิ วิเคราะห์สารในกลุ่มสารเคมีกำจัดวัชพืช ควรเลือกใช้ตัวทำละลายที่ไม่มีการเจือปนสารในกลุ่มดังกล่าว (Pesticide Residue Analysis (PRA) , Pesticide Grade (PST)) และควรเลือกใช้ตัวทำละลายที่ให้ ประสิทธิภาพการสกัดที่ดีที่สุด หรือเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ เพื่อให้สามารถระเหยได้ง่ายใน ภายหลัง เป็นต้น ในบางครั้งอาจต้องเพิ่มขั้นตอนการกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งรบกวนหลังจากการสกัด ก่อนนำไป วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC ตัวอย่างประเภทของเหลว สามารถใช้เทคนิคการสกัดที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นั่น คือ การไม่ใช้ตัวทำละลายในการสกัด หรือใช้ตัวทำละลายในปริมาณน้อยมากๆ เพียง 0.8-5 ไมโครลิตร ได้แก่ เทคนิค SPME-Headspace, Liquid-Phase Microextraction (LPME), Single Drop Microextraction (SDME) และ HS-SDME เป็นต้น ซึ่งเทคนิคดังกล่าวมีการพัฒนามากว่า 10-15 ปีแล้ว และมีแนวโน้มได้รับความนิยมมากขึ้น รวมถึงเริ่มมีการจัดสร้างอุปกรณ์เพื่อใช้เทคนิคดังกล่าวให้เป็น ระบบอัตโนมัติเชื่อมต่อกับเครื่อง GC ข้อดีของเทคนิคเหล่านี้ คือ ใช้ตัวอย่างในระดับไมโครลิตร ลด ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก ลดปริมาณและค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย มีส่วนช่วยลดการ สูญเสียสารที่ต้องการวิเคราะห์จากความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะสกัดมากกว่าเทคนิคสกัดประเภทอื่น มีความปลอดภัยต่อผู้ทำการวิเคราะห์ เป็นต้น เทคนิคการสกัดที่มีราคาไม่แพง และได้รับความนิยม คือ เทคนิคการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ (Liquid-liquid Extraction, LLE) เนื่องจากใช้อุปกรณ์เครื่อง แก้วที่สามารถหาได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ แต่มีข้อจำกัด คือ ต้องหาวิธีกำจัดปริมาณตัวทำละลายใน ภายหลัง รวมถึงยังมีเทคนิคการสกัดประเภทอื่นๆ ได้แก่ เทคนิคการสกัดโดยใช้วัสดุดูดซับชนิดของแข็ง (Solid-phase Extraction, SPE) และการสกัดโดยใช้เครื่องไมโครเวฟ เป็นต้น สิ่งสำคัญของการสกัด คือ การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถสกัดสารที่ต้องการวิเคราะห์ได้มากกว่า ร้อยละ 80 ใน การสกัด 1 ครั้ง หรืออาจแบ่งสกัดหลายครั้ง

## 2.7 หลักการอัลตราโซนิกและการนำไปประยุกต์ใช้

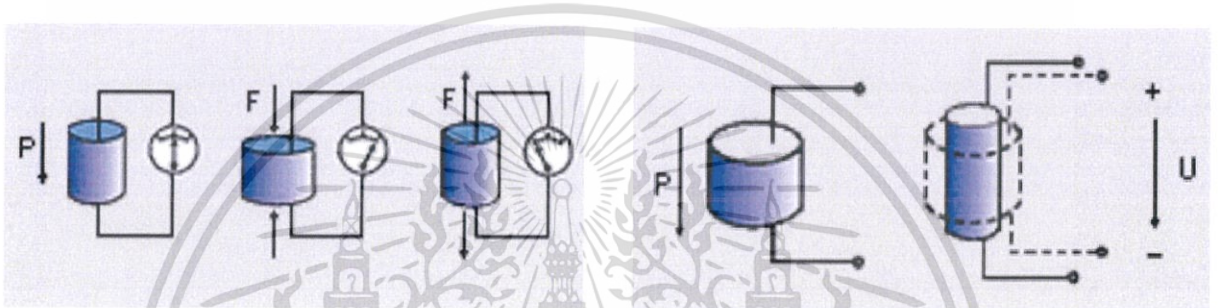
คลื่นเสียงอัลตราโซนิกเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงมากกว่า 20 ถึง  $10^6$  กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่หูของมนุษย์ปกติไม่สามารถได้ยิน เพราะหูของมนุษย์ปกติสามารถได้ยินอยู่ในช่วงความถี่ 16 ถึง 16,000 เฮิร์ตซ์ ความถี่สูงนี้ก่อให้เกิดผลทางเคมี ผลทางชีววิทยา และผลทางฟิสิกส์ ในรูปแบบต่างๆ กล่าวคือ - คลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่มีความแรงมากจะทำให้เกิดฟองอากาศ เกิดความดันสูง และเกิดความร้อนเฉพาะที่ ซึ่งผลทางฟิสิกส์มักเป็นผลทางตรงหรือทางอ้อมที่เกิดจากผลทางเคมีและผลทางชีววิทยา ได้แก่การเกิดฟองอากาศ เกิดความร้อน เกิดความดัน คลื่นเสียงอัลตราโซนิกเป็นคลื่นเสียงที่ค่อนข้างปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ มีราคาถูก และมีคุณสมบัติหลากหลายขึ้นอยู่กับความถี่

การสั่นสะเทือนจากคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้เพียโซอิเล็กทริก มีผลให้เกิดบริเวณที่มีความดันต่ำมาก จนทำให้ของเหลวระเหยกลายเป็นไอได้ และจะทำให้เกิดโพรงอากาศในของเหลว(Cavitation) เกิดขึ้นเมื่อแรงดันในของเหลวที่อุณหภูมิคงที่ลดลงต่ำกว่าจุดแรงดันไอน้ำอิ่มตัว นอกจากนี้ยังเกิดการแตกออกของโพลิเมอร์เป็นโมเลกุลเล็กๆ หรือโมนอเมอร์ (depolymerization)

- วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric material) เป็นเซรามิกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติพิเศษ กล่าวคือ เมื่อได้รับแรงกล (mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (voltage) ที่เรียกว่าปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

(piezoelectric effect) ในทางกลับกันเมื่อวัสดุได้รับแรงดันไฟฟ้าจะทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่าง (deformation) เกิดแรงกลซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์อินเวอร์สเพียโซอิเล็กทริก (inverse piezoelectric effect) การเปลี่ยนไปมา ระหว่างพลังงานกล และพลังงานไฟฟ้า

การเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า Direct Effect หรือ เมื่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ได้รับ กระแสไฟฟ้าจะเกิดการยืดหดตัวเองได้ ขนาดของการยืดหดนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ได้รับ คือ เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เรียกว่า Converse Effect (Su, Y et al., 2006)



ภาพที่ 2.3 Direct Piezo Effect

ภาพที่ 2.4 Indirect Piezo Effect

สารประกอบที่มีสมบัติเพียโซอิเล็กทริก เช่น Barium Titanate, Lead Titanate, Lead Zirconate Titanate, Sodium/Potassium Niobate มีโครงสร้างอยู่ในรูปของ perovskite structure ( $ABO_3$ ) โดยมี อะตอมของ  $Zr^{4+}$  หรือ  $Ti^{4+}$  อยู่กึ่งกลาง เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้า โครงสร้าง cubic จะเกิดการบิดตัว (distort) หากได้รับกระแสไฟฟ้าในแนวแกน z สารจะเกิดการยืดหดตัวในแนวแกน z ทำให้โครงสร้างของ วัสดุเปลี่ยนเป็น Orthorhombic หรือ Tetragonal หากได้รับกระแสไฟฟ้าในแนวแกน x หรือ y จะเกิดการ เอนตัว ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนเป็น Rhombohedral หรือ Monoclinic (Patel, 2011)

### การนำไปประยุกต์ใช้

เทคโนโลยีการผลิตวัสดุเพียโซอิเล็กทริกใช้หลักการเกี่ยวกับการสังเคราะห์เซรามิกทั่วไป คือ การเตรียมวัตถุดิบหลัก เช่น  $PbO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$  นำไปบดรวมให้เข้ากัน แล้วนำไปเผา (calcination) จากนั้นนำไปผสมกับตัวยึด (binder) แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบทิศทางเดียวกัน (Uni-axial press) ต่อด้วยการอัดแบบทุกทิศทาง (cold isostatic press) แล้วจึงนำไปเผาผืนึก (sinter) เพื่อให้อนุภาคมีการผืนึกตัว กันและอุดรูพรุน เคลือบผิวด้วยโลหะ เช่น ทองเพื่อให้สามารถนำไฟฟ้า จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติความเป็น polarization แล้วจึงนำไปประกอบขึ้นรูปในอุปกรณ์ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานมากมาย ทั้งในด้านการแพทย์ ด้านการสื่อสาร ด้านอุตสาหกรรม ในทางการแพทย์ถูกนำไปสร้างเครื่องวินิจฉัยเพศทารกในครรภ์ ใช้ตรวจรอยร้าวของกระดูก ใช้ตรวจสอบการอุดตันในเส้นเลือดเลี้ยงหัวใจ ใช้ทำลายเซลล์มะเร็ง ทางด้านอุตสาหกรรมนำไปสร้างเครื่องเชื่อมพลาสติก เครื่องตรวจการรั่วของท่อ เครื่องตรวจการกัดกร่อนของโลหะ เครื่องชั่ง เครื่องล้างอัญมณี เครื่องล้างแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องวัดระดับ เครื่องวัดความหนาของแผ่นโลหะ ในชีวิตประจำวัน ถูกนำไปสร้างเป็น เครื่องซักผ้า เครื่องกันขโมย เครื่องล้างแว่นตา เครื่องวัดการถอยของรถยนต์ เครื่องสร้างหมอก เพิ่มความชื้นในอากาศ เนื่องจากเมื่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับกระแสไฟฟ้าสลับที่มีความถี่สูง เช่น 60 KHz จะเกิดการยืดหดตัวของ วัสดุตามความถี่ที่ได้รับและส่งผ่านคลื่นความถี่ไปยังน้ำ ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากเครื่องมือ ผัก หรือ อัญมณีโดยไม่ทำให้อุปกรณ์เสียหาย หลักการเดียวกันนี้ยังถูกนำไปใช้ในเครื่องนวด ทำให้กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นด้วยคลื่นไฟฟ้าระดับอัลตราซาวด์ เมื่อกล้ามเนื้อถูกกระตุ้นเป็นจังหวะทำให้ระบบเลือดไหลเวียนได้ดีขึ้น

ด้านพลังงาน วัสดุเพียโซอิเล็กทริกยังถูกนำไปวิจัยเพื่อการเก็บกักพลังงาน คล้ายการทำงานของแบตเตอรี่ นักวิจัยจากมหาวิทยาลัย Massachusetts Institute of Technology (MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกา นำเสนอแนวคิดการใส่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกลงในส้นรองเท้า เนื่องจากคนเราใช้เวลากับกิจกรรมการเดินมาก ทำให้เสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ การนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกใส่ ลงในรองเท้า ทุกๆครั้งที่เราก้าวเดิน เหมือนหนึ่งเราใส่พลังงานกลลงในวัสดุแล้วเก็บพลังงานไว้แปลงเป็น พลังงานไฟฟ้าได้ สามารถนำไปใช้กับเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์บางชนิดที่ไม่ต้องการกำลังไฟมากนัก เช่น เพจเจอร์ เครื่องวัดสัญญาณทางการแพทย์แบบติดตามตัว (Health Monitor) เครื่องเล่นเพลง (MP3) หรือ แม้กระทั่งโทรศัพท์มือถือ (สำนักเทคโนโลยีชุมชน, 2555)

ในการประยุกต์ใช้ในการสร้างหมอก หรือไอน้ำ ความถี่ดังกล่าวจากเพียโซอิเล็กทริก จะทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นสะเทือนมีการหดและขยายตัว เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำด้วยความเร่งสูงมากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้อนุภาคน้ำหลุดออกจากผิวน้ำ มีลักษณะเป็นน้ำฟูเล็กและละอองไอน้ำขนาดประมาณ 10 ถึง 100 ไมครอน ลอยไปในอากาศได้ เหมาะสำหรับใช้เพิ่มความชื้นในเรือนเพาะชำไม้เมืองหนาว โรงเพาะเห็ดเมืองหนาว ตู้โชว์ผักและผลไม้และอุตสาหกรรมอื่นๆที่ต้องการเพิ่มความชื้นในกระบวนการผลิต

## ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของอัลตราโซนิค

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> <li>• เสียงเบา</li> <li>• ไม่ทำให้เกิดมลภาวะ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ต้องใช้พัดลมช่วยในการเพิ่มความเร็ว</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<ul style="list-style-type: none"> <li>• ราคาถูก</li> <li>• ประหยัดพลังงาน</li> <li>• ผลิตละอองไอขนาด (10-100ไมครอน)</li> <li>• ไม่ต้องติดตั้งปั้มน้ำ</li> <li>• สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในระบบได้</li> <li>• ทำความสะอาดและดูแลรักษาง่าย</li> <li>• ติดตั้งง่าย</li> <li>• วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเป็นเซรามิก มีคุณสมบัติทนกรด</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ต้องมีระดับสารละลายสูงกว่าหัวอัลตราโซนิก ในระดับที่เหมาะสมจึงสามารถผลิตไอได้อย่างมีประสิทธิภาพ</li> </ul> <p>แก้ไข โดยใช้ฟุนลายน้</p>
---	--

## 2.8 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

การควบคุมการทำงานอัตโนมัติของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรในอุตสาหกรรมนิยมใช้ PLC โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Control) โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการสั่งงาน โดย PLC มีข้อดีคือทนทานต่อการทำงาน มีความเสถียรสูง เหมาะกับการใช้ในอุตสาหกรรม แต่มีข้อด้อยคือมีราคาสูง ในการศึกษาทั่วไป นิยมใช้ Arduino สำหรับคอนโทรลเลอร์เนื่องจากมีราคาต่ำ ใช้งานง่าย แต่มีข้อด้อยมีความเสถียรต่ำ

### Arduino

บอร์ด Arduino เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นชิ้นส่วนหลัก ประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยบอร์ด Arduino ก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมของงาน โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดของบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ (I/O), แรงดันไฟที่ใช้, ประสิทธิภาพของ micro controller unit (MCU) เป็นต้น

การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมบอร์ด Arduino เขียนผ่านโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโค้ดโปรแกรม การคอมไพล์โปรแกรมและอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด ภาษาที่ใช้ในการเขียนโค้ดนั้นมีไวยากรณ์เหมือนกับภาษา C และ C++

### ประเภทบอร์ด Arduino ที่นิยม

- **Arduino Uno R3** เป็นบอร์ดอาดยโนที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ส่วนใหญ่โปรเจคและไลบรารี ต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นมาจะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือ กรณีที่ MCU (Microcontroller Unit) เสีย ผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย ซึ่ง MCU ของบอร์ดนี้เป็น DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Arduino Uno SMD** เป็นบอร์ดที่มีคุณสมบัติและการทำงานเหมือนกับบอร์ด Arduino UNO R3 ทุกประการ แต่จะแตกต่างกับที่รูปแบบของ MCU ซึ่งบอร์ดนี้จะมี MCU ที่เป็น SMD (Surface Mount Device)
- **Arduino Mega 2560 R3** เป็นบอร์ดอาณูยโน้ที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้ I/O (input/output) มากกว่า Arduino Uno R3 เช่น งานที่ต้องการรับสัญญาณจากเซนเซอร์หรือควบคุมมอเตอร์ Servo หลาย ๆ ตัว ทำให้ขา I/O ของบอร์ด Arduino Uno R3 ไม่สามารถรองรับได้ ทั้งนี้บอร์ด Mega 2560 R3 ยังมีความหน่วยความจำแบบ Flash (หน่วยความจำที่สามารถเขียนและลบข้อมูลได้ตามต้องการ และเก็บข้อมูลได้แม้ไม่ได้ต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์) มากกว่า Arduino Uno R3 ทำให้สามารถเขียนโค้ดโปรแกรมเข้าไปได้มากกว่า ในความเร็วของ MCU ที่เท่ากัน
- **Arduino Mega ADK** เป็นบอร์ดที่ออกแบบมาให้บอร์ด Mega 2560 R3 สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ Android Device ผ่านพอร์ต USB Host ของบอร์ดได้
- **Arduino Leonardo** การทำงานจะคล้ายกับบอร์ด Arduino Uno R3 แต่มีการเปลี่ยน MCU ตัวใหม่เป็น ATmega32U4 ซึ่งมีโมดูลพอร์ตยูเอสบีเอดวีด้วยชิป (แตกต่างจากบอร์ด Arduino UNO R3 หรือ Arduino Mega 2560 ที่ต้องใช้ชิป ATmega16U2 ร่วมกับ ATmega328 ในการเชื่อมต่อกับพอร์ตยูเอสบีเอดวี)
- **Arduino Mini 05** เป็นบอร์ด Arduino ขนาดเล็กที่ใช้ MCU เบอร์ ATmega328 เบอร์เดียวกับบอร์ด Arduino UNO R3
- **Arduino Pro Mini 328 3.3V** เป็นบอร์ดอาณูยโน้ขนาดเล็กที่ใช้ MCU เบอร์ ATmega328 ซึ่งจะคล้ายกับบอร์ด Arduino Mini 05 แต่บนบอร์ดจะมีตัวปรับแรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์ ชุดเดียวเท่านั้น ระดับแรงดันไฟฟ้า I/O คือ 3.3 โวลต์
- **Arduino Pro Mini 328 5V** เป็นบอร์ดอาณูยโน้ขนาดเล็กที่ใช้ MCU เบอร์ ATmega328 เช่นเดียวกับบอร์ด Arduino Mini 05 แต่บนบอร์ดจะมีตัวปรับแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ชุดเดียวเท่านั้น ระดับแรงดันไฟฟ้า I/O คือ 5 โวลต์
- **Arduino Ethernet with POE module** เป็นบอร์ด Arduino ที่ใช้ MCU เบอร์เดียวกับ Arduino Uno SMD ในบอร์ดมีชิปอีเทอร์เน็ต (Ethernet) และช่องสำหรับเสียบ SD Card รวมทั้งโมดูล POE ทำให้บอร์ดนี้สามารถใช้แหล่งจ่ายไฟจากสาย LAN ได้โดยตรง โดยไม่ต้องต่อ Adapter เพิ่ม แต่บอร์ด Arduino Ethernet with POE module นี้จะไม่มีพอร์ต USB ทำให้เวลาโปรแกรมต้องต่อบอร์ด USB to Serial Converter 1410) Arduino Ethernet without POE module บอร์ดนี้จะตัดโมดูล POE ออกไป ต้องใช้ไฟจากพอร์ต Power Jack เท่านั้น คุณสมบัติอื่น ๆ จะเหมือนกับบอร์ด Arduino Ethernet with POE module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Arduino Due เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ที่เปลี่ยนชิป MCU ใหม่ ซึ่งจากเดิมเป็นตระกูล AVR เปลี่ยนเป็นบอร์ด AT91SAM3X8E (ตระกูล ARM Cortex-M3) แทน ทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น แต่ยังคงรูปแบบโค้ดโปรแกรมของอาduinoที่ง่ายอยู่

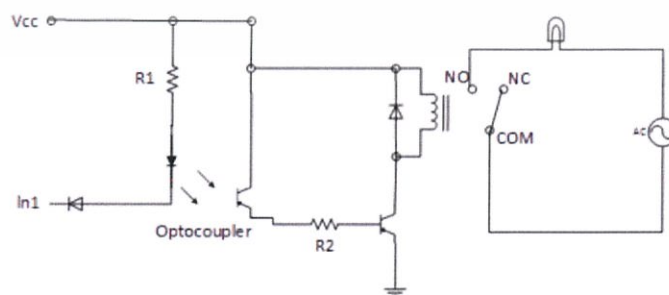
### รีเลย์โมดูล

รีเลย์โมดูลมีหลักการทำงานวงจรคือ การเปิดและปิดวงจรด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อขดลวดเหนี่ยวนำมีกระแสไหลผ่านจะมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก สามารถส่งแรงผลักหรือดูดเพื่อเปลี่ยนตำแหน่งสวิตช์ได้ ดังนั้นในรีเลย์โมดูลจะประกอบด้วยสองวงจรถังตัวอย่างในรูปข้างล่าง วงจรทางด้านซ้ายเป็นวงจรเพื่อเหนี่ยวนำขดลวดซึ่งจะต่ออยู่กับบอร์ดควบคุม วงจรด้านขวาเป็นวงจรของอุปกรณ์ที่เราต้องการขับ โดยมีสวิตช์เปิดปิดวงจรตามแรงดูดของขดลวด หน้าสัมผัสของสวิตช์มี 2 ชนิด คือ

