สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กระบวนการผลิตมะนาวผงด้วยเครื่องอบสุญญากาศ

PROCESSING OF LEMON POWDER WITH VACUUM OVEN

T143408

อติกานต์ บุญรินทร์

อมรเทพ สำลีนิล

ปพ.
อ136ก
2558
สชทม.....
เลขทะเบียน.....143408
วัน.เดือน.ปี.....01 ส.ค. 2559
b.1079993X
i.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษ

กระบวนการผลิตมะนาวผงด้วยเครื่องอบสุญญากาศ

PROCESSING OF LEMON POWDER WITH VACUUM OVEN

นางสาวอติกานต์ บุญรินทร์

นายอมรเทพ สำลีนิล

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

Faculty of Agro-industry

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษ

กระบวนการผลิตมะนาวผงด้วยเครื่องอบสุญญากาศ

PROCESSING OF LEMON POWDER WITH VACUUM OVEN

จัดทำโดย

นางสาวอติกานต์ บุญรินทร์ รหัสนักศึกษา 54080222

นายอมรเทพ สำลีนิล รหัสนักศึกษา 54080224

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.รุจิรา ตาปราบ

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

กระบวนการผลิตมะนาวผงด้วยเครื่องอบสูญญากาศ

PROCESSING OF LEMON POWDER WITH VACUUM OVEN

จัดทำโดย

อติกานต์	บุญรินทร์	รหัสนักศึกษา 54080222
อมรเทพ	สำลีนิล	รหัสนักศึกษา 54080224

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

(รศ.ดร.ธุจิรา ตาปราบ)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

1 / ก.ค. / 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	กระบวนการผลิตมะนาวผงด้วยเครื่องอบสุญญากาศ
นักศึกษา	อติกานต์ บุญรินทร์ รหัสประจำตัว54080222
	อมรเทพ สำลีนิล รหัสประจำตัว54080224
หลักสูตร	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ	รศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ

บทคัดย่อ

การศึกษาการผลิตมะนาวผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบสุญญากาศเพื่อพัฒนาคุณภาพของมะนาวผง โดยได้ทำการศึกษาอัตราส่วนปริมาณน้ำมะนาวกับมอลโตเดกซ์ตรินในการผลิตมะนาวผงและอุณหภูมิในการทำแห้ง ทำการวิเคราะห์มะนาวผงโดยวัดคุณลักษณะทางกายภาพ ความสามารถในการละลาย ปริมาณกรดซิตริก ความเป็นกรด-เบส(pH) ความชื้น และปริมาณวิตามินซี จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ50 องศาเซลเซียส จะทำให้มะนาวผงมีสีและลักษณะคล้ายมะนาวสดมากที่สุด จากผลการทดลองพบว่ามะนาวผงสูตรLP 0.5 มีลักษณะผงสีครีม รสเปรี้ยว และมีกลิ่นคล้ายน้ำมะนาวสดมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการละลายพบว่า มะนาวผงสูตรLP 1.0 เวลาของการละลายเป็น 41.66±0.05 วินาที ละลายได้ดีกว่ามะนาวผงสูตรLP 0.5 ที่มีเวลาของการละลายเป็น 43.33±0.05 วินาที ปริมาณกรดซิตริกทั้ง 2สูตรไม่มีความแตกต่างกัน ค่า pH พบว่ามะนาวผงสูตรLP0.5 มีpH 2.71 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงมะนาวสดมากกว่าสูตรLP1.0 ที่มี pH 2.81 ค่าความชื้นของมะนาวผงพบว่าสูตรLP0.5 มีความชื้น 8±0.21 ซึ่งมีค่าน้อยกว่ามะนาวผงสูตร LP1.0 ที่มีค่าความชื้น 8.5±0.52 และปริมาณวิตามินซีพบว่ามะนาวผงสูตรLP1.0 มีปริมาณวิตามินซี 0.041±0.008มิลลิกรัม/100มิลลิลิตร ซึ่งมีปริมาณวิตามินซีมากกว่ามะนาวผงสูตร LP0.5 ที่มีปริมาณวิตามินซี 0.031 มิลลิกรัม/100มิลลิลิตร

คำสำคัญ: มะนาวผง , การทำแห้งแบบสุญญากาศ , vaccum dry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Processing of lemon powder with vacuum oven
Student name	Atikarn Boonrin Student ID54080222
Student name	Amornthep Somreenin Student ID54080224
Program	Bachelor of Science (FoodProcessEngineering)
Year	2015
Special problem advisor	Ruchira Taprap

ABSTRACT

Using vacuum drying in lemon powder processing to improve its quality by studying the proportion of lemon juice and maltodextrin and drying temperature. Lemon powder analysis consists of physical property, solubility, citric acid content, pH, moisture content and vitamin C content. The experiment indicates that at 50 °C drying temperature gives best lemon juice-like lemon powder. LP 0.5 lemon powder gives creamy and sour powder with most fresh lemon-like smell. Solubility property indicates that LP 1.0 lime powder (41.66±0.05 s) has better solubility than LP 0.5 lemon powder (43.33±0.05 s). Citric acid content in both formulation is no significantly different. The pH in LP 0.5 lemon powder (2.71±0.00) is similar to pH in fresh lemon juice more than LP 1.0 (2.81±0.01) lemon powder. Moisture content in 0.5 LP lemon powder (8±0.21) is less than LP 1.0 lemon powder (8.5±0.52) and vitamin C content in LP 1.0 lemon powder (0.041±0.008 mg/100ml) is more than LP 0.5 lemon powder (0.031mg/100ml)

Keyword: lime powder, vacuum drying

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร. รุจิรา ตาปราบ อาจารย์ที่ปรึกษาในการจัดทำ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีต่อผู้วิจัย ผู้วิจัยตระหนักถึง ความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ระจิตร สุวพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆที่เอื้อต่อการทำปัญหาพิเศษจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีและให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไป ด้วยดี

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่คอยดูแล อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและสารเคมี

อนึ่งคณะผู้จัดทำหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดี ทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็น ประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและขอมอบความกตัญญูกตเวทิตาคุณ แด่บิดา มารดา และผู้มี พระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้จัดทำขอน้อมรับผิด และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ใน การพัฒนาการทำงานต่อไป

อติกานต์ บุญรินทร์
อมรเทพ สำลีนิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญภาพ VII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 มะนาว 3
2.2 ลักษณะทั่วไปของมะนาว 3
2.3 พันธุ์มะนาว 4
2.4 การทำแห้ง 5
2.5 ประเภทของเครื่องทำแห้ง 5
2.6 การใช้สภาวะสุญญากาศที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหาร 8
2.7 หลักการการทำงานเบื้องต้นของเตาอบสุญญากาศ 9
2.8 เทคโนโลยีการทำแห้งแบบสุญญากาศ 9
2.9 อัตราการทำแห้ง 11
2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง 13
2.11 ความชื้นในอาหาร 14
2.12 กลไกการทำแห้ง 16
2.13 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ความชื้น 17
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 20
3.1 วัตถุดิบ 20
3.2 สารเคมี 20
3.3 อุปกรณ์ 20
3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 24
4.1 ศึกษาอุณหภูมิและอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้ในการทำแห้งแบบสุญญากาศ 24
4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของมะนาวผง 26
4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของมะนาวผง 27
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 31
บรรณานุกรม 32
ภาคผนวก 33
ภาคผนวก ก 34
ประวัติผู้เขียน 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบสุญญากาศ 24
4.2 ผลการศึกษาสีของมะนาวผงของการทำแห้งแบบสุญญากาศ..... 26
4.3 การศึกษาความสามารถในการละลายมะนาวผงของการทำแห้งแบบสุญญากาศ..... 27
4.4 ผลการศึกษาปริมาณกรดซิตริกโดยวิธีการไทเตรท..... 28
4.5 ผลการศึกษาความเป็น กรด – เบส..... 28
4.6 ผลการศึกษาปริมาณความชื้น..... 29
4.7 ผลการศึกษาปริมาณวิตามินซีโดยวิธีไทเทรต..... 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะผลมะนาว..... 4
2.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drier)..... 6
2.3 การเปลี่ยนแปลงสถานะไปสู่การระเหิด..... 7
2.4 กราฟเปรียบเทียบ ความสามารถของ Freeze drier กับการทำแห้งต่างชนิด..... 8
2.5 แสดงผังการทำงานของระบบสุญญากาศและระบบให้ความร้อนของเตาอบ..... 9
2.6 หลักการทำงานแบบสุญญากาศ..... 10
2.7 ระดับของสภาวะ Vacuum..... 10
2.8 การเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งกบความชื้น..... 12
2.9 กราฟแสดงความสามารถของกระบวนการทำแห้ง..... 16
2.10 อัตราการสูญเสียความชื้นของแป้งสาลีที่อุณหภูมิต่างๆ..... 17
2.11 preparation of samples by quartering 18
4.1 มะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ครั้งที่1..... 25
4.2 มะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส..... 25
4.3 มะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส..... 25
4.4 มะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ครั้งที่2..... 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีผู้บริโภคให้ความสนใจในการบริโภคอาหารที่มีคุณลักษณะที่ดี มีความสดใหม่ผ่านกระบวนการแปรรูปไม่มากนัก โดยยังคงคุณค่าทางโภชนาการ และมีความปลอดภัยทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพมากขึ้น ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่มีการพัฒนาแนวทางการผลิต กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์แบบใหม่ และทันสมัยอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภครวมทั้งยังเป็นกรรมวิธีที่ใช้พลังงานในการผลติที่ประหยัด ปลอดภัย และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

มะนาวเป็นไม้ผลที่ปลูกได้ทั่วไปทุกภาคของประเทศไทยและมีความสำคัญต่อวิถีชีวิตของคนไทย โดยเฉพาะการนำไปเป็นส่วนประกอบในการผลิตอาหาร มะนาวจะให้ผลผลิตจำนวนมากในฤดูฝน ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม ทำให้มีราคาถูกมากและเกิดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวมาก หลังจากนั้นผลผลิตลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งมีปริมาณน้อยมากในช่วงฤดูร้อนตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเมษายนจึงทำให้มะนาวราคาแพงมาก ทำให้เกษตรกรและผู้บริโภคเดือดร้อน (ประศาสตร์,2543) จากข้อมูลปริมาณผลิตผลมะนาวที่ให้ผลภายในประเทศภายในปี 2554 มีปริมาณ 169.57 พันตัน และมีปริมาณผลิตผลมะนาวที่ส่งออกนอกประเทศภายในปี 2554 มีปริมาณ 0.429 พันตัน ราคาต่อผลผลละ 1.26 บาท (กรมการค้าภายใน,2554) ดังนั้นการเพิ่มมูลค่ามะนาวในช่วงที่มีราคาตกต่ำโดยการแปรรูปให้เป็นมะนาวผง จึงเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค และข้อดีของมะนาวผง คือ สะดวกต่อการใช้งาน สะดวกต่อการขนส่ง ไม่สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการเก็บรักษา เพราะมีปริมาตรและน้ำหนักน้อย ผลิตภัณฑ์ยังคงรสเปรี้ยวและมีกลิ่นหอมของน้ำมะนาว ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ที่ผู้บริโภคต้องการ

ดังนั้นถ้าสามารถหาวิธีการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวที่มีปริมาณล้นตลาดในช่วงฤดูฝน ให้ยาวจนถึงฤดูแล้งได้จะเป็นการเพิ่มรายได้แก่เกษตรกรสม่ำเสมอตลอดปีและลดค่าครองชีพของผู้บริโภคได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำมะนาวและผงมอลโตเด็กซ์ตินในการผลิตมะนาวผง

1.2.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของมะนาวหลังจากทำแห้ง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบอัตราส่วนและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตมะนาวผง ด้วยวิธีอบสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 สามารถนำกระบวนการผลิตมะนาวผง เพื่อเพิ่มมูลค่าและช่วยลดปัญหาผลผลิตทางการเกษตรล้นตลาดในบางฤดู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะนาว

มะนาว (อังกฤษ: Lime) เป็นไม้ผลชนิดหนึ่ง ผลมีรสเปรี้ยวจัด จัดอยู่ในสกุลส้ม (*Citrus*) ผลสีเขียว เมื่อสุกจัดจะเป็นสีเหลือง เปลือกบาง ภายในมีเนื้อแบ่งกลีบๆ ชุ่มน้ำมาก นับเป็นผลไม้ที่มีคุณค่านิยมใช้เป็นเครื่องปรุงรส นอกจากนี้ยังถือว่ามีคุณค่าทางโภชนาการและทางการแพทย์ด้วย

