

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่อิมมersionทางจระเข้

EFFECT OF VACUUM IMPREGNATION FOR ALOE VERA CANDYING



๑๗/๖  
๒๕๔๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 72063  
วัน,เดือน,ปี...๑...๑...๒๕๕๐

b. 117 b3152  
i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการเชื่อมวุ้นหางจระเข้

EFFECT OF VACUUM IMPREGNATION FOR ALOE VERA CANDYING

ผู้จัดทำ

นางสาววิไลพร ห้วยทราย

นางสาวณัฏชา สว่างพานิช

นางสาวศิริพัชร์ ไชยแสนท้าว



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบรม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่ห่อ ว่านหางจระเข้
นักศึกษา	นางสาววิไลพร ห้วยทราย นางสาวณัชชา สว่างพานิช นางสาวศิริพัชร์ ไชยแสนท้าว
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญ
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2549

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่ห่อว่านหางจระเข้ พบว่า การใช้ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศระหว่าง 5 – 80 kPa ค่าความพรุนของว่านหางจระเข้ที่ได้มีค่า 2-3% ผลของความเข้มข้น เวลาและความดันที่มีต่อการแช่ว่านหางจระเข้ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (Vacuum Impregment , VI) จากแผนการทดลองแบบ Box-Behnken ได้สภาวะที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัป 30° Brix เวลา 5 นาทีและความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ระดับ 10-20 kPa การใช้สารละลายออสโมติกเป็นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พบว่า การใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ จะสามารถลดระยะเวลาในการแช่ว่านหางจระเข้เมื่อเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ

ผลของการแช่ว่านหางจระเข้ในสารละลายซูโครสไซรัปความเข้มข้น 30°Brix โดยใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ระดับ 10 และ 20 kPa เป็นเวลา 5 นาที ก่อนย้ายแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปความเข้มข้น 30 ° Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงย้ายไปแช่ที่ความเข้มข้น 40° Brix และ 50° Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมงตามลำดับ เมื่อครบ 72 ชั่วโมง พบว่าการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศทั้ง 2 ระดับก่อนการแช่ห่อทำให้การสูญเสียน้ำมาก ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ทำให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีมากเมื่อเทียบกับการแช่ว่านหางจระเข้ที่ความดันบรรยากาศ

หัวข้อโครงการ	ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่อิ่ม วุ้นหางจระเข้
นักศึกษา	นางสาววิไลพร ห้วยทราย นางสาวณัชชา สว่างพานิช นางสาวศิริพัชร์ ไชยแสนท้าว
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญ
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2549

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่อิ่มวุ้นหางจระเข้ พบว่า การใช้ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศระหว่าง 5 – 80 kPa ค่าความพรุนของวุ้นหางจระเข้ที่ได้มีค่า 2-3% ผลของความเข้มข้น เวลาและความดันที่มีต่อการแช่วุ้นหางจระเข้ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (Vacuum Impregment , VI) จากแผนการทดลองแบบ Box-Behnken ได้สภาวะที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัป 30° Brix เวลา 5 นาทีและความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ระดับ 10-20 kPa การใช้สารละลายออสโมติกเป็นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พบว่า การใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ จะสามารถลดระยะเวลาในการแช่วุ้นหางจระเข้เมื่อเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ

ผลของการแช่วุ้นหางจระเข้ในสารละลายซูโครสไซรัปความเข้มข้น 30°Brix โดยใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ระดับ 10 และ 20 kPa เป็นเวลา 5 นาที ก่อนย้ายแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปความเข้มข้น 30 ° Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงย้ายไปแช่ที่ความเข้มข้น 40° Brix และ 50° Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมงตามลำดับ เมื่อครบ 72 ชั่วโมง พบว่าการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศทั้ง 2 ระดับก่อนการแช่อิ่มทำให้การสูญเสียน้ำมาก ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ทำให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีมากเมื่อเทียบกับการแช่วุ้นหางจระเข้ที่ความดันบรรยากาศ

**Project Title**                    **EFFECT OF VACUUM IMPREGNATION FOR ALOE VERA CANDYING**

**Students**                        Miss Wilaipom Huaisai  
   Miss Natcha Sawangpanich  
   Miss Siripak Chaisaentao

**Project Advisor**                Asst.prof.Dr.Pimpen Pornchalrempong  
   Assoc.Prof.Dr.Panmanut Sirisomboon

**Degree**                            Bachelor of Engineering

**Program**                         Food Engineering

**Academie Year**                 2006

### ABSTRACT

This research is aimed at studying the effect of Vacuum Impregment for aloe vela candying. The result showed that the porosity of aloe vela was at 2-3% of the concentration, the time and the Vacuum Impregment towards the aloe vela in the solution of sucrose syrup when the Vacuum Impregment was employed at between 5-80 kPa.. From the experimental model of Box-Behnken, the result showed that the optimize that is the concentration of the solution of sucrose syrup was 30 °Brix at 5 minutes and the Vacuum Impregment was at the level of 10-20 kPa. The employ of Osmotic to solute Calcium chloride revealed that the employ of Vacuum Impregment could reduce the time when compared with the normal pressure

From the experiments of the aloe vela in the solution of sucrose syrup with the concentration at 30 °Brix and the employ of Vacuum Impregment at the levels of 10 and 20 kPa for 5 minute before being transferred to the solution of sucrose syrup with the concentration of 30 °Brix for 24 hours and then transferred to the concentrations of 40 and 50 °Brix respectively for 24 hours, it was found that with the 72 hours the employ of Vacuum Impregment in both level caused the water loss, the little solid gain but the high percentage of shrinkage

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่างๆเสมอมา จนโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลอง ตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ

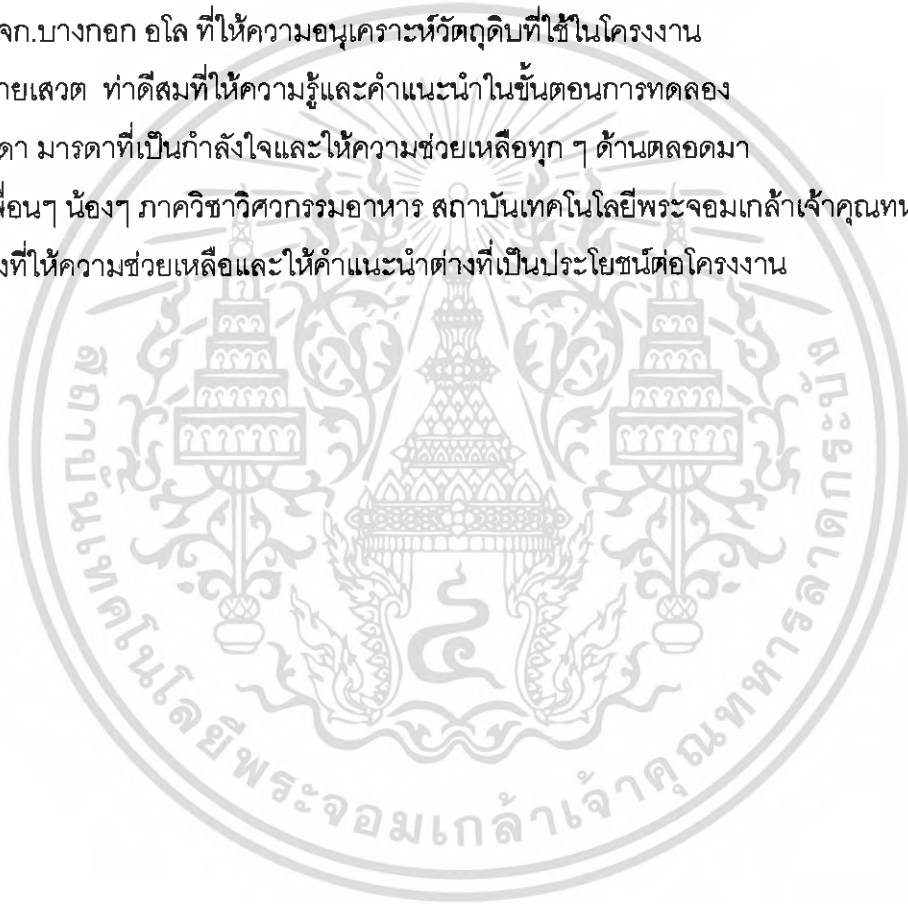
อาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่มีประโยชน์

หจก.บางกอก อโล ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุดิบที่ใช้ในโครงการ

นายเสวต ทำดีสมที่ให้ความรู้และคำแนะนำในขั้นตอนการทดลอง

บิดา มารดาที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือทุก ๆ ด้านตลอดมา

เพื่อนๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับว่านหางจระเข้	3
2.2 การแปรในสารละลายที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	4
2.3 หลักการดึงน้ำด้วยวิธีออสโมติก	9
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงน้ำด้วยวิธีออสโมติก	10
2.4.1 ชนิดของสารละลายออสโมติก	10
2.4.2 ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก	10
2.4.3 อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกกับผลไม้ม	10
2.4.4 สารที่ช่วยให้เนื้อสัมผัสคงตัว	10
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	11
3.1 วัสดุุดิบและการเตรียมวัสดุดิบ	11
3.1.1 การเตรียมวัสดุดิบ	11
3.2 การหาความพรุนของว่านหางจระเข้	11
3.2.1 การเตรียมสารละลายไอโซโทนิค	11
3.2.2 การแปรในสารละลายไอโซโทนิคที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3 การคำนวณหาค่าความพูน	12
3.3 การศึกษาผลของความเข้มข้น เวลาและความดันที่มีต่อการแช่ในสารละลาย ซูโครสโซลที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่	14
3.3.1 การออกแบบการทดลองของสารละลายซูโครสโซล	14
3.3.2 การแช่ในสารละลายซูโครสโซลที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	15
3.3.3 การตรวจคุณภาพ	16
3.4 การศึกษาผลของความเข้มข้น เวลาและความดันที่มีต่อการแช่ในสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่	19
3.4.1 การออกแบบการทดลองของแคลเซียมคลอไรด์	19
3.4.2 การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	20
3.3.3 การตรวจคุณภาพ	19
3.5 การศึกษาผลของความเข้มข้น เวลาและความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่มีต่อ การแช่ในสารละลายซูโครสโซลที่ความดันบรรยากาศ	21
3.5.1 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	21
3.5.2 การแช่ในสารละลายซูโครสโซลที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	22
3.5.4 การตรวจคุณภาพ	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	23
4.1 ความพูน	23
4.2 ผลของความเข้มข้น เวลาและความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่มีต่อ การแช่ในสารละลายซูโครสโซล	25
4.3 ผลของความเข้มข้น เวลาและความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่มีต่อ การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์	28
4.4 ผลของความเข้มข้น เวลาและความดันที่มีผลต่อการแช่ในสารละลาย ซูโครสโซลที่ความดันบรรยากาศ	31
4.4.1 ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่ เปรียบเทียบกับแช่ที่ความดันบรรยากาศต่อการสูญเสียน้ำ	31

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2 ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการเชื่อมเปรียบเทียบ กับการเชื่อมที่ความดันบรรยากาศต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น	32
4.4.3 ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการเชื่อมเปรียบเทียบ กับการเชื่อมที่ความดันบรรยากาศต่อน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง	34
4.4.4 ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการเชื่อมเปรียบเทียบ กับการเชื่อมที่ความดันบรรยากาศต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัว	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก	40
ภาคผนวก ก. การปรับความเข้มข้นของซูโครสโซลโดยวิธีของ Pearson Square	42
ภาคผนวก ข. ตารางบันทึกผลการทดลอง	43
ภาคผนวก ค. ตารางรีเกรสชันของค่าที่ศึกษา	56
ภาคผนวก ง. รูปวัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	66

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสรรพคุณของว่านหางจระเข้ (ใช้รับประทาน)	3
2.2 ค่า $D$ และ $X_0$ ของผลไม้ 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลอง	7
2.3 ค่าความพูนของผลไม้ชนิดต่างๆ	7
3.1 ลำดับและระดับของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองในสารละลายซูโครสไซรัป	14
3.2 แผนการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนห์เคน 3 ปัจจัย ของสารละลายซูโครสไซรัป	15
3.3 ลำดับและระดับของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์	19
3.4 แผนการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนห์เคน 3 ปัจจัย สารละลายแคลเซียมคลอไรด์	19
4.1 ค่า $D$ และ $X_0$ ของว่านหางจระเข้ส่วนโคนและส่วนกลาง	24
4.2 ค่าความพูนของว่านหางจระเข้ส่วนโคนและส่วนกลางที่ความดันต่าง ๆ	24



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการแช่ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	5
2.2 การถ่ายเทมวลสารระหว่างมวลสารภายในเซลล์อาหารและสารละลายออสโมติก	9
3.1 วานทางจระเข้ส่วนโคนและส่วนกลาง	11
3.2 ขั้นตอนการทดลองการหาความพรุนวานทางจระเข้	12
3.3 เครื่องควบคุมระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	12
3.4 กราฟเพื่อหาความพรุน	14
3.5 ขั้นตอนการทดลองแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปที่มีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	16
3.6 กราฟค่าความแข็ง	18
3.7 ขั้นตอนการทดลองแช่วานทางจระเข้ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	20
3.8 ขั้นตอนการทดลองการเชื่อมที่สภาวะบรรยากาศ	21
4.1 กราฟแสดงการหาความพรุนวานทางจระเข้ส่วนโคน	23
4.2 กราฟแสดงการหาความพรุนวานทางจระเข้ส่วนกลาง	24
4.3 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อค่าการสูญเสียน้ำ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัปคงที่ที่ 30 °Brix	26
4.4 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัปคงที่ที่ 30 °Brix	26
4.5 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัปคงที่ที่ 30 °Brix	27
4.6 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อค่าความสว่าง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัปคงที่ที่ 30 °Brix	27
4.7 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อค่าความแข็ง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัปคงที่ที่ 30 °Brix	27
4.8 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อค่าการสูญเสียน้ำเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์คงที่ที่ 0.1% ของน้ำหนัก	29

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์คงที่ ที่ 0.1% ของน้ำหนัก	29
4.10 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์คงที่ ที่ 0.1% ของน้ำหนัก	30
4.11 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อ ค่าความสว่าง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์คงที่ ที่ 0.1% ของน้ำหนัก	30
4.12 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อ ค่าความแข็ง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์คงที่ ที่ 0.1% ของน้ำหนัก	30
4.13 การสูญเสียน้ำของ 3 สภาวะการทดลอง โดยแช่ในสารละลายซูโครสโซลที่ ความเข้มข้น 30°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 40°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น 50°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	31
4.14 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของ 3 สภาวะการทดลอง โดยแช่ในสารละลายซูโครสโซล ที่ความเข้มข้น 30°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 40°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น 50°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	32
4.15 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของ 3 สภาวะการทดลอง โดยแช่ในสารละลายซูโครสโซล ที่ความเข้มข้น 30°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 40°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น 50°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	34
4.16 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของว่านหางจระเข้ทั้ง 3 สภาวะการทดลองโดยแช่ใน สารละลายซูโครสโซลที่ความเข้มข้น 30°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 40°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น 50°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	35

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ว่านหางจระเข้เป็นพืชล้มลุกจัดอยู่ในตระกูลลิเลียม (Liliaceae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Aloe vera L. barbadensis* มีสารเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายโดยเฉพาะส่วนของวุ้นใสจะช่วยบำรุงร่างกาย บรรเทาความอ่อนเพลียเนื่องจากพักผ่อนน้อย รวมไปถึงการบำบัดแผลเรื้อรัง และแผลในกระเพาะอาหารได้เป็นอย่างดี สามารถช่วยให้กระบวนการเมตาโบลิซึม ให้ทำงานได้เป็นปกติ ลดการติดเชื้อ สลายพิษของเชื้อโรค กระตุ้นการเกิดใหม่ ของเนื้อเยื่อส่วนที่ชำรุด (ทัศนีย์, 2530) ได้มีการนำว่านหางจระเข้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ หลายชนิด เช่น หั่นเป็นชิ้นบรรจุกระป๋อง หรือนำมาทำเป็นเครื่องดื่ม ซึ่งได้รับความนิยมมากทั้งในประเทศและต่างประเทศ การนำเอาว่านหางจระเข้มาแช่หิมเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่า และยืดอายุการเก็บของว่านหางจระเข้ ทำให้ผู้บริโภคมีทางเลือกในการบริโภคมากขึ้น ทั้งยังส่งผลดีต่อสุขภาพด้วย เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องผ่านความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำมาใช้เพื่อผสมหรือรับประทานกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น โยเกิร์ต ไอศกรีม หรือนำมาอบแห้งต่อ เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์แช่หิมอบแห้ง

การแปรรูปด้วยการแช่หิม อาศัยหลักการของการออสโมซิส โดยการแช่ผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงหรือมีค่า Water activity ( $a_w$ ) ต่ำกว่าผลไม้ นั้น สารออสโมติกที่ใช้ในการแช่หิมคือน้ำเชื่อม ระหว่างการแช่หิมน้ำจะถูกกำจัด ออกจากชั้นของผลไม้ ในขณะที่เดียวกัน การเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำตาลเข้าไปในชั้นของผลไม้ การแช่หิมทำให้  $a_w$  ของผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อลดลง จึงมีผลดีต่อการคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการ และคุณค่าด้านต่างๆ ที่มีถูกทำลายด้วยความร้อนสูง ซึ่งมีงานวิจัยหลายชิ้นที่ยืนยันว่าการใช้ความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศร่วมระหว่างการแช่หิมจะทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำตาลเข้าสู่ผลไม้ได้เร็วขึ้น มีผลให้เพิ่มผลผลิต (yield) ช่วยให้ได้น้ำหนักผลิตภัณฑ์สูงขึ้น มีการสูญเสียให้น้ำน้อย มีการดูดซึมสารละลายออสโมติก (น้ำเชื่อม) มากขึ้น ปริมาตรเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ทำให้น้ำรับประทานเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแช่หิมที่บรรยากาศปกติ (Giraldo et al., 2005, Barat, et al., 2002) ผลดีของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศระหว่างการแช่หิม แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้และความเป็นรูปทรง ระหว่างโครงสร้างของผลไม้ นั้น ซึ่งการศึกษาผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศในการทำแช่หิมว่านหางจระเข้ ยังไม่มีผู้ใดศึกษามาก่อน

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาค่าความพรุนของว่านหางจระเข้
2. เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของซูโครสไซรัปและแคลเซียมคลอไรด์ เวลา และการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่แข็งว่านหางจระเข้เปรียบเทียบกับที่บรรยากาศปกติ
3. ศึกษาผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศต่ออัตราการแช่แข็งและคุณภาพของว่านหางจระเข้หลังสิ้นสุดการแช่แข็ง

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ช่วงความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ศึกษาได้แก่ บรรยากาศ (0 kPa) 10 20 40 และ 80 kPa
2. คุณภาพที่ศึกษาได้แก่ ค่าการสูญเสีย น้ำ (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) เปอร์เซ็นต์การหดตัว ค่าความสว่าง (L\*) และค่าความแข็ง (Firmness)

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำเทคนิค กรรมวิธี และสภาวะการผลิตที่เหมาะสมของว่านหางจระเข้แช่แข็งไปใช้ในอุตสาหกรรมได้
2. ผลของการศึกษาการความดันต่ำกว่าบรรยากาศในการทำแช่แข็ง จะสามารถขยายผลไปใช้กับผลไม้อื่น ๆ ได้อย่างกว้างขวาง หากมีการวิจัยเฉพาะสภาวะสำหรับผลไม้ชนิดอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้น

