# การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

# PRODUCTION OF EDIBLE FILM FROM RICE AND CASSAVA FLOUR

สมศักดิ์ ภักดีวราภรณ์
SOMSAK PHAKDEEVARAPORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2544
ISBN 974-648-044-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

# PRODUCTION OF EDIBLE FILM FROM RICE AND CASSAVA FLOUR

T 039756

นายสมศักดิ์ ภักดีวราภรณ์
SOMSAK PHAKDEEVARAPORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-044-8

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 39756
วัน, เดือน, ปี 21 มิ.ย. 2544
b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PRODUCTION OF EDIBLE FILM FROM RICE AND CASSAVA FLOUR

SOMSAK PHAKDEEVARAPORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2001

ISBN 974-648-044-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บัณฑิตวิทยาลัย**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง
PRODUCTION OF EDIBLE FILM FROM RICE AND CASSAVA FLOUR

**ชื่อนักศึกษา** นายสมศักดิ์ ภักดีวราภรณ์

**รหัสประจำตัว** 40066005

**ปริญญา** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิทยาศาสตร์การอาหาร

**อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์** รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|---|---|---|
| รศ.ดร.วุฒิชัย | นาครักษา | |
| ผศ.ดร.ระติพร | หาเรือนกิจ | |
| ดร.กิตติชัย | บรรจง | |

**วัน/เดือน/ปี ที่สอบ** 6 พฤศจิกายน 2543 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

**สถานที่สอบ** ณ ห้อง A-218 โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร ชั้น 2

**บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว**

**(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)**

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

**วันที่** 16 **เดือน** กุมภาพันธ์ **พ.ศ.** 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง |
| นักศึกษา | นายสมศักดิ์ ภักดีวราภรณ์ |
| รหัสประจำตัว | 40066005 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์การอาหาร |
| พ.ศ. | 2544 |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา |


## บทคัดย่อ

จากการศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังโดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล มีปัจจัยในการผลิตฟิล์มดังนี้ ปัจจัยที่หนึ่ง คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) และปัจจัยที่สอง คือ ปริมาณกลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 (โดยปริมาตร) การผลิตฟิล์มใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว (ของแข็งคือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนของเหลวคือ น้ำ) เท่ากับ 1 : 7 (ในสูตรที่ 2) และ 1 : 5 (ในสูตรที่ 1 และ 3) เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์และเคมีของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้พบว่า อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นทำให้ ความหนา และความต้านทานแรงดึงขาด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนวอเตอร์แอคทิวิตี ความชื้น ความสามารถในการยืดตัว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและ อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่ปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนา วอเตอร์แอคทิวิตี ความชื้น ความสามารถในการยืดตัว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และ อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความต้านทานแรงดึงขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัยมีผลให้ความหนา วอเตอร์แอคทิวิตี ความชื้น ความสามารถในการยืดตัว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความต้านทานแรงดึงขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญสำหรับความต้านทานน้ำมันนั้น พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้ทุกสูตรมีความสามารถต้านทานน้ำมันได้นานกว่า 30 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| Thesis Title | Production of Edible Film From Rice and Cassava Flour |
| Student | Mr.Somsak Phakdeevaraporn |
| Student ID. | 40066005 |
| Degree | Master of Science |
| Programme | Food Science |
| Year | 2001 |
| Thesis Advisor | Assoc.Prof.Dr. Woattichai Narkrugsa |


## ABSTRACT

The edible film from rice and cassava flour was produced by using two factors factorial in completely randomized design. Three ratio of the rice flour : cassava flour 1 :1 formular 1, 1 : 2 formular 2 and 1 : 3 formular 3 (on dry weight basis) and three quantity of the glyceral 5, 7.5, 10, 12.5 and 15 % by volume were used. In this experiment, the ratio between the solid (rice : cassava flour) : liquid (water) at 1:7 in formula 2 and 1 : 5 in formular 1 and 3 were done. It was found that as increasing the ratio of rice : cassava flour the thickness and tensile strength were significantly increased while $A_w$, moisture content, elongation, WVTR and oxygen permeability were significantly decreased. The increasing of glycerol significantly increased thickness, $A_w$, moisture content, elongation, WVTR and oxygen permeability while decreased tensile strength. The interaction between two factors resulted to significantly increased thickness, $A_w$, moisture content, elongation, WVTR and oxygen permeability whereas tensile strength significantly decreased. This films showed property of oil resistance more than 30 day.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำ แนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆ ทั้งเรื่องงานทดลองและปัญหาต่างๆ ที่ข้าพเจ้าประสบ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ้งเป็นอย่างมาก และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมและประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา จนข้าพเจ้าสามารถประสบความสำเร็จอีกขั้นหนึ่ง

ขอขอบพระคุณภาควิชาบรรจุภัณฑ์รวมถึงเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นฟิล์มและเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณยุพา เลาศรีรัตนชัย พี่สาวผู้แสนดีที่คอยให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา รวมทั้งครอบครัว ภักดีวราภรณ์ ซึ่งให้ความรักและความอบอุ่นแก่ข้าพเจ้าทุกเวลาและขอขอบคุณพี่ชายผู้ซึ่งให้การสนับสนุนข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษาถึงแม้ว่าพี่จะจากไปแล้วแต่ข้าพเจ้าก็ยังระลึกถึงมิเคยลืม

ขอขอบคุณ คุณพรศักดิ์ ภักดีวราภรณ์ คู่แฝดผู้ที่เข้าใจในทุกเรื่องราว และให้กำลังใจเสมอ คุณเสกสรร เอกจิตร ผู้ช่วยเหลือด้านการวิเคราะห์ทางสถิติและคำแนะนำที่ดี ฝ่าแฟด กิตติพงษ์ กับ ภาสกรณ์ เอี่ยมใจดี และ คุณสุรเชษฐ์ วงษ์รักษ์ ผู้ช่วยเหลือด้านการพิมพ์ และร่วมทุกข์ร่วมสุขอย่างเต็มใจ คุณอารีรัตน์ อิ่มศิลป์ ผู้ช่วยให้ข้อมูลด้านการวิเคราะห์อะมิโลส เพื่อนๆ ทุกๆคนที่มาคอยเอาใจช่วยถึงที่รวมถึงพี่ๆน้องๆปริญญาโทที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณศิริพร พานิชอัตรา สำหรับแรงบันดาลใจในการเริ่มต้นที่ดี

ขอขอบคุณ คุณศศิชล ศิริรัตนปัญญากร สำหรับแรงบันดาลใจในการก้าวต่อไป

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ที่ท่านได้กรุณาอบรม เลี้ยงดู ให้ความรักและกำลังใจข้าพเจ้าตลอดมา รวมถึงสนับสนุนค่าใช้จ่ายในด้านต่างๆ ข้าพเจ้ารู้สึกตื้นตันใจและมิเคยลืมเลือน

สมศักดิ์ ภักดีวราภรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 ฟิล์มที่รับประทานได้.....3

2.1.1 คำจำกัดความ.....3

2.1.2 ชนิดของฟิล์มที่รับประทานได้.....3

2.1.2.1 ฟิล์มโปรตีน.....3

2.1.2.2 ฟิล์มลิพิด.....4

2.1.2.3 ฟิล์มพอลิแซคคาร์ไรด์.....4

2.2 แนวทางการใช้ประโยชน์ของฟิล์มที่รับประทานได้.....5

2.3 พลาสติไซเซอร์กับฟิล์มที่รับประทานได้.....6

2.3.1 ความหมายและคุณสมบัติของพลาสติไซเซอร์.....6

2.3.2 ชนิดของพลาสติไซเซอร์.....7

2.3.3 บทบาทของพลาสติไซเซอร์กับฟิล์มที่รับประทานได้.....8

2.4 องค์ประกอบของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....9

2.4.1 แป้งข้าวเจ้า.....9

2.4.2 แป้งมันสำปะหลัง.....13

2.5 โครงสร้างทางสารเคมีและสมบัติบางประการของแป้ง.....14

2.5.1 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง.....14

2.5.2 การพองตัวและการละลาย.....19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.5.3 การเกิดเจลาติไนเซชันด้วยความร้อน.....19

2.5.4 สมบัติบางประการของอะมิโลส.....19

2.6 กลไกการเกิดฟิล์ม.....21

2.6.1 การเกิดฟิล์มโดยการใช้ความร้อน.....21

2.6.2 การเกิดฟิล์มโดยการใช้เอนไซม์.....21

2.7 วิธีการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม.....21

2.7.1 การขึ้นรูปโดยใช้ตัวทำละลาย.....21

2.7.2 การขึ้นรูปเป็นแผ่นบางด้วยเอ็กซ์ทรูดเดอร์.....22

2.7.3 การขึ้นรูปบนลูกกลิ้ง.....22

2.8 คุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากฟิล์มชนิดต่างๆ.....22

2.8.1 ฟิล์มอะมิโลส จากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว.....22

2.8.2 ฟิล์มบริโภคได้จากนมผง.....23

2.8.3 ฟิล์มบริโภคได้จากแป้งข้าวเจ้า.....24

2.8.4 ฟิล์มบริโภคได้จากแป้งมันสำปะหลัง.....24

2.8.5 ฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเขียว.....25

2.8.6 ฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....25

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....28

3.1 วัตถุดิบ.....28

3.2 สารเคมี.....28

3.3 อุปกรณ์ในการผลิต.....28

3.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์.....28

3.5 สถานที่ทดลอง.....29

3.6 วิธีการทดลอง.....29

3.6.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ.....29

3.6.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์ม
ที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....32


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6.3 การทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....36
3.6.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....42

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....43
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ.....43
4.2 คุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....45
4.2.1 ความหนา.....45
4.2.2 วอเตอร์แอคทิวิตี.....47
4.2.3 ความชื้น.....49
4.2.4 ความต้านทานแรงดึงขาด.....51
4.2.5 ความสามารถในการยืดตัว.....53
4.2.6 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ.....55
4.2.7 อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน.....57
4.2.8 ความต้านทานน้ำมัน.....59
4.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมัน
สำปะหลัง.....60
4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการผลิตกับคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้.....60
4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติด้านต่างๆของฟิล์มที่ได้.....61

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....62

ข้อเสนอแนะ.....64

เอกสารอ้างอิง.....65

ภาคผนวก.....69
ก ข้อมูลการทดลอง.....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ข การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....78
ค การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....92
ง กระบวนการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....95

ประวัติผู้เขียน.....101

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว.....11

2.2 แสดงความแตกต่างระหว่างอะมิโลสและอะมิโลเพคติน.....15

2.3 ตารางแสดงคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้ชนิดต่างๆ.....27

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....38

4.2 แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า
และแป้งมันสำปะหลัง(Factors : Variables).....60

4.3 แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า
และแป้งมันสำปะหลัง(Variables : Variables).....61

ก 1 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า.....70

ก 2 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง.....70

ก 3 แสดงข้อมูลความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า
และแป้งมันสำปะหลัง.....71

ก 4 แสดงข้อมูลวอเตอร์แอคทิวิตีของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า
และแป้งมันสำปะหลัง.....72

ก 5 แสดงข้อมูลความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....73

ก 6 แสดงข้อมูลความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....74

ก 7 แสดงข้อมูลความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....75

ก 8 แสดงข้อมูลอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....76

ก 9 แสดงข้อมูลอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....77

ข 1 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....78

ข 2 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติวอเตอร์แอคทิวิตี ($A_w$) ของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....79



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข 3 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....80

ข 4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....81

ข 5 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....82

ข 6 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....83

ข 7 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....84

ข 8 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (DMRT) ของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความหนาของฟิล์ม.....85

ข 9 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (DMRT) ของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อวอเตอร์แอคทิวิตี.....85

ข 10 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (DMRT) ของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความชื้นของฟิล์ม.....86

ข 11 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (DMRT) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า
ต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความต้านทานแรงดึงขาด.....86

ข 12 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (DMRT) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า
ต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความสามารถในการยืดตัว.....87

ข 13 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (DMRT) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า
ต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ.....87

ข 14 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (DMRT) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า
ต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่ออัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน.....88

ข 15 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (RSD) ของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความหนาของฟิล์ม.....88

ข 16 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (RSD) ของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อวอร์เตอแอกติวิที.....89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข 17 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (RSD) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความชื้นของฟิล์ม.....89

ข 18 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (RSD) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความต้านทานแรงดึงขาด.....90

ข 19 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (RSD) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความสามารถในการยืดตัว.....90

ข 20 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (RSD) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ.....91

ข 21 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (RSD) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่ออัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน.....91

ค 1 ผลการทดลองในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของกลีเซอรอล....7

2.2 โครงสร้างของซอร์บิทอล....8

2.3 โครงสร้างทางเคมีของเมล็ดข้าว....13

2.4 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง....16

2.5 โครงสร้างทางเคมีของอะมิโลส....17

2.6 โครงสร้างทางเคมีของอะมิโลเพกติน....17

2.7 เม็ดสตาร์ชของข้าวเจ้าจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนชนิดกราดลำแสง....18

2.8 เม็ดสตาร์ชของมันสำปะหลังจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนชนิดกราดลำแสง....18

2.9 หน้าที่ของอะมิโลสในระบบของเจล....20

3.1 แผนผังการเตียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง....35

3.2 เครื่องวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม....36

3.3 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี....37

3.4 เครื่องวัดความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว....39

3.5 ชุดการตรวจสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ....40

3.6 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน....41

4.1 กราฟแสดงความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง....46

4.2 กราฟแสดงวอเตอร์แอคทิวิตีของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง....48

4.3 กราฟแสดงความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง....50

4.4 กราฟแสดงความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้
จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง....52

4.5 กราฟแสดงความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จาก
แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง....54

4.6 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จาก
แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง....56

4.7 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จาก
แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง....58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ค 1 แสดงการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.....94

ง 1 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเท่ากับ
1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 3 ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....96

ง 2 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเท่ากับ
1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 3 ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 7.5 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....97

ง 3 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเท่ากับ
1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 3 ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 10 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....98

ง 4 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเท่ากับ
1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 3 ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 12.5 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....99

ง 5 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเท่ากับ
1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 3 ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเราจะพบว่า การพัฒนาด้านผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์อาหารนั้นได้มีการพัฒนาขึ้นมากโดยจุดประสงค์แล้วก็เพื่อ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาและห่อหุ้มอาหารให้ปลอดจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ และบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีการนำมาใช้อย่างมากที่เรารู้จักกันดีก็คือฟิล์มพลาสติก โดยทั่วไปแล้วฟิล์มพลาสติกมีคุณสมบัติในการขวางกั้น (barrier) มิให้น้ำ แก๊ส ฯลฯ ผ่านเข้าออกจากอาหารได้ดี จึงยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้นานขึ้นและปลอดภัยแต่ฟิล์มพลาสติกก็มีข้อเสียหลายอย่างคือ มีต้นทุนในการผลิตสูง และยังมีปัญหาในการทำลายได้ยาก เนื่องจากก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและนอกจากนี้ยังถูกย่อยสลายได้ยากและต้องใช้ระยะเวลานานอีกด้วย

การค้นคว้าและวิจัยฟิล์มที่รับประทานได้ เพื่อนำมาใช้แทนฟิล์มพลาสติกจึงได้ขยายวงกว้างขึ้นใน 2-3 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากฟิล์มที่รับประทานได้มีข้อดีอื่น ๆ ที่เหนือกว่าฟิล์มพลาสติกหลายประการ ซึ่งนอกเหนือจากการชะลอและยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้นานยิ่งขึ้นเช่นเดียวกับฟิล์มพลาสติก ก็คือ

1. บริโภคฟิล์มได้พร้อมกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ อันเป็นจุดเด่นที่เห็นได้ชัดในการลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม

2. ในกรณีที่ไม่บริโภคฟิล์ม ฟิล์มที่ทิ้งไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ โดยง่ายเป็นการช่วยลดปัญหามลพิษเช่นกัน

3. เพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัส ชวนให้น่ารับประทานผลิตภัณฑ์มากขึ้นเมื่อใช้ฟิล์มนี้และเข้าได้ดีกับสารประกอบที่ให้กลิ่นรสและความหวาน เป็นต้น

4. เสริมคุณค่าอาหารโดยเฉพาะฟิล์มที่ทำจากโปรตีน

5. ใช้หุ้มอาหารโดยแยกออกเป็นแต่ละชิ้น เช่น ถั่ว สตรอเบอรี่

6. สามารถใช้ร่วมกับฟิล์มพลาสติกโดยใช้ฟิล์มที่รับประทานได้สัมผัสกับอาหารโดยตรง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำฟิล์มที่รับประทานได้มีหลายชนิด เช่น สตาร์ช โปรตีน ลิปิด ฟิล์มที่เตรียมนั้นอาจได้จากสารชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกัน (Kester and Fennema. 1986)

การใช้สตาร์ชในการทำฟิล์มที่รับประทานได้ เนื่องจากสามารถย่อยสลายด้วยตัวเอง ซึ่งกำลังเป็นความต้องการอย่างมาก เพื่อรักษาสมดุลของสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะความพยายาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตให้คล้ายพลาสติก ซึ่งทนร้อนได้เพื่อใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร เราจึงมีการศึกษาฟิล์มที่รับประทานได้จาก สตาร์ชเป็นตัววัตถุดิบหลักก็คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดฟิล์มได้ดี ซึ่งส่วนสำคัญในการเกิดเป็นฟิล์มนั้นเกิดจากโมเลกุลของอะมิโลสในแป้งทำให้เกิดโครงสร้างของฟิล์มที่ดี โดยเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายซึ่งเชื่อมโมเลกุลของแป้งเข้าด้วยกันและต่อเนื่องกัน นอกจากนี้ โมเลกุลอะมิโลเพคทินยังมีส่วนช่วยเชื่อมประสานให้โครงสร้างในการเกิดฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้นโดยส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาจะไปแทรกในโครงสร้างของฟิล์มทำให้เกิดการเชื่อมต่อเป็นโครงร่างตาข่ายเข้าด้วยกัน จากการศึกษาพบว่าการนำแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีอะมิโลเพคทินสูงมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีอะมิโลสสูง ในอัตราส่วนที่เหมาะสมเป็นแนวทางในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้ให้มีคุณสมบัติของฟิล์มที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งพบว่าทั้งแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์มได้ (เกศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ. 2539) นอกจากนี้แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาไม่แพง ซึ่งจะทำให้ได้ฟิล์มที่มีต้นทุนในการผลิตที่ถูกและได้ฟิล์มที่มีคุณภาพดี ภายหลังจากการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ได้มีการทดสอบคุณสมบัติทางด้านต่างๆของฟิล์ม เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์และประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างเหมาะสม

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง เพื่อเป็นแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์

1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการใช้วัตถุดิบทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่าขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ฟิล์มที่รับประทานได้ (Edible film)

### 2.1.1 คำจำกัดความ

ฟิล์มที่รับประทานได้ หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่บริโภคได้นำมาใช้กับอาหารโดยเคลือบผิวของอาหารโดยตรงหรือเตรียมแผ่นฟิล์มขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำมาใช้กับอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหรือชะลอการผ่านเข้าออกของแก๊สไอน้ำ ไอระเหย สารละลาย จุลินทรีย์ หรือสารอื่น ๆ จากอาหารฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียวหรือหลายชนิด รวมกันโดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ (Guilbert. 1986)

### 2.1.2 ชนิดของฟิล์มที่รับประทานได้ได้

แบ่งเป็น 3 ชนิดหลัก ๆ คือ ฟิล์มโปรตีน ฟิล์มลิพิด และฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์

2.1.2.1 ฟิล์มโปรตีน (protein film) ในปัจจุบันการศึกษาฟิล์มบริโภค ได้จากโปรตีนมีมากขึ้นเนื่องจากเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรง และมีคุณสมบัติกันการซึมผ่านของแก๊สได้ดี นอกจากนี้โปรตีนยังมีคุณค่าทางอาหารสูงอีกด้วย ฟิล์มโปรตีนที่มีการศึกษาได้แก่ ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองและฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี เป็นต้น ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลือง โปรตีนในถั่วเหลืองส่วนใหญ่เป็นของ 7s และ 11s โกลบูลิน ซึ่งโมเลกุลของโปรตีนทั้งสองชนิดนี้สามารถเชื่อมกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเกิดฟิล์ม ฟิล์มชนิดนี้เตรียมได้จากวัตถุดิบหลัก คือ น้ำนมถั่วเหลือง หรือโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อมามีการเติมพลาสติไซเซอร์ (plasticizer) เพื่อให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่น และปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้นฟิล์มชนิดนี้มีคุณสมบัติกันการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนได้ดีแต่กันการซึมผ่านของไอน้ำได้น้อย เพราะมีความเป็นขั้วสูง ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองนี้สามารถนำมาริโภคเป็นส่วนประกอบของซุปหรือทำเป็นเนื้อเทียมนอกจากนี้ยังนำมาใช้ห่อเนื้อบดหรือผักให้อยู่ในรูปร่างที่ต้องการ เช่น หมูตั้ง ห้อยจ๊อ เป็นต้นฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี โปรตีนข้าวสาลีหรือกลูเตน ประกอบด้วยไกลอะดินร้อยละ 7 ที่เหลือเป็นกลูเตนิน ส่วนประกอบทั้งสองนี้มีพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเกิดฟิล์ม โดยทำให้มีลักษณะการยึดเกาะกันของพอลิเมอร์และให้ลักษณะยืดหยุ่นดี ศึกษาคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติกันการซึมผ่านพบว่าเป็นฟิล์มที่ไวต่อความชื้นแต่มีความแข็งแรงและกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี (Gontard et al. 1992) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของกระบวนการหลักต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อคุณสมบัติของฟิล์ม จากนั้นยังศึกษาบทบาทของพลาสติไซเซอร์ คือ น้ำ และกลีเซอรอลที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติการกันการซึมผ่านของไอน้ำอีกด้วย (Gontard et al. 1993) นอกจากฟิล์มโปรตีนสองชนิดนี้ยังมีการศึกษาฟิล์มจากโปรตีนชนิดอื่นๆ ได้แก่ ฟิล์มจากโปรตีนข้าวโพด (Gennadios and Weller. 1990) ฟิล์มจากโปรตีนเวย์ (Gontard et al. 1993; Mchugh et al. 1994) ฟิล์มจากเคซีน (Avena-Bustillos and Krochta. 1993)

2.1.2.2 ฟิล์มลิพิด (lipid film) ลิพิดไม่นิยมขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มแต่จะใช้เป็นสารเคลือบโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้ผลอย่างอื่นด้วย เช่น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างการขนส่ง หรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาล สารประกอบลิพิดหลายชนิด รวมทั้งแอซิทิลเลตโมโนกลีเซอไรด์ (acetylate monoglyceride) ไขธรรมชาติ และสารตึงผิวสามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบได้ ตัวอย่างของฟิล์มลิพิด ได้แก่ฟิล์มไขบริโภคได้ ซึ่งมีคุณสมบัติกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดีมาก โดยเฉพาะไขพาราฟินและไขผึ้ง นอกจากนี้ฟิล์มจากไขพาราฟินและไขคาร์นูบายังช่วยลดอัตราการแพร่ของเกลือเบนโซเอตเข้าสู่อาหารได้ดีจึงสามารถใช้รักษาความเข้มข้นของสารกันเสียที่ผิวของอาหารไว้ได้เป็นเวลานาน ฟิล์มลิพิดอีกชนิดหนึ่ง คือสารตึงผิว (Surfactant) การเคลือบอาหารด้วยสารตึง ผิวจะช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity, $A_w$) ที่ผิวหน้าของอาหาร และลดอัตราการระเหยของน้ำซึ่งจะทำให้การเสื่อมสภาพของอาหารช้าลง โดยสารที่ให้ผลดีที่สุด คือ แอลกอฮอล์ซึ่งมีกรดไขมันในโมเลกุล (fatty alcohol) ที่มีจำนวนคาร์บอน 16-18 อะตอม กลีเซอรอลโมโนพาลมิเทต และกลีเซอรอลโมโนสเทียเรตต (Kester and Fennema. 1986) นอกจากนี้ในการผลิตแผ่นฟิล์มจากโปรตีน หรือพอลิแซ็กคาไรด์ยังใช้ลิพิดร่วมด้วย เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการซึมผ่านของความชื้น

2.1.2.3 ฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์ พอลิแซ็กคาไรด์หลายชนิดสามารถนำมาใช้ผลิตฟิล์ม หรือสารเคลือบบริโภคได้แต่เนื่องจากธรรมชาติของพอลิเมอร์เหล่านี้ชอบน้ำ (hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ป้องกันการซึมผ่านของความชื้น อย่างไรก็ตามพอลิแซ็กคาไรด์บางตัวที่ใช้เคลือบอาหารมีลักษณะเหมือนวุ้น จะชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ในช่วงอายุการเก็บสั้น ๆ นอกจากนี้ฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์บางชนิดยังช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด และองค์ประกอบอื่น ๆ ในอาหารได้อีกด้วย ตัวอย่างฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์ ได้แก่ ฟิล์มจากจากแอลจิเนต (alginate) นิยมใช้ในรูปโซเดียมแอลจิเนตทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออนซึ่งอยู่ในรูปของแคลเซียมคลอไรด์ การเคลือบด้วยฟิล์มชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้กับผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยจะช่วยลดการสูญเสียน้ำ ลดปริมาณจุลินทรีย์บนผิวเนื้อ รักษาสีแดงของเนื้อ ป้องกันการออกซิเดชันของลิพิด และช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มจากอนุพันธ์ของเซลลูโลส อนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ใช้ในการผลิตฟิล์มบริโภคได้อยู่ในรูปของเซลลูโลสอีเทอร์ ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส หรือไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส ในการผลิตฟิล์มจากเซลลูโลสอีเทอร์นั้นมักใช้ร่วมกับลิพิดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการซึมผ่านของความชื้นให้ดีขึ้น

ฟิล์มจากสตาร์ช ที่นำมาทำการผลิตฟิล์มจากสตาร์ชโดยตรงมีเพียงฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงซึ่งผ่านการดัดแปร และฟิล์มที่ผลิตจากอะมิโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบของสตาร์ชที่มีคุณลักษณะสามารถเกิดฟิล์มได้ แต่ต้องมีการแยกส่วนออกมาเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมฟิล์มแบบออบเลต (oblate) คือ ใช้ร่วมกับสตาร์ชและวุ้น หรือใช้ร่วมกับวุ้น ฟิล์มที่ได้ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น รส มีความแข็งแรง ยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีคุณสมบัติต้านทานไขข้น (grease) สูง และออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มได้ต่ำ (มณฑาทิพย์. 2534) แต่ข้อเสียของฟิล์มชนิดนี้ คือ ปัญหาในการละลายอะมิโลสเพื่อเตรียมฟิล์ม ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงภายใต้ความดัน

## 2.2 แนวทางการใช้ประโยชน์ของฟิล์มที่รับประทานได้

สำหรับอุตสาหกรรมอาหารแล้วในปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำฟิล์มที่รับประทานได้มาใช้เป็นภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารมีความเป็นไปได้เนื่องจากจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันการใช้ภาชนะบรรจุภัณฑ์อาหารนั้นโดยทั่วไปจะใช้ฟิล์มพลาสติกกันเป็นโดยมาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมเนื่องจากการย่อยสลายของฟิล์มพลาสติกนั้นต้องใช้ระยะเวลานาน และในกระบวนการทำลายก็ก่อให้เกิดปัญหาสภาวะแวดล้อมเป็นพิษ

ในปัจจุบันได้มีการพยายามปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มที่รับประทานได้ให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับฟิล์มพลาสติก เพื่อให้การใช้ฟิล์มที่รับประทานได้มีคุณภาพและมีความหลากหลายในการใช้ประโยชน์มากขึ้น ปัจจุบันมีการใช้ฟิล์มที่รับประทานได้โดย

2.2.1 ใช้ในการห่อหุ้มอาหารเพื่อแยกอาหารออกเป็นชิ้น เช่น ถั่ว สตรอเบอรี่

2.2.2 ใช้เพื่อเป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหารที่มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการถ่ายเทความชื้นและไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน เช่น พิซซ่า พาย เป็นต้น

2.2.3 ใช้เป็นที่เก็บสารป้องกันจุลินทรีย์และสารกันหืนและยังควบคุมอัตราการซึมของสารกันเสียจากฟิล์มเข้าสู่อาหาร

2.2.4 สามารถทำฟิล์มให้เป็นเม็ดแคปซูลเพื่อบรรจุสารให้กลิ่นรสต่างๆ และสารทำให้ฟูได้เพื่อควบคุมการเติมสารใส่ลงในอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ใช้ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ลูกกวาดชั้นในเพื่อป้องกันการเหนียวติดกันในระหว่างการเก็บรักษาและสะดวกง่ายในการรับประทาน

2.2.6 ใช้ห่อหุ้มเครื่องปรุงรสต่างๆในผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปโดยสามารถใส่น้ำร้อนแล้วรับประทานได้ทันที

2.2.7 สามารถทำเป็นภาชนะบรรจุพวก ชา, กาแฟ และ ซุปสำเร็จรูป

2.2.8 เพิ่มรสชาติโดยการเติมกลิ่นรสต่างๆลงในฟิล์มและเสริมคุณค่าทางอาหารโดยเฉพาะฟิล์มที่เตรียมจากโปรตีน

2.2.9 สามารถทำเป็นภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปเพื่อให้อยู่ในรูปร่างที่ต้องการ เช่น หมูตั้ง ห้อยจ๊อ เป็นต้น

