

การผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

PRODUCTION OF CARBOHYDRATE EDIBLE FILM FROM RICE FLOUR  
AND PECTIN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

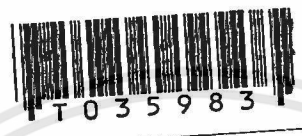
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-822-6

การผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

PRODUCTION OF CARBOHYDRATE EDIBLE FILM FROM RICE FLOUR  
AND PECTIN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-822-6

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 35983  
วัน, เดือน, ปี... 3 ก.ค. 2543

PRODUCTION OF CARBOHYDRATE EDIBLE FILM FROM RICE  
FLOUR AND PECTIN



A THESIS-SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2000  
ISBN 974-622-822-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2000**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน  
PRODUCTION OF CARBOHYDRATE EDIBLE FILM FROM  
RICE FLOUR AND PECTIN  
ชื่อนักศึกษา นางสาวรุณี ยาห้องภาค  
รหัสประจำตัว 40066004  
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร  
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. วุฒิชัย นาคร์รักษา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. วุฒิชัย นาคร์รักษา	
ผศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ	
ดร. กิตติชัย บรรจง	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 26 เมษายน 2543 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป  
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม คณะเทคโนโลยีการเกษตร (ห้อง 1)



วันที่ 31 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2543

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน
นักศึกษา	นางสาวจารุณี ยาห้องภาค
รหัสประจำตัว	40066004
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

### บทคัดย่อ

จากการศึกษาการผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล มีปัจจัยในการผลิตฟิล์มดังนี้ ปัจจัยที่หนึ่งเป็น อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 และปัจจัยที่สองเป็นปริมาณ กลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 5, 10 และ 15 (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) การผลิตฟิล์มใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว (ของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนของเหลว คือ น้ำกลั่น) เท่ากับ 1 : 8 ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์เคมีของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ พบว่า อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนา, ความต้านทานแรงดึงขาด และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่า  $A_w$  และความชื้น ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่ปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนา, ค่า  $A_w$ , ความชื้น, ความสามารถในการยึดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ, อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน ความต้านทานแรงดึงขาด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัยมีผลทำให้  $A_w$ , ความชื้น และความต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ความหนา, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สออกซิเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

Thesis Title        Production of Carbohydrate Edible Film from Rice Flour and Pectin

Student              Miss Charunee Yahonggad

Student ID.         40066004

Degree                Master of Science

Programme         Food Science

Year                  2000

Thesis Advisor     Assoc.Prof.Dr. Woatthichai Narkrugsa

### ABSTRACT

The edible film production from rice flour and pectin was studied by using two factors factorial in completely randomized design. Three ratio of the rice flour : pectin (25 : 75, 50 : 50 and 75 : 25 on dry weight basis) and three quantity of the glycerol ( 5,10 and 15% on flour dry weight basis ) were used. In this experiment, the ratio between the solid (rice flour and pectin) : liquid (distilled water) at 1 : 8 was done. It was found that as increasing the ratio of rice flour : pectin, the thickness, tensile strength, WVTR and oxygen permeability were significantly increased while  $A_w$ , moisture content and elongation were significantly decreased. The increasing of glycerol significantly increased films thickness, elongation, WVTR and oxygen permeability while decreasing tensile strength. The interaction between the two factors resulted to significantly increase in  $A_w$ , moisture content and tensile strength whereas the thickness, WVTR and oxygen permeability were significantly decreased.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย นาครักษ์ษา ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำแนวทาง และ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลา ของการศึกษานจนกระทั่งข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณภาควิชาบรรณารักษณ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาให้ความ อนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของฟิล์ม และเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ ภาควิชา อุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ภาควิชาบรรณารักษณ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์บรรณารักษณ์หอไทย ที่ กรุณาให้ความอนุเคราะห์ตลอดมา ขอขอบคุณคุณคุณบุญกฤต รัตนพันธ์ คุณพรทิพย์ มีนพกิจ และคุณประชิด อยู่หว่าง รวมถึงพี่ ๆ น้อง ๆ ประิญาโทที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ที่ท่านได้กรุณาให้การอบรม เลี้ยงดู ให้ความสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

จารุณี ยาห้องกาศ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความหมายของฟิล์มที่รับประทานได้.....	3
2.2 เหตุผลของการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้.....	3
2.3 คุณสมบัติของฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้.....	3
2.4 องค์ประกอบของฟิล์มที่รับประทานได้.....	5
2.4.1 ส่วนโพลีเมอร์.....	5
2.4.1.1 ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์.....	5
2.4.1.2 ฟิล์มลิวติน.....	13
2.4.1.3 ฟิล์มโปรตีน.....	15
2.4.2 ส่วนพลาสติกไซเซอร์.....	17
2.5 การเกิดฟิล์ม.....	20
2.6 การขึ้นรูปฟิล์ม.....	22
2.7 ลักษณะทั่วไปของแป้งข้าวเจ้า.....	23
2.7.1 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง.....	24
2.7.2 การพองตัวและการละลายของแป้ง.....	25
2.7.3 การเกิดเจลลิตีไนเซชันด้วยความร้อนของแป้ง.....	26
2.7.4 สมบัติบางประการของอะมิโลส.....	26

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8	พืดดิน.....	27
2.8.1	แหล่งที่มาของพืดดิน.....	27
2.8.2	โครงสร้างทางเคมีของพืดดิน.....	29
2.8.3	การแบ่งกลุ่มพืดดิน.....	30
2.8.4	การเกิดเจลาของพืดดิน.....	30
บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการ.....	37
3.1	วัสดุดิบ.....	37
3.2	สารเคมี.....	37
3.3	อุปกรณ์ในการผลิต.....	37
3.4	อุปกรณ์ในการวิเคราะห์.....	37
3.5	สถานที่ทดลอง.....	38
3.6	วิธีการทดลอง.....	38
3.6.1	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดิบ.....	38
3.6.2	การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จาก แป้งข้าวเจ้าและพืดดินและคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้.....	41
3.6.3	การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	49
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	50
4.1	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดิบ.....	50
4.1.1	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า.....	50
4.1.2	การวิเคราะห์ความชื้นของพืดดิน.....	51
4.2	การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จาก แป้งข้าวเจ้าและพืดดินและคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตได้.....	51
4.2.1	ความหนา.....	51
4.2.2	ค่าวอร์เตอร์แอกทิวิตี.....	53
4.2.3	ความชื้น.....	55
4.2.4	ค่าความต้านทานแรงดึงขาด.....	57

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.5 ความสามารถในการยึดตัว.....	59
4.2.6 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ.....	61
4.2.7 อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน.....	63
4.2.8 ความต้านทานน้ำมัน.....	65
4.3 การเปรียบเทียบฟิล์มแบ่งข้าวเจ้ากับเพคตินและฟิล์มที่ผลิตจาก วัตถุดิบธรรมชาติชนิดอื่น.....	65
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	69
ข้อเสนอแนะ.....	72
เอกสารอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก.....	80
ก การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	81
ข กระบวนการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	91
ค การแตกของฟิล์มในระหว่างการวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน.....	101
ง ข้อมูลการทดลอง.....	102
ประวัติผู้เขียน.....	104

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หน้าที่ของอะมิโลสในระบบการเกิดเจล.....	27
2.2 โครงสร้างของเพคติน.....	29
2.3 โครงสร้างส่วนที่เป็นเส้นตรงและส่วนที่เป็นกิ่ง สาขา.....	30
2.4 โครงสร้างบริเวณที่เกิดเจลของเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลสูง.....	32
2.5 โพลีเมอร์ตาข่ายบริเวณที่เกิดเจลและการทับซ้อนกัน.....	33
2.6 การเกิดเจลของเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำโดยมีแคลเซียมไอออน.....	35
2.7 การเกิดการเชื่อมข้ามระหว่างเพคตินและแคลเซียมไอออน.....	36
3.1 แผนผังการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	43
3.2 เครื่องวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม.....	44
3.3 เครื่องวัดค่าออร์เตอร์เอกทิวดี.....	45
3.4 เครื่องวัดความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว.....	46
3.5 ชุดทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ.....	47
3.6 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน.....	48
3.7 แสดงการวัดความต้านทานน้ำมัน.....	49
4.1 กราฟแสดงค่าความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	53
4.2 กราฟแสดงค่าออร์เตอร์เอกทิวดีของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า และเพคติน.....	54
4.3 กราฟแสดงความขึ้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	56
4.4 กราฟแสดงความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จาก จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	58
4.5 กราฟแสดงความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จาก แป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	60
4.6 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้ จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	62
4.7 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้ จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	64

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก1 แสดงกระบวนการการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	82
ก2 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90: 10 กลีเซอรอลร้อยละ 0.5 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	83
ก3 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90: 10 กลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	84
ก4 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90: 10 กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	85
ก5 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90: 10 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	86
ก6 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70: 30 กลีเซอรอลร้อยละ 0.5 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	87
ก7 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70: 30 กลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	88
ก8 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70: 30 กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	89
ก9 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70: 30 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	90
ข1 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25: 75 กลีเซอรอลร้อยละ 5 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	92

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข2 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	93
ข3 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	94
ข4 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 กลีเซอรอลร้อยละ 5 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	95
ข5 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	96
ข6 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	97
ข7 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 กลีเซอรอลร้อยละ 5 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	108
ข8 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	99
ข9 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	100
ค1 แสดงการแตกของฟิล์มระหว่างการวัดอัตราการผลิตที่ผ่านของแก๊สออกซิเจน.....	101

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ภาพลักษณ์บรรจุภัณฑ์กลายเป็นภาพด้านมืดเนื่องเพราะการตื่นตัวในปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งรวมถึง การตัดไม้ทำลายป่า ฝนกรด การทำลายบรรยากาศชั้นโอโซน ตลอดจนปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในปริมาณสูงเป็นประจำทุกปี และวิธีการกำจัดของเสียโดยการถมทิ้ง และการเผาเริ่มไม่เป็นที่นิยม ชยะบรรจุภัณฑ์ หนึ่งในปัจจัยที่กระทบสิ่งแวดล้อมอย่างมองได้ชัด จึงกลายเป็นสิ่งที่ทุกคนต่อต้าน ซึ่งหลายประเทศในสหภาพยุโรปได้กำหนดแผนลดขยะบรรจุภัณฑ์ภายใต้การสนับสนุนของกฎหมายแล้ว ( ศิริวรรณ แสงนิกรเกียรติ. 2540 ) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ( วท .) โดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย (ศบท.) ได้รับมอบหมายจากกรมควบคุมมลพิษ (คพ.) เป็นผู้ดำเนินโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการลดของเสียและการใช้ประโยชน์จากของเสีย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาวิจัยวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อลดค่าธรรมเนียมกำจัดบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าส่งออกที่มีเป้าหมายไปยังกลุ่มสหภาพยุโรป และเพื่อกำหนดแนวทางในการจัดการบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศที่สอดคล้องกับมาตรการสนับสนุนกลไกการเรียกคืน เร็วกลับ นำกลับเพื่อใช้ใหม่หรือแปรรูปเพื่อการใช้ใหม่ จากการสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทยโดยกรมควบคุมมลพิษ พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี ล่าสุดในปี พ.ศ. 2541 มีปริมาณขยะทั่วประเทศประมาณ 13.6 ล้านตัน ในปริมาณนี้จะเป็นของเสียบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ที่มีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ถึงร้อยละ 45 คิดเป็นมูลค่าประมาณ 36,100 ล้านบาท ส่งผลให้ประเทศต้องสูญเสียเงินเนื่องจากการขาดมาตรการการจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วถึงปีละ 42,500 ล้านบาท ( สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2543 )

การใช้พลาสติกและโฟมเป็นบรรจุภัณฑ์ได้เข้ามามีบทบาทและเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันของเราอย่างแยกไม่ออก ปริมาณพลาสติกและโฟมที่ใช้แล้วทิ้งมีจำนวนมากขึ้นทุก ๆ ปี ซึ่งอาจจะสะสมกันมากจนเกิดมลภาวะได้ การลดจำนวนพลาสติกที่ใช้ห่อหุ้มอาหารลงโดยใช้วัสดุอื่นที่มีคุณลักษณะคล้ายพลาสติก บรรจุอาหารได้ และมีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถละลายได้ในน้ำ และรับประทานได้พร้อมกับอาหารนั้น ๆ มาใช้แทนพลาสติก ซึ่งการนำฟิล์มที่รับประทานได้มาใช้จะเป็นวิธีทางหนึ่งที่จะแบ่งเบาขยะพลาสติก (เกศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ. 2539 ) ซึ่งเป็นปัญหาที่ประเทศกำลังประสบอยู่

ฟิล์มที่รับประทานได้สามารถทำได้จากผลิตภัณฑ์ทั้งพืชและสัตว์ การเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตที่เหมาะสมจะทำให้ได้ฟิล์มตามต้องการ เนื่องจากว่าปัจจุบันแหล่งของเพคตินตามธรรมชาติที่มีอยู่อย่างมากมายไม่ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ ทั้ง ๆ ที่เพคตินเป็นวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพมาก โดยเหตุที่เพคตินเป็นองค์ประกอบหลักของผักและผลไม้ และจากของเหลือทิ้งในทางการเกษตรนั้นมีมากมาย และโครงสร้างทางโมเลกุลของสารละลายเพคตินมีคุณสมบัติคล้ายกับโพลีเมอร์ชั้นสูงที่สังเคราะห์ได้ (Arpin *et al.* 1977 ; Wong *et al.* 1978) จากคุณสมบัติทางด้านโมเลกุลของเพคติน คาดว่าฟิล์มที่ผลิตจากเพคตินจะมีคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางเชิงกลที่น่าสนใจ ส่วนแป้งข้าวเจ้าก็เป็นผลิตผลทางการเกษตรของประเทศเราที่มีจำนวนมากและสามารถหาได้ง่าย เมื่อนำมาผลิตเป็นฟิล์มที่รับประทานได้แล้วจะมีผลดี คือ สามารถนำผลิตผลทางการเกษตรของประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงขึ้นไปเป็นการลดต้นทุนในการผลิตฟิล์มด้วย

สตาร์ชเป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ จึงมีการแนะนำให้นำมาประยุกต์ใช้เป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Otey *et al.* 1977,1980,1987) และจากการศึกษาของนักวิจัยหลายท่านที่ผ่านมาพบว่าฟิล์มที่ผลิตจากเพคตินนั้นมีคุณสมบัติที่น่าสนใจหลายอย่าง สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง (Coffin and Fishman. 1993)

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในส่วนของภาชนะบรรจุในปัจจุบันให้พัฒนาไปในทางที่ดีขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน
- 1.2.2 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์เคมีบางประการของฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 फिल्मที่บริโภคได้ (Edible film)

ฟิล์มบริโภคได้ หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่บริโภคได้ นำมาใช้กับอาหารโดยเคลือบผิวของอาหารโดยตรงหรือเตรียมแผ่นฟิล์มขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำไปใช้กับอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหรือชะลอการผ่านเข้าออกของก๊าซ ไอน้ำ ไขมัน เกลือ สารละลาย จุลินทรีย์ หรือสารอื่น ๆ จากอาหาร ฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันโดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ (Guilbert. 1986)

### 2.2 เหตุผลของการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้

ถึงแม้ว่าการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้ ไม่สามารถใช้แทนวัสดุบรรจุภัณฑ์สังเคราะห์หรือพลาสติกได้ทั้งหมด แต่ฟิล์มหรือสารเคลือบดังกล่าว สามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการปรับปรุงคุณภาพอาหาร หรือยืดอายุการเก็บและเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ วัตถุประสงค์โดยทั่วไปของการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้กับฟิล์มพลาสติกบรรจุอาหารก็มีความคล้ายคลึงกัน วัตถุประสงค์ของการใช้ ได้แก่ การควบคุมอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (อาจอยู่ในรูปของความชื้นในอาหารและในบรรยากาศ) และแก๊ส ป้องกันมิให้สารหอมระเหยสูญเสียไป ห่อหุ้มอาหารให้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และป้องกันการแตกหักเสียหาย เป็นต้น (Kester and Fennema. 1986)

### 2.3 คุณสมบัติของฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้

คุณสมบัติของฟิล์มและสารเคลือบอาหารจะมีลักษณะอย่างใดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น อาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงมาก จำเป็นต้องใช้ฟิล์มที่มีความต้านทานการซึมผ่านของออกซิเจนสูง เป็นต้น ฉะนั้นจึงขอกล่าวข้อดีของฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ที่เหนือกว่าฟิล์มพลาสติก ดังนี้

2.3.1 บริโภคฟิล์มได้พร้อมกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ อันเป็นจุดเด่นที่เห็นได้ชัด ในการลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม

2.3.2 ในกรณีที่ไมบรีโกล์ฟิล์ม ฟิล์มที่ทิ้งไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้โดยง่าย เป็นการช่วยลดปัญหามลพิษเช่นกัน

2.3.3 เพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัส ชวนให้น่ารับประทานผลิตภัณฑ์มากขึ้นเมื่อใช้ฟิล์มนี้ และเข้าได้ดีกับสารประกอบที่ให้กลิ่นรส และความหวาน เป็นต้น

2.3.4 เสริมคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะฟิล์มที่ทำจากโปรตีน

2.3.5 ใช้หุ้มอาหารโดยแยกออกเป็นแต่ละชั้น เช่น ถั่ว สตรอเบอร์รี่

2.3.6 ใช้เป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการถ่ายเทความชื้นและไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน เช่น พิซซ่า พาย เป็นต้น

2.3.7 ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันจุลินทรีย์ และสารกันหืน และยังควบคุมอัตราการซึมของสาร กันเสียจากฟิล์มเข้าสู่เนื้ออาหาร

2.3.8 สามารถทำฟิล์มให้เป็นเม็ดแคปซูล บรรจุสารให้กลิ่นรสและสารทำให้ขึ้นฟู (leavening agent) ได้ เพื่อควบคุมการเติมสารที่ใส่ในอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.9 สามารถใช้ร่วมกับฟิล์มพลาสติก โดยใช้ฟิล์มที่รับประทานได้สัมผัสกับอาหารโดยตรง สำหรับคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้

- 
- Retards moisture migration
  - Retards gas transport ( $O_2$ ,  $CO_2$ )
  - Retards oil and fat migration
  - Improves mechanical-handling properties of foods
  - Retains volatile flavor compounds
  - Carries food additive
- 

ที่มา : Guilbert (1986)

## 2.4 องค์ประกอบของฟิล์มที่รับประทานได้

การเตรียมฟิล์มจะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ (Mchuge and Krochta. 1994)

2.4.1 ส่วนโพลีเมอร์ (polymer) จะทำหน้าที่เป็นส่วนทำให้เกิดโครงสร้าง (structure) ของฟิล์ม โดยทั่วไปฟิล์มเกิดขึ้นจากสารประกอบที่เป็นโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงยาว โพลีเมอร์ที่สามารถทำให้เกิดฟิล์มได้ดี ได้แก่ โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ไขมัน (fat) และโปรตีน (protein)

2.4.1.1 ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ สามารถใช้โพลีแซคคาไรด์บางชนิดผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้ เช่น สตาร์ช สตาร์ชไฮโดรไลเซต (hydrolysate) แอลจินัท เพคติน คาราจีแนนและอนุพันธ์ของเซลลูโลสแต่เนื่องจากธรรมชาติของโพลีเมอร์เหล่านี้ชอบรวมตัวกับน้ำ (hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำฟิล์มชนิดนี้มาป้องกันการซึมผ่านความชื้น อย่างไรก็ตามโพลีแซคคาไรด์บางตัวที่ใช้เคลือบมีลักษณะเหมือนวุ้น (gelatinous) และมีความชื้นสูง จะชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ ในช่วงอายุการเก็บสั้น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยที่สารเคลือบเจลาทำหน้าที่เป็นตัวเก็บอาหาร (sacrificing agent) มากกว่าเป็นตัวกลางขวางกั้นการส่งผ่านความชื้น นอกจากนี้ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์บางชนิด ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจนในลิปิด (lipid oxidation) และองค์ประกอบอื่นในอาหาร ซึ่งทำให้อาหารเหม็นหืน

2.4.1.1.1 ฟิล์มสตาร์ช (starch films) สตาร์ชประกอบด้วยอะมิโลส และอะมิโลเพกติน ในปริมาณและอัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์พืช อะมิโลสเป็นโพลีเมอร์เส้นตรงและมีคุณลักษณะที่สามารถทำเป็นฟิล์มในตัวเอง (self supporting film) จึงใช้เป็นวัสดุดิบในการเตรียมฟิล์มได้ ส่วนสตาร์ชก็สามารถนำมาเตรียมฟิล์มได้เช่นกัน แต่เป็นฟิล์มที่มีข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนั้น จึงต้องมีการแยกส่วน (fractionation) อะมิโลสจากสตาร์ช เพื่อนำมาเตรียมฟิล์ม ลักษณะของฟิล์มอะมิโลสนี้จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่นรส ไม่เป็นพิษ แข็งแรง ยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีคุณสมบัติต้านทานไขมัน (grease) ได้สูง และออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มได้ต่ำ แต่มีข้อเสียคือปัญหาการละลายของอะมิโลสเพื่อเตรียมฟิล์ม เมื่อเตรียมฟิล์มจะต้องใช้อุณหภูมิสูงภายใต้ความดัน จึงนิยมใช้อนุพันธ์ของอะมิโลสซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่า การใช้งานฟิล์มอะมิโลส เช่น ทำถุงบรรจุกาแฟ ชา ชุปสำเร็จรูป ผลิตไส้เทียมสำหรับทำไส้กรอก ใช้เคลือบผลไม้ เช่น ลูกพรุน ลูกกวาดผลไม้ ทำให้ผลไม้ไม่เหี่ยวติดกันเป็นก้อน

Wolff *et al.* (1951) ได้เตรียมฟิล์มจากอะมิโลส และทำการศึกษาถึงผลของความหนา , ปริมาณอะมิโลเพกตินที่เติมลงไปในส่วนผสม, ขนาดโมเลกุลของอะมิโลส , การให้ความร้อน และการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ต่อคุณสมบัติทางด้านกายภาพ (physical characteristics) ความต้านทานทางด้านเคมี (chemical resistance) และคุณสมบัติทางด้านเชิงกล (mechanical

properties) ของฟิล์ม พบว่าเมื่อความหนาน้อยกว่า 20 ไมครอน แรงต้านทานการดึงขาดจะต่ำ ที่ผิวของแผ่นฟิล์มจะมีความไวต่อความชื้นมาก ความหนาที่เหมาะสมต่อการหยิบถือ (handing) เฉลี่ย 20-30 ไมครอน พบว่าความทนทานต่อการพับจะลดลงเมื่อความหนาสูงกว่าความหนาเฉลี่ย ความทนทานต่อการแตก ปริ (Burst resistance) จะแปรผันตรงกับความหนาและ ความทนทานต่อการฉีกขาด (tearing resistance) จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น การเติมอะมิโลเปกตินลงไปในส่วนผสมจะทำให้คุณสมบัติทางกลของฟิล์มลดลง และพบว่าฟิล์มที่มีอะมิโลสต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์จะเหนียวติด ไม่สามารถเคลื่อนออกจากกระจกได้ ผลของขนาดโมเลกุลอะมิโลส พบว่าฟิล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำฟิล์มจะมีความใสต่ำ เนื่องจากอะมิโลสโมเลกุลต่ำจะเกิดเจลได้เร็ว มีความขุ่นสูง และเมื่ออะมิโลสมีการรีโทรกราเดชันมาก ความยืดหยุ่นของฟิล์มจะลดลง ความต้านทานการต่อแรงดึงขาดต่ำ ทำให้การหยิบถือ (handing) ลำบาก จากการศึกษาก็พบว่าอะมิโลสที่มีระดับการเกิดโพลีเมอร์ 230 (degree of polymerization 230) ความต้านทานต่อแรงดึงขาดจะต่ำมาก จะเกิดการแตกระหว่างทำแห้ง ทำให้ฟิล์มไม่เป็นแผ่น ส่วนฟิล์มที่เตรียมจากอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะให้ฟิล์มที่แข็งแรงและยืดหยุ่น ความทนทานต่อการพับจะสูงเมื่อเตรียมฟิล์มจากอะมิโลสที่มีความหนืดสูง ในด้านการให้ความร้อน พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงขาดของฟิล์มเมื่อแห้งจะดีขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 15 นาที ส่วนการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์จะทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงขาดลดลง ความเป็นพลาสติกของฟิล์มเพิ่มขึ้น

Mark *et al.* (1964) ได้เตรียมฟิล์มจากสตาร์ชที่มีอะมิโลส 59 และ 73 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับ Dimethyl sulfoxide 99.9 เปอร์เซ็นต์ก่อนที่อัตราส่วน 1 ต่อ 3 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ให้อุณหภูมิ 75-85 องศาเซลเซียส แล้วทำการแยกสตาร์ชออกมาโดยการตกตะกอนสกัดเอา DMSO ที่ติดอยู่ ออกโดยใช้แอลกอฮอล์ นำสตาร์ชที่มีแอลกอฮอล์ติดอยู่มาละลายในน้ำ ให้ความร้อนอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส นำสตาร์ชที่แยกได้มาทำให้แห้ง หลังจากนั้นนำมาผสมกับน้ำ และผสมกับอัลกอฮอล์อีกโดยใช้ *n*-butanol ในการเตรียมฟิล์มจะนำสตาร์ชที่มีอัลกอฮอล์เปียกอยู่จำนวน 25 กรัมมาผสมกับน้ำกลั่น 150-175 มิลลิลิตรโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 10 นาที แล้วทำการกลั่นที่อุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส เพื่อแยกอัลกอฮอล์ออก แยกฟองอากาศออกภายใต้สภาวะสูญญากาศ นำสารละลายไปเทลงบนแผ่นกระจกเคลือบซิลิโคน ปล่อยให้แห้ง นำมาทดสอบคุณสมบัติพบว่าฟิล์มที่เตรียมจากอะมิโลส 59 และ 73 เปอร์เซ็นต์จะมีความหนืด 1.35 และ 1.05 ใน noremal potassium hydroxide ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง แสดงว่าเกิดการ depolymerization น้อยระหว่างการปฏิบัติด้วย dimethyl sulfoxide และภายหลังจากการเตรียมฟิล์ม ความทนทานต่อแรงดึงขาด ของอะมิโลส 59 , 71 และ 73 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 10.821, 11.084 และ 11.483 lb/sq.in. แสดงว่าเมื่อปริมาณอะมิโลสสูงขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงขาดก็จะสูงขึ้นตาม ส่วนความทนทานต่อการพับ ฟิล์มที่เตรียม

จากปริมาณอะมิโลส 59, 71 และ 73 เปอร์เซ็นต์มีค่าเท่ากับ 265, 461 และ 421 ตามลำดับ ส่วนความทนทานต่อการแตก ปริ จะเท่ากับ 29 ,20 และ 30 ตามลำดับ

✓ Roth and Mehlretter (1967) ได้ศึกษาคุณสมบัติบางประการของฟิล์มที่ผลิตจาก Hydroxypropylated amylo maize starch ในการเตรียมฟิล์มจะใช้ hydroxypropylated amylo maize starch 25 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 175 กรัม โดยให้ความร้อนอุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เทสารละลายลงบนกระจกซิลิโคน จากนั้นใช้ก๊ลิเซอรอล 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นพลาสติกไฮเซอรอลบนแผ่นฟิล์ม แล้วทำแห้งโดยใช้อากาศร้อน เมื่อฟิล์มแห้งแล้วจะมีความหนาประมาณ 2 มิล (mil) หลังจากนั้นตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว เก็บที่สภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ 7 วันก่อนที่จะนำมาทดสอบ พบว่าการผลิตได้จะมีความต้านทานแรงดึงขาดจะลดลง ส่วนความต้านทานต่อการแตก ปริ และสามารถในการยืดตัวและความทนทานต่อการพับจะเพิ่มขึ้น ส่วนผลของพลาสติกไฮเซอรอลนั้นพบว่าการใช้ก๊ลิเซอรอลเป็นพลาสติกไฮเซอรอลจะมีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ สรุปก็คือ ฟิล์มที่ผลิตออกมาสามารถที่จะรับประทานได้ ออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ มีความเป็นพลาสติกที่ดี และมีความต้านทานต่อแรงดึงขาดอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ (packageing) และสามารถนำมาทำการเคลือบอาหารที่แห้งและมีความไวต่อออกซิเจนได้ดี

✓ Hullinger (1965) แสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่ทำจากแป้งโดยตรงมีคุณสมบัติที่ดี คือ รับประทานได้ มีคุณค่าทางอาหาร และละลายน้ำได้บ้าง เนื่องจากสมบัติของแป้งสามารถกระจายตัวในน้ำได้ง่าย เมื่อได้รับความร้อนเม็ดแป้งจะพองตัวและเกิดเจลาตินไนส์ เป็นผลทำให้เกิดการกระจายของคอลลอยด์ของแป้งที่อุ้มน้ำไว้ เมื่อนำมาทำฟิล์มด้วยวิธีหล่อสารละลายลงบนพิมพ์ (casting) แล้วทำให้แห้งจะได้ฟิล์มซึ่งไม่มีความต้านทานน้ำ ดังนั้นเมื่อแช่น้ำจะทำให้ฟิล์มถูกทำลายได้อย่างรวดเร็ว จึงเป็นข้อจำกัดการใช้ประโยชน์จากฟิล์มแป้ง

✓ Otey et al. (1974 in Otey et al. 1977) ได้ผลิตฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพด (corn starch) และใช้ก๊ลิเซอรอลเป็นพลาสติกไฮเซอรอล โดยทำการผสมส่วนผสมทั้งสองกับน้ำ แล้วนำมาขึ้นรูปโดยวิธีเทสารละลายลงบนพิมพ์ พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้จะใส มีความยืดหยุ่น แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากไม่มีส่วนที่ช่วยสนับสนุนให้เกิดโครงสร้างของฟิล์ม (nonsupported film) และพบว่าฟิล์มจะแตกมากและมีสภาพที่เลวลงในสภาวะที่ทำการทดสอบ เมื่อเติม polyvinyl alcohol ( PVA ) ลงไปในโครงสร้างของสตาร์ช และก๊ลิเซอรอล คุณสมบัติของฟิล์มจะดีขึ้น ความต้านทานน้ำจะสูงขึ้น สามารถนำมาใช้ในการเคลือบ (coating) อาหารได้ และตั้งแต่ปี ค.ศ. 1975 เป็นต้นมาบริษัทหนึ่งก็ได้ใช้สตาร์ชดัดแปร(modified starch) และ PVA ในการผลิตถุงที่สามารถละลายในน้ำได้ (water soluble bags)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

✓ Otey et al. (1977) ได้เตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้จาก สตาร์ชและ Ethylene-acrylic acid (EAA) พบว่าการเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไปในการสร้างฟิล์มจะทำให้ความต้านทานน้ำ (water resistance) และความยืดหยุ่น (flexible) ของฟิล์มเพิ่มขึ้น เหตุผลที่ทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นยังไม่เข้าใจแน่ชัด อาจจะเป็นได้ว่าโมเลกุลของสตาร์ชเกิดการแผ่กว้างทำให้ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อทำสารละลายของสตาร์ชมาทำให้แห้ง แรงในการเกิดพันธะหลายชนิดมาเชื่อมกัน ทำให้โมเลกุลอยู่ชิดกันมาก จึงเกิดการแตก ปริ (brittle) การเติม EAA ลงไปจะทำให้โมเลกุลเกิดการเชื่อมกันอย่างห่าง ๆ และทำให้โมเลกุลแผ่กว้างขึ้น จึงทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณสตาร์ชเพิ่มขึ้นฟิล์มจะมีความยืดหยุ่น, ความสามารถในการยึดตัว และความคงทนต่อการพับลดลง และพบว่าการใช้สตาร์ชเพียงอย่างเดียวในการเตรียมฟิล์มเมื่อฟิล์มแห้งจะแตก จึงเชื่อว่า EAA ในฟิล์มจะช่วยป้องกันไม่ให้สายโซ่ของสตาร์ช มาเชื่อมกัน เนื่องจากเมื่อสายโซ่สตาร์ชมาเชื่อมกันแล้วจะทำให้เกิดโครงสร้างผลึก (crystalline) ซึ่งเป็นบริเวณที่จะเกิดการแตก (brittle regions)

✓ มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด (2534) ได้เตรียมฟิล์มอะไมโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว โดยเตรียมแบบ oblate ซึ่งส่วนประกอบต่างกัน แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชและวุ้น สตาร์ช อะมิโลส และวุ้น และอะมิโลสและวุ้น ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ร้อยละ 0-0.5 ฟิล์มที่ได้จะมีค่า  $A_w$  อยู่ในช่วง 0.472-0.594 จากการศึกษาคูณสมบัติทางกลของฟิล์ม พบว่าฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชและวุ้น ให้ค่าต้านทานแรงดึงขาด 4.65 กิโลกรัมตารางมิลลิเมตร (6,642 ปอนด์/ตารางนิ้ว) :ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การใช้งานได้เช่นเดียวกับเซโลเฟนที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ ซึ่งมีค่าต้านทานแรงดึงขาดต่ำสุดเพียง 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว และมีค่าทนทานต่อการพับ 340 double folds number ฟิล์มชนิดนี้เมื่อผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0.5 ให้ความต้านทานแรงฉีกขาดสูงสุด 8.15 กรัม และมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซสูงสุด เนื่องจากการละลายของอะมิโลสไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามฟิล์มทุกชนิดมีคุณสมบัติดีเลิศในด้านการต้านทานไขมันได้นานถึง 36 ชั่วโมง เช่นเดียวกับฟิล์มอะมิโลส จึงเหมาะต่อการนำไปห่อหุ้มอาหาร ที่มีองค์ประกอบไขมันสูง

✓ เกศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ (2539) ทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ในการทดลองจะใช้วัตถุดิบ คือแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ผสมกลีเซอรอล หรือกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (glycerol monostearate) ร้อยละ 0.2, 5 และ 10 ทำการผลิตวัสดุใช้ทำฟิล์มโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวหรือเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่สามารถผลิตวัสดุใช้ทำฟิล์มที่ดี ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำสูง ปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้ผิวแผ่นฟิล์มเรียบขึ้น แต่ก็ทำให้คุณภาพด้านความทนต่อการแตกเมื่อพับลดลง การผสมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรตในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ไม่ทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะดีขึ้น คุณลักษณะของแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอลคือ ใส ยืดหยุ่นดี

ส่วนฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า ผสมกลีเซอรอลจะมีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นพอใช้ เพราะบางกว่าฟิล์มที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง

Marquie *et al.* (1995) ได้ทำการวิจัยและพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ด้วยจุลชีพขึ้น (Biodegradable) โดยนำแป้งจากเมล็ดฝ้ายทำเป็นภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ด้วยจุลชีพ (Biodegradable Packing) และมีการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้สารเคมี 3 ชนิด คือ gossypol, formaldehyde และ glutaraldehyde พบว่าสารเคมีดังกล่าว ช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการต้านทานแรงดันทะลุ (Puncture Strength) และลดความสามารถในการละลายน้ำได้ของฟิล์ม (Solubility) ทำให้ฟิล์มมีลักษณะดีขึ้น

ปนัดดา พวงเกษม (2540) เตรียมฟิล์มที่รับประชนได้จากแป้งมันสำปะหลัง และทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตได้เพื่อหาแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ที่สามารถทดแทนการใช้ฟิล์มพลาสติก พบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์เตรียมได้จากน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 5 และเติมซอร์บิทอลร้อยละ 30 เป็นพลาสติกไซ-เซอร์ แผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะปรากฏใส ผิวเรียบ ความหนาเฉลี่ย 0.063 มิลลิเมตร และมีคุณสมบัติทางกล คือ ค่าการต้านทานแรงดึงขาด 1.17 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร การยืดตัวร้อยละ 10.13 และความทนทานต่อการพับ 45 ครั้ง ส่วนคุณสมบัติด้านการซึมผ่านพบว่า มีค่าการซึมผ่านของออกซิเจน 6 มิลลิลิตร.มิลลิลิตรต่อตารางเมตรต่อ 24 ชั่วโมงต่อบรรยากาศ การซึมผ่านของไอน้ำ 0.37 กรัม.มิลลิลิตรต่อตารางเมตรต่อ 24 ชั่วโมงต่อมิลลิเมตรปรอท และคุณสมบัติเด่น คือ ต้านทานน้ำมันได้ 120 วัน ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ และผนึกติดได้ด้วยความร้อนจึงสามารถนำมาทำเป็นถุง โดยมีค่าความแข็งแรงของตะเข็บ 19.07 นิวตันต่อ 25 มิลลิเมตร เมื่อบรรจุเครื่องปรุงระบะหมี่สำเร็จรูปสดต้มยำพบว่า มีอายุการเก็บรักษานาน 22 เดือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยไม่มีแสงส่องผ่าน และจะละลายในน้ำต้มเดือดภายใน 5 นาที ส่วนการเคลือบผิวสตรอเบอร์รี่ เบบี้แครอท และมะเขือเทศด้วยฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง จะไม่สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักหรือช่วยยืดอายุการเก็บได้

2.4.1.1.2 ฟิล์มแอลจีเนต (alginate) นิยมใช้รูปโซเดียมแอลจีเนตสกัดจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล การเกิดฟิล์มของโซเดียมแอลจีเนตเป็นผลจากการเกิดเจลเมื่อแอลจีเนตทำปฏิกิริยากับ polyvalent cation แคลเซียมเป็นไอออนที่ทำให้เกิดเจลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มักใช้ในรูปเกลือแคลเซียมคลอไรด์ เพราะทำให้เกิดเจลวุ้นเนื้อแน่น คุณภาพดี การเคลือบด้วยฟิล์มแอลจีเนตส่วนใหญ่นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น ชิ้นส่วนเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ การเคลือบชิ้นเนื้อทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชิ้นเนื้อที่ไม่ได้เคลือบ ถึงแม้ว่าฟิล์มแอลจีเนตจะยอมให้ความชื้นซึมผ่านได้สูง แต่การเคลือบก็ให้ผลดี เนื่องจากเจลในฟิล์มมีปริมาณความชื้นสูง ความชื้นในเจลระเหยออกไปก่อนที่ชิ้นเนื้อที่เจลห่อหุ้มไว้จะสูญเสียความชื้น นอกจากนี้ฟิล์มเจลนี้ยังช่วยลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณจุลินทรีย์บนผิวเนื้อ ช่วยรักษาสีแดงของเนื้อได้นานกว่าเนื้อปกติ ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน lipid oxidation ในอาหาร และช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นด้วย (Kester and Fennema. 1986) ฟิลา์มและสารเคลือบจากอัลจิเนตมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์อาหาร การเคลือบด้วยแว็กซ์และน้ำมันกำลังถูกทดแทนด้วยการเคลือบด้วยแอลจิเนต เนื่องจากเป็นสารที่ให้พลังงานต่ำและไม่มีลักษณะเป็นน้ำมัน ฟิลา์มและสารเคลือบผิวจากแอลจิเนตสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด เช่น เนื้อสัตว์ที่ยังไม่ผ่านความร้อน ผักและผลไม้ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ อาหารพองกรอบ และชีส เป็นต้น จุดประสงค์ในการใช้งานมีดังนี้ (Nisperos-Carriedo. 1994)

- 1) ลดการสูญเสีย น้ำจากผลิตภัณฑ์อาหาร
  - 2) ช่วยเก็บรักษากลิ่นรสของผลิตภัณฑ์
  - 3) ช่วยรักษาสภาพเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏในด้านต่าง ๆ ให้มีความใกล้เคียงของสดมากที่สุด
  - 4) ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษาเพื่อรอนำไปทำการผลิตในขั้นตอนต่อไป
  - 5) ลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนผลิตภัณฑ์อาหาร
  - 6) ลดการสูญเสีย น้ำหนักและการหดตัวของเนื้อสัตว์
  - 7) ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของอาหารแช่แข็ง ที่นำมาละลายแล้วไปประกอบอาหาร
  - 8) ช่วยป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหาร
- ถึงแม้ว่าฟิลา์มและสารเคลือบผิวจากอัลจิเนตจะมีประโยชน์ในการนำไปใช้งานต่าง ๆ มากมาย แต่อย่างไรก็ตามยังพบข้อเสียในการใช้งานเช่นกัน ดังนี้
- 1) ประสิทธิภาพในการใช้งานต่ำกว่าพลาสติกสังเคราะห์
  - 2) ถ้าใช้ความเข้มข้นมาก ๆ จะทำให้เกิดรสขมในอาหารได้
  - 3) อายุการใช้งานประมาณ 144 ชั่วโมง (6 วัน) ซึ่งค่อนข้างน้อย

Zecher and Coillie (1992) พบว่าการเคลือบด้วยฟิลา์มอัลจิเนตส่วนใหญ่นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ เช่น ชิ้นส่วนเนื้อวัว , เนื้อหมู , เนื้อไก่ เพื่อให้มีการสูญเสีย น้ำน้อยกว่าชิ้นเนื้อที่ไม่ผ่านการเคลือบ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะช่วยรักษาสีด้วยสารละลายหรือขเจลของอัลจิเนต เมื่อทำให้แห้งจะทำให้เกิดฟิลา์มขึ้น ฟิลา์มนั้นมีคุณสมบัติเด่น คือสามารถลดการสูญเสีย น้ำของผลิตภัณฑ์ได้

2.4.1.1.3 ฟิลา์มเพคติน (pectin) เป็นกลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนของโพลีแซคคาไรด์พบในชั้นลามลลา (lamella) ส่วนกลางของเซลล์พืช เพคตินที่ใช้เป็นสารเคลือบเป็นชนิดที่มีจำนวนของเมทท็อกซิลต่ำ (low methoxyl) ซึ่งทำให้เกิดเจลขึ้นได้ เมื่อสารละลายเพคตินทำปฏิกิริยากับ

แคลเซียมไอออนหลังจากทำให้เจลแห้ง จะเกิดเป็นฟิล์มเพกทินเน็ต มักใช้เคลือบบนผิวอาหารโดยตรง ฟิล์มนี้ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรักษาอาหาร (sacrificing agent) ป้องกันอาหารที่ห่อหุ้ม มิให้สูญเสียน้ำ เนื่องจากฟิล์มเพกทินเตอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้สูง ดังนั้นต้องทำให้ฟิล์มยอมให้การซึมผ่านไอน้ำลดลง โดยการเคลือบฟิล์มลปิดทับบนฟิล์มเพกทินเน็ตก่อนเพื่อให้ฟิล์มแห้ง จึงจะใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้กว้างขึ้น (Kester and Fennema. 1986)

ได้มีการศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930s ถึง ค.ศ. 1950s (Henglein *et al.* 1936 ; Maclay *et al.* 1947 ; Schultz *et al.* 1948,1949 ; Miers *et al.* 1953 ; Swenson *et al.* 1953) ส่วนมากจะศึกษาการเกิดฟิล์มโดยใช้อนุพันธ์เพคตินและใช้ polyvalent cation เช่น แคลเซียมไอออน โดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในการเคลือบอาหาร

Schultz *et al.* (1948,1949) ได้เตรียมฟิล์มจาก เพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำกว่า 11 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มจะลดลงเมื่อระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลเพิ่มขึ้น ฟิล์มจะมีความต้านทานแรงดึงขาดเท่ากับ  $9 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2$  เหมือนกับที่ไม่มีการเติมแคลเซียมไอออน และเมื่อไม่นานมานี้ Hind *et al.* (1978 in Coffin and Fishman. 1993) ก็ได้ทำการศึกษาคrosslinking และ carboxymethyl cellulose เพื่อใช้เป็นกระดาษห่อซิการ์ (cigarette papers)

สตาร์ชเป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ จึงมีการแนะนำให้นำมาประยุกต์ใช้เป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เช่น agricultural mulch และ pharmaceutical caplets (Otey *et al.* 1977,1980,1987) อะมิโลสนำมาประยุกต์ใช้กับอะมิโลเปกทินเป็นพื้นฐานและลักษณะเฉพาะในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้มากกว่า 40 ปีแล้ว (Wolff *et al.* 1951 ; Rankin *et al.* 1958 ; Mark *et al.* 1966) การใช้น้ำบริสุทธิ์ (water saturated) กับบิวทานอล (1-butanol) ละลายสตาร์ชเพื่อผลิตฟิล์มพบว่าฟิล์มที่ได้จะมีคุณสมบัติทางด้านกายภาพคล้ายกับฟิล์มพลาสติกที่จำหน่ายทางการค้า คือมีความต้านทานแรงดึงขาดประมาณ  $6 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2$  ถึงแม้จะมีความไวต่อน้ำและแตกหักง่าย คุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าเหมือนกับฟิล์มที่ผลิตได้เพคตินและสตาร์ช เมื่อไม่นานมานี้ Otey และคณะได้มีการใช้วัสดุที่มี thermoplastics เติมน้ำลงไปเพื่อให้ฟิล์มมีระดับความยืดหยุ่นสูงขึ้นและไม่แตกหักง่าย คาดว่าอะมิโลสที่เป็นส่วนที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและอะมิโลเพคตินที่เป็นส่วนที่มีโครงสร้างแบบกิ่ง สาขา สตาร์ชข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติดีขึ้น (Yound *et al.* 1984)

Coffin and Fishman (1993) ได้เตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากเพคตินส้ม (citrus pectin) ที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิล (degree of methyl esterification) 59,64 และ 74 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับอะมิโลสจากแป้งข้าวโพด (amylomaize) ที่มีปริมาณอะมิโลส 70 เปอร์เซ็นต์ อะมิโลเพคติน 30 เปอร์เซ็นต์ และ waxy maize ที่มีปริมาณอะมิโลเพคติน 100 เปอร์เซ็นต์ และใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีเซอริน (glycerine), โพลีเอทิลีนไกลคอล [poly(ethylene glycol)] หรือยูเรีย (urea) เป็นพลาสติกไซเซออร์ ในการเตรียมฟิล์มจะผสมเม็ดดินกับพลาสติกไซเซออร์ก่อนแล้วนำไปผสมกับสารละลายเจลาตินในสีของสตาร์ช แล้วนำมาขึ้นรูปบนแผ่น LEXAN ปล่อยให้แห้งแล้วลอกแผ่นฟิล์มออก พบว่าฟิล์มที่ผลิตจากเม็ดดินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและสตาร์ชมีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับของพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้เป็นส่วนผสม ส่วนของเม็ดดินที่ใช้นั้นพบว่า เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่จะทำในฟิล์มมีคุณสมบัติที่ดี ระดับของกลีเซอรินในฟิล์มจะมีผลต่อ tenacity และความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มอย่างเห็นได้ชัดจนที่สุด โดยจะมีค่าสูงขึ้นจากระดับ 9 เปอร์เซ็นต์ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ และจะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อถึงที่ระดับ 27 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์ทางสถิติก็พบว่าระดับของพลาสติกไซเซออร์สูงขึ้นไปจะทำให้ความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อระดับสตาร์ชเพิ่มขึ้น ฟิล์มก็จะแตกมากขึ้น และจะปรากฏมากที่สุดในตัวอย่างที่ได้เม็ดดินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำ สตาร์ชมีปริมาณอะมิโลสสูงฟิล์มที่ผลิตได้จะมีแรงต้านทานการดึงขาด และความสามารถในการยืดตัวสูงกว่าฟิล์มที่ผลิตได้วัตถุดิบที่มีปริมาณอะมิโล-เปกตินสูง

Coffin and Fishman (1994) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเชิงกลของฟิล์มที่รับประทานได้จากเม็ดดินส้ม ที่มี Degree of methyl esterification 71% และแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราส่วนเม็ดดิน ต่อ แป้งข้าวโพด ในอัตรา 90 ต่อ 10 , 70 ต่อ 30 และ 55 ต่อ 45 โดยในแต่ละสูตรจะใช้กลีเซอรินเป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ระดับความเข้มข้น 16 , 30 , 45 , 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองจะนำแป้งข้าวโพดมาเจลาตินในสีก่อนด้วยไมโครเวฟ หลังจากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องนาน 25 นาที แล้วนำมาผสมกับสารละลายเม็ดดินและกลีเซอริน ผสมนาน 1-2 ชั่วโมง แล้วนำมาขึ้นรูปบนแผ่นกระจก ทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง แล้วลอกออก นำฟิล์มที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชิงกล พบว่า ฟิล์มที่ผลิตจากเม็ดดิน ต่อ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 90 ต่อ 10 กลีเซอรอลร้อยละ 16 และ 30 จะมีความสามารถในการยืดตัว (elongation) น้อยกว่าร้อยละ 2 และความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) มีค่าประมาณ  $2.5 \times 10^8$  dynes/cm<sup>2</sup> ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 45 ความสามารถในการยืดตัวจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5 ส่วนความต้านทานแรงดึงขาดจะเพิ่มขึ้นถึง  $2.5 \times 10^8$  dynes/cm<sup>2</sup> และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากเมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 โดยพบว่าความสามารถในการยืดตัวจะเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 13 การต้านทานแรงดึงขาดลดลงต่ำกว่า  $2 \times 10^8$  dynes/cm<sup>2</sup> และที่ความเข้มข้นร้อยละ 75 ความต้านทานแรงดึงขาดจะลดลงถึง  $3 \times 10^7$  dynes/cm<sup>2</sup> และเมื่อทำการทดสอบความทนทานทางด้านความร้อนพบว่าเมื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า storage modulus จะลดลงจนเกือบจะเป็นเส้นตรง และจะลดลงมากเมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่า loss modulus ก็เช่นเดียวกัน การใช้อัตราส่วนเม็ดดินต่อแป้งข้าว

โพดที่ระดับ 70 ต่อ 30ระดับกลีเซอรอลมีผลต่อคุณสมบัติทางด้านเชิงกลเช่นเดียวกับที่ระดับ 90 ต่อ 10 แต่ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 60 และ 75จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า modulus จะไม่ลดลงมากเหมือนกับที่ระดับ 90 ต่อ 10 ส่วนการใช้ที่ระดับ 55 ต่อ 45 พบว่าปริมาณกลีเซอรอลไม่มีผลต่อค่า storage modulus และ loss modulus และค่า storage modulus และ loss modulus จะลดลงเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่า 180 องศาเซลเซียส

2.4.1.1.4 พิล์มคาราจีแนน (carrageenan) เป็นกลุ่มสารโพลีแซคคาไรด์ ซัลเฟต สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง เมื่อนำสารละลายคาราจีแนนร้อนแล้วทำให้เย็นจะเกิดเป็นเจล เจลคาราจีแนนที่ใช้เคลือบอาหารจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรักษาอาหาร โดยป้องกันการสูญเสีย ความชื้นในอาหารที่ห่อหุ้มไว้ มักใช้เคลือบชั้นเนยแข็งเทียมกึ่งขึ้น (intermediate moisture cheese analog) ด้วยเจลผสมคาราจีแนนและวุ้น (agarose) ที่มีกรดซอร์บิกอยู่ด้วย มีผลทำให้จุลินทรีย์เติบโตบนผิวผลิตภัณฑ์ไม่ได้ (Kester and Fennema, 1986)

2.4.1.2 พิล์มลิปิด (lipid film) การใช้ไขมันห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารมีมานานแล้ว ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน (confectionary) เช่นการเคลือบช็อกโกแลตหรือใช้กับผักผลไม้ เช่น การเคลือบผลไม้ด้วยไข (wax) สารประกอบลิปิดหลายชนิดรวมทั้งอะเซทิลโมโนกลีเซอไรด์ (acetylate monoglyceride) ไชธธรรมชาติ (natural wax) และสารตึงผิว (surfactant) นำมาใช้เป็นสารเคลือบได้โดยทั่วไป การเคลือบอาหารด้วยลิปิดก็เพื่อป้องกันการถ่ายเทความชื้น แต่ในกรณี การเคลือบผลไม้ด้วยลิปิดจะให้ผลอย่างอื่น เช่น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างขนถ่ายมิ ให้เกิดรอยข้ำ (soft scald) หรือเคลือบผลแอปเปิลทันทีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อป้องกันมิให้เกิดสีน้ำตาลด้วยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันต่าง ๆ (เช่น ลอริก ปาล์มมิก สเตียริก โอเลอิก ลิโนลลิก และลิโนเลนิก เป็นต้น) หรือน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และลซิทิน (มณฑาทิพย์ ยუნฉลาด, 2535) พิล์มลิปิด ได้แก่

2.4.1.2.1 อะซีทิลเลทโมโนกลีเซอไรด์ (acetylated monoglyceride) ในสถานะของแข็งสามารถเกิดโพลีเมอร์ในรูป  $\alpha$  ซึ่งความคงตัวของผลึก  $\alpha$  จะคงตัวได้ดีที่อุณหภูมิห้อง ผลึกจะมีลักษณะมันเงาและไม่ยอมให้น้ำและความชื้นซึมผ่าน ความสามารถในการยึดหยุ่นของซีทิลเลทโมโนกลีเซอไรด์ในรูปโพลีเมอร์  $\alpha$  เกิดการกระจายตัวภายในสายโพลีเมอร์คล้ายกับคริสตอล (cystal) ขณะยึดตัวหรือแผ่ ลำดับของการจัดเรียงตัวเป็นผลึกหรือการเกิดผลึกถูกทำให้เพิ่มขึ้นโดยแถวของผลึกที่อยู่ข้าง ๆ โดยผลึกจะเกิดเป็นแถวมากขึ้น

Feuge (1953) และ Lovegren and Feuge (1954) ได้ศึกษาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ผ่านการเคลือบด้วย อะซีทิลเลทโมโนกลีเซอไรด์ คุณสมบัติในการขวางกั้นจะดีขึ้นเมื่อเกิดการแทนที่ด้วยหมู่อะซีทิลเลท (acetylated) เพิ่มมากขึ้น เหตุผลนี้เนื่องจากการลดลง

ของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) อีสารซึ่งทำปฏิกิริยาโดยตรงกับโมเลกุลของน้ำที่ผ่านสารเคลือบเข้ามา การซึมผ่านของไอน้ำที่ 15 องศาเซลเซียส ผ่านฟิล์ม จะเกิดขึ้นกับเกรดและความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรตต้องอยู่ในช่วง 10.1-24.0 และ 34.4-67.4 g H<sub>2</sub>O. mil./m<sup>2</sup>/day/mmHg (100% RH ส่วนที่ผ่านฟิล์ม) การซึมผ่านของไอน้ำของอะซิติกเลทโมโนกลีเซอไรด์เมื่อพิจารณาแล้ว จะน้อยกว่าโพลีแซคคาไรด์ตัวอื่น ๆ เช่น เอทิลและเมทิลเซลลูโลส

ความต้านทานการส่งผ่านความชื้นของ อะซิติกเลทโมโนกลีเซอไรด์ จะขึ้นกับความแตกต่างความดันไอที่ผ่านฟิล์ม (Lovegren and Feuge. 1954) เมื่อด้านหนึ่งของฟิล์มยังคงมีความดัน 0 มิลลิเมตรปรอทและความดันไอด้านเพิ่มจาก 6.2 เป็น 18.2 มิลลิเมตรปรอท การซึมผ่าน (permeability) จะเพิ่มเป็น 3 เท่า การซึมผ่านของไอน้ำยังเพิ่มจากปัจจัยอื่น ๆ โดยคาดเดาได้จาก Fick' law กฎของการแพร่

2.4.1.2.2 ไข (wax) ฟิล์มไขที่รับปะทานได้ ความชื้นจะซึมผ่านได้ต่ำมาก และต่ำกว่าฟิล์มลิปิดส่วนใหญ่ โดยเฉพาะไขพาราฟิน (paraffin wax) และขี้ผึ้ง นอกจากนี้ฟิล์มไขยังลดอัตราการแพร่กระจายของเกลือเบนโซเอต เข้าสู่อาหารได้ดี อาทิฟิล์มจากไขพาราฟิน และคาร์บูบา (camuba) ในขณะที่ฟิล์มจากขี้ผึ้งให้ผลดังกล่าวต่ำกว่าเพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้ฟิล์มไขในการรักษาความเข้มข้นของสารกันเสียที่ผิวของผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน (Kester and Fennema. 1986)

การเคลือบไขมักใช้กับผักผลไม้สด เช่น ส้ม แอปเปิล กล้วย แดง มันเทศ มะนาว เป็นต้น เพื่อยืดอายุการเก็บหลังการเก็บเกี่ยว โดยเคลือบฟิล์มลิปิดเสริมที่ผิวผักผลไม้แทนสารเคลือบผิว (cuticle) อันเป็นไฮดรอมชาติที่ถูกชะล้างได้ง่าย อันมีผลให้เนื้อเยื่อมีอัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มอีกหลายเท่า และทำให้อัตราการหายใจของผักผลไม้สูงขึ้นด้วย ด้วยเหตุดังกล่าวจึงทำให้ผักผลไม้เก็บได้นาน (Hall. 1966 ; Kaplan. 1986)

2.4.1.2.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) การเคลือบอาหารด้วยสารตึงผิว จะช่วยลดค่า  $A_w$  ที่ผิวหน้า (superficial water activity) และลดอัตราการระเหย ค่า  $A_w$  ที่ผิวหน้าจะเกี่ยวพันกับอัตราการสูญเสียน้ำจากผลิตภัณฑ์อาหาร สารเคลือบที่ให้ผลดี ได้แก่ แอลกอฮอล์ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ (fatty alcohol) ที่มีคาร์บอน 16-18 ตัวกลีเซอรอลโมโนปาลมิเตท (glycerol monopalmitate) และกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (glycerol monostearate)  $A_w$  ที่ผิวหน้าจะมีผลต่อการเสื่อมสภาพของอาหาร เช่น ถ้าอาหารมี  $A_w$  ที่ผิวหน้าต่ำจะชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ลดปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วย ดังนั้นสารตึงผิวจึงสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพได้ นอกจากนี้ฟิล์มสารตึงผิวยังช่วยป้องกันการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ในมันฝรั่งซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสารพิษ glycoalkloid เนื่องจากสารตึงผิวช่วยลดการคายคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ที่บริเวณเปลือกมันฝรั่ง ทำให้เมื่อดูดซับไอน้ำเกิดการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์จนถึงระดับ

ที่จะยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ได้ จึงมีการเคลือบมันฝรั่งด้วยสารตั้งผิวจำพวกเลซิทีน (lecithin) หรือไฮดรอกซีเลทเลซิทีน (hydroxylated lecithin) หรือโพสเฟอริเบต ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า ทวิน (tween) โดยจะใช้ได้ผลในสถานะ สารละลายเหลวที่มีความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นวิกฤติของ micell นั่นคือ micell ของสารตั้งผิวสามารถต้านทานการผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้แล้วผลของทวินจะดีขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับ Adjuvants (Wu and Salunkhe. 1978)

2.4.1.3 พิล์มโปรตีน การศึกษาฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนยังมีน้อยมาก เมื่อเทียบกับฟิล์มจากโพลีแซคคาไรด์ ฟิล์มโปรตีนมีคุณสมบัติเด่นในแง่ยอมให้ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้ในระดับต่ำ แต่เป็นตัวกันไอน้ำที่ไม่ดี เนื่องจากลักษณะธรรมชาติที่ชอบน้ำ (hydrophilic property) (Mchuge and Korchta. 1994) พบว่าชนิดของโปรตีนที่ทำให้เกิดฟิล์มได้ ได้แก่ คอลลาเจน เจลาติน เคซีน เวย์โปรตีน (whey protein) เซอีนของข้าวโพด (corn zein) กลูเตนของข้าวสาลี (wheat gluten) โปรตีนจากถั่วเหลือง (soy protein) และโปรตีนจากถั่วเขียว (mungbean protein) โดยมีการใช้คอร์นเซอีนเป็นสารเคลือบ (coating agent) ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน (confectionary) ในระดับการค้า (Gennadios *et al.* 1993)