หน้าสัมผัสปกติเปิดหรือ NO (Normally Open) หมายถึง หากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำ หน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิด

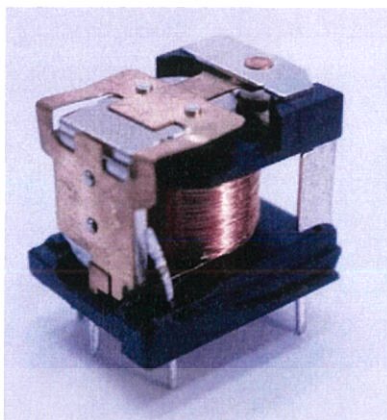
หน้าสัมผัสปกติปิดหรือ NC (Normally Closed) หมายถึง หากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำ หน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลา

หน้าสัมผัส NO คือ ฝั่งที่ทำให้กระแสไหลไม่ครบวงจรทำให้หลอดไฟไม่ติด ดังแสดงในรูปตัวอย่างนั้นหมายถึงจะต้องมีการจ่ายไฟให้ขดลวดในวงจรด้านซ้าย เพื่อดูดสวิตช์ในวงจรฝั่งขวามาที่หน้าสัมผัส NC วงจรจึงจะปิด และหลอดไฟจะติด การเปิดปิดกระแสผ่านขดลวดในวงจรฝั่งซ้าย กระทำผ่านการควบคุมไฟเลี้ยงทรานซิสเตอร์ เมื่อทำให้เกิดการจ่ายไฟเลี้ยง (VCC) ทรานซิสเตอร์จะนำกระแส ทำให้วงจรด้านขดลวดปิด และขดลวดจะทำหน้าที่เป็นแม่เหล็ก ซึ่งบอร์ด Arduino จะสามารถเข้ามาควบคุม Relay ได้ที่จุด In1 กล่าวคือถ้าส่งลอจิก High จะไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยง เนื่องจากไม่มีความต่างศักย์ ในทางกลับกัน หากส่งลอจิก Low จะทำให้วงจรปิด และสวิตช์จะเปลี่ยนทิศทาง



ภาพที่ 2.5 วงจรรีเลย์ควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 ลักษณะภายในรีเลย์โมดูล

### SD Card Module

โมดูล SD Card เป็นโมดูลที่ช่วยในการนำ Arduino ไปเชื่อมต่อกับ SD Card ซึ่ง SD Card ใช้การเชื่อมต่อ รับ-ส่งข้อมูลโดยใช้โปรโตคอล SPI ทำงานที่แรงดัน 3.3V โมดูลนี้ได้รวมวงจรเรกกูเลเตอร์แปลงแรงดันไฟตรงจาก 5V เป็น 3.3V และมีวงจร Logic Level Converter บนบอร์ด เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานกับบอร์ด Arduino ที่ทำงานที่แรงดัน 5V ได้ทันที

### การควบคุมความเร็วพัลลัม

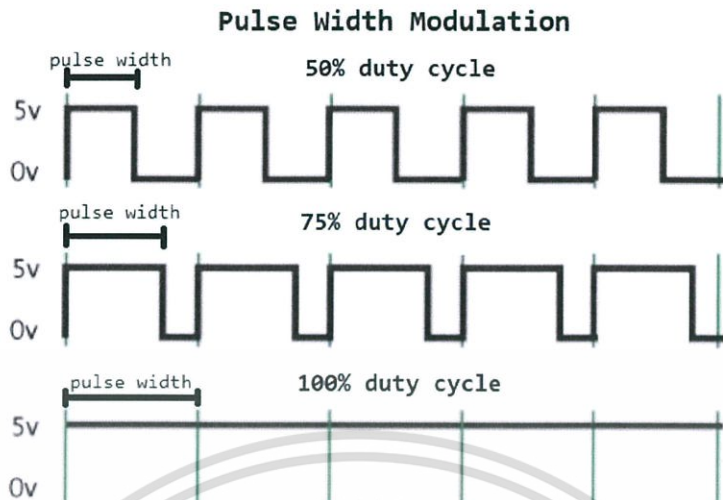
PWM (Pulse-Width Modulation) คือการส่งค่าดิจิทัล ปิด (Low 0) และเปิด (High 1) สำหรับบอร์ด Arduino รูปแบบสัญญาณเปิดและปิดนี้สามารถจำลองเป็นแรงดันไฟฟ้าระหว่างเปิด 5 โวลต์ และปิด 0 โวลต์



ภาพที่ 2.7 แสดงสัญญาณดิจิทัลปิด (Low 0) และ เปิด (High 1)

การเรียกช่วงที่เป็นปิดหรือเปิดตามการทำงาน เพราะช่วงที่เป็นปิดแรงดันไฟฟ้าจะเป็น 0 โวลต์ ทำให้ไม่มีการทำงาน ส่วนช่วงที่เป็นเปิดคือช่วงที่มีแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงาน ซึ่งช่วงของเวลาที่สัญญาณเป็นเปิด เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่สัญญาณออกมาทั้งหมด เราจะเรียกช่วงเวลาตรงนี้ว่า ความกว้างของสัญญาณ (Pulse width)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 ความกว้างของสัญญาณ

โดยให้สัญญาณความถี่คงที่ การควบคุมระยะเวลาสัญญาณสูงและสัญญาณต่ำที่ต่างกัน ทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยของสัญญาณสวิตต่างกัน สำหรับโมดูล PWM ของ Arduino มีความละเอียด 8 บิต หรือ ปรับได้ 255 ระดับ ดังนั้นค่าสัญญาณ 0 โวลต์ถึง 5 โวลต์ จะถูกแสดงเป็นสัญญาณแบบดิจิทัล จะได้ 0 ถึง 255 ซึ่งเราสามารถเทียบสัดส่วนคำนวณจากเลขจริง เป็น เลขทางดิจิทัลได้

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สิริวรรณ 2547 ศึกษาการใช้สารสกัดจากพืช 3 ชนิดคือ รากของเจตมูลเพลิงแดง ใบและลำต้นของทองพันชั่ง และใบน้อยหน่า ในการยับยั้งเชื้อ *C. gloeosporioides* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคแอนแทรคโนส และการยับยั้งเชื้อ *L. theobromae*, *P. mangiferae* และ *D. dominicana* สาเหตุของโรคขี้เน่า จากผลการศึกษาพบว่าสารสกัดจากรากของเจตมูลเพลิงแดง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อทั้ง 4 ชนิดได้ สารสกัดจากใบน้อยหน่าไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อทั้ง 4 ชนิดลงได้ ส่วนสารสกัดจากเปลือกมังคุด สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อทั้ง 4 ชนิดได้ ในการทดสอบการยับยั้งเชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสและโรคขี้เน่า โดยทำการเพาะเชื้อที่เป็นสาเหตุลงบนมะม่วง แล้วนำไปจุ่มในสารสกัดจากเจตมูลเพลิงแดง และมังคุดที่ความเข้มข้น 2750 และ 5500 ppm ตามลำดับ นาน 5 และ 10 นาที พบว่าสารสกัดทั้งสองสามารถลดการสูญเสียของการเกิดโรคแอนแทรคโนสและโรคขี้เน่าลงได้

Soisuda et al. (2017) ศึกษาองค์ประกอบไอน้ำสัมสายชูจากข้าวหมักที่ความเข้มข้น 8% จากผลการศึกษาพบว่าภายในไอน้ำสัมสายชูมีสารสำคัญได้แก่ 1.Acetic acid 2.Butanol, 3-methyl-, acetate 3.Isoamylalcohol 4.b-Phenylethyl acetate 5.Benzeneethanol 6.Hexadecanoic acid, methyl ester 7.Ethyl ester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นุชนางค์ กุดแก้ว (2551) ได้ศึกษาการลดจำนวนเชื้อ *Salmonella Anatum* บนเนื้อสุกรด้วยกรดอะซิติก พบการทดลองประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อด้วยวิธี Disc agar diffusion โดยใช้กรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 1-3 % สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. Anatum* ลงได้ การนำเนื้อสันนอกจุ่มในกรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 1-3% จุ่มนาน 1 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าเนื้อมีสีซีดขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกสูงขึ้นเนื้อสุกรมีการสูญเสียน้ำเพิ่มสูงขึ้น ในการทดลองนี้สรุปได้ว่าการใช้กรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 1% เหมาะสมกับการนำมายับยั้งเชื้อบนเนื้อสุกรแล้วคุณภาพเนื้อยังอยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับได้

ฐิตินันท์ ชยารัชรกุล (2555) ได้ศึกษากรรมไอรอนน้ำส้มสายชูหมัก เอทานอล และสารร่วม เพื่อยับยั้ง *K.pneumoniae* ในผักชี พบว่า เมื่อทำการหมักไอน้ำส้มสายชูหมักความเข้มข้น 10% เป็นเวลา 50 นาที สามารถยับยั้งเชื้อ *K.pneumoniae* ในจานเพาะเชื้อ ได้อย่างสมบูรณ์ และการหมักไอน้ำส้มสายชูหมักในผักชีที่มีการถ่ายเชื้อ *K.pneumoniae* ระดับทั่วไปปริมาณ 4 log CFU/g และระดับสูงปริมาณ 6 log CFU/g พบว่าประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ ในระดับทั่วไปสูงกว่าในระดับสูง โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการยับยั้งเชื้อ ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้ลักษณะทางกายภาพของผักชีมีลักษณะดี และผักชีที่ผ่านการรมไอน้ำแล้วที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ผักชีที่รมไอน้ำส้มสายชูเก็บรักษาได้ใกล้เคียงกับผักชีที่ไม่ผ่านการรมไอน้ำ

ภัทราพรรณ จรุงรัตนสกุล (2552) ได้ศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Botrytis cinerea* บนผิวของสตอเบอร์รี่สดด้วยน้ำส้มสายชูหมัก พบว่า การปรับแต่งกลิ่นของน้ำส้มสายชูโดยใช้สตอเบอร์รี่ 20% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในน้ำส้มสายชูหมักความเข้มข้น 4% โดยปริมาตร จากนั้นมาสเปรย์ลงบนผิวสตอเบอร์รี่สด พบว่าสามารถลดการเสื่อมเสียของสตอเบอร์รี่ได้ 20% เมื่อเทียบกับสตอเบอร์รี่สดที่ไม่ได้สเปรย์ (ชุดควบคุม) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และการรมไอน้ำส้มสายชูหมักความเข้มข้น 10% ในสตอเบอร์รี่สด เป็นเวลา 20 นาที สามารถลดการเสื่อมเสียของสตอเบอร์รี่ได้ 20% เมื่อเทียบกับสตอเบอร์รี่สดที่ไม่ได้รมไอน้ำส้มสายชู (ชุดควบคุม) สตอเบอร์รี่สดเริ่มแสดงการเสื่อมเสียเมื่อเวลาผ่านไป 9,7 และ 5 โดยการรมไอน้ำส้มสายชูสามารถเก็บได้นานที่สุดรองลงมาคือ การสเปรย์น้ำส้มสายชู และสตอเบอร์รี่ชุดควบคุม ตามลำดับ กลิ่นของน้ำส้มสายชูหมักผสมสตอเบอร์รี่ส่งผลต่อการยอมรับด้านกลิ่นรสชาติหลังการสเปรย์เท่านั้น ไม่ส่งผลต่อการยอมรับในระหว่างการเก็บ แต่การรมไอน้ำส้มสายชูกลิ่นสตอเบอร์รี่ไม่ส่งผลต่อการยอมรับหลังการรมไอน้ำและระหว่างการเก็บ

พัทธนันท์ ดันไทร (2554) ได้ศึกษาการลดปริมาณเชื้อ *Salmonella typhimurium* ที่ปนเปื้อนบนผักกาดหอมสดโดยใช้ น้ำส้มสายชูหมักและสารสกัดขมิ้นชัน จากการศึกษาพบว่า สารละลาย

น้ำส้มสายชูหมักที่ความเข้มข้น 1.7% โดยปริมาตร ที่ค่า pH 3.86 สามารถยับยั้งเชื้อจาก 7.12 log CFU/ml เหลือ 6.66 log CFU/ml ภายในเวลา 10 นาที และยับยั้งได้อย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 25 นาที

Melinda et al. (2017) ศึกษาการใช้โอกรดอะซิติกจากเครื่องอัลตราโซนิกในการรมผลพวยงเหมย (red bayberry) พบว่าการรมโอกรดอะซิติกที่สารละลายกรดอะซิติก PH 2.4 ผลพวยงเหมยที่ผ่านการรมโอเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน มีการสูญเสียที่ 18% เทียบกับผลพวยงเหมยที่ไม่ได้ผ่านการรมโอกรดอะซิติก แต่เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน เช่นเดียวกัน มีการสูญเสียถึง 70% และการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผลพวยงเหมยที่ผ่านการรมโอกรดอะซิติกไม่ส่งผลกระทบต่อรสชาติ และการใช้โอจากอัลตราโซนิกทำให้โอกรดอะซิติกไม่เกิดการคอบแน่นบนผิวผลไม้ทำให้สามารถนำผลไม้ไปบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ได้ทันที

จิราวรรณ ยี่สิบเสน (2552) ได้ศึกษาการลด Salmonella Enteritidis บนผิวเปลือกไข่ด้วยน้ำส้มสายชูหมัก โดยในการศึกษาใช้น้ำส้มสายชูที่มีความเข้มข้น 1-5% พบว่าในการทดสอบการยับยั้งเชื้อด้วยวิธี Agar Overlay Disc Diffusion Method น้ำส้มสายชูที่มีความเข้มข้น 2-3% เกิดโซนยับยั้งที่ไม่ต่างกัน และการศึกษาการยับยั้งเชื้อบนเปลือกไข่ด้วยวิธีการจุ่ม สเปรย์ และรมไอน้ำส้มสายชูหมัก พบว่าการยับยั้งเชื้อด้วยวิธีการจุ่มน้ำส้มสายชูที่มีความเข้มข้น 2% และ 10% สามารถยับยั้งได้ภายในระยะเวลา 10 นาที และ 5 นาที ตามลำดับ

เนตรนภิส เขียวขำ (2541) ศึกษาการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วยกรดอะซิติก ทดลองจุ่มมะม่วงที่เพาะเชื้อ *C. gloeosporioides* ในกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2% และ 2% พบว่าไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อลงได้อย่างสมบูรณ์ แต่การรมโอกรดอะซิติกด้วยสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 100% นาน 60 นาที และ 120 นาที สามารถยับยั้งเชื้อลงได้เหลือ 7.3% และ 1.8% แต่ทำให้ผิวของมะม่วงเกิดความเสียหาย การรมโอกรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 0.1%, 1%, 10% และ 20% นาน 30 นาที และ 60 นาที พบว่ากรดอะซิติกเข้มข้น 10% และ 20% สามารถลดความเสียหายจากเชื้อลงได้ 50.6 % และ 49.5% เมื่อรมไอนาน 30 นาที และค่า pH สีของเปลือกและเนื้อรสชาติ ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาลักษณะของไอ

##### 3.1.1 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ มีดังนี้

###### วัสดุ

1. ถุงเก็บตัวอย่างไอ
2. กระดาษทิชชู ยี่ห้อ Cellox
3. สารละลายน้ำส้มสายชู 8%

###### เครื่องมือ

1. เครื่องวัดความเร็วลม
2. เครื่องวัดอุณหภูมิ
3. เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์
4. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น
5. หลอดไซลิงค์
6. โปรแกรม solid work

###### อุปกรณ์

1. เครื่อง Ultrasonic Atomizer
2. ถังใส่น้ำส้มสายชู
3. พัดลม ขนาด 12\*12 เซนติเมตร
4. ตู้รมไอ
5. ท่อส่งไอ

##### 3.1.2 การศึกษาการกระจายของไอน้ำส้มสายชู

1. ประกอบตู้ทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการกระจายของไอน้ำส้มสายชู โดยประกอบจากโครงเหล็ก กวากและพลาสติกUV
2. ชั่งน้ำหนักของกระดาษทิชชูแต่ละชิ้นและเตรียมชุดการทดลอง
3. วางกระดาษทิชชู 3 ชั้น ชั้นละ 5 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาการกระจายตัวของไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการรวมไอ ณ 3 ตำแหน่ง (ชั้นที่1, ชั้นที่2 และชั้นที่ 3) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิที่ 26 องศาเซลเซียส
4. ชั่งน้ำหนักพืชหลังการรวมไอ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพืช



ภาพที่ 3.1 ตู้ทดลองการรวมไอเบื้องต้น

### 3.1.3 การศึกษาข้อมูลการออกแบบตู้รวมไอรกรดน้ำส้มสายชู

ทำการศึกษาออกแบบตู้รวมไอ โดยคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ในการทำตู้รวมไอ เนื่องจากไอที่ผลิตได้จากน้ำส้มสายชูเป็นกรดอ่อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วัสดุที่สามารถทนการกัดกร่อนของกรดได้ เช่น Stainless 304, Stainless 316 เนื่องจากมีส่วนที่เป็นตะแกรงที่ต้องสัมผัสกับอาหาร จึงจำเป็นต้องใช้ Stainless 316 และสารเคลือบที่เป็น Food Grade
2. ส่วนประกอบของระบบไอและตู้รวมไอ ได้แก่ ส่วนทำไอ, ตู้รวมไอ, ระบบปรับอากาศ, ส่วนระบบควบคุม และส่วนอื่นๆ
3. อุณหภูมิ มีผลต่อการรวมไอและการเก็บรักษา ถ้าหากใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส ผลมะม่วงจะเกิดการสะท้านหนาว เนื่องจากเป็นผลไม้ฤดูร้อน การเกิดสะท้านหนาวของมะม่วงจะส่งผลให้มะม่วงเกิดจุดดำที่ผล และทำให้อายุในการเก็บรักษาสั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