## 2.3 พลาสติไซเซอร์กับฟิล์มที่รับประทานได้

### 2.3.1 ความหมายและคุณสมบัติของพลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) ตามนิยามของ IUPAC หมายถึง สารที่เข้าไปรวมอยู่กับพลาสติกหรือ elastomer แล้วช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนต่อการใช้งาน และการยืดตัว (Bakker, 1986) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พลาสติไซเซอร์ภายนอก (external plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปในโครงสร้างพอลิเมอร์แล้วทำให้เกิดสารเชิงซ้อนหรือการจับกลุ่มของโมเลกุล เนื่องจากพลาสติกไซเซอร์ไปจับยึดกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะเวเลนซีทุติยภูมิ (secondary valency) ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลงเกิดโครงสร้างที่อ่อนตัว (Mellan. 1961) และพลาสติไซเซอร์ภายใน (internal plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปแล้วทำหน้าที่เป็นสารร่วมช่วยในการเกิดพอลิเมอร์ (copolymerization) คุณสมบัติของพลาสติไซเซอร์ที่ดีต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ ที่ใช้ทำฟิล์ม (compatible) โดยมีแรงระหว่างโมเลกุลของสารทั้งสองคล้ายคลึงกัน มีจุดเดือดสูง ระเหยยาก ละลายในตัวทำละลายที่ใช้ได้ดี นอกจากนี้ควรจะไม่มีสี กลิ่น รส ไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟ ถ้าใช้พลาสติไซเซอร์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจะช่วยป้องกันมิให้เกิดการแยกตัวระหว่างการทำฟิล์มให้แห้ง ฟิล์มที่ได้มีลักษณะทางกายภาพดี สามารถคงความยืดหยุ่นตลอดการใช้งาน ฟิล์มที่รับประทานได้จะมีลักษณะเช่นเดียวกับฟิล์มจากพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ คือ ประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มวลโมเลกุลสูง และสารทำละลายแล้วยังมีพลาสติไซเซอร์เป็นองค์ประกอบสำคัญเพื่อทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มให้มีความยืดหยุ่นเพียงพอไม่แตกหักระหว่างการนำไปใช้และเก็บรักษา พลาสติไซเซอร์ที่นำมาใช้ต้องได้รับอนุญาตจาก FDA โดยมีการพิสูจน์และยอมรับแล้วว่าไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคทั้งในระยะเฉียบพลัน และระยะยาว พลาสติไซเซอร์ที่นำมาใช้

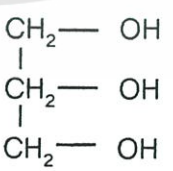
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับฟิล์มบริโภคได้มีหลายประเภท ได้แก่ โมโน, ได และโอลิโกแซ็กคาได์, พอลิออล และลิพิด หรืออนุพันธ์ของลิพิด ปริมาณการใช้พลาสติไซเซอร์โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 10-60 โดยน้ำหนักแห้ง

**2.3.2 ชนิดของพลาสติไซเซอร์**

2.3.2.1 พอลิออล (Polyols) หรือ พอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลซึ่งหมู่คีโตนหรือแอลดีไฮด์ถูกแทนที่ด้วนหมู่ไฮดรอกซิล พอลิออลบางชนิดพบในผลไม้โดยเฉพาะพวกที่มีคาร์บอน 6 อะตอม เช่น ซอร์บิทอล หรือสามารถผลิตจากปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนให้กับน้ำตาล (hydrogenation) พอลิออลมีคุณสมบัติคงทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีจึงไม่สลายตัวง่าย ดูดซับและเก็บความชื้นได้ดีละลายน้ำได้ มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาล มีแคลลอรีเพียง 2.4 กิโลแคลอรีต่อกรัม เนื่องจากถูกดูดซึมได้ช้ามากจึงสามารถใช้กับผู้ที่เป็นโรคเบาหวานได้ นอกจากนี้ยังไม่ทำให้ฟันผุเพราะแบคทีเรียในปากไม่สามารถใช้ได้ JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) กำหนดปริมาณการบริโภคต่อวัน (ADI) ของพอลิออลเป็น "not specified" หมายถึงสามารถใช้ได้ในระดับที่จำเป็นต่อกระบวนการแปรรูปเพื่อให้ได้อาหารที่มีคุณลักษณะตามต้องการ อย่างไรก็ตามพอลิออลอาจมีผลทำให้ระบายท้อง ดังนั้นผู้ใหญ่ไม่ควรบริโภคเกิน 60-80 กรัมต่อวัน และเด็กอายุ 5-16 ปี ไม่ควรบริโภคเกิน 30-40 กรัมต่อวัน

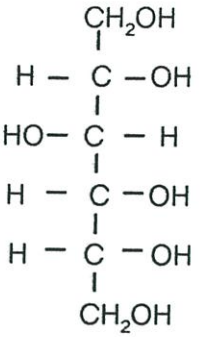
2.3.2.2 กลีเซอรอล (glycer al) หรือกลีเซอรีน (glycerine) เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ โครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 1 มีน้ำหนักโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้ในการผลิตสบู่และกรดไขมัน มีคุณสมบัติเป็นของเหลวมีที่ความหนืด รสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาลผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีมาก เป็นสารทำละลายน้ำมันได้ดีพอสมควร ดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง ฟิล์มบริโภคได้หลายชนิดใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ (Mark et al. 1996; มณฑาทิพย์. 2534; Gontard et al. 1993; Park et al. 1993; McHugh et al. 1994)



**รูปที่** 2.1 โครงสร้างของกลีเซอรอล
(ที่มา : Windholz .1976)

2.3.2.3 ซอร์บิทอล (sorbitol) เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม น้ำหนักโมเลกุล 182 โครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.2** โครงสร้างของซอร์บิทอล
(ที่มา : Le Bot and Gouy. 1995)

ซอร์บิทอลพบในผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิล แพร์ เชอรี เป็นต้น ในทางการค้าจะผลิต D-ซอร์บิทอลจากการเร่งปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนของ D-กลูโคสได้จากการย่อยสตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์สูงด้วยเอนไซม์ ซอร์บิทอลเป็นผลึกสีขาวอยู่ในรูปของ γ - ซอร์บิทอลซึ่งคงตัว (Gonze and Rapille. 1992) มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาลครึ่งหนึ่ง ละลายน้ำได้ดีสารละลายที่ได้มีความหนืดต่ำ เป็นสารทำละลายน้ำมันที่ไม่ดี เมื่อใช้ความเข้มข้นร้อยละ 3-60 สามารถรักษาความชื้นและคงลักษณะของความยืดหยุ่นไว้ได้ และมีการศึกษาการเตรียมฟิล์มจากเวย์โปรตีนโดยใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ (McHugh et al. 1994)

2.3.2.4 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) มีสูตรทั่วไปคือ $H(OCH_2CH_2)_n OH$ โดยที่ n มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 ปกติแล้วจะบอกค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยด้วย เช่น พอลีเอทิลีนไกลคอล -400 พอลิเอทิลีนไกลคอลมีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรืออยู่ในรูปของเหลวใส มีความข้นหนืด ละลายน้ำได้ให้สารละลายใส เสื่อมเสียยากเนื่องจากเชื้อราไม่สามารถ เจริญเติบโตได้ มีความเป็นพิษต่ำ สำหรับพอลิเอทิลีนไกลคอล -400 มีค่า n อยู่ระหว่าง 8.2 - 9.1 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 380-420 อยู่ในรูปของเหลวข้นหนืด มีกลิ่นจาง ๆ ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นเล็กน้อย มีการศึกษาการใช้พอลิเอทีลีนไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์ฟิล์มบริโภคได้เช่นเดียวกับพอลิออลชนิดอื่น ๆ (Park et al. 1993 ; McHugh et al. 1994)

### 2.3.3 บทบาทของพลาสติไซเซอร์ในฟิล์มที่รับประทานได้

การเติมพลาสติไซเซอร์ในระหว่างการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้ได้นั้น ใช้วิธีการละลายโดยทั้ง พลาสติไซเซอร์และพอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายชนิดเดียวกัน ระหว่างการละลายมีการกวนผสมพร้อมทั้งให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาเหมาะสม แล้วจึงนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกไปในสภาวะที่ไม่รุนแรงการใช้พลาสติไซเซอร์ลักษณะนี้เป็นแบบภายนอก (external) คือ เมื่อเติมพลาสติไซเซอร์ลงไปแล้วจะไปจับยึดกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะเวเลนซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุติยภูมิ (secondary valency) เกิดพันธะมีขั้วหรือพันธะไฮโดรเจนอย่างหลวม ๆ ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลงซึ่งเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ อิทธิพลของความร้อนระหว่างการเตรียมสารละลายฟิล์มทำให้พลาสติไซเซอร์อยู่ระหว่างสายพอลิเมอร์ ง่ายขึ้น และพันธะไฮโดรเจนหรือแรงอื่น ๆ ระหว่างโมเลกุลของพอลีเมอร์ถูกหักล้างไป เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดที่แข็งแรงระหว่างพอลิเมอร์กับพลาสติไซเซอร์ทำให้โมเลกุลพอลิเมอร์ไม่สามารถจับกันเองได้ ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ลดความเปราะแตกง่าย การต้านทานแรงฉีกขาด (tear resistance) เพิ่มขึ้น แต่การต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) ลดลงนอกจากนี้พลังงานที่ใช้แยกสลายโซ่พอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันยังมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ไปกระตุ้นการแพร่กระจายของแก๊สและไอน้ำให้ผ่านแผ่นฟิล์ม (energy of activation for diffusion = ED) ดังนั้นเมื่อแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่ลดลงทำให้ค่า ED ลดลงการซึมผ่านของแก๊สและไอผ่านฟิล์มจึงเพิ่มขึ้น

## 2.4 องค์ประกอบของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวและแป้งมันสำปะหลัง

### 2.4.1 แป้งข้าวเจ้า (Rice Flour)

ข้าวเจ้ามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Oryza sativa L. ลักษณะของผลเป็นผลเดี่ยวแบบ covered caryopis ซึ่งมีเปลือกหุ้มเมล็ดติดอยู่แน่นข้าวเจ้าจัดอยู่ในกลุ่มของธัญพืช แบบ Milletlike cereal ในการจำแนกประเภทของข้าวเจ้านั้นสามารถจำแนกหลายวิธี โดยอาศัยคุณลักษณะต่าง ๆ เช่น ทางพฤกษศาสตร์ คุณลักษณะเมื่อหุงสุก ลักษณะของเมล็ดและองค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น

#### 2.4.1.1 การจำแนกโดยอาศัยคุณลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ข้าวจัดอยู่ในพืชตระกูลหญ้า (Graminae) และสกุล Oryza ซึ่งมีปลูกกันมากอยู่สองชนิด คือ Oryza sativa และ Oryza gaberrima โดยที่ชนิด Oryza sativa ยังสามารถจำแนกออกได้อีกเป็นชนิดย่อยได้อีก 3 ชนิดดังนี้คือ

1. อินดิคา (Indica type) เป็นข้าวเจ้าที่มีลักษณะของเมล็ดเรียวยาวค่อนข้างแบนมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (lenght/width ratio, L/W) ประมาณ 3.1 - 3.5 ปลูกกันมากในประเทศไทย จีน อินเดีย และฟิลิปปินส์

2. จาปอนนิคา (Japonica type) เป็นข้าวที่มีลักษณะของเมล็ดสั้น และค่อนข้างกลม มี L/W ประมาณ 1.4-2.9 ปลูกกันมากในประเทศจีน เกาหลี ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา

3. จาวานิคา (Javanica type) เป็นข้าวเจ้าที่มีลักษณะอยู่ระหว่างชนิดอินดิคา และชนิดจาปอนนิคา มีปลูกเฉพาะในประเทศอินโดนีเซียเท่านั้น ไม่มีความสำคัญทางการค้า ข้าวเจ้าชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดอินดิคาและชนิดจาปอนนิคาเป็นข้าวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเมื่อนำมาหุงจนสุก ข้าวชนิดอินดิคาจะร่วนไม่จับกันเป็นก้อน ในขณะที่ข้าวชนิดจาปอนนิคาจะเหนียวและจับกันเป็นก้อน

2.4.1.2 การจำแนกโดยอาศัยความแข็งของเมล็ดข้าวแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

1. ข้าวเมล็ดแข็ง (hard-grain rice) เป็นข้าวเมล็ดยาวเรียวมีเนื้อแข็งเป็นมันได้แก่ ข้าวเจ้ามีปลูกมากในเขตร้อน เช่น ประเทศอินเดีย ไทย จีน อินโดนีเซีย และ ฟิลิปปินส์

2. ข้าวเมล็ดอ่อน (soft-grain rice) เป็นข้าวที่มีเมล็ดสั้นป้อมและเนื้อขาวขุ่นไม่เหมือนพวกแรก ได้แก่ ข้าวที่ปลูกมากในประเทศญี่ปุ่น เกาหลี และตอนเหนือของจีน

2.4.1.3 การจำแนกโดยอาศัยคุณสมบัติของเมล็ดข้าวเมื่อหุงสุกแบ่งได้ 2 ชนิด

1. ข้าวเจ้า (non-glutinous rice) เป็นข้าวที่ประกอบด้วยสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลเพกทิน ร้อยละ 60-90 และอะมิโลส ร้อยละ 10-30 เมล็ดข้าวก่อนนำมาหุงจะมีสีขาว ใส และเรียวยาว เมื่อหุงสุกแล้วเมล็ดจะค่อนข้างร่วน ไม่เหนียวจับกันเป็นก้อน เช่น กข 15 ปิ่นแก้ว 56 ขาวตาแห้ง ขาวดอกมะลิ 105 และ IR 8 เป็นต้น

2. ข้าวเหนียว (glutinous rice) เป็นข้าวที่ประกอบด้วยสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลเพกทินสูงถึงร้อยละ 95 มีปริมาณอะมิโลสน้อยมาก ซึ่งบางพันธุ์ไม่มีอะมิโลสเลย เช่น กข 8 สันป่าตอง เขี้ยวงู และพระตะบอง เป็นต้น

2.4.1.4 การจำแนกจากปริมาณของอะมิโลสที่มีในเมล็ดข้าวที่ผ่านการขัดสี สามารถแบ่งได้ 4 ชนิดคือ

1. ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำมาก (very low amylose rice) เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสประมาณร้อยละ 2-9

2. ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (low amylose rice) เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสประมาณร้อยละ 10-19

3. ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง (intermediate amylose rice) เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสประมาณร้อยละ 20-24

4. ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (high amylose rice) เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไป

2.4.1.5 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว

องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าวประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน เยื่อใย แร่ธาตุ และคาร์โบไฮเดรต ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่** 2.1 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว

| ชนิดองค์ประกอบทางเคมี | ปริมาณ (ร้อยละ) |
|---|---|
| โปรตีน | 9.8 |
| ชนิดของโปรตีน | |
| - แอลบูมิน | 2-5 |
| - โกลบูลิน | 2-8 |
| - โปรลามิน | 1.5 |
| - กลูเตลิน | 85-90 |
| บริมาณกรดอะมิโน | |
| - อาร์จินีน | 7.7 |
| - ซิสทีนและซิสทิอีน | 1.1 |
| - ฮิสติดีน | 2.3 |
| - ไอโซลิวซีน | 3.9 |
| - ลิวซีน | 8.0 |
| - เมธิโอนีน | 3.7 |
| - เฟนีลอะลานีน | 2.4 |
| - ทรีโอนีน | 5.2 |
| - ทริปโทแฟน | 4.1 |
| - ไทโรซีน | 1.4 |
| - วาลีน | 5.7 |
| - อะลานีน | 6.0 |
| - กรดแอสฟาร์ติก | 10.4 |
| - กรดกลูทาริก | 20.4 |
| - ไกลซีน | 5.0 |
| - โปรลีน | 4.8 |
| - เซอลีน | 5.2 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

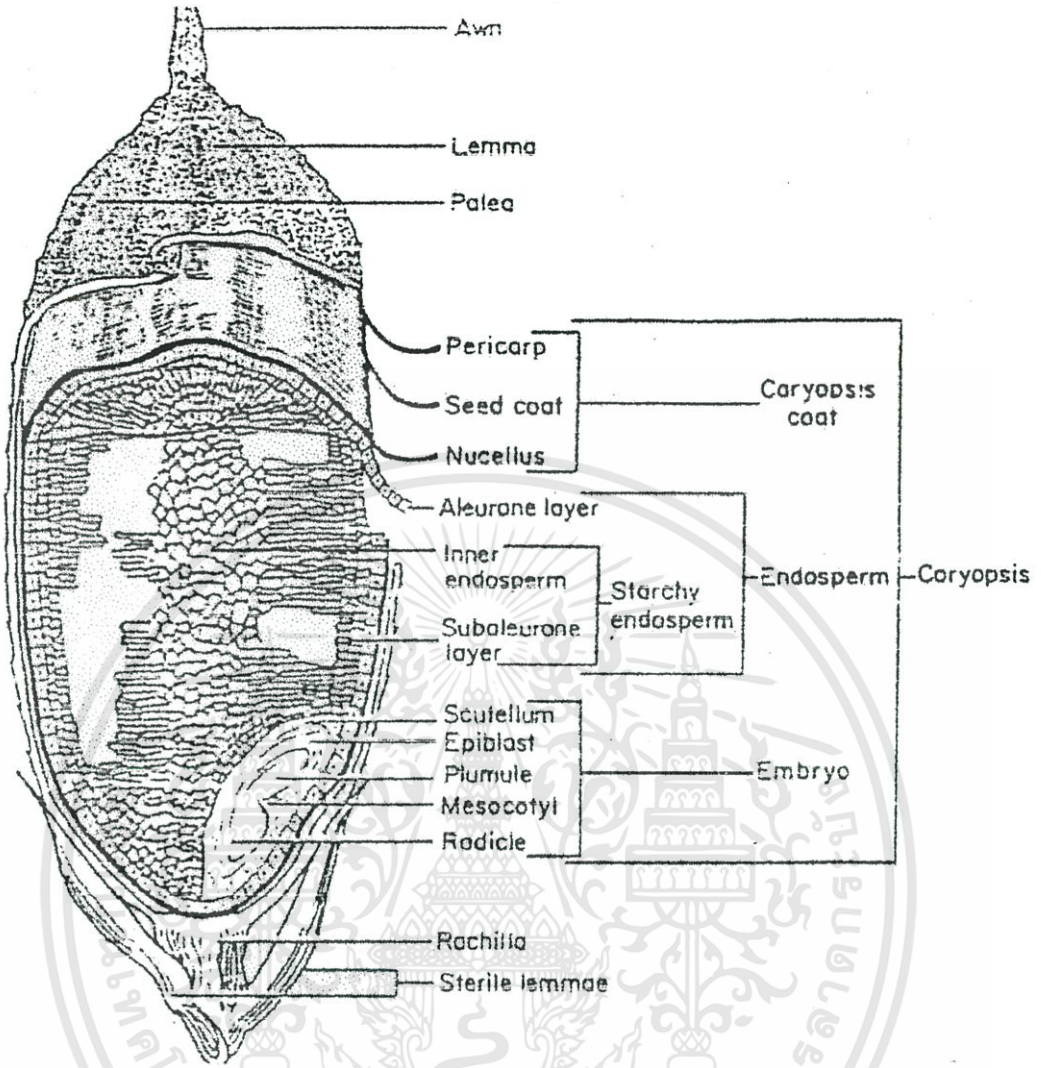
**ตารางที่** 2.1 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว (ต่อ)

| ชนิดองค์ประกอบทางเคมี | ปริมาณ (ร้อยละ) |
|---|---|
| ไขมัน | |
| กรดไขมันที่อิ่มตัว | |
| - ปาล์มมิติกและสเทียริก | 17.6 |
| กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว | |
| - โอเลอิก | 47.6 |
| - ลิโนเลอิก | 34.0 |
| - ลิโนเลนิก | 0.8 |
| เยื่อใย | 0.3 |
| แร่ธาตุ | 0.6 |
| คาร์โบไฮเดรต | 88.9 |

(ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล .2532)

หมายเหตุ ปริมาณของกรดอะมิโนมีหน่วยเป็นกรัมกรดอะมิโน/16 กรัมไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 2.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
(ที่มา : Juliano.1984)

### 2.4.2 แป้งมันสำปะหลัง (Cassava Starch)

แป้งมันสำปะหลัง เป็นแป้งที่ผลิตจากหัวมันสำปะหลัง(topioca, cassava, manihot flour starch) ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Mahihot utilissima แป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในอุตสาหกรรม มีองค์ประกอบดังนี้ ความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 โปรตีนไม่เกินร้อยละ 0.3 สตาร์ชไม่น้อยกว่าร้อยละ 97.5 เยื่อใยไม่เกินร้อยละ 2.2 โดยน้ำหนักแห้ง องค์ประกอบที่มีมากที่สุดในแป้งมันสำปะหลัง คือ สตาร์ช เมื่อพิจารณาลักษณะของเม็ดสตาร์ชแป้งมันสำปะหลังจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราดลำแสงพบว่า โดยส่วนใหญ่เป็นรูปไข่ที่ปลายข้างหนึ่งถูกตัดออก ผิวตรงส่วนตัดมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมด้านหนึ่งโค้งอีกด้านหนึ่งแบนไม่สม่ำเสมอกัน พบรอยบุ๋ม (eccentric hilum) อย่างเห็นได้ชัด และแต่ละเม็ดมีความยาวตั้งแต่ 15.35 ไมโครเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 15 ไมโครเมตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2521)

## 2.5 โครงสร้างทางเคมีและสมบัติบางประการของแป้ง

### 2.5.1 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง

"แป้ง" และความหมายของคำว่าแป้งในที่นี้หมายถึง สารประกอบอะมิโลส (Amylose) และอะมิโลเพคติน (Amylopectin) ซึ่งในบางครั้งเราอาจต้องใช้คำว่า "สตาร์ช" (Starch) แทนเพื่อให้ได้ความเข้าใจที่ถูกต้อง คำว่าแป้งในภาษาไทย เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียวนั้น มีความหมายถึงผงสีขาว ที่ส่วนประกอบมีได้ทั้งโปรตีน ไขมัน เกลือแร่ และ สตาร์ช หรือที่ภาษาอังกฤษเรียกว่า "ฟลาว์" (Flour)

โมเลกุลของสตาร์ชนั้นจะประกอบด้วย D (+) glucose unit ซึ่งอยู่ในรูปของ $\alpha$-glucopyranosering แต่ละหน่วยของกลูโคสมีพันธะเชื่อมเข้าด้วยกัน โดยเชื่อมต่อกับอะตอมของออกซิเจนที่ตำแหน่ง 1,4 ทำให้โมเลกุลมีลักษณะคล้ายเส้นด้าย โดยทั่วไปสตาร์ชประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ อะมิโลสและอะมิโลเพกทิน อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เส้นตรงมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ $1.5 \times 10^5 - 10^6$ มีค่าระดับของการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization = DP.) ในช่วง 250- 400 AGU (Anhydro-Glucose Unit) ต่อ 1 โมเลกุลของอะมิโลส แป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 16.5 - 20.7% และแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะมิโลส ร้อยละ 24.0 - 26.3 (อรวรรณ. 2529) อะมิโลสเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์ม ส่วนอะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์กิ่งก้านที่ประกอบด้วยโมเลกุลส่วนเส้นตรงประมาณร้อยละ 64-69 มีค่า DP. อยู่ในช่วง 12-50 AGU เชื่อมต่อกับส่วนกิ่งก้านของพอลิเมอร์สั้น ๆ ของกลูโคส 20-26 หน่วยซึ่งแทรกอยู่ประมาณร้อยละ 4-6 ที่ตำแหน่ง $\alpha$ - 1,6 มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ $10^6 - 10^9$ แป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอะมิโลเพคตินร้อยละ 83.5 - 79.3 สำหรับแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะมิโลเพกทินร้อยละ 73.7 - 76.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.2** แสดงความแตกต่างระหว่างอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน

| Amylose | Amylopectin |
|---|---|
| 1.ละลายน้ำได้ดีกว่า | 1.ละลายน้ำได้น้อยกว่า |
| 2.เมื่อต้มในน้ำหนืดข้นน้อยกว่าแต่ขุ่นกว่า | 2.หนืดข้นมากกว่าและใส |
| 3.ให้สีน้ำเงินกับไอโอดีน | 3.ให้สีแดงม่วงหรือสีน้ำตาลกับไอโอดีน |
| 4.ประกอบด้วยโมเลกุลที่ต่อเป็นเส้นตรง | 4.โมเลกุลต่อเป็นกันคล้ายกิ่งไม้ |
| 5.ประกอบด้วยกลูโคส 200-2100หน่วย | 5.แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย |
| 6.ต้มแล้วทิ้งไว้ จับเป็นวุ้นได้ | 6. ไม่จับเป็นวุ้นได้ |

(ที่มา : กล้าณรงค์. 2538)

อะมิโลสและอะมิโลเพกทินจะเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบแบบแผนในเม็ด สตาร์ช ภายในเม็ดสตาร์ชประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. Crystalline region โมเลกุลเรียงตัวกันเป็นกลุ่มๆ อย่างมีระเบียบเหมือนผลึกจะมีอะมิโลสประกอบอยู่มาก โดยประกอบตามความยาวกับส่วนที่เป็นเส้นตรงของอะมิโลเพกทินด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างภายในโมเลกุลเดียวกันและต่างโมเลกุลขึ้นอย่างมากมาย ทำให้โมเลกุลในบริเวณนี้หนาแน่นและมีแรงยึดเหนี่ยวกันสูง การดูดน้ำและการพองตัวเกิดขึ้นอย่างจำกัดเนื้อค่อนข้างแข็งและไม่ค่อยทำปฏิกิริยากับสารอื่น

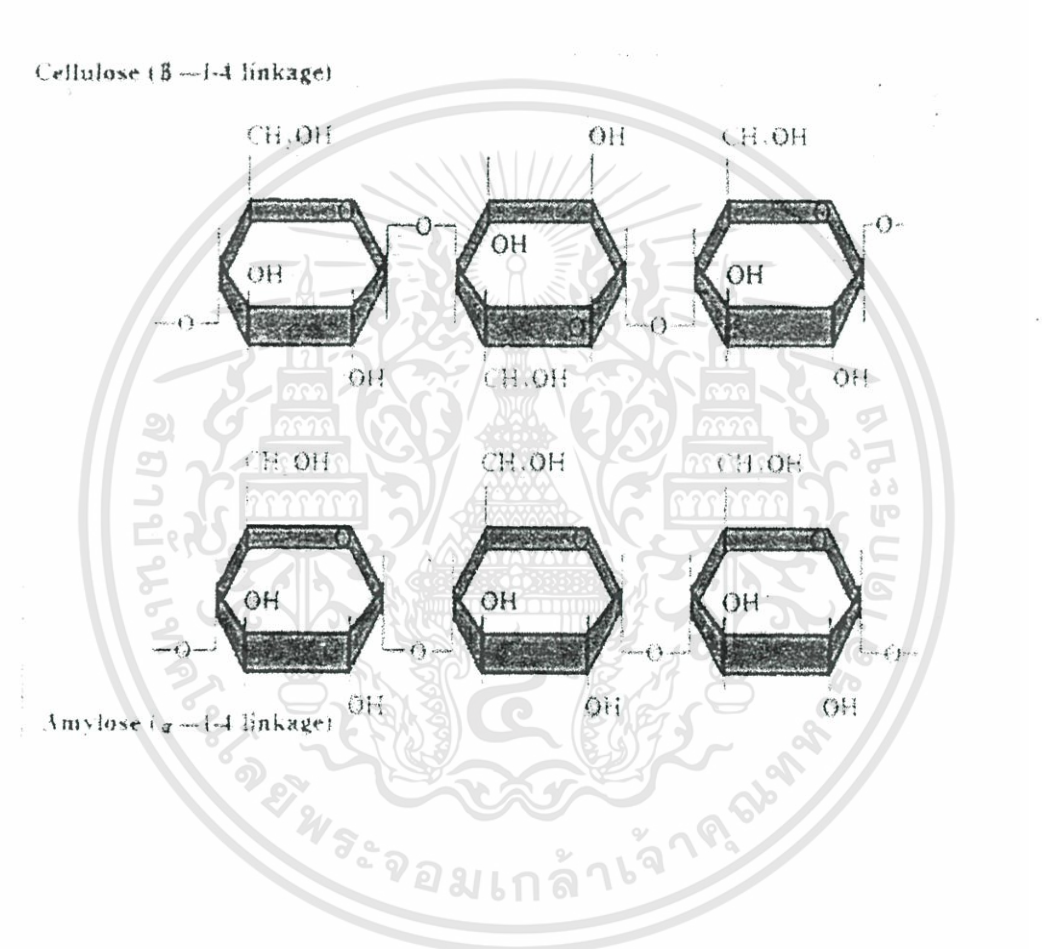
2. Amorphous region โมเลกุลจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ประกอบด้วยอะมิโลเพกทินเป็นส่วนใหญ่ จึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้น้อยและเป็นส่วนที่ดูดน้ำได้ดี ไวต่อปฏิกิริยา

ทั้งส่วนที่เป็นผลึกกับส่วนที่ไม่เป็นผลึกนี้จะเรียงตัวสลับกัน ทำให้เกิดการหักเหของแนวเป็นเงากากบาทเมื่อส่องผ่านแสงพาราไรซ์ (polarized light) เรียกว่าไบฟรินเจนซ์ (Birefringence) แป้งต่างชนิดกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลส และ อะมิโลเพกทินแตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง ความหนืด ความใส และการคืนตัวของแป้งสุก

โดยธรรมชาติแป้งจะไม่ละลายน้ำเมื่ออยู่ในสภาพที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ใกล้กันในโมเลกุลของสตาร์ชพันธะไฮโดรเจนนี้ อาจเชื่อมกับน้ำทำให้สามารถพองตัวได้เล็กน้อยและมีลักษณะผันกลับได้ เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งเม็ดสตาร์ชจะเริ่มพองตัว เมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้นระดับที่เม็ดสตาร์ช สูญเสียรอยกากบาทภายใต้แสงโพลาไรซ์ที่สภาวะนี้เรียกว่า สตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ ซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ การพองตัวของเม็ดสตาร์ชจะเริ่มเกิดขึ้นบริเวณอสัณฐานโดยมีโมเลกุลของน้ำมาเกาะมากขึ้น ขณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกันพันธะไฮโดรเจนบริเวณรอบผลึกเม็ดสตาร์ชจะเริ่มถูกทำลายส่วนที่เป็นโมเลกุลอะมิโลสถูกชะออกมาในน้ำ ความหนืดของน้ำแป้งจะเพิ่มได้ลักษณะข้นเป็นแป้งเปียกซึ่งจัดเป็นพวกโซล (sol) แป้งข้าวเจ้ามีช่วงอุณหภูมิเจลาติไนซ์ 68 - 74.5 - 78 สำหรับแป้งมันสำปะหลังมีช่วงอุณหภูมิเจลาติไนซ์ 65-70 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของแป้งเปียกมันสำปะหลังจะใส มีความหนืดสูง เนื้อสัมผัสหยาบ ความต้านทานต่อแรงเสียดสีต่ำและอัตราการกลับคืนตัวของแป้งต่ำ