2.4.1.3.1 พิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี กลูเตนเป็นโปรตีนข้าวสาลีที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วยไกลอะดีน (gliadin) ร้อยละ 75 (เป็นส่วนที่ละลายในแอลกอฮอล์) ที่เหลือเป็นกลูเทนิน (glutenin ไม่ละลายในแอลกอฮอล์) ส่วนประกอบทั้งสองนี้มีพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide) ซึ่งมีบทบาทในการเกิดฟิล์มกลูเตนทำให้มีลักษณะการยึดเกาะและความยืดหยุ่นดี ฟิล์มกลูเตนมีความแข็งแรง ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้น้อย แต่เป็นฟิล์มที่ขึ้นง่าย (hydrophilic) จึงมีการนำกลูเตนมาใช้ร่วมกับสารอื่นเพื่อใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น เช่น ใช้เคลือบถั่วลิสงอบแห้งก่อนเติมเกลือ ใช้ทำแคปซูลบรรจุสี และสารให้กลิ่นรส เพื่อใช้เติมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น (Gennadios and Weller. 1990)

2.4.1.3.2 พิล์มจากโปรตีนข้าวโพด หรือเซอีน (zein) เป็นโปรตีนข้าวโพดกลุ่มหนึ่งที่จะละลายในแอลกอฮอล์ 70% ที่เรียกว่าโพรลามีน (prolamine) สามารถผลิตได้ในทางการค้า เซอีน ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่ไม่มีซัลเฟอร์และไม่ชอบรวมตัวกับน้ำ (hydrophobic) เช่น ลูซีน (leucine) อะลานีน (alanine) และโพรลีน (proline) ในปริมาณสูง จึงทำให้ เซอีน ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในแอลกอฮอล์บริสุทธิ์และยังประกอบด้วยกรดกลูตามิก (glutamic acid) ในรูปกลูตามีน (glutamine) เป็นส่วนใหญ่ จึงใช้เซอีน เคลือบเมล็ดยาและผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ถั่ว ผลไม้แห้ง เยลลี่ การเคลือบด้วยเซอีน แบบแชลแล็คจะให้ผลดี เพราะมีอัตราการแห้งเร็วกว่าทำให้ความคงตัวเพิ่มขึ้น สามารถเก็บได้นานในสภาพที่มีความชื้นสูง นอกจากนี้ยังใช้เคลือบเปลือกไซให้รักษาคุณภาพไซ รวมทั้งกลิ่นรสไซได้ และยังทำให้ไซมีความต้านทานจุลินทรีย์สูงขึ้น ส่วนการเคลือบเซอีน บนผิวอาหารกึ่งชื้น (intermediate moisture food) นั้นได้เติมสารกันเสียลงไปด้วย ลดอัตรา

การแพร่กระจายของสารเคมีเข้าสู่อาหาร และรักษาความเข้มข้นของสารที่ผิวไว้ได้นาน (Gennadios and Weller. 1990)

2.4.1.3.3 फिल्मจากโปรตีนถั่วเหลือง ได้จากน้ำนมถั่วเหลืองหรือสารละลายโปรตีนถั่วเหลืองสกัดนำมาให้ความร้อนในสภาวะที่เหมาะสม फिल्मที่ได้จะใช้เคลือบผิวถั่วเพื่อป้องกันการซึมออกของน้ำมัน หรือใช้โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นร่วมกับอัลบูมินในไข่หรือหุ้มเนื้อเพื่อป้องกันการสูญเสียกลิ่นรส และชะลอการสูญเสียน้ำ

Brandenburg *et. al.* (1993) ได้ทดลองทำฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง และมีการเติมอัลคาไรด์ลงไป (treated with alkali isolated protein : ATISP) โดยศึกษาถึงคุณสมบัติในการซึมผ่านของไอน้ำ การซึมผ่านของออกซิเจน และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (elongation percent) ของโปรตีนที่พีเอช 6, 8, 10 และ 12 พบว่าฟิล์ม ATISP ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ที่พีเอช 6 เนื่องจากเป็นจุดที่ใกล้เคียง Isoelectric point ของโปรตีนทั่วไป พีเอช 4.5 ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายต่ำ และที่พีเอช 8, 9, 10 และ 12 โปรตีนสามารถที่จะละลายได้ดี สามารถที่จะเกิดพันธะข้าม (cross link) ทำให้เกิดลักษณะโครงสร้างของฟิล์ม ค่าของการยืดตัว พบว่า ATISP จะให้ค่าที่สูง และการซึมผ่านของไอน้ำ ออกซิเจนคงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับ (isolate soy protein : ISP) फिल्मที่ได้จาก ATISP จะมีผิวที่เรียบ ฟองอากาศเกิดขึ้นน้อย ทั้งนี้เนื่องจากว่าโปรตีนมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า फिल्मที่ได้จึงแข็งแรง มีความหนาสม่ำเสมอ ไม่ปรากฏลักษณะที่เป็นตาข่าย (net work) สรุปว่าฟิล์มที่ได้จาก พีเอช 6 จะให้คุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ ทึบ มัว ขณะที่พีเอช 8 จะให้ลักษณะของฟิล์มที่สมบูรณ์ที่สุด

#### 2.4.1.3.4 फिल्मจากโปรตีนถั่วเขียว

Wimolrat and Athapol (1994) ศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนถั่วเขียวที่เหลือจากการผลิตวุ้นเส้นที่แยกได้โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกที่พีเอช 4.5 ทำการปั่นเหวี่ยงแยกส่วนที่เป็นโปรตีนออก และทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งแยกการผลิตจากโปรตีนเหลว (protein past) และโปรตีนผง (protein powder) การผลิตฟิล์มจะทำบนแผ่นพลาสติกและอบแห้งฟิล์มที่อุณหภูมิ  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งการทดลองใช้ความเข้มข้นของโปรตีนเท่ากับ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของกลีเซอรอลเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณโปรตีน 15 เปอร์เซ็นต์ ให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำต่ำสุด เท่ากับ  $16.58 \text{ g mil/m}^2/\text{day}$  และอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ  $4.321 \text{ mol/m.s. Pa} \cdot 10^{-16}$  แต่ค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่มีปริมาณโปรตีน 5 เปอร์เซ็นต์ กลีเซอรอล 0.5 เปอร์เซ็นต์ จะให้ค่าต่ำสุด फिल्मที่เตรียมจากโปรตีนเหลวจะให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และแรงยืดตัวสูงกว่า แต่อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนจะต่ำกว่าโปรตีนผง ซึ่งปริมาณโปรตีนและกลีเซอรอลที่เพิ่มสูงขึ้น จะให้คุณสมบัติทั้งหมดสูงขึ้นฟิล์มจาก

โปรตีนถั่วเขียวจะไม่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ แต่จะมีผลต่ออัตราการซึมผ่านของแก๊ส ออกซิเจนและไขมันได้สูง การทดลองได้ใช้ฟิล์มเคลือบผิวมะม่วงหิมพานต์และข้าวกล้องพบว่า สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชัน และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานด้วย

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ (2540) ได้ศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเขียว ที่แยกโปรตีนได้โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 นอร์มัล ปรับพีเอช 4.5 โดยใช้กรด ไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการแยกสกัดโปรตีนออกจากถั่วเขียว 90 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการตกตะกอนโปรตีนออกจากสารละลายได้ 84.88 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัยในการศึกษากระบวนการในการผลิตฟิล์มมี 2 ปัจจัย คือ ปริมาณของเหลวต่อปริมาณของแข็ง (30 : 70, 20 : 80 และ 10 : 90) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อปริมาณโปรตีน(0.05 : 1, 0.10 : 1 0. และ 15 : 1) โดยใช้ความเข้มข้นของกลีเซอรอลคงที่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ผสมด้วยความเร็ว 180 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที นำมาเกลี่ยลงบนแผ่นกระจก และบิดโดยใช้ลูกกลิ้งให้เป็นแผ่นฟิล์ม แล้วจึงนำฟิล์มที่ได้มาอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง จะได้แผ่นฟิล์มบางสีเหลืองอ่อน ฟิล์มที่ได้จะทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี คือ ความชื้น, ความหนา, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ, ความต้านทานแรงดึงขาด, แรงยึดตัว และดัชนีการละลายน้ำ พบว่าฟิล์มที่ดีผลิตได้จากอัตราส่วนของปริมาณของเหลวต่อปริมาณของแข็ง(10 : 90) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อปริมาณโปรตีน(0.15 : 1) โดยมีความชื้น  $22.554 \pm 0.523$  เปอร์เซ็นต์ ความหนา  $0.2600 \pm 0.033$  มิลลิเมตร ซึ่งจะให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำสุด เท่ากับ  $4.750 \pm 0.871$  กรัม/ตารางเมตร/วัน ในขณะที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด เท่ากับ  $1.3280 \pm 0.118$  กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ในขณะที่ฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนของปริมาณของเหลวต่อของแข็งที่ระดับ 30 : 70 และปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อปริมาณโปรตีน(0.05 : 1) ให้ค่าการละลายน้ำได้ต่ำสุด เท่ากับ  $25.930 \pm 0.968$  เปอร์เซ็นต์

การศึกษาปัจจัยในการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม พบว่าปริมาณของเหลวต่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึงขาดลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง สำหรับความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

2.4.2 ส่วนพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) เป็นส่วนสำคัญในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้ การเติมลงไปเพื่อให้เกิดแผ่นฟิล์มได้นั้นจะต้องเอาชนะคุณสมบัติการแตกหัก ซึ่งมีสาเหตุมาจากแรงดึงคู่ซึ่งมีมากระหว่างโมเลกุล การที่จะทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นดี นุ่มและมีความอ่อนตัว จะต้องทำให้แรงระหว่างโมเลกุลโพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง ดังนั้นพลาสติกไซเซอร์จึงเป็นสารที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติไม่ระเหย มีจุดเดือดสูง ไม่แยกตัวออกจากองค์ประกอบอื่นๆ และเมื่อเติมพลาสติกไซเซอรอลลงไปจะไปเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของสารนั้นและคุณสมบัติดังกล่าวสามารถป้องกันการแยกตัวออกมาของพลาสติกไซเซอรอลในระหว่างการทำแห้งฟิล์ม ในการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากโพลีเมอร์โดยไม่มีการใช้พลาสติกไซเซอรอลร่วมด้วยจะได้ฟิล์มที่เปราะมาก เนื่องจากพลาสติกไซเซอรอลจะช่วยลดแรงยึดจับระหว่างโมเลกุล (intermolecular force) ระหว่างสายโพลีเมอร์และช่วยทำให้โพลีเมอร์มีการเคลื่อนตัวมากขึ้น จึงมีผลทำให้ฟิล์มมีลักษณะไม่เป็นชั้นเล็ก ๆ หรือแตกหักง่าย แต่พลาสติกไซเซอรอลจะไปลดคุณสมบัติในการเป็นตัวกั้นก๊าซ ไอน้ำ และตัวถูกละลายของฟิล์ม และยังอาจทำให้ความยืดหยุ่นและการเกาะตัวกันลดลงด้วย (Gontard *et al.* 1993 ; Mchuge and Krochta. 1994)

ชนิดของพลาสติกไซเซอรอลที่ใช้สำหรับการเตรียมฟิล์ม คือ

2.4.2.1 โพลีอัล (polyol) ได้แก่ กลีเซอรอล (glycerol) ซอร์บิทอล (sorbitol) และโพรเพนไดออล (propanediol)

2.4.2.2 โมโน ได หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (mono, di หรือ oligosaccharide)

2.4.2.3 ไขมันและอนุพันธ์ของไขมัน เช่น กรดปาล์มิติก (palmitic acid)

นอกจากนี้ยังเป็นพลาสติกไซเซอรอลที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งจะมีผลเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฟิล์มที่รับประทานได้ในระหว่างการเก็บรักษา

Mark *et al.* (1966) ศึกษาการเตรียมฟิล์มจาก amylo maize starch ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 71 ขึ้นรูปบนแผ่นกระจกเคลือบซิลิโคนแล้วนำไปทำแห้งโดยใช้ลมร้อนพบว่า ฟิล์มที่ได้ทั้งที่มีการใช้กลีเซอรอลร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก และฟิล์มที่ไม่ใช้กลีเซอรอลไม่พบการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียสในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 100

มณฑาทิพย์ ยุณฉลาด (2534) ทดลองใช้กลีเซอรอลในออบเลตฟิล์ม 3 สูตร คือ สูตรไขมันเทศและวุ้น (สูตรที่ 1) สูตรไขมันเทศและอะมิโลส (1:1) และวุ้น (สูตรที่ 2) และอะมิโลสและวุ้น (สูตรที่ 3) โดยใช้กลีเซอรอลร้อยละ 0, 0.25 และ 0.5 โดยน้ำหนักของสารละลายพบว่า แผ่นฟิล์มที่ได้มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดและอัตราการซึมผ่านของแก๊สแปรผกผันกับปริมาณกลีเซอรอลที่เติมลงไป ส่วนค่าการยึดตัว ค่าการต้านทานแรงฉีกขาดและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีแปรผันตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น

Park *et al.* (1993) ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของพลาสติกไซเซอ ต่อฟิล์มเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส โดยใช้พลาสติกไซเซอ 3 ชนิด คือ โพลีเอทิลีนไกลคอล โพรพิลีนไกลคอล และกลีเซอรอล ที่ความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0.17, 0.33, 0.50 และ 0.66 มิลลิลิตรพลาสติกไซเซอต่อกรัมเซลลูโลส และควบคุมความหนาของแผ่นฟิล์มพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้ความเข้มข้นพลาสติกไซเซอร์เพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม 2 ชนิดลดลง แต่ค่าการยืดตัวเพิ่มขึ้น และการเพิ่มความเข้มข้นของโพลีเอทิลีนไกลคอลมีผลต่อการเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มมากกว่าพลาสติกไซเซอร์อีก 2 ชนิด ส่วนคุณสมบัติในการขวางกั้นพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพรพิลีนไกลคอล ค่าการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สออกซิเจนของฟิล์มทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น ส่วนโพลีเอทิลีนไกลคอล ไม่มีผลต่อค่าทั้งสองนี้โดยพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้น 0.33 มิลลิลิตรพลาสติกไซเซอร์ต่อกรัมเซลลูโลส ค่าทั้งสองมีค่าสูงสุด สำหรับกลีเซอริน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจนถึง 0.33 มิลลิลิตรพลาสติกไซเซอร์ต่อกรัมเซลลูโลส ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น แต่ใช้ความเข้มข้นมากกว่านี้ค่าจะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของกลีเซอรินไม่มีผลต่อค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มทั้งสองชนิด

เกศศิณี ตระกูลทิวาร และคณะ (2539) ศึกษาคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าหรือแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอล หรือกลีเซอรินโมโนสเตียเรตในปริมาณร้อยละ 0.2, 5 และ 10 ซึ่งผ่านการดัดแปลงโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันพบว่า ปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้แผ่นฟิล์มมีความเรียบขึ้น แต่ความคงทนต่อการแตกเมื่อพับลดลง การผสมกลีเซอรินโมโนสเตียเรตในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ไม่ทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะดีขึ้น ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอลมีลักษณะใสและยืดหยุ่นดี ส่วนฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าผสมกลีเซอรอลมีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นน้อยกว่า

ส่วนฟิล์มโปรตีนมีงานวิจัยหลายเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลาสติกไซเซอร์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม

Gontard *et al.* (1993) ได้ศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในฟิล์มที่รับประทานได้จากกลูเต็นข้าวสาลี โดยการศึกษาถึงผลการเป็นตัวกั้นไอน้ำและแรงเชิงกล ปกติโมเลกุลเต็นฟิล์มที่ไม่มีการใช้พลาสติกไซเซอร์ จะมีความเปราะมาก เนื่องจากในโมเลกุลเต็นมีกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine) สูงประมาณ 45-เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของโปรตีนมาก จึงเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโปรตีนโมเลกุลมาก ฟิล์มที่ได้จึงเกาะตัวกันและมีความอ่อนตัวต่ำ ผลของการศึกษาพบว่าการเติมกลีเซอรอลลงไป ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้กลูเต็นฟิล์มมีคุณสมบัติในการเป็นตัวกั้นไอน้ำและทำให้ทนต่อแรงเชิงกลได้ดี โดยความเข้มข้นสูงกว่า 15 กรัม ต่อ 100 กรัมของฟิล์มแห้ง จะไปมีผลลดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เนื่องจากแรงกดทะลุ และ relaxation coefficient ได้ เนื่องจากลักษณะของกลีเซอรอลเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติในการชอบน้ำโดยธรรมชาติ จึงสามารถที่จะแทรกเข้าไปในระหว่างสายโปรตีนและเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่เอไมด์ (amide group) ของกลูเตนได้ เป็นผลให้เกิดการจับกันโดยตรงระหว่างสายโปรตีนซึ่งการอยู่ใกล้กันของโปรตีนนี้ จะสามารถทำให้แรงเค้น (stress) ลดลง มีการเคลื่อนที่ของสายโปรตีนมากขึ้น ทำให้ฟิล์มสามารถที่จะแผ่ขยายได้ดีขึ้น แต่กลีเซอรอลก็จะส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทางลบ คือ ทำให้อัตราการซึมผ่าน (transmission rate) ของไอน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะกลีเซอรอลไปทำให้โครงสร้างของโปรตีนแบบตาข่าย (protein network) มีความหนาแน่นลดลง และผลของการเป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำจึงสามารถทำให้ฟิล์มดูดซับน้ำได้ดีขึ้น มีผลทำให้ความแข็งแรงและยืดหยุ่นของฟิล์มลดลง ปริมาณกลีเซอรอลที่ 16.6 กรัมต่อ 100 กรัม จะสามารถทำให้ฟิล์มแห้ง และมีคุณภาพดี

McHugh *et al.* (1994) รายงานผลของพลาสติกไซเซออร์ต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มโปรตีนเวย์ที่มีความหนาใกล้เคียงกันโดยใช้พลาสติกไซเซออร์ 3 ชนิด คือ โพลีเอทิลีนไกลคอล กลีเซอรอล และซอร์บิทอล ในความเข้มข้นร้อยละ 37.5 และ 50 ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายพบว่า เมื่อความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์เท่ากับฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลมีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าพลาสติกไซเซออร์ทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้พลาสติกไซเซออร์ชนิดเดียวกันถ้าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าการซึมผ่านไอน้ำจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงการใส่กลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 60 ในฟิล์มโปรตีนเวย์ พบว่าค่าการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจาก 0.6 ถึง 7.6 กรัม.มิลลิเมตรต่อกิโลกรัมต่อปาสคาลต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร

Gennadios *et al.* (1996) ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากโปรตีนไข่ขาว (egg albumin) ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 และ 50 หรือโพลีเอทิลีนไกลคอลหรือซอร์บิทอลร้อยละ 50 และ 60 โดยน้ำหนักของโปรตีน พบว่า ฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลร้อยละ 50 มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด ฟิล์มที่ใช้โพลีเอทิลีนไกลคอลมีค่าการยืดตัวสูงที่สุด และฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลหรือโพลีเอทิลีนไกลคอลมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดมากกว่าฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอล

## 2.5 การเกิดฟิล์ม

ฟิล์มบริโภคได้เกิดขึ้นจากการทำให้สารที่สามารถเกิดฟิล์มละลายหรือกระจายตัว แล้วใช้วิธีต่างๆ ในการแยกสารนั้นออกจากตัวทำละลาย เช่น การทำให้ตัวทำละลายระเหยไป การเติมอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้เกิดพันธะข้าม การปรับความเป็นกรด-เบส ซึ่งเรียกว่า โคแอกเซอร์เวชัน (coacervation) หรือโดยการทำให้สารที่เกิดฟิล์มซึ่งหลอมเหลวแข็งตัว (solidification) ฟิล์มรับประทานได้มีองค์ประกอบหลัก คือ โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งมีคุณสมบัติเกิดฟิล์มได้ ตัวทำละลายและสารเจือปนซึ่งเติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม (Kester and Fennema, 1986)

ในการเตรียมฟิล์มจะมีแรง 2 ชนิดที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ได้แก่ แรงโคฮีชัน (cohesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลโพลีเมอร์ด้วยกันเองจะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์มทำให้เกิดการเชื่อมต่อของผิวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุเดียวกันสร้างพันธะที่แข็งแรงซึ่งจะช่วยป้องกันหรือต้านทานการแยกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน ได้แก่ โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของโพลีเมอร์ ระบบการละลาย และสภาพในการเตรียมฟิล์ม โดยแรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่ การแผ่กิ่งก้านสาขา และการกระจายของกลุ่มที่มีขั้วอย่างมีระเบียบในสายโพลีเมอร์จะช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิกระหว่างสายโซ่ ทำให้มีความแข็งแรง การละลายของโพลีเมอร์ในการเตรียมฟิล์มยังผลต่อแรงโคฮีชัน คือ ถ้าโมเลกุลของโพลีเมอร์ละลายหรือขยายตัวได้มากที่สุดจะได้โครงสร้างซึ่งเชื่อมกันด้วยแรงโคฮีชันที่มาก ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง ส่วนสภาพในการเตรียมฟิล์มนั้น ควรเตรียมฟิล์มโดยใช้สารละลายที่อุ่น และทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้อัตราการระเหยตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของโพลีเมอร์ถูกตรึงก่อนที่จะเชื่อมกันอย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดรูเข็ม (pinholes) หรือทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอซึ่งทำให้การซึมผ่านของฟิล์มเพิ่มขึ้น ระดับของแรงโคฮีชันมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มได้แก่ ความหนาแน่น ความอัดแน่น (compactness) ความโปร่งเป็นรูพรุน (porosity) ความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) ความยืดหยุ่น (flexibility) และความเปราะ เป็นต้น ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่ง คือ แรงแอดฮีชัน (adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์มทำให้เกิดโครงร่างของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์กับพลาสติกไซเซอรซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มเช่นกัน (Banker, 1966)

Graham (1977) อธิบายการเกิดฟิล์มจากเมทิลเซลลูโลสว่า เมื่อละลายเมทิลเซลลูโลสในสารทำละลายจะเกิดขึ้นตอนต่าง ๆ คือ เกิดการพองตัวเนื่องจากมีโมเลกุลของสารทำละลายเข้าไปแทรกอยู่ขณะเดียวกันความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ต่อมาพันธะระหว่างสายโพลีเมอร์จะถูกทำลาย ทำให้สายโซ่เริ่มกระจายตัว ความหนืดลดลงและคงที่เมื่อการกระจายของโมเลกุลเกิดอย่างสมบูรณ์ ระหว่างการระเหยของสารทำละลาย สายโซ่จะเชื่อมต่อกันใหม่ได้แผ่นฟิล์มเมทิลเซลลูโลส ถ้ามีการเติมพลาสติกไซเซอรลงไปสารดังกล่าวจะไปแทรกอยู่ระหว่างสายโพลีเมอร์ ทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นดีขึ้น ส่วนการเกิดฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองนั้น Gennadios and Weller (1991) อธิบายว่า เมื่อให้ความร้อนน้ำมันถั่วเหลืองจนถึงระดับหนึ่ง จะทำให้โครงสร้างสามมิติของโปรตีนเปิดออก หมู่ซัลไฮดริล และสายโซ่ด้านข้างที่ไม่มีขั้วคลายตัว กลูเตนกระจายตัว ระหว่างการทำแห้งหรือสูญเสียน้ำที่ผิว โพลีเมอร์เหล่านี้จะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและเชื่อมกันเป็นโครงร่างแมทริกซ์ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ไฮโดรฟอบิก และพันธะไฮโดรเจน โดยในโครงร่างมีหยดน้ำมันกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ

## 2.6 การขึ้นรูปฟิล์ม

การขึ้นรูปฟิล์มสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ การขึ้นรูปที่รวดเร็วเป็นที่ต้องการในแง่ของอุตสาหกรรม แต่จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม เพื่อให้ฟิล์มขึ้นรูปไม่เร็วเกินไปมิฉะนั้นฟิล์มจะไม่สม่ำเสมอ ผิวหน้าขรุขระและแตกง่าย (Banker, 1966) วิธีการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มมีหลายวิธีด้วยกัน คือ

2.6.1 วิธีเทสารละลายลงบนวัสดุต่าง ๆ (solvent casting) ในปี 1966 Mark และเตรียมฟิล์มจากสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (amylomaize starch) โดยการเทลงบนแผ่นกระจกเคลือบซิลิโคนแล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน ฟิล์มที่ได้มีลักษณะโปร่งแสง ละลายน้ำได้ ต่อมา มีการเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและวุ้นขึ้นรูปโดยการเทส่วนผสมลงในถาดโลหะปลอดสนิม เขย่าถาดเบา ๆ จนส่วนผสมกระจายเต็มถาด ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ฟิล์มที่ได้มีสีขาวขุ่น เป็นเนื้อเดียวกัน มีความหนา 113 ไมโครเมตร (พนอจิต ธีบุญมงคลพงศ์, 2531) ต่อมาในปี 2534 มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด เตรียมฟิล์มแบบ ออบเลตจากสตาร์ชมันเทศและวุ้น สตาร์ชมันเทศและอะมิโลสและวุ้น และอะมิโลสและวุ้น โดยวิธีการที่คล้ายกัน คือ เทส่วนผสมลงในถาดโลหะปลอดสนิมที่ทำด้วยน้ำมันพืช แล้วทำให้ร้อนพอประมาณเอียงและเขย่าถาดเบา ๆ ทิ้งไว้ให้แผ่นฟิล์มเป็ยกคงรูป ทำแห้งด้วยไอน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้มีความหนา 23-63 ไมโครเมตร

Kester and Fennema (1989) ขึ้นรูปฟิล์มจากเซลลูโลสอีเทอร์และไขมันบนแผ่นกระจกด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (thin-layer chromatography) แล้วนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้มีความหนาเฉลี่ย 0.01 มิลลิเมตร ปันดดา พวงเกษม (2537) ดัดแปลงวิธีนี้โดยขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเขียวบนแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งขึงบนถาดเหล็กปลอดสนิมจนเรียบตั้งแล้วนำไปทำแห้งในตู้อบแบบถาด (tray drier) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้โปร่งแสง พื้นผิวด้านที่สัมผัสกับพลาสติกเรียบมัน ส่วนด้านที่สัมผัสกับอากาศด้าน

2.6.2 วิธีเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) องค์ประกอบในการเตรียมฟิล์มได้แก่ สตาร์ชที่มีอะมิโลสร้อยละ 50-80 พลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 0-30 และน้ำร้อยละ 20-50 ฟิล์มที่ได้มีความหนาร้อยละ 7-15 ความหนา 1-4 มิล (1 มิล (mil) = 0.0254 มิลลิเมตร) (Mumma, 1967) แต่จะต้องมีการทำให้อะมิโลสเป็นสารเทอร์โมพลาสติกเทียมก่อนจึงจะขึ้นรูปวิธีนี้ได้

2.6.3 วิธีการทำแห้งด้วยลูกกลิ้ง (drum drier) Hullinger (1965) รายงานว่ามีการผลิตฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ช เรียกว่า ออบเลตฟิล์ม ซึ่งเตรียมจากการผสมสตาร์ชข้าวเจ้ากับกัมจากพืชเล็กน้อย ทำให้เป็นพลาสติกเงาแล้วขึ้นรูปเป็นฟิล์มบนลูกกลิ้งร้อน 103-108 องศาเซลเซียส

หมุนด้วยความเร็ว 70-110 วินาทีต่อรอบ นำฟิล์มที่ได้มาทำแห้งด้วยลมร้อนจนมีความชื้นร้อยละ 13 ฟิล์มมีลักษณะปรากฏเป็นดวง ๆ บางมาก เพราะแตกง่ายเมื่อเก็บรักษาโดยไม่ควบคุมความชื้น

## 2.7 ลักษณะทั่วไปของข้าวและแป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้าตามความหมายของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2529) ระบุว่าเป็นแป้งที่ได้จากข้าวขาว อาจเป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหักใหญ่ ข้าวหักหรือปลายข้าว ซึ่งได้จากการสีข้าวเปลือกที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ *Oryza sativa* L. ข้าวที่มีจำหน่ายทั่วไปสามารถจัดกลุ่มตามปริมาณอะมิโลสได้เป็น ข้าวเหนียว (มีอะมิโลสร้อยละ 1-2) ข้าวอะมิโลสต่ำ (มีร้อยละ 12-20) ข้าวอะมิโลสปานกลาง (มีร้อยละ 20-25) ข้าวอะมิโลสสูงปานกลาง (มีร้อยละ 25-27) และข้าวอะมิโลสสูง (มีมากกว่าร้อยละ 27) (Cagampang และคณะ, 1973) ถึงแม้จะเป็นข้าวพันธุ์เดียวกัน ความแตกต่างของปริมาณอะมิโลสอาจอยู่ในช่วงร้อยละ 4-5 ตามแหล่งปลูก พันธุ์ข้าวเจ้าของไทยมีปริมาณอะมิโลสตั้งแต่ต่ำจนถึงสูง และส่วนใหญ่จะมีอะมิโลสสูง อัตราส่วนขององค์ประกอบอะมิโลสและอะมิโลเปกตินแตกต่างกันตามชนิดและพันธุ์ของข้าว (งามชื่น คงเสรี. 2518) ตัวอย่างข้าวพันธุ์ที่มีอะมิโลสสูง ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข. 1 มีปริมาณอะมิโลสโดยเฉลี่ยร้อยละ 30.6 ข้าวพันธุ์ กข. 25 มีปริมาณอะมิโลสโดยเฉลี่ยร้อยละ 31.4 ส่วนข้าวพันธุ์ที่มีอะมิโลสต่ำ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข. 15 มีปริมาณอะมิโลสโดยเฉลี่ย 15.8 (ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. 2531)

โรงงานผลิตแป้งข้าวเจ้าในประเทศไทยมีตั้งแต่ระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น ที่ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชุนจิว จังหวัดนครปฐม มีกำลังผลิต 7,200 ตันต่อปี และบริษัทรีเมียร์ฟู้ดอินดัสตรี จำกัด มีกำลังผลิต 5,760 ตันต่อปี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโรงงานขนาดเล็กอีกหลายแห่ง (สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2528) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า (2529) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า (2529) กำหนดว่าแป้งข้าวเจ้าต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13.0 ปริมาณแป้งไม่น้อยกว่าร้อยละ 85.0 เถ้าไม่เกินร้อยละ 0.50 เถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่เกินร้อยละ 0.030 และปริมาณอะมิโลสไม่น้อยกว่าร้อยละ 15.0

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเปกติน ตีกร์การโพสโมรีไรซ์ในแป้งชนิดต่าง

แป้ง	ปริมาณ อะมิโลส %(น้ำหนัก/น้ำหนัก)	ปริมาณ อะมิโลเปกติน %(น้ำหนัก/น้ำหนัก)	ตีกร์การโพส- เมอริไรซ์ของ อะมิโลส	ตีกร์การโพส- เมอริไรซ์ของ อะมิโลเปกติน
ข้าวโพด	28	72	800	2,000,000
มันฝรั่ง	21	79	3,000	2,000,000
ข้าวสาลี	28	72	800	2,000,000
มันสำปะหลัง	17	83	-	2,000,000
แวกซีเมซ	0	100	-	2,000,000
ข้าวฟ่าง	28	72	-	-
ข้าวเจ้า	17	83	-	-
สาคุ	27	73	-	-
แอโรรุท	20	80	-	-
อะมิโลเมซ	50-80	20-50	-	-

ที่มา : Swinkels (1985)

### 2.7.1 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วย D(+) glucose unit ซึ่งอยู่ในรูป  $\alpha$  glucopyranose ring มีพันธะต่อกับอะตอมออกซิเจนที่ตำแหน่ง 1,4 แต่ละหน่วยของโครงสร้างมีพันธะเชื่อมเข้าด้วยกันทำให้โมเลกุลมีลักษณะคล้ายเส้นด้ายโดยทั่วไปประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ อะมิโลส และอะมิโลเปกติน โมเลกุลดังกล่าวจะมีสัดส่วนแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและสายพันธุ์ (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534)

อะมิโลส เป็นสารประกอบที่สลับซับซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสจำนวนมาก โดยมีโครงสร้างเป็นแนวยาว เมื่อย้อมสีด้วยไอโอดีนจะมีสีน้ำเงิน เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดและทำให้เย็นจะเกิดกระบวนการคืนตัวเป็นของแข็ง (retrogradation)

Rutenberg (1980) ได้กล่าวว่าจากการศึกษาลักษณะการพองตัวและรูปแบบการหักเหด้วยรังสีเอกซ์ของแป้งชนิดต่าง ๆ รวมทั้งการตรวจเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบกราดลำแสงให้เห็นภาพโครงสร้างซึ่งเกิดจากการผสมผสานระหว่างส่วนของเส้นตรงกับส่วนกึ่งก้านของโมเลกุลแป้งและการจัดตัวอย่างเป็นระเบียบของเม็ดแป้งโดยมีอะมิโลเปกตินเป็นปัจจัยหลักของเม็ดแป้งซึ่ง

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึกที่มีความเป็นระเบียบสูงและส่วนที่เป็นอสัณฐานมีการจัดตัวอย่างเป็นระเบียบน้อยกว่าส่วนที่เป็นผลึกเกิดจากส่วนที่เป็นเส้นตรงของโมเลกุลอะมิโลเปกตินจัดเรียงตัวในแนวขนานมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นสายโมเลกุลยึดจับสายโซ่โมเลกุลเข้าด้วยกันทำให้เกิดมัดของรูปผลึกรวมเข้าด้วยกันจึงเห็นเป็นแถบวงแหวนของไมเซลล์ ซึ่งลักษณะของไมเซลล์ในแป้งปรกติจะเห็นได้จากการเกิดรอยกากบาทเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสงโพลาไรซ์ นอกจากนี้ในเม็ดแป้งยังมีส่วนของโมเลกุลเส้นตรงของอะมิโลสที่มีขนาดใหญ่มาเกาะเกี่ยวกับส่วนที่เป็นผลึกของอะมิโลเปกตินทำให้เกิดรูปผลึกผสมจึงเห็นส่วนรูปผลึกเป็นร่างแหสามมิติ ส่วนที่เป็นอสัณฐานนั้น ได้แก่ ส่วนที่เหลือของอะมิโลเปกตินซึ่งเป็นกิ่งก้านเรียงตัวกระจายไม่เป็นระเบียบ จัดตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างไมเซลล์อย่างไม่หนาแน่น รวมทั้งส่วนอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วย ดังนั้นส่วนไมเซลล์เหล่านี้ยังทำหน้าที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งเข้าด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Tegge, 1984) สารแขวนลอยแป้งที่ถูกกับความร้อนจะแสดงสมบัติที่มีพฤติกรรมหลายอย่างสัมพันธ์กัน ได้แก่ การพองตัว การละลาย การเกิดเจลาติโนเซชัน การเกิดรีโทกราเดชัน และความข้นหนืด

### 2.7.2 การพองตัวและการละลาย

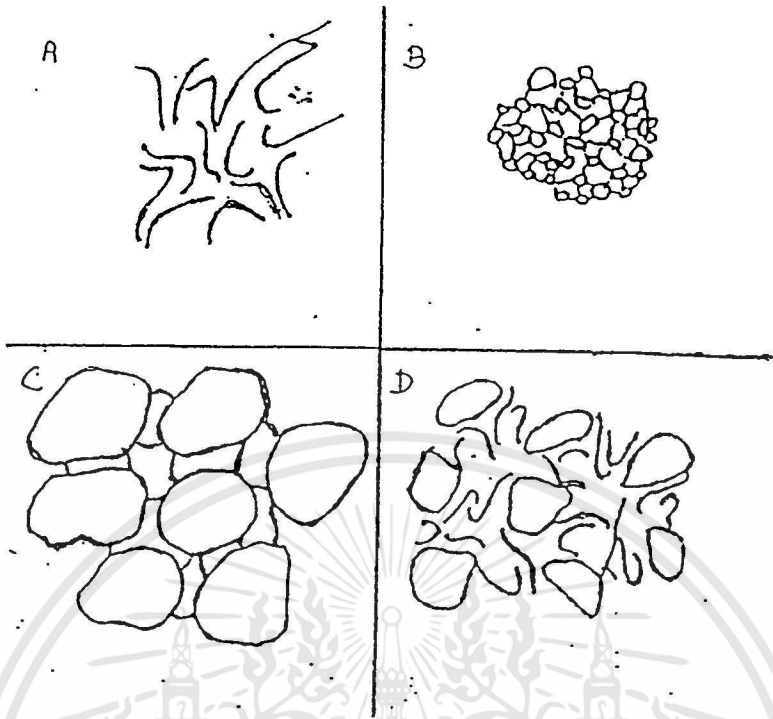
เม็ดแป้งไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจึงสามารถสกัดแป้งออกจากแหล่งวัตถุดิบได้ด้วยน้ำในระบบการไม่แป้ง ความสามารถในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโมเลกุลของแป้งเข้าด้วยกันมีการเปลี่ยนแปลง โมเลกุลของแป้งจึงแยกออกจากกันและเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำขึ้น การพองตัวของเม็ดแป้งจะเกิดเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างขององค์ประกอบหลักของเม็ดแป้ง ซึ่งองค์ประกอบหลักนั้นมีอัตราส่วนของส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานต่างกัน เม็ดแป้งที่มีส่วนผลึกมากจะมีพันธะไฮโดรเจนหนาแน่น ทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งแข็งแรงกว่า โดยทั่วไปส่วนที่เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้งจะแข็งแรงน้อยกว่าส่วนที่เป็นผลึก จึงทำให้ส่วนที่เป็นอสัณฐานพองตัวได้ก่อนและสูงมากเมื่อถึงระดับอุณหภูมิหนึ่งจะทำให้ส่วนที่เป็นผลึกซึ่งมีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบเป็นรูปวงแหวนเริ่มบิดเบี้ยวไปที่อุณหภูมินั้น เรียกว่าอุณหภูมิเจลาติโนเซชัน แสดงว่าโมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึกมีการดูดซับน้ำไว้บางทำให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้น โมเลกุลในส่วนที่เป็นรูปผลึกที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้แต่อาจมีโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพกตินซึ่งมีขนาดเล็กและเป็นอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ สารแขวนลอยแป้งจะมีความหนืดสูงสุดจนในที่สุดเม็ดแป้งก็จะแตก (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2534)

### 2.7.3 การเกิดเจลาตินในเซชันด้วยความร้อน

โดยทั่วไปแป้งจะไม่ละลายในน้ำเย็น เนื่องจากการจัดเรียงในส่วนที่เป็นผลึกของโมเลกุล เป็นไปอย่างมีระเบียบและซับซ้อนกัน โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันจะเกาะเกี่ยวด้วยแรงพหุเหมาะซึ่งกัน และกัน โอกาสที่น้ำจะซึมเข้าไปในส่วนนี้จะน้อยมาก แต่น้ำอาจซึมเข้าไปในส่วนที่เป็น อสัณฐาน ของเม็ดแป้งซึ่งไม่แข็งแรง และมีกลุ่มไฮดรอกซิลจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนไว้บ้าง (Collision, 1968) แต่เมื่อสารแขวนลอยแป้งในน้ำเย็นได้รับความร้อนอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งจะสูญเสียรอยกักบาทเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสง โพลาไรซ์ก่อนที่จะเห็นการพองตัวของมัน ซึ่งเรียกว่าอุณหภูมิเจลาตินในเซชัน (gelatinization temperature or Birefringence End Point Temperature, BEPT) แสดงว่า โมเลกุลของแป้งในส่วนที่เป็นผลึก คลายตัวออก เกิดปฏิกิริยาการดูดน้ำและเกิดการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ ทำให้สารละลายของแป้งมีความหนืดและใสขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า เจลาตินในเซชัน

### 2.7.4 สมบัติบางประการของอะมิโลส

ในสภาพของอะมิโลสที่ละลายได้ อะมิโลสมีบทบาทในการเกิดเจลทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายซึ่งจับและกักน้ำเอาไว้ เชื่อมส่วนของเม็ดแป้งทำให้เพิ่มการเกาะเกี่ยวของโครงร่าง ตาข่ายอีกด้วย (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2534) Ott และ Hester (1965) ได้สรุปว่าปริมาณ อะมิโลสมีความจำเป็นต่อความคงตัวของโครงร่างของเจลและยังมีบทบาทสำคัญในระบบเจล ดังแสดงใน รูปที่ 2.1 โดยรูป 2.1.A เป็นโครงร่างของเจลอะมิโลส ถึงแม้จะมีเจลอะมิโลสเพียงเล็กน้อย ก็สามารถทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่อุ้มน้ำไว้ได้ รูป 2.1.B เป็นโครงร่างของเจลเมื่อมีแป้งเป็นส่วน ส่วนเล็ก ๆ ที่ดูดซับน้ำและพองตัวอย่างเต็มที่ รูป 2.1.C เป็นโครงร่างของเจลเมื่อมีแป้งเป็นส่วน เชื่อมต่อกันขนาดใหญ่ซึ่งดูดซับน้ำและพองตัว ปริมาณน้ำจำนวนมากถูกกักอยู่ในเม็ดแป้ง อะมิ โลสเพียงระดับหนึ่งเท่านั้นที่จำเป็นในการเชื่อมให้เกิดโครงร่างตาข่ายซึ่งต่อเนื่องกัน รูป 2.1.D เป็นระบบของเจลซึ่งแสดงบทบาทของอะมิโลสในการกักเก็บน้ำ และเชื่อมส่วนเม็ดแป้งที่เหลือให้เป็นโครงร่างตาข่ายเข้าด้วยกัน ปริมาณอะมิโลสที่จำเป็นต้องใช้จึงต่ำกว่าในระบบที่มีน้ำอิสระมาก ดังรูป 2.1.A หรือในระบบที่มีน้ำอิสระน้อย แต่มีเม็ดแป้งมาก ดังรูป 2.1.B



รูปที่ 2.1 หน้าที่ของอะมิโลสในระบบการเกิดเจล

A : เจลของอะมิโลสจับกับน้ำเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ

B : เจลกับชิ้นส่วนของแป้งที่พองตัวเชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างตาข่าย

C : เจลกับส่วนของแป้งที่เชื่อมต่อกันโดยมีการดูดซับน้ำและพองตัวมาก

D : เจลกับส่วนของแป้งที่เชื่อมต่อกันเมื่อไม่มีการดูดซับน้ำและพองตัวมาก

ที่มา : Ott และ Hester (1965)

## 2.8 เพคติน (Pectin)

### 2.8.1 แหล่งที่มาของเพคติน

เพคตินเป็นโพลีแซคคาไรด์เชิงซ้อนชนิดหนึ่งที่พบในผนังเซลล์ (cell wall) ของพืชชั้นสูง ถึงแม้ว่าเพคตินปกติจะเกิดขึ้นมากในเนื้อเยื่อของพืชที่ยึดติดอยู่กับองค์ประกอบของมิดเดิลลามลลา (middle lamellar) และส่วนที่เป็นความหนาของผนังเซลล์ แต่แหล่งของเพคตินที่ใช้ในทางการค้ามีค่อนข้างจำกัด เพราะความสามารถในการเกิดโครงสร้างของเจลของเพคติน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลและระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิล (Degree of methylation ; DM) แหล่งของเพคตินที่แตกต่างกัน เพคตินที่ได้ก็จะมีความสามารถในการเกิดเจลได้ในสภาวะที่ต่างกัน (Thakur *et al.* 1997)

เพคตินจำนวนมากพบอยู่ที่ผนังเซลล์ของผลไม้ เป็นสารอาหารที่สำคัญและมีความสำคัญเกี่ยวกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ เพราะมีคุณสมบัติในการเกิดเจลได้ (Westerlund *et al.* 1991) เพคตินได้จากของเหลือในกระบวนการผลิต (by-product) การผลิตน้ำผลไม้ เช่น แอปเปิล ส้ม และมะนาว (Kratchanova. 1991) เนื้อของหัวบีทที่ใช้ทำน้ำตาล (sugar-beet pulp) หรือของเหลือจากการสกัดน้ำตาล เป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นแหล่งที่ดีของเพคติน (Phatak *et al.* 1988) เพคตินที่มีคุณภาพดีได้จากเปลือกมะม่วงสุก (ripe mango peel) (Beerh *et al.* 1976)

เพคตินที่ใช้ในทางการค้ามาจากเปลือกของแอปเปิลที่คั้นน้ำออกแล้ว (apple pomace) และเนื้อของผลไม้จำพวกส้ม (Dominic. 1989) และแหล่งที่พบเพคตินที่สำคัญอีกก็ได้แก่หัวบีทที่ใช้ทำน้ำตาล (sugar beet) กากของส่วนหัวของเมล็ดทานตะวัน (residues from seedheads of sunflower) ปริมาณเพคตินในผลไม้ชนิดต่าง ๆ แสดงค่าได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณเพคตินในผลไม้บางชนิด

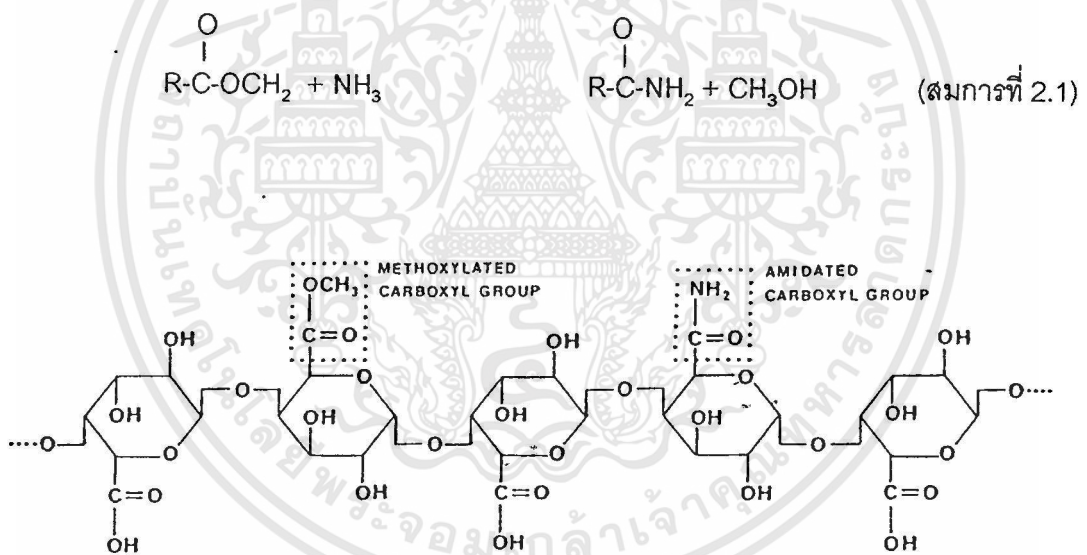
Fruit	% pectin substances (wet weight)
Apple (Malus spp.)	0.5-1.6
Apple pomace	1.5-2.5
Banana (Musa acuminata L.)	0.7-1.2
Beet pulp (Beta vulgaris)	1.0
Carambola (Averrhoa carambola)	0.66
Carrot (Daucus carota)	0.2-0.5
Giant granadilla (Passiflora quadrangularis L.)	0.4
Grava (Psidium guajava L.)	0.77-0.99
Lemon pulp (Citrus limon)	2.5-4.0
Lychee (Litchi chinesis S.)	0.42
Mango (Mangifera indica L.)	0.26-0.42
Orange peel (C. sinensis)	3.5-5.5
Papaya (Carcia papaya)	0.66-1.0
Passion fruit (Passiflora edulis S.)	0.5
Passion fruit rind	2.1-3.0
Peaches (Prunus persica)	0.1-0.9
Pineapple (Ananas comosus L.)	0.04-0.13
Strawberries (Fragaria ananassa)	0.6-0.7
Tamarind (Tamarindus indica L.)	1.71
Thimbleberry (Robus rosalfolius)	0.72
Tomato fruit ( Lycopersicon esculentum)	0.2-0.6

ที่มา : Thakur *et al.* (1997)

## 2.8.2 โครงสร้างทางเคมีของเพคติน

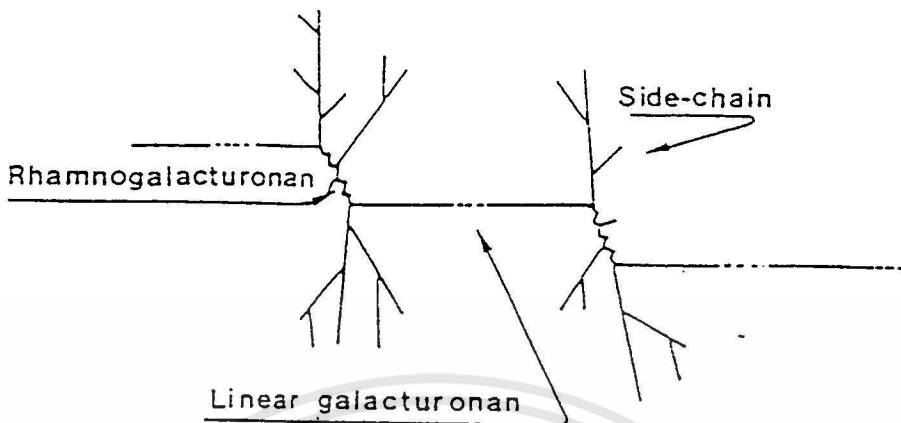
เพคตินเป็นโพลีแซคคาไรด์เชิงซ้อนที่ประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) 150-500 หน่วย (น้ำหนักโมเลกุล 30,000 - 100,000) และส่วนที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ (esterified) กับกลุ่มเมทอกซี (methoxy group) (ดังรูปที่ 2.2) ส่วนที่เป็นสายโซ่ตรง (backbone chain) จะประกอบด้วย แอล-รามโนส (L-rhamnose) และส่วนที่เป็นสาขาหรือกิ่งกับสายโซ่หลักที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ประกอบด้วย บีต้า-ดี-กาแลคโทไพราโนส ( $\beta$ -D-galactopyranose) และ แอลฟา-แอล-อารบินอฟิวราโนส ( $\alpha$ -L-arabinofuranose) (ดังรูปที่ 2.3)

เปอร์เซ็นต์ของกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) ที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ (esterified) เรียกระดับของการเอสเทอร์ไฟด์ (degree of esterification ; DE) เพคตินจะมีเปอร์เซ็นต์กลุ่มเมทอกซี (% methoxy group) สูง เมื่อใช้แอมโมเนียในการดีเอสเทอร์ไฟด์ (ammonia deesterify) ดังสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเพคติน (structure of pectin)

ที่มา : Dominic (1989)



รูปที่ 2.3 Schematic representation of pectin backbone showing the "hairy" regions (Rhamnogalacturonan and side chains) and "smooth" regions (linear galacturonan).

ที่มา : Thakur (1997)

### 2.8.3 การแบ่งกลุ่มเพคติน

เพคตินสามารถแบ่งกลุ่มได้โดยใช้ระดับการเอสเทอร์ไฟด์ (degree of esterification) คือ

2.8.3.1 เพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลสูง (High - methoxy pectin ;HM) จะมี DE มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถเกิดเจลได้เมื่อมีของแข็งที่ละลายได้เป็นตัวกลาง ปกติจะใช้ซูโครส มากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 2.0 - 3.5

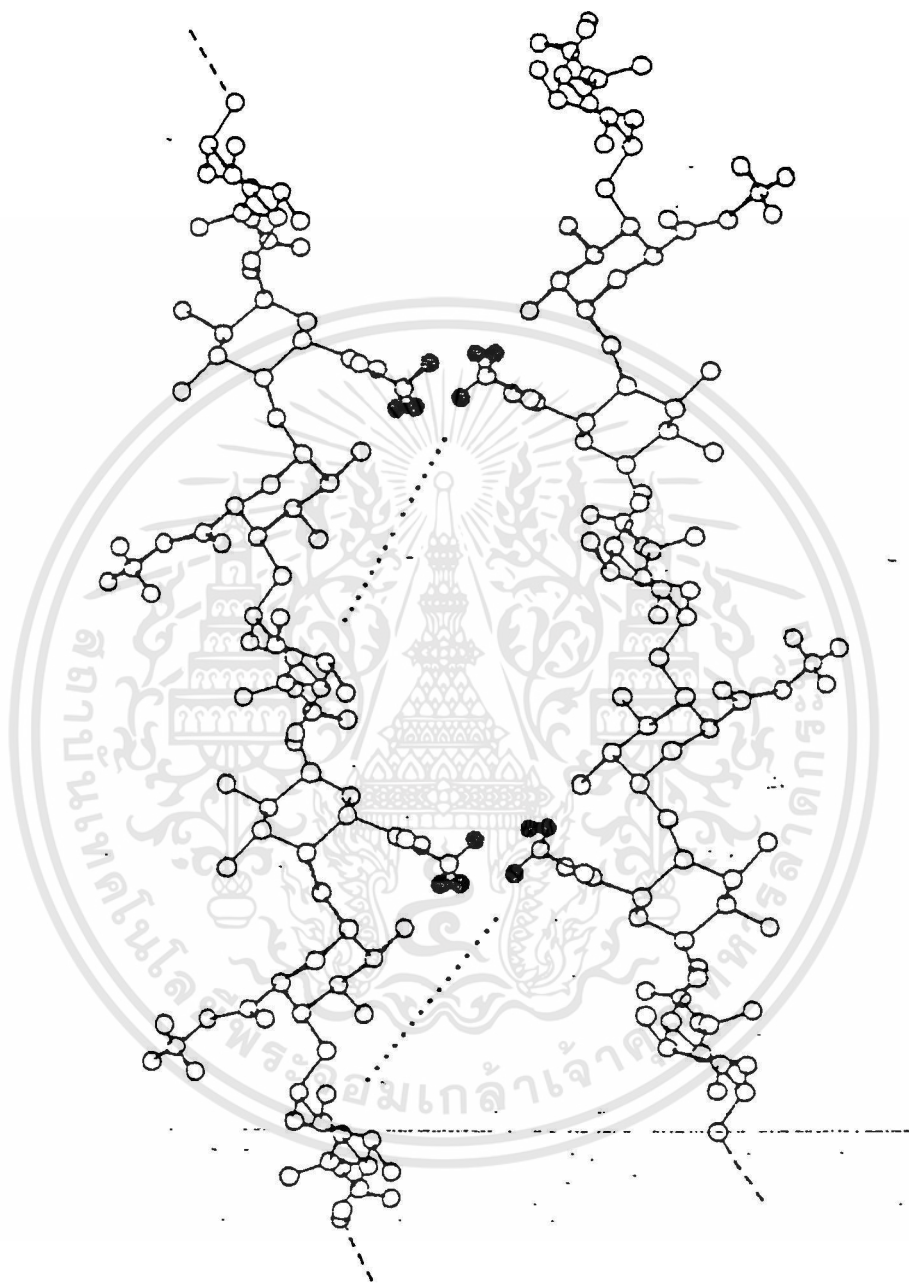
2.8.3.2 เพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำ (Low - methoxy pectin ; LM) จะมี DE ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถเกิดเจลได้เมื่อใช้แคลเซียมไอออนเป็นตัวเหนียวน้ำ และสามารถเกิดได้เมื่อใช้ของแข็งที่ละลายได้เป็นตัวกลางในปริมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 2.5-6.5 สภาพนี้สามารถทำให้เจลของเพคตินมีความคงตัวได้ 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์

### 2.8.4 การเกิดเจลของเพคติน

กลไกการเกิดเจลของ HM และ LM เพคติน สามารถเกิดขึ้นได้ที่สายโพลีแซคคาไรด์มาต่อกันคล้ายกับการเกิดเจลของอัลจีเนต (alginate gel) เจลของ HM pectin สามารถคงตัวได้โดยพันธะไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic binding) ของ กลุ่ม เมทิล เอสเทอร์มาเกาะเกี่ยวกัน (methyl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





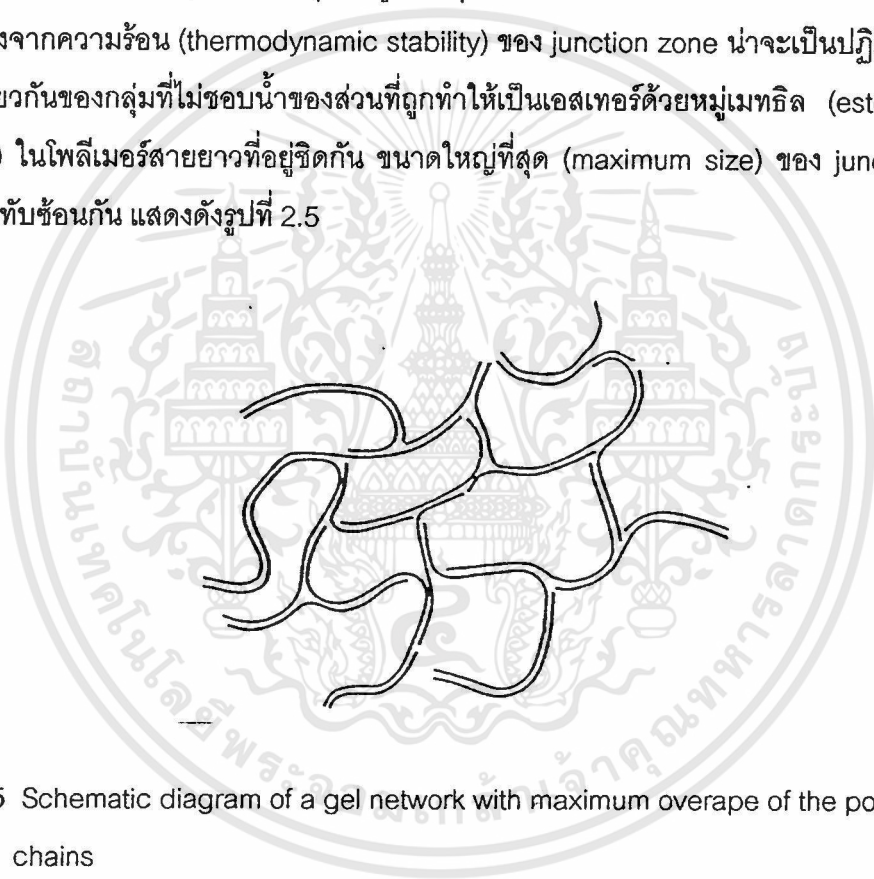
รูปที่ 2.4 Structure of junction zone in gels of high methoxy pectins inferred from X-ray diffraction studies.

