

การพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง
PROTOTYPE PROCESS DEVELOPMENT OF OSMOTIC DEHYDRATION OF
LEMON



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-100-138

การพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง
PROTOTYPE PROCESS DEVELOPMENT OF OSMOTIC DEHYDRATION OF
LEMON



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-100-138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROTOTYPE PROCESS DEVELOPMENT OF OSMOTIC DEHYDRATION OF
LEMON



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

2018

KMITL-2018-EN-M-100-138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

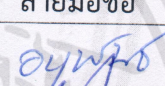
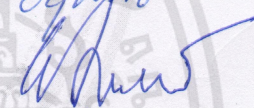
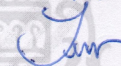
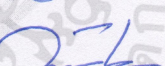
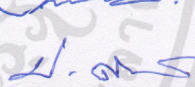
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง
Thesis Title Prototype Process Development of Osmotic Dehydration of Lemon
นักศึกษา นางสาวศิริภัสสร กี่ตระกูล
รหัสประจำตัว 59601291
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-100-138

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.อนุพันธ์	เทอดวงศ์วรกุล	
ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ	พรเฉลิมพงศ์	
ผศ.ดร.จิราพร	ศรัทธาญญาณิษฐ์ จงยิ่งเจริญ	
ดร.วันพุทธ	แซ่ฉั่ว	
รศ.ดร.ปานมนัส	ศิริสมบูรณ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2561 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง CCA 302 อาคาร CCA

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง
นักศึกษา	ศิริภัสสร กี่ตระกูล
รหัสนักศึกษา	59601291
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม)	ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตเลมอนแช่อิ่มอบแห้งโดยทำการแบ่งหัวข้อที่ต้องการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การพัฒนาต้นแบบกระบวนการแช่อิ่มเลมอน โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือวิธีการแช่อิ่ม 3 วิธี ได้แก่ การแช่อิ่มที่ความเข้มข้นคงที่ ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ และการเพิ่มระดับความเข้มข้นคงที่ ซึ่งวิธีการแช่อิ่มที่การเพิ่มระดับความเข้มข้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำสูญเสีย และของแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงสุด คือ 55.1 องศาบริกซ์ 61 และ 44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ 2) การพัฒนาต้นแบบกระบวนการอบแห้งเลมอนแช่อิ่มโดยการหาช่วงเวลาและระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง พบว่าช่วงระดับอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมคือ อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง จากนั้นอบต่อเนื่องที่ระดับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นสุดท้ายมีค่าต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก 3) ผลของการประยุกต์ใช้เทคนิคฟองอากาศขนาดเล็กในการปรับปรุงคุณภาพเลมอนแช่อิ่มอบแห้งซึ่งเปรียบเทียบระหว่างการเปิดและไม่เปิดระบบผลิตฟองอากาศ ขนาดเล็กระหว่างการแช่สารละลายกลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นอบแห้งตัวอย่างก่อนจะนำมาวัดเนื้อสัมผัส พบว่าตัวอย่างที่เนื้อสัมผัสแข็งน้อยที่สุดคือตัวอย่างที่แช่อิ่มด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นร่วมกับการเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็กที่ความแข็ง 59.91 นิวตัน

Thesis	Prototype process development of osmotic dehydration of lemon
Student	Siraphat Keetrakul
Student ID.	59601291
Degree	Master of Engineering
Program	Agricultural Engineering
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Panmanas Sirisomboon
Thesis Co-Advisor	Assist. Prof. Dr. Pimpun Pornchaloempong

ABSTRACT

The aim of this research was to develop the prototype process of osmotic dehydration of lemon. This research comprises three parts. Firstly, prototype process of osmotic dehydration of lemon which the variables of the process included 3 osmotic dehydration methods i.e. single step, single step with vacuums and multiple step of osmotic solution. It was found that the multiple step provided the highest total soluble solids 55.1 °Brix, water loss and solids gains 61% and 44% respectively. Secondly, the study of prototype process of osmo-convection drying of lemon . As a result, the best condition was the drying at 80°C for 5 hours and 70°C for 1 hour for the final moisture content was less than 9% wet basis. Thirdly, effect of fine bubble application for quality development of osmotic dehydration of lemon in glycerol 30% solution for 24 hours. Then the sample was dried before texture analysis. It was found that the lowest hardness (59.91 N) was from the lemon from the multiple step solution with fine bubble.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จด้วยกรุณา จาก รองศาสตราจารย์ ดร. ปานมนัส ศิริสมบุญรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้มอบความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ไขปัญหาลดจนให้ความรู้ ประสบการณ์ที่ดี วิธีการทำงานตามแบบนักวิจัยมืออาชีพ ฝึกฝนทักษะพัฒนาศักยภาพ จนกลายเป็นผู้มีความรู้ความสามารถ มีทัศนคติที่ดีต่องานวิจัย ตลอดจนความรักและกำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย

กราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.กฤษดากร กลุ่มมการ ที่ได้คำแนะนำสำหรับการนำเสนอผลงานในแง่ของวิจัย และ รศ.ดร. ปิติเขต สุรักษา ที่มอบแนวคิดสำหรับองค์ความรู้จากการใช้เครื่องอบแห้งอัจฉริยะ

กราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ ที่ได้ให้คำปรึกษาในงานวิจัย การวางแผนเชิงสถิติ คำแนะนำสำหรับผลิตภัณฑ์การอบแห้ง ดร.วันพุทธ แซ่ฉั่ว ที่มอบความกรุณาช่วยชี้แนะการแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ ตลอดจนความรักและกำลังใจให้กับข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบพระคุณ คุณ พรกัญญา ม้าวิไล ที่ได้ให้คำปรึกษาประสบการณ์ในการทำงานวิจัยและให้ความช่วยเหลือในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ตลอดจนความรักและกำลังใจ คุณ ดวงดาว โหมตวัฒน์นะ ที่ได้ช่วยตรวจสอบการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ ให้คำปรึกษาการวางแผนงาน ตลอดจนติดต่อประสานงานกับหน่วยงานให้ทุน คุณ วสันต์ อินตา ที่ได้ให้คำปรึกษาในฐานะผู้มีประสบการณ์งานวิจัยแก่ข้าพเจ้า ขั้นตอนการทำเอกสารสำหรับสอบจบ และมอบความเอาใจใส่ในการทำงานจนประสบความสำเร็จ คุณ ณิชฐา เฉลยจิตธรรม ที่ได้ช่วยเหลือในการแก้ไขงานให้อย่างละเอียดและถูกต้องพร้อมทั้งในแง่ใจจวง การมอบความรู้ใหม่ๆให้แก่ข้าพเจ้านางสาว สุชาวดี เวทจิระสิทธิ์ ที่ได้มอบความช่วยเหลือในการทำแลป

ขอขอบคุณ เพื่อนพี่น้อง นักศึกษา วิศวกรรมเกษตร และ วิศวกรรมอาหารทั้งระดับบัณฑิตศึกษา และ มหาบัณฑิตศึกษา ที่ได้มอบคำปรึกษา และ ประสบการณ์การทำงานวิจัยให้ข้าพเจ้าได้มีข้อคิด และพัฒนาแนวความคิด ทัศนคติต่างๆและกำลังใจกับข้าพเจ้า

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ บิดา มารดา และ คุณ สุตาภัทร แคว้นเขมาเมือง ผู้เป็นที่รัก และ กำลังใจยิ่งของข้าพเจ้า ตลอดจนครูบาอาจารย์ผู้ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอด ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ศิริภัสสร กี่ตระกูล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	5
เอกสารอ้างอิง.....	7
บทที่ 2 การพัฒนาต้นแบบกระบวนการเชื่อมต่อ.....	8
2.1 บทนำ.....	8
2.2 วัตถุประสงค์.....	8
2.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	8
2.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
2.5 การทบทวนเอกสาร.....	9
2.6 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	15
2.6.1 การเตรียมวัตถุดิบ.....	15
2.6.2 การเชื่อมต่อ.....	15
2.6.3 การวิเคราะห์คุณภาพระหว่างกระบวนการเชื่อมต่อ.....	20
2.7 ผลและวิจารณ์ผล.....	21
2.8 สรุปผล.....	35
เอกสารอ้างอิง.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การพัฒนาต้นแบบกระบวนการอบแห้งเลมอนแช่เย็น.....	37
3.1 บทนำ.....	37
3.2 วัตถุประสงค์.....	38
3.3 ขอบเขตการทดลอง.....	38
3.4 การทบทวนเอกสาร.....	38
3.5 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	43
3.5.1 ตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง.....	46
3.5.2 วิธีการอบแห้ง.....	46
3.5.3 การวิเคราะห์คุณภาพการอบแห้ง.....	47
3.6 ผลและวิจารณ์ผล.....	48
3.6.1 อัตราส่วนความชื้นและอัตราการทำแห้ง.....	48
3.6.2 ความชื้น.....	49
3.6.3 เนื้อสัมผัส.....	51
3.7 สรุปผล.....	53
เอกสารอ้างอิง.....	55
บทที่ 4 ผลของการใช้ฟองอากาศขนาดเล็กปรับปรุงคุณภาพเลมอนแช่เย็นอบแห้ง.....	56
4.1 บทนำ.....	56
4.2 วัตถุประสงค์.....	56
4.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	56
4.4 การทบทวนเอกสาร.....	57
4.5 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	61
4.6 ระเบียบวิธีวิจัย.....	65
4.6.1 การเตรียมตัวอย่าง.....	65
4.6.2 ขั้นตอนการแช่สารละลาย.....	65
4.6.3 การอบแห้ง.....	67
4.6.4 การวิเคราะห์คุณภาพหลังการแช่สารละลายกลีเซอรอลและอบแห้ง.....	67
4.7 ผลและวิจารณ์ผล.....	68

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.8 สรุปผล.....	73
เอกสารอ้างอิง.....	74



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตัวแปรสำคัญที่ต้องการศึกษา.....	6
2.1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักน้ำตาลทรายขาวต่อน้ำกรอง.....	16
2.2 การแช่อบที่สารละลายความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ.....	18
2.3 ปัจจัยในการวิเคราะห์คุณภาพ.....	20
2.4 คุณภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบ.....	21
2.5 การเปรียบเทียบระยะเวลาปริมาณของแข็งที่ละลาย.....	33
2.6 การเปรียบเทียบปริมาณความชื้น น้ำที่สูญเสีย ของแข็งที่เพิ่มขึ้น.....	33
3.1 อธิบายขั้นตอนการอบแห้ง.....	44
3.2 ปัจจัยในการวิเคราะห์คุณภาพ.....	47
3.3 ความชื้นและความแข็งของเลมอนแช่อบแห้งหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	50
3.4 เวลาที่ใช้ในการอบเลมอนจนน้ำหนักสุดท้ายคงที่ของแต่ละอุณหภูมิ.....	51
4.1 แผนภาพขั้นตอนกระบวนการทำงาน.....	62
4.2 รายละเอียดของกระบวนการผลิตเลมอนแช่อบแห้ง.....	63
4.3 การแช่กลีเซอรอลด้วยวิธีการเปิดและปิดระบบผลิตฟองอากาศ.....	66
4.4 อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้ง.....	67
4.5 การวิเคราะห์ปัจจัยคุณภาพ.....	67
4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและวอเตอร์แอกทีวิตี้.....	69
4.7 คุณภาพของเนื้อสัมผัสของเลมอนหลังการอบแห้ง.....	70

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะของเลมอน.....	1
1.2 ส่วนประกอบตามภาคตัดขวาง.....	2
1.3 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	5
2.1 การเตรียมตัวอย่างเลมอน.....	15
2.2 วิธีการแช่ส้มเลมอนที่สารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นคงที่.....	16
2.3 วิธีการสุ่มตัวอย่างเพื่อติดตามน้ำหนักและคุณภาพ.....	17
2.4 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	19
2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายของเนื้อเลมอนและสารละลายออสโมติกระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติก.....	23
2.6 การเปลี่ยนแปลงค่า พีเอช ในเนื้อและสารละลายออสโมติกระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติก.....	26
2.7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อเลมอนระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติก.....	29
2.8 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียและเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เพิ่มขึ้นระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติก.....	30
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	43
3.2 การเตรียมตัวอย่างก่อนเข้าตู้อบ.....	46
3.4 ความชื้นที่ระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้น.....	48
3.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างกระบวนการอบแห้ง.....	49
3.6 การเปลี่ยนแปลงความแข็งและความชื้นที่อุณหภูมิระดับต่างๆ.....	52
3.7 การเปลี่ยนแปลงความแข็งของเลมอนระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ.....	52
4.1 ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของฟองอากาศทั่วไปกับฟองอากาศขนาดเล็กต่อลูกบาศก์.....	57
4.2 การลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำของฟองอากาศขนาดทั่วไปกับฟองอากาศขนาดเล็ก.....	57
4.3 การเกิดฟองอากาศขนาดเล็ก.....	58
4.4 แผนการพัฒนาสูตรเลมอนแช่ส้มอบแห้ง.....	61
4.5 การเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็กร่วมกับการแช่กลีเซอรอล.....	66
4.6 การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อ.....	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

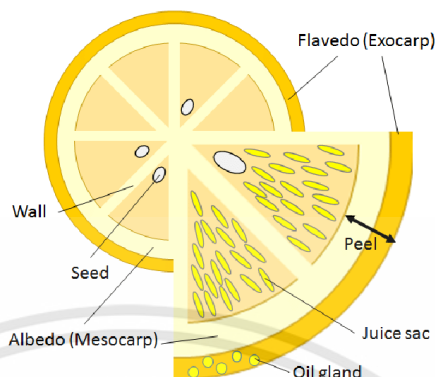
เลมอน (lemon) หรือมะนาวเหลือง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus limon* Burm. f. เลมอนเป็นพืชในสกุลส้มเป็นไม้พุ่ม มีหนามเฉพาะปลายยอด ใบเดี่ยว เมื่อขยี้ใบจะได้กลิ่นหอมแรง ดอกสีขาว มีกลิ่นหอม ผลรูปกลมรี ปลายผลมีติ่งแหลม ผลอ่อนสีเขียว สุกแล้วเป็นสีเหลือง เนื้อในฉ่ำน้ำ มีหลายเมล็ด รูปที่ 1.1 เลมอนมีเกือบ 20 สายพันธุ์ทั่วโลก และมีถิ่นกำเนิดจากหลายประเทศ แต่ละพันธุ์จะมีรูปร่างของผลและขนาดของผลต่างกัน ส่วนลักษณะทางพฤกษศาสตร์อย่างอื่นเหมือนกัน รวมทั้งการใช้ประโยชน์ด้วย แต่เลมอนที่นิยมปลูกภายในประเทศไทย ได้แก่ เลมอนไซ้ เป็นสายพันธุ์จากประเทศออสเตรเลีย และยูเรก้าเลมอน เป็นสายพันธุ์จากประเทศในแถบยุโรปและอเมริกา [1]



รูปที่ 1.1 ลักษณะของเลมอน [2]

เลมอนถือเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคในระดับโลกโดยผู้บริโภคส่วนใหญ่จะนำเลมอนมาใช้สำหรับเป็นส่วนประกอบในการทำน้ำผลไม้ เครื่องปรุงรสสำหรับอาหาร หรือแม้กระทั่งผลไม้สำหรับตกแต่งจานอาหาร ดังนั้นทำให้ลักษณะภายนอกที่ปรากฏของผลเลมอนจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภคในตลาดทำให้เมื่อมีการพบลักษณะภายนอกที่ผิดปกติหรือไม่พึงประสงค์จะทำให้เลมอนที่ผิดปกติเหล่านี้กลายเป็นสินค้าที่มีระดับคุณภาพระดับต่ำโดยผลเสียที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะถูกรับประมาณร้อยละ 20 ของ เลมอน ที่วางขายในตลาด[3] แต่ถึงแม้ว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่จะเลือกพิจารณาซื้อเลมอนจากผิวพรรณ หรือรูปลักษณะภายนอกที่พบเห็น แต่การนำไปใช้จากการตรวจเอกสารดังกล่าวทำให้พบว่ามีส่วนเนื้อเท่านั้นที่ถูกนำไปเลือกรับประทาน ส่วนผิวภายนอกจะใช้สำหรับตกแต่งจานอาหารเท่านั้นไม่ได้นำมารับประทานทั้งนี้เนื่องจากรสชาติที่มีความขมของเปลือกไม่เหมาะสำหรับนำมาบริโภคผู้บริโภคจึงทั้งส่วนบริเวณเปลือกของเล-มอนทั้งไปทั้งที่ในความเป็นจริงแล้วจากการตรวจเอกสารพบว่าส่วนที่ติดเปลือกเป็นเนื้อเยื่อสีขาว (albedo)

ดังแสดงในรูปที่ 1.2 บริเวณส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อติดเปลือกต่างประกอบไปด้วยไฟเบอร์สูงมีคุณประโยชน์หลายชนิดได้แก่ เพกติน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน [3]



รูปที่ 1.2 ส่วนประกอบตามภาคตัดขวางของเลมอน [5]

เมื่อทราบแล้วว่าเปลือกของเลมอนนั้นมีส่วนประกอบสูงไปด้วยคุณประโยชน์แต่ไม่สามารถรับประทานได้เพราะ มีรสชาติที่ขม ดังนั้นกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับนำมาแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพราะไม่เพียงแต่จะสามารถปรับรสชาติของอาหารที่นำแช่ในสารละลายออสโมติกได้แต่ยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้นานกว่าการเก็บรักษาแบบผลสดธรรมดาทั่วไป

การทำแห้งแบบออสโมติก (Osmotic dehydration) เป็นกระบวนการหนึ่งที่น่าผลิตภัณฑ์อาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้และผักมาแช่ในสารละลายความเข้มข้นสูง (Hypertonic solution) เช่น น้ำเกลือหรือน้ำเชื่อม ซึ่งเมื่อนำอาหารหรือผลไม้ไปแช่ในสารละลายจะทำให้เกิดแรงดันออสโมติกขึ้นส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารจากอาหารและน้ำ [6] โดยกระบวนการถ่ายเทมวลสารดังกล่าวจะเกิดการถ่ายเท 2 กระบวนการเกิดขึ้นพร้อมกัน กล่าวคือน้ำในอาหารจะถูกถ่ายเทออกจากอาหารสู่สารละลายภายนอกและตัวถูกละลายในสารละลายภายนอกก็จะถูกถ่ายเทเข้าไปยังอาหารที่นำมาแช่ในทิศทางที่สวนทางกัน [7] และเมื่อเวลาในการแช่สารละลายดังกล่าวมากพอจะทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียและการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งมีค่าคงที่และหยุดการถ่ายเทมวลสารในที่สุด การทำแห้งด้วยวิธีการออสโมติกสามารถลดปริมาณน้ำของวัตถุดิบลงได้ร้อยละ 50 แต่เนื่องจากปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ซึ่งอาจส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของวัตถุดิบ การทำแห้งแบบออสโมติกจึงเป็นเพียงวิธีการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้นก่อนจะเข้าสู่กระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนอีกทีเพื่อกำจัดปริมาณน้ำที่ยังคงเหลืออยู่ โดยน้ำเชื่อมที่ถูกรับเตรียมจากน้ำตาลซูโครสถือเป็นสารละลายที่เหมาะสมสำหรับแห้งแบบออสโม

ดีสำหรับวัตถุดิบที่ต้องการอบแห้งหลังจากทำแห้งแบบออสโมติกเนื่องจาก สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ และรสชาติที่ทำให้ผู้บริโภคพึงพอใจ [8]

ในการอบแห้งจะเกิดการส่งผ่านความร้อนขึ้นจากการไหลของความร้อนซึ่งในการส่งผ่านความร้อนนี้จะมีกลไกการถ่ายเทมวลเกิดขึ้น 2 กลไก อันดับแรกคือการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหาร สองคือ การเคลื่อนที่ของไอน้ำจากผิวหน้าของอาหารไปสู่สภาวะภายนอก การทำแห้งนี้ถือเป็นกระบวนการสำคัญที่ขาดไม่ได้สำหรับอุตสาหกรรมอาหารเพื่อรักษาคุณภาพของอาหารและยืดอายุการเก็บรักษาโดยการลดความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของอาหารแต่อย่างไรก็ดีขณะที่เกิดการทำให้แห้งของอาหารต่างจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเกิดขึ้นทั้งทางด้านกายภาพ เช่น การหดตัวของเซลล์ การสูญเสียความสามารถในการคืนตัว และ ความแข็ง ทางด้านเคมี เช่น พีเอช ปริมาณน้ำตาล ต่างถูกรายงานว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นขณะการทำแห้ง[9] นอกจากนี้แล้วหากมีการใช้อุณหภูมิสูงสำหรับการทำให้แห้งอาจทำให้เกิดการสูญเสียสารสำคัญทางโภชนาการที่เป็นความต้องการของผู้บริโภคส่วนใหญ่ ดังนั้นขีดจำกัดของการอบแห้งจึงมีค่อนข้างมากเพราะหากใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของอาหาร แต่หากอบด้วยอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปต้องใช้ระยะเวลาในการอบนานทำให้เสียเวลาและเสียพลังงานรวมถึงค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับการผลิตสินค้า ทำให้ต้องหาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะสามารถใช้เวลาในการอบพอควรและได้คุณภาพสินค้าเป็นไปตามความต้องการ

อย่างไรก็ดีในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่วางขายตามท้องตลาดอยู่หลายแบบทั้งเลมอนแช่อิ่ม เลมอนแช่อิ่ม-อบแห้ง เลมอนอบแห้ง ซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันออกไปตามแต่ละประเภทแต่เนื่องด้วยการผลิตสินค้าดังกล่าวเป็นสินค้าที่มาจากภาคเอกชน ดังนั้นสูตรขั้นตอนการผลิต ตลอดจนส่วนผสมที่ใช้ ไม่ถูกเปิดเผยสู่สาธารณะเพราะถือว่าเป็นความลับของแต่ละหน่วยงานที่เป็นผู้ผลิตทำให้ไม่มีสูตรต้นแบบสำหรับผู้ที่ต้องการผลิตสินค้าดังกล่าวที่ถึงแม้ผลิตภัณฑ์เทียบเคียงจะมีมากในท้องตลาดแต่ก็ยังไม่สามารถหาต้นแบบวิธีการผลิตที่แน่นอนได้ นอกจากนี้แล้วผู้ผลิตหลากหลายหน่วยงานก็ยังประสบปัญหาในการควบคุมคุณภาพตลอดจนขั้นการผลิตสินค้าออกสู่ตลาดที่แตกต่างกันออกไปทำให้สินค้ามีมาตรฐานไม่เป็นไปตามความต้องการของผู้ผลิต

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งหมายที่จะพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตเลมอนแช่อิ่มอบแห้งสู่เชิง-พาณิชย์ด้วยการคัดสรรวิธีการ แช่อิ่ม อบแห้ง และการปรับปรุงคุณภาพที่เหมาะสมต่อการเป็นวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแช่อิ่มอบแห้งสู่อุตสาหกรรมอาหารและสามารถควบคุมคุณภาพของสินค้าให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ผลิตได้

1.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของวิธีการแช่อบต่อคุณภาพเลมอนแช่อบแห้ง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อคุณภาพเลมอนแช่อบแห้งและพัฒนาต้นแบบกระบวนการอบแห้งเลมอนแช่อบ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการใช้ระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็กต่อคุณภาพเลมอนแช่อบแห้ง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 เลมอนที่ใช้ในการทดลองเป็นเลมอนพันธุ์ ยูเรก้า จาก ฟาร์ม พิชิ อำเภอบางบาล จังหวัด สระบุรี
- 1.3.2 น้ำตาลที่ใช้เตรียมสารละลาย คือน้ำตาล ซูโครส ตรา มิตรผล
- 1.3.3 คุณภาพที่ทำการศึกษาการพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตเลมอนแช่อบแห้งในครั้งนี้ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พีเอช ความชื้น เปอร์เซ็นต์น้ำสูญเสีย เปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เพิ่มขึ้น

วอเตอร์แอกติวิตี เนื้อสัมผัส และ สี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ด้านอุตสาหกรรม

- 1.4.1 ทำให้ทราบสูตร และกระบวนการผลิตเลมอนแช่อบแห้ง ความเป็นไปได้การลงทุนผลิต และตัวอย่างต้นแบบเพื่อทดสอบตลาด
- 1.4.2 นำเลมอนที่ไม่ผ่านการคัดเลือกให้นำขาย มาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้นำไปขายได้ราคาเท่ากับเลมอนปกติที่ขายในท้องตลาด

ด้านเศรษฐกิจ

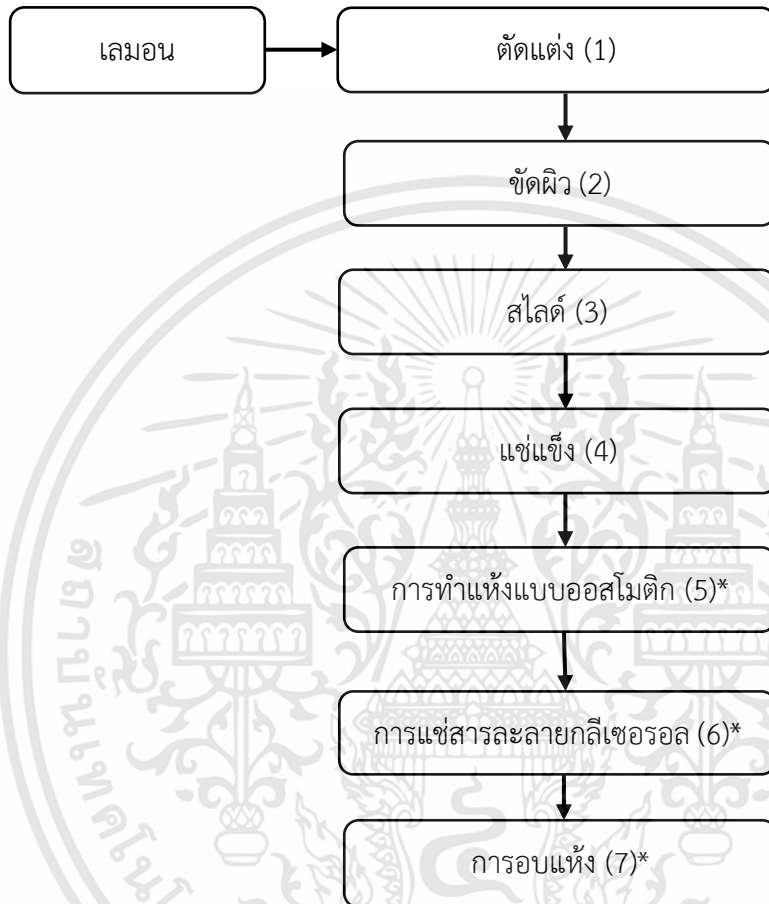
- 1.4.3 ทำให้มีสินค้าพอขายตลอดปีสำหรับสินค้าที่มีตามหน้าฤดูกาลอย่างเลมอน และเป็นต้นแบบสำหรับผลไม้หรือผักชนิดอื่น ๆ ที่มีตามหน้าฤดูกาลจะมีบริโภคและขายพอตลอดปี

ด้านสังคม

- 1.4.4 ได้วิธีการต้นแบบสำหรับการผลิตภัณฑ์เลมอนแช่อบแห้งและได้สร้างงานวิจัยที่สามารถนำไปผลิตได้จริงระดับอุตสาหกรรมทั้งยังเป็นต้นแบบกระบวนการผลิตอาหารแช่อบสำหรับอาหารอื่น ๆ ที่ต้องการผลิตสินค้าที่มีแนวคิดใกล้เคียงกัน

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนผังการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดแสดงในรูปที่ 1.3 รายละเอียดตัวแปรที่ต้องการศึกษาแสดงในตารางที่ 1.1 วิธีการในแต่ละขั้นตอนผลิตจะแสดงในแต่ละขั้นตอนจะถูกแสดงตามบทที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 1.3 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 ตัวแปรสำคัญที่ต้องการศึกษา

ลำดับ	ขั้นตอน	รายละเอียด
1	การทำแห้งแบบออสโมติก (5)*	1) แห่ที่ระดับความเข้มข้นคงที่ 2) แห่ที่ระดับความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ 3) แห่ที่เพิ่มระดับความเข้มข้น
2	การแช่สารละลายกลีเซอรอล (6)*	1) แช่กลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์แบบไม่เปิดระบบผลิตฟองอากาศ 2) แช่กลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์แบบเปิดระบบผลิตฟองอากาศ
3	การอบแห้ง (7)*	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 1) 80 องศาเซลเซียส 2) 70 องศาเซลเซียส 3) 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thompson, A.K. 2003. Fruit and Vegetables : harvesting handling and storage. Gray Publishing, UK.
- [2] นิรนาม. ลักษณะทั่วไปของเลมอน [Online]. Available :
<http://www.manowpan.com/aboutmanow.php> เข้าถึงเมื่อ 20 สิงหาคม 2561
- [3] Gines B. Martinez Hernandez. Postharvest treatments to control physiological and pathological disorders in lemon fruit. **Food Packaging and Shelf life**. Vol.14, 2017, 34-39
- [4] Atares, L., Chiralt, A., Gonzalez-Martinez, C. 2008. “Effect of solute on osmotic dehydration and rehydration of vacuum impregnated apple cylinder (cv. Granny Smith)”. **Journal of Food Engineering** 89, 49-56
- [5] Ayano Nakamura. Cross-section anatomy lemon [Online]. Available :
https://www.researchgate.net/figure/Cross-sectional-anatomy-of-a-lemon-Pomological-terms-and-general-botanical-terms-in_fig1_312026932
 เข้าถึงเมื่อ 5 กันยายน 2561
- [6] H. Pacheco-Angulo et al. Mass transfer modeling in osmotic dehydration : Equilibrium characteristics and process dynamics under variable solution concentration and convective boundary. **Food and Bioproducts Processing**. Vol.97. 2016. 88-99
- [7] Javier Jemenez-Hernandez et al. Osmotic dehydration of mango with impregnation of inulin and piquin-pepper oleoresin. Vol.79. 2017. 609-615
- [8] Keila de Souza Silva et al. Osmotic dehydration process for low temperature blanched pumpkin. **Journal of Food Engineering**. Vol 105. 2011. 56-64
- [9] Progati Kaushal, H.K. Sharma. Osmo-convective dehydration kinetics of jackfruit (*Antocarpus heterophyllus*). **Journal of the Saudi Society of Agriculture Sciences**. Vol. 15. 2016. 118-126

บทที่ 2

การพัฒนาต้นแบบกระบวนการแช่ส้มเลมอน

2.1 บทนำ

การถนอมอาหารด้วยวิธีการแช่ส้มเป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งกำจัดน้ำออกจากอาหารโดยการจุ่มวัตถุดิบที่ต้องการแช่ส้มลงไปในการละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดการถ่ายเทน้ำออกจากอาหารและของแข็งในสารละลายเข้าไปยังตัววัตถุดิบ ด้วยหลักการความแตกต่างทางความดันออสโมติก ทำให้เกิดการถ่ายเทน้ำและของแข็งพร้อมกัน ซึ่งเทคนิคนี้เป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหารโดยใช้ความร้อนต่ำ ทำให้รักษาคุณภาพเนื้อสัมผัส สี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์

ปัจจุบันทั้งในและต่างประเทศมีการผลิตผลิตภัณฑ์แช่ส้มมากมาย เพื่อออกขายในอุตสาหกรรมทั้งแบบแช่ส้มพร้อมบรรจุสารละลาย และแบบแช่ส้มอบแห้ง แต่งานการพัฒนาผลิตภัณฑ์เหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีสูตรและขั้นตอนที่เป็นความลับ เนื่องจากอยู่ในภาคเอกชนจึงยังไม่มีเปิดเผย งานวิจัยในส่วนนี้จึงมีความต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์แช่ส้มต้นแบบ สำหรับเป็นการพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตเลมอนแช่ส้ม และสำหรับเป็นต้นแบบกระบวนการผลิตอาหารแช่อื่น ๆ ในอนาคต