## บทที่ 2

### ตรวจเอกสาร

#### 2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับว่านหางจระเข้

ว่านหางจระเข้เป็นพืชล้มลุกจัดอยู่ในตระกูลลิเลียม (Liliaceae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Aloe vera L. barbadensis* ลำต้นเป็นข้อและปล้องสั้น เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ใบเรียงรอบต้น มีลักษณะอวบน้ำปลายแหลม รอบใบหยักและมีหนาม ผิวใบสีเขียวอ่อนหรือสีเขียวเข้ม ใบอ่อนจะเป็นรอยประสีชาวยาวภายในมีวุ้นใสเมือก แหล่งกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในซานฆังทะเลเมดิเตอร์เรเนียนและบริเวณตอนใต้ของทวีปแอฟริกา พันธุ์ของว่านหางจระเข้มีมากกว่า 300 ชนิด ซึ่งมีทั้งพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่จนไปถึงพันธุ์ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 เซนติเมตร

คำว่า "อะโล" (Aloe) เป็นภาษากรีกโบราณ หมายถึง ว่านหางจระเข้ ซึ่งแผลงมาจากคำว่า "Alai" มีความหมายว่า "ผาดหรือขม" ในภาษายิว เมื่อผู้คนได้ยินชื่อนี้จะทำให้นึกถึงว่านหางจระเข้ (ทัศนีย์, 2530)

ในประเทศไทยเราพบเห็นว่านหางจระเข้อยู่ทั่วไป และปลูกกันอย่างกว้างขวางโดยที่พบปลูกมากที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ว่านหางจระเข้ที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิด *Aloe vera Lin. var. chinensis (Haw) Berg.*

ว่านหางจระเข้ประกอบด้วยสารเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยเฉพาะจากส่วนวุ้นใส ซึ่งประกอบด้วยสารสารออลอคติน (Aloctin) อโลอีโมดิน (Aloe emodin) อโลซิน (Alocin) อโลอิน (Aloin) ไกลโคโปรตีน (Glycoprotein) และโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีฤทธิ์เร่งการจับตัวของเลือดและเร่งการเจริญเติบโตของเซลล์ร่างกาย และยังมีสารบราติโคเนนส ที่ช่วยดูดพิษเพื่อลดการอักเสบของบาดแผลได้ดียิ่ง มีสารออลออลซิน ช่วยยับยั้งการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน

#### ตารางที่ 2.1 สรรพคุณของว่านหางจระเข้ (ใช้รับประทาน)

อาการของโรค	สรรพคุณของว่านหางจระเข้
โรคกระเพาะลำไส้	ว่านหางจระเข้เป็นยารักษาโรคกระเพาะที่มีรสขมชนิดหนึ่งที่มีบทบาทช่วยปรับการทำงานของกระเพาะลำไส้
กระเพาะ(เป็นแผล)และลำไส้ส่วนต้นเป็นแผล	ว่านหางจระเข้มีสรรพคุณในการรักษาแผลเปื่อยให้ผลในการรักษาแผลที่ชะงัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.1 สรรพคุณของว่านหางจระเข้ (ใช้รับประทาน) (ต่อ)

อาการของโรค	สรรพคุณของว่านหางจระเข้
ความดันโลหิตสูง	ว่านหางจระเข้สามารถทำให้เส้นโลหิตอ่อนตัวกระตุ้นการไหลเวียนของโลหิตจึงป้องกันอาการแทรกซ้อนของโรคความดันโลหิตสูงได้
ความดันโลหิตต่ำ	ว่านหางจระเข้สามารถกระตุ้นการไหลเวียนของโลหิตทำให้กระบวนการเมตาโบลิซึมดำเนินไปด้วยดี หากรับประทานต่อเนื่องเป็นเวลานานจะมีส่วนช่วยเสริมสุขภาพของผู้ป่วยที่เป็นความดันโลหิตต่ำ
ไข้หวัด	ว่านหางจระเข้สามารถระงับการขยายตัวของเชื้อไวรัสที่ก่อให้เกิดไข้หวัด จึงเหมาะใช้เป็นยาป้องกันและรักษาโรคหวัด
หืดหอบ	หากประสงค์จะรักษาโรคหอบหืดที่เกิดจากภูมิแพ้ให้หายขาด ก็จะต้องมีความอดทนในการรับประทานว่านหางจระเข้ติดต่อกันเป็นเวลานาน 1-2 เดือนก็จะเริ่มเห็นผล
โรคเบาหวาน	ว่านหางจระเข้สามารถกระตุ้นกระบวนการเมตาโบลิซึมในร่างกาย จึงใช้เป็นยารักษาควบคู่ไปกับยาแผนปัจจุบัน
โรคตับ	ว่านหางจระเข้มีสรรพคุณในการสลายพิษ ช่วยเสริมสมรรถภาพการทำงานของตับ
เมารถ	ว่านหางจระเข้มีสรรพคุณในการระงับประสาทจึงใช้บรรเทาอาการเมารถเมาเรือ

ที่มา: ทศนิยม . 2530

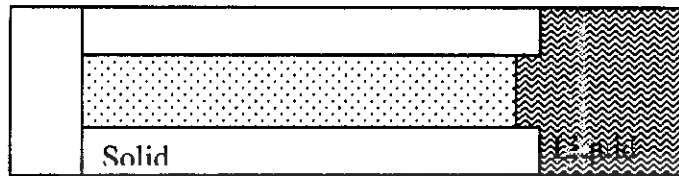
## 2.2 การแช่ในสารละลายที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (Vacuum Impregnation)

การแช่อาหารที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศเป็นกรรมวิธีการเริ่มต้นสำหรับแปรรูปผักและผลไม้โดยทำให้สารเคมีแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ สารดังกล่าวได้แก่ กรด สารกันเสีย สารที่ลดค่า  $a_w$  และสารที่ทำให้ผลไม้มันเนื้อแข็งขึ้น (firming agent) (Saurel, 2002)

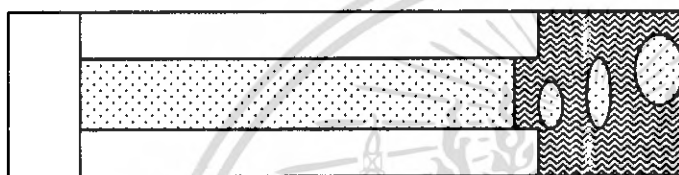
หลักการของการถ่วงเทมวอลโดยอาศัยความแตกต่างของความดัน เมื่อขึ้นอาหารแช่อยู่

ในสารละลายที่สภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ทำให้ก๊าซที่มีอยู่ในอาหารเกิดการขยายตัวและเอกซาร์นี้ เป็นเอกซาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

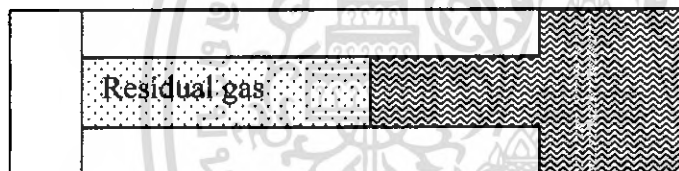
เคลื่อนที่ออกมา สารละลายที่อยู่ภายนอกจะแทรกซึมผ่านช่องแคบเล็ก ๆ เข้าไปในช่องว่างของอาหารอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งความดันภายในและภายนอกเกิดความสมดุล เวลาที่ใช้ประมาณ 2-3 นาที (Saurel,2004) โดยดูจากรูปที่ 2.1 ประกอบ



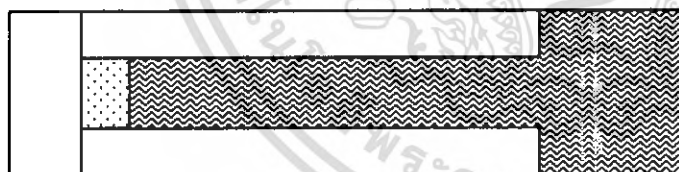
(2.1a) ความดันปกติ



(2.1b) ก๊าซเคลื่อนที่ออกภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ



(2.1c) สภาวะที่ความดันเริ่มเข้าสู่ความดันบรรยากาศ



(2.1d) ความดันบรรยากาศ

**รูปที่ 2.1** กระบวนการถ่ายเทมวลภายในเซลล์ของผักผลไม้แช่ในสารละลายที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

ดัดแปลงจาก : Saurel, 2004 (ใน Kilcast, 2004)

ภายใต้ความดันปกติ ภายในเซลล์ของอาหารจะมีอากาศอยู่โดยแทรกระหว่างช่องว่างของเซลล์ (รูป 2.1 a) เมื่ออยู่ในสภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ อากาศภายในเซลล์จะเกิดการขยายตัวและเคลื่อนที่ออกมาเนื่องจากเมื่อค่าความดันแตกต่างกัน (รูป 2.1b) แรงดันขับ (driving force) จะทำให้ของเหลวภายนอกไหลเข้าไปในช่องว่างระหว่างเซลล์ โดยปริมาณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวที่เคลื่อนที่เข้าไปจะขึ้นอยู่กับช่องว่างที่มีในโครงสร้างของอาหาร (รูป 2.1c) เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการถ่ายเทมวลจะลดลง จนเข้าสู่สภาวะสมดุล (รูป 2.1d)

### ความพรุนของผลไม้

ค่าสัมประสิทธิ์ความพรุน ( $\epsilon_0$ ) คือสัดส่วนระหว่างปริมาตรของก๊าซในผลไม้กับปริมาตรทั้งหมดของผลไม้ ในเนื้อเยื่อของผลไม้สดก๊าซบางส่วนจะติดอยู่ในช่องว่างของเนื้อเยื่อขั้นตอนการหาค่าความพรุนจะมีขั้นตอนตามคำอธิบาย (Shi et al., 1995 อ้างจาก Fito, 1992)

การเตรียมสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic) จะเตรียมให้มี total soluble solid เท่ากับ total soluble solid ของชิ้นตัวอย่าง ปริมาตรเริ่มต้นของชิ้นตัวอย่างสามารถหาได้จากการวัดในสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic)

สำหรับการวัดน้ำหนักที่เปลี่ยนไป ทำได้โดยการแช่ในสารละลายไอโซโทนิกที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ชิ้นตัวอย่างจะถูกแช่ลงในสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic) ที่ความดัน 5, 10, 20, 40, 60 และ 80 kPa เป็นเวลา 2 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 23 องศาเซลเซียส)

ในขั้นตอนสุดท้ายของการแช่ในสารละลายไอโซโทนิกที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศให้นำชิ้นตัวอย่างออกจากสารละลายไอโซโทนิก ขับให้แห้งด้วยกระดาษ และชั่งน้ำหนัก ก๊าซในช่องว่างระหว่างเซลล์ของชิ้นตัวอย่างจะถูกกำจัดออก และสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic) จะเข้าไปแทนที่

ค่า fraction of volume of solution, X สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$X = \frac{M_t - M_0}{\rho \times V_0} = D \left( 1 - \frac{P_t}{P_{atm}} \right) + X_0 \quad (2.1)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความพรุน (porosity coefficient,  $\epsilon_0$ ) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\epsilon_0 = \frac{X}{\left( 1 - \frac{P_t}{P_{atm}} \right)} \quad (2.2)$$

$$\epsilon_0 = D + X_0 \frac{P_{atm}}{(P_{atm} - P_t)} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $M_0$  = น้ำหนักเริ่มต้น (g)

$M_t$  = น้ำหนักที่เวลาใดๆหลังจากจุ่มในสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic) ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_0$  = ปริมาตรเริ่มต้น ( $\text{cm}^3$ )

$\rho$  = ความหนาแน่นของสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic) ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$P_{\text{atm}}$  = ความดันบรรยากาศ (kPa)

$P_i$  = ความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ใช้ในการแช่ผลไม้ในสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic) (kPa)

$D, X_0$  = ค่าคงที่ของผลไม้

ค่า  $D$  และ  $X_0$  ของผลไม้ 3 ชนิด แสดงไว้ดังตาราง 2.2 หากใช้ผลไม้ต่างชนิด จะมีค่าความพรุนแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะทางกายภาพต่างกัน เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ค่า  $D$  และ  $X_0$

ชนิดของผลไม้	$D * 100$	$X_0 * 100$	$\epsilon_0$ (%)
สับปะรด	8.28	-2.01	8 – 9
แอปเปิ้ล	5.31	-1.55	5 – 6
สตอเบอรี่	3.84	-1.21	2 - 3

ที่มา: Shi et al., 1995

ตารางที่ 2.3 ค่าความพรุน ( $\epsilon_0$ ) ของผลไม้ชนิดต่างๆ

ผลไม้	ขนาดและรูปร่าง ( $d$ = diameter $t$ = thickness)	$\epsilon_0$ (%)	Real porosity	ที่มา
แอปเปิ้ล (G. Smith)	Slice $d = 2$ cm. $t = 3$ cm.	$18.4 \pm 0.7$	-	Fito et al. 1996
แอปเปิ้ล (G. Smith)	Slice $d = 2$ cm. $t = 2$ cm.	$16.6 \pm 1.2$	$23.8 \pm 1.0$	Salvatori et al. 1998
แอปเปิ้ล (Red Chief)	Slice $d = 2$ cm. $t = 2$ cm.	$15.5 \pm 1.1$	$21.6 \pm 1.0$	Salvatori et al. 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าความพรุน ( $\epsilon_0$ ) ของผลไม้ชนิดต่างๆ (ต่อ)

ผลไม้	ขนาดและรูปร่าง (d = diameter t = thickness)	$\epsilon_0$ (%)	Real porosity	ที่มา
แอปเปิ้ล (Golden)	Half d = 2 cm. t = 2 cm.	$15.9 \pm 1.2$	$25.4 \pm 1.4$	Salvatori et al. 1998
แอปปริคอต (Canino)	Slice d = 5-6 cm.	$5.6 \pm 0.5$	-	Fito et al. 1996
กล้วย (G. Cavendish)	Slice d = 2 cm. t = 3 cm.	$8.6 \pm 1.2$	-	Fito et al. 1996
กีว (Hayward)	Quarter	$0.5 \pm 0.5$	$2.3 \pm 0.8$	Salvatori et al. 1998
มะม่วง (T. Atkins)	Slice t=1cm.	$5.9 \pm 0.4$	$9.9 \pm 1.3$	Salvatori et al. 1998
เมลอน (Inodorus)	Slice d = 2 cm. t = 2 cm.	$6 \pm 0.3$	-	Fito et al. 2001
ส้ม	Rectangle (2 x 7 cm.)	$21 \pm 0.04$	-	Fito et al. 2001
ลูกพีช (Miraflores)		$2.9 \pm 0.4$	$2.6 \pm 0.5$	Salvatori et al. 1998
ลูกแพร์ (Passa Cassana)	Dice t=2.5 cm.	$3.4 \pm 0.5$	-	Fito et al. 2001
สับปะรด (l. parola Roja)	Slice t = 1 cm.	$3.7 \pm 1.3$	-	Fito et al. 2001

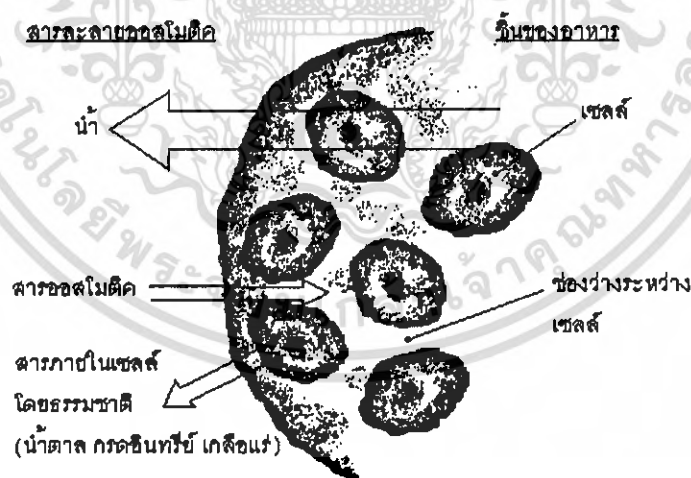
ที่มา: Saurel, 2004 (ใน Kilcast, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 หลักการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมติก (Osmotic Dehydration)

การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมติก คือวิธีการที่ใช้ในการถนอมอาหารวิธีหนึ่งโดยอาศัยหลักของการออสโมซิส หมายถึง การกำจัดน้ำออกจากอาหารโดยการแช่ในสารละลายออสโมติกซึ่งเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงหรือมีค่า  $a_w$  ต่ำกว่าอาหาร สารที่นำมาใช้ทำสารละลายนี้เรียกว่า สารออสโมติก (osmotic agent) อาทิเช่น น้ำตาล เกลือ sorbitol glycerol เป็นต้น สารออสโมติก คือสารที่ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างชั้นของอาหารและสารละลายออสโมติก ซึ่งจะทำให้เกิดแรงขับ (driving force) เป็นแรงที่นำไปใช้ในการถ่ายเทมวลสารในกระบวนการออสโมซิส สามารถอธิบายได้เป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

- 1) น้ำจะซึมออกจากเซลล์อาหารโดยผ่านผนังเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็น semipermeable membrane สู่ออสโมติก
- 2) สารออสโมติก (osmotic agent) เช่น น้ำตาลจะซึมจากละลายออสโมติกสู่ภายในเซลล์ของอาหาร
- 3) สารบางอย่างซึ่งมีอยู่ภายในเซลล์โดยธรรมชาติ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์เกลือแร่ จะซึมผ่านออกนอกผนังเซลล์ของอาหารสู่ออสโมติก
- 4) กระบวนการทั้งหมดนี้จะดำเนินไปจนกระทั่งเกิดความสมดุลระหว่างแรงดันออสโมติกในชั้นอาหารและสารละลายออสโมติก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การถ่ายเทมวลสารระหว่างมวลสารภายในเซลล์อาหารและสารละลายออสโมติก

โดยที่อัตราการสูญเสียน้ำต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารละลายและสภาวะการทดลอง ในการทำแห้งแบบออสโมติกผักมีการสูญเสียน้ำมากกว่าผลไม้ นอกจากนี้ยังพบว่า ความสามารถในการซึมผ่านของโมเลกุลและไอออน ขึ้นอยู่กับชนิดของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายและโครงสร้างขนาดเล็กของอาหาร (Microstructural) เช่น ความพรุน (Torreggiani, 1993)

## 2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมติก (Osmotic Dehydration)

### 2.4.1 ชนิดของสารละลายออสโมติก

น้ำตาลทรายขาว (ซูโครสไซรัป) ในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมติกผลของน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มี 2 ประการคือ ประการที่ 1 จะมีผลมากในการเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากออกซิเจน (Oxidative browning) ประการที่ 2 ใช้ป้องกันการสูญเสียกลีโคลินที่ระเหยไปได้ระหว่างการทำแห้ง แม้ว่าจะทำที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศมาก ๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ความเข้มข้นอยู่ที่ 30 -70°Brix แต่การใช้น้ำตาลก็มีข้อเสียคือ ทำให้เกิดการตกผลึกของน้ำตาลได้ ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันโดยการเติมกรดซิตริก (citric acid) ลงไป (อ่อนรวี, 2533)