2.2 ลักษณะทั่วไปของมะนาว

ผลมะนาวโดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 – 4.5 เซนติเมตร ต้นมะนาวเป็นไม้พุ่มเตี้ย สูงเต็มที่ราว 5 เมตร ก้านมีหนามเล็กน้อย มักมีใบดก ใบยาวเรียวเล็กน้อย คล้ายใบส้ม ส่วนดอกสีขาวอมเหลือง ปกติจะมีดอกผลตลอดทั้งปี แต่ในช่วงหน้าแล้ง จะออกผลน้อย และมีน้ำน้อย มะนาวเป็นพืชพื้นเมืองในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ผู้คนในภูมิภาคนี้รู้จักและใช้ประโยชน์จากมะนาวมาช้านาน น้ำมะนาวนอกจากใช้ปรุงรสเปรี้ยวในอาหารหลายประเภทแล้ว ยังนำมาใช้เป็นเครื่องดื่มผสมเกลือ และน้ำตาล เป็นน้ำมะนาว ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศทั่วโลก นอกจากนี้เครื่องดื่มแอลกอฮอล์บางชนิดยังนิยมฝานมะนาวเป็นชิ้นบางๆ เสียบไว้กับขอบแก้ว เพื่อใช้แต่งรส ในผลมะนาวมีน้ำมันหอมระเหยถึง 7% แต่กลิ่นไม่ฉุนอย่างมะกรูด น้ำมะนาวจึงมีประโยชน์สำหรับใช้เป็นส่วนผสมน้ำยาทำความสะอาด เครื่องหอม และการบำบัดด้วยกลิ่น (aromatherapy) หรือน้ำยาล้างจาน ส่วนคุณสมบัติที่สำคัญ ทว่าเพิ่งได้ทราบเมื่อไม่ช้านานมานี้ (ราวคริสต์ศตวรรษที่ 19) ก็คือ การป้องกันและรักษาโรคลักปิดลักเปิด ซึ่งเคยเป็นปัญหาของนักเดินเรือมาช้านาน ภายหลังได้มีการค้นพบว่าสาเหตุที่มะนาวสามารถช่วยป้องกันโรคลักปิดลักเปิด เพราะในมะนาวมีไวตามินซีเป็นปริมาณมาก มะนาวมีน้ำมันหอมระเหยที่ให้กลิ่นสดชื่น เพราะมีส่วนประกอบของสารซิโตรเนลลัล (Citronellal) ซิโตรเนลลิล อะซีเตต (Citronellyl Acetate) ไลโมนีน (Limonene) ไลนาลูล (Linalool) เทอร์พีนีออล (Terpeneol) ฯลฯ รวมทั้งมีกรดซิตริค (Citric Acid) กรดมาลิค (Malic Acid) และกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) ซึ่งถือเป็นกรดผลไม้ (AHA : Alpha Hydroxy Acids) กลุ่มหนึ่ง เป็นที่ยอมรับว่าช่วยให้ผิวหน้าที่เสื่อมสภาพหลุดลอกออกไป พร้อมๆ กับช่วยกระตุ้นการสร้างเซลล์ใหม่ๆ ช่วยให้รอยด่างดำหรือรอยแผลเป็นจางลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พันธุ์มะนาว

พันธุ์มะนาวที่พบเห็นในเมืองไทยมีหลายพันธุ์ด้วยกัน พันธุ์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและนิยมปลูกมากในปัจจุบันมี 3 พันธุ์ คือ มะนาวหนัง มะนาวไข่ และมะนาวแป้น (ศุภกิจ,2540)ซึ่งมีลักษณะประจำพันธุ์ ดังนี้

มะนาวหนัง เป็นพันธุ์มะนาวที่ปลูกอยู่ทั่วไป มีลักษณะผลใหญ่ ผลอ่อนมีลักษณะกลมรี หัวท้ายแหลมเมื่อโตขึ้นจะค่อยๆสั้นเข้า หัวท้ายจะมนเข้า เมื่อโตเต็มที่จะมีลักษณะกลมค่อนข้างยาวด้านหัวมีจุกเล็กๆ ผิวเรียบ เปลือกค่อนข้างหนา จึงทำให้เก็บรักษาผลได้ไว้นาน เป็นพันธุ์ที่มีรสเปรี้ยวจัดเพราะมีเปอร์เซ็นต์กรดค่อนข้างสูง เหมาะสำหรับทำมะนาวสำหรับดื่ม

มะนาวไข่ เป็นมะนาวพื้นเมืองพันธุ์หนึ่งของไทย มีขนาดและลักษณะคล้ายมะนาวหนังเกือบทุกอย่าง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาว หัวท้ายแหลมจะค่อยๆมนเข้าเมื่อโตขึ้น เมื่อโตเต็มที่จะมีลักษณะกลมมนเป็นส่วนใหญ่ หัวและก้นมีจุกไม่แหลม ผิวเรียบเปลือกบางใส มีสีเขียวเข้ม เมื่อแก่จัดมีสีเหลืองอมเขียว ผลมีขนาดโตกว่ามะนาวหนัง ออกผลดก มีน้ำมาก มีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นหอม มีเมล็ดค่อนข้างน้อย มะนาวไข่เป็นมะนาวที่ตลาดนิยมมาก ปลูกง่ายได้ราคาดี ข้อดีของมะนาวไข่คือจะออกผลที่ปลายกิ่ง ซึ่งสะดวกต่อการเก็บผล

มะนาวแป้น เป็นมะนาวที่ได้มาจากการเพาะเมล็ดมะนาวพื้นบ้านแล้วมีการกลายพันธุ์ไปจนได้ลักษณะที่ดี เป็นพันธุที่นิยมปลูกมากที่สุด เพราะเป็นมะนาวที่ผลดก ออกผลได้ตลอดทั้งปี ผลมีขนาดปานกลาง ลักษณะผลกลมแป้นสวย ผลอ่อนมีสีเขียว ผลแก่จัดมีสีเขียวอมเหลือง ผิวไม่เรียบ เปลือกบางใส มีน้ำมาก น้ำมีกลิ่นหอม ไม่ค่อยมีเมล็ดมะนาวแป้นมีหลายพันธุ์ด้วยกันคือ มะนาวพันธุ์แป้นรำไพ มะนาวพันธุ์แป้นทะวาย มะนาวพันธุ์แป้นแม่ไก่ไข่ดก (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2558)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะผลมะนาว
ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การทำแห้ง

การทำแห้ง หรือ (dehydration) คือการดึงน้ำออก อาจเรียกว่า drying การทำแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหาร (food preservation) ที่นิยมใช้มานาน โดยลดความชื้น (moisture content) ของอาหารด้วยการระเหยน้ำ ด้วยการอบแห้ง (dehydration) การทอด (frying) หรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหารออก การทแห้งในกระบวนการแปรรูปอาหาร แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.4.1 การทำแห้งด้วยแสงแดด (sun drying) เป็นวิธีเก่าแก่ที่ใช้กันมาแต่โบราณ โดยนำเนื้อสัตว์มาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ ล้างด้วยน้ำทะเล หรือล้างด้วยน้ำธรรมดาแล้วคลุกเคล้าเกลือ แล้วจึงนำไปตากให้แห้งโดยใช้แสงแดด วิธีการนี้ประหยัดพลังงานความร้อน แต่เนื้อตากแห้งที่ได้มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์สูง หากตากไม่แห้งพอ เมื่อเก็บไว้นานวันอาจเสียได้ง่าย

2.4.2 การทำแห้งด้วยความร้อน (hot air drying) วิธีการนี้เป็นการนำวิธีการแรกมาปรับปรุงโดยใช้อุปกรณ์เข้าช่วยเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากแห้งตามที่ต้องการ และมีความชื้นสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งโดยวิธีนี้สะอาด ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการตากแดด การทำแห้งในผลิตภัณฑ์เนื้อที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ หรือผลิตภัณฑ์เนื้อที่สุกแล้วมักใช้วิธีการทำให้แห้งด้วยความร้อนโดยใช้ตู้อบขนาดใหญ่ที่มีลมร้อนเป่าผ่านทำให้น้ำระเหยไปกับลมร้อนโดยทางช่องระบายลมภายในตู้อบใช้อุณหภูมิประมาณ 50 - 70 °C

2.4.3 การทำแห้งด้วยความเย็น (freeze drying) หรือการแช่แข็งแล้วทำให้แห้งใน สุญญากาศ เป็นวิธีการทำให้เนื้อสัตว์แห้งโดยการระเหิด (sublimation) น้ำออกจากชิ้นเนื้อในสภาวะที่เป็นน้ำแข็งในสภาพสุญญากาศ โดยการที่ชิ้นเนื้อจะถูกทำให้เย็นลงจนถึงจุดเยือกแข็งโดยเร็ว จนน้ำภายในชิ้นเนื้อกลายเป็นน้ำแข็ง น้ำแข็งเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นและควบคุมความดันของสุญญากาศให้เหมาะสมหรือควบคุมความดันให้เท่ากับหรือต่ำกว่าความดัน ณ จุดเปลี่ยนสภาวะของน้ำ (triple point of water) น้ำแข็งจะสามารถระเหิดกลายเป็นไอน้ำได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวก่อน

2.5 ประเภทของเครื่องทำแห้ง (drier)

เครื่องทำแห้ง (drier หรือ dryer) หมายถึง เครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหารที่ใช้เพื่อการทำแห้ง (dehydration) อาหาร มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมในระหว่างการทำแห้ง เช่น ควบคุมอุณหภูมิ ความดัน เพื่อให้รักษาคุณภาพของอาหาร

ตัวอย่างของเครื่องทำแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

2.5.1 เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum drier)

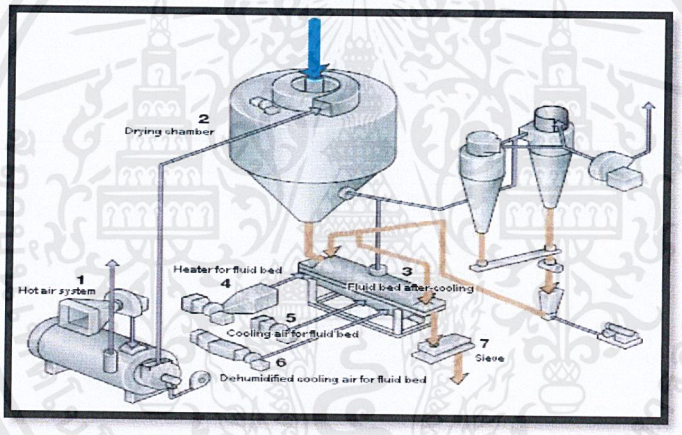
เครื่องอบสุญญากาศ เป็นเครื่องอบ (drier) ที่ใช้เป็นทำแห้ง (dehydration) อาหาร ที่ทำงานภายใต้ภาวะที่ความดันอากาศต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (atmoshperic pressure) สุญญากาศตาม phase diagram ทำให้น้ำระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง การทำให้เกิดสุญญากาศในห้องอบ จะใช้ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) เพื่อสูบอากาศออก การทำแห้งด้วยเครื่องอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุญญากาศ จะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารได้ดีกว่าการทำแห้งที่ความดันบรรยากาศ เครื่องอบสุญญากาศยังใช้เพื่อการหาความชื้นของอาหารที่ไวต่ออุณหภูมิสูง เช่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงหรืออาหารที่มีน้ำมันหอมระเหย (essential oil) เป็นส่วนประกอบ เพื่อหลีกเลี่ยงการอบที่อุณหภูมิสูง ที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาด

2.5.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drier)

Spray drier (หรือ spray dryer) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย หรือ เครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย คือ เครื่องทำแห้ง (drier) ที่ใช้ทำแห้ง (dehydration) สำหรับอาหารเหลว เชน นมผง น้ำผลไม้ กาแฟ ไข่ โดยใช้เครื่องพ่นละออง (atomizer) ทำให้อาหารเหลวเป็นละออง สัมผัสกับกระแสลมร้อนภายในห้องอบแห้ง (drying chamber) ทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผงแห้ง ตกลงสู่ภาชนะรองรับด้านล่างผงบางส่วนที่รวมอยู่กับลมร้อนจะถูกแยกออกด้วยระบบแยกอาหารผงที่ได้มีความชื้น (moisturecontent) ต่ำ (น้อยกว่า5%) นิยมใช้ในการผลิตอาหารแห้ง มีมีลักษณะเป็นผง



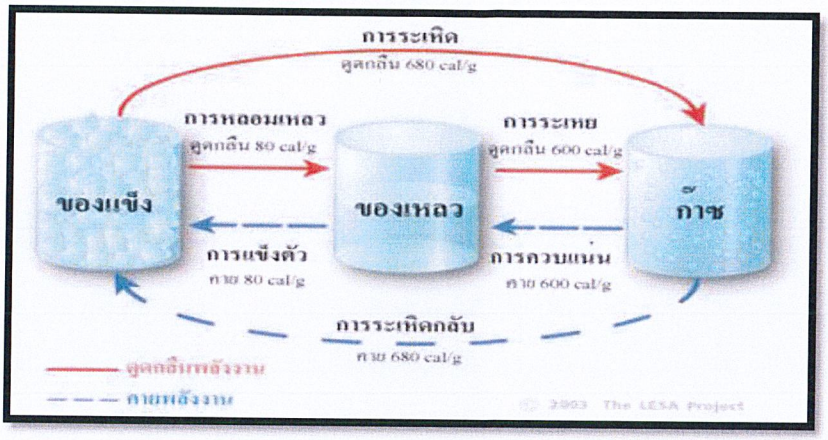
ภาพที่ 2.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drier)