2.2 วัตถุประสงค์

2.2.1 เพื่อศึกษาผลของวิธีแช่ส้มต่อคุณภาพของเลมอนแช่ส้ม

2.2.2 เพื่อเลือกวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำไปเป็นต้นแบบกระบวนการผลิตเลมอนแช่ส้ม

2.3 ขอบเขตงานวิจัย

2.3.1 น้ำตาลที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย คือน้ำตาลซูโครส ตรา มิตรผล

2.3.2 คุณภาพที่ทำการซั้วัดได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พีเอช ปริมาณน้ำที่สูญเสีย และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

2.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

2.4.1 ได้รับองค์ความรู้ของการพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตผลไม้แช่ส้มสำหรับอุตสาหกรรม

2.4.2 ถนอมผลไม้ที่มีตามหน้าฤดูกาลให้มีสำหรับบริโภคตลอดปี

2.5 การทบทวนเอกสาร

2.5.1 การทำแห้งด้วยวิธีออสโมติก

(osmotic dehydration)

การทำแห้งด้วยวิธีออสโมติก เป็นกระบวนการทำแห้งโดยกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหาร โดยการจุ่มหรือแช่อาหารหรือวัตถุดิบในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง (hypertonic solution) โดยอาศัย หลักของความแตกต่างเนื่องจากความดันออสโมติกระหว่างน้ำภายในอาหารและสารละลายภายนอก เป็นผลทำให้เกิดแรงขับน้ำภายในอาหารออกสู่สารละลายภายนอก ในทางกลับกันตัวถูกละลายภายนอกจากสารละลายจะแพร่เข้าสู่อาหารเช่นเดียวกัน ทั้งสองกระบวนการนี้เกิดขึ้น ขณะเดียวกันแต่มีทิศทางตรงกันข้ามผ่านผนังเซลล์ของอาหาร ซึ่งน้ำในอาหารเหล่านี้เป็นแหล่งอาหารให้จุลินทรีย์หรือเชื้อราต่างๆใช้ในการเติบโต ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสีย [1] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดน้ำเหล่านี้ออก เพื่อยืดอายุในการเก็บรักษา ด้วยการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่เป็นค่าของปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์นำไปใช้เป็นอาหารสำหรับการเจริญเติบโตได้ การทำแห้งด้วยวิธีการออสโมติกเป็นที่ได้รับความนิยมในการถนอมอาหาร เพราะการทำแห้งด้วยวิธีออสโมติกนี้เป็นวิธีการกำจัดน้ำหรือทำแห้ง โดยใช้ความร้อนต่ำ สามารถรักษาคุณค่าของสารสำคัญซึ่งมีประโยชน์และเกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพ เช่น สี รสชาติ และ เนื้อสัมผัสน้อย ดังนั้นในการวิจัยนี้มุ่งเน้นวิธีการทำแห้งด้วยวิธีการออสโมติกเพื่อกำจัดน้ำบางส่วนออกและลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ในส่วนชั้นของผนังเซลล์ที่เรียกว่า semi-permeability membrane ของอาหารที่นำมาแช่ จากการทบทวนเอกสารของหลายงานวิจัยพบว่าการทำแห้งด้วยวิธีการออสโมติกจนกระทั่งถึงเวลาที่การแพร่ของน้ำและของแข็งซึ่งสามารถขับน้ำออกจากอาหารทำให้น้ำหนักของอาหารลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักอาหารหรือวัตถุดิบสดก่อนการแช่ [2]

2.5.2 กลไกการแพร่ของน้ำและของแข็งในกระบวนการออสโมติก

(Mechanism of osmotic dehydration)

กลไกการแพร่ของน้ำและของแข็งในกระบวนการออสโมติก โดยการจุ่มอาหารลงในสารละลายออสโมติกที่เซลล์ของอาหารที่นำมาแช่นั้นจะแพร่เข้าออกผ่านองค์ประกอบหลักภายในเซลล์ 3 ชั้น ได้แก่ ปริมาตรภายนอก ประกอบด้วย ผนังเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ ปริมาตรภายใน ประกอบด้วย ไฮโดรพลาสซึม และแวคิวโอ และ ผนังเซลล์[3] ในกระบวนการการทำแห้งแบบออสโมติกนี้ การขับน้ำออกเริ่มจากขับน้ำจากภายในเซลล์ผ่านออกมายังบริเวณนอกเซลล์ สู่สารละลายภายนอกผ่านรูพลาสโมเดสมัลลาร์ที่อยู่บริเวณผนังเซลล์ ซึ่งผนังเซลล์ส่วนที่เป็น semi permeable membrane ทางผ่านระหว่างน้ำและของแข็งในสารละลายนี้ยอมให้น้ำผ่านออกได้ดีกว่าของแข็ง[2] ซึ่งในกระบวนการออสโมติกนั้น ของแข็งภายนอกสามารถผ่านเข้าออกได้หรือไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากหรือน้อยผ่านเซลล์เมมเบรนได้หรือไม่ ขึ้นอยู่กับปัจจัยในการทำแห้งแบบออสโมติก ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.5.3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการออสโมติก

(Factors of osmotic dehydration)

เนื่องด้วยการทำแห้งแบบออสโมติกเป็นการจุ่มหรือแช่วัตถุดิบลงในสารละลายออสโมติกที่หลากหลายด้วยวัตถุประสงค์การแช่ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้วิธีการทำแห้งแบบออสโมติกเป็นกระบวนการทำแห้งที่เกิดขึ้นช้าเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ จึงมีผู้คิดค้นและรวบรวมปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการถ่ายเทมวลสารของตัวถูกละลายและน้ำออกจากอาหาร โดยปัจจัยหลักๆ ที่เกี่ยวข้อง มีดังนี้ [4]

คุณลักษณะเบื้องต้นของผักหรือผลไม้ที่นำมาใช้แช่ เช่น ขนาด รูป ร่าง พันธุ์ ตลอดจนความสุกดิบของวัตถุดิบเบื้องต้นที่นำมาใช้ในการทำแห้งแบบออสโมติกที่แตกต่างกัน [4]

การเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกัน การเตรียมตัวอย่างขั้นต้น เช่น การลวก การแช่แข็ง การใช้ระบบสุญญากาศร่วมในการเตรียมตัวอย่างก่อนเข้าสู่กระบวนการทำแห้งแบบออสโมติก [4]

ลักษณะของสารละลาย เช่น สารละลายที่ใช้ตัวถูกละลายที่แตกต่างกัน มีผลให้การถ่ายเทมวลสารเข้าสู่อาหารได้อย่างแตกต่างกัน ตลอดจนระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่ ให้ผลในการถ่ายเทมวลน้ำที่แตกต่างกันออกไป อัตราส่วนขณะแช่ [4]

อุณหภูมิ ระยะเวลาในการแช่และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การกวนสาร ซึ่งช่วยให้เกิดการกระจายความร้อนในตัวสารละลายดีมากขึ้น [4]

2.5.3.1 ชนิดของสารละลายออสโมติกที่แตกต่างกัน

การศึกษาการถ่ายเทมวลขณะกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกของแอปเปิ้ลโดยการแช่ในสารละลายสามชนิด ได้แก่ ฟรุกโตส ซูโครส และ มอลโตเด็กซ์ตินโดยแช่แอปเปิ้ล 300 กรัม ต่อสารละลาย 150 มิลลิลิตร ระดับอุณหภูมิ คือ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส และ 3 ระดับความเข้มข้นของสารละลายคือ 40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติกนั้น จะติดตามคุณภาพ ความชื้น เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสีย และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ทุก 10 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง จากนั้นติดตามคุณภาพทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งครบ 240 นาที โดยผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียของแอปเปิ้ลระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติกในสารละลายซูโครสที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำแห้งแบบออสโมติกและเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสีย ในช่วงแรกของกราฟมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อัตราเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียลดลง โดยผู้เขียนได้อธิบายไว้ว่าแรงขับที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำนั้นลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป ซึ่งการสูญเสียน้ำที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนของแข็งที่อยู่ในสารละลายเข้าไปยังชิ้นเนื้อแอปเปิ้ล สำหรับสารละลายฟรุกโตสและมอลโตเด็กซ์ติน มีผลการทดลอง

คล้ายคลึงกัน ต่อมาจึงรายงานผลที่เกิดจากสารละลายที่แตกต่างกันกับความเข้มข้นของสารละลายต่อเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสีย พบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียที่มากที่สุดเกิดจากตัวอย่างที่แช่ในสารละลายฟรุกโตส

เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายอีก 2 ชนิดที่เหลือที่ระดับความเข้มข้นและอุณหภูมิเดียวกัน สารละลายชนิดที่ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียได้มากที่สุด คือฟรุกโตส ด้วยเหตุผลที่ฟรุกโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวซึ่งมีขนาดเล็กกว่า ซูโครสและมอลโตเดกซ์ทรินที่เป็นน้ำตาลที่โมเลกุลใหญ่กว่า (พอลิแซ็กคาไรด์ หรือคาร์โบไฮเดรต) และเมื่อศึกษาผลที่เกิดจากอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสีย พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียจะเกิดขึ้นสูงที่สุดที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งหลังแช่สารละลายไปทั้งหมด 240 นาทีแล้ว เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียอยู่ในช่วง 36.5 – 49.78 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแอปเปิ้ลเริ่มต้นต่อชิ้น และหากพิจารณาเรื่องผลของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นหลังการทำแห้งแบบออสโมติกกับเวลาพบว่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของทุกๆระดับความเข้มข้นของสารละลายและอุณหภูมิในช่วงแรกมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจากนั้นอัตราดังกล่าวจะลดลงเพราะแรงขับที่เกิดจากออสโมติกลดลงเนื่องจากของแข็งที่บางส่วนไม่สามารถเข้าไปยังเนื้อของแอปเปิ้ลได้ไปเกาะขวางเป็นชั้นอยู่บริเวณทางเข้าออกของการถ่ายเทมวลสารทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งจึงลดลงที่ระยะเวลาผ่านไป หากพิจารณาผลของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นกับชนิดของสารละลายออสโมติกพบว่าปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อ ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิเดียวกัน การแช่ในฟรุกโตสเป็นทำให้แอปเปิ้ลมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารละลายชนิดอื่น ที่ระดับความเข้มข้น และอุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งเป็นเพราะฟรุกโตสมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าน้ำตาลชนิดอื่น และ ฟรุกโตสที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงสุดได้แก่ ที่ระดับความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ ผลของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงสุดได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส[5]

2.5.3.2 อัตราส่วนของผลไม้ต่อสารละลายออสโมติก

Mirtes ได้ศึกษาการถ่ายเทของแข็งระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกของ เซอร์รี่ อินเดียนตะวันตก ลวกในน้ำเดือด 1 นาที เพื่อเพิ่มการดูดซับน้ำผ่านหน้าผิวอาหาร จากนั้นจุ่มลงในน้ำเย็นจัดที่ผสมกับน้ำแข็งเพื่อกำจัดความร้อนส่วนเกินออก และ นำไปจุ่มในสารละลายออสโมติกคือน้ำตาลซูโครสและน้ำกลั่น ความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ ใช้อัตราส่วนของเซอร์รี่ต่อสารละลายออสโมติกที่ใช้แช่ เป็น 1:4 1:10 และ 1:15 ตามลำดับ ซึ่งตลอดกระบวนการ (12 ชั่วโมง) อุณหภูมิคงที่ 27 องศาเซลเซียส ทุกๆ 1 ชั่วโมง นำเซอร์รี่ออกมา ล้างทำความสะอาดและแช่ด้วยทิชชูเพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินออกจากหน้าผิวสัมผัส จากนั้นชั่งน้ำหนักแล้วนำกลับไปแช่ต่อในสารละลายออสโมติกดั้งเดิม เพื่อติดตามสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียปริมาณของแข็งที่

เพิ่มขึ้นและน้ำหนักที่หายไป หลังจกระบวนการทดลองพิจารณาคุณภาพ ปริมาณความชื้นสุดท้าย ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และวอเตอร์แอกติวิตีของแต่ละกระบวนการพบว่าที่อัตราส่วน 1:15 มีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่อัตราส่วน 1:4 มีค่าสูงที่สุด ซึ่งในการทดลองนี้ทางผู้เขียนมีจุดประสงค์ในการลดค่า ลดความชื้น เพิ่มอัตราการเพิ่มปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นและลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี พิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียระหว่างกระบวนการทำแห้งกับเวลา ผลการรายงานว่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาในการแช่อบเพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนการแช่อบของเซอร์รี่ต่อสารละลาย 1:10 และ 1:15 มีเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกือบจะเท่ากันในช่วงระหว่าง 2 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นอัตราเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียจะลดลง โดยที่ 2 – 9 ชั่วโมงในการแช่อบ ที่อัตราส่วน 1:10 จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียมากกว่าที่อัตราส่วน 1:15 เนื่องจาก ความเข้มข้นของซูโครสที่เกาะอยู่บริเวณผิวของชั้นผลไม้ ทำให้ชั้นของน้ำตาลซูโครสทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวต้านทานที่ทำหน้าที่ต้านทานการผ่านเข้าออกของน้ำออกสู่สารละลายภายนอก ส่วนอัตราส่วน 1:4 มีอัตราเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียน้อยกว่าและช้ากว่าแบบอื่นๆ ด้วยเหตุผลคือมีความเจือจางของสารละลายมากกว่าทั้งสองอัตราส่วนเบื้องต้น และหากพิจารณาปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นกับระยะเวลาพบว่าที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นทั้งสามอัตราส่วนมีอัตราการเพิ่มปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วน 1:15 มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อพิจารณาที่ทั้ง 3 อัตราส่วน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้สุดท้ายมีค่า 10-12 องศาบริกซ์ ซึ่งจากการทดลองนี้ค้นพบว่าเหมาะสำหรับการกำจัดน้ำออกได้มากและปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นน้อย และเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียกับปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นลดลง จากการทดลองนี้ทางผู้เขียนได้สรุปว่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น จะมีค่ามากขึ้นที่อัตราส่วนสารละลายเพิ่มมากขึ้น แต่หากมากเกินไปก็จะสามารถทำให้อัตราการเพิ่มเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสีลดลงเนื่องจากชั้นตัวถูกละลายที่ขวางทางผ่านเข้าออกของน้ำที่จะแพร่ออกจากอาหาร [6]

2.5.3.3 กระบวนการใช้ระบบสุญญากาศ

อย่างไรก็ดีกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกเป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหารแต่ยังต้องใช้เวลาในการทำแห้งนานหลายชั่วโมงเพื่อให้กระบวนการถ่ายเทน้ำออกจากอาหาร เข้าสู่สมดุล (เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียคงที่) ดังนั้น การใช้ระบบสุญญากาศ เข้ามาเพื่อเร่งกระบวนการถ่ายเทน้ำออกจากอาหาร และลดระยะเวลากระบวนการแช่อบ ทำแห้งแบบออสโมติกโดย Rastogi and Raghavarao ศึกษาจลศาสตร์ที่เกิดจากกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกภายใต้ความดันสุญญากาศ เทียบกับการทำแห้งแบบออสโมติกที่ความดันบรรยากาศปกติของเนื้อมะพร้าวสุกโดยนำมาหั่นให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 35 มิลลิเมตร และหนา 8 มิลลิเมตร โดยแช่ในสารละลายซูโครส ที่อัตราส่วนมะพร้าวต่อสารละลาย 1:5 และควบคุมอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเข้มข้น 0.667 และ 1.5 กิโลกรัม น้ำตาลซูโครสต่อน้ำ 1 กิโลกรัม ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ และความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญญากาศ 235.3 มิลลิบาร์ และทุกๆ 1 ชั่วโมงจะนำตัวอย่างออกจากสารละลายล้างด้วยน้ำ จากนั้นซับของเหลวส่วนเกินออกด้วยกระดาษทิชชู ก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักที่เปลี่ยนไป หลังการแช่ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 100–110 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ก่อนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาความดันออสโมติก ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบกับผลการออสโมติกของงานวิจัยที่มีอยู่แล้วซึ่งเป็นการออสโมติกของแอปเปิ้ลที่สไลด์และแช่-อิมในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส 1.857 กิโลกรัมต่อน้ำเปล่า 1 กิโลกรัม ที่ระดับอุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส แต่ในการทดลองนี้จะพิจารณาผลเปรียบเทียบกับในระดับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศปกติและความดันสูญญากาศเท่านั้นและจากการทดลองค่าความดันออสโมติกที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาในการทำแห้งแบบออสโมติกของทั้งเนื้อมะพร้าวสุกและแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิสูญญากาศมีค่าสูงกว่าที่ความดันบรรยากาศปกติ ผลที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าลอการิทึมของ อัตราส่วนความดันออสโมติกกับเวลาในการแช่ทั้งมะพร้าวและแอปเปิ้ลที่เกิดจากการแช่ทั้งสองวัตถุดิบ ความชื้นที่เกิดจากการแช่ภายใต้ความดันสูญญากาศชันมากกว่าความดันบรรยากาศปกติ ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าอัตราการถ่ายเทปริมาณมวลของสารผ่านเข้าออกของกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกที่ความดันสูญญากาศสามารถเกิดได้เร็วกว่าที่ความดันบรรยากาศปกติ และเกิดค่าความดันออสโมติกที่คงที่เร็วกว่าความดันออสโมติกที่ความดันบรรยากาศปกติ โดยที่ แอปเปิ้ลคงที่ที่ความดัน 130 มิลลิบาร์และเริ่มคงที่ที่ เวลา 4 ชั่วโมง ที่ความดันบรรยากาศปกติ จะมีค่าความดันเดียวกันที่เวลาผ่านไป 9 ชั่วโมง ในขณะที่เนื้อมะพร้าวสุกจะมีความดันออสโมติกที่เริ่มคงที่ที่ 75 มิลลิบาร์ ที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ที่ความดันบรรยากาศปกติจะมีความดันออสโมติกที่ 70 มิลลิบาร์ที่เวลาผ่านไป 9 ชั่วโมง จากการทดลองนี้ผู้วิจัยได้สรุปว่า อัตราการถ่ายเทมวลระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกภายใต้ความดันสูญญากาศจะเกิดขึ้นเร็วและสมดุลง่ายกว่าที่กระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกที่ความดันบรรยากาศทั่วไป [7]

Sahin and Ozturk ศึกษาผลที่เกิดจากการทำแห้งด้วยการออสโมติกที่ความดันสูญญากาศ กระตุ้น ก่อนการอบแห้งของมะเดื่อ โดยการทดลองนี้ได้เปรียบเทียบ มะเดื่อที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกที่ความดันบรรยากาศแบบกระตุ้นก่อนและไม่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกก่อนการอบแห้งโดยมะเดื่อจะนำมาใช้โดยไม่มีการหันหรือพลิกเปลือก แช่ในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 50.1 องศาบริกซ์ และอัตราส่วนของสารละลายต่อ มะเดื่อที่แช่เป็น 4:1 ควบคุมความดันที่ 130 มิลลิบาร์ 15 นาที จากนั้นปล่อยให้แช่ในสารละลายออสโมติกที่ความดันบรรยากาศปกติต่อเป็นเวลา 165 นาที หลังจากนั้นนำไปล้างน้ำ 1 นาที และซับด้วยกระดาษทิชชูแล้วนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 65 และ 75 องศาเซลเซียส พบว่าทั้งวิธีการทำแห้งแบบออสโมติกก่อนการอบและวิธีที่ไม่ทำแห้งแบบ

ออสโมติกก่อนการอบมีค่าปริมาณความชื้นลดลงในขณะที่กระบวนการอบแห้งและที่อุณหภูมิในการอบสูงขึ้น ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งสองแบบจะใช้เวลาในการอบสั้นกว่า [8]

2.5.3.4 การเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

ได้มีการศึกษาของ ยุทธชาติ ได้ศึกษากระบวนการผลิตมะม่วงแช่อิ่มแห้ง โดยการนำมะม่วงแช่สารละลายที่ผสม โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้มข้นร้อยละ 0.1 กับ แคลเซียมคลอไรด์ 0.7 ที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำตาลและคงเนื้อสัมผัส จากนั้นเปรียบเทียบคุณภาพการถ่ายเทมวลสารของมะม่วงที่แช่ในสารละลายความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ และมะม่วงที่แช่อิ่มในสารละลายที่ปรับเพิ่มระดับความเข้มข้น จาก 30 50 และ 70 องศาบริกซ์ โดยทำการเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกทุกๆ 4 ชั่วโมง จากนั้นนำทั้งตัวอย่างมะม่วงจากการแช่อิ่มทั้ง 2 วิธี มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และวัดคุณภาพซึ่งให้คุณภาพสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ น้ำตาล และกรดสูง การสูญเสียน้ำมากกว่า การแช่อิ่มที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ 70 องศาบริกซ์ แต่เมื่ออบแห้งออกมาแล้ว ค่าการยอมรับของผู้บริโภคไม่แตกต่างกันแต่อยู่ในระดับชอบปานกลาง [9]

2.6 ระเบียบวิธีการวิจัย

2.6.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบ

เลมอนพันธุ์เรก้า จาก ไร่พิชิต อำเภอบางบาล จังหวัดสระบุรี ได้วิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้น ได้แก่ ขนาด น้ำหนัก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พีเอช และ ปริมาณความชื้น ตามวิธีการในภาคผนวก ก.1 ก.2 ก.3 และ ก.4 ตามลำดับ

การเตรียมวัตถุดิบ

ซังน้ำหนักเบื้องต้น ล้าง ตัดหัวท้าย และขัดผิวด้วยมีด แล้วสไลด์ ด้วยเครื่องสไลด์ที่มีความหนา 8 มม. บรรจุในกระป๋องพลาสติกโดยแต่ละกระป๋องจะบรรจุ 2 กิโลกรัม จากนั้นนำมาแช่แข็งในตู้แช่แข็ง (SF-PC1497, Panasonic, Japan) ที่อุณหภูมิ -20°C องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาขั้นต่ำ 24 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิตัวอย่างต่ำกว่า -18°C เก็บรักษาไว้จนกว่าจะนำมาทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเตรียมตัวอย่างเลมอน ล้างทำความสะอาด a) ขัดผิว b) สไลด์และแช่เยือกแข็ง c)

2.6.2 การแช่แข็ง

2.6.2.1 การเตรียมสารละลายออสโมติก

ก. การเตรียมสารละลายออสโมติกความเข้มข้นคงที่

ในการทดลองนี้ใช้สารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกคงที่ 60 องศาบริกซ์ ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลทรายขาวต่อน้ำกรอง ในอัตราส่วน 60 ต่อ 40 โดยน้ำหนัก การเตรียมสารละลายออสโมติก เริ่มจากตม่น้ำกรองให้เดือด เติมน้ำตาลทรายขาว คนให้ละลายทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส หากความเข้มข้นคลาดเคลื่อนจะปรับความเข้มข้นให้ได้ 60 องศาบริกซ์ ด้วยน้ำตาล

หรือน้ำกรอง และใส่กรดซิตริก 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสารละลายออสโมติก คนให้ละลายเพื่อปรับรสชาติ และพีเอช ของผลิตภัณฑ์

ข. การเตรียมสารละลายออสโมติกเพิ่มระดับความเข้มข้น

การเตรียมสารละลายออสโมติกเพิ่มระดับความเข้มข้น มีระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก 4 ระดับ เริ่มจาก 15 และเพิ่มเป็น 30 45 และ 60 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ใช้วิธีการเดียวกับการเตรียมสารละลายออสโมติกความเข้มข้นคงที่ โดยปริมาณน้ำตาลทรายขาว ต่อ น้ำกรอง โดยน้ำหนัก แสดงในตารางที่ 2.1 ทั้งนี้ ในทุกระดับความเข้มข้นเติมกรดซิตริก 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของสารละลายออสโมติก

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักน้ำตาลทรายขาว ต่อ น้ำกรอง

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	อัตราส่วน น้ำตาล ต่อ น้ำ โดยน้ำหนัก
15	15 : 85
30	30 : 70
45	45 : 55
60	60 : 40

2.6.2.2 การแช่ส้ม

ก. การแช่ส้มในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นคงที่

นำตัวอย่างเลมอนมาแช่สารละลายออสโมติกในภาชนะสเตนเลส ด้วยอัตราส่วนเลมอนต่อสารละลายออสโมติก 1: 1.2 โดยน้ำหนัก ใช้ถุงพลาสติกบรรจุน้ำรัดปากถุงให้แน่นวางทับ บนตัวอย่างเพื่อให้เลมอนจมอยู่ในสารละลาย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยการแช่ส้มแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 เป็นตัวอย่างเพื่อติดตามน้ำหนักของเลมอนที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการแช่ส้ม ชุดที่ 2 สำหรับติดตามคุณภาพของเนื้อเลมอนและสารละลายออสโมติกได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พีเอช เปอร์เซ็นต์ความชื้น



รูปที่ 2.2 วิธีการแช่ส้มเลมอนที่สารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นคงที่

วิธีการสุ่มตัวอย่างเพื่อติดตามน้ำหนักและคุณภาพ ใช้เลมอนในชุดที่ 1 เพื่อการติดตามน้ำหนักในช่วงระยะเวลาต่างๆ โดยเลมอนทั้งหมดจะถูกตัดด้วยตะแกรง แล้วพักในตะกร้าสแตนเลส เพื่อให้สะเก็ดสารละลายก่อนนำมาวางเรียงบนถาดสแตนเลสที่มีรูจนเต็มถาด กลับขึ้นเลมอนโดยใช้ระยะเวลาพักทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้สารละลายออสโมติกที่ติดมาไหลออกจากชิ้นเลมอนโดยแสดงดังรูปที่ 2.3 แล้วชั่งน้ำหนัก เมื่อชั่งเสร็จนำตัวอย่างเลมอนและสารละลายที่ไหลออกมาใส่กลับในภาชนะแช่ อิมและแช่อิมต่อจนกระทั่งครบระยะเวลาในการติดตามคุณภาพ สำหรับเลมอนในชุดที่ 2 เพื่อการติดตามคุณภาพได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พีเอช ปริมาณความชื้น โดยทำการสุ่มตัวอย่างชิ้นเลมอน 30 กรัม จากวิธีการสุ่มตัดตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกันกับเลมอนในชุดที่ 1 และ สารละลายออสโมติก 30 กรัม



รูปที่ 2.3 วิธีการสุ่มตัวอย่างเพื่อติดตามน้ำหนักและคุณภาพ

การติดตามน้ำหนักและคุณภาพ จะทำทุกๆ 30 นาที จนครบ 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงติดตามทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อเลมอนเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 1 องศาบริกซ์ เมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อเลมอนช่วงเวลาที่วัดก่อนหน้านี้ จึงจบขั้นตอนการแช่อิม

ข. การเชื่อมที่สารละลายความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ

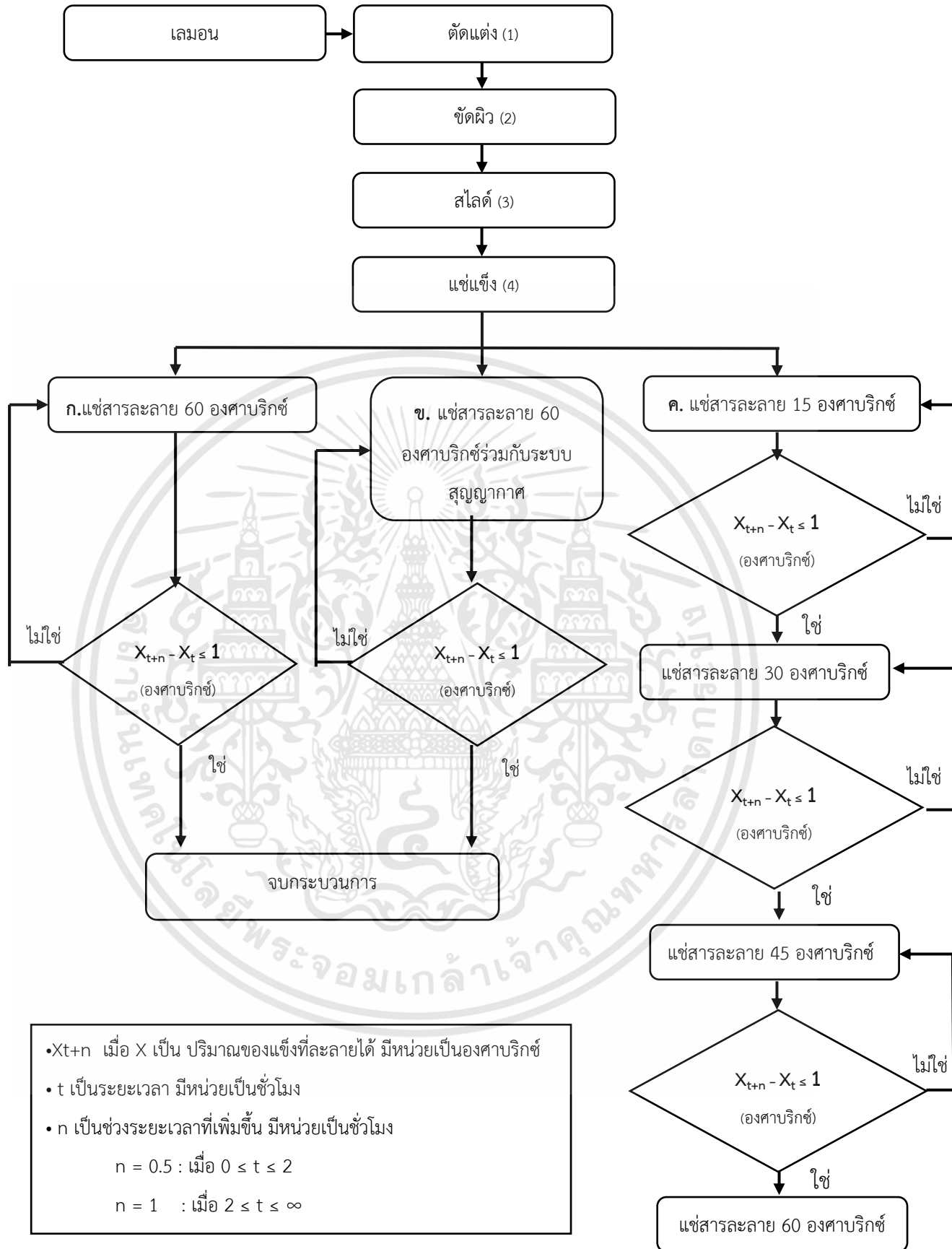
การเชื่อมในสารละลายความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ ทำในเครื่องเชื่อมสุญญากาศ ซึ่งส่วนประกอบ อุปกรณ์ หน้าที่ของเครื่องเชื่อมสุญญากาศ และ ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง **แสดงในภาคผนวกข** ตัวอย่างเลมอนถูกบรรจุในถังสุญญากาศและสารละลายออสโมติกถูกแยกบรรจุถังและคิดอัตราส่วนเลมอนต่อสารละลายออสโมติก 1:1.2 โดยน้ำหนัก จากนั้นตั้งความดันและเวลา ดังตารางที่ 2.2 เมื่อครบกำหนดระยะเวลา สารละลายออสโมติกที่ถูกเตรียมแล้วจะไหลเข้าสู่ถังสุญญากาศ เมื่อสารละลายออสโมติกที่ถูกเตรียมไว้ไหลเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้ว จึงเปิดระบบให้อากาศถ่ายเทเข้าในถัง เพื่อเชื่อมต่อในสภาวะความดันบรรยากาศ