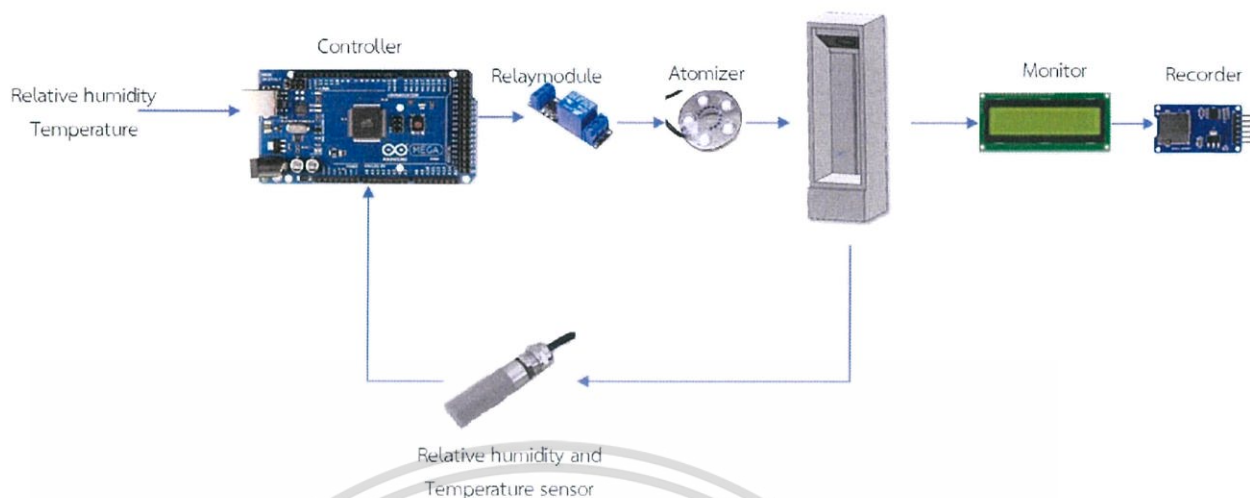
4. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ มีผลต่อการสูญเสียน้ำของผลมะม่วง ถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์มีค่าที่ต่ำกว่า 70%RH ดังนั้นเราจึงต้องควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้มีค่าที่สูงและเหมาะสมในการรมไอและการเก็บรักษา
5. ความเข้มข้นของกรดอะซิติก มีผลต่อการกักร่อนตัวผลของมะม่วงทำให้เกิดจุดดำและเกิดการเน่าเสียได้ จึงต้องใช้ความเข้มข้นไม่สูงเกินไปที่จะส่งผลการเสียหายต่อผลมะม่วง
6. ระยะเวลา หากใช้เวลานานเกินไปในการรมไอ จะส่งผลให้มะม่วงเกิดจุดดำ แต่สามารถที่จะลดเชื้อในมะม่วงลงได้ แต่ถ้าหากใช้เวลาที่สั้นเกินไปในการรมไอ จะส่งผลให้การลดลงของเชื้อในมะม่วงไม่ได้ประสิทธิภาพ
7. ความเร็วลมของพัดลม การส่งไอน้ำสัมผัสสายชูเข้าตู้รมไอขึ้นอยู่กับความเร็วของพัดลม โดยใช้ความเร็วของพัดลมเท่ากับ 2 เมตรต่อวินาที
8. เครื่องอัลตราโซนิก ใช้อัลตราโซนิกแบบ 3 หัว (เพียโซอิเล็กทริก 3 จุด) โดยสามารถผลิตอัตราการไหลของไอเท่ากับ 0.42 เมตร<sup>3</sup>ต่อนาที
9. โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ ออกแบบตู้รมไอและจำลองการไหลของไอน้ำสัมผัสสายชูโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORK 2016

### 3.2 การออกแบบระบบควบคุม

3.2.1 บอร์ด Arduino mega 2560 ในการควบคุมและแสดงการทำงานของตู้รมไอ โดยเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน อุปกรณ์ที่ใช้งาน ได้แก่

1. Relay module ควบคุมการเปิด/ปิดการทำงานของ Ultrasonic atomizer
2. PWM module ควบคุมความเร็วของพัดลม
3. จอ LCD แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นระหว่างการรมไอ
4. SD card module บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นระหว่างการทำรม
5. RTS module เพื่อให้Arduino รับค่าเวลา
6. เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น รับค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เย็น ตู้รมไอ และระหว่างการรมไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์ระบบควบคุม

### 3.2.2 โปรแกรม Arduino IDE สำหรับควบคุมการทำงานของบอร์ด Arduino

1. ติดตั้งไลบรารีของอุปกรณ์ที่ใช้กับบอร์ด Arduino ลงคอมพิวเตอร์
2. เขียนชุดคำสั่งสำหรับสั่งงานอุปกรณ์ผ่านบอร์ด Arduino ลงโปรแกรม Arduino IDE



ภาพที่ 3.3 โปรแกรม Arduino

### 3.3 ขั้นตอนการออกแบบระบบรมไอน้ำสัสมายซู

1. กำหนดเกณฑ์การออกแบบระบบการรมไอน้ำ โดยแบ่งเป็น 5 ส่วน ได้แก่
  - ส่วนทำไอน้ำสัสมายซู
  - ตู้รมไอน้ำสัสมายซู
  - ระบบปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนควบคุม
  - ส่วนอื่นๆ
2. กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการทำไอในแต่ละส่วนของระบบ  
เช่น ความสามารถในการทนการกัดกร่อนจากกรด อุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม
  3. ทำการเขียนแบบส่วนประกอบต่างๆ  
นำมาประกอบกันจนเป็นโมเดลของระบบรวมไอน้ำสัมผัสสายชู ในโปรแกรม SOLIDWORK 2016
  4. จัดหาวัสดุ  
จัดหาวัสดุของส่วนประกอบตามขนาดและรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยพิจารณาวัสดุที่สามารถทนการกัดกร่อนของกรดที่ได้จากไอน้ำสัมผัสสายชู
  5. ปรับเปลี่ยนและประกอบรูปแบบของตุ้มไอ  
ให้เหมาะกับที่ออกแบบไว้ โดยนำวัสดุและส่วนประกอบต่างๆมาขึ้นรูปอย่างเหมาะสม
  6. โมเดลตุ้มไอต้นแบบ  
ได้ตุ้มไอต้นแบบและทำการทดสอบการทำงานของตุ้มไอ

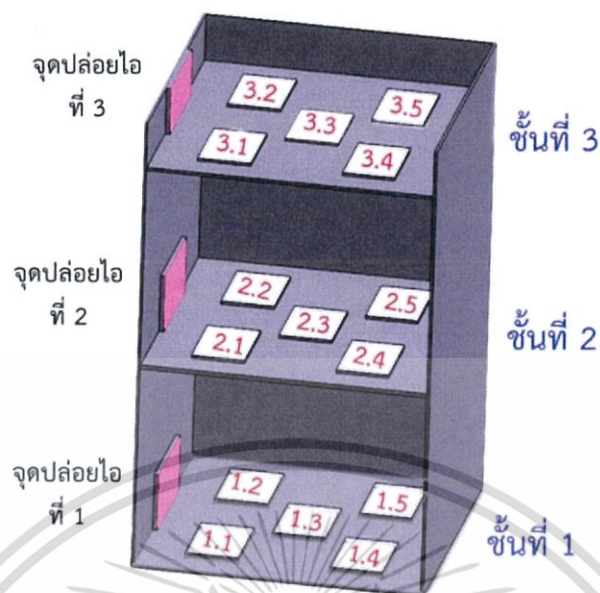
### 3.4 วิธีการทดลอง

#### 3.4.1 การทดสอบการทำงานของตุ้มไอเบื้องต้น

โดยทำการศึกษาการกระจายของไอน้ำสัมผัสสายชู

1. ชั่งน้ำหนักของทิชชูแต่ละชั้นและเตรียมชุดการทดลอง
2. วางทิชชู 3 ชั้น ชั้นละ 5 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาการกระจายตัวของไอ
3. ทำการรมไอ ณ 3 ตำแหน่ง (บน กลาง และล่าง) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิที่ 26 องศาเซลเซียส
4. ชั่งน้ำหนักทิชชูหลังการรมไอ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของทิชชู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 ตู้การทดลองเบื้องต้น

### 3.4.2 การทดสอบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตูรมไอน้ำส้มสายชู

เก็บค่าบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตูรมไอน้ำ โดยใช้เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (sht 31) ขณะทำการรมไอน้ำ เป็นเวลา 60 นาที ทั้ง 3 สภาวะ ได้แก่

สภาวะที่ 1 อุณหภูมิตูรมไอน้ำและที่อุณหภูมิน้ำส้มสายชู 25 องศาเซลเซียส

สภาวะที่ 2 อุณหภูมิตูรมไอน้ำ 10 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิน้ำส้มสายชู 25 องศาเซลเซียส

สภาวะที่ 3 อุณหภูมิตูรมไอน้ำและอุณหภูมิน้ำส้มสายชู 10 องศาเซลเซียส

### 3.4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *C.gloeosporioides* บนจานเพาะเชื้อ โดยการรมไอน้ำส้มสายชูความเข้มข้น 8%

1. นำจานเพาะเชื้อที่ลงเชื้อ *C.gloeosporioides* ที่ปริมาณ 3 log CFU/ml มาเข้าตูรมไอน้ำที่ละ 2 จาน
2. ทำการจับเวลาในการรมไอน้ำ 2 4 6 และ 8 นาที ที่อุณหภูมิ 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส
3. บ่มจานเพาะเชื้อที่ตู้บ่มเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส
4. ตรวจสอบการลดลงของเชื้อ และเทียบกับชุดคอนโทรล (0 นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *C.gloeosporioides* บนผลมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยการรมไอน้ำส้มสายชูความเข้มข้น 8%

1. นำมะม่วงน้ำดอกไม้มาล้างน้ำหนักและบันทึก
2. นำมะม่วงเข้าตูรมไอน้ำเป็นเวลา 10 20 และ 30 นาที ทำซ้ำ 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ  $15 \pm 2$  องศาเซลเซียส
3. บ่มมะม่วงที่ตู้บ่มเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 2$  องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเชื้อที่เกิดขึ้นบนมะม่วง

#### คุณสมบัติมะม่วงน้ำดอกไม้

ศึกษาค้นคว้าข้อมูลคุณสมบัติโดยทั่วไปของมะม่วงน้ำดอกไม้ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกและสีเนื้อ ค่าความเป็นกรดต่าง และความหวาน

### 3.4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงตำหนิบนผิวมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการรมไอน้ำส้มสายชู

1. วางแผนการทดลองแบบ box Behnken โดยทดลองรมไอน้ำส้มสายชูบนมะม่วงที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของน้ำส้มสายชู 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 1, 8 และ 15 นาที ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองการรมไอน้ำส้มสายชูบนมะม่วง ทั้ง 15 การทดลอง

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (%)
1	10	8	0
2	10	8	8
3	10	1	4
4	30	1	4
5	30	8	0
6	20	1	0
7	30	8	8
8	10	15	4
9	20	15	8
10	30	15	4
11	20	1	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12	20	8	4
13	20	8	4
14	20	8	4
15	20	15	0

2.รมโอมะม่วงตามแผนการทดลองแบบ box benken

3.เก็บมะม่วงที่อุณหภูมิห้อง  $30 \pm 2$  องศาเซลเซียส และถ่ายรูป วันที่ 0, 1, 2, 3 และ 4

4.หาเปอร์เซ็นต์พื้นที่ตำหนิบนผิวต่อพื้นที่ผิวทั้งหมดใช้โปรแกรม photoshop cs6 หาพื้นที่ผิวโดยใช้คำสั่ง Quick Selection หาพื้นที่เป็นหน่วย pixel

5.เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์พื้นที่ตำหนิบนผิวมะม่วงในวันที่ 4 เทียบกับวันที่ 0

6.นำผลต่างของพื้นที่ตำหนิบนผิวของมะม่วงผลที่มีพื้นที่ตำหนิบนผิวในวันที่ 0 น้อยที่สุดแต่ผลการทดลอง มาวิเคราะห์การถดถอย Regression ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรม Microsoft office excel 365 หาความสัมพันธ์กับตัวแปรอุณหภูมิไอ ความเข้มข้นน้ำส้มสายชู และระยะเวลาการรมไอ กับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของตำหนิบนผิว

### 3.4.6 การศึกษาปริมาณกรดอะซิติกในไอน้ำส้มสายชู

1. เก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตูรมไอ ขณะรมไอน้ำส้มสายชู 3 สภาวะได้แก่

สภาวะที่ 1 อุณหภูมิตูรมไอและที่อุณหภูมิไอน้ำส้มสายชู 25 องศาเซลเซียส

สภาวะที่ 2 อุณหภูมิตูรมไอ 10 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิไอน้ำส้มสายชู 25 องศาเซลเซียส

สภาวะที่ 3 อุณหภูมิตูรมไอและอุณหภูมิไอน้ำส้มสายชู 10 องศาเซลเซียส

2. เก็บตัวอย่างไอน้ำส้มสายชูขณะรมไอ ที่เวลา 2, 5, 10, 15, 30 และ 60 นาที โดยใช้หลอดไซริงค์ในการเก็บตัวอย่างไอจากส่วนที่รมไอที่ช่องสำหรับเก็บตัวอย่าง นำใส่ถุงเก็บตัวอย่างอากาศที่ปริมาตรเท่ากับ 0.5 ลิตร และติดฉลากกำกับที่ถุงเอาไว้ ณ เวลาต่างๆ

3. นำถุงตัวอย่างไอที่ได้มาเข้าเครื่องวิเคราะห์ Gas Chromatography จากนั้นใช้หลอดไซริงค์ดูดไอออกจากถุงเก็บตัวอย่างอากาศเป็นปริมาตร 8 มิลลิลิตร และฉีดเข้าไปที่ช่องสำหรับใส่ตัวอย่างวิเคราะห์ เพื่อหาความเข้มข้นของกรดอะซิติกต่อไป

4. ใช้เวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 20-30 นาที ในการวิเคราะห์โดยเครื่อง จะได้ผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เจอสารกับปริมาณที่เจอสารในช่วงเวลานั้นๆ แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณจอมอนิเตอร์ จากนั้นทำการเลือกพื้นที่ได้กราฟของกรดอะซิติกเทียบกับพื้นที่ได้กราฟทั้งหมด จะได้ผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของกรดอะซิติกในตัวอย่างไอน้ำส้มสายชู

#### 5. รวบรวมผลและนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์



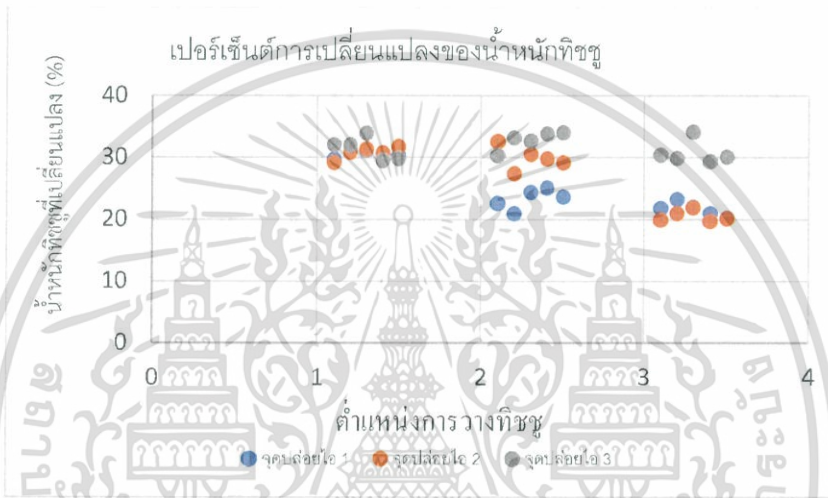
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลทดสอบการทำงานของตุ้มไอเบื้องต้น

การศึกษาการกระจายตัวของไอน้ำสัมผัสชายชุดที่ตำแหน่งการปล่อยไอ 3 ตำแหน่ง จุดปล่อยไอที่ 1 ชั้นล่าง จุดปล่อยไอที่ 2 ชั้นกลาง และจุดปล่อยไอที่ 3 ชั้นบน โดยการหาหน้าหนักที่เปลี่ยนไปของกระดาษทิชชูที่ตำแหน่งต่างๆบนชั้นวาง



ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักทิชชูที่เปลี่ยนแปลงและตำแหน่งการวางทิชชู

จากภาพที่ 4.1 พบว่าค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของน้ำหนักทิชชูที่เพิ่มขึ้น มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานดังนี้ จุดปล่อยไอที่ 1 มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.12 จุดปล่อยไอที่ 2 มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.93 และจุดปล่อยไอที่ 3 มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.85

#### 4.2 เกณฑ์การออกแบบส่วนประกอบของตุ้มไอกรดน้ำสัมผัสชายชุด

กำหนดเกณฑ์การออกแบบส่วนประกอบต่างๆของตุ้มไอ ดังนี้

##### 4.2.1 โครงสร้างตุ้มไอภายใน

ตารางที่ 4.1 เกณฑ์ส่วนประกอบโครงสร้างตุ้มไอภายใน

ส่วนประกอบของตุ้มไอภายใน	เกณฑ์การออกแบบ	วัสดุ
1. โครงสร้าง	สามารถทนการกัดกร่อนของกรด มีความแข็งแรง และไม่ขึ้นสนิม	สแตนเลส 304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตู้รมไอกายใน	ผนังต้องมีความแข็งแรง ยึดหยุ่น ไม่แตกหักง่าย สามารถทนการกัดกร่อนของกรด ขนาด 200 ลิตร	พลาสติก PE 300
3. ประตูด้านหน้าตู้รมไอกายใน	สามารถทนการกัดกร่อนของกรด มีความแข็งแรง สามารถมองเห็นภายใน	แผ่นอคริลิกใส
4. รางติดชั้น	สามารถทนการกัดกร่อนของกรด ไม่ขึ้นสนิม และมีความแข็งแรง	สแตนเลส 316
5. ชั้นตะแกรงสแตนเลส	วัสดุที่สามารถสัมผัสกับผักและผลไม้ สามารถทนการกัดกร่อนของกรด ไม่ขึ้นสนิม และมีความแข็งแรง	สแตนเลส 316
6. ตะขอเกี่ยวชั้น	สามารถทนการกัดกร่อนของกรด มีความแข็งแรงและไม่ขึ้นสนิม	สแตนเลส 316
7. ตัวนอต	ใช้เป็นตัวยึดระหว่างรางติดชั้น ผนังตู้รมไอก และโครง สามารถทนการกัดกร่อนของกรด และไม่ขึ้นสนิม	สแตนเลส 304
8. ระบบลือกประตู และบานพับ	ไม่ให้มีการรั่วของไอน้ำสัมผัสสายชู และสามารถทนการกัดกร่อนของกรด	ตัวลือกสแตนเลส+ยางดึงบานพับสแตนเลส
9. ล้อ	ล้อ 4 ล้อ สามารถรับน้ำหนักรวมได้ 100 กิโลกรัม	ล้อที่สามารถรับน้ำหนักได้ 25 กิโลกรัม

#### 4.2.2 อุปกรณ์การผลิตไอน้ำสัมผัสสายชู

##### ตารางที่ 4.2 เกณฑ์ส่วนประกอบการผลิตทำไอน้ำสัมผัสสายชู

ส่วนประกอบของส่วนทำไอน้ำ	เกณฑ์การออกแบบ	วัสดุ
1. เครื่องทำไอน้ำUltrasonic	สามารถผลิตไอน้ำได้เพียงพอ สามารถทนการกัดกร่อนของกรด	สแตนเลส และเซรามิก
2. ถังใส่น้ำสัมผัสสายชู	บรรจุน้ำสัมผัสสายชูได้มากกว่า 5 ลิตร	สแตนเลส หรือ พลาสติก PE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พัดลม	ขนาด 12x12 เซนติเมตร และสามารถทนการกัดกร่อนของกรด	กรอบและใบพัดเป็นพลาสติกPE
4. แท่นวางพัดลม	สามารถทนการกัดกร่อนของกรด และมีความแข็งแรง	สแตนเลส
5. ทุ่นลอยน้ำ	สามารถทนการกัดกร่อนของกรด ทำให้เกิดช่องว่างคงที่ระหว่างเครื่องทำไอ กับผิวน้ำ 5 เซนติเมตร	พลาสติกPE

#### 4.2.3 ระบบทำความเย็น

##### ตารางที่ 4.3 เกณฑ์ระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็น	เกณฑ์การเลือกใช้
1. ตู้เย็น หรือ ตู้แช่เครื่องดื่ม Powercool รุ่น pc1355	สามารถทำความเย็นได้ในช่วง 2-10 องศาเซลเซียส ขนาด 330 ลิตร

#### 4.2.4 ระบบควบคุมและเซนเซอร์

##### ตารางที่ 4.4 เกณฑ์ระบบควบคุมและเซนเซอร์

ระบบควบคุมและเซนเซอร์	เกณฑ์การเลือกใช้
1. ระบบควบคุม Arquino	สามารถควบคุมการทำงานของระบบ และเก็บข้อมูล
2. เซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ	สามารถทนความชื้นสูง สามารถทนการกัดกร่อนของกรด มีความละเอียดสูง และมีความไวสูง