ที่มา : http://www.almil.de/index1.php?page=eng_solutions_mop_spray

2.5.3 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drier)

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dehydration หรือ lyophilization) หมายถึง การทำแห้ง (dehydration) ด้วยการแช่เยือกแข็ง (freezing) ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งก่อน แล้วจึงลดความดันเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งระเหิด (sublimation) เป็นไอด้วยการลดความดันให้ต่ำกว่าบรรยากาศปกติ ขณะควบคุมให้อุณหภูมิต่ำ (ที่อุณหภูมิเท่ากับหรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำแข็งระเหิดที่ความดันเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงสถานะไปสู่การระเหิด

ที่มา : http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php/การระเหิด

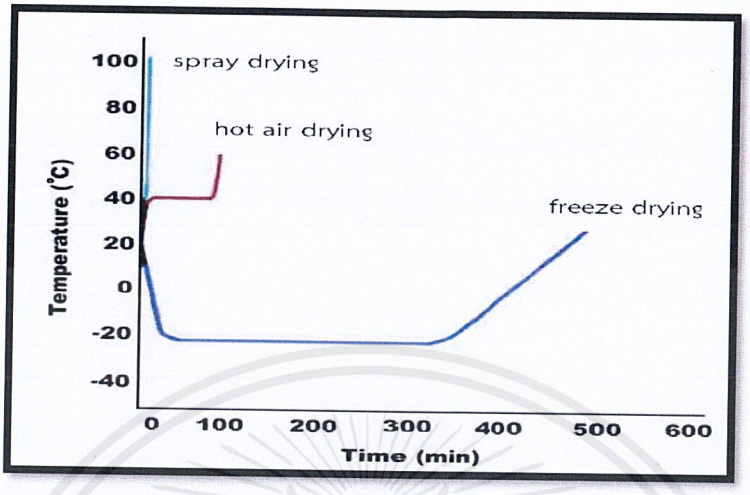
การแช่เยือกแข็ง (freezing) เป็นการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (freezing point) เพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็ง (ice crystal formation) อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง (freezing rate) ควรเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว เพื่อให้เกิดผลึก และผลึกที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว ที่นิยมใช้กันมีหลายวิธี เช่น การแช่เยือกแข็งแบบใช้ลมเย็นเป่า (air blast freezing) การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจน (cryogenic freezing) และการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด (immersion freezing)

การทำแห้งขั้นต้น (primary drying) เป็นการลดปริมาณน้ำ (dehydration) โดยการระเหิดน้ำแข็งให้เป็นไอโดยการลดความดันบรรยากาศ เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการระเหิดเป็นไอออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ระดับของสุญญากาศ (vacuum) ควรอยู่ต่ำกว่า 132 Pa และ 132 mPa ตามลำดับ การระเหิดของผลึกน้ำแข็งจึงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ การระเหิดของชั้นน้ำแข็ง (ice layer) จะเริ่มจากชั้นน้ำแข็งบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระเหิดไปเป็นไอทำให้บริเวณนี้กลายเป็นชั้นแห้ง (dry layer) จากนั้น เป็นการระเหิดของชั้นน้ำแข็งที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ระเหิดผ่านชั้นแห้งออกไปสู่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาการระเหิดขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่าง และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

ข้อดีการการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นการทำแห้งขณะที่อาหารมีอุณภูมิต่ำจึงลดการสูญเสียของอาหารเนื่องจากความร้อนลดการทำลายเนื้อเยื่อและโครงสร้างอาหาร ทำให้ได้อาหารแห้งที่ได้มีคุณภาพสูง มีการคืนตัว (rehydration)ที่ดีรักษาคุณภาพอาหารเช่น สี กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้ง แบบอื่น เช่น การทำแห้งแบบพ่นละออง (spray drier) การทำแห้งด้วยลมร้อน เช่น ตู้อบลมร้อน (tray drier, carbinet drier) แต่มีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่ใช้ลมร้อนทั่วไป การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เหมาะกับอาหารที่ไวต่อการสูญเสียคุณภาพและคุณค่าทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โภชนาการด้วยความร้อน เช่น ผักผลไม้สมุนไพร อาหารทะเล อาหารที่ต้องการรักษา และมีสมบัติในการคืนสภาพได้ดี (พิมพ์เพ็ญ, ม.ป.ป)



ภาพที่ 2.4 กราฟเปรียบเทียบ ความสามารถของ Freeze drier กับการทำแห้งต่างชนิด
ที่มา : http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig_or_th/lyophilization%20technology1.pdf

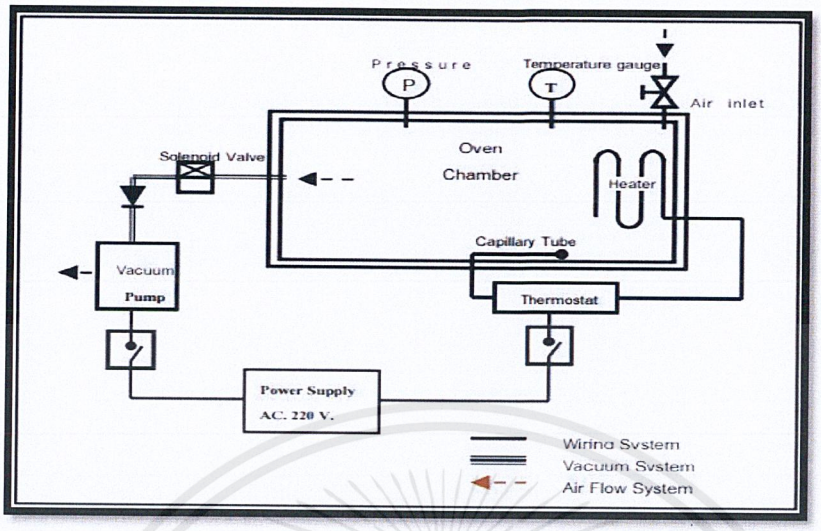
2.6 การใช้สภาวะสุญญากาศที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหาร

2.6.1 อุปกรณ์แปรรูปอาหาร ที่ต้องการระเหยน้ำที่อุณหภูมิต่ำ ลดการสัมผัสกับออกซิเจน ซึ่งลดปฏิกริยาออกซิเดชัน (oxidation) เพื่อรักษาคุณภาพของอาหาร เช่น เครื่องทำแห้งสุญญากาศ (vacuum drier) เครื่องทอดสุญญากาศ (vacuum fryer) เครื่องระเหยสุญญากาศ (vacuum evaporator) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

2.6.2 การบรรจุอาหารในสภาวะสุญญากาศ (vacuum packaging) เป็นการบรรจุอาหารในภาชนะที่ปิดผนึกสนิทภายในกำจัดอากาศออก เพื่อรักษาคุณภาพอาหารป้องการการเสื่อมเสีย (food spoilage) จากจุลินทรีย์ที่ต้องการ เช่น รา (mold), แบคทีเรีย (bacteria) ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ ป้องกันการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาทางเคมีที่ต้องการออกซิเจนในปฏิกิริยา เช่น การเหม็นหืนเนื่องจากลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) การเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หลักการการทำงานเบื้องต้นของเตาอบสุญญากาศ



รูปที่ 2.5 แสดงผังการทำงานของระบบสุญญากาศและระบบให้ความร้อนของเตาอบ

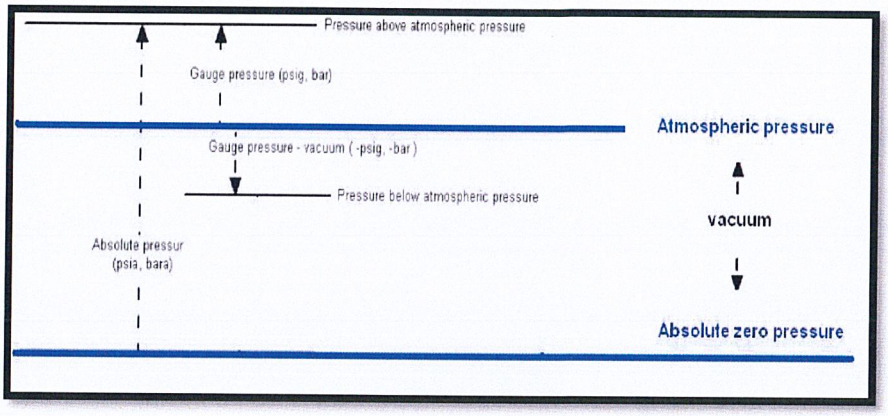
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ, 2010

จากรูปที่ 2.5 ระบบสุญญากาศนี้เกิดจากการใช้ปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออกจากเตาอบที่ปิดสนิท การให้ความร้อนแก่ วัตถุดิบจะใช้การแผ่รังสีความร้อนจากขดลวดความร้อนไปยังวัตถุดิบ การควบคุมความร้อนในเตาอบใช้เทอร์โมสตัทเป็นตัวควบคุม และติดตั้งเกจ์อุณหภูมิในการอ่านค่าอุณหภูมิภายในเตาอบ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ควบคุมความดันคือ โซลีนอยด์ วาลว์และเช็ควาลว์ ทำหน้าที่ป้องกันอากาศไหลย้อนกลับจากปั๊มสุญญากาศสู่เตาอบกรองอากาศ ทำหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกเข้าไปยังปั๊มสุญญากาศ เกจความดันใช้ในการอ่านค่าความดันภายในเตาอบ และวาลว์นำอากาศเข่า ใช้ปรับ ความดันภายในเตาอบให้กลับสู่ความดันบรรยากาศหลังจากทำการอบแห้งเสร็จแล้ว การทดสอบอบแห้งวัตถุดิบโดยใช้เตาอบแห้งระบบสุญญากาศมีวัตถุประสงค์เพื่อ เพื่อทดสอบระบบการทำงาน ของเครื่องอบแห้งโดยใช้ระบบสุญญากาศและหาค่าความดัน อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งวัตถุดิบ ที่ เหมาะสม และได้คุณภาพที่ดี

2.8 เทคโนโลยีการทำแห้งแบบสุญญากาศ

สุญญากาศ คือที่ว่างซึ่งมีความดัน (pressure) ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure)ความดันที่มีค่าน้อยกว่าความดันบรรยากาศปกติ เรียกว่า ความดันสุญญากาศ (vacuum pressure, P_{vac}) ซึ่งหาได้จากสมการ P_{vac} = Atmospheric pressure - Absolute pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 หลักการทำงานแบบสุญญากาศ

ที่มา : พิมพ์เพ็ญ, 2010

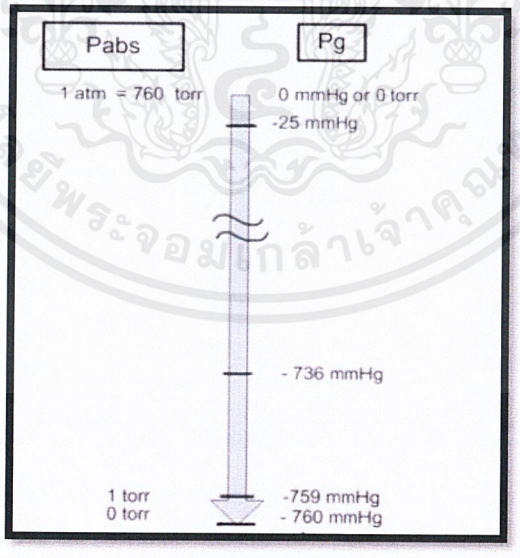
2.8.1 ระดับของสภาวะ Vacuum

2.8.1.1 ระดับต่ำ (low level) คือ อยู่ในช่วง -25 จนถึง -736 mmHg

2.8.1.2 ระดับกลาง (medium level) อยู่ในช่วง 1 จนถึง -10^{-3} torr หรือ -759 mmHg จนถึง -759.999 mmHg

2.8.1.3 ระดับสูง (high level) อยู่ในช่วง 10^{-3} จนถึง 10^{-7} torr หรือ -759.999 mmHg จนถึง -759.9999999 mmHg

2.8.1.4 ระดับสูงพิเศษ (extreme high level) อยู่ในช่วง 10^{-7} torr ลงไป



ภาพที่ 2.7 ระดับของสภาวะ Vacuum

ที่มา : พิมพ์เพ็ญ, 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 อัตราการทำแห้ง

ลักษณะการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารมีผลต่ออัตราการทำแห้ง (การสูญเสียน้ำ ต่อหนึ่งหน่วยเวลา) อาหารที่มีเนื้อโปร่งการเคลื่อนที่ของน้ำจะเป็นแบบการไหลผ่านช่องแคบ น้ำที่เคลื่อนมาที่ผิวอาหารจะเร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ ผิวอาหารจะเปียกชุ่มด้วยน้ำ การระเหยน้ำเกิดอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ เรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า อัตราการทำแห้งคงที่ เมื่อการไหลผ่าน ช่องแคบของน้ำหมดไป น้ำจะเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมากจนผิวอาหารแห้ง การระเหยเกิดขึ้น ช้าลง อัตราการทำแห้งจึงลดลง