ตารางที่ 2.2 การเชื่อมที่สารละลายความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ

ขั้นตอน	ความดัน (บาร์)	เวลา (นาที)
ระบบสุญญากาศ	0.5	10
เชื่อมที่ความดันบรรยากาศ	1.013	-

ค. การเชื่อมในสารละลายออสโมติกที่เพิ่มระดับความเข้มข้น

การเชื่อมเลมอนในสารละลายออสโมติกที่เพิ่มระดับความเข้มข้นนี้จะใช้ อัตราส่วนเลมอนต่อสารละลายออสโมติก 1:1.2 โดยน้ำหนัก เริ่มแช่ที่ระดับความเข้มข้น 15 องศาบริกซ์ การติดตามน้ำหนัก คุณภาพทำเช่นเดียวกันกับการเชื่อมในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นคงที่โดยทำทุกๆ 30 นาที จนครบ 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงติดตามทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อเลมอนเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 1 องศาบริกซ์ เมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อเลมอนช่วงเวลาที่วัดก่อนหน้า ก่อนที่จะเพิ่มระดับความเข้มข้น 30 45 และ 60 องศาบริกซ์ วิธีการ ชุตการ ทดลอง การติดตามคุณภาพเช่นเดียวกันกับการเชื่อมในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นคงที่โดยแผนผังการเชื่อมทั้ง 3 วิธีแสดงในแผนภาพรูปที่ 2.4 ดังนี้



รูปที่ 2.4 แผนผังกระบวนการผลิตเลมอนแช่แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 การวิเคราะห์คุณภาพระหว่างกระบวนการเชื่อม

ตารางที่ 2.3 ปัจจัยในการวิเคราะห์คุณภาพ

ลำดับ	การวิเคราะห์ปัจจัยคุณภาพ	วิธีการตรวจวัด	ขั้นตอน
1	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (GMD, มิลลิเมตร)	ภาคผนวก ก.1	ก่อนตัดแต่ง
2	น้ำหนัก (Weight, กรัม)	ภาคผนวก ก.1	ก่อนตัดแต่ง
3	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solids, องศาบริกซ์)	ภาคผนวก ก.2	หลังแช่แข็ง (4) การทำแห้งแบบออสโมติก(5)*
4	พีเอช (pH)	ภาคผนวก ก.3	หลังแช่แข็ง (4) การทำแห้งแบบออสโมติก(5)*
5	ความชื้น (Moisture Content, %ฐานเปียก)	ภาคผนวก ก.4	หลังแช่แข็ง (4) การทำแห้งแบบออสโมติก(5)*
6	น้ำที่สูญเสียและของแข็งที่เพิ่มขึ้นขณะ กระบวนการออสโมติก (%Water loss, %Solids gain)	ภาคผนวก ก.5	หลังแช่แข็ง (4) การทำแห้งแบบออสโมติก(5)*

2.7 ผลและวิจารณ์ผล

2.7.1 คุณภาพวัตถุดิบ

คุณภาพของวัตถุดิบเบื้องต้นแสดงใน ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบ

คุณภาพวัตถุดิบ	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนตัวอย่างที่สุ่ม
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (GMD, มิลลิเมตร)	6.08 ± 0.44	3
น้ำหนัก (Weight, กรัม)	87.48 ± 12.13	3
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solids, องศาบริกซ์)	7.8 ± 0.43	3
พีเอช (pH)	3.11 ± 0.005	3
ความชื้น (Moisture content, %ฐานเปียก)	91.02 ± 2.15	3

2.7.2 ขั้นตอนการแช่หุ้ม

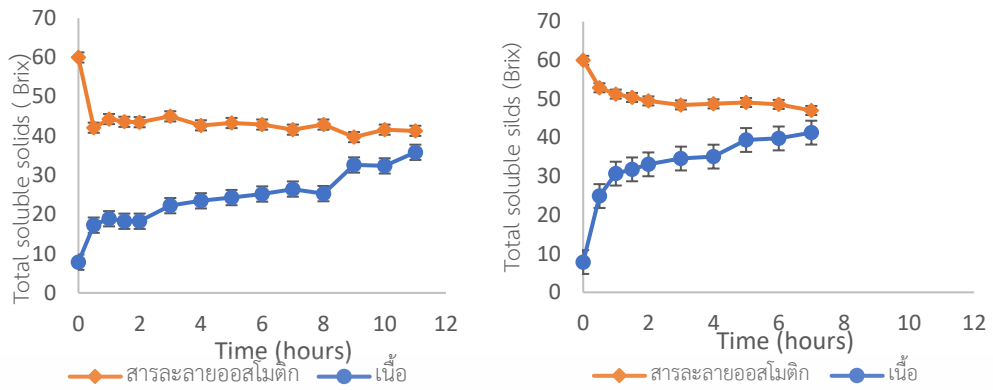
ตัวอย่างเลมอนที่แช่หุ้มทั้ง 3 วิธี คือ การแช่หุ้มที่ความเข้มข้นคงที่ ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ และเพิ่มระดับความเข้มข้น มีผลต่อคุณภาพระหว่างกระบวนการแช่หุ้มได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พีเอช ความชื้น น้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น เป็นต้น

2.7.2.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

(Total Soluble Solids, องศาบริกซ์)

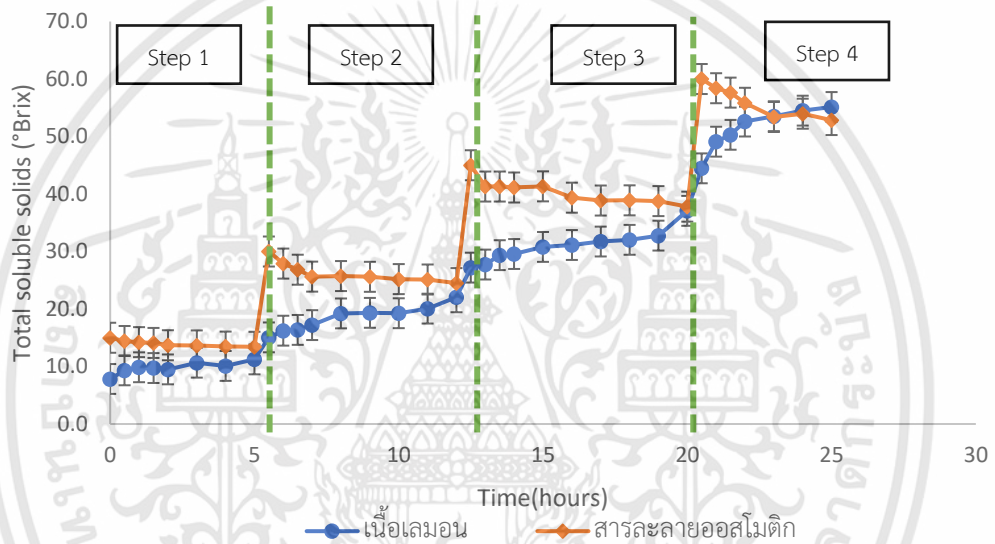
ผลของการแช่หุ้มต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อเลมอนและสารละลายออสโมติกระหว่างการทำให้แห้งแบบออสโมติกด้วยวิธีแช่หุ้มที่ความเข้มข้นคงที่ ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ แสดงในรูปที่ 2.5 โดย การแช่หุ้มด้วยวิธีการแช่หุ้มที่ความเข้มข้นสูงและคงที่นั้นทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงเวลาแรก เปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเลมอนที่ผ่านกระบวนการแช่หุ้มด้วยวิธีการแช่หุ้มที่ความเข้มข้นสูงคงที่ และวิธีการแช่หุ้มที่ความเข้มข้นสูงคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ แสดงให้เห็นได้ว่าทั้งสองวิธี มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.5 a) ในช่วงระยะเวลา 0–6 ชั่วโมงแรก วิธีการแช่หุ้มความเข้มข้นคงที่ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้น 7.8 องศาบริกซ์ และเพิ่มขึ้นเป็น 26.5 องศาบริกซ์ ที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น 18.7 องศาบริกซ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ริกซ์ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง และเมื่อวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในชั่วโมงที่ 7 พบว่า มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้คือ 26.5 องศาบริกซ์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 1 องศาบริกซ์ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สุดท้ายมีค่า 35.8 องศาบริกซ์ ในระยะเวลา 11 ชั่วโมง ก่อนที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้คงที่ หรือมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า ไม่เกิน 1 องศาบริกซ์ และหากพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสารละลายออสโมติกที่แช่อิมเมอนด้วยวิธีการนี้พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ก่อนแช่มีค่า 60 องศาบริกซ์ และเมื่อระยะเวลาในการแช่อิมเมอนผ่านไปในช่วง 0-1 ชั่วโมงแรกมีการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสารละลายออสโมติกอย่างรวดเร็วก่อนเริ่มคงที่และมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สุดท้ายใกล้เคียงกับเลมอนที่ 41.3 องศาบริกซ์ที่ระยะเวลา 11 ชั่วโมง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแช่อิมที่ระดับความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศมีผลที่คล้ายคลึงกันแต่รวดเร็วกว่า กล่าวคือ ที่ระยะเวลาในการแช่อิมโดยใช้ระบบสุญญากาศในการเตรียมตัวอย่าง การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ในช่วงระยะเวลา 0-6 ชั่วโมง จาก 7.8 องศาบริกซ์ เป็น 41.3 องศาบริกซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.5(b) ซึ่งรวดเร็วกว่าวิธีการแช่อิมที่ความเข้มข้นคงที่แบบปกติ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการแช่อิมร่วมกับสุญญากาศ เป็นวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยการนำอากาศออกจากเลมอนภายใต้ระบบความดันสุญญากาศทำให้อากาศในเซลล์ถูกนำออกและมีช่องว่างเกิดขึ้น ระบบสุญญากาศจะถูกคงไว้ ก่อนจะปล่อยให้สารละลายเข้าไปในขณะที่ยังคงความดันสุญญากาศที่เข้ามาในระบบจะเข้าไปแทนที่ ช่องว่างของอากาศที่ถูกนำออก ด้วยสาเหตุนี้เองทำให้อากาศเข้าไปในตัวเนื้อของเลมอนได้ดีกว่าวิธีการแช่อิมที่ความเข้มข้นคงที่ปกติ เนื่องจากมีช่องว่างเพื่อให้อากาศเข้าไปแทนที่จึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นได้เร็วกว่าที่ระยะเวลาสั้นกว่าดังแสดงใน ในรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเลมอนที่แช่อิมด้วยความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ จะมีเส้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้เปลี่ยนแปลงเร็วกว่าที่ระยะเวลาสั้นกว่า เช่นเดียวกันกับงานวิจัย ของ Khan [4]



(a)

(b)



(c)

รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อเลมอน และสารละลายออสโมติก ระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติกด้วยวิธี (a) ความเข้มข้นคงที่ (b) ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ และ (c) การเพิ่มระดับความเข้มข้น

ผลที่ได้จากวิธีการแช่แข็งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อเลมอน และสารละลายออสโมติกระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติกด้วยวิธีการแช่แข็งที่ความเข้มข้นคงที่ และความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศจากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้อย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาสั้นๆก่อนที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้จะคงที่ ทั้งนี้มีหลากหลายงานวิจัยอธิบายว่ามีสาเหตุเกิดจากการแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้น้ำตาลบางส่วนที่ไม่สามารถผ่านเข้าไปยังเซลล์ได้ไปเกาะอยู่บริเวณผิวของวัตถุดิบที่นำมาใช้ซึ่งเปรียบเสมือนน้ำตาลนี้เป็นตัวเคลือบที่ผิวของวัตถุดิบทำให้ขัดขวางการเข้าของตัวน้ำตาลและการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่ายเทออกของน้ำในอาหาร ดังนั้นข้อเสียของการใช้วิธีการแช่สารละลายความเข้มข้นสูงคือเมื่อแช่ไปถึงระยะเวลาหนึ่งการแลกเปลี่ยนของน้ำตาลในสารละลายไปยังเลมอน และการถ่ายเทมวลน้ำจากอาหารไปยังสารละลายจะเกิดขึ้นช้าลงและเริ่มคงที่ ดังนั้น วิธีการแช่แบบเพิ่มระดับความเข้มข้นจากความเข้มข้นต่ำไปยังระดับความเข้มข้นสูงจะสามารถช่วยให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ผลของวิธีการแช่แบบเพิ่มระดับความเข้มข้นต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อและสารละลายออสโมติกระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติก ดังรูปที่ 2.5 พบว่า การแช่ที่ระดับความเข้มข้น 15 องศาบริกซ์ เลมอนที่ผ่านการแช่ที่ระดับความเข้มข้นนี้ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นเป็น 11.2 องศาบริกซ์ ที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ก่อนจะนำไปแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ ที่ระยะเวลา 7 ชั่วโมง มีความเข้มข้นสุดท้าย 22 องศาบริกซ์ แช่ต่อที่ระดับความเข้มข้น 45 องศาบริกซ์ 8 ชั่วโมง มีความเข้มข้นสุดท้าย 37.1 องศาบริกซ์ และแช่ต่อที่ระดับความเข้มข้นสุดท้าย 60 องศาบริกซ์ ที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง มีความเข้มข้นสุดท้ายของเลมอน 55.1 องศาบริกซ์ ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ระหว่างวิธีการแช่ที่ความเข้มข้นคงที่ และวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้น จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สุดท้ายของวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก คือ 55.1 องศาบริกซ์ ซึ่งสูงกว่าวิธีการแช่ที่ความเข้มข้นคงที่ทั้งสองวิธี ทั้งนี้สามารถอธิบายผลได้ว่าการแช่แบบเพิ่มระดับความเข้มข้นสามารถทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลแรกคือใช้ระยะเวลาในการแช่มีนานกว่าวิธีอื่นๆ ดังนั้นจึงสามารถทำให้น้ำตาลสามารถแลกเปลี่ยนเข้าสู่เลมอนได้มากกว่า เหตุผลที่สองคือการแช่ที่เพิ่มระดับความเข้มข้นจากต่ำไปยังสูงนั้นทำให้ที่ระดับน้ำตาลต่ำๆ ค่อยเพิ่มจะไม่ทำให้น้ำตาลไปเกาะเป็นชั้นบริเวณผิวของเนื้อเลมอน ทำให้ช่องว่างบนผิวของเซลล์ที่เรียกว่าพลาสโมเดสมานผนังของเซลล์พืชถูกขัดขวางการส่งผ่านการเข้าออกน้ำตาลไปภายในเซลล์ ทำให้การถ่ายเทของน้ำและน้ำตาลเป็นไปได้ดีกว่าการแช่ที่ความเข้มข้นคงที่ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 2.5 พบว่า ในระดับความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 15 30 และ 60 องศาบริกซ์ ใช้เวลาในการแช่ 5 - 6 ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างจากระดับการแช่ที่ความเข้มข้น 45 องศาบริกซ์ เนื่องจาก ในระดับที่ 15 และ 30 องศาบริกซ์มีการแช่ที่ทำให้เลมอนมีความเข้มข้นมาระดับหนึ่งแล้ว ตัวของเลมอนเองก็มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเลมอนมาระดับหนึ่ง เมื่อนำเลมอนมาแช่ต่อที่ระดับความเข้มข้น 45 องศาบริกซ์ ซึ่งอาจไม่มากพอที่จะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันออสโมติกที่สูงมากพอให้เกิดการถ่ายเทของน้ำและน้ำตาล จึงต้องใช้เวลาเพื่อให้น้ำตาลสามารถเกิดการถ่ายเทได้มากขึ้นทำให้ต้องแช่ในระดับความเข้มข้นนี้ถึง 8 ชั่วโมง และเมื่อนำมาแช่ต่อที่ระดับความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่า ความเข้มข้นสุดท้ายของเลมอนที่แช่ด้วยระดับความเข้มข้น 45 องศาบริกซ์ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37.1 งบศาบริกซ์ จงทำให้เกิดการถ่ายเทน้ำตาลและน้ำที่ระยะเวลาที่สั้นกว่าระดับความเข้มข้น 45 งบศาบริกซ์

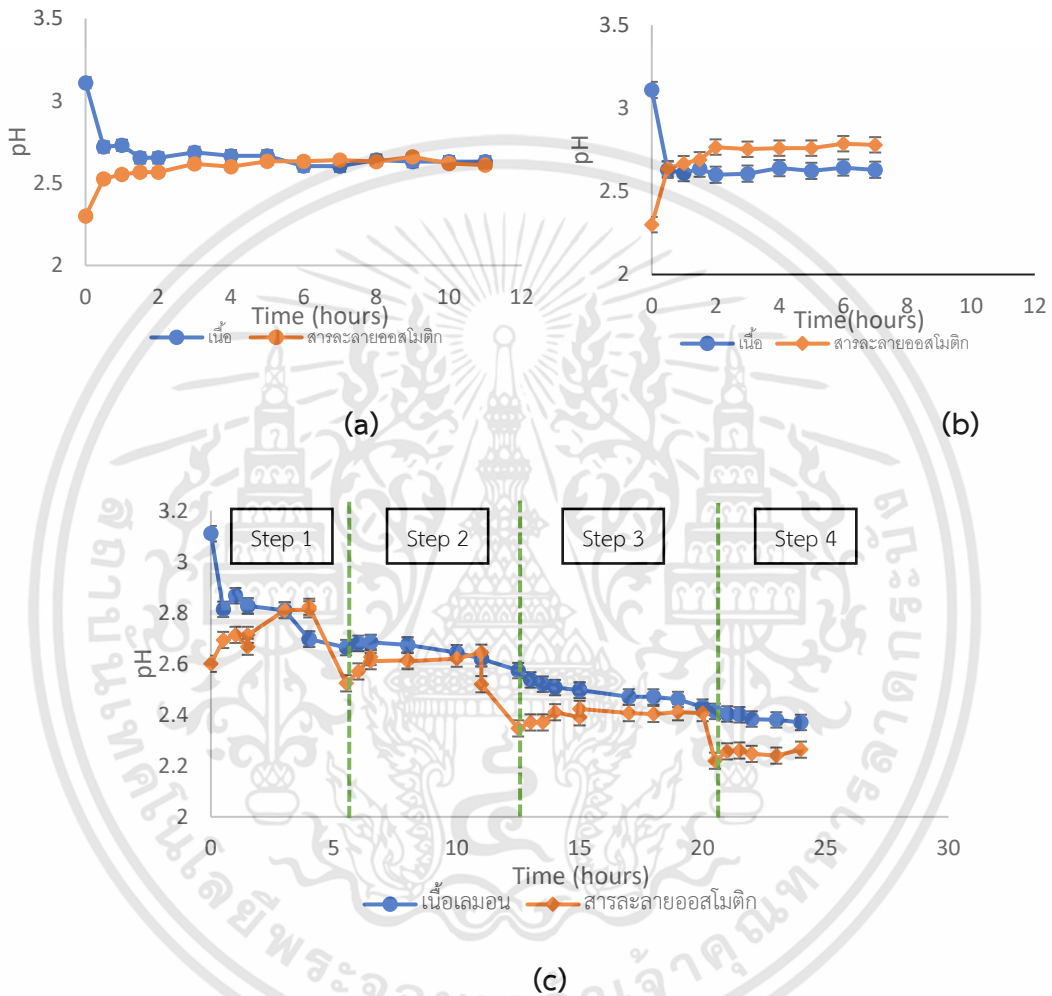
2.7.2.2 พีเอช

(pH)

ผลของวิธีการแช่อ้อมต่อการเปลี่ยนแปลงค่า พีเอช ในเนื้อและสารละลายออสโมติกระหว่างการทำให้แบบออสโมติกด้วยวิธีความเข้มข้นคงที่และความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ ดังรูปที่ 2.6 พบว่า เลมอนสดก่อนทำการแช่อ้อมมีค่า pH เบื้องต้นอยู่ที่ 3.11 และเมื่อนำมาทำการแช่อ้อมค่า pH ที่เกิดจากการแช่อ้อมด้วยวิธีการแช่อ้อมแบบความเข้มข้นคงที่ ทั้งวิธีการแช่อ้อมที่ระดับความเข้มข้นคงที่และวิธีการแช่อ้อมที่ระดับความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ มีการเปลี่ยนแปลงที่มีแนวโน้มเดียวกัน คือมีการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลา 0- 0.5 ชั่วโมงแรก ก่อนจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าทั้งสองวิธีมีค่า pH ลดลงจาก 3.11 เป็น 2.63 และ 2.61 สำหรับวิธีการแช่อ้อมที่ระดับความเข้มข้นคงที่และ วิธีการแช่อ้อมที่ระดับความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ ตามลำดับก่อนเริ่มมีค่าการเปลี่ยนแปลงคงที่ กล่าวคือมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากหรือน้อยกว่า 0.01 เมื่อพิจารณา พีเอช ของสารละลายออสโมติกที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าที่ระดับ พีเอช ของสารละลายออสโมติกตอนแรกนั้นมีความเป็นกรด สูงมาก กล่าวคือ มีค่า พีเอช ต่ำ เนื่องจากสารละลายที่ใช้แช่มีส่วนผสมของซิตริกอยู่ 1% ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเริ่มต้นมีค่าต่ำ ต่อมาเมื่อระยะเวลาในการแช่อ้อมเพิ่มมากขึ้นเกิดการถ่ายเทน้ำออกจากเลมอนทำให้ค่า พีเอช ของสารละลายออสโมติกมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จากสาเหตุการถ่ายเทมวลน้ำของเลมอนออกสู่สารละลายภายนอกทำให้ค่า พีเอช มีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมีค่าใกล้เคียงกับ พีเอช ของเนื้อเลมอนดังแสดงในภาพที่ 2.6 (a) แต่แตกต่างจากรูปที่ 2.6 (b) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบ ค่า พีเอช ของสารละลายออสโมติกและเนื้อเลมอนด้วยวิธีการแช่อ้อมแบบความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ พบว่าค่าพีเอชของสารละลายในตอนแรกมีค่าเริ่มต้นต่ำมาก จาก 2.3 และเมื่อระยะเวลาในการแช่อ้อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่า พีเอชของสารละลายค่อยๆสูงขึ้น แต่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของ พีเอช สูงกว่าแบบการแช่อ้อมที่ความเข้มข้นคงที่ปกติ ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการแช่อ้อมที่ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศนั้นมีการแลกเปลี่ยนกันของสารละลายและน้ำในเลมอนที่แซ่ไวกว่าทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชเกิดขึ้นที่ระยะเวลาในการแช่อ้อมที่เร็วกว่า ส่วนสาเหตุของการที่แช่อ้อมในสารละลายที่ทำให้เนื้อจากวิธีการแช่อ้อมทั้งสองค่ามีค่าพีเอชลดลงก่อนจะเริ่มคงที่ เนื่องจากในสารละลายของสารละลายออสโมติก 60 งบศาบริกซ์นั้น มีองค์ประกอบของกรดซิตริกละลายอยู่ด้วย และตัวซิตริกนั้นก็สามารละลายน้ำและแตกตัวและถ่ายเทผ่านผนังเซลล์ของเลมอนเข้าไปได้ดีกว่าน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากขนาดของกรดนั้นเล็กกว่าขนาดของน้ำตาลจึงทำให้สามารถถ่ายเทผ่านผนังเซลล์ได้ดีกว่า ทำให้เลมอนมีความเป็นกรดมากขึ้น และมีค่าพีเอชลดลง อย่างไรก็ตามก็เนื่องด้วยการแช่ที่ระดับความเข้มข้นคงที่แต่มีความเข้มข้นสูงทำให้น้ำตาลไปเกาะบริเวณชั้นผนังเซลล์ของเลมอนขัดขวางการถ่ายเทของทั้งกรดและน้ำตาล ทำให้เมื่อถ่ายเทไปได้ช่วงเวลาหนึ่ง การถ่ายเทก็จะเกิดการคงที่เนื่องจากความสามารถในการแพร่ลดลง ดังอธิบายในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในเนื้อ และ สารละลายออสโมติกระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติกด้วยวิธี (a) ความเข้มข้นคงที่ (b) ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ และ (c) การเพิ่มระดับความเข้มข้น

แต่หากพิจารณาผลของการแช่แบบเพิ่มระดับความเข้มข้นต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชในเนื้อเลมอน และสารละลายออสโมติกระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติกแบบเพิ่มระดับความเข้มข้น ดังรูปที่ 2.6 เปรียบเทียบกับวิธีการแช่ด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นแล้วพบว่า ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างขั้นตอนการแช่นั้นมีแนวโน้มจะลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มจาก 3.11 และ

เมื่อจบกระบวนการ มีค่าพีเอช เท่ากับ 2.37 ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งมีค่าพีเอชสุดท้ายต่ำกว่าเลมอนที่แช่ส้มที่ระดับความเข้มข้นคงที่ ทั้งนี้ที่การเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายทุกขั้นตอน มีการเติมกรดซิตริก 1% ด้วยทุกครั้ง ดังนั้นทุกครั้งที่เปลี่ยนความเข้มข้น ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นซิตริก เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จำนวนความเข้มข้นของซิตริกในสารละลายเพิ่มมากขึ้น และการถ่ายเทของซิตริกในวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นนั้นถ่ายเทได้ดีกว่าวิธีการแช่ส้มด้วยความเข้มข้นคงที่ ทำให้ค่า พีเอช จากวิธีการแช่ส้มด้วยวิธีการไล่ระดับความเข้มข้นลดลงเรื่อยๆ ซึ่งแตกต่างจากวิธีการแช่ส้มแบบคงที่ที่ลดลงอย่างรวดเร็วครั้งเดียวและคงที่สุดท้ายที่ พีเอช 2.61 และ 2.63 สำหรับวิธีการแช่ส้มความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศและการแช่ส้มที่ความเข้มข้นคงที่ ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วปริมาณน้ำในสารละลายที่การเปลี่ยนระดับความเข้มข้นต่างๆสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนในรูปที่ 2.6 ว่าที่ทุกการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกทำให้พีเอชของสารละลายออสโมติกที่แช่ส้มด้วยการเพิ่มระดับความเข้มข้นมีค่าค่อยๆสูงขึ้นและเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกใหม่ในช่วงแรก ค่าพีเอชของสารละลายจะต่ำลง ในตอนแรก ก่อนที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆที่ระยะเวลาในการแช่อิ่มนานขึ้น และเมื่อเปลี่ยนระดับความเข้มข้นใหม่พีเอชก็จะต่ำลงอีกครั้งก่อนที่จะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อระยะเวลาในการแช่อิ่มนานขึ้น อย่างไรก็ตามการลดลงของพีเอชส่งผลดีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากผลิตภัณฑ์เลมอนแช่อิ่มควรมีพีเอชให้ต่ำเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ *Clostridium botulinum* ที่อาจจะสามารถทำอันตรายถึงชีวิตได้ [10]

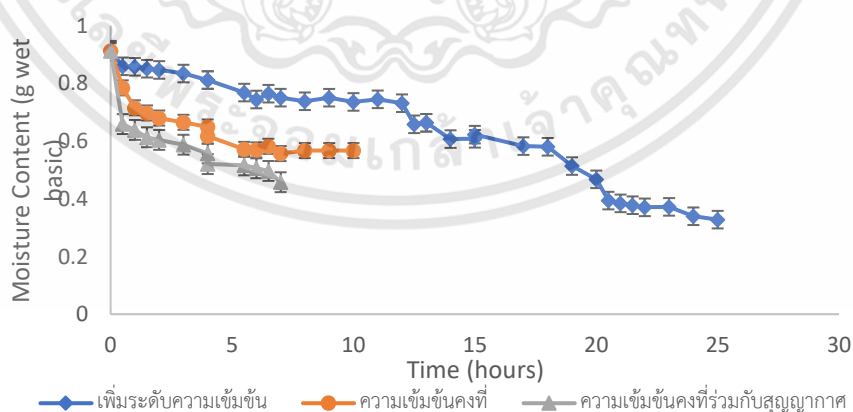
2.7.2.3 ความชื้น

(Moisture Content, %ฐานเปียก)

ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อเลมอนระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติกด้วยความเข้มข้นคงที่ ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศและการเพิ่มระดับความเข้มข้น โดยอัตราส่วนเลมอนต่อสารละลายออสโมติก 1:1.2 ดังรูปที่ 2.7 มีการลดลงของปริมาณความชื้นที่มีแนวโน้มในการลดลงไปในทางเดียวกันแต่ที่ระบบสุญญากาศมีการลดลงเร็วกว่าที่ระยะเวลาเดียวกัน เนื่องจากในช่วงแรกที่มีการทำให้สถานะความดันสุญญากาศทำให้วัสดุดิบซึ่งในที่นี้คือเลมอนมีรูพรุนมากเมื่อนำมาแช่อิ่มต่อที่สถานะความดันบรรยากาศทำให้เนื้อเยื่อของเลมอนเกิดการคลายตัวและเกิดการแลกเปลี่ยนและถ่ายเทมวลสารไวกว่าจึงทำให้สามารถลดปริมาณความชื้นในตัวได้ดีกว่าแบบแช่อิ่มที่ความเข้มข้นคงที่ปกติ และเมื่อพิจารณาตลอดกระบวนการแช่อิ่ม อัตราการลดลงของปริมาณความชื้นของเลมอนที่แช่อิ่มด้วยความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศมีค่ามากกว่าการลดลงของปริมาณความชื้นของเลมอนที่แช่อิ่มด้วยความเข้มข้นคงที่ตลอดทั้งกระบวนการ และจบกระบวนการมีค่าปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ 45 และ 56 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกตามลำดับ พิ จ า ร ณา ป ริ ม า ณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นฐานเปียกของเลมอนที่ผ่านกระบวนการแช่แข็งด้วยการเพิ่มระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยแนวโน้มของกราฟมีการลดลงอย่างช้า แต่เกิดขึ้นต่อเนื่องเรื่อยๆ ทั้งนี้ ในช่วงแรกที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 91 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก โดยช่วงแรกของกราฟมีอัตราการลดลงของปริมาณความชื้นน้อยมาก เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่มีความแตกต่างกันไม่มากนักจึงทำให้แรงดันออสโมติกเกิดขึ้นน้อยการถ่ายเทปริมาณน้ำออกจากตัวเลมอนจึงน้อยโดยปริมาณความชื้นสุดท้ายของเลมอนที่ระดับความเข้มข้น 15 องศาบริกซ์ มีค่า 81 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก ต่อมาเมื่อเปลี่ยนระดับความเข้มข้นสูงขึ้นที่ความเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ มีปริมาณความชื้นสุดท้ายก่อนเปลี่ยนระดับความเข้มข้นสารละลายออสโมติก คือ 73 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นสารละลาย 45 องศาบริกซ์ ความชื้นสุดท้าย 46 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของสารละลาย 60 องศาบริกซ์ มีปริมาณความชื้นสุดท้าย 32 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก แรงดันออสโมติกที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทของมวลน้ำมากขึ้น จึงทำให้อัตราการลดลงของปริมาณความชื้นเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องที่ทุกการเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของสารละลาย โดยยิ่งสารละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้นยิ่งทำให้อัตราการลดลงของปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการแช่เลมอนมีช่วงระยะเวลาในการแช่ยาวนานขึ้นช่วยให้การถ่ายเทน้ำมีมากขึ้นจนสุดท้ายที่ความเข้มข้นของสารละลาย 60 องศาบริกซ์มีปริมาณความชื้น 32 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก ซึ่งเมื่อเทียบกันแล้วถือว่ามีความชื้นต่ำกว่าทั้งสองวิธี ทั้งนี้เป็นเพราะระยะเวลาในการแช่ของวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นนานกว่าวิธีการอื่นอีกทั้งยังเป็นวิธีการที่ค่อยๆกระตุ้นให้ความชื้นถูกกำจัดออกเรื่อยๆ โดยมีปัจจัยที่เกิดจากสิ่งกีดขวางการถ่ายเทมวลน้ำออกน้อยทำให้ความชื้นสุดท้ายมีค่าต่ำกว่าวิธีการแช่แบบอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

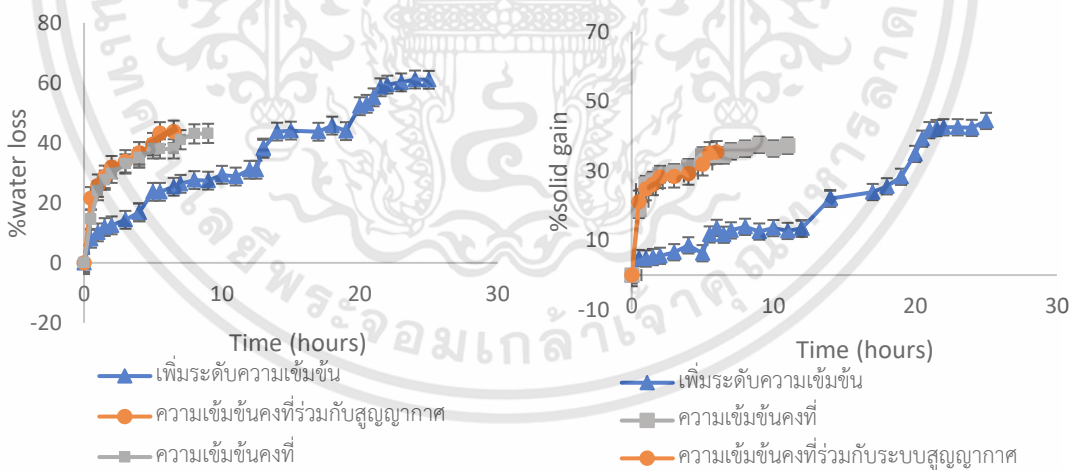


รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลง ความชื้นของเนื้อเลมอนระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติก ด้วย ความเข้มข้นคงที่ ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ และ การเพิ่มระดับความเข้มข้น โดยอัตราส่วนเลมอน ต่อสารละลายออสโมติก 1 : 1.2

2.7.2.4 น้ำที่สูญเสีย

(%Water loss)

ผลของวิธีการแช่อิมต่อการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสีย (%water loss) ระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติกด้วยวิธีความเข้มข้นคงที่ ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับสุญญากาศและเพิ่มระดับความเข้มข้น โดยใช้อัตราส่วนเลมอนต่อสารละลายออสโมติก 1:1.2 เลมอน ดังรูปที่ 2.8 a) ที่ผ่านกระบวนการแช่อิมด้วยวิธีการแช่อิมที่ความเข้มข้นคงที่พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสีย เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ที่ระยะเวลา 0 - 6 ชั่วโมงโดยมีเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นก่อนการแช่อิมให้เปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียเริ่มต้นเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเริ่มต้นการแช่อิมเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียที่ ช่วง 0 - 6 ชั่วโมงแรกมีค่า 43 เปอร์เซ็นต์ ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายมีค่า 45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเพิ่มขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์แต่เมื่อเทียบกับเวลาที่ต้องใช้ 3 ชั่วโมงเพื่อเป็นการกำจัดน้ำออก ให้มีเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียที่ได้จากวิธีการแช่อิมร่วมกับระบบสุญญากาศนั้นพบว่าในช่วงเวลา 0 - 7 ชั่วโมงนั้นระยะเวลาในการแช่อิมมีค่าเปอร์เซ็นต์ในการสูญเสียปริมาณน้ำมากกว่าวิธีการแช่อิมด้วยความเข้มข้นคงที่ ด้วยเปอร์เซ็นต์ที่สูญเสีย 41 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Junqueira et al.