#### 4.2.5 ส่วนประกอบอื่นๆของระบบ

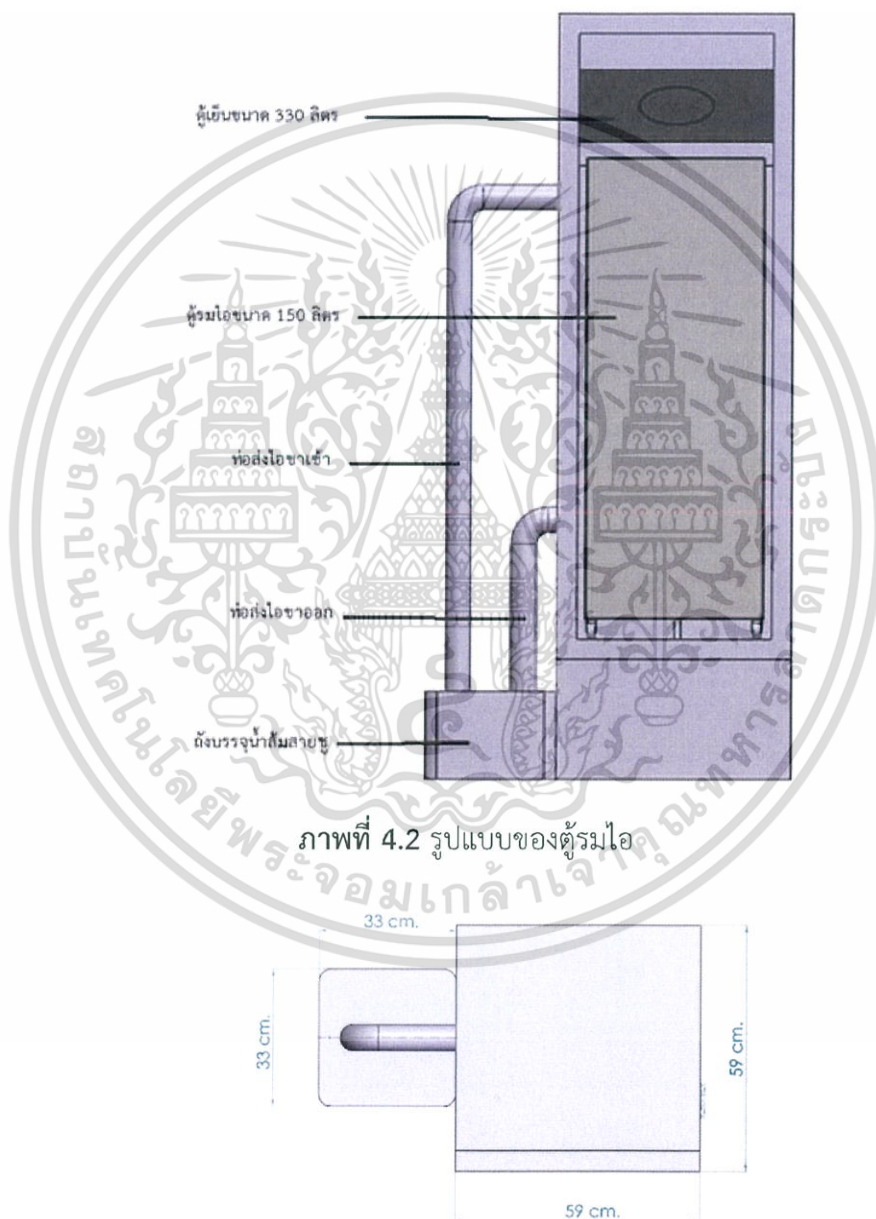
##### ตารางที่ 4.5 เกณฑ์ส่วนประกอบอื่นๆของระบบ

ส่วนประกอบอื่นๆของระบบ	เกณฑ์การออกแบบ	วัสดุ
1. ท่อส่งไอ	มีความยืดหยุ่น บิดงอได้ ทนกรด เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว	พลาสติก PE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

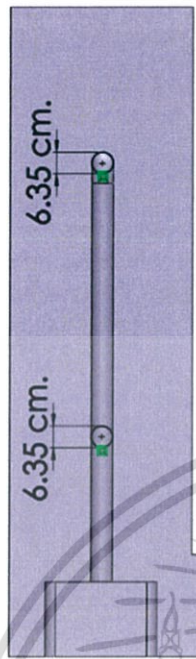
2. ก่อสร้างสำหรับใส่ระบบควบคุม	มีความแข็งแรง มีฝาใส มองเห็นภายใน	พลาสติก PE
3. ซีลกันรั่ว	สามารถทนการกัดกร่อนของกรด และสามารถกันรั่วได้	ยางสังเคราะห์ หรือยางโพลียูรีเทน

นำส่วนต่างๆมาประกอบกันได้เป็นตูรมือ ดังแสดงในภาพที่ 4.2-4.7

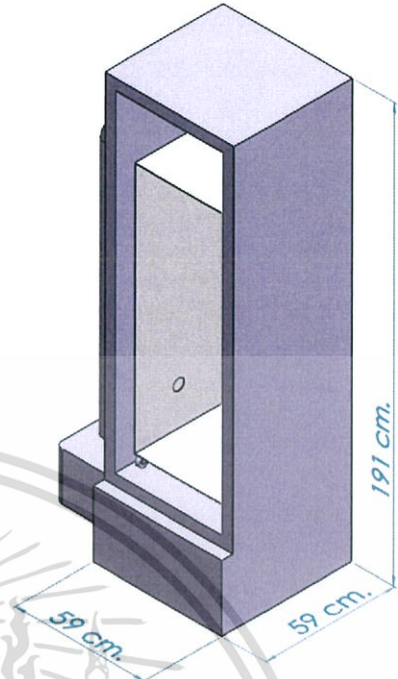


ภาพที่ 4.3 รูปแบบตูรมือ (มุมมองด้านบน)

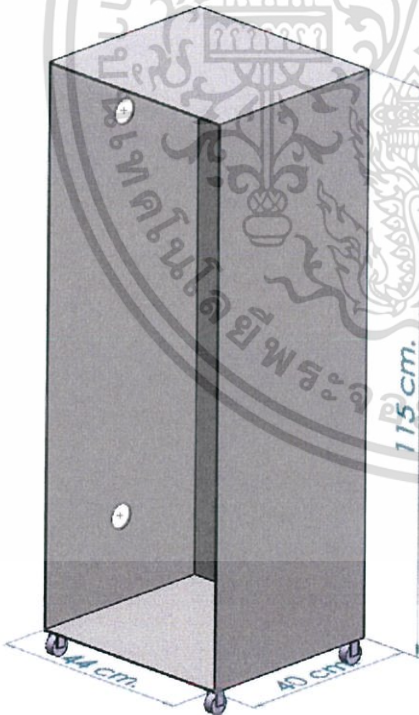
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 รูปแบบของตู้รมไอ (มุมมองด้านซ้าย)



ภาพที่ 4.5 รูปแบบของตู้รมไอ (มุมมองด้านขวา)



ภาพที่ 4.6 ตู้รมไอภายใน





ภาพที่ 4.7 ตู้รมไอภายใน (มุมมองด้านหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การออกแบบตู้อมไอน้ำสัสมายชู

#### 4.3.1 ส่วนของตู้อมไอน้ำสัสมายชู

ตารางที่ 4.6 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ของส่วนประกอบต่าง ๆ ของตู้อมไอน้ำ

ส่วนประกอบ	ภาพประกอบ	รายละเอียด
โครงตู้อมไอน้ำ		<p>วัสดุ: สแตนเลสกล่อง 304 หนา 1.6 เซนติเมตร ความยาว 115 เซนติเมตร จำนวน 4 ชิ้น ความยาว 40 เซนติเมตร จำนวน 6 ชิ้น และความยาว 48 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น</p> <p>ขนาด: 48x40x115 เซนติเมตร</p> <p>ลักษณะทั่วไป: มีความแข็งแรง สามารถทนการกัดกร่อนของกรดได้ และไม่เกิดการโค้งงอของเหล็ก</p> <p>ราคา: 1500 บาท</p>
ผนังตู้อมไอน้ำ		<p>วัสดุ: พลาสติก PE หนา 3 มิลลิเมตร</p> <p>ขนาด : 44.4x40x115 เซนติเมตร</p> <p>ลักษณะทั่วไป: รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า บรรจุภายในได้ 20 ลิตร มีความแข็งแรง และสามารถทนการกัดกร่อนของกรดได้ สามารถเช็ดทำความสะอาดได้ง่าย</p> <p>ราคา: 1400 บาท</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>ประตูด้านหน้าตู้รมไอ</p>		<p>วัสดุ: พลาสติกอะคริลิกใส หนา 3 มิลลิเมตร          ขนาด: 45x115 เซนติเมตร          ลักษณะทั่วไป: มีความโปร่งใส สามารถเช็ดทำความสะอาดได้ง่าย มีความแข็งแรง และสามารถทนการกัดกร่อนของกรดได้          ราคา: 600 บาท</p>
<p>รางติดชั้น</p>		<p>วัสดุ: สแตนเลส 316 หนา 1 เซนติเมตร จำนวน 4 อัน          ขนาด: 1.6x110 เซนติเมตร          ลักษณะทั่วไป: มีความแข็งแรง มีร่องไว้สำหรับเกี่ยวตะขอ          ราคา: 150 บาท</p>
<p>ชั้นตะแกรง</p>		<p>วัสดุ: สแตนเลส 316 จำนวน 3 อัน          ขนาด: 35x35 เซนติเมตร          ลักษณะทั่วไป: ตะแกรงสำหรับวางผักและผลไม้          ราคา: 150 บาท</p>
<p>ตะขอ</p>		<p>วัสดุ: สแตนเลส 316 จำนวน 12 อัน          ขนาด: 1.9x2.5x8.4 เซนติเมตร          ลักษณะทั่วไป: มีความโค้งงอสำหรับเกี่ยวชั้นตะแกรงและรางติดชั้น          ราคา: 150 บาท</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอต		วัสดุ: สแตนเลส 304 ลักษณะทั่วไป: มีเกลียวไว้สำหรับยึดติด มีร่องไว้สำหรับขัน ราคา: 80 บาท
ล้อ		วัสดุ: พลาสติก PP จำนวน 4 ล้อ ลักษณะทั่วไป: มีสีขาวย สามารถรับน้ำหนักรวมได้ 100 กิโลกรัม ราคา: 160 บาท

ตารางที่ 4.7 ส่วนทำไอของระบบ

ส่วนประกอบ	ภาพประกอบ	รายละเอียด
เครื่องทำไอUltrasonic Atomizer		วัสดุ: สแตนเลส 304 หนา 4 มิลลิเมตร กำลังไฟที่ใช้ 60 วัตต์ ลักษณะทั่วไป: ทรงกลม มีหัว 3 หัว ขนาดอนุภาคของไอที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 10-100 ไมครอน ราคา: 2000 บาท
ถังใส่น้ำส้มสายชู		วัสดุ: พลาสติก PE ขนาด: 33x33x22 เซนติเมตร ลักษณะทั่วไป: ทรงสี่เหลี่ยม สามารถบรรจุได้ 20 ลิตร มีรู 2 รู ขนาด 2 นิ้ว ราคา: 400 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

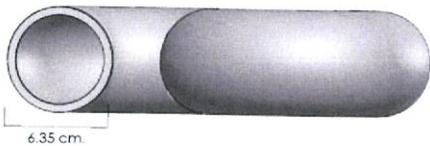
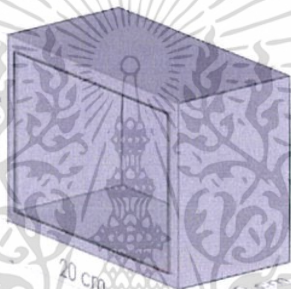
พัดลม		<p>ขนาด: 12x12 เซนติเมตร</p> <p>ลักษณะทั่วไป: ทรงสี่เหลี่ยม มีใบพัดทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12 เซนติเมตร</p> <p>ราคา: 100 บาท</p>
ฟุนลายน้		<p>ขนาด: เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร</p> <p>ลักษณะทั่วไป: ทรงกลม มีรูตรงกลางไว้สำหรับอัดรัวโซนิค เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไอ</p> <p>ราคา: 150 บาท</p>

ตารางที่ 4.8 ส่วนระบบทำความเย็น

ส่วนประกอบ	ภาพประกอบ	รายละเอียด
ตู้แช่เย็น		<p>ยี่ห้อ: POWER COOL PC-1355</p> <p>ลักษณะทั่วไป: สามารถบรรจุได้ 330 ลิตร /11คิว และทำความเย็นในช่วง 2-10 องศาเซลเซียส</p> <p>ราคา: 18000 บาท</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ส่วนประกอบอื่นๆ ของระบบ

ส่วนประกอบ	ภาพประกอบ	รายละเอียด
ท่อส่งไอ		วัสดุ: พลาสติก PE ขนาด: เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ลักษณะทั่วไป: บิดงอได้ และสามารถทนการกัดกร่อนของกรด ราคา: 350 บาท
กล่องใส่ระบบควบคุม		วัสดุ: พลาสติก PE ขนาด: 14x20x10 เซนติเมตร ลักษณะทั่วไป: ทรงสี่เหลี่ยม ด้านหน้าโปร่งใส สำหรับใส่ระบบควบคุม ราคา: 350 บาท

#### 4.4 การประกอบตู้รมไอ

##### การประกอบโครงสร้างตู้รมไอ

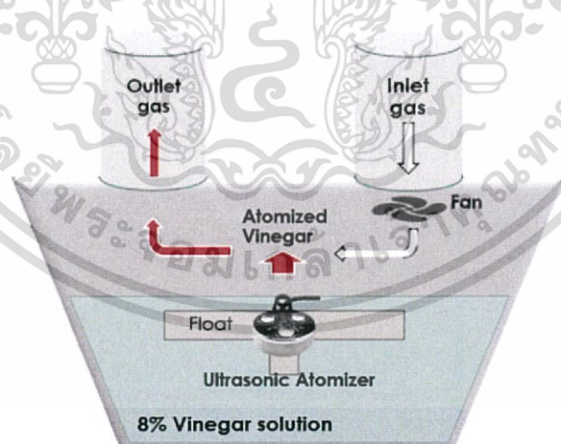
1. ประกอบผนังตู้รมไอด้วยแผ่นพลาสติก PE ประกอบขึ้นเป็นผนังทรงสี่เหลี่ยม โดยเว้นด้านหน้าเอาไว้ 1 ด้าน
2. ใช้แผ่นอคริลิกใส และบานพับสแตนเลส ในการทำส่วนของประตูของตู้รมไอ จากนั้นทำระบบล็อกประตูโดยใช้ตัวล็อกสแตนเลส
3. ใช้สแตนเลสกล่อง มาตัดและเชื่อมต่อกันเป็นโครงตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้
4. ใช้รางติดชั้นหาบและกำหนดจุดเจาะบนผนังพลาสติก ให้รางติดชั้นและโครงสแตนเลสตรงกัน ที่บริเวณผนังซ้าย-ขวา ฝั่งละ 2 อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้ส่วานมือขันนอตสแตนเลส ยึดผนัง รวางติดชั้น และสแตนเลสกล่องเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับตู้รมไอและให้มีความมั่นคง
6. เจาะช่องที่ผนังเป็นทางเข้า-ออกของไอ และช่องสำหรับเก็บตัวอย่าง ตามตำแหน่งและขนาดที่ได้ออกแบบไว้
7. ใช้ตะขอเกี่ยววางติดชั้น และวางตะแกรงสแตนเลส จำนวนชั้นและตำแหน่ง สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยใช้ ตะขอ 4 ตัว ต่อ 1 ชั้น
8. ติดล้อ 4 ล้อ ที่ด้านใต้ของโครงสแตนเลส
9. ได้ส่วนรมไอที่สมบูรณ์

#### การประกอบส่วนทำไอของระบบ

1. ยึดฉากสแตนเลสโดยใช้นอตสแตนเลส เพื่อเป็นฐานของพัดลมตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้ภายในถังพลาสติก PE สำหรับใส่น้ำส้มสายชู
2. ตัวท่อนลอมมีขนาดที่พอดีกับเครื่องทำไออัลตราโซนิก สามารถใช้ได้ทันที
3. เจาะรูสำหรับสายไฟของพัดลมและเครื่องทำไออัลตราโซนิกที่ฝาของถังพลาสติก
4. ได้ส่วนทำไอที่สมบูรณ์ ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ส่วนทำไอ

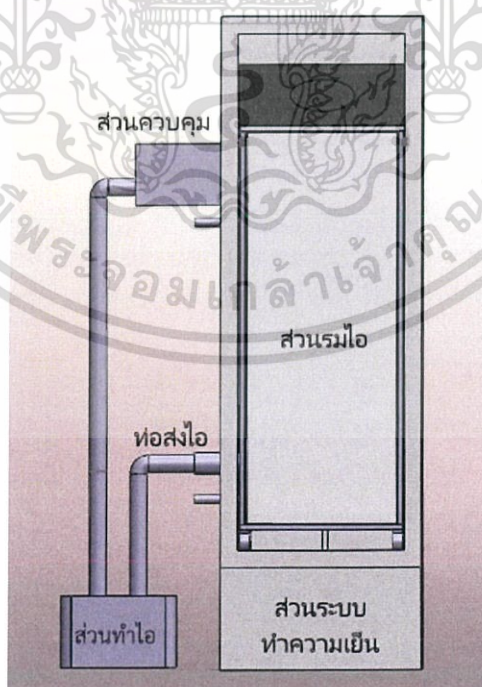
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การประกอบส่วนทำความเย็น

1. เจาะช่องที่ผนังตู้เย็นเป็นทางเข้า-ออกไอ และช่องสำหรับเก็บตัวอย่างตามตำแหน่ง และขนาดที่ได้ออกแบบไว้
2. ได้ส่วนทำความเย็นที่สมบูรณ์

## การประกอบตู้รมไอน้ำแบบ

1. นำส่วนรมไอเข้าไว้ด้านในของส่วนทำความเย็น
2. ใช้ท่อส่งไอน้ำต่อที่ทางเข้า-ออกของส่วนทำความเย็นและส่วนรมไอ ไปยังทางเข้า-ออก ที่ฝาของถังพลาสติกในส่วนของส่วนทำไอ
3. ติดตั้งกล่องสำหรับใส่แผงวงจรควบคุม และจอแสดงผล ไว้ที่ด้านข้างของส่วนทำความเย็น ที่ความสูงระดับสายตา
4. จัดการระบบจ่ายไฟและสายไฟของเครื่องทำไอน้ำอัลตราโซนิก พัดลม บอร์ดควบคุม และตู้แช่เย็น
5. ได้ระบบรมไอที่สมบูรณ์ ดังภาพที่ 4.9



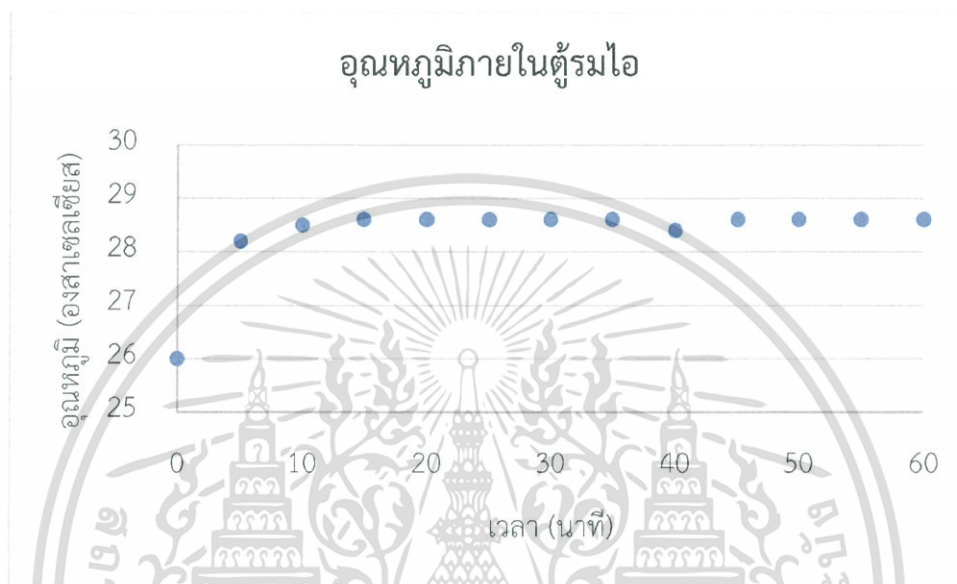
ภาพที่ 4.9 ตู้รมไอน้ำแบบสำหรับผักผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