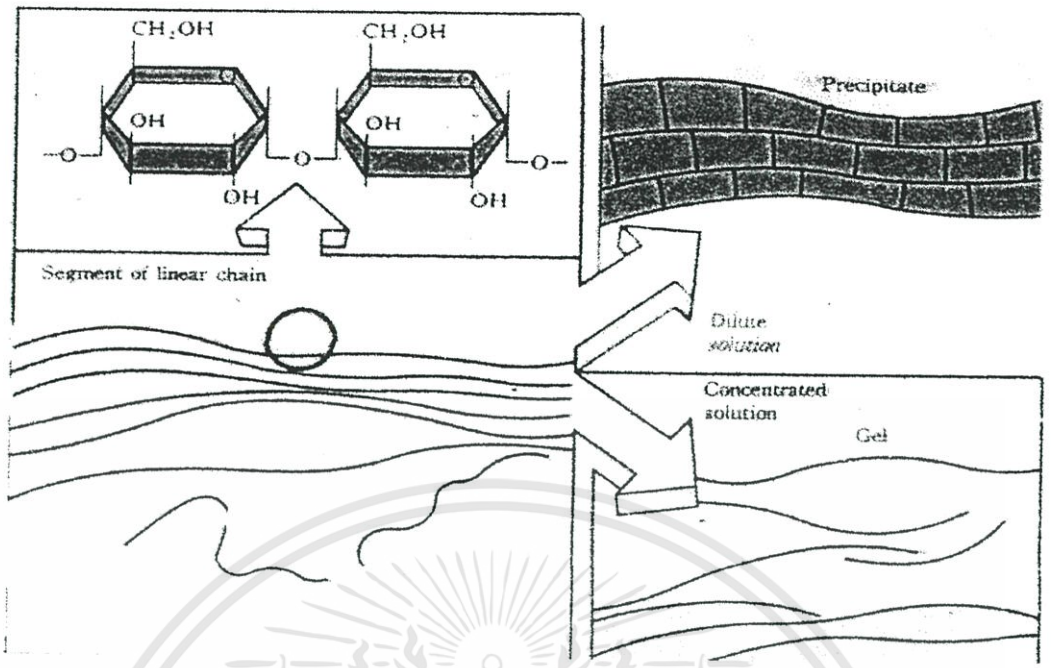

**รูปที่** 2.4 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง

(ที่มา : Nation Starch and Chemical Company.1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

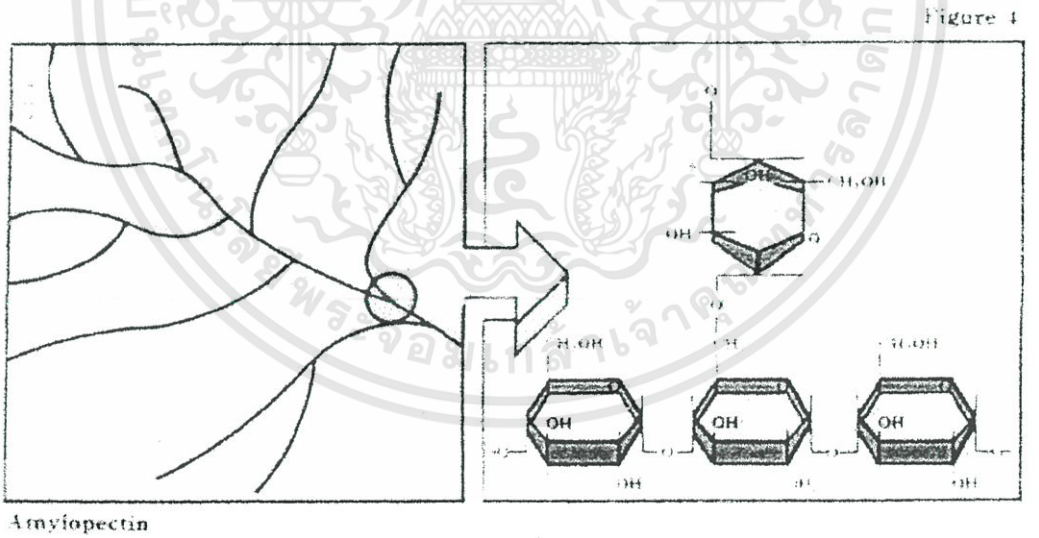
สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย






**รูปที่ 2.5** โครงสร้างทางเคมีของอะมิโลส

(ที่มา : Nation Starch and Chemical Company.1996)

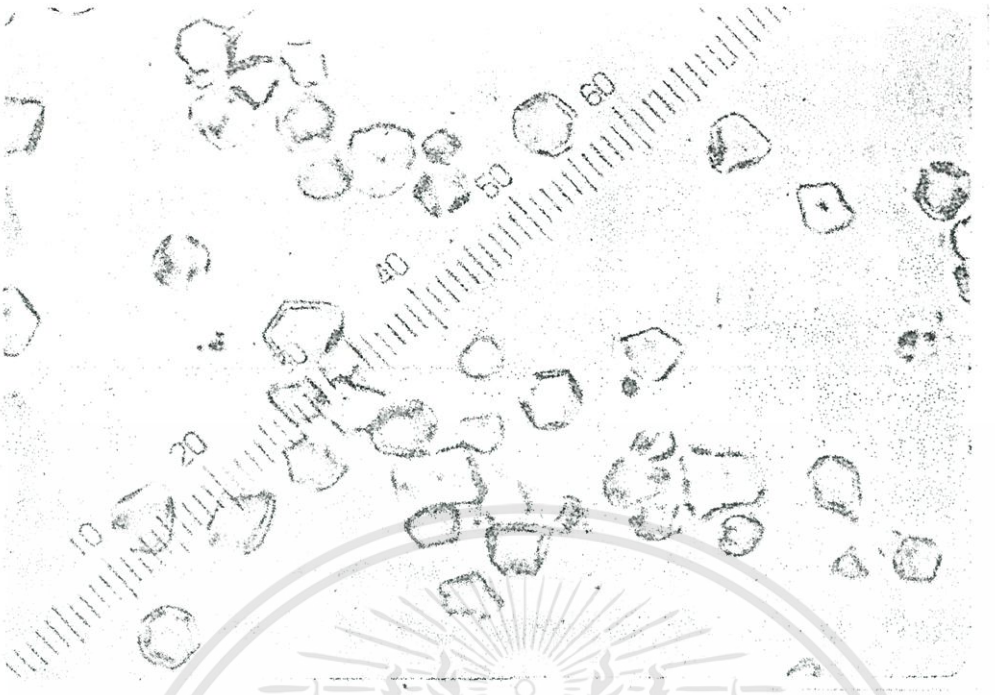



**รูปที่ 2.6** โครงสร้างทางเคมีของอะมิโลเพคติน

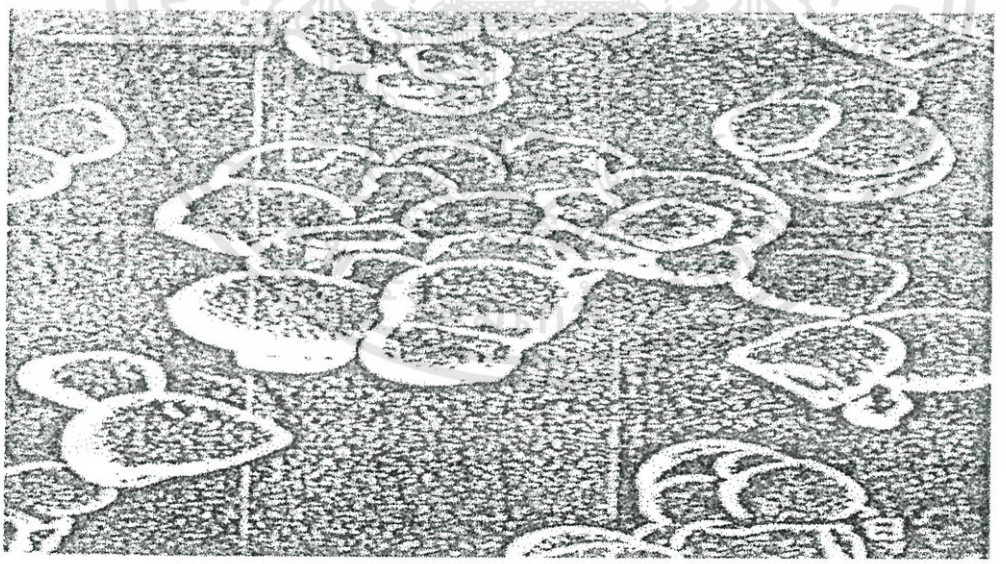
(ที่มา : Nation Starch and Chemical Company.1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

39756



**รูปที่** 2.7 เม็ดสตาร์ชของข้าวเจ้าจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดกราดลำแสง
(ที่มา : สำนักงานมาตราฐานอุตสาหกรรม.2529)



**รูปที่** 2.8 เม็ดสตาร์ชของมันสำปะหลังจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดกราดลำแสง
(ที่มา : Aguilera and Stanley. 1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การพองตัวและการละลาย

เม็ดแป้งไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จึงสามารถสกัดแป้งออกจากแหล่งวัตถุดิบได้ด้วยน้ำในระบบการโม่เปียก ความสามารถในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่อแป้งได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโมเลกุลของแป้งเข้าด้วยกันมีการเปลี่ยนแปลง โมเลกุลของแป้งจึงแยกออกจากกันและเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำขึ้นการพองตัวของเม็ดแป้งจะเกิดเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างขององค์ประกอบหลักของเม็ดแป้ง ซึ่งองค์ประกอบหลักนั้นมีอัตราส่วนของส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานต่างกัน เม็ดแป้งที่มีส่วนผลึกมากจะมีพันธะไฮโดรเจนหนาแน่น ทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งแข็งแรงกว่า โดยทั่วไปส่วนที่เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้งจะแข็งแรงน้อยกว่าส่วนที่เป็นผลึก จึงทำให้ส่วนที่เป็นอสัณฐานพองตัวได้ก่อนและสูงมาก เมื่อถึงระดับอุณหภูมิหนึ่งจะทำให้ส่วนที่เป็นผลึก ซึ่งมีการจัดเรียงอย่างมีระเบียบเป็นรูปวงแหวนเริ่มบิดเบี้ยวไปที่อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน แสดงว่าโมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึกมีการดูดซับน้ำไว้บ้างทำให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้น โมเลกุลในส่วนที่เป็นรูปผลึกที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหยึดเหนี่ยวกันไว้ ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้แต่อาจมีโมเลกุลอะมิโลส และอะมิโลเพคติน ซึ่งมีขนาดเล็กและเป็นอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่สารแขวนลอยแป้งจะมีความหนืดสูงสุดจนในที่สุดเม็ดแป้งก็จะแตก

2.5.3 การเกิดเจลาติไนเซชันด้วยความร้อน

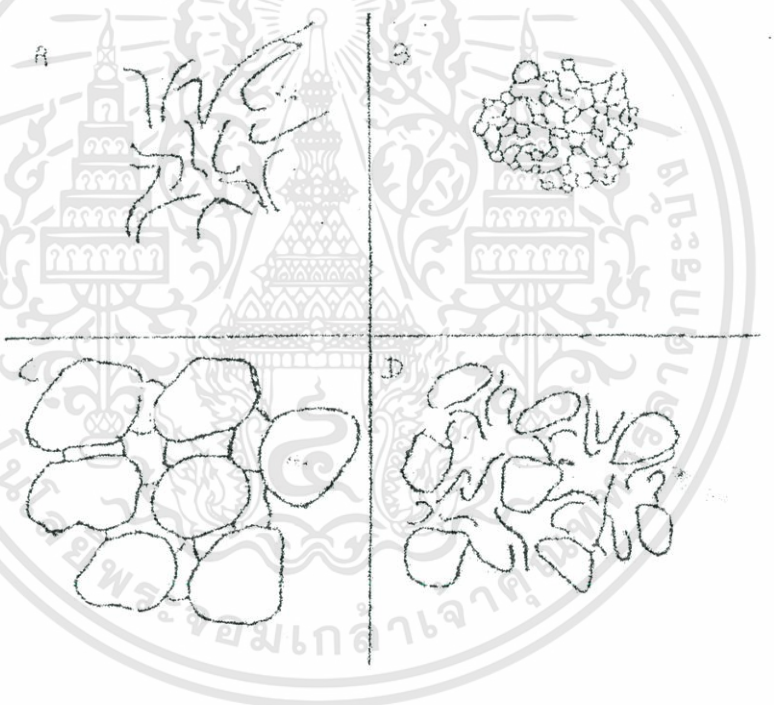
โดยทั่วไปแป้งจะไม่ละลายในน้ำเย็น เนื่องจากการจัดเรียงในส่วนที่เป็นผลึกของโมเลกุลเป็นไปอย่างมีระเบียบและซับซ้อนกัน โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันจะเกาะเกี่ยวด้วยแรงพอเหมาะซึ่งกันและกัน โอกาสที่น้ำจะซึมเข้าไปในส่วนนี้จะน้อยมาก แต่น้ำอาจซึมเข้าไปในส่วนที่ เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้งซึ่งไม่แข็งแรง จะมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนไว้บ้าง แต่เมื่อสารแขวนลอยแป้งในน้ำเย็นได้รับความร้อนอย่างช้าๆ จนถึงอุณหภูมิ 60 - 70 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งจะสูญเสียรอยกากบาทเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ ภายใต้แสงโพลาไรซ์ก่อนที่จะเห็นการพองตัวของมัน ซึ่งเรียกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน แสดงว่าโมเลกุลของแป้งในส่วนที่เป็นผลึกคลายตัวลงเกิดปฏิกิริยาการดูดน้ำและเกิดการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ ทำให้สารละลายของแป้งมีความหนืดและใสขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า เจลาติไนเซชัน

2.5.4 สมบัติบางประการของอะมิโลส

ในสภาพของอะมิโลสที่ละลายได้ อะมิโลสมีบทบาทในการเกิดเจลทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายซึ่งจับและกักน้ำเอาไว้เชื่อมส่วนของเม็ดแป้งทำให้เพิ่มการเกาะเกี่ยวของโครงร่างตาข่ายอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย สรุปว่าปริมาณอะมิโลสมีความจำเป็นต่อความคงตัวของโครงสร้างของเจลและยังมีบทบาทสำคัญในระบบของเจล ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยรูป 2.9 A เป็นโครงสร้างของเจลอะมิโลส ถึงแม้จะมีเจลอะมิโลสเพียงเล็กน้อย ก็สามารถทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่อุ้มน้ำไว้ได้ รูป 2.9 B เป็นโครงสร้างของเจลเมื่อมีแป้งเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ ที่ดูดซับน้ำและพองตัวอย่างเต็มที่ รูป 2.9 C เป็นโครงสร้างของเจลเมื่อมีแป้งเป็นส่วนเชื่อมต่อกันขนาดใหญ่ซึ่งดูดซับและพองตัว ปริมาณน้ำจำนวนมากถูกกักอยู่ในเม็ดแป้ง อะมิโลสเพียงระดับหนึ่งเท่านั้นที่จำเป็นในการเชื่อมให้เกิดโครงร่างตาข่ายซึ่งต่อเนื่องกัน รูป 2.9 D เป็นระบบของเจลซึ่งแสดงบทบาทของอะมิโลสในการกักเก็บน้ำและเชื่อมส่วนเม็ดแป้งที่เหลือให้เป็นโครงร่างตาข่ายเข้าด้วยกัน ปริมาณอะมิโลสที่จำเป็นต้องใช้จึงต่ำกว่าในระบบที่มีน้ำอิสระมาก ดังรูป 2.9 A หรือในระบบที่มีน้ำอิสระน้อย แต่มีเม็ดแป้งมาก ดังรูป 2.9 B




**รูปที่ 2.9 หน้าที่ของอะมิโลสในระบบของเจล**

A : เจลของอะมิโลสจับกับน้ำเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ

B : เจลกับชิ้นส่วนของแป้งที่พองตัวเชื่อต่อกันเป็นโครงร่างตาข่าย

C : เจลกับส่วนของแป้งที่เชื่อมต่อกันโดยมีการดูดซับน้ำและพองตัวมาก

D : เจลกับส่วนของแป้งที่เชื่อมต่อกันเมื่อไม่มีการดูดซับน้ำและพองตัวมาก

(ที่มา : Ott and Hester .1965)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 กลไกการเกิดฟิล์ม

กลไกการเกิดฟิล์มที่รับประทานได้โดยทั่วไปสามารถที่จะเกิดได้จาก 2 วิธี คือ

### 2.6.1 การเกิดฟิล์มโดยการใช้ความร้อน

ฟิล์มจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายผสมโดยเฉพาะส่วนของโกบูลล่าร์โปรตีน (globular protein) ที่มีหมู่ของไฮโดรโฟบิค (hydrophobic) ซึ่งไม่สามารถที่จะละลายได้ในน้ำ จะฝังตัวอยู่ด้านในของโมเลกุล เมื่อให้ความร้อนแก่โปรตีนในปริมาณที่พอเหมาะจะฝังตัวอยู่ด้านในของโมเลกุล เมื่อให้ความร้อนแก่โปรตีนในปริมาณที่พอเหมาะจะทำให้โปรตีนเกิดการดีเนเจอร์บางส่วน (partially denature) เป็นผลให้หมู่ไฮโดรโฟบิค เคลื่อนตัวออกมาอยู่ด้านนอกของโมเลกุล ซึ่งมีผลทำให้โปรตีนละลายน้อยลงและเกิดการรวมตัวของ พันธะไฮโดรเจน พันธะไดซัลไฟด์ เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มโปรตีน (aggregate) ขณะที่ของผสมอื่น ๆ เช่นการทดลองได้ใช้คาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะเกิดเจลาติไนส์ และเกิดการสร้างเป็นร่างแหของโพลิเมอร์ทั้งโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ด้วยพันธะข้าม (cross link) โดยกลีเซอรอลใช้เป็นพลาสติไซเซอร์จะแทรกอยู่ระหว่างสายของโพลิเมอร์ ส่งผลให้ฟิล์มเกิดความยืดหยุ่นและอ่อนตัวได้ (ธัญญาภรณ์. 2540)

### 2.6.2 การเกิดฟิล์มโดยการใช้เอ็นไซม์

เอนไซม์ที่ใช้ได้แก่เอ็นไซม์ ทรานกลูตามิเนส (transglutaminase) เช่น ฟิล์มที่เกิดจากโปรตีนเคซีน (casein) ในน้ำนม ซึ่งมีส่วนประกอบของ กลูตามิเนส (glutaminase) และไลซีน (lysime) เมื่อทำปฏิกิริยากับเอ็นไซม์จะเกิดการสร้างพันธะ ε - (γ - glutamyl) - lysyl - isopedtide bond เกิดโครงร่างแหทำให้เกิดฟิล์ม ดังสมการคือ

$$\text{(Glutamin + lysine) + Transglutaminase} \quad \varepsilon\text{ - (}\gamma\text{ - glutamyl)} \longrightarrow \text{lysyl - isopedtide bond + } NH_3$$

## 2.7 วิธีการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม

สำหรับกรรมวิธีในการขึ้นรูปฟิล์มนั้น สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

### 2.7.1 การขึ้นรูปโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent casting)

เป็นการทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มด้วยการนำสารผสมของฟิล์มที่เตรียมได้ทาแผ่เป็นแผ่นบางลงถาด หรือบนภาชนะเฉพาะที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้แห้งแล้วลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มตามต้องการ อาจมีการเคลือบฟิล์มซ้ำด้วยสารที่มีคุณสมบัติในด้านการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงคุณภาพของฟิล์ม เช่น การเคลือบทับด้วยไขพาราฟินอีกชั้นหนึ่ง เพื่อช่วยให้ฟิล์มมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี เป็นต้น

**2.7.2 การขึ้นรูปเป็นแผ่นบางด้วยเอ็กซ์ทรูดเดอร์** (Extruder)

เป็นการเป็นการทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มโดยใช้เครื่องมือในการทำให้ฟิล์มขึ้นรูปเป็นแผ่นบางด้วยการผสม ทำแห้ง พร้อมทั้งฉีดพ่นออกมาเป็นแผ่นจากเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์ คล้ายกับวิธีการผลิตฟิล์มพลาสติกโดยทั่วไป

2.7.3 การขึ้นรูปบนลูกกลิ้ง (Calenderling)

เป็นวิธีที่ทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มด้วยลูกกลิ้งโดยผ่านแผ่นฟิล์มเข้าไปยังลูกกลิ้งร้อน เพื่อรีดให้ฟิล์มเรียบและแห้งความหนาของฟิล์มที่ต้องการ ขึ้นกับแรงกดอัดของลูกกลิ้งบนแผ่นฟิล์มและระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 2 ลูกที่ฟิล์มผ่านเข้าไป สารที่ใช้ทำฟิล์มมีหลายชนิด โดยฟิล์มอาจใช้สารชนิดเดียว หรือหลายชนิดรวมกันโดยนำคุณลักษณะเด่นของแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ ซึ่งประสิทธิภาพของฟิล์มแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิต ที่ต้องมีการควบคุมเทคนิค และวิธีการผลิตให้เหมาะสม

การเพิ่มความร้อนหรืออัตราการระเหยของสารละลายที่ใช้ทำฟิล์ม และความเข้มข้นของตัวกลางที่ใช้จะมีผลต่อแรงในการเกาะตัวกันของแผ่นฟิล์ม ซึ่งทำให้เกิดฟิล์มที่มีลักษณะไม่เกาะตัว หรือทำให้เกิดรูพรุนในฟิล์ม นอกจากนี้แรงในการเกาะตัวกันของฟิล์มทั้งแรงโคฮิชั่น (cohesion) และแอทฮิชั่น (adhesion) มีผลต่อคุณภาพของแผ่นฟิล์ม โดยแรงนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของสารพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ เช่น ค่าของมวลโมเลกุล ขั้ว (polarity) และความแข็งแรงของฟิล์ม ลำดับและการแตกสาขาของสายพอลิเมอร์ เป็นต้น

## 2.8 คุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้ชนิดต่าง ๆ

ในการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้นั้น ได้มีการใช้วัตถุดิบต่างๆมาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มซึ่งทำให้ได้ฟิล์มที่รับประทานได้ชนิดต่างๆดังนี้

**2.8.1 ฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534)**

ทำการทดลอง เตรียมฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว โดยใช้มันเทศพันธุ์แม้โจ้ทำการแยกอะมิโลสในสารละลายเกลือแมกนีเซียมซัลเฟตร้อยละ 12 ได้ปริมาณอะมิโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละ 30.16 ทำการทดลองโดย

ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ (ร้อยละ 0, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1)

สูตรที่ทำการทดลองมี 3 สูตรคือ

1. สตาร์ช : วุ้น (อัตราส่วน 1 : 2)
2. สตาร์ช : อะมิโลส : วุ้น (อัตราส่วน 1 : 1 : 2)
3. อะมิโลส : วุ้น (อัตราส่วน 1 : 2)

ผลิตฟิล์มโดยเตรียมสารละลายสตาร์ชมันเทศ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนและคนตลอดเวลาจนเกิดการเจลาติไนซ์ และเตรียมสารละลายวุ้นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 2 นำสารผสมทั้ 2 มาผสมกันขณะร้อน ในอัตราส่วน สารละลายสตาร์ชต่อสารละลายวุ้นเทากับ 1:2 ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และผสมกลีเซอรอล ชั่งน้ำหนัก 45 กรัม เทลงถาดขนาด 15 X 25 เซนติเมตร วางทิ้งไว้ให้แผ่นฟิล์มเปียกคงรูป ทำแห้งด้วยไอน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 40 – 60 องศาเซลเซียส จนฟิล์มแห้ง ลอกแผ่นฟิล์มออก นำไปทดสอบคุณสมบัติ

ได้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจากสูตร สตาร์ช : อะมิโลส : วุ้น (อัตราส่วน 1 : 1 : 2) ที่ปริมาณกลีเซอรอล ร้อยละ 0, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0

**2.8.2 ฟิล์มบริโภคได้จากนมผง (ภาณุวัฒน์ ถวิลการ. 2539)**

ทำการทดลองเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากนมผง โดยเตรียมจากสารละลายนมที่มีความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 10 ใช้พลาสติไซเซอร์ คือ กลีเซอรอลและซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 4.5 และ 8 และเตรียมสารละลายวุ้นความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 3

ผลิตฟิล์มโดยนำสารละลายนมที่ความเข้มข้นโปรตีนร้อยละ 10 อุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ผสมสารละลายพลาสติไซเซอร์เป็นอัตราส่วน 2 : 1 และทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แท่งแก้วคนนำสารละลายดังกล่าวมาผสมกับสารละลายวุ้นในอัตราส่วนสารละลายนมผสมพลาสติไซเซอร์ต่อสารละลายวุ้นเป็นอัตราส่วน 1 ต่อ 2 และทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แท่งแก้วคนรินสารละลายผสมปริมาตร 50 มิลลิลิตรใส่ถาดขนาด 17 X 22 เซนติเมตร นำเข้าตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 – 21 ชั่วโมง เมื่อลอกแผ่นฟิล์มออกจะได้แผ่นฟิล์มที่มีความโปร่งแสงแล้วนำไปทดสอบ

ได้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจากสูตร โปรตีนร้อยละ 10 : ซอร์บิทอลร้อยละ 4.5 และ 8.0 : วุ้นร้อยละ 2 ได้ฟิล์มที่มีความโปร่งแสงและบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 **ฟิล์มบริโภคได้จากแป้งข้าวเจ้า (สุวัฒนา พฤกษะศรี. 2539)**

ทำการทดลองเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากแป้งข้าวเจ้า โดยใช้ข้าวพันธุ์ กข 7 เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตฟิล์มที่บริโภคได้จากแป้งข้าวเจ้าและปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตฟิล์มดังนี้

แป้ง : วุ้น : กลีเซอรอล

( 10 : 2 : 1) (10 : 2 : 2)  (10 : 4 : 1) (10 : 4 : 2)

( 12 : 2 : 1) (12 : 2 : 2)  (12 : 4 : 1) (12 : 4 : 2)

ผลิตฟิล์มโดยเตรียมสารละลายของแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแล้วให้ความร้อนและคนตลอดเวลาจนเกิดเจลาติไนซ์ และเตรียมสารละลายวุ้นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก นำสารละลายทั้ง 2 มาผสมกันขณะร้อน ในอัตราส่วนสารละลายแป้งต่อสารละลายวุ้นเป็นอัตราส่วน 1 ต่อ 2 และเติมสารละลายกลีเซอรอลร้อยละ 1 ในขณะร้อนผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน นำส่วนผสมปริมาตร 50 มิลลิลิตร เทลงในถาดเอียงให้ส่วนผสมกระจายตัวเป็นฟิล์มบางๆนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส จนฟิล์มแห้งลอกฟิล์มออกนำไปทดสอบ

ได้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจากสูตร แป้ง : วุ้น : กลีเซอรอล (10 : 4 : 1) และ (10 : 4 : 2)

2.8.4 **ฟิล์มบริโภคได้จากแป้งมันสำปะหลัง (ปนัดดา พวงเกษม. 2540)**

ทำการทดลองเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากแป้งมันสำปะหลัง เตรียมฟิล์มแป้งมันสำปะหลังโดยนำน้ำแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักมา เจลาติไนซ์เติมกลีเซอรอล, ซอร์บิทอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล-400 โดยใช้ปริมาณพลาสติไซเซอร์แต่ละชนิดร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลังพร้อมทั้งกวนตลอดเวลาเป็นเวลา 5 นาที ไล่ฟองอากาศออกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์ (ultrasonic) เป็นเวลา 5 นาที ช้อนฟองทิ้งตั้งทิ้งไว้จนน้ำแป้งเปียกมีอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักแป้งเปียก 70 กรัม แล้วขึ้นรูปแผ่นฟิล์มโดยปรับปรุงจากวิธีการของโครมาโตรกราฟีแบบแผ่นบางซึ่งตั้งความสูงของเครื่องปาดที่ 2.0 มิลลิเมตร และใช้กระจกขึงด้วยฟิล์มพอลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำจนเรียบตึงเป็นวัสดุขึ้นรูปฟิล์มนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแผ่นฟิล์มแห้งสนิทลอกแผ่นฟิล์มซึ่งจะมีขนาด 6 X 9 นิ้ว มาทำการทดสอบ

ได้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจากสูตร น้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 5 : ซอร์บิทอลร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 ให้แผ่นฟิล์มที่มีความเรียบใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 **ฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเขียว (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2540)**

ทำการทดลองเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวโดยแยกโปรตีนจากการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 นอร์มอล ปรับ pH 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริค 0.1 นอร์มอล มีประสิทธิภาพในการแยกสกัดโปรตีนออกจากถั่วเขียว ร้อยละ 90ประสิทธิภาพในการตกตะกอนโปรตีนออกจากสารละลายได้ร้อยละ 84.88

ศึกษากระบวนการผลิตฟิล์ม 2 ปัจจัย คือ ปริมาณของเหลว : ปริมาณของแข็ง (30 : 70, 20 : 80 และ 10 : 90 ) และ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต : ปริมาณโปรตีน (0.05 : 1, 0.10 : 1 และ 0.15 :1) โดยใช้ความเข้มข้นของกลีเซอรอลคงที่ร้อยละ 10

ผลิตฟิล์มโดยทำการผสมส่วนผสมในเครื่องผสมความเร็ว 180 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที เกลี่ยบนแผ่นกระจกให้เรียบเสมอกันจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงลอกแผ่นฟิล์มออกจะได้แผ่นฟิล์มบางสีเหลืองอ่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติ

ได้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจากสูตร ปริมาณของเหลว : ปริมาณของแข็ง (10 : 90) ปริมาณคาร์โบไฮเดรท : ปริมาณโปรตีน (0.05 : 1), (0.10 : 1) และ (0.15 : 1)

2.8.6 **ฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน (จารุณี ยาห้องกาศ. 2543)**

ทำการทดลองเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินโดยได้ออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียล (Factorial experiment) 3 X 3 โดยปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัยคือ

ปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน 3ระดับ คือ 75 : 25, 50 : 50 และ 25 : 75

ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณของกลีเซอรอล 3 ระดับคือร้อยละ 5, 10, 15 (เทียบกับน้ำหนักแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)

ในขณะที่อัตราส่วนระหว่างของแข็ง (แป้งข้าวเจ้าและเพคติน) : ของเหลว (น้ำกลั่น) ที่จะใช้คงที่ที่อัตราส่วน 1 : 8 ผลิตฟิล์มโดยชั่งน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าและเพคติน นำมาผสมกันร่อนผ่านตะแกรงจนส่วนผสมทั้ง 2 เข้ากันดี ค่อยเทลงไปในเครื่องผสม (Mixing) ความเร็วรอบ 350 รอบ/นาที ที่มีการบรรจุน้ำกลั่นตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้และให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน (Water bath) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเพิ่มความเร็วรอบเป็น 500 รอบ/นาที ผสมต่ออีก 5 นาทีค่อยๆเติมกลีเซอรอลลงไปแล้วผสมต่ออีก 5 นาที นำส่วนผสมปริมาณ 45 กรัมมาหล่อลงบนแผ่นพลาสติก (acrylic sheet) ซึ่งต่อขอนสูง 1 มิลลิเมตรให้เต็มพอดีปล่อยให้แห้งในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 – 18 ชั่วโมง แล้วทำการลอกแผ่นฟิล์มออกไปทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองได้สูตรที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เทากับ 25 : 50 และระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5, 10 และ 15

จากตารางที่ 2.3 พบว่าฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังมีความหนา, วอเตอร์แอคทิวิตี และ ความชื้น ต่ำกว่าฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเขียว, ฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน, ฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้า, ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง, ฟิล์มจากนมผง และฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว มีความชื้นต่ำกว่าฟิล์มจากโปรตีนถั่วเขียว และ ฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน มีความต้านทานแรงดึงขาดสูงกว่า ฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเขียว, ฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน, ฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้า, ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง, ฟิล์มจากนมผง และฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว มีความสามารถในการยืดตัวใกล้เคียงกับฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน และ ฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว แต่มีค่าน้อยกว่า ฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเขียว และ ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำ ต่ำกว่า ฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน, ฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้า, ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง, แต่มีค่าสูงกว่า ฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเขียว และ ฟิล์มจากนมผง มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนต่ำกว่า ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง และ ฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว แต่มีค่าสูงกว่า ฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน และมีความต้านทานน้ำมันนานกว่าฟิล์มชนิดอื่นยกเว้นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง

ฟิล์มที่ผลิตจากคาร์โบไฮเดรตมีคุณสมบัติทางด้านความหนา,วอเตอร์แอคทิวิตี, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด และความต้านทานน้ำมัน อยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนและนมผง แต่มีคุณสมบัติด้อยกว่าในด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และ อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ซึ่งต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงต่อไปให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.3** แสดงคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้ชนิดต่างๆ

| ชนิดของฟิล์ม / คุณสมบัติ | โปรตีนสกัดถั่วเขียว | แป้งข้าวเจ้าและเพคติน | แป้งข้าวเจ้า | แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง | แป้งมันสำปะหลัง | นมผง | อะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความหนา (มม.) | 0.143 - 0.162 | 0.650 - 0.080 | 0.112 – 0.123 | 0.017 – 0.036 | 0.042 – 0.048 | 0.128 – 0.240 | 0.037 – 0.052 |
| $A_w$ | - | 0.760 – 0.780 | 0.616 – 0.626 | 0.463 – 0.485 | - | 0.562 – 0.578 | 0.505 – 0.576 |
| ความชื้น (ร้อยละ) | 22.56 – 23.74 | 21.60 – 23.09 | - | 11.04 – 17.06 | - | - | - |
| ความต้านทานแรงดึงขาด (กก./มม.$^2$) | 1.20 – 1.33 | 1.08 – 1.31 | 0.44 – 0.08 | 0.96 – 4.29 | 0.009 – 0.031 | 0.74 – 1.20 | 1.59 – 2.29 |
| ความสามารถในการยืดตัว (ร้อยละ) | 14.33 – 17.33 | 1.70 – 3.13 | - | 1.25 – 4.30 | 1.28 – 15.50 | - | 1.00 – 3.15 |
| อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (ก./ม.$^2$วัน) | 4.75 – 5.36 | 70.46 – 122.9 | 100.5 – 176.9 | 19.40 – 32.48 | 66.8 – 144.8 | 3.80 – 8.72 | - |
| อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (มล./ม.$^2$/วัน.บรรยากาศ) | - | 79.70 – 137.3 | - | 161 - 592 | 6350 - 31365 | - | $1.09X10^3$ – $1.56X10^3$ |
| ความต้านทานน้ำมัน (ชั่วโมง) | >36 | >480 | - | >720 | >2160 | - | >36 |

# บทที่ 3
# อุปกรณ์และวิธีการ

## 3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 แป้งข้าวเจ้า ตราช้างสามเศียร บริษัท โรงเส้นหมี่ซอเฮง จำกัด

3.1.2 แป้งมันสำปะหลัง ตราปลาสี่ดาว บริษัท อี. ที. ซี. เอี๊ยบตงจั่น จำกัด

## 3.2 สารเคมี

3.2.1 กลีเซอรอล glycerine zer analyse ( et. wa 87%) Merck , Germany

## 3.3 อุปกรณ์ในการผลิต

3.3.1 แผ่นพลาสติก( Acrylic sheet ) ขนาด 20 x 30 เซนติเมตร ต่อขอบสูง 1 มิลลิเมตร

3.3.2 เครื่องชั่งสาร OHOUS , U.S.A.

3.3.3 เครื่องผสม ( Mixing ) IKA. Labortechmik , Germany

3.3.4 อ่างน้ำร้อน ( Water bath ) Memmert, Germany

3.3.5 ตู้อบลมร้อน ( Hot air oven ) Memmert, Germany

3.3.6 อุปกรณ์เครื่องแก้วและเคมีภัณฑ์

## 3.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.4.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง UV 1601UV-VIS SPECTROPHOTOMETRES, USA

3.4.2 เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (texture Analyser ) TA – XT2 , England

3.4.3 เครื่องวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม ( thickness tester) model 49 – 72 TMI, USA

3.4.5 เครื่องวัดค่า วอเตอร์แอคทิวิตี NOVASINA RS232, Switzerland

3.4.6 เครื่องวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) Iso 2528 – 1974 E , U.S.A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 เครื่องวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen Permeation Analyser)

## 3.5 สถานที่ทดลอง

3.5.1 ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5.2 การวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และการวัดความหนา ใช้เครื่องมือภาควิชาบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## 3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีวัตถุดิบ

ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ ความชื้น , โปรตีน , ไขมัน , เยื่อใย , เถ้า , และคาร์โบไฮเดรททั้งหมด (AOAC,1995) และหาปริมาณอะมิโลส (Juliano,1971)

3.6.1.1 การหาความชื้น (Moisture Content) ใช้วิธีของ (AOAC Method No.925.10 (1995 : Chapter 32 หน้า 1)

เตรียมจานโลหะ (Dish) และฝาที่เย็นและทราบน้ำหนักแล้ว (โดยอบที่ 130 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส) ใส่ตัวอย่าง ประมาณ 2 – 3 กรัม (บันทึกน้ำหนักแห้งที่แน่นอน) เปิดฝา อบพร้อมฝาในตู้อบ 1 ชั่วโมง (เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิถึง 130 องศาเซลเซียส) เมื่อครบเวลาปิดฝาขณะอยู่ในตู้อบ ทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ (Desicator) บันทึกน้ำหนักไว้ และอบต่ออีกประมาณ 10 – 15 นาที ทำเช่นนี้จนได้น้ำหนักคงที่และคำนวณปริมาณความชื้น (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) จากน้ำหนักที่หายไปในระหว่างการอบ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไปในการอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1.2 การหาปริมาณโปรตีน (Protein) ใช้วิธี AOAC Method No.984.13 (1995:Chapter 4 หน้า 11)

ดัดแปลงใช้คอปเปอร์ซัลเฟตและโปตัสเซียมซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำตัวอย่างประมาณ 3-5 กรัม มาย่อยด้วยกรดซัลฟุริคเข้มข้น 2 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวอยู่ด้วย ทำการย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส จึงทำให้เย็นแล้วนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นขนาดเล็ก เก็บส่วนที่เป็นแอมโมเนียซึ่งควบแน่นในสารละลายกรดบอริคเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ นำไปไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนอินดิเคเตอร์ (เมทธิลเรทและบลอมคลีเซอกรีน) เปลี่ยนจากสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นสีแดง นำปริมาณกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ในการไตเตรท ไปคำนวณหาค่าปริมาณไนโตรเจน (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) แล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ 6.25 จะได้ปริมาณโปรตีน (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ไตเตรต) ตามต้องการ

3.6.1.3 การหาปริมาณไขมัน (Crude Fat) ใช้วิธีของ AOAC Method No.920.85 (1995 : Chapter 32 หน้า 5)

ชั่งตัวอย่างที่อบแล้ว 3-4 กรัม ใส่ในกระดาษกรอง แล้วห่อใส่ทิมเบิล (Timble) ปิดด้านบนของตัวอย่างด้วยสำลีหรือกระดาษกรอง นำทิมเบิลใส่ลงในหลอดสกัด (Extraction tube) ที่ด้านบนต่อกับเครื่องควบแน่น (Condenser) ด้านล่างต่อกับขวดก้นกลม ใส่ ปิโตรเลี่ยมอีเทอร์ (Petroliumether) 150 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมต่อเครื่องสกัดไขมัน ( Soxhlet) ทั้งหมด ปรับระดับความร้อน ทำการสกัด 2 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไประเหยอีเทอร์ (Ether) ออกด้วยเครื่องระเหยภายใต้สูญญากาศ (Vacuum rotary evaporator) แล้วนำส่วนไขมันไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส 30 นาที ทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ (Desiccator) แล้วชั่งน้ำหนักไขมัน

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

3.6.1.4 การหาปริมาณเยื่อใย (Crude Fiber) ใช้วิธีของ AOAC Method No.962.09 (1995 : Chapter 4 หน้า 24)

เตรียมตัวอย่างที่วิเคราะห์โดยร่อนผ่านตะเกรงเบอร์ 20 (เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร) และอบกระดาษกรอง (Filter paper) ที่อุณหภูมิ 80 – 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างใส่ในบีคเกอร์ (Beaker) เติมกรดไฮโดรคลอริ คเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองผ่านผ้าลินิน โดยใช้กรวยกรอง (buncher funnle) ล้างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือด จนหมดกรดตรวจด้วยกระดาษลิตมัส ( litmus) ล้างผ้าลินินด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดอีกครั้ง และล้างด้วยแอลกอฮอล์สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท้าย นำกระดาษกรองที่มีเยื่อใย อบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาในครูซิเบิล (Crusible) จนหมดควัน แล้วนำมาใส่เตาเผา (Muffle furnace) อุณหภูมิ 550 – 600 องศาเซลเซียส จนเป็นเถ้าสีขาว ทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาณเยื่อใย

$$\% \text{ เยื่อใย} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

3.6.1.5 การหาปริมาณเถ้า (Ash) ใช้วิธีของ AOAC Method No.923.03 (1995 : Chapter 4 หน้า 32)

ชั่งตัวอย่าง 2-3 กรัม ใส่ในครูซิเบิล (Crusible) ที่เผาในเตาเผา ทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ( Desiccator) และชั่งน้ำหนักแล้วเผาบนเตา (Hot plate) จนเป็นสีเทา ไม่มีควัน นำไปเผาต่อในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่ 550 องศาเซลเซียส จนเป็นสีขาว หรือมีน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าที่ได้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

3.6.1.6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดต คำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการ ดังนี้คือ

%คาร์โบไฮเดรต = 100 – (%ความชื้น + % โปรตีน + % ไขมัน + % เยื่อใย + % เถ้า)

3.6.1.7 การหาปริมาณอะมิโลส (Juliano 1971 : 334-338,340,360)

1 ) การเตรียมตัวอย่าง นำแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ไปสกัดไขมันออกโดยใช้เอทธานอล (Ethanol) 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังที่ได้มาแผ่เป็นชั้นบาง ๆ ในถาด ทำให้มีความชื้นสมดุลย์และคงที่

2 ) การเตรียมสารละลายตัวอย่าง ชั่งตัวอย่าง 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาณ 100 มิลลิลิตร ค่อยๆ เติมเอทธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร ลงไปเพื่อล้างตัวอย่าง ที่ติดข้างขวดแก้ว เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล 9.2 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 – 24 ชั่วโมง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ) การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพเทโตอะมิโลส เติมเอทธานอล (Ethanol) 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล 9.2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 15 – 24 ชั่วโมง และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

4 ) การเตรียมสารละลายแบลงค์ (Blank) เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.09 นอร์มัล 5 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดอะซิติก 1 นอร์มัล จำนวน 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วทิ้งไว้ 15 – 20 นาที

5 ) การทำกราฟสารละลายมาตรฐานโพเทโตอะมิโลส ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพเทโตอะมิโลส ลงในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร 5 ใบ โดยปิเปตลงใบละ 1 , 2 , 3 , 4 และ 5 มิลลิลิตร (เทียบเท่ากับ 8, 16 , 24 , 32 และ 40 เปอร์เซ็นต์อะมิโลสของแป้ง) จากนั้นเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติก 1 นอร์มัล ลงในขวดแก้วใบละ 0.2 , 0.4 , 0.6 , 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร แล้วเติมไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วทั้ง 5 ใบ แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นทิ้งไว้ 15 – 20 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตรโดยใช้แบลงค์ปรับค่า ก่อนทำการวัดนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานโพเทโตอะมิโลสที่วัดได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในตัวอย่างก็ทำได้โดย ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติก 1 นอร์มัล ลงในขวดแก้วจำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วเติมไอโอดีน 2 มิลลิลิตรปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น นำขวดไปเก็บไว้ในที่มืด 20 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่วัดได้มาหาปริมาณอะมิโลสจากกราฟมาตรฐานสารละลายโพเทโตอะมิโลส

### 3.6.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

3.6.2.1 การหาสูตรและสภาวะในการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ได้ทำการหาสภาวะและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มดังนี้

จากการศึกษาเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังโดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 3 : 7, 1 : 1, 7 : 3, 0 : 10 และ 10 : 0 โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ที่ระดับร้อยละ 2 , 5 และ 10 (โดยปริมาตร) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลวเท่ากับ 1 : 1 (ของแข็งคือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำปะหลัง ส่วนของเหลวคือ น้ำ) ในการทดลองทำการผสมแป้งข้าวเจ้ากับ แป้งมันสำปะหลัง และน้ำในเครื่องผสมที่มีการให้ความร้อน โดยอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 100 และ 500 รอบ/นาที ค่อยๆ เติมกลีเซอรอลลงไปทำการผสมนาน 10 และ 15 นาที ชั่งน้ำหนักสารผสม 60 กรัม นำมาขึ้นรูปบนแผ่นกระจกซึ่งหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนทั้งแผ่น จนเรียบตึงเกลี่ยสารผสมให้เรียบเสมอกันจากนั้นจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 – 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ มีลักษณะเป็นแผ่นแป้งมีรอยแตกกระจายทั่วแผ่น

จากการศึกษาในข้างต้น จึงมีการปรับปรุงสูตรในการเตรียมฟิล์มขึ้นใหม่โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 4, 2 : 3, 1 : 1, 3 : 2, 4 : 1, 0 : 5 และ 5 : 0 โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ที่ระดับร้อยละ 5 ,7.5, 10 และ 20 และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 2 โดยทำการผลิตฟิล์มใช้วิธีเช่นเดียวกันกับชุดแรก แต่มีการปรับปรุงใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 65 และ 70 องศาเซลเซียส, ความเร็วในการผสมเท่ากับ 150 รอบ/นาที และระยะเวลานาน 20 และ 30 นาที ซึ่งจากการทดลองพบว่าได้ฟิล์มที่มีลักษณะขาวขุ่น เปราะบาง แตกง่าย และลอกยาก

จากการศึกษาดังกล่าวจึงได้มีการปรับปรุงสูตรในการผลิตฟิล์มโดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 2, 1 : 1, 2 : 1, 0 : 3 และ 3 : 0 โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ที่ระดับร้อยละ 10 ,12.5, 15, 17.5 และ 20 และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 3.33 โดยทำการผลิตฟิล์มใช้วิธีขึ้นรูปเช่นเดียวกันกับชุดแรก แต่มีการปรับปรุงใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 75 องศาเซลเซียส ระยะเวลานาน 40 นาที ซึ่งพบว่าได้ฟิล์มที่มีลักษณะบางใสแต่มีรอยแตก และบางส่วนหนาไม่สม่ำเสมอกัน ลอกแผ่นฟิล์มออกได้ยาก

การศึกษาในขั้นต่อมาได้มีการปรับปรุงสูตร โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 2, 1 : 1, 1 : 3 โดยใช้กลีเซรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ที่ระดับร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7 และ 1 : 5 โดยใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วในการผสมที่ 250 รอบ/นาที และระยะเวลานาน 20 นาที ส่วนการผลิตฟิล์มมีการปรับปรุงการขึ้นรูปโดยใช้ แผ่นพลาสติกอะคลิลิกขนาด 20 X 30 เซนติเมตร ต่อขอบสูง 1 มิลลิเมตรทั้งสี่ด้าน นำสารผสม 60 กรัม เทลงบนแผ่นพลาสติกแล้วกระจายให้มีความเรียบเสมอกัน จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลานาน 18 – 24 ชั่วโมง ได้ฟิล์มที่มีลักษณะเรียบบางมีความหนาสม่ำเสมอกันและมีความใสสามารถลอกออกจากแผ่นพลาสติกได้ง่ายแต่ฟิล์มบางแผ่นที่ใช้ระดับกลีเซอรอลสูงจะมีความชื้นเหนอะ (แสดงดังตารางภาคผนวก ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาเบื้องต้นทำให้ได้ได้สูตรที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มคืออัตราส่วนระหว่างของแข็ง (แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง) ต่อ ของเหลว (น้ำ) เท่ากับ 1 : 7 (สูตรที่ 2) และ 1 : 5 (สูตรที่ 1 และ 3) โดยศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยแรก สัดส่วนของแข็ง แป้งข้าวเจ้า ต่อแป้งมันสำปะหลังคือ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) (โดยน้ำหนักของแข็ง) และปัจจัยต่อมาคือ ปริมาณกลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 (โดยปริมาตร) เป็นพลาสติไซเซอร์

จากการศึกษาเบื้องต้นนี้จึงได้ออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียล(Factorial experiment) 5X3 โดยปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ดังนี้

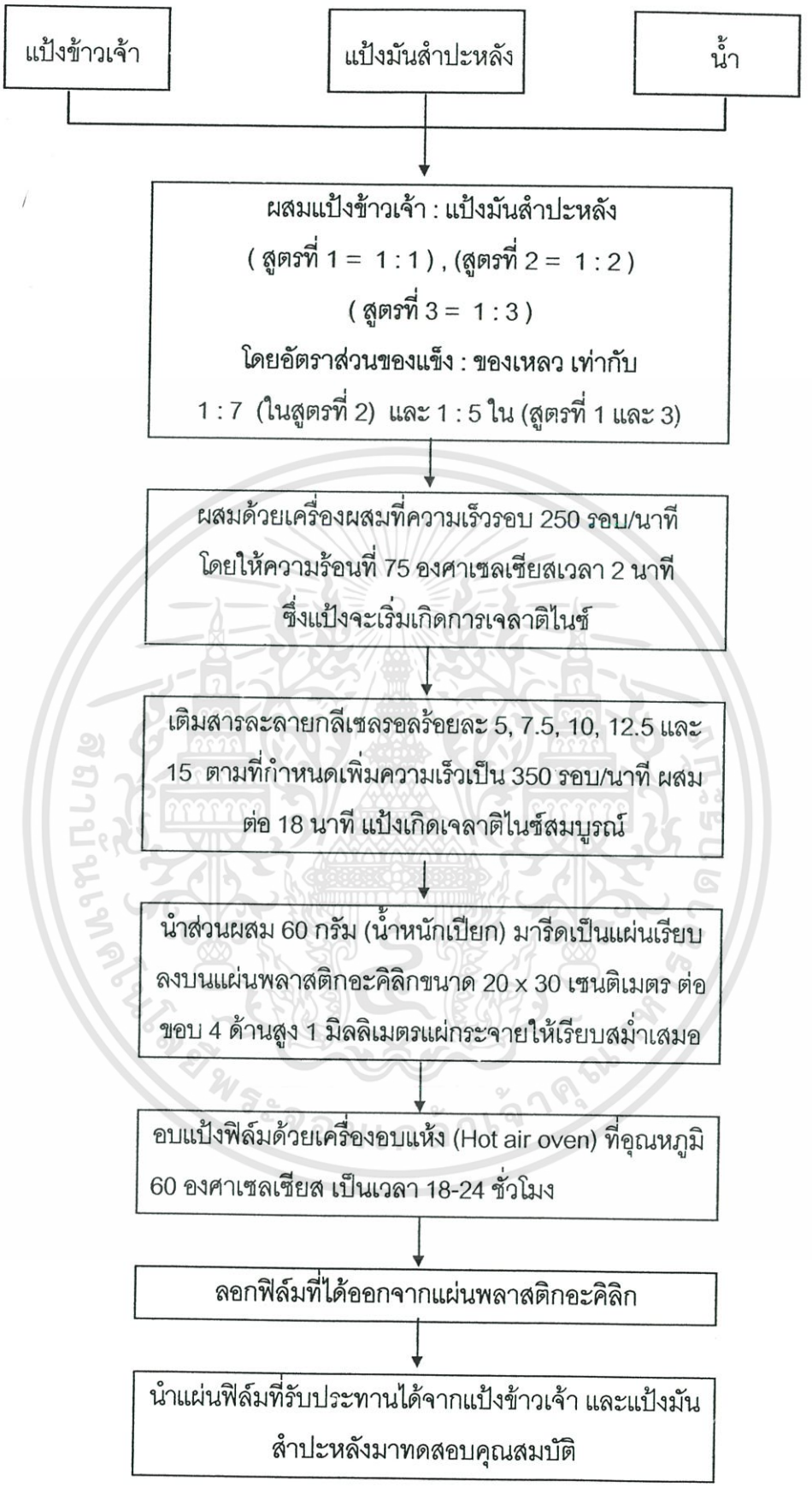
ปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วนระหว่าง แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่1) ,1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่3) (โดยน้ำหนักของแข็ง)

ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 5 , 7.5 , 10 , 12.5 และ 15 (โดยปริมาตร) อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลวที่ใช้จะคงที่ที่อัตราส่วน 1 : 7 (สูตรที่ 2) และ 1 : 5 (สูตรที่ 1 และ 3)

3.6.2.2 การเตรียมสารผสมสำหรับผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังเริ่มต้นการเตรียมฟิล์มโดยผสมแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำตามอัตราส่วน จากนั้นผสมส่วนผสมด้วยเครื่องผสมที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที โดยให้ความร้อนที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ซึ่งแป้งจะเริ่มเกิดการเจลาสติไนซ์ จากนั้นจึงเติมสารละลายกลีเซอรอลตามที่กำหนดเพิ่มความเร็วของเครื่องผสมเป็น 350 รอบ/นาที ผสมต่อ 18 นาที โดยแป้งจะเกิดเจลาติไนซ์อย่างสมบูรณ์

3.6.2.3 วิธีการขึ้นรูปฟิล์มโดยนำส่วนผสมปริมาณ 60 กรัม (น้ำหนักเปียก) นำมาแผ่ลงบนแผ่นพลาสติกอะคิลิกแบนเรียบขนาด 20 x 30 เซนติเมตรซึ่งต่อขอบทั้ง 4 ด้านขึ้นมาสูง 1 มิลลิเมตรจากนั้นใช้ไม้บรรทัดแผ่กระจายให้เป็นแผ่นที่มีมีความสม่ำเสมอจากนั้นอบแห้งฟิล์มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง และลอกฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังออกจากแผ่นพลาสติกอะคิลิกนำมาทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม (แสดงดังรูปที่ 3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 3.1 แผนผังการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

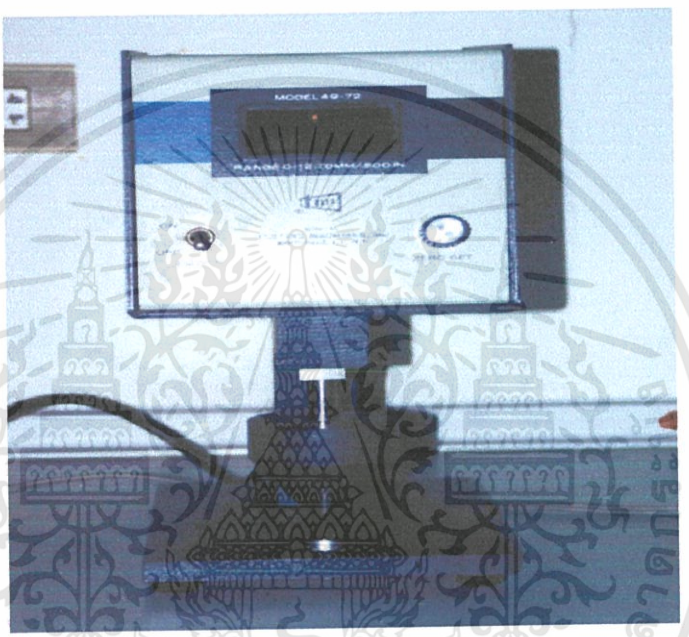
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.6.3 การทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง**

3.6.3.1 ความหนาของแผ่นฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

อุปกรณ์ : เครื่องวัดความหนา (Thickness Tester model 49-72 TMI, U.S.A.)

วิธีการ : นำแผ่นฟิล์มมาใส่ลงในเครื่องวัดความหนา เครื่องจะทำการวัดความหนาและให้ค่าความหนาบนเสกลหน้าปัดของเครื่อง



**รูปที่** 3.2 เครื่องวัดความหนาของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง Thickness Tester model 49-72 TMI, U.S.A(ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

3.6.3.2 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

อุปกรณ์ : เครื่องวัดค่า วอเตอร์แอคทิวิตี ($A_w$ NOVASINA RS 232 , Switzerland)

วิธีการ : 1. นำฟิล์มมาบดให้ละเอียด

2. ทำการคาร์ลิเบรทเครื่อง (คู่มือการใช้)

3.นำตลับพลาสติก (Sample cup) มาใส่ฟิล์มตัวอย่างที่บดละเอียดให้ได้ปริมาตร 80 – 90 %

4. นำตลับตัวอย่างมาใส่ไว้ใน Measuring Chamb

5. ตั้งอุณหภูมิให้ได้ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. รอจนกระทั่งอ่านอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ของอากาศที่วัดได้อยู่ในสภาวะสมดุลย์ (Equilibrium) กับสารตัวอย่าง อ่านค่า $A_w$ ที่วัดได้

**รูปที่** 3.3 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี NOVASINA RS 232, Switzerland

3.6.3.3 ความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยวิธีการ AOAC Method No.925.10 (1995 : Chapter 32 หน้า 1)

อุปกรณ์ : ภาชนะหาความชื้น , ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) และโถดูดความชื้น (Desicator)

วิธีการ : ชั่งตัวอย่างฟิล์มน้ำหนักประมาณ 2 – 3 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ลงในภาชนะหาความชื้นแล้วนำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ บันทึกน้ำหนัก และอบต่ออีกประมาณ 10 –15 นาที ทำเช่นนี้จนได้น้ำหนักคงที่และคำนวณปริมาณความชื้น (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) จากน้ำหนักที่หายไปในระหว่างการอบดังนี้

การคำนวณ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3.4 ความต้านทานแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัว (tensile strength and elongation) โดยวิธีการ Standard Method D 882-91 ASTM (1991 : 39-47)

อุปกรณ์ : หาความต้านทางแรงดึงขาด และความสามารถในการยืดตัว โดยใช้เครื่อง TA-XT2 Texture Analyser, England โดยใช้หัวทดสอบแบบที่มีลักษณะเป็นหัวหนีบ 2 หัว ตั้งระยะ ห่างกัน 20 มิลลิเมตร เครื่องวัดนี้จะต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์ รายงานผลเป็นค่าความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) แล้วนำกราฟของแต่ละตัวอย่างที่ทดสอบมาหาความสามารถในการยืดตัว (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว)

วิธีการ : ตัดตัวอย่างฟิล์ม กว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร ยึดปลายข้างหนึ่งของตัวอย่างกับหัวทดสอบให้แน่น แล้วจึงยึดปลายอีกข้างหนึ่ง โดยไม่ให้ตึงเกินไป ไม่ควรจับชิ้นงานตัวอย่างส่วนที่อยู่ระหว่างที่ยึด เริ่มทดสอบโดยปรับเครื่องทดสอบให้มีค่าอัตราเร็วในการดึง 1.5 มิลลิเมตร/ นาที และมีค่า load cell เท่ากับ 10 กิโลกรัม ถ้าชิ้นตัวอย่างเลื่อนหรือขาดตรงขอบที่ยึด แสดงว่ามีแรงตามแนวกว้างของชิ้นตัวอย่างไม่สม่ำเสมอให้ตัดค่าที่อ่านได้ทิ้งไป รายงานค่าความต้านทานแรงดึงขาด (กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร)

การคำนวณ :

$$\text{ค่าความต้านทานแรงดึงขาด} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้ (กิโลกรัม)}}{\text{ความกว้าง (มิลลิเมตร) X ความหนา (มิลลิเมตร) ของฟิล์ม}}$$

$$\text{การยืดตัว (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{ระยะยืดตัวของชิ้นทดสอบ X 100}}{\text{ความยาวเดิมของชิ้นตัวอย่างระหว่างหัวทดสอบ (มิลลิเมตร)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่** 3.4 เครื่องวัดความต้านทานแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัว (Texture Analyser) TA – XT2, England

3.6.3.5 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง (Water Vapor Transmission Rate : WVTR) แบบ Dish-method ตามวิธีของ ASTM (1994 : 696 - 703)

อุปกรณ์และสารเคมี : ถ้วยทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ, เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์, เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง, เทียนไข, และซิลิกาเจลที่อบแห้งแล้ว

วิธีการ : ตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 ซ.ม. ตัวอย่างละ 3 ชิ้น โดยตัวอย่างต้องปราศจากรอยพับขีด รูรั่วที่มองเห็นได้ นำมาวางปิดปากถ้วยทดสอบที่มีซิลิกาเจลที่อบแห้งแล้วบรรจุอยู่ผนึกรอบปากถ้วยด้วยเทียนไขเพื่อมิให้มีรอยรั่วนำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 27 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 $\pm$ 2 บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทุก 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน

การคำนวณ :

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate = WVTR) $= \frac{(G / t)}{A}$

(กรัมต่อตารางเมตร . 24 ชั่วโมง)

โดยที่ G / T = อัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักต่อเวลา

A = พื้นที่ของตัวอย่าง = 28.27 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

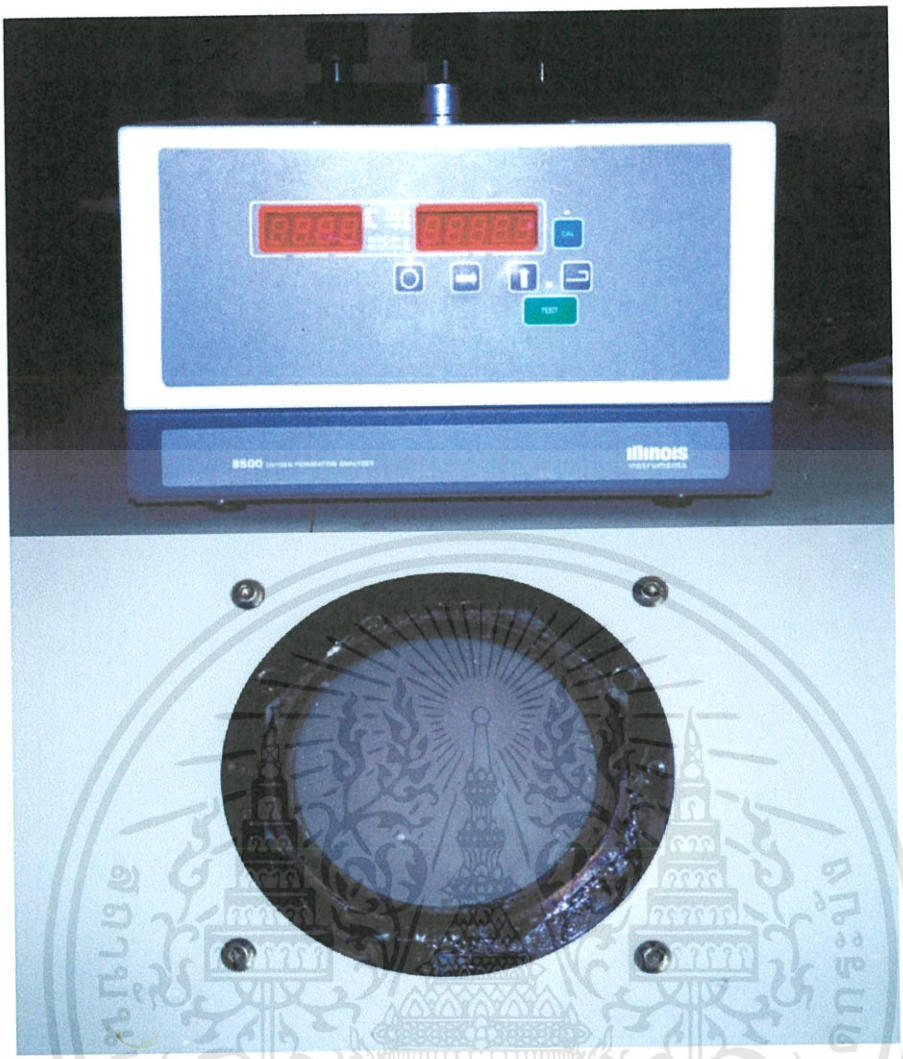
**รูปที่** 3.5 ชุดทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ แบบ Dish method ตามวิธีของ ASTM
(ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

3.6.3.6 อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ตามวิธี ASTM D 1434 – 82 (Reapproved 1992 : 207 - 218)

อุปกรณ์ : เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen permeation analyser) model 8500 , U.S.A.