(a)

(b)

รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสีย (%water loss) a) และเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เพิ่มขึ้น (%solid gains) b) ระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติกด้วยวิธี ความเข้มข้นคงที่ ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับสุญญากาศ และ เพิ่มระดับความเข้มข้น โดยใช้อัตราส่วนเลมอนต่อสารละลายออสโมติก 1:1.2

รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียระหว่างกระบวนการแช่ด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกพบว่าเมื่อให้ปริมาณความเข้มข้นที่สูญเสียเริ่มต้นก่อนการแช่คือ 0 เปอร์เซ็นต์ ในขั้นตอนการแช่ที่ความเข้มข้น 15 องศาบริกซ์ อัตราการสูญเสียปริมาณความเข้มข้นที่เกิดขึ้นในช่วง 0-4 ชั่วโมง มีแนวโน้มในการเกิดขึ้น โดยเริ่มต้นจาก 0 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งมีความเข้มข้นที่สูญเสีย ที่ 4 ชั่วโมง 16 เปอร์เซ็นต์ ก่อนค่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้นหลังเปลี่ยนความเข้มข้นที่ 5 ชั่วโมง จากนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียมีค่ามากขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแช่ด้วยความเข้มข้นคงที่ ที่พบว่าต่างกันมาก โดยเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นให้มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น อัตราการสูญเสียของน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อแช่จนกระทั่งถึงความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ที่ ชั่วโมงสุดท้ายมีอัตราการสูญเสียน้ำที่มากขึ้นสูงสุดถึง 61 เปอร์เซ็นต์โดยถือว่ามากกว่าวิธีการแช่ด้วยความเข้มข้นคงที่ ทั้ง 2 วิธี ด้วยเหตุผลที่สอดคล้องกันกับงานวิจัยของ Khan จะสามารถอธิบายเหตุผลดังกล่าวได้ว่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียลดลงเมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มมากขึ้นทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำสูญเสียของวิธีการแช่ที่ความเข้มข้นคงที่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khan ในการตรวจเอกสารพบว่าการแช่ที่ความเข้มข้นคงที่ เมื่อผ่านไป 4 ชั่วโมง อัตราเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียนั้นมีแนวโน้มที่คงที่ และเมื่อพิจารณาเรื่องของความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้พบว่าอัตราการถ่ายเทของเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียของสารละลายที่ความเข้มข้นต่ำจะต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียของสารละลายที่เข้มข้นสูง เช่นเดียวกับผลการทดลองนี้คือการเพิ่มระดับความเข้มข้นช่วงแรกเลม่อนที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ 15 องศาบริกซ์ทำให้ที่ระยะเวลาเดียวกันมีเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียน้อยกว่าเลม่อนที่ผ่านการแช่ที่สารละลายความเข้มข้นคงที่ที่ 60 องศาบริกซ์

2.7.2.5 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น

(%Solid gain)

ผลของวิธีการแช่ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (%solid gains) ระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติกด้วยวิธีความเข้มข้นคงที่ ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับสุญญากาศและเพิ่มระดับความเข้มข้น โดยใช้อัตราส่วนเลม่อนต่อสารละลายออสโมติก 1:1.2 ดังรูปที่ 2.8 b) แสดงปริมาณการเพิ่มขึ้นของของแข็งของเลม่อนที่ผ่านการแช่ด้วยความเข้มข้นคงที่โดยให้ปริมาณของแข็งเริ่มต้นก่อนการแช่ให้มีค่าเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ที่เวลา 0 ชั่วโมง และเมื่อแช่ มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 37.5 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 7 ชั่วโมงก่อนที่ ปริมาณของแข็งจะเริ่มคงตัวและมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในช่วงเวลา 7-9 ชั่วโมง มีค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น อยู่ในช่วง 36-37 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ที่กระบวนการแช่พบว่ามีความปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นสุดท้าย มีค่า 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ จากผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าในช่วงแรกที่มีความแตกต่างของความเข้มข้นของปริมาณของแข็งทั้งในตัวเลมอนและสารละลายแตกต่างกันทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนปริมาณของแข็งที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งของการแช่ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งเริ่มคงที่ มีความเป็นไปได้ว่าเกิดจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงมากทำให้น้ำตาลที่ไม่สามารถเข้าไปยังเลมอนได้ไปเกาะติดบริเวณผิวภายนอกของเลมอนและเคลือบเป็นชั้นเหนียวขวางการถ่ายเทปริมาณของแข็งและน้ำสำหรับเข้าออกทำให้การเข้าออกของตัวถูกละลายยากขึ้น จนสุดท้ายทำให้เกิดการถ่ายเทยากขึ้นและเมื่อจบกระบวนการพบว่าค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น เป็น 37 เปอร์เซ็นต์ และเช่นเดียวกันกับวิธีการแช่ด้วยความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสูญญากาศถึงแม้วิธีนี้จะสามารถทำให้น้ำตาลและน้ำเกิดการแลกเปลี่ยนกันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก แต่ด้วยความเข้มข้นของสารละลายที่สูงมากทำให้เกิดการถ่ายเทที่ยากขึ้นทำให้สุดท้ายมีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น 35 เปอร์เซ็นต์

ที่การแช่ด้วยการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกพบว่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งมีค่ามากขึ้น โดยเริ่มจาก 0 เปอร์เซ็นต์ ไปถึง 44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหตุผลของการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่สอดคล้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น โดยการค่อยๆปรับระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก และระยะเวลา ช่วยให้การกระบวนการนี้ใช้เวลานาน เพื่อให้ น้ำตาลสามารถถ่ายเทเข้าไปยังตัวเลมอนได้ดียิ่งขึ้นโดยในระหว่างขั้นตอนมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งงานวิจัยของ Khan ก็ได้ อธิบายเช่นเดียวกันว่าที่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง กว่าจะมีอัตราการถ่ายเทปริมาณของแข็งที่มากกว่า สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ซึ่งเปรียบเทียบกับวิธีการแช่ที่มีความเข้มข้นคงที่ ทั้ง 2 วิธีการ แช่ที่มีความเข้มข้นสูง 60 องศาบริกซ์ทำให้มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ในช่วงระยะแรกมากกว่าเลมอนที่แช่ที่การเพิ่มระดับความเข้มข้นเนื่องจากเริ่มแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ 15 องศาบริกซ์ที่ระยะเวลาเดียวกัน

ดังนั้นหากสามารถพิจารณาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งดังกล่าว ทำให้อาจสามารถสรุปได้ว่าวิธีการแช่ด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก ที่ค่อยๆเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกนั้น ช่วยเพิ่มระดับปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีการแช่ที่ระดับความเข้มข้นคงที่ทั้ง 2 วิธีการด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่นั้นนานกว่าเพิ่มโอกาสให้การถ่ายเทมวลของของแข็งผ่านไปสู่น้ำเลมอนได้ดีกว่า และอีกเหตุผลคือการค่อยๆเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกทำให้ไม่มีน้ำตาลที่ตกผลึกและไม่มีคราบน้ำตาลที่เกาะอยู่บริเวณผิวของผนังเซลล์ ทำให้ขวางการถ่ายเทมวลน้ำและของแข็ง

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบระยะเวลา ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ พีเอช ของวิธีการแช่หมักทั้ง 3 วิธี

วิธีการ	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	พีเอช
ความเข้มข้นคงที่	11	35.8±0.05 ^c	2.63±0.01 ^a
ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบ สุญญากาศ	7	41.3±0.01 ^b	2.63±0.01 ^a
การเพิ่มระดับความเข้มข้น	25	55.1±0.29 ^a	2.37±0.04 ^b

หมายเหตุ การวิเคราะห์เชิงสถิติพิจารณาตามแนวตั้ง ค่า a b c คือการจำแนกกลุ่มตัวอย่างที่เรียงจากค่ามากที่สุดไปยังค่า น้อยที่สุดตามลำดับ

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำสูญเสีย และ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ของวิธีการแช่หมักทั้ง 3 วิธี

วิธีการ	ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์ฐาน เปียก)	ปริมาณน้ำ สูญเสีย	ปริมาณของแข็ง ที่เพิ่มขึ้น
ความเข้มข้นคงที่	56±0.1 ^a	45±0.23 ^c	39±0.27 ^c
ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบ สุญญากาศ	45±0.67 ^b	49±0.45 ^b	40±0.66 ^b
การเพิ่มระดับความเข้มข้น	32±0.33 ^c	61±0.29 ^a	44±0.34 ^a

หมายเหตุ การวิเคราะห์เชิงสถิติพิจารณาตามแนวตั้ง ค่า a b c คือการจำแนกกลุ่มตัวอย่างที่เรียงจากค่ามากที่สุดไปยังค่า น้อยที่สุดตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า วิธีการแช่หมักทั้ง 3 แบบให้ผลในแง่ของคุณภาพที่แตกต่างกันออกไป เมื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธีการ ทำให้เห็นข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธีโดยพบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่หมักสั้นที่สุดคือการแช่หมักที่ระดับความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ วิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้น

ของสารละลายออสโมติกนั้น เป็นวิธีการที่ใช้เวลานานที่สุด ถึง 25 ชั่วโมง และหากพิจารณาถึงปริมาณของแข็งที่ละลายได้สุดท้าย สูงที่สุด ได้แก่ วิธีการแช่ด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก โดยมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สุดท้าย 55.1 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสูงกว่าวิธีการแช่ด้วยความเข้มข้นคงที่ทั้งสอง ดังนั้นการแช่ด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นอาจเหมาะสมสำหรับกรณีต้องการให้ผลิตภัณฑ์ที่นำมาแช่นั้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สุดท้ายมีมากที่สุดถัดมาพิจารณาปริมาณความชื้นของเลมอนที่ระยะเวลาการแช่ที่ชั่วโมงสุดท้ายของแต่ละวิธีพบว่า วิธีที่แช่ด้วยความเข้มข้นคงที่คงเหลือปริมาณความชื้นมากที่สุดและวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเหลือปริมาณความชื้นน้อยที่สุดซึ่งจะสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียไป กล่าวคือ วิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้น ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์น้ำที่สูญเสียมากที่สุด ในขณะที่เดียวกันก็มีปริมาณความชื้นที่คงเหลือน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน ในขณะที่เดียวกันหากพิจารณาปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของเลมอนที่ผ่านการแช่ พบว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นขณะการแช่ด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกมีค่าสูงที่สุด



2.8 สรุปผล

เลมอนแช่อิ่มที่ถูกแช่อิ่มด้วยวิธีการต้นแบบทั้ง 3 วิธี มีข้อดีและข้อเสียในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แตกต่างกันโดยจากรายที่ 2.5 พบว่าวิธีการที่แช่อิ่มที่ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ มีข้อดีสำหรับการแช่อิ่มในแง่ของเวลา กล่าวคือสามารถเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ขึ้นอย่างรวดเร็วและคงที่ ภายในระยะเวลาเพียง 7 ชั่วโมง แต่เมื่อมองในแง่ของเชิงพาณิชย์พบว่า มีค่าต้นทุนในการลงทุนค่อนข้างสูง และมีการสมดุลที่เกิดจากการถ่ายเทที่ระดับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ น้อยกว่าวิธีการแช่อิ่มด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้น ในขณะที่วิธีการแช่อิ่มแบบความเข้มข้นคงที่ มีข้อดีในการเตรียมวิธีการแช่อิ่มง่าย มีความรวดเร็วในการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้หรือการถ่ายเทมวลน้ำออกในช่วงแรก แต่เมื่อแช่อิ่มในระยะยาว พบว่ามีปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยกว่าแบบอื่นๆ เนื่องจากข้อจำกัดทางความเข้มข้นของสารละลาย คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ได้เป็นไปตามต้องการ และสุดท้ายวิธีการแช่อิ่มแบบเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกที่ละ 15 องศาบริกซ์ มีข้อดีคือคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามความต้องการ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงกว่าแบบอื่น แต่ข้อเสียคือ มีวิธีการเตรียมสารละลายยากกว่าวิธีอื่น ใช้ระยะเวลาในการแช่อิ่มนานกว่าแบบอื่น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ ภัทรพร ที่แสดงว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่เกิดจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นมีค่ามากกว่าการแช่อิ่มที่ความเข้มข้นคงที่ [9]

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jao Renato de Jesus Junqueira et al. "Influence of sodium replacement and vacuum pulse on the osmotic dehydration of eggplant slices." **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, vol.41, February 2017, 10-18.
- [2] Ishfaq Ahmed, Ihsan Mabood Qazi, Suraiya Jamal. "Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables." **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. Vol. 34. January 2016. 29-43.
- [3] A. Chiralt and P. Fito. "Transport Mechanisms in osmotic dehydration: The role of structure". **Food science and Technology International**. Vol.9, June 1, 179-186
- [4] Danila Torreggiani. "Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing." **Food Research International**. June 1993. 59-68
- [5] M. Ali Khan, R. N. Shukla, Sadaf Zaidi. "Mass transfer during Osmotic dehydration of Apple using Sucrose, Fructose and Maltodextrin Solution."
- [6] Mirates Aparecida da Conceicao Silva et a., "Mass transfer during the osmotic dehydration of west Indian cherry." **LWT-Food Science and Technology**. Vol.45. July 2012. 246-252.
- [7]] N.K. Rastogi and K.S.M.S. Raghavarao. "Kinetics of Osmotic Dehydration under Vacuum." **Lebensm.-Wiss. u.-Technology**. Vol.29. January 1996. 669-672
- [8] Utkucan Sahin, Harun Kemal Ozturk. "Effect of pulsed vacuum osmotic dehydration (PVOD) on drying kinetics of figs (*Ficus carica* L)." **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. Vol.36. June 2016. 104-111.
- [9] ภัทรพร ยูชาชิต. "การพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงแช่อิ่มแห้ง" "วิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีอาหาร) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์." 2541.
- [10] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. คู่มือการตรวจสถานที่ตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหารในภาชนะที่บรรจุปิดสนิทชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำและชนิดที่ปรับกรด. 2556

การพัฒนาต้นแบบกระบวนการอบแห้งเลมอนแช่อิ่ม

3.1 บทนำ

จากการทำแห้งแบบออสโมติกนั้นเป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหาร แต่ยังคงหลงเหลือปริมาณน้ำที่ยังถูกถ่ายเทออกจากอาหารไม่หมด ทำให้การออสโมติกส่วนใหญ่จึงเป็นกระบวนการที่ถูกตามมาด้วยกระบวนการอบแห้ง โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อต้องการกำจัดความชื้นที่เหลือบางส่วนออกจากตัวผลิตภัณฑ์ แต่ถึงแม้ว่าการอบแห้งนั้นจะเป็นวิธีการที่ทำให้สามารถกำจัดปริมาณความชื้นที่หลงเหลือในอาหารได้เป็นอย่างดี และได้รับการยอมรับในหมู่ของผู้ที่ต้องการยืดอายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร แต่ก็ยังขาดองค์ความรู้และความเข้าใจในการอบแห้งหลายอย่าง ทำให้การอบแห้งผลิตภัณฑ์นั้นมีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น ถ้าอบด้วยอุณหภูมิสูงเกินไป อาจใช้ระยะเวลาสั้นสำหรับการอบเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายตามที่ต้องการ ในขณะที่หากใช้อุณหภูมิที่ต่ำอาจจะได้คุณภาพที่ดี แต่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลานาน ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานและระยะเวลาในการอบเป็นอย่างมาก และอาจจะเป็นผลกระทบที่อาจจะส่งผลถึงสภาวะขาดแคลนสินค้าในอุตสาหกรรมได้

อาหารหลากหลายประเภทถูกนำมาอบแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ทั้งอาหารสดและอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้ว ในงานวิจัยนี้พัฒนาต้นแบบกระบวนการอบแห้งเลมอนแช่อิ่ม ซึ่งเป็นอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาก่อนที่นำมาอบแห้ง โดยอาหารแช่อิ่มมีน้ำตาลที่อาหารดูดซับไว้ และอาจส่งผลต่อคุณภาพของอาหารหลังการอบแห้ง การหาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเพื่อให้ได้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นที่สุดและคุณภาพของเลมอนแช่อิ่มอบแห้งที่มีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าสินค้าที่มีขายจริงในท้องตลาด และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาโดยให้มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี หรือปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่อาจส่งผลอันเป็นอันตรายถึงชีวิตได้

การอบแห้งโดยทั่วไปส่งผลกระทบต่อคุณภาพอาหารที่ใช้อบโดยเฉพาะความแข็ง หรือ เนื้อสัมผัสของอาหารหลังผ่านการอบแห้ง ดังนั้นเพื่อให้เลมอนแช่อิ่มที่ผู้วิจัยพัฒนาเป็นต้นแบบกระบวนการ มีคุณภาพที่ดีกว่าสินค้าที่มีขาย จึงได้ทำการนำตัวอย่างเลมอนอบแห้ง ที่มีขายอยู่ในร้านสะดวกซื้อ ยี่ห่อ เฟรชฟาร์ม มาทำการวัดคุณภาพตัวอย่างเบื้องต้น พบว่ามีความแข็งอยู่ที่ 250 นิวตัน ดังนั้น งานวิจัยนี้ต้องมีขีดจำกัดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เลมอนแช่อิ่ม ให้ต่ำกว่า 250 นิวตัน และมีค่าความชื้นสุดท้าย 9 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

3.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

- 3.2.1 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเลมอนแช่อิมต่อความชื้นและความแข็ง (N) ของเลมอนแช่อิมอบแห้ง
- 3.2.2 เพื่อหาอุณหภูมิที่และระยะเวลาในการอบแห้งเป็นต้นแบบกระบวนการอบแห้งเลมอนแช่อิม

3.3 ขอบเขตการทดลอง

เลมอนแช่อิมอบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์สุดท้ายต้องมีค่าความแข็ง (Hardness, N) ไม่เกิน 250 นิวตัน



3.4 ทบทวนเอกสาร

3.4.1 การอบแห้ง

(Drying)

การอบแห้งเป็นกระบวนการทำแห้งโดยการให้ความร้อนโดยตรงกับอาหาร โดยใช้การเปลี่ยนแปลงสถานะของของเหลวที่อยู่ในเนื้ออาหาร เปลี่ยนสถานะเป็นไอและระเหยออกจากผิวหน้าของอาหาร โดยการใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อนพัดผ่านหน้าผิวของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ไอน้ำเกิดการระเหยออกจากผิวหน้าของอาหาร ซึ่งการส่งผ่านความร้อนหรือการแพร่ของน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างดั้งเดิมของวัตถุดิบที่นำมาทำแห้ง โดยทั่วไปนั้นการอบแห้งมีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เป็นกระบวนการลดความชื้นหรือน้ำในอาหาร เนื่องจากน้ำในอาหารนี้เป็นสาเหตุของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเชื้อราต่างๆที่ทำให้อาหารเน่าเสีย การอบแห้งนี้มีความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราการทำแห้ง อุณหภูมิและคุณภาพของอาหาร โดย การทำแห้งมีประโยชน์ด้านการถนอมรักษาผลิตภัณฑ์ เพราะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้แล้วยังสามารถทำให้ง่ายต่อการขนส่งผลิตภัณฑ์อีกด้วย การทำแห้งนั้นส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางการยอมรับของผู้บริโภคและคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไปของเนื้อสัมผัส ได้แก่ การหดตัว ความแข็ง และอื่นๆ [1]

3.4.2 กลไกของการอบแห้ง

(Mechanism of drying)

กลไกของการอบแห้งเกิดขึ้นเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศก่อนจะส่งผ่านไปยังอาหาร และการถ่ายเทมวลสาร ในที่นี้คือน้ำออกจากอาหารสู่อากาศภายนอกขณะที่เกิดการอบแห้ง คุณภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงตามคุณภาพของวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกัน โดยเมื่ออุณหภูมิของอาหารสูงมากพอ ไอน้ำในอาหารจะระเหยออกมาในอากาศ ซึ่งการอบด้วยลมร้อนนั้นเป็นกระบวนการอบที่ถูกใช้บ่อยที่สุดในการทำแห้ง ถ้าน้ำในสถานะของเหลวที่อยู่ในกลางของอาหารออกสู่ผิวหน้าของอาหารแล้ว จะเกิดการหดตัวของเนื้ออาหารขึ้นได้ บริเวณที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลของกลไกการระเหย การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง โดยการหดตัวสำหรับการทำแห้งถือเป็นคุณภาพที่สำคัญต่อการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างมาก[2] โดยการกำจัดน้ำออกจากช่องว่างของของแข็งของอาหารนั้นส่งผลกระทบต่อความเครียดในอาหารอันเป็นสาเหตุทำให้อาหารที่นำไปอบเกิดการหดตัว ซึ่งวิธีการนี้เองส่งผลกระทบต่อคุณภาพทั้งรูปร่างและเส้นผ่านศูนย์กลาง ความรู้ที่เกิดจากการทดลองเกี่ยวกับเรื่องของการอบแห้งส่วนใหญ่แล้วมีความต้องการศึกษาและปรับปรุงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารหลังการอบแห้ง จำเป็นต้องออกแบบวิธีการอบแห้งให้ดีเพื่อการยืดอายุการเก็บรักษาที่ดี การคงไว้ซึ่งลักษณะเดิมของอาหารและความพึงพอใจของอาหาร อย่างไรก็ตาม

ข้อมูลจากงานวิจัยต่างๆก่อนหน้านี้ยังมีผลการรายงานของข้อมูลที่เกิดจากผลกระทบของการยอมรับของผู้บริโภค เนื้อสัมผัสที่ยังต้องการความรู้อีกมากเพื่อที่จะปรับปรุงคุณภาพเหล่านี้[3]

3.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง

ด้วยเหตุผลที่เกิดจากคุณภาพของอาหารอบแห้งดังกล่าวจึงทำให้นักวิจัยหลายท่านพยายามปรับปรุงคุณภาพของอาหารอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆเช่น Wang ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของเลมอนสไลต์โดยการอบแห้งร่วมกับระบบสุญญากาศแบบกระตุ่น โดยมีสมมติฐานจากการอบแห้งของอาหารภายใต้ความดันสุญญากาศ เพื่อให้หน้าในอาหารสามารถระเหยออกได้ที่อุณหภูมิต่ำ และการใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งอาหารจะสามารถลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเลมอนหลังการอบแห้งได้ ก่อนการทดลองเลมอนถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตัวอย่างเลมอน 10 ชิ้นที่ผ่านการสไลต์ ให้มีความหนา 3 มิลลิเมตร ถูกวางลงในถาดสำหรับอบแห้งซึ่งอยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดความร้อน 15 มิลลิเมตร โดยอัตราส่วนเวลาในการเปิดระบบกระตุ่นสุญญากาศต่อการอบด้วยความดันบรรยากาศปกติเป็น 5 นาที ต่อ 10 นาที อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 65 70 และ 75 องศาเซลเซียส ระหว่างการอบตัวอย่างถูกนำออกมาชั่งน้ำหนักอย่างรวดเร็วทุกๆ 30 นาทีและใส่กลับไปยังตู้อบ โดยใช้เวลาไม่เกิน 30 วินาทีต่อการชั่งน้ำหนักหนึ่งครั้ง แต่ระหว่างการทดลองจะถูกนำมาชั่งน้ำหนักจนกระทั่งน้ำหนักสุดท้าย กับน้ำหนักก่อนหน้าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.1 กรัม แต่ระหว่างการทดลองทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง การทดลองครั้งนี้ถูกคาดหวังว่า เวลาในการทำแห้งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น โดยผลที่เกิดจากการทดลองในครั้งนี้ถูกรายงานว่า เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเลมอนตั้งแต่ความชื้นเริ่มต้นคือ 85.29 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก จนกระทั่ง ความชื้นสุดท้ายคงเหลือ 3 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียกเป็น 10.5 9.0 7.5 และ 5.5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 65 70 และ 75 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งในการทดลองนี้เมื่อพิจารณาผลทางกายภาพ การหดตัว พบว่าการหดตัวของเลมอนนี้เกิดขึ้นพร้อมกันกับปริมาณความชื้นที่ถูกกำจัดออก ณ ระยะเวลาในการอบแห้ง โดยผู้วิจัยได้กล่าวว่าการหดตัวของผลิตภัณฑ์นี้ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้ง ได้แก่ เนื้อสัมผัส ความหนานแน่น รูปร่างและสมบัติการยืดหยุ่น ดังนั้นการตรวจคุณภาพการหดตัวของผลิตภัณฑ์จะสามารถอธิบายคุณภาพอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องขณะอบแห้งได้ดี ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการอบแห้งของเลมอนและปริมาณความชื้นด้วยระบบกระตุ่นแบบสุญญากาศภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้นพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวและความชื้นที่ลดลงนั้นในช่วงแรก เปอร์เซ็นต์การหดตัว มีค่าลดลงอย่างเป็นเส้นตรง โดยที่เปอร์เซ็นต์การหดตัวจะมีอัตราการลดช้าลงที่ความชื้นเฉลี่ย 60 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก และ มีการหดตัวจากปริมาตรเริ่มต้น 78 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ ของทั้ง 4 อุณหภูมิที่ทำกรอบแห้ง และที่อุณหภูมิสูงสุดมีเปอร์เซ็นต์ในการหดตัวสูงมากที่สุด คุณภาพถัดมาที่ผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญได้แก่ค่า คุณภาพสี ซึ่งในการทดลองนี้ ได้วัดคุณภาพสีในระบบ CIE Browning index โดยเริ่มต้นผู้วิจัยได้วัดค่า $L^* a^* b^*$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และพบว่า ค่า L^* มี ค่าลดลงที่อุณหภูมิในการอบสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ ค่าของเลมอนสดก่อนการอบแห้ง โดยค่า L^* ที่ลดลงต่ำที่สุด คือ เลมอนที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า L^* นี้เองมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า Browning index ที่เกิดขึ้นกับเลมอน ในขณะที่ ค่า L^* และ a^* b^* ได้มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ผู้เขียนได้นำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเทียบกับเลมอนสดก่อนการอบแห้ง ที่ทั้ง 4 อุณหภูมิการอบโดยตัวอย่างที่มีค่า การเปลี่ยนแปลงของสีที่สูงที่สุดคือ 14.23 ที่อุณหภูมิการอบ 75 องศาเซลเซียส ซึ่งจากงานวิจัยของ Chen et al. ได้ให้คำนิยามค่าการเปลี่ยนแปลงของสีไว้ว่าความแตกต่างของสีหากอยู่ในช่วงที่มากกว่า 3 ถือว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันมาก แต่ถ้าอยู่ในช่วง 3 ถึง 1.5 ถือว่ามีการเปลี่ยนแปลง และ ถ้าน้อยกว่า 1.5 ถือว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาค่า Browning index ที่เกิดขึ้น พบว่า ที่อุณหภูมิ ในการอบสูง ค่า Browning index ก็สูงตามไปด้วยแต่หากเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่ลมร้อนแบบปกติ ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำกว่าด้วยเหตุผลที่ว่า สภาวะของสูญญากาศที่ปราศจากออกซิเจนนั้นลดการเกิดปฏิกิริยาอันเกิดจากการออกซิเดชันที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี [4]