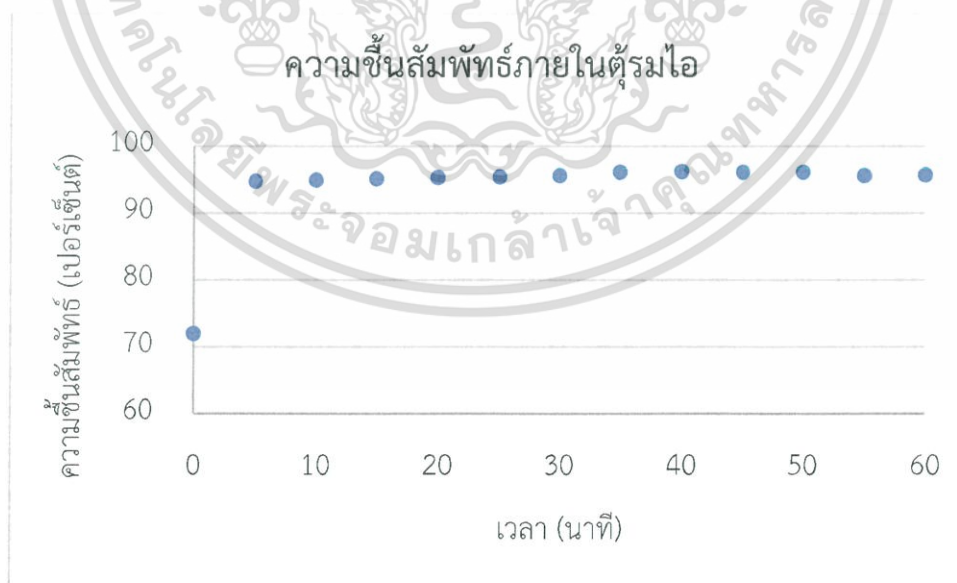
## 4.5 ผลการทดสอบการทำงานตุ้มน้ำส้มสายชู

### 4.5.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตุ้มน้ำส้มสายชู

การทดสอบการทำงานของตุ้มน้ำส้มสายชูโดยการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการหมักเป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิตุ้มน้ำส้มสายชูทั้ง 3 สภาวะ แสดงในภาพที่ 4.10-4.15



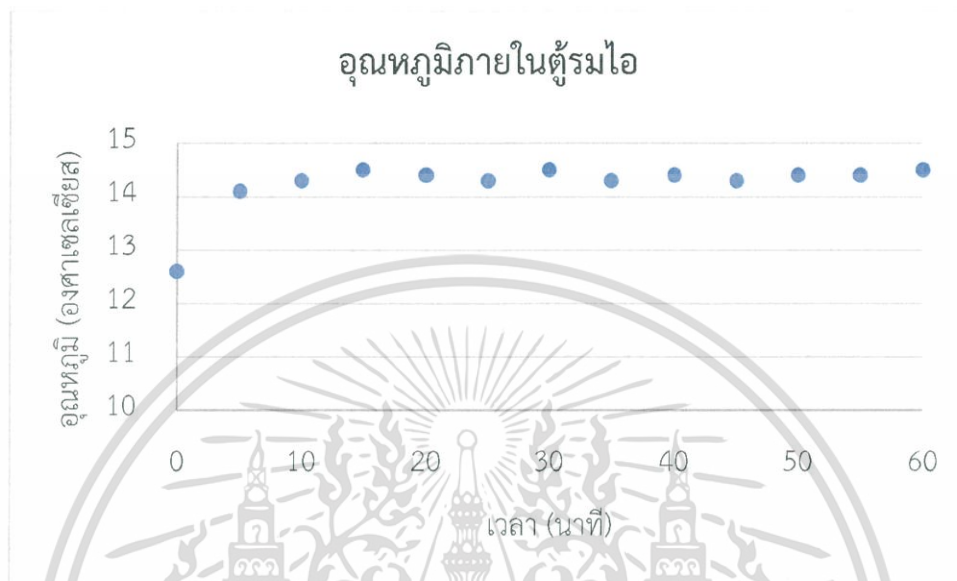
ภาพที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการหมักในตุ้มน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตุ้มน้ำส้มสายชูตั้งต้น 25 องศาเซลเซียส



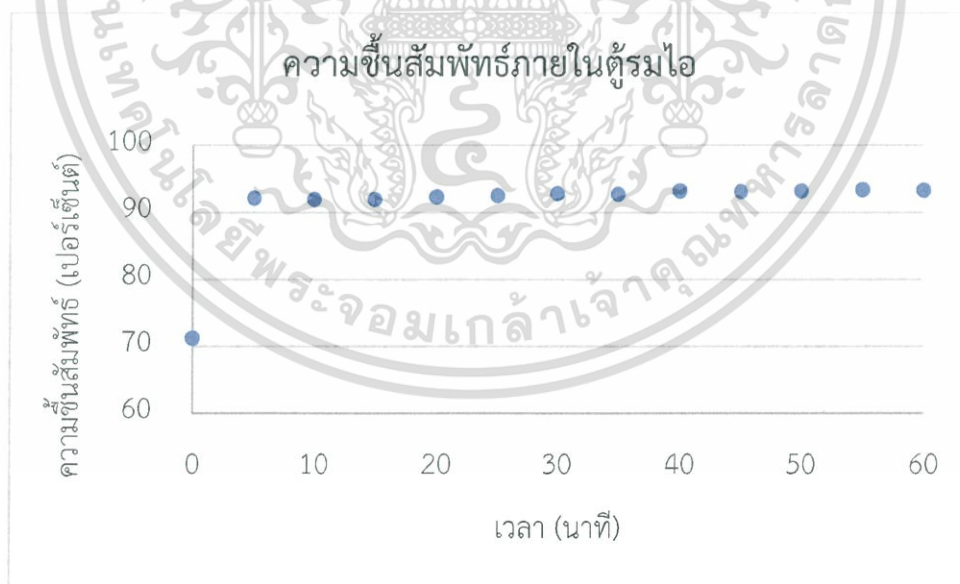
ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และการหมักในตุ้มน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตุ้มน้ำส้มสายชูตั้งต้น 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าเมื่อทำการรมไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอและน้ำส้มสายชู ตั้งต้น 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในตู้รมไอน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น 28-29 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้นถึง 95-96 %



ภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการรมไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอ 10 องศาเซลเซียสและน้ำส้มสายชูตั้งต้น 25 องศาเซลเซียส



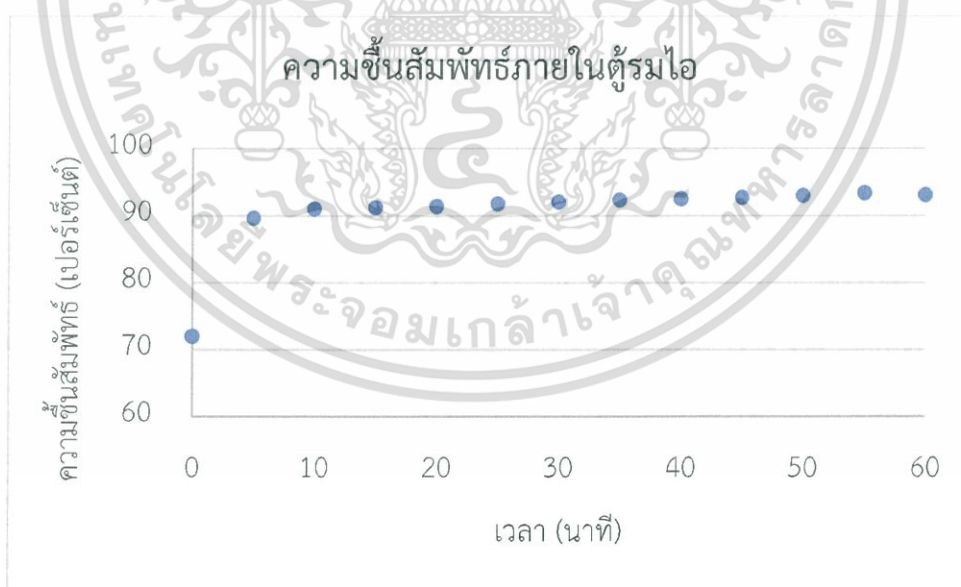
ภาพที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และการรมไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอ 10 องศาเซลเซียส น้ำส้มสายชูตั้งต้น 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าเมื่อทำการรมไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอ 10 องศาเซลเซียส น้ำส้มสายชูตั้งต้น 25 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในตู้รมไอน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น 14-14.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้นถึง 92-93 %



ภาพที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการรมไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอน้ำและน้ำส้มสายชูตั้งต้น 10 องศาเซลเซียส



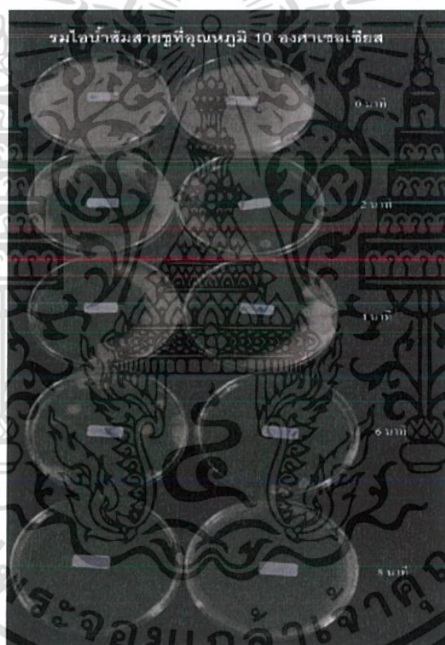
ภาพที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และการรมไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รมไอน้ำและน้ำส้มสายชูตั้งต้น 10 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าเมื่อทำการหมักไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิตู้รวมไอและน้ำส้มสายชู ตั้งต้น 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในตู้รวมไอน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น 12-13 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้นถึง 92-93 เปอร์เซ็นต์

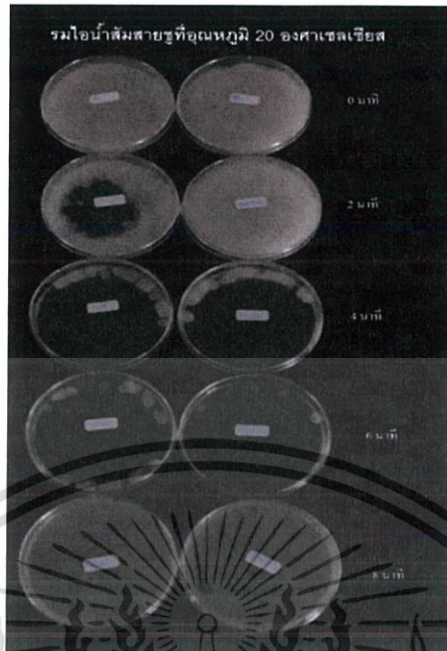
#### 4.5.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *C. gloeosporioides* บนจานเพาะเชื้อ

การศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *C. Gloeosporioides* บนจานเพาะเชื้อที่มีปริมาณ ตั้งต้น 3 log CFU/ml. โดยการหมักไอน้ำส้มสายชูที่มีความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 2 4 6 8 นาที ที่ อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าการหมักไอน้ำส้มสายชูที่อุณหภูมิตู้รวมไอ 10 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 8 นาที สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบนจานเพาะเชื้อได้อย่างสมบูรณ์ แต่การหมักไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 8 นาที ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราลงได้อย่างสมบูรณ์

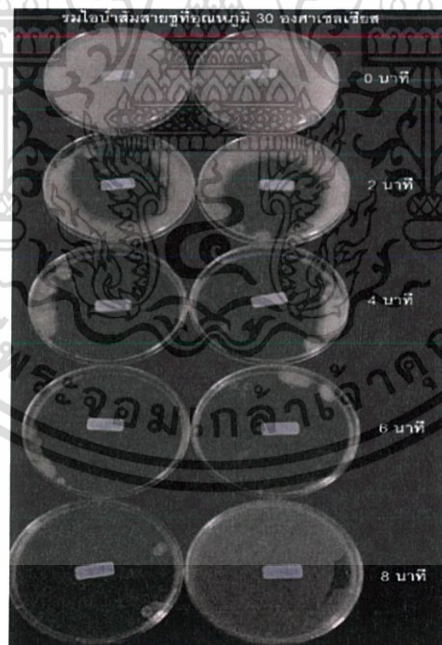


ภาพที่ 4.16 จานเพาะเชื้อหมักไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 งานเพาะเชื้อรวมไอน้ำสัมผัสสายชู ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.18 งานเพาะเชื้อรวมไอน้ำสัมผัสสายชู ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *C. gloeosporioides* บนผลมะม่วงน้ำดอกไม้

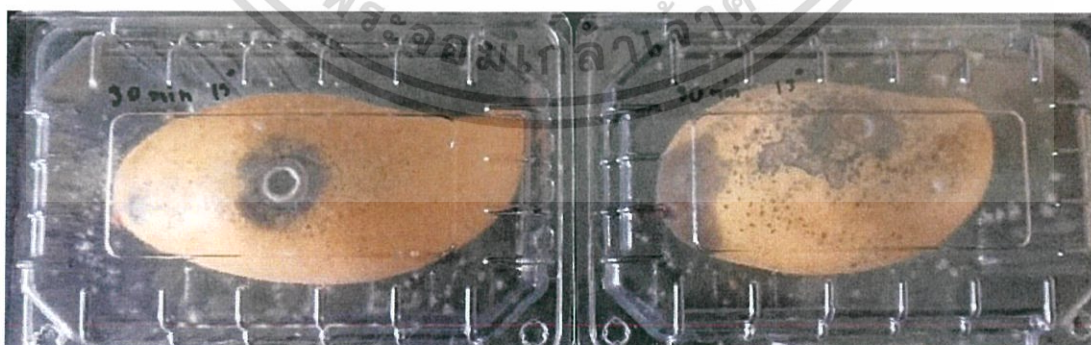
การศึกษากการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *C. Gloeosporioides* บนผลมะม่วงที่ปลูกเชื้อที่มีปริมาณตั้งต้น 3 log CFU/ml. โดยการรมไอน้ำส้มสายชูที่มีความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที พบว่าการรมไอน้ำเป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที ไอน้ำส้มสายชูไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อบนมะม่วงได้อย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 4.19 มะม่วงรมไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที



ภาพที่ 4.20 มะม่วงรมไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที



ภาพที่ 4.21 มะม่วงรมไอน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.4 คุณสมบัติมะม่วง

จากการศึกษาพบว่าความถ่วงจำเพาะของมะม่วงน้ำดอกไม้มีค่าประมาณ 1.02-1.04 ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะนิยมมาใช้วัดค่าความบริสุทธิ์ของผล ผลที่มีค่าถ่วงจำเพาะสูงจะมีความสมบูรณ์สูง

การเปลี่ยนแปลงของสีผิวและเนื้อมะม่วงเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของเบตาแคโรทีนที่ให้สีมีค่าสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้น (ค่า\*b เพิ่มขึ้น) ประมาณ 20-30 เมื่อผลมีความสุกเพิ่มขึ้นหลังเก็บเป็นเวลา 5 วัน เมื่อมะม่วงมีการสุกเพิ่มขึ้น ค่า pH ของมะม่วงเพิ่มสูงขึ้นจาก 3.1-4 ในวันที่ 5 และมีความหวานประมาณ 16-18 องศาบริกซ์

#### 4.5.5 ผลการเกิดตำหนิบนผิวมะม่วง

การศึกษาว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงตำหนิบนผิวมะม่วงระหว่างอุณหภูมิ ระยะเวลาการรมโอ ความเข้มข้นน้ำส้มสายชู โดยทำการรมโอ น้ำส้มสายชูบนมะม่วงที่ไม่ได้ทำการปลุกถ่ายเชื้อ เป็นเวลา 1, 8 และ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นน้ำส้มสายชู 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมะม่วงหลังการรมโอไปถ่ายรูปลแล้วหาพื้นที่ของตำหนิบนผิว ได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของตำหนิที่อุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้น ระหว่างการรมโอ

Sample	T (°C)	t (minute)	C (%)	T <sup>2</sup>	t <sup>2</sup>	C <sup>2</sup>	T×t	T×C	t×C	D <sub>0</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>4-0</sub>
1	10	8	0	100	64	0	80	0	0	0.03	17.24	17.21
2	10	8	8	100	64	64	80	80	64	0.14	2.92	2.78
3	10	1	4	100	1	16	10	40	4	0.35	4.12	3.77
4	30	1	4	900	1	16	30	120	4	0.12	1.36	1.24
5	30	8	0	900	64	0	240	0	0	0.34	5.06	4.72
6	20	1	0	400	1	0	20	0	0	0.08	4.27	4.19
7	30	8	8	900	64	64	240	240	64	0.24	0.45	0.21
8	10	15	4	100	225	16	150	40	60	0.16	3.98	3.82
9	20	15	8	400	225	64	300	160	120	0.17	1.49	1.32
10	30	15	4	900	225	16	450	120	60	0.13	1.28	1.15
11	20	1	8	400	1	64	20	160	8	0.33	2.29	1.96
12	20	8	4	400	64	16	160	80	32	0.32	3.07	2.75
13	20	8	4	400	64	16	160	80	32	0.06	0.83	0.77
14	20	8	4	400	64	16	160	80	32	0.00	0.71	0.71
15	20	15	0	400	225	0	300	0	0	0.00	0.18	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการวิเคราะห์การถดถอย Regression

จากการนำเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของตำหนิบนผิวมะม่วงหลังการรมไอน้ำวันที่ 4 เทียบกับวันเริ่มต้น นำมาวิเคราะห์การถดถอยหาตัวแปรอุณหภูมิตุ้มไอน้ำ ระยะเวลาการรมไอน้ำ ความเข้มข้นน้ำส้มสายชู เพื่อหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของตำหนิ ซึ่งผลการวิเคราะห์การถดถอยได้ค่าดังนี้ ค่าความผันแปรของตัวแปร (R Square) มีค่าเท่ากับ 0.76488 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Error) มีค่าเท่ากับ 0.266595 ค่า *Significance F* มีค่าเท่ากับ 0.26659531 และค่าสัมประสิทธิ์ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า P-value ของตัวแปรมีค่าดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า P-value

Variable	Coefficients	Standard Error	P-value
Constant	26.3043367	9.059088516	0.033648
T	-1.57775	0.759814048	0.092473
T	0.33364796	0.808006517	0.696771
C	-3.1660268	1.347816551	0.065641
T <sup>2</sup>	0.0270125	0.017622378	0.185887
t <sup>2</sup>	-0.0329847	0.035964036	0.401135
C <sup>2</sup>	0.13242188	0.110139861	0.283073
Txt	-0.0005	0.02418719	0.984307
TxC	0.062	0.042327582	0.202872
txC	0.03008929	0.060467975	0.639869

จากการวิเคราะห์การถดถอย Regression ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

สมการที่ 4.1

$$D_{4-0} = 26.3 - 1.578T + 0.334t + 0.027T^2 - 0.033t^2 + 0.132C^2 - 0.0005T \times t + 0.062T \times C + 0.0301t \times C$$

สมการที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการรมไอน้ำ ส้มสายชู ความเข้มข้นน้ำส้มสายชู และระยะเวลาการรมไอน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงของตำหนิบนผิวมะม่วง

โดย  $D_{4-0}$  คือ ผลต่างของเปอร์เซ็นต์ตำหนิบนผิวมะม่วงน้ำดอกไม้ในวันที่ 4 เทียบกับวันเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