วิธีการ : ตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาด 8 เหลี่ยมเท่ากับแผ่น template โดยตัวอย่างต้องปราศจากรอยพับ ขีด รูรั่วที่มองเห็นได้ เปิดแก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจน ให้มีความดันอยู่ระหว่าง 40 – 70 psi เปิดสวิตซ์ที่ด้านหลังเครื่อง เปิดฝาครอบ chamber ออก ทาพาราฟินบางๆ บริเวณซีลวงแหวนทั้งด้านบนและด้านล่าง นำฟิล์มที่เตรียมไว้วางลงบนส่วนล่างของ chamber ซึ่งได้ทาพาราฟินไว้แล้ว ในการวางฟิล์มจะต้องวางให้ตึงไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่บริเวณวงแหวน ปิดฝา chamber โดยหมุนน็อตทุกตัวให้แน่น หมุนวาล์วปิดเปิด sensor ไปที่ตำแหน่ง OPEN ใน Mode Select หมุนสวิตซ์ Flow ไปที่ Purge ซึ่งเครื่องจะไล่แก๊สออกซิเจนที่อยู่ใน chamber ทั้งส่วนบนและส่วนล่างออกให้หมด จะใช้เวลาประมาณ 15 –30 นาที จากนั้นหมุนสวิตซ์ Flow ใน Mode Select ไปที่ Test เลือกช่วงของการทดสอบให้เหมาะสมถ้าหน้าจอของส่วนของ Test แสดง " 1 " จะหมายความว่าค่าที่วัดได้มีค่ามากกว่าช่วงของการทดสอบที่เลือก ให้หมุนปรับช่วงใหม่ รอจนกว่าค่าที่ได้จะคงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มที่ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 3.6 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen permeation analyser) model 8500, U.S.A. (ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

3.6.3.7 ความต้านทานน้ำมัน (grease and oil resistance) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยดัดแปลงวิธี TAPPI – T 454 (1989 : 112)

อุปกรณ์ : แผ่นพลาสติกที่เจาะช่องขนาด 2 ตารางนิ้ว, แท่นรองรับ, นาฬิกาจับเวลา, ปิเปต, น้ำมันพืช กรองผ่านกระดาษกรองและเก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด

วิธีการ : ตัดแผ่นฟิล์มขนาดที่กำหนด วางลงบนแผ่นพลาสติก หยดน้ำประมาณ 2 มิลลิลิตร ลงบนแผ่นฟิล์ม สังเกตและจับเวลาดูแผ่นฟิล์มจนกว่าจะอิ่มตัวจนกระทั่งน้ำมันทะลุผ่านแผ่นฟิล์ม

การคำนวณ : คิดเวลาที่น้ำมันซึมผ่านแผ่นฟิล์มเป็นค่าความต้านทานของน้ำมันของแผ่นฟิล์ม (นาที หรือ ชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 **การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

ศึกษาอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลัง และอัตราส่วนกลีเซอรอลที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังโดยเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติตามแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial design) 5 X 3 โดยปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลัง 3 อัตราส่วนคือ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2), 1 : 3 (สูตรที่ 3) ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณกลีเซอรอล 5 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี Duncan' s Multiple Range Test (DMRT) คำนวณหาความสัมพันธ์ในรูปของค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของปัจจัยทั้ง 2 ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์ม ซึ่งได้แก่ ความหนา, วอเตอร์แอคทิวิตี, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด, ความสามารถในการยืดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และ อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรม spss version 7.5 และ statgraphic version 3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการทดลอง

## 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

### 4.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, เถ้า, คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด และ อะมิโลส พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีความชื้นร้อยละ 11.22 $\pm$ 0.033, โปรตีนร้อยละ 4.20 $\pm$ 0.025, ไขมันร้อยละ 0.21 $\pm$ 0.02 , เยื่อใยร้อยละ 0.15 $\pm$ 0.015, เถ้าร้อยละ 0.25 $\pm$ 0.02 , คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 83.98 $\pm$ 0.451 และ อะมิโลส ร้อยละ 26.52 $\pm$ 0.113 ส่วนแป้งมันสำปะหลัง พบว่า มีความชื้นร้อยละ 13.18 $\pm$ 0.137, โปรตีนร้อยละ 0.12 $\pm$ 0.10 , ไขมันร้อยละ 0.10 $\pm$ 0.015 , เยื่อใยร้อยละ 0.20 $\pm$ 0.005, เถ้าร้อยละ 0.28 $\pm$ 0.011 , คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 86.11 $\pm$ 0.150 และ อะมิโลส ร้อยละ 31.39 $\pm$ 0.056

ในส่วนของแป้งข้าวเจ้า ความชื้น, เถ้า และปริมาณอะมิโลส สอดคล้องตามเกณฑ์กำหนด ตามมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า (มอก.638-2529) ซึ่งกำหนดว่าแป้งข้าวเจ้าต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13.0, ปริมาณแป้งไมน้อยกว่าร้อยละ 85.0, เถ้าไม่เกินร้อยละ 0.50, เถ้าที่ไมละลายในกรดไมเกินร้อยละ 0.030 และปริมาณอะมิโลสไมน้อยกว่าร้อยละ 15.0

สำหรับแป้งมันสำปะหลัง ความชื้น, เถ้า และปริมาณอะมิโลส สอดคล้องตามเกณฑ์กำหนด ตามมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังชั้นคุณภาพ 3 (มอก.274-2521) ซึ่งกำหนดว่าแป้งข้าวเจ้าต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14.0, ปริมาณแป้งไม่น้อยกว่าร้อยละ 94.0, เถ้าไม่เกินร้อยละ 0.50, เถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่เกินร้อยละ 0.15, โปรตีนไม่เกินร้อยละ 0.3

เมื่อพิจารณาปริมาณอะมิโลสของแป้งข้าวเจ้ามีค่าสูงถึงร้อยละ 26.52 อาจระบุได้ว่าจัดอยู่ในกลุ่มอะมิโลสปานกลาง คือมีอะมิโลสร้อยละ 25 – 27 ส่วนแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า คือ 31.39 จัดอยู่ในกลุ่มอะมิโลสสูง คือมีอะมิโลส สูงกว่าร้อยละ 27 (cagampang et al. 1973)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

| องค์ประกอบทางเคมี | แป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ) | แป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ) |
|---|---|---|
| ความชื้น | 11.22 ±0.033 | 13.18 ±0.137 |
| โปรตีน | 4.20 ±0.025 | 0.12 ±0.010 |
| ไขมัน | 0.21 ±0.026 | 0.10 ±0.015 |
| เถ้า | 0.25 ±0.020 | 0.28 ±0.011 |
| เยื่อใย | 0.15 ±0.015 | 0.20 ±0.005 |
| คาร์โบไฮเดรต | 83.98 ±0.451 | 86.12 ±0.150 |
| อะมิโลส | 26.52 ±0.113 | 31.39 ±0.056 |

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

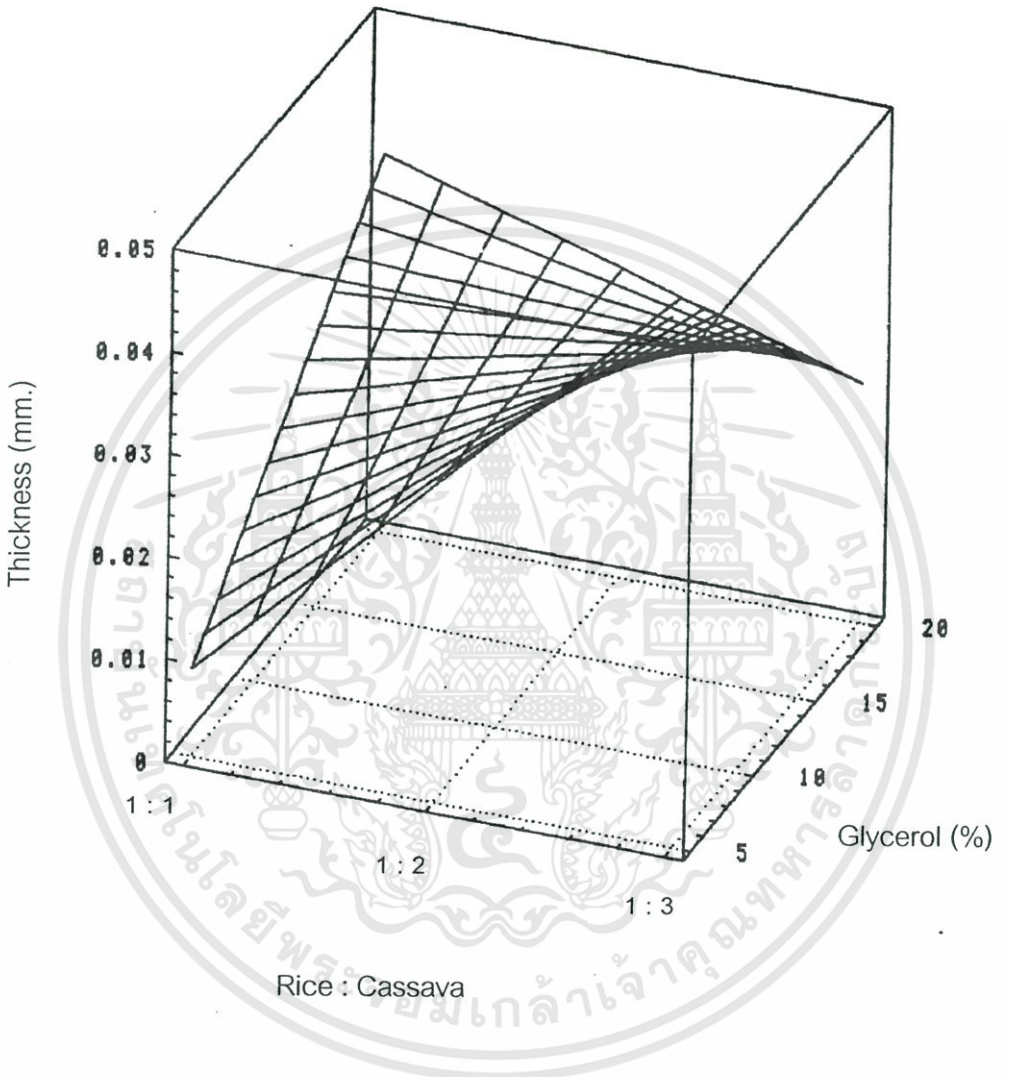
## 4.2 คุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

### 4.2.1 ความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ในแต่ละอัตราส่วนจะใช้กลีเซอรอล 5 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ15 (โดยปริมาตร) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7 ในสูตรที่ 2 และ 1 : 5 ในสูตรที่ 1 และ 3 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำ) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีความหนาอยู่ระหว่าง 0.013 $\pm$ 0.001 ถึง 0.036 $\pm$ 0.000 มิลลิเมตร (แสดงดังรูปที่ 4.1) โดยฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 2 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีความหนาต่ำที่สุด เท่ากับ 0.013 $\pm$ 0.001 มิลลิเมตร และ ฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 3 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีความหนาสูงที่สุด เท่ากับ 0.036 $\pm$ 0.000 มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 มีความหนาแตกต่างจากอัตราส่วน 1 : 2 และ 1 : 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น ส่วนผลของพลาสติไซเซอร์ คือ ปริมาณกลีเซอรอลต่อความหนาของฟิล์มพบว่า ที่ระดับร้อยละ15 จะมีความหนาแตกต่างจากระดับ 5, 7.5, 10 และ 12.5 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือที่ระดับร้อยละ 15 จะมีความหนามากที่สุด ระดับร้อยละ 12.5, 10 และ 7.5 มีความหนารองลงมาตามลำดับ และที่ระดับร้อยละ 5 จะมีความหนาต่ำที่สุด แสดงว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นความหนาก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534; สุวัฒนา พฤกษศรี. 2539; ภาณุวัฒน์ ถวิลการ. 2539 ที่พบว่าฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการละลายไม่สมบูรณ์ของอะมิโลสทำให้เกิดลักษณะเป็นผลึกบนแผ่นฟิล์มความหนาจึงเพิ่มขึ้น ความหนาของแผ่นฟิล์มทุกการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ทำถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร ซึ่งระบุความหนาไว้ไม่เกิน 0.010 – 0.100 มิลลิเมตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2534)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 4.1 กราฟแสดงความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

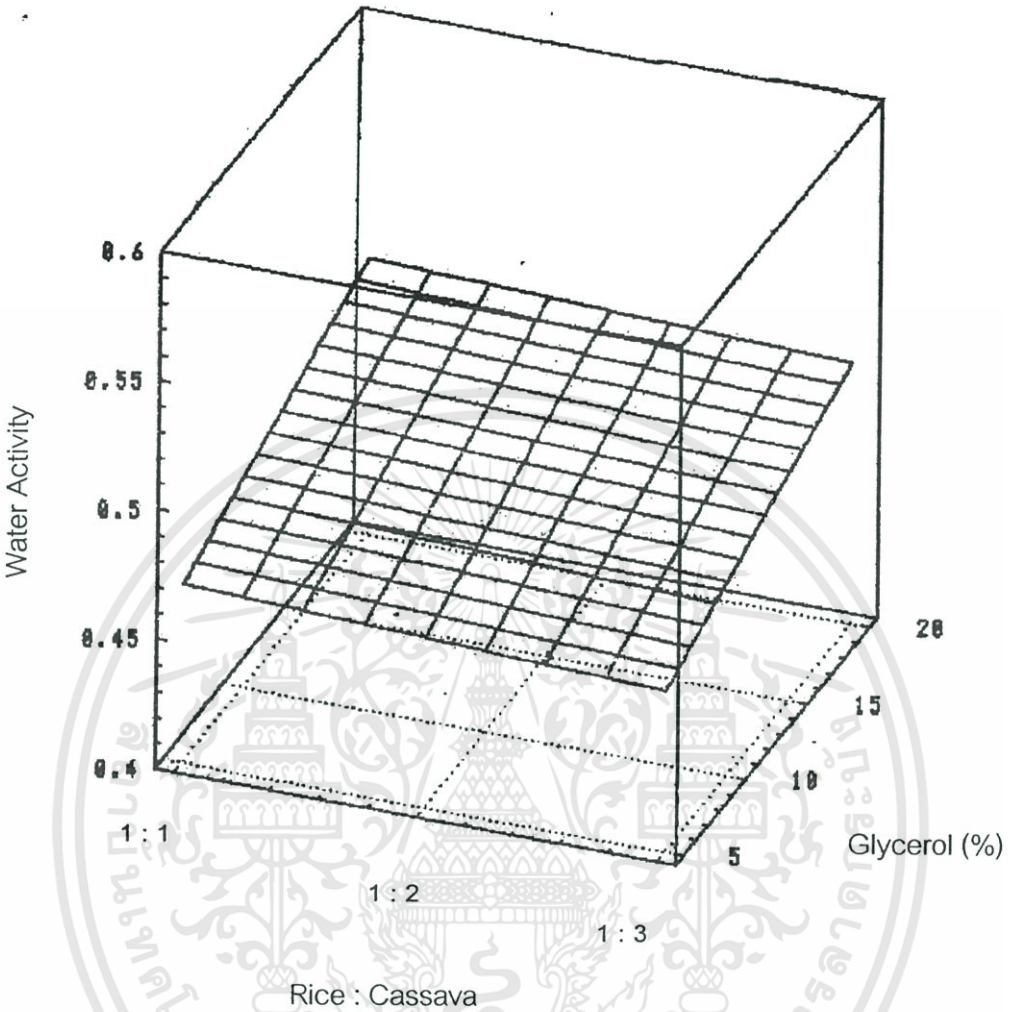
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 **ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ($A_w$) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง**

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ในแต่ละอัตราส่วนจะใช้กลีเซอรอล 5 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ15 (โดยปริมาตร) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7 ในสูตรที่ 2 และ 1 : 5 ในสูตรที่ 1 และ 3 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำ) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีค่า $A_w$ อยู่ระหว่าง 0.463 $\pm$ 0.001 ถึง 0.501 $\pm$ 0.004 (แสดงดังรูปที่ 4.2) โดยฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 3 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีค่า $A_w$ ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.463 $\pm$ 0.001 และ ฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 2 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีค่า $A_w$ สูงที่สุด เท่ากับ 0.501 $\pm$ 0.004

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 มีค่า $A_w$ แตกต่างจากอัตราส่วน 1 : 2 และ 1 : 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่า $A_w$ ของฟิล์มลดลง ส่วนผลของพลาสติไซเซอร์ คือ ปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า $A_w$ ของฟิล์มพบว่า ที่ระดับร้อยละ15 มีค่า $A_w$ แตกต่างจากระดับ 5, 7.5, 10 และ 12.5 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือที่ระดับร้อยละ 15 จะมีค่า $A_w$ มากที่สุด ระดับร้อยละ 12.5, 10 และ 7.5 มีค่า $A_w$ รองลงมาตามลำดับ และที่ระดับร้อยละ 5 จะมีค่า $A_w$ ต่ำที่สุด แสดงว่าเมื่อปริมาณ กลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นค่า $A_w$ ก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534 ที่พบว่าฟิล์มออบเลตของอะมิโลสจากมันเทศมีค่า $A_w$ เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น และค่า $A_w$ ที่ได้จากการทดลอง ค่อนข้างจะปลอดภัยจาก normal bacteria, normal yeast และ normal mold ซึ่งมีค่า $A_w$ ต่ำสุดที่สามารถเจริญเติบโตได้ เท่ากับ 0.91, 0.88 และ 0.80 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 4.2 กราฟแสดงวอเตอร์แอคทิวิตีของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

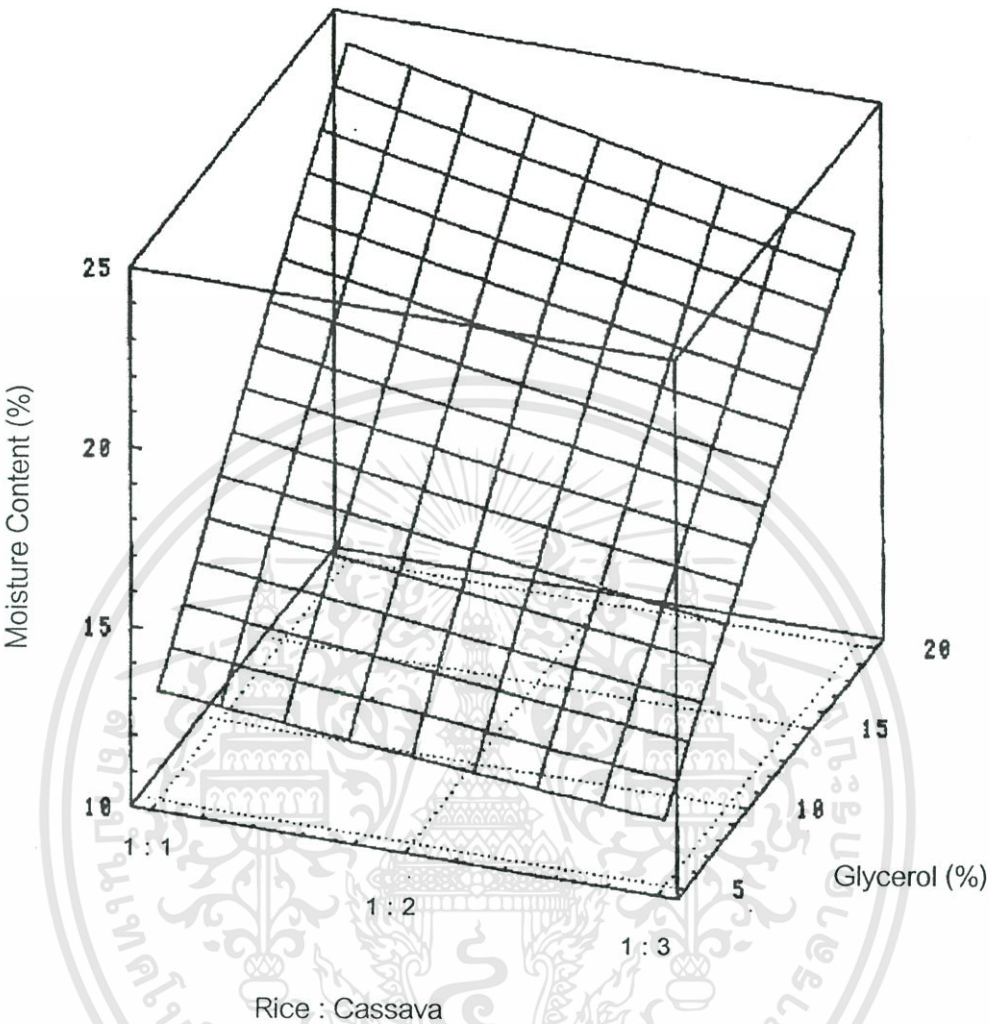
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 **ความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง**

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ในแต่ละอัตราส่วนจะใช้กลีเซอรอล 5 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ15 (โดยปริมาตร) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7 ในสูตรที่ 2 และ 1 : 5 ในสูตรที่ 1 และ 3 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำ) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีความชื้นอยู่ระหว่าง 11.04 $\pm$ 1.427 ถึง 21.00 $\pm$ 2.795 (แสดงดังรูปที่ 4.3) โดยฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 3 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีความชื้นต่ำที่สุด เท่ากับ 11.04 $\pm$1.427 และ ฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 2 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีความชื้นสูงที่สุด เท่ากับ 21.00 $\pm$ 2.795

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 :1 มีความชื้นแตกต่างจากอัตราส่วน 1 : 2 และ 1 : 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ความชื้นของฟิล์มลดลง ส่วนผลของพลาสติไซเซอร์ คือ ปริมาณกลีเซอรอลต่อความหนาของฟิล์มพบว่า ที่ระดับร้อยละ15 จะมีความชื้นแตกต่างจากระดับ 5, 7.5, 10 และ 12.5 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือที่ระดับร้อยละ 15 จะมีความชื้นมากที่สุด ระดับร้อยละ 12.5, 10 และ 7.5 มีความชื้นรองลงมาตามลำดับ และที่ระดับร้อยละ 5 จะมีความชื้นต่ำที่สุด แสดงว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นความชื้นก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ เกศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ.2539 ที่พบว่าปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น จะขัดขวางการระเหยน้ำจากแผ่นฟิล์มทำให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีความชื้นเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 4.3 กราฟแสดงความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

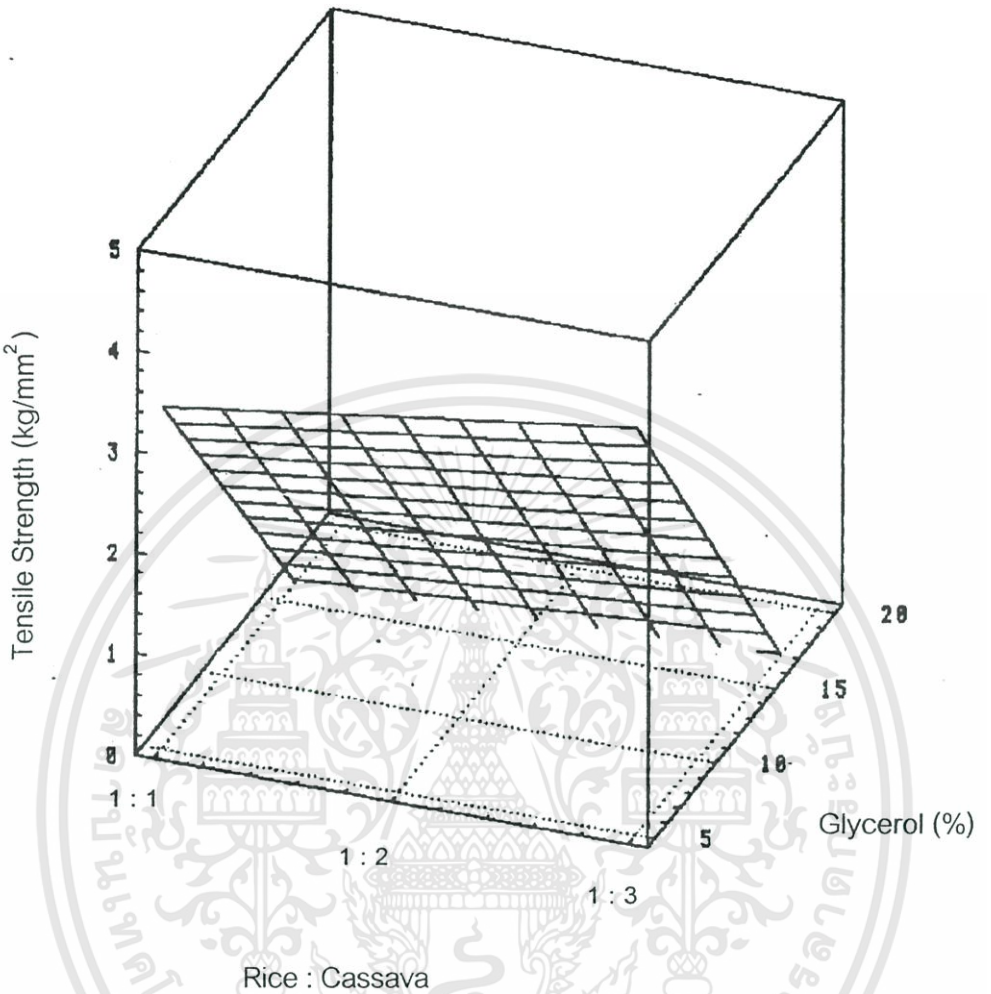
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.4 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง**