Cernisev มีแนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพสีของมะเขือเทศโดยการวัด Browning index ด้วยการไล่ระดับอุณหภูมิในการอบมะเขือเทศเพื่อลดค่า Browning index ที่เกิดขึ้น โดยมะเขือเทศถูกซื้อจากตลาดทั่วไป จากนั้นล้างทำความสะอาดและหั่นแบ่งออกเป็น $\frac{1}{4}$ ส่วน ตามแนวยาว คว้านเอาเมล็ด ออก จากนั้นวางตัวอย่างมะเขือเทศลงบนถาดสเตนเลสที่มีรูให้อากาศไหลผ่าน โดยหนึ่งถาดมีการเชื่อมกับอุปกรณ์ในการชั่งน้ำหนักตลอดระยะเวลาในการอบแห้ง เพื่อศึกษาจลศาสตร์การทำแห้งและอีกหนึ่งถาดจะถูกเก็บตัวอย่างออกมาวัดคุณภาพ จากนั้นใช้เทอร์โมคัปเปิลเสียบเข้าไปภายในของตัวอย่างเพื่อวัดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้งทุก 1 นาที ทำ 3 ซ้ำ ที่ความเร็วลม 1.4 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิคงที่ ที่ 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียสจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ซึ่งจากการทดลองพบว่า การอบมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งอย่างรวดเร็ว แต่คุณลักษณะที่ได้จากการอบที่ ทั้ง 2 อุณหภูมินี้มีลักษณะแข็ง ในขณะที่มะเขือเทศที่อบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ยังคงคุณภาพของสีแดงได้และปราศจากผลกระทบจากค่า Browning index อย่างไรก็ตามการอบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียสนี้มีอัตราการทำให้แห้งที่ช้าและใช้ระยะเวลาในการอบแห้งยาวนานกว่า ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และถึงแม้ว่าตัวอย่างมะเขือเทศที่อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะเป็นที่ยอมรับสูงสุดแต่ก็ไม่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าการอบที่อุณหภูมิต่ำที่ถึงแม้จะใช้ระยะเวลาในการอบยาวนานแต่จะได้รับการยอมรับของผู้บริโภคมากกว่าการอบที่อุณหภูมิสูง โดยเมื่อนำตัวอย่างของมะเขือเทศมาประเมินการยอมรับของผู้บริโภค และ วัดค่า Browning index ด้วย การนำตัวอย่างให้ผู้ประเมินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

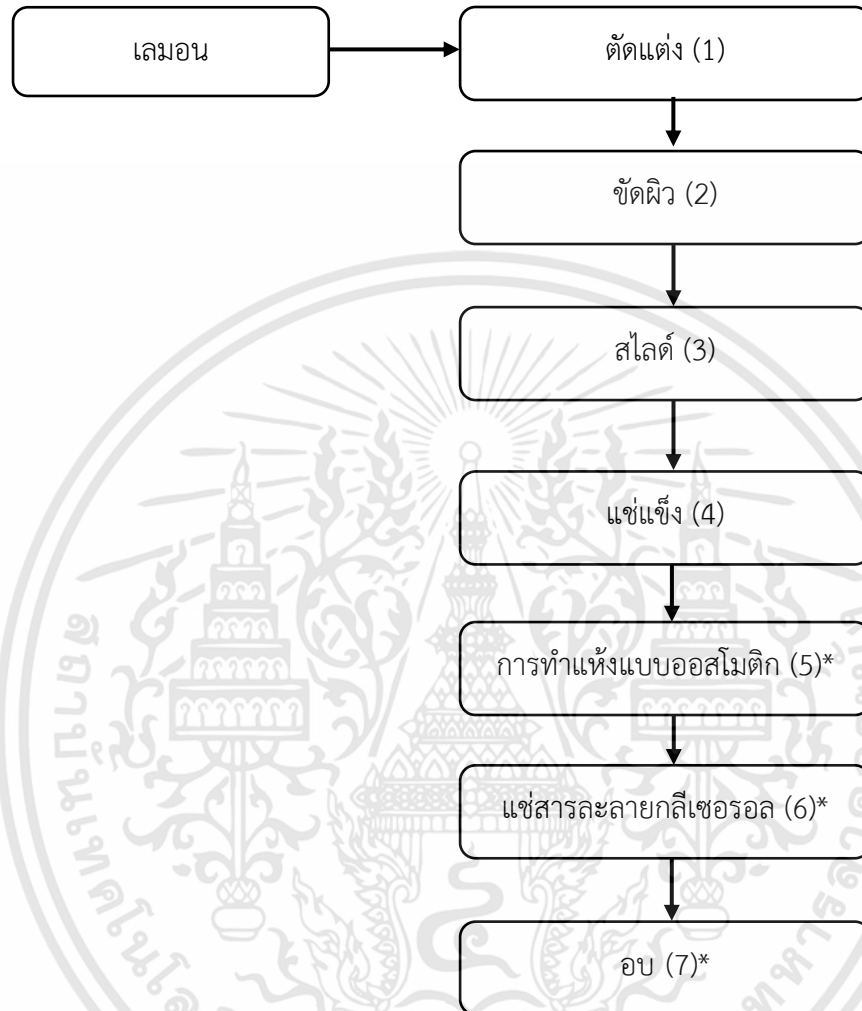
ยอมรับ และวัดค่า Browning index ซึ่งพบว่า ค่า Browning index สุดท้ายที่ยอมรับได้ มีค่า 0.6 ดังนั้น เมื่อพิจารณาตัวอย่างมะเขือเทศที่อบแห้งที่อุณหภูมิคงที่ มาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Browning index และ อุณหภูมิภายในเนื้อตัวอย่าง พบว่าค่าอุณหภูมิของมะเขือเทศหากมีอุณหภูมิ ถึง 55 องศาเซลเซียส จะทำให้เนื้อมะเขือเทศมีค่า Browning index 0.6 ดังนั้นการทดลองนี้จะใช้ฟังก์ชันอุณหภูมิภายในของมะเขือเทศเป็นตัวแปรในการบอกค่า Browning index ของผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้ง นั้นหมายความว่า การอบแห้งมะเขือเทศต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิของมะเขือเทศขณะอบเกิน 55 องศาเซลเซียส เมื่อได้อंकความรู้ดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยเริ่มการทดลองปรับปรุงคุณภาพของมะเขือเทศอบแห้งด้วยการอบแห้งแบบไล่ระดับอุณหภูมิ โดยมีสมมติฐานในการปรับปรุงคุณภาพค่า Browning index ตลอดระยะเวลาการทดลองไม่ให้เกิน 0.6 การอบเริ่มต้นที่อุณหภูมิสูง 90 องศาเซลเซียส และค่อยๆ ปรับระดับอุณหภูมิลดลงทีละ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งจะปรับลดลงทั้งหมด 7 ระดับได้แก่ 90 85 80 75 70 65 และ 60 องศาเซลเซียสเป็นลำดับสุดท้าย จากนั้นจึงอบด้วยอุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายของมะเขือเทศ ได้ 15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ซึ่งระยะเวลาในการปรับอุณหภูมิต่ำลงขึ้นอยู่กับเวลาที่ทำให้อุณหภูมิภายในของมะเขือเทศถึง 55 องศาเซลเซียส โดยเมื่อจบกระบวนการทดลอง ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมด 450 นาที เพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายของมะเขือเทศมีค่า 15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ด้วยค่า Browning index ที่ไม่เกิน 0.6 ดังนั้น และเมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนั้น กับการอบที่อุณหภูมิคงที่ ใช้เวลาในการอบ 1060 และ 725 ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับซึ่งแตกต่างกันอย่างมาก ด้วยค่า Browning index ที่อยู่ในเกณฑ์ไม่เกิน 0.6 ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการไล่ระดับอุณหภูมิสำหรับอบแห้งมะเขือเทศที่อุณหภูมิสูงในช่วงแรก และลดระดับลง เป็นการช่วยประหยัดระยะเวลาในการอบแห้ง ทั้งนี้ยังได้คุณภาพที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคด้วยระยะเวลาที่สั้นกว่าทั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้สรุปว่า การเปลี่ยนแปลงค่า Browning index ของมะเขือเทศขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่คงเหลือในมะเขือเทศ และ อุณหภูมิภายในของมะเขือเทศ ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Browning index ที่เพิ่มมากขึ้น [5]

การศึกษาของ Sahin and Ozturk เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมะเดื่อที่ผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่างด้วยการแช่ในสารละลายออสโมติก ก่อนนำไปอบแห้งผู้เขียนได้อธิบายว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งทำให้เพิ่มอัตราการระเหยของน้ำมากขึ้น และหากพิจารณาผลที่เกิดจากการทำแห้งแบบออสโมติกก่อนการอบแห้ง พบว่า ตัวอย่างมะเดื่อที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกก่อนการอบแห้งจะใช้เวลาในการทำแห้ง ที่ทั้ง 3 อุณหภูมิ สั้นกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก นั้นเป็นเพราะ การทำแห้งในกระบวนการออสโมติกนั้นนอกจากจะเป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกก่อนแล้วนั้น ก็เปรียบเสมือนการทำให้เกิดรอยหรือความเสียหายที่บริเวณผิวของเนื้อ

อาหารที่มี ชั้นแวกซ์หรือไขมันเคลือบอยู่ที่ผิว ช่วยเอื้ออำนวยต่อการแพร่ของน้ำได้มากขึ้นอีกด้วย และเมื่อนำลอการิทึมอัตราความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป กับเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง ซึ่งเป็นกราฟเส้นตรง จะเห็นได้ว่า ความชันของกราฟที่เกิดจากกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการออสโมติกจะชันและสูงกว่า ตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยกระบวนการออสโมติกก่อน ที่การอบแห้ง 3 อุณหภูมิ เมื่อระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้นจะพบว่า มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยความกลมของมะเดื่อลดลงเนื่องจากผลของการหดตัวจากการอบแห้ง โดยเปอร์เซ็นต์การหดตัวของมะเดื่อที่การทำแห้งด้วยกระบวนการออสโมติกก่อนการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55 65 และ 75 องศาเซลเซียส มีค่า 59.5 63.0 และ 60.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และตัวอย่างที่ไม่ได้มีการทำแห้งแบบออสโมติกก่อนการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55 65 และ 75 องศาเซลเซียส มีค่า 63.7 68.2 และ 62.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ถึงแม้ว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของมะเดื่อจากการเตรียมตัวอย่างด้วยการทำแห้งแบบออสโมติก และไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มะเดื่อที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการออสโมติกก่อนนั้นเกิดการหดตัวมากกว่า เมื่อพิจารณาการแพร่ของน้ำในขณะที่อบแห้งเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น เป็นเพราะแรงขับในการส่งผ่านไอน้ำในอาหารออกสู่ผิว โดยสามารถสรุปได้ว่าการอบแห้งตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกนั้น ใช้เวลาในการทำแห้งเร็วกว่า อัตราการแพร่ของน้ำจากด้านในของอาหารออกสู่ภายนอกสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทำแห้งด้วยกระบวนการออสโมติก และตัวอย่างมะเดื่อที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างนั้นมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงกว่าแบบเตรียมตัวอย่าง [6]

3.5 ระเบียบวิธีการวิจัย

รูปที่ 3.2 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง และ ตารางที่ 3.1 แสดงคำอธิบายขั้นตอนการอบแห้งและตัวแปรที่ศึกษา



รูปที่ 3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 อธิบายขั้นตอนการอบแห้ง

ขั้นตอน	วิธีการ	อุปกรณ์
(1) ตัดแต่ง	หั่นเลมอน ช่วงหัวและช่วงท้ายของ ผลออก	มีด
(2) ขัดผิว	ใช้มีดตั้งฉากกับผิว ขูดผิวตามแนวยาวของผลเพื่อกำจัดบริเวณที่มีสีคล้ำ และพื้นผิวที่ไม่มีความสม่ำเสมอออก	มีด
(3) สไลด์	หั่นเลมอนด้วยเครื่องสไลด์ ให้มีความหนา 8 มิลลิเมตร	เครื่องสไลด์
(4) แช่แข็ง	เลมอนที่สไลด์แล้วบรรจุลงในถังพลาสติก ถังละ 2 กิโลกรัม โดยวางเรียงกันเป็นชั้น ปิดฝาและนำไปแช่ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส อย่างต่ำ 24 ชม. เพื่อให้อุณหภูมิของเลมอนมีค่า -18 องศาเซลเซียส	ตู้แช่แข็ง
(5)*การทำแห้งแบบออสโมติก	<p>แช่ในสารละลายออสโมติก เริ่มเตรียมสารละลาย โดยการต้มน้ำให้เดือด จากนั้นใส่น้ำตาล ตามอัตราส่วนน้ำตาลต่อน้ำกรอง (โดยน้ำหนัก) ที่ความเข้มข้นของน้ำเชื่อม ทั้ง 2 แบบ คือ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ความเข้มข้นคงที่ 60 องศาบริกซ์ (60:40) 2) เพิ่มระดับความเข้มข้น (อัตราส่วน น้ำตาลต่อน้ำกรอง โดยน้ำหนัก) <ul style="list-style-type: none"> - 15 องศาบริกซ์ (15 : 85) - 30 องศาบริกซ์ (30 : 70) - 45 องศาบริกซ์ (45 : 55) - 60 องศาบริกซ์ (60 : 40) <p>จากนั้นพักให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ทุกความเข้มข้น ใส่กรดซิตริก 1% ใน อัตราส่วน กรดต่อสารละลายคือ 1:99 โดยน้ำหนักจากนั้นคนให้ละลายและแช่เลมอนในสารละลายออสโมติกในอัตราส่วน เลมอน ต่อสารละลาย 1 : 1.2 โดยน้ำหนัก วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ pH ความชื้น โดยสุ่มตัวอย่างทุกๆ 30 นาที จนครบ 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงสุ่มทุกๆ 1 ชั่วโมงโดยการนำตัวอย่างมาวางเรียงบนถาดสเตนเลสที่มีรูเพื่อให้สารละลายส่วนเกินไหลออก จนกระทั่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อเลมอน มีความแตกต่างไม่เกิน 1 องศาบริกซ์กับตัวอย่างก่อนหน้า</p>	<p>น้ำตาล น้ำกรอง กรดซิตริก หม้อสเตนเลส ตรา หัวม้าลาย เบอร์ 38</p>

(6)*แช่	เตรียมสารละลายกลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์โดยเริ่มจากการชั่งกลีเซอรอล และ น้ำ ในอัตราส่วน 30 ต่อ 70 โดยน้ำหนัก จากนั้นคนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และแช่เลมอนกับสารละลายในอัตราส่วน เลมอน ต่อ สารละลาย 1 ต่อ 1.2	กลีเซอรอล น้ำกรอง หม้อสเตนเลส ตราหัวม้าลาย
(7)*อบ	ตัดตัวอย่างเลมอนที่แช่สารละลาย ออกจากนั้นวางเรียงบนภาต สเตนเลสที่มีรู เพื่อกรองสารละลายส่วนเกินออก คีบตัวอย่างเลมอนทีละชิ้นวางเรียงบนภาตมั่งลวด โดยวางเพียงชั้นเดียว จากนั้นนำเข้าสู่ตู้อบ และอบแห้งที่อุณหภูมิ 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 1) 80 องศาเซลเซียส 2) 70 องศาเซลเซียส 3) 60 องศาเซลเซียส	ตู้อบอัจฉริยะ ภาตมั่งลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 ตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่าง

ตัวอย่างเลมอนแช่อิ่มที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ แช่ต่อในสารละลายกลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 35.8 ± 0.06 องศาบริกซ์ พีเอช 2.63 ± 0.01 ความชื้น 54.92 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

การเตรียมตัวอย่าง

สุ่มตัวอย่างเลมอนแช่อิ่มมาวางเรียงบนถาดตาข่าย วางเรียงชั้นเดียว ไม่ให้มีการซ้อนทับของชั้นตัวอย่าง โดยจะตัวอย่างจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 มาซึ่งติดตามน้ำหนักตัวอย่าง ระหว่างการอบแห้ง จะวางเรียงบนถาดพื้นที่ 0.148 ตารางเมตร จำนวน 3 ถาด และ ชุดที่ 2 สำหรับสุ่มวิเคราะห์เนื้อสัมผัส จะถูกวางเรียงบนถาดตาข่ายจำนวน 3 ถาด ซึ่งจะวางเรียงถาดในตู้อบ โดยชั้นที่ 1 2 และ 3 วางตัวอย่างชุดที่ 1 ชั้นที่ 4 5 และ 6 วางตัวอย่างชุดที่ 2 แต่ละชั้นที่ทำการอบจะวางเพียงชั้นละ 1 ถาดเท่านั้น



รูปที่ 3.3 การเตรียมตัวอย่างเลมอนแช่อิ่มก่อนเข้าตู้อบ

3.5.2 วิธีการอบแห้ง

นำตัวอย่างเลมอนที่เตรียมไว้แล้วทั้ง 2 ชุด เข้าสู่ตู้อบแห้งโดยวางเรียงถาดในตู้อบ โดยชั้นที่ 1 2 และ 3 วางตัวอย่างชุดที่ 1 ชั้นที่ 4 5 และ 6 วางตัวอย่างชุดที่ 2 แต่ละชั้นที่ทำการอบจะวางเพียงชั้นละ 1 ถาดเท่านั้น (รายละเอียดตู้อบในภาคผนวก ข.2) โดยจะอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 70 และ 60 องศาเซลเซียส โดยที่แต่ละอุณหภูมิการอบ ทุกๆ 10 นาที ถูกลำออกมาชั่งน้ำหนัก จนกระทั่งครบ 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำออกมาชั่งทุกๆ 30 นาที และ ชุดที่ 2 ถูกลำตัวอย่างออกมาวัด คุณภาพเนื้อสัมผัสหรือความแข็ง (Hardness, N) จากทั้ง 3 ถาด ซึ่งอบแห้งจนกระทั่งน้ำหนักของเลมอนในชุดตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก น้อยกว่า 0.01 กรัม ของเวลาก่อนหน้า จึงจบกระบวนการอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

3.5.3 การวิเคราะห์คุณภาพหลังจากการอบแห้ง

หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิตั้งที่ 80 70 และ 60 องศาเซลเซียส จึงนำตัวอย่างที่ได้จากแต่ละเวลาที่สุ่มออกมาวัดคุณภาพ โดยในตารางที่ 3.2 แสดงปัจจัยในการวิเคราะห์คุณภาพที่ทำการวัดขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยในการวิเคราะห์คุณภาพ

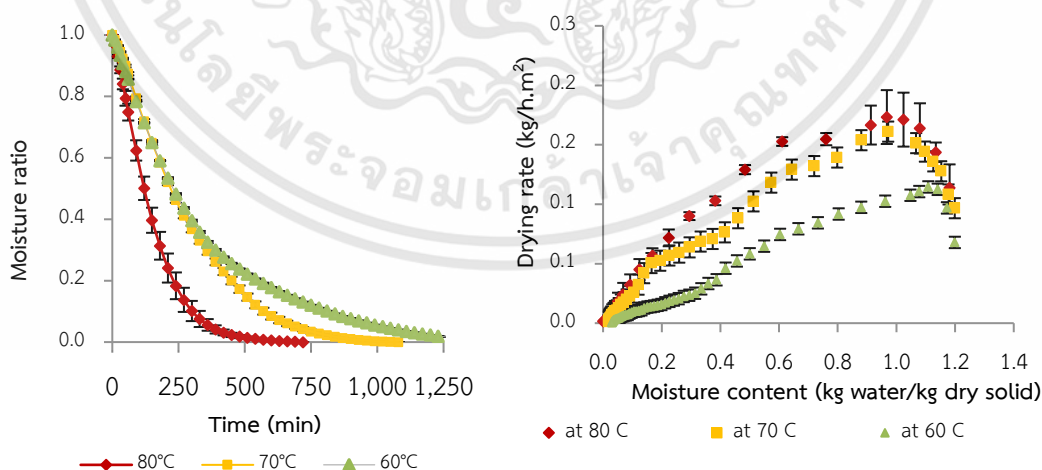
ลำดับ	การวิเคราะห์ปัจจัยคุณภาพ	วิธีการตรวจวัด	ขั้นตอน
1	ความชื้น	ภาคผนวก ก.7	แช่สารละลาย กลีเซอรอล (6)
2	เนื้อสัมผัส โดยพิจารณา ความแข็ง (Hardness, นิวตัน)	ภาคผนวก ก.8	แช่สารละลาย กลีเซอรอล (6)

3.6 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.6.1 อัตราส่วนความชื้น และ อัตราการทำแห้ง

(Moisture ratio, Drying rate เปรอร์เซ็นต์ฐานแห้ง)

ผลของความชื้นที่ระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้นโดย a) อัตราส่วนความชื้นกับเวลา และ b) อัตราการทำแห้งกับเปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง ดังรูปที่ 3.4 โดยพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของทั้ง 3 อุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นเทียบกับเวลา ของอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นั้นมีการลดลงแตกต่างอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับ อุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ที่มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นลดลงเท่ากันตั้งแต่เวลาที่ 0-360 นาทีแรก แต่หลังระยะเวลา 360 นาทีอัตราส่วนความชื้น ที่อุณหภูมิ 70 และ 60 นั้นเริ่มลดลงแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีการเปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และพิจารณาอัตราการทำแห้งกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง ของอุณหภูมิ 80 70 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 70 องศาเซลเซียสในช่วงความชื้น 0-0.2 เปรอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งมีอัตราการทำแห้งที่เทียบเท่ากันแต่เมื่อ เปรอร์เซ็นต์ความชื้น 0.2 ขึ้นไปจนกระทั่งถึง 0.9 เปรอร์เซ็นต์ความชื้น อัตราการทำแห้งนั้นแตกต่างกันอย่างชัดเจนโดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีอัตราการทำแห้งที่สูงกว่าอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ก่อนที่อัตราการทำแห้งทั้งสองอุณหภูมิจะตกลงและกลับมาใกล้เคียงกันอีกครั้งที่ 1.02 เปรอร์เซ็นต์ฐานแห้ง ในขณะที่อัตราการทำแห้งของอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีอัตราการทำแห้งที่แตกต่างจากทั้ง 2 อุณหภูมิ อย่างชัดเจนตั้งแต่ 0-1 เปรอร์เซ็นต์ฐานแห้ง ก่อนอัตราการทำแห้งจะตกลงและใกล้เคียงกับอุณหภูมิ 80 และ 70 องศาเซลเซียส



(a)

(b)

รูปที่ 3.4 ผลของความชื้นที่ระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้นโดย a) อัตราส่วนความชื้นกับเวลา และ b) อัตราการทำแห้งกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง

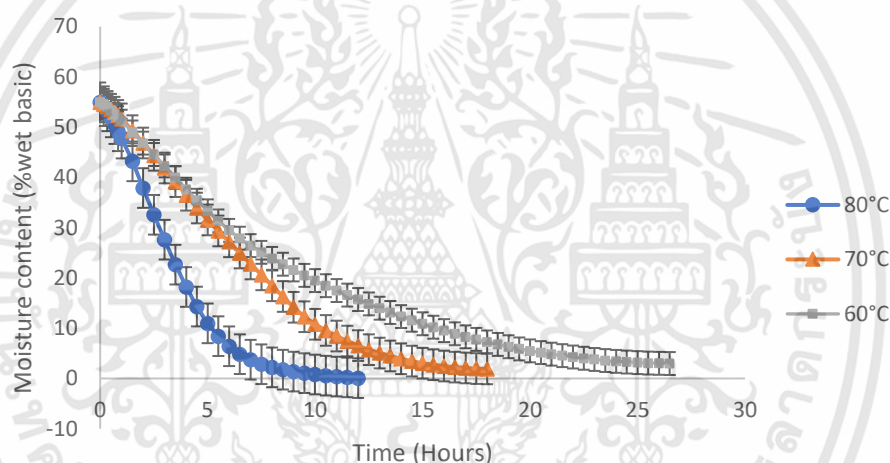
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 ความชื้น

(Moisture content, เปอร์เซนต์ฐานเปียก)

ผลของอุณหภูมิการอบต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างกระบวนการอบแห้งของเนื้อเลม่อน

จากรูปที่ 3.5 การอบแห้งเลม่อนแช่เย็นที่อุณหภูมิ 80 70 และ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นที่แตกต่างกัน รูปที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มการลดลงของความชื้นแตกต่างอย่างชัดเจนจากที่ 70 และ 60 องศาเซลเซียส และในช่วงระยะเวลาการอบที่ระยะเวลา 0 – 6 ชั่วโมง ที่ 70 และ 60 องศาเซลเซียส จะมีการลดลงของปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน และเริ่มแตกต่างกันอย่างชัดเจนหลังผ่านชั่วโมงที่ 6 เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นที่เร็วกว่าที่ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างกระบวนการอบแห้งของเนื้อเลม่อนที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส

อย่างไรก็ตามนอกจากความชื้นจะเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการพิจารณาคุณภาพของตัวอย่างแล้ว ความแข็งก็เป็นอีกหนึ่งคุณภาพที่ถูกพิจารณาดังนั้นตารางที่ 3.3 จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบและความแข็งที่เปลี่ยนแปลงไปที่เวลาและอุณหภูมิเดียวกัน

ตารางที่ 3.3 ความชื้นและความแข็งของเลนออนแฉ่้อมหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส)	เวลาในการอบ (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (ฐานเปียก)	ความแข็ง (นิวตัน)
80	0	54.92	102
	12	47.70	170
	3	37.87	173
	4	27.60	175
	5	18.19	190
	6	10.95	235
	6.40	247	
70	1	51.62	125
	2	46.82	150
	3	41.85	155
	4	36.44	168
	5	31.52	178
	6	27.18	182
	7	22.77	226
	8	18.43	230
	9	14.15	257
60	1	51.16	122
	2	46.81	125
	3	42.27	138
	4	37.63	138
	5	33.34	162
	6	29.45	170
	7	26.41	187
	8	23.85	202
	9	21.55	238
	10	19.46	278

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 เวลาที่ใช้ในการอบเลมอนจนน้ำหนักรสุดท้ายคงที่ ที่แต่ละอุณหภูมิ

อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส)	เวลาในการอบ (ชั่วโมง)	ความชื้นสุดท้าย (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)
60	26.5	2.97
70	18	1.90
80	12	0.06

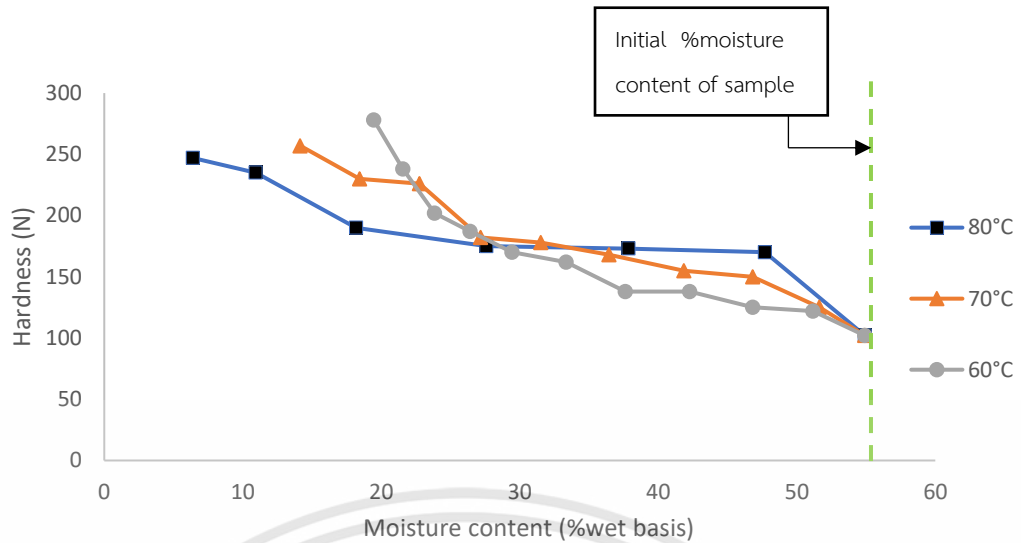
3.6.3 เนื้อสัมผัส

ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อ การเปลี่ยนแปลงความแข็ง (Hardness, N) ของเลมอนที่ความชื้นต่างๆ

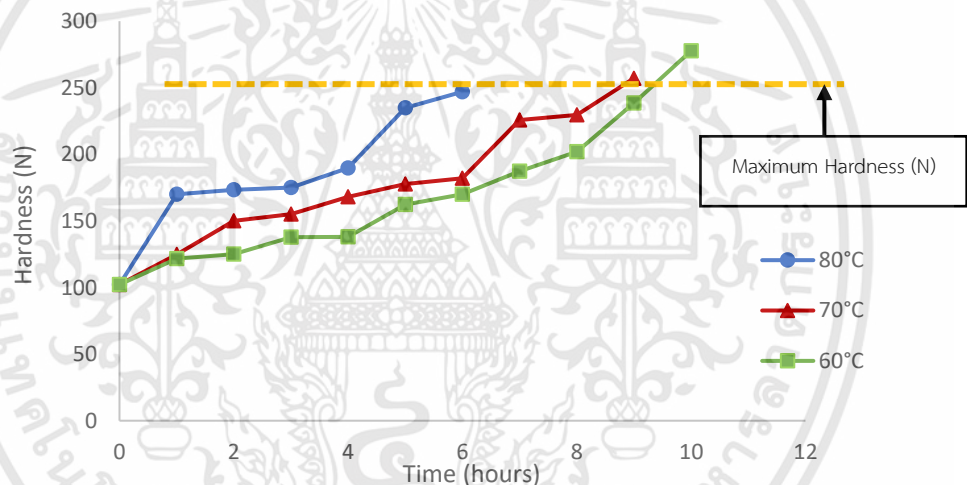
จากรูปที่ 3.6 ที่ทุกระดับอุณหภูมิ มีความชื้นของวัตถุดิบเบื้องต้นก่อนการอบแห้ง 54.92 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ทั้ง 3 อุณหภูมิ เมื่อความชื้นลดลงจะมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงของความแข็งเร็วกว่าที่ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้น 54.92 จนถึง 37.8 นิวตัน ก่อนการเปลี่ยนแปลงของความแข็งจะเริ่มครั้งที่และเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนมีค่าความแข็ง 247 นิวตัน ที่ความชื้นเท่ากับ 6.4 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ในขณะที่อุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงความแข็งใกล้เคียงกันที่ความชื้น 54.92-51.16 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ก่อนการเปลี่ยนแปลงของความแข็งของ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแข็งที่เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ 60 องศาเซลเซียส อย่างชัดเจน ก่อนค่าความแข็งของทั้งอุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียส จะใกล้เคียงกันที่ 26.41-21.55 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก จากนั้นจึงพบว่า ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งที่เข้าใกล้ 250 นิวตัน เร็วกว่า อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อ การเปลี่ยนแปลงความแข็ง (Hardness, N) ของเลมอนระหว่างกระบวนการอบแห้ง

จากรูปที่ 3.7 เมื่อระยะเวลาในการอบเพิ่มมากขึ้นจะมี ความแข็งที่เพิ่มมากขึ้น จากการทดสอบความแข็งของตัวอย่างที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าขีดจำกัดของความแข็งต้องมีค่าไม่เกิน 250 นิวตัน เมื่อพิจารณารูปที่ 3.7 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งเร็วกว่า ที่อุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงความแข็งที่และความชื้นที่อุณหภูมิ 80 70 และ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงความแข็ง (Hardness, N) ของเลมอนระหว่างกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

ซึ่งงานวิจัยนี้มีความต้องการให้ค่าความแข็งต่ำกว่า 250 นิวตัน เวลาที่ใช้ในการอบของเลมอนที่แต่ละอุณหภูมิที่มีค่าความแข็งเข้าใกล้ 250 นิวตันเป็นแสดงดังตารางที่ 3.3 และ 3.4