อัตราการอบแห้งเป็นการวัดความเร็วหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อ เวลาหรือพื้นที่ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยไป}}{\text{ระยะเวลาหรือพื้นที่}}$$

การทำแห้งจะสิ้นสุดลง เมื่อความชื้นของอากาศในเครื่องทำแห้งสมดุลกับความชื้นของอาหาร หรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ มีค่าเท่ากบ ค่า aw ของอาหารคูณด้วย 100 เรียกวาความชื้นสมดุลและการอบแห้งนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ

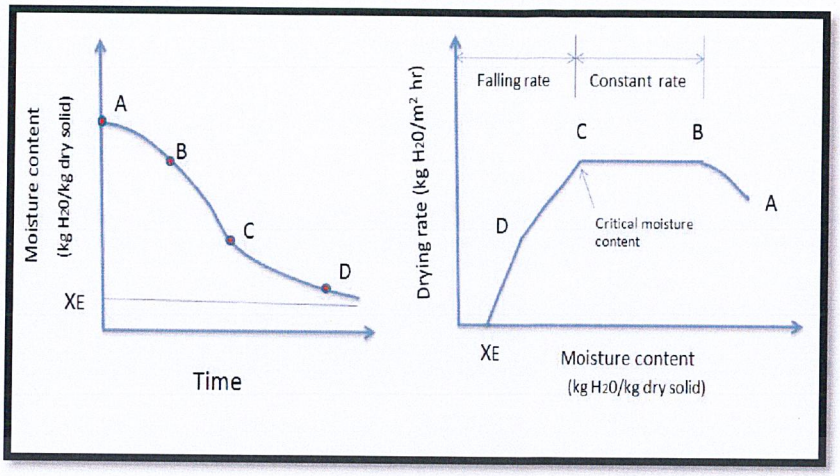
I : ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ

II : ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

III : ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

เมื่อผิวของวัสดุเปียกชื้น ความชื้นที่ผิวจะอยู่ในรูปของน้ำ ถ้าเอาวัสดุนี้มาอบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่คงที่ อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ โดยอุณหภูมิของ วัสดุจะมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อน ช่วงเวลาที่วัสดุใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงค่านี้คือ ช่วง I ในช่วงเวลา II ที่ถัดไป อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ ตราบใดที่ยังมี ความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำที่ผิววัสดุ ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับในช่วงนี้จะถูกใช้ในการ ระเหยความชื้นเท่านั้น อัตราส่วนความชื้นของวัสดุจะลดลงเป็ นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาในช่วงนี้ การอบแห้งจะเป็นแบบอัตราการอบแห้งคงที่ (constant drying rate) ในช่วง IIIความชื้นในรูปของ น้ำที่ผิวของวัสดุจะระเหยหมดไป การถ่ายเทความชื้นในรูปของน้ำจากส่วนในของวัสดุเกิดขึ้นไม่ ทันกับการระเหยของน้ำจากผิวของวัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น ปริมาณ ความร้อนที่วัสดุได้รับนอกจากจะลดลงแล้ว ความร้อนนี้ยังต้องใช้ในการระเหยความชื้นและเพิ่ม อุณหภูมิของวัสดุด้วย ในช่วงนี้การอบแห้งจะเป็นแบบอัตราการอบแห้งลดลง (falling drying rate) การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นลดลงถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ส่วนค่าของความชื้นที่จุดต่อระหว่างช่วง II และ III เรียกว่าความชื้นวิกฤติ (critical moisture content) ดังภาพที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 การเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งกบความชื้น
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ, 2010

ความชื้นมาตรฐานเปียกจะนิยมใช้กันในวงการค้า ส่วนความชื้นมาตรฐานแห้งจะนิยมใช้ กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎีเพื่อช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะ มวลของวัสดุแห้งจะคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง

2.9.1 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

การอบแห้งช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุอบแห้งมี ความชื้นเริ่มต้นมากกว่าร้อยละ 230-300 (d.b.) ขึ้นไป ที่ช่วงอัตราการอบแห้ง คงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัสดุ และอากาศจะเหมือนกับการถ่ายเทความร้อน และ มวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์คือเกิดขึ้นเฉพาะที่รอบๆผิววัสดุเท่านั้น และน้ำจะเกาะอยู่ที่ผิวของวัสดุเป็นจำนวนมาก ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการอบแห้ง คือ อุณหภูมิ ความชื้น สัมพัทธ์ และความเร็วลม เมื่อเพิ่มความเร็วลมที่ไหลผ่านวัสดุจะทำให้ฟิล์มอากาศนิ่งมีความหนาลดลงเป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ของอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิววัสดุและของกระแสอากาศที่ไหลอิสระมีมากขึ้นเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น และเมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศอบแห้ง จะเป็นผลให้ความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นอิ่มตัวที่ผิววัสดุ และ อัตราส่วนความชื้นของกระแสอากาศที่ไหลอิสระมีมากขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทมวลดีขึ้น การถ่ายเทมวลเกิดขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวของกระเปาะเปียก และที่อากาศรอบนอก

2.9.2 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

ทฤษฎีนี้มักตั้งสมมติฐานวา การเคลื่อนที่ความชื้นภายในวัสดุเกิดขึ้นโดยการ แพร่ (Diffusion) ตามกฎข้อที่สองของ Fick (Fick's Second Law) ซึ่งดำเนินไปแตกต่างกันตามรูปร่างของวัสดุที่กาลังอบแห้ง ทำ ให้สามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (effective

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

diffusion coefficient, Deff) และพลังงานกระตุ้นสำหรับการแพร่ความชื้น (activation energy for diffusion) โดยการประยุกต์ใช้สมการอาร์รีเนียส (arrhenius equation) ซึ่งเป็นหลักการ ของ Newman (1931) สมมติฐานของสมการนี้อาทิค่า Deff นี้ขึ้นอยู่กับความชื้นของวัสดุในระหว่าง การอบแห้ง และมีค่าคงที่ตลอดคาบเวลาการอบแห้ง อัตราการหดตัวของวัสดุในระหว่างการอบแห้งมี ค่าคงที่ตลอดคาบเวลาการอบแห้ง การอบแห้งเป็นแบบมิติเดียว อุณหภูมิในการอบแห้งมี ค่าคงที่ เป็น ต้น (Adedeji et al., 2008) กฎข้อที่สองของ Fick ในสภาวะการแพร่ความชื้นที่ไม่คงที่ เมื่อไม่ พิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิและความดันไอรวม สามารถอธิบายพฤติกรรมการอบแห้งวัสดุ

2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

2.10.1 ธรรมชาติของอาหาร อาหารมีเนื้อโปร่ง น้ำจะเคลื่อนที่แบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็ว กว่า การแพร่ผ่านเซลล์ในอาหารเนื้อแน่น อาหารเนื้อโปร่งจะแห้งเร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารมีน้ำตาล สูงจะเหนียว กีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจะแห้งช้า อาหารที่ผ่านการลวก นวดคลึง จนเซลล์แตก จะ แห้งได้เร็วขึ้น

2.10.2 ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิว ต่อน้ำหนัก ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก มากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกวา ความหนาของอาหาร อาหารยิ่งหนามากเท่าไหร่ การอบแห้งก็จะ ใช้เวลานานนอกจากนั้นต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่เคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย

2.10.3 ตำแหน่งของอาหารในเตาอัตราการอบแห้งภายในตู้เกิดไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับชนิด ประสิทธิภาพ ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อน อาหารที่สัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำ (ลมร้อนมี อุณหภูมิสูง) ระเหยได้ดี

2.10.4 ปริมาณอาหารต่อพื้นที่ในถาดมีความสัมพันธ์ กับพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับลมร้อน การ อบแห้งอาหารโดยใส่อาหารเข้าไปในตู้อบครั้งละมากๆ ทำให้การอบแห้งไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะช่วง กลางๆ อาหารจะซ้อนทับกัน อาจจะระเหยออกได้ไม่ดี อาหารจะสัมผัสกับอากาศร้อน ไม่ทั่วถึง ไอน้ำ ไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนได้จึงทำให้อาหารแห้งช้า การจัดเรียงอาหารเพื่อนำไป อบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้ง การจัดเรียงอาหารให้แผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ ไม่ซ้อนทับกัน อาหารจะสัมผัสกับลมร้อนได้อย่าง ทั่วถึงสม่ำเสมอ อาหารจะแห้งได้อย่างทั่วถึง

2.10.5 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของลม ร้อนกับ อาหารมีผลต่อแรงดันความชื้นออกจากอาหาร ในการอบแห้งลมร้อนยิ่งมีความชื้นต่ำ อัตราการ อบแห้งยิ่งสูง แต่ถ้าลมร้อนมีความชื้นเข้าใกล้จุดอิ่มตัว (น้ำมาก) จะรับไอน้ำได้น้อย อัตราการอบแห้ง จะต่ำ ความชื้นของอากาศจะเป็นตัวกำหนดว่าจะสามารถลดความชื้นของอาหารในกระบวนการ อบแห้งให้ต่ำอากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อยความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนจะเป็น ตัวกำหนดความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เป็น จุดที่อาหาร และอากาศร้อนถึงจุด สมดุลการระเหยน้ำ จะไม่เกิดขึ้นอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.6 อุณหภูมิของอากาศ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ เป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ เพิ่มแรงขับดันน้ำหรือความชื้นออกจากผิวหน้าอาหาร ถ้า ใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งโมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น อัตราการอบแห้งจะสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่ใช้ต้องไม่สูงจนทำให้อาหารไหม้ หรือเกิดความเสียหายจากปฏิกิริยาทาง เคมี หรือกายภาพ การกำหนดอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ขึ้นกบลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน และระยะเวลาในการอบแห้ง การอบแห้งผักและผลไม้อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 45-70 องศา เซลเซียส ถ้าสูงกวา 70 องศาเซลเซียส น้ำจะระเหยเร็วเกินไปอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงซ้อน ทางเคมี กายภาพที่ผิวหน้า โดยผิวหน้าเกิดเปลือกแห้งแข็งกระด้าง น้ำซึมผ่านไม่ได้ เรียกว่า case hardening อัตราการอบแห้งลดต่ำลง ผลิตภัณฑ์มีความชื้นอยู่ภายในสูง เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้จะเกิด การเน่าเสีย และเกิดสีคล้ำ

2.10.7 ความเร็วของลมร้อน เป็นการพาความชื้นออกไป ถ้าใช้ความเร็วลมสูงก็จะพาไอ น้ำจากผิวหน้าของอาหารออกสู่ภายนอกได้เร็วขึ้น ทำให้อาหารแห้งเร็วและยังช่วยป้องกนการเกิดสภาวะอิ่มตัวในบรรยากาศเหนือผิวของอาหาร (พิมพ์เพ็ญ, 2010)

2.11 ความชื้นในอาหาร

ปริมาณน้ำในอาหารแตกต่างกันมาก อาหารธรรมชาติมีปริมาณน้ำประมาณร้อยละ 7-95 ปริมาณน้ำที่อยู่ในอาหารมักเรียกว่า“ความชื้น” ปริมาณน้ำในอาหารมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติและคุณลักษณะอาหารมาก ผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดจะมีความชื้นต่างๆกัน ซึ่งความชื้นสามารถเป็นตัวที่บ่งบอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ความชื้นมีความสำคัญมากต่อผลิตภัณฑ์อาหารทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์สุดท้าย ความชื้นสามารถใช้เป็นตัวกำหนดราคา ความคงตัวและคุณภาพของอาหาร

2.11.1 น้ำในอาหารมี 3 สถานะ คือ

2.11.1.1 ก๊าซโมเลกุลของน้ำเรียงตัวแบบเดี่ยวๆ (monomolecule)

2.11.1.2 ของเหลวโมเลกุลของน้ำจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนแบบ dihydral (2 molecules)

2.11.1.3 ของแข็งเป็นน้ำแข็งโมเลกุลจับตัวด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง จัดเรียงตัวแบบ hexagonalทำให้น้ำแข็งมีปริมาตรมากกว่าน้ำและมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ

2.11.2 น้ำในอาหารแบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ

2.11.2.1 free water เป็นน้ำที่อยู่ในช่องว่างของโมเลกุลของอาหาร ซึ่งเป็นน้ำที่ระเหยได้ง่าย โดยน้ำจะจับกับสารโมเลกุลใหญ่ ด้วยพันธะ hydrophilic เช่น โปรตีน กัม สารประกอบพวกฟีโนลิก (phenolic compound)

2.11.2.2 adsorbed water เป็นน้ำชั้นบางๆ อาจอยู่ในรูป monomolecular หรือ polymolecular ซึ่งพบได้ทั้งภายในและภายนอกของอาหารที่เป็นของแข็ง เช่น แป้ง เพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลส และโปรตีน น้ำชนิดนี้จะถูกดูดซับด้วยสารพวกโมเลกุลใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยแรงแวนเดอวาล์ล หรือพันธะไฮโดรเจน