### 2.4.2 ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกมีส่วนช่วยดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ดังนั้นควรมีความเข้มข้นสูง เพื่อให้ค่า  $a_w$  ของผลิตภัณฑ์ได้มีค่าน้อยลง เกิดอัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และอัตราการแพร่เข้าของตัวถูกละลายลดลง แต่ขณะเดียวกันน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในผลไม้ได้มากขึ้นมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงเป็นข้อดีอันหนึ่งของวิธีการนี้ คือ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่หวานจนเกินไป และทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสูงขึ้น

### 2.4.3 อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกกับผลไม้

ถ้าอัตราส่วนของสารละลายออสโมติกมากจะทำให้อัตราการออสโมซิสเร็วขึ้นกว่าการใช้สารละลายออสโมติกน้อย ๆ Lenart และ Flink (1984) พบว่า อัตราส่วนของสารละลายออสโมติกต่อผลไม้ให้เหมาะสมเพื่อดึงน้ำออกจากผลไม้ได้มากคือ 1:3

### 2.4.4 สารที่ช่วยให้เนื้อสัมผัสคงตัว

แคลเซียมคลอไรด์ ทำให้โครงสร้างของเซลล์ผักและผลไม้แข็งแรงขึ้น มีผลให้การเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ในระหว่างการแปรรูปลดลง โดยที่กัญญารัตน์ (2536) พบว่า การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการแปรรูปแอปเปิ้ลคอตกระป๋อง จะทำให้เนื้อสัมผัสคงตัวดีขึ้นหรือการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในแอปเปิ้ลสด จะทำให้ความคงตัวของลักษณะเนื้อสัมผัสของแอปเปิ้ลดีขึ้นในระหว่างการเก็บ

### บทที่ 3

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 3.1 วัดถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

ว่านหางจระเข้ที่นำมาทดลองเป็นพันธุ์ *barbadensis* ใบมีขนาดกว้าง 10 ยาว 30 เซนติเมตร ล้างทำความสะอาดแล้วมาปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นทรงกระบอกขนาด 2.0 x 2.0 เซนติเมตร โดยใช้พิมพ์ที่มีขนาดที่กำหนดคดเนื้อว่านหางจระเข้ แล้วนำชิ้นว่านหางจระเข้ที่ได้ไปล้างทำความสะอาดอีกครั้งเพื่อล้างน้ำยางสีเหลืองของว่านหางจระเข้ ออก วางเรียงไว้บนตะแกรง 2 นาที

### 3.2 การหาความพรุนของว่านหางจระเข้

ว่านหางจระเข้ที่นำมาหาความพรุนนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนโคนและส่วนกลาง ส่วนโคนคือ ส่วนที่ใหญ่ที่สุดของใบว่านหางจระเข้ซึ่งในส่วนของเนื้อของว่านหางจระเข้จะมีความแข็งมากกว่าส่วนอื่น ๆ ส่วนกลางคือ ส่วนของว่านหางจระเข้ที่อยู่กลางใบ ส่วนละประมาณ 10 cm.



ว่านหางจระเข้ส่วนกลาง      ว่านหางจระเข้ส่วนโคน

### รูปที่ 3.1 ว่านหางจระเข้ส่วนโคนและส่วนกลาง

#### 3.2.1 การเตรียมสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic)

สารละลายไอโซโทนิก (Isotonic) เตรียมได้จากน้ำและน้ำตาลทราย (ปริมาณน้ำและน้ำตาลที่ใช้แสดงในภาคผนวก) ซึ่งมีค่า Total Soluble Solid เท่ากับค่า Total Soluble Solid ของว่านหางจระเข้ โดยการนำน้ำของว่านหางจระเข้มาวัดด้วยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (ยี่ห้อ ATAGO รุ่น Pocket Refractrometer PAL-1 ประเทศญี่ปุ่น) ซึ่งค่าของ Total Soluble Solid ว่านหางจระเข้สดจะอยู่ในช่วง 0.8 – 1.2 °Brix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

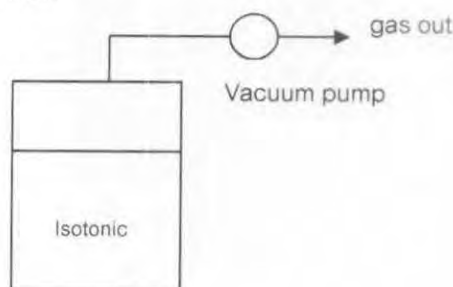


### รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองการหาความพรุนว่านหางจระเข้

#### 3.2.2 การแช่ในสารละลายไอโซโทนิก (isotonic) ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

นำชิ้นว่านหางจระเข้ที่เตรียมไว้ มาแช่ในสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic) ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ ชิ้นว่านหางจระเข้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนโคนและส่วนกลาง และความดันต่ำกว่าบรรยากาศ 5 ระดับ คือ 5, 10, 20, 40, 60 และ 80 kPa

ทำการทดลอง 2 ชิ้นนำชิ้นว่านหางจระเข้ก่อนแช่มาชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและหาปริมาตรเริ่มต้นของว่านหางจระเข้ หลังจากนั้นนำไปแช่ในสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic) ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เป็นเวลา 2 นาที เอาชิ้นมาวางเรียงบนตะแกรง ซับให้แห้งด้วยกระดาษแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.3 เครื่องควบคุมระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การคำนวณหาค่าความพรุน

ค่าน้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักหลังแช่ในสารละลายไอโซโทนิก และปริมาตรเริ่มต้นมาคำนวณได้ดังสมการ

ค่า fraction of volume of solution,  $X$  สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$X = \frac{M_t - M_0}{\rho \cdot V_0} = D \cdot \left( 1 - \frac{P_t}{P_{atm}} \right) + X_0 \quad (3.1)$$

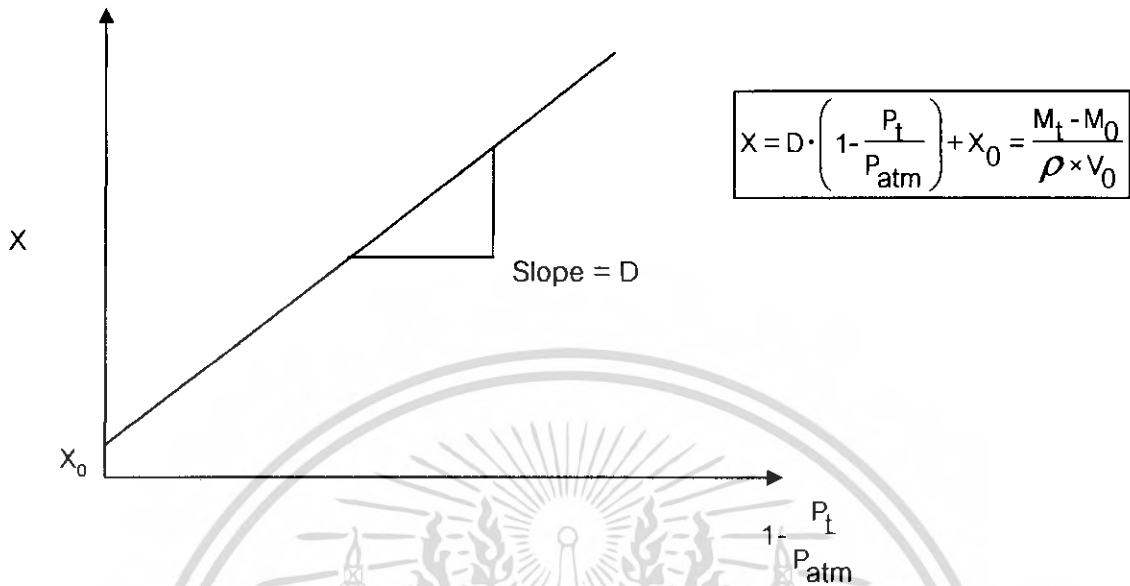
ค่าสัมประสิทธิ์ความพรุน (porosity coefficient,  $\epsilon_0$ ) สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\epsilon_0 = \frac{X}{\left( 1 - \frac{P_t}{P_{atm}} \right)} \quad (3.2)$$

$$\epsilon_0 = D + X_0 \times \frac{P_{atm}}{(P_{atm} - P_t)} \quad (3.3)$$

- เมื่อ
- $M_0$  = น้ำหนักเริ่มต้น (g)
  - $M_t$  = น้ำหนักที่เวลาใดๆหลังจากจุ่มในสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic) ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (g)
  - $V_0$  = ปริมาตรเริ่มต้น ( $\text{cm}^3$ )
  - $\rho$  = ความหนาแน่นของสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic) ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
  - $P_{atm}$  = ความดันบรรยากาศ (kPa)
  - $P_t$  = ความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ใช้แช่ผลไม้ในสารละลายไอโซโทนิก (kPa)
  - $D, X_0$  = ค่าคงที่ของผลไม้

โดยสมการที่ 3.1 ได้จากการพลอตกราฟระหว่าง  $1 - \frac{P_t}{P_{atm}}$  และ  $X$  ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.4 กราฟเพื่อหาความพรุน

### 3.3 การศึกษาผลของความเข้มข้น เวลาและความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่มีต่อการแช่ในสารละลายซูโครสไซรัป

#### 3.3.1 การออกแบบการทดลองของสารละลายซูโครสไซรัป

ปัจจัยที่ต้องการศึกษามี 3 ปัจจัย คือ ความเข้มข้น เวลาและความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ได้ใช้แผนการทดลองบ็อกซ์-เบนห์เคน (Box-Behnken design) ซึ่งจะแบ่งช่วงของตัวแปรออกเป็น 3 ระดับคือ -1, 0, +1 ซึ่งประกอบด้วยจำนวนการทดลอง 15 การทดลอง ที่สามารถใช้เป็นตัวแทนในการทำนายผลการทดลองตลอดช่วงของตัวแปรที่ศึกษา (อนุวัตร, 2549)

ตารางที่ 3.1 ลำดับและระดับของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแช่ในสารละลายซูโครสไซรัป

ตัวแปร	สัญลักษณ์	-1	0	+1
ความเข้มข้น (°Brix)	$X_1$	10	37.5	65
เวลา (นาที)	$X_2$	5	10	15
ความดัน (kPa)	$X_3$	0	40	80

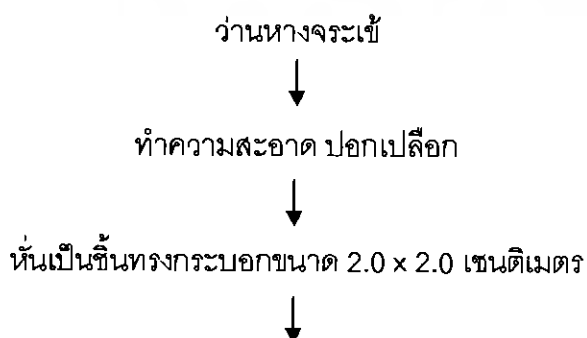
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนน์เคน (Box-Bhnken) 3 ปัจจัย ของสารละลายชูโครสไซรัป

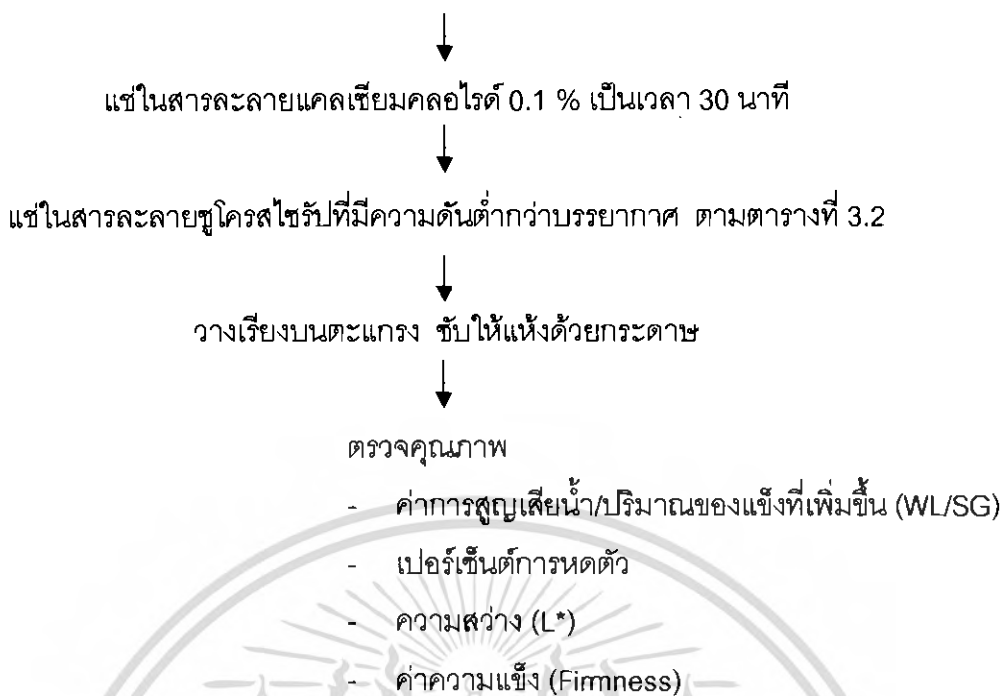
การทดลอง	ความเข้มข้น ( $X_1$ ) °Brix	เวลา ( $X_2$ ) นาที	ความดัน ( $X_3$ ) kPa
1	10	5	40
2	10	15	40
3	65	5	40
4	65	15	40
5	10	10	0
6	10	10	80
7	65	10	0
8	65	10	80
9	37.5	5	0
10	37.5	15	80
11	37.5	5	0
12	37.5	15	80
13	37.5	10	40
14	37.5	10	40
15	37.5	10	40

### 3.3.2 การแช่ในสารละลายชูโครสที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

นำชิ้นว่านหางจระเข้ที่เตรียมไว้ ไปใส่ในเครื่องควบคุมความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศ ทำการเปิดเครื่องควบคุมความดันและเวลา ทำการทดลองตามตารางที่ 3.2 หลังจากนั้นนำชิ้นว่านหางจระเข้ที่ผ่านการแช่ในสารละลายชูโครสที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ไปตรวจคุณภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทดลองแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าบรรยากาศ

#### 3.3.3 การตรวจคุณภาพ

##### 3.3.3.1 การวัดค่าการสูญเสียน้ำหลังการแช่ (WL) และค่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งหลังการแช่ (SG)

ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นของวุ้นหางจระเข้ และนำวุ้นหางจระเข้หลังแช่มาล้างสารละลายซูโครสที่ผิวออก ซับให้แห้งด้วยกระดาษ หลังจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักวุ้นหางจระเข้หลังแช่ ก่อนที่จะนำไปอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักของวุ้นหางจระเข้มีค่าคงที่ ซึ่งน้ำหนักสุดท้ายที่ได้ (Mcminn & Magee, 1999) คำนวณได้ดังสมการ

$$WL = \frac{\text{ปริมาณน้ำในวุ้นหางจระเข้เริ่มต้น} - \text{ปริมาณน้ำในวุ้นหางจระเข้ที่เวลาใดๆ}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของวุ้นหางจระเข้}} \quad (3.4)$$

$$SG = \frac{\text{ปริมาณของแข็งในวุ้นหางจระเข้ที่เวลาใดๆ} - \text{ปริมาณของแข็งในวุ้นหางจระเข้เริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของวุ้นหางจระเข้}} \quad (3.5)$$

เมื่อ WL คือ การสูญเสียน้ำ (water loss) (g water/g total)

SG คือ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain) (g solid/g total)

### 3.3.3.2 ระบบการวัดค่าสี

วัดค่าสีด้วย colourmeter (TRI-STI MULUS,model Color J.C. 801, Japan) รายงานค่าสีด้วยระบบ CIE L\* a\* b\* L\* คือค่าที่แสดงความสว่าง a\*คือค่าที่แสดงความเป็นสีแดง และ b\* คือค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง (เพชรภาวี และคณะ,2546)

### 3.3.3.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว

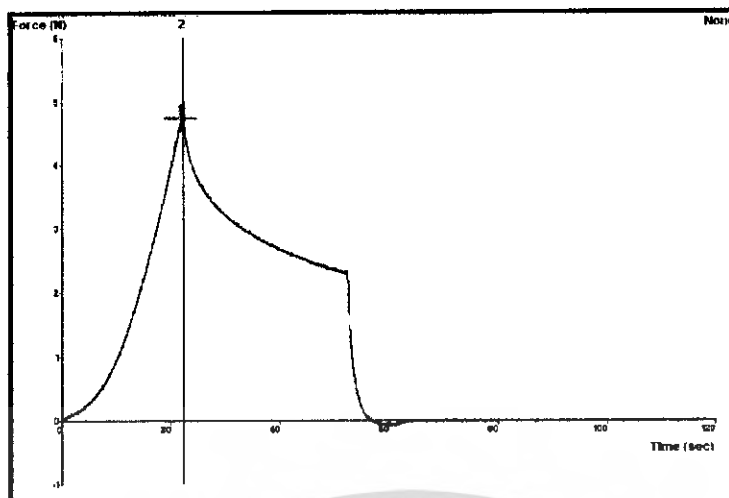
นำวุ้นนางจะเข้ามาจุ่มในสารละลายไอโซโทนิคเพื่อหาค่าน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักที่เวลาใดๆ จากนั้นหาความหนาแน่นของสารละลายไอโซโทนิค โดยวิธี Hubbard pycnometer และเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Behsnilian et al, 2006) คำนวณได้ดังสมการ

$$\% \text{การหดตัว} = \frac{V}{V_0} = \left( \frac{M_0 - M_t}{M_0} \right) \frac{\rho_0}{\rho_t} \times 100 \quad (3.6)$$

เมื่อ	$M_0$	=	น้ำหนักของตัวอย่าง (g)
	$M_t$	=	น้ำหนักของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (g)
	$V_0$	=	ปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่าง (ml)
	$V_t$	=	ปริมาตรของตัวอย่างที่เวลาใดๆ (ml)
	$\rho_0$	=	ความหนาแน่นของสารละลายไอโซโทนิค (Isotonic) เริ่มต้น (g/ml)
	$\rho_t$	=	ความหนาแน่นของสารละลายไอโซโทนิค (Isotonic) ที่เวลาใดๆ (g/ml)

### 3.3.3.4 การวัดค่าความแข็ง (Fimness)

วัดค่าการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA.XT.plus, Stable Micro System, UK) เพื่อรายงานค่าความแข็ง (Fimness) โดยใช้หัวกดอะลูมิเนียมทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm (P/50) ความเร็วเริ่มต้นของหัวกด (Pre-Test Speed) 10 mm/s ความเร็วของหัววัดขณะเคลื่อนที่ลงในเนื้อวุ้นนางจะแช่ (Test speed) 0.2 mm/s ความเร็วสุดท้ายของหัวกด (Post-Test Speed) 0.2 mm/s แรงที่ใช้ในการกด (Force) 5 N เวลาที่ใช้ใน (Time) 30 sec ค่าความแข็งสามารถหาได้จากความชันในช่วงแรกของกราฟที่ระยะความสูง 5 นิวตัน ดังรูป



รูปที่ 3.6 กราฟค่าความแข็ง(Firmness)