การทดลองเพื่อหาวิธีการสำหรับการอบแห้งโดยตั้งเป้าหมายของการอบให้ความชื้นสุดท้ายให้ต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียกและวัดคุณภาพในระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบที่ผ่านการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบ พบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาในการอบ 5 ชั่วโมง มีค่าความแข็ง 235 นิวตัน และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่ที่ 10.95 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลดังกล่าวมาทำการปรับอุณหภูมิลดลงให้เหลือ 70 องศา ไปอีก 1 ชั่วโมงซึ่งอธิบายได้จากการเชื่อมข้อมูลในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นว่าที่ อุณหภูมิ 70 องศา ที่ระยะเวลา 10 ชั่วโมง ของกราฟ 70 องศาจะมีค่าปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับ 10 เปอร์เซ็นต์และพบว่า ที่อีก 60 นาทีที่จะมีความชื้นต่อเป็น 8.43 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นฐานเปียก เท่ากับสรุปกระบวนการได้ว่า สามารถอบที่อุณหภูมิ 80 องศา ได้ 5 ชั่วโมงและอบต่อที่อุณหภูมิ 70 องศา เซลเซียส 1 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 สรุปผล

พิจารณาคุณภาพการอบแห้งของผลิตภัณฑ์เลมอนแช่อิมหลังการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมินี้ใช้เวลาในการอบเร็วกว่าแบบอื่น แต่เนื้อสัมผัสแข็งกว่าแบบอื่นดังแสดงในรูปที่ 3.7 แต่อย่างไรก็ตามการอบที่อุณหภูมินี้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งเร็วกว่าระยะเวลาอันสั้นและความชื้นยังไม่ถึงตามความต้องการในขณะที่ อุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียสนั้นใช้เวลาในการอบนาน แต่ให้คุณภาพเป็นไปตามต้องการดังนั้นการเลือกไล่ระดับอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมงและ 70 องศาเซลเซียส อีก 1 ชั่วโมง เป็นวิธีที่ทำให้ประหยัดเวลาในการอบมากที่สุดและให้เนื้อสัมผัส รวมถึงคุณภาพในการเก็บรักษาที่ดีที่สุด



เอกสารอ้างอิง

- [1] สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. กรุงเทพมหานคร : ท้อป, 2555. 344 หน้า.
- [2] Evangelos Tsotsas, Arun S. Mujumdar. **Modern Drying Technology**. Vol. 3 Weinheim : Wiley-VCH. 2011.
- [3] Stefano Curcio, Maria Aversa. “Influence of shrinkage on convective drying of fresh vegetables: A theoretical model.” **Journal of Food Engineering**. Vol.123. September 2013. 36-49.
- [4] Jung wang et al., “Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices.” **Journal of Food Engineering**. Vol. 224. January 2018. 129-138.
- [5] Serghei Cernisev. “Effect of convectional and multistage drying processing on non-enzymatic. Vol.96. July 2009. 114-118

บทที่ 4

ผลของการประยุกต์ใช้เทคนิคฟองอากาศขนาดเล็กในกาปรับปรุง คุณภาพเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง

4.1 บทนำ

ระบบฟองอากาศขนาดเล็ก (Micro-nano bubble) คือการอาศัยแรงลอยตัวของฟองอากาศต่ำเพื่อให้ซึมเข้าสู่สารละลายที่นำมาใช้ผลิตฟองอากาศขนาดเล็กได้ดีกว่าฟองอากาศโดยทั่วไป โดยหลักการนี้อธิบายไว้ว่า ฟองอากาศขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงทำให้เกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า ฟองอากาศที่มีขนาดทั่วไปอีกทั้งแรงลอยตัวยังต่ำสามารถชะลอการแตกตัวขึ้นสู่ผิวน้ำได้ มีการใช้ฟองอากาศขนาดเล็กในหลากหลายอุตสาหกรรม หากแต่พิจารณาถึงอุตสาหกรรมทางอาหารและการเกษตรพบว่า มีการใช้ฟองอากาศขนาดเล็กเพื่อสำหรับ ชะล้างผักให้สะอาด โดยพบว่า ผักที่ผ่านการล้างด้วยน้ำแช่ที่บรรจุฟองอากาศขนาดเล็กจะทำให้ผักมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม และสามารถทำให้เนื้อสัมผัสเหมือนผักสด ตลอดเวลา เช่นเดียวกับปลานิล โดยมีอุตสาหกรรมนำฟองอากาศขนาดเล็กที่บรรจุแก๊สไนโตรเจนไว้ และนำไปแช่เยือกแข็งทำให้ พบว่า ปลาที่แช่น้ำฟองอากาศขนาดเล็กที่บรรจุแก๊สไนโตรเจนนั้น เมื่อละลายมีเนื้อสัมผัส เหมือนพลาสติกก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง [1]

4.2 วัตถุประสงค์

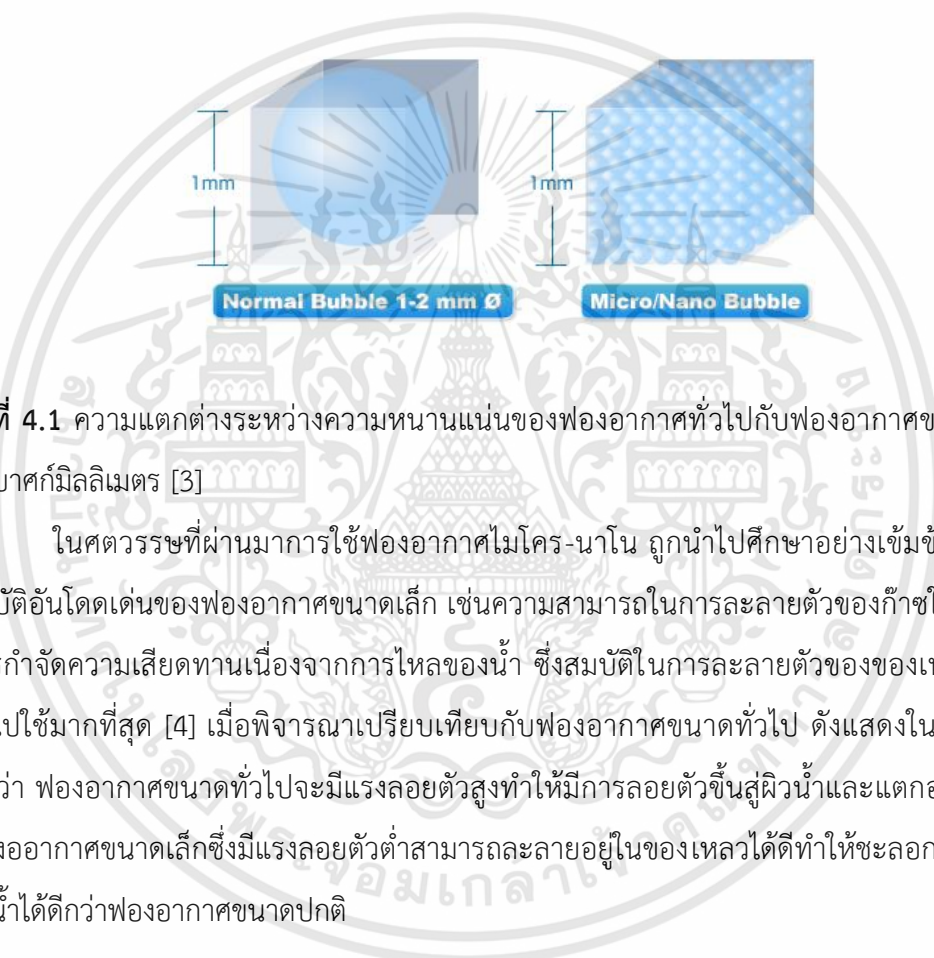
เพื่อศึกษาผลที่เกิดจากการประยุกต์ใช้ฟองอากาศขนาดเล็กร่วมกับสารละลายกลีเซอรอลในการปรับปรุงคุณภาพเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง

4.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้จะเปรียบเทียบผลของคุณภาพเลมอนแช่อิ่มอบแห้งระหว่าง การแช่กลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์ และ การแช่กลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก เป็น เวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไม่ให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากเครื่องผลิตฟองอากาศทำให้อุณหภูมิของสารละลายเกิน 40 องศาเซลเซียส

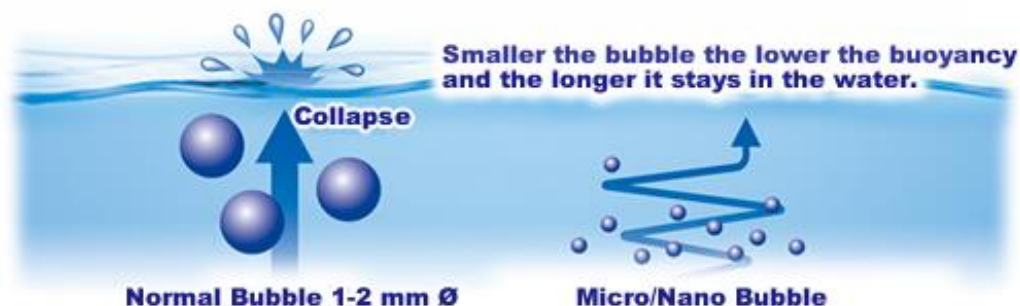
4.4 การทบทวนเอกสาร

ไมโคร-นาโนบับเบิล (Micro nano bubble) เป็น ฟองอากาศขนาดเล็กที่มีขนาด 100 ไมโครเมตรโดยประมาณ ด้วยขนาดที่เล็กนี้เองสามารถละลายตัวอยู่ในน้ำได้เป็นระยะเวลานานและสามารถยืดระยะเวลาในการลอยตัวและแตกตัวออกที่ผิวน้ำได้ ฟองอากาศขนาดเล็กเมื่อถูกผลิตและเกิดขึ้นมาแล้วสามารถคงตัวอยู่ในของเหลวเป็นระยะเวลา 2 อาทิตย์ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศ 150 – 200 นาโนเมตร [2] ซึ่งความแตกต่างระหว่างความแน่นของฟองอากาศทั่วไปกับฟองอากาศขนาดเล็กถูกแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของฟองอากาศทั่วไปกับฟองอากาศขนาดเล็กต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร [3]

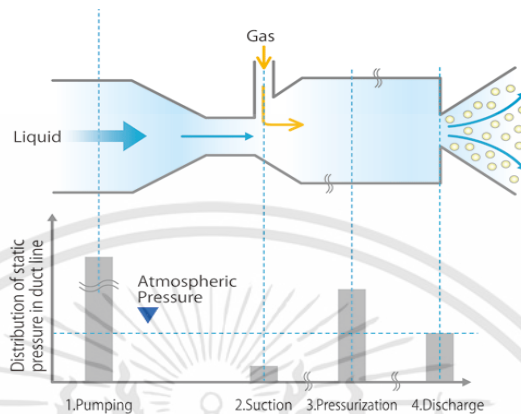
ในศตวรรษที่ผ่านมาการใช้ฟองอากาศไมโคร-นาโน ถูกนำไปศึกษาอย่างเข้มข้นเนื่องจากสมบัติอันโดดเด่นของฟองอากาศขนาดเล็ก เช่นความสามารถในการละลายตัวของก๊าซในของเหลว การกำจัดความเสียหายเนื่องจากการไหลของน้ำ ซึ่งสมบัติในการละลายตัวของของเหลวนี้จะถูกนำไปใช้มากที่สุด [4] เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับฟองอากาศขนาดทั่วไป ดังแสดงในรูป 4.2 จะพบว่า ฟองอากาศขนาดทั่วไปจะมีแรงลอยตัวสูงทำให้มีการลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำและแตกออกเร็วกว่าฟองอากาศขนาดเล็กซึ่งมีแรงลอยตัวต่ำสามารถละลายอยู่ในของเหลวได้ดีทำให้ชะลอการลอยตัวสู่ผิวน้ำได้ดีกว่าฟองอากาศขนาดปกติ



รูปที่ 4.2 การลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำของฟองอากาศขนาดทั่วไปกับฟองอากาศขนาดเล็ก [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยการศึกษาผลเกี่ยวกับการกำเนิดของฟองอากาศขนาดไมโคร-นาโนในน้ำ มีหลายวิธีในการทำให้ฟองอากาศขนาดเล็กนี้เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การไหลของ Spiral liquid โดยการใช้แรงเฉือน ซึ่งอาศัยผลกระทบที่เกิดจากน้ำและอากาศ ถัดมาคือ micro floatation column และ venture injection [6]



รูปที่ 4.3 การเกิดฟองอากาศขนาดเล็ก [7]

ด้วยขนาดที่เล็กและพื้นที่ผิวที่มากของฟองอากาศขนาดเล็กทำให้เกิดผลประโยชน์มากมาย นักวิจัยหลายท่านพยายามประยุกต์ใช้ฟองอากาศขนาดเล็กสำหรับงานในหลายรูปแบบ [6]

ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) หรือค่ากิจกรรมน้ำ (water activity) เป็นปัจจัยสำคัญในวงการอาหารซึ่งใช้ในการกำหนดอายุในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่าปริมาณน้ำอิสระนี้เป็นการบ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์ สามารถนำไปใช้เพื่อเจริญเติบโตได้ [8] ซึ่งค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) นี้เกิดจาก อัตราส่วนระหว่าง ความดันไอของน้ำเหนืออาหาร (P) ต่อ ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_0) ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกัน โดยค่าปริมาณน้ำอิสระดังกล่าวนี้ใช้เป็นตัวบ่งชี้อายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 – 1 ดังนี้ สามารถแบ่งอาหารออกมาได้ทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ อาหารสด ที่มีค่า ปริมาณน้ำอิสระมากกว่า 0.85 อาหารกึ่งแห้งจะมีค่า ปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.6 - 0.85 และอาหารแห้งที่มีค่า ปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 [9]

ความแตกต่างระหว่างค่าวอเตอร์แอกติวิตี้และปริมาณความชื้น อาหารต่างๆที่นำมาถนอมเพื่อยืดอายุในการเก็บรักษา จะถูกนำมากำจัดความชื้นออกจากอาหารโดยคิดว่าความชื้นเหล่านั้นต่างเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหารไม่ว่าจะด้วยวิธีการแช่ในสารละลายความเข้มข้นสูง เช่น น้ำเกลือ น้ำเชื่อม หรือการระเหยเอาน้ำออกสู่อากาศ ซึ่งแท้จริงแล้ววิธีเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นกระบวนการในการกำจัดปริมาณน้ำอิสระให้มีค่าลดต่ำลง หากลองพิจารณาอาหารบางประเภทอย่างขนมไทย เช่น ทองหยิบ หรือทองหยอด ถึงแม้จะเป็นอาหารที่มีความชื้นสูง แต่กลับมีค่าปริมาณน้ำอิสระนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิสระ หรือ วอเตอร์แอกติวิตี้ต่ำ เนื่องจากมีองค์ประกอบของน้ำตาลอยู่มากทำให้สามารถเก็บได้นาน ทั้งนี้เป็นสาเหตุเนื่องจากน้ำในอาหารนั้นประกอบด้วยกัน 2 ส่วน ส่วนแรก คือ น้ำที่เกาะติดอยู่กับอาหาร ซึ่งทำหน้าที่ในการสร้างพันธะต่างๆ และอีกส่วนคือปริมาณน้ำอิสระที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการสร้างพันธะใดๆจะอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างอาหาร ซึ่งปริมาณความชื้นที่เราสามารถวัดได้นั้นเป็นการเอาปริมาณน้ำทั้งสองส่วนมารวมกัน ในขณะที่ปริมาณน้ำที่อิสระ เป็นปริมาณน้ำที่พร้อมจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอ และเป็นปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ [10]

การลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้โดยการใช้สารลดวอเตอร์แอกติวิตี้ หรือ ฮิวเมคแทนเป็นสารที่เติมลงไปเพื่อลดปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในอาหาร [8] ดัดแปลงจาก ศิวาพร [9] โดยสารที่ใช้ลดค่าปริมาณน้ำอิสระจะถูกเติมลงไปเพื่อจับกับน้ำและควบคุมปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้แล้วยังเป็นสารที่ให้ความยืดหยุ่นกับโครงข่ายของโปรตีน ส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของวัตถุดิบมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ซึ่งสารลดความชื้นที่ดีต้องมีสมบัติดังนี้ คือ ละลายน้ำได้ง่าย คงตัว ไม่ระเหย และไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร สารฮิวเมคแทนนี้แท้จริงแล้วมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท โดยในสมัยก่อนคนมักจะใช้ เกลือ หรือ น้ำตาล มาผสมกับน้ำทำให้กลายเป็นสารละลายแต่ด้วยรสชาติที่เกิดจากการแช่สารละลายเหล่านี้ทำให้หวานจัด หรือ เค็มจัดจึงทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งานสูงดังนั้น ปัจจุบันจึงนิยมใช้กลีเซอรอลหรือซอร์บิทอล เพราะไม่ส่งผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์มากนัก และสามารถลดค่าปริมาณน้ำอิสระได้อีกด้วย [10] ดัดแปลงจาก Varnam [11]

กลีเซอริน หรือ กลีเซอรอล เป็นสารเหลว หนืดใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีค่าความหวานร้อยละ 60 ของน้ำตาลซูโครส ละลายในน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี ซึ่งกลีเซอรอลนั้นมีบทบาทในการช่วยควบคุมค่าปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ โดยมีจุดเดือดที่ 290 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่ 18 องศาเซลเซียส ให้พลังงาน 4.3 กิโลแคลอรีต่อกรัม [8] ดัดแปลงจาก Budavari [12]

การประยุกต์ใช้ฟองอากาศขนาดเล็กกับคลื่นอัลตราโซนิคสำหรับกำจัดสาร Ethion บนผิวเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง ด้วยการเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็กร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิคโดยความถี่คลื่น 1,000 กิโลเฮิร์ต ที่ระยะเวลา 15 30 45 และ 160 นาที ผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองพบว่าสามารถล้างสารตกค้าง Ethion บนผิวเปลือกให้ลดลงได้และการลดลงของ Ethion จะเพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่ระยะเวลา 60 นาที และสามารถกำจัดสาร Ethion ได้ดีที่สุด โดยสามารถกำจัดได้ประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ [13]

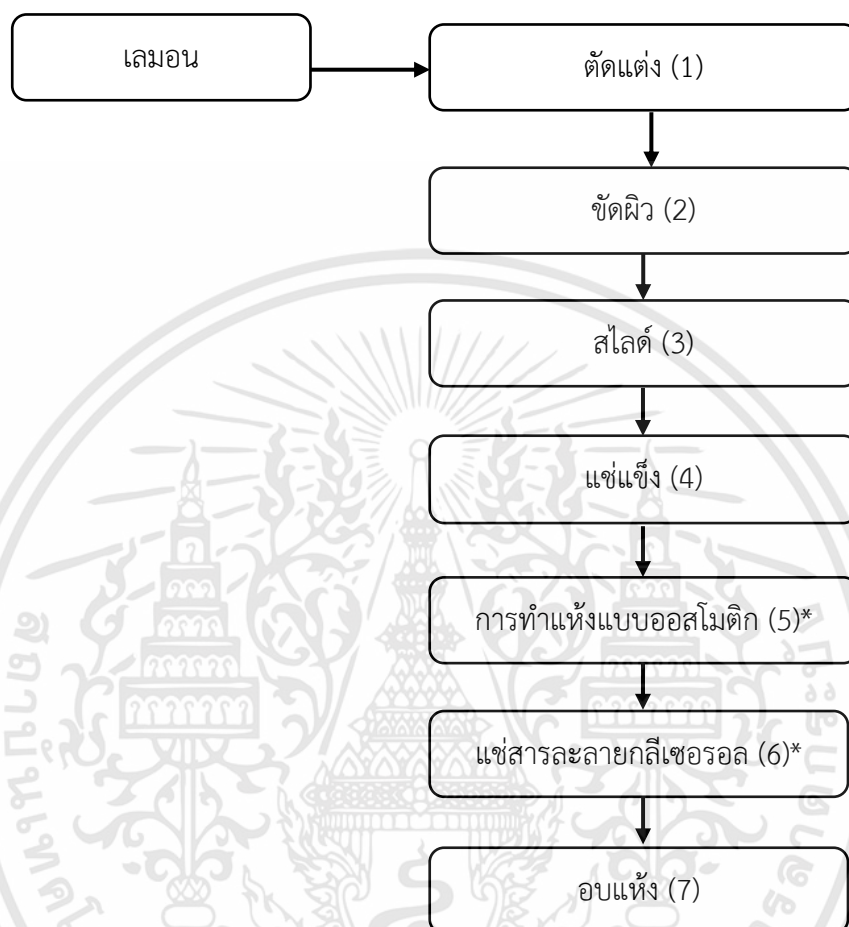
เนื่องจากสมบัติในการละลายตัวของก๊าซในของเหลว เพราะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและความคงตัวของฟองอากาศที่ทำให้ละลายอยู่ในน้ำได้นาน เมื่อฟองอากาศระดับไมโคร-นาโนนี้เกิดการยุบตัวทำให้ออกซิเจนเป็นออกซิเจนที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดอนุมูลอิสระ จึงมีงานวิจัยในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ ร่วมกับ สารละลายไฮโปคลอไรต์ เพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และรักษาคุณภาพผักกาดหอมตัดแต่ง โดยในการทดลองแบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษาได้แก่ แช่ผักกาดหอมตัดแต่งในของเหลว ดังนี้ น้ำเปล่า เป็นเวลา 5 นาที สารละลายไฮโปคลอไรต์ 100 ppm 5 นาที น้ำที่เปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดไมโคร-นาโนบับเบิล 5 นาที และ สารละลายไฮโปคลอไรต์ 50 ppm 5 นาที หลังการแช่น้ำตัวอย่างไปเก็บในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟ ถุงละ 200 กรัม และสุ่มตัวอย่างออกมาวัดคุณภาพ ทุกๆ 2 วัน พบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์หลังการแช่ล้าง ในของเหลวชนิดต่างๆทุกของเหลวมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นต่ำกว่าชุดควบคุมหรือชุดที่แช่เพียง น้ำเปล่าธรรมดา เมื่อระยะเวลาผ่านไป วันที่ 2 4 6 และ 8 ปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นของชุดควบคุม สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ การแช่ในสารละลายไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 100 ppm ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ทั่วไป การแช่ในน้ำเปล่าที่ผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก และการแช่ในสารละลายไฮโปคลอไรต์ 50 ppm ร่วมกับการเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดไมโคร-นาโน ตามลำดับ ต่อมา พิจารณาผลของการ เกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาล เมื่อนำตัวอย่างที่ได้จากการแช่สารละลายทั้งหมดมาวัดการเปลี่ยนแปลง สีน้ำตาล พบว่าที่ระยะเวลาในการเก็บเพิ่มมากขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น แต่ วิธีการแช่ในสารละลายที่มีฟองอากาศขนาดเล็กทั้ง 2 วิธีสามารถยับยั้งการเปลี่ยนแปลงการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่า วิธีที่ไม่มีฟองอากาศขนาดไมโคร-นาโน โดยวิธีการแช่ในสารละลายไฮโปคลอไรต์ 50 ppm ร่วมกับการผลิตฟองอากาศขนาดไมโคร-นาโน สามารถยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของสีได้ดีที่สุด ตั้งแต่วันที่ 2 ถึงวันที่ 8 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้สารละลายที่มีฟองอากาศขนาดไมโคร-นาโน สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ในผักกาดหอมตัดแต่งได้ [14]

เป็นที่ทราบกันดีว่ากลีเซอรอลถือเป็นสารอิวเมคเตนท์ประเภทหนึ่ง ที่ไม่มีสี รสชาติหวานน้อย ดังนั้นจึงมีการนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับระหว่างอิวเมคเตนท์ประเภทอื่น เช่น ซอร์บิทอล โดยได้ศึกษา การเติมกลีเซอรอล ซอร์บิทอล 10% และ 15% เทียบกับ วิธีการที่ไม่ใช้สารอิวเมคเตนท์ในการแช่ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสจนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางของเนื้อเจอร์กี้มีค่า 75 องศาเซลเซียส และนำมาวัดคุณภาพเนื้อสัมผัส หลังการอบแห้ง โดยเมื่อพิจารณาความแข็งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นผลกระทบหลักที่เกิดจากการอบแห้ง พบว่า เนื้อสัมผัส ความแข็ง ของเนื้อเจอร์กี้ที่ ชุดควบคุม แช่ในสารละลายซอร์บิทอล 10% และ 15% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ แตกต่างจากการแช่กลีเซอรอล ที่ 10% และ 15% โดยการใช้กลีเซอรอลสำหรับแช่เนื้อเจอร์กี้มีค่า ความแข็ง ต่ำกว่า ชุดควบคุมและ การแช่ที่สารละลายซอร์บิทอลทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น ดังนั้น ใน งานวิจัยนี้ผลของการใช้กลีเซอรอลสามารถลดค่าความแข็งได้ดีกว่า ซอร์บิทอลและชุดควบคุม [10]

4.5 แผนการพัฒนาสูตรเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง

รูปที่ 4.4 แสดงแผนการพัฒนาสูตรเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง โดยภาพประกอบแต่ละขั้นตอน รายละเอียดการทดลองในแต่ละขั้นตอนจะถูกอธิบายในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 แผนผังกระบวนการผลิตเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง

ตารางที่ 4.1 แผนภาพขั้นตอนกระบวนการทำงาน

ขั้นตอน	ภาพประกอบ
 <p data-bbox="480 562 565 595">เลมอน</p>	 <p data-bbox="1006 569 1136 605">ตัดแต่ง (1)</p>
 <p data-bbox="461 918 590 955">ตัดผิว (2)</p>	 <p data-bbox="1015 978 1124 1015">สไลด์ (3)</p>
 <p data-bbox="457 1479 590 1515">แช่แข็ง (4)</p>	 <p data-bbox="891 1435 1248 1472">การทำแห้งแบบออสโมติก (5)*</p>
 <p data-bbox="347 1931 694 1968">แช่สารละลายกลีเซอรอล (6)*</p>	 <p data-bbox="1006 1953 1139 1989">อบแห้ง (7)</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดวิธีการของกระบวนการผลิตเลมอนแช่อบแห้ง

ขั้นตอน	วิธีการ	อุปกรณ์
(1) ตัดแต่ง	หั่นเลมอน ช่วงหัวและช่วงท้ายของ ผลออก	มีด
(2) ชัดผิว	ใช้มีดตั้งฉากกับผิว ขูดผิวตามแนวยาวของผลเพื่อกำจัดบริเวณที่มีสีคล้ำ และพื้นผิวที่ไม่มีความสม่ำเสมอออก	มีด
(3) สไลด์	หั่นเลมอนด้วยเครื่องสไลด์ ให้มีความหนา 8 มิลลิเมตร	เครื่องสไลด์
(4) แช่แข็ง	เลมอนที่สไลด์แล้วบรรจุลงในถังพลาสติก ถึงละ 2 กิโลกรัมโดยวางเรียงกันเป็นชั้น ปิดฝาและนำไปแช่ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส อย่างต่ำ 24 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิของเลมอนมีค่า -18 องศาเซลเซียส	ตู้แช่แข็ง
(4) *แช่	<p>แช่ในสารละลายออสโมติก เริ่มเตรียมสารละลาย โดยการ ต้มน้ำให้เดือด จากนั้นใส่น้ำตาล ที่ความเข้มข้นของ น้ำเชื่อมตามอัตราส่วนน้ำตาลต่อน้ำกรอง (โดยน้ำหนัก) ทั้ง 2 แบบ คือ</p> <p>3) ความเข้มข้นคงที่ 60 องศาบริกซ์ (60:40)</p> <p>4) เพิ่มระดับความเข้มข้น</p> <ul style="list-style-type: none"> - 15 องศาบริกซ์ (15 : 85) - 30 องศาบริกซ์ (30 : 70) - 45 องศาบริกซ์ (45 : 55) - 60 องศาบริกซ์ (60 : 40) <p>จากนั้นพักให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ทุก ความเข้มข้น ใส่กรดซิตริก 1% ในอัตราส่วนกรดต่อ สารละลายคือ 1:99 โดยน้ำหนักจากนั้นคนให้ละลาย และ แช่เลมอนในสารละลายออสโมติกในอัตราส่วนเลมอนต่อ สารละลาย 1:1.2 โดยน้ำหนัก วัดปริมาณของแข็งที่ละลาย ได้ pH ความชื้น โดยสุ่มตัวอย่างทุกๆ 30 นาที จนครบ 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงสุ่มทุกๆ 1 ชั่วโมงโดยการนำตัวอย่างมา วางเรียงบนถาดสเตนเลสที่มีรูเพื่อให้สารละลายส่วนเกิน ไหลออก จนกระทั่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อเล มอน มีความแตกต่างไม่เกิน 1 องศาบริกซ์กับตัวอย่างก่อน หน้า</p>	หม้อสเตนเลส ตะแกรงสเตนเลส สมิรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน	วิธีการ	อุปกรณ์
(5) *แช่	เตรียมสารละลายกลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์โดยเริ่มจากการชั่งกลีเซอรอล และ น้ำ ในอัตราส่วน 30 ต่อ 70 โดยน้ำหนัก จากนั้นคนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และแช่เลมอนกับสารละลายในอัตราส่วน เลมอน ต่อ สารละลาย 1 : 1.2 โดยในการแช่จะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ 1) ไม่เปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก 2) เปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก	-เครื่องผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก -หม้อสเตนเลส -โถแก้ว -ทรงกระบอกสูง
(6) อบ	ตัดตัวอย่างเลมอนที่แช่สารละลาย ออกจากนั้นวางเรียงบนถาดสเตนเลสที่มีรู เพื่อกรองสารละลายส่วนเกินออก คีบตัวอย่างเลมอนที่ละชิ้นวางเรียงบนถาดมั่งลาวด โดยวางเพียงชั้นเดียว จากนั้นนำเข้าตู้อบ โดยแต่ละ อบต่อเนื่องในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 70 และ 60 องศาเซลเซียส	-ตู้อบลมร้อน (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.2) -ถาดมั่งลาวด -ที่คีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ระเบียบวิธีวิจัย

4.6.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่าง

ตัวอย่างเลมอนแช่อบในสารละลายออสโมติกที่วิธีการแช่อบแบบความเข้มข้นคงที่ (60 องศาบริกซ์) ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับสุญญากาศ (60 องศาบริกซ์) เพิ่มระดับความเข้มข้น (เริ่มจาก 15 30 45 และ 60 องศาบริกซ์) โดย ปริมาณของแข็ง 35.8 41.3 และ 55.1 องศาบริกซ์ pH 2.63 2.63 และ 2.37 ความชื้น 56 45 และ 32 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ตามลำดับ

การเตรียมวัตถุดิบ

ตัวอย่างเลมอนแช่อบที่แต่ละวิธีการแช่ จะถูกช้อนขึ้นจากสารละลาย สะเด็ดน้ำด้วยตะแกรงสแตนเลสที่มีรูหนึ่งครั้ง และวางเรียงตัวอย่างเลมอนลงบนถาดสแตนเลสที่มีรู เพื่อให้สารละลายส่วนเกินที่ติดมากับเนื้อเลมอนไหลออก

4.6.2 ขั้นตอนการแช่สารละลายกลีเซอรอล

ก.การเตรียมสารละลายกลีเซอรอล

การทดลองนี้เตรียมสารละลายกลีเซอรอลที่มีความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณสารละลายกลีเซอรอล (ความบริสุทธิ์ 99.99%) ต่อ น้ำ ในอัตราส่วน 30 ต่อ 70 โดยน้ำหนัก การเตรียมสารละลายกลีเซอรอล เริ่มจากการชั่งน้ำกรองให้ได้ตามอัตราส่วน จากนั้นจึงผสมกลีเซอรอลคนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