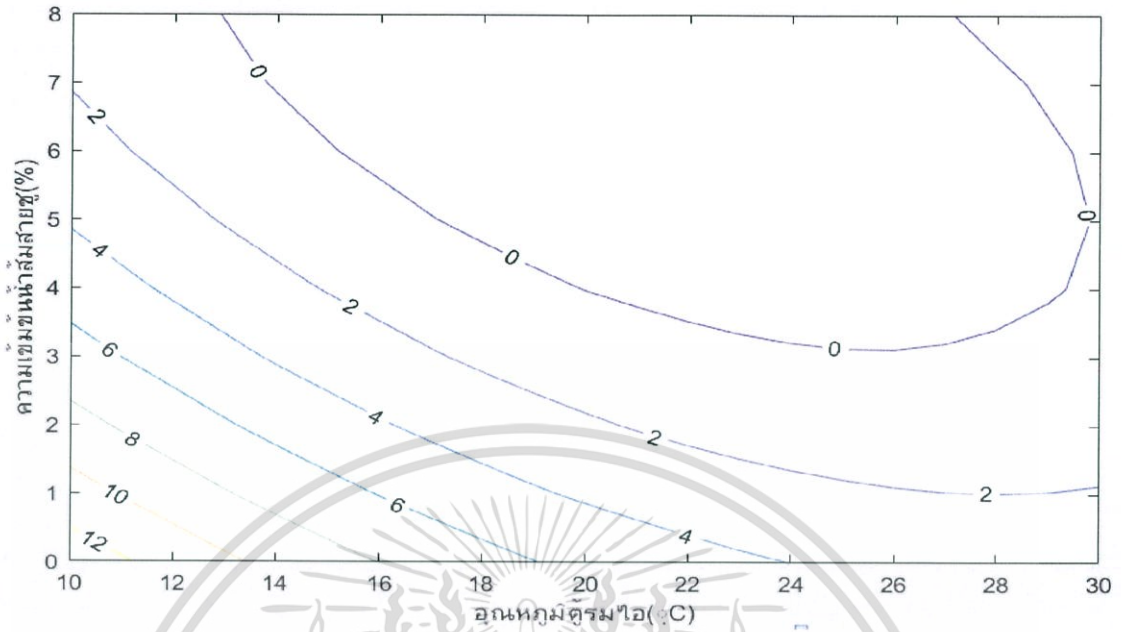
- T คือ อุณหภูมิตั้งต้นภายในตุ้มน้ำ
- t คือ ระยะเวลาการรวมไอ
- C คือ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชู

เมื่อทำสมการที่ 4.1 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงตำหนักบนผิวมะม่วง ที่เวลา 1, 8, และ 15 นาที ได้กราฟดังภาพ 4.19 ถึงภาพที่ 4.24

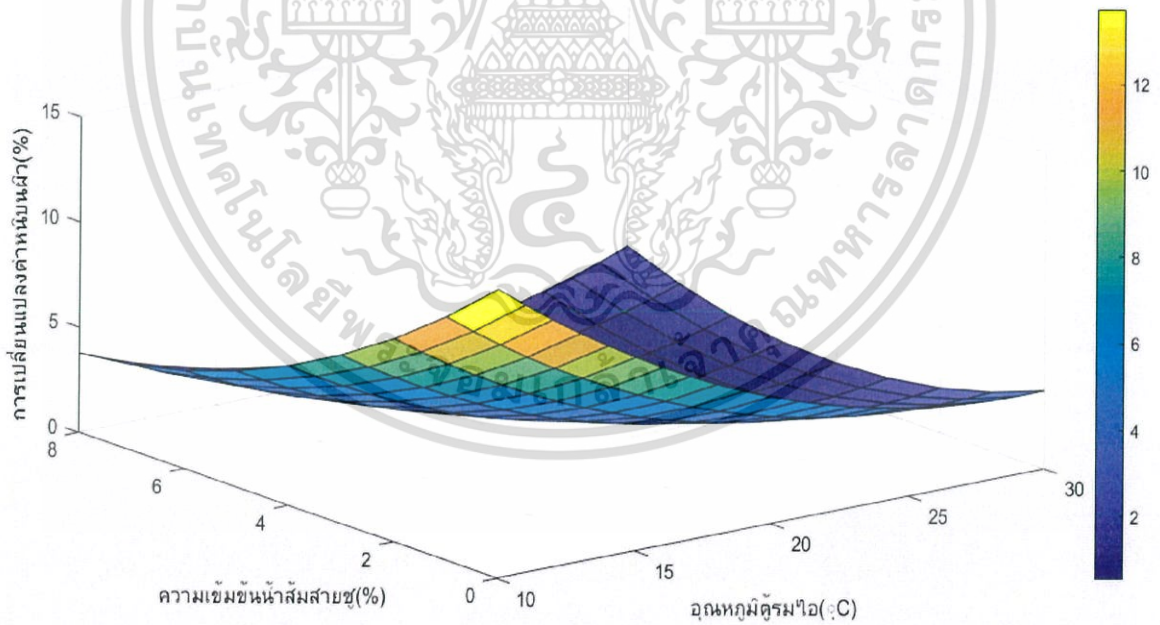


ภาพที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงตำหนักบนผิวมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลารวมไอ 1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

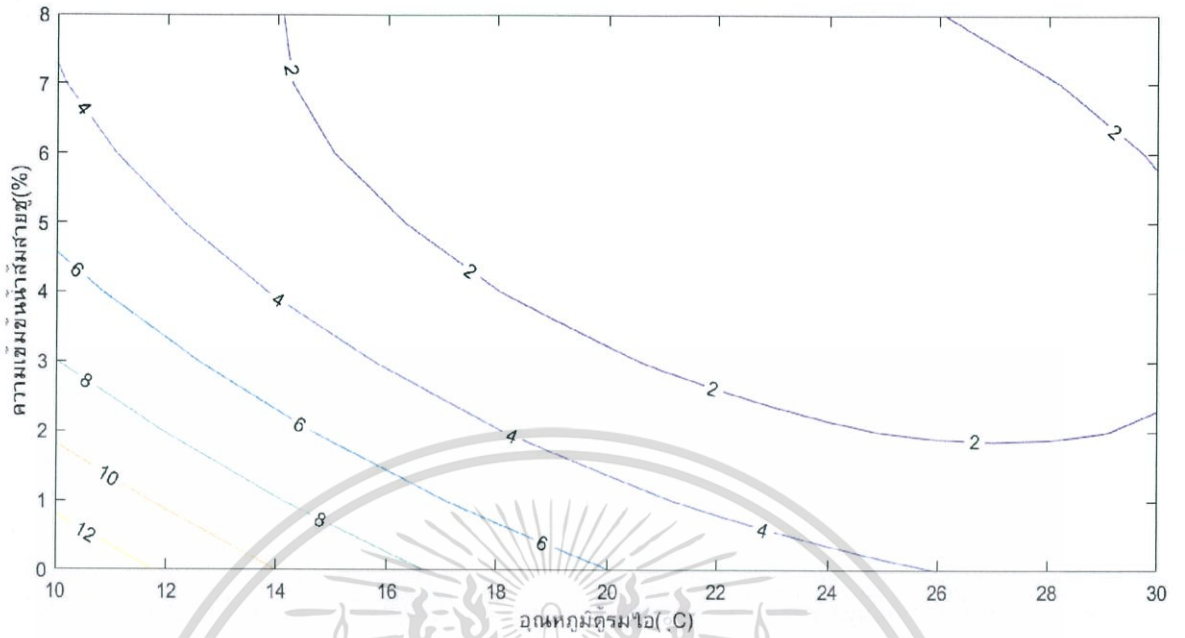


ภาพที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการการเปลี่ยนแปลง  
ค่าหีบับผิวมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลารมไอ 1 นาที

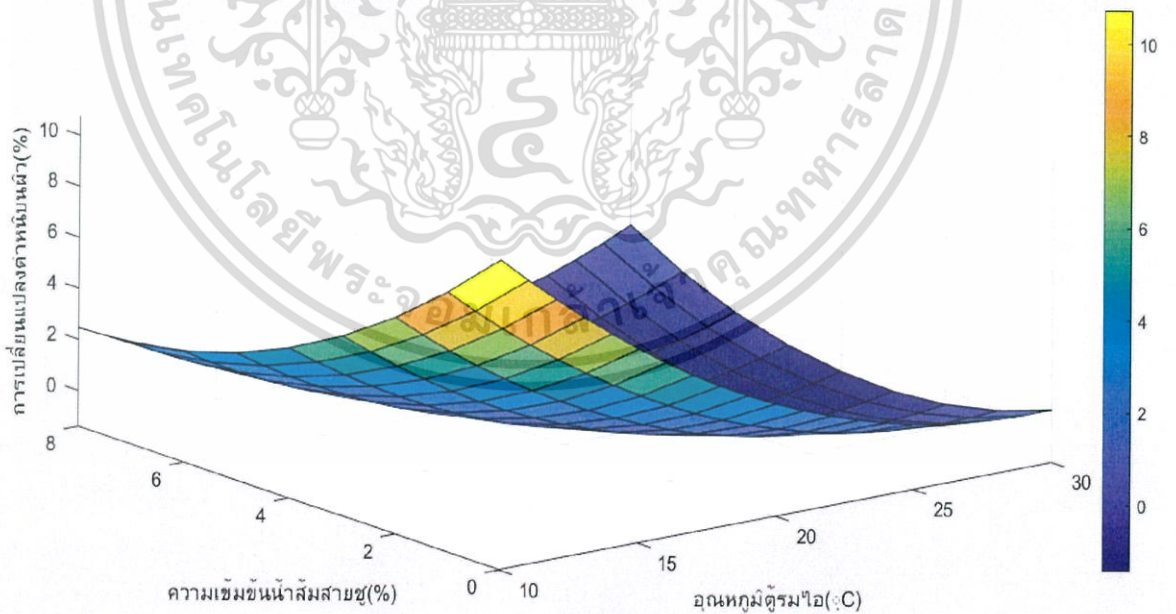


ภาพที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อ  
การการเปลี่ยนแปลงค่าหีบับผิวมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลารมไอ 8 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

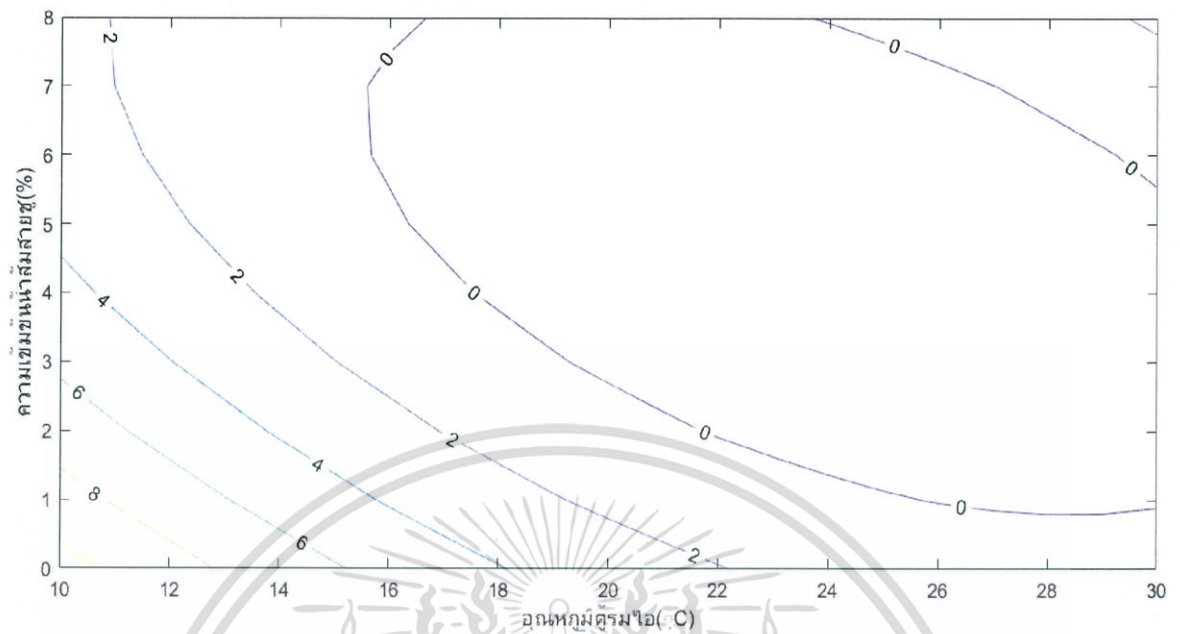


ภาพที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงตำหนักบวมมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลารวม 8 นาที



ภาพที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงตำหนักบวมมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลารวม 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

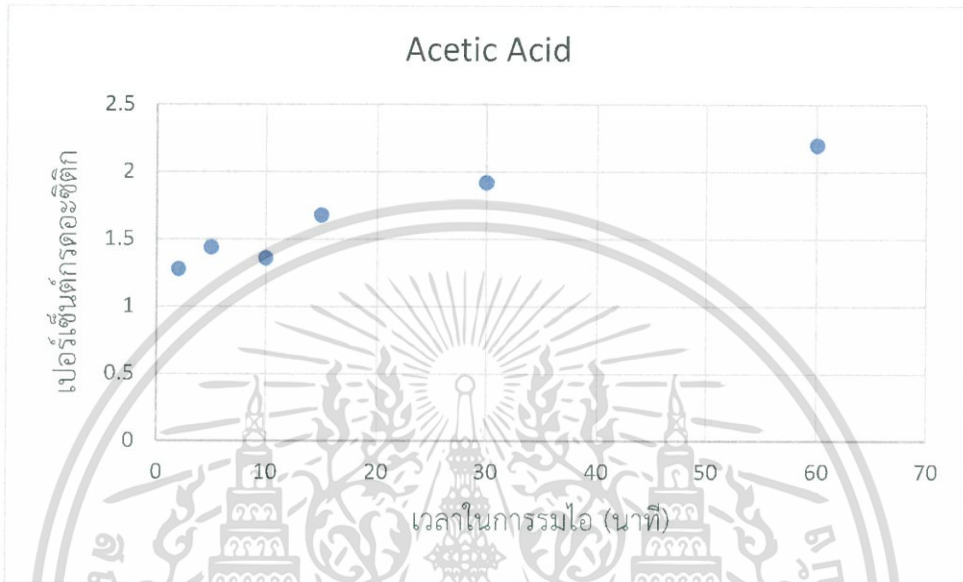


ภาพที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นน้ำต่อการเปลี่ยนแปลง  
ตำหนักบนผิวมะม่วง ที่ระยะเวลาเวลารมไอ 15 นาที

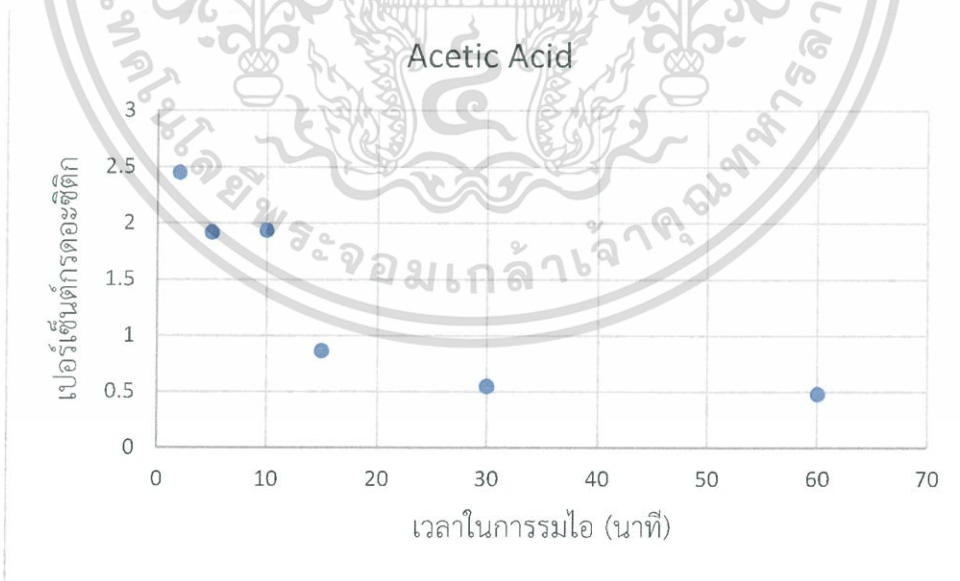
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.7 ผลการวิเคราะห์ไอกรดอะซิติก

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะซิติกในไอน้ำส้มสายชูโดยทำการเก็บตัวอย่างไอน้ำส้มสายชูไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง gas chromatography ระหว่างการรมไอที่สภาวะที่ 1, 2, และ 3 ที่เวลา 2, 5, 10, 15, 30 และ 60 นาที

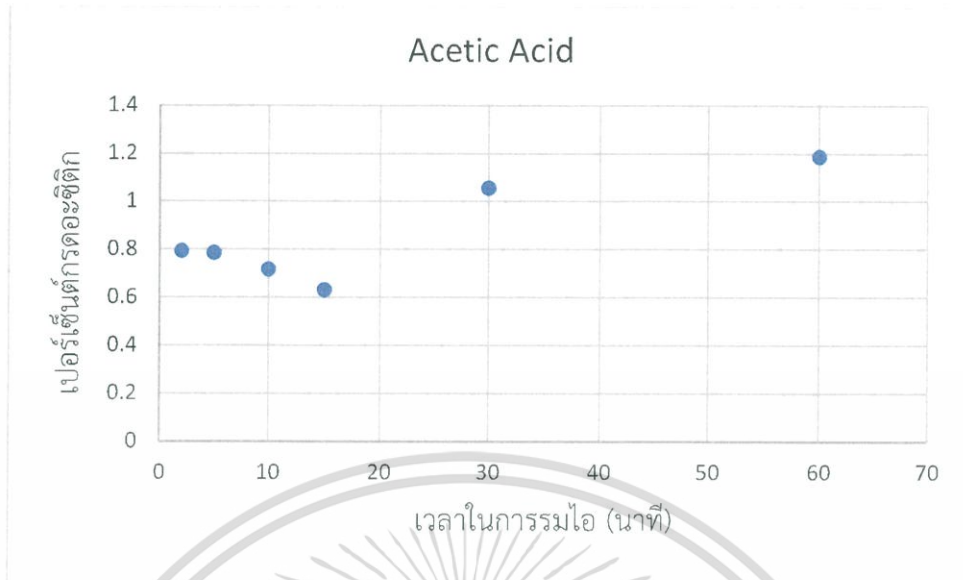


ภาพที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกและเวลาในการรมไอ ณ สภาวะที่ 1 อุณหภูมิตุ้มไอและที่อุณหภูมิน้ำส้มสายชู 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกและเวลาในการรมไอ ณ สภาวะที่ 2 อุณหภูมิตุ้มไอ 10 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิน้ำส้มสายชู 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกและเวลาในการหมัก ณ สภาวะที่ 3 อุณหภูมิตู้หมักไอและอุณหภูมิน้ำส้มสายชู 10 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.26, 4.27 และ 4.28 วิเคราะห์ปริมาณกรดอะซิติกในไอน้ำส้มสายชู พบว่าการหมักที่สภาวะที่ 1 อุณหภูมิตู้หมักไอและที่อุณหภูมิน้ำส้มสายชู 25 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นกรดอะซิติกมีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น จาก 1.3 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 2 นาที เพิ่มถึง 2.2 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 60 นาที

การหมักที่สภาวะที่ 2 อุณหภูมิตู้หมักไอ 10 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิน้ำส้มสายชู 25 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นกรดอะซิติกมีความเข้มข้นลดลง จาก 2.4 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 2 นาที ลดลงเหลือ 0.48 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 60 นาที

การหมักที่สภาวะที่ 3 อุณหภูมิตู้หมักไอและอุณหภูมิน้ำส้มสายชู 10 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นกรดอะซิติกมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จาก 0.8 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 2 นาที เป็น 1.19 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 60 นาที

สรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำส้มสายชูและอุณหภูมิของตู้หมักไอมีผลต่อความเข้มข้นของไอที่ผลิตได้จากการกลั่นตัวของไอน้ำส้มสายชู ถ้าอุณหภูมิของน้ำสายชูสูงกว่าอุณหภูมิของตู้หมักไอมากจะเกิดการกลั่นตัวมาก ถ้าอุณหภูมิน้ำส้มสายชูต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิของตู้หมักไอจะทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้อย และทำให้ความเข้มข้นของอะซิติกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 ตู้รมไอดีด้วยกรดน้ำส้มสายชู

ต้นแบบตู้รมไอดีด้วยกรดน้ำส้มสายชูขนาดความจุภายใน 150 ลิตรถูกสร้างขึ้นเป็นผลสำเร็จ โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิคทำหน้าที่เป็นส่วนผลิตไอดีกรดเพื่อใช้ในการรมผักผลไม้ร่วมกับการใช้ระบบความเย็นเพื่อทดสอบการทำงานของตู้รมไอดี ผลไม้ที่ถูกนำมาทดสอบเป็นมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