ที่มา : Walkinshaw and Arnott (1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคงตัวของการเกาะเกี่ยวกันของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic interaction) สามารถประยุกต์ได้โดยการเติมน้ำตาล (sugar) หรือโพลีอัล (polyols) ที่แตกต่างกัน (Back *et al.* 1979) , อีเทน (ethane), ที-บิวทานอล (t-butanol) หรือไดออกเซน (dioxane) (Oakenfull and Fenwick. 1979) หรือโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

Oakenfull and Scott (1984) พบว่าในการเตรียมเจลจะต้องใช้ซูโครสหรือสารที่มีลักษณะคล้ายกันที่ความเข้มข้นสูง เพื่อทำให้กลุ่มที่ไม่ชอบน้ำมาเกาะเกี่ยวกัน (hydrophobic interaction) มีความคงตัว ผลของน้ำตาลที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของโครงสร้างของโมเลกุลน้ำตาล และการจับ (interaction) กับโมเลกุลที่อยู่ข้าง ๆ และพบว่าขนาดและเสถียรภาพทางการเคลื่อนไหวเนื่องจากความร้อน (thermodynamic stability) ของ junction zone น่าจะเป็นปฏิภาคกับการเกาะเกี่ยวกันของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำของส่วนที่ถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยหมู่เมทิล (ester methyl groups) ในโพลีเมอร์สายยาวที่อยู่ชิดกัน ขนาดใหญ่ที่สุด (maximum size) ของ junction zone และการทับซ้อนกัน แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Schematic diagram of a gel network with maximum overlap of the polymer chains

ที่มา : Oakenfull and Scott (1984)

Rao and Cooley (1993) ได้ทำเจลจากเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลสูง น้ำตาลฟรุคโตส (fructose) และโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 0.1 โมล พบว่าคุณสมบัติ viscoelastic ของเจลที่พีเอช 2.7 เก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า 18 องศาเซลเซียส จะเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บ 3 วันแรก

โครงสร้างตาข่ายของโมเลกุลโพลีแซคคาไรด์ในการเกิดเจลของเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลสูงจะคงตัวอยู่ได้ด้วยการรวมตัวกันของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำและพันธะไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

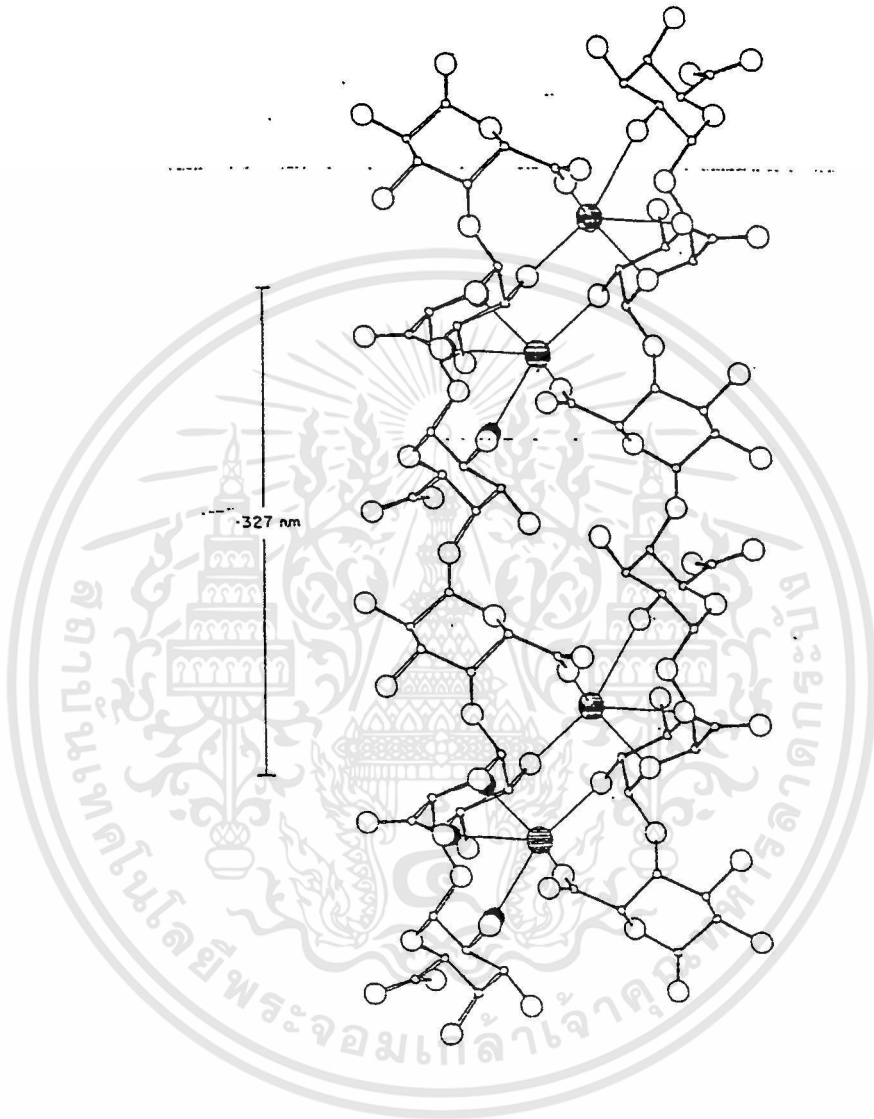
(hydrogen bond) การเกาะเกี่ยวกันของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำเกิดจากพลังงานอิสระของการเกิดโครงสร้าง junction zone และอีกครึ่งหนึ่งมาจากพันธะไฮโดรเจน แต่พันธะไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียวไม่มีประสิทธิภาพพอเพียงที่จะทำให้ junction zone มีความคงตัวได้ เนื่องจากไม่สามารถที่จะทำลายพลังงานที่ขัดขวางการเกิดเจลได้

junction zone เกิดจากการต่อกันของข้อหรือปล้อง(segment) ของสายโซ่โพลีแซคคาไรด์ 2 สาย ซึ่งประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) อยู่ระหว่าง 18-250 หน่วย ซึ่งระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลเพิ่มขึ้น

2.8.4.2 การเกิดเจลของเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำ ( LM pectin ) จะเกิดได้เมื่อมี divalent cation เช่น แคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ ) จะเกิดการเชื่อมข้ามระหว่างอิเล็กตรอนคู่อิสระของกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl groups) ของโมเลกุลเพคติน (แสดงดังรูปที่ 2.6) เพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำจะมีลักษณะทางเคมีที่คงตัว จึงทนความร้อนและความชื้นมากกว่าเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลสูง เพราะมีแนวโน้มที่จะสูญเสียการถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ (deesterify) ได้ช้าในความร้อนบรรยากาศ

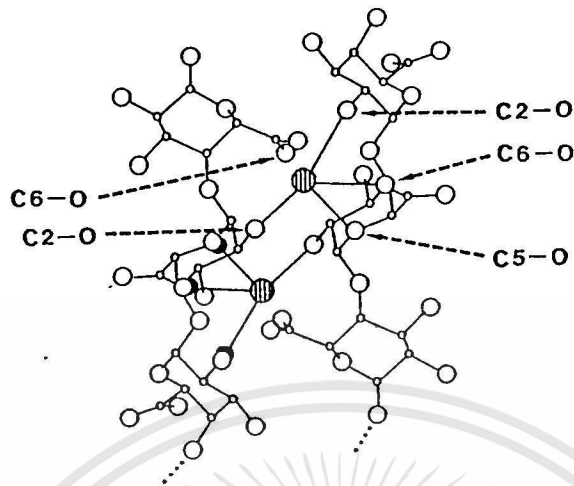
เพคตินที่มีระดับการถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ต่ำ (low ester pectin) ในทางการค้าสามารถเกิดเจลได้ที่พีเอชเฉลี่ย 2.5-6.5 (Anon. 1947 in Kim and Lee. 1978)

ในเจลของเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำ junction zone จะคงตัวได้ด้วยพันธะเชื่อมข้ามของสายโซ่ โดยแคลเซียมไอออนทำให้ออกซิเจนมีประจุบวก เท่ากับ 5 : C5-O , C6-O และ C2-O จากสายโซ่หนึ่งกับ C5-O และ C6-O ของกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) เหมือนกัน และ C2-O และ C6-O จากสายโซ่ที่อยู่ติดกัน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 Calcium pectate unit cell viewed along the (100) direction) Coordination of calcium ions (striped circles) to polymer oxygen functions is denoted by thin, unbroken lines.

ที่มา : Walkinshaw and Arnott (1981)



รูปที่ 2.7 The calcium pectate unit cell.

ที่มา : Walkinshaw and Arnott (1981).

Kim *et al.* (1978) เมื่ออุณหภูมิลดลง ความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4\text{OH}$  เพิ่มขึ้นเพคตินจะเกิดการสูญเสียโพลีเมอร์ (depolymerization) น้อยที่สุด และกลุ่มเมทิล (methoxyl group) จะเปลี่ยนเป็นกลุ่มเอไมด์ (amide groups) เกือบหมด และพบว่า การเพิ่มขึ้นของกลุ่มเอไมด์ในเพคตินที่มีระดับการเอสเทอร์ไฟด์ต่ำ จะทำให้เจลมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่น (elastic) สูงกว่าเพคตินที่มีกลุ่มเอไมด์ต่ำ

คุณสมบัติทางกายภาพของเจลเพคตินที่มีระดับการถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ต่ำ สามารถอธิบายได้จากลักษณะทางเคมีของเพคตินที่มีระดับการถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ต่ำ การลดลงของเปอร์เซ็นต์การถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ (% esterification) ผลก็คือเจลจะมีความคงตัวเพิ่มขึ้น และเจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เปอร์เซ็นต์กลุ่มของกรดเอไมด์ (% acid amide group) ในเพคติน จะทำให้เจลมีความแข็งแรงสูงกว่า มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์กลุ่มคาร์บอกซิลอิสระ (% free carboxyl group) ลดลง ( Kim *et al.* 1978)

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### 3.1 วัตถุดิบ

- 3.1.1 แป้งข้าวเจ้า ตราช้างสามเศียร บริษัท โรงเส้นหมี่ทองแดง จำกัด
- 3.1.2 เพคตินจากส้ม (citrus pectin) Classic AF 201 DE 68-72%, U.S.A.

#### 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 ต่อบนสูง 1 มิลลิเมตร
- 3.3.2 เครื่องชั่งสาร OHOUS , U.S.A.
- 3.3.3 เครื่องผสม (Mixing) IKA. Labortechnik, 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 1601 UV-Vis SPECTROPHOTOMETERS, USA
- 3.4.2 เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ(texture Analyser) TA-XT2 , England
- 3.4.3 เครื่องวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม (thickness tester) model 49-72 TMI, USA
- 3.4.4 เครื่องวัดค่า water activity NOVASINA RS232, Switzerland
- 3.4.5 เครื่องวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ(WVTR) Iso 2528-1974 E , U.S.A.
- 3.4.6 เครื่องวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน(Oxygen Permeation Analyser) model 8500 , U.S.A.

### 3.5 สถานที่ทดลอง

3.5.1 ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5.2 การวิเคราะห์อัตราการผลิตของแก๊สออกซิเจน อัตราการผลิตของไอน้ำและการวัดความหนา ใช้เครื่องมือ ภาควิชาบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### 3.6 วิธีการทดลอง

#### 3.6.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, เถ้า, และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (AOAC, 1995) และหาปริมาณอะมิโนส (Juliano, 1971) ส่วนเพศดิน วิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 1995)

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) เมื่อครบเวลาปิดฝาดังนั้นอยู่ในตู้อบ ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ( Desicator ) บันทึกน้ำหนักไว้ และอบต่ออีกประมาณ 10-15 นาที ทำเช่นนี้จนได้น้ำหนักคงที่ และคำนวณปริมาณความชื้น(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) จากน้ำหนักที่หายไปในระหว่างการอบ

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

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

ดัดแปลงใช้คอปเปอร์ซัลเฟตและโปตัสเซียมซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำตัวอย่าง ประมาณ 3-5 กรัม มาย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 นอร์มัล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวอยู่ด้วย ทำการย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส จึงทำให้เย็น แล้วนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นขนาดเล็ก เก็บส่วนที่เป็นแอมโมเนียซึ่งควบแน่นในสารละลายกรด บอริกเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ นำไปไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนอินดิเคเตอร์ ( เมทิลเรดและบลอมคลีเซอกรีน ) เปลี่ยนจากสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นสีแดง นำปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต ไปคำนวณหาค่าปริมาณไนโตรเจน (คิดเป็น

เปอร์เซ็นต์) แล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ 6.25 จะได้ปริมาณโปรตีน (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ไต่เตรต) ตามต้องการ

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

ชั่งตัวอย่างที่อบแล้ว 3-4 กรัม ใส่ในกระดาศกรอง แล้วห่อใส่ทิมเบิล (Timple) ปิดด้านบนของตัวอย่างด้วยสำลีหรือกระดาษกรอง นำทิมเบิลใส่ลงในหลอดสกัด (Extraction tube) ที่ด้านบนต่อกับเครื่องควบแน่น (Condenser) ด้านล่างต่อกับขวดกั้นกลม ใส่ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) 150 มิลลิลิตร ลงในขวดกั้นกลมต่อเครื่องสกัดไขมัน (Shoxlet) ทั้งหมด ปรับระดับความร้อน ทำการสกัด 2 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไประเหยอีเทอร์ (Ether) ออกด้วยเครื่องระเหยภายใต้สูญญากาศ (Vacuum rotary evaporator) แล้วนำส่วนไขมันไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส 30 นาที ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (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)

เตรียมตัวอย่างที่วิเคราะห์โดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 (เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร) และอบกระดาษกรอง (Filter paper) ที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ (Beaker) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองผ่านผ้าลินิน โดยใช้กรวยกรอง (buncher funnel) ล้างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือด จนหมดกรด ตรวจด้วยกระดาษลิตมัส (litmus) ล้างผ้าลินินด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดอีก 30 นาที ล้างด้วยน้ำเดือดอีกครั้ง และล้างด้วยแอลกอฮอล์สุดท้าย นำกระดาษกรองที่มีเยื่อใย อบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาในครุชิเบิล (Crusible) จนหมดควัน แล้วนำมาใส่เตาเผา (Muffle furnace) อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส จนเป็นเถ้าสีขาว ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณเยื่อใย

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

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

ชั่งตัวอย่าง 2-3 กรัม ใส่ในครุชีเบิล ( Crucible ) ที่เผาในเตาเผา ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ( Desiccator ) และชั่งน้ำหนักแล้วเผาบนเตา ( Hot plate ) จนเป็นสีเทา ไม่มีควัน นำไปเผาต่อในเตาเผา ( Muffle Furnace ) ที่ 550 องศาเซลเซียส จนเป็นสีขาว หรือมีน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก

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

3.6.1.6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต คำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการ Total by different ดังนี้คือ

$$\% \text{ คาร์โบไฮเดรต } = 100 - ( \% \text{ ความชื้น} + \% \text{ โปรตีน} + \% \text{ ไขมัน} + \% \text{ เยื่อใย} + \% \text{ เถ้า} )$$

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

1) การเตรียมตัวอย่าง นำแป้งข้าวเจ้าไปสกัดไขมันออกโดยใช้เอทานอล ( Ethanol ) 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำแป้งข้าวเจ้าที่ได้มาแบ่งเป็นชั้นบาง ๆ ในภาต ทำให้มีความชื้นสมดุลและคงที่

2) การเตรียมสารละลายตัวอย่าง ชั่งตัวอย่าง 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เติมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร ลงไปเพื่อล้างตัวอย่าง ที่ติดข้างขวดแก้ว เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล 9.2 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15-24 ชั่วโมง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

3) การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพเทโดอะมิโลส เติมเอทานอล ( Ethanol ) 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล 9.2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 15-24 ชั่วโมง และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4) การเตรียมสารละลายเบงค์ ( 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) การทำกราฟสารละลายมาตรฐานโพเทโดอะมิโลส ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพเทโดอะมิโลส 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 ด้วยน้ำกลั่น

ทิ้งไว้ 15 - 20 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยใช้เบงค์ปรับค่า ก่อนทำการวัดนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานโพเทไออะมิโลสที่วัดได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในตัวอย่งก็ทำได้โดย ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติก 1 นอร์มัล ลงในขวดแก้วจำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วเติมไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำขวดไปเก็บไว้ในที่มืด 20 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่วัดได้มาหาปริมาณอะมิโลสจากกราฟมาตรฐานสารละลายโพเทไออะมิโลส

## 2.6.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า และเพคตินและคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้

จากการวิจัยเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน ที่อัตราส่วน 90 : 10 และ 70 : 30 ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ระดับร้อยละ 0.5, 5, 10 และ 15 (เทียบกับน้ำหนักของแป้ง) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 (ของแข็งคือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนของเหลวคือน้ำกลั่น ในการทดลองจะทำการผสมน้ำกลั่น แป้งข้าวเจ้า และเพคตินในเครื่องผสมที่มีการให้ความร้อนโดยอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 250 รอบ / นาที นาน 10 นาที ค่อย ๆ เติมกลีเซอรอลลงไป แล้วผสมต่ออีก 5 นาที ปลอ่ยสารผสมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิลดลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักสารผสม 45 กรัม เทลงบนแผ่นพลาสติก (acrylic sheet) ที่ต่อขอบไว้สูง 1 มิลลิเมตร เกลี่ยสารผสมให้เต็มแผ่นพลาสติก นำไปทำให้แห้งโดยเก็บไว้ที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออกจากการวิจัยเบื้องต้นก็พบว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน 70 : 30 แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จะไม่แตก จึงออกแบบการทดลองโดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ส่วนกลีเซอรอลนั้นใช้ที่ระดับร้อยละ 0.5 แผ่นฟิล์มจะแตก ในการทดลองจึงใช้กลีเซอรอลร้อยละ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว ใช้ที่อัตราส่วน 1 : 8 เนื่องจากการทดลองพบว่าการขึ้นรูปได้ง่ายและสะดวกที่สุด

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียล (Factorial experiment) 3 x 3 โดยปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัยดังนี้ คือ

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

ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณของกลีเซอรอล 3 ระดับ คือ 5.0%, 10.0% และ 15.0% (เทียบกับน้ำหนักแป้ง 100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)

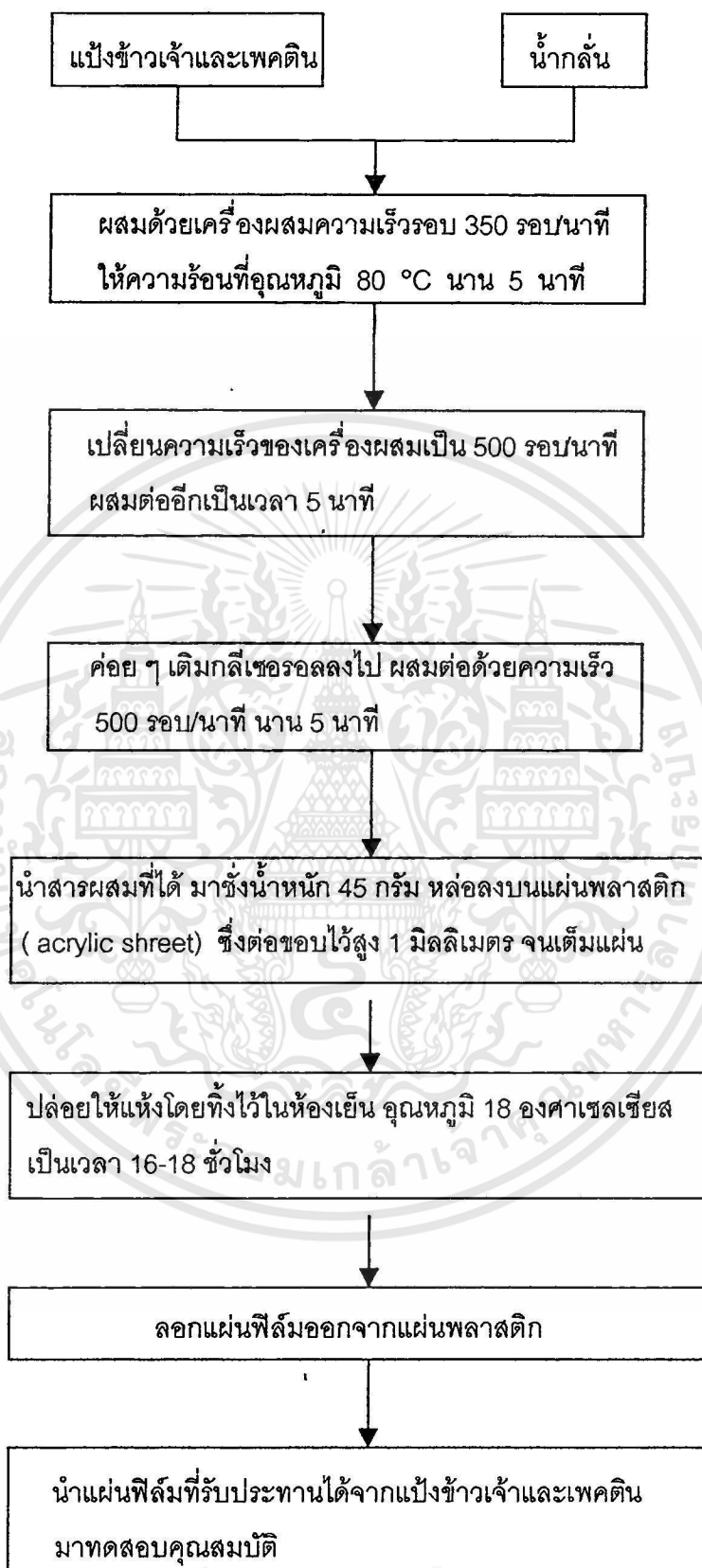
ในขณะอัตราส่วนระหว่าง ของแข็ง (แป้งข้าวเจ้ากับเพคติน) : ของเหลว (น้ำกลั่น) ที่ใช้จะ คงที่ที่อัตราส่วน 1 : 8 หลังจากที่ได้ทำการทดลองที่ระดับ 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 เป็นเบื้องต้น พบว่าระดับ 1 : 8 มีการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดีที่สุด

### 3.6.2.1 การเตรียมสารผสมสำหรับทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

ซึ่งน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าและเพคติน นำส่วนผสมทั้งสองมาผสมกัน ร้อนผ่านตะแกรงจนส่วนผสมทั้งสองผสมเข้ากันดี ค่อย ๆ เทลงไปในเครื่องผสม (Mixing) ความเร็ว 350 รอบ / นาที ที่มีการบรรจุน้ำกลั่นตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้และให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเพิ่มความเร็วเป็น 500 รอบ / นาที ผสมต่ออีก 5 นาที ค่อย ๆ เติมกลีเซอรอลลงไป แล้วผสมต่ออีก 5 นาที ปล่อยให้ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิของสารผสมที่ได้มีอุณหภูมิเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส

### 3.6.2.2 วิธีการขึ้นรูปฟิล์ม

นำสารผสมที่ได้มาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยนำสารผสมปริมาณ 45 กรัม มาหล่อลงบนแผ่นพลาสติก (acrylic sheet) ซึ่งต่อขอบสูง 1 มิลลิเมตร ให้เต็มพอดี ปล่อยให้แห้ง โดยทิ้งไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง แล้วทำการลอกแผ่นฟิล์มออก



รูปที่ 3.1 แผนผังการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

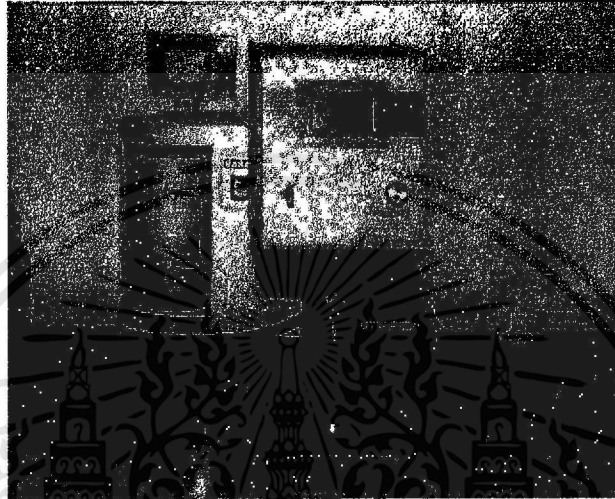
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2.3 การทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

#### 1) ความหนาของแผ่นฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

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

วิธีการ : นำแผ่นฟิล์มมาใส่ลงในเครื่องวัดความหนา เครื่องจะทำการวัดความหนา และให้ค่าความหนาบนแสงท่อน้ำปิดของเครื่อง



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

#### 2) ค่า Water Activity ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

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

วิธีการ : 1. นำฟิล์มมาบดให้ละเอียด

2. ทำการคาร์ลิเบรทเครื่อง ( คู่มือการใช้ )

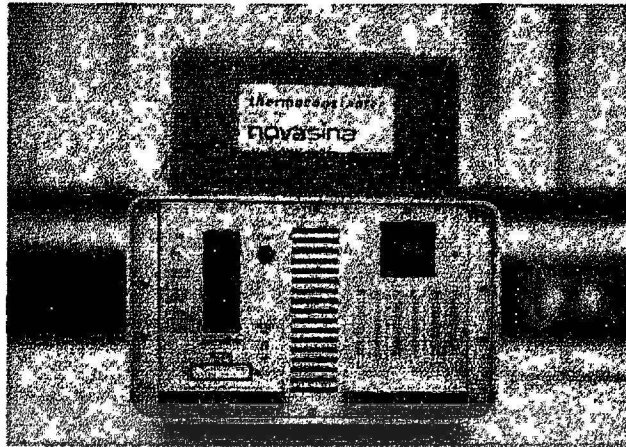
3. นำตลับพลาสติก ( Sample cup ) มาใส่ฟิล์มตัวอย่างที่บดละเอียดให้ได้

ปริมาตร 80-90%

4. นำตลับตัวอย่างมาใส่ไว้ใน Measuring Chamb

5. ตั้งอุณหภูมิให้ได้ 25 องศาเซลเซียส

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



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดค่า Water Activity NOVASINA RS 232, Switzerland

3) ความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพศดิน โดยวิธีการ AOAC Method No. 925.10 (1995 : Chapter 32 หน้า 1 )

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

วิธีการ : ชั่งตัวอย่างฟิล์มน้ำหนักประมาณ 2-3 กรัม ( บันทึคน้ำหนักที่แน่นอน) ลงในภาชนะหาความชื้นแล้วนำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ  $130 \pm 3$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ บันทึคน้ำหนัก และอบต่ออีกประมาณ 10-15 นาที ทำเช่นนี้จนได้น้ำหนักคงที่ และคำนวณปริมาณความชื้น ( คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ) จากน้ำหนักที่หายไปในระหว่างการอบ ดังนี้

การคำนวณ

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

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

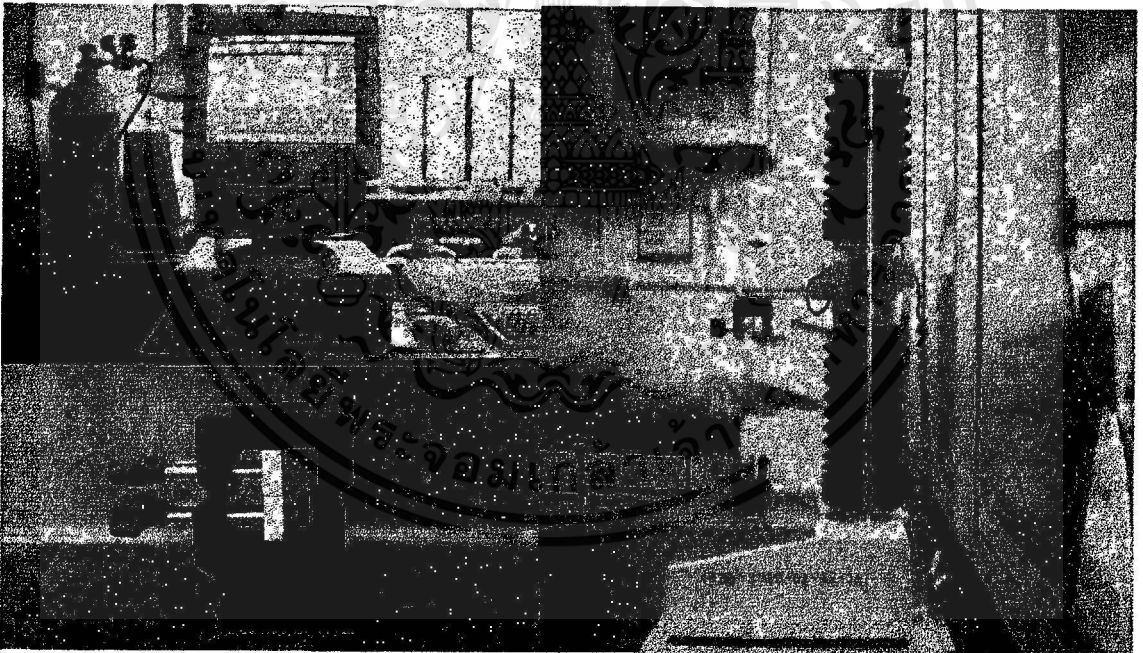
อุปกรณ์ : หาความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวโดยใช้เครื่อง TA-XT2 Texture Analyser , England โดยใช้หัวทดสอบแบบที่มีลักษณะเป็นหัวหนีบ 2 หัว ตั้งระยะ ห่างกัน 20 มิลลิเมตร เครื่องวัดนี้จะต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์ รายงานผลเป็นค่าการต้านทานแรงดึงขาด( tensile strength ) แล้วนำกราฟของแต่ละตัวอย่างที่ทดสอบมาหาการยืดตัว (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว)

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

การคำนวณ :

$$\text{ค่าการต้านทานแรงดึงขาด} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้ (กิโลกรัม)}}{\text{ความกว้าง (มิลลิเมตร) x ความหนา (มิลลิเมตร) ของฟิล์ม}}$$

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



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว (Texture Analyser) TA - XT2, England

5) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า และ เพคติน (water vapor transmission rate : WVTR) แบบ Dish-method ตามวิธีของ ASTM (1994 :696-703)

อุปกรณ์และสารเคมี : ด้วยทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ, เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์, เครื่องชั่งตวงถนียม 4 ตำแหน่ง , เทียนไข, และซิลิกาเจลที่อบแห้งแล้ว

วิธีการ : ตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 ซม.

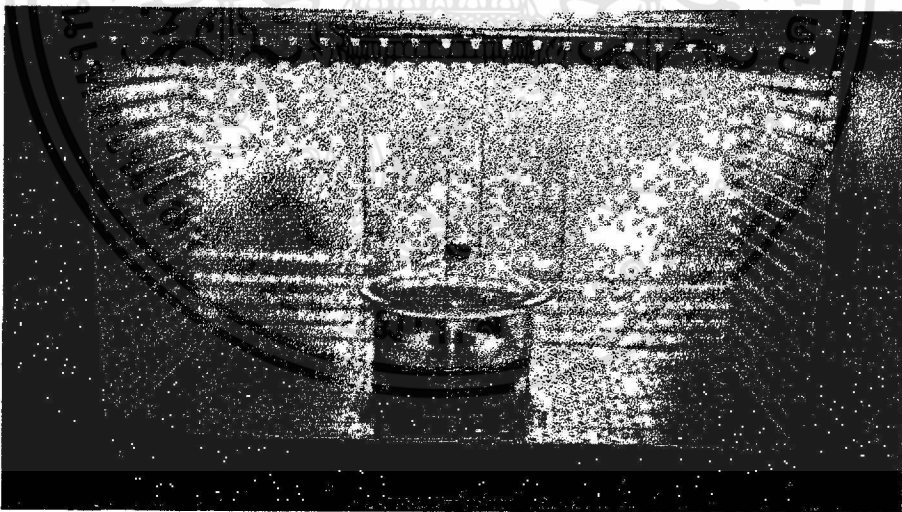
ตัวอย่างละ 3 ชิ้น โดยตัวอย่างต้องปราศจากรอยพับ ซีด รุ่ยที่มองเห็นได้ นำมาวางปิดปากด้วย ทดสอบที่มีซิลิกาเจลที่อบแห้งแล้วบรรจุอยู่ผนี้กรอบปากด้วยด้วยเทียนไขเพื่อมิให้มีรอยรั่ว นำไปชั่ง น้ำหนักอย่างละเอียดแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ  $27 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 2$  บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทุก 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน

การคำนวณ :

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

( กรัมต่อตารางเมตร . 24 ชั่วโมง )

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } G/T &= \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักต่อเวลา} \\ A &= \text{พื้นที่ของตัวอย่าง} = 28.27 \text{ ตารางเซนติเมตร} \end{aligned}$$

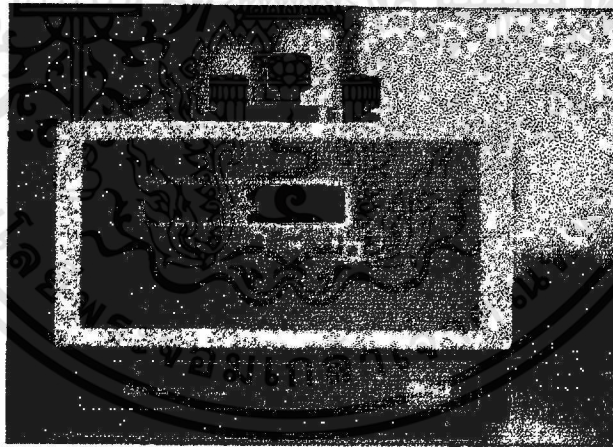


รูปที่ 3.5 แสดงชุดทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ แบบ Dish method ตามวิธีของASTM (ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

6) ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน ตามวิธี ASTM D 1434-82 (Reapproved 1992 : 207-218)

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

วิธีการ : ตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาด 8 เหลี่ยมเท่ากับแผ่น template โดยตัวอย่างต้องปราศจากรอยพับ ซีด รุ่ยที่มองเห็นได้ เปิดแก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจน ให้มีความดันอยู่ระหว่าง 40-70 psi เปิดสวิตช์ที่ด้านหลังเครื่อง เปิดฝาครอบchamber ออก ทาพาราฟินบาง ๆ บริเวณซีลวงแหวนทั้งด้านบนและด้านล่าง นำฟิล์มที่เตรียมไว้วางลงบนส่วนล่างของchamber ซึ่งได้ทาพาราฟินไว้แล้ว ในการวางฟิล์มจะต้องวางให้ตึงไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่บริเวณวงแหวน ปิดฝา chamber โดยหมุนน็อตทุกตัวให้แน่น หมุนวาล์วเปิดเปิด senser ไปที่ตำแหน่ง OPEN ใน Mode Select หมุนสวิตช์ Flow ไปที่ Purge ซึ่งเครื่องจะไล่แก๊สออกซิเจนที่อยู่ในchamber ทั้งส่วนบนและส่วนล่างออกให้หมด จะใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที จากนั้นหมุนสวิตช์ Flow ใน Mode Select ไปที่ Test เลือกช่วงของการทดสอบให้เหมาะสม ถ้าน้ำจอของส่วนของ Test แสดง "1" จะหมายความว่าค่าที่วัดได้มีค่ามากกว่าช่วงของการทดสอบที่เลือก ให้หมุนปรับช่วงใหม่ รอจนกว่าค่าที่ได้จะคงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มที่ทดสอบ



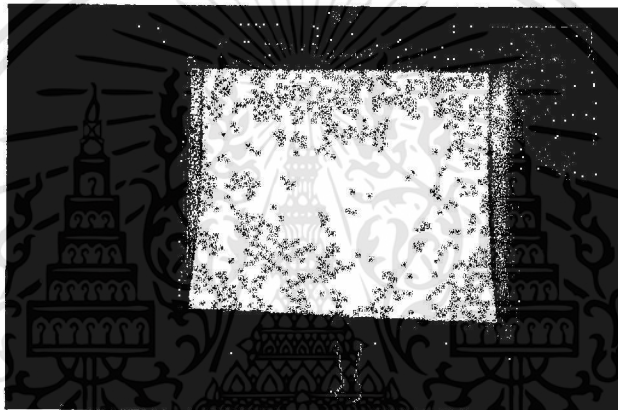
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน(Oxygen permeation analyser) model 8500, U.S.A. ( ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ )

7) ความสามารถในการต้านทานน้ำมัน (grease and oil resistance) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยดัดแปลงวิธี TAPPI-T454 (1989 : 112)

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

วิธีการ : ตัดแผ่นฟิล์มขนาดที่กำหนด วางลงบนแผ่นพลาสติก หยดน้ำมันประมาณ 2 มิลลิลิตร ลงบนแผ่นฟิล์ม สังเกตและจับเวลาดูแผ่นฟิล์มจนกว่าจะอิมมิดวจนกระทั่งน้ำมันทะลุผ่านแผ่นฟิล์ม

การคำนวณ : คิดเวลาที่น้ำมันซึมผ่านแผ่นฟิล์มเป็นค่าความต้านทานน้ำมันของแผ่นฟิล์ม ( นาที หรือ ชั่วโมง)



รูปที่ 3.7 แสดงการวัดความต้านทานน้ำมันดัดแปลงวิธี TAPPI - T 454

### 3.6.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ศึกษาอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน และอัตราส่วนกลีเซอรอล ที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติตามแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล ( Factorial design )  $3 \times 3$  ปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วนระหว่าง แป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน 3 อัตราส่วน คือ 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 ปัจจัยที่ 2 ปริมาณกลีเซอรอล 3 อัตราส่วน คือ 5.0 %, 10.0 % และ 15.0 % และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างวิธีดมนต์โดยวิธี Duncan' s Multiple Rang Test (DMRT) คำนวณหาความสัมพันธ์ในรูปของค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของปัจจัยทั้งสองที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์ม ซึ่งได้แก่ ความหนา, Water Activity, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด, ค่าร้อยละของการยืดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ที่ระดับ  $P \leq 0.05$  โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 7.5

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

##### 4.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ ความชื้น , โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, เถ้า ,คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด และปริมาณอะมิโลส พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีความชื้นร้อยละ  $12.28 \pm 0.11$  , โปรตีนร้อยละ  $6.84 \pm 0.18$  , ไขมันร้อยละ  $0.30 \pm 0.00$  , เถ้าร้อยละ  $0.29 \pm 0.01$  , คาร์โบไฮเดรตร้อยละ  $80.21 \pm 0.15$  เยื่อใยร้อยละ  $0.09 \pm 0.00$  และปริมาณอะมิโลส ร้อยละ  $23.92 \pm 0.09$  ( แสดงดังตารางที่ 4.1)

ในส่วนของความชื้น เถ้า และปริมาณอะมิโลสสอดคล้องตามเกณฑ์กำหนด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า (2529) ซึ่งกำหนดว่าแป้งข้าวเจ้าต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13.0 ปริมาณเถ้าไม่น้อยกว่าร้อยละ 85.0 เถ้าไม่เกินร้อยละ 0.50 เถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่เกินร้อยละ 0.030 และปริมาณอะมิโลสไม่น้อยกว่าร้อยละ 15.0

เมื่อพิจารณาปริมาณอะมิโลส ซึ่งมีค่าสูงถึงร้อยละ 24.0 ซึ่งอาจจะบ่งชี้ว่าเป็นข้าวในกลุ่มอะมิโลสสูงปานกลาง (มีอะมิโลสร้อยละ 20-25 ) ตามการจัดจำแนกของ Cagampang และคณะ (1973)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
ความชื้น	$12.28 \pm 0.11$
โปรตีน	$6.84 \pm 0.18$
ไขมัน	$0.30 \pm 0.00$
เถ้า	$0.29 \pm 0.01$
เยื่อใย	$0.09 \pm 0.00$
คาร์โบไฮเดรต	$80.21 \pm 0.15$
อะมิโลส	$23.92 \pm 0.09$

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

#### 4.1.2 การวิเคราะห์ความชื้นของเพคติน

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในเพคตินจากส้ม (citrus pectin) Classic AF 201 ที่มีค่า DE 68-72 % พบว่าเพคตินมีความชื้น เท่ากับ  $11.21 \pm 0.054$  เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ

### 4.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน และคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

#### 4.2.1 ความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 , 50 : 50 และ 25 : 75 ในทุกอัตราส่วนใช้กลีเซอรอล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 เท่ากันทุกการทดลอง (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีความหนาอยู่ระหว่าง  $0.065 \pm 0.007$  ถึง  $0.009 \pm 0.000$  มิลลิเมตร (แสดงดังตารางที่ 4.2) โดยฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีความหนาต่ำที่สุด เท่ากับ  $0.065 \pm 0.007$  มิลลิเมตร และฟิล์มที่ผลิตจากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีความหนาสูงที่สุด เท่ากับ  $0.09 \pm 0.00$  มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 มีความหนาแตกต่างจากอัตราส่วน 25 : 75 และ 50 : 50 อย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น ปริมาณเพคตินลดลง จะทำให้ความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ส่วนผลของพลาสติกไซเซอร์ คือ กลีเซอรอล ต่อความหนาของฟิล์มนั้นพบว่า ที่ระดับร้อยละ 15 จะมีความหนาแตกต่างจากระดับ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญ คือ ที่ระดับร้อยละ 15 จะมีความหนามากที่สุด ระดับร้อยละ 10 มีความหนารองลงมา และที่ระดับร้อยละ 5 จะมีความหนาต่ำที่สุด แสดงว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นความหนาก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของมณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด (2534) ที่พบว่าฟิล์มออบเลตมีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการละลายไม่สมบูรณ์ของอะมิโดส ทำให้เกิดลักษณะเป็นผลึกบนแผ่นฟิล์ม ความหนาจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า วุ้น และกลีเซอรอล ของสุวีณา พฤกษ์ศรี (2539) ที่พบว่าค่าความหนาของแผ่นฟิล์มจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณแป้ง วุ้น และกลีเซอรอล โดยค่าความหนาของแผ่นฟิล์มเป็นผลโดยตรงเนื่องจากปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น ฟิล์มที่ผลิตได้มีความหนาอยู่ในช่วง 0.095-0.138 มิลลิเมตร

อย่างไรก็ตามความหนาของแผ่นฟิล์มทุกการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ทำถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร ซึ่งระบุความหนาไว้ไม่เกิน 0.010-0.100 มิลลิเมตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม , 2534)

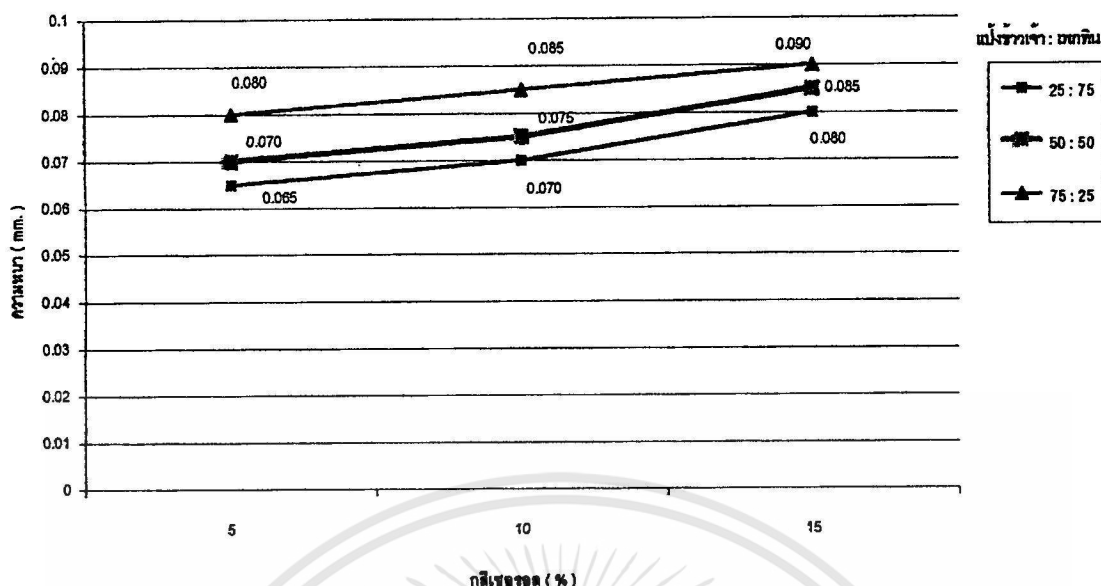
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

การทดลองที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	ความหนา (มม.)
1	25 : 75	5	0.065 ± 0.007 <sup>d</sup>
2		10	0.070 ± 0.000 <sup>cd</sup>
3		15	0.080 ± 0.000 <sup>abc</sup>
4	50 : 50	5	0.070 ± 0.000 <sup>cd</sup>
5		10	0.075 ± 0.007 <sup>bcd</sup>
6		15	0.085 ± 0.007 <sup>ab</sup>
7	75 : 25	5	0.080 ± 0.000 <sup>abc</sup>
8		10	0.085 ± 0.007 <sup>ab</sup>
9		15	0.090 ± 0.000 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. F : P คือ อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

#### 4.2.2 ค่า water activity ( $A_w$ ) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 , 10 และ 15 ( เทียบกับแป้ง 100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ) และใช้อัตราส่วน ปริมาณ ของแข็ง : ปริมาณของเหลว ที่ระดับ 1 : 8 ( ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วน ปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น ) พบว่า  $A_w$  อยู่ระหว่าง  $0.73 \pm 0.02$  ถึง  $0.78 \pm 0.01$  ( แสดงดัง ตารางที่ 4.3 )

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 มีค่า  $A_w$  แตกต่างจากอัตราส่วน 50 : 50 และ 75 : 25 อย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และปริมาณเพคตินลดลง ค่า  $A_w$  จะลดลง ส่วนผลของกลีเซอรอลต่อ ค่า  $A_w$  ของฟิล์มนั้นพบว่าทุกระดับมีค่า  $A_w$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระดับกลีเซอรอล เพิ่มขึ้น ค่า  $A_w$  จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด (2534) ที่พบว่าค่า  $A_w$  จะแปรผันตามปริมาณกลีเซอรอลแต่อย่างไรก็ตามค่า  $A_w$  ของแต่ละการทดลองไม่มีความแตกต่างกันมาก และค่า  $A_w$  ที่ได้ค่อนข้างจะปลอดภัยจาก normal bacteria , normal yeast และ normal molds ซึ่งมีค่า  $A_w$  ต่ำสุดที่จะยังสามารถเจริญเติบโตได้ เท่ากับ 0.91 , 0.88 และ 0.80 ตาม

ลำดับ ส่วน Troller ( 1980 ) ก็กล่าวว่า จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคจะเจริญไม่ได้ โดยเฉพาะแบคทีเรีย จะถูกยับยั้งการเจริญเติบโตที่มี water activity ต่ำกว่า 0.85

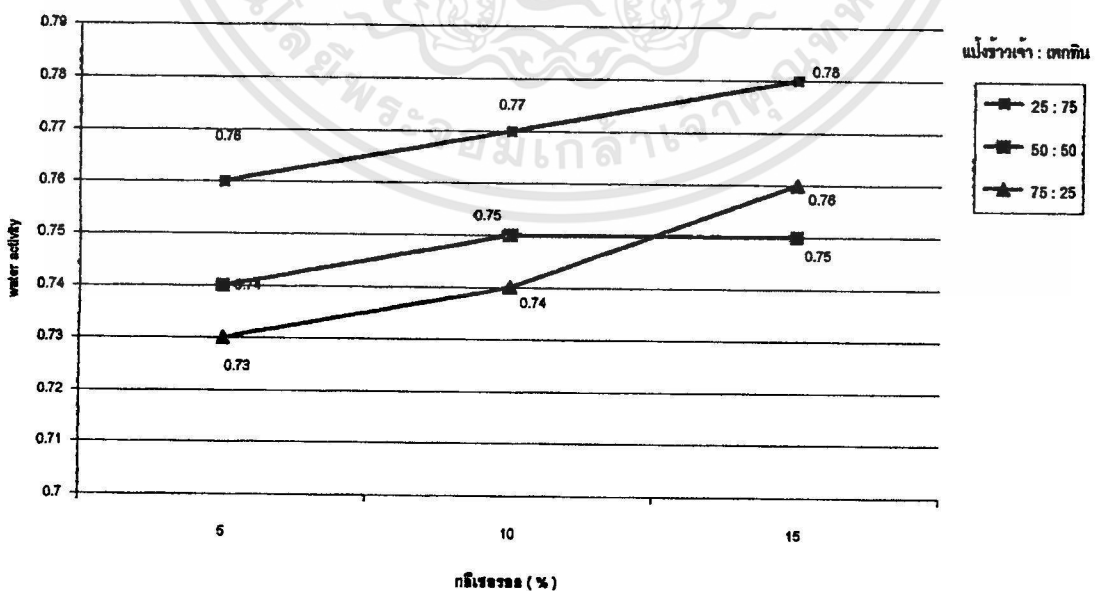
ตารางที่ 4.3 ค่า water activity ( $A_w$ ) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม $A_w$
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	
1	25 : 75	5	0.76 ± 0.02 <sup>a</sup>
2		10	0.77 ± 0.01 <sup>a</sup>
3		15	0.78 ± 0.01 <sup>a</sup>
4	50 : 50	5	0.74 ± 0.03 <sup>a</sup>
5		10	0.75 ± 0.02 <sup>a</sup>
6		15	0.75 ± 0.03 <sup>a</sup>
7	75 : 25	5	0.73 ± 0.02 <sup>a</sup>
8		10	0.74 ± 0.02 <sup>a</sup>
9		15	0.76 ± 0.00 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. F : P คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าออร์เตอร์เอกทิวติซของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 ความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับ 100 กรัมแป้ง โดยน้ำหนักแห้ง) ใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่ามีค่าความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ  $16.67 \pm 0.44 - 23.09 \pm 0.07$  (แสดงดังตารางที่ 4.4) โดยที่อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีความชื้นสูงที่สุด และอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีความชื้นต่ำที่สุด

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคตินทุกอัตราส่วนมีความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และปริมาณเพคตินลดลง ความชื้นจะมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาผลของระดับกลีเซอรอล พบว่าทุกอัตราส่วนมีความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความชื้นจะสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ เกศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ (2539) ที่พบว่า กลีเซอรอลจะขัดขวางการระเหยน้ำจากแผ่นฟิล์ม ทำให้ได้แผ่นฟิล์มที่ชื้นเหนอะหนะ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

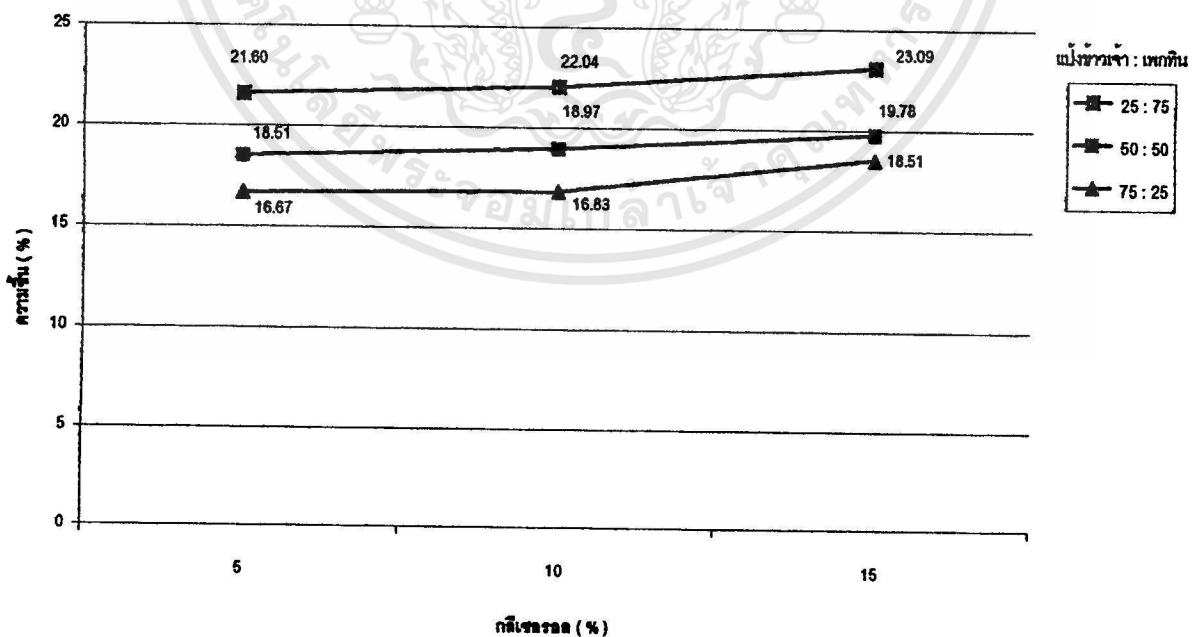
การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	ความชื้น (%) <sup>4</sup>
1	25 : 75	5	21.60 ± 1.51 <sup>a</sup>
2		10	22.04 ± 0.97 <sup>a</sup>
3		15	23.09 ± 0.07 <sup>a</sup>
4	50 : 50	5	18.51 ± 0.26 <sup>bc</sup>
5		10	18.97 ± 0.21 <sup>b</sup>
6		15	19.78 ± 1.06 <sup>b</sup>
7	75 : 25	5	16.67 ± 0.44 <sup>d</sup>
8		10	16.83 ± 0.54 <sup>cd</sup>
9		15	18.16 ± 0.25 <sup>bcd</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง

2. F : P คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัย-  
สำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 , 50 : 50 และ 25 : 75 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) ใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้จะมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดอยู่ระหว่าง  $1.08 \pm 0.01$  ถึง  $2.64 \pm 0.29$  กิโลกรัม / ตารางมิลลิเมตร (10.630 – 25.905 เมกะปาสคาล) (แสดงดังตารางที่ 4.5) ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้อยู่ในเกณฑ์เทียบเท่ากับฟิล์ม พลาสติก ที่ใช้สำหรับทำถุงบรรจุน้ำมันบริโภค ที่กำหนดค่าไว้ไม่น้อยกว่า 9 เมกะปาสคาล (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , 2529) พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุด เท่ากับ  $2.64 \pm 0.291$  กิโลกรัม / ตารางมิลลิเมตร และอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 15 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดต่ำที่สุด เท่ากับ  $1.08 \pm 0.01$  กิโลกรัม / ตาราง มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบ โดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราส่วนแป้ง ข้าวเจ้า : เพคติน ที่อัตราส่วน 75 : 25 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดแตกต่างจาก อัตราส่วน 25 : 75 และ 50 : 50 อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และปริมาณเพคตินลดลง ค่าความต้านทานแรงดึงขาดก็จะเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของระดับกลีเซอรอลก็พบว่า ที่ ระดับร้อยละ 5 มีความต้านทานแรงดึงขาดแตกต่างจากที่ระดับร้อยละ 10 และ 15 อย่างมีนัย สำคัญ เมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงขาดจะลดลง ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 ความต้านทานแรงดึงขาดจะมีค่าสูงที่สุด และระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 จะมีค่าความต้านทาน แรงดึงขาดต่ำที่สุด แสดงว่าเมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงขาดก็จะลดลง (Woff *et al.* 1951 ; Kester and Fennema. 1986 ; มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534 และ Park *et al.* 1993) อาจเนื่องมาจากปริมาณพลาสติกไฮดรอกซีที่เติมลงไปจะไปจับกับโพลีเมอร์ เกิดพันธะมีซัว หรือพันธะไฮโดรเจน ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายโพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลง (Beerler and Finney. 1983) ฟิล์มจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่วนการต้านทานแรงดึงขาดลดลง (Banker. 1966) ในการเตรียมฟิล์มจากโพลีเมอร์โดยไม่มีการใช้พลาสติกไฮดรอกซีร่วมด้วยจะได้ฟิล์มที่เปราะมาก เนื่องจากพลาสติกไฮดรอกซีจะช่วยลดแรงยึดจับระหว่างโมเลกุล (intermolecular force) ระหว่างสาย โพลีเมอร์และช่วยทำให้โพลีเมอร์มีการเคลื่อนตัวมากขึ้น จึงมีผลทำให้ฟิล์มไม่เป็นชิ้นเล็ก ๆ หรือ แตกหักง่าย (Gentard *et al.* 1993 ; Mchuge and Krochta. 1994)

ตารางที่ 4.5 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

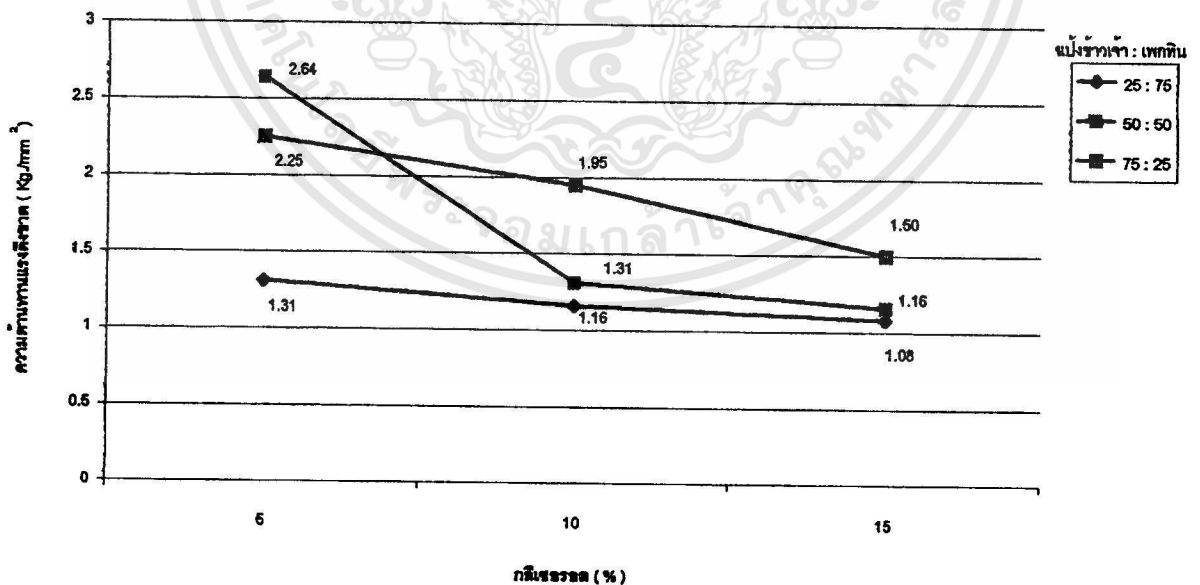
การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	ความต้านทานแรงดึงขาด (ก.ก. /มม. <sup>2</sup> ) <sup>4</sup>
1	25 : 75	5	1.312 ± 0.024 <sup>de</sup>
2		10	1.157 ± 0.044 <sup>e</sup>
3		15	1.084 ± 0.008 <sup>e</sup>
4	50 : 50	5	2.642 ± 0.291 <sup>a</sup>
5		10	1.313 ± 0.192 <sup>de</sup>
6		15	1.160 ± 0.030 <sup>e</sup>
7	75 : 25	5	2.245 ± 0.028 <sup>b</sup>
8		10	1.945 ± 0.005 <sup>c</sup>
9		15	1.498 ± 0.139 <sup>d</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. R : P คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน

3. G คือ ระดับกถิเซอร์อล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5 ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) ใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคตินส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีความสามารถในการยึดตัวอยู่ระหว่างร้อยละ  $1.19 \pm 0.03$  ถึง  $4.57 \pm 0.11$  (แสดงดังตารางที่ 4.6) พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีความสามารถในการยึดตัวสูงที่สุด เท่ากับ ร้อยละ  $4.57 \pm 0.11$  และอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีความสามารถในการยึดตัวต่ำที่สุด เท่ากับ ร้อยละ  $1.19 \pm 0.03$

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบ โดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน ทุกอัตราส่วนมีความสามารถในการยึดตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 มีความสามารถในการยึดตัวแตกต่างจากที่อัตราส่วน 25 : 75 และอัตราส่วน 75 : 25 อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และปริมาณพหุทินลดลง ความสามารถในการยึดตัวก็จะลดลง และเมื่อพิจารณาผลของระดับกลีเซอรอลก็พบว่า ที่ระดับร้อยละ 15 มีความสามารถในการยึดตัวแตกต่างจากที่ระดับร้อยละ 5 และ 10 อย่างมีนัยสำคัญทาง เมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นความสามารถในการยึดตัวก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของนักวิจัยหลายท่านที่กล่าวว่าความสามารถในการยึดตัวแปรผันตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น (Otey *et al.* 1977 ; มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534 ; Coffin and Fishman. 1993 ) เนื่องจากการใช้พลาสติกไซเซออร์เป็นแบบ external ซึ่งเป็นกรรมวิธีการเติมสารลงไปในโครงสร้างโพลีเมอร์ทำให้เกิดเป็นสารเชิงซ้อนหรือโมเลกุลจับกลุ่มกัน พลาสติกไซเซออร์และโพลีเมอร์จับยึดเข้าด้วยกันด้วยแรงวาเลนซ์ทุติยภูมิ (secondary valency) (Mellan. 1961) พลาสติกไซเซออร์จะทำให้แรงระหว่างโมเลกุลระหว่างเส้นสายโพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง ส่งผลให้ค่าต้านทานแรงดึงขาดลดลง และทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่น (flexibility) เพิ่มขึ้น ลดความเปราะ แตกง่าย (Banker. 1966)