ข.การแช่สารละลายกลีเซอรอล

หลังจากจบขั้นตอนกระบวนการแช่อบในน้ำเชื่อมทุกวิธีการแช่อบแล้วนำตัวอย่างมาแช่สารละลายกลีเซอรอล โดยการแช่กลีเซอรอลนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก แช่ในสารละลายกลีเซอรอล จนครบ 24 ชั่วโมง และส่วนที่สอง แช่ในสารละลายกลีเซอรอลร่วมกับการเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก ที่ระยะเวลาดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การแช่กลีเซอรอลด้วยวิธีการเปิดและปิดระบบผลิตฟองอากาศ

วิธีการ	เลมอนต่อ สารละลาย	เวลาที่ใช้ในการเปิด ระบบผลิตฟองอากาศ (ชั่วโมง)	เวลาที่ใช้ในการแช่ ตลอดกระบวนการ (ชั่วโมง)
ไม่เปิด ฟองอากาศ	1 :1.2	-	24
เปิดฟองอากาศ	1: 1.2	2	24



รูปที่ 4.5 การเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็กร่วมกับการแช่กลีเซอรอล

จากรูปที่ 4.5 เลมอนถูกแช่ในสารละลายกลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์ และเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีสีขาวเป็นน้ำนม โดยขณะที่เปิดฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะดังรูป แต่หากปิดระบบจะทำให้ฟองสีขาวขุ่นนี้หายไปเนื่องจากแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นในสารละลายแต่อย่างไรก็ดีฟองอากาศขนาดเล็กยังคงละลายอยู่ในสารละลายแต่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่สามารถพิสูจน์ได้ด้วยการนำแสงเลเซอร์ยิงผ่านตัวสารละลายเทียบกับสารละลายปกติ จะพบว่าเส้นตรงขึ้นซึ่งแตกต่างจากสารละลายปกติที่มีการกระเจิงของแสงเกิดขึ้นทำให้มองไม่เห็นแสงในลักษณะของเส้นตรง

4.6.3 การอบแห้ง

ตัวอย่าง

ตัวอย่างเลมอนแช่หิมและแช่ต่อในสารละลายกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ จาก ทั้ง 3 วิธีการแช่หิม และ 2 วิธีการแช่สารละลายกลีเซอรอล (6 ตัวอย่าง) ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้น 54.92 ± 3.17 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างเลมอนจากทั้ง 6 ตัวอย่าง มาสะเด็ดน้ำด้วยตะกร้าสแตนเลสที่มีรู จากนั้นวางเรียง ตัวอย่างลงบนภาตสแตนเลสที่มีรูเพื่อให้สารละลายส่วนเกินไหลออกจากนั้นวางตัวอย่างเรียงบนภาต ขนาด 40×60 เซนติเมตร โดยวางเรียงบนภาตมุ้งลวดไม่ให้มีการซ้อนทับกันของชั้นตัวอย่าง

การอบแห้ง

ใส่ตัวอย่างในตู้อบลมร้อน (รายละเอียดตู้อบในภาคผนวก ข.2) โดยตัวอย่างแต่ละภาตจะถูก วางเรียงในตู้อบ ชั้นที่ 1 2 และ 3 ของชั้น แต่ละชั้นวางแค่ 1 ภาตเท่านั้นซึ่งจะอบที่อุณหภูมิและเวลา ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้ง

อุณหภูมิอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)
80	5
70	1

4.6.4 การวิเคราะห์คุณภาพหลังการแช่สารละลายกลีเซอรอลและอบแห้ง

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ปัจจัยคุณภาพของเลมอนแช่หิม

ลำดับ	การวิเคราะห์ปัจจัยคุณภาพ	วิธีการตรวจวัด	ขั้นตอน
1	ความชื้น (Moisture content, เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	ภาคผนวก ก.5	หลังการแช่สารละลายออสโมติก (5) หลังแช่สารละลายกลีเซอรอล (6)* หลังอบแห้ง (7)
2	วอเตอร์แอกติวิตี (water activity)	ภาคผนวก ก.7	หลังอบแห้ง (7)
3	สีและความแตกต่างของสี (Color)	ภาคผนวก ก.8	หลังอบแห้ง (7)
4	เนื้อสัมผัส (Texture)	ภาคผนวก ก.9	หลังอบแห้ง (7)

4.7 ผลและวิจารณ์ผล

ตัวอย่างเลมอนที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยการแช่เย็น จากทั้งสามวิธีการแช่เย็นด้วยความเข้มข้นคงที่ (60 องศาบริกซ์) ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ และ การเพิ่มระดับความเข้มข้น ทั้งสามวิธีมาไว้ในสารละลายกลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์ ทั้งแบบเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก และไม่เปิดฟองอากาศขนาดเล็กมาวัดคุณภาพได้ผลดังนี้

4.7.1 ปริมาณน้ำอิสระ

(water activity)

หลังจากได้วิธีการอบแห้งแล้วจึงนำเลมอนที่ผ่านกระบวนการแช่เย็นทั้งสาม มาอบแห้งที่อุณหภูมิและระยะเวลาเดียวกัน และวัดวอเตอร์แอกติวิตี้ที่ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.6 พิจารณาค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่เกิดจากกระบวนการแช่เย็นทั้งสามกระบวนการพบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่เกิดจากกระบวนการแช่เย็นด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นนั้นมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการแช่เย็นที่ความเข้มข้นคงที่ มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้มากกว่าแบบอื่น

4.7.2 สีและความแตกต่างของสี

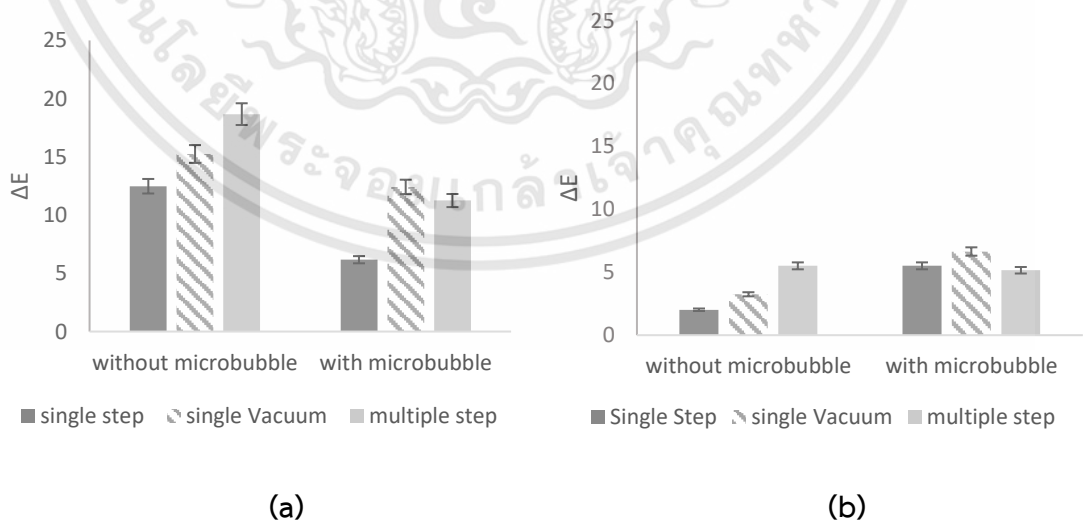
(Color)

ผลของการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อเลมอน หลังการอบแห้ง ด้วยวิธีการแช่สารละลายกลีเซอรอลแบบเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก และไม่เปิดฟองอากาศขนาดเล็ก แสดงดังรูปที่ 4.3 พิจารณาค่าสีและความแตกต่างของสีโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้นระหว่างเลมอนผลสดก่อนการแช่เย็น และ เลมอนหลังขั้นตอนการอบแห้งแล้ว วิเคราะห์ผลแยกเปลือกแยกเนื้อโดยพบว่า ค่าความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือ เปลือกของเลมอนที่ผ่านการเพิ่มระดับด้วยความเข้มข้น มีค่าความแตกต่างของสีคือ 18.67 รองลงมาเป็นเปลือกของเลมอนที่ผ่านการแช่เย็นด้วยความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ 15.23 และสุดท้ายจึงตามมาด้วย วิธีแช่เย็นด้วยความเข้มข้นคงที่ 12.48 มีความเป็นไปได้ว่าเกิดจากเลมอนที่ผ่านการแช่เย็นด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นนั้น มีปริมาณน้ำตาลที่สามารถเข้าไปได้มากกว่าวิธีการอื่นๆ ทำให้เนื้อเลมอนมีน้ำตาลอยู่ในตัวอย่างค่อนข้างมาก ซึ่งอาจเป็นผลที่เกิดจากการจุ่มแช่ในสารละลายที่มีน้ำตาลนาน และมีน้ำตาลอยู่ในตัวอย่างเลมอนมากทำให้เมื่ออบแล้ว น้ำตาลที่มีอยู่ในตัวอย่างเลมอนถูกความร้อนทำให้น้ำตาลเกิดการไหม้ กลายเป็นสีที่เปลี่ยนแปลงไป และเนื่องจากเลมอนที่เพิ่มระดับความเข้มข้นมีปริมาณน้ำตาลที่สูงที่สุดทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุด และเช่นเดียวกันกับเนื้อของเลมอนที่มีค่าความ

แตกต่างของสี ของเนื้อเลมอนแบบเพิ่มระดับความเข้มข้นสูงที่สุด รองลงมาคือ เลมอนแบบความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศและความเข้มข้นคงที่ โดยมีค่า 5.16 3.25 และ 2.02 ตามลำดับ **ตารางที่ 4.6** ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและวอเตอร์แอกติวิตี้

วิธีการ	วอเตอร์แอกติวิตี้	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)
1. ไม่เปิดระบบผลิตฟองอากาศ		
- ความเข้มข้นคงที่	0.440±0.01 ^d	6.83±0.02 ^c
- ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ	0.438±0.02 ^d	6.75±0.03 ^c
- เพิ่มระดับความเข้มข้น	0.519±0.01 ^b	7.43±0.01 ^b
2. เปิดระบบผลิตฟองอากาศ		
- ความเข้มข้นคงที่	0.498±0.01 ^c	8.56±0.03 ^a
- ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ	0.495±0.01 ^c	8.45±0.01 ^a
- การเพิ่มระดับความเข้มข้น	0.601±0.01 ^a	8.98±0.01 ^a

หมายเหตุ การวิเคราะห์เชิงสถิติพิจารณาตามแนวตั้ง ค่า a b c คือการจำแนกกลุ่มตัวอย่างที่เรียงจากค่ามากที่สุดไปยังค่า น้อยที่สุดตามลำดับ



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) ของเปลือก a) และ เนื้อเลมอน b) หลังการอบแห้ง ด้วยวิธีการแ่สารละลายกลีเซอรอลแบบ เปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก และไม่เปิดฟองอากาศขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

(Texture Analysis)

ผลของวิธีการเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็กต่อคุณภาพเนื้อสัมผัส แสดงในตารางที่ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 คุณภาพของเนื้อสัมผัสของเลมอนหลังการอบแห้งที่วิธีการแช่แข็งและแช่สารละลายกลีเซอรอลด้วย วิธีต่างๆ

วิธีการ	คุณภาพเนื้อสัมผัส			
	Hardness (N)	Cohesiveness	Adhesiveness (N.S)	Gumminess (N)
1. ไม่เปิดระบบผลิตฟองอากาศ				
- ความเข้มข้นคงที่	118.98±26.62 ^a	0.80±0.05 ^{ab}	-6.36±3.12 ^a	94.67±6.06 ^a
- ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ	92.16±35.63 ^b	0.74±0.02 ^b	-50.98±17.72 ^b	67.29±24.48 ^{ab}
- เพิ่มระดับความเข้มข้น	70.38±24.21 ^b	0.96±0.19 ^a	-9.20±5.09 ^a	67.28±40.23 ^{ab}
2. เปิดระบบผลิตฟองอากาศ				
- ความเข้มข้นคงที่	98.63±1.89 ^{ab}	0.71±0.07 ^b	-8.58±3.12 ^a	92.16±6.06 ^{ab}
- ความเข้มข้นคงที่ร่วมกับระบบสุญญากาศ	72.51±10.88 ^b	0.72±0.01 ^b	-30.80±20.78 ^b	52.64±8.94 ^{ab}
- เพิ่มระดับความเข้มข้น	59.91±13.79 ^b	0.76±0.08 ^{ab}	-5.55±3.67 ^a	45.76±6.17 ^b

หมายเหตุ การวิเคราะห์เชิงสถิติพิจารณาตามแนวตั้ง ค่า a b c คือการจำแนกกลุ่มตัวอย่างที่เรียงจากค่ามากที่สุดไปยังค่า น้อยที่สุดตามลำดับ

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยการวัดค่า ความแข็ง (Hardness) มีหน่วยเป็นนิวตัน ซึ่งหมายถึงแรงสูงสุดที่ต้องใช้สำหรับการเคี้ยว ดังแสดงในตารางที่ 4.3 สามารถอธิบายได้ว่า เลมอนที่แช่ด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นมีความแข็งน้อยกว่าเลมอนที่ผ่านการแช่ด้วยความเข้มข้นที่คงที่ ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าที่การแช่ด้วยวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากกว่า ซึ่งแสดงถึงปริมาณน้ำตาลที่เข้าไปได้มากกว่าแบบอื่นๆ จึงทำให้น้ำเชื่อมเข้าไปแทนที่น้ำที่ถูกกำจัดออกในขั้นตอนการทำแห้ง ดังนั้นเนื้อสัมผัสจึงได้ไม่แข็งเหมือนแบบการแช่ที่ระดับความเข้มข้นคงที่ ค่าการเกาะตัวกันเอง (Cohesiveness) หมายถึงความสามารถในการรักษาโครงสร้างของตัววัตถุดิบเองเมื่อถูกกดครั้งแรก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบทั้งสามวิธีการพบว่า เลมอนมีค่าการเกาะตัวกันเองได้มากที่สุดเนื่องด้วยน้ำเชื่อมที่เข้าไปในตัวเลมอนมีสมบัติช่วยให้เกิดความเหนียว จึงมีความเป็นไปได้ว่าช่วยให้เกิดการเกาะตัวกันเองได้ดีกว่า เลมอนที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำอย่างวิธีการแช่ด้วยระดับความเข้มข้นคงที่ ค่าการยึดติด (Adhesiveness) หมายถึงค่าที่มีการเกาะติดกับวัสดุอื่น เช่นเดียวกับการเคี้ยวแล้วติดฟันจึงมีค่าติดลบ โดยค่าที่มีการยึดติด ติดลบสูงสุดคือ ความเข้มข้นคงที่ ร่วมกับระบบสุญญากาศ และ ความเหนียว (Gumminess) ของวัตถุดิบของแบบความเข้มข้นคงที่มีค่าสูงที่สุด

4.7.4 ผลของฟองอากาศขนาดเล็กที่มีต่อการปรับปรุงคุณภาพของเลมอนแช่อบแห้ง

จากการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการแช่และเพิ่มเทคนิคการเปิดฟองอากาศขณะแช่ในสารละลายกลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาในเกิดระบบฟองอากาศ 2 ชั่วโมง เนื่องด้วยการเปิดฟองอากาศจนครบ 2 ชั่วโมงทำให้มีอุณหภูมิของสารละลายกลีเซอรอลเท่ากับ 40 องศา ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบการแช่กลีเซอรอลเป็นการเพิ่มแรงลอยตัวของฟองอากาศขนาดเล็กทำให้ฟองอากาศขนาดเล็ก สามารถลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ ได้เร็วขึ้น ซึ่งจะทำให้ฟองอากาศขนาดเล็กลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำจนหมด ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลตามโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตฟองอากาศขนาดเล็กรายงานว่าเมื่อฟองอากาศได้เกิดขึ้นแล้วจะสามารถอยู่ในตัวของผลิตภัณฑ์ได้นานถึง 2 อาทิตย์ โดยการแช่สารละลายกลีเซอรอลร่วมกับระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก เป็นกระบวนการแช่สารละลายก่อนที่ จะนำไปอบแห้ง และจากการทบทวนเอกสารงานวิจัยพบว่าฟองอากาศมีส่วนช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัส และสีของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเป็นแนวคิดที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพก่อนเข้าสู่ตู้อบโดยมีผล

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นคุณภาพเมื่อเปรียบเทียบกับทุกวิธีของการเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็กพบว่า มีค่า water activity สูงกว่าแบบที่ไม่ใช้กลีเซอรอลทั้ง 3 วิธี แต่มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีทั้ง 3 วิธีมีค่าน้อยกว่าวิธีการแช่กลีเซอรอลแบบไม่มีระบบเปิดฟองอากาศขณะแช่ ดังนั้นโดยสามารถอธิบายได้ว่าฟองอากาศขนาดเล็กนั้นสามารถลดการเกิดหรือการเปลี่ยนแปลงสีที่

เกิดจากสารประกอบฟีนอลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งผลการทดลองในตารางที่ 4.3 ก็สอดคล้องกับทฤษฎีของ พงประเสริฐ [10] แตกต่างกับกับค่าสี ซึ่งวิธีการแช่้อมด้วยความเข้มข้นคงที่ ร่วมกับระบบสูญญากาศและแช่สารละลายกลีเซอรอลพร้อมกับการเปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็กมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีสูงกว่าวิธีการแช่้อมด้วยความเข้มข้นคงที่แต่ไม่เปิดระบบฟองอากาศขนาดเล็กในการแช่สารละลายกลีเซอรอล พิจารณาเนื้อสัมผัสพบว่า เลมอนที่แช่้อมทั้ง 3 วิธีการแช่้อม และ 2 วิธีการแช่กลีเซอรอลเมื่อนำไปอบแห้งแบบเพิ่มระดับ ที่อุณหภูมิ 80 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 และ 1 ชั่วโมงตามลำดับ เมื่ออบแล้วนำมาวัดค่าความแข็ง พบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการเปิดระบบฟองอากาศและไม่เปิดฟองอากาศ ที่ทั้ง 3 วิธีการแช่้อม ทุกวิธีการแช่กลีเซอรอลแบบเปิดระบบผลิตฟองอากาศจะมีค่าความแข็งที่ต่ำกว่าเลมอนแช่้อมอบแห้งที่เปิดระบบผลิตฟองอากาศขณะแช่กลีเซอรอลที่ทุกวิธีการแช่้อม และ เมื่อเปรียบเทียบความแข็งระหว่างวิธีการแช่้อมทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายในการแช่้อม จะมีค่าความแข็งต่ำที่สุด (70.38 และ 59.91 นิวตัน สำหรับวิธีการแช่กลีเซอรอลแบบไม่เปิดระบบผลิตฟองอากาศและเปิดระบบผลิตฟองอากาศ ตามลำดับ) และ วิธีการแช่้อมที่ความเข้มข้นคงที่ มีค่าความแข็งสูงที่สุด (118.98 และ 98.63 นิวตัน สำหรับวิธีการแช่กลีเซอรอลแบบไม่เปิดระบบผลิตฟองอากาศและเปิดระบบผลิตฟองอากาศ ตามลำดับ)

4.8 สรุปผล

การประยุกต์ใช้เทคนิคฟองอากาศขนาดเล็กร่วมกับการปรับปรุงคุณภาพ

การใช้ปรับปรุงของคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องผลิตฟองอากาศขนาดเล็กพบว่าที่ทุกวิธีการเชื่อมมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าแบบที่ไม่เปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็กร่วมด้วย หากพิจารณาในแง่ของวอเตอร์แอกติวิตี พบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตีของการใช้ระบบฟองอากาศที่ทุกๆ วิธีการเชื่อมค่าวอเตอร์แอกติวิตีสูงกว่าวิธีการที่ไม่เปิดฟองอากาศขนาดเล็กร่วมด้วย อย่างไรก็ตามหากพิจารณาค่าสีของเปลือกพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่การเปิดระบบฟองอากาศร่วมด้วย มีค่าน้อยกว่าแบบที่ไม่เปิดฟองอากาศร่วมด้วย ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ฟองอากาศขนาดเล็กมีส่วนช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้นุ่มขึ้น และสามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกหลังการอบแห้งได้ แต่หากพิจารณาค่าวอเตอร์แอกติวิตีพบว่า ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์ที่เปิดระบบผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก



เอกสารอ้างอิง

- [1] ประมุข อุดมทะเลขกะ และคณะ. การวิจัยเชิงบูรณาการการจัดการคุณภาพน้ำในคลองพระพิมลราชา เพื่อการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของชุมชน ตลาดน้ำไทรน้อย อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. 2559
- [2] Liming Hu, Zhiran Xia. “Application of ozone micro-nano-bubbles to groundwater remediation” **Journal of Hazardous Materials**, vol. 342. August 2017. 446-453.
- [3] นิรนาม. Greater Surface Area. [Online]. Available : <http://www.nano1.co.jp/en/nano1/bubbles.html>
เข้าถึงเมื่อ 5 กันยายน 2561
- [4] Zhiwei Zhu, Da-Wen Sun, Zi Zhang, Yifei Li, Lina Cheng. “Effects of micro-nano bubbles on the nucleation and crystal growth of sucrose and maltodextrin solutions during ultrasound-assisted freezing process” **LWT - Food Science and Technology**, vol. 92. 2018. 404-401.
- [5] นิรนาม. Longer retention . [Online]. Available : <http://www.nano1.co.jp/en/nano1/bubbles.html>
เข้าถึงเมื่อ 5 กันยายน 2561
- [6] นุชเนตร นวลอ่อน., Hideki Aoyagi., จำนวนค์ อุทัยบุตร และ กานดา หวังชัย. “ผลของไม้มครบับเบิลโอโซนร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิคต่อการลดปริมาณสารอีโทออคค่างในส้มพันธ์สายน้ำผึ้ง.” **Postharvest Newsletter**. 2557. ฉบับที่ 2. : 1-3
- [7] นิรนาม. ultrafineGaLF . [Online]. Available : <http://jp.idec.com/ja/technology/finebubble/ultrafineGALF.html>
เข้าถึงเมื่อ 5 กันยายน 2561
- [8] ชิดชนก สุขศรีไพศาล. “การผลิตและเก็บรักษาขุนเชียงหมูลดไขมันพร้อมบริโภคนโดยใช้เทคโนโลยีเฮอร์เดล” “วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีกการอาหาร) ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2559.
- [9] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. “วอเตอร์แอกติวิตี.” [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0551/water-activity-ของน้ำ>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [10] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. “Water Activity กับการควบคุมอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร.” [Online]. Available : <http://www.phtnet.org/2003/09/26/>
- [9] ศิวพร ศิวเวช. วัตถุดิบอาหารเล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2529. 182 น.
- [10] Supaluk Sorapukdee, Chanpen Uesakulrungrueng, Komkhae Pilasombut. “Effects of Humectant and Roasting on Physicochemical and Sensory Properties of Jerky Made from Spent Hen Meat.” “**Korean journal for food science of animal resources.**” Vol. 36(3). 2016. 326–334
- [11] Varnam, A.H. 1995. Meat and meat products: Technology, chemistry and microbiology. London: Chapman & Hall
- [12] Budavari, S. 1989. The Merck manual. 11th ed. New Jersey: Merck and Co. 132 pp
- [13] นุชเนตร นวลอ่อน, Hideki Aoyagi, จ่านงค์ อุทัยบุตร และ กานดา หวังชัย. “ผลของไมโครบับเบิลโอโซนร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิกต่อการลดปริมาณสารอีโทอนตกค้างในสัมพันธ์สายน้ำผึ้ง.” **Postharvest Newsletter.** 2557. ฉบับที่ 2. : 1-3
- [14] ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ, นพรัตน์ ทัดมาลา, วาริช ศรีละออง. “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีฟองอากาศขนาดนาโนและไมโครร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์เพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และรักษาคุณภาพของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค.” “**วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.**” ฉบับที่ 43(2)พิเศษ. 61-64






ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>พระจอมเกล้าลาดกระบัง</p>	<p>Food Inno Service Center, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of technology</p>	
<p>ตัวอย่าง</p>	<p>น้ำหนัก ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Weight, Size, Geometric Mean Diameter)</p> <p style="text-align: right;">ก.1</p> <p>ผลเลมอน</p>  <p style="text-align: center;">รูปที่ 1 ผลเลมอนสด</p>	
<p>อุปกรณ์</p>	<p>เครื่องชั่ง 15 kg (GW-15K, UWE Geniweiqhes, Germany) เวอร์เนียร์ คาลิเปอร์ แบบดิจิตอล (AD-5764A-150, AND, Japan)</p>	
<p>การเตรียมตัวอย่าง</p>	<p>ผลเลมอนสด</p>	
<p>วิธีการ</p>	<p>- น้ำหนัก สุ่มตัวอย่างเลมอนจากทั้งหมด 3 ผล จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักก่อนการแปรรูป</p> <p>- สุ่มตัวอย่างเลมอนจากทั้งหมด 3 ผล มาวัดขนาด วัดความยาว (L, mm) ความกว้าง (W, mm) ความหนา (T, mm)</p>  <p>รูปที่ 2 กำหนดความยาวแต่ละด้าน โดย L คือด้านที่ยาวที่สุด เป็นความยาว (mm) W คือด้านที่ยาวที่สุดตั้งฉากกับความยาว L เป็น ความกว้าง (mm) T คือด้านที่ยาวที่สุดตั้งฉากกับความยาว L และ T (mm)</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>การวิเคราะห์ผล</p>	<p>-น้ำหนัก หาค่าเฉลี่ยและแสดงผลเป็นค่าน้ำหนัก (g) และ S.D. จากการวัด 3 ซ้ำ</p> <p>-ขนาด แสดงผลเป็นค่า L W T โดยนำมาหาค่าเฉลี่ย (mm) และ S.D.จากการวัด 3 ซ้ำ</p> <p>-GMD นำค่า L W T ที่ได้จากเลมอน 3 ลูก มาคำนวณดังสูตร</p> $GMD = (LWT)^{1/3}$ <p>โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และรายงานผลค่าเป็น เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (มิลลิเมตร)</p>
------------------------------	--



 <p>พระจอมเกล้าลาดกระบัง</p>	<p>Food Inno Service Center, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</p>	
	<p>ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ Total Soluble Solids methods</p>	<p>ก.2</p>
<p>ตัวอย่าง</p>	<p>เลมอนสด เลมอนแช่แข็ง สารละลายออสโมติก</p>	
<p>อุปกรณ์</p>	<p>เครื่อง Refractometer (HI 96800, HANNA, Romania) เครื่องปั่น (Pro Blend4, Philips, Indonesia)</p>  <p>รูปที่ 1.1 เครื่อง Refractometer</p>	
<p>การเตรียมตัวอย่าง</p>	 <p>รูปที่ 1.2 การเตรียมตัวอย่างก่อนการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของเนื้อเลมอน</p> <p>สำหรับตัวอย่าง เลมอน และเลมอนแช่แข็งสารละลายออสโมติก สุ่มตัวอย่าง 30 กรัม มาปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น เบลอร์ 5 เป็น 2 นาที คั้นเนื้อแยกของเหลวด้วยผ้าขาวบาง</p> <p>สำหรับ สารละลายออสโมติก สุ่มตักตัวอย่างสารละลายออสโมติก 30 กรัม จากทั่วทั้งภาชนะ</p>	
<p>วิธีการ</p>	<p>ปรับมาตรฐานเครื่องมือเป็น 0°Brix โดยหยดน้ำกลั่นลงบน จุดที่ 1 และกด Read จน จอแสดงผลเป็น 0°Brix เช็ดทำความสะอาดด้วยกระดาษทิชชูแล้ว วัดค่าปริมาณ ของแข็งที่ละลายได้ของตัวอย่าง วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ</p>	
<p>การวิเคราะห์ผล</p>	<p>หาค่าเฉลี่ยเป็นค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์) ทศนิยม 1 ตำแหน่ง และ S.D. จากการวัด 3 ซ้ำ</p>	

 <p>KMUTL พระจอมเกล้าลาดกระบัง</p>	<p>Food Inno Service Center, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</p>	
	<p>พีเอช pH methods</p>	<p>ก.3</p>
ตัวอย่าง	<p>เลมอน เลมอนแช่สารละลายออสโมติก สารละลายออสโมติก</p>	
อุปกรณ์	<ol style="list-style-type: none"> 1. เครื่อง pH meter (Lab 855, SI Analytics, Germany) 2. เครื่องปั่น (Pro Blend4, Philips, Indonesia) 3. สารละลายบัฟเฟอร์ pH  <p>รูปที่ 1.1 เครื่อง pH meter</p>	
การเตรียมตัวอย่าง	 <p>รูปที่ 1.2 การเตรียมตัวอย่างก่อนการวัดพีเอช ของ เนื้อเลมอน สำหรับตัวอย่าง เลมอนสด และ เลมอนแช่สารละลายออสโมติก สุ่ม 30 กรัม มาปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น เบลอร์ เป็นเวลา 2 นาที คั้นแยกของเหลว ด้วยผ้าขาวบาง สำหรับ สารละลายออสโมติก สุ่มตักตัวอย่างสารละลายออสโมติก 30 กรัม จากทั่วทั้งภาชนะ</p>	
วิธีการ	<p>ปรับมาตรฐานเครื่องมือ ด้วยบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรดต่างที่ 4 7 และ 10 จากนั้นวัดค่าพีเอชตัวอย่าง โดยแต่ละครั้งที่วัดค่าตัวอย่างใหม่ต้องล้างโพรบวัด ด้วยน้ำกลั่นและซับเบาๆ</p>	
การวิเคราะห์ผล	<p>หาค่าเฉลี่ยเป็นค่า pH ทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ S.D. จากการวัด 3 ซ้ำ</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>KMITL พระจอมเกล้าลาดกระบัง</p>	<p>Food Inno Service Center, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</p>	
	<p>ความชื้น Moisture content</p>	<p>ก.4</p>
ตัวอย่าง	<p>เลมอนสด เลมอนแช่สารละลายออสโมติก</p>	
อุปกรณ์	<p>1. เครื่องปั่น (Pro Blend4, Philips, Indonesia) 2. Moisture Analyser (MA37-1, Sartorius, China)</p>  <p>ภาพที่ 1 อุปกรณ์วัดความชื้นด้วยอินฟราเรด</p>	
การเตรียมตัวอย่าง	<p>สุ่มตัวอย่างมาปั่นละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกัน เก็บในภาชนะปิดสนิท</p>  <p>ภาพที่ 2 ตัวอย่างมะม่วงปั่นละเอียด</p>	
วิธีการ	<p>เลมอนปั่น 3 – 5 g วางเรียงบนกระดาษอะลูมิเนียมที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร และวัดปริมาณความชื้นด้วย เครื่อง Moisture Analyser ด้วยความร้อน 105 °C วัด 3 ซ้ำ</p>	
การวิเคราะห์ผลและการรายงานผล	<p>หาค่าเฉลี่ยเป็นค่า ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก) ทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ S.D. จากการวัด 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น</p>	
เอกสารอ้างอิง	<p>-</p>	