2.11.2.3 bound water เป็นน้ำที่จับกันด้วยพันธะเคมี เช่น คาร์โบไฮเดรต เช่น dextrose, maltose, lactose จะคงตัวเมื่ออยู่ในรูป (monohydrates) เกลือ เช่น (potassium tartrate) ก็มักอยู่ในรูป (hydrate) โดยปกติ (bound water) ไม่ระเหยจากการทำแห้ง (drying) หรือแช่แข็ง (freezing) โดยทั่วไป (bound water) มีประมาณร้อยละ 9.5-30 ของปริมาณน้ำทั้งหมด น้ำอิสระเป็นน้ำที่แทรกตัวอยู่ในช่องว่างของอาหาร อาจมีการเกาะตัวกับองค์ประกอบของอาหารบ้าง แต่แรงเกาะไม่แข็งแรงมากนัก มีคุณสมบัติเหมือนน้ำปกติ สามรถเป็นตัวทำละลายได้ มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์สามารถนำน้ำส่วนนี้ไปใช้ได้ แต่น้ำส่วนนี้บางส่วนยังมีคุณสมบัติไม่เหมือนกับน้ำอิสระในธรรมชาติอย่างแท้จริง ในอาหารจะมีองค์ประกอบที่ละลายหรือเกิดคอลลอยด์กับน้ำได้อยู่มากมาย องค์ประกอบเหล่านี้จะมีพันธะกับน้ำ และอยู่ในสภาวะ (adsorbed water) และ (bound water) ส่วนที่เหลือเป็นน้ำอิสระ (free water) ปริมาณ (adsorbed water) และ (bound water) เปลี่ยนแปลงได้ถ้าองค์ประกอบของอาหารหรืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง นั่นคือมีผลต่อปริมาณน้ำอิสระโดยทางอ้อม ทำให้ปริมาณไม่คงที่ อาหารต่างชนิดกัน มีความชื้นเท่ากันจึงไม่จำเป็นว่าจะต้องมีน้ำอิสระเท่ากัน ถ้าอาหารมีน้ำอิสระมากจะเสียได้ง่าย เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ การทราบปริมาณอิสระในอาหารจึงมีความจำเป็นมากในการที่จะคาดเดาได้ว่าจุลินทรีย์สามารถเจริญได้หรือไม่ อย่างไรก็ตามการวัดปริมาณน้ำอิสระสามารถทำได้ยาก แต่น้ำอิสระมีความสัมพันธ์กับความดันไอตามกฎของ (Raoult's law) คือ ความดันไอแปรผันตรงกับปริมาณน้ำอิสระ เมื่อความเป็นอิสระของน้ำมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของน้ำที่เป็นอิสระต่อน้ำที่มีอยู่ทั้งหมดในอาหาร ค่า (water activity) จึงมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของความดันไอของอาหารต่อความไอน้ำบริสุทธิ์

$$a_W = P_W / P_O$$
$$= ERH / 100$$

เมื่อ a_W = ค่า water activity

P_W = ค่าความดันไอของอาหาร

P_O = ค่าความดันไอของน้ำบริสุทธิ์

ERH = ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล

2.11.3 การวิเคราะห์ความชื้น

หลักที่ใช้พิจารณาในการวิเคราะห์ความชื้น

2.11.3.1 รวดเร็ว

2.11.3.2 สามารถใช้วิเคราะห์กับตัวอย่างได้หลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.3.3 เป็นวิธีการง่ายๆ ไม่ซับซ้อน สามารถฝึกฝนได้ง่าย

2.11.3.4 เครื่องมือ อุปกรณ์ราคาถูก

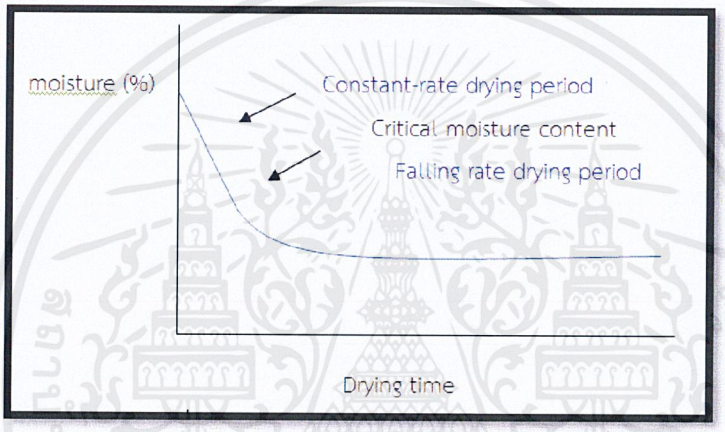
2.11.3.5 มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูง

2.11.3.6 ไม่มีอันตราย

โดยทั่วไปมักจะใช้ความรวดเร็วและความแม่นยำในการพิจารณามากกว่าข้ออื่นๆ

2.12 กลไกการทำแห้ง (Mechanism of Drying : Moisture Loss)

การวิเคราะห์หาความชื้นในอาหรสามารถทำได้โดยตรง โดยการทำแห้ง โดยมีกลไกการเอาความชื้นออก มี 2 ขั้นตอน คือ



ภาพที่ 2.9 กราฟแสดงความสามารถของกระบวนการทำแห้ง

ที่มา : นรินทร. (ม.ป.ป.)

2.12.1 constant rate drying

เป็นช่วงที่น้ำระเหยออกจากผิวหน้าของอาหาร โดยเป็นน้ำในส่วนของ free water ซึ่งมีอัตราคงที่ จนถึงระดับหนึ่งที่น้ำบริเวณผิวหน้าแห้งหมด ทำให้อัตราการทำแห้งลดลง จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงเรียกว่า critical moisture content

2.12.2 Falling rte drying period

เริ่มจากจาก critical moisture content จนสุดท้ายของการทำแห้ง โดยมี 2 ช่วงย่อย คือ ช่วงที่ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้งแต่ยังเปียก และช่วงที่ผิวหน้าแห้งยอย่างสมบูรณ์ โดยระยะเวลาไม่มีผลต่อการทำแห้งแล้ว ซึ่งไม่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนทั้งภายนอกและภายใน ซึ่งจะได้ความชื้นที่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.13 ปัจจัยที่มีผลต่อการเอาความชื้นออก

2.13.1 อุณหภูมิ

มีบทบาทมากต่อการทำแห้ง โดยมีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนในอาหาร ทั้งนี้ขึ้นกับด้วย โดยปกติเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ระยะเวลาการทำแห้งจะลดลง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงมากๆ อาจเกิดการสูญเสียน้ำหนักของอาหาร ซึ่งอาจเกิดจากสูญเสียสารระเหยระหว่างการทำแห้ง

2.13.2 อากาศ (air velocity)

ลมร้อน ให้อัตราการทำแห้งสูงกว่าลมเย็น โดย high velocity air จะเอาความชื้นออกจากผิวหน้าอาหารได้ดีกว่า

2.13.3 ความดัน

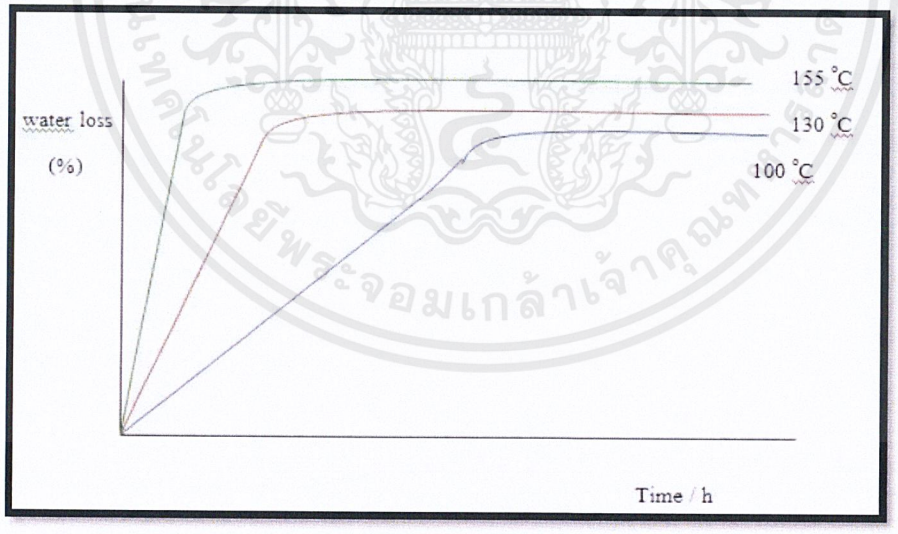
ที่ความดัน 1 บรรยากาศ (1 atm / 760 mmHg) น้ำเดือดที่ 100 ^{0}C ถ้าความดันลดลงน้ำจะเดือดที่อุณหภูมิลดลง ดังนั้นที่อุณหภูมิคงที่เมื่อลดความดันลง สามารถเพิ่มอัตราการทำแห้ง ซึ่งหลักการนี้นำไปใช้หารทำแห้งแบบ vacuum drying ซึ่งเหมาะกับอาหารที่มีสารระเหย หรืออาหารที่สลายได้ง่ายเมื่อโดนความร้อนสูง

2.13.4 ความชื้น (Humidity)

ความชื้นในอากาศสูง อัตราการทำแห้งของอาหารต่ำกว่าที่อากาศแห้ง

2.13.5 ระยะเวลา (drying time)

ระยะเวลาการทำแห้งมักขึ้นกับอุณหภูมิ



ภาพที่ 2.10 อัตราการสูญเสียความชื้นของแป้งสาลีที่อุณหภูมิต่างๆ

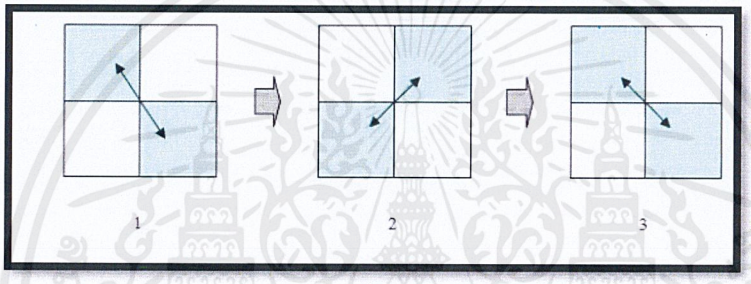
ที่มา : นรินทร. (ม.ป.ป.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
143408

2.14 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ความชื้น

โดยปกติอาหารเป็นพวก (heterogenous) ดังนั้นควรทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenous) ซึ่งขึ้นกับชนิดของตัวอย่างอาหารที่จะนำมาวิเคราะห์ ควรมีการลดขนาดของตัวอย่างเพื่อเพิ่มพื้นที่ ทำให้ประสิทธิภาพการวิเคราะห์ความชื้นดีขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้เช่น blender, mincers, graters, homoginizers, powder mills. Grinders

dry food มักใช้เครื่องมือในการบดเพื่อลดขนาด แต่มีข้อควรระวังคือ ในระหว่างการบดตัวอย่างจะเกิดความร้อนขึ้น อาจทำให้ความชื้นหายไปได้ระหว่างการเตรียมตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างแป้งอาจมีการร่อนผ่านตะแกรง และอาจใช้การสุ่มแบบ (quartering) โดยการร่อนแป้งลงบนกระจก กระดาษ หรือพื้นที่เรียบและสะอาด ซึ่งมีดารแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ในการดึงตัวอย่างจะใช้ quarter ตรงกันข้าม แล้วร่อนจนได้จำนวนตัวอย่างที่ต้องการ (นรินทร, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2.11 preparation of samples by quartering

ที่มา : นรินทร. (ม.ป.ป.)