ตารางที่ 4.6 ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

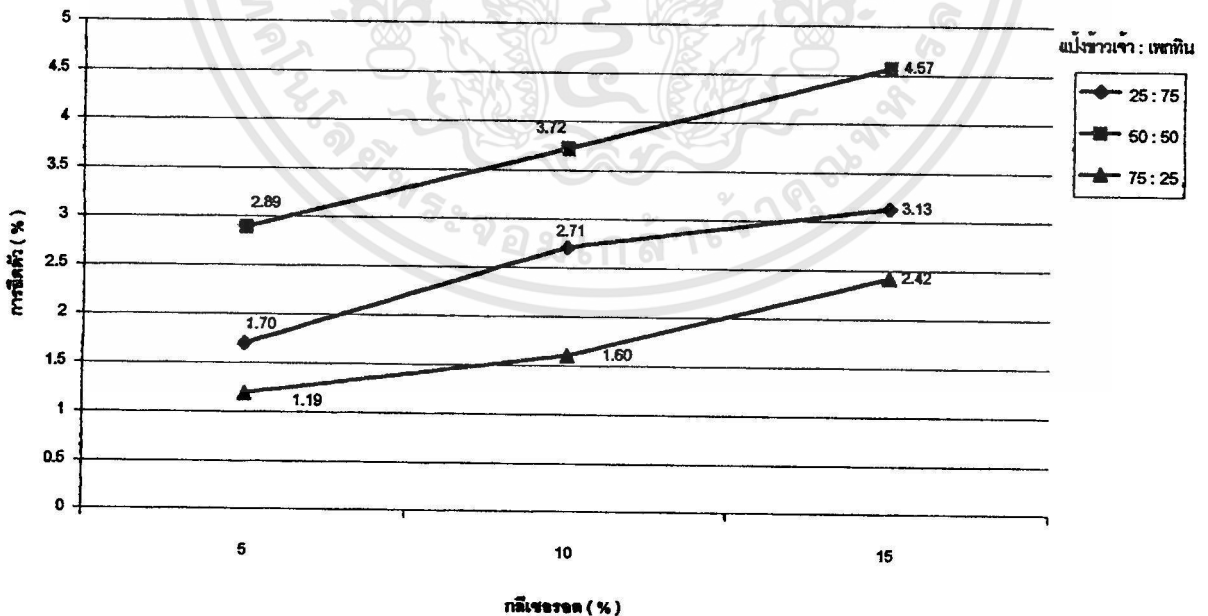
การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	ความสามารถในการยึดตัว (ร้อยละ) <sup>4</sup>
1	25 : 75	5	1.703 ± 0.110 <sup>e</sup>
2		10	2.714 ± 0.030 <sup>cd</sup>
3		15	3.129 ± 0.059 <sup>c</sup>
4	50 : 50	5	2.888 ± 0.442 <sup>c</sup>
5		10	3.715 ± 0.138 <sup>b</sup>
6		15	4.575 ± 0.106 <sup>a</sup>
7	75 : 25	5	1.194 ± 0.027 <sup>f</sup>
8		10	1.595 ± 0.071 <sup>e</sup>
9		15	2.420 ± 0.177 <sup>d</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. R : P คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน

3. G คือ ระดับกสิเซอร์รอด

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.6 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) ใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 ( ปริมาณของแข็ง คือ ปริมาณแป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ อยู่ระหว่าง  $70.46 \pm 8.40$  ถึง  $148.99 \pm 1.40$  กรัม / ตารางเมตร.วัน. (แสดงดังตารางที่ 4.6) โดยที่อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 15 จะมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงที่สุด และ อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test พบว่า ที่อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน จะมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำทุกอัตราส่วนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ปริมาณเพคตินลดลง อัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะเพิ่มขึ้น ส่วนกลีเซอรอลนั้นพบว่า ทุกระดับมีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น อัตราการซึมผ่านของไอน้ำก็จะสูงขึ้น เนื่องจากพลาสติกไฮดรอกซ์จะไปลดคุณสมบัติในการเป็นตัวกั้นแก๊ส ไอน้ำ และตัวถูกละลายของฟิล์มและยังทำให้ความยืดหยุ่นและการเกาะตัวกันลดลง (Gentard *et al.* 1993 ; Mchuge and Krochta. 1994) แต่ด้านกับผลการทดลองของ Otey และคณะ (1977) ที่พบว่าการเติมพลาสติกไฮดรอกซ์ลงไปในโครงสร้างของฟิล์มจะให้ความต้านทานน้ำ (water resistance) เพิ่มขึ้น และ Guilbert and Biquet (1989) ที่พบว่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะลดลงเมื่อกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) เพิ่มขึ้น

เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ สุวิธนา พฤษศรี (2539) ที่ได้เตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและวุ้น ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไฮดรอกซ์ เมื่อปริมาณวุ้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดน้อยลงและเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งต่างจากการทดลองของ Banker (1966) ซึ่งพบว่าแผ่นฟิล์มที่ประกอบด้วยกลีเซอรอลจะมีลักษณะที่มีขี้ขูด การเรียงตัวของโมเลกุลในแผ่นฟิล์มค่อนข้างเป็นระเบียบทำให้ฟิล์มมีรูพรุนน้อย เป็นผลให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดต่ำลง ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากการละลายไม่สมบูรณ์ของอะมิโลส

ตารางที่ 4.7 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

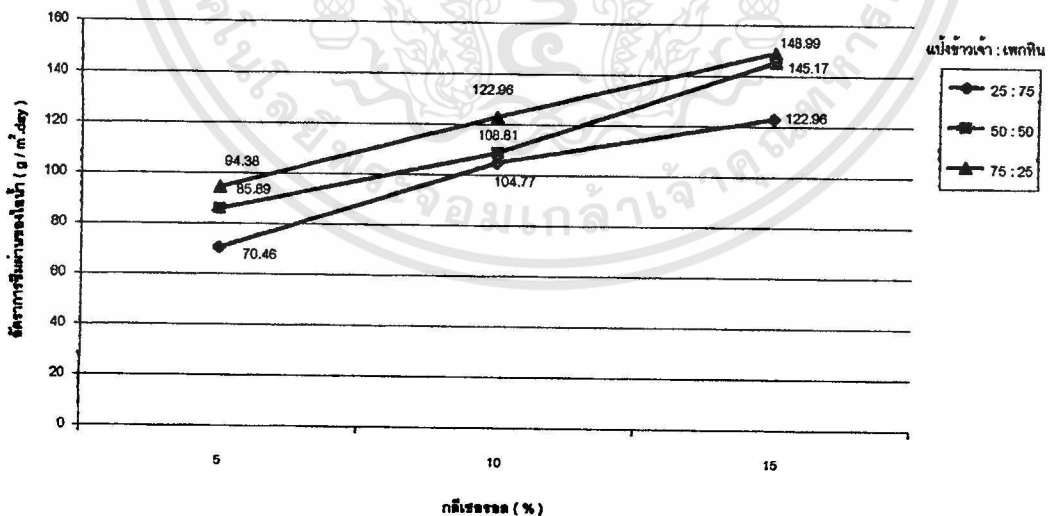
การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	WVTR (ก. / ม. <sup>2</sup> .วัน) <sup>4</sup>
1	25 : 75	5	70.46 ± 8.40 <sup>f</sup>
2		10	104.77 ± 0.90 <sup>c</sup>
3		15	122.96 ± 0.60 <sup>b</sup>
4	50 : 50	5	85.89 ± 0.20 <sup>e</sup>
5		10	108.81 ± 1.40 <sup>c</sup>
6		15	145.17 ± 0.40 <sup>a</sup>
7	75 : 25	5	94.38 ± 0.80 <sup>d</sup>
8		10	122.96 ± 0.60 <sup>b</sup>
9		15	148.99 ± 1.40 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง

2. R : P คือ อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

3. G คือ ระดับกัลลีเซอร์รอล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

#### 4.2.7 อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า และเพคติน

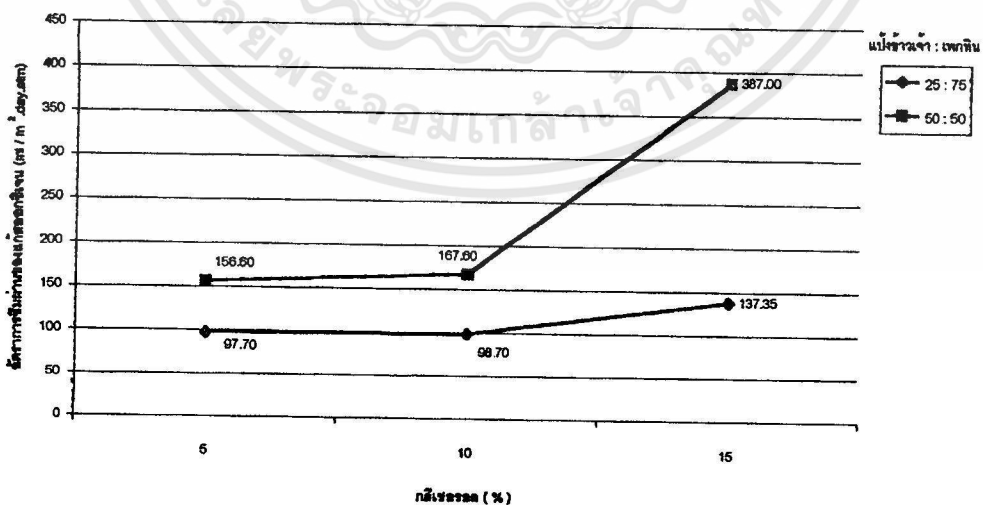
จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) ใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 ( ปริมาณของแข็ง คือ ปริมาณแป้งข้าวเจ้าและเพคตินส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน อยู่ระหว่าง  $79.70 \pm 1.70$  ถึง  $387.00 \pm 8.48$  มิลลิลิตร / ตารางเมตร.วัน. บรรยากาศ (แสดงดังตารางที่ 4.6) โดยที่อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 15 จะมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนสูงที่สุด และ อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 ระดับ กลีเซอรอล ร้อยละ 5 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนต่ำที่สุด

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test พบว่า ที่อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน จะมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนทุกอัตราส่วนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่อัตราส่วน 50 : 50 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนสูงที่สุด รองลงมา คือ อัตราส่วน 25 : 75 ส่วนอัตราส่วน 75 : 25 นั้นไม่สามารถทำการวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนได้ เนื่องจากฟิล์มแตก (แสดงในภาคผนวก) เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น ปริมาณเพคตินลดลง อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนจะเพิ่มขึ้น ส่วนกลีเซอรอลนั้นพบว่า ทุกระดับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนก็จะสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานที่ไปกระตุ้นการแพร่กระจายของแก๊สและไอให้ผ่านแผ่นฟิล์ม (energy of activation for diffusion, Ed.) มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ไปใช้แยกสายโซ่โพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กัน เพราะฉะนั้นพลาสติกไซ-เซอร์จึงทำให้แรงดึงดูดระหว่างสายโซ่ลดลงและเป็นผลให้ค่า Ed. ต่ำลง แต่ค่าคงที่ของการแพร่กระจายของแก๊สเพิ่มขึ้น (diffusion constant) และสภาพการซึมผ่านของแก๊สและไอของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น (Banker, 1966) และจากผลการทดลองจะเห็นว่าการใช้แป้งข้าวเจ้า : เพคตินที่อัตราส่วน 25 : 75 และกลีเซอรอลร้อยละ 5 และ 10 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สต่ำกว่าฟิล์มไนลอน/โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (ON/PE) ความหนา 0.015-0.040 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 120 มิลลิลิตรตารางเมตร. 24 ชั่วโมง. บรรยากาศ (Louis and De Leiris. 1991) และฟิล์มทุกสูตรมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันและไขมัน บริโภค (2529) ที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่มีค่าต่ำกว่า 0.06 เฟมโตเมตรปราศกาล .วินาที (0.5251 มิลลิลิตร/ตารางเมตร . วัน . บรรยากาศ)

ตารางที่ 4.8 อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (มด. / ม <sup>2</sup> .วัน. บรรยากาศ) <sup>4</sup>
1	25 : 75	5	79.70 ± 1.70 <sup>f</sup>
2		10	98.70 ± 3.68 <sup>g</sup>
3		15	137.35 ± 2.05 <sup>d</sup>
4	50 : 50	5	156.60 ± 3.39 <sup>c</sup>
5		10	167.60 ± 0.99 <sup>b</sup>
6		15	387.00 ± 8.48 <sup>a</sup>
7	75 : 25	5	ฟิล์มแตก
8		10	ฟิล์มแตก
9		15	ฟิล์มแตก

- หมายเหตุ : 1. ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง  
 2. R : P คือ อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าและเพคติน  
 3. G คือ ระดับกลีเซอรอล  
 4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.8 การต้านทานน้ำมันของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 , 50 : 50 และ 25 : 75 ในแต่ละอัตราส่วนจะใช้กลีเซอรอล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) และใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (ปริมาณของเหลว คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้ทุกสูตรจะมีความต้านทานน้ำมันได้นานกว่า 20 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันและไขมันบริโภค คือ 5 วัน (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) แสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน สามารถนำไปใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบสูงได้

#### 4.3 การเปรียบเทียบฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินกับฟิล์มชนิดอื่น

ในการเปรียบเทียบฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน จะใช้ผลการทดลองที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 และระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับฟิล์มดังต่อไปนี้

##### 4.3.1 ฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเขียว (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2540 )

ปัจจัยที่ 1 ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว 3 ระดับ คือ 30 : 70 , 20 : 80 และ 10 : 90

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต : โปรตีน 3 ระดับ คือ 0.05 : 1 , 0.10 : 1 และ 0.15 : 1

ความเข้มข้นของกลีเซอรอลคงที่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์

ทำการผสมส่วนผสมในเครื่องผสม ความเร็ว 180 รอบ / นาที ใช้อุณหภูมิ 80 ° ซ เป็นเวลา 40 นาที เกลี่ยบนแผ่นกระจก อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ° ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออก นำไปทดสอบคุณสมบัติ

##### 4.3.2 ฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง (บุชนารถ ทรรศน์พาณิชย์ และคณะ. 2541)

ปัจจัยที่ 1 อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง (ปริมาณโปรตีน) (% น้ำหนักของผสม) : ปริมาณของเหลว 3 ระดับ คือ 10 : 90 , 12 : 88 และ 14 : 86

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณกลีเซอรอล (% น้ำหนักของผสม) 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 , 6 และ 7

นำส่วนผสมทั้งหมดมาปรับ pH ให้ได้ 8.0 ด้วย 1.0 N NaOH นำไปผสมในเครื่องผสมที่ความเร็ว 180 รอบ / นาที โดยให้ความร้อน 80 ° ซ นาน 40 นาที นำส่วนผสม 100 กรัม มาแผ่เป็น

แผ่นบางลงบนแผ่นพลาสติกอะคริลิก ขนาด 20×30 ซม. นำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 13°ซ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออก นำไปทดสอบคุณสมบัติ

#### 4.3.3 ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า (สาทิ สุขสม และโสภิพรรณ วารวิณิช. 2541)

ปัจจัยที่ 1 ปริมาณของเหลว : ปริมาณของแข็ง 3 ระดับ คือ 90 : 10 , 85 : 15 และ 80 : 20

ปัจจัยที่ 2 แป้งมันสำปะหลัง : แป้งข้าวเจ้า 4 ระดับ คือ 100 : 00 , 90 : 10 , 80 : 20 และ 70 : 30

ใช้ปริมาณกลีเซอรอลคงที่ที่ระดับร้อยละ 5 (โดยน้ำหนักของแป้ง)

ส่วนผสมความเร็ว 250 รอบ / นาที ที่อุณหภูมิ 80°ซ เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 45°ซ เพื่อไล่ฟองอากาศ นำส่วนผสม 70 กรัม (น้ำหนักเปียก) แผ่นลงบนแผ่นโพลีเอทิลีน ขนาด 20 ×30 ซม. ขอบสูง 1.0 มม. นำไปผึ่งแดด 4-6 ชั่วโมง จนฟิล์มแห้ง ลอกฟิล์มออก เก็บในถุงพลาสติก (PE) นำไปทดสอบคุณสมบัติ

#### 4.3.4 ฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลัง (ปนัดดา พวงเกษม . 2540 )

น้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 5

พลาสติกไซเซอร์ ใช้ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล-400 โดยแต่ละชนิดใช้ระดับร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30

นำน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 5 มาเจลาตีไนส์ เต็มพลาสติกไซเซอร์ ไล่ฟองอากาศโดยใช้อัลตราโซนิค (Ultrasonic) เป็นเวลา 5 นาที ช้อนฟองทิ้ง ทิ้งไว้จนอุณหภูมิลดลงเหลือ 45°ซ ชั่งน้ำหนัก 70 กรัม ขึ้นรูปโดยปรับปรุงวิธีการโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง ทำแห้งที่อุณหภูมิ 60°ซ ลอกแผ่นฟิล์มออก นำไปทดสอบคุณสมบัติ

#### 4.3.5 ฟิล์มที่รับประทานได้จากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534)

สตาร์ชและวุ้น

สตาร์ชอะมิโลสและวุ้น

อะมิโลสและวุ้น

พลาสติกไซเซอร์ใช้กลีเซอรอล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0 , 0.25 และ 0.5

เตรียมสารละลายสตาร์ชมันเทศ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนและคนตลอดเวลาจนเกิดการเจลาติไนส์ และเตรียมสารละลายวุ้นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 2 นำสารผสมทั้งสองมาผสมกันขณะร้อน ในอัตราส่วน สารละลายสตาร์ชต่อสารละลายวุ้น เท่ากับ 1 : 2 ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และผสมกลีเซอรอล ซึ่งน้ำหนัก 45 กรัม เทลงภาชนะขนาด 15× 25 ซม. วางทิ้งไว้ให้แผ่นฟิล์มเป็ยกคงรูป ทำแห้งด้วยไอน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 40-60°C จนฟิล์มแห้ง ลอกแผ่นฟิล์มออก นำไปทดสอบคุณสมบัติ

ในการเปรียบเทียบฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน กับฟิล์มดังกล่าวข้างต้นจะเปรียบเทียบ ความหนา , water activity , ความชื้น , ความต้านทานแรงดึงขาด , เปอร์เซ็นต์การยึดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ, อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน และความต้านทานน้ำมัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.9

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า ฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินจะมีความหนาใกล้เคียงกับฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง, ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง แต่จะมีความหนามากกว่าฟิล์มจากโปรตีนสกัดถั่วเขียว และสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว ค่า  $A_w$  สูงกว่าฟิล์มจาก แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว เปอร์เซ็นต์ความชื้นมีค่าต่ำกว่าฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนสกัดถั่วเขียว และฟิล์มจากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง แต่มีค่าความชื้นสูงกว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า ความต้านทานแรงดึงขาดสูงกว่า ฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนสกัดถั่วเขียว , ฟิล์มจากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง , ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง แต่มีค่าต่ำกว่าฟิล์มจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว เปอร์เซ็นต์การยึดตัวสูงกว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง, ฟิล์มสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว แต่ต่ำกว่าฟิล์มโปรตีนสกัดถั่วเขียว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่า ฟิล์มจากโปรตีนสกัดถั่วเขียว, ฟิล์มจากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง, ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง และฟิล์มสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว และความต้านทานน้ำมันพบว่ามากกว่าฟิล์มชนิดอื่นยกเว้นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง

จากการพิจารณาจะพบว่าฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินจะมีคุณสมบัติทางด้าน ความหนา ความชื้น ความต้านทานแรงดึงขาด ความต้านทานน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าฟิล์มชนิดอื่น แต่ต่ำกว่าฟิล์มที่ผลิตได้จากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว และพบว่าฟิล์มที่ผลิตจากคาร์โบไฮเดรตจะมีคุณสมบัติทางด้าน ความหนา ความชื้น ความต้านทานแรงดึงขาด ความต้านทานน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าฟิล์มที่ผลิตได้จากโปรตีน แต่จะมีคุณสมบัติด้อยกว่าในด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊ส จึงควรที่จะมีการปรับปรุงพัฒนาต่อไป

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบฟิล์มที่รับประทางน้ำได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินกับฟิล์มที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติชนิดอื่น

ชนิดของฟิล์ม	โปรตีนสกัด ถั่วเขียว	โปรตีนสกัด ถั่วเหลือง	แป้งข้าวเจ้าและ เพคติน	แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า	แป้งมันสำปะหลัง	สตาร์ชมันเทศ ที่แยกส่วนแล้ว
คุณสมบัติ						
ความหนา (mm)	0.104 - 0.166	0.062 - 0.133	0.065 - 0.090	0.065 - 0.088	0.042 - 0.078	0.02-0.03
$A_w$	-	-	0.73 - 0.78	0.525 - 0.545	-	0.472-0.594
ความชื้น (%)	22.554 - 28.056	21.50 - 24.19	16.67 - 23.09	9.462 - 12.163	-	-
ความต้านทานแรงดึงขาด (kg / mm <sup>2</sup> )	0.007 - 0.013	0.0805 - 0.117	1.084 - 2.642	0.484 - 1.745	0.97 - 3.22	1.59 - 4.65
การยืดตัว (%)	9.334 - 17.334	-	1.194 - 4.575	-	1.28 - 15.50	1.00 - 3.75
อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (g / m <sup>2</sup> . day)	5.325 - 7.533	18.97 - 26.91	70.463 - 148.992	57.595 - 72.75	66.82 - 91.45	-
อัตราการซึมผ่านของแก๊ส ออกซิเจน (ml/m <sup>2</sup> .day.atm)	-	-	79.70 - 387.00	-	16 - 31365	1.094x10 <sup>3</sup> - 4.834x10 <sup>3</sup>
ความต้านทานน้ำมัน (hr)	> 36	> 72	> 480	> 360	2880	>36

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

1. จากการวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีความชื้นร้อยละ  $12.28 \pm 0.11$ , โปรตีนร้อยละ  $6.84 \pm 0.18$ , ไขมันร้อยละ  $0.30 \pm 0.00$ , เถ้าร้อยละ  $0.29 \pm 0.01$ , คาร์โบไฮเดรตร้อยละ  $80.21 \pm 0.15$ , เยื่อใยร้อยละ  $0.09 \pm 0.00$  และอะมิโนสร้อยละ  $23.92 \pm 0.09$  ส่วนเพคตินนั้นพบว่ามีค่าความชื้นร้อยละ  $11.21 \pm 0.05$

2. ในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน ที่อัตราส่วน 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 และทุกอัตราส่วนใช้กลีเซอรอล เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ระดับร้อยละ 5, 10 และ 15 แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพเคมี ได้แก่ ความหนา, water activity, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด, ความสามารถในการยึดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ, อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน และความต้านทานน้ำมัน พบว่า มีความหนาอยู่ระหว่าง  $0.065 \pm 0.007$  ถึง  $0.090 \pm 0.000$  มิลลิเมตร,  $A_w$  อยู่ระหว่าง  $0.73 \pm 0.02$  ถึง  $0.78 \pm 0.01$ , ความชื้น อยู่ระหว่างร้อยละ  $16.67 \pm 0.44$  ถึง  $23.09 \pm 0.07$ , ความต้านทานแรงดึงขาด อยู่ระหว่าง  $1.08 \pm 0.01$  ถึง  $2.64 \pm 0.29$  กิโลกรัม / ตารางมิลลิเมตร, ความสามารถในการยึดตัว ระหว่าง ร้อยละ  $1.19 \pm 0.27$  ถึง  $4.58 \pm 0.11$ , อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ อยู่ระหว่าง  $70.46 \pm 8.40$  ถึง  $148.99 \pm 1.40$  กรัม / ตารางเมตร . วัน, อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน อยู่ระหว่าง  $79.70 \pm 1.70$  ถึง  $387.00 \pm 8.49$  มิลลิตร / ตารางเมตร . วัน . บรรยากาศและความต้านทานน้ำมันนานกว่า 20 วัน

3. จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนา, ความต้านทานแรงดึงขาด และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น ส่วน water activity, ความชื้น, ความสามารถในการยึดตัว และอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนลดลง ส่วนปริมาณกลีเซอรอลนั้นพบว่า เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนา, water activity, ความชื้น, ความสามารถในการยึดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และอัตราการซึมผ่านของแก๊สจะเพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานแรงดึงขาดจะลดลง

4. จากการวิเคราะห์หสสัมพันธ์ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินก็พบว่าปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณแป้งข้าวเจ้า : เพคติน ( $X_1$ ) เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ ความหนา, ความต้านทานแรงดึงขาด และอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน  $A_w$  และ ความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผลของปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณกลีเซอรอล ( $X_2$ ) นั้นจะพบว่าเมื่อ

ปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ ความหนา, เปอร์เซ็นต์การยึดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความต้านทานแรงดึงขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง ( $X_1 \cdot X_2$ ) นั้นพบว่า มีผลต่อความหนา, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญ (แสดงดังตารางที่ 5.1)

5. จากการเปรียบเทียบฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินกับฟิล์มโปรตีนสกัดถั่วเขียว, ฟิล์มโปรตีนสกัดถั่วเหลือง, ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า, ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว พบว่า ฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินจะมีคุณสมบัติทางด้านความหนา, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด และความต้านทานน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าฟิล์มชนิดอื่นที่กล่าวข้างต้น แต่ด้อยกว่าฟิล์มสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว และพบว่าฟิล์มที่ผลิตจากคาร์โบไฮเดรตจะมีคุณสมบัติทางด้านความหนา, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด ความต้านทานน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีน แต่จะมีคุณสมบัติด้อยกว่าในด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊ส จึงควรที่จะมีการพัฒนาปรับปรุงต่อไป

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ของฟิล์มที่รับประจําแสงได้จากแป้งข้าวเจ้า และเพคติน อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 ระดับกัลเลคโตรล้อยละ 5, 10 และ 15 อัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8

คุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมี	ความหนา	Water Activity	ความชื้น	การต้านทานแรงดึงขาด	การยัดตัว	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ	อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน
ปัจจัย							
$X_1$	0.6378 <sup>**</sup>	-0.5383 <sup>*</sup>	-0.9223 <sup>**</sup>	0.5485 <sup>**</sup>	-0.3102 <sup>ns</sup>	0.3741 <sup>ns</sup>	0.6503 <sup>*</sup>
$X_2$	0.6378 <sup>**</sup>	0.4189 <sup>ns</sup>	0.2593 <sup>ns</sup>	-0.6314 <sup>**</sup>	0.5763 <sup>*</sup>	0.9137 <sup>**</sup>	0.5802 <sup>*</sup>
$X_1 \cdot X_2$	-0.6857 <sup>**</sup>	0.2947 <sup>ns</sup>	0.6407 <sup>**</sup>	0.5340 <sup>*</sup>	0.2301 <sup>ns</sup>	-0.9070 <sup>**</sup>	-0.6099 <sup>*</sup>

หมายเหตุ :  $X_1$  = ปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณแป้งข้าวเจ้า: ปริมาณเพคติน

$X_2$  = ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณกัลเลคโตรล

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

\*\* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01

## ข้อเสนอแนะ

1. फिल्मที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินมีข้อด้อยในด้านสมบัติที่ไวต่อความชื้น ความสามารถในการยึดตัวต่ำ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สออกซิเจนสูง จึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ คือ ไม่สามารถใช้ในลักษณะที่สัมผัสกับบรรยากาศโดยตรงได้ จึงน่าจะมีการศึกษาและพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มให้ดีขึ้น

2. การเตรียมฟิล์มเป็นการทดลองในระดับปฏิบัติการ ซึ่งทำการขึ้นรูปฟิล์มโดยใช้มือ จึงผลิตได้ในปริมาณน้อย และความหนาไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ขึ้นรูป ดังนั้นควรศึกษาการขยายขนาดการผลิตโดยใช้เครื่องมืออัตโนมัติในการขึ้นรูป เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีความหนาสม่ำเสมอ และผลิตได้ในปริมาณมาก ในระยะเวลาอันสั้น จึงจะเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระดับอุตสาหกรรมต่อไป



## เอกสารอ้างอิง

เกศศิณี ตระกูลทิวากร , วิภา สุโรจนะเมธากุล , ประชา บุญญสิทธิกุล และสมยศ จรรยาวิลาศ.

2529. "การทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง." วารสารอาหาร.

26 (4) : 249-262.

งามชื่น คงเสรี. 2518. "การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวไทย."

วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 8 : 421-433.

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2540. "การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเขียว."

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นุชนารถ ทรัพย์พานิชย์, มาริสา เพิ่มเต็มสิน และธัญญาภรณ์ ศิริพรพันธ์. 2540. " การศึกษา

การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง" ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปนัดดา พวงเกษม. 2537. "การเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากแป้งชนิดต่าง ๆ" ปัญหาพิเศษปริญญาโท.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปนัดดา พวงเกษม. 2540. " การเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากแป้งมันสำปะหลังและแนวทางการใช้

ประโยชน์."วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พนอจิต ธัญญมงคลพงศ์. 2531. "การแยกส่วนอะมิโลสจากแป้งข้าวเจ้า." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร

มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มณฑาทิพย์ ยูนฉลาด. 2534. "การเตรียมฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว."

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริวรรณ แสงนิกรเกียรติ. 2540. "แนวความคิดใหม่ของบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมในยุโรป."

วารสารจาร์พา. ฉบับที่ 36 : 51-52.

ศุภยวีชัยข้าวปทุมธานี. 2531. "ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพ - เคมี ของแป้งเกี่ยวกับ

คุณภาพการหุงต้มและรับประทานได้ของข้าวเจ้าพันธุ์ดีที่ปลูกในสถานีทดลองต่าง ๆ."

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 16 น.

สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2540. "วท. จับมือ คพ. มาตรการการจัดการ

บรรจุภัณฑ์ในประเทศ." จดหมายข่าว วท. ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 มีนาคม

- สายสนม ประดิษฐดวง. 2528. "การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบชนิดต่าง ๆ. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2528." มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ 36 น.
- สาส์ สุธสม และโสภีพรรณ วารวณิช. 2540. " การศึกษาคุณสมบัติและการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า โดยขึ้นรูปด้วยตัวทำละลาย. " ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 13 น.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันและไขมันบริโภค. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 21 น.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2534. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 14 น.
- สุวัฒน์ พฤกษ์ศรี. 2539. "การผลิตฟิล์มที่บริโภคได้จากแป้งข้าวเจ้าและการประยุกต์ใช้:" ปัญหาพิเศษ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- 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 Philadelphia. pp. 39-47.
- American Standard for Testing and Material. 1992. Standard test method for determining gas permeability characteristic of plastics film and sheeting, D 1434 – 82 (Reapproved. 1992) Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia. pp. 207-218.
- American Standard for Testing and Materials. 1994. Standard test method for water vapor transmission of materials, E 96-94. Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia. p. 696-703.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16<sup>th</sup> ed. The Association of Analytical Chemists. Arlington, Virginia.
- Arpin, M. and C. Strazielle. 1976. "Conformation of aromatic polyimides in concentrated Sulfuric acid." Makromol. Chem. 177 : 581-584.
- Arpin, M. and C., Strazielle. 1977. "Characterization and conformation of aromatic poly-Amides : poly (1,4-phenyleneterephthalamide) and poly (p-benzamide) in sulphuric Acid." Polymer. 18 : 591-598.

- Back, J.F., D., Oakenfull and M.B., Smith. 1979. "Increased thermal stability of protein In the presence of sugar and polyols." Biochemistry. 18 : 5191.
- Banker, G.S. 1966. "Film coating theory and practice." J. Pharm. Sci. 55 (1) : 81-89.
- Beerler, A.D. and D.C., Finney. 1983. " Plasticizers." p 193-195. In Modern Plastics Encyclopedia 59 (10A). New York : A McGraw – Hill Publication.
- Beerh, O.P., Raghuramiah and G.V., Krishnamurthy. 1976. "Utilization of mango waste : Peel as a source of pectin." J. Food Sci Technol. 13 (2) : 96-97.
- Brandenburg, A.H., C.L., Weller and R.F., Testin. 1993. "Edible films and coating from soy protein. J. Food Sci. 53 (3) : 1080-1089.
- Cagampang, G.B., C.M., Perez and B.O. Juliano. 1973. "A gel consistency test for Eating quality of rice." J. Sci. Food Agric. 24 : 1589-1594.
- Cheappimolchai, W. and A. Numhom. 1994. "Isolate protein from mungbean vermicelli waste for edible film production. Master." Thesis Asian Institute of Technology Bangkok Thailand.
- Coffin, D.R. and M.L., Fishman. 1993. "Viscoelastic properties of pectin/starch blend." J. Agric. Food. Chem. 41 : 1192-1197.
- Coffin, D.R. and M.L., Fishman. 1994 "Mechanical properties of pectin/starch films." p. 83-91. In M.L. Fishman. (ed.) Polymer From Agricultural Coproducts. Washington D.C. : U.S. copyright Published.
- Collision, R. 1968. "Swelling and-gelation of starch. " p. 168-193. In JA. Radley (ed.) Starches and Its Derivatives. London : Chapman and Hall Ltd.
- ominic, W.S. Wong. 1989. Mechanism and Theory in Food Chemistry. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Feuge, R.O. 1953. "Acetoglyceride – New fat product of potential value to the food Industry." Food Technol. 9 : 314.
- Gennadios, A. and C.L., Weller. 1990. "Edible film and coating from wheat and corn Protein." Food Technol. 44 (10) : 63-67.
- Gennadios, A. and C.L., Weller. 1991. "Edible film and coating : a review." Food Technol. 42 : 47-59.

- Gennadios, N., S. Guilbert and J. Cuq. 1993. "Water and glycerol as plasticizers affect Mechanical and water vapor barrier properties of and edible wheat gluten film." J. Food. Sci. 58 (1) : 206-211.
- Gennadios, A., C.L., Weller, M.A., Hanna and G.W., Froning. 1996. " Mechanical and barrier properties of egg albumen films." J. Food. Sci. 61 (3) : 585-589.
- Gontard, N., S. Guilbert and J.L., Cuq. 1993. "Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film." J. Food . Sci. 55 (1) : 206-211.
- Graham, H.D. 1977. Food Colloids. Westport, connecticut. : The AVI Publishing company, Inc.
- Guilbert, S. 1986. "Technology and application of edible films." p 371. *In* M. Mathlouthi (ed.) Food Packaging and Preservation Theory and Practice. London : Elsevier Applie Science Publisher.
- Hall, D.M. 1996. " A study of the surface wax deposits on apple fruit Aust." J. Biol. Sci. 19 : 1017
- Henglein, F.A. and G., Schneider. 1936. "Esterification of pectin sunstances." Chem. Ber. 69B : 309-324.
- Hullinger, C.H. 1965. "Starch film and coating." Cereal Sci. Today. 10(9) : 508-510.
- Juliano, B.O. 1971. "A simplified assay for milled – rice amylose." Cereal Sci. Today. 16 (10) : 334-360.
- Kester, J.J. and O.K., Fennema. 1986. "Edible film and coating : a review." Food Technol. Dec. : 47-59.
- Kester, J.J. and O.K., Fennema. 1989. "An edible film of lipid and cellulose ethers : Performance in a model frozen-food system." J. Food Sci. 54(6) : 1390-1392,1406.
- Kim, W.J., C.J.B., Smit and V.N.M., Rao. 1978. "Demethylation of pectin using acid and Ammonia." J. Food Sci. 43 : 74
- Krachanova, M., C., Benemou and C., Kratchanov. 1991. "On the pectic substances of Mango fruits." Carbohydr. Res. 15 : 271-282.

- Lovegren, N.V. and R.O., Feuge. 1954. "Permeability of acetostearin products to water Vapor." J. Agric. Food. Chem. 2 : 558.
- Maclay, W.D. and H.S., Owens. 1947. "Pectinates - promising food and industrial material." Chem. Dig. 6 : 325-329.
- Mark, A.M., W.B., Roth, C.L., Mehlretter and C.E., Rist. 1964. "Physical properties of films from dimethyl sulfoxide-pretreated amylo maize starches." Cereal Chem. 41 : 197-203.
- Mark, A.M., W.B., Roth, C.L., Mehlretter and C.E., Rist. 1966. "Oxygen permeability of Amylo maize starch films." Food Technol. Jan. : 75-77.
- Marquie., C., C.A., Jean Louis Cuq. And S., Guilbert. 1995. " Biodegradable Packaging from Cotton seed Flour." J. Agri. Food. Chem. 43 : 2762-2767.
- McHugh, T.H. and J.M., Krochta. 1994. "Permeability properties of edible films."pp. 139-187. *In* J.M. Krochta, E.A. Baldwin and M.O. Nisperos-Carriedo (eds). Edible Coating and Film to Improve Food Quality. Lancaster : Technomic Publishing Co.
- Miers, J.C., H.A., Swenson, T.H., Schultz and H.S., Owens. 1953. "Pectinate and pectate coating. I. General requirements and procedures." Food Technol. 7 : 229-231
- Mumma, C.E. 1967. " Development of extruded amylose packaging film. Cereal Sci. Today." 12(1) : 4 -9.
- Nisperos – Carriedo, M.O. 1994. "Edible coatings and films based on polysaccharides." p. 320-322, 329-330. *In* J.M. Krochta, E.A. Baldwin And M.O. Nisperos – Carriedo (ed.) Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. U.S.A : Technomic Publ. Co., Lancaster.
- Oakenfull, D. and A., Scott. 1984. " Hydrophobic interaction in gelation of high methoxyl Pectin." J. Food Sci. 49 : 1093-1098.
- Otey, F.H., R.P., Westhoff and C.R., Russell. 1977. " Biodegradable films from starch and Ethylene-acrylic acid copolymer." Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev. 16 : 305 - 308.
- Otey, F.H., R.P., Westhoff and W.M., Doane. 1980. " Starch-based blown films." Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev. 19 : 592-595.

- Otey, F.H., R.P., Westhoff and W.M., Doane. 1987. Starch-based blown films. 2. Ind. Eng. Chem. Res. 26 : 1659-1663.
- Ott, M. and E.E., Hester. 1965. "Gel formation as related to concentration of amylose and degree of starch swelling." Cereal Chem. 42 : 476-484.
- Park, H.J., C.L., Weller, P.J., Vergano and R.F., Testin. 1993. "Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films." J. Food Sci. 58 (6) : 1361-1364.
- Phatak, L., K.C., Chang and G., Brawn. 1988. "Isolation and characterization of pectin in sugar-beet pulp." J. Food Sci. 53 : 830-833.
- Rankin, J.C., I.A., Wolff, H.A., Davis and C.E., Rist. 1958. "Permeability of amylose film to Moisture vapor, selected organic vapors, and the common gases." Ind. Eng. Chem. Eng. Data. Ser. 3 : 120-123.
- Rao, M.A. and H.J., Cooley. 1993. "Dynamic rheological measurement of structure Development in high-methoxyl pectin / fructose gels." J. Food Sci. " 58(4) : 876-879.
- Roth, W.B. and C.L., Mehlretter. 1967. "Some properties of hydroxypropylated amylo maize starch films." Food technol. 21 : 72-74.
- Rutenberg, M.W. 1980. "Starch and its modifications." p. 1-22. *In* R.L. Davidson (ed.) . Handbook of Water – Soluble Gums and Resins. New York : McGraw – Hill Book Company.
- Schultz, T.H., H.S. Owen and W.D., Maclay. 1948. "Pectinate film." J. Colloid Sci. 3 : 53-62.
- Schultz, T.H., J.C., Miers, H.S., Owens and W.D., Maclay. 1949. "Permeability of Pectinate film to water vapor." J. Phys. Colloid Chem. 53 : 1320-1330.
- Swenson, H.A., J.C., Miers, T.H., Schultz and H.S., Owens. 1953. "Pectinated and Pectate coatings. II Application to nuts and fruit products." Food Technol. 7 : 232-235.
- Swinkels, J.J.M. 1985. "Source of starch, its chemistry and physics." p 15-45. *In* G.M.A., Van Beynum and J.A., Roles (eds.). Starch conversion Technology. New York. : Marcel Dekker Inc.
- Technical association of the Pulp and Paper Industry. 1989. Turpentine for grease Resistance of paper. T 454 os – 77. TAPPI Test Method. Technology Park, Atlanta p. 112.

- Tegge, G. 1984. "Glucose syrup the raw material. In Glucose Syrups : Science and Technology." p 9-64 . In S.L. Dziedzic and M.W. Kearsley (eds.) London : Elsevier Applied Science.
- Thakur, B.R., R.K., Singh and A.K., Handa. 1997. "Chemistry and Use of Pectin – A review." Critical Reviews in Food Sci. and Nutrition. 37 (1) : 47-73.
- Walkinshaw, M.D. and S. Arnott. 1981. "Conformation and interactions of pectin.2. Models for junction zone in pectinic acid and calcium pectate gels." J. Mol. Biol. 153 : 1075.
- Westerlund, P.A., R.E., Anderson and SMM, Rahman. 1991. "Chemical characterization of water soluble pectin in papaya fruit." Carbohydr. Res. 15 : 67-78.
- Wolff, I.A., H.A., Davis, J.E., Cluskey, L.J., Gumdram and C.E., Rist. 1951. "Preparation of films from amylose." Ind. Eng. Chem. 43 : 915-919.
- Wong, C.P., H., Ohnuma and G.C., Berry. 1978. " Properties of some rodlike polymers in solution." J. Polym. Sci., Polym. Symp. 65 : 3206-3214.
- Wu, M.T. and D.K., Salunkhe. 1978. "Responses of lecithin and hydroxylated lecithin – coating potato tubers to light." J. Agric. Food Chem. 26 : 513-514.
- Young, A.H., 1984. " Fractionation of starch." p 269. In Whistler, R.L., J.N., BeMiller, E.F., Paschall (eds.) Starch : Chemistry and Technology, 2 nd.ed. New York : Academic Press.
- Zecher, D. and R.V., Coillie. 1992. "Cellulose derivative." p. 40-48. In Imeson, A. (ed.) Thickening And Gelling agents for food. Great Britain : Chapman and Hall.



## ภาคผนวก

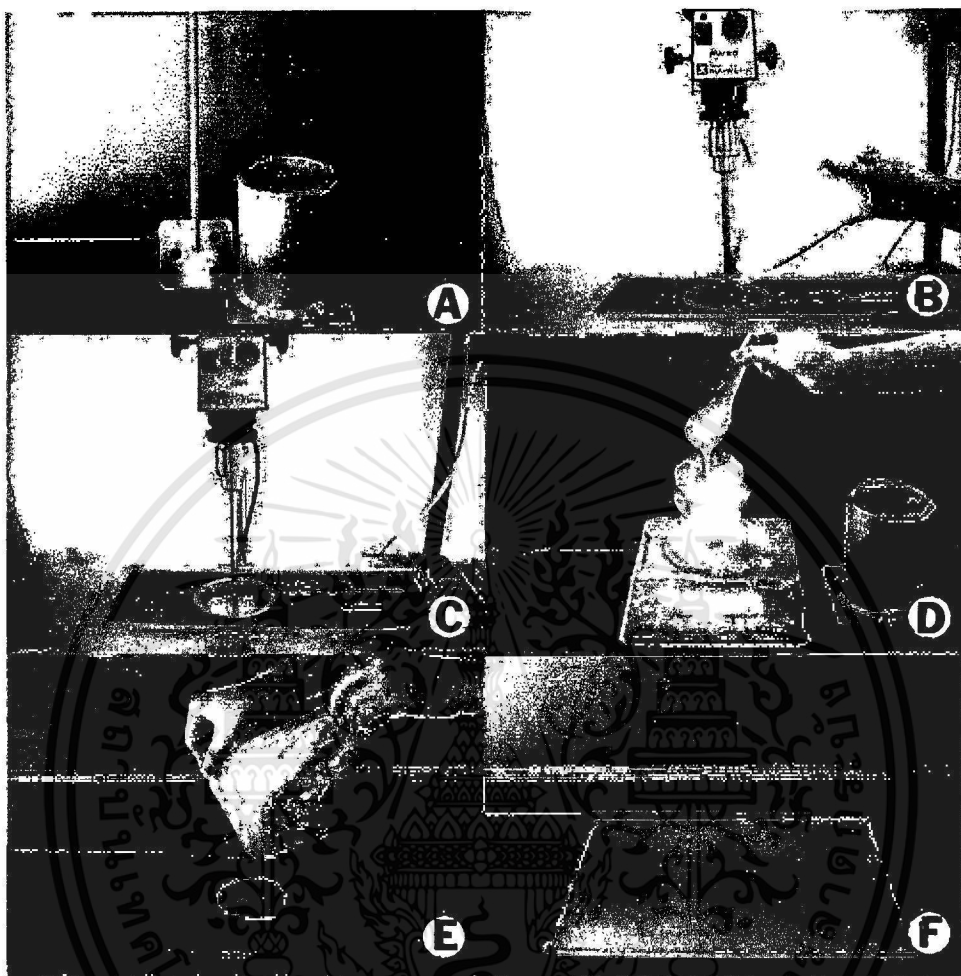
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

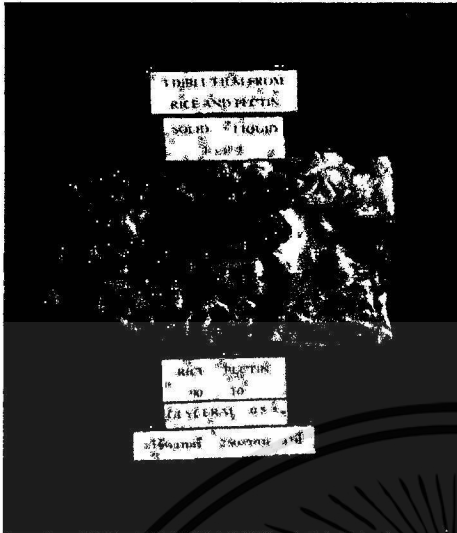
### การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพกทิน

จากการวิจัยเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพกทิน โดยใช้ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพกทิน ที่อัตราส่วน 90 : 10 และ 70 : 30 ใช้กาลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร ที่ระดับร้อยละ 0.5, 5, 10 และ 15 (เทียบกับน้ำหนักของแป้ง) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 ( ของแข็งคือ แป้งข้าวเจ้าและเพกทิน ส่วนของเหลวคือน้ำกลั่น ในการทดลองจะทำการผสมน้ำกลั่น แป้งข้าวเจ้า และเพกทินในเครื่องผสมที่มีการให้ความร้อนโดยใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 250 รอบ / นาที นาน 10 นาที ค่อย ๆ เติมกาลีเซอรอลลงไป แล้วผสมต่ออีก 5 นาที ปล่ยสารผสมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จนอุณหภูมิลดลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักสารผสม 45 กรัม เทลงบนแผ่นพลาสติก (acrylic sheet) ที่ต่อขอบไว้สูง 1 มิลลิเมตร เกลี่ยสารผสมให้เต็มแผ่นพลาสติก นำไปทำให้แห้ง โดยเก็บไว้ที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออก

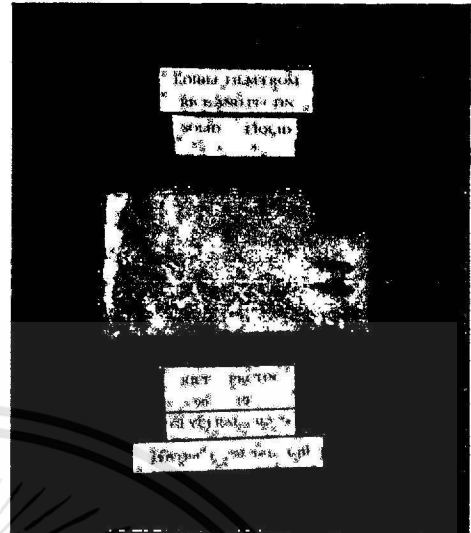
ในการวิจัยเบื้องต้นพบว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพกทิน 70 : 30 แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จะไม่แตก จึงออกแบบการทดลองโดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพกทิน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ส่วนกาลีเซอรอลนั้นใช้ที่ระดับร้อยละ 0.5 แผ่นฟิล์มจะแตก ในการทดลองจึงใช้กาลีเซอรอลร้อยละ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว ใช้ที่อัตราส่วน 1 : 8 เนื่องจากการทดลองพบว่าการขึ้นรูปได้ง่ายและสะดวกที่สุด ในการเตรียมฟิล์มนั้นจะเพิ่มความเร็วในการผสมมากกว่า 250 รอบ / นาที เนื่องจากสารผสมที่ได้เป็นก้อนเนื่องจากการผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน รูปแสดงกระบวนการผลิตแสดงได้ดังรูปที่ ก1 และรูปฟิล์มที่ผลิตได้แสดงได้ดังรูปที่ ก2 - ก9



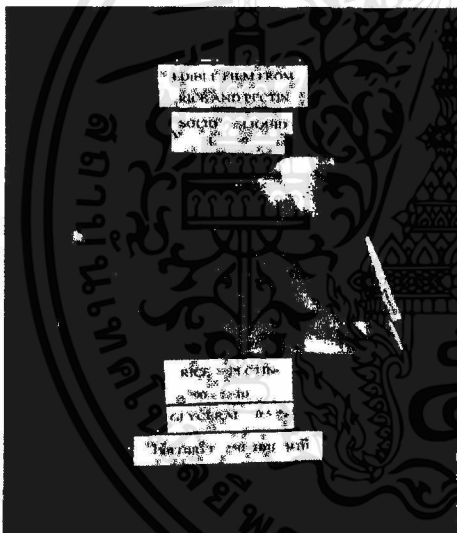
รูป ก1 แสดงกระบวนการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน



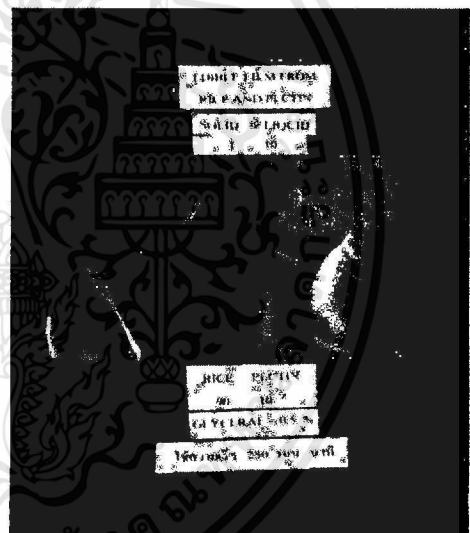
(1)



(2)

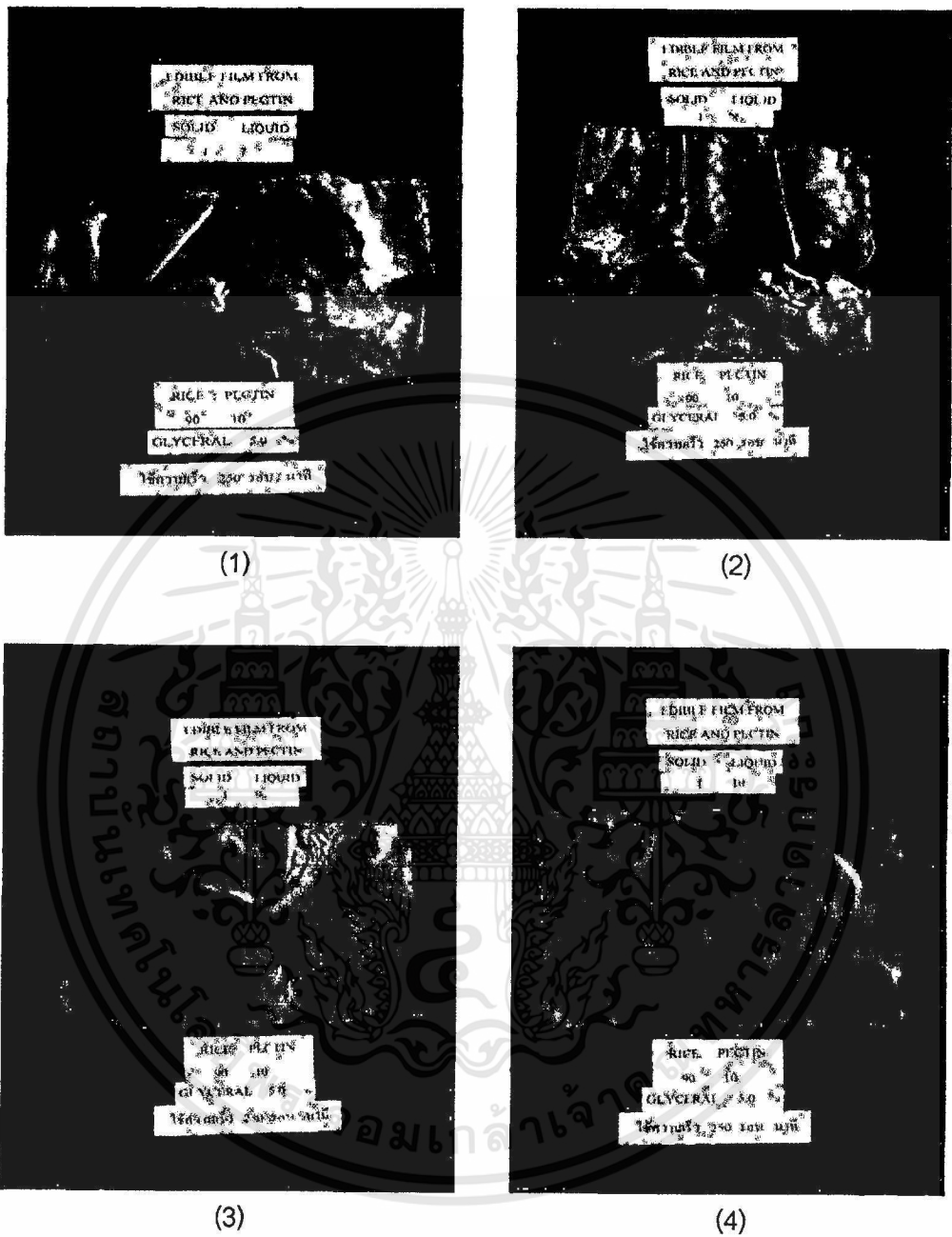


(3)



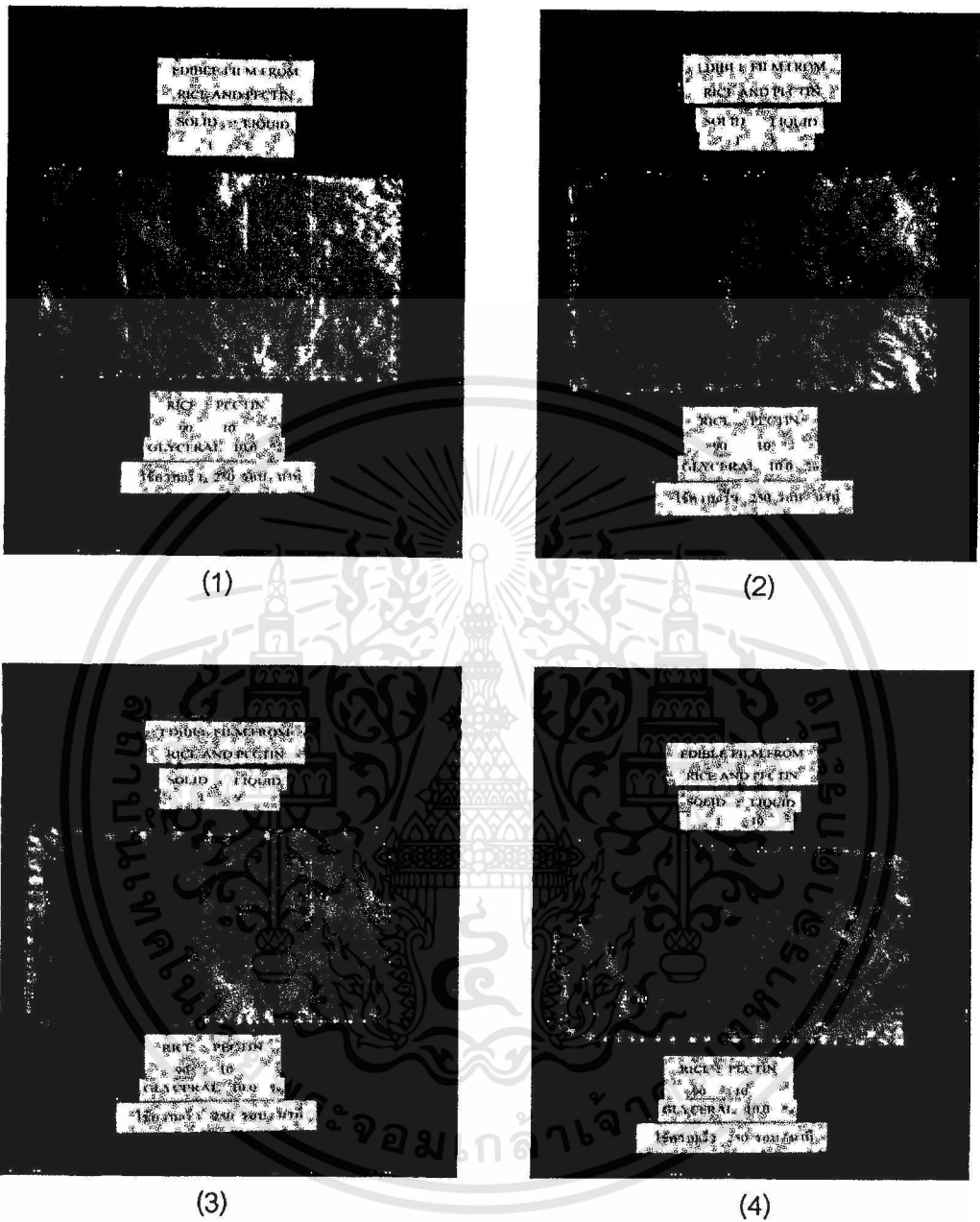
(4)

รูป ก2 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90 : 10 , ใช้ระดับ  
 กลิเซอรอลร้อยละ 0.5 และอัตราส่วน ของแป้ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8  
 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10