### 3.3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เพื่ออธิบายค่าที่ต้องการศึกษาดังนี้ ค่าการสูญเสียน้ำ (Water loss) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain) เปอร์เซ็นต์การหดตัว ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่าความแข็ง (Firmness) นำมาพลอตกราฟ Contour plot และ Surface plot ด้วยโปรแกรม Statistica 7.0 (Statsoft, 2006) และสร้างสมการรีเกรสชันด้วยโปรแกรม SPSS 14.0 (SPSS, 2007) หาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการแช่ในสารละลายที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

### 3.4 การศึกษาผลของความเข้มข้น เวลาและความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่มีต่อการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

#### 3.4.1 การออกแบบการทดลองของแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ )

ตารางที่ 3.3 ลำดับและระดับของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ตัวแปร	สัญลักษณ์	-1	0	+1
ความเข้มข้น ( $^{\circ}\text{Brix}$ )	$X_1$	0.1	1.55	3.0
เวลา (นาที)	$X_2$	1	5.5	10
ความดัน (kPa)	$X_3$	0	40	80

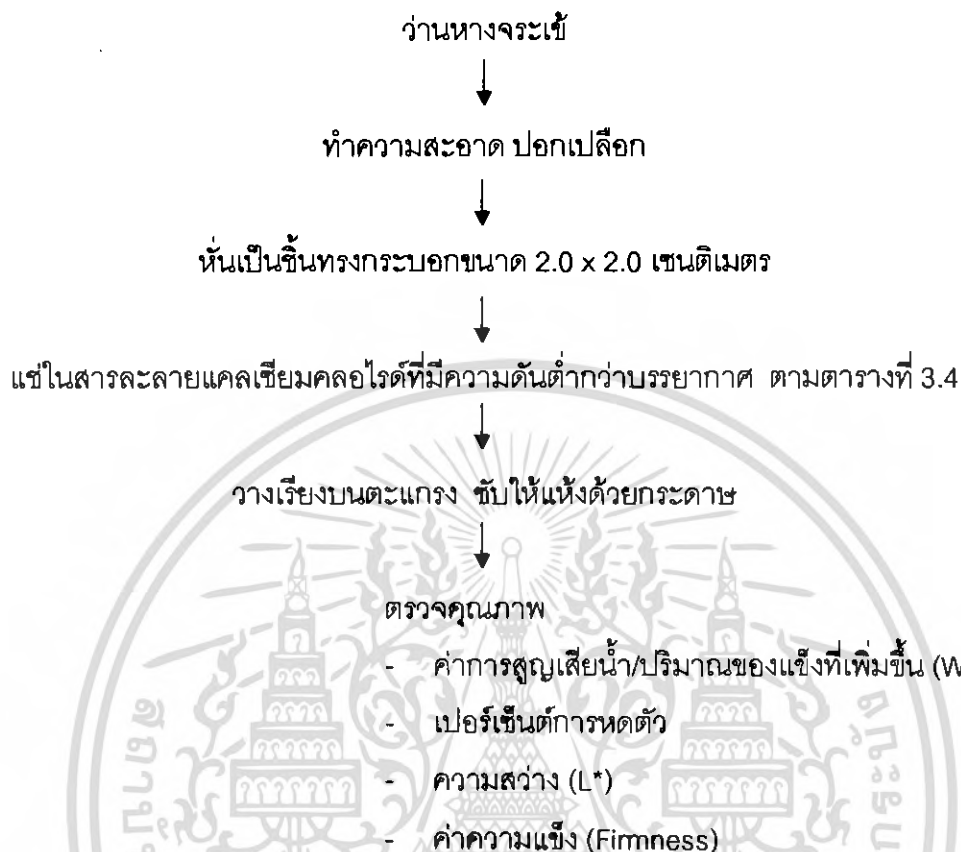
ตารางที่ 3.4 แผนการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken design) 3 ปัจจัย

การทดลอง	ความเข้มข้น ( $X_1$ ) $^{\circ}\text{Brix}$	เวลา ( $X_2$ ) นาที	ความดัน ( $X_3$ ) kPa
1	0.1	1	40
2	0.1	10	40
3	3.0	1	40
4	3.0	10	40
5	0.1	5.5	0
6	0.1	5.5	80
7	3.0	5.5	0
8	3.0	5.5	80
9	1.55	1	0
10	1.55	10	80
11	1.55	1	0
12	1.55	10	80
13	1.55	5.5	40
14	1.55	5.5	40
15	1.55	5.5	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

วิธีการทดลองดังหัวข้อ 3.3.2



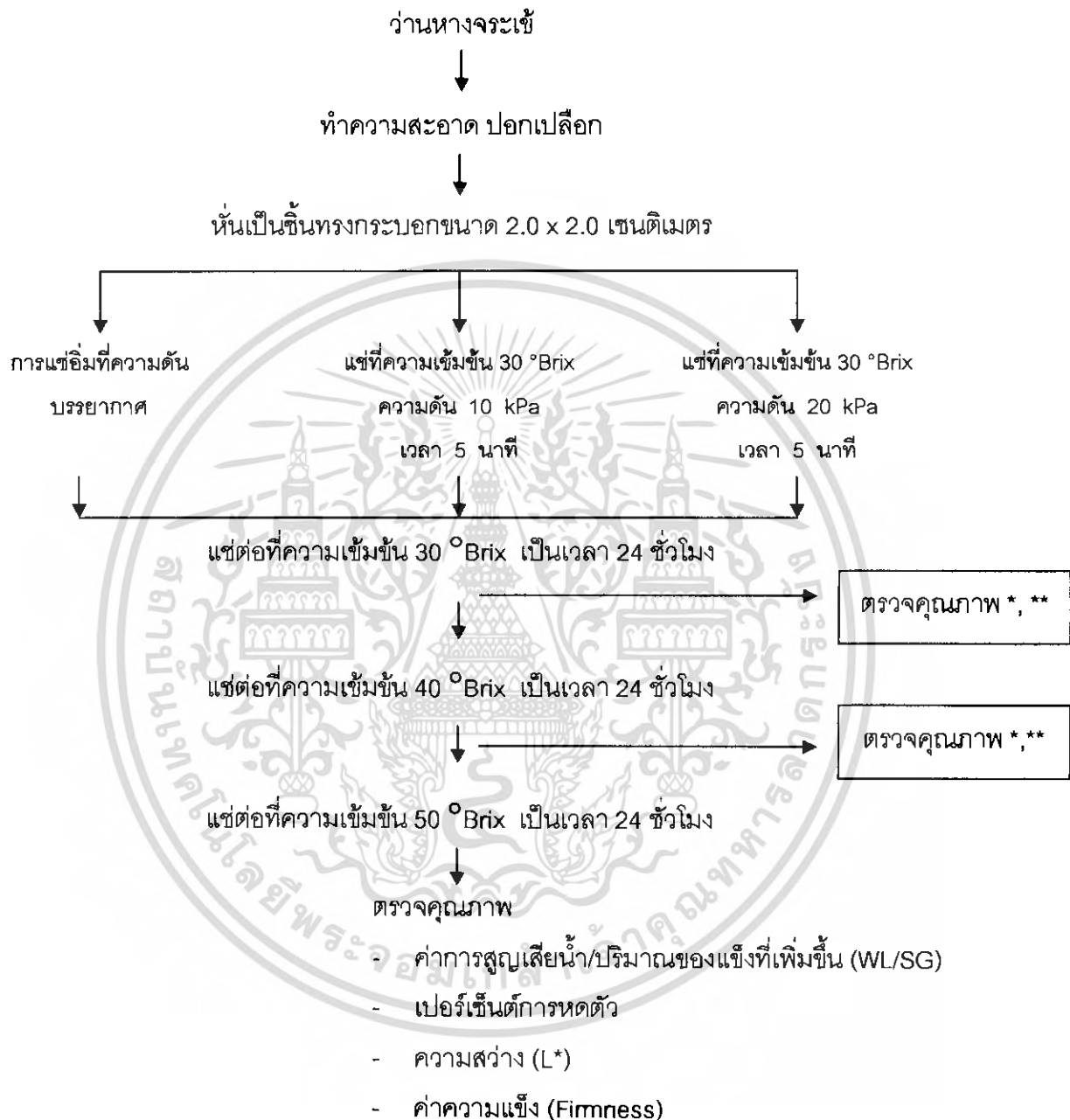
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทดลองแช่งานทางจระเข้ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

### 3.4.3 การตรวจคุณภาพ

วิธีการตรวจคุณภาพดังหัวข้อ 3.3.3

### 3.5 การศึกษาผลของความเข้มข้น เวลาและความดันบรรยากาศที่มีต่อการแช่ในสารละลายซูโครสไซรัป

#### 3.5.1 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง



#### รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทดลองการแช่ที่สภาวะบรรยากาศ

หมายเหตุ \* WL/SG ที่ 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที 6, 9, 12 และ 24 ชั่วโมง

\*\* เปอร์เซ็นต์การหดตัว ค่าความสว่าง (L\*) และค่าความแข็ง (Firmness) ที่เวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

### 3.5.2 การแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

การแช่ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ โดยการนำวุ้นหางจระเข้ที่เตรียมไว้ มาแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ระดับบรรยากาศ (0 kPa) 10 และ 20 kPa แล้วนำมาแช่ต่อในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 30, 40 และ 50°Brix ตามลำดับ แช่ที่ความเข้มข้นละ 24 ชั่วโมง

### 3.5.3 การตรวจคุณภาพ

วิธีการตรวจคุณภาพ ดังหัวข้อ 3.3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

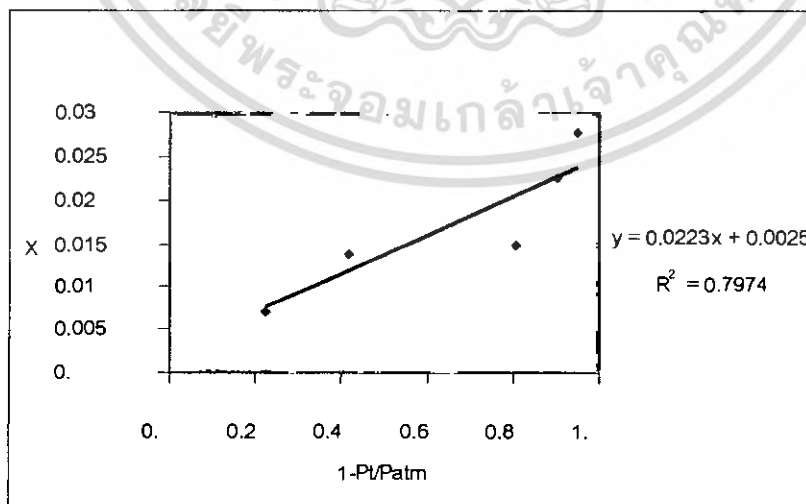
# ผลการทดลองและวิจารณ์

### 4.1 ความพรุน

การศึกษาความพรุนของวุ้นหางจระเข้ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนโคนและส่วนกลาง ตามวิธีของ Fito (1992) ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศระดับ 5, 10, 20, 40, 60 และ 80 kPa พบว่าความพรุนของส่วนกลางมีค่าอยู่ระหว่าง -4.713 ถึง 1.044% และความพรุนของส่วนโคนมีค่าอยู่ระหว่าง 2.49 ถึง 3.35% การที่ค่าความพรุนส่วนกลางมีค่าติดลบเนื่องจากอากาศที่มีอยู่ภายในวุ้นหางจระเข้มีน้อยมากเมื่ออยู่ภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศมาก ๆ อากาศที่อยู่ภายในถูกดึงออกมาหมด ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของวุ้นหางจระเข้หลังแช่ในสารละลายไอโซโทนิคน้อยกว่าน้ำหนักวุ้นหางจระเข้เริ่มต้น เมื่อนำไปคำนวณในสมการ 3.1 จึงทำให้ค่าความพรุนมีค่าติดลบ และค่าความพรุนส่วนกลางของวุ้นหางจระเข้มีค่า  $R^2$  มากกว่าจึงอาจกล่าวได้ว่าส่วนกลางของวุ้นหางจระเข้มีความพรุนสม่ำเสมอมากกว่าส่วนโคนของวุ้นหางจระเข้

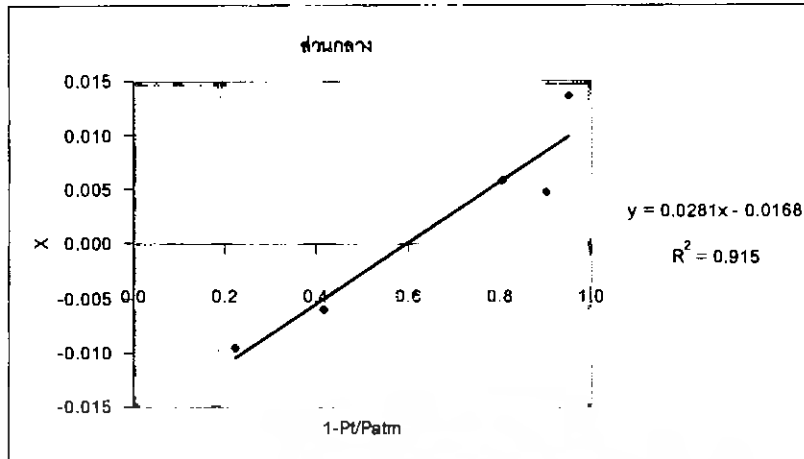
ความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ใช้ในการทดลอง มีผลต่อค่าความพรุนของวุ้นหางจระเข้ ความดันต่ำกว่าบรรยากาศมากสามารถดึงอากาศภายในออกมาได้มากจึงทำให้ค่าความพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับความพรุนของวุ้นหางจระเข้กับผลไม้ชนิดอื่น ๆ พบว่า สับปะรด แอปเปิ้ล คอศ และสตอเบอรี่ มีค่าความพรุนมากกว่าวุ้นหางจระเข้และวุ้นหางจระเข้มีความพรุนใกล้เคียงกับความพรุนของสตอเบอรี่ (Shi et al., 1995)



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการหาความพรุนวุ้นหางจระเข้ส่วนโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการหาความพรุนว่างทางจระเข้ส่วนกลาง

ตารางที่ 4.1 ค่า D และ  $X_0$  ของว่างทางจระเข้ส่วนโคนและส่วนกลาง

ว่างทางจระเข้	ค่า D	ค่า $X_0$
ส่วนโคน	0.0223	0.0025
ส่วนกลาง	0.0281	-0.0168

ตารางที่ 4.2 ความพรุนของว่างทางจระเข้ส่วนโคนและส่วนกลางที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศระดับต่าง ๆ

ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (kPa)	ความพรุนส่วนโคน (%)	ความพรุนส่วนกลาง (%)
80	3.35	-4.71
60	2.83	-1.21
40	2.64	0.06
20	2.54	0.73
10	2.51	0.95
5	2.49	1.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลของความเข้มข้น เวลาและความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่มีผลต่อการแช่ในสารละลายซูโครสไซรัป

จากกราฟ Surface plot และ Contour plot แสดงผลของเวลา และความดันเมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัปคงที่ที่ 30 °Brix ที่มีต่อการสูญเสีย (Water Loss), ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain), เปอร์เซ็นต์การหดตัว, ค่าความสว่าง (L), ค่าความแข็ง (Firmness) โดยการศึกษาต้องการการสูญเสียที่มีค่าน้อย ๆ ช่วงของความดันบรรยากาศ 0 - 20 kPa และที่เวลาจาก 5 - 11 นาที ค่าการสูญเสียที่ได้มีค่าประมาณ 0.1 - 0.2 g water/g total (รูปที่ 4.3 a, b) และเมื่อพิจารณาความดันต่ำกว่าบรรยากาศดังกล่าวจะให้ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 4.4 a, b) และมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อย (รูปที่ 4.5 a, b) ส่วนค่าความสว่าง (L\*) และค่าความแข็ง (Firmness) ที่ได้จะมีค่ามาก จึงสามารถสรุปสภาวะการทดลองได้ 3 สภาวะคือ

สภาวะที่ 1 การเชื่อมที่ความดันบรรยากาศ

สภาวะที่ 2 ความเข้มข้นเท่ากับ 30 °Brix, เวลา 5 นาที และความดัน 10 KPa

สภาวะที่ 3 ความเข้มข้นเท่ากับ 30 °Brix, เวลา 5 นาที และความดัน 20 Kpa

**สมการรีเกรสชันของค่าตอบสนองมีดังนี้**

$$\text{การสูญเสีย} = 0.492 - 0.005X_1 - 0.0943X_2 + 0.006X_3 + 0.001X_1X_2 - 0.000019 X_1X_3 \\ + 0.00000292X_1^2 + 0.004 X_2^2 - 0.00002X_3^2$$

$$R^2 = 0.668$$

$$\text{ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น} = 0.505 - 0.11X_1 - 0.076X_2 + 0.001X_3 + 0.001X_1X_2 - 0.000021 X_1X_3 \\ + 0.000071X_1^2 + 0.002 X_2^2 - 0.000021X_3^2$$

$$R^2 = 0.596$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การหดตัว} = -5.151 + 0.409X_1 + 1.997X_2 - 0.102X_3 - 0.023X_1X_2 + 0.001X_1X_3 \\ + 0.003X_2X_3 - 0.001 X_1^2 - 0.047X_2^2 + 0.001 X_3^2$$

$$R^2 = 0.918$$

$$\text{ค่าความสว่าง} = 37.194 + 0.231X_1 + 0.632X_2 - 0.238X_3 - 0.001X_1X_2 + 0.002X_1X_3 \\ - 0.004X_2X_3 - 0.005 X_1^2 - 0.045X_2^2 + 0.002 X_3^2$$

$$R^2 = 0.609$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

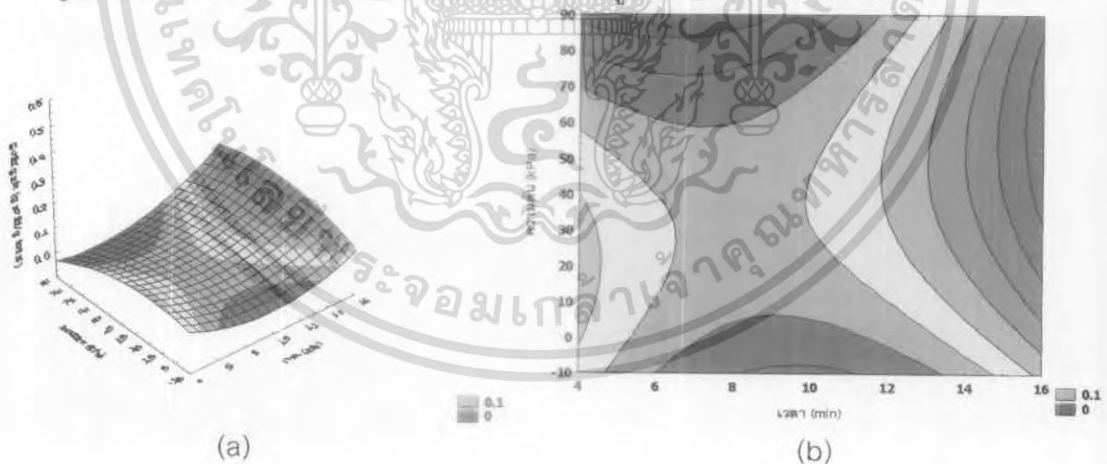
$$\begin{aligned} \text{ค่าความแข็ง} = & 0.96 + 0.11X_1 + 0.007X_2 - 0.001X_3 - 0.000018X_1X_3 - 0.00000312X_2X_3 \\ & - 0.000068X_1^2 + 0.00000286 X_3^2 \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.527$$