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พูนศิริ ทิพย์เนตร (2010) ศึกษามะนาวผงสูตรเข้มข้นด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อพัฒนาคุณภาพของมะนาวผงให้มีรสเปรี้ยวและกลิ่นคล้ายมะนาวสด โดยการศึกษาหาอัตราส่วนปริมาณน้ำมะนาวผลดิบกับน้ำมะนาวผงสุกในการผลิตมะนาวผงที่เหมาะสมให้มีคุณสมบัติดังกล่าว และเปรียบเทียบมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยสูตรต่างๆ กับมะนาวผงของ กลุ่มแม่บ้าน อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี โดยเปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ปริมาณวิตามินซี ปริมานกรดซิตริก ความเป็นกรด-เบส (pH) ความชื้น และการทดสอบความพึงพอใจโดยใช้ประสาทสัมผัส

พรรจิรา วงศ์สวัสดิ์ (2545) ศึกษากระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและเครื่องอบไมโครเวฟสูญญากาศ งานวิจัยนี้ศึกษาหาสภาะวะในการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศ และการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผงซึ่งในการทดลองใช้น้ำผักผลไม้รวมที่มีอัตราส่วนโดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างน้ำส้ม น้ำแครอท และน้ำมะนาว เท่ากับ 49 : 34 : 17 และศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 100,110 และ 120 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตรเดกซ์ตินที่ระดับร้อยละ 13, 15 และ 19 โดยน้ำหนัก

วันเพ็ญ สีหวงษ์ (2546) ศึกษาผลของมอลโตรเดกซ์ตินต่อคุณภาพของมะนาวผงผลิตโดยกระกวนการทำแห้งแบบระเหิด งานวิจัยนี้ศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปมะนาวด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด โดยใช้มอลโตรเดกซ์ติน D.E.17 เป็นสารช่วยในการทำแห้งและเพิ่มมวลของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษามอลโตรเดกซ์ติน D.E.17 ที่ความเข้มข้น 6 ระดับ (15 20 25 30 35 และ 40%,w/w) เวลาที่ใช้ตั้งแต่แช่เยือกแข็งถึงทำแห้งรวม 14 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 มะนาวแป้นท้ายไร่

3.2 สารเคมี

3..2.1 Maltodextrin

3.2.2 Phenolphthalein

3.2.3 Sodium hydroxide — Carlo erba reagents Group

3.2.4 L-ascorbic acid — CE-EMB 45053 VWR International

3.2.5 Metaphosphoric acid — Merck KGaA 64271 Darmstadt,Germany

3.2.6 2,6-dichlorophenoindophenol — New Jersey,USA

3.3 อุปกรณ์

3.3.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.3.2 Clour meter CR-300 — Minolta, Japan

3.3.3 pH meter

3.3.4 Magnetic stirrer — IKA C-MAG HS7

3.3.5 Magnetic bar

3.3.6 Vaccum oven

3.3.7 Hot air oven

3.3.8 Desiccator

3.3.9 ถ้วยอลูมิเนียม

3.3.10 เครื่องแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำมะนาววัตถุดิบและการทำแห้งแบบสุญญากาศ

3.4.1.1 นำมะนาวที่เตรียมไว้มาล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาดจากนั้นทิ้งไว้จนผิวของมะนาวแห้ง แล้วนำมะนาวมาหั่นแบ่งครึ่งเพื่อคั้นน้ำแล้วกรองเมล็ดออก

3.4.2 ศึกษาอุณหภูมิและอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้ในการทำแห้งแบบสุญญากาศ

3.4.2.1 กำหนดอัตราส่วนของน้ำมะนาวต่อมอลโตเดกซ์ติน

สูตรLP 0.5 ประกอบด้วย น้ำมะนาว 100 ml มอลโตเดกซ์ติน 25 กรัม

สูตรLP 1.0 ประกอบด้วย น้ำมะนาว 100 ml มอลโตเดกซ์ติน 50 กรัม

สูตรLP 1.5 ประกอบด้วย น้ำมะนาว 100 ml มอลโตเดกซ์ติน 75 กรัม

3.4.2.2 กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งแบบสุญญากาศ เท่ากับ 50 , 60 และ65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.4.2.3 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของมะนาวผงที่ได้

3.4.3 นำน้ำมะนาวที่กรองเสร็จแล้วมาผสมกับมอลโตเดกซ์ตินตามอัตราส่วนที่เหมาะสม

3.4.3.1 กำหนดอัตราส่วนของน้ำมะนาวต่อมอลโตเดกซ์ติน

สูตร LP 0.5 ประกอบด้วย น้ำมะนาว 1000 มิลลิลิตร มอลโตเดกซ์ติน 250 กรัม

สูตร LP 1.0 ประกอบด้วย น้ำมะนาว 1000 มิลลิลิตร มอลโตเดกซ์ติน 500 กรัม

3.4.3.2 กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งแบบสุญญากาศ เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส

3.4.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของมะนาวผง

3.4.4.1 การวัดค่าสีของมะนาวผงระบบ Hunter Lab

เป็นการวัดค่าสี L ค่าสี a* และค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัด Clour meter CR-300 โดยค่า L เป็นค่าความสว่าง (Lightness) a* เป็นค่าสีแดงและค่าสีเขียว (redness/greenness) และ b* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (yellowness/blueness)

L คือ ค่าความสว่าง	มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
a* คือ ค่าสีแดงและสีเขียว	เมื่อ a มีค่าบวก เป็นสีแดง
	เมื่อ a มีค่าลบ เป็นสีเขียว
b* คือ ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน	เมื่อ b มีค่าบวก เป็นสีเหลือง
	เมื่อ b มีค่าลบ เป็นสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.2 การทดสอบความสามารถในการละลาย(solubility) (AL-Kahtani and Hassan,1990)

ชั่งมะนาวผง 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น(อุณหภูมิห้อง)ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในบิกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร กวนผสมด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ที่ความเร็วระดับ 5 จับเวลา(วินาที) ที่ใช้ในการละลายจนผงอิ่มตัว

3.4.5 การวิเคราห์คุณสมบัติทางเคมีของมะนาวผง

3.4.5.1 การหาปริมาณกรดซิตริกโดยวิธีการไทเทรต ตามวิธีของAOAC 2000

นำน้ำมะนาวที่ได้ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งถึงจุดยุติ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ใช้ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำค่าที่ได้มาคำนวณ ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ citric acid} = \frac{N\ base\ x\ mL.base\ x\ meq.wt.of\ citric\ acid\ x\ 100}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง}(ml)}$$

เมื่อกำหนดให้

N base คือ Normality ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน

mL.base คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรต

meq.wt. of citric acid คือ น้ำหนักโมเลกุลสมมูลย์ของ citric acid เท่ากับ 0.06404

3.4.5.2 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส (pH)

นำน้ำมะนาวมาวัดค่าความเป็นกรดด่าง(pH) โดยใช้เครื่อง pH meter(Hanna Instruments : Model HI 9021) แล้วอ่านค่าที่วัดได้ ซึ่งได้ปรับค่ามาตรฐานด้วยสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.00 และ 7.00 ตามลำดับ

3.4.5.3 การหาปริมาณความชื้นในมะนาวผง ตามวิธี AOAC 1984

1. ชั่งมะนาวผง 5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน(4ตำแหน่ง) ในภาชนะที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว(4ตำแหน่ง)
2. นำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง
3. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น(Desiccator) แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (4ตำแหน่ง)
4. ทดลองอบซ้ำอีกประมาณครึ่งชั่วโมงหรือจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่
5. คำนวณหาปริมาณความชื้น จากสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{(A-B)\,x100}{W}$$

3.4.5.4 การหาปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวจากผลสด และมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศ

1. เตรียมสารละลายวิตามินซีมาตรฐานโดยชั่ง ascorbic acid 100 มิลลิกรัม ละลายในสารละลาย Metaphosphoric acid 5% W/V จนมีปริมาณครบ 100 มิลลิลิตร

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานวิตามินซี 10มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลาย 2,6- dichlorophenoindophenol 0.1% จนกระทั่งเป็นสีชมพู ทำการไทเทรต 3 ครั้ง บันทึกปริมาตรของ 2,6- dichlorophenoindophenol 0.1% ที่ใช้

3. ปิเปตสารละลาย Metaphosphoric acid 4% W/V ไทเทรตด้วยสารละลาย2,6- dichlorophenoindophenol 0.1% จนกระทั่งเป็นสีชมพู ทำการไทเทรต 3 ครั้ง บันทึกปริมาตรของ 2,6- dichlorophenoindophenol 0.1% ที่ใช้

4. ปิเปตน้ำมะนาวสด 10 mL หยด Metaphosphoric acid 4% W/V ไทเทรตด้วยสารละลาย2,6- dichlorophenoindophenol 0.1% จนกระทั่งเป็นสีชมพู ทำการไทเทรต 3 ครั้ง บันทึกปริมาตรของ 2,6- dichlorophenoindophenol 0.1% ที่ใช้

สำหรับมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศ ให้ทำการชั่งนะนาวผงมา 9กรัม มาละลายน้ำจนครบ30มิลลิลิตรมาไทเทรตด้วยสารละลาย2,6-dichlorophenoindophenol 0.1% จนกระทั่งเป็นสีชมพู ทำการไทเทรต 3 ครั้ง บันทึกปริมาตรของ2,6dichlorophenoindophenol 0.1% ที่ใช้

5. นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณวิตามินซี ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณวิตามินซี (mg/100mL)} = \frac{0.02x(T-B)\text{x}100}{(S-B)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบสุญญากาศ

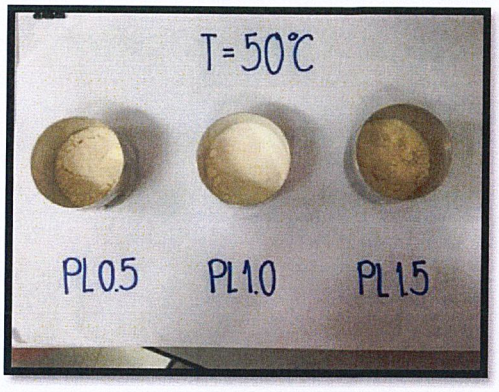
การทดลองได้ใช้อัตราส่วนปริมาณมะนาวกับมอลโตเดกซ์ติน ในการทำแห้งแบบสุญญากาศ ด้วยการปรับอัตราส่วนปริมาณมะนาวกับมอลโตเดกซ์ตินและอุณหภูมิในการทำมะนาวผง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบสุญญากาศ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ	ผลการทดลอง			
		สี	กลิ่น	น้ำหนักมะนาวผงที่ได้(กรัม)	เวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบสุญญากาศ (ชั่วโมง)
LP 0.5	50	ครีม	คล้ายมะนาว	3.8834	4.30
	60	ครีม	คล้ายมะนาว	3.8647	3.00
	65	น้ำตาลอ่อน	คล้ายมะนาว	3.8762	2.00
LP 1.0	50	ครีม	คล้ายมะนาว	4.6515	4.30
	60	น้ำตาลอ่อน	คล้ายมะนาว	4.6398	3.00
	65	น้ำตาลอ่อน	คล้ายมะนาว	4.6565	2.00
LP 1.5	50	น้ำตาลอ่อนๆ	คล้ายมะนาว	7.4628	4.30
	60	น้ำตาล	คล้ายมะนาวน้อย	7.4545	3.00
	65	น้ำตาล	คล้ายมะนาวน้อยมาก	7.4479	2.00

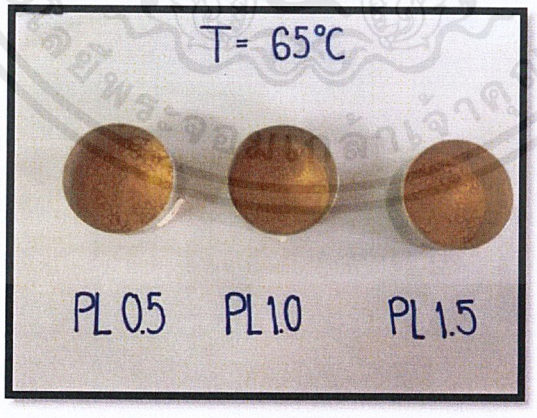
จากภาพที่ 4.1-4.3 แสดงลักษณะของมะนาวผงที่อุณหภูมิต่างกัน โดยที่ใช้น้ำมะนาวสด 15 กรัม สูตรLP0.5 สามารถผลิตมะนาวผงได้ 3.8747 ±0.0098 กรัม สูตร LP 1.0 สามารถผลิตมะนาวผงได้ 4.6492 ±0.0050 กรัม สูตร LP 1.5 สามารถผลิตมะนาวผงได้ 7.4550 ±0.0074 กรัม สีของผงมะนาวที่ได้จะเป็นสีครีมเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำ และจะมีสีเข้มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น เนื่องจากมะนาวผงที่มีส่วนผสมของมอลโตเด็กซ์ตินมากทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงจึงมีความเสี่ยงในการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ได้อีกด้วย (นิธิยา,2549) เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตินจะทำให้กลิ่นของมะนาวน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 มะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 1

ภาพที่ 4.2 มะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.3 มะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของมะนาวผง

4.2.1 การวัดค่าสีของมะนาวผง

จากการทดลองทำมะนาวผงโดยการทำแห้งแบบสุญญากาศโดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และใช้สูตรในการทดลองที่ต่างกัน ศึกษาสีของมะนาวผงได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาสีของมะนาวผงของการทำแห้งแบบสุญญากาศ

ตัวอย่าง	ปริมาณอัตราส่วน	อุณหภูมิ	ผลการทดลอง			
			L	a*	b*	น้ำหนักผง (กรัม)
LP 0.5	น้ำมะนาว 1000 mL มอลโตเดกซ์ติน 250 กรัม	50°C	91.69	-1.83	13.74	318.11
LP 1.0	น้ำมะนาว 1000 mL มอลโตเดกซ์ติน 500 กรัม	50°C	91.63	-1.17	11.54	583.87