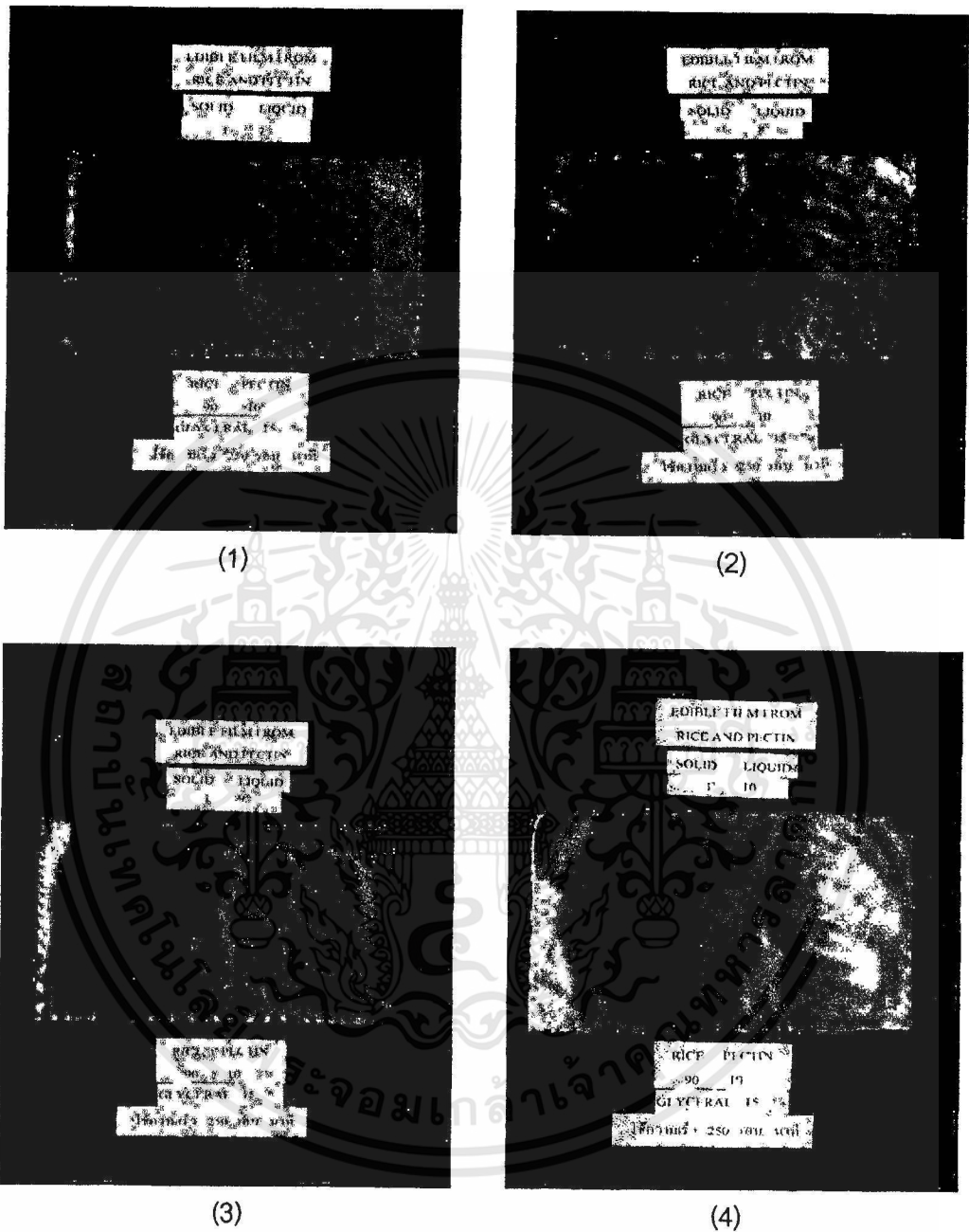


รูป ก3 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90 : 10 , ใช้ระดับ กลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วน ของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10

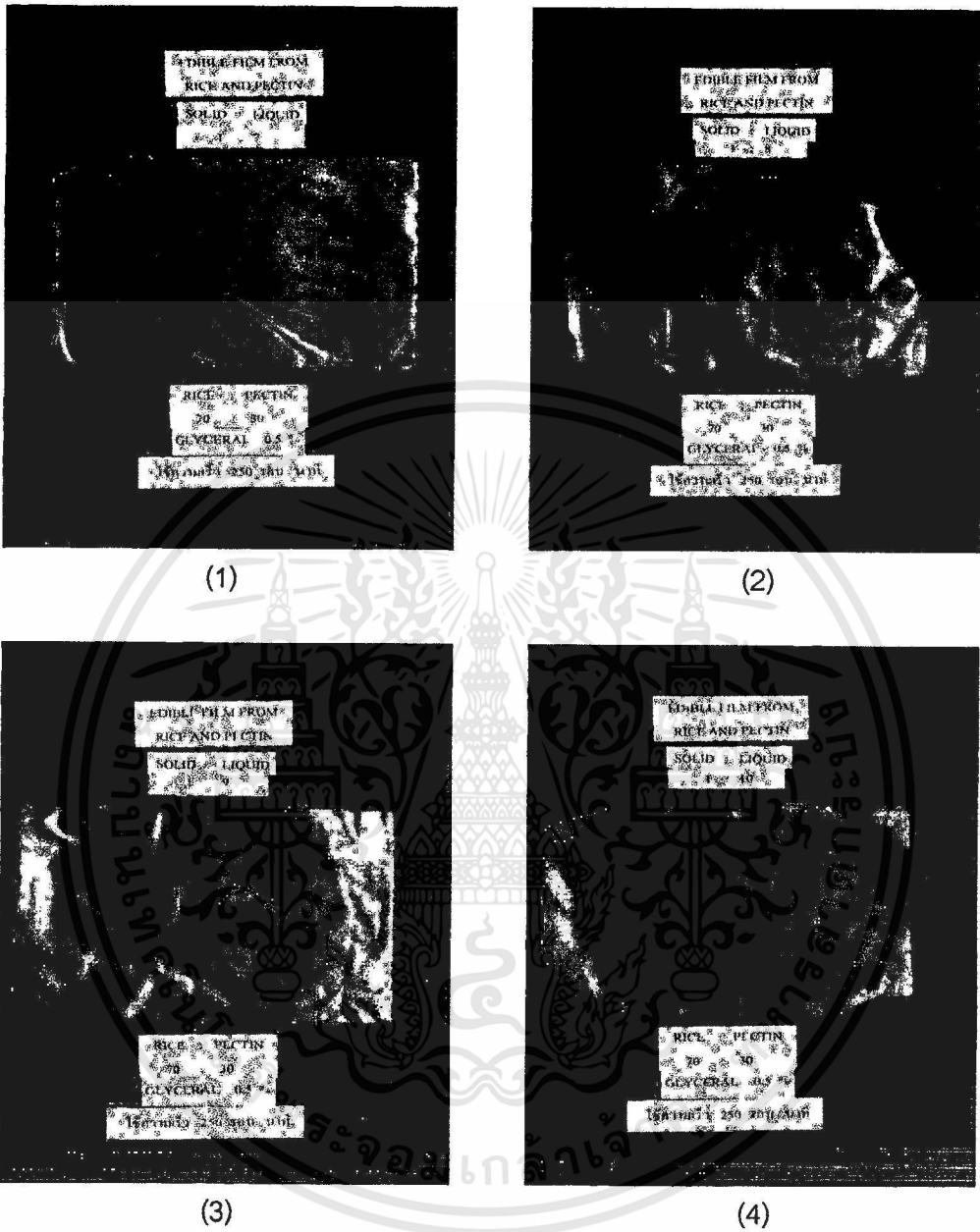
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



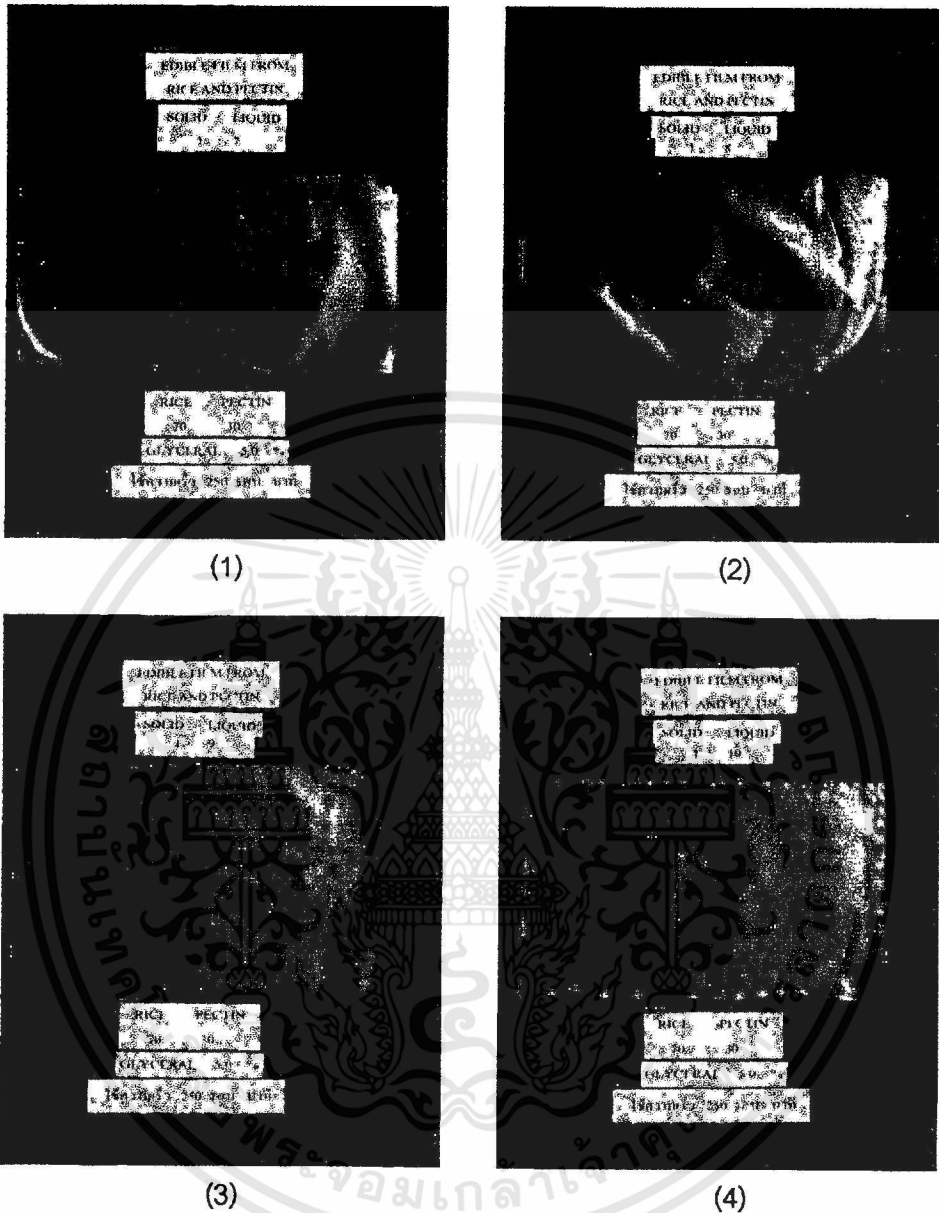
รูป ก4 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90 : 10 , ใช้ระดับ กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วน ของน้ำ : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10



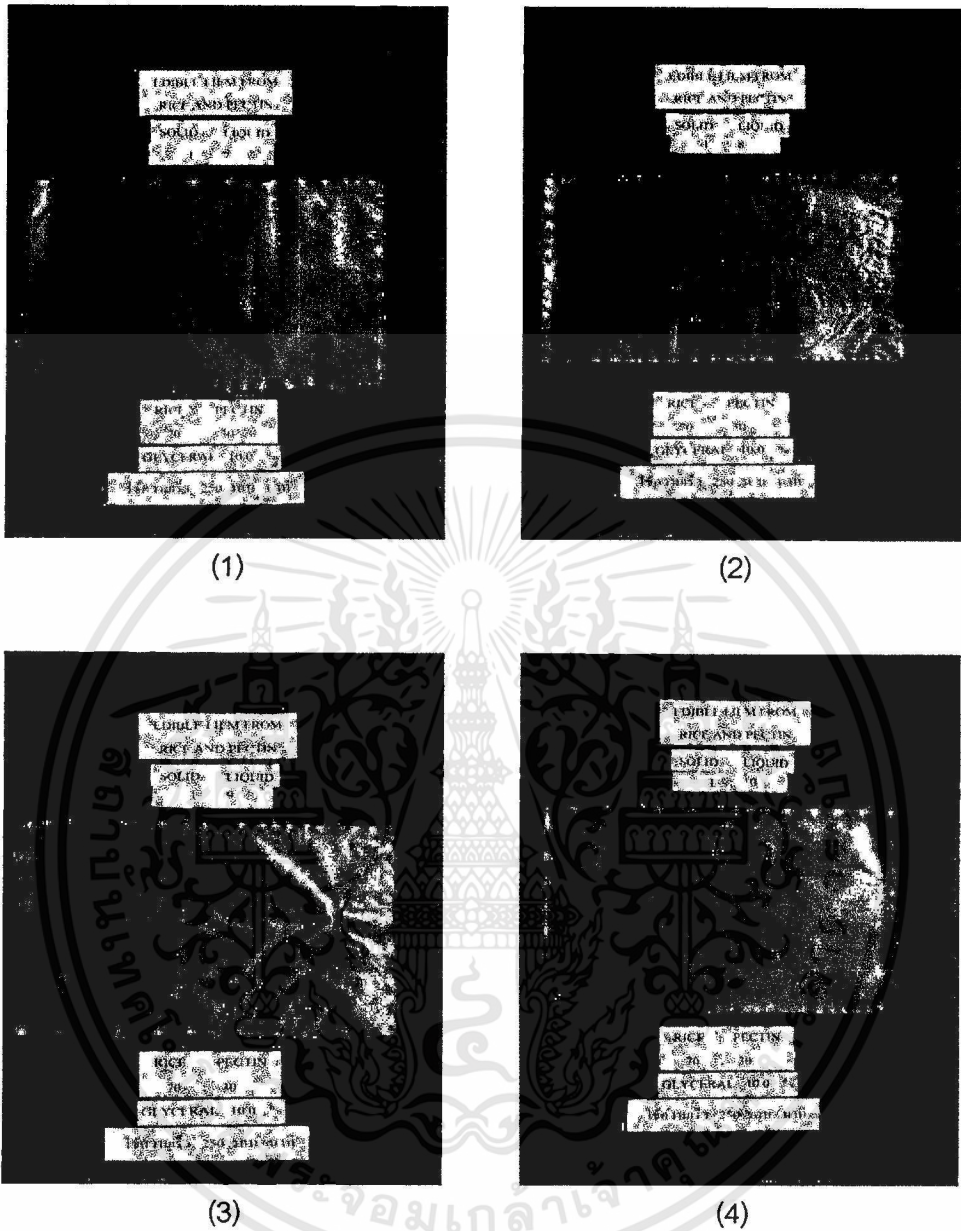
รูป ก5 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90 : 10 , ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วน ของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10



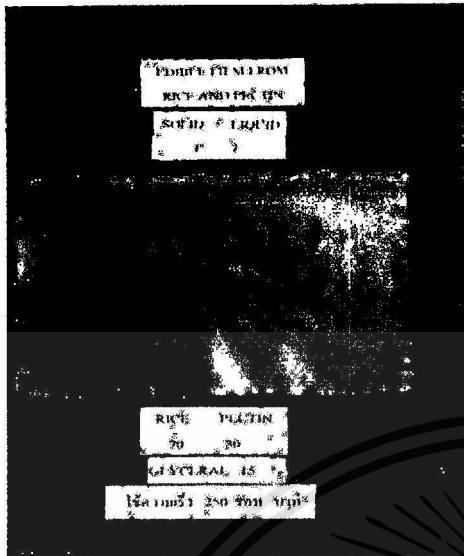
รูป ก6 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70 : 30 , ใช้ระดับ กลีเซอรอล ร้อยละ 0.5 และอัตราส่วน ของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10



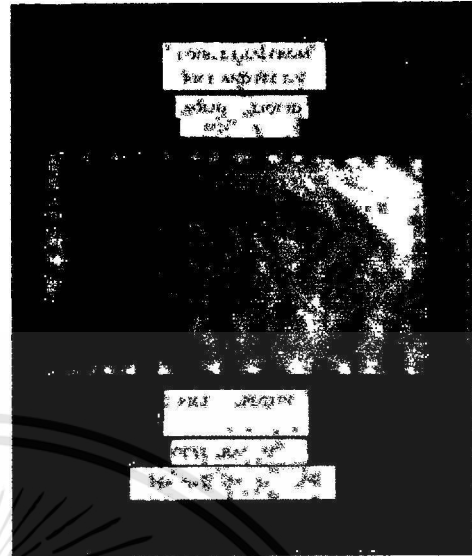
รูป ก7 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70 : 30, ใช้ระดับ กลีเซอรอล ร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10



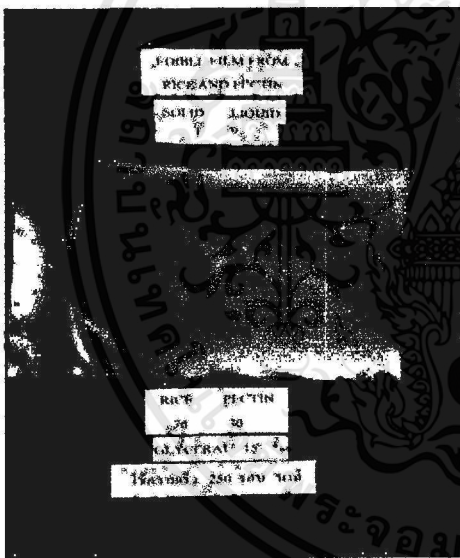
รูป ก8 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70 : 30, ใช้ระดับ กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10



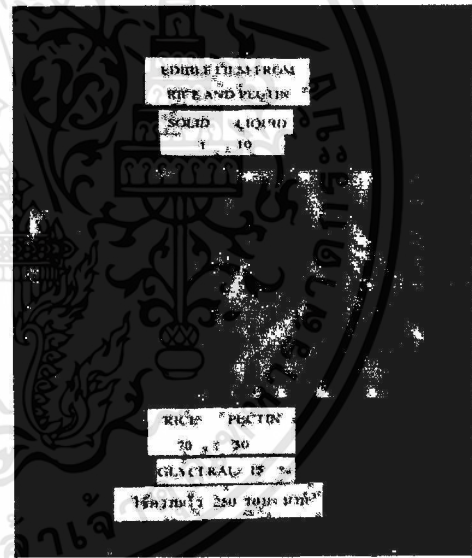
(1)



(2)



(3)



(4)

รูป ก9 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70 : 30, ใช้ระดับ  
 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8  
 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10

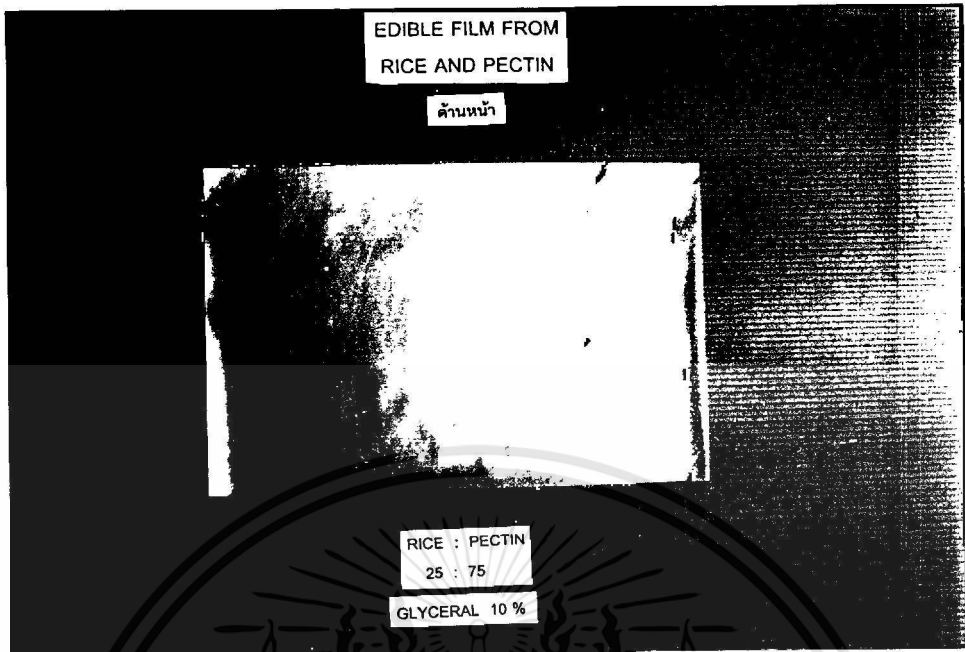
## ภาคผนวก ข

### กระบวนการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

ในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน จะวางแผนการทดลองแบบ แฟคทอเรียล  $3 \times 3$  ปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน 3 อัตราส่วน คือ 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 ปัจจัยที่ 2 คือ กลีเซอรอล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 10 และ 15 (เทียบกับน้ำหนักของแป้ง) โดยในทุกสูตรจะใช้อัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว (ของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนของเหลว คือ น้ำกลั่น) เท่ากับ 1 : 8 ในการทดลองจะทำการผสมแป้งข้าวเจ้า, เพคตินและน้ำกลั่นในเครื่องผสม ความเร็ว 350 รอบ/ นาที ให้ความร้อนโดยใช้อ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที หลังจากนั้นเพิ่มความเร็วรอบเป็น 500 รอบ/ นาที ผสมต่ออีก 5 นาที ค่อย ๆ เติมกลีเซอรอลลงไป แล้วผสมต่ออีก 5 นาที ปล่อยให้ของผสมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิ ลดลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของผสม 45 กรัม เทลงบนแผ่นพลาสติก (acrylic sheet) ที่ต่อขอบสูง 1 มิลลิเมตร เกลี่ยให้ทั่วจนเต็มแผ่นพอดี นำไปทำให้แห้งโดยเก็บไว้ในห้องเย็น อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง ทำการลอกแผ่นฟิล์มออก เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีต่อไป รูปแสดงกระบวนการผลิตแสดงดังภาคผนวก รูปที่ ก1 และรูปแสดงฟิล์มที่ผลิตได้แสดงดังรูปที่ ข1-ข9



รูป ข1 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75, ระดับ  
กลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ  
(2) ด้านหลัง

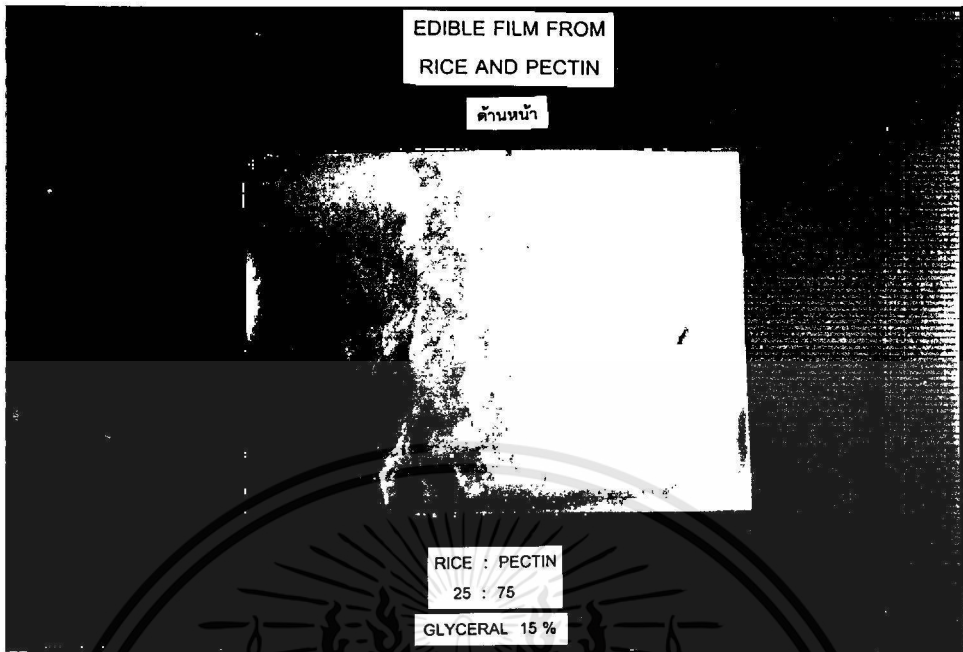


(1)

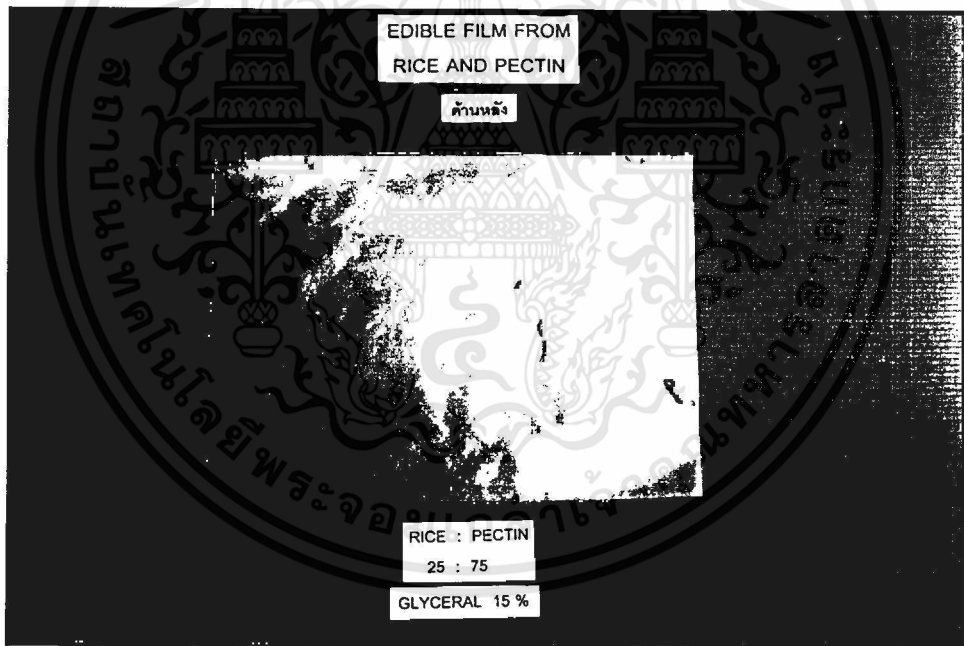


(2)

รูป ข2 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75, ระดับ  
 กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ  
 (2) ด้านหลัง

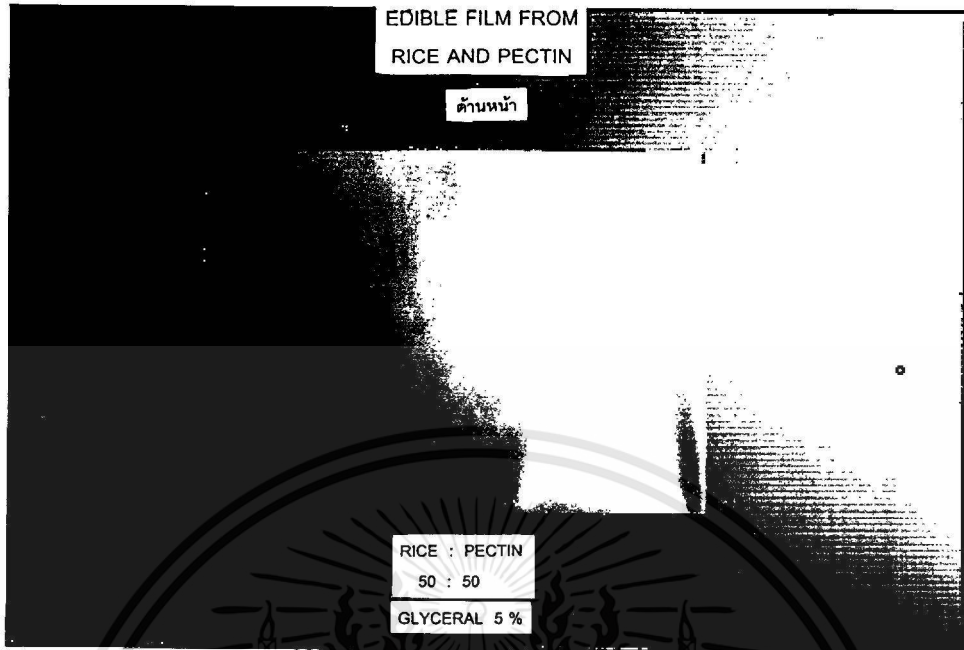


(1)

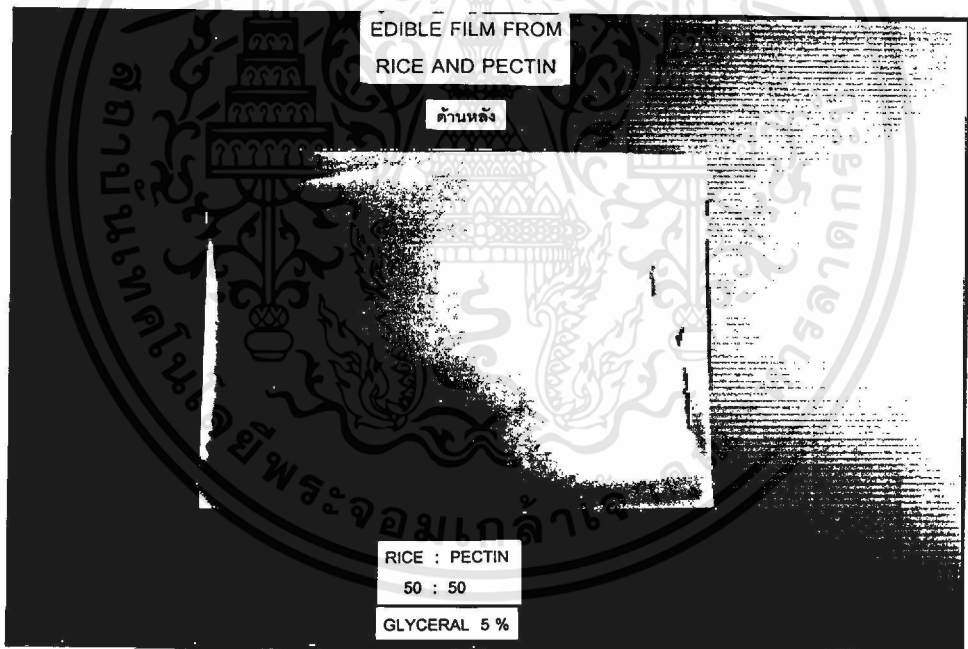


(2)

รูป ข3 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75, ระดับ  
กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของน้ำ : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ  
(2) ด้านหลัง

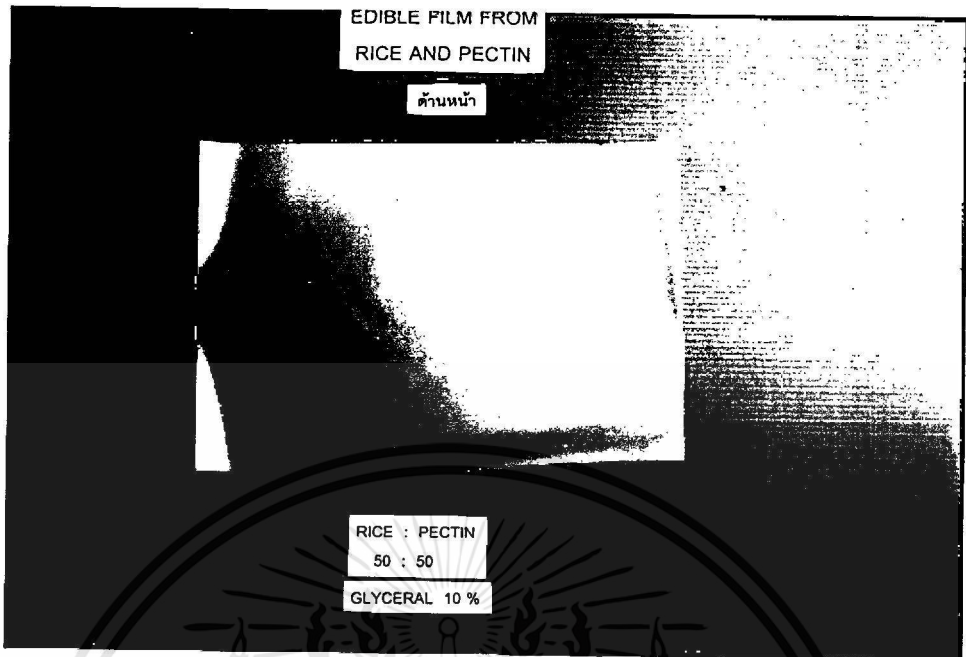


(1)

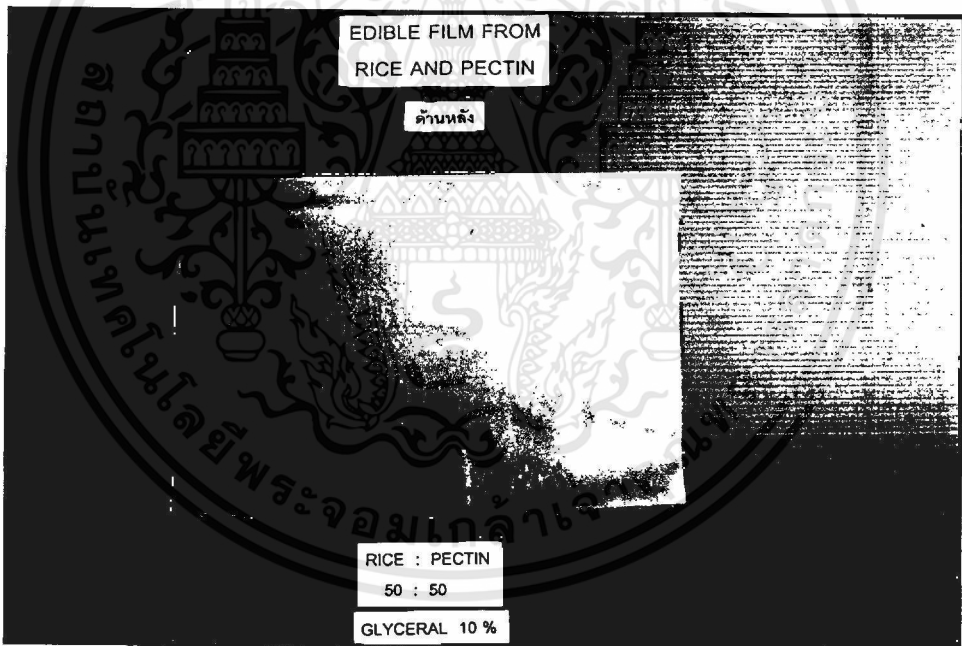


(2)

รูป ข4 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50, ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง

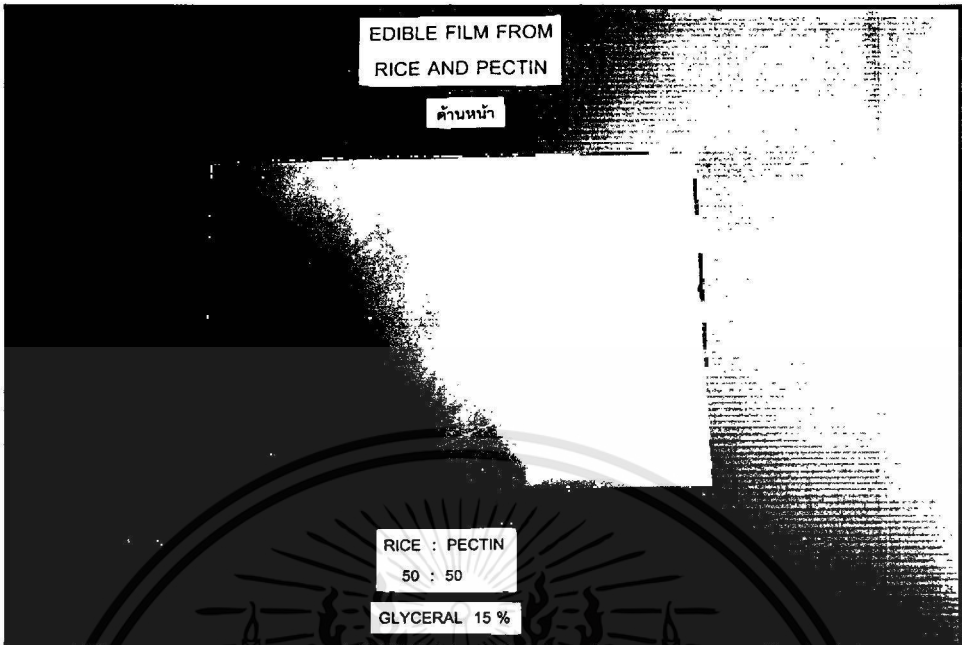


(1)

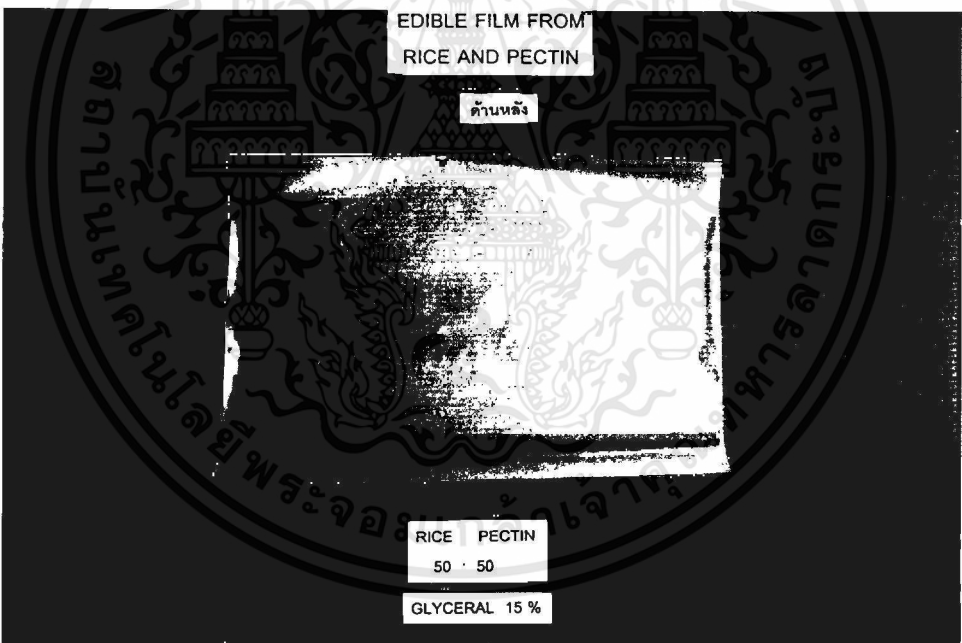


(2)

รูป ข5 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50, ระดับ กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง

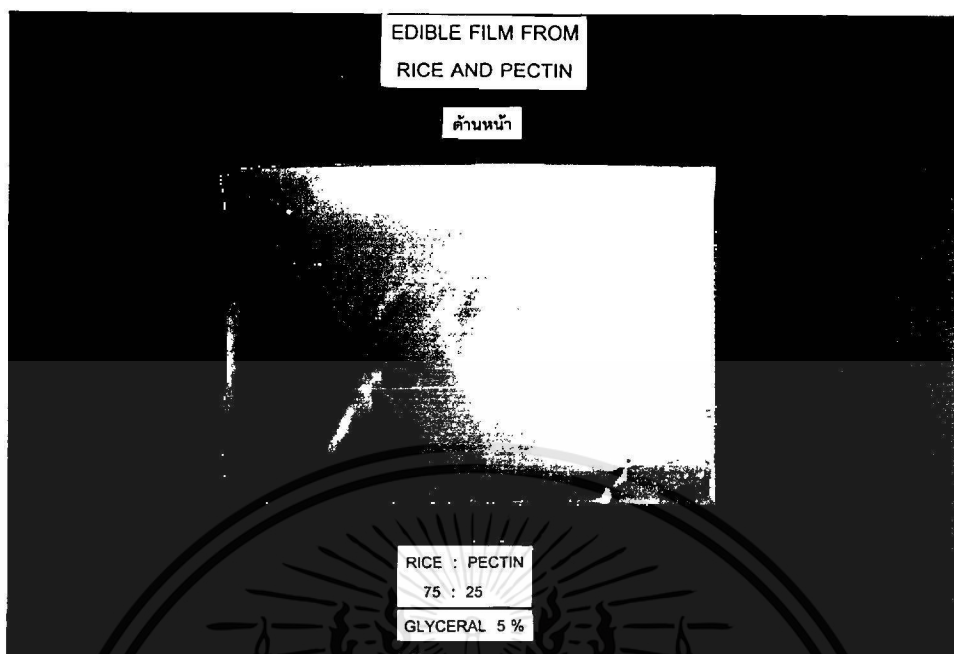


(1)

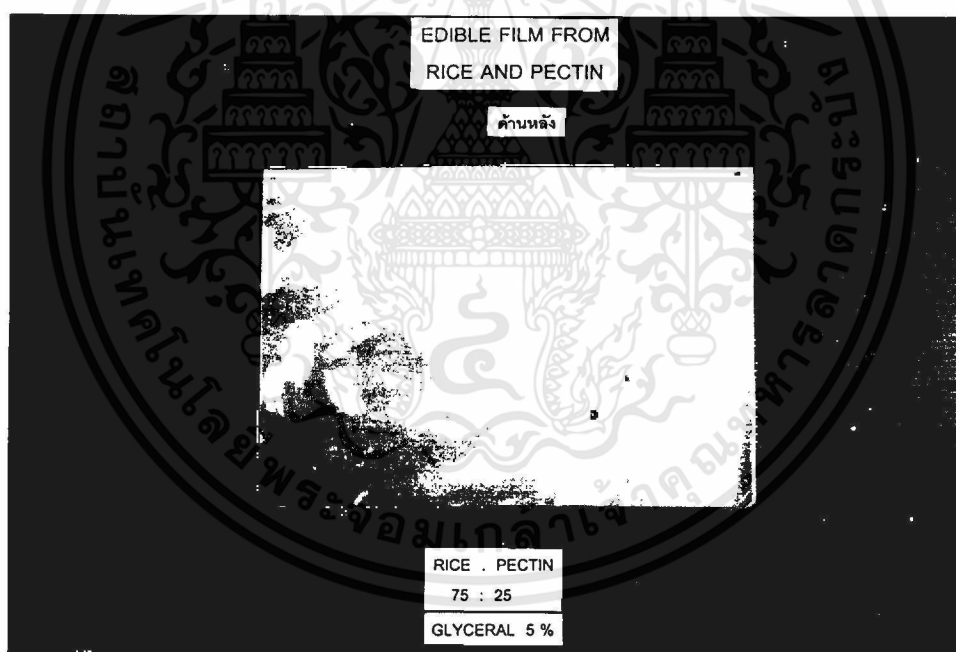


(2)

รูป ข6 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50, ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง

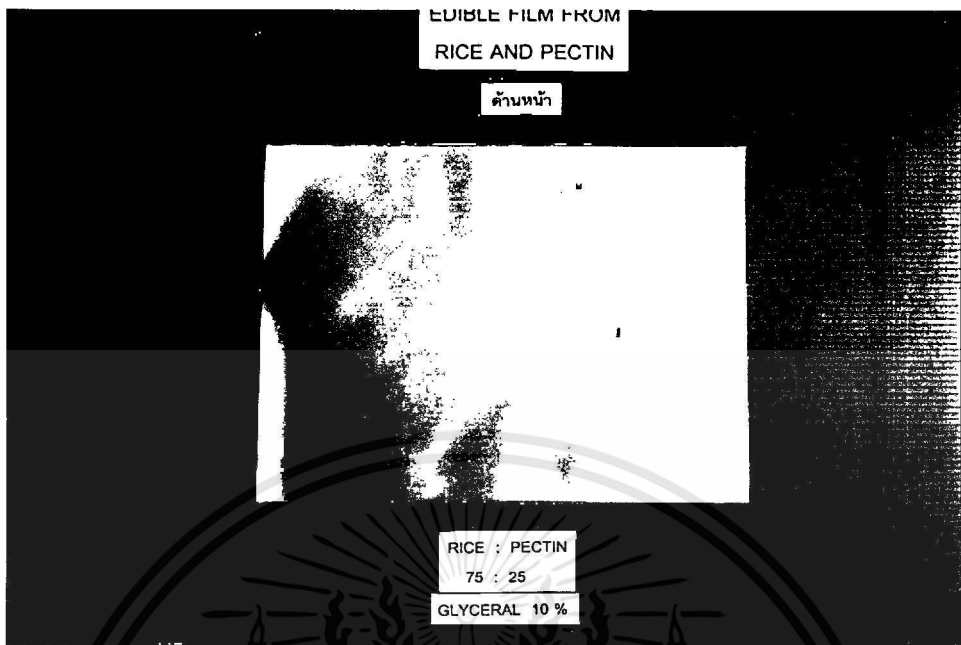


(1)

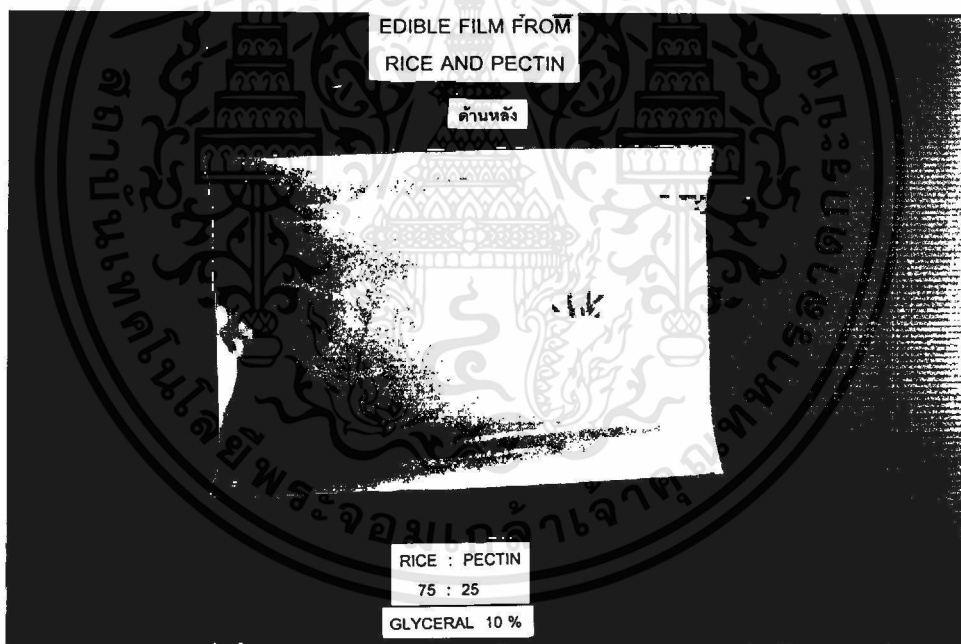


(2)

รูป ข7 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25, ระดับ  
กลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของน้ำ : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ  
(2) ด้านหลัง

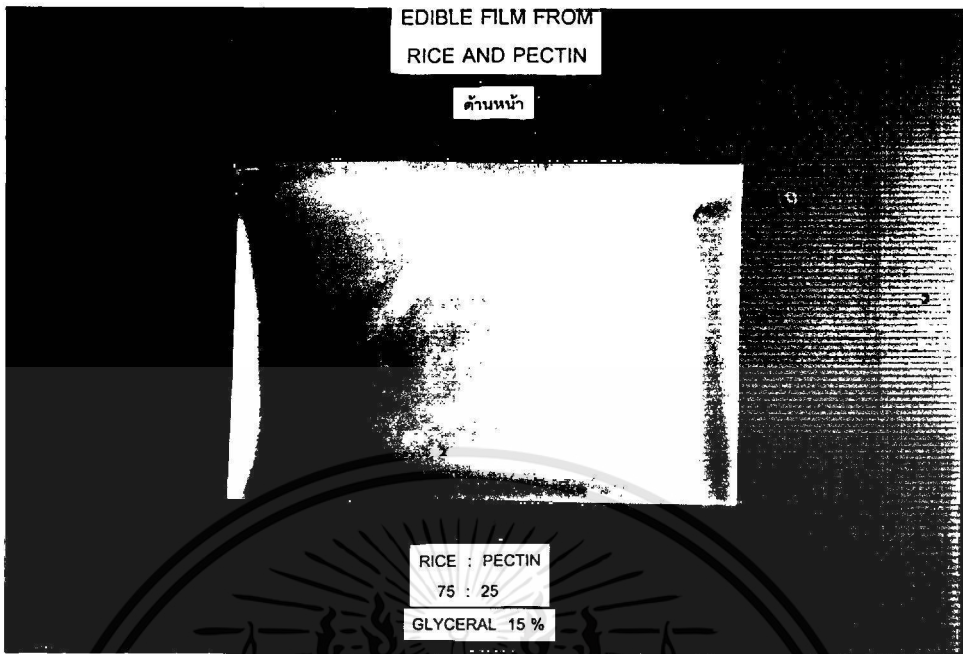


(1)

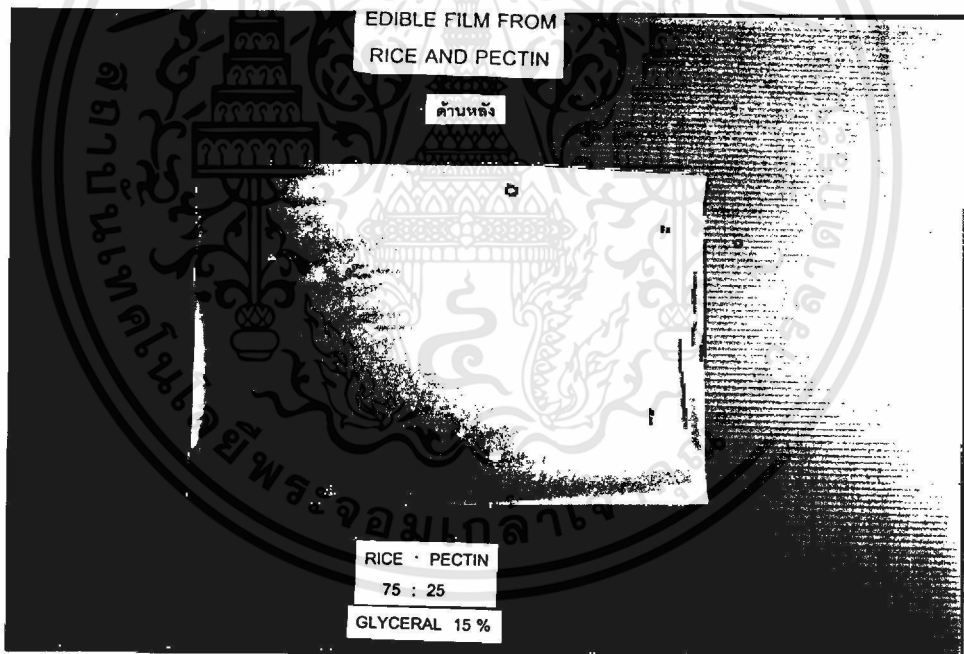


(2)

รูป ข8 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25, ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง



(1)

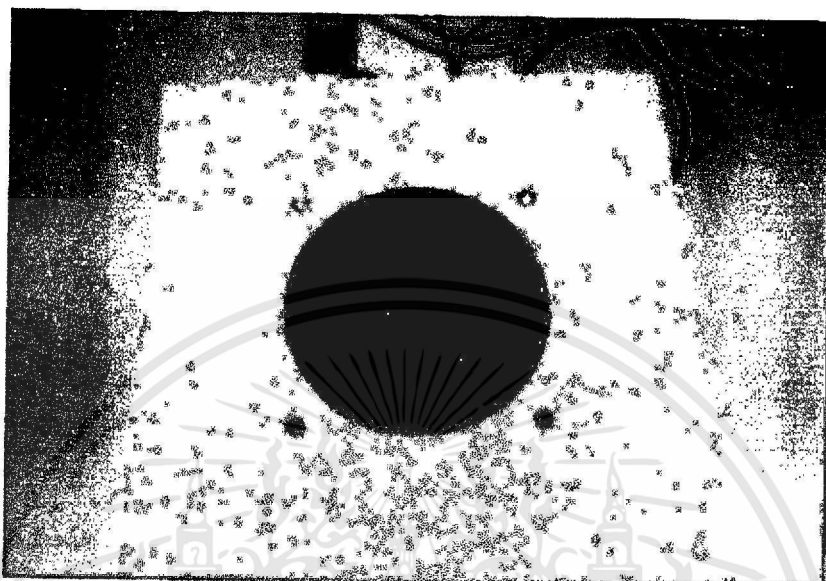


(2)

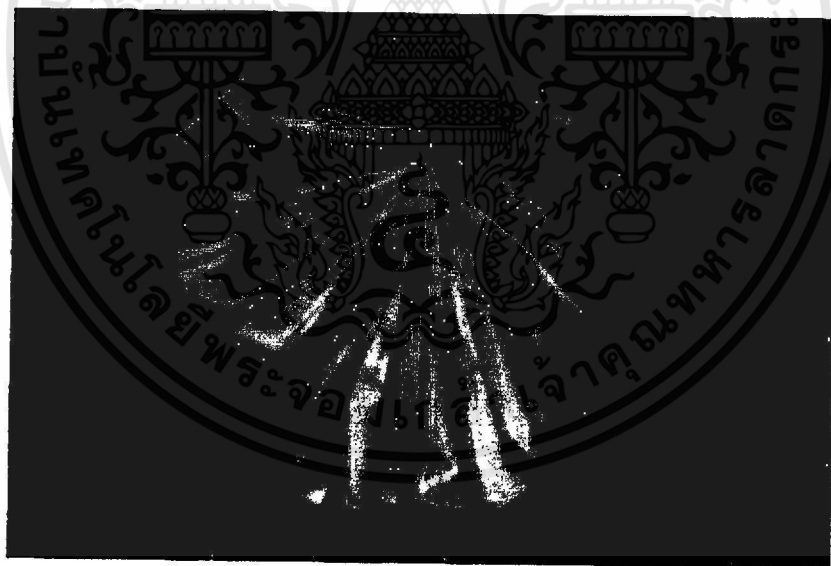
รูป ข9 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25, ระดับ  
กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของน้ำ : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ  
(2) ด้านหลัง

## ภาคผนวก ค

## การแตกของฟิล์มในระหว่างการวัดอัตราการผลิตของแก๊สออกซิเจน



(1)



(2)

รูป ค1 แสดงการแตกของฟิล์มระหว่างการวัดอัตราการผลิตของแก๊สออกซิเจน ขณะอยู่ใน  
(1) เครื่องมือวัด และ (2) ไม่ได้อยู่ในเครื่องมือวัด

## ภาคผนวก ง

## ข้อมูลการทดลอง

ตาราง ง1 ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

ตัวอย่างแป้งข้าวเจ้า (ซ้ำที่)	คุณสมบัติทางเคมี (%)						
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	คาร์โบไฮเดรต	อะมิโดส
1	12.28	7.02	0.29	0.30	0.09	80.03	23.82
2	12.17	6.84	0.30	0.28	0.09	80.31	23.99
3	12.39	6.65	0.30	0.29	0.09	80.28	23.96

ตาราง ง2 ข้อมูลการวิเคราะห์ความชื้นของเพคติน

ตัวอย่างเพคติน (ซ้ำที่)	ความชื้น (%)
1	11.1602
2	11.2145
3	11.2688

ตาราง ง3 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางฟิสิกส์เคมีของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

F : G <sup>1</sup> (G) <sup>2</sup>	Thickness <sup>3</sup>	A <sub>w</sub> <sup>4</sup>	Moisture <sup>5</sup>	T.S. <sup>6</sup>	E <sup>7</sup>	WVTR <sup>8</sup>	Gas <sup>9</sup>
25 : 75	0.070	0.749	22.670	1.330	1.625	64.521	80.900
( 5.0 )	0.060	0.770	20.538	1.295	1.780	76.406	78.500
25 : 75	0.070	0.764	22.727	1.125	2.693	104.139	101.300
( 10.0 )	0.070	0.779	21.355	1.188	2.735	105.412	96.100
25 : 75	0.080	0.776	23.044	1.079	3.088	122.533	138.800
( 15.0 )	0.080	0.788	23.141	1.090	3.170	123.382	135.900
50 : 50	0.070	0.713	18.700	2.847	2.575	85.745	154.200
( 5.0 )	0.070	0.760	18.328	2.436	3.200	86.028	159.000
50 : 50	0.080	0.729	19.118	1.448	3.618	107.818	168.300
( 10.0 )	0.070	0.762	18.821	1.177	3.813	109.798	166.900
50 : 50	0.080	0.733	20.528	1.138	4.500	144.889	393.000
( 15.0 )	0.090	0.776	19.033	1.181	4.650	145.455	381.000
75 : 25	0.080	0.721	16.983	2.265	1.175	95.649	แตก
( 5.0 )	0.080	0.744	16.363	2.225	1.213	93.102	แตก
75 : 25	0.080	0.728	17.215	1.942	1.545	122.533	แตก
( 10.0 )	0.090	0.752	16.454	1.948	1.645	123.382	แตก
75 : 25	0.090	0.753	18.332	1.400	2.295	148.001	แตก
( 15.0 )	0.090	0.759	17.979	1.596	2.545	149.982	แตก

หมายเหตุ : 1. อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน

2. ระดับกลีเซอรอล (เปอร์เซ็นต์)
3. ความหนา (มิลลิเมตร)
4. ค่า water activity
5. ความชื้น (%)
6. ความต้านทานแรงดึงขาด (กิโลกรัม / ตารางมิลลิเมตร)
7. ความสามารถในการยึดตัว (%)
8. อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (กรัม / ตารางเมตร . วัน)
9. อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (มิลลิลิตร / ตารางเมตร . วัน . บรรยากาศ)

## ประวัติผู้เขียน

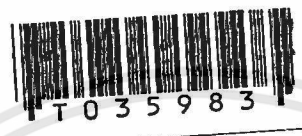
นางสาวจารุณี ยาห้องภาค เกิดวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2515 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก ปีการศึกษา 2537 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ในปี พ.ศ. 2540 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2543



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

PRODUCTION OF CARBOHYDRATE EDIBLE FILM FROM RICE FLOUR  
AND PECTIN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-822-6

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 35983  
วัน, เดือน, ปี... 3 ก.ค. 2543

PRODUCTION OF CARBOHYDRATE EDIBLE FILM FROM RICE  
FLOUR AND PECTIN



A THESIS-SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2000  
ISBN 974-622-822-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2000**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน  
PRODUCTION OF CARBOHYDRATE EDIBLE FILM FROM  
RICE FLOUR AND PECTIN  
ชื่อนักศึกษา นางสาวรุณี ยาห้องภาส  
รหัสประจำตัว 40066004  
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร  
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. วุฒิชัย นาคร์รักษา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. วุฒิชัย นาคร์รักษา	
ผศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ	
ดร. กิตติชัย บรรจง	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 26 เมษายน 2543 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป  
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม คณะเทคโนโลยีการเกษตร (ห้อง 1)



วันที่ 31 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2543

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน
นักศึกษา	นางสาวจารุณี ยาห้องภาค
รหัสประจำตัว	40066004
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

### บทคัดย่อ

จากการศึกษาการผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล มีปัจจัยในการผลิตฟิล์มดังนี้ ปัจจัยที่หนึ่งเป็น อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 และปัจจัยที่สองเป็นปริมาณ กลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 5, 10 และ 15 (เทียบกับน้ำหนักแห้งของแป้ง) การผลิตฟิล์มใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว (ของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนของเหลว คือ น้ำกลั่น) เท่ากับ 1 : 8 ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์เคมีของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ พบว่า อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนา, ความต้านทานแรงดึงขาด และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่า  $A_w$  และความชื้น ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่ปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนา, ค่า  $A_w$ , ความชื้น, ความสามารถในการยึดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ, อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน ความต้านทานแรงดึงขาด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัยมีผลทำให้  $A_w$ , ความชื้น และความต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ความหนา, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สออกซิเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

Thesis Title        Production of Carbohydrate Edible Film from Rice Flour and Pectin