- เมื่อ  $X_1$  = ความเข้มข้น (°Brix)  
 $X_2$  = เวลา (นาที)  
 $X_3$  = ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (kPa)

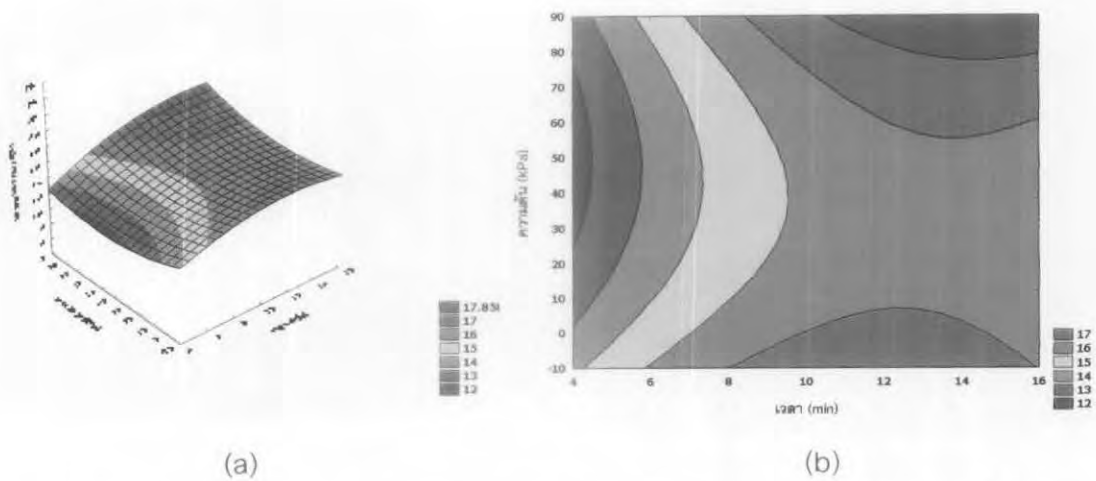


รูปที่ 4.3 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อค่าการสูญเสียน้ำ (WL) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัปคงที่ที่ 30 °Brix

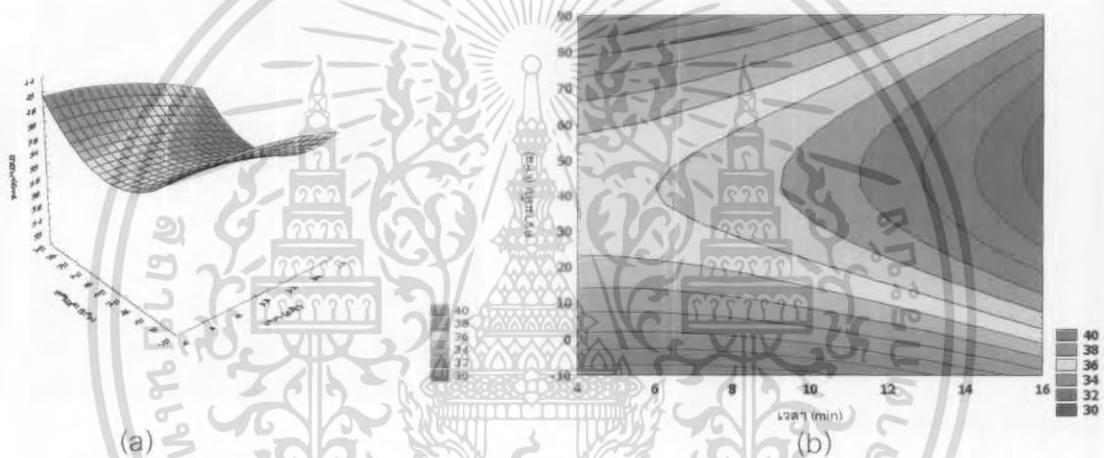


รูปที่ 4.4 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัปคงที่ที่ 30 °Brix

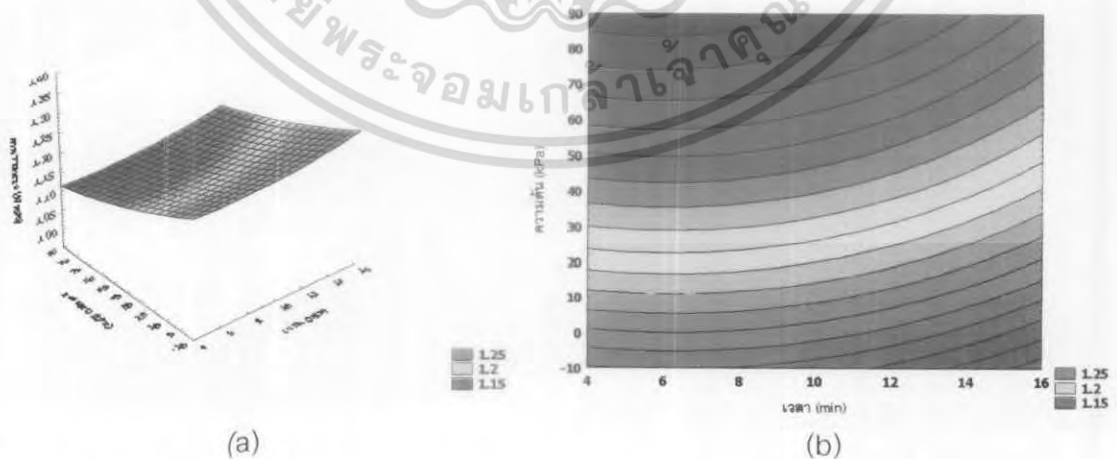
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัปคงที่ที่ 30 °Brix



รูปที่ 4.6 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อค่าความสว่าง (L\*) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัปคงที่ที่ 30 °Brix



รูปที่ 4.7 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อค่าความแข็ง (Firmness) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสไซรัปคงที่ที่ 30 °Brix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลของความเข้มข้น เวลาและความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่มีผลต่อการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

การทดลองนี้เลียนแบบการแช่ว่านหางจระเข้ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนการแช่อิมของผู้ประกอบการ ซึ่งใช้เวลาในการแช่เป็นเวลา 30 นาทีที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งจากกราฟ Surface plot และ Contour plot แสดงผลของเวลา และความดันเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.1% ของน้ำหนัก ที่มีต่อการสูญเสีย (Water Loss), ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain), เปอร์เซ็นต์การหดตัว, ค่าความสว่าง (L), ค่าความแข็ง (Firmness) พบว่าการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศในช่วง 10 – 20 kPa และเวลา 5 – 10 นาทีให้ค่าความแข็ง (Firmness) ใกล้เคียงกับการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความดันบรรยากาศ

#### สมการรีเกรสชันของค่าที่ศึกษามีดังนี้

$$\text{การสูญเสีย} = 0.093 - 0.014X_1 - 0.006X_2 - 0.003X_3 - 0.002X_1X_2$$

$$R^2 = 0.587$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น} = & 0.049 - 0.017X_1 - 0.018X_2 + 0.001X_3 + 0.001X_1X_3 \\ & - 0.0000076X_2X_3 - 0.016X_1X_1 + 0.002X_2X_2 - 0.000022X_3X_3 \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.734$$

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การหดตัว} = & 6.131 - 0.073X_1 - 1.125X_2 + 0.043X_3 + 0.229X_1X_2 - 0.004X_1X_3 \\ & - 0.001X_2X_3 - 0.048X_1X_1 + 0.062X_2X_2 + 0.0000866X_3X_3 \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.931$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความสว่าง} = & 38.706 + 1.487X_1 - 1.280X_2 - 0.062X_3 + 0.305X_1X_2 - 0.018X_1X_3 \\ & + 0.010X_2X_3 - 0.667X_1X_1 + 0.009X_2X_2 \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.609$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความแข็ง} = & 1.042 - 0.006X_1 + 0.023X_2 + 0.002X_3 - 0.009X_1X_2 + 0.0000551X_1X_3 \\ & + 0.013X_1X_1 + 0.001X_2X_2 - 0.000022X_3X_3 \end{aligned}$$

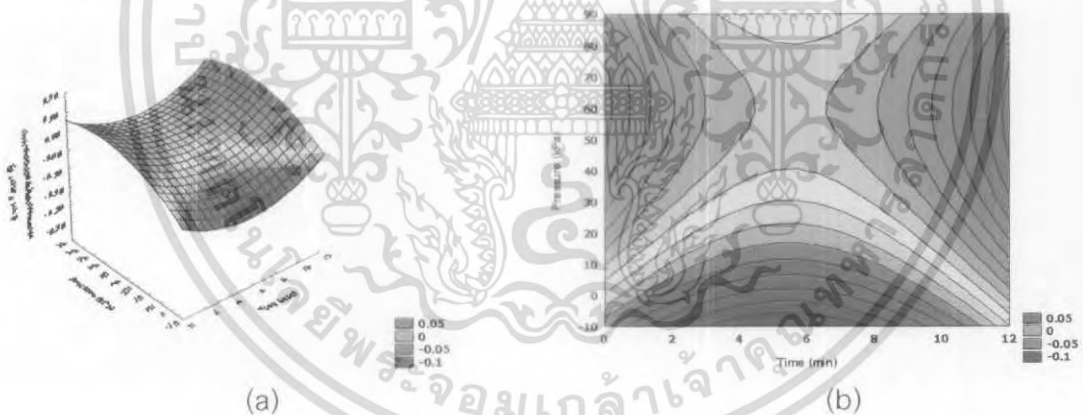
$$R^2 = 0.636$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ  $X_1$  = ความเข้มข้น ( $^{\circ}$ Brix)  
 $X_2$  = เวลา (นาที)  
 $X_3$  = ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (kPa)

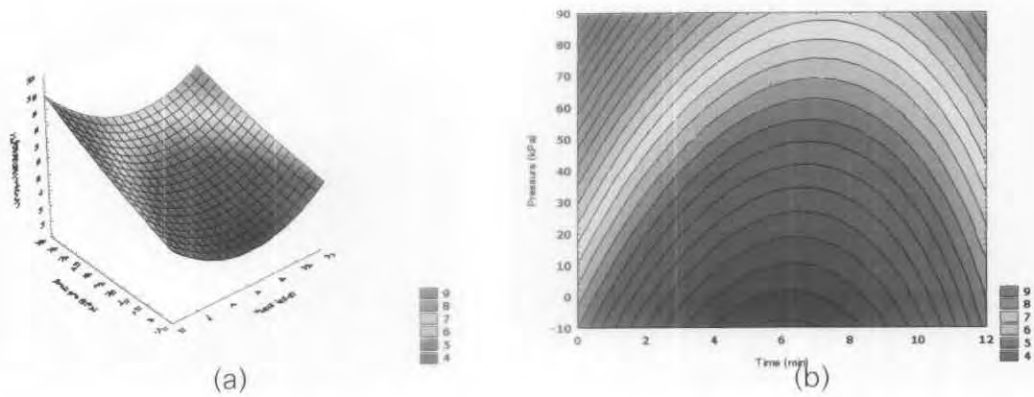


รูปที่ 4.8 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อค่าการสูญเสีย น้ำ (WL) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์คงที่ที่ 0.1% ของน้ำหนัก



รูปที่ 4.9 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์คงที่ที่ 0.1% ของน้ำหนัก

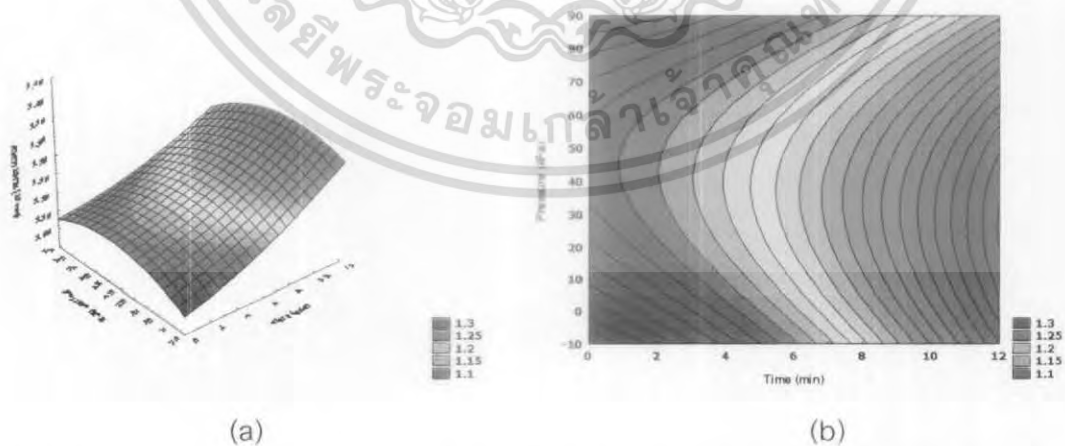
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์คงที่ที่ 0.1% ของน้ำหนัก



รูปที่ 4.11 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์คงที่ที่ 0.1% ของน้ำหนัก



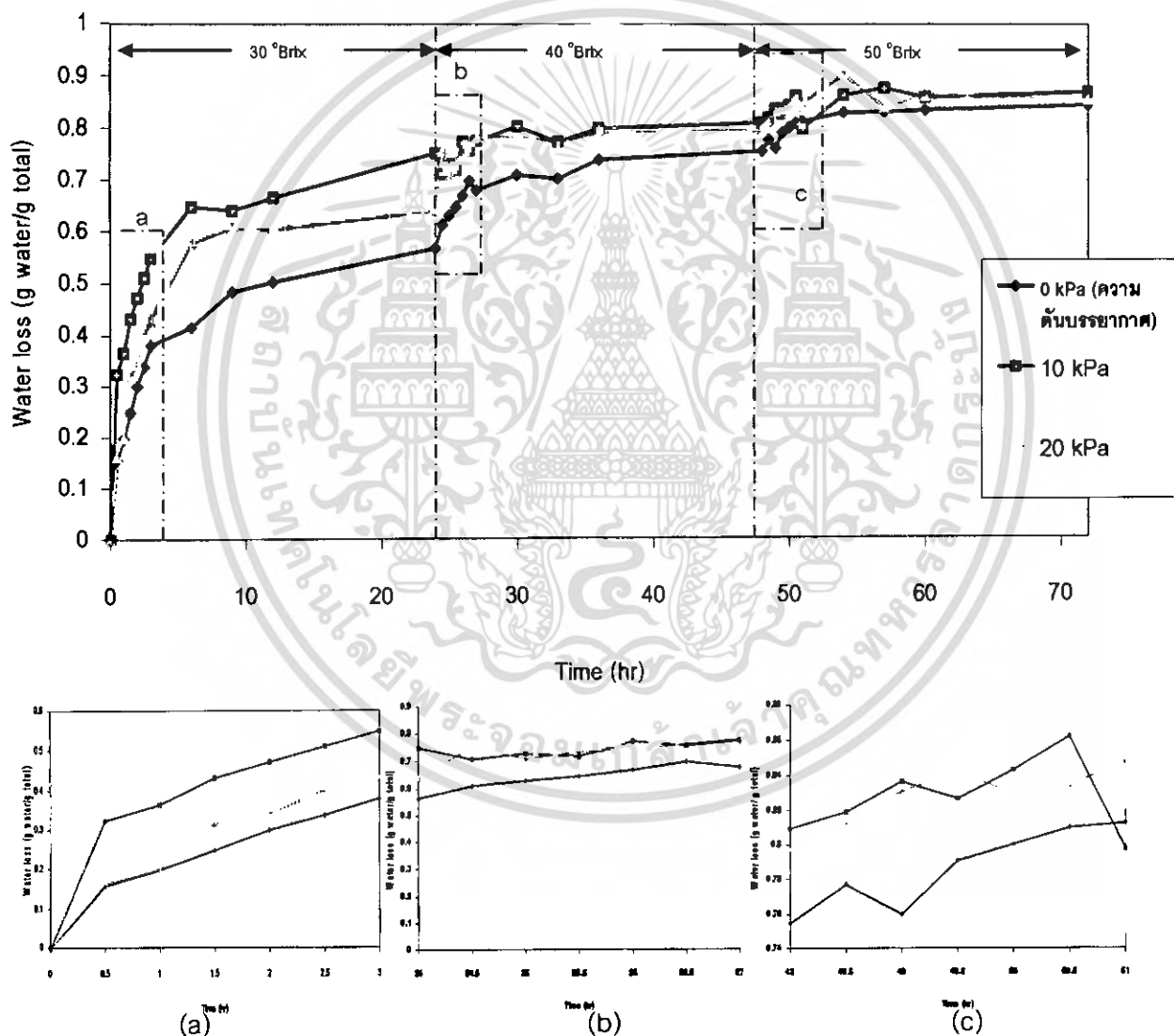
รูปที่ 4.12 Surface plot (a) และ Contour plot (b) แสดงผลของเวลา และความดันต่อค่าความแข็ง (Firmness) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์คงที่ที่ 0.1% ของน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลของความเข้มข้น เวลาและความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่มีต่อการแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความดันบรรยากาศ

การทดลองครั้งนี้อ้างอิงสภาวะการแช่ที่หวานทางจระเข้ของผู้ประกอบการ โดยแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความเข้มข้น 30°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ความเข้มข้น 40°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และความเข้มข้น 50°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

##### 4.4.1 ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่ (Vacuum Impregment, VI) เปรียบเทียบกับการแช่ที่ความดันบรรยากาศต่อการสูญเสียน้ำ (Water loss)

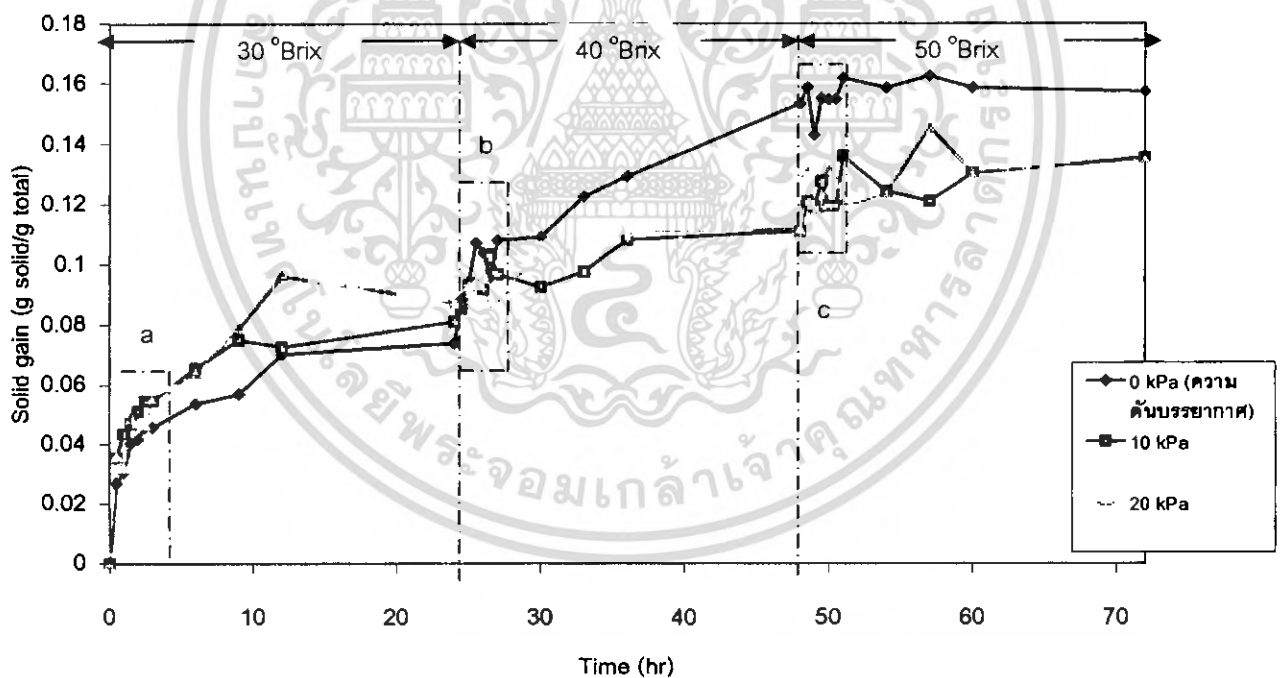


รูปที่ 4.13 การสูญเสียน้ำของ 3 สภาวะการทดลอง โดยแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความเข้มข้น 30°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 40°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น 50°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