จากการทดลอง พบว่า มะนาวผงจากการการทำแห้งแบบสุญญากาศมีค่าสีL(ความสว่าง) ค่อนข้างสูง ค่าสีa* ค่อนข้างไปทางสีเขียวเล็กน้อย ส่วนค่าสีb* มีสีออกไปทางสีเหลืองเล็กน้อย เนื่องจากค่าสี b* ของสูตร LP1.0 มีค่าสูงกว่า ค่าสี b* ของสูตร LP 0.5 ค่อนข้างสูงจึงมีสีเหลืองกว่า เมื่อสังเกตลักษณะสีของมะนาวผงโดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่า สูตร LP 0.5 มีสีที่คล้ายน้ำมะนาวสดมากกว่า เมื่อเทียบสีของมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบระเหิดจากงานวิจัยของ วันเพ็ญ (2546) พบว่า สีของมะนาวผงที่ได้จะมีค่าสี L (ความสว่าง)น้อยกว่า ค่าสี a* ค่อนข้างไปทางสีเขียวมากกว่าค่าสี b* มีสีออกไปทางสีเหลืองมากกว่าการทำแห้งแบบสุญญากาศ ทำให้การทำแห้งแบบระเหิดมีลักษณะของผงมะนาวที่ดีกว่าการทำแห้งแบบสุญญากาศ เมื่อเปรียบเทียบสีของมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยจากงานวิจัยของ พูนศิริ, (2010) พบว่า มะนาวผงมีสีครีม เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ตินในน้ำมะนาวจาก 250กรัมเป็น 500กรัม ทำให้ผลการผลิตจากการทำแห้งเพิ่มขึ้นจาก 318.11 กรัม เป็น 583.87กรัม

ภาพที่ 4.4 มะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ครั้งที่2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดสอบความสามารถในการละลาย

จากการทดลองนำมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศโดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และใช้สูตรในการทดลองที่ต่างกัน มาละลายน้ำเพื่อศึกษาความสามารถในการละลาย ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การศึกษาความสามารถในการละลายมะนาวผงของการทำแห้งแบบสุญญากาศ

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการละลาย(วินาที)			เวลาเฉลี่ยที่ใช้ละลาย (วินาที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำตาล	45	48	46	46.33 ± 1.50
เกลือ	298	300	300	299.33 ± 1.00
มะนาวผง (ทางการค้า)	15	15	15	15.00 ± 0.00
LP 0.5	43	43	44	43.33 ± 0.50
LP 1.0	42	42	41	41.66 ± 0.05

จากการศึกษาความสามารถในการละลายของมะนาวผงจากการทำแห้งแบบสุญญากาศโดยใช้มะนาวผงในสูตรLP 0.5 และ LP 1.0 โดยใช้มะนาวผง 10 กรัม มาละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร กวนผสมด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ที่ความเร็วระดับ 5(วินาที)ที่ใช้ในการละลายของผงอย่างสมบูรณ์เมื่อพิจารณาด้วยสายตา พบว่า มะนาวผงสูตร LP 1.0ละลายได้ดีกว่ามะนาวผงสูตร LP 0.5 และยังละลายได้ดีกว่าเกลือและน้ำตาลที่มีขายอยู่ในท้องตลาด แต่ละลายได้ช้ากว่ามะนาวผงทางการค้าที่มีขายอยู่ในท้องตลาด เนื่องจากมะนาวผงที่ผลิตมีการเติมมอลโตเดกซ์ทริน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จำพวกแป้ง เมื่อถูกความร้อนสูงอาจจะกลายเป็นเจลที่ผิวน้ำของน้ำมะนาวผง ทำให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปได้โดยง่ายเป็นเหตุทำให้การละลายลดลง

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของมะนาวผง

4.3.1 การหาปริมาณกรดซิตริกโดยวิธีการไทเทรต

จากการทดลองนำมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศโดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และใช้สูตรในการทดลองที่ต่างกัน มาไทเตรทเพื่อศึกษาปริมาณกรดในมะนาวผงและเปรียบเทียบกับมะนาวสดได้ผลดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาปริมาณกรดซิตริกโดยวิธีการไทเตรท

ตัวอย่าง	ปริมาณ 0.1 N NaOH ที่ใช้ (ML)				ปริมาณกรดซิตริก
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	% เฉลี่ย	(%)
LP 0.5	4	3.5	4	3.83	0.245 ± 0.645
LP 1.0	2.5	2.4	2.3	2.3	0.147 ± 0.016
น้ำมะนาวสด	11.5	12.4	11.5	11.8	0.52 ± 01.45

จากการศึกษาปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวผง พบว่า สูตรLP 0.5 มีของปริมาณกรดซิตริกมากกว่า สูตรLP 1.0 เมื่อเทียบกับปริมาณกรดซิตริกในน้ำน้ำมะนาวสดจะพบความแตกต่างคือ ในน้ำมะนาวสดจะมีปริมาณกรดซิตริกมากกว่ามะนาวผงทั้ง2สูตรอย่างชัดเจน เมื่อเทียบปริมาณของกรดซิตริกในมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบระเหิดจากงานวิจัยของ วันเพ็ญ (2546) พบว่า มะนาวผงที่ได้การทำแห้งแบบระเหิดมีประมาณกรดซิตริกมากกว่ามะนาวที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดซิตริกของมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยจากงานวิจัยของ พูนศิริ, (2010) พบว่า ประมาณกรดซิตริกมากกว่ามะนาวที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศแต่น้อยกว่ามะนาวผงที่ได้การทำแห้งแบบระเหิด เนื่องจากเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว ความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจะทำให้ปริมาณกรดซิตริกในผลิตภัณฑ์ลดลงเล็กน้อย

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส (pH)

จากการทดลองนำมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศโดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และใช้สูตรในการทดลองที่ต่างกัน มาศึกษาความเป็นกรด-เบส ในมะนาวผงและเปรียบเทียบกับมะนาวสดได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาความเป็น กรด – เบส

ตัวอย่าง	ค่า pH ที่อ่านได้				pH
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	% เฉลี่ย	
LP 0.5	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71 ± 0.00
LP 1.0	2.75	2.80	2.79	22.81	2.81 ± 0.01
น้ำมะนาวสด	2.32	2.34	2.34	2.33	2.33 ± 0.01

จากการศึกษาความเป็นกรด-ด่าง ในน้ำมะนาวผง พบว่า สูตร LP 0.5 มีค่าความเป็นกรดมากกว่าสูตร LP 1.0 ในน้ำมะนาวสดมีค่าความเป็นกรด สูงกว่า มะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศค่อนข้างมาก เมื่อเทียบความของกรด-ด่างมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบระเหิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ วันเพ็ญ (2546) พบว่า มะนาวผงที่ได้การทำแห้งแบบระเหิดมีประมาณความเป็นกรดใกล้เคียงกับมะนาวสดมากกว่ามะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศ และเมื่อเปรียบเทียบความเป็นกรด-เบส ของมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยจากงานวิจัยของ พูนศิริ, (2010) พบว่า การทำแห้งแบบพ่นฝอยมีประมาณความเป็นกรดใกล้เคียงกับมะนาวสดมากกว่ามะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศแต่การทำแห้งแบบพ่นฝอยมีประมาณความเป็นกรดน้อยกว่าการทำแห้งแบบระเหิด

4.3.3 ผลการหาปริมาณความชื้นในมะนาวผง

จากการทดลองนำมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศโดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และใช้สูตรในการทดลองที่ต่างกัน มาศึกษาปริมาณความชื้นในมะนาวผงได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการศึกษาปริมาณความชื้น

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น (%)
LP 0.5	8
LP 1.0	8.5

จากการศึกษาปริมาณความชื้นในมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศ พบว่า สูตร LP 1.0 มีปริมาณความชื้นมากกว่า สูตร LP 0.5 เมื่อเทียบปริมาณความชื้นของมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบระเหิดจากงานวิจัยของ วันเพ็ญ (2546) พบว่า มะนาวผงที่ได้การทำแห้งแบบระเหิดมีประมาณความความชื้นน้อยกว่ามะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้น ของมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยจากงานวิจัยของ พูนศิริ, (2010) พบว่า มะนาวผงการทำแห้งแบบสุญญากาศมีปริมาณความชื้นน้อยกว่ามะนาวผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.3.4 หาปริมาณวิตามินซีโดยวิธีการไทเทรต

จากการทดลองนำมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศโดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และใช้สูตรในการทดลองที่ต่างกัน มาไทเตรทเพื่อศึกษาปริมาณวิตามินซีในมะนาวผงและเปรียบเทียบกับมะนาวสดได้ผลดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการศึกษาปริมาณวิตามินซีโดยวิธีไทเทรต

ตัวอย่าง	ปริมาณ 2,6-dichlorophenoindphenol 0.1%ที่ใช้(ml)				ปริมาณวิตามินซี (mg/100ml)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
LP 0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.031 ± 0.000
LP 1.0	0.6	0.7	0.6	0.63	0.041 ± 0.008
น้ำมะนาวสด	7.50	8.00	8.00	7.83	0.608 ± 0.023

จากการศึกษาปริมาณวิตามิซีในมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศ พบว่า สูตร LP 1.0 มีปริมาณวิตามินซีมากกว่า สูตร LP 0.5 ปริมาณวิตามินซีในมะนาวผงมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวสด เมื่อเทียบปริมาณความชื้นของมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบระเหิดจากงานวิจัยของ วันเพ็ญ, (2546) พบว่า มะนาวผงที่ได้การทำแห้งแบบระเหิดมีปริมาณวิตามินซีมากกว่ามะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศ สุญญากาศ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณวิตามินซีของมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยจากงานวิจัยของ พูนศิริ, (2010) พบว่า มะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศมีปริมาณปริมาณวิตามินซีน้อยกว่ามะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศ กล่าวได้ว่าความร้อนที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งและการสัมผัสกับออกซิเจนมีผลทำให้กรดแอสคอร์บิคสลายตัว เพราะกรดแอสคอร์บิคเป็นสารรีดิวซิงเอเจนท์ (strong reducing agent) ที่มีความคงตัวต่ำสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศและความร้อน จากการศึกษาของบุญยศ, (2549) โดยทำการผลิตน้ำส้มผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า น้ำส้มสายน้ำผึ้งมีปริมาณกรดแอสคอร์บิค 26.29 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม หลังจากผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นน้ำส้มผงเหลือปริมาณกรดแอสคอร์บิคเพียง 3.75 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำมะนาวกับมอลโตเดกซ์ตินและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบสุญญากาศ โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการทำแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส 60 องศาเซลเซียส และ65 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของมะนาวต่อมอลโตรเดกซ์ตินที่ 4:1 และ4:2 พบว่า สำหรับการทำแห้งมะนาวด้วยวิธีทำแห้งโดยใช้เครื่องอบสุญญากาศมีอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากการทำแห้งเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจจะทำให้ปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้น

เมื่อนำมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มาศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมะนาวกับมอลโตเดกซ์ติน จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า มะนาวผงสูตร LP0.5 มีค่าLเท่ากับ 91.69 มีค่าa*เท่ากับ -1.83 มีค่าb*เท่ากับ 13.74 ซึ่งมีลักษณะคล้ายมะนาวสดมากกว่ามะนาวผงสูตร LP1.0 ที่มีค่าLเท่ากับ 91.63 มีค่าa*เท่ากับ -1.17 มีค่าb* เท่ากับ 11.54 จากนั้นนำมาทดสอบความสามารถในการละลาย พบว่ามะนาวผงสูตร LP1.0 ใช้เวลาในการละลายเท่ากับ 41.66 ± 0.05 วินาที ซึ่งสามารถละลายได้ดีกว่ามะนาวผงสูตร LP0.5 ใช้เวลาในการละลายเท่ากับ 43.33 ± 0.05 วินาที และจากการวิเคราะห์คุณสมบัตรทางเคมี พบว่า มะนาวผงสูตร LP0.5 มีปริมาณ%ของกรดซิตริกสูงกว่ามะนาวผงสูตร LP1.0 มะนาวผงสูตร LP1.0 มีpHสูงกว่ามะนาวผงสูตร LP0.5 มะนาวผงสูตร LP0.5 มีปริมาณ%ความชื้นน้อยกว่ามะนาวผงสูตร LP1.0 และมะนาวผงสูตร LP1.0 มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่ามะนาวผงสูตร LP0.5

ข้อเสนอแนะ

1. มะนาวผงที่ทำการวิจัยเหมาะสำหรับการนำไปเป็นส่วนผสมของเครื่องดื่มมากกว่าการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการประกอบอาหาร
2. การผลิตมะนาวผงด้วยเครื่องอบสุญญากาศสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย
3. การผลิตมะนาวผงด้วยเครื่องอบสุญญากาศมีข้อจำกัด คือ ใช้เวลานาน แล้วในขณะที่เครื่องทำงานจำเป็นต้องมีคนเฝ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

คุ้มเกล้า ตุลาดิลก. (2547) การผลิตน้ำกระเทียมดองผง. สืบค้นจาก http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/food0152kt_app.pdf

จิระพันธุ์ เนื่องจากนิล, วราภรณ์ เมธาวิริยะศิลป์, วลัยพร ศรีชุมพวง, วีระชัย แก่นทรัพย์ และสุชาดา ไชยสวัสดิ์. (2545) การผลิตน้ำมะนาวเข้มข้นและมะนาวผงในเชิงพาณิชย์. สืบค้นจาก http://www.kmutt.ac.th/rippc/best39.htm