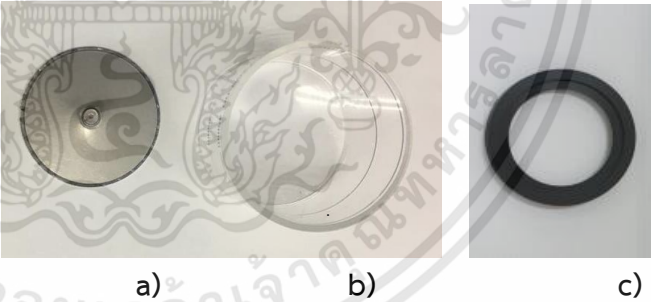

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>KMUTL พระจอมเกล้าลาดกระบัง</p>	<p>Food Inno Service Center, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</p>	
	<p>ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น</p> <p>Water loss and Solid gain</p>	<p>ก.5</p>
ตัวอย่าง	<p>เลมอนสด เลมอนแช่สารละลายออสโมติก</p>	
อุปกรณ์	<p>ใช้อุปกรณ์เดียวกันกับหัวข้อ ก.5</p>	
การเตรียมตัวอย่าง	<p>เตรียมตัวอย่างเดียวกันกับหัวข้อ ก.5</p>	
วิธีการ	<p>วิธีการทำเช่นเดียวกันกับหัวข้อ ก.5</p>	
การวิเคราะห์ผล	<p>นำความชื้นจากหัวข้อ ก.4 มาคำนวณค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นดังสูตรที่</p> $\%ML = \frac{M_0 - M}{W} \times 100$ $\%SG = \frac{S - S_0}{W} \times 100$ <p>เมื่อ</p> <p>M_0 คือ น้ำหนักของน้ำในตัวอย่างเริ่มต้น (g)</p> <p>M คือ น้ำหนักของน้ำในตัวอย่างหลังแช่อิ่ม (g)</p> <p>w คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)</p> <p>$\%ML$ คือ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำขณะแช่อิ่ม</p> <p>S คือ น้ำหนักของแข็งหลังแช่อิ่ม (g)</p> <p>S_0 คือ น้ำหนักของแข็งของตัวอย่างเริ่ม (g)</p> <p>$\%SG$ คือ เปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เพิ่มขึ้นขณะแช่อิ่ม</p> <p>เมื่อได้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและของแข็งที่เพิ่มขึ้น ขณะทำการแช่อิ่มให้นำมาสร้างกราฟระหว่าง $\%ML$ หรือ $\%SG$ และเวลา</p>	
เอกสารอ้างอิง	<p>มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.2867) เล่ม 1 ไซมัน โปรตีน วิเคราะห์ ปริมาณความชื้น. วันที่สืบค้น 5 กรกฎาคม 2561. จาก https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf_files/tis/a2867_1-25xx.pdf</p>	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>พระจอมเกล้าลาดกระบัง</p>	Food Inno Service Center, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	
	วอเตอร์แอกทีวิตี้ Water Activity Method	ก.6
ตัวอย่าง	เลมอนแช่อีมอบแห้ง	
อุปกรณ์	เครื่องวัดวอเตอร์แอกทีวิตี้ LabSwift-aw (CH-8853, Novasina, Switzerland)	
	 <p>รูปที่ 1 เครื่องวัดวอเตอร์แอกทีวิตี้ LabSwift-aw (CH-8853, Novasina, Switzerland)</p>	
การเตรียมตัวอย่าง	สุ่มตัวอย่างเลมอนแช่อีมอบแห้ง 3 – 5 กรัม หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ บรรจุลงใน ตลับพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่าง	
	 <p>รูปที่ 2 ตัวอย่างเลมอนแช่อีมอบแห้งบรรจุตลับ</p>	
วิธีการ	ตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ในตลับพลาสติก ใส่ในเครื่องวัดวอเตอร์แอกทีวิตี้	
การวิเคราะห์ผล	รายงานค่าเฉลี่ยเป็นค่าวอเตอร์แอกทีวิตี้ ทศนิยม 3 ตำแหน่ง และ S.D. จากการวัด 3 ซ้ำ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>KMUTL พระจอมเกล้าลาดกระบัง</p>	<p>Food Inno Service Center, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</p>	
	<p>การวิเคราะห์สี Color Analysis Method</p>	<p>ก.7</p>
<p>ตัวอย่าง</p>	<p>เลมอนสด เลมอนแช่อิ่มอบแห้ง</p>	
<p>อุปกรณ์</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. เครื่องวัดสี Hunter Lab <div data-bbox="565 491 1157 993">  <p>Opaque cover</p> </div> <p>ภาพที่ 1 เครื่องวัดสี Hunter Lab (Color Flex, Color Global, U.S.A)</p> 2. ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดของแข็งขนาดเล็ก (ใส่ในแก้วควอตซ์ได้) <div data-bbox="624 1166 1270 1468">  <p>a) b) c)</p> </div> <p>ภาพที่ 2 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดของแข็งขนาดเล็ก ประกอบด้วย a) ดิสก์สีขาว b) แก้วควอตซ์ c) แท่นสำหรับวางแก้วควอตซ์ขนาด 1.25 นิ้ว</p> 3. แผ่นปรับเทียบค่าสีก่อนการตรวจวัด <div data-bbox="565 1651 1314 1936">  <p>(a.) (b.)</p> </div> 	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>KMUTL พระจอมเกล้าลาดกระบัง</p>	<p>Food Inno Service Center, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</p>	
	<p>การวิเคราะห์สี Color Analysis Method</p>	<p>ก.7</p>
	<p>ภาพที่ 3 Black glass standard (a.) และ White tile standard (b.)</p>	
<p>การเตรียมตัวอย่าง</p>	<p>หั่นตัวอย่างเลมอนให้เปลือกและเนื้อแยกจากกัน วางตัวอย่างลงในแก้วควอตซ์ ให้ตัวอย่างปิดกันแก้วให้สนิทไม่มีช่องว่าง ระหว่างตัวอย่าง โดยวางให้ปริมาณตัวอย่างสูงจากกันแก้ว 25 มิลลิเมตร ปิดทับด้วยดิสก์สีขาวและครอบด้วย opaque cover</p>  <p>ภาพที่ 4 ตัวอย่างเลมอนที่หั่นแยกเปลือกและแยกเนื้อ</p>	
<p>วิธีการ</p>	<p>วัดค่าสีโดยวัดแยกเปลือก และ เนื้อ โดยใช้ระบบ CIE L* a* b* โดยใช้แท่นสำหรับวางแก้วควอตซ์ขนาด 1.25 นิ้ว โดยปรับเทียบค่าสีก่อนการตรวจวัดด้วย Black glass standard และ White tile standard ตามลำดับ แล้ววัดค่าสีของตัวอย่าง (วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และคำนวณหาความแตกต่างของสีทั้งหมด)</p>	
<p>การวิเคราะห์ผล</p>	<p>ค่า L* คือ ค่าความสว่าง (L* เท่ากับ 100 คือสีขาว และ L* เท่ากับ 0 คือสีดำ)</p> <p>ค่า a* คือ ค่าสีแดง (เมื่อมีค่าเป็นบวก) และค่าสีเขียว (เมื่อมีค่าเป็นลบ)</p> <p>ค่า b* คือ ค่าสีเหลือง (เมื่อมีค่าเป็นบวก) และค่าสีน้ำเงิน (เมื่อมีค่าเป็นลบ)</p> $\Delta E^* = [(L_{\text{Sample}}^* - L_0^*)^2 + (a_{\text{Sample}}^* - a_0^*)^2 + (b_{\text{Sample}}^* - b_0^*)^2]^{1/2}$ <p>L_{Sample}* คือ ค่าความสว่างของเลมอนหลังการแช่สารละลายออสโมติก</p> <p>L₀* คือ ค่าความสว่างของเลมอนสด</p>	

 <p>พระจอมเกล้าลาดกระบัง</p>	Food Inno Service Center, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	
	การวิเคราะห์สี Color Analysis Method	ก.7
	a_{Sample}^* คือ ค่าสีแดงของเลมอนหลังการแช่สารละลายออสโมติก a_0^* คือ ค่าสีแดงของเลมอนสด b_{Sample}^* คือ ค่าสีเหลืองของเลมอนหลังการแช่สารละลายออสโมติก b_0^* คือ ค่าสีเหลืองของเลมอนสด หาค่าเฉลี่ยเป็นค่าความแตกต่างของสี ทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ SD จากการวัด 3 ซ้ำ ดังสมการต่อไปนี้	
เอกสารอ้างอิง	- ดัดแปลงจาก Phoungchandang, S., and Saentaweasuk, S. 2011. "Effect of two stage, tray and heat pump assisted-dehumidified drying on drying characteristics and qualities of dried ginger." Food and Bioproducts Processing. 89: 419 - 437.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>KMUTL พระจอมเกล้าลาดกระบัง</p>	Food Inno Service Center, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	ก.8
	การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสแบบกดโดยใช้หัววัดแบบแผ่นแบน Texture Profile Analysis	
ตัวอย่าง	เลมอนแช่อิ่มอบแห้ง	
อุปกรณ์	เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer (TA.XT2i, Stable Micro System, UK) หัวกดสแตนเลสสตีลทรงกระบอกแบน (P/100) <div style="text-align: center;">  <p>(a.)</p> </div> <p style="text-align: center;">ภาพที่ 1 หัวกดสแตนเลสสตีลทรงกระบอก</p>	
การเตรียมตัวอย่าง	สุ่มตัวอย่างเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง ตัดตัวอย่าง 1/4 ชิ้นของเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง โดยวางบริเวณด้านเนื้อลงติดกับแผ่นรองด้านล่าง และ หันด้านเปลือกขึ้นด้านบน	
วิธีการ	<p>การตั้งค่า</p> <ul style="list-style-type: none"> ความเร็วก่อนการทดสอบ : 1 มิลลิเมตร / วินาที ความเร็วในการทดสอบ: 0.2 มิลลิเมตร / วินาที ความเร็วหลังการทดสอบ: 5 มิลลิเมตร / วินาที <p>วิธีการวัด</p> <p>วางตัวอย่างด้านเนื้อเลมอนลงติดกับแผ่นรองด้านล่างบริเวณกึ่งกลางของแท่นวางตัวอย่าง และ หันด้านเปลือกขึ้นด้านบน โดยกด 2 ครั้ง ด้วยระยะแรงกด 50% strain เมื่อแผ่นกดพ้นวัสดุ และ รอเวลาเป็นระยะ 5 วินาที เพื่อให้คลายความเครียด แล้วกดซ้ำลงไปอีกด้วยความเร็วหัวกด และ เปรอเซ็นต์ความเครียด เท่าเดิม</p>	

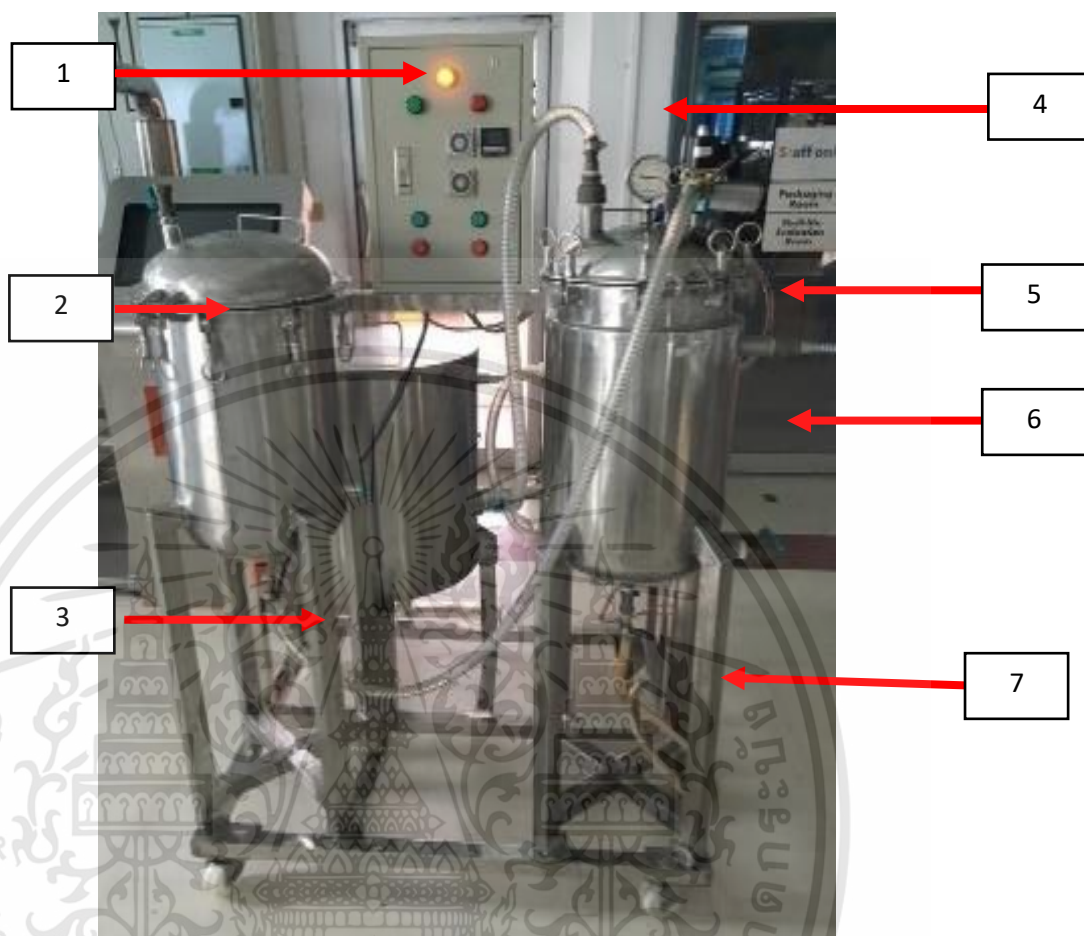
 <p>KMUTL พระจอมเกล้าลาดกระบัง</p>	<p>Food Inno Service Center, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</p> <p>การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสแบบกดโดยใช้หัววัดแบบแผ่นแบน</p> <p>Texture Profile Analysis</p> <p>ก.8</p>
<p>วิธีการ</p>	 <p>ภาพที่ 2 การวัดเนื้อสัมผัสตัวอย่างเลมอนแช่อิ่มอบแห้ง</p>
<p>การวิเคราะห์ผล</p>	<p>กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรง (N) กับเวลาของ การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบบ TPA แสดงในภาพที่ 3</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ความแข็ง (Hardness, N) คือ จุดที่แรงสูงสุดที่ใช้ในการกดครั้งแรก 2) ค่าการยึดเกาะตัวกันเอง (Cohesiveness) คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ A2 ต่อ A1 ดังแสดงในภาพ 3) ค่าการยึดติด (Adhesiveness, N.s) คือ พื้นที่ A3 ดังแสดงในภาพ 4) ค่าความเหนียว (Gumminess, N) คือ ค่าความเหนียว เป็นผลคูณของความแข็งกับการเกาะตัวกัน  <p>ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรง(N) และ เวลา (s)</p>
<p>เอกสารอ้างอิง</p>	<p>- ปานมนัส ศิริสมบุรณ์. (2554). เทคโนโลยีเนื้อสัมผัสของผลผลิตเกษตรและอาหาร. กรุงเทพมหานคร: มิน เซอร์วิส ซัพพลาย.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องแช่อบระบบสุญญากาศ



รูปที่ 1 ส่วนประกอบเครื่องแช่อบสุญญากาศ (ด้านหน้า)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบ อุปกรณ์ และหน้าที่ของเครื่องแช่อบสุญญากาศ (ด้านหน้า)

หมายเลข	อุปกรณ์	หน้าที่
1	กล่องควบคุมอุปกรณ์	ป้อน หรือกำหนดข้อมูลอุณหภูมิ และเวลา ในการทำสุญญากาศ
2	ถังพักของเหลว	พักน้ำเชื่อมก่อนเข้าสู่ระบบ
3	สายยางสำหรับลำเลียงของเหลว	ลำเลียงของเหลวจากถังพักไปยังถัง สุญญากาศ
4	สายยางดูดอากาศ	ดูดอากาศออกจากถังหมายเลข 5 เพื่อให้ ระบบเป็นสุญญากาศ
5	ถังสุญญากาศ	ใส่ตัวอย่างก่อนทำสุญญากาศและแช่อบ
6	ถัง 2 ชั้นสำหรับเติมน้ำควบคุม อุณหภูมิ	ควบคุมอุณหภูมิของระบบแช่อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	สายยางสำหรับถ่ายของเหลวออก	ถ่ายเทของเหลวทิ้ง
---	----------------------------	-------------------



รูปที่ 2 ส่วนประกอบเครื่องแช่ฮีมสุญญากาศ (ด้านหลัง)

ตารางที่ 1 อธิบายภาพและเครื่องแช่ฮีม(ด้านหลัง)

หมายเลข	อุปกรณ์	หน้าที่
8	สายยางถ่ายเทน้ำที่หล่อเลี้ยงปั๊ม	ถ่ายเทน้ำที่เลี้ยงปั๊มกลับสู่ถังพัก
9	ปั๊ม liquid ring	ดูดอากาศในถังให้กลายเป็นสถานะสุญญากาศ
10	สายยางสำหรับดูดน้ำที่หล่อเลี้ยงปั๊ม	ลำเลียงน้ำจากถังพักไปเลี้ยงปั๊ม
11	ถังพักน้ำสำหรับดูดเลี้ยงปั๊ม	กักเก็บน้ำสำหรับปั๊ม



12

(a)



(b)



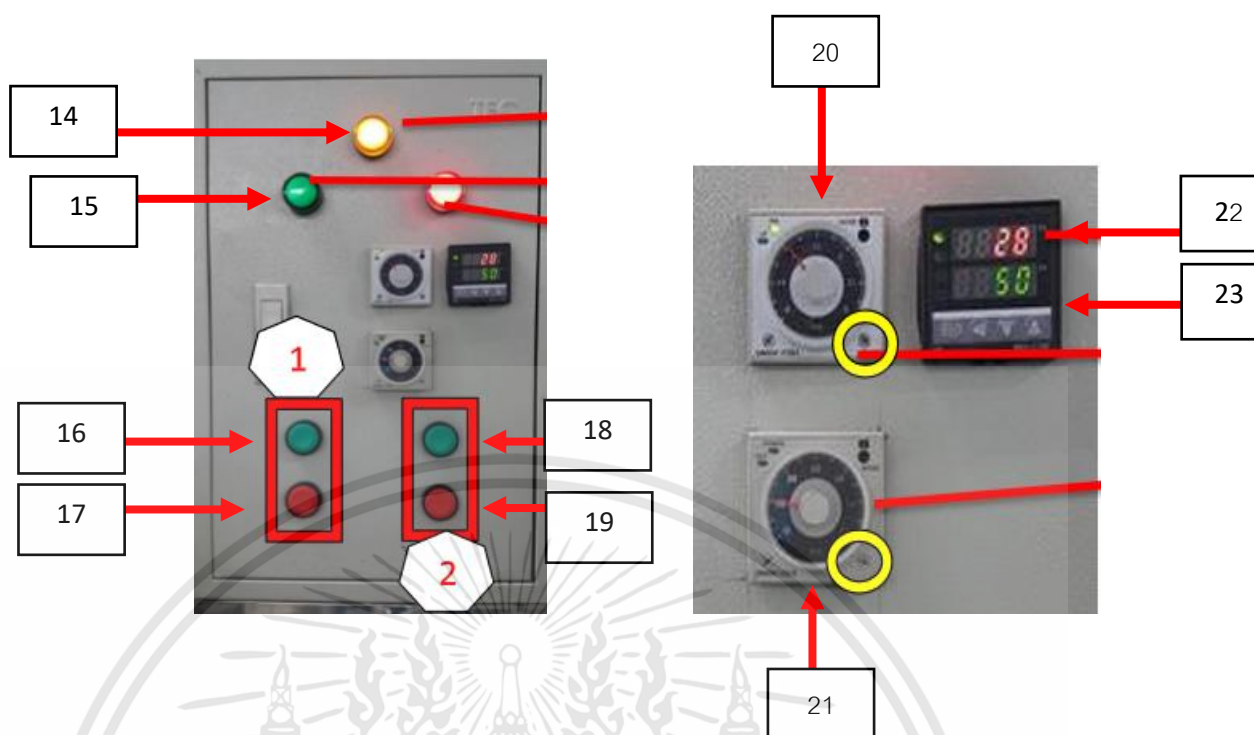
(c)

13

รูปที่ 3 ส่วนประกอบเครื่องโดยที่ (a) เป็นบริเวณด้านข้าง (b) เป็นมุมบนของถังพักน้ำเชื่อม และ (c) เป็นมุมบนของถังสุญญากาศ

หมายเลข	อุปกรณ์	หน้าที่
12	ตัวปรับความดันสุญญากาศ	ปรับความดันสุญญากาศมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 bar
13	ตะแกรงใส่ตัวอย่าง	ซ้อนตัวอย่างหลังแช่ต้มเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเลข	อุปกรณ์	หน้าที่
14	ไฟระบบ	แสดงว่าเครื่องกำลังทำงาน หรือ ปิดอยู่
15	ไฟปั๊ม	แสดงว่าปั๊มทำงานหรือ ปิดอยู่
16	ปุ่มเปิดปั๊ม	เปิดปั๊มให้ดูดอากาศ
17	ปุ่มปิดปั๊ม	หยุดการทำงานของปั๊ม
18	ปุ่มเปิดอุณหภูมิ	เปิดระบบควบคุมอุณหภูมิ
19	ปุ่มปิดอุณหภูมิ	หยุดการควบคุมอุณหภูมิ
20	อุปกรณ์ตั้งเวลาอุณหภูมิ	กำหนดเวลาที่ควบคุมอุณหภูมิ
21	อุปกรณ์ตั้งเวลาสุญญากาศ	กำหนดเวลาทำสุญญากาศ
22	หน้าจออุณหภูมิ (actual temp)	แสดงอุณหภูมิจริงภายในถึงสุญญากาศ (actual temp)
23	หน้าจออุณหภูมิที่กำหนด (setting temp)	แสดงอุณหภูมิที่ตั้ง (setting temp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายการใช้เครื่อง

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับใช้เครื่อง

1. ใส่ตัวอย่างที่ต้องการลงในอุปกรณ์หมายเลข 13 จากนั้นใส่ตะแกรงที่เตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้วลงในถักสุญญากาศหมายเลข 5 ปิดฝาถังให้สนิทโดยการขันน็อตด้วยไขควงให้แน่นพอดี
2. เทตัวอย่างสารละลายที่ต้องการเตรียมใส่ลงในถังพักของเหลวหมายเลข 2 ปิดฝาถังให้สนิทโดยการขันน็อตด้วยไขควง
3. เติมน้ำสะอาดลงในถังหมายเลข 11 ให้ได้ระดับที่ครึ่งถัง ระวังไม่ให้มีเศษตะกอนตกค้างเพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้นกับปั๊ม สุญญากาศ

ขั้นตอนการเชื่อมต่อระบบสุญญากาศ

1. เสียบปลั๊กและเปิดตู้ ยกคัตเอาต์ขึ้นเพื่อให้ไฟเข้าระบบ จากนั้นปิดตู้สังเกตไฟสีเขียว หรือไฟระบบ หรืออุปกรณ์หมายเลข 14 เมื่อไฟติดแสดงว่าเครื่องพร้อมทำงาน
2. ตั้งค่าความดันที่ต้องการที่อุปกรณ์ตั้งความดันหมายเลข 12 และตั้งค่าเวลาที่ต้องการให้ระบบพักไว้ในสถานะสุญญากาศในอุปกรณ์หมายเลข 21 ซึ่ง สามารถเปลี่ยนหน่วยที่ต้องการได้โดยใช้ไขควงหมุนหน่วยเวลาในวงกลมสีเหลือง ในอุปกรณ์หมายเลข 21 เมื่อตั้งความดันและเวลาเรียบร้อยแล้วให้กดปุ่มเปิดระบบปั๊มสุญญากาศหมายเลข 16
3. เมื่อเครื่องเปิดระบบความดันสุญญากาศที่ต้องการแล้วรอเวลา จนกระทั่งเครื่องดูดสารละลายที่อยู่ในถังพักของเหลวไปยังถังสุญญากาศจนหมด ไม่หลงเหลือตามสาย จึงกดปุ่มปิดเครื่องที่อุปกรณ์หมายเลข 17
4. เมื่อของเหลวถ่ายเทไปยังถังพักสุญญากาศเรียบร้อยแล้ว จึงปิดไฟระบบโดยการสับสวิทช์ภายในตู้ จากนั้นถอดปลั๊กออก เปิดวาล์วที่อยู่เหนือสายยางในอุปกรณ์หมายเลข 7 ให้อากาศภายนอกถ่ายเทเข้าสู่ถังสุญญากาศภายใน เพื่อให้ความดันภายในถังเป็นความดันที่บรรยากาศโดยระวังไม่ให้สารละลายภายในไหลออกจากถัง
5. ใช้ไขควงขันน็อตเพื่อเปิดฝาถังสุญญากาศออก และทิ้งตัวอย่างไว้ที่สภาวะความดันบรรยากาศปกติเมื่อต้องการวัดคุณภาพ สามารถเปิดฝาและยกตะกร้าใส่ตัวอย่างออกมาเพื่อวัดคุณภาพได้เลย

เครื่องทำแห้งอัจฉริยะ Intelligent Drying

รายละเอียดเครื่องทำแห้ง

- ขนาดภายนอกเครื่องทำแห้ง	: 2.15 X 1.35 X 2.68 เมตร ³
- ขนาดห้องทำแห้ง	: 1.02 X 1.02 X 1.3 เมตร ³
- ภาดทำแห้งมีขนาด	: 0.6 X 0.6 เมตร ²
- จำนวนภาด	: 10 ภาด
- วัสดุที่ใช้ทำส่วนที่สัมผัสผลิตภัณฑ์	: สแตนเลส 304
- สามารถใส่ของสดได้สูงสุด	: 10 กิโลกรัม

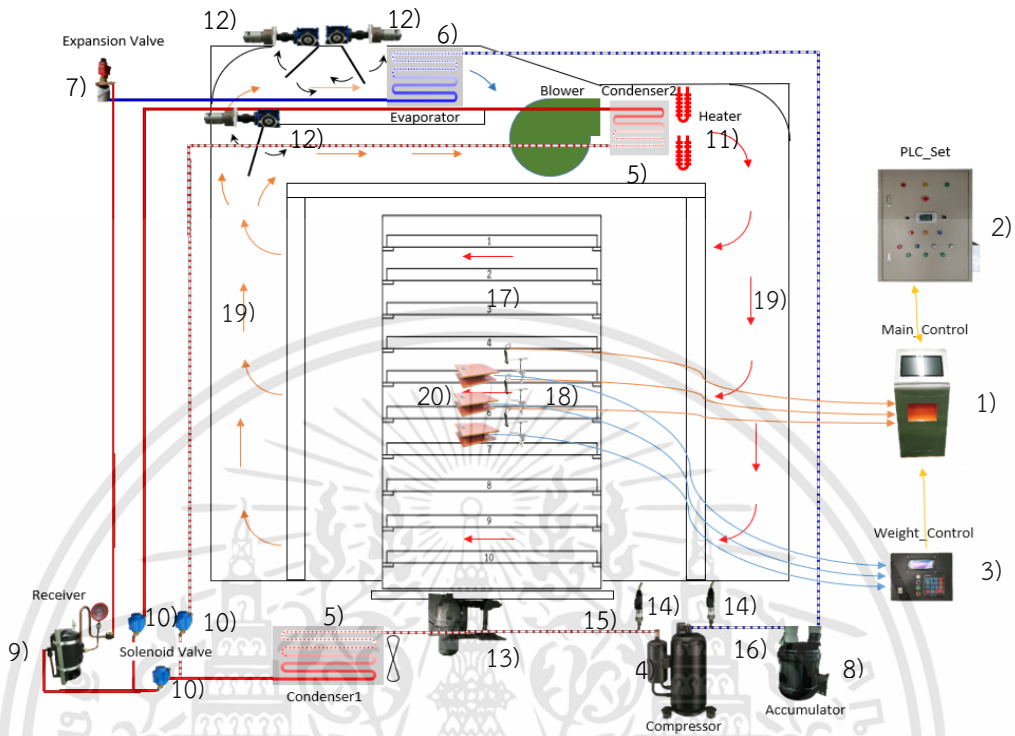
ขอบเขตการทำงานของเครื่องทำแห้ง

- อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งในช่วง	: 40 - 70 องศาเซลเซียส
- ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ	: ± 2 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม	: 0.5 - 1.3 เมตรต่อวินาที
- วัดอุณหภูมิที่ผิวผลิตภัณฑ์	: 3 ตำแหน่ง
- วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องทำแห้ง	: 1 ตำแหน่ง
- วัดน้ำหนักผลิตภัณฑ์ขณะทำแห้ง	: 3 ตำแหน่ง
- ความเร็วในการหมุนขึ้นทำแห้ง	: 0.147 เมตรต่อวินาที

ลักษณะการทำงานของเครื่องทำแห้ง

เครื่องทำแห้งอัจฉริยะเป็นเครื่องทำแห้งที่พัฒนาขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการวิจัยกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อน โดยเครื่องทำแห้งอัจฉริยะได้เพิ่มฟังก์ชันการควบคุมอุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์และการวัดค่าความชื้นที่เปลี่ยนไปขณะทำแห้งได้ และอีกหนึ่งรูปแบบการทำงานของเครื่องทำแห้งอัจฉริยะที่สามารถทำแห้งแบบเป็นขั้นตอนโดยการกำหนดอุณหภูมิอากาศและระยะเวลาในการทำแห้งได้ 3 ขั้นตอน นอกจากนั้นโปรแกรมการทำงานของเครื่องทำแห้งอัจฉริยะสามารถเก็บข้อมูลการทำแห้งในส่วนของอุณหภูมิผิวของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ น้ำหนักและความชื้นของผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นยังคำนวณหาอัตราการทำแห้งให้อัตโนมัติ

ส่วนประกอบของระบบการควบคุมการทำงานของเครื่องทำแห้ง



รูปที่ 1 ไดอะแกรมของเครื่องทำแห้งอัจฉริยะ

- | | |
|---|--|
| 1) ชุดควบคุมหลัก (Main control) | 11) ฮีทเตอร์ (Heater) |
| 2) ชุด PLC (PLC set) | 12) มอเตอร์แดมเปอร์ (Motor damper) |
| 3) ชุดควบคุมและแปลงสัญญาณน้ำหนัก (Weight control) | 13) มอเตอร์หมุนชั้นอบ |
| 4) คอมเพรสเซอร์ (Compressors) | 14) เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure sensor) |
| 5) คอนเดนเซอร์ (Condenser) | 15) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิสารทำความเย็นด้านความดันต่ำ (Suction temperature sensor) |
| 6) เครื่องระเหย (Evaporator) | 16) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิสารทำความเย็นด้านความดันสูง (Discharge Temperature sensor) |
| 7) อุปกรณ์ลดแรงดัน (Expansion Valve) | 17) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (Temperature and Relative Humidity sensor) |
| 8) ถังแยกไอสารทำความเย็น (Suction Line Accumulator) | 18) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส (Infrared temperature sensor) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 9) ถังรับสารทำความเย็นเหลว (Liquid Receiver) 19) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศ (Temperature sensor)
- 10) โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) 20) เซนเซอร์น้ำหนัก (Load cell sensor)





ภาคผนวก ค.

งานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

Siraphat Keetrakul, Panmanas Sirisomboon and Pimpen Pornchaloempong. 2017.
Osmotic techniques Application for osmotic dehydration of dry lemon candy. The
10th Thai society of Agricultural Engineering International Conference. 7-9 September.
48-50.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาว ศิริภัสสร กี่ตระกูล

รหัสประจำตัว 59601291

วัน เดือน ปี เกิด 1 กันยายน พ.ศ.2535

ประวัติการศึกษา ระดับประถม โรงเรียนโสมาภานุสรณ์

คณิศาสตร์
-โครงการปริญญาตรีสำหรับผู้มีความสามารถพิเศษ สาขา วิชา

ระดับมัธยม โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า

-สอบแข่งขัน โครงการส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนา
มาตรฐานวิทยาศาสตร์ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ
เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ สาขาวิชา
เคมี (สอวน.เคมี)

-สอบแข่งขัน วิทยาศาสตร์ เพชรยอดมงกุฎ สาขาวิชา ฟิสิกส์.

ระดับอุดมศึกษา (ปริญญาตรีก้าวหน้า 4+1)

เกียรตินิยมอันดับ 2 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

-(ทุนเรียนดีบุตรข้าราชการกรมศุลกากร ตลอด 4 ปีการศึกษา)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้