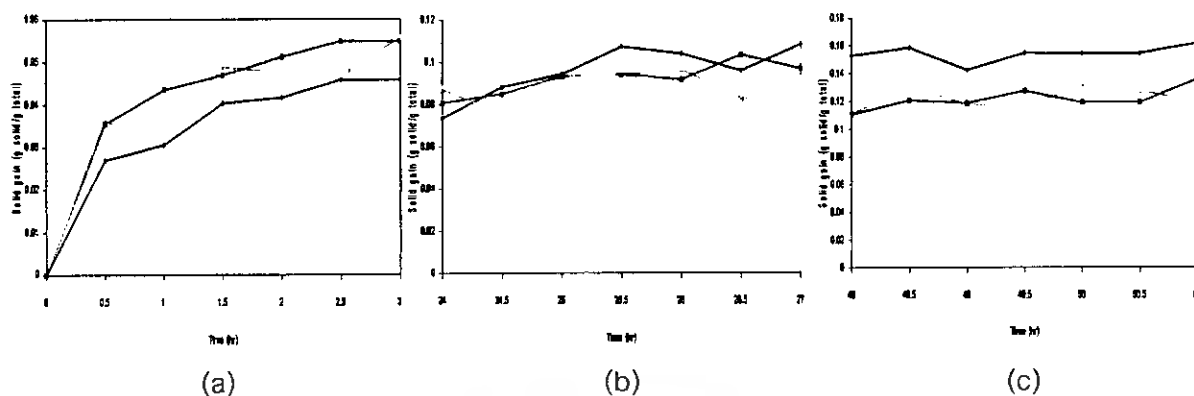
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียน้ำของ 3 สภาวะการทดลอง โดยแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปที่มีความเข้มข้น 30°Brix พบว่า VI 10 kPa มีการสูญเสียน้ำมากที่สุดตลอด 3 ชั่วโมง ส่วน VI 20 kPa การสูญเสียน้ำใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศในช่วงแรก แต่เมื่อผ่านไป 1 ชั่วโมงมีการสูญเสียน้ำเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 4.13 a) เมื่อครบ 24 ชั่วโมง การสูญเสียน้ำของ VI 10 kPa มากที่สุด รองลงมาคือ VI 20 kPa และความดันบรรยากาศตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 40°Brix การสูญเสียน้ำของทั้ง 3 สภาวะมีค่าใกล้เคียงกันในระยะ 3 ชั่วโมงแรก (รูปที่ 4.13 b) โดยที่การสูญเสียน้ำของ VI 10 กับ 20 kPa มีค่าใกล้เคียงกันและมากกว่าที่ความดันบรรยากาศเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 50°Brix การสูญเสียน้ำในช่วงแรกเหมือนกับรูปที่ 4.13 b แต่ที่ VI 10 กับ 20 kPa มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำมากกว่าที่ความดันบรรยากาศ (รูปที่ 4.13 c) การสูญเสียน้ำของทั้ง 3 สภาวะเริ่มคงที่เมื่อครบ 72 ชั่วโมง

#### 4.4.2 ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่อิม (Vacuum Impregment, VI) เปรียบเทียบกับการแช่อิมที่ความดันบรรยากาศต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid gain)



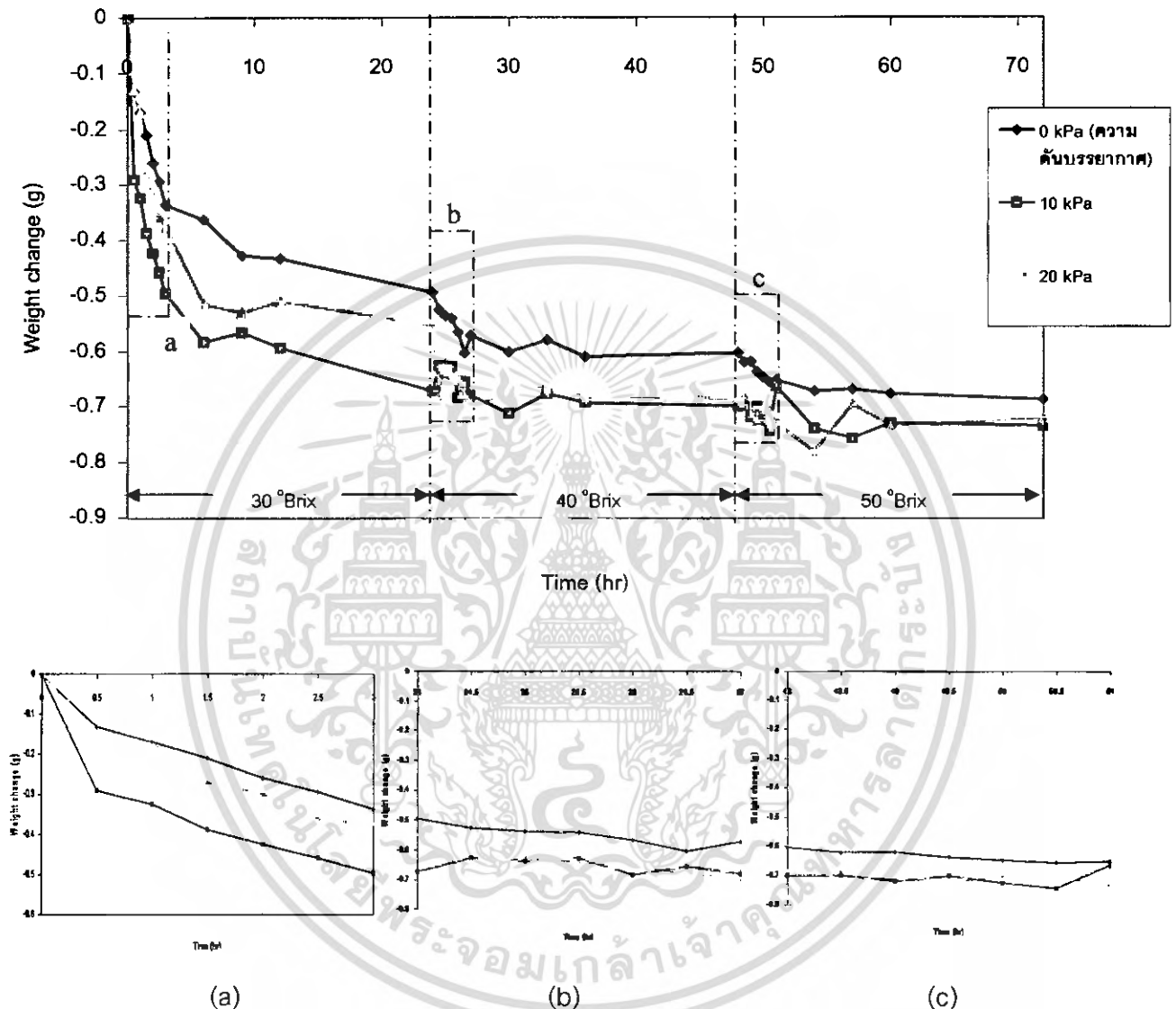
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของ 3 สภาวะการทดลอง โดยใช้ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความเข้มข้น 30°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 40°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น 50°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของวุ้นหางจระเข้ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความเข้มข้น 30°Brix พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ที่ VI 10 และ 20 kPa มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อครบ 3 ชั่วโมงแรก ที่ VI 10 และ 20 kPa มีแนวโน้มของปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ความดันบรรยากาศ (0 kPa) (รูปที่ 4.14 a) เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ที่ VI 10 และ 20 kPa มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ความดันบรรยากาศ (0 kPa) ที่ความเข้มข้น 40°Brix ในระยะ 3 ชั่วโมงแรก ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของทั้ง 3 สภาวะใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4,14 b) เมื่อครบ 48 ชั่วโมง ที่ความดันบรรยากาศ (0 kPa) มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ VI 10 และ 20 kPa โดยที่ที่ VI 10 และ 20 kPa มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน ที่ความเข้มข้น 50°Brix ในระยะ 3 ชั่วโมงแรก ที่ความดันบรรยากาศ (0 kPa) มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ VI 10 และ 20 kPa (รูปที่ 4,14 c) และความดันบรรยากาศ (0 kPa) มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยที่ VI 10 และ 20 มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันเมื่อครบ 72 ชั่วโมง ซึ่งจากการศึกษาของ Shi et al (1995) พบว่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของสตรอเบอร์รี่ และแอปเปิ้ลคอตในการแช่ที่ความดันบรรยากาศ (0 kPa) มีค่ามากกว่า การใช้ความดันบรรยากาศก่อนการแช่ (VI)

4.4.3 ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่แข็ง (Vacuum Impregment, VI) เปรียบเทียบกับการแช่แข็งที่ความดันบรรยากาศต่อน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (Weight change)

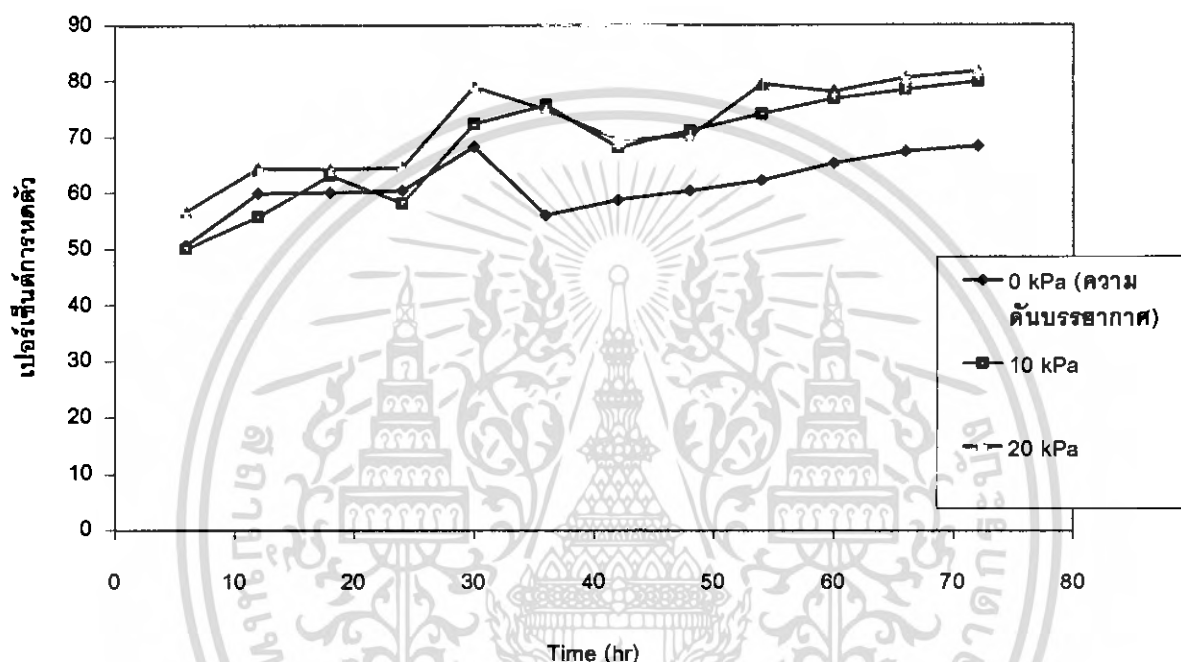


รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของ 3 สภาวะการทดลอง โดยแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความเข้มข้น 30°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 40°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น 50°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความเข้มข้น 30°Brix VI 10 kPa มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากที่สุดตลอด 3 ชั่วโมง ที่ VI 20 kPa การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีค่าใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศในช่วงเริ่มต้นและเพิ่มขึ้นมากกว่าหลังจาก 1 ชั่วโมงผ่านไป (รูปที่ 4.15 a) โดย VI 10 kPa มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองลงมาคือ VI 20 kPa และความดันบรรยากาศ ที่ความเข้มข้น 40°Brix การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักใกล้เคียงกันทั้ง 3 สภาวะ (รูปที่ 4.14 b) และเริ่มคงที่ที่ชั่วโมงที่ 35 – 48 ที่ความเข้มข้น 50°Brix การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงเริ่มต้นเหมือนกับ รูปที่ 4.14 b โดย VI 10 กับ 20 kPa มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากกว่า (รูปที่ 4.14 c) ที่ความดันบรรยากาศจนครบ 72 ชั่วโมง

#### 4.4.4 ผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่ฮีม (Vacuum Impregment, VI) เปรียบเทียบกับการแช่ฮีมที่ความดันบรรยากาศต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัว



รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของวุ้นนางจระเข้ทั้ง 3 สภาวะการทดลองโดยแช่ในสารละลายซูโครสไซรัปที่ความเข้มข้น 30°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 40°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น 50°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ในช่วงเริ่มต้นของการแช่ที่ความเข้มข้น 30°Brix การใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวใกล้เคียงกับการใช้ความดันบรรยากาศ และการเพิ่มระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศก็ส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเพิ่มมากขึ้นด้วย หลังจากชั่วโมงที่ 30 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของทั้ง 3 สภาวะมีค่าลดลงแต่การใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศเปอร์เซ็นต์การหดตัวจะลดลงน้อยกว่าการใช้ความดันบรรยากาศและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 40 เมื่อครบ 72 ชั่วโมงจะพบว่าการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศจะทำให้มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวมากกว่าการใช้ความดันบรรยากาศ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าของใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่ที่ความดันบรรยากาศได้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพของวุ้นแช่ที่ได้กับการแช่ที่ความดันบรรยากาศ โดยทำการทดลองเพื่อหาความพรุนของวุ้นแช่ตามวิธีของ Filo (1992) ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศระดับ 5, 10, 20, 40, 60 และ 80 kPa พบว่า วุ้นแช่มีความพรุนอยู่ในช่วง 2 – 3% เนื่องจากความพรุนมีความสำคัญต่อการถ่ายเทมวลในกระบวนการแช่ จากนั้นทำการทดลองตามแผนการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนห์เคน (Box-Benhen) ของสารละลายซูโครสไซรัปและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสมต่อการแช่ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่ ซึ่งสภาวะดังกล่าวต้องให้ค่าที่ต้องการศึกษาที่เหมาะสมคือ การสูญเสียน้ำและเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าน้อย ๆ ส่วนปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ค่าความสว่างและค่าความแข็งมีค่ามาก สภาวะที่เหมาะสมของสารละลายซูโครสไซรัปคือ ที่ความเข้มข้น 30°Brix เวลา 5 นาที และความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ระดับ 10 และ 20 kPa โดยการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความดันบรรยากาศช่วยเพิ่มค่าความแข็งของวุ้นแช่ได้ในระยะเวลาที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การแช่วุ้นแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนการแช่ที่ความดันบรรยากาศได้

จากนั้นทำการทดลองเพื่อศึกษาค้นคว้าของใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่ที่เปรียบเทียบคุณภาพของค่าที่ศึกษากับการแช่ที่ความดันบรรยากาศ โดยเลียนแบบสภาวะการทดลองตามการแช่ที่ความดันบรรยากาศของผู้ประกอบการคือ แช่ที่ความเข้มข้น 30°Brix เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วย้ายมาแช่ที่ความเข้มข้น 40°Brix และ 50°Brix ความเข้มข้นละ 24 ชั่วโมงตามลำดับ ในช่วงเริ่มต้นการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (VI) จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำสูงกว่าการแช่ที่ความดันบรรยากาศ โดยการเพิ่มระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศไม่มีผลให้เกิดการสูญเสียน้ำแตกต่างกันมากนัก เมื่อครบ 72 ชั่วโมง การสูญเสียน้ำที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศมีค่าไม่แตกต่างกับที่ความดันบรรยากาศ ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นนั้นในช่วงเริ่มต้นการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศให้ค่าปริมาณของแข็งไม่แตกต่างกับการใช้ความดันบรรยากาศ แต่เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นเป็น 40°Brix และ 50°Brix การใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศจะทำให้ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าน้อยกว่าการใช้ความดันบรรยากาศ เมื่อพิจารณาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงและเปอร์เซ็นต์การหดตัวจะพบว่าทั้งสองค่านี้มีค่าสอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำ ซึ่งการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมากส่งผลให้น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเพิ่มขึ้นและ

ว่านหางจระเข้จะมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเพิ่มมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากความพรุนของว่านหางจระเข้มีค่าน้อย (2 – 3%) การใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศก่อนการแช่ฮีโม (VI) จึงทำให้โครงสร้างภายในของว่านหางจระเข้สูญเสียไป เกิดการสูญเสียน้ำมาก น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเพิ่มขึ้นด้วย แต่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นนั้นมีเพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับศึกษาของ Shi et al. (1995) สตรอเบอร์รี่ที่มีค่าความพรุนใกล้เคียงกัน การใช้ความดันบรรยากาศก่อนการแช่ฮีโมนั้นทำให้สตรอเบอร์รี่มีการสูญเสียน้ำมาก แต่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความดันบรรยากาศ ในขณะที่ผลไม้ที่มีความพรุนมาก เช่น สับปะรด การใช้ความดันบรรยากาศก่อนการแช่ฮีโมนั้นทำให้การสูญเสียน้ำมากแต่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นก็มีค่ามากด้วยเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- ทัศนีย์ เมฆอริยะ. 2530. งานทางจระเข้ ตำรับแพทย์จีน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ นามิ จำกัด.
- เพชรภาวี รักตะสุวรรณ, เสวต ท่าดีสม และอมรเทพ วัฒนา.2546. "การดองน้ำออกจากแคนตา  
ลูไปด้วยวิธีออสโมติก." ปริญญาพันธสาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- อนุวัตร แจ่มชัด. 2549. การพัฒนากระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร, กรุงเทพฯ:  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อ่อนรวี รัตนพันธ์. 2533. หลักการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมติก. อาหาร 20(4): 240-245.
- Barat, J. M., Talens, P., Barrera, C., Chiralt, A. & Fito P. 2002. Pineapple Candyng at  
Mild Temperature by Applying Vacuum Impregnation. Journal of Food Science  
67 (8), 3046–3052.
- Behsnilian, D. & Walter, E.L. Spiess. 2006. Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetable.  
Institute of Food Process Engineering, Karlsruhe, Germany.
- Busch-Kschiewan, K., Zentek, J., Wortmann, FJ., & Biourge, V. 2004. UV light,  
temperature, and humidity effects on white hair color in dogs. Journal of Nutrition  
134, (Suppl.8), 2053 - 2055.
- Fito, P. 1992. Modelling mass transfer during vacuum osmotic dehydration of foods.  
ISOPOW-V, Valencia, Spain.
- Fito, P., Shi, X. Q., Charalt, A., Acosta, E. & Andres A. 1992. Vacuum osmotic  
dehydration of fruit. ISOPOW-V, Valencia, Spain
- Fito, P., Chiralt, A., Barat, J. M. , Spiess, W. E. L. & Behsnilian D. 1997-2008. Osmotic  
Dehydration and Vacuum Impregment.
- Gras, M., Vidal-Brotóns, N., Betoret A., Chiralt, A. & Fito, P. 2002. The response of some  
vegetables to vacuum impregnation. Innovative Food Science & Emerging  
Technologies, 3, 263-269
- Gras, M.L., Vidal, D., Betoret, N., Chiralt A. and Fito, P. 2003. Calcium fortification of  
vegetables by vacuum impregnation Interactions with cellular matrix. Journal of  
Food Engineering, 56, 279-284.