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ในแต่ละอัตราส่วนจะใช้กลีเซอรอล 5 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ15 (โดยปริมาตร) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7 ในสูตรที่ 2 และ 1 : 5 ในสูตรที่ 1 และ 3 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำ) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดอยู่ระหว่าง 0.50 $\pm$ 0.003 ถึง 4.29 $\pm$ 0.07 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร (แสดงดังรูปที่ 4.4) โดยฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 3 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุด เท่ากับ 4.29 $\pm$ 0.07 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร และ ฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 2 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดต่ำที่สุด เท่ากับ 0.50 $\pm$ 0.003 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดแตกต่างจากอัตราส่วน 1 : 2 และ 1 : 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มเพิ่มขึ้น ส่วนผลของพลาสติไซเซอร์ คือ ปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มพบว่า ที่ระดับร้อยละ 5 จะมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดแตกต่างจากระดับ 7.5, 10, 12.5 และ 15 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือที่ระดับร้อยละ 5 จะมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดมากที่สุด ระดับร้อยละ 7.5, 10, 12.5 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดรองลงมาตามลำดับ และที่ระดับร้อยละ 15 จะมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดต่ำที่สุด แสดงว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงขาดก็จะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kester and Fennema.1986; Park *et. al.*1993; มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534 เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงขาดจะลดลงอาจเนื่องมาจากปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่เติมลงไปจะไปจับกับโพลีเมอร์เกิดพันธะมีขั้วหรือพันธะไฮโดรเจน ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายโพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลงฟิล์มจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้นและมีความต้านทานแรงขาดลดลง แต่ค่าความต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มทุกการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ทำถุงบรรจุน้ำมันบริโภคได้ ซึ่งกำหนดค่าความต้านทานแรงดึงขาดต่ำที่สุดเท่ากับ 0.9143 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร (สำนักงานมาตราฐานอุตสาหกรรม, 2529)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 4.4 กราฟแสดงความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

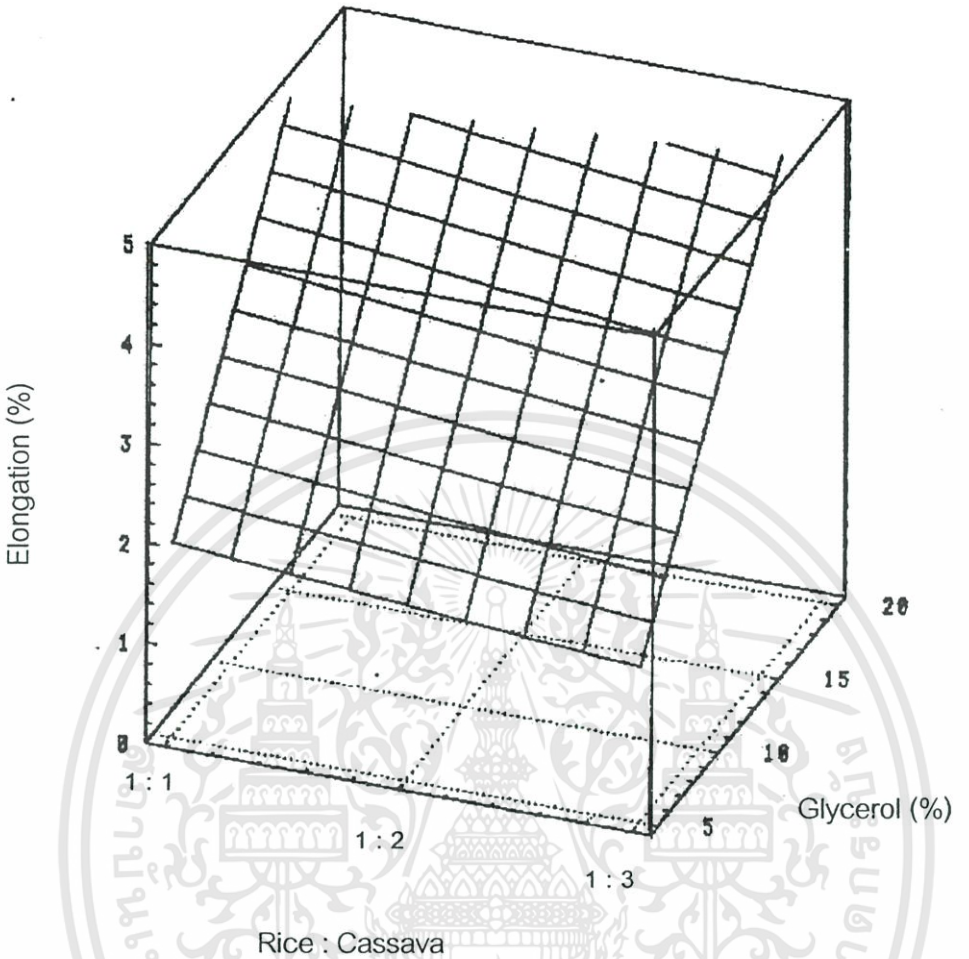
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.5 ความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง**

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ในแต่ละอัตราส่วนจะใช้กลีเซอรอล 5 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ15 (โดยปริมาตร) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7 ในสูตรที่ 2 และ 1 : 5 ในสูตรที่ 1 และ 3 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำ) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าความสามารถในการยืดตัวอยู่ระหว่าง 1.25 $\pm$ 0.112 ถึง 5.34 $\pm$ 0.302 (แสดงดังรูปที่ 4.5) โดยฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 2 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีค่าความสามารถในการยืดตัวสูงที่สุด เท่ากับ 5.34 $\pm$ 0.302 และฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 1 : 3 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีค่าความสามารถในการยืดตัวต่ำที่สุด เท่ากับ 1.25 $\pm$ 0.112

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 มีค่าความสามารถในการยืดตัวแตกต่างจากอัตราส่วน 1 : 2 และ 1 : 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มลดลง ส่วนผลของพลาสติไซเซอร์ คือ ปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มพบว่า ที่ระดับร้อยละ 15 จะมีค่าความสามารถในการยืดตัวแตกต่างจากระดับ 12.5, 10, 7.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือที่ระดับร้อยละ 15 จะมีค่าความสามารถในการยืดตัวมากที่สุด ระดับร้อยละ 12.5, 10, 7.5 มีค่าความสามารถในการยืดตัวรองลงมาตามลำดับ และที่ระดับร้อยละ 5 จะมีค่าความสามารถในการยืดตัวต่ำที่สุด แสดงว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นค่าความสามารถในการยืดตัวก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kester and Fennema.1986; Park *et al.*1993; มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด.2534 เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นค่าความสามารถในการยืดตัวจะเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่เติมลงไปจะไปจับกับโพลีเมอร์เกิดพันธะมีขั้วหรือพันธะไฮโดรเจน ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายโพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลงพลาสติไซเซอร์และโพลีเมอร์จับยึดเข้าด้วยกันด้วยแรงวาเลนซีทุติยภูมิ (secondary valency) ฟิล์มจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้นลดความเปราะ แตกง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 4.5 กราฟแสดงความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

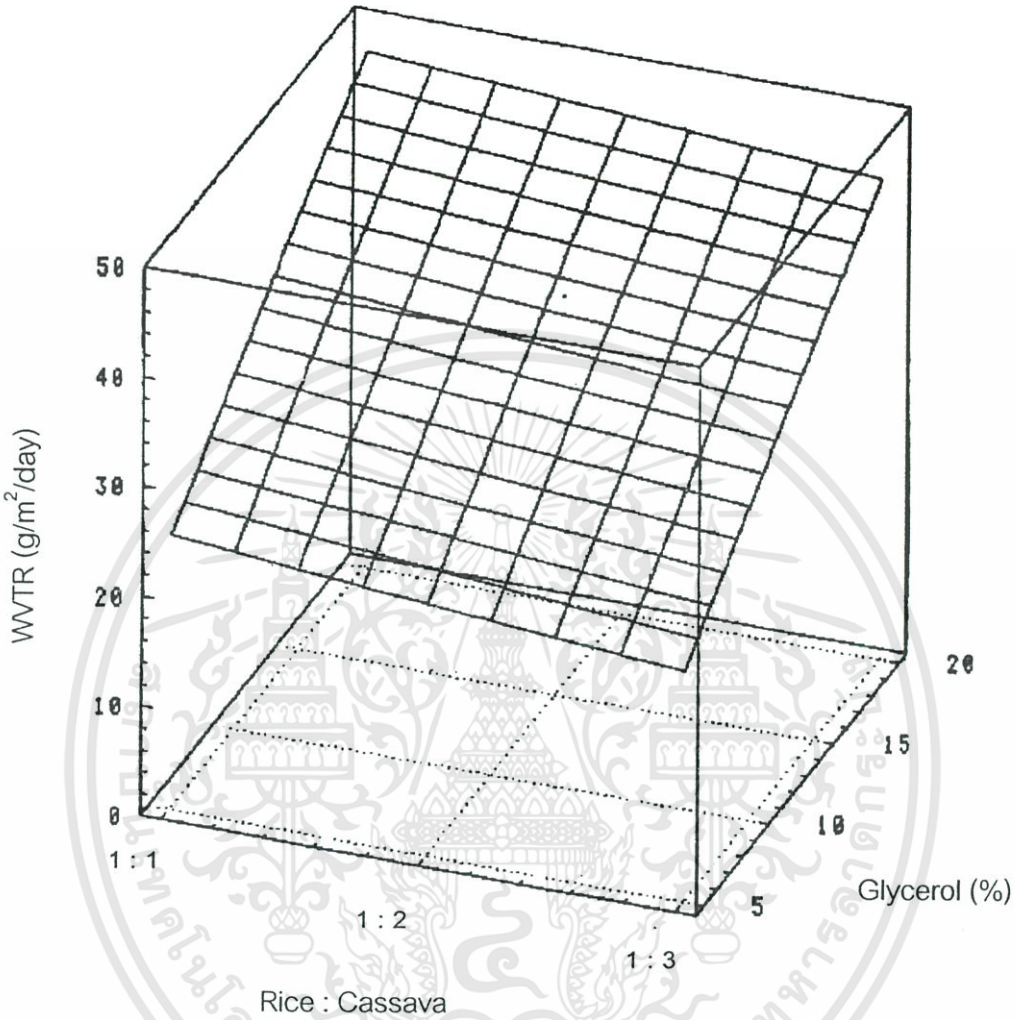
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.6 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง**

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 1 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ในแต่ละอัตราส่วนจะใช้กลีเซอรอล 5 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ15 (โดยปริมาตร) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7 ในสูตรที่ 2 และ 1 : 5 ในสูตรที่ 1 และ 3 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำ) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำอยู่ระหว่าง 19.40 $\pm$ 0.375 ถึง 43.38 $\pm$ 1.838 กรัม/ตารางเมตร.วัน (แสดงดังรูปที่ 4.6) โดยฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 2 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงที่สุด เท่ากับ 43.38 $\pm$ 1.838 กรัม/ตารางเมตร.วัน และ ฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 3 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด เท่ากับ 19.40 $\pm$ 0.375 กรัม/ตารางเมตร.วัน

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำแตกต่างจากอัตราส่วน 1 : 2 และ1 : 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มลดลง ส่วนผลของพลาสติไซเซอร์ คือ ปริมาณกลีเซอรอลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพบว่า ที่ระดับร้อยละ 15 จะมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำแตกต่างจากระดับ 12.5, 10, 7.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือที่ระดับร้อยละ 15 จะมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมากที่สุด ระดับร้อยละ 12.5, 10, 7.5 มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำรองลงมาตามลำดับ และที่ระดับร้อยละ 5 จะมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด แสดงว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นอัตราการซึมผ่านของไอน้ำก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lieberman and Gilbert. 1973; Gontard *et al*. 1993; Mchuge and Krochta. 1994; สุวัฒนา พฤกษศรี. 2539 เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นอัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่เติมลงไปจะไปลดคุณสมบัติในการเป็นตัวกั้นแก๊สและ ไอน้ำและตัวถูกละลายของฟิล์ม ลดพันธะไฮโดรเจนและเพิ่มระยะภายในโมเลกุลทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 4.6 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

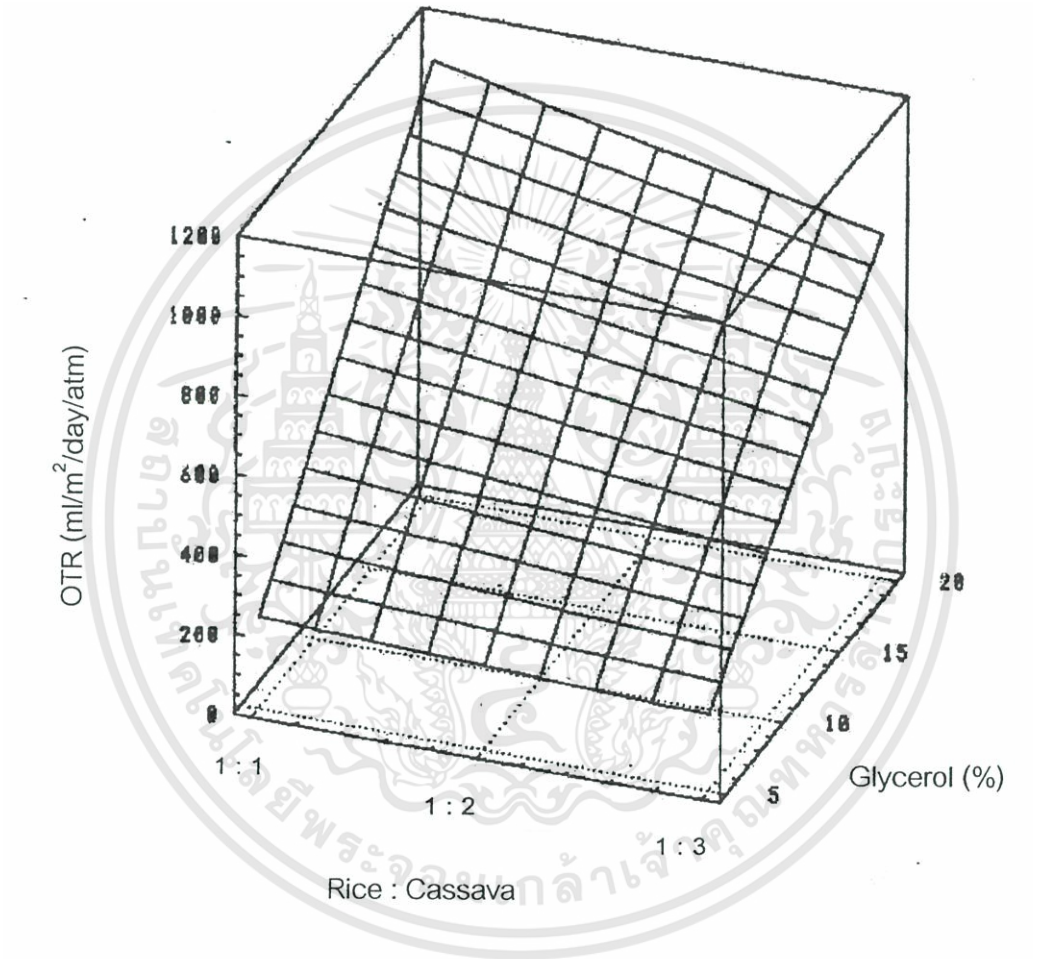
4.2.7 **อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง**

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ในแต่ละอัตราส่วนจะใช้กลีเซอรอล 5 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ15 (โดยปริมาตร) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7 ในสูตรที่ 2 และ 1 : 5 ในสูตรที่ 1 และ 3 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำ) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนอยู่ระหว่าง 161 $\pm$1.414 ถึง 892 $\pm$ 7.071 มิลลิเมตร/ตารางเมตร.วัน.บรรยากาศ (แสดงดังรูปที่ 4.7) โดยฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 2 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนสูงที่สุด เท่ากับ 892 $\pm$ 7.071 มิลลิเมตร/ตารางเมตร.วัน.บรรยากาศ และ ฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 3 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนต่ำที่สุด เท่ากับ 161 $\pm$ 1.414 มิลลิเมตร/ตารางเมตร.วัน.บรรยากาศ

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนแตกต่างจากอัตราส่วน 1 : 2 และ 1 : 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มลดลง ส่วนผลของพลาสติไซเซอร์ คือ ปริมาณกลีเซอรอลต่ออัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มพบว่า ที่ระดับร้อยละ 15 จะมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนแตกต่างจากระดับ 12.5, 10, 7.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือที่ระดับร้อยละ 15 จะมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนมากที่สุด ระดับร้อยละ 12.5, 10, 7.5 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนรองลงมาตามลำดับ และที่ระดับร้อยละ 5 จะมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนต่ำที่สุด แสดงว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Gontard *et al*. 1993; Mchuge and Krochta. 1994; สุวัฒนา พฤกษศรี. 2539 เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่เติมลงไปจะไปทำให้แรงดึงดูดระหว่างสายโพลีเมอร์ลดลงมีผลให้สภาพการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำเพิ่มขึ้น และฟิล์มทุกสูตรมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนต่ำกว่ามาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันและไขมันบริโภคที่กำหนดไว้ว่าต้องมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าต่ำกว่า 0.5251 มิลลิเมตร/ตารางเมตร.วัน.บรรยากาศ (สำนักงานมาตราฐานอุตสาหกรรม, 2529)




**รูปที่** 4.7 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 **ความต้านทานน้ำมันของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง**

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ในแต่ละอัตราส่วนจะใช้กลีเซอรอล 5 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ15 (โดยปริมาตร) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7 ในสูตรที่ 2 และ 1 : 5 ในสูตรที่ 1 และ 3 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำ) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้ทุกสูตรจะมีความต้านทานน้ำมันได้นานกว่า 30 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของฟิล์มพลาสติก สำหรับบรรจุน้ำมันและไขมันบริโภคคือ 5 วัน (มาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม,2529)แสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารที่มีน้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบสูงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

### 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการผลิตกับคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้

**ตารางที่** 4.2 แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง (Factors : Variables)

| Variables / Factors | $X_1 * X_2$ | THICK | $A_w$ | MC | TS | E | WVTR | OTR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_1$ | 0.7406** | 0.2665 $^{ns}$ | -0.2441$^{ns}$ | -0.2523 $^{ns}$ | 0.1662 $^{ns}$ | -0.1726 $^{ns}$ | -0.2263 $^{ns}$ | -0.2161$^{ns}$ |
| $X_2$ | 0.6189** | 0.8060** | 0.8046** | 0.8062** | -0.9268** | 0.9203** | 0.7452** | 0.8815** |
| $X_1 * X_2$ | 1.0000 | 0.3560* | 0.3028* | 0.3120* | -0.4609* | 0.4358* | 0.2965 $^{ns}$ | 0.3611* |

หมายเหตุ :
$X_1$ = Rice : Cassava (1 : 1, 1 : 2, 1 : 3)
$X_2$ = Glycerol (5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15%)
THICK = Thickness
$A_w$ = Water Activity
MC = Moisture Content
TS = Tensile Strength
E = Elongation
WVTR = Water Vapor Transmission Rate
OTR = Oxygen transmission rate
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติด้านต่าง ๆของฟิล์มที่ได้

**ตารางที่** 4.3 แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง (Variables : Variables)

| Variables / Variables | THICK | $A_w$ | MC | TS | E | WVTR | OTR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| THICK | 1.0000 | -0.2004 $^{ns}$ | -0.1103 $^{ns}$ | 0.1513 $^{ns}$ | -0.0859 $^{ns}$ | -0.2093 $^{ns}$ | -0.1002 $^{ns}$ |
| $A_w$ | -0.2004 $^{ns}$ | 1.0000 | 0.8840** | -0.8829** | 0.9062** | 0.8934** | 0.9449** |
| MC | -0.1103 $^{ns}$ | 0.8840** | 1.0000 | -0.8860** | 0.9078** | 0.8661** | 0.9161** |
| TS | 0.1513 $^{ns}$ | -0.8829** | -0.8860** | 1.0000 | -0.9740** | -0.8774** | -0.9424** |
| E | -0.0859 $^{ns}$ | 0.9062** | 0.9078** | -0.9740** | 1.0000 | 0.8885** | 0.9785** |
| WVTR | -0.2093 $^{ns}$ | 0.8934** | 0.8661** | -0.8774** | 0.8885** | 1.0000 | 0.9217** |
| OTR | -0.1002 $^{ns}$ | 0.9449** | 0.9161** | -0.9424** | 0.9785** | 0.9217** | 1.0000 |

หมายเหตุ :
$X_1$ = Rice : Cassava (1 : 1, 1 : 2, 1 : 3)
$X_2$ = Glycerol (5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15%)
THICK = Thickness
$A_w$ = Water Activity
MC = Moisture Content
TS = Tensile Strength
E = Elongation
WVTR = Water Vapor Transmission Rate
OTR = Oxygen transmission rate
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลอง

1. จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, เถ้า, คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด และ อะมิโลส พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีความชื้นร้อยละ 11.22 ± 0.033, โปรตีนร้อยละ 4.20 ± 0.025, ไขมันร้อยละ 0.21 ± 0.02 , เยื่อใยร้อยละ 0.15 ± 0.015, เถ้าร้อยละ 0.25 ± 0.02 , คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 83.98 ± 0.451 และ อะมิโลส ร้อยละ 26.52 ± 0.113 ส่วนแป้งมันสำปะหลัง พบว่า มีความชื้นร้อยละ 13.18 ± 0.137, โปรตีนร้อยละ 0.12 ± 0.10 , ไขมันร้อยละ 0.10 ± 0.015 , เยื่อใยร้อยละ 0.20 ± 0.005, เถ้าร้อยละ 0.28 ± 0.011 , คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 86.11 ± 0.150 และ อะมิโลส ร้อยละ 31.39 ± 0.056

2. ในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 3 โดยที่แต่ละอัตราส่วนจะใช้กลีเซอรอล 5 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 แล้วนำมาทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์เคมี ได้แก่ ความหนา, วอเตอร์แอคทิวิตี, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด, ความสามารถในการยืดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ, อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน และความต้านทานน้ำมัน พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้ มีความหนาอยู่ระหว่าง 0.013 ± 0.001 ถึง 0.036 ± 0.000 มิลลิเมตร, วอเตอร์แอคทิวิตี อยู่ระหว่าง 0.463 ± 0.001 ถึง 0.501 ± 0.004, ความชื้นอยู่ระหว่าง 11.043 ± 1.427 ถึง 21.00 ± 2.795, ความต้านทานแรงดึงขาดอยู่ระหว่าง 0.504 ± 0.003 ถึง 4.29 ± 0.07 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร, ความสามารถในการยืดตัวอยู่ระหว่าง 1.25 ± 0.112 ถึง 5.34 ± 0.302, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำอยู่ระหว่าง 19.40 ± 0.375 ถึง 43.38 ± 1.838 กรัม/ตารางเมตร.วัน, อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนอยู่ระหว่าง 161 ± 1.414 ถึง 892 ± 7.071 มิลลิเมตร/ตารางเมตร.วัน.บรรยากาศ และ ความต้านทานน้ำมันได้นานกว่า 30 วัน

3. จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลเปรียบเทียบโดยใช้ วิธี Duncan' s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์พบว่า อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เพิ่มขึ้นจะทำให้ ความหนา และ ความต้านทานแรงดึงขาด มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนวอเตอร์แอคทิวิตี, ความชื้น, ความสามารถในการยืดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และ อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน มีค่าลดลง ส่วนปริมาณกลีเซอรอลนั้นพบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนา, วอเตอร์แอคทิวิตี, ความชื้น, ความสามารถในการยืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานแรงดึงขาด มีค่าลดลง

4. จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ในรูปของค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังพบว่าปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง ($X_1$) พบความสัมพันธ์ในรูปของค่าสหสัมพันธ์แต่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์และเคมีที่ทำการทดสอบ เนื่องจากในการทำการทดลอง อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง อาจกำหนดอยู่ในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกันคือ 1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 3 จึงมีผลให้พบความสัมพันธ์น้อย ซึ่งการกำหนดอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังนั้นได้กำหนดจากการทดลองหาสภาวะจริงในการขึ้นรูปฟิล์ม พบว่าที่อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง นอกเหนือจากนี้ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่ดี ที่นำมาทำการทดสอบคุณสมบัติได้ แต่ก็พบความสัมพันธ์และแนวโน้มว่าเมื่ออัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ ความหนา และ ความต้านทานแรงดึงขาด มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนวอเตอร์แอคทิวิตี, ความชื้น, ความสามารถในการยืดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และ อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน มีค่าลดลง ส่วนผลของปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณกลีเซอรอล ($X_2$) นั้นพบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ ความหนา, วอเตอร์แอคทิวิตี, ความชื้น, ความสามารถในการยืดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และ อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความต้านทานแรงดึงขาด มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความสัมพันธ์ของอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง ต่อ กลีเซอรอล($X_1$* $X_2$) นั้นพบว่าเมื่ออัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง ต่อ กลีเซอรอลเพิ่มขึ้นมีผลให้ ความหนา, วอเตอร์แอคทิวิตี, ความชื้น, ความสามารถในการยืดตัว และ อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน ความต้านทานแรงดึงขาด มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

5. ฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ประโยชน์ โดยคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มที่เหมาะสมได้จากการเตรียม อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 1 : 3 โดยใช้กลีเซอรอลร้อยละ 5 แผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะปรากฏ เรียบ, บาง และใส เมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี พบว่ามีความหนา 0.017 $\pm$ 0.001 มิลลิเมตร, วอเตอร์แอคทิวิตี 0.43 $\pm$ 0.001, ความชื้นร้อยละ 11.04 $\pm$ 1.427 , ความต้านทานแรงดึงขาด 4.29 $\pm$ 0.07 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร, ความสามารถในการยืดตัวร้อยละ 1.25 $\pm$ 0.112, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ 19.40 $\pm$ 0.375 กรัม/ตารางเมตร.วัน, อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน 161 $\pm$ 1.414 มิลลิลิตร/ตารางเมตร.วัน.บรรยากาศ และ ความสามารถในการต้านทานน้ำมันได้นานกว่า 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ข้อเสนอแนะ

1. ฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง มีข้อด้อยในด้านคุณสมบัติที่ไวต่อความชื้น อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สออกซิเจนสูง จึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ คือ ไม่สามารถนำไปใช้สัมผัสกับบรรยากาศโดยตรงได้จึงน่าจะมีการศึกษาและปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มให้ดียิ่งขึ้น

2. จากการทดลองเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังเป็นการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งทำการขึ้นรูปโดยใช้มือจึงทำให้ผลิตได้ในปริมาณน้อยและความหนาจะสม่ำเสมอหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ปฏิบัติงั้นจึงควรศึกษาการขยายขนาดการทดลองโดยใช้เครื่องมืออัตโนมัติในการขึ้นรูปเพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีความหนาสม่ำเสมอและสามารถผลิตได้ในปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้นและมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

3. จากการทดลองเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังพบว่าคุณสมบัติของฟิล์มที่น่าจะมีการปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นคือ ลักษณะปรากฏของฟิล์มน่าจะสามารถทำให้มีความใสใกล้เคียงกับฟิล์มพลาสติกได้โดยการศึกษาเตรียมฟิล์มจากพลาสติไซเซอร์ชนิดต่างๆและนอกจากนี้ฟองอากาศที่เกิดเป็นบางจุดในฟิล์มจึงควรมีการศึกษากระบวนการผลิตและกำจัดฟองอากาศออกให้หมดเพื่อให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์และเคมีดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2538. ความรู้เบื้องต้นในการผลิตกลูโคสซีรัปจากแป้งและกากมันสำปะหลัง. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ.

เกศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ. 2539."การทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง." อาหาร. 26 (4) : 249-262.

จารุณี ยาห้องกาศ.2543."การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน." วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.กรุงเทพฯ.

วุฒิชัย นาครักษา. 2536. คาร์โบไฮเดรตในอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2540. "การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว." วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

นุชนารถ ทรัพย์พาณิช และคณะ. 2540. "การศึกษาการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง." ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

ปนัดดา พวงเกษม. 2537. "การเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากแป้งชนิดต่างๆ." ปัญหาพิเศษปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ปนัดดา พวงเกษม. 2540. "การเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากแป้งมันสำปะหลังและแนวทางการใช้ประโยชน์." วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ภาณุวัฒน์ ถวิลการ.2539. "การผลิตฟิล์มที่บริโภคได้จากนมผงและการประยุกต์ใช้." ปัญหาพิเศษ.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534. "การเตรียมฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว." วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ .

สุพัฒนา พฤกษะศรี.2539. "การผลิตฟิล์มที่บริโภคได้จากแป้งข้าวเจ้าและการประยุกต์ใช้." ปัญหาพิเศษ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม.2521.มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง. มอก. 274 กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 14 น.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม.2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า. มอก.638 กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 13 น.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันและไขมันบริโภค. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 21 น.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2534. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 14 น.

อรวรรณ เคหุสุขเจริญ. 2529. "คุณสมบัติบางประการในการนำไปใช้ประโยชน์ของแป้งต่าง ๆ." วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. เคมีทางธัญญาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2540. "ความรู้เบื่องต้นในการใช้ประโยชน์ของสตาร์ช." หน้า 1-7.การประชุมวิชาการเรื่อง Starch Application Technology. ครั้งที่ 1. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อรรควุฒิ ทัศน์สองชิ้น. 2526. เรื่องของข้าว. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ.

American Standard for Testing and Material. 1991. Standard test method for tensile Properties of thin plastic sheeting, ASTM D 882-91.Annual Book of ASTM Standard Philadephia. p.39-47.

American Standard for Testing and Material. 1992. Standard test method for determining gas permeability characteristic of plastic film and sheeting, D 1434-82 (Reapproved. 1992) Annual Book of ASTM Standard Philadephia. p.207-218..

American Standard for Testing and Materials. 1994. Standard test method for Water vapor transmission of materials, E 94-96. Annual Book of ASTM Standard Philadephia. p.696-703.

AOAC. 1995. Offcial Methods of Analysis. 16th ed. The Association of Analytical Chemists. Arlington, Virginia.

Aguiler, J.M. and Stanley, D.W. 1990. Microstructural Principles of Food Processing & Engineering. Elsevier Applied Food Science Series. Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York. 343 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Avena-Bustillos, R.J. and J.M.Krochta. 1993. "Water vapor permeability of caseinate based films as affected by pH, calcium crosslinking, and lipid content." J.Food Sci. 58 (4) : 904-907.

Collision, R. 1968. "Swelling and gelation of starch." In Starches and Its Derivatives. (ed. J.A. Radley) pp. 168-193. London : Chapman and Hall Ltd.

Gennadios, A. and C.L.Weller. 1990. "Edible films and coatings from wheat and corn proteins." Food Technol. 44 (10) : 63-69.

Gennadios, A. et al. 1996. "Mechanical and barrier properties of egg albumen films." J.Food Sci. 61 (3) : 585-589.

Gontard, N. et al. 1992. "Edible wheat gluten films : influence of the main process variables on film properties using response surface methodology." J.Food Sci. 57 (1) : 190-195.