#### 5.2 ผลการทดสอบการทำงานของตู้ ที่ 3 สภาวะ คือ

1. อุณหภูมิตู้รมและอุณหภูมิน้ำส้มสายชู ที่ 25 องศาเซลเซียส
2. อุณหภูมิตู้รมไอดีที่ 10 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิน้ำส้มสายชูอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
3. อุณหภูมิตู้รมไอดีและอุณหภูมิน้ำส้มสายชูที่ 10 องศาเซลเซียส

พบว่าในการรมไอดีที่สภาวะที่ 1 อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจาก 26 ถึงประมาณ 28.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 95% การรมไอดีที่สภาวะที่ 2 อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจาก 12.5 ถึง 14.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 93% และการรมไอดีที่สภาวะที่ 3 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 12 ถึง 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 93 องศาเซลเซียส การที่ความชื้นสัมพัทธ์ในสภาวะที่ 2 กับ 3 มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากอุณหภูมิภายในตู้มีค่าใกล้เคียงกัน ในสภาวะที่ 2 ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงเนื่องจากอุณหภูมิมีค่าสูง และการใช้อัลตราโซนิคเพื่อผลิตไอดีน้ำส้มสายชูทำให้อุณหภูมิของไอดีน้ำส้มมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการสั่นสะเทือน

#### 5.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อบนจานเพาะเชื้อ

เมื่อการรมไอดีด้วยกรดน้ำส้มสายชูที่มีความเข้มข้น 8% พบว่าการรมไอดีด้วยกรดน้ำส้มสายชูที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 นาที สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตลงได้อย่างสมบูรณ์ แต่ที่การรมไอดีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสไม่สามารถยับยั้งเชื้อลงได้ เนื่องจากเชื้อ *C. Gloeosporioides* เจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส จึงส่งผลให้การยับยั้งเชื้อไม่ได้ประสิทธิภาพ

#### 5.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อในมะม่วง

โดยการรมไอดีด้วยกรดน้ำส้มสายชูที่มีความเข้มข้น 8% พบว่าการรมไอดีเป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที พบว่ายังไม่สามารถยับยั้งเชื้อลงได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากมีการฝังเชื้อ *C. Gloeosporioides* ลงในมะม่วง ทำให้ไม่สามารถยับยั้งเชื้อในมะม่วงได้ แต่สามารถยับยั้งเชื้อบนผิวมะม่วงลงได้

## 5.5 ผลการศึกษาตำหนิบนผิวมะม่วงหลังการรมไอน้ำส้มสายชู

โดยตำหนิที่เกิดจากโรคแอนแทรกคโนสซึ่งมีสาเหตุมาจากเชื้อ *C. Gloeosporioides* ตำหนิดังกล่าวมีลักษณะเป็นจุดสีดำและขยายใหญ่ขึ้น ซึ่งจากการศึกษาการรมไอน้ำส้มสายชูโดยศึกษาหาตัวแปรที่มีความสำคัญกับการเกิดตำหนิ ซึ่งสามารถอธิบายการเกิดตำหนิด้วยสมการ

$$D_{4-0} = 26.3 - 1.578T + 0.334t + 0.027T^2 - 0.033t^2 + 0.132C^2 - 0.0005T \times t + 0.062T \times C + 0.0301t \times C$$

และจากการวิเคราะห์ พบว่าความเข้มข้นของน้ำส้มสายชู (C) มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดตำหนิมากที่สุด (P-value เท่ากับ 0.07) และอุณหภูมิตู้รมไอน้ำมีความสัมพันธ์รองลงมา (P-value < 0.10)

## 5.6 ผลการศึกษาองค์ประกอบของแก๊สในตู้รมไอน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดอะซิติกของไอที่เกิดจากการละลายกรดน้ำส้มสายชูที่ผลิตได้โดยเครื่องอัลตราโซนิก พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิน้ำส้มสายชูเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส (หรืออุณหภูมิห้อง) และอุณหภูมิภายในตู้รมไอน้ำ 25 องศาเซลเซียส พอเวลาผ่านไป 60 นาที ความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1.2% ขึ้นไปถึง 2.2 % ขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิน้ำส้มสายชู 25 องศาเซลเซียส, และอุณหภูมิภายในตู้รมไอน้ำ 10 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีแนวโน้มลดลงจาก 2.5% ลงไปถึง 0.5 % และเมื่อใช้อุณหภูมิน้ำส้มสายชู 0 องศาเซลเซียส, และอุณหภูมิภายในตู้รมไอน้ำ 0 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จาก 0.8% ขึ้นไปถึง 1.2 %

อุณหภูมิน้ำส้มสายชูและอุณหภูมิของตู้รมไอน้ำมีผลต่อความเข้มข้นของไอที่ผลิตได้ จากการกลั่นตัวของไอน้ำส้มสายชู ถ้าอุณหภูมิของน้ำส้มสายชูสูงกว่าอุณหภูมิของตู้รมไอน้ำมากจะเกิดการกลั่นตัวมาก ถ้าอุณหภูมิน้ำส้มสายชูต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิของตู้รมไอน้ำจะทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำน้อย และทำให้ความเข้มข้นของอะซิติกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

## 5.7 ข้อเสนอแนะ

ตู้รมไอน้ำส้มสายชูเพื่อเก็บรักษาผักและผลไม้เป็นเพียงต้นแบบซึ่งสามารถพัฒนาให้ตอบสนองต่อความต้องการของเกษตรกร โดนมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะเวลาการรมไอน้ำส้มสายชูให้เหมาะสมกับผักผลไม้ชนิดต่างๆ เนื่องจากผักผลไม้แต่ละชนิดมีเชื้อก่อโรคที่แตกต่างกัน
2. พัฒนาตู้รมไอน้ำให้มีขนาดเหมาะสมกับปริมาณผลผลิตของเกษตรกร
3. วัสดุในการประกอบตู้รมไอน้ำ อาจปรับเปลี่ยนให้วัสดุมีต้นทุนต่ำลงและมีความคงทน

4.ศึกษาระยะเวลาการรมน้ำส้มสายชูให้เหมาะสมกับการนำส้มสายชูที่ความเข้มข้น 5% ซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

กนกมณฑล ครศรีวิชัย. 2526. การเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว เทคโนโลยีและสรีรวิทยา. รัตนพลพริ้นติ้ง, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2542. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 396 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้และผัก. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิตติมา จิรโพธิธรรม อภิตา บุญศิริ ยุพิน อ่อนศิริ และ พิษณุ บุญศิริ. 2557. การลดการเน่าเสีย และรักษาคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์สี่ที่ผ่านการบ่มสุกระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำด้วย วิธีการล้างที่เหมาะสมร่วมกับการใช้สารเคลือบผิว. ว. วิทย. กษ. 45:3/1 (พิเศษ): 33-36.

ชัยณรงค์ รัตนกริชากุล รัตติยา พงศ์พิสุธา และ รณภพ บรรเจิดเชิดชู. 2560. การประเมิน ศักยภาพของวิธีการควบคุมโรคข้าวผลเน่าในผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง. ว. วิทย. กษ. 43:3 (พิเศษ): 481-484.

ฐิตินันท์ ชยวัชรกุล. 2555. ประสิทธิภาพเฮอร์ดน้ำส้มสายชูหมัก เอทานอล และสารร่วมต่อการลดลงของ *Klebsiella pneumoniae* ในผักชี วิทยานิพนธ์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชา สุขาภิบาลอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

दनัย บุญยเกียรติ, พิษญา บุญประสม และมนตรี จันทา. 2549. การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวใน ไซ้อุปทานพืชผักของโครงการหลวง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 43(3)(พิเศษ), 376-379.

ดุชนี ธนะบริพัฒน์. 2538. จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์คณะ วิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นฤมล นกพรหม, ขนิษฐา สุทินเพือกอลิษา, สุนทรวัฒน์ชวนพิศ, จิระพงษ์ นิธิภัทร บุญปกและ เฉลิมชัย วงษ์อารีย์. 2558. การรมด้วยไอของกรดอะซิติกร่วมกับการอบลมร้อนต่อคุณภาพของมะขาม หวานพันธุ์สีทอง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่46 ฉบับที่3: 873-876.

นุชนางค์ กุดแก้ว. 2551. การลดจำนวนเชื้อ *Salmonella anatum* บนเนื้อสุกรสดด้วย กรดอะซิติก. วิทยานิพนธ์ สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิดดา หงส์วิวัฒน์. 2550. ผลไม้ 11 ชนิด คุณค่าอาหารและการกิน. กรุงเทพมหานคร. พิมพ์ครั้งที่ 1. แสงการพิมพ์.

เนตรนภิส เขียวขำ. 2541. การควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วยกรดอะซิติก. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

บัญชา พูลโภาคา. 2554. คุณสมบัติของสารบริสุทธิ์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประนอม ศรีสวัสดิ์. 2547. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. ข้าวสารเมล็ดพันธุ์พืชปีที่ 11. ฉบับที่ 3 เดือนมิถุนายน.

พัชรนันท์ ตันไทร. 2554. การลดปริมาณเชื้อ *Salmonella typhimurium* ที่ปนเปื้อนบนผักกาดหอมสดโดยใช้น้ำส้มสายชูหมักและสารสกัดขมิ้นชัน วิทยานิพนธ์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2561. การเสื่อมเสียของผักและผลไม้. [online]. เข้าถึงได้จาก [www.foodnetworksolution.com/wiki/2879/](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/2879/) การเสื่อมเสียของผักและผลไม้.

ภัทราพรรณ จรุงรัตนสกุล. 2553. การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Botrytis cinerea* บนผิวของสตอเบอร์รี่สดด้วยน้ำส้มสายชูหมัก วิทยานิพนธ์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ลักขิกา คำศรี. 2554. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใส่พายมะม่วงน้ำดอกไม้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ละอองดาว พวงแก้ว, รุ่งรัตน์ แซ่หยาง และ ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์. 2561. การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวของพริกชี้ฟ้าพันธุ์การค้าในแหล่งปลูกจังหวัดนครธรรมราช พัทลุง และสงขลา. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. ปีที่5 ฉบับที่4 69-76.

วิบูลย์ ช่างเรือ, ดามร บัณฑุรัตน์, พิษญา บุญประสม และदनัย บุญเกียรติ. 2555. การประเมินการสูญเสียในกระบวนการจัดการสายโซ่อุปทานกะหล่ำปลีในจังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 43(3)(พิเศษ), 300-303.

ศักดิ์ยะ สมบัติไพรวัน, เทวรัตน์ ตรีอำรรค และกระวี ตรีอำรรค. 2555. การศึกษาการชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้. ว. วิทย. กษ. 43 (3 พิเศษ):355-358.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิริวรรณ สมิตธิอาภรณ์. 2547. การควบคุมโรคแอนแทรกโนส และโรคขี้ผลเน่า ในมะม่วง พันธุ์น้ำดอกไม้โดยใช้สารสกัดจากพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมศิริ แสงโชติ และ วนิดา สีหาไชย. 2551. การเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำร้อนเพื่อการควบคุมโรคแอนแทรกโนสของผลมะม่วง. ว. วิทย. กษ. 39:3 (พิเศษ): 115-118.

สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2542. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. เอกสารคำสอนวิชาหลักการผลิตพืช ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาลัยขอนแก่น.

สายชล เกตุษา. 2530. ผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยว : การสูญเสียและการป้องกัน. ข่าวสารเกษตรศาสตร์. กุมภาพันธ์-มีนาคม 2528 :1-9.

อุราภรณ์ สะอาดสุด, วิชชา สะอาดสุด และโสภณ สิงห์แก้ว. 2556. การประเมินความเสียหายในมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 34 ฉบับที่ 4-6 (พิเศษ) หน้า 37-40, 2546.

Arthur Henry Lefebvr , Vincent G. McDonell. 2017. **Atomization and sprays.** International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS).

Diana Herrington. 2012. **10 Health Benefits of Mangos.** [Online]. Available : <https://www.care2.com/greenliving/10-health-benefits-of-mangos.html>

M. Ajay, T. N. C. Anand. 2013. **Study of ultrasonic atomization.** Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology-Madras, India.

Maksim Mezhericher, Itzhak Ladizhensky, Gedalya Mazor, Isaac Etlin. 2016. **Formation of Dry Fog from Thin Liquid Films Disintegrated by Gas Jets.** Centre for Energy and Numerical Simulations, Department of Mechanical Engineering, Shamoon College of Engineering, Beer Sheva, Israel.

McCollum, T. G., S. D'Aquino. and R.E. McDonald. 1993. **Heat treatment inhibits mango chilling injury.** HortScience. 28(3): 197-198.

Michael A. Jeannota, Andrzej Przyjaznyb and John M. Kokosac. 2010. **Single drop microextraction - Development, applications and future trends,** Journal of Chromatography. 2326–2336.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Patel, I. 2001. **Ceramic based intelligent piezoelectric energy harvesting device.** Edited by Costas Sikalidis. In *Advances in ceramics-electric and magnetic ceramics, bio ceramics, ceramics, and environment*. Vol. 1. Croatia: In Tech, 133-154.

Krusong W., Teerarak M. and Laosinwattana C. 2015. **Liquid and vapor-phase vinegar reduces *klebsiella pneumonia* on fresh coriander.** *Food Control*.50:502-508.

Sergio Armenta, Salvador Garrigues and Miguel de la Guardia. 2015. **The role of green extraction techniques in Green Analytical Chemistry.** *Trends in Analytical Chemistry* 71 2–8.

Sholberg P.L. and Gaunce A.P. 1995. **Fumigation of Fruit with Acetic Acid to Prevent Postharvest Decay.** *HortScience*.30(6): 1271-1275.

Sholberg P.L., Haag P., Hocking R., and Bedford K. 2000. **The use of vinegar vapor to reduce post-harvest decay of harvested.** *Journal of Horticultural Science*. 30:898-903.

Soisuda Pornpukdeewattana, Soraya Kerdpi boon, Aphacha Jindaprasert, Patcharaporn Pandee, Montinee Teerarak, Warawut Krusong. 2017. **Upland rice vinegar vapor inhibits spore germination, hyphal growth and aflatoxin formation in *Aspergillus flavus* on maize grains.** *Food Control* 71:88-93.

Su, Y., and Weng, GJ. 2006. **A polycrystal hysteresis model for ferroelectric ceramics.** *Proceeding of the Royal Society A*. Vol.462, no.2069, p.1573-1592.

Zhang, Z., Z. Gao, M. Li, M. Hu, H. Gao, D. Yang and B. Yang. 2012. **Hot water treatment maintains normal ripening and cell wall metabolism in mango (*Mangifera indica* L.) fruit.** *Hort Science*. 47(10): 1466-1471.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

ชุดคำสั่งโปรแกรม Arduino IDE เพื่อควบคุมการทำงานของบอร์ด Arduino mega 2560

//กำหนด pwm module ต่อกับpin7

int motorPin =7;

int mSpeed ;

//ดึงคำสั่ง sht จาก livrary

#include <Wire.h>

#include <Arduino.h>

#include "Adafruit\_SHT31.h"

Adafruit\_SHT31 sht31 = Adafruit\_SHT31();

//ดึงคำสั่ง SD card module จากlibrary

#include <SPI.h>

#include <SD.h>

const int chipSelect = 53;

File dataFile;

//ดึงคำสั่ง dht22 จากlibrary

#include "DHT.h"

//DHT dht2; // upper

DHT dht3; // under

//ดึงคำสั่ง จอLCD จาก Library

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal\_PCF8574.h> //ประกาศ Library ของจอ I2C

LiquidCrystal\_PCF8574 lcd(0x27);

//ดึงคำสั่ง real time clock จาก library

#include "SPI.h"

#include "RTClib.h"

RTC\_DS3231 RTC;

//relay module ต่อกับpin 8

int Relay = 8;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Time"); Serial.print("\t\t");
  Serial.print("RH refrig"); Serial.print('\t'); Serial.print("Temp "); Serial.print("\t\t");
  //Serial.print("RH under"); Serial.print('\t'); Serial.print("Temp "); Serial.print("\t\t");
  Serial.print("RH chamber"); Serial.print('\t'); Serial.print("Temp"); Serial.print('\t');Serial.print("airspeed
into chamber=");

  // ตั้งค่าความเร็วลม
  pinMode(motorPin,OUTPUT);
  float pwm = 60; //0-255 //ปรับความเร็วพัดลม
  analogWrite(motorPin, pwm);
  float airspeed=0.015*pwm+1.0026;

  Serial.print(airspeed);
  Serial.println("m/s");
  //sht
  sht31.begin(0x44);

  //dht
  // dht2.setup(2); // upper
  dht3.setup(3); // under

  //SD
  SD.begin();
  pinMode(SS, OUTPUT);

  //RTC
  Wire.begin();
  RTC.begin();
  RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));

  //lcd
  lcd.begin (20, 4);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.setBacklight(HIGH);
lcd.print("TIME ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Refrig RH ");
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print("%");
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.print("T ");
lcd.setCursor(19, 1);
lcd.print("C");

lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("chamber RH ");
lcd.setCursor(13, 2);
lcd.print("%");
lcd.setCursor(15, 2);
lcd.print("T ");
lcd.setCursor(19, 2);
lcd.print("C");

lcd.setCursor(1,3);
lcd.print("airspeed =");
lcd.print(airspeed);
lcd.print("m/s");

dataFile = SD.open("testrun.CSV",FILE_WRITE);
dataFile.print("Date"); dataFile.print(','); dataFile.print("Time"); dataFile.print(',');
dataFile.print("RH refrig"); dataFile.print(','); dataFile.print("Temp "); dataFile.print(',');
dataFile.print("RH chamber"); dataFile.print(','); dataFile.print("Temp ");dataFile.print(',');
dataFile.print("air speed into chamber(m/s)="); dataFile.println(airspeed);
dataFile.close();

//relay
pinMode(Relay, OUTPUT); //Set Pin Realy as output
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void loop()
{
  //ดึงค่าเวลา
  DateTime now = RTC.now();

  float Tsht = sht31.readTemperature();
  float RHsht = sht31.readHumidity();

  //float Tdht2 = dht2.getTemperature();
  //float RHdht2 = dht2.getHumidity();
  //float RHdht20=1.129*RHdht2-12.373;

  float Tdht3 = dht3.getTemperature();
  float RHdht3 = dht3.getHumidity();
  float RHdht30=0.8917*RHdht3+8.3679;

  float Trefrig = Tdht3;
  float RHrefrig = RHdht30;

  // เก็บค่าใน sd card
  dataFile = SD.open("testrun.CSV",FILE_WRITE);
  if(dataFile){
    dataFile.print(now.year(),DEC); dataFile.print('/');dataFile.print(now.month(),DEC); dataFile.print('/');
    dataFile.print(now.day(),DEC); dataFile.print(","); dataFile.print(now.hour(),DEC); dataFile.print(':');
    dataFile.print(now.minute(),DEC); dataFile.print(':'); dataFile.print(now.second(),DEC); dataFile.print(",");
    dataFile.print(RHrefrig); dataFile.print(","); dataFile.print(Trefrig); dataFile.print(",");
    dataFile.print(RHsht); dataFile.print(","); dataFile.println(Tsht);
    dataFile.close();

  }

  // แสดงค่าใน serial monitor

  Serial.print(now.hour(),DEC);Serial.print(':');Serial.print(now.minute(),DEC);Serial.print(':');Serial.print(now.s
econd(),DEC); Serial.print(" \t ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Serial.print(RHdht20); Serial.print(" \t "); Serial.print(Tdht2); Serial.print("\t\t");
Serial.print(RHdht30); Serial.print(" \t\t "); Serial.print(Tdht3); Serial.print("\t\t");
Serial.print(RHsht); Serial.print(" \t "); Serial.println(Tsht);
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print(now.hour(), DEC); lcd.print(':'); lcd.print(now.minute(), DEC); lcd.print(':');
lcd.print(now.second(), DEC);
lcd.setCursor(11, 1);lcd.print(RHrefrig,0); lcd.setCursor(17, 1);lcd.print(Trefrig,0);
lcd.setCursor(11, 2); lcd.print(RHsht,0);lcd.setCursor(17, 2);lcd.print(Tsht,0);