Student                Miss Charunee Yahonggad

Student ID.         40066004

Degree                Master of Science

Programme         Food Science

Year                    2000

Thesis Advisor     Assoc.Prof.Dr. Woatthichai Narkrugsa

### ABSTRACT

The edible film production from rice flour and pectin was studied by using two factors factorial in completely randomized design. Three ratio of the rice flour : pectin (25 : 75, 50 : 50 and 75 : 25 on dry weight basis) and three quantity of the glycerol ( 5,10 and 15% on flour dry weight basis ) were used. In this experiment, the ratio between the solid (rice flour and pectin) : liquid (distilled water) at 1 : 8 was done. It was found that as increasing the ratio of rice flour : pectin, the thickness, tensile strength, WVTR and oxygen permeability were significantly increased while  $A_w$ , moisture content and elongation were significantly decreased. The increasing of glycerol significantly increased films thickness, elongation, WVTR and oxygen permeability while decreasing tensile strength. The interaction between the two factors resulted to significantly increase in  $A_w$ , moisture content and tensile strength whereas the thickness, WVTR and oxygen permeability were significantly decreased.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย นาครักษ์ชา ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำแนวทาง และ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลา ของการศึกษานจนกระทั่งข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณภาควิชาบรรณารักษณ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาให้ความ อนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของฟิล์ม และเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ ภาควิชา อุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ภาควิชาบรรณารักษณ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์บรรณารักษณ์หอไทย ที่ กรุณาให้ความอนุเคราะห์ตลอดมา ขอขอบคุณคุณคุณณญกฤต รัตนพันธ์ คุณพรทิพย์ มีนพกิจ และคุณประชิด อยู่หว่าง รวมถึงพี่ ๆ น้อง ๆ ปริญญาโทที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ที่ท่านได้กรุณาให้การอบรม เลี้ยงดู ให้ความสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

จารุณี ยาห้องกาศ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความหมายของฟิล์มที่รับประทานได้.....	3
2.2 เหตุผลของการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้.....	3
2.3 คุณสมบัติของฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้.....	3
2.4 องค์ประกอบของฟิล์มที่รับประทานได้.....	5
2.4.1 ส่วนโพลีเมอร์.....	5
2.4.1.1 ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์.....	5
2.4.1.2 ฟิล์มลิวติน.....	13
2.4.1.3 ฟิล์มโปรตีน.....	15
2.4.2 ส่วนพลาสติกไซเซอร์.....	17
2.5 การเกิดฟิล์ม.....	20
2.6 การขึ้นรูปฟิล์ม.....	22
2.7 ลักษณะทั่วไปของแป้งข้าวเจ้า.....	23
2.7.1 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง.....	24
2.7.2 การพองตัวและการละลายของแป้ง.....	25
2.7.3 การเกิดเจลลาตินในเซชันด้วยความร้อนของแป้ง.....	26
2.7.4 สมบัติบางประการของอะมิโลส.....	26

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8	พืดดิน.....	27
2.8.1	แหล่งที่มาของพืดดิน.....	27
2.8.2	โครงสร้างทางเคมีของพืดดิน.....	29
2.8.3	การแบ่งกลุ่มพืดดิน.....	30
2.8.4	การเกิดเจลาของพืดดิน.....	30
บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการ.....	37
3.1	วัสดุดิบ.....	37
3.2	สารเคมี.....	37
3.3	อุปกรณ์ในการผลิต.....	37
3.4	อุปกรณ์ในการวิเคราะห์.....	37
3.5	สถานที่ทดลอง.....	38
3.6	วิธีการทดลอง.....	38
3.6.1	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดิบ.....	38
3.6.2	การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จาก แป้งข้าวเจ้าและพืดดินและคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้.....	41
3.6.3	การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	49
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	50
4.1	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดิบ.....	50
4.1.1	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า.....	50
4.1.2	การวิเคราะห์ความชื้นของพืดดิน.....	51
4.2	การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จาก แป้งข้าวเจ้าและพืดดินและคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตได้.....	51
4.2.1	ความหนา.....	51
4.2.2	ค่าวอร์เตอร์แอกทิวิตี.....	53
4.2.3	ความชื้น.....	55
4.2.4	ค่าความต้านทานแรงดึงขาด.....	57

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.5 ความสามารถในการยึดตัว.....	59
4.2.6 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ.....	61
4.2.7 อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน.....	63
4.2.8 ความต้านทานน้ำมัน.....	65
4.3 การเปรียบเทียบฟิล์มแบ่งข้าวเจ้ากับเพคตินและฟิล์มที่ผลิตจาก วัตถุดิบธรรมชาติชนิดอื่น.....	65
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	69
ข้อเสนอแนะ.....	72
เอกสารอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก.....	80
ก การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	81
ข กระบวนการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	91
ค การแตกของฟิล์มในระหว่างการวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน.....	101
ง ข้อมูลการทดลอง.....	102
ประวัติผู้เขียน.....	104

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หน้าที่ของอะมิโลสในระบบการเกิดเจล.....	27
2.2 โครงสร้างของเพคติน.....	29
2.3 โครงสร้างส่วนที่เป็นเส้นตรงและส่วนที่เป็นกิ่ง สาขา.....	30
2.4 โครงสร้างบริเวณที่เกิดเจลของเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลสูง.....	32
2.5 โพลีเมอร์ตาข่ายบริเวณที่เกิดเจลและการทับซ้อนกัน.....	33
2.6 การเกิดเจลของเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำโดยมีแคลเซียมไอออน.....	35
2.7 การเกิดการเชื่อมข้ามระหว่างเพคตินและแคลเซียมไอออน.....	36
3.1 แผนผังการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	43
3.2 เครื่องวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม.....	44
3.3 เครื่องวัดค่าออร์เตอร์เอกทิวดี.....	45
3.4 เครื่องวัดความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว.....	46
3.5 ชุดทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ.....	47
3.6 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน.....	48
3.7 แสดงการวัดความต้านทานน้ำมัน.....	49
4.1 กราฟแสดงค่าความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	53
4.2 กราฟแสดงค่าออร์เตอร์เอกทิวดีของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า และเพคติน.....	54
4.3 กราฟแสดงความขึ้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	56
4.4 กราฟแสดงความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จาก จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	58
4.5 กราฟแสดงความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จาก แป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	60
4.6 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้ จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	62
4.7 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้ จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	64

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก1 แสดงกระบวนการการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน.....	82
ก2 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90: 10 กลีเซอรอลร้อยละ 0.5 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	83
ก3 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90: 10 กลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	84
ก4 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90: 10 กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	85
ก5 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90: 10 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	86
ก6 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70: 30 กลีเซอรอลร้อยละ 0.5 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	87
ก7 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70: 30 กลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	88
ก8 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70: 30 กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	89
ก9 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70: 30 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 .....	90
ข1 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25: 75 กลีเซอรอลร้อยละ 5 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	92

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข2 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	93
ข3 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	94
ข4 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 กลีเซอรอลร้อยละ 5 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	95
ข5 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	96
ข6 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	97
ข7 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 กลีเซอรอลร้อยละ 5 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	108
ข8 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	99
ข9 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนแบ่งขาวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า (2) ด้านหลัง.....	100
ค1 แสดงการแตกของฟิล์มระหว่างการวัดอัตราการผลิตขึ้นผ่านของแก๊สออกซิเจน.....	101

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ภาพลักษณ์บรรจุภัณฑ์กลายเป็นภาพด้านมืดเนื่องเพราะการตื่นตัวในปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งรวมถึง การตัดไม้ทำลายป่า ฝนกรด การทำลายบรรยากาศชั้นโอโซน ตลอดจนปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในปริมาณสูงเป็นประจำทุกปี และวิธีการกำจัดของเสียโดยการถมทิ้ง และการเผาเริ่มไม่เป็นที่นิยม ชยะบรรจุภัณฑ์ หนึ่งในปัจจัยที่กระทบสิ่งแวดล้อมอย่างมองได้ชัด จึงกลายเป็นสิ่งที่ทุกคนต่อต้าน ซึ่งหลายประเทศในสหภาพยุโรปได้กำหนดแผนลดขยะบรรจุภัณฑ์ภายใต้การสนับสนุนของกฎหมายแล้ว ( ศิริวรรณ แสงนิกรเกียรติ. 2540 ) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ( วท .) โดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย (ศบท.) ได้รับมอบหมายจากกรมควบคุมมลพิษ (คพ.) เป็นผู้ดำเนินโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการลดของเสียและการใช้ประโยชน์จากของเสีย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาวิจัยวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อลดค่าธรรมเนียมกำจัดบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าส่งออกที่มีเป้าหมายไปยังกลุ่มสหภาพยุโรป และเพื่อกำหนดแนวทางในการจัดการบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศที่สอดคล้องกับมาตรการสนับสนุนกลไกการเรียกคืน เร็วเกินไป นำกลับเพื่อใช้ใหม่หรือแปรรูปเพื่อการใช้ใหม่ จากการสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทยโดยกรมควบคุมมลพิษ พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี ล่าสุดในปี พ.ศ. 2541 มีปริมาณขยะทั่วประเทศประมาณ 13.6 ล้านตัน ในปริมาณนี้จะเป็นของเสียบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ที่มีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ถึงร้อยละ 45 คิดเป็นมูลค่าประมาณ 36,100 ล้านบาท ส่งผลให้ประเทศต้องสูญเสียเงินเนื่องจากการขาดมาตรการการจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วถึงปีละ 42,500 ล้านบาท ( สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2543 )

การใช้พลาสติกและโฟมเป็นบรรจุภัณฑ์ได้เข้ามามีบทบาทและเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันของเราอย่างแยกไม่ออก ปริมาณพลาสติกและโฟมที่ใช้แล้วทิ้งมีจำนวนมากขึ้นทุก ๆ ปี ซึ่งอาจจะสะสมกันมากจนเกิดมลภาวะได้ การลดจำนวนพลาสติกที่ใช้ห่อหุ้มอาหารลงโดยใช้วัสดุอื่นที่มีคุณลักษณะคล้ายพลาสติก บรรจุอาหารได้ และมีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถละลายได้ในน้ำ และรับประทานได้พร้อมกับอาหารนั้น ๆ มาใช้แทนพลาสติก ซึ่งการนำฟิล์มที่รับประทานได้มาใช้จะเป็นวิธีทางหนึ่งที่จะแบ่งเบาขยะพลาสติก (เกศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ. 2539 ) ซึ่งเป็นปัญหาที่ประเทศกำลังประสบอยู่

ฟิล์มที่รับประทานได้สามารถทำได้จากผลิตภัณฑ์ทั้งพืชและสัตว์ การเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตที่เหมาะสมจะทำให้ได้ฟิล์มตามต้องการ เนื่องจากว่าปัจจุบันแหล่งของเพคตินตามธรรมชาติที่มีอยู่อย่างมากมายไม่ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ ทั้ง ๆ ที่เพคตินเป็นวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพมาก โดยเหตุที่เพคตินเป็นองค์ประกอบหลักของผักและผลไม้ และจากของเหลือทิ้งในทางการเกษตรนั้นมีมากมาย และโครงสร้างทางโมเลกุลของสารละลายเพคตินมีคุณสมบัติคล้ายกับโพลีเมอร์ชั้นสูงที่สังเคราะห์ได้ (Arpin *et al.* 1977 ; Wong *et al.* 1978) จากคุณสมบัติทางด้านโมเลกุลของเพคติน คาดว่าฟิล์มที่ผลิตจากเพคตินจะมีคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางเชิงกลที่น่าสนใจ ส่วนแป้งข้าวเจ้าก็เป็นผลิตผลทางการเกษตรของประเทศเราที่มีจำนวนมากและสามารถหาได้ง่าย เมื่อนำมาผลิตเป็นฟิล์มที่รับประทานได้แล้วจะมีผลดี คือ สามารถนำผลิตผลทางการเกษตรของประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงขึ้นไปเป็นการลดต้นทุนในการผลิตฟิล์มด้วย

สตาร์ชเป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ จึงมีการแนะนำให้นำมาประยุกต์ใช้เป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Otey *et al.* 1977,1980,1987) และจากการศึกษาของนักวิจัยหลายท่านที่ผ่านมาพบว่าฟิล์มที่ผลิตจากเพคตินนั้นมีคุณสมบัติที่น่าสนใจหลายอย่าง สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง (Coffin and Fishman. 1993)

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในส่วนของภาชนะบรรจุในปัจจุบันให้พัฒนาไปในทางที่ดีขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน
- 1.2.2 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์เคมีบางประการของฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 फिल्मที่บริโภคได้ (Edible film)

ฟิล์มบริโภคได้ หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่บริโภคได้ นำมาใช้กับอาหารโดยเคลือบผิวของอาหารโดยตรงหรือเตรียมแผ่นฟิล์มขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำไปใช้กับอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหรือชะลอการผ่านเข้าออกของก๊าซ ไอน้ำ ไขมัน เกลือ สารละลาย จุลินทรีย์ หรือสารอื่น ๆ จากอาหาร ฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันโดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ (Guilbert. 1986)

### 2.2 เหตุผลของการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้

ถึงแม้ว่าการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้ ไม่สามารถใช้แทนวัสดุบรรจุภัณฑ์สังเคราะห์หรือพลาสติกได้ทั้งหมด แต่ฟิล์มหรือสารเคลือบดังกล่าว สามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการปรับปรุงคุณภาพอาหาร หรือยืดอายุการเก็บและเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ วัตถุประสงค์โดยทั่วไปของการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้กับฟิล์มพลาสติกบรรจุอาหารก็มีความคล้ายคลึงกัน วัตถุประสงค์ของการใช้ ได้แก่ การควบคุมอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (อาจอยู่ในรูปของความชื้นในอาหารและในบรรยากาศ) และแก๊ส ป้องกันมิให้สารหอมระเหยสูญเสียไป ห่อหุ้มอาหารให้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และป้องกันการแตกหักเสียหาย เป็นต้น (Kester and Fennema. 1986)

### 2.3 คุณสมบัติของฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้

คุณสมบัติของฟิล์มและสารเคลือบอาหารจะมีลักษณะอย่างใดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น อาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงมาก จำเป็นต้องใช้ฟิล์มที่มีความต้านทานการซึมผ่านของออกซิเจนสูง เป็นต้น ฉะนั้นจึงขอกล่าวข้อดีของฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ที่เหนือกว่าฟิล์มพลาสติก ดังนี้

2.3.1 บริโภคฟิล์มได้พร้อมกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ อันเป็นจุดเด่นที่เห็นได้ชัด ในการลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม

2.3.2 ในกรณีที่ไมบรีโกล์ฟิล์ม ฟิล์มที่ทิ้งไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้โดยง่าย เป็นการช่วยลดปัญหามลพิษเช่นกัน

2.3.3 เพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัส ชวนให้น่ารับประทานผลิตภัณฑ์มากขึ้นเมื่อใช้ฟิล์มนี้ และเข้าได้ดีกับสารประกอบที่ให้กลิ่นรส และความหวาน เป็นต้น

2.3.4 เสริมคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะฟิล์มที่ทำจากโปรตีน

2.3.5 ใช้หุ้มอาหารโดยแยกออกเป็นแต่ละชั้น เช่น ถั่ว สตรอเบอร์รี่

2.3.6 ใช้เป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการถ่ายเทความชื้นและไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน เช่น พิซซ่า พาย เป็นต้น

2.3.7 ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันจุลินทรีย์ และสารกันหืน และยังควบคุมอัตราการซึมของสาร กันเสียจากฟิล์มเข้าสู่เนื้ออาหาร

2.3.8 สามารถทำฟิล์มให้เป็นเม็ดแคปซูล บรรจุสารให้กลิ่นรสและสารทำให้ขึ้นฟู (leavening agent) ได้ เพื่อควบคุมการเติมสารที่ใส่ในอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.9 สามารถใช้ร่วมกับฟิล์มพลาสติก โดยใช้ฟิล์มที่รับประทานได้สัมผัสกับอาหารโดยตรง สำหรับคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้

- 
- Retards moisture migration
  - Retards gas transport ( $O_2$ ,  $CO_2$ )
  - Retards oil and fat migration
  - Improves mechanical-handling properties of foods
  - Retains volatile flavor compounds
  - Carries food additive
- 

ที่มา : Guilbert (1986)

## 2.4 องค์ประกอบของฟิล์มที่รับประทานได้

การเตรียมฟิล์มจะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ (Mchuge and Krochta. 1994)

2.4.1 ส่วนโพลีเมอร์ (polymer) จะทำหน้าที่เป็นส่วนทำให้เกิดโครงสร้าง (structure) ของฟิล์ม โดยทั่วไปฟิล์มเกิดขึ้นจากสารประกอบที่เป็นโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงยาว โพลีเมอร์ที่สามารถทำให้เกิดฟิล์มได้ดี ได้แก่ โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ไขมัน (fat) และโปรตีน (protein)

2.4.1.1 ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ สามารถใช้โพลีแซคคาไรด์บางชนิดผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้ เช่น สตาร์ช สตาร์ชไฮโดรไลเซต (hydrolysate) แอลจินัท เพคติน คาราจีแนนและอนุพันธ์ของเซลลูโลสแต่เนื่องจากธรรมชาติของโพลีเมอร์เหล่านี้ชอบรวมตัวกับน้ำ (hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำฟิล์มชนิดนี้มาป้องกันการซึมผ่านความชื้น อย่างไรก็ตามโพลีแซคคาไรด์บางตัวที่ใช้เคลือบมีลักษณะเหมือนวุ้น (gelatinous) และมีความชื้นสูง จะชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ ในช่วงอายุการเก็บสั้น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยที่สารเคลือบเจลาทำหน้าที่เป็นตัวเก็บอาหาร (sacrificing agent) มากกว่าเป็นตัวกลางขวางกั้นการส่งผ่านความชื้น นอกจากนี้ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์บางชนิด ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจนในลิปิด (lipid oxidation) และองค์ประกอบอื่นในอาหาร ซึ่งทำให้อาหารเหม็นหืน

2.4.1.1.1 ฟิล์มสตาร์ช (starch films) สตาร์ชประกอบด้วยอะมิโลส และอะมิโลเพกติน ในปริมาณและอัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์พืช อะมิโลสเป็นโพลีเมอร์เส้นตรงและมีคุณลักษณะที่สามารถทำเป็นฟิล์มในตัวเอง (self supporting film) จึงใช้เป็นวัสดุดิบในการเตรียมฟิล์มได้ ส่วนสตาร์ชก็สามารถนำมาเตรียมฟิล์มได้เช่นกัน แต่เป็นฟิล์มที่มีข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนั้น จึงต้องมีการแยกส่วน (fractionation) อะมิโลสจากสตาร์ช เพื่อนำมาเตรียมฟิล์ม ลักษณะของฟิล์มอะมิโลสนี้จะไม่ใส ไม่มีกลิ่นรส ไม่เป็นพิษ แข็งแรง ยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีคุณสมบัติต้านทานไข (grease) ได้สูง และออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มได้ต่ำ แต่มีข้อเสียคือปัญหาการละลายของอะมิโลสเพื่อเตรียมฟิล์ม เมื่อเตรียมฟิล์มจะต้องใช้อุณหภูมิสูงภายใต้ความดัน จึงนิยมใช้อนุพันธ์ของอะมิโลสซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่า การใช้งานฟิล์มอะมิโลส เช่น ทำถุงบรรจุกาแฟ ชา ชุปสำเร็จรูป ผลิตใส่เทียมสำหรับทำไส้กรอก ใช้เคลือบผลไม้ เช่น ลูกพรุน ลูกกวาดผลไม้ทำให้ผลไม้ไม่เหี่ยวติดกันเป็นก้อน

Wolff *et al.* (1951) ได้เตรียมฟิล์มจากอะมิโลส และทำการศึกษาถึงผลของความหนา , ปริมาณอะมิโลเพกตินที่เติมลงไปในส่วนผสม, ขนาดโมเลกุลของอะมิโลส , การให้ความร้อน และการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ต่อคุณสมบัติทางด้านกายภาพ (physical characteristics) ความต้านทานทางด้านเคมี (chemical resistance) และคุณสมบัติทางด้านเชิงกล (mechanical

properties) ของฟิล์ม พบว่าเมื่อความหนาน้อยกว่า 20 ไมครอน แรงต้านทานการดึงขาดจะต่ำ ที่ผิวของแผ่นฟิล์มจะมีความไวต่อความชื้นมาก ความหนาที่เหมาะสมต่อการหยิบถือ (handing) เฉลี่ย 20-30 ไมครอน พบว่าความทนทานต่อการพับจะลดลงเมื่อความหนาสูงกว่าความหนาเฉลี่ย ความทนทานต่อการแตกปริ (Burst resistance) จะแปรผันตรงกับความหนาและ ความทนทานต่อการฉีกขาด (tearing resistance) จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น การเติมอะมิโลเปกตินลงไปในส่วนผสมจะทำให้คุณสมบัติทางกลของฟิล์มลดลง และพบว่าฟิล์มที่มีอะมิโลสต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์จะเหนียวติด ไม่สามารถเคลื่อนออกจากกระจกได้ ผลของขนาดโมเลกุลอะมิโลส พบว่าฟิล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำฟิล์มจะมีความใสต่ำ เนื่องจากอะมิโลสโมเลกุลต่ำจะเกิดเจลได้เร็ว มีความขุ่นสูง และเมื่ออะมิโลสมีการรีโทรกราเดชันมาก ความยืดหยุ่นของฟิล์มจะลดลง ความต้านทานการต่อแรงดึงขาดต่ำ ทำให้การหยิบถือ (handing) ลำบาก จากการศึกษาก็พบว่าอะมิโลสที่มีระดับการเกิดโพลีเมอร์ 230 (degree of polymerization 230) ความต้านทานต่อแรงดึงขาดจะต่ำมาก จะเกิดการแตกระหว่างทำแห้ง ทำให้ฟิล์มไม่เป็นแผ่น ส่วนฟิล์มที่เตรียมจากอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะให้ฟิล์มที่แข็งแรงและยืดหยุ่น ความทนทานต่อการพับจะสูงเมื่อเตรียมฟิล์มจากอะมิโลสที่มีความหนืดสูง ในด้านการให้ความร้อน พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงขาดของฟิล์มเมื่อแห้งจะดีขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 15 นาที ส่วนการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์จะทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงขาดลดลง ความเป็นพลาสติกของฟิล์มเพิ่มขึ้น

Mark *et al.* (1964) ได้เตรียมฟิล์มจากสตาร์ชที่มีอะมิโลส 59 และ 73 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับ Dimethyl sulfoxide 99.9 เปอร์เซ็นต์ก่อนที่อัตราส่วน 1 ต่อ 3 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ให้อุณหภูมิ 75-85 องศาเซลเซียส แล้วทำการแยกสตาร์ชออกมาโดยการตกตะกอนสกัดเอา DMSO ที่ติดอยู่ ออกโดยใช้แอลกอฮอล์ นำสตาร์ชที่มีแอลกอฮอล์ติดอยู่มาละลายในน้ำ ให้ความร้อนอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส นำสตาร์ชที่แยกได้มาทำให้แห้ง หลังจากนั้นนำมาผสมกับน้ำ และผสมกับอัลกอฮอล์อีกโดยใช้ n-butanol ในการเตรียมฟิล์มจะนำสตาร์ชที่มีอัลกอฮอล์เปียกอยู่จำนวน 25 กรัมมาผสมกับน้ำกลั่น 150-175 มิลลิลิตรโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 10 นาที แล้วทำการกลั่นที่อุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส เพื่อแยกอัลกอฮอล์ออก แยกฟองอากาศออกภายใต้สภาวะสูญญากาศ นำสารละลายไปเทลงบนแผ่นกระจกเคลือบซิลิโคน ปล่อยให้แห้ง นำมาทดสอบคุณสมบัติพบว่าฟิล์มที่เตรียมจากอะมิโลส 59 และ 73 เปอร์เซ็นต์จะมีความหนืด 1.35 และ 1.05 ใน noremal potassium hydroxide ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง แสดงว่าเกิดการ depolymerization น้อยระหว่างการปฏิบัติด้วย dimethyl sulfoxide และภายหลังจากการเตรียมฟิล์ม ความทนทานต่อแรงดึงขาด ของอะมิโลส 59 , 71 และ 73 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 10.821, 11.084 และ 11.483 lb/sq.in. แสดงว่าเมื่อปริมาณอะมิโลสสูงขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงขาดก็จะสูงขึ้นตาม ส่วนความทนทานต่อการพับ ฟิล์มที่เตรียม

จากปริมาณอะมิโลส 59, 71 และ 73 เปอร์เซ็นต์มีค่าเท่ากับ 265, 461 และ 421 ตามลำดับ ส่วนความทนทานต่อการแตก ปริ จะเท่ากับ 29 ,20 และ 30 ตามลำดับ

✓Roth and Mehlretter (1967) ได้ศึกษาคุณสมบัติบางประการของฟิล์มที่ผลิตจาก Hydroxypropylated amylo maize starch ในการเตรียมฟิล์มจะใช้ hydroxypropylated amylo maize starch 25 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 175 กรัม โดยให้ความร้อนอุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เทสารละลายลงบนกระจกซิลิโคน จากนั้นใช้ก๊ลิเซอรอล 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นพลาสติกไฮเซอรอลบนแผ่นฟิล์ม แล้วทำแห้งโดยใช้อากาศร้อน เมื่อฟิล์มแห้งแล้วจะมีความหนาประมาณ 2 มิล (mil) หลังจากนั้นตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว เก็บที่สภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ 7 วันก่อนที่จะนำมาทดสอบ พบว่าการผลิตได้จะมีความต้านทานแรงดึงขาดจะลดลง ส่วนความต้านทานต่อการแตก ปริ และสามารถในการยืดตัวและความทนทานต่อการพับจะเพิ่มขึ้น ส่วนผลของพลาสติกไฮเซอรอลนั้นพบว่าการใช้ก๊ลิเซอรอลเป็นพลาสติกไฮเซอรอลจะมีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ สรุปก็คือ ฟิล์มที่ผลิตออกมาสามารถที่จะรับประทานได้ ออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ มีความเป็นพลาสติกที่ดี และมีความต้านทานต่อแรงดึงขาดอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ (packageing) และสามารถนำมาทำการเคลือบอาหารที่แห้งและมีความไวต่อออกซิเจนได้ดี

✓Hullinger (1965) แสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่ทำจากแป้งโดยตรงมีคุณสมบัติที่ดี คือ รับประทานได้ มีคุณค่าทางอาหาร และละลายน้ำได้บ้าง เนื่องจากสมบัติของแป้งสามารถกระจายตัวในน้ำได้ง่าย เมื่อได้รับความร้อนเม็ดแป้งจะพองตัวและเกิดเจลาตินไนส์ เป็นผลทำให้เกิดการกระจายของคอลลอยด์ของแป้งที่อุ้มน้ำไว้ เมื่อนำมาทำฟิล์มด้วยวิธีหล่อสารละลายลงบนพิมพ์ (casting) แล้วทำให้แห้งจะได้ฟิล์มซึ่งไม่มีความต้านทานน้ำ ดังนั้นเมื่อแช่น้ำจะทำให้ฟิล์มถูกทำลายได้อย่างรวดเร็ว จึงเป็นข้อจำกัดการใช้ประโยชน์จากฟิล์มแป้ง

✓ Otey et al. (1974 in Otey et al. 1977) ได้ผลิตฟิล์มจากสตาร์ชข้าวโพด (corn starch) และใช้ก๊ลิเซอรอลเป็นพลาสติกไฮเซอรอล โดยทำการผสมส่วนผสมทั้งสองกับน้ำ แล้วนำมาขึ้นรูปโดยวิธีเทสารละลายลงบนพิมพ์ พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้จะใส มีความยืดหยุ่น แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากไม่มีส่วนที่ช่วยสนับสนุนให้เกิดโครงสร้างของฟิล์ม (nonsupported film) และพบว่าฟิล์มจะแตกมากและมีสภาพที่เลวลงในสภาวะที่ทำการทดสอบ เมื่อเติม polyvinyl alcohol ( PVA ) ลงไปในโครงสร้างของสตาร์ช และก๊ลิเซอรอล คุณสมบัติของฟิล์มจะดีขึ้น ความต้านทานน้ำจะสูงขึ้น สามารถนำมาใช้ในการเคลือบ (coating) อาหารได้ และตั้งแต่ปี ค.ศ. 1975 เป็นต้นมาบริษัทหนึ่งก็ได้ใช้สตาร์ชดัดแปร(modified starch) และ PVA ในการผลิตถุงที่สามารถละลายในน้ำได้ (water soluble bags)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

✓ Otey et al. (1977) ได้เตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้จาก สตาร์ชและ Ethylene-acrylic acid (EAA) พบว่าการเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไปในการสร้างฟิล์มจะทำให้ความต้านทานน้ำ (water resistance) และความยืดหยุ่น (flexible) ของฟิล์มเพิ่มขึ้น เหตุผลที่ทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นยังไม่เข้าใจแน่ชัด อาจจะเป็นได้ว่าโมเลกุลของสตาร์ชเกิดการแผ่กว้างทำให้ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อทำสารละลายของสตาร์ชมาทำให้แห้ง แรงในการเกิดพันธะหลายชนิดมาเชื่อมกัน ทำให้โมเลกุลอยู่ชิดกันมาก จึงเกิดการแตก ปริ (brittle) การเติม EAA ลงไปจะทำให้โมเลกุลเกิดการเชื่อมกันอย่างห่าง ๆ และทำให้โมเลกุลแผ่กว้างขึ้น จึงทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณสตาร์ชเพิ่มขึ้นฟิล์มจะมีความยืดหยุ่น, ความสามารถในการยึดตัว และความคงทนต่อการพับลดลง และพบว่าการใช้สตาร์ชเพียงอย่างเดียวในการเตรียมฟิล์มเมื่อฟิล์มแห้งจะแตก จึงเชื่อว่า EAA ในฟิล์มจะช่วยป้องกันไม่ให้สายโซ่ของสตาร์ช มาเชื่อมกัน เนื่องจากเมื่อสายโซ่สตาร์ชมาเชื่อมกันแล้วจะทำให้เกิดโครงสร้างผลึก (crystalline) ซึ่งเป็นบริเวณที่จะเกิดการแตก (brittle regions)

✓ มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด (2534) ได้เตรียมฟิล์มอะไมโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว โดยเตรียมแบบoblate ซึ่งส่วนประกอบต่างกัน แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชและวุ้น สตาร์ช อะมิโลส และวุ้น และอะมิโลสและวุ้น ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ร้อยละ 0-0.5 ฟิล์มที่ได้จะมีค่า  $A_w$  อยู่ในช่วง 0.472-0.594 จากการศึกษาคูณสมบัติทางกลของฟิล์ม พบว่าฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชและวุ้น ให้ค่าต้านทานแรงดึงขาด 4.65 กิโลกรัมตารางมิลลิเมตร (6,642 ปอนด์/ตารางนิ้ว) :ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การใช้งานได้เช่นเดียวกับเซลโลเฟนที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ ซึ่งมีค่าต้านทานแรงดึงขาดต่ำสุดเพียง 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว และมีค่าทนทานต่อการพับ 340 double folds number ฟิล์มชนิดนี้เมื่อผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0.5 ให้ความต้านทานแรงฉีกขาดสูงสุด 8.15 กรัม และมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซสูงสุด เนื่องจากการละลายของอะมิโลสไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามฟิล์มทุกชนิดมีคุณสมบัติดีเลิศในด้านการต้านทานไขมันได้นานถึง 36 ชั่วโมง เช่นเดียวกับฟิล์มอะมิโลส จึงเหมาะต่อการนำไปห่อหุ้มอาหาร ที่มีองค์ประกอบไขมันสูง

✓ เกศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ (2539) ทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ในการทดลองจะใช้วัตถุดิบ คือแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ผสมกลีเซอรอล หรือกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (glycerol monostearate) ร้อยละ 0.2, 5 และ 10 ทำการผลิตวัสดุใช้ทำฟิล์มโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวหรือเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่สามารถผลิตวัสดุใช้ทำฟิล์มที่ดี ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำสูง ปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้ผิวแผ่นฟิล์มเรียบขึ้น แต่ก็ทำให้คุณภาพด้านความทนต่อการแตกเมื่อพับลดลง การผสมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรตในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ไม่ทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะดีขึ้น คุณลักษณะของแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอลคือ ใส ยืดหยุ่นดี

ส่วนฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า ผสมกลีเซอรอลจะมีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นพอใช้ เพราะบางกว่าฟิล์มที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง

Marquie *et al.* (1995) ได้ทำการวิจัยและพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ด้วยจุลชีพขึ้น (Biodegradable) โดยนำแป้งจากเมล็ดฝ้ายทำเป็นภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ด้วยจุลชีพ (Biodegradable Packing) และมีการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้สารเคมี 3 ชนิด คือ gossypol, formaldehyde และ glutaraldehyde พบว่าสารเคมีดังกล่าว ช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการต้านทานแรงดันทะลุ (Puncture Strength) และลดความสามารถในการละลายน้ำได้ของฟิล์ม (Solubility) ทำให้ฟิล์มมีลักษณะดีขึ้น

ปนัดดา พวงเกษม (2540) เตรียมฟิล์มที่รับประทุนได้จากแป้งมันสำปะหลัง และทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตได้เพื่อหาแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ที่สามารถทดแทนการใช้ฟิล์มพลาสติก พบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์เตรียมได้จากน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 5 และเติมซอร์บิทอลร้อยละ 30 เป็นพลาสติกไซ-เซอร์ แผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะปรากฏใส ผิวเรียบ ความหนาเฉลี่ย 0.063 มิลลิเมตร และมีคุณสมบัติทางกล คือ ค่าการต้านทานแรงดึงขาด 1.17 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร การยืดตัวร้อยละ 10.13 และความทนทานต่อการพับ 45 ครั้ง ส่วนคุณสมบัติด้านการซึมผ่านพบว่า มีค่าการซึมผ่านของออกซิเจน 6 มิลลิลิตร.มิลลิลิตรต่อตารางเมตรต่อ 24 ชั่วโมงต่อบรรยากาศ การซึมผ่านของไอน้ำ 0.37 กรัม.มิลลิลิตรต่อตารางเมตรต่อ 24 ชั่วโมงต่อมิลลิเมตรปรอท และคุณสมบัติเด่น คือ ต้านทานน้ำมันได้ 120 วัน ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ และผนึกติดได้ด้วยความร้อนจึงสามารถนำมาทำเป็นถุง โดยมีค่าความแข็งแรงของตะเข็บ 19.07 นิวตันต่อ 25 มิลลิเมตร เมื่อบรรจุเครื่องปรุงระบะหมี่สำเร็จรูปสดต้มยำพบว่า มีอายุการเก็บรักษานาน 22 เดือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยไม่มีแสงส่องผ่าน และจะละลายในน้ำต้มเดือดภายใน 5 นาที ส่วนการเคลือบผิวสตรอเบอร์รี่ เบบี้แครอท และมะเขือเทศด้วยฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง จะไม่สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักหรือช่วยยืดอายุการเก็บได้

2.4.1.1.2 ฟิล์มแอลจีเนต (alginate) นิยมใช้รูปโซเดียมแอลจีเนตสกัดจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล การเกิดฟิล์มของโซเดียมแอลจีเนตเป็นผลจากการเกิดเจลเมื่อแอลจีเนตทำปฏิกิริยากับ polyvalent cation แคลเซียมเป็นไอออนที่ทำให้เกิดเจลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มักใช้ในรูปเกลือแคลเซียมคลอไรด์ เพราะทำให้เกิดเจลวุ้นเนื้อแน่น คุณภาพดี การเคลือบด้วยฟิล์มแอลจีเนตส่วนใหญ่นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น ชิ้นส่วนเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ การเคลือบชิ้นเนื้อทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชิ้นเนื้อที่ไม่ได้เคลือบ ถึงแม้ว่าฟิล์มแอลจีเนตจะยอมให้ความชื้นซึมผ่านได้สูง แต่การเคลือบก็ให้ผลดี เนื่องจากเจลในฟิล์มมีปริมาณความชื้นสูง ความชื้นในเจลระเหยออกไปก่อนที่ชิ้นเนื้อที่เจลห่อหุ้มไว้จะสูญเสียความชื้น นอกจากนี้ฟิล์มเจลนี้ยังช่วยลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณจุลินทรีย์บนผิวเนื้อ ช่วยรักษาสีแดงของเนื้อได้นานกว่าเนื้อปกติ ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน lipid oxidation ในอาหาร และช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นด้วย (Kester and Fennema. 1986) ฟิลา์มและสารเคลือบจากอัลจิเนตมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์อาหาร การเคลือบด้วยแว็กซ์และน้ำมันกำลังถูกทดแทนด้วยการเคลือบด้วยแอลจิเนต เนื่องจากเป็นสารที่ให้พลังงานต่ำและไม่มีลักษณะเป็นน้ำมัน ฟิลา์มและสารเคลือบผิวจากแอลจิเนตสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด เช่น เนื้อสัตว์ที่ยังไม่ผ่านความร้อน ผักและผลไม้ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ อาหารพองกรอบ และชีส เป็นต้น จุดประสงค์ในการใช้งานมีดังนี้ (Nisperos-Carriedo. 1994)

- 1) ลดการสูญเสีย น้ำจากผลิตภัณฑ์อาหาร
  - 2) ช่วยเก็บรักษากลิ่นรสของผลิตภัณฑ์
  - 3) ช่วยรักษาสภาพเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏในด้านต่าง ๆ ให้มีความใกล้เคียงของสดมากที่สุด
  - 4) ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษาเพื่อรอนำไปทำการผลิตในขั้นตอนต่อไป
  - 5) ลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนผลิตภัณฑ์อาหาร
  - 6) ลดการสูญเสีย น้ำหนักและการหดตัวของเนื้อสัตว์
  - 7) ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของอาหารแช่แข็ง ที่นำมาละลายแล้วไปประกอบอาหาร
  - 8) ช่วยป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหาร
- ถึงแม้ว่าฟิลา์มและสารเคลือบผิวจากอัลจิเนตจะมีประโยชน์ในการนำไปใช้งานต่าง ๆ มากมาย แต่อย่างไรก็ตามยังพบข้อเสียในการใช้งานเช่นกัน ดังนี้
- 1) ประสิทธิภาพในการใช้งานต่ำกว่าพลาสติกสังเคราะห์
  - 2) ถ้าใช้ความเข้มข้นมาก ๆ จะทำให้เกิดรสขมในอาหารได้
  - 3) อายุการใช้งานประมาณ 144 ชั่วโมง (6 วัน) ซึ่งค่อนข้างน้อย

Zecher and Coillie (1992) พบว่าการเคลือบด้วยฟิลา์มอัลจิเนตส่วนใหญ่นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ เช่น ชิ้นส่วนเนื้อวัว , เนื้อหมู , เนื้อไก่ เพื่อให้มีการสูญเสีย น้ำน้อยกว่าชิ้นเนื้อที่ไม่ผ่านการเคลือบ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะช่วยรักษาสีด้วยสารละลายหรือ วจลของอัลจิเนต เมื่อทำให้แห้งจะทำให้เกิดฟิลา์มขึ้น ฟิลา์มนั้นมีคุณสมบัติเด่น คือสามารถลดการสูญเสีย น้ำของผลิตภัณฑ์ได้

2.4.1.1.3 ฟิลา์มเพคติน (pectin) เป็นกลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนของโพลีแซคคาไรด์ พบในชั้นลามลลา (lamella) ส่วนกลางของเซลล์พืช เพคตินที่ใช้เป็นสารเคลือบเป็นชนิดที่มีจำนวนของเมทท็อกซิลต่ำ (low methoxyl) ซึ่งทำให้เกิดเจลขึ้นได้ เมื่อสารละลายเพคตินทำปฏิกิริยากับ

แคลเซียมไอออนหลังจากทำให้เจลแห้ง จะเกิดเป็นฟิล์มเพกทินเน็ต มักใช้เคลือบบนผิวอาหารโดยตรง ฟิล์มนี้ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรักษาอาหาร (sacrificing agent) ป้องกันอาหารที่ห่อหุ้ม มิให้สูญเสียน้ำ เนื่องจากฟิล์มเพกทินเตอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้สูง ดังนั้นต้องทำให้ฟิล์มยอมให้การซึมผ่านไอน้ำลดลง โดยการเคลือบฟิล์มลปิดทับบนฟิล์มเพกทินเน็ตก่อนเพื่อให้ฟิล์มแห้ง จึงจะใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้กว้างขึ้น (Kester and Fennema. 1986)

ได้มีการศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930s ถึง ค.ศ. 1950s (Henglein *et al.* 1936 ; Maclay *et al.* 1947 ; Schultz *et al.* 1948,1949 ; Miers *et al.* 1953 ; Swenson *et al.* 1953) ส่วนมากจะศึกษาการเกิดฟิล์มโดยใช้อนุพันธ์เพคตินและใช้ polyvalent cation เช่น แคลเซียมไอออน โดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในการเคลือบอาหาร

Schultz *et al.* (1948,1949) ได้เตรียมฟิล์มจาก เพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำกว่า 11 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มจะลดลงเมื่อระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลเพิ่มขึ้น ฟิล์มจะมีความต้านทานแรงดึงขาดเท่ากับ  $9 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2$  เหมือนกับที่ไม่มีการเติมแคลเซียมไอออน และเมื่อไม่นานมานี้ Hind *et al.* (1978 in Coffin and Fishman. 1993) ก็ได้ทำการศึกษาคrosslinking และ carboxymethyl cellulose เพื่อใช้เป็นกระดาษห่อซิการ์ (cigarette papers)

สตาร์ชเป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ จึงมีการแนะนำให้นำมาประยุกต์ใช้เป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เช่น agricultural mulch และ pharmaceutical caplets (Otey *et al.* 1977,1980,1987) อะมิโลสนำมาประยุกต์ใช้กับอะมิโลเปกทินเป็นพื้นฐานและลักษณะเฉพาะในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้มากกว่า 40 ปีแล้ว (Wolff *et al.* 1951 ; Rankin *et al.* 1958 ; Mark *et al.* 1966) การใช้น้ำบริสุทธิ์ (water saturated) กับบิวทานอล (1-butanol) ละลายสตาร์ชเพื่อผลิตฟิล์มพบว่าฟิล์มที่ได้จะมีคุณสมบัติทางด้านกายภาพคล้ายกับฟิล์มพลาสติกที่จำหน่ายทางการค้า คือมีความต้านทานแรงดึงขาดประมาณ  $6 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2$  ถึงแม้จะมีความไวต่อน้ำและแตกหักง่าย คุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าเหมือนกับฟิล์มที่ผลิตได้เพคตินและสตาร์ช เมื่อไม่นานมานี้ Otey และคณะได้มีการใช้วัสดุที่มี thermoplastics เติมลงไปเพื่อให้ฟิล์มมีระดับความยืดหยุ่นสูงขึ้นและไม่แตกหักง่าย คาดว่าอะมิโลสที่เป็นส่วนที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและอะมิโลเพคตินที่เป็นส่วนที่มีโครงสร้างแบบกึ่ง สาขา สตาร์ชข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติดีขึ้น (Yound *et al.* 1984)

Coffin and Fishman (1993) ได้เตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากเพคตินส้ม (citrus pectin) ที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิล (degree of methyl esterification) 59,64 และ 74 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับอะมิโลสจากแป้งข้าวโพด (amylomaize) ที่มีปริมาณอะมิโลส 70 เปอร์เซ็นต์ อะมิโลเพคติน 30 เปอร์เซ็นต์ และ waxy maize ที่มีปริมาณอะมิโลเพคติน 100 เปอร์เซ็นต์ และใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีเซอริน (glycerine), โพลีเอทิลีนไกลคอล [poly(ethylene glycol)] หรือยูเรีย (urea) เป็นพลาสติกไซเซออร์ ในการเตรียมฟิล์มจะผสมเม็ดดินกับพลาสติกไซเซออร์ก่อนแล้วนำไปผสมกับสารละลายเจลาตินในสีของสตาร์ช แล้วนำมาขึ้นรูปบนแผ่น LEXAN ปล่อยให้แห้งแล้วลอกแผ่นฟิล์มออก พบว่าฟิล์มที่ผลิตจากเม็ดดินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและสตาร์ชมีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับของพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้เป็นส่วนผสม ส่วนของเม็ดดินที่ใช้นั้นพบว่า เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่จะทำในฟิล์มมีคุณสมบัติที่ดี ระดับของกลีเซอรินในฟิล์มจะมีผลต่อ tenacity และความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มอย่างเห็นได้ชัดจนที่สุด โดยจะมีค่าสูงขึ้นจากระดับ 9 เปอร์เซ็นต์ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ และจะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อถึงที่ระดับ 27 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์ทางสถิติก็พบว่าระดับของพลาสติกไซเซออร์สูงขึ้นไปจะทำให้ความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อระดับสตาร์ชเพิ่มขึ้น ฟิล์มก็จะแตกมากขึ้น และจะปรากฏมากที่สุดในตัวอย่างที่ได้เม็ดดินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำ สตาร์ชมีปริมาณอะมิโลสสูงฟิล์มที่ผลิตได้จะมีแรงต้านทานการดึงขาด และความสามารถในการยืดตัวสูงกว่าฟิล์มที่ผลิตได้วัตถุดิบที่มีปริมาณอะมิโล-เปกตินสูง

Coffin and Fishman (1994) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเชิงกลของฟิล์มที่รับภาระได้จากเม็ดดินลัม ที่มี Degree of methyl esterification 71% และแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราส่วนเม็ดดิน ต่อ แป้งข้าวโพด ในอัตรา 90 ต่อ 10 , 70 ต่อ 30 และ 55 ต่อ 45 โดยในแต่ละสูตรจะใช้กลีเซอรินเป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ระดับความเข้มข้น 16 , 30 , 45 , 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองจะนำแป้งข้าวโพดมาเจลาตินในสีก่อนด้วยไมโครเวฟ หลังจากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องนาน 25 นาที แล้วนำมาผสมกับสารละลายเม็ดดินและกลีเซอริน ผสมนาน 1-2 ชั่วโมง แล้วนำมาขึ้นรูปบนแผ่นกระจก ทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง แล้วลอกออก นำฟิล์มที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชิงกล พบว่า ฟิล์มที่ผลิตจากเม็ดดิน ต่อ แป้งข้าวโพด ในอัตราส่วน 90 ต่อ 10 กลีเซอรอลร้อยละ 16 และ 30 จะมีความสามารถในการยืดตัว (elongation) น้อยกว่าร้อยละ 2 และความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) มีค่าประมาณ  $2.5 \times 10^8$  dynes/cm<sup>2</sup> ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 45 ความสามารถในการยืดตัวจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5 ส่วนความต้านทานแรงดึงขาดจะเพิ่มขึ้นถึง  $2.5 \times 10^8$  dynes/cm<sup>2</sup> และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากเมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 โดยพบว่าความสามารถในการยืดตัวจะเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 13 การต้านทานแรงดึงขาดลดลงต่ำกว่า  $2 \times 10^8$  dynes/cm<sup>2</sup> และที่ความเข้มข้นร้อยละ 75 ความต้านทานแรงดึงขาดจะลดลงถึง  $3 \times 10^7$  dynes/cm<sup>2</sup> และเมื่อทำการทดสอบความทนทานทางด้านความร้อนพบว่าเมื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า storage modulus จะลดลงจนเกือบจะเป็นเส้นตรง และจะลดลงมากเมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ส่วนค่า loss modulus ก็เช่นเดียวกัน การใช้อัตราส่วนเม็ดดินต่อแป้งข้าว

โพดที่ระดับ 70 ต่อ 30 ระดับกลีเซอรอลมีผลต่อคุณสมบัติทางด้านเชิงกลเช่นเดียวกับที่ระดับ 90 ต่อ 10 แต่ที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 60 และ 75 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า modulus จะไม่ลดลงมากเหมือนกับที่ระดับ 90 ต่อ 10 ส่วนการใช้ที่ระดับ 55 ต่อ 45 พบว่าปริมาณกลีเซอรอลไม่มีผลต่อค่า storage modulus และ loss modulus และค่า storage modulus และ loss modulus จะลดลงเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่า 180 องศาเซลเซียส

2.4.1.1.4 พิล์มคาราจีแนน (carrageenan) เป็นกลุ่มสารโพลีแซคคาไรด์ ซัลเฟต สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง เมื่อนำสารละลายคาราจีแนนร้อนแล้วทำให้เย็นจะเกิดเป็นเจล เจลคาราจีแนนที่ใช้เคลือบอาหารจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรักษาอาหาร โดยป้องกันการสูญเสีย ความชื้นในอาหารที่ห่อหุ้มไว้ มักใช้เคลือบชั้นเนยแข็งเทียมกึ่งขึ้น (intermediate moisture cheese analog) ด้วยเจลผสมคาราจีแนนและวุ้น (agarose) ที่มีกรดซอร์บิกอยู่ด้วย มีผลทำให้จุลินทรีย์เติบโตบนผิวผลิตภัณฑ์ไม่ได้ (Kester and Fennema, 1986)

2.4.1.2 พิล์มลิปิด (lipid film) การใช้ไขมันห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารมีมานานแล้ว ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน (confectionary) เช่นการเคลือบช็อกโกแลตหรือใช้กับผักผลไม้ เช่น การเคลือบผลไม้ด้วยไข (wax) สารประกอบลิปิดหลายชนิดรวมทั้งอะเซทิลโมโนกลีเซอไรด์ (acetylate monoglyceride) ไชธรรมชาติ (natural wax) และสารตึงผิว (surfactant) นำมาใช้เป็นสารเคลือบได้โดยทั่วไป การเคลือบอาหารด้วยลิปิดก็เพื่อป้องกันการถ่ายเทความชื้น แต่ในกรณี การเคลือบผลไม้ด้วยลิปิดจะให้ผลอย่างอื่น เช่น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างขนถ่ายมิ ให้เกิดรอยข้ำ (soft scald) หรือเคลือบผลแอปเปิลทันทีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อป้องกันมิให้เกิดสีน้ำตาลด้วยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันต่าง ๆ (เช่น ลอริก ปาล์มิก สเตียริก โอเลอิก ลิโนลอิก และลิโนเลนิก เป็นต้น) หรือน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และลซิทิน (มณฑาทิพย์ ยუნฉลาด, 2535) พิล์มลิปิด ได้แก่

2.4.1.2.1 อะซีทิลเลทโมโนกลีเซอไรด์ (acetylated monoglyceride) ในสถานะของแข็งสามารถเกิดโพลีเมอร์ในรูป  $\alpha$  ซึ่งความคงตัวของผลึก  $\alpha$  จะคงตัวได้ดีที่อุณหภูมิห้อง ผลึกจะมีลักษณะมันเงาและไม่ยอมให้น้ำและความชื้นซึมผ่าน ความสามารถในการยึดหยุ่นของซีทิลเลทโมโนกลีเซอไรด์ในรูปโพลีเมอร์  $\alpha$  เกิดการกระจายตัวภายในสายโพลีเมอร์คล้ายกับคริสตอล (cystal) ขณะยึดตัวหรือแผ่ ลำดับของการจัดเรียงตัวเป็นผลึกหรือการเกิดผลึกถูกทำให้เพิ่มขึ้นโดยแถวของผลึกที่อยู่ข้าง ๆ โดยผลึกจะเกิดเป็นแถวมากขึ้น

Feuge (1953) และ Lovegren and Feuge (1954) ได้ศึกษาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ผ่านการเคลือบด้วย อะซีทิลเลทโมโนกลีเซอไรด์ คุณสมบัติในการขวางกั้นจะดีขึ้นเมื่อเกิดการแทนที่ด้วยหมู่อะซีทิลเลท (acetylated) เพิ่มมากขึ้น เหตุผลนี้เนื่องจากการลดลง

ของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) อีสารซึ่งทำปฏิกิริยาโดยตรงกับโมเลกุลของน้ำที่ผ่านสารเคลือบเข้ามา การซึมผ่านของไอน้ำที่ 15 องศาเซลเซียส ผ่านฟิล์ม จะเกิดขึ้นกับเกรดและความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรตต้องอยู่ในช่วง 10.1-24.0 และ 34.4-67.4 g H<sub>2</sub>O. mil./m<sup>2</sup>/day/mmHg (100% RH ส่วนที่ผ่านฟิล์ม) การซึมผ่านของไอน้ำของอะซิติกเลทโมโนกลีเซอไรด์เมื่อพิจารณาแล้ว จะน้อยกว่าโพลีแซคคาไรด์ตัวอื่น ๆ เช่น เอทิลและเมทิลเซลลูโลส

ความต้านทานการส่งผ่านความชื้นของ อะซิติกเลทโมโนกลีเซอไรด์ จะขึ้นกับความแตกต่างความดันไอที่ผ่านฟิล์ม (Lovegren and Feuge. 1954) เมื่อด้านหนึ่งของฟิล์มยังคงมีความดัน 0 มิลลิเมตรปรอทและความดันไอด้านเพิ่มจาก 6.2 เป็น 18.2 มิลลิเมตรปรอท การซึมผ่าน (permeability) จะเพิ่มเป็น 3 เท่า การซึมผ่านของไอน้ำยังเพิ่มจากปัจจัยอื่น ๆ โดยคาดเดาได้จาก Fick' law กฎของการแพร่

2.4.1.2.2 ไข (wax) ฟิล์มไขที่รับปะทานได้ ความชื้นจะซึมผ่านได้ต่ำมาก และต่ำกว่าฟิล์มลิปิดส่วนใหญ่ โดยเฉพาะไขพาราฟิน (paraffin wax) และขี้ผึ้ง นอกจากนี้ฟิล์มไขยังลดอัตราการแพร่กระจายของเกลือเบนโซเอต เข้าสู่อาหารได้ดี อาทิฟิล์มจากไขพาราฟิน และคาร์บูบา (camuba) ในขณะที่ฟิล์มจากขี้ผึ้งให้ผลดังกล่าวต่ำกว่าเพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้ฟิล์มไขในการรักษาความเข้มข้นของสารกันเสียที่ผิวของผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน (Kester and Fennema. 1986)

การเคลือบไขมักใช้กับผักผลไม้สด เช่น ส้ม แอปเปิล กล้วย แดง มันเทศ มะนาว เป็นต้น เพื่อยืดอายุการเก็บหลังการเก็บเกี่ยว โดยเคลือบฟิล์มลิปิดเสริมที่ผิวผักผลไม้แทนสารเคลือบผิว (cuticle) อันเป็นไฮดรอมชาติที่ถูกชะล้างได้ง่าย อันมีผลให้เนื้อเยื่อมีอัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มอีกหลายเท่า และทำให้อัตราการหายใจของผักผลไม้สูงขึ้นด้วย ด้วยเหตุดังกล่าวจึงทำให้ผักผลไม้เก็บได้นาน (Hall. 1966 ; Kaplan. 1986)

2.4.1.2.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) การเคลือบอาหารด้วยสารตึงผิว จะช่วยลดค่า  $A_w$  ที่ผิวหน้า (superficial water activity) และลดอัตราการระเหย ค่า  $A_w$  ที่ผิวหน้าจะเกี่ยวพันกับอัตราการสูญเสียน้ำจากผลิตภัณฑ์อาหาร สารเคลือบที่ให้ผลดี ได้แก่ แอลกอฮอล์ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ (fatty alcohol) ที่มีคาร์บอน 16-18 ตัวกลีเซอรอลโมโนปาลมิเตท (glycerol monopalmitate) และกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (glycerol monostearate)  $A_w$  ที่ผิวหน้าจะมีผลต่อการเสื่อมสภาพของอาหาร เช่น ถ้าอาหารมี  $A_w$  ที่ผิวหน้าต่ำจะชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ลดปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วย ดังนั้นสารตึงผิวจึงสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพได้ นอกจากนี้ฟิล์มสารตึงผิวยังช่วยป้องกันการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ในมันฝรั่งซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสารพิษ glycoalkloid เนื่องจากสารตึงผิวช่วยลดการคายคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ที่บริเวณเปลือกมันฝรั่ง ทำให้เม็ดคลอโรพลาสต์เกิดการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์จนถึงระดับ

ที่จะยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ได้ จึงมีการเคลือบมันฝรั่งด้วยสารตั้งผิวจำพวกเลซิทิน (lecithin) หรือไฮดรอกซีเลทเลซิทิน (hydroxylated lecithin) หรือโพสเฟอริเบต ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า ทวิน (tween) โดยจะใช้ได้ผลในสถานะ สารละลายเหลวที่มีความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นวิกฤติของ micell นั่นคือ micell ของสารตั้งผิวสามารถต้านทานการผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้แล้วผลของทวินจะดีขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับ Adjuvants (Wu and Salunkhe. 1978)

2.4.1.3 พิล์มโปรตีน การศึกษาฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนยังมีน้อยมาก เมื่อเทียบกับฟิล์มจากโพลีแซคคาไรด์ ฟิล์มโปรตีนมีคุณสมบัติเด่นในแง่ยอมให้ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้ในระดับต่ำ แต่เป็นตัวกันไอน้ำที่ไม่ดี เนื่องจากลักษณะธรรมชาติที่ชอบน้ำ (hydrophilic property) (Mchuge and Korchta. 1994) พบว่าชนิดของโปรตีนที่ทำให้เกิดฟิล์มได้ ได้แก่ คอลลาเจน เจลาติน เคซีน เวย์โปรตีน (whey protein) เซอีนของข้าวโพด (corn zein) กลูเตนของข้าวสาลี (wheat gluten) โปรตีนจากถั่วเหลือง (soy protein) และโปรตีนจากถั่วเขียว (mungbean protein) โดยมีการใช้คอร์นเซอีนเป็นสารเคลือบ (coating agent) ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน (confectionary) ในระดับการค้า (Gennadios *et al.* 1993)

2.4.1.3.1 พิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี กลูเตนเป็นโปรตีนข้าวสาลีที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วยไกลอะดีน (gliadin) ร้อยละ 75 (เป็นส่วนที่ละลายในแอลกอฮอล์) ที่เหลือเป็นกลูเทนิน (glutenin ไม่ละลายในแอลกอฮอล์) ส่วนประกอบทั้งสองนี้มีพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide) ซึ่งมีบทบาทในการเกิดฟิล์มกลูเตนทำให้มีลักษณะการยืดเกาะและมีความยืดหยุ่นดี ฟิล์มกลูเตนมีความแข็งแรง ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้น้อย แต่เป็นฟิล์มที่ขึ้นง่าย (hydrophilic) จึงมีการนำกลูเตนมาใช้ร่วมกับสารอื่นเพื่อใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น เช่น ใช้เคลือบถั่วลิสงอบแห้งก่อนเติมเกลือ ใช้ทำแคปซูลบรรจุสี และสารให้กลิ่นรส เพื่อใช้เติมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น (Gennadios and Weller. 1990)

2.4.1.3.2 พิล์มจากโปรตีนข้าวโพด หรือเซอีน (zein) เป็นโปรตีนข้าวโพดกลุ่มหนึ่งที่จะละลายในแอลกอฮอล์ 70% ที่เรียกว่าโพรลามีน (prolamine) สามารถผลิตได้ในทางการค้า เซอีน ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่ไม่มีซัลเฟอร์และไม่ชอบรวมตัวกับน้ำ (hydrophobic) เช่น ลูซีน (leucine) อะลานีน (alanine) และโพรลีน (proline) ในปริมาณสูง จึงทำให้ เซอีน ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในแอลกอฮอล์บริสุทธิ์และยังประกอบด้วยกรดกลูตามิก (glutamic acid) ในรูปกลูตามีน (glutamine) เป็นส่วนใหญ่ จึงใช้เซอีน เคลือบเมล็ดยาและผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ถั่ว ผลไม้แห้ง เยลลี่ การเคลือบด้วยเซอีน แบบแชลแล็คจะให้ผลดี เพราะมีอัตราการแห้งเร็วกว่าทำให้ความคงตัวเพิ่มขึ้น สามารถเก็บได้นานในสภาพที่มีความชื้นสูง นอกจากนี้ยังใช้เคลือบเปลือกไข่ให้รักษาคุณภาพไข่ รวมทั้งกลิ่นรสไข่ได้ และยังทำให้ไข่มีความต้านทานจุลินทรีย์สูงขึ้น ส่วนการเคลือบเซอีน บนผิวอาหารกึ่งชื้น (intermediate moisture food) นั้นได้เติมสารกันเสียลงไปด้วย ลดอัตรา