Gontard, N. et al. 1993. "Water and glycerol as plastivizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film." J.Food Sci. 55 (1) : 206-211.

Guibert, S. 1986. "Technology and application of edible films." pp. 371-394. In M.Mathlouthi (ed). Food Packaging and Preservation Theory and Practice. Elsevier Applied Science Publisher, London.

John, M. 1994. Edible Coating and Film to Improve Food Quality. Technomic Publishing Company, Inc. U.S.A. pp 379.

Juliano, B.O. 1984. Starch Chemistry and Technology. Academic Press. P 509.

Kester, J.J. and Fennema, D.K. 1986. "Edible films and coating : a review." Food Technol. Dec. : 47-49.

Kester, J.J. and Fennema, D.K.1989. "An edible film of lipids and cellulose ethers : performance in a model frozen-food system." J.Food Sci. 54 (6) : 1390-1392, 1406.

Le Bot, Y. and Gouty, P.A 1995. "Polyols from starch." pp. 155-177. In M.W. Kearsley and S.Z. Dziedzic (eds.). Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivatives. Blackie Academic & Professional, New York.

Mark, A.M. et al. 1996. "Oxygen permeability of amylomize starch films." Food Technol. Jan. : 75-77.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

McHugh, T.H. et al.1994."Plasticized whey protien edible films : water vapor permeability properties." J.Food Sci. 59 (2): 416-429, 423.

Mellan, I. 1961. "Properties of plasticizer." pp. 1-25. In The Behavior of Plasticzer. Pergammon Press, New York.

National Starch and Chemical Company. 1996. Food Starch Technology. Internet:http://www.nationalstarch.com. 15 p.

Ott, M. and Hester, E. E. 1965. " Gel formation as related to concentration of amylose and degree of starch swelling." Cereal Chem. 42:476.

Park, H.J. et al. 1993. "Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films." J.food sci. 58 (6) : 1361-1364.

Windholz, M. et al. 1976. The Merck Index. Ninth Edition, Merck & Co., Inc., Rahway, New Jersey.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

## ข้อมูลการทดลอง

**ตารางที่ ก1** แสดงข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

| ตัวอย่างแป้งข้าวเจ้า (ซ้ำที่) | คุณสมบัติทางเคมี (%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | เยื่อใย | คาร์โบไฮเดรต | อะมิโลส |
| 1 | 11.21 | 4.22 | 0.20 | 0.23 | 0.13 | 84.00 | 26.45 |
| 2 | 11.19 | 4.17 | 0.24 | 0.25 | 0.15 | 84.00 | 26.65 |
| 3 | 11.25 | 4.20 | 0.19 | 0.27 | 0.16 | 83.93 | 26.45 |

**ตารางที่ ก2** แสดงข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

| ตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง(ซ้ำที่) | คุณสมบัติทางเคมี (%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | เยื่อใย | คาร์โบไฮเดรต | อะมิโลส |
| 1 | 13.15 | 0.12 | 0.09 | 0.27 | 0.21 | 86.16 | 31.35 |
| 2 | 13.33 | 0.11 | 0.12 | 0.29 | 0.20 | 85.95 | 31.45 |
| 3 | 13.06 | 0.13 | 0.10 | 0.27 | 0.20 | 86.24 | 31.39 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก3** แสดงข้อมูลความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

| สูตรที่ แป้งข้าวเจ้า : แป้งมัน สำปะหลัง : กลีเซอรอล | ความหนา (มิลลิเมตร) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 1.) 1 : 1 : 5 | 0.014 | 0.016 | 0.015 ±0.001 |
| 2. ) 1 : 1 : 7.5 | 0.018 | 0.020 | 0.019 ±0.001 |
| 3. ) 1 : 1 : 10 | 0.023 | 0.023 | 0.023 ±0.000 |
| 4. ) 1 : 1 : 12.5 | 0.027 | 0.027 | 0.027 ±0.000 |
| 5. ) 1 : 1 : 15 | 0.031 | 0.029 | 0.030 ±0.001 |
| 6. ) 1 : 2 : 5 | 0.014 | 0.012 | 0.013 ±0.001 |
| 7. ) 1 : 2 : 7.5 | 0.016 | 0.016 | 0.016 ±0.000 |
| 8. ) 1 : 2 : 10 | 0.020 | 0.019 | 0.020 ±0.001 |
| 9. ) 1 : 2 : 12.5 | 0.022 | 0.024 | 0.023 ±0.001 |
| 10. ) 1 : 2 :15 | 0.026 | 0.027 | 0.027 ±0.001 |
| 11. ) 1 : 3 : 5 | 0.018 | 0.016 | 0.017 ±0.001 |
| 12. ) 1 : 3 : 7.5 | 0.024 | 0.020 | 0.022 ±0.003 |
| 13. ) 1 : 3 : 10 | 0.028 | 0.027 | 0.028 ±0.001 |
| 14. ) 1 : 3 : 12.5 | 0.031 | 0.033 | 0.032 ±0.001 |
| 15. ) 1 : 3 : 15 | 0.036 | 0.036 | 0.036 ±0.000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก4** แสดงข้อมูลวอเตอร์แอคทิวิตี ($A_w$) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

| สูตรที่ แป้งข้าวเจ้า : แป้งมัน สำปะหลัง : กลีเซอรอล | $A_w$ | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 1.) 1 : 1 : 5 | 0.468 | 0.470 | 0.469 ±0.0014 |
| 2. ) 1 : 1 : 7.5 | 0.466 | 0.478 | 0.472 ±0.0084 |
| 3. ) 1 : 1 : 10 | 0.479 | 0.477 | 0.478 ±0.0014 |
| 4. ) 1 : 1 : 12.5 | 0.486 | 0.482 | 0.484 ±0.0028 |
| 5. ) 1 : 1 : 15 | 0.492 | 0.488 | 0.490 ±0.0028 |
| 6. ) 1 : 2 : 5 | 0.477 | 0.469 | 0.473 ±0.0056 |
| 7. ) 1 : 2 : 7.5 | 0.481 | 0.475 | 0.478 ±0.0042 |
| 8. ) 1 : 2 : 10 | 0.486 | 0.482 | 0.484 ±0.0028 |
| 9. ) 1 : 2 : 12.5 | 0.496 | 0.488 | 0.492 ±0.0056 |
| 10. ) 1 : 2 :15 | 0.504 | 0.498 | 0.501 ±0.0042 |
| 11. ) 1 : 3 : 5 | 0.462 | 0.464 | 0.463 ±0.0014 |
| 12. ) 1 : 3 : 7.5 | 0.463 | 0.469 | 0.466 ±0.0042 |
| 13. ) 1 : 3 : 10 | 0.473 | 0.467 | 0.470 ±0.0042 |
| 14. ) 1 : 3 : 12.5 | 0.480 | 0.472 | 0.476 ±0.0056 |
| 15. ) 1 : 3 : 15 | 0.481 | 0.489 | 0.485 ±0.0056 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก5** แสดงข้อมูลความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

| สูตรที่<br>แป้งข้าวเจ้า : แป้งมัน<br>สำปะหลัง : กลีเซอรอล | ความชื้น (ร้อยละ) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 1.) 1 : 1 : 5 | 12.0793 | 12.0209 | 12.05 ±0.412 |
| 2. ) 1 : 1 : 7.5 | 15.5660 | 14.4598 | 15.01 ±0.788 |
| 3. ) 1 : 1 : 10 | 16.0033 | 16.5236 | 16.26 ±0.367 |
| 4. ) 1 : 1 : 12.5 | 20.1018 | 15.5864 | 17.84 ±3.192 |
| 5. ) 1 : 1 : 15 | 19.1573 | 19.1867 | 19.17 ±0.020 |
| 6. ) 1 : 2 : 5 | 14.34180 | 11.7550 | 13.05 ±1.828 |
| 7. ) 1 : 2 : 7.5 | 16.2260 | 15.5867 | 15.91 ±0.452 |
| 8. ) 1 : 2 : 10 | 19.5413 | 18.1521 | 18.85 ±0.982 |
| 9. ) 1 : 2 : 12.5 | 19.1890 | 19.6908 | 19.44 ±0.354 |
| 10. ) 1 : 2 :15 | 19.0136 | 22.9672 | 20.99 ±2.795 |
| 11. ) 1 : 3 : 5 | 10.0329 | 12.0521 | 11.04 ±1.427 |
| 12. ) 1 : 3 : 7.5 | 13.0474 | 13.3850 | 13.21 ±0.238 |
| 13. ) 1 : 3 : 10 | 15.4999 | 12.6637 | 14.08 ±2.005 |
| 14. ) 1 : 3 : 12.5 | 15.8750 | 15.7972 | 15.84 ±0.055 |
| 15. ) 1 : 3 : 15 | 16.4984 | 17.6312 | 17.06 ±0.080 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก6** แสดงข้อมูลความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

| สูตรที่ แป้งข้าวเจ้า : แป้งมัน สำปะหลัง : กลีเซอรอล | ความต้านทานแรงดึงขาด (กก./มม.$^2$) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 1.) 1 : 1 : 5 | 3.6164 | 3.9144 | 3.77 ±0.210 |
| 2. ) 1 : 1 : 7.5 | 2.7259 | 3.1957 | 2.96 ±0.332 |
| 3. ) 1 : 1 : 10 | 1.8940 | 1.8424 | 1.87 ±0.036 |
| 4. ) 1 : 1 : 12.5 | 1.1989 | 1.1955 | 1.20 ±0.002 |
| 5. ) 1 : 1 : 15 | 0.6689 | 0.7205 | 0.70 ±0.036 |
| 6. ) 1 : 2 : 5 | 3.4950 | 2.9518 | 3.22 ±0.384 |
| 7. ) 1 : 2 : 7.5 | 2.4569 | 2.2795 | 2.37 ±0.125 |
| 8. ) 1 : 2 : 10 | 1.2646 | 1.5218 | 1.39 ±0.181 |
| 9. ) 1 : 2 : 12.5 | 0.8254 | 0.7434 | 0.78 ±0.057 |
| 10. ) 1 : 2 :15 | 0.5069 | 0.5014 | 0.50 ±0.003 |
| 11. ) 1 : 3 : 5 | 4.3353 | 4.2359 | 4.29 ±0.070 |
| 12. ) 1 : 3 : 7.5 | 3.6812 | 3.2624 | 3.47 ±0.296 |
| 13. ) 1 : 3 : 10 | 2.7832 | 2.3625 | 2.57 ±0.297 |
| 14. ) 1 : 3 : 12.5 | 1.4122 | 1.9944 | 1.70 ±0.411 |
| 15. ) 1 : 3 : 15 | 0.9648 | 0.9468 | 0.96 ±0.012 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก7** แสดงข้อมูลความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

| สูตรที่ แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง : กลีเซอรอล | การยืดตัว (ร้อยละ) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 1.) 1 : 1 : 5 | 1.7409 | 1.3541 | 1.55 ±0.273 |
| 2. ) 1 : 1 : 7.5 | 2.8975 | 2.5985 | 2.75 ±0.211 |
| 3. ) 1 : 1 : 10 | 3.3647 | 3.3883 | 3.38 ±0.016 |
| 4. ) 1 : 1 : 12.5 | 3.9430 | 4.1930 | 4.07 ±0.176 |
| 5. ) 1 : 1 : 15 | 4.8211 | 4.7177 | 4.77 ±0.073 |
| 6. ) 1 : 2 : 5 | 1.9170 | 2.0020 | 1.96 ±0.06 |
| 7. ) 1 : 2 : 7.5 | 3.2600 | 3.3300 | 3.30 ±0.049 |
| 8. ) 1 : 2 : 10 | 3.9850 | 3.9050 | 3.95 ±0.056 |
| 9. ) 1 : 2 : 12.5 | 4.4602 | 4.6628 | 4.56 ±0.143 |
| 10. ) 1 : 2 :15 | 5.5530 | 5.1250 | 5.34 ±0.302 |
| 11. ) 1 : 3 : 5 | 1.1736 | 1.3324 | 1.25 ±0.112 |
| 12. ) 1 : 3 : 7.5 | 2.2093 | 2.2123 | 2.21 ±0.002 |
| 13. ) 1 : 3 : 10 | 2.8330 | 2.9250 | 2.88 ±0.065 |
| 14. ) 1 : 3 : 12.5 | 3.3581 | 3.5149 | 3.44 ±0.110 |
| 15. ) 1 : 3 : 15 | 4.4366 | 4.1684 | 4.30 ±0.189 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก8** แสดงข้อมูลอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

| สูตรที่ แป้งข้าวเจ้า : แป้งมัน สำปะหลัง : กลีเซอรอล | อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (ก./ม.$^2$วัน) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 1.) 1 : 1 : 5 | 21.8429 | 25.6675 | 23.76 ±2.704 |
| 2. ) 1 : 1 : 7.5 | 22.6388 | 28.3806 | 25.51 ±4.060 |
| 3. ) 1 : 1 : 10 | 26.4591 | 31.9066 | 29.18 ±3.851 |
| 4. ) 1 : 1 : 12.5 | 34.5773 | 30.8809 | 32.73 ±2.613 |
| 5. ) 1 : 1 : 15 | 38.4726 | 36.5228 | 37.50 ±1.378 |
| 6. ) 1 : 2 : 5 | 20.0156 | 30.4464 | 29.23 ±1.718 |
| 7. ) 1 : 2 : 7.5 | 32.0127 | 32.4726 | 32.24 ±0.325 |
| 8. ) 1 : 2 : 10 | 34.1022 | 38.1907 | 36.15 ±2.891 |
| 9. ) 1 : 2 : 12.5 | 37.7553 | 43.4383 | 40.60 ±4.018 |
| 10. ) 1 : 2 :15 | 42.0764 | 44.6763 | 43.38 ±1.838 |
| 11. ) 1 : 3 : 5 | 19.6675 | 19.1369 | 19.40 ±0.375 |
| 12. ) 1 : 3 : 7.5 | 20.7110 | 21.2460 | 20.98 ±0.378 |
| 13. ) 1 : 3 : 10 | 24.9733 | 26.9476 | 25.96 ±1.395 |
| 14. ) 1 : 3 : 12.5 | 30.2441 | 31.4468 | 30.85 ±0.850 |
| 15. ) 1 : 3 : 15 | 33.1093 | 31.8536 | 32.48 ± 0.887 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก9** แสดงข้อมูลอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

| สูตรที่ แป้งข้าวเจ้า : แป้งมัน สำปะหลัง : กลีเซอรอล | อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (มล./ม.$^2$วัน.บรรยากาศ) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 1.) 1 : 1 : 5 | 194 | 202 | 198 ±5.656 |
| 2. ) 1 : 1 : 7.5 | 346 | 348 | 347 ±1.414 |
| 3. ) 1 : 1 : 10 | 454 | 462 | 458 ±5.656 |
| 4. ) 1 : 1 : 12.5 | 577 | 587 | 582 ±7.071 |
| 5. ) 1 : 1 : 15 | 744 | 750 | 747 ±4.242 |
| 6. ) 1 : 2 : 5 | 300 | 298 | 299 ±1.414 |
| 7. ) 1 : 2 : 7.5 | 456 | 460 | 458 ±2.828 |
| 8. ) 1 : 2 : 10 | 573 | 569 | 571 ±2.828 |
| 9. ) 1 : 2 : 12.5 | 680 | 686 | 683 ±4.242 |
| 10. ) 1 : 2 :15 | 897 | 887 | 892 ±7.071 |
| 11. ) 1 : 3 : 5 | 160 | 162 | 161 ±1.414 |
| 12. ) 1 : 3 : 7.5 | 275 | 279 | 277 ±2.828 |
| 13. ) 1 : 3 : 10 | 346 | 352 | 349 ±4.242 |
| 14. ) 1 : 3 : 12.5 | 425 | 429 | 427 ±2.828 |
| 15. ) 1 : 3 : 15 | 590 | 595 | 592 ±3.535 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

## การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

**1. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธี DUNCAN 'S MULTIPLE RANGE TEST**

**ตารางที่ ข1** แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง[1]

| การทดลองที่ | ปัจจัยในการผลิต | | คุณสมบัติของฟิล์ม |
|---|---|---|---|
| | R : C[2] | G[3] | ความหนา[4] (มม.) |
| 1 | 1 :1 | 5 | $0.015 \pm 0.001^{e}$ |
| 2 | | 7.5 | $0.019 \pm 0.001^{d}$ |
| 3 | | 10 | $0.023 \pm 0.000^{c}$ |
| 4 | | 12.5 | $0.027 \pm 0.000^{b}$ |
| 5 | | 15 | $0.030 \pm 0.001^{a}$ |
| 6 | 1 : 2 | 5 | $0.013 \pm 0.001^{e}$ |
| 7 | | 7.5 | $0.016 \pm 0.000^{d}$ |
| 8 | | 10 | $0.020 \pm 0.001^{c}$ |
| 9 | | 12.5 | $0.023 \pm 0.001^{b}$ |
| 10 | | 15 | $0.027 \pm 0.001^{a}$ |
| 11 | 1 : 3 | 5 | $0.017 \pm 0.001^{e}$ |
| 12 | | 7.5 | $0.022 \pm 0.003^{d}$ |
| 13 | | 10 | $0.028 \pm 0.001^{c}$ |
| 14 | | 12.5 | $0.032 \pm 0.001^{b}$ |
| 15 | | 15 | $0.036 \pm 0.000^{a}$ |

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. R : C คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลัง

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ตางกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข2** แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติวอเตอร์แอคทิวิตี ($A_w$) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง[1]

| การทดลองที่ | ปัจจัยในการผลิต | | คุณสมบัติของฟิล์ม |
|---|---|---|---|
| | R : C[2] | G[3] | $A_w$[4] |
| 1 | 1 :1 | 5 | 0.469 ±0.0014[c] |
| 2 | | 7.5 | 0.472 ±0.0084[c] |
| 3 | | 10 | 0.478 ±0.0014[bc] |
| 4 | | 12.5 | 0.484 ±0.0028[ab] |
| 5 | | 15 | 0.490 ±0.0028[a] |
| 6 | 1 : 2 | 5 | 0.473 ±0.0056[d] |
| 7 | | 7.5 | 0.478 ±0.0042[cd] |
| 8 | | 10 | 0.484 ±0.0028[bc] |
| 9 | | 12.5 | 0.492 ±0.0056[ab] |
| 10 | | 15 | 0.501 ±0.0042[a] |
| 11 | 1 : 3 | 5 | 0.463 ±0.0014[c] |
| 12 | | 7.5 | 0.466 ±0.0042[bc] |
| 13 | | 10 | 0.470 ±0.0042[bc] |
| 14 | | 12.5 | 0.476 ±0.0056[ab] |
| 15 | | 15 | 0.485 ±0.0056[a] |

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. R : C คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลัง

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ตางกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ช3** แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง[1]

| การทดลองที่ | ปัจจัยในการผลิต | | คุณสมบัติของฟิล์ม |
|---|---|---|---|
| | R : C[2] | G[3] | ความชื้น[4] (%) |
| 1 | 1 :1 | 5 | 12.05 ±0.412[c] |
| 2 | | 7.5 | 15.01 ±0.788[bc] |
| 3 | | 10 | 16.26 ±0.367[ab] |
| 4 | | 12.5 | 17.84 ±3.192[ab] |
| 5 | | 15 | 19.17 ±0.020[a] |
| 6 | 1 : 2 | 5 | 13.05 ±1.828[c] |
| 7 | | 7.5 | 15.91 ±0.452[bc] |
| 8 | | 10 | 18.85 ±0.982[ab] |
| 9 | | 12.5 | 19.44 ±0.354[a] |
| 10 | | 15 | 20.99 ±2.795[a] |
| 11 | 1 : 3 | 5 | 11.04 ±1.427[c] |
| 12 | | 7.5 | 13.22 ±0.238[bc] |
| 13 | | 10 | 14.08 ±2.005[abc] |
| 14 | | 12.5 | 15.84 ±0.055[ab] |
| 15 | | 15 | 17.06 ±0.080[a] |

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. R : C คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลัง

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ตางกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข4** แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง[1]

| การทดลองที่ | ปัจจัยในการผลิต | | คุณสมบัติของฟิล์ม |
|---|---|---|---|
| | R : C[2] | G[3] | ความต้านทานแรงดึงขาด[4] (กก./มม.[2]) |
| 1 | 1 :1 | 5 | 3.77 ±0.210[a] |
| 2 | | 7.5 | 2.96 ±0.332[b] |
| 3 | | 10 | 1.87 ±0.036[c] |
| 4 | | 12.5 | 1.20 ±0.002[d] |
| 5 | | 15 | 0.69 ±0.036[e] |
| 6 | 1 : 2 | 5 | 3.22 ±0.384[a] |
| 7 | | 7.5 | 2.37 ±0.125[b] |
| 8 | | 10 | 1.39 ±0.181[c] |
| 9 | | 12.5 | 0.78 ±0.057[d] |
| 10 | | 15 | 0.50 ±0.003[d] |
| 11 | 1 : 3 | 5 | 4.29 ±0.070[a] |
| 12 | | 7.5 | 3.47 ±0.296[b] |
| 13 | | 10 | 2.57 ±0.297[c] |
| 14 | | 12.5 | 1.70 ±0.411[d] |
| 15 | | 15 | 0.96 ±0.012[e] |

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. R : C คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลัง

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ช5** แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง[1]

| การทดลองที่ | ปัจจัยในการผลิต | | คุณสมบัติของฟิล์ม |
|---|---|---|---|
| | R : C[2] | G[3] | การยืดตัว[4] (%) |
| 1 | 1 :1 | 5 | 1.55 ±0.273[e] |
| 2 | | 7.5 | 2.75 ±0.211[d] |
| 3 | | 10 | 3.38 ±0.016[c] |
| 4 | | 12.5 | 4.07 ±0.176[b] |
| 5 | | 15 | 4.77 ±0.073[a] |
| 6 | 1 : 2 | 5 | 1.96 ±0.06[e] |
| 7 | | 7.5 | 3.30 ±0.049[d] |
| 8 | | 10 | 3.95 ±0.056[c] |
| 9 | | 12.5 | 4.56 ±0.143[b] |
| 10 | | 15 | 5.34 ±0.302[a] |
| 11 | 1 : 3 | 5 | 1.25 ±0.112[e] |
| 12 | | 7.5 | 2.21 ±0.002[d] |
| 13 | | 10 | 2.88 ±0.065[c] |
| 14 | | 12.5 | 3.44 ±0.110[b] |
| 15 | | 15 | 4.30 ±0.189[a] |

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. R : C คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลัง

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ตางกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ช6** แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง[1]

| การทดลองที่ | ปัจจัยในการผลิต | | คุณสมบัติของฟิล์ม |
|---|---|---|---|
| | R : C[2] | G[3] | อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ[4] (ก./ม.[2]วัน) |
| 1 | 1 :1 | 5 | 23.76 ±2.704[d] |
| 2 | | 7.5 | 25.51 ±4.060[cd] |
| 3 | | 10 | 29.18 ±3.851[bc] |
| 4 | | 12.5 | 32.73 ±2.613[ab] |
| 5 | | 15 | 37.50 ±1.378[a] |
| 6 | 1 : 2 | 5 | 29.23 ±1.718[d] |
| 7 | | 7.5 | 32.24 ±0.325[cd] |
| 8 | | 10 | 36.15 ±2.891[bc] |
| 9 | | 12.5 | 40.60 ±4.018[ab] |
| 10 | | 15 | 43.38 ±1.838[a] |
| 11 | 1 : 3 | 5 | 19.40 ±0.375[d] |
| 12 | | 7.5 | 20.98 ±0.378[cd] |
| 13 | | 10 | 25.96 ±1.395[bc] |
| 14 | | 12.5 | 30.85 ±0.850[ab] |
| 15 | | 15 | 32.48 ± 0.887[a] |

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. R : C คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลัง

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ตางกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข7** แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง[1]

| การทดลองที่ | ปัจจัยในการผลิต | | คุณสมบัติของฟิล์ม |
|---|---|---|---|
| | R : C[2] | G[3] | อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน[4] (มล./ม.$^2$วัน.บรรยากาศ) |
| 1 | 1 :1 | 5 | 198 $\pm$5.656$^e$ |
| 2 | | 7.5 | 347 $\pm$1.414$^d$ |
| 3 | | 10 | 458 $\pm$5.656$^c$ |
| 4 | | 12.5 | 582 $\pm$7.071$^b$ |
| 5 | | 15 | 747 $\pm$4.242$^a$ |
| 6 | 1 : 2 | 5 | 299 $\pm$1.414$^e$ |
| 7 | | 7.5 | 458 $\pm$2.828$^d$ |
| 8 | | 10 | 571 $\pm$2.828$^c$ |
| 9 | | 12.5 | 683 $\pm$4.242$^b$ |
| 10 | | 15 | 892 $\pm$7.071$^a$ |
| 11 | 1 : 3 | 5 | 161 $\pm$1.414$^e$ |
| 12 | | 7.5 | 277 $\pm$2.828$^d$ |
| 13 | | 10 | 349 $\pm$4.242$^c$ |
| 14 | | 12.5 | 427 $\pm$2.828$^b$ |
| 15 | | 15 | 592 $\pm$3.535$^a$ |

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. R : C คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลัง

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ตางกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข8** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(DMRT) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความหนาของฟิล์ม

| Source | Degree of Freedom (df) | Sum of Squares(SS) | Mean Squares (MS) | F Value |
|---|---|---|---|---|
| Treatment | 14 | 0.00125120 | 0.00008937 | 57.05** |
| A | 2 | 0.00026780 | 0.00013390 | 85.47** |
| B | 4 | 0.00096120 | 0.00024030 | 153.38** |
| AB | 8 | 0.00002220 | 0.00000278 | $1.77^{ns}$ |
| ERROR | 15 | 0.00002350 | 0.00000157 | |
| TOTAL | 29 | 0.00127470 | | |

** = sinificant at 1% level CV = 5.4%

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

**ตารางที่ ข9** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(DMRT) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อวอเตอร์แอคทิวิตี($A_w$)ของฟิล์ม

| Source | Degree of Freedom (df) | Sum of Squares(SS) | Mean Squares (MS) | F Value |
|---|---|---|---|---|
| Treatment | 14 | 0.00312187 | 0.00022299 | 11.08** |
| A | 2 | 0.00092507 | 0.00046253 | 22.97** |
| B | 4 | 0.00215520 | 0.00053880 | 26.76** |
| AB | 8 | 0.00004160 | 0.00000520 | <1 |
| ERROR | 15 | 0.00030200 | 0.00002013 | |
| TOTAL | 29 | 0.00342387 | | |

** = sinificant at 1% level CV = 4.9%

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข10** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(DMRT) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความชื้นของฟิล์ม

| Source | Degree of Freedom (df) | Sum of Squares(SS) | Mean Squares (MS) | F Value |
|---|---|---|---|---|
| Treatment | 14 | 241.6639144 | 17.217082 | 8.58** |
| A | 2 | 57.8339788 | 28.9169894 | 14.38** |
| B | 4 | 178.8902080 | 44.7225520 | 22.24** |
| AB | 8 | 4.9397276 | 0.6174660 | <1 |
| ERROR | 15 | 30.111246 | 2.0107416 | |
| TOTAL | 29 | 271.8250390 | | |

** = sinificant at 1% level CV = 8.9%

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

**ตารางที่ ข11** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(DMRT) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม

| Source | Degree of Freedom (df) | Sum of Squares(SS) | Mean Squares (MS) | F Value |
|---|---|---|---|---|
| Treatment | 14 | 41.62789489 | 2.97342106 | 63.00** |
| A | 2 | 4.45374173 | 2.22687087 | 47.18** |
| B | 4 | 36.81723566 | 9.20430892 | 195.03** |
| AB | 8 | 0.35691749 | 0.04461469 | <1 |
| ERROR | 15 | 0.70791947 | 0.04719463 | |
| TOTAL | 29 | 42.33581436 | | |

** = sinificant at 1% level CV = 10.3 %

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข12** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(DMRT) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความสามารถในการยืดตัวของฟิล์ม

| Source | Degree of Freedom (df) | Sum of Squares(SS) | Mean Squares (MS) | F Value |
|---|---|---|---|---|
| Treatment | 14 | 41.33534867 | 2.95252491 | 129.17** |
| A | 2 | 5.03823751 | 2.51911876 | 110.21** |
| B | 4 | 36.16822534 | 9.04205634 | 395.58** |
| AB | 8 | 0.12888582 | 0.01611073 | <1 |
| ERROR | 15 | 0.34286372 | 0.02285785 | |
| TOTAL | 29 | 41.67821239 | | |

** = sinificant at 1%level CV = 4.6 %

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

**ตารางที่ ข13** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(DMRT) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม

| Source | Degree of Freedom (df) | Sum of Squares(SS) | Mean Squares (MS) | F Value |
|---|---|---|---|---|
| Treatment | 14 | 1336.837935 | 95.488424 | 17.46** |
| A | 2 | 552.146675 | 276.073337 | 50.47** |
| B | 4 | 776.925220 | 194.231305 | 35.50** |
| AB | 8 | 7.766040 | 0.970755 | <1 |
| ERROR | 15 | 82.058191 | 5.470546 | |
| TOTAL | 29 | 1418.896126 | | |

** = sinificant at 1% level CV = 7.6 %

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ช14** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(DMRT) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่ออัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์ม

| Source | Degree of Freedom (df) | Sum of Squares(SS) | Mean Squares (MS) | F Value |
|---|---|---|---|---|
| Treatment | 14 | 1211496.467 | 86535.462 | 451.49** |
| A | 2 | 240384.267 | 120192.133 | 627.09** |
| B | 4 | 952511.800 | 238127.950 | 1242.41** |
| AB | 8 | 18600.400 | 2325.050 | 12.13** |
| ERROR | 15 | 2875.000 | 191.667 | |
| TOTAL | 29 | 1214371.467 | | |

** = sinificant at 1% level CV = 2.9%

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5. 10, 12.5 และ 15)

## 2. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธี RESPONDSURFACE

**ตารางที่ ช15** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(RSD) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความหนาของฟิล์ม

| Independent variable | Coefficient | Std. Error | T – value | Sig. Level |
|---|---|---|---|---|
| Constant | -0.03333 | 0.059992 | -0.5556 | 0.5834 |
| A | 0.03245 | 0.027569 | 1.1770 | 0.2503 |
| B | 0.00385 | 0.005645 | 0.6821 | 0.0064 |
| AB | -0.00196 | 0.002599 | -0.7541 | 0.4579 |