}
else{
Serial.println("error cant write datalog ");
lcd.print("error cant write datalog ");
}

if(RHsht>=50){ //เปิดปิด atomizer
// HIGH สั่งให้ relay เปิด ultrasonic ปิด
// LOW สั่งให้ relay ปิด ultrasoic เปิด
digitalWrite(Relay,HIGH);
}

delay(30000);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

## รูปภาพอุปกรณ์และบอร์ด Arduino



ภาพที่ ข.1 บอร์ด Arduino Mega 2560



ภาพที่ ข.2 เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น SHT 31 waterproof

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



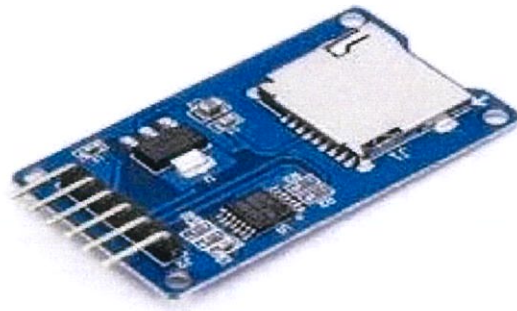
ภาพที่ ข.3 เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น DHT 22

ภาพที่ ข.4 โมดูลรีเลย์ สวิตซ์

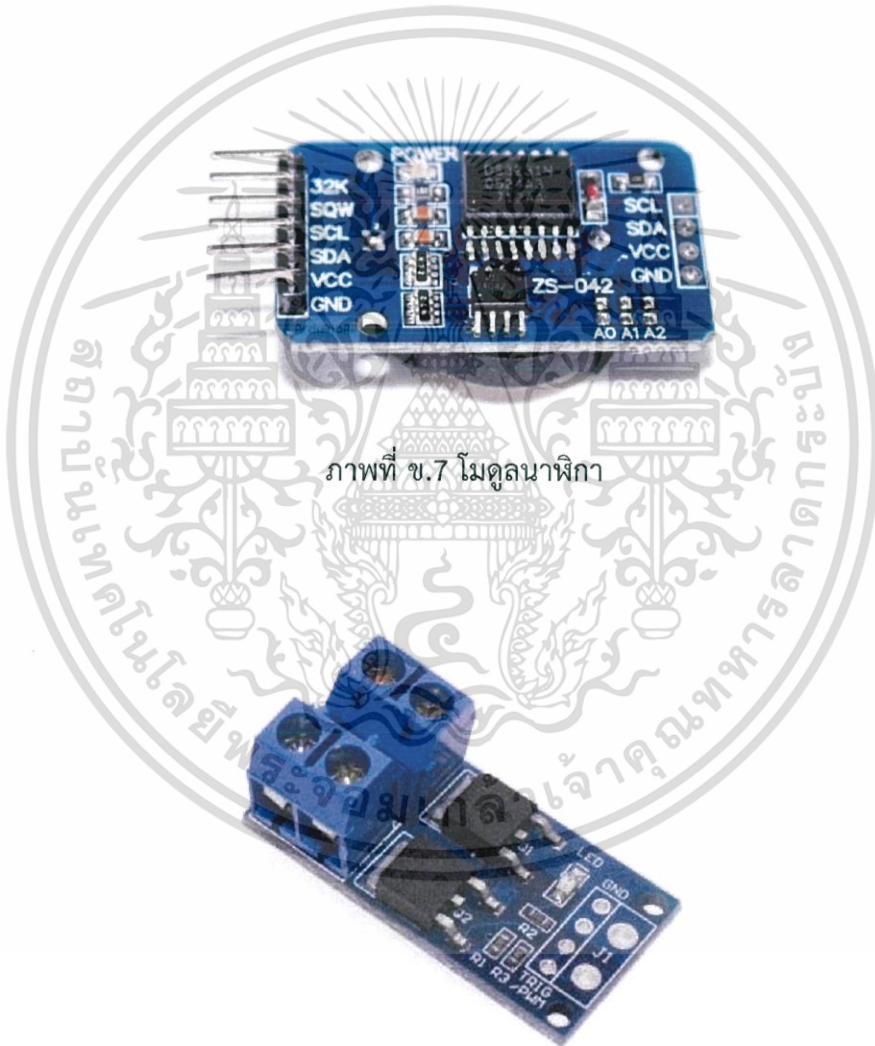


ภาพที่ ข.5 จอ LCD ขนาด 20x4 เซนติเมตร ชนิด I2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.6 โมดูลช่อง SD card



ภาพที่ ข.7 โมดูลนาฬิกา

ภาพที่ ข.8 โมดูลปรับกระแส PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้รมไอ ที่สภาวะที่ 1

เวลา (นาทื)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
อุณหภูมิน้ำส้มสายชู ( C )	26	26	26.5	26.5	26.5	27	27	27.5	27.5	27.5	28	28	28
อุณหภูมิตู้รมไอ (C)	26	28.2	28.5	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.4	28.6	28.6	28.6	28.6
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	72	94.7	94.9	95.1	95.3	95.4	95.6	96.1	96.2	96.1	96.1	95.6	95.7

ตารางที่ ข.2 ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้รมไอ ที่สภาวะที่ 2

เวลา (นาทื)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
อุณหภูมิน้ำส้มสายชู ( C )	26	26	26.5	26.5	26.5	27	27	27.5	27.5	27.5	28	28	28
อุณหภูมิตู้รมไอ (C)	12.6	14.1	14.3	14.5	14.4	14.3	14.5	14.3	14.4	14.3	14.4	14.4	14.5
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	71.2	92.1	91.9	91.9	92.3	92.5	92.8	92.7	93.2	93.1	93.2	93.4	93.3

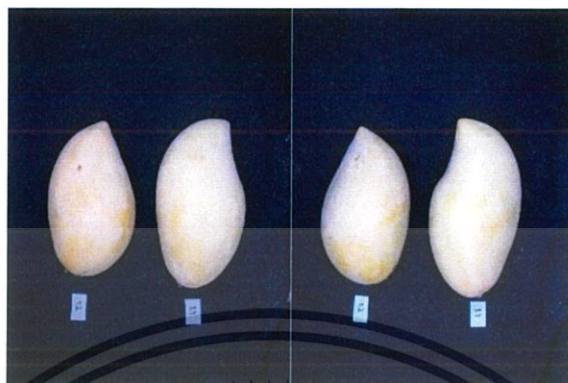
ตารางที่ ข.3 ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้รมไอ ที่สภาวะที่ 3

เวลา (นาทื)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
อุณหภูมิน้ำส้มสายชู ( C )	12	12	12	12	12	12	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13	13
อุณหภูมิตู้รมไอ (C)	12	12.5	12.9	12.9	12.8	12.8	12.9	12.8	12.9	12.7	12.9	12.8	12.8
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	72	89.6	91	91.2	91.4	91.8	92	92.3	92.5	92.7	93	93.4	93.1

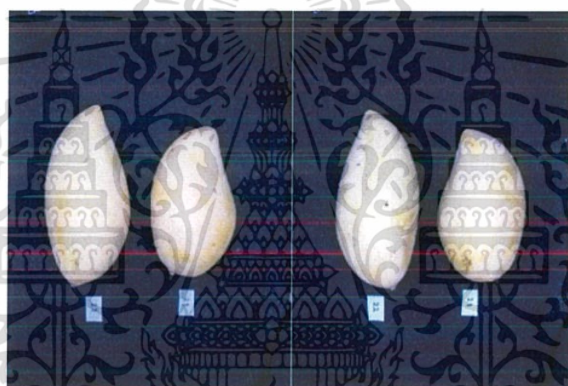
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

รูปภาพลักษณะมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการรมไอน้ำ วันแรก



ภาพที่ ค.1 การทดลองที่ 1 มะม่วงลูกที่ 1 และ 2



ภาพที่ ค.2 การทดลองที่ 2 มะม่วงลูกที่ 3 และ 4

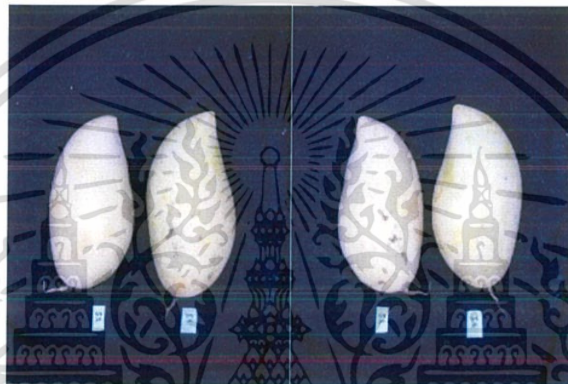


ภาพที่ ค.3 การทดลองที่ 3 มะม่วงลูกที่ 5 และ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.4 การทดลองที่ 4 มะม่วงลูกที่ 7 และ8

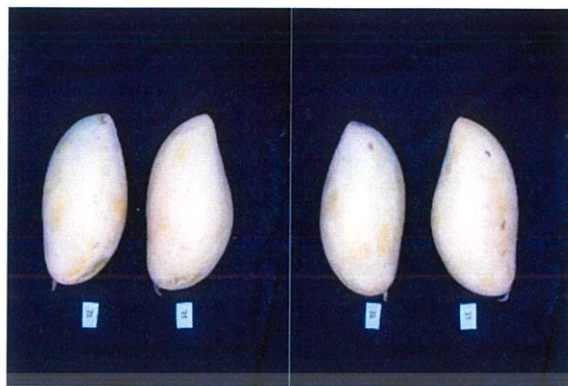


ภาพที่ ค.5 การทดลองที่ 5 มะม่วงลูกที่ 9 และ10



ภาพที่ ค.6 การทดลองที่ 6 มะม่วงลูกที่ 11 และ12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.7 การทดลองที่ 7 มะม่วงลูกที่ 13 และ14



ภาพที่ ค.8 การทดลองที่ 8 มะม่วงลูกที่ 15 และ16



ภาพที่ ค.9 การทดลองที่ 9 มะม่วงลูกที่ 17 และ18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.10 การทดลองที่ 10 มะม่วงลูกที่ 19 และ20

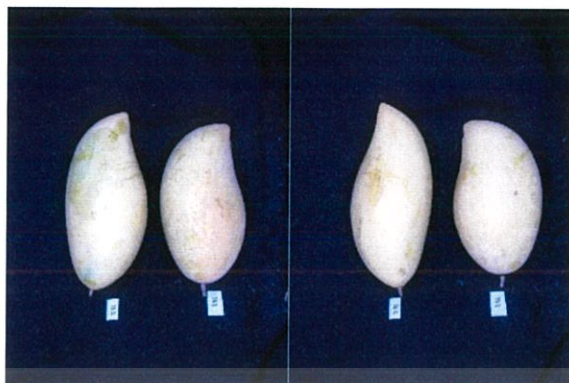


ภาพที่ ค.11 การทดลองที่ 11 มะม่วงลูกที่ 21 และ22



ภาพที่ ค.12 การทดลองที่ 12 มะม่วงลูกที่ 23 และ24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.13 การทดลองที่ 13 มะม่วงลูกที่ 25 และ26



ภาพที่ ค.14 การทดลองที่ 14 มะม่วงลูกที่ 27 และ28

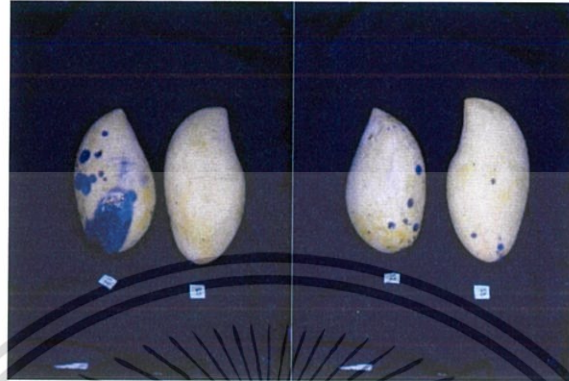


ภาพที่ ค.15 การทดลองที่ 15 มะม่วงลูกที่ 29 และ30

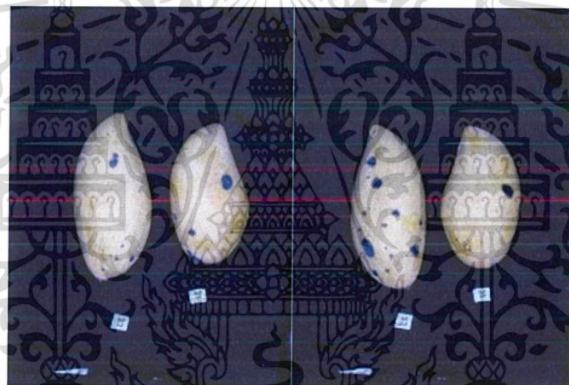
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง.

รูปภาพลักษณะมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการรมไอ เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 4 วันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ง.1 การทดลองที่ 1



ภาพที่ ง.2 การทดลองที่ 2

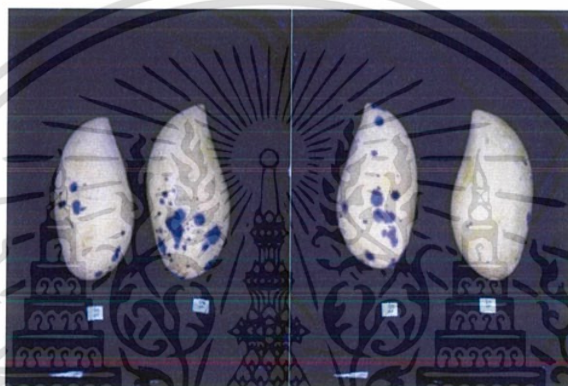


ภาพที่ ง.3 การทดลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง.4 การทดลองที่ 4

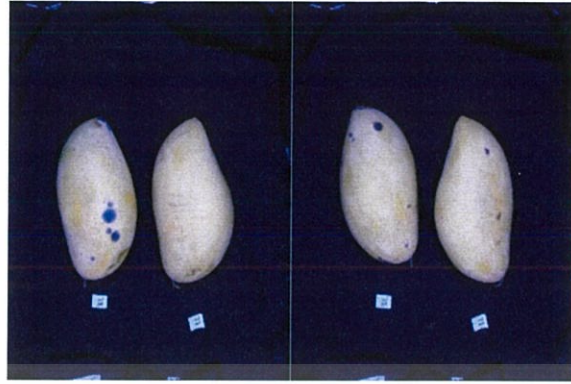


ภาพที่ ง.5 การทดลองที่ 5

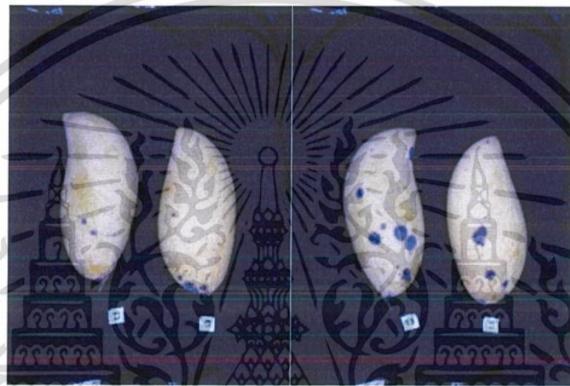


ภาพที่ ง.6 การทดลองที่ 6

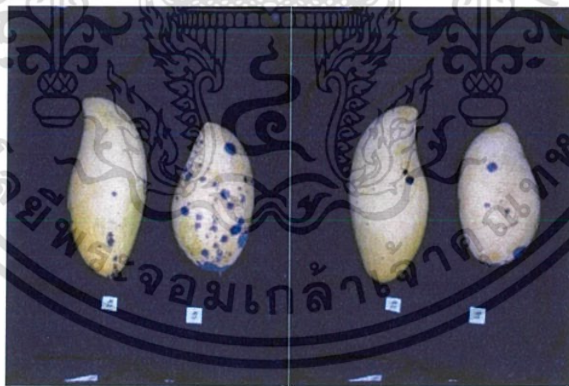
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง.7 การทดลองที่ 7



ภาพที่ ง.8 การทดลองที่ 8

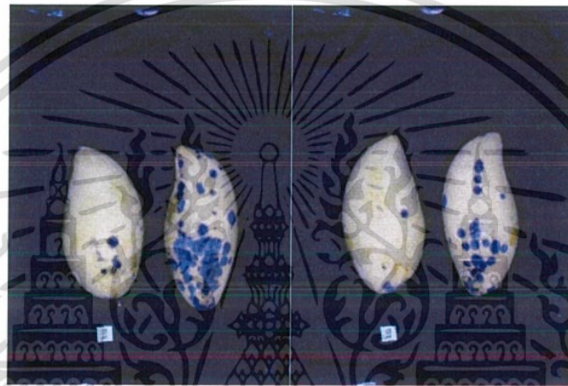


ภาพที่ ง.9 การทดลองที่ 9

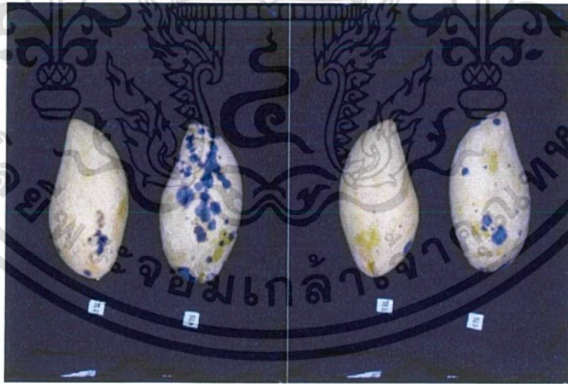
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง.10 การทดลองที่ 10

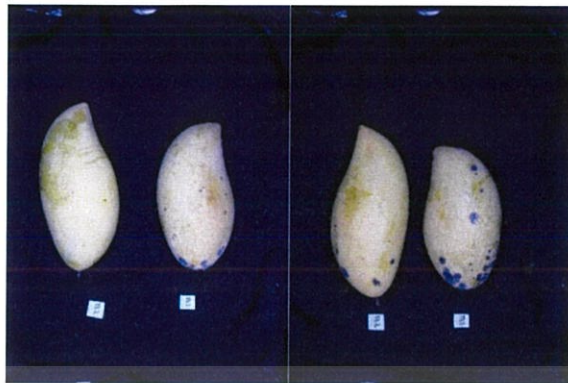


ภาพที่ ง.11 การทดลองที่ 11

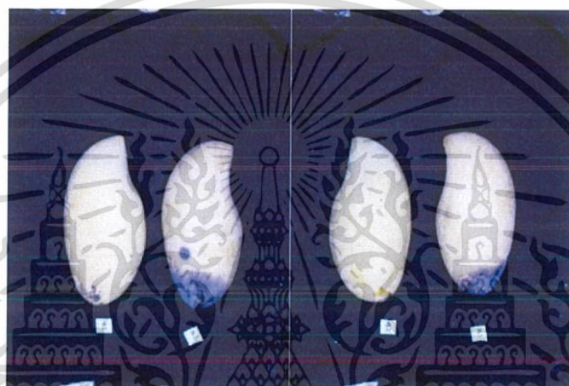


ภาพที่ ง.12 การทดลองที่ 12

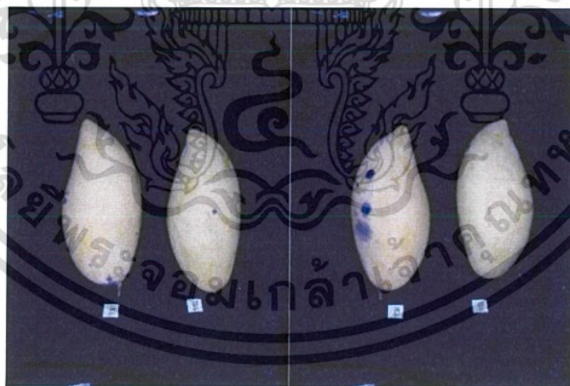
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง.13 การทดลองที่ 13



ภาพที่ ง.14 การทดลองที่ 14



ภาพที่ ง.15 การทดลองที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะซิติค

EXP NO.	Operation Time (min)					
	2	5	10	15	30	60
1	1.280	1.438	1.360	1.678	1.917	2.190
2	2.447	1.916	1.931	0.862	0.547	0.479
3	0.793	0.785	0.717	0.632	1.055	1.186
% of total						



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้