การแพร่กระจายของสารเคมีเข้าสู่อาหาร และรักษาความเข้มข้นของสารที่ผิวไว้ได้นาน (Gennadios and Weller. 1990)

2.4.1.3.3 फिल्मจากโปรตีนถั่วเหลือง ได้จากน้ำนมถั่วเหลืองหรือสารละลายโปรตีนถั่วเหลืองสกัดนำมาให้ความร้อนในสภาวะที่เหมาะสม फिल्मที่ได้จะใช้เคลือบผิวถั่วเพื่อป้องกันการซึมออกของน้ำมัน หรือใช้โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นร่วมกับอัลบูมินในไข่หรือหุ้มเนื้อเพื่อป้องกันการสูญเสียกลิ่นรส และชะลอการสูญเสียน้ำ

Brandenburg *et. al.* (1993) ได้ทดลองทำฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง และมีการเติมอัลคาไรด์ลงไป (treated with alkali isolated protein : ATISP) โดยศึกษาถึงคุณสมบัติในการซึมผ่านของไอน้ำ การซึมผ่านของออกซิเจน และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (elongation percent) ของโปรตีนที่พีเอช 6, 8, 10 และ 12 พบว่าฟิล์ม ATISP ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ที่พีเอช 6 เนื่องจากเป็นจุดที่ใกล้เคียง Isoelectric point ของโปรตีนทั่วไป พีเอช 4.5 ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายต่ำ และที่พีเอช 8, 9, 10 และ 12 โปรตีนสามารถที่จะละลายได้ดี สามารถที่จะเกิดพันธะข้าม (cross link) ทำให้เกิดลักษณะโครงสร้างของฟิล์ม ค่าของการยืดตัว พบว่า ATISP จะให้ค่าที่สูง และการซึมผ่านของไอน้ำ ออกซิเจนคงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับ (isolate soy protein : ISP) फिल्मที่ได้จาก ATISP จะมีผิวที่เรียบ ฟองอากาศเกิดขึ้นน้อย ทั้งนี้เนื่องจากว่าโปรตีนมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า फिल्मที่ได้จึงแข็งแรง มีความหนาสม่ำเสมอ ไม่ปรากฏลักษณะที่เป็นตาข่าย (net work) สรุปว่าฟิล์มที่ได้จาก พีเอช 6 จะให้คุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ ทึบ มัว ขณะที่พีเอช 8 จะให้ลักษณะของฟิล์มที่สมบูรณ์ที่สุด

#### 2.4.1.3.4 फिल्मจากโปรตีนถั่วเขียว

Wimolrat and Athapol (1994) ศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนถั่วเขียวที่เหลือจากการผลิตวุ้นเส้นที่แยกได้โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกที่พีเอช 4.5 ทำการปั่นเหวี่ยงแยกส่วนที่เป็นโปรตีนออก และทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งแยกการผลิตจากโปรตีนเหลว (protein past) และโปรตีนผง (protein powder) การผลิตฟิล์มจะทำบนแผ่นพลาสติกและอบแห้งฟิล์มที่อุณหภูมิ  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งการทดลองใช้ความเข้มข้นของโปรตีนเท่ากับ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของกลีเซอรอลเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณโปรตีน 15 เปอร์เซ็นต์ ให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำต่ำสุด เท่ากับ  $16.58 \text{ g mil/m}^2/\text{day}$  และอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ  $4.321 \text{ mol/m.s. Pa} \cdot 10^{-16}$  แต่ค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่มีปริมาณโปรตีน 5 เปอร์เซ็นต์ กลีเซอรอล 0.5 เปอร์เซ็นต์ จะให้ค่าต่ำสุด फिल्मที่เตรียมจากโปรตีนเหลวจะให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และแรงยืดตัวสูงกว่า แต่อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนจะต่ำกว่าโปรตีนผง ซึ่งปริมาณโปรตีนและกลีเซอรอลที่เพิ่มสูงขึ้น จะให้คุณสมบัติทั้งหมดสูงขึ้นฟิล์มจาก

โปรตีนถั่วเขียวจะไม่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ แต่จะมีผลต่ออัตราการซึมผ่านของแก๊ส ออกซิเจนและไขมันได้สูง การทดลองได้ใช้ฟิล์มเคลือบผิวมะม่วงหิมพานต์และข้าวกล้องพบว่า สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชัน และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานด้วย

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ (2540) ได้ศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเขียว ที่แยกโปรตีนได้โดยใช้สารละลายไซเตียมคาร์บอนเนต 0.1 นอร์มัล ปรับพีเอช 4.5 โดยใช้กรด ไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการแยกสกัดโปรตีนออกจากถั่วเขียว 90 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการตกตะกอนโปรตีนออกจากสารละลายได้ 84.88 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัยในการศึกษากระบวนการในการผลิตฟิล์มมี 2 ปัจจัย คือ ปริมาณของเหลวต่อปริมาณของแข็ง (30 : 70, 20 : 80 และ 10 : 90) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อปริมาณโปรตีน(0.05 : 1, 0.10 : 1 0. และ 15 : 1) โดยใช้ความเข้มข้นของกลีเซอรอลคงที่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ผสมด้วยความเร็ว 180 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที นำมาเกลี่ยลงบนแผ่นกระจก และบิดโดยใช้ลูกกลิ้งให้เป็นแผ่นฟิล์ม แล้วจึงนำฟิล์มที่ได้มาอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง จะได้แผ่นฟิล์มบางสีเหลืองอ่อน ฟิล์มที่ได้จะทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี คือ ความชื้น, ความหนา, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ, ความต้านทานแรงดึงขาด, แรงยืดตัว และดัชนีการละลายน้ำ พบว่าฟิล์มที่ดีผลิตได้จากอัตราส่วนของปริมาณของเหลวต่อปริมาณของแข็ง(10 : 90) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อปริมาณโปรตีน(0.15 : 1) โดยมีความชื้น  $22.554 \pm 0.523$  เปอร์เซ็นต์ ความหนา  $0.2600 \pm 0.033$  มิลลิเมตร ซึ่งจะให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำสุด เท่ากับ  $4.750 \pm 0.871$  กรัม/ตารางเมตร/วัน ในขณะที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด เท่ากับ  $1.3280 \pm 0.118$  กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ในขณะที่ฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนของปริมาณของเหลวต่อของแข็งที่ระดับ 30 : 70 และปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อปริมาณโปรตีน(0.05 : 1) ให้ค่าการละลายน้ำได้ต่ำสุด เท่ากับ  $25.930 \pm 0.968$  เปอร์เซ็นต์

การศึกษาปัจจัยในการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม พบว่าปริมาณของเหลวต่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึงขาดลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง สำหรับความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

2.4.2 ส่วนพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) เป็นส่วนสำคัญในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้ การเติมลงไปเพื่อให้เกิดแผ่นฟิล์มได้ตินั้นจะต้องเอาชนะคุณสมบัติการแตกหัก ซึ่งมีสาเหตุมาจากแรงดึงดูดซึ่งมีมากระหว่างโมเลกุล การที่จะทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นดี นุ่มและมีความอ่อนตัว จะต้องทำให้แรงระหว่างโมเลกุลโพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง ดังนั้นพลาสติกไซเซอร์จึงเป็นสารที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติไม่ระเหย มีจุดเดือดสูง ไม่แยกตัวออกจากองค์ประกอบอื่นๆ และเมื่อเติมพลาสติกไซเซอรอลลงไปจะไปเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของสารนั้นและคุณสมบัติดังกล่าวสามารถป้องกันการแยกตัวออกมาของพลาสติกไซเซอรอลในระหว่างการทำแห้งฟิล์ม ในการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากโพลีเมอร์โดยไม่มีการใช้พลาสติกไซเซอรอลร่วมด้วยจะได้ฟิล์มที่เปราะมาก เนื่องจากพลาสติกไซเซอรอลจะช่วยลดแรงยึดจับระหว่างโมเลกุล (intermolecular force) ระหว่างสายโพลีเมอร์และช่วยทำให้โพลีเมอร์มีการเคลื่อนตัวมากขึ้น จึงมีผลทำให้ฟิล์มมีลักษณะไม่เป็นชั้นเล็ก ๆ หรือแตกหักง่าย แต่พลาสติกไซเซอรอลจะไปลดคุณสมบัติในการเป็นตัวกั้นก๊าซ ไอน้ำ และตัวถูกละลายของฟิล์ม และยังอาจทำให้ความยืดหยุ่นและการเกาะตัวกันลดลงด้วย (Gontard *et al.* 1993 ; Mchuge and Krochta. 1994)

ชนิดของพลาสติกไซเซอรอลที่ใช้สำหรับการเตรียมฟิล์ม คือ

2.4.2.1 โพลีอัล (polyol) ได้แก่ กลีเซอรอล (glycerol) ซอร์บิทอล (sorbitol) และโพรเพนไดออล (propanediol)

2.4.2.2 โมโน ได หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (mono, di หรือ oligosaccharide)

2.4.2.3 ไขมันและอนุพันธ์ของไขมัน เช่น กรดปาล์มิติก (palmitic acid)

นอกจากนี้ยังเป็นพลาสติกไซเซอรอลที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งจะมีผลเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฟิล์มที่รับประทานได้ในระหว่างการเก็บรักษา

Mark *et al.* (1966) ศึกษาการเตรียมฟิล์มจาก amylo maize starch ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 71 ขึ้นรูปบนแผ่นกระจกเคลือบซิลิโคนแล้วนำไปทำแห้งโดยใช้ลมร้อนพบว่า ฟิล์มที่ได้ทั้งที่มีการใช้กลีเซอรอลร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก และฟิล์มที่ไม่ใช้กลีเซอรอลไม่พบการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียสในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 100

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด (2534) ทดลองใช้กลีเซอรอลในออบเลตฟิล์ม 3 สูตร คือ สูตรไขมันเทศและวุ้น (สูตรที่ 1) สูตรไขมันเทศและอะมิโลส (1:1) และวุ้น (สูตรที่ 2) และอะมิโลสและวุ้น (สูตรที่ 3) โดยใช้กลีเซอรอลร้อยละ 0, 0.25 และ 0.5 โดยน้ำหนักของสารละลายพบว่า แผ่นฟิล์มที่ได้มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดและอัตราการซึมผ่านของแก๊สแปรผกผันกับปริมาณกลีเซอรอลที่เติมลงไป ส่วนค่าการยึดตัว ค่าการต้านทานแรงฉีกขาดและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีแปรผันตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น

Park *et al.* (1993) ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของพลาสติกไซเซอ ต่อฟิล์มเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส โดยใช้พลาสติกไซเซอ 3 ชนิด คือ โพลีเอทิลีนไกลคอล โพรพิลีนไกลคอล และกลีเซอรอล ที่ความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0.17, 0.33, 0.50 และ 0.66 มิลลิลิตรพลาสติกไซเซอต่อกรัมเซลลูโลส และควบคุมความหนาของแผ่นฟิล์มพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้ความเข้มข้นพลาสติกไซเซอร์เพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม 2 ชนิดลดลง แต่ค่าการยืดตัวเพิ่มขึ้น และการเพิ่มความเข้มข้นของโพลีเอทิลีนไกลคอลมีผลต่อการเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มมากกว่าพลาสติกไซเซอร์อีก 2 ชนิด ส่วนคุณสมบัติในการขวางกั้นพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพรพิลีนไกลคอล ค่าการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สออกซิเจนของฟิล์มทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น ส่วนโพลีเอทิลีนไกลคอล ไม่มีผลต่อค่าทั้งสองนี้โดยพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้น 0.33 มิลลิลิตรพลาสติกไซเซอร์ต่อกรัมเซลลูโลส ค่าทั้งสองมีค่าสูงสุด สำหรับกลีเซอริน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจนถึง 0.33 มิลลิลิตรพลาสติกไซเซอร์ต่อกรัมเซลลูโลส ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น แต่ใช้ความเข้มข้นมากกว่านี้ค่าจะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของกลีเซอรินไม่มีผลต่อค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มทั้งสองชนิด

เกศศิณี ตระกูลทิวาร และคณะ (2539) ศึกษาคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าหรือแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอล หรือกลีเซอรินโมโนสเตียเรตในปริมาณร้อยละ 0.2, 5 และ 10 ซึ่งผ่านการดัดแปลงโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันพบว่า ปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้แผ่นฟิล์มมีความเรียบขึ้น แต่ความคงทนต่อการแตกเมื่อพับลดลง การผสมกลีเซอรินโมโนสเตียเรตในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ไม่ทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะดีขึ้น ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอลมีลักษณะใสและยืดหยุ่นดี ส่วนฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าผสมกลีเซอรอลมีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นน้อยกว่า

ส่วนฟิล์มโปรตีนมีงานวิจัยหลายเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลาสติกไซเซอร์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม

Gontard *et al.* (1993) ได้ศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในฟิล์มที่รับประทานได้จากกลูเต็นข้าวสาลี โดยการศึกษาถึงผลการเป็นตัวกั้นไอน้ำและแรงเชิงกล ปกติโมเลกุลเต็นฟิล์มที่ไม่มีการใช้พลาสติกไซเซอร์ จะมีความเปราะมาก เนื่องจากในโมเลกุลเต็นมีกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine) สูงประมาณ 45-เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของโปรตีนมาก จึงเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโปรตีนโมเลกุลมาก ฟิล์มที่ได้จึงเกาะตัวกันและมีความอ่อนตัวต่ำ ผลของการศึกษาพบว่าการเติมกลีเซอรอลลงไป ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้กลูเต็นฟิล์มมีคุณสมบัติในการเป็นตัวกั้นไอน้ำและทำให้ทนต่อแรงเชิงกลได้ดี โดยความเข้มข้นสูงกว่า 15 กรัม ต่อ 100 กรัมของฟิล์มแห้ง จะไปมีผลลดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เนื่องจากแรงกดทะลุ และ relaxation coefficient ได้ เนื่องจากลักษณะของกลีเซอรอลเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติในการชอบน้ำโดยธรรมชาติ จึงสามารถที่จะแทรกเข้าไปในระหว่างสายโปรตีนและเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่เอไมด์ (amide group) ของกลูเตนได้ เป็นผลให้เกิดการจับกันโดยตรงระหว่างสายโปรตีนซึ่งการอยู่ใกล้กันของโปรตีนนี้ จะสามารถทำให้แรงเค้น (stress) ลดลง มีการเคลื่อนที่ของสายโปรตีนมากขึ้น ทำให้ฟิล์มสามารถที่จะแผ่ขยายได้ดีขึ้น แต่กลีเซอรอลก็จะส่ง

ผลทางลบ คือ ทำให้อัตราการซึมผ่าน (transmission rate) ของไอน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะกลีเซอรอลไปทำให้โครงสร้างของโปรตีนแบบตาข่าย (protein network) มีความหนาแน่นลดลง และผลของการเป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำจึงสามารถทำให้ฟิล์มดูดซับน้ำได้ดีขึ้น มีผลทำให้ความแข็งแรงและยืดหยุ่นของฟิล์มลดลง ปริมาณกลีเซอรอลที่ 16.6 กรัมต่อ 100 กรัม จะสามารถทำให้ฟิล์มแห้ง และมีคุณภาพดี

McHugh *et al.* (1994) รายงานผลของพลาสติกไซเซออร์ต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มโปรตีนเวย์ที่มีความหนาใกล้เคียงกันโดยใช้พลาสติกไซเซออร์ 3 ชนิด คือ โพลีเอทิลีนไกลคอล กลีเซอรอล และซอร์บิทอล ในความเข้มข้นร้อยละ 37.5 และ 50 ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายพบว่า เมื่อความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์เท่ากับฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลมีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าพลาสติกไซเซออร์ทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้พลาสติกไซเซออร์ชนิดเดียวกันถ้าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าการซึมผ่านไอน้ำจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงการใส่กลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 60 ในฟิล์มโปรตีนเวย์ พบว่าค่าการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจาก 0.6 ถึง 7.6 กรัม.มิลลิเมตรต่อกิโลกรัมต่อปาสคาลต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร

Gennadios *et al.* (1996) ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากโปรตีนไข่ขาว (egg albumin) ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 30, 40 และ 50 หรือโพลีเอทิลีนไกลคอลหรือซอร์บิทอลร้อยละ 50 และ 60 โดยน้ำหนักของโปรตีน พบว่า ฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลร้อยละ 50 มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด ฟิล์มที่ใช้โพลีเอทิลีนไกลคอลมีค่าการยืดตัวสูงที่สุด และฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลหรือโพลีเอทิลีนไกลคอลมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดมากกว่าฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอล

## 2.5 การเกิดฟิล์ม

ฟิล์มบริโภคได้เกิดขึ้นจากการทำให้สารที่สามารถเกิดฟิล์มละลายหรือกระจายตัว แล้วใช้วิธีต่างๆ ในการแยกสารนั้นออกจากตัวทำละลาย เช่น การทำให้ตัวทำละลายระเหยไป การเติมอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้เกิดพันธะข้าม การปรับความเป็นกรด-เบส ซึ่งเรียกว่า โคแอกเซอร์เวชัน (coacervation) หรือโดยการทำให้สารที่เกิดฟิล์มซึ่งหลอมเหลวแข็งตัว (solidification) ฟิล์มรับประทานได้มีองค์ประกอบหลัก คือ โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งมีคุณสมบัติเกิดฟิล์มได้ ตัวทำละลายและสารเจือปนซึ่งเติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม (Kester and Fennema, 1986)

ในการเตรียมฟิล์มจะมีแรง 2 ชนิดที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ได้แก่ แรงโคฮีชัน (cohesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลโพลีเมอร์ด้วยกันเองจะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์มทำให้เกิดการเชื่อมต่อของผิวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุเดียวกันสร้างพันธะที่แข็งแรงซึ่งจะช่วยป้องกันหรือต้านทานการแยกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน ได้แก่ โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของโพลีเมอร์ ระบบการละลาย และสภาพในการเตรียมฟิล์ม โดยแรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่ การแผ่กิ่งก้านสาขา และการกระจายของกลุ่มที่มีขั้วอย่างมีระเบียบในสายโพลีเมอร์จะช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิกระหว่างสายโซ่ ทำให้มีความแข็งแรง การละลายของโพลีเมอร์ในการเตรียมฟิล์มยังผลต่อแรงโคฮีชัน คือ ถ้าโมเลกุลของโพลีเมอร์ละลายหรือขยายตัวได้มากที่สุดจะได้โครงสร้างซึ่งเชื่อมกันด้วยแรงโคฮีชันที่มาก ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง ส่วนสภาพในการเตรียมฟิล์มนั้น ควรเตรียมฟิล์มโดยใช้สารละลายที่อุ่น และทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้อัตราการระเหยตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของโพลีเมอร์ถูกตรึงก่อนที่จะเชื่อมกันอย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดรูเข็ม (pinholes) หรือทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอซึ่งทำให้การซึมผ่านของฟิล์มเพิ่มขึ้น ระดับของแรงโคฮีชันมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มได้แก่ ความหนาแน่น ความอัดแน่น (compactness) ความโปร่งเป็นรูพรุน (porosity) ความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) ความยืดหยุ่น (flexibility) และความเปราะ เป็นต้น ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่ง คือ แรงแอดฮีชัน (adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์มทำให้เกิดโครงร่างของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์กับพลาสติกไซเซอรซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มเช่นกัน (Banker, 1966)

Graham (1977) อธิบายการเกิดฟิล์มจากเมทิลเซลลูโลสว่า เมื่อละลายเมทิลเซลลูโลสในสารทำละลายจะเกิดขึ้นตอนต่าง ๆ คือ เกิดการพองตัวเนื่องจากมีโมเลกุลของสารทำละลายเข้าไปแทรกอยู่ขณะเดียวกันความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ต่อมาพันธะระหว่างสายโพลีเมอร์จะถูกทำลาย ทำให้สายโซ่เริ่มกระจายตัว ความหนืดลดลงและคงที่เมื่อการกระจายของโมเลกุลเกิดอย่างสมบูรณ์ ระหว่างการระเหยของสารทำละลาย สายโซ่จะเชื่อมต่อกันใหม่ได้แผ่นฟิล์มเมทิลเซลลูโลส ถ้ามีการเติมพลาสติกไซเซอรลงไปสารดังกล่าวจะไปแทรกอยู่ระหว่างสายโพลีเมอร์ ทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นดีขึ้น ส่วนการเกิดฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองนั้น Gennadios and Weller (1991) อธิบายว่า เมื่อให้ความร้อนน้ำมันถั่วเหลืองจนถึงระดับหนึ่ง จะทำให้โครงสร้างสามมิติของโปรตีนเปิดออก หมูซัลไฮดริล และสายโซ่ด้านข้างที่ไม่มีขั้วคลายตัว กลูเตนกระจายตัว ระหว่างการทำแห้งหรือสูญเสียน้ำที่ผิว โพลีเมอร์เหล่านี้จะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและเชื่อมกันเป็นโครงร่างแมทริกซ์ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ไฮโดรฟอบิก และพันธะไฮโดรเจน โดยในโครงร่างมีหยดน้ำมันกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ

## 2.6 การขึ้นรูปฟิล์ม

การขึ้นรูปฟิล์มสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ การขึ้นรูปที่รวดเร็วเป็นที่ต้องการในแง่ของอุตสาหกรรม แต่จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม เพื่อให้ฟิล์มขึ้นรูปไม่เร็วเกินไปมิฉะนั้นฟิล์มจะไม่สม่ำเสมอ ผิวหน้าขรุขระและแตกง่าย (Banker, 1966) วิธีการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มมีหลายวิธีด้วยกัน คือ

2.6.1 วิธีเทสารละลายลงบนวัสดุต่าง ๆ (solvent casting) ในปี 1966 Mark และเตรียมฟิล์มจากสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (amylomaize starch) โดยการเทลงบนแผ่นกระจกเคลือบซิลิโคนแล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน ฟิล์มที่ได้มีลักษณะโปร่งแสง ละลายน้ำได้ ต่อมา มีการเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและวุ้นขึ้นรูปโดยการเทส่วนผสมลงในถาดโลหะปลอดสนิม เขย่าถาดเบา ๆ จนส่วนผสมกระจายเต็มถาด ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ฟิล์มที่ได้มีสีขาวขุ่น เป็นเนื้อเดียวกัน มีความหนา 113 ไมโครเมตร (พนอจิต ธีบุญมงคลพงศ์, 2531) ต่อมาในปี 2534 มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด เตรียมฟิล์มแบบ ออบเลตจากสตาร์ชมันเทศและวุ้น สตาร์ชมันเทศและอะมิโลสและวุ้น และอะมิโลสและวุ้น โดยวิธีการที่คล้ายกัน คือ เทส่วนผสมลงในถาดโลหะปลอดสนิมที่ทำด้วยน้ำมันพืช แล้วทำให้ร้อนพอประมาณเอียงและเขย่าถาดเบา ๆ ทิ้งไว้ให้แผ่นฟิล์มเป็ยกคงรูปทำแห้งด้วยไอน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้มีความหนา 23-63 ไมโครเมตร

Kester and Fennema (1989) ขึ้นรูปฟิล์มจากเซลลูโลสอีเทอร์และไขมันบนแผ่นกระจกด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (thin-layer chromatography) แล้วนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้มีความหนาเฉลี่ย 0.01 มิลลิเมตร ปันดดา พวงเกษม (2537) ดัดแปลงวิธีนี้โดยขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเขียวบนแผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งขึงบนถาดเหล็กปลอดสนิมจนเรียบตั้งแล้วนำไปทำแห้งในตู้ออบแบบถาด (tray drier) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้โปร่งแสง พื้นผิวด้านที่สัมผัสกับพลาสติกเรียบมัน ส่วนด้านที่สัมผัสกับอากาศด้าน

2.6.2 วิธีเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) องค์ประกอบในการเตรียมฟิล์มได้แก่ สตาร์ชที่มีอะมิโลสร้อยละ 50-80 พลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 0-30 และน้ำร้อยละ 20-50 ฟิล์มที่ได้มีความหนาร้อยละ 7-15 ความหนา 1-4 มิล (1 มิล (mil) = 0.0254 มิลลิเมตร) (Mumma, 1967) แต่จะต้องมีการทำให้อะมิโลสเป็นสารเทอร์โมพลาสติกเทียมก่อนจึงจะขึ้นรูปวิธีนี้ได้

2.6.3 วิธีการทำแห้งด้วยลูกกลิ้ง (drum drier) Hullinger (1965) รายงานว่ามีการผลิตฟิล์มบริโภคได้จากสตาร์ช เรียกว่า ออบเลตฟิล์ม ซึ่งเตรียมจากการผสมสตาร์ชข้าวเจ้ากับกัมจากพืชเล็กน้อย ทำให้เป็นพลาสติกเงาแล้วขึ้นรูปเป็นฟิล์มบนลูกกลิ้งร้อน 103-108 องศาเซลเซียส

หมุนด้วยความเร็ว 70-110 วินาทีต่อรอบ นำฟิล์มที่ได้มาทำแห้งด้วยลมร้อนจนมีความชื้นร้อยละ 13 ฟิล์มมีลักษณะปรากฏเป็นดวง ๆ บางมาก เพราะแตกง่ายเมื่อเก็บรักษาโดยไม่ควบคุมความชื้น

## 2.7 ลักษณะทั่วไปของข้าวและแป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้าตามความหมายของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2529) ระบุว่าเป็นแป้งที่ได้จากข้าวขาว อาจเป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหักใหญ่ ข้าวหักหรือปลายข้าว ซึ่งได้จากการสีข้าวเปลือกที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ *Oryza sativa* L. ข้าวที่มีจำหน่ายทั่วไปสามารถจัดกลุ่มตามปริมาณอะมิโลสได้เป็น ข้าวเหนียว (มีอะมิโลสร้อยละ 1-2) ข้าวอะมิโลสต่ำ (มีร้อยละ 12-20) ข้าวอะมิโลสปานกลาง (มีร้อยละ 20-25) ข้าวอะมิโลสสูงปานกลาง (มีร้อยละ 25-27) และข้าวอะมิโลสสูง (มีมากกว่าร้อยละ 27) (Cagampang และคณะ, 1973) ถึงแม้จะเป็นข้าวพันธุ์เดียวกัน ความแตกต่างของปริมาณอะมิโลสอาจอยู่ในช่วงร้อยละ 4-5 ตามแหล่งปลูก พันธุ์ข้าวเจ้าของไทยมีปริมาณอะมิโลสตั้งแต่ต่ำจนถึงสูง และส่วนใหญ่จะมีอะมิโลสสูง อัตราส่วนขององค์ประกอบอะมิโลสและอะมิโลเปกตินแตกต่างกันตามชนิดและพันธุ์ของข้าว (งามชื่น คงเสรี. 2518) ตัวอย่างข้าวพันธุ์ที่มีอะมิโลสสูง ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข. 1 มีปริมาณอะมิโลสโดยเฉลี่ยร้อยละ 30.6 ข้าวพันธุ์ กข. 25 มีปริมาณอะมิโลสโดยเฉลี่ยร้อยละ 31.4 ส่วนข้าวพันธุ์ที่มีอะมิโลสต่ำ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข. 15 มีปริมาณอะมิโลสโดยเฉลี่ย 15.8 (ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. 2531)

โรงงานผลิตแป้งข้าวเจ้าในประเทศไทยมีตั้งแต่ระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น ที่ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชุนจิว จังหวัดนครปฐม มีกำลังผลิต 7,200 ตันต่อปี และบริษัทรีเมียร์ฟู้ดอินดัสตรี จำกัด มีกำลังผลิต 5,760 ตันต่อปี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโรงงานขนาดเล็กอีกหลายแห่ง (สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2528) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า (2529) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า (2529) กำหนดว่าแป้งข้าวเจ้าต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13.0 ปริมาณแป้งไม่น้อยกว่าร้อยละ 85.0 เถ้าไม่เกินร้อยละ 0.50 เถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่เกินร้อยละ 0.030 และปริมาณอะมิโลสไม่น้อยกว่าร้อยละ 15.0

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเปกติน ตีกร์การโพสโมรีไรซ์ในแป้งชนิดต่าง

แป้ง	ปริมาณ อะมิโลส %(น้ำหนัก/น้ำหนัก)	ปริมาณ อะมิโลเปกติน %(น้ำหนัก/น้ำหนัก)	ตีกร์การโพส- เมอริไรซ์ของ อะมิโลส	ตีกร์การโพส- เมอริไรซ์ของ อะมิโลเปกติน
ข้าวโพด	28	72	800	2,000,000
มันฝรั่ง	21	79	3,000	2,000,000
ข้าวสาลี	28	72	800	2,000,000
มันสำปะหลัง	17	83	-	2,000,000
แวกซีเมซ	0	100	-	2,000,000
ข้าวฟ่าง	28	72	-	-
ข้าวเจ้า	17	83	-	-
สาคุ	27	73	-	-
แอโรรุท	20	80	-	-
อะมิโลเมซ	50-80	20-50	-	-

ที่มา : Swinkels (1985)

### 2.7.1 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วย D(+) glucose unit ซึ่งอยู่ในรูป  $\alpha$  glucopyranose ring มีพันธะต่อกับอะตอมออกซิเจนที่ตำแหน่ง 1,4 แต่ละหน่วยของโครงสร้างมีพันธะเชื่อมเข้าด้วยกันทำให้โมเลกุลมีลักษณะคล้ายเส้นด้ายโดยทั่วไปประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ อะมิโลส และอะมิโลเปกติน โมเลกุลดังกล่าวจะมีสัดส่วนแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและสายพันธุ์ (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534)

อะมิโลส เป็นสารประกอบที่สลับซับซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสจำนวนมาก โดยมีโครงสร้างเป็นแนวยาว เมื่อย้อมสีด้วยไอโอดีนจะมีสีน้ำเงิน เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดและทำให้เย็นจะเกิดกระบวนการคืนตัวเป็นของแข็ง (retrogradation)

Rutenberg (1980) ได้กล่าวว่าจากการศึกษาลักษณะการพองตัวและรูปแบบการหักเหด้วยรังสีเอกซ์ของแป้งชนิดต่าง ๆ รวมทั้งการตรวจเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบกราดลำแสงให้เห็นภาพโครงสร้างซึ่งเกิดจากการผสมผสานระหว่างส่วนของเส้นตรงกับส่วนกึ่งก้านของโมเลกุลแป้งและการจัดตัวอย่างเป็นระเบียบของเม็ดแป้งโดยมีอะมิโลเปกตินเป็นปัจจัยหลักของเม็ดแป้งซึ่ง

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึกที่มีความเป็นระเบียบสูงและส่วนที่เป็นอสัณฐานมีการจัดตัวอย่างเป็นระเบียบน้อยกว่าส่วนที่เป็นผลึกเกิดจากส่วนที่เป็นเส้นตรงของโมเลกุลอะมิโลเปกตินจัดเรียงตัวในแนวขนานมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นสายโมเลกุลยึดจับสายโซ่โมเลกุลเข้าด้วยกันทำให้เกิดมัดของรูปผลึกรวมเข้าด้วยกันจึงเห็นเป็นแถบวงแหวนของไมเซลล์ ซึ่งลักษณะของไมเซลล์ในแป้งปรกติจะเห็นได้จากการเกิดรอยกากบาทเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสงโพลาไรซ์ นอกจากนี้ในเม็ดแป้งยังมีส่วนของโมเลกุลเส้นตรงของอะมิโลสที่มีขนาดใหญ่มาเกาะเกี่ยวกับส่วนที่เป็นผลึกของอะมิโลเปกตินทำให้เกิดรูปผลึกผสมจึงเห็นส่วนรูปผลึกเป็นร่างแหสามมิติ ส่วนที่เป็นอสัณฐานนั้น ได้แก่ ส่วนที่เหลือของอะมิโลเปกตินซึ่งเป็นกิ่งก้านเรียงตัวกระจายไม่เป็นระเบียบ จัดตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างไมเซลล์อย่างไม่หนาแน่น รวมทั้งส่วนอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วย ดังนั้นส่วนไมเซลล์เหล่านี้ยังทำหน้าที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งเข้าด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Tegge, 1984) สารแขวนลอยแป้งที่ถูกกับความร้อนจะแสดงสมบัติที่มีพฤติกรรมหลายอย่างสัมพันธ์กัน ได้แก่ การพองตัว การละลาย การเกิดเจลาติโนเซชัน การเกิดรีโทกราเดชัน และความข้นหนืด

### 2.7.2 การพองตัวและการละลาย

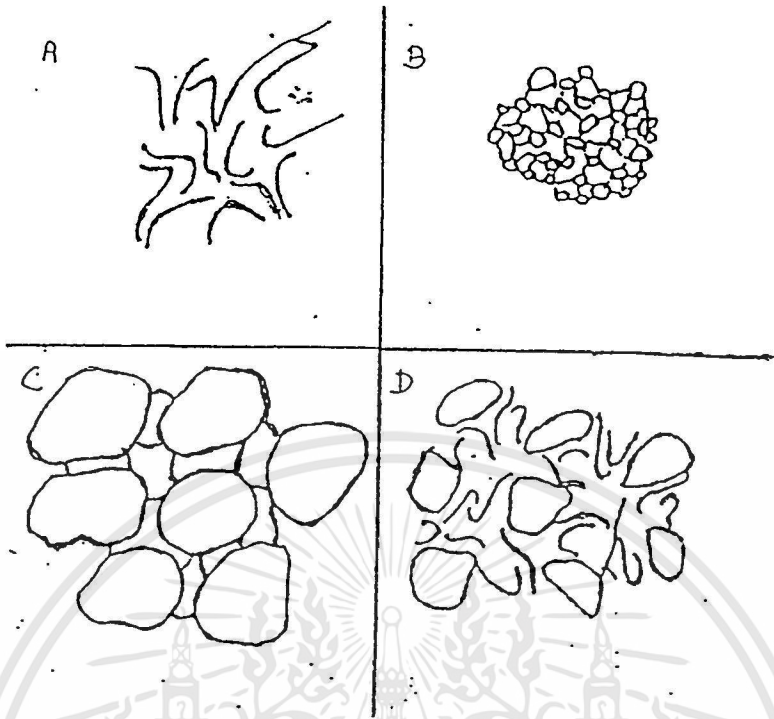
เม็ดแป้งไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจึงสามารถสกัดแป้งออกจากแหล่งวัตถุดิบได้ด้วยน้ำในระบบการไม่แป้ง ความสามารถในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโมเลกุลของแป้งเข้าด้วยกันมีการเปลี่ยนแปลง โมเลกุลของแป้งจึงแยกออกจากกันและเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำขึ้น การพองตัวของเม็ดแป้งจะเกิดเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างขององค์ประกอบหลักของเม็ดแป้ง ซึ่งองค์ประกอบหลักนั้นมีอัตราส่วนของส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานต่างกัน เม็ดแป้งที่มีส่วนผลึกมากจะมีพันธะไฮโดรเจนหนาแน่น ทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งแข็งแรงกว่า โดยทั่วไปส่วนที่เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้งจะแข็งแรงน้อยกว่าส่วนที่เป็นผลึก จึงทำให้ส่วนที่เป็นอสัณฐานพองตัวได้ก่อนและสูงมากเมื่อถึงระดับอุณหภูมิหนึ่งจะทำให้ส่วนที่เป็นผลึกซึ่งมีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบเป็นรูปวงแหวนเริ่มบิดเบี้ยวไปที่อุณหภูมินั้น เรียกว่าอุณหภูมิเจลาติโนเซชัน แสดงว่าโมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึกมีการดูดซับน้ำไว้บางทำให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้น โมเลกุลในส่วนที่เป็นรูปผลึกที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้แต่อาจมีโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพกตินซึ่งมีขนาดเล็กและเป็นอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ สารแขวนลอยแป้งจะมีความหนืดสูงสุดจนในที่สุดเม็ดแป้งก็จะแตก (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2534)

### 2.7.3 การเกิดเจลาติโนเซชันด้วยความร้อน

โดยทั่วไปแป้งจะไม่ละลายในน้ำเย็น เนื่องจากการจัดเรียงในส่วนที่เป็นผลึกของโมเลกุลเป็นไปอย่างมีระเบียบและซับซ้อนกัน โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันจะเกาะเกี่ยวด้วยแรงพอเหมาะซึ่งกันและกัน โอกาสที่น้ำจะซึมเข้าไปในส่วนนี้จะน้อยมาก แต่น้ำอาจซึมเข้าไปในส่วนที่เป็น อสัณฐานของเม็ดแป้งซึ่งไม่แข็งแรง และมีกลุ่มไฮดรอกซิลจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนไว้บ้าง (Collision, 1968) แต่เมื่อสารแขวนลอยแป้งในน้ำเย็นได้รับความร้อนอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งจะสูญเสียรอยกักบาทเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสง โพลาไรซ์ก่อนที่จะเห็นการพองตัวของมัน ซึ่งเรียกว่าอุณหภูมิเจลาติโนเซชัน (gelatinization temperature or Birefringence End Point Temperature, BEPT) แสดงว่า โมเลกุลของแป้งในส่วนที่เป็นผลึกคลายตัวออก เกิดปฏิกิริยาการดูดน้ำและเกิดการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ ทำให้สารละลายของแป้งมีความหนืดและใสขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า เจลาติโนเซชัน

### 2.7.4 สมบัติบางประการของอะมิโลส

ในสภาพของอะมิโลสที่ละลายได้ อะมิโลสมีบทบาทในการเกิดเจลทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายซึ่งจับและกักน้ำเอาไว้ เชื่อมส่วนของเม็ดแป้งทำให้เพิ่มการเกาะเกี่ยวของโครงร่าง ตาข่ายอีกด้วย (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2534) Ott และ Hester (1965) ได้สรุปว่าปริมาณ อะมิโลสมีความจำเป็นต่อความคงตัวของโครงร่างของเจลและยังมีบทบาทสำคัญในระบบเจล ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยรูป 2.1.A เป็นโครงร่างของเจลอะมิโลส ถึงแม้จะมีเจลอะมิโลสเพียงเล็กน้อย ก็สามารถทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่อุ้มน้ำไว้ได้ รูป 2.1.B เป็นโครงร่างของเจลเมื่อมีแป้งเป็นส่วนเล็กน้อย ๆ ที่ดูดซับน้ำและพองตัวอย่างเต็มที่ รูป 2.1.C เป็นโครงร่างของเจลเมื่อมีแป้งเป็นส่วนเชื่อมต่อกันขนาดใหญ่ซึ่งดูดซับน้ำและพองตัว ปริมาณน้ำจำนวนมากถูกกักอยู่ในเม็ดแป้ง อะมิโลสเพียงระดับหนึ่งเท่านั้นที่จำเป็นในการเชื่อมให้เกิดโครงร่างตาข่ายซึ่งต่อเนื่องกัน รูป 2.1.D เป็นระบบของเจลซึ่งแสดงบทบาทของอะมิโลสในการกักเก็บน้ำ และเชื่อมส่วนของเม็ดแป้งที่เหลือให้เป็นโครงร่างตาข่ายเข้าด้วยกัน ปริมาณอะมิโลสที่จำเป็นต้องใช้จึงต่ำกว่าในระบบที่มีน้ำอิสระมาก ดังรูป 2.1.A หรือในระบบที่มีน้ำอิสระน้อย แต่มีเม็ดแป้งมาก ดังรูป 2.1.B



รูปที่ 2.1 หน้าที่ของอะมิโลสในระบบการเกิดเจล

A : เจลของอะมิโลสจับกับน้ำเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ

B : เจลกับชิ้นส่วนของแป้งที่พองตัวเชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างตาข่าย

C : เจลกับส่วนของแป้งที่เชื่อมต่อกันโดยมีการดูดซับน้ำและพองตัวมาก

D : เจลกับส่วนของแป้งที่เชื่อมต่อกันเมื่อไม่มีการดูดซับน้ำและพองตัวมาก

ที่มา : Ott และ Hester (1965)

## 2.8 เพคติน (Pectin)

### 2.8.1 แหล่งที่มาของเพคติน

เพคตินเป็นโพลีแซคคาไรด์เชิงซ้อนชนิดหนึ่งที่พบในผนังเซลล์ (cell wall) ของพืชชั้นสูง ถึงแม้ว่าเพคตินปกติจะเกิดขึ้นมากในเนื้อเยื่อของพืชที่ยึดติดอยู่กับองค์ประกอบของมิดเดิลลามลลา (middle lamellar) และส่วนที่เป็นความหนาของผนังเซลล์ แต่แหล่งของเพคตินที่ใช้ในทางการค้ามีค่อนข้างจำกัด เพราะความสามารถในการเกิดโครงสร้างของเจลของเพคติน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลและระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิล (Degree of methylation ; DM) แหล่งของเพคตินที่แตกต่างกัน เพคตินที่ได้ก็จะมีความสามารถในการเกิดเจลได้ในสภาวะที่ต่างกัน (Thakur *et al.* 1997)

เพคตินจำนวนมากพบอยู่ที่ผนังเซลล์ของผลไม้ เป็นสารอาหารที่สำคัญและมีความสำคัญเกี่ยวกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ เพราะมีคุณสมบัติในการเกิดเจลได้ (Westerlund *et al.* 1991) เพคตินได้จากของเหลือในกระบวนการผลิต (by-product) การผลิตน้ำผลไม้ เช่น แอปเปิล ส้ม และมะนาว (Kratchanova, 1991) เนื้อของหัวบีทที่ใช้ทำน้ำตาล (sugar-beet pulp) หรือของเหลือจากการสกัดน้ำตาล เป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นแหล่งที่ดีของเพคติน (Phatak *et al.* 1988) เพคตินที่มีคุณภาพดีได้จากเปลือกมะม่วงสุก (ripe mango peel) (Beerh *et al.* 1976)

เพคตินที่ใช้ในทางการค้ามาจากเปลือกของแอปเปิลที่คั้นน้ำออกแล้ว (apple pomace) และเนื้อของผลไม้จำพวกส้ม (Dominic, 1989) และแหล่งที่พบเพคตินที่สำคัญอีกก็ได้แก่หัวบีทที่ใช้ทำน้ำตาล (sugar beet) กากของส่วนหัวของเมล็ดทานตะวัน (residues from seedheads of sunflower) ปริมาณเพคตินในผลไม้ชนิดต่าง ๆ แสดงค่าได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณเพคตินในผลไม้บางชนิด

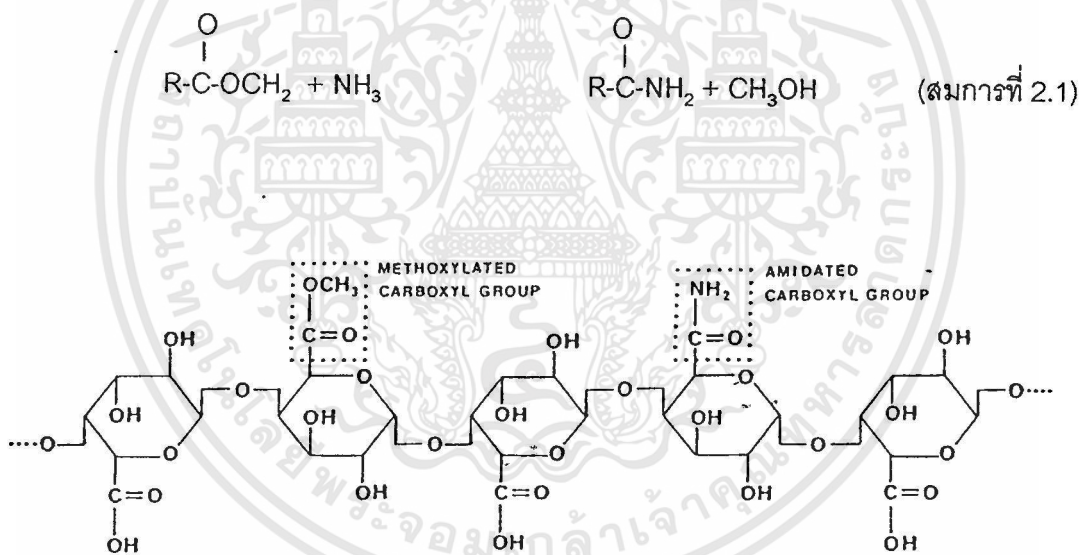
Fruit	% pectin substances (wet weight)
Apple (Malus spp.)	0.5-1.6
Apple pomace	1.5-2.5
Banana (Musa acuminata L.)	0.7-1.2
Beet pulp (Beta vulgaris)	1.0
Carambola (Averrhoa carambola)	0.66
Carrot (Daucus carota)	0.2-0.5
Giant granadilla (Passiflora quadrangularis L.)	0.4
Grava (Psidium guajava L.)	0.77-0.99
Lemon pulp (Citrus limon)	2.5-4.0
Lychee (Litchi chinesis S.)	0.42
Mango (Mangifera indica L.)	0.26-0.42
Orange peel (C. sinensis)	3.5-5.5
Papaya (Carcia papaya)	0.66-1.0
Passion fruit (Passiflora edulis S.)	0.5
Passion fruit rind	2.1-3.0
Peaches (Prunus persica)	0.1-0.9
Pineapple (Ananas comosus L.)	0.04-0.13
Strawberries (Fragaria ananassa)	0.6-0.7
Tamarind (Tamarindus indica L.)	1.71
Thimbleberry (Robus rosalfolius)	0.72
Tomato fruit ( Lycopersicon esculentum)	0.2-0.6

ที่มา : Thakur *et al.* (1997)

## 2.8.2 โครงสร้างทางเคมีของเพคติน

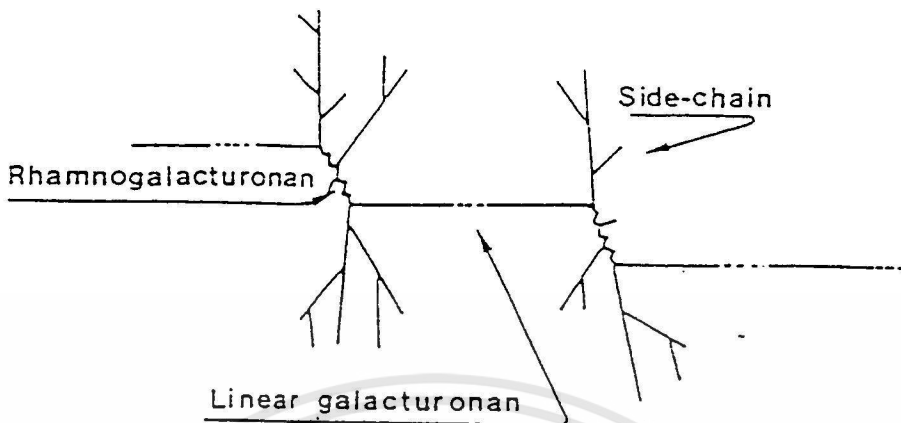
เพคตินเป็นโพลีแซคคาไรด์เชิงซ้อนที่ประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) 150-500 หน่วย (น้ำหนักโมเลกุล 30,000 - 100,000) และส่วนที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์ (esterified) กับกลุ่มเมทอกซี (methoxy group) (ดังรูปที่ 2.2) ส่วนที่เป็นสายโซ่ตรง (backbone chain) จะประกอบด้วย แอล-รามโนส (L-rhamnose) และส่วนที่เป็นสาขาหรือกิ่งกับสายโซ่หลักที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ประกอบด้วย บีต้า-ดี-กาแลคโทไพราโนส ( $\beta$ -D-galactopyranose) และ แอลฟา-แอล-อารบินอฟิวราโนส ( $\alpha$ -L-arabinofuranose) (ดังรูปที่ 2.3)

เปอร์เซ็นต์ของกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) ที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์ (esterified) เรียกระดับของการเอสเทอร์ไฟต์ (degree of esterification ; DE) เพคตินจะมีเปอร์เซ็นต์กลุ่มเมทอกซี (% methoxy group) สูง เมื่อใช้แอมโมเนียในการดีเอสเทอร์ไฟต์ (ammonia deesterify) ดังสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเพคติน (structure of pectin)

ที่มา : Dominic (1989)



รูปที่ 2.3 Schematic representation of pectin backbone showing the "hairy" regions (Rhamnogalacturonan and side chains) and "smooth" regions (linear galacturonan).

ที่มา : Thakur (1997)

### 2.8.3 การแบ่งกลุ่มเพคติน

เพคตินสามารถแบ่งกลุ่มได้โดยใช้ระดับการเอสเทอร์ไฟด์ (degree of esterification) คือ

2.8.3.1 เพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลสูง (High - methoxy pectin ;HM) จะมี DE มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถเกิดเจลได้เมื่อมีของแข็งที่ละลายได้เป็นตัวกลาง ปกติจะใช้ซูโครส มากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 2.0 - 3.5

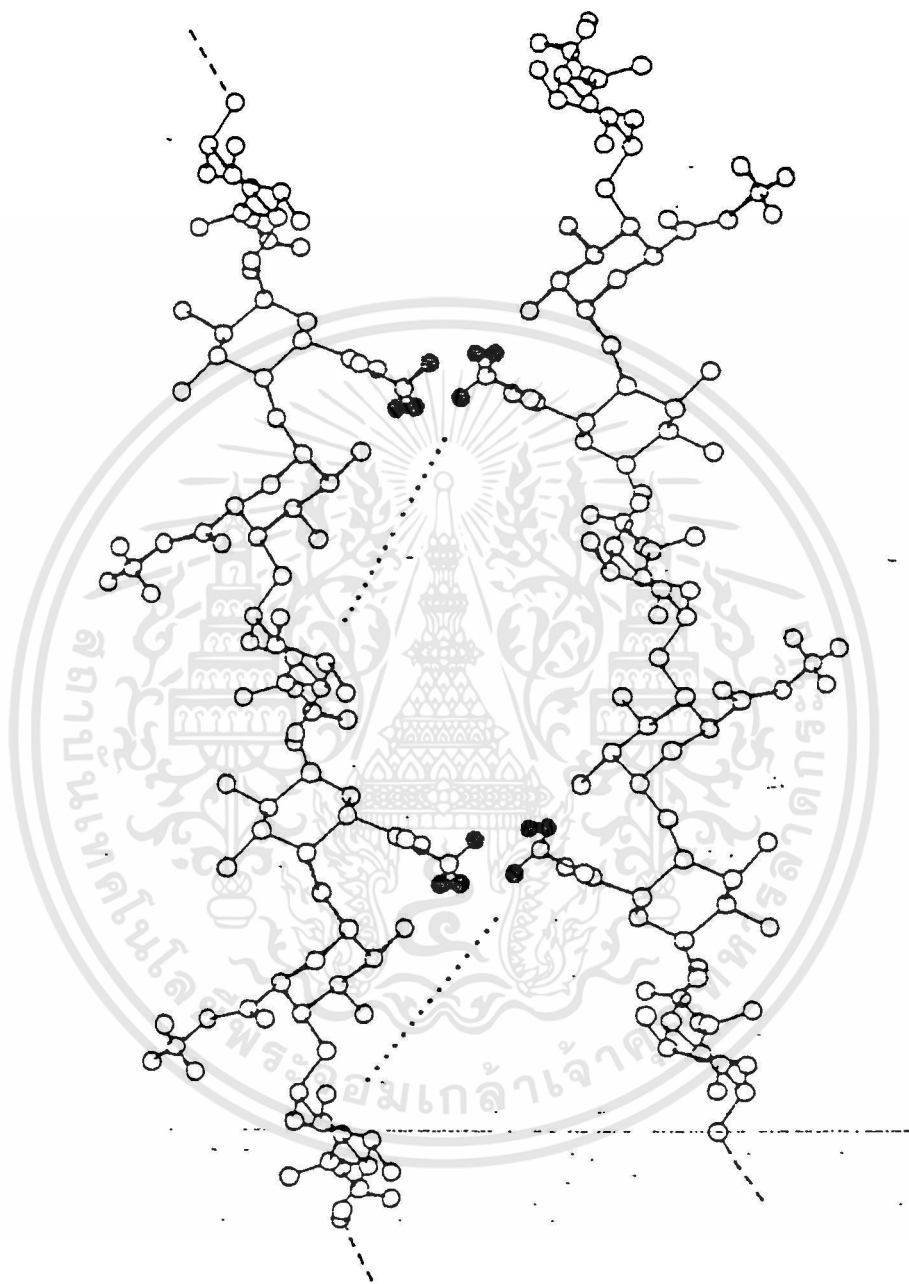
2.8.3.2 เพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำ (Low - methoxy pectin ; LM) จะมี DE ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถเกิดเจลได้เมื่อใช้แคลเซียมไอออนเป็นตัวเหนียวน้ำ และสามารถเกิดได้เมื่อใช้ของแข็งที่ละลายได้เป็นตัวกลางในปริมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 2.5-6.5 สภาพนี้สามารถทำให้เจลของเพคตินมีความคงตัวได้ 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์

### 2.8.4 การเกิดเจลของเพคติน

กลไกการเกิดเจลของ HM และ LM เพคติน สามารถเกิดขึ้นได้ที่สายโพลีแซคคาไรด์มาต่อกันคล้ายกับการเกิดเจลของอัลจีเนต (alginate gel) เจลของ HM pectin สามารถคงตัวได้โดยพันธะไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic binding) ของ กลุ่ม เมทิล เอสเทอร์มาเกาะเกี่ยวกัน (methyl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





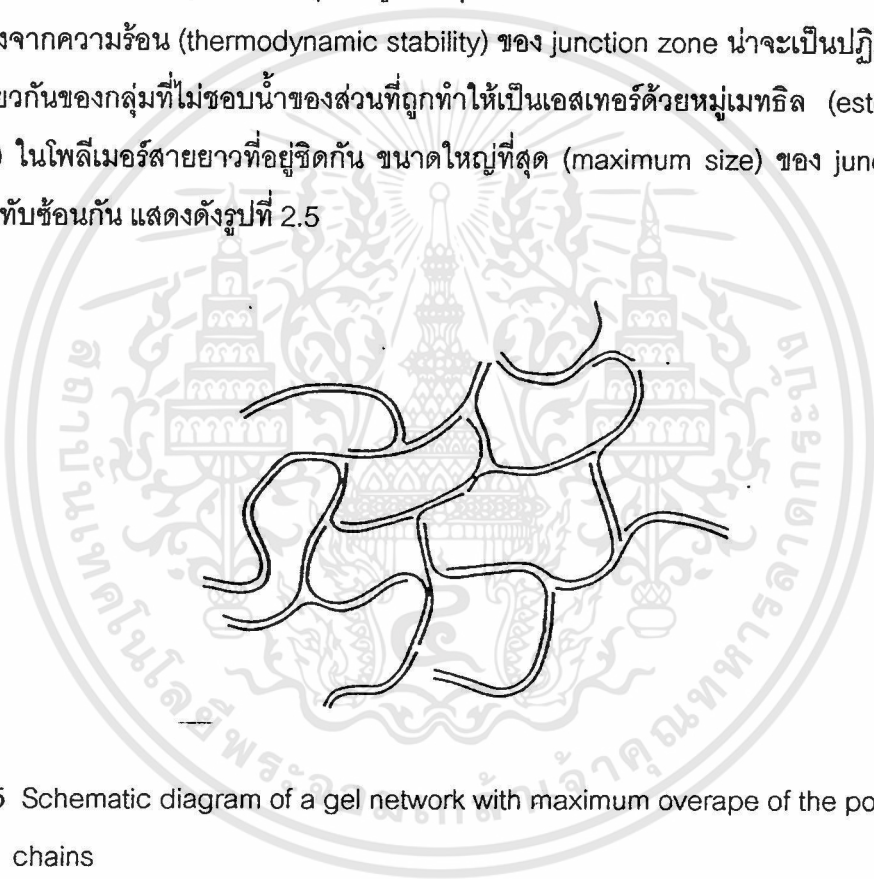
รูปที่ 2.4 Structure of junction zone in gels of high methoxy pectins inferred from X-ray diffraction studies.