R – SQ.(ADJ.) = 0.6632 SE = 0.041097 MAE =0.016814 DurbWat = 2.434

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข16** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(RSD) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อวอเตอร์แอคทิวิตี($A_w$)ของฟิล์ม

| Independent variable | Coefficient | Std. Error | T – value | Sig. Level |
|---|---|---|---|---|
| Constant | 0.459723 | 0.009138 | 50.3084 | 0.0000 |
| A | -0.0033 | 0.004199 | -0.7858 | 0.4394 |
| B | 0.002523 | 0.00086 | 2.9349 | 0.0071 |
| AB | -1.31305 | 0.000396 | 0.0000 | 1.0000 |

R – SQ.(ADJ.) = 0.6792 SE = 0.006260 MAE = 0.004683 DurbWat = 1.136

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

**ตารางที่ ข17** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(RSD) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความชื้นของฟิล์ม

| Independent variable | Coefficient | Std. Error | T – value | Sig. Level |
|---|---|---|---|---|
| Constant | 9.559395 | 2.564516 | 3.7276 | 0.0010 |
| A | -0.3255 | 1.178511 | -0.2762 | 0.7847 |
| B | 0.815395 | 0.241294 | 3.3793 | 0.0024 |
| AB | -0.0565 | 0.111111 | -0.5085 | 0.6156 |

R – SQ.(ADJ.) = 0.6752 SE = 1.756821 MAE = 1.336669 DurbWat = 1.392

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข18** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(RSD) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม

| Independent variable | Coefficient | Std. Error | T – value | Sig. Level |
|---|---|---|---|---|
| Constant | 4.487963 | 0.625452 | 7.1756 | 0.0000 |
| A | 0.399 | 0.287423 | 1.3882 | 0.1773 |
| B | -0.285437 | 0.058848 | -4.8504 | 0.0001 |
| AB | -0.0161 | 0.027099 | -0.5941 | 0.5578 |

R – SQ.(ADJ.) = 0.8747 SE = 0.428466 MAE = 0.311930 DurbWat = 0.585

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

**ตารางที่ ข19** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(RSD) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่อความสามารถในการยืดตัวของฟิล์ม

| Independent variable | Coefficient | Std. Error | T – value | Sig. Level |
|---|---|---|---|---|
| Constant | 0.50737 | 0.643931 | 0.7879 | 0.4381 |
| A | -0.153 | 0.295916 | -0.5170 | 0.6097 |
| B | 0.32817 | 0.060587 | 5.4165 | 0.0000 |
| AB | -0.009 | 0.027899 | -0.3226 | 0.7497 |

R – SQ.(ADJ.) = 0.8626 SE = 0.441125 MAE = 0.353333 DurbWat = 0.416

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข20** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(RSD) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม

| Independent variable | Coefficient | Std. Error | T – value | Sig. Level |
|---|---|---|---|---|
| Constant | 19.833296 | 6.879625 | 2.8829 | 0.0080 |
| A | -2.164 | 3.1615 | -0.6845 | 0.5000 |
| B | 1.445896 | 0.647301 | 2.2337 | 0.0347 |
| AB | 0.0263 | 0.298069 | 0.0882 | 0.9304 |

R – SQ.(ADJ.) = 0.5595 SE = 4.712886 MAE = 3.714132 DurbWat = 0.747

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

**ตารางที่ ข21** แสดงการวิเคราะห์ทางสถิติ(RSD) ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรอลต่ออัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์ม

| Independent variable | Coefficient | Std. Error | T – value | Sig. Level |
|---|---|---|---|---|
| Constant | -69.406173 | 129.935628 | -0.5342 | 0.5980 |
| A | 11.45 | 59.711313 | 0.1918 | 0.8495 |
| B | 64.093827 | 12.225582 | 5.2426 | 0.0000 |
| AB | -6.4 | 5.629637 | -1.1368 | 0.2664 |

R – SQ.(ADJ.) = 0.8123 SE = 89.012370 MAE = 72.527033 DurbWat = 0.294

A = อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (1:1, 1:2 และ 1:3)

B = ร้อยละกลีเซอรอล (5, 7.5, 10, 12.5 และ 15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค

## การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

**ตารางที่ ค1** ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

| การทดลองที่ | ปัจจัย | | Glyceral (%) | สัดส่วนของแข็ง: ของเหลว | สภาวะ | | | ผลการทดลองลักษณะของฟิล์ม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (g) | ของเหลว glyceral : น้ำ (ml) | | | อุณหภูมิ (°C) | ความเร็ว (rpm) | เวลา (นาที) | |
| 1 | 30 : 70 | 2 : 98 | 2 | 1 : 1 | 80 | 100 | 10 | แตกละเอียดสีขาว |
| 2 | 50 : 50 | 2 : 98 | 2 | 1 : 1 | 80 | 100 | 10 | แตกลายละเอียดสีขาว |
| 3 | 70 : 30 | 2 : 98 | 2 | 1 : 1 | 80 | 100 | 10 | แตกลายเป็นริ้วสีขาว |
| 4 | 0 : 100 | 2 : 98 | 2 | 1 : 1 | 80 | 100 | 10 | แตกลายละเอียดสีขาว |
| 5 | 100 : 0 | 2 : 98 | 2 | 1 : 1 | 80 | 100 | 10 | แตกลายหยาบปนละเอียด |
| 6 | 30 : 70 | 5 : 95 | 5 | 1 : 1 | 60 | 150 | 10 | แตกหยาบปนละเอียดสีขาว |
| 7 | 50 : 50 | 5 : 95 | 5 | 1 : 1 | 60 | 150 | 10 | แตกลายละเอียดร่อนสีขาว |
| 8 | 70 : 30 | 5 : 95 | 5 | 1 : 1 | 60 | 150 | 10 | แตกเป็นริ้วละเอียดสีขาว |
| 9 | 0 : 100 | 5 : 95 | 5 | 1 : 1 | 60 | 150 | 10 | แตกลายละเอียดติดแผ่นกระจก |
| 10 | 100 : 0 | 5 : 95 | 5 | 1 : 1 | 60 | 150 | 10 | แตกลายห่างไม่ติดกระจก |
| 11 | 30 : 70 | 10 : 90 | 10 | 1 : 1 | 60 | 150 | 15 | แตกละเอียดไม่ติดแผ่นกระจำ |
| 12 | 50 : 50 | 10 : 90 | 10 | 1 : 1 | 60 | 150 | 15 | แตกลายละเอียดเป็นริ้ว |
| 13 | 70 : 30 | 10 : 90 | 10 | 1 : 1 | 60 | 150 | 15 | แตกลายละเอียดปนหยาบ |
| 14 | 0 : 100 | 10 : 90 | 10 | 1 : 1 | 60 | 150 | 15 | แตกลายละเอียดไม่ติดกระจก |
| 15 | 100 : 0 | 10 : 90 | 10 | 1 : 1 | 60 | 150 | 15 | แตกลายห่างไม่ติดแผ่นกระจก |
| 16 | 10 : 40 | 5 : 95 | 5 | 1 : 2 | 65 | 150 | 20 | ฟิล์มเปราะบางขาวขุ่นแตกง่าย |
| 17 | 20 : 30 | 10 : 90 | 10 | 1 : 2 | 65 | 150 | 20 | แตกไม่เป็นฟิล์ม |
| 18 | 25 : 25 | 20 : 80 | 20 | 1 : 2 | 65 | 150 | 20 | แตกหยาบละเอียด |
| 19 | 30 : 20 | 20 : 80 | 20 | 1 : 2 | 65 | 150 | 20 | ไม่เป็นฟิล์มแตกร่อน |
| 20 | 40 : 10 | 20 : 80 | 20 | 1 : 2 | 65 | 150 | 20 | แตกลายหยาบไม่เป็นฟิล์ม |
| 21 | 0 : 50 | 20 : 80 | 20 | 1 : 2 | 65 | 150 | 20 | แตกลายละเอียด |
| 22 | 50 : 0 | 20 : 80 | 20 | 1 : 2 | 65 | 150 | 20 | แตกลายหยาบไม่เป็นฟิล์ม |
| 23 | 10 : 40 | 5 : 95 | 5 | 1 : 2 | 70 | 150 | 30 | แตกละเอียดไม่เป็นฟิล์ม |
| 24 | 10 : 40 | 7.5 : 92.5 | 7.5 | 1 : 2 | 70 | 150 | 30 | แตกละเอียดไม่เป็นฟิล์ม |
| 25 | 10 : 40 | 10 : 90 | 10 | 1 : 2 | 70 | 150 | 30 | แตกละเอียดไม่เป็นฟิล์ม |
| 26 | 10 : 40 | 12.5 : 87.5 | 12.5 | 1 : 2 | 70 | 150 | 30 | แตกละเอียดไม่เป็นฟิล์ม |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค1 ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง(ต่อ)**

| การทดลองที่ | ปัจจัย | | Glyceral (%) | สัดส่วนของแข็ง:ของเหลว | สภาวะ | | | ผลการทดลองลักษณะของฟิล์ม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง (g) | ของเหลว glyceral : น้ำ (ml) | | | อุณหภูมิ (°C) | ความเร็ว (rpm) | เวลา (นาที) | |
| 27 | 10 : 20 | 10 : 90 | 10 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางขุ่นมีรอยแตก |
| 28 | 15 : 15 | 10 : 90 | 10 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟล์มบางขุ่นพับได้แตกบางส่วน |
| 29 | 20 : 10 | 10 : 90 | 10 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางแตกละเอียดมาก |
| 30 | 0 : 30 | 10 : 90 | 10 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟล์มบางแตกเป็นริ้วละเอียด |
| 31 | 30 : 0 | 10 : 90 | 10 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางแตกละเอียด |
| 32 | 10 : 20 | 10 : 90 | 10 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางขุ่นเรียบงอได้มีรอยแตก |
| 33 | 10 : 20 | 12.5 : 87.5 | 12.5 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางขุ่นเรียบงอได้มีรอยแตก |
| 34 | 10 : 20 | 15 : 85 | 15 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางขุ่นเรียบพับงอได้ |
| 35 | 10 : 20 | 17.5 - 82.5 | 17.5 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางขุ่นมีรอยแตกละเอียด |
| 36 | 10 : 20 | 20 : 80 | 20 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางขุ่นมีรอยแตกบ้าง |
| 37 | 15 : 15 | 10 : 90 | 10 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางเรียบพับงอได้มีรอยแตก |
| 38 | 15 : 15 | 12.5 : 87.5 | 12.5 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางเรียบพับงอได้มีรอยแตก |
| 39 | 15 : 15 | 15 : 85 | 15 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางเรียบพับงอได้มีรอยแตก |
| 40 | 15 : 15 | 17.5 : 82.5 | 17.5 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางมีรอยแตกบ้าง |
| 41 | 15 : 15 | 20 : 80 | 20 | 1: 3.33 | 75 | 150 | 40 | ฟิล์มบางมีรอยแตกบ้าง |
| 42 | 5 : 10 | 5 : 95 | 5 | 1 : 7 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสเรียบพับงอได้ |
| 43 | 5 : 10 | 10 : 90 | 10 | 1 : 7 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสเรียบพับงอได้ |
| 44 | 5 : 10 | 15 : 85 | 15 | 1 : 7 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสเรียบพับงอได้ |
| 45 | 5 : 10 | 20 : 80 | 20 | 1 : 7 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสและขึ้นมีรอยแตกบ้าง |
| 46 | 5 : 10 | 25 : 75 | 25 | 1 : 7 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสและขึ้นมีรอยแตกบ้าง |
| 47 | 10 : 10 | 5 : 95 | 5 | 1 : 5 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสเรียบพับงอได้ |
| 48 | 10 : 10 | 10 : 90 | 10 | 1 : 5 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสเรียบพับงอได้ |
| 49 | 10 : 10 | 15 : 85 | 15 | 1 : 5 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสเรียบพับงอได้ |
| 50 | 10 : 10 | 20 : 80 | 20 | 1 : 5 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสและขึ้นมีรอยแตก |
| 51 | 10 : 10 | 25 : 75 | 25 | 1 : 5 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสและขึ้นมีรอยแตก |
| 52 | 5 : 15 | 5 : 95 | 5 | 1 : 5 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสเรียบพับงอได้ |
| 53 | 5 : 15 | 10 : 90 | 10 | 1 : 5 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสเรียบพับงอได้ |
| 54 | 5 : 15 | 15 : 85 | 15 | 1 : 5 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสเรียบพับงอได้ |
| 55 | 5 : 15 | 20 : 80 | 20 | 1 : 5 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสและขึ้นมีรอยแตกบ้าง |
| 56 | 5 : 15 | 25 : 75 | 25 | 1 : 5 | 75 | 250 | 20 | ฟิล์มบางใสและขึ้นมีรอยแตก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ค** 1 แสดงกระบวนการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

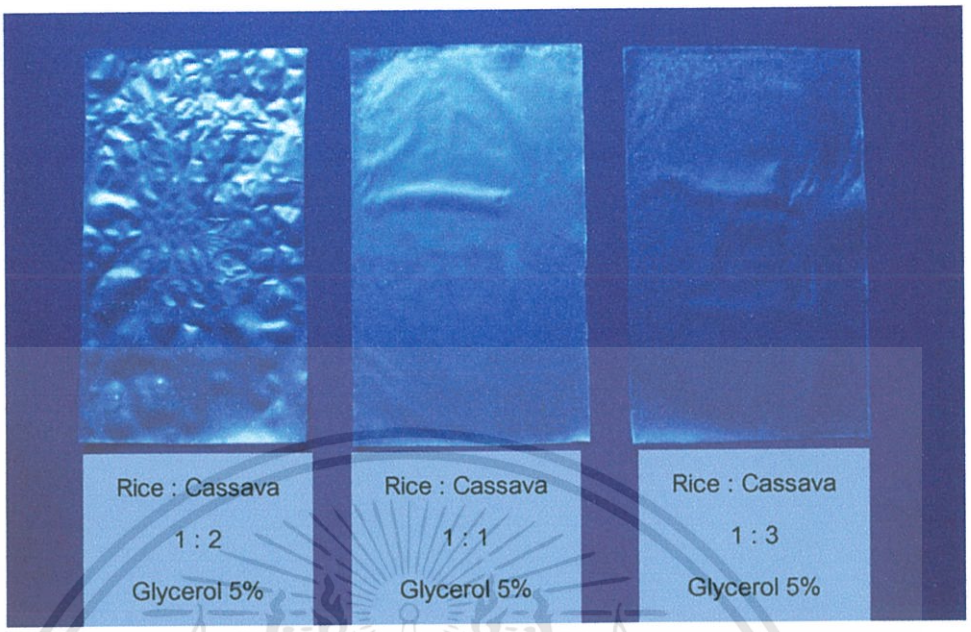
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง

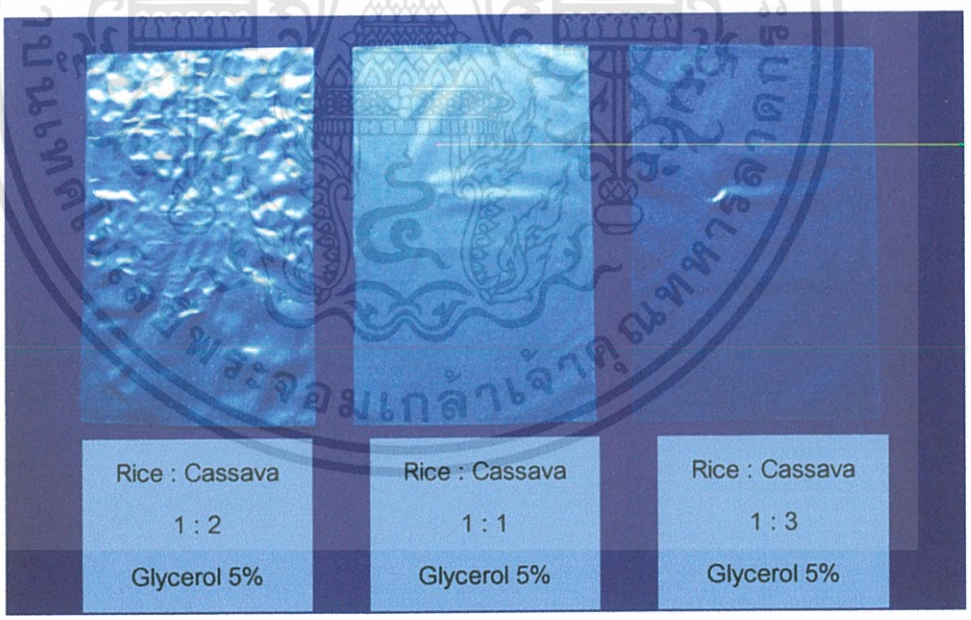
## กระบวนการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ได้วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 5 X 3 โดยศึกษาปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่1) , 1 : 2 (สูตรที่2) และ 1 : 3 (สูตรที่3) ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณร้อยละกลีเซอรอล 5 , 7.5, 10, 12.5 และ 15 (โดยปริมาตร) โดยใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว (ของแข็งคือแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนของเหลวคือ น้ำ) เท่ากับ 1 : 7 (ในสูตรที่ 2) และ 1 : 5 (ในสูตรที่ 1 และ 3) ในการทดลองจะทำการผสม แป้งข้าวเจ้ากับ แป้งมันสำปะหลัง และ น้ำกลั่นในเครื่องผสมและมีการให้ความร้อนโดยใช้อ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วในการผสม 250 รอบ/นาที ระยะเวลานาน 2 นาที จากนั้นค่อยๆ เติมกลีเซอรอลตามที่กำหนด หลังจากนั้นเพิ่มความเร็วในการผสมเป็น 350 รอบ/นาที ระยะเวลานาน 18 นาที ชั่งน้ำหนักของผสม 60 กรัม เทลงบนแผ่นพลาสติกขนาด 20 X 30 เซนติเมตร ที่ต่อขอบทั้งสี่ด้านสูง 1 มิลลิเมตร เกลี่ยให้เรียบเสมอกันจนเต็มแผ่นพอดี นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 – 24 ชั่วโมง ลอกฟิล์มออกเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ทางฟิสิกส์และเคมีต่อไป แผ่นฟิล์มที่ได้แสดงดังรูปที่ ง1 – ง5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



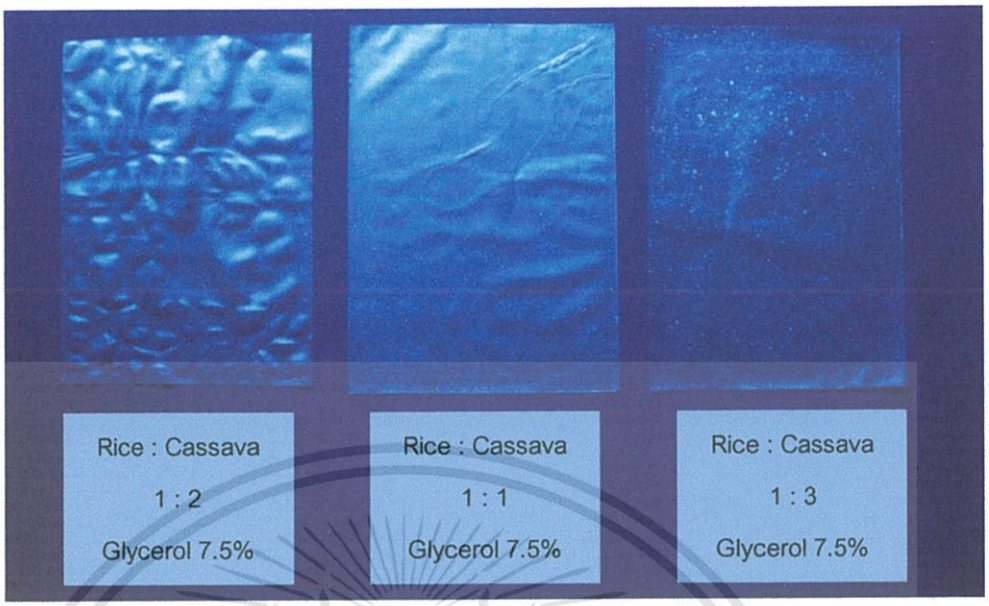

(1)



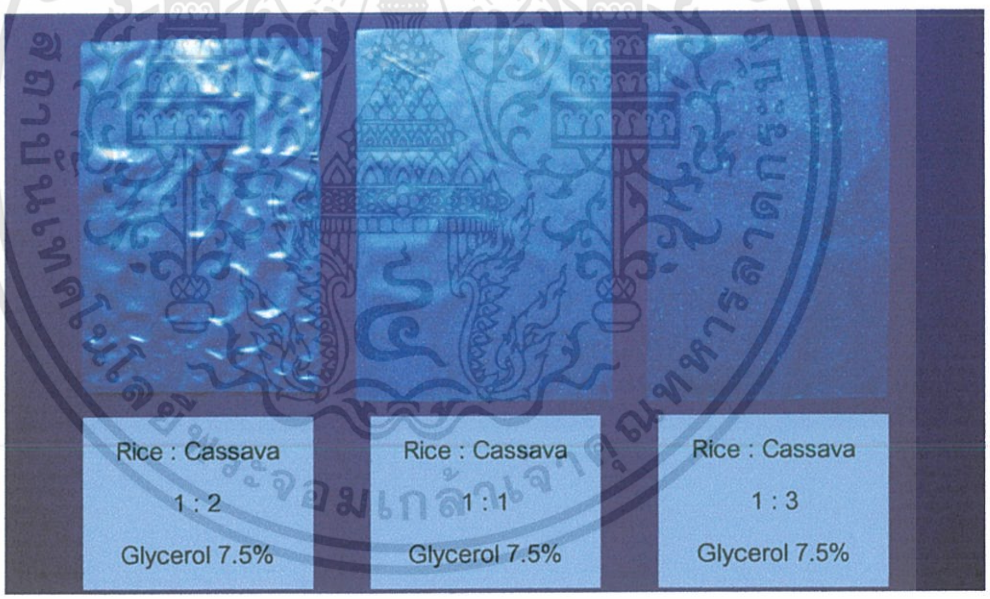

(2)

**รูปที่ ง1** แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



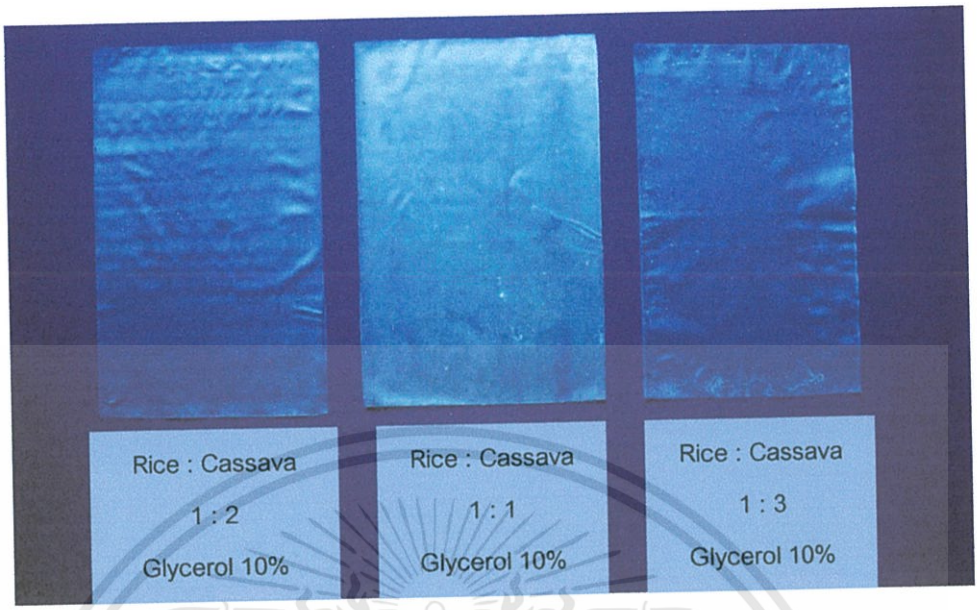

(1)




(2)

**รูปที่ ง2** แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 7.5 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

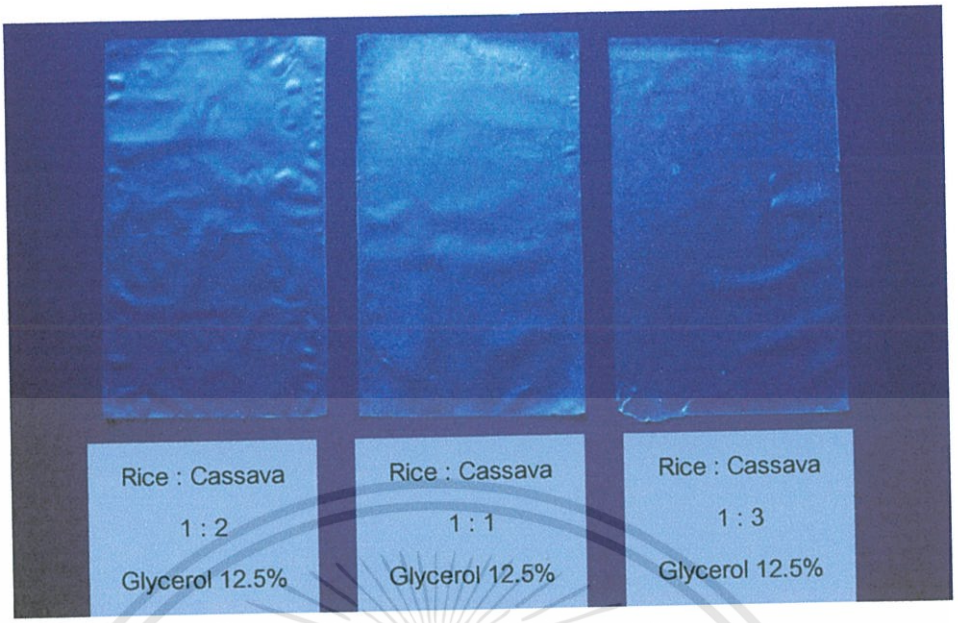



(1)

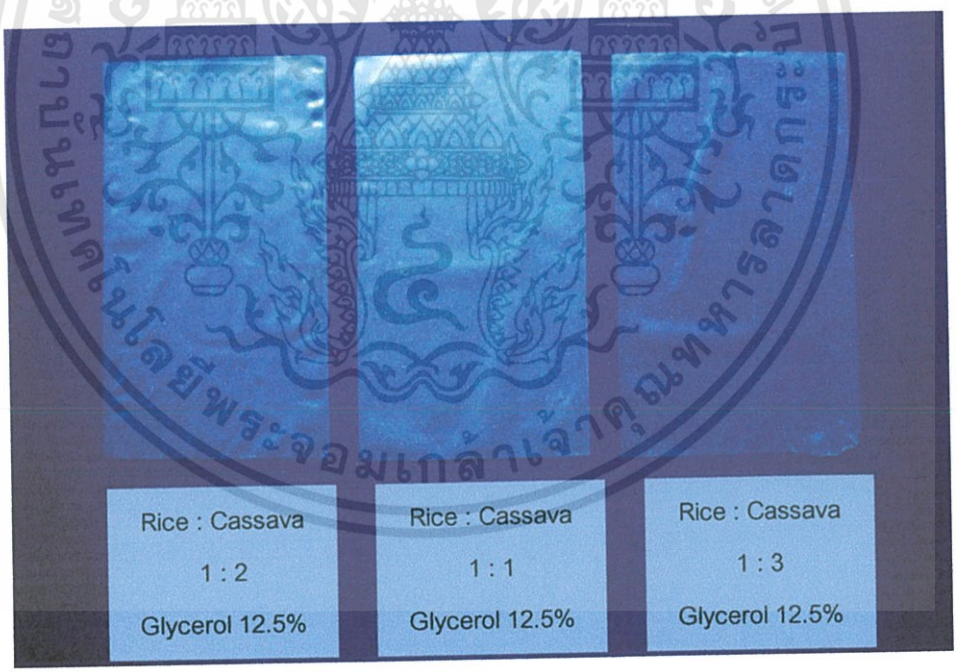
(2)

**รูปที่ ง3** แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 10 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



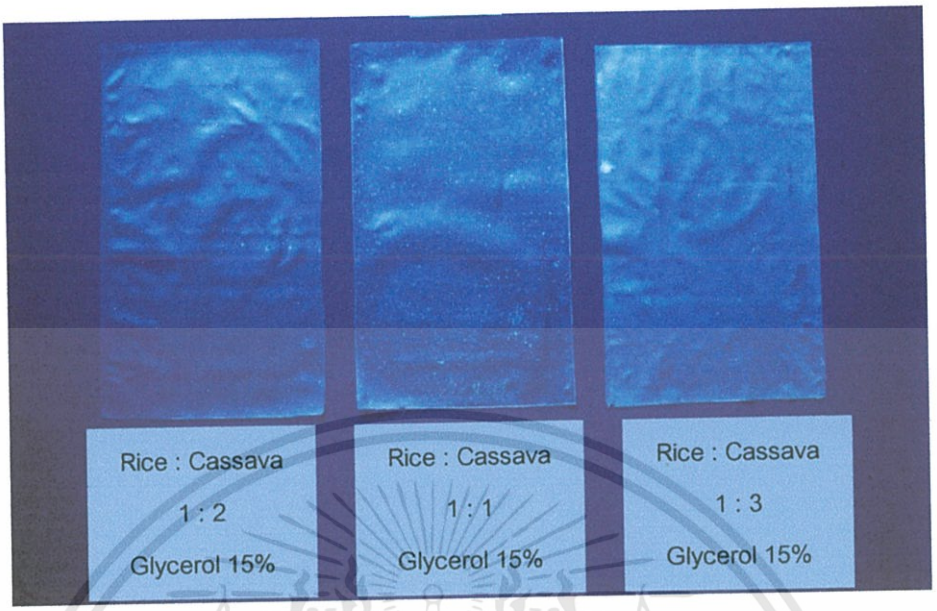

(1)




(2)

**รูปที่ ง4** แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 12.5 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(1)

(2)

**รูปที่ ง5** แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 1 : 1 (สูตรที่ 1), 1 : 2 (สูตรที่ 2) และ 1 : 3 (สูตรที่ 3) ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

นายสมศักดิ์ ภักดีวราภรณ์ เกิดวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชา อุตสาหกรรมเกษตร (ภาคพิเศษ) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540 และ ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ในปี พ.ศ. 2540 และ สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้