- Giraldo, G., Vázquez, R., Martín-Esparza, M.E. & Chiralt, A. 2005. "Rehydration kinetics and soluble solids lixiviation of candied mango fruit as affected by sucrose concentration." *Journal of Food Science*.
- Islam, M.N. & Flink, J.M. 1982. Dehydration of potato. 11: Osmotic concentration and its effects on air-drying behavior. *J. Food Technol.* 17, 387-403.
- Kilcast, D. *Texture in food: Volume 2: Solid foods*. 2004. *International Journal of Food Science and Technology*.
- Lenart, M. & Flink, J.M. 1984. Osmotic concentration of potato. 11. Spatial distribution of the osmotic effect. *J. Food Technol.* 19, 65-89.
- Liew Abdullah, A.G., Sulaiman, N.M., Aroua M.K. & Megat Mohd Noor M.J. 2007. Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme. *Journal of Food Engineering*, 81, 65–71.
- Mcminn, W.A.M. & Magee, T.R.A. 1999. Studies on the effect of surfactant, blanching and osmotic pretreatments on the convective drying of potatoes. *Food Process Engineering Research Group School of Chemical Engineering, Northern, Ireland*.
- Nieto, A., Salvatori, D., Castro, M.A. & Alzamora, S.M. 1998. Air drying behaviour of apples as affected by blanching and glucose impregnation. *Journal of Food Engineering*, 36, 63-79.
- Otoniel Corzo & Eddie R. Gomez. 2004. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *Journal of Food Engineering*, 64, 213–219.
- Salvatori, D., Andrés, A., Chiralt, A. & Fito, P. 1999. Osmotic dehydration progression in apple tissue I: spatial distribution of solutes and moisture content. *Journal of Food Engineering*, 42, 125-132
- Salvatori, D., Andrés, A., Chiralt, A. & Fito, P. 1999. Osmotic dehydration progression in apple tissue II: generalized equations for concentration prediction. *Journal of Food Engineering*, 42, 133-138.
- Shi, X. Q., Fito P. & Chiralt, A. 1995. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruit. *Food Research International*, Vol. 28, No. 5, pp. 445-454.

Torreggiani, D. 1993. Osmotic dehydration in fruit and vegetables. *Process and Food International*, 26(3), 59–68.



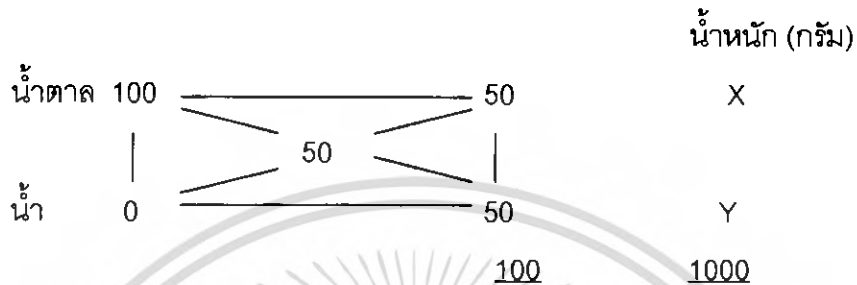
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวก ก. การปรับความเข้มข้นของซูโครสไซรัปโดยวิธีของ Pearson Square

ยกตัวอย่างในการปรับความเข้มข้นของซูโครสไซรัป เช่น หากต้องการเตรียมซูโครสไซรัปเข้มข้น 50 °Brix จำนวน 1000 กรัม มีวัตถุดิบ คือ น้ำตาลซูโครส (100°Brix) และน้ำสะอาด (0°Brix) จะคำนวณโดยวิธีของ Pearson Square ดังนี้



#### วิธีคำนวณ

ที่มุมบนและล่างของด้านซ้ายของสี่เหลี่ยม จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดของวัตถุดิบ ตรงกลางเป็นระดับความเข้มข้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ต้องการ ส่วนมุมบนและด้านล่างขวาของสี่เหลี่ยม จะเป็นผลจากการลบระหว่างค่าที่มุมบนและล่างกับค่าตัวเลขตรงกลางสำหรับค่า X และ Y เป็นน้ำหนักของวัตถุดิบที่ใช้แต่ละชนิด

$$\begin{aligned} \text{น้ำตาลที่ใช้ (X)} &= \frac{50}{100} = \frac{X}{1000} \\ &= 500 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\text{น้ำที่ใช้ (Y)} = \frac{50}{100} = \frac{Y}{1000}$$

ที่มา: เพชรภาวี และคณะ, 2546

ภาคผนวก ข.1 ตารางบันทึกผลการทดลองของสารละลายซูโครสโซลที่ความดันต่ำกว่า  
บรรยากาศ

ครั้งที่	ซ้ำ	การสูญเสียน้ำ (g water/g total)	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (g solid/g total)	ค่าความสว่าง (L*)
1	1	0.09	0.005	39.53
	2	0.10	0.008	39.46
2	1	0.11	0.009	33.83
	2	0.13	0.01	33.83
3	1	0.18	0.01	28.87
	2	0.09	0.02	28.87
4	1	0.20	0.02	22.67
	2	0.27	0.08	22.67
5	1	0.005	0.006	37.72
	2	0.07	0.008	37.72
6	1	0.18	0.19	30.75
	2	0.14	0.005	30.75
7	1	0.08	0.02	37.41
	2	0.17	0.01	37.42
8	1	0.15	0.02	38.3
	2	0.17	0.01	38.29
9	1	0.004	0.001	39.44
	2	0.12	0.004	39.93
10	1	0.56	0.01	40.62
	2	0.12	0.006	40.62
11	1	0.23	0.01	37.43
	2	0.17	0.01	37.41
12	1	0.15	0.02	35.76
	2	0.15	0.01	35.76
13	1	0.13	0.01	34.22
	2	0.23	0.01	34.23
14	1	0.18	0.01	34.05
	2	0.04	0.03	34.05
15	1	0.14	0.01	39.51
	2	0.17	0.01	39.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.2 ตารางบันทึกผลการทดลองของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

ครั้งที่	ซ้ำ	การสูญเสียน้ำ (g water/g total)	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (g solid/g total)	ค่าความสว่าง (L*)
1	1	0.01	-0.005	35.55
	2	0.08	-0.002	35.49
2	1	0.09	0.002	27.83
	2	-0.01	0.000	27.83
3	1	-0.005	0.005	34.87
	2	-0.007	0.000	34.88
4	1	0.01	0.005	35.18
	2	0.04	0.002	35.17
5	1	0.06	-0.001	35.07
	2	0.01	0.000	35.01
6	1	0.04	-0.007	34.01
	2	0.01	-0.004	34.02
7	1	0.03	-0.60	35.89
	2	0.10	0.07	35.89
8	1	-0.17	-0.29	30.56
	2	0.37	0.29	30.63
9	1	0.05	0.004	36.58
	2	0.07	-0.002	36.5
10	1	-0.03	0.004	36.2
	2	0.06	0.002	36.2
11	1	0.05	0.002	31.18
	2	0.09	-0.001	31.15
12	1	0.14	-0.001	38
	2	0.06	-0.002	38
13	1	0.03	-0.001	35.64
	2	0.000	-0.008	35.64
14	1	-0.04	0.004	35.45
	2	0.03	0.001	35.45
15	1	0.02	0.002	32.61
	2	0.10	0.005	32.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.3 ตารางบันทึกผลของเปอร์เซ็นต์การหดตัวของสารละลายซูโครสไซรัปและ  
สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ครั้งที่	เปอร์เซ็นต์การหดตัวในสารละลาย ซูโครสไซรัป				เปอร์เซ็นต์การหดตัวในสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์			
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4
1	8.52	2.84	7.74	7.34	5.75	6.41	7.30	8.64
2	13.77	14.44	13.31	13.59	4.58	1.52	1.33	4.17
3	20.98	21.85	18.22	19.34	7.14	6.68	5.42	5.09
4	21.98	20.81	-2.11	18.54	5.94	7.02	10.31	8.45
5	9.81	9.20	12.53	9.77	-0.60	0.49	4.39	2.65
6	9.98	9.40	5.82	11.86	4.44	5.53	3.41	6.74
7	19.05	18.82	20.49	24.63	6.93	4.99	2.07	6.85
8	26.43	22.76	22.89	21.68	6.18	8.39	7.29	8.17
9	11.78	15.45	12.02	13.74	6.91	-10.43	18.41	6.13
10	12.41	13.75	8.42	12.76	8.53	5.70	12.81	7.71
11	16.26	15.77	16.90	20.91	4.34	3.18	4.85	4.69
12	19.04	18.39	17.25	17.76	7.59	9.51	2.56	7.06
13	14.91	17.51	15.64	15.21	6.41	6.76	5.32	6.17
14	12.09	15.26	17.75	17.68	3.95	4.42	3.11	3.47
15	16.29	12.78	18.06	11.58	5.01	3.52	6.11	3.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.4 บันทึกผลการทดลองค่าความแข็ง (Firmness) ของสารละลายซูโครสไซรัปและ  
สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ครั้งที่	ซ้ำ	ค่าความแข็ง (Firmness) ของ สารละลายซูโครสไซรัป (N/mm)	ค่าความแข็ง (Firmness) ของ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (N/mm)
1	1	1.15	0.77
	2	1.17	0.91
	3	1.02	1.06
	4	0.98	1.43
2	1	1	1.46
	2	0.91	1.76
	3	1.18	1.21
	4	1.33	1.20
3	1	1.50	1.04
	2	1.29	1.17
	3	1.15	1.09
	4	1.19	1.16
4	1	1.13	1.25
	2	1.32	1.18
	3	1.17	1.19
	4	1.09	1.36
5	1	1.18	1.06
	2	1.07	1.1
	3	1.00	1.26
	4	1.25	1.30
6	1	1.01	1.23
	2	1.25	1.17
	3	1.02	1.14
	4	0.91	1.12
7	1	1.23	0.96
	2	1.43	1.38
	3	1.27	1.09
	4	1.32	1.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.4 บันทึกผลการทดลองค่าความแข็ง (Firmness) ของสารละลายซูโครสไซรัปและ  
สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (ต่อ)

ครั้งที่	ซ้ำ	ค่าความแข็ง (Firmness) ของสารละลาย ซูโครสไซรัป (N/mm)	ค่าความแข็ง (Firmness) ของสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ (N/mm)
8	1	1.14	1.14
	2	1.16	1.09
	3	1.15	1.14
	4	1.18	1.15
9	1	1.12	1.08
	2	1.32	1.16
	3	1.35	1.09
	4	1.11	1.19
10	1	1.11	1.19
	2	1.11	0.97
	3	1.23	1.18
	4	0.98	1.25
11	1	1.26	0.94
	2	1.27	1.47
	3	1.47	1.14
	4	1.30	1.08
12	1	1.18	1.08
	2	1.21	1.14
	3	1.13	1.15
	4	1.33	1.11
13	1	1.38	1.26
	2	1.14	1.06
	3	1.27	1.33
	4	1.22	1.11
14	1	1.46	0.96
	2	1.50	1.09
	3	1.20	1.25
	4	1.29	1.16
15	1	1.01	1.28
	2	0.87	1.20
	3	1.23	1.06
	4	0.91	1.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.5 ตารางบันทึกผลค่าการสูญเสียน้ำและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น

ความดัน (kPa)	ความเข้มข้น ของซูโครสโซล (°Brix)	เวลาที่แช่ (hr)	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (g solid/g total)			การสูญเสียน้ำ (g water/g total)		
			ตัวอย่างซ้ำที่			ตัวอย่างซ้ำที่		
			1	2	3	1	2	3
0	30	0.5	0.14	0.15	0.17	0.03	0.02	0.02
		1	0.22	0.2	0.16	0.02	0.03	0.03
		1.5	0.26	0.25	0.23	0.04	0.03	0.03
		2	0.3	0.22	0.36	0.04	0.04	0.03
		2.5	0.33	0.31	0.36	0.04	0.04	0.04
		3	0.35	0.4	0.38	0.04	0.04	0.04
		6	0.36	0.45	0.42	0.05	0.05	0.04
		9	0.49	0.46	0.48	0.05	0.05	0.05
		12	0.45	0.52	0.52	0.077	0.06	0.06
		24	0.53	0.59	0.57	0.08	0.06	0.07
	40	24.5	0.61	0.6	0.62	0.08	0.07	0.09
		25	0.62	0.64	0.61	0.09	0.08	0.1
		25.5	0.66	0.63	0.63	0.11	0.1	0.1
		26	0.66	0.67	0.67	0.11	0.09	0.1
		26.5	0.73	0.68	0.68	0.09	0.09	0.09
		27	0.66	0.7	0.67	0.11	0.1	0.1
		30	0.69	0.71	0.72	0.11	0.1	0.1
		33	0.68	0.71	0.71	0.13	0.12	0.11
		36	0.72	0.74	0.73	0.13	0.12	0.12
		48	0.57	0.57	0.55	-0.03	-0.03	-0.02
	50	48.5	0.57	0.59	0.57	-0.03	-0.03	-0.03
		49	0.57	0.57	0.58	-0.03	-0.03	-0.03
		49.5	0.6	0.58	0.6	-0.03	-0.04	-0.03
		50	0.59	0.62	0.59	-0.03	-0.04	-0.04
		50.5	0.63	0.61	0.6	-0.03	-0.04	-0.03
		51	0.58	0.62	0.61	-0.03	-0.04	-0.04
		54	0.63	0.63	0.62	-0.03	-0.04	-0.04
		57	0.63	0.63	0.63	-0.03	-0.05	-0.05
		60	0.64	0.64	0.63	-0.03	-0.05	-0.05
		72	0.98	0.65	0.65	-0.01	-0.05	-0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.5 ตารางบันทึกผลค่าการสูญเสียน้ำและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (ต่อ)

ความดัน (kPa)	ความเข้มข้น ของซูโครสโซล (°Brix)	เวลาที่แช่ (hr)	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (g solid/g total)			การสูญเสียน้ำ (g water/g total)		
			ตัวอย่างซ้ำที่			ตัวอย่างซ้ำที่		
			1	2	3	1	2	3
10	30	0.5	0.03	0.03	0.03	0.34	0.34	0.35
		1	0.03	0.04	0.04	0.38	0.36	0.4
		1.5	0.04	0.04	0.05	0.42	0.47	0.45
		2	0.04	0.04	0.05	0.48	0.49	0.49
		2.5	0.05	0.05	0.05	0.58	0.49	0.55
		3	0.05	0.05	0.05	0.57	0.54	0.57
		6	0.06	0.06	0.07	0.66	0.64	0.66
		9	0.07	0.07	0.07	0.64	0.64	0.66
		12	0.06	0.07	0.07	0.67	0.67	0.67
		24	0.08	0.07	0.08	0.74	0.75	0.77
	40	24.5	0.08	0.08	0.08	0.71	0.7	0.73
		25	0.09	0.09	0.09	0.72	0.73	0.74
		25.5	0.09	0.08	0.1	0.73	0.73	0.72
		26	0.08	0.09	0.09	0.77	0.77	0.79
		26.5	0.1	0.09	0.11	0.75	0.77	0.76
		27	0.09	0.08	0.1	0.77	0.79	0.77
		30	0.08	0.09	0.09	0.81	0.79	0.81
		33	0.09	0.08	0.11	0.78	0.78	0.77
		36	0.1	0.09	0.11	0.81	0.81	0.79
		48	-0.03	-0.03	-0.03	0.67	0.65	0.69
	50	48.5	-0.03	-0.033	-0.03	0.68	0.66	0.67
		49	-0.03	-0.03	-0.03	0.68	0.71	0.67
		49.5	-0.03	-0.03	-0.03	0.69	0.67	0.65
		50	-0.03	-0.03	-0.03	0.69	0.7	0.69
		50.5	-0.03	-0.03	-0.03	0.71	0.71	0.72
		51	-0.02	-0.02	-0.02	0.63	0.64	0.65
		54	-0.02	-0.02	-0.03	0.7	0.71	0.72
		57	-0.03	-0.03	-0.03	0.7	0.73	0.74
		60	-0.03	-0.03	-0.03	0.71	0.71	0.68
		72	-0.03	-0.03	-0.03	-0.01	0.72	0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.5 ตารางบันทึกผลค่าการสูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (ต่อ)

ความดัน (kPa)	ความเข้มข้น ของซูโครสไรป์ (°Brix)	เวลาที่แช่ (hr)	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (g solid/g total)			การสูญเสีย (g water/ g total)		
			ตัวอย่างซ้ำที่			ตัวอย่างซ้ำที่		
			1	2	3	1	2	3
20	30	0.5	0.03	0.04	0.03	0.23	0.14	0.12
		1	0.03	0.03	0.03	0.18	0.20	0.23
		1.5	0.05	0.05	0.05	0.34	0.34	0.27
		2	0.05	0.05	0.05	0.34	0.35	0.34
		2.5	0.04	0.05	0.05	0.45	0.38	0.38
		3	0.05	0.05	0.06	0.43	0.44	0.42
		6	0.06	0.07	0.06	0.59	0.57	0.58
		9	0.07	0.08	0.09	0.63	0.59	0.61
		12	0.09	0.10	0.10	0.62	0.60	0.60
		24	0.08	0.09	0.09	0.65	0.65	0.62
	40	24.5	0.07	0.09	0.07	0.75	0.76	0.76
		25	0.07	0.10	0.10	0.73	0.70	0.71
		25.5	0.10	0.09	0.10	0.73	0.75	0.74
		26	0.10	0.09	0.10	0.73	0.76	0.75
		26.5	0.08	0.08	0.09	0.75	0.77	0.76
		27	0.08	0.08	0.09	0.77	0.79	0.78
		30	0.10	0.10	0.12	0.78	0.80	0.77
		33	0.11	0.12	0.12	0.78	0.77	0.77
		36	0.10	0.12	0.12	0.80	0.79	0.79
		48	-0.04	-0.04	-0.04	0.61	0.65	0.69
	50	48.5	-0.04	-0.03	-0.04	0.62	0.65	0.67
		49	-0.04	-0.03	-0.04	0.71	0.65	0.68
		49.5	-0.04	-0.04	-0.04	0.63	0.74	0.69
		50	-0.04	-0.04	-0.04	0.66	0.66	0.66
		50.5	-0.04	-0.04	-0.04	0.67	0.64	0.69
		51	-0.04	-0.04	-0.04	0.69	0.71	0.67
		54	-0.04	-0.03	-0.03	0.71	0.71	0.81
57		-0.04	-0.03	-0.03	0.65	0.66	0.67	
60		-0.04	-0.03	-0.03	0.70	0.70	0.70	
72		-0.01	-0.01	-0.01	0.99	0.99	0.99	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.6 ตารางบันทึกผลการทดลองของค่าความสว่าง (L\*) ค่าความแข็ง (Firmness) และเปอร์เซ็นต์การหดตัว