ณัฏฐิกา ศิลาลาย และรสสุคนธ์ ไทยประเสริฐ. (2009) ปฏิบัติการเคมีอาหาร1. สืบค้นจาก http://www.olearning.siam.edu/-3-3/273-100-101-

บุญยศ คำจิแจ่ม. (2549). การทำน้ำส้มผลโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย. เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

นรินทร บุญพราหมณ์. (ม.ป.ป.) การวิเคราะห์ความชื้นในอาหาร. สืบค้นจาก kasetday.agri.ubu.ac.th/upload/ciprut/.../moisture.doc

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (ม.ป.ป.) อัตราการทำแห้ง. สืบค้นจาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (ม.ป.ป.) การทำแห้ง. สืบค้นจาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/dehydration

ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล. (2003) การผลิตมะนาวผง. สืบค้นจาก http://www.ist.cmu.ac.th/riseat/nl/2003/10/08.php

วันเพ็ญ สีหวงษ์. (2546) ผลของมอลโตรเดกซ์ตินต่อคุณภาพมะนาวผงผลิตโดยกระบวนการทำแห้งแบบระเหิด. สืบค้นจาก http://kucon.lib.ku.ac.th

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2558) มะนาว. สืบค้นจาก http://th.wikipedia.org

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก1. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1.1 การวัดค่าสี

เป็นการวัดค่าสี L ค่าสี a* และค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัด Clour meter CR-300 โดยค่า L เป็นค่าความสว่าง (Lightness) a* เป็นค่าสีแดงและค่าสีเขียว (redness/greenness) และ b* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (yellowness/blueness)

L คือ ค่าความสว่าง	มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
a* คือ ค่าสีแดงและสีเขียว	เมื่อ a มีค่าบวก เป็นสีแดง
	เมื่อ a มีค่าลบ เป็นสีเขียว
b* คือ ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน	เมื่อ b มีค่าบวก เป็นสีเหลือง
	เมื่อ b มีค่าลบ เป็นสีน้ำเงิน

ก่อนการวัดสีทุกครั้งต้องปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (white blank; L=97,a*=-0.18,b*=1.84) แล้วจึงวัดสีผลิตภัณฑ์

1.2 ความสามารถในการละลาย(solubility) (AL-Kahtani and Hassan,1990)

ชั่งมะนาวผง 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น(อุณหภูมิห้อง)ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในบิกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร กวนผสมด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ที่ความเร็วระดับ 5 จับเวลา(วินาที) ที่ใช้ในการละลายจนผงอิ่มตัว

ก2. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

2.1 การหาปริมาณกรดซิตริกโดยวิธีการไทเทรต ตามวิธีของAOAC 2000

2.1.1 สารเคมี

2.1.1.1 0.1N NaOH เตรียมสารเคมีโดยชั่ง NaOH 4 กรัม รับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร

2.1.1.2 โพแทศเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP;$KHC_8H_4O_4$)

2.1.1.3 Phenolphthalein

2.1.2 การทำ Satandard NaOH

2.1.2.1 อบ KHP 104± 1องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24ชั่วโมง

2.1.2.2 เตรียม KHP ให้ได้ความเข้มข้น 0.1N คำนวณจากสูตรโมเลกุล 204.22 กรัม ชั่งมา 2.0422 ถ้าเตรียม 1N ต้องชั่ง KHP 204.22 กรัมละลายในน้ำ 1000 มิลลิลิตร ถ้าเตรียม 0.1N ต้องชั่งKHP 20.422 กรัมละลายในน้ำ 1000 มิลลิลิตร

2.1.3 ไทเตรท 0.1N KHP ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ด้วย 0.1N NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ใช้ฟีนอลทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติสีชมพูอ่อน

2.1.3 การคำนวณการทำ Satandard NaOH

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

เมื่อ N_1 คือ ความเข้มข้น KHP

V_1 คือ ปริมาตรของ KHP

N_2 คือ ความเข้มข้นของ NaOH

V_2 คือ ปริมาตรของ NaOH

2.2 ความเป็นกรด-เบส (pH)

นำตัวอย่างมาวัดค่าความเป็นกรดด่าง(pH) โดยใช้เครื่อง pH meter(Hanna Instruments : Model HI 9021) แล้วอ่านค่าที่วัดได้ ซึ่งได้ปรับค่ามาตรฐานด้วยสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.00 และ 7.00 ตามลำดับ อ่านค่าที่หน้าจอเครื่องวัด จดบันทึกค่าที่ได้และทำการวัด 3 ซ้ำ

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content) (AOAC, 2000) โดยใช้ตู้อบลมร้อน

2.3.1 อุปกรณและเครื่องมือ

2.3.1.1 กระป๋องอบความชื้น

2.3.1.2 ที่คีบกระป๋อง

2.3.1.3 ชอนตักสาร

2.3.1.4 โถดูดความชื้นที่มีสารดูดความชื้น เช่น ซิลิกาเจล

2.3.1.5 เครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห

2.3.1.6 ตูอบลมร้อนแบบไฟฟา

2.3.2 วิธีการวิเคราะห์

2.3.2.1 อบกระป๋องอบความชื้นพร้อมฝาในตู้อบความร้อนแบบไฟฟา ที่อุณหภูมิ 100±2 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นาน 30 นาทีชั่งน้ำหนัก (W1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในกระป๋องอบความชื้นที่อบเรียบร้อยแล้วและชั่งน้ำหนัก (W2)

2.3.2.2 นำกระป๋องอบความชื้นพร้อมฝาโดยเปดฝาออกไปอบที่ตู้อบลมร้อนแบบไฟฟาที่อุณหภูมิ 100±2 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง

2.3.2.3 นำกระป๋องอบความชื้นออกจากตู้อบไอร้อนแบบไฟฟา โดยปดฝาทันทีและทำให้เย็นใน โถดูดความชื้น นาน 30 นาทีชั่งน้ำหนักที่แนนอน

2.3.2.4 นำไปอบตออีก 1 ชั่วโมงจนได้น้ำหนักที่คงที่ (น้ำหนักที่คงที่ หมายความว่า ผลตางของ น้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดตอกันไมเกิน 2 มิลลิกรัม) (W3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 วิธีการคำนวณปริมาณความชื้น

$$\text{รอยละของน้ำหนัก} = \frac{(W2 - W3)}{(W2 - W1)} \times 100$$

เมื่อ W1 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้น (กรัม)
W2 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้นและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
W3 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้นและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2.4 การหาปริมาณวิตามินซี

2.4.1 เตรียมสารละลายวิตามินซีมาตรฐานโดยชั่ง ascorbic acid 100 มิลลิกรัม ละลายในสารละลาย Metaphosphoric acid 5% W/V จนมีปริมาณครบ 100 มิลลิลิตร

2.4.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานวิตามินซี 10มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลาย2,6-dichlorophenoindophenol 0.1% จนกระทั่งเป็นสีชมพู ทำการไทเทรต 3 ครั้ง บันทึกปริมาตรของ 2,6- dichlorophenoindophenol 0.1% ที่ใช้

2.4.3 ปิเปตสารละลาย Metaphosphoric acid 4% W/V ไทเทรตด้วยสารละลาย2,6-dichlorophenoindophenol 0.1% จนกระทั่งเป็นสีชมพู ทำการไทเทรต 3 ครั้ง บันทึกปริมาตรของ 2,6- dichlorophenoindophenol 0.1% ที่ใช้

2.4.4 ปิเปตน้ำมะนาวสด 10 mL หยด Metaphosphoric acid 4% W/V ไทเทรตด้วยสารละลาย2,6- dichlorophenoindophenol 0.1% จนกระทั่งเป็นสีชมพู ทำการไทเทรต 3 ครั้ง บันทึกปริมาตรของ 2,6- dichlorophenoindophenol 0.1% ที่ใช้

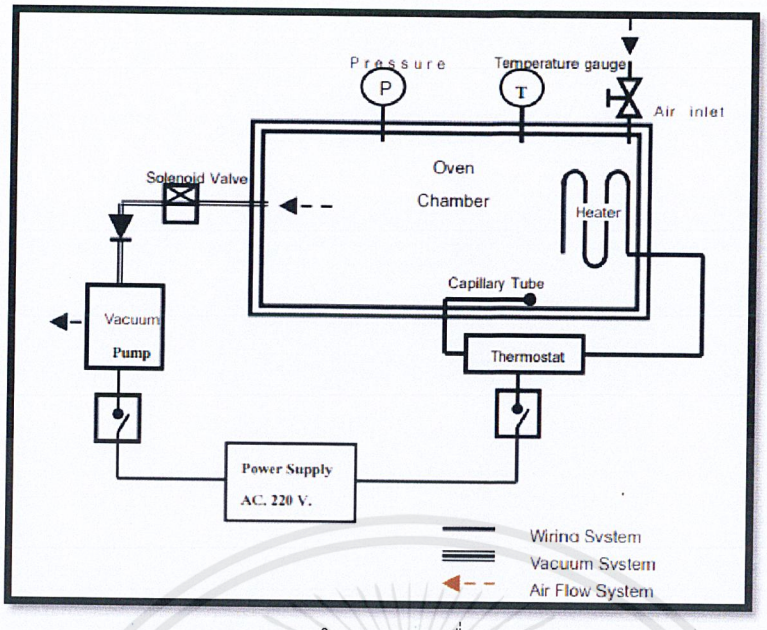
2.4.5 นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณวิตามินซี ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณวิตามินซี (mg/100mL)} = \frac{0.02x(T-B)\text{x}100}{(S-B)}$$

ก3. การการใช้งานเครื่องอบสุญญากาศ

การใช้งานเครื่อง Vacuum Oven Model 273800/273700/273600 ยี่ห้อ HOTPACK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวก ก 1 การทำงานของเครื่อง Vacuum Oven

3.1 การทำให้เป็นสุญญากาศ

3.1.1 เสียบปลั๊กไฟเครื่อง Vacuum Pump

3.1.2 เปิด Vacuum Valve และปิด BackFill Valveให้สนิท (หมุนปุ่มตามเข็ม=ปิด) (หมุนปุ่มทวนเข็ม=เปิด)

3.1.3 ตรวจสอบว่าปิดสนิทหรือไม่ ต้องปิดให้สนิท

3.1.4 On Switch ที่เครื่อง Vacuum Pump หลังจากนั้นจะสังเกตเห็นว่าเข็มของ Vacuum Pumpจะแสดงผลทางด้าน Vacuum Gaude จะแสดงผลทางด้าน Vacuum (เลื่อนจาก 0ไปยัง30)

หมายเหตุ ก่อนการใช้งานให้สังเกต Level ของน้ำมัน (Oil Vacuum) Pump ว่าอยู่ระดับ Full หรือไม่ ถ้าต่ำกว่าให้เติมให้อยู่มนระดับ Full ในกรณีที่เป็น Oil Vacuum Pump

3.2 การ SET อุณหภูมิ

3.2.1 เสียบปลั๊กไฟเครื่อง Vacuum Oven

3.2.2 เปิด Power input ซึ่งปรับได้3ระดับ

- Position 2 สำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส
- Position 4 สำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส
- Position H_1 สำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส จนถึงระดับอุณหภูมิสูงสุดของเครื่อง

3.2.3 ปรับ Limit Control ไปที่สูงสุดหลอดไฟ Limit Light จะสว่างขึ้น

3.2.4 ปรับ Temperature Control ไปที่อุณหภูมิที่จะใช้งาน

3.2.5 หลอดไฟ Heat Pilot Light จะสว่างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 หลังจากอุณหภูมิได้ตามที่ Set แล้วให้ปรับ Limit Control ลดลง(หมุนปุ่มตามเข็มนาฬิกา) จนหลอดไฟ Heat Pilot Light ดับลง แล้วให้ปรับตามเข็มนาฬิกาขึ้นเล็กน้อยจนหลอดไฟ Heat Pilot Light สว่างขึ้นซึ่งจะเป็นการจำกัดอุณหภูมิไม่ให้สูงกว่าที่ Limit Control ตั้งไว้หาก Temperature Control ขัดข้อง

หมายเหตุ ควรปรับ Limit Control ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิภายในตู้ตามที่ตั้งใช้งานไว้แล้ว

ควรปรับ Limit Control ไปยังตำแหน่งสูงสุดหลังเลิกใช้งาน

ภาพผนวก ก 2 เครื่อง Vacuum Oven

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว อติกานต์ บุญรินทร์
ที่อยู่	119 หมู่ที่ 4 ตำบล ย่านตาขาว อำเภอ ย่านตาขาว จังหวัด ตรัง 92140
E-mail	atikan.br@gmail.com
โทรศัพท์	091-0804767
ประวัติการศึกษา	- สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสภาราชินี จังหวัดตรัง - สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2557

ชื่อ-นามสกุล	นาย อมรเทพ สำลีนิล
ที่อยู่	229/58 หมู่ 6 ตำบล บางเพรียง อำเภอ บางบ่อ จังหวัด สมุทรปราการ 10560
E-mail	armza_tap@hotmail.com
โทรศัพท์	081-1106038
ประวัติการศึกษา	- สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สวนกุหลาบวิทยาลัย จังหวัดสมุทรปราการ - สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้