ความดัน (kPa)	ความเข้มข้นของซูโครสไซรัป (°Brix)	เวลาที่แช่ (hr)	ตัวอย่างที่	L*	ค่าความแข็ง (Firmness) (N/mm)	เปอร์เซ็นต์หดตัว
0	30	6	1	23.32	1.21	50.81
			2	23.39	1.22	
			3	23.32	1.72	
		12	1	21.87	1.57	60.08
			2	21.87	1.58	
			3	21.88	1.04	
		18	1	26.27	1.06	60.20
			2	26.24	1.26	
			3	26.14	1.47	
	24	1	16.77	1.65	60.57	
		2	16.9	1.84		
		3	16.86	1.61		
	40	30	1	15.1	1.97	68.39
			2	15.08	2.31	
			3	15.1	1.61	
		36	1	25.39	2.08	56.13
			2	25.39	2.25	
			3	25.39	2.29	
		42	1	24.34	2.36	58.84
			2	24.34	2.05	
			3	24.34	1.90	
	48	1	24.15	2.27	60.50	
		2	24.15	2.10		
		3	24.15	2.26		
50	54	1	32.34	1.21	62.34	
		2	35.52	1.22		
		3	38.56	1.72		
	60	1	45.57	1.57	65.43	
		2	46.98	1.58		
		3	48.86	1.04		
	66	1	53.76	1.06	67.45	
		2	54.20	1.26		
		3	55.67	1.47		
72	1	58.24	1.65	68.39		
	2	59.29	1.84			
	3	60.25	1.61			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.6 ตารางบันทึกผลการทดลองของค่าความสว่าง (L\*) ค่าความแข็ง (Firmness) และเปอร์เซ็นต์การหดตัว (ต่อ)

ความดัน	ความเข้มข้นของซูโครสไซซิป	เวลาที่แช่ (hr)	ตัวอย่างที่	L*	ค่าความแข็ง	% หดตัว
10	30	6	1	17.2	2.27	50.21
			2	17.2	1.76	
			3	17.2	1.37	
		12	1	15.96	1.10	55.95
			2	15.96	2.52	
			3	15.96	2.22	
		18	1	15.24	1.142	63.29
			2	15.27	1.76	
			3	15.22	1.44	
		24	1	17	1.62	58.33
			2	17	2.49	
			3	16.95	2.37	
	40	30	1	14.49	1.98	72.44
			2	14.49	1.70	
			3	14.49	1.46	
		36	1	26.52	3.36	75.77
			2	26.45	2.35	
			3	26.43	2.42	
		42	1	22.98	1.65	68.16
			2	22.67	2.42	
			3	22.88	2.48	
		48	1	32.42	2.23	71.29
			2	32.42	3.05	
			3	32.42	2.98	
50	54	1	63.29	2.27	74.19	
		2	63.09	1.76		
		3	62.94	1.37		
	60	1	12.89	1.10	76.90	
		2	12.89	2.52		
		3	12.89	2.22		
	66	1	62.7	1.14	78.45	
		2	62.2	1.76		
		3	62.58	1.44		
	72	1	22.35	1.62	79.98	
		2	22.35	2.49		
		3	22.35	2.37		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.6 ตารางบันทึกผลการทดลองของค่าความสว่าง (L\*) ค่าความแข็ง (Firmness) และเปอร์เซ็นต์การหดตัว (ต่อ)

ความดัน	ความเข้มข้นของซูโครสไรป์	เวลาที่แช่ (ชั่วโมง)	ตัวอย่างที่	L*	ค่าความแข็ง	% หดตัว
20	30	6	1	21.86	1.77	56.83
			2	21.86	2.07	
			3	21.86	1.79	
		12	1	16.61	1.48	64.56
			2	16.61	2.73	
			3	16.61	2.03	
		18	1	17.78	1.85	64.42
			2	17.78	2.30	
			3	17.78	2.49	
		24	1	14.91	2.07	64.68
			2	14.91	2.01	
			3	14.91	3.46	
	40	30	1	10.75	2.23	79.10
			2	10.75	3.53	
			3	10.75	2.29	
		36	1	32.79	2.00	74.93
			2	32.79	1.95	
			3	32.79	2.86	
		42	1	28.51	2.42	69.67
			2	28.72	3.64	
			3	28.4	2.17	
		48	1	21.79	3.67	70.18
			2	21.79	1.66	
			3	21.57	2.72	
50	54	1	37.93	1.77	79.53	
		2	37.93	2.07		
		3	37.93	1.79		
	60	1	34.56	1.48	78.14	
		2	33.78	2.73		
		3	32.45	2.03		
	66	1	32.93	1.85	80.67	
		2	32.93	2.30		
		3	33.00	2.49		
	72	1	21.12	2.07	81.78	
		2	21.12	2.01		
		3	21.12	3.46		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.7 ตารางบันทึกผลหาความหนืดของวุ้นจากอะไหล่ส่วนโคน

Run	Pressure (kPa)	% Brix	$\rho_{iso}$ (kg/m <sup>3</sup> )	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	Mo (kg)	Mt(kg)	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	M isotonic (kg)	Vo
1	80	0.9	996.11	4	4	4	3.7	4.3	0.004	0.004018	4	3.9	4	3.6	4.2	0.003924	3.939E-06
2	60	1.0	998.10	3.6	3.8	3.8	4	3.9	0.004	0.003870	3.5	3.8	3.7	3.9	3.8	0.003740	3.747E-06
3	40	1.0	997.70	3.9	3.9	3.9	3.8	4.2	0.004	0.003962	3.8	3.8	3.8	3.8	4.1	0.003848	3.857E-06
4	20	1.2	996.51	4.4	3.8	4.5	4	4.1	0.004	0.004184	4.3	3.7	4.3	3.9	4	0.004038	4.052E-06
5	10	1.1	997.70	4.1	3.5	3.7	3.9	3.8	0.004	0.003880	3.9	3.4	3.6	3.9	3.8	0.003712	3.721E-06
6	5	0.8	997.30	4	3.9	4	4.2	3.9	0.004	0.004094	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	0.003816	3.826E-06

ภาคผนวก ข.8 ตารางบันทึกผลการหาค่าความพูนของวุ้นทางจระเข้ส่วนกลาง

run	Pressure (kPa)	% Brix	Piso (kg/m <sup>3</sup> )	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	Mo (kg)	Mt(kg)	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	M isotonic (kg)	Vo
1	80	0.8	997.70	3.83	3.85	3.84	3.78	4.07	0.0039	0.0038	3.72	3.73	3.74	3.67	3.94	0.0038	3.77E-06
2	60	0.8	996.90	4.12	3.52	4.22	3.5	3.39	0.0038	0.0037	4.03	3.54	4.16	3.32	3.31	0.0037	3.68E-06
3	40	0.8	997.30	3.58	3.6	3.89	3.83	3.61	0.0037	0.0036	3.45	3.46	3.62	3.63	3.55	0.0035	3.55E-06
4	20	0.7	996.51	3.9	3.86	3.76	4.09	3.6	0.0038	0.0039	3.76	3.77	3.69	3.95	3.59	0.0038	3.77E-06
5	10	0.9	996.90	3.84	3.9	3.85	3.84	3.8	0.0038	0.0039	3.78	3.82	3.76	3.75	3.74	0.0038	3.78E-06
6	5	0.9	997.30	4.03	3.88	3.67	3.77	4.05	0.0039	0.0039	3.95	3.81	3.6	3.69	3.93	0.0038	3.81E-06

## ภาคผนวก ค.1 ตาราง Regression ผลการทดลองของการสูญเสียน้ำในสารละลายซูโครสโซล

Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2		Enter

a. Tolerance = .000 limits reached.

b. Dependent Variable: WL

## Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.814 <sup>a</sup>	.662	.211	.1295058

a. Predictors: (Constant), X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.197	8	.025	1.468	.329 <sup>a</sup>
	Residual	.101	6	.017		
	Total	.298	14			

a. Predictors: (Constant), X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

b. Dependent Variable: WL

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.521	.363		1.436	.201
	X1	-.006	.008	-.880	-.740	.487
	X2	-.094	.059	-2.437	-1.596	.162
	X3	.005	.005	1.033	1.035	.341
	X1X3	.001	.000	1.621	1.915	.104
	X2X3	.000	.000	-.622	-.790	.459
	X11	2.92E-006	.000	.032	.033	.975
	X22	.004	.003	2.094	1.477	.190
	X33	-2.0E-005	.000	-.348	-.471	.655

a. Dependent Variable: WL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 ตาราง Regression ผลการทดลองของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในสารละลาย  
ซูโครสไซรัป

**Variables Entered/Removed<sup>a</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2		Enter

- a. Tolerance = .000 limits reached.  
b. Dependent Variable: SG

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.766 <sup>a</sup>	.586	.035	.1209553

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.124	8	.016	1.063	.484 <sup>a</sup>
	Residual	.088	6	.015		
	Total	.212	14			

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2  
b. Dependent Variable: SG

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.537	.339		1.584	.164
	X1	-.012	.008	-1.998	-1.518	.180
	X2	-.076	.055	-2.325	-1.376	.218
	X3	7.18E-005	.004	.018	.016	.988
	X1X3	.001	.000	1.793	1.914	.104
	X2X3	.000	.000	.450	.517	.624
	X11	7.10E-005	.000	.927	.853	.426
	X22	.002	.003	1.462	.932	.387
	X33	-2.1E-005	.000	-.441	-.539	.609

- a. Dependent Variable: SG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 ตาราง Regression ผลการทดลองของเปอร์เซ็นต์การหดตัวในสารละลายยูโครส  
ไซรัป

**Variables Entered/Removed<sup>a</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2		Enter

- a. Tolerance = .000 limits reached.  
b. Dependent Variable: Shrinkage

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.952 <sup>a</sup>	.906	.780	2.12249

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	259.910	8	32.489	7.212	.013 <sup>a</sup>
	Residual	27.030	6	4.505		
	Total	286.940	14			

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2  
b. Dependent Variable: Shrinkage

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-6.433	5.950		-1.081	.321
	X1	.444	.137	2.037	3.244	.018
	X2	1.997	.966	1.667	2.069	.084
	X3	-.070	.079	-.470	-.893	.406
	X1X3	-.023	.008	-1.312	-2.936	.026
	X2X3	.003	.005	.203	.487	.643
	X11	-.001	.001	-.186	-.359	.732
	X22	-.047	.044	-.798	-1.066	.327
	X33	.001	.001	.333	.855	.425

- a. Dependent Variable: Shrinkage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค.4 ตาราง Regression ผลการทดลองของค่าความสว่างในสารละลายซูโครสไซรัป

Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2		Enter

a. Tolerance = .000 limits reached.

b. Dependent Variable: Color

## Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.752 <sup>a</sup>	.566	-.014	4.94479

a. Predictors: (Constant), X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	190.977	8	23.872	.976	.527 <sup>a</sup>
	Residual	146.705	6	24.451		
	Total	337.683	14			

a. Predictors: (Constant), X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

b. Dependent Variable: Color

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	34.578	13.862		2.494	.047
	X1	.301	.319	1.273	.944	.382
	X2	.632	2.249	.487	.281	.788
	X3	-.172	.184	-1.061	-.938	.384
	X1X3	-.001	.018	-.052	-.054	.958
	X2X3	-.004	.012	-.287	-.321	.759
	X11	-.005	.003	-1.554	-1.396	.212
	X22	-.045	.103	-.700	-.436	.678
	X33	.002	.002	1.222	1.460	.195

a. Dependent Variable: Color

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.5 ตาราง Regression ผลการทดลองของค่าความแข็งในสารละลายซูโครสโซล

**Variables Entered/Removed<sup>a</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2		Enter

a. Tolerance = .000 limits reached.

b. Dependent Variable: Firmness

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.719 <sup>a</sup>	.517	-.126	.11395

a. Predictors: (Constant), X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.083	8	.010	.804	.623 <sup>a</sup>
	Residual	.078	6	.013		
	Total	.161	14			

a. Predictors: (Constant), X33, X1X3, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

b. Dependent Variable: Firmness

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.987	.319		3.089	.021
	X1	.010	.007	1.940	1.365	.221
	X2	.007	.052	.251	.137	.895
	X3	-.002	.004	-.480	-.403	.701
	X1X3	.000	.000	-.573	-.566	.592
	X2X3	3.12E-006	.000	.010	.011	.992
	X11	-6.8E-005	.000	-1.016	-.865	.420
	X22	.000	.002	.165	.097	.926
	X33	2.86E-006	.000	.068	.077	.941

a. Dependent Variable: Firmness

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.6 ตาราง Regression ผลการทดลองของการดูสัญญาณที่เพิ่มขึ้นในสารละลาย  
แคลเซียมคลอไรด์

**Variables Entered/Removed<sup>a</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2		Enter

- a. All requested variables entered.  
b. Dependent Variable: WL

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.745 <sup>a</sup>	.556	-.037	.0345833

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.009	8	.001	.938	.547 <sup>a</sup>
	Residual	.007	6	.001		
	Total	.016	14			

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2  
b. Dependent Variable: WL

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.080	.046		1.741	.132
	X1	-.006	.031	-.193	-.190	.856
	X2	-.006	.012	-.581	-.500	.635
	X3	-.002	.001	-2.066	-2.134	.077
	X1X2	.002	.003	.440	.646	.542
	X2X3	.000	.000	.778	1.168	.287
	X11	.000	.009	-.033	-.037	.972
	X22	.000	.001	.262	.258	.805
	X33	2.13E-005	.000	1.600	1.890	.108

- a. Dependent Variable: WL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.7 ตาราง Regression ผลการทดลองของปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในสารละลาย  
แคลเซียมคลอไรด์

**Variables Entered/Removed<sup>a</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2		Enter

- a. All requested variables entered.  
b. Dependent Variable: SG

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.675 <sup>a</sup>	.456	-.270	.0777438

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.030	8	.004	.628	.735 <sup>a</sup>
	Residual	.036	6	.006		
	Total	.067	14			

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2  
b. Dependent Variable: SG

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.024	.104		-.231	.825
	X1	.030	.071	.475	.423	.687
	X2	-.018	.026	-.898	-.698	.511
	X3	.003	.002	1.136	1.060	.330
	X1X2	.000	.006	-.020	-.027	.979
	X2X3	-7.6E-006	.000	-.026	-.035	.973
	X11	-.016	.019	-.844	-.848	.429
	X22	.002	.002	.963	.856	.425
	X33	-2.2E-005	.000	-.802	-.856	.425

- a. Dependent Variable: SG

ภาคผนวก ค.8 ตาราง Regression ผลการทดลองของเปอร์เซ็นต์การหดตัวเพิ่มขึ้นในสารละลาย  
แคลเซียมคลอไรด์

**Variables Entered/Removed<sup>a</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2		Enter

- a. All requested variables entered.  
b. Dependent Variable: Shrinkage

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.962 <sup>a</sup>	.926	.828	.79503

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	47.579	8	5.947	9.409	.007 <sup>a</sup>
	Residual	3.792	6	.632		
	Total	51.371	14			

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2  
b. Dependent Variable: Shrinkage

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	6.398	1.062		6.022	.001
	X1	-.245	.722	-.140	-.339	.746
	X2	-1.125	.267	-1.998	-4.218	.006
	X3	.037	.025	.578	1.466	.193
	X1X2	.229	.061	1.043	3.754	.009
	X2X3	-.001	.002	-.174	-.640	.546
	X11	-.048	.197	-.089	-.242	.817
	X22	.062	.020	1.255	3.029	.023
	X33	8.66E-005	.000	.116	.335	.749

- a. Dependent Variable: Shrinkage

ภาคผนวก ค.9 ตาราง Regression ผลการทดลองของค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นในสารละลาย  
แคลเซียมคลอไรด์

**Variables Entered/Removed<sup>a</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2		Enter

- a. All requested variables entered.  
b. Dependent Variable: Color

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.751 <sup>a</sup>	.563	-.019	2.69140

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	56.083	8	7.010	.968	.531 <sup>a</sup>
	Residual	43.462	6	7.244		
	Total	99.545	14			

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2  
b. Dependent Variable: Color

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	39.849	3.597		11.080	.000
	X1	.750	2.446	.308	.307	.769
	X2	-1.280	.903	-1.633	-1.417	.206
	X3	-.090	.085	-1.024	-1.067	.327
	X1X2	.305	.206	1.001	1.481	.189
	X2X3	.010	.007	.886	1.342	.228
	X11	-.667	.666	-.893	-1.002	.355
	X22	.009	.069	.134	.133	.898
	X33	.000	.001	.430	.512	.627

- a. Dependent Variable: Color

ภาคผนวก ค.10 ตาราง Regression ผลการทดลองของค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นในสารละลาย  
แคลเซียมคลอไรด์

**Variables Entered/Removed<sup>a</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2		Enter

- a. All requested variables entered.  
b. Dependent Variable: Firmness

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.797 <sup>a</sup>	.635	.149	.07483

- a. Predictors: (Constant), X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.059	8	.007	1.307	.383 <sup>a</sup>
	Residual	.034	6	.006		
	Total	.092	14			

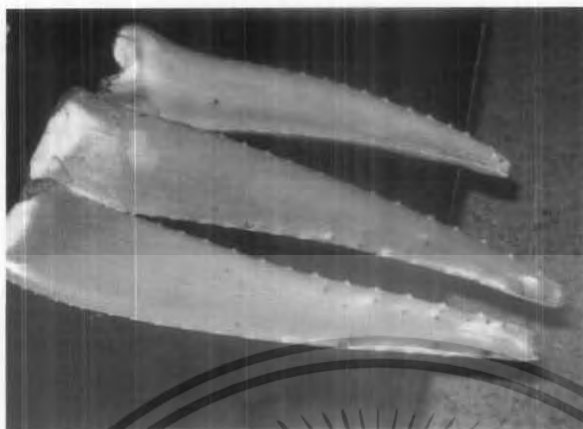
- a. Predictors: (Constant), X33, X1X2, X22, X11, X2X3, X3, X1, X2  
b. Dependent Variable: Firmness

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.039	.100		10.387	.000
	X1	-.004	.068	-.048	-.053	.960
	X2	.023	.025	.965	.916	.395
	X3	.002	.002	.764	.872	.417
	X1X2	-.009	.006	-.979	-1.585	.164
	X2X3	-7.6E-005	.000	-.220	-.366	.727
	X11	.013	.019	.551	.676	.524
	X22	.001	.002	.349	.379	.718
	X33	-2.2E-005	.000	-.695	-.906	.400

- a. Dependent Variable: Firmness

ภาคผนวก ง. รูปวัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ง.1 ว่านหางจระเข้พันธุ์ barbadensis



รูปที่ ง.2 ลักษณะของว่านหางจระเข้ที่ใช้ในการทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร



รูปที่ ง.3 การหาค่า Water Activity ของว่านหางจระเข้โดยใช้ Aw- meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.4 การหาค่าสีของวุ้นหางจระเข้โดยใช้ Colorimeter รุ่น J.C. 801 Japan



รูปที่ ง.5 การอบชิ้นวุ้นหางจระเข้เพื่อหาค่า water loss และ solid gain



รูปที่ ง.6 เครื่อง Texture analyzer (TA-XT2i, Stable Micro System)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้