ที่มา : Walkinshaw and Arnott (1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคงตัวของกาเกาะเกี่ยวกันของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic interaction) สามารถประยุกต์ได้โดยการเติมน้ำตาล (sugar) หรือโพลีอัล (polyols) ที่แตกต่างกัน (Back *et al.* 1979) , อีเทน (ethane), ที-บิวทานอล (t-butanol) หรือไดออกเซน (dioxane) (Oakenfull and Fenwick. 1979) หรือโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

Oakenfull and Scott (1984) พบว่าในการเตรียมเจลจะต้องใช้ซูโครสหรือสารที่มีลักษณะคล้ายกันที่ความเข้มข้นสูง เพื่อทำให้กลุ่มที่ไม่ชอบน้ำมาเกาะเกี่ยวกัน (hydrophobic interaction) มีความคงตัว ผลของน้ำตาลที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของโครงสร้างของโมเลกุลน้ำตาลและการจับ (interaction) กับโมเลกุลที่อยู่ข้าง ๆ และพบว่าขนาดและเสถียรภาพทางการเคลื่อนไหวเนื่องจากความร้อน (thermodynamic stability) ของ junction zone น่าจะเป็นปฏิภาคกับการเกาะเกี่ยวกันของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำของส่วนที่ถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยหมู่เมทิล (ester methyl groups) ในโพลีเมอร์สายยาวที่อยู่ชิดกัน ขนาดใหญ่ที่สุด (maximum size) ของ junction zone และการทับซ้อนกัน แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Schematic diagram of a gel network with maximum overlap of the polymer chains

ที่มา : Oakenfull and Scott (1984)

Rao and Cooley (1993) ได้ทำเจลจากเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลสูง น้ำตาลฟรุคโตส (fructose) และโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 0.1 โมล พบว่าคุณสมบัติ viscoelastic ของเจลที่พีเอช 2.7 เก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า 18 องศาเซลเซียส จะเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บ 3 วันแรก

โครงสร้างตาข่ายของโมเลกุลโพลีแซคคาไรด์ในการเกิดเจลของเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลสูงจะคงตัวอยู่ได้ด้วยการรวมตัวกันของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำและพันธะไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

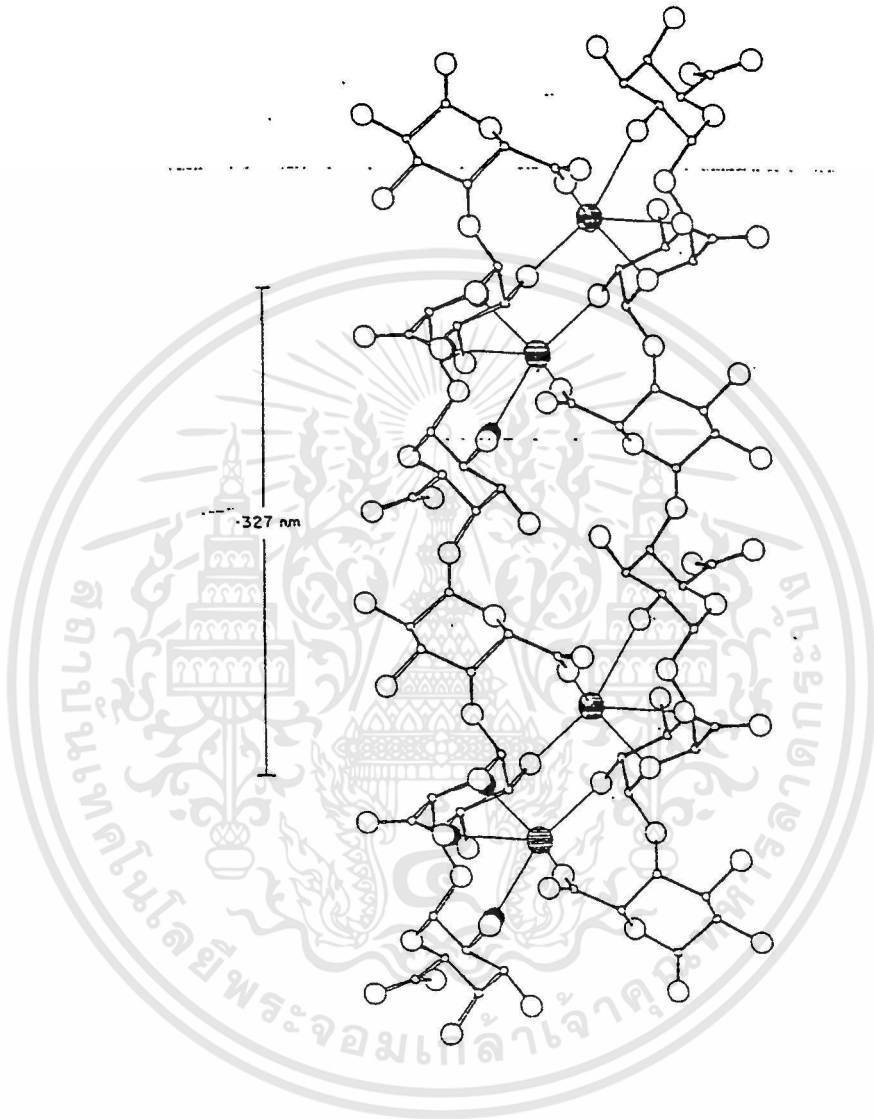
(hydrogen bond) การเกาะเกี่ยวกันของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำเกิดจากพลังงานอิสระของการเกิดโครงสร้าง junction zone และอีกครึ่งหนึ่งมาจากพันธะไฮโดรเจน แต่พันธะไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียวไม่มีประสิทธิภาพพอเพียงที่จะทำให้ junction zone มีความคงตัวได้ เนื่องจากไม่สามารถที่จะทำลายพลังงานที่ขัดขวางการเกิดเจลได้

junction zone เกิดจากการต่อกันของข้อหรือปล้อง(segment) ของสายโซ่โพลีแซคคาไรด์ 2 สาย ซึ่งประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) อยู่ระหว่าง 18-250 หน่วย ซึ่งระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลเพิ่มขึ้น

2.8.4.2 การเกิดเจลของเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำ ( LM pectin ) จะเกิดได้เมื่อมี divalent cation เช่น แคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ ) จะเกิดการเชื่อมข้ามระหว่างอิเล็กตรอนคู่อิสระของกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl groups) ของโมเลกุลเพคติน (แสดงดังรูปที่ 2.6) เพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำจะมีลักษณะทางเคมีที่คงตัว จึงทนความร้อนและความชื้นมากกว่าเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลสูง เพราะมีแนวโน้มที่จะสูญเสียการถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ (deesterify) ได้ช้าในความร้อนบรรยากาศ

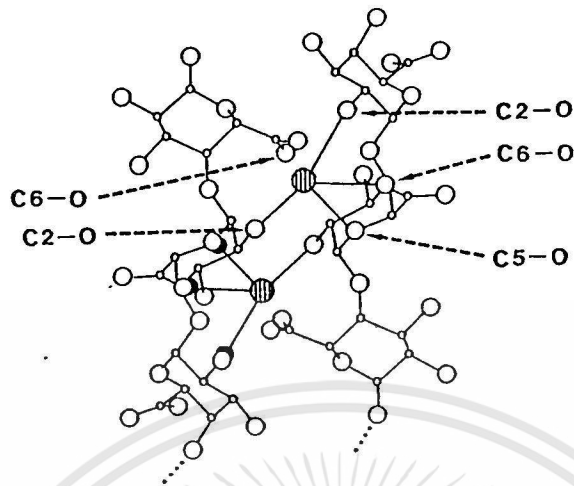
เพคตินที่มีระดับการถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ต่ำ (low ester pectin) ในทางการค้าสามารถเกิดเจลได้ที่พีเอชเฉลี่ย 2.5-6.5 (Anon. 1947 in Kim and Lee. 1978)

ในเจลของเพคตินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทิลต่ำ junction zone จะคงตัวได้ด้วยพันธะเชื่อมข้ามของสายโซ่ โดยแคลเซียมไอออนทำให้ออกซิเจนมีประจุบวก เท่ากับ 5 : C5-O , C6-O และ C2-O จากสายโซ่หนึ่งกับ C5-O และ C6-O ของกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) เหมือนกัน และ C2-O และ C6-O จากสายโซ่ที่อยู่ติดกัน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 Calcium pectate unit cell viewed along the (100) direction) Coordination of calcium ions (striped circles) to polymer oxygen functions is denoted by thin, unbroken lines.

ที่มา : Walkinshaw and Arnott (1981)



รูปที่ 2.7 The calcium pectate unit cell.

ที่มา : Walkinshaw and Arnott (1981).

Kim *et al.* (1978) เมื่ออุณหภูมิลดลง ความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4\text{OH}$  เพิ่มขึ้นเพคตินจะเกิดการสูญเสียโพลีเมอร์ (depolymerization) น้อยที่สุด และกลุ่มเมทิล (methoxyl group) จะเปลี่ยนเป็นกลุ่มเอไมด์ (amide groups) เกือบหมด และพบว่า การเพิ่มขึ้นของกลุ่มเอไมด์ในเพคตินที่มีระดับการเอสเทอร์ไฟด์ต่ำ จะทำให้เจลมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่น (elastic) สูงกว่าเพคตินที่มีกลุ่มเอไมด์ต่ำ

คุณสมบัติทางกายภาพของเจลเพคตินที่มีระดับการถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ต่ำ สามารถอธิบายได้จากลักษณะทางเคมีของเพคตินที่มีระดับการถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ต่ำ การลดลงของเปอร์เซ็นต์การถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ (% esterification) ผลก็คือเจลจะมีความคงตัวเพิ่มขึ้น และเจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เปอร์เซ็นต์กลุ่มของกรดเอไมด์ (% acid amide group) ในเพคติน จะทำให้เจลมีความแข็งแรงสูงกว่า มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์กลุ่มคาร์บอกซิลอิสระ (% free carboxyl group) ลดลง ( Kim *et al.* 1978)

## บทที่ 3

# อุปกรณ์และวิธีการ

### 3.1 วัตถุดิบ

- 3.1.1 แป้งข้าวเจ้า ตราช้างสามเศียร บริษัท โรงเส้นหมี่ทองแดง จำกัด
- 3.1.2 เพคตินจากส้ม (citrus pectin) Classic AF 201 DE 68-72%, U.S.A.

### 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 ต่อบนสูง 1 มิลลิเมตร
- 3.3.2 เครื่องชั่งสาร OHOUS , U.S.A.
- 3.3.3 เครื่องผสม (Mixing) IKA. Labortechnik, 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 1601 UV-Vis SPECTROPHOTOMETERS, USA
- 3.4.2 เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (texture Analyser) TA-XT2 , England
- 3.4.3 เครื่องวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม (thickness tester) model 49-72 TMI, USA
- 3.4.4 เครื่องวัดค่า water activity NOVASINA RS232, Switzerland
- 3.4.5 เครื่องวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) Iso 2528-1974 E , U.S.A.
- 3.4.6 เครื่องวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen Permeation Analyser) model 8500 , U.S.A.

### 3.5 สถานที่ทดลอง

3.5.1 ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5.2 การวิเคราะห์อัตราการผลิตของแก๊สออกซิเจน อัตราการผลิตของไอน้ำและการวัดความหนา ใช้เครื่องมือ ภาควิชาบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### 3.6 วิธีการทดลอง

#### 3.6.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, เถ้า, และคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (AOAC, 1995) และหาปริมาณอะมิโนส (Juliano, 1971) ส่วนเพคติน วิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 1995)

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) เมื่อครบเวลาปิดฝาดังนั้นอยู่ในตู้อบ ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ( Desicator ) บันทึกน้ำหนักไว้ และอบต่ออีกประมาณ 10-15 นาที ทำเช่นนี้จนได้น้ำหนักคงที่ และคำนวณปริมาณความชื้น(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) จากน้ำหนักที่หายไปในระหว่างการอบ

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

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

ดัดแปลงใช้คอปเปอร์ซัลเฟตและโปตัสเซียมซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำตัวอย่าง ประมาณ 3-5 กรัม มาย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 นอร์มัล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวอยู่ด้วย ทำการย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส จึงทำให้เย็น แล้วนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นขนาดเล็ก เก็บส่วนที่เป็นแอมโมเนียซึ่งควบแน่นในสารละลายกรด บอริกเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ นำไปไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนอินดิเคเตอร์ ( เมทิลเรดและบลอมคลีเซอกรีน ) เปลี่ยนจากสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นสีแดง นำปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต ไปคำนวณหาค่าปริมาณไนโตรเจน (คิดเป็น

เปอร์เซ็นต์) แล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ 6.25 จะได้ปริมาณโปรตีน (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ไต่เตรต) ตามต้องการ

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

ชั่งตัวอย่างที่อบแล้ว 3-4 กรัม ใส่ในกระดาศกรอง แล้วห่อใส่ทิมเบิล (Timple) ปิดด้านบนของตัวอย่างด้วยสำลีหรือกระดาษกรอง นำทิมเบิลใส่ลงในหลอดสกัด (Extraction tube) ที่ด้านบนต่อกับเครื่องควบแน่น (Condenser) ด้านล่างต่อกับขวดก้นกลม ใส่ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) 150 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมต่อเครื่องสกัดไขมัน (Shoxlet) ทั้งหมด ปรับระดับความร้อน ทำการสกัด 2 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไประเหยอีเทอร์ (Ether) ออกด้วยเครื่องระเหยภายใต้สูญญากาศ (Vacuum rotary evaporator) แล้วนำส่วนไขมันไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส 30 นาที ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (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)

เตรียมตัวอย่างที่วิเคราะห์โดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 (เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร) และอบกระดาษกรอง (Filter paper) ที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ (Beaker) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองผ่านผ้าลินิน โดยใช้กรวยกรอง (buncher funnel) ล้างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือด จนหมดกรด ตรวจด้วยกระดาษลิตมัส (litmus) ล้างผ้าลินินด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดอีก 30 นาที ล้างด้วยน้ำเดือดอีกครั้ง และล้างด้วยแอลกอฮอล์สุดท้าย นำกระดาษกรองที่มีเยื่อใย อบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาในครุชิเปิล (Crusible) จนหมดควัน แล้วนำมาใส่เตาเผา (Muffle furnace) อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส จนเป็นเถ้าสีขาว ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณเยื่อใย

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

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

ชั่งตัวอย่าง 2-3 กรัม ใส่ในครุชีเบิล ( Crucible ) ที่เผาในเตาเผา ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ( Desiccator ) และชั่งน้ำหนักแล้วเผาบนเตา ( Hot plate ) จนเป็นสีเทา ไม่มีควัน นำไปเผาต่อในเตาเผา ( Muffle Furnace ) ที่ 550 องศาเซลเซียส จนเป็นสีขาว หรือมีน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก

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

3.6.1.6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต คำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการ Total by different ดังนี้คือ

$$\% \text{ คาร์โบไฮเดรต } = 100 - ( \% \text{ ความชื้น} + \% \text{ โปรตีน} + \% \text{ ไขมัน} + \% \text{ เยื่อใย} + \% \text{ เถ้า} )$$

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

1) การเตรียมตัวอย่าง นำแป้งข้าวเจ้าไปสกัดไขมันออกโดยใช้เอทานอล ( Ethanol ) 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำแป้งข้าวเจ้าที่ได้มาแบ่งเป็นชั้นบาง ๆ ในภาชนะ ทำให้มีความชื้นสมดุลและคงที่

2) การเตรียมสารละลายตัวอย่าง ชั่งตัวอย่าง 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เติมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร ลงไปเพื่อล้างตัวอย่าง ที่ติดข้างขวดแก้ว เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล 9.2 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15-24 ชั่วโมง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

3) การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพเทโดอะมิโดส เติมเอทานอล ( Ethanol ) 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล 9.2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 15-24 ชั่วโมง และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4) การเตรียมสารละลายเบงค์ ( 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) การทำกราฟสารละลายมาตรฐานโพเทโดอะมิโดส ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพเทโดอะมิโดส ลงในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร 5 ใบ โดยปิเปตลงใบละ 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ( เทียบเท่ากับ 8, 16, 24, 32 และ 40 เปอร์เซ็นต์อะมิโดสของแป้ง ) 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 ด้วยน้ำกลั่น

ทิ้งไว้ 15 - 20 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยใช้เบงค์ปรับค่า ก่อนทำการวัดนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานโพเทโอะมิโลสที่วัดได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในตัวอย่งก็ทำได้โดย ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติก 1 นอร์มัล ลงในขวดแก้วจำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วเติมไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำขวดไปเก็บไว้ในที่มืด 20 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่วัดได้มาหาปริมาณอะมิโลสจากกราฟมาตรฐานสารละลายโพเทโอะมิโลส

## 2.6.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า และเพคตินและคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้

จากการวิจัยเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน ที่อัตราส่วน 90 : 10 และ 70 : 30 ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ระดับร้อยละ 0.5, 5, 10 และ 15 (เทียบกับน้ำหนักของแป้ง) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 (ของแข็งคือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนของเหลวคือน้ำกลั่น ในการทดลองจะทำการผสมน้ำกลั่น แป้งข้าวเจ้า และเพคตินในเครื่องผสมที่มีการให้ความร้อนโดยอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 250 รอบ / นาที นาน 10 นาที ค่อย ๆ เติมกลีเซอรอลลงไป แล้วผสมต่ออีก 5 นาที ปลอ่ยสารผสมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิลดลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักสารผสม 45 กรัม เทลงบนแผ่นพลาสติก (acrylic sheet) ที่ต่อขอบไว้สูง 1 มิลลิเมตร เกลี่ยสารผสมให้เต็มแผ่นพลาสติก นำไปทำให้แห้งโดยเก็บไว้ที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออกจากการวิจัยเบื้องต้นก็พบว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน 70 : 30 แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จะไม่แตก จึงออกแบบการทดลองโดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ส่วนกลีเซอรอลนั้นใช้ที่ระดับร้อยละ 0.5 แผ่นฟิล์มจะแตก ในการทดลองจึงใช้กลีเซอรอลร้อยละ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว ใช้ที่อัตราส่วน 1 : 8 เนื่องจากการทดลองพบว่าการขึ้นรูปได้ง่ายและสะดวกที่สุด

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียล (Factorial experiment) 3 x 3 โดยปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัยดังนี้ คือ

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

ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณของกลีเซอรอล 3 ระดับ คือ 5.0%, 10.0% และ 15.0% (เทียบกับน้ำหนักแป้ง 100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)

ในขณะอัตราส่วนระหว่าง ของแข็ง (แป้งข้าวเจ้ากับเพคติน) : ของเหลว (น้ำกลั่น) ที่ใช้จะ คงที่ที่อัตราส่วน 1 : 8 หลังจากที่ได้ทำการทดลองที่ระดับ 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 เป็นเบื้องต้น พบว่าระดับ 1 : 8 มีการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดีที่สุด

### 3.6.2.1 การเตรียมสารผสมสำหรับทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

ซึ่งน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าและเพคติน นำส่วนผสมทั้งสองมาผสมกัน ร้อนผ่านตะแกรงจนส่วนผสมทั้งสองผสมเข้ากันดี ค่อย ๆ เทลงไปในเครื่องผสม (Mixing) ความเร็ว 350 รอบ / นาที ที่มีการบรรจุน้ำกลั่นตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้และให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเพิ่มความเร็วเป็น 500 รอบ / นาที ผสมต่ออีก 5 นาที ค่อย ๆ เติมกลีเซอรอลลงไป แล้วผสมต่ออีก 5 นาที ปล่อยให้ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิของสารผสมที่ได้มีอุณหภูมิเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส

### 3.6.2.2 วิธีการขึ้นรูปฟิล์ม

นำสารผสมที่ได้มาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยนำสารผสมปริมาณ 45 กรัม มาหล่อลงบนแผ่นพลาสติก (acrylic sheet) ซึ่งต่อขอบสูง 1 มิลลิเมตร ให้เต็มพอดี ปล่อยให้แห้ง โดยทิ้งไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง แล้วทำการลอกแผ่นฟิล์มออก



รูปที่ 3.1 แผนผังการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

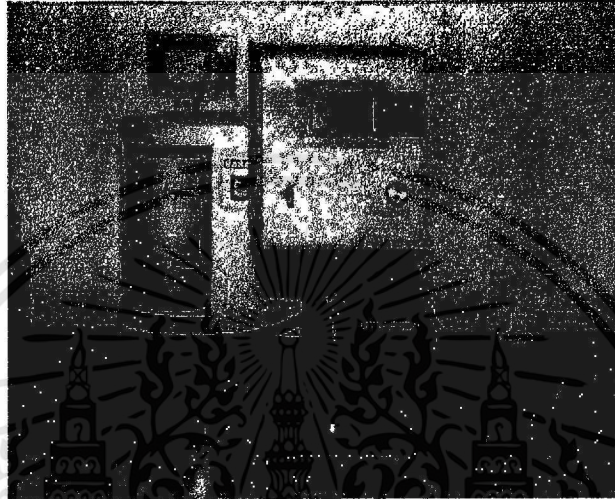
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2.3 การทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

#### 1) ความหนาของแผ่นฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

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

วิธีการ : นำแผ่นฟิล์มมาใส่ลงในเครื่องวัดความหนา เครื่องจะทำการวัดความหนา และให้ค่าความหนาบนแสงหน้าปัดของเครื่อง



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องวัดความหนาของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องThickness Tester model 49-72 TMI, U.S.A. (ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาบรรณรักษ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

#### 2) ค่า Water Activity ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

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

วิธีการ : 1. นำฟิล์มมาบดให้ละเอียด

2. ทำการคาร์ลิเบรทเครื่อง (คู่มือการใช้)

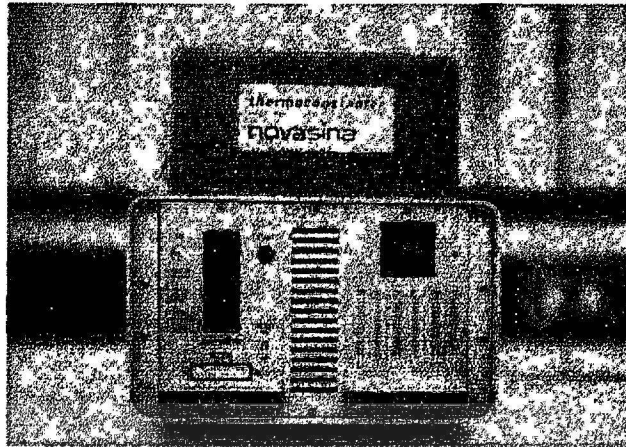
3. นำตลับพลาสติก ( Sample cup ) มาใส่ฟิล์มตัวอย่างที่บดละเอียดให้ได้

ปริมาตร 80-90%

4. นำตลับตัวอย่างมาใส่ไว้ใน Measuring Chamb

5. ตั้งอุณหภูมิให้ได้ 25 องศาเซลเซียส

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



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดค่า Water Activity NOVASINA RS 232, Switzerland

3) ความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพศดิน โดยวิธีการ AOAC Method No. 925.10 (1995 : Chapter 32 หน้า 1 )

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

วิธีการ : ชั่งตัวอย่างฟิล์มน้ำหนักประมาณ 2-3 กรัม ( บันทึคน้ำหนักที่แน่นอน) ลงในภาชนะหาความชื้นแล้วนำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ  $130 \pm 3$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ บันทึคน้ำหนัก และอบต่ออีกประมาณ 10-15 นาที ทำเช่นนี้จนได้น้ำหนักคงที่ และคำนวณปริมาณความชื้น ( คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ) จากน้ำหนักที่หายไปในระหว่างการอบ ดังนี้

การคำนวณ

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

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

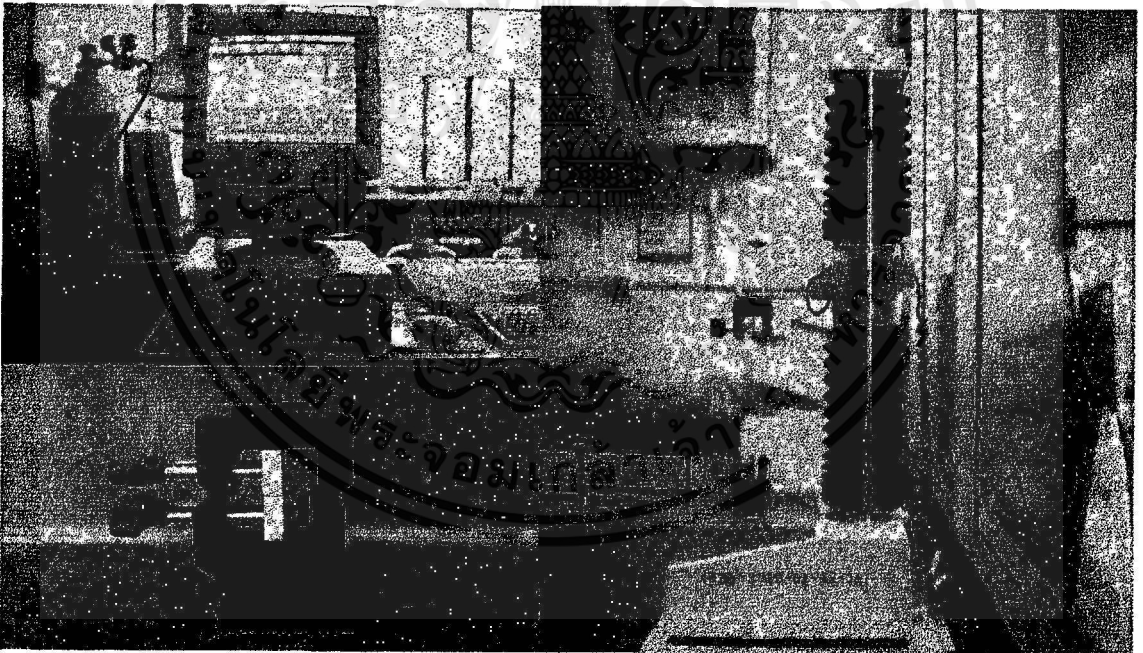
อุปกรณ์ : หาความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวโดยใช้เครื่อง TA-XT2 Texture Analyser , England โดยใช้หัวทดสอบแบบที่มีลักษณะเป็นหัวหนีบ 2 หัว ตั้งระยะ ห่างกัน 20 มิลลิเมตร เครื่องวัดนี้จะต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์ รายงานผลเป็นค่าการต้านทานแรงดึงขาด( tensile strength ) แล้วนำกราฟของแต่ละตัวอย่างที่ทดสอบมาหาการยืดตัว (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว)

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

การคำนวณ :

$$\text{ค่าการต้านทานแรงดึงขาด} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้ (กิโลกรัม)}}{\text{ความกว้าง (มิลลิเมตร) x ความหนา (มิลลิเมตร) ของฟิล์ม}}$$

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



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว (Texture Analyser) TA - XT2, England

5) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า และ เพคติน (water vapor transmission rate : WVTR) แบบ Dish-method ตามวิธีของ ASTM (1994 :696-703)

อุปกรณ์และสารเคมี : ด้วยทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ, เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์, เครื่องชั่งตวงถนียม 4 ตำแหน่ง , เทียนไข, และซิลิกาเจลที่อบแห้งแล้ว

วิธีการ : ตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 ซม.

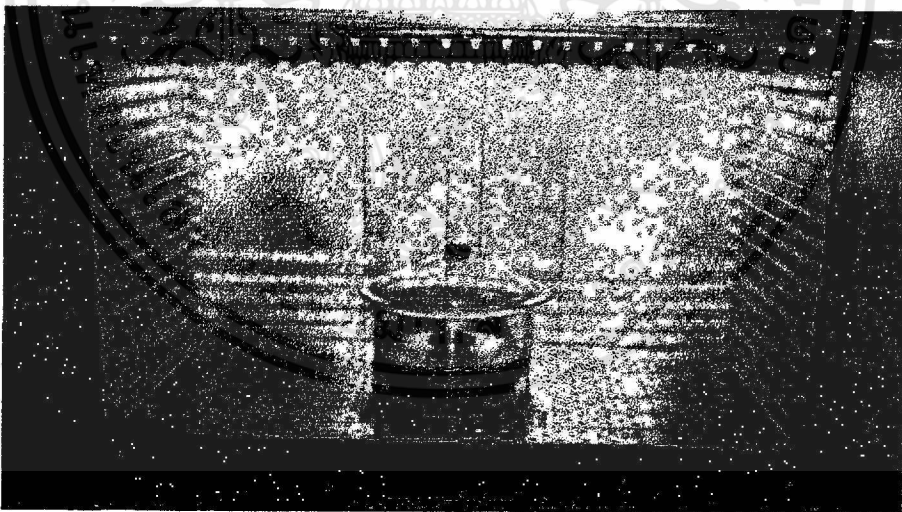
ตัวอย่างละ 3 ชิ้น โดยตัวอย่างต้องปราศจากรอยพับ ซีด รุ่ยที่มองเห็นได้ นำมาวางปิดปากด้วย ทดสอบที่มีซิลิกาเจลที่อบแห้งแล้วบรรจุอยู่ผนี้กรอบปากด้วยด้วยเทียนไขเพื่อมิให้มีรอยรั่ว นำไปชั่ง น้ำหนักอย่างละเอียดแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ  $27 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 2$  บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทุก 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน

การคำนวณ :

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

( กรัมต่อตารางเมตร . 24 ชั่วโมง )

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } G/T &= \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักต่อเวลา} \\ A &= \text{พื้นที่ของตัวอย่าง} = 28.27 \text{ ตารางเซนติเมตร} \end{aligned}$$

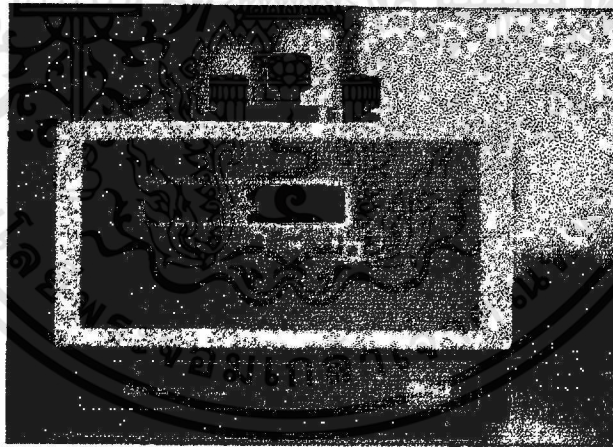


รูปที่ 3.5 แสดงชุดทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ แบบ Dish method ตามวิธีของ ASTM (ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

6) ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน ตามวิธี ASTM D 1434-82 (Reapproved 1992 : 207-218)

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

วิธีการ : ตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาด 8 เหลี่ยมเท่ากับแผ่น template โดยตัวอย่างต้องปราศจากรอยพับ ซีด รุ่ยที่มองเห็นได้ เปิดแก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจน ให้มีความดันอยู่ระหว่าง 40-70 psi เปิดสวิตช์ที่ด้านหลังเครื่อง เปิดฝาครอบchamber ออก ทาพาราฟินบาง ๆ บริเวณซีลวงแหวนทั้งด้านบนและด้านล่าง นำฟิล์มที่เตรียมไว้วางลงบนส่วนล่างของchamber ซึ่งได้ทาพาราฟินไว้แล้ว ในการวางฟิล์มจะต้องวางให้ตึงไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่บริเวณวงแหวน ปิดฝา chamber โดยหมุนน็อตทุกตัวให้แน่น หมุนวาล์วเปิดเปิด sensor ไปที่ตำแหน่ง OPEN ใน Mode Select หมุนสวิตช์ Flow ไปที่ Purge ซึ่งเครื่องจะไล่แก๊สออกซิเจนที่อยู่ในchamber ทั้งส่วนบนและส่วนล่างออกให้หมด จะใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที จากนั้นหมุนสวิตช์ Flow ใน Mode Select ไปที่ Test เลือกช่วงของการทดสอบให้เหมาะสม ถ้าน้ำจอของส่วนของ Test แสดง "1" จะหมายความว่าค่าที่วัดได้มีค่ามากกว่าช่วงของการทดสอบที่เลือก ให้หมุนปรับช่วงใหม่ รอจนกว่าค่าที่ได้จะคงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มที่ทดสอบ



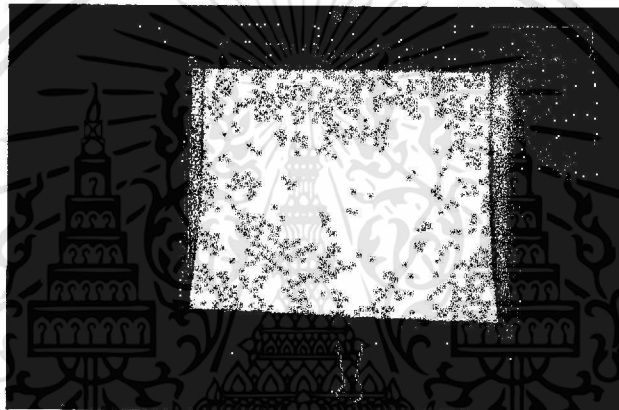
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน(Oxygen permeation analyser) model 8500, U.S.A. ( ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ )

7) ความสามารถในการต้านทานน้ำมัน (grease and oil resistance) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยดัดแปลงวิธี TAPPI-T454 (1989 : 112)

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

วิธีการ : ตัดแผ่นฟิล์มขนาดที่กำหนด วางลงบนแผ่นพลาสติก หยดน้ำมันประมาณ 2 มิลลิลิตร ลงบนแผ่นฟิล์ม สังเกตและจับเวลาดูแผ่นฟิล์มจนกว่าจะอิมมิดวจนกระทั่งน้ำมันทะลุผ่านแผ่นฟิล์ม

การคำนวณ : คิดเวลาที่น้ำมันซึมผ่านแผ่นฟิล์มเป็นค่าความต้านทานน้ำมันของแผ่นฟิล์ม ( นาที หรือ ชั่วโมง)



รูปที่ 3.7 แสดงการวัดความต้านทานน้ำมันดัดแปลงวิธี TAPPI - T 454

### 3.6.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ศึกษาอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน และอัตราส่วนกลีเซอรอล ที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติตามแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล ( Factorial design )  $3 \times 3$  ปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วนระหว่าง แป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน 3 อัตราส่วน คือ 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 ปัจจัยที่ 2 ปริมาณกลีเซอรอล 3 อัตราส่วน คือ 5.0 %, 10.0 % และ 15.0 % และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างวิธีถัมนันต์โดยวิธี Duncan' s Multiple Rang Test (DMRT) คำนวณหาความสัมพันธ์ในรูปของค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของปัจจัยทั้งสองที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์ม ซึ่งได้แก่ ความหนา, Water Activity, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด, ค่าร้อยละของการยืดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ที่ระดับ  $P \leq 0.05$  โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 7.5

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

##### 4.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ ความชื้น , โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, เถ้า ,คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด และปริมาณอะมิโลส พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีความชื้นร้อยละ  $12.28 \pm 0.11$  , โปรตีนร้อยละ  $6.84 \pm 0.18$  , ไขมันร้อยละ  $0.30 \pm 0.00$  , เถ้าร้อยละ  $0.29 \pm 0.01$  , คาร์โบไฮเดรตร้อยละ  $80.21 \pm 0.15$  เยื่อใยร้อยละ  $0.09 \pm 0.00$  และปริมาณอะมิโลส ร้อยละ  $23.92 \pm 0.09$  ( แสดงดังตารางที่ 4.1)

ในส่วนของความชื้น เถ้า และปริมาณอะมิโลสสอดคล้องตามเกณฑ์กำหนด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า (2529) ซึ่งกำหนดว่าแป้งข้าวเจ้าต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13.0 ปริมาณเถ้าไม่น้อยกว่าร้อยละ 85.0 เถ้าไม่เกินร้อยละ 0.50 เถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่เกินร้อยละ 0.030 และปริมาณอะมิโลสไม่น้อยกว่าร้อยละ 15.0

เมื่อพิจารณาปริมาณอะมิโลส ซึ่งมีค่าสูงถึงร้อยละ 24.0 ซึ่งอาจจะบ่งชี้ว่าเป็นข้าวในกลุ่มอะมิโลสสูงปานกลาง (มีอะมิโลสร้อยละ 20-25 ) ตามการจัดจำแนกของ Cagampang และคณะ (1973)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
ความชื้น	$12.28 \pm 0.11$
โปรตีน	$6.84 \pm 0.18$
ไขมัน	$0.30 \pm 0.00$
เถ้า	$0.29 \pm 0.01$
เยื่อใย	$0.09 \pm 0.00$
คาร์โบไฮเดรต	$80.21 \pm 0.15$
อะมิโลส	$23.92 \pm 0.09$

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

#### 4.1.2 การวิเคราะห์ความชื้นของเพคติน

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในเพคตินจากส้ม (citrus pectin) Classic AF 201 ที่มีค่า DE 68-72 % พบว่าเพคตินมีความชื้น เท่ากับ  $11.21 \pm 0.054$  เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ

### 4.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน และคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

#### 4.2.1 ความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 , 50 : 50 และ 25 : 75 ในทุกอัตราส่วนใช้กลีเซอรอล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 เท่ากันทุกการทดลอง (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีความหนาอยู่ระหว่าง  $0.065 \pm 0.007$  ถึง  $0.009 \pm 0.000$  มิลลิเมตร (แสดงดังตารางที่ 4.2) โดยฟิล์มที่ผลิตได้จาก อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีความหนาต่ำที่สุด เท่ากับ  $0.065 \pm 0.007$  มิลลิเมตร และฟิล์มที่ผลิตจากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีความหนาสูงที่สุด เท่ากับ  $0.09 \pm 0.00$  มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 มีความหนาแตกต่างจากอัตราส่วน 25 : 75 และ 50 : 50 อย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น ปริมาณเพคตินลดลง จะทำให้ความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ส่วนผลของพลาสติกไซเซอร์ คือ กลีเซอรอล ต่อความหนาของฟิล์มนั้นพบว่า ที่ระดับร้อยละ 15 จะมีความหนาแตกต่างจากระดับ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญ คือ ที่ระดับร้อยละ 15 จะมีความหนามากที่สุด ระดับร้อยละ 10 มีความหนารองลงมา และที่ระดับร้อยละ 5 จะมีความหนาต่ำที่สุด แสดงว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นความหนาก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของมณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด (2534) ที่พบว่าฟิล์มออบเลตมีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการละลายไม่สมบูรณ์ของอะมิโดส ทำให้เกิดลักษณะเป็นผลึกบนแผ่นฟิล์ม ความหนาจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า วุ้น และกลีเซอรอล ของสุวิธนา พฤกษ์ศรี (2539) ที่พบว่าค่าความหนาของแผ่นฟิล์มจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณแป้ง วุ้น และกลีเซอรอล โดยค่าความหนาของแผ่นฟิล์มเป็นผลโดยตรงเนื่องจากปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น ฟิล์มที่ผลิตได้มีความหนาอยู่ในช่วง 0.095-0.138 มิลลิเมตร

อย่างไรก็ตามความหนาของแผ่นฟิล์มทุกการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ทำถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร ซึ่งระบุความหนาไว้ไม่เกิน 0.010-0.100 มิลลิเมตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม , 2534)

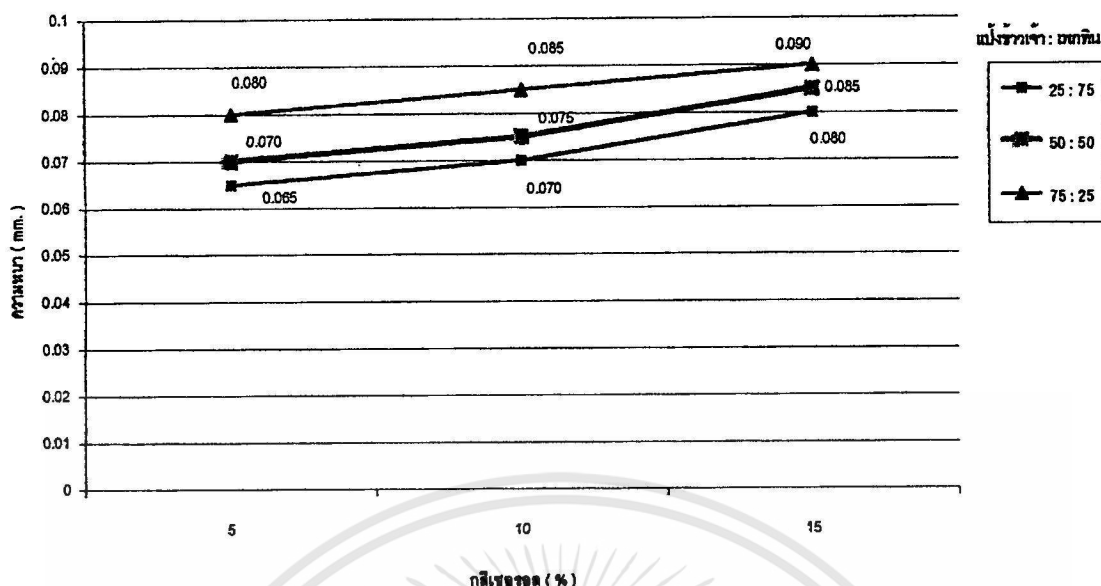
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

การทดลองที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	ความหนา (มม.)
1	25 : 75	5	0.065 ± 0.007 <sup>d</sup>
2		10	0.070 ± 0.000 <sup>cd</sup>
3		15	0.080 ± 0.000 <sup>abc</sup>
4	50 : 50	5	0.070 ± 0.000 <sup>cd</sup>
5		10	0.075 ± 0.007 <sup>bcd</sup>
6		15	0.085 ± 0.007 <sup>ab</sup>
7	75 : 25	5	0.080 ± 0.000 <sup>abc</sup>
8		10	0.085 ± 0.007 <sup>ab</sup>
9		15	0.090 ± 0.000 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. F : P คือ อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

#### 4.2.2 ค่า water activity ( $A_w$ ) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง) และใช้อัตราส่วน ปริมาณ ของแข็ง : ปริมาณของเหลว ที่ระดับ 1 : 8 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วน ปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่า  $A_w$  อยู่ระหว่าง  $0.73 \pm 0.02$  ถึง  $0.78 \pm 0.01$  (แสดงดัง ตารางที่ 4.3)

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 มีค่า  $A_w$  แตกต่างจากอัตราส่วน 50 : 50 และ 75 : 25 อย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และปริมาณเพคตินลดลง ค่า  $A_w$  จะลดลง ส่วนผลของกลีเซอรอลต่อ ค่า  $A_w$  ของฟิล์มนั้นพบว่าทุกระดับมีค่า  $A_w$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระดับกลีเซอรอล เพิ่มขึ้น ค่า  $A_w$  จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด (2534) ที่พบว่าค่า  $A_w$  จะแปรผันตามปริมาณกลีเซอรอลแต่อย่างไรก็ตามค่า  $A_w$  ของแต่ละการทดลองไม่มีความแตกต่างกันมาก และค่า  $A_w$  ที่ได้ค่อนข้างจะปลอดภัยจาก normal bacteria , normal yeast และ normal molds ซึ่งมีค่า  $A_w$  ต่ำสุดที่จะยังสามารถเจริญเติบโตได้ เท่ากับ 0.91 , 0.88 และ 0.80 ตาม

ลำดับ ส่วน Troller ( 1980 ) ก็กล่าวว่า จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคจะเจริญไม่ได้ โดยเฉพาะแบคทีเรีย จะถูกยับยั้งการเจริญเติบโตที่มี water activity ต่ำกว่า 0.85

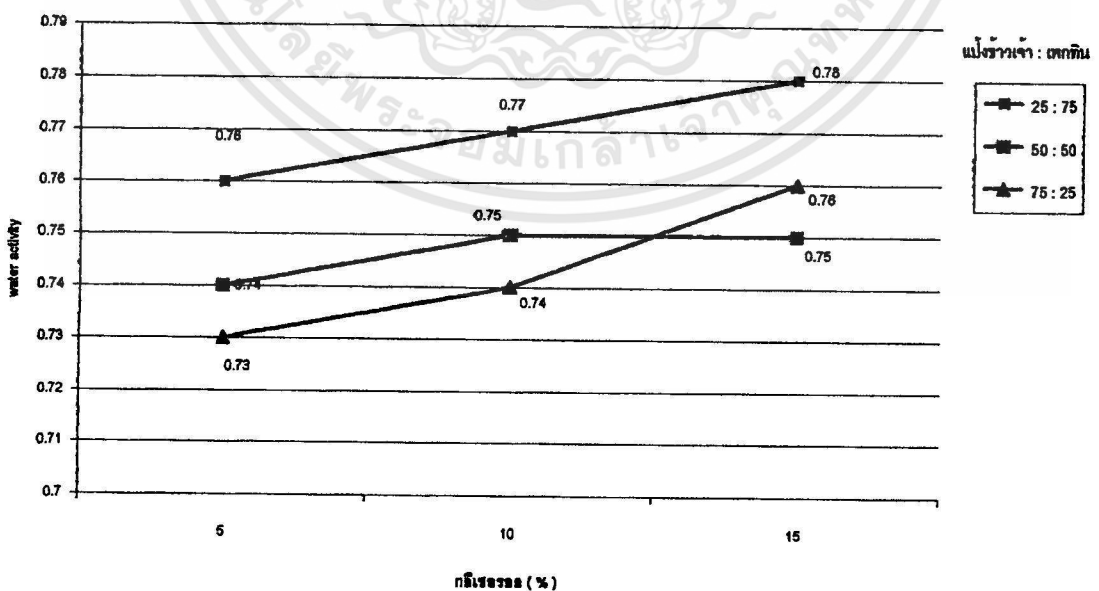
ตารางที่ 4.3 ค่า water activity ( $A_w$ ) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม $A_w$
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	
1	25 : 75	5	0.76 ± 0.02 <sup>a</sup>
2		10	0.77 ± 0.01 <sup>a</sup>
3		15	0.78 ± 0.01 <sup>a</sup>
4	50 : 50	5	0.74 ± 0.03 <sup>a</sup>
5		10	0.75 ± 0.02 <sup>a</sup>
6		15	0.75 ± 0.03 <sup>a</sup>
7	75 : 25	5	0.73 ± 0.02 <sup>a</sup>
8		10	0.74 ± 0.02 <sup>a</sup>
9		15	0.76 ± 0.00 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. F : P คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าออร์เตอร์เอกทิวติของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 ความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับ 100 กรัมแป้ง โดยน้ำหนักแห้ง) ใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่ามีค่าความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ  $16.67 \pm 0.44 - 23.09 \pm 0.07$  (แสดงดังตารางที่ 4.4) โดยที่อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีความชื้นสูงที่สุด และอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีความชื้นต่ำที่สุด

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคตินทุกอัตราส่วนมีความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และปริมาณเพคตินลดลง ความชื้นจะมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาผลของระดับกลีเซอรอล พบว่าทุกอัตราส่วนมีความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความชื้นจะสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ เกศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ (2539) ที่พบว่า กลีเซอรอลจะขัดขวางการระเหยน้ำจากแผ่นฟิล์ม ทำให้ได้แผ่นฟิล์มที่ชื้นเหนอะหนะ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

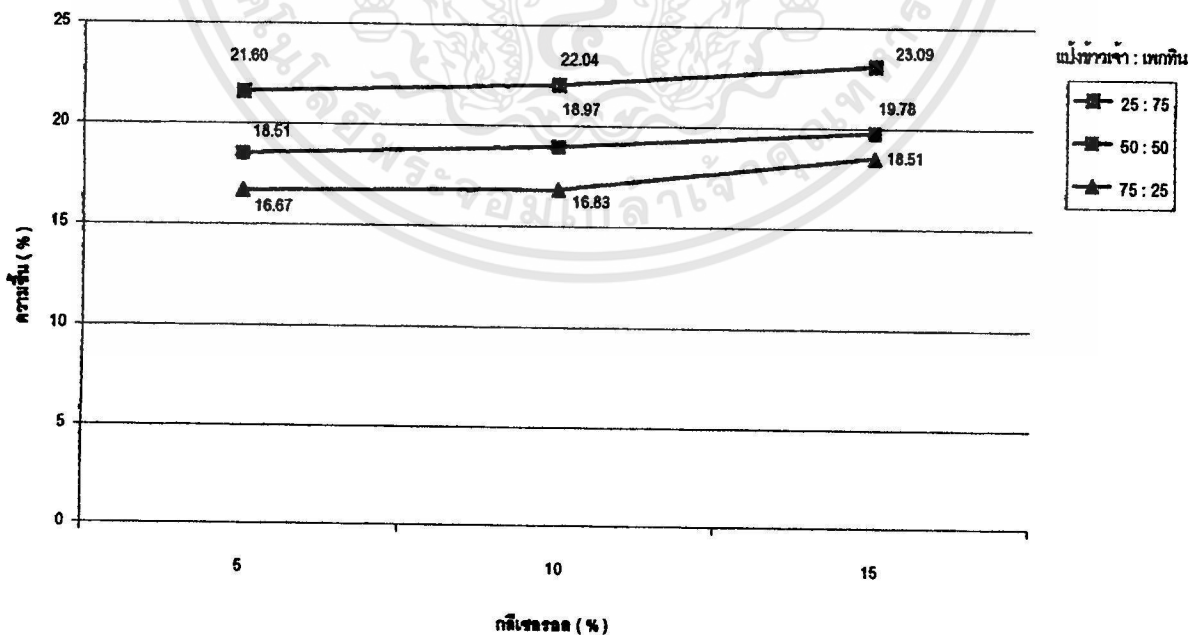
การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม ความชื้น (%) <sup>4</sup>
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	
1	25 : 75	5	21.60 ± 1.51 <sup>a</sup>
2		10	22.04 ± 0.97 <sup>a</sup>
3		15	23.09 ± 0.07 <sup>a</sup>
4	50 : 50	5	18.51 ± 0.26 <sup>bc</sup>
5		10	18.97 ± 0.21 <sup>b</sup>
6		15	19.78 ± 1.06 <sup>b</sup>
7	75 : 25	5	16.67 ± 0.44 <sup>d</sup>
8		10	16.83 ± 0.54 <sup>cd</sup>
9		15	18.16 ± 0.25 <sup>bcd</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง

2. F : P คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน

3. G คือ ระดับกลีเซอรอล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัย-  
สำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 , 50 : 50 และ 25 : 75 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) ใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้จะมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดอยู่ระหว่าง  $1.08 \pm 0.01$  ถึง  $2.64 \pm 0.29$  กิโลกรัม / ตารางมิลลิเมตร (10.630 – 25.905 เมกะปาสคาล) (แสดงดังตารางที่ 4.5) ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้อยู่ในเกณฑ์เทียบเท่ากับฟิล์ม พลาสติก ที่ใช้สำหรับทำถุงบรรจุน้ำมันบริโภค ที่กำหนดค่านี้ไว้ไม่น้อยกว่า 9 เมกะปาสคาล (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , 2529) พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุด เท่ากับ  $2.64 \pm 0.291$  กิโลกรัม / ตารางมิลลิเมตร และอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 15 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดต่ำที่สุด เท่ากับ  $1.08 \pm 0.01$  กิโลกรัม / ตาราง มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบ โดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราส่วนแป้ง ข้าวเจ้า : เพคติน ที่อัตราส่วน 75 : 25 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดแตกต่างจาก อัตราส่วน 25 : 75 และ 50 : 50 อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และปริมาณเพคตินลดลง ค่าความต้านทานแรงดึงขาดก็จะเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของระดับกลีเซอรอลก็พบว่า ที่ ระดับร้อยละ 5 มีความต้านทานแรงดึงขาดแตกต่างจากที่ระดับร้อยละ 10 และ 15 อย่างมีนัย สำคัญ เมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงขาดจะลดลง ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 ความต้านทานแรงดึงขาดจะมีค่าสูงที่สุด และระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 จะมีค่าความต้านทาน แรงดึงขาดต่ำที่สุด แสดงว่าเมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงขาดก็จะลดลง (Woff *et al.* 1951 ; Kester and Fennema. 1986 ; มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534 และ Park *et al.* 1993) อาจเนื่องมาจากปริมาณพลาสติกไฮดรอกซีที่เติมลงไปจะไปจับกับโพลีเมอร์ เกิดพันธะมีซัว หรือพันธะไฮโดรเจน ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายโพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลง (Beerler and Finney. 1983) ฟิล์มจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่วนการต้านทานแรงดึงขาดลดลง (Banker. 1966) ในการเตรียมฟิล์มจากโพลีเมอร์โดยไม่มีการใช้พลาสติกไฮดรอกซีร่วมด้วยจะได้ฟิล์มที่เปราะมาก เนื่องจากพลาสติกไฮดรอกซีจะช่วยลดแรงยึดจับระหว่างโมเลกุล (intermolecular force) ระหว่างสาย โพลีเมอร์และช่วยทำให้โพลีเมอร์มีการเคลื่อนตัวมากขึ้น จึงมีผลทำให้ฟิล์มไม่เป็นชิ้นเล็ก ๆ หรือ แตกหักง่าย (Gentard *et al.* 1993 ; Mchuge and Krochta. 1994)

ตารางที่ 4.5 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

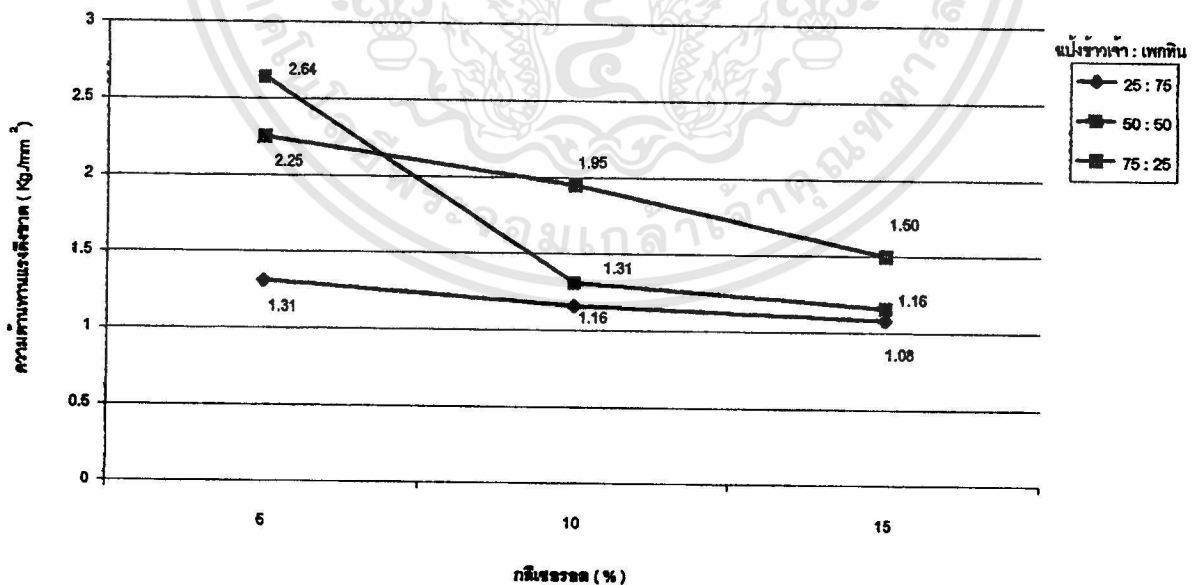
การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	ความต้านทานแรงดึงขาด (ก.ก. /มม. <sup>2</sup> ) <sup>4</sup>
1	25 : 75	5	1.312 ± 0.024 <sup>de</sup>
2		10	1.157 ± 0.044 <sup>e</sup>
3		15	1.084 ± 0.008 <sup>e</sup>
4	50 : 50	5	2.642 ± 0.291 <sup>a</sup>
5		10	1.313 ± 0.192 <sup>de</sup>
6		15	1.160 ± 0.030 <sup>e</sup>
7	75 : 25	5	2.245 ± 0.028 <sup>b</sup>
8		10	1.945 ± 0.005 <sup>c</sup>
9		15	1.498 ± 0.139 <sup>d</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. R : P คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน

3. G คือ ระดับกถิเซอร์อล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5 ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) ใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (ปริมาณของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคตินส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีความสามารถในการยึดตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 1.19 ± 0.03 ถึง 4.57 ± 0.11 (แสดงดังตารางที่ 4.6) พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 มีความสามารถในการยึดตัวสูงที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 4.57 ± 0.11 และอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 มีความสามารถในการยึดตัวต่ำที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 1.19 ± 0.03

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบ โดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน ทุกอัตราส่วนมีความสามารถในการยึดตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 มีความสามารถในการยึดตัวแตกต่างจากที่อัตราส่วน 25 : 75 และอัตราส่วน 75 : 25 อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และปริมาณพหุทินลดลง ความสามารถในการยึดตัวก็จะลดลง และเมื่อพิจารณาผลของระดับกลีเซอรอลก็พบว่า ที่ระดับร้อยละ 15 มีความสามารถในการยึดตัวแตกต่างจากที่ระดับร้อยละ 5 และ 10 อย่างมีนัยสำคัญทาง เมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นความสามารถในการยึดตัวก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของนักวิจัยหลายท่านที่กล่าวว่าความสามารถในการยึดตัวแปรผันตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น (Otey *et al.* 1977 ; มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534 ; Coffin and Fishman. 1993 ) เนื่องจากการใช้พลาสติกไซเซอร์เป็นแบบ external ซึ่งเป็นกรรมวิธีการเติมสารลงไปในโครงสร้างโพลีเมอร์ทำให้เกิดเป็นสารเชิงซ้อนหรือโมเลกุลจับกลุ่มกัน พลาสติกไซเซอร์และโพลีเมอร์จับยึดเข้าด้วยกันด้วยแรงวาเลนซ์ทุติยภูมิ (secondary valency) (Mellan. 1961) พลาสติกไซเซอร์จะทำให้แรงระหว่างโมเลกุลระหว่างเส้นสายโพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง ส่งผลให้ค่าต้านทานแรงดึงขาดลดลง และทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่น (flexibility) เพิ่มขึ้น ลดความเปราะ แตกง่าย (Banker. 1966)

ตารางที่ 4.6 ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

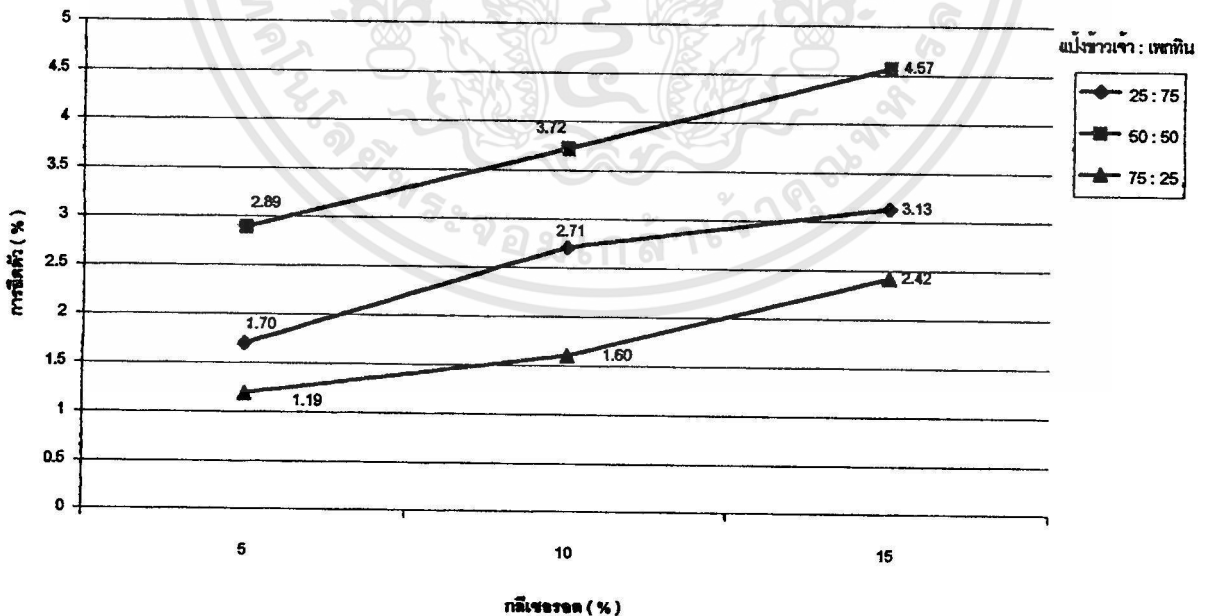
การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	ความสามารถในการยึดตัว (ร้อยละ) <sup>4</sup>
1	25 : 75	5	1.703 ± 0.110 <sup>e</sup>
2		10	2.714 ± 0.030 <sup>cd</sup>
3		15	3.129 ± 0.059 <sup>c</sup>
4	50 : 50	5	2.888 ± 0.442 <sup>c</sup>
5		10	3.715 ± 0.138 <sup>b</sup>
6		15	4.575 ± 0.106 <sup>a</sup>
7	75 : 25	5	1.194 ± 0.027 <sup>f</sup>
8		10	1.595 ± 0.071 <sup>e</sup>
9		15	2.420 ± 0.177 <sup>d</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

2. R : P คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน

3. G คือ ระดับกสิเซอร์รอด

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.6 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) ใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 ( ปริมาณของแข็ง คือ ปริมาณแป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ อยู่ระหว่าง  $70.46 \pm 8.40$  ถึง  $148.99 \pm 1.40$  กรัม / ตารางเมตร.วัน. (แสดงดังตารางที่ 4.6) โดยที่อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 15 จะมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงที่สุด และ อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 5 มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test พบว่า ที่อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน จะมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำทุกอัตราส่วนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ปริมาณเพคตินลดลง อัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะเพิ่มขึ้น ส่วนกลีเซอรอลนั้นพบว่า ทุกระดับมีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น อัตราการซึมผ่านของไอน้ำก็จะสูงขึ้น เนื่องจากพลาสติกไฮดรอกซ์จะไปลดคุณสมบัติในการเป็นตัวกั้นแก๊ส ไอน้ำ และตัวถูกละลายของฟิล์มและยังทำให้ความยืดหยุ่นและการเกาะตัวกันลดลง (Gentard *et al.* 1993 ; Mchuge and Krochta. 1994) แต่ด้านกับผลการทดลองของ Otey และคณะ (1977) ที่พบว่าการเติมพลาสติกไฮดรอกซ์ลงไปในโครงสร้างของฟิล์มจะทำให้ความต้านทานน้ำ (water resistance) เพิ่มขึ้น และ Guilbert and Biquet (1989) ที่พบว่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะลดลงเมื่อกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) เพิ่มขึ้น

เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ สุวิธนา พฤษศรี (2539) ที่ได้เตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าและวุ้น ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไฮดรอกซ์ เมื่อปริมาณวุ้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดน้อยลงและเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งต่างจากการทดลองของ Banker (1966) ซึ่งพบว่าแผ่นฟิล์มที่ประกอบด้วยกลีเซอรอลจะมีลักษณะที่มีขรุขระ การเรียงตัวของโมเลกุลในแผ่นฟิล์มค่อนข้างเป็นระเบียบทำให้ฟิล์มมีรูพรุนน้อย เป็นผลให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดต่ำลง ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากการละลายไม่สมบูรณ์ของอะมิโลส

ตารางที่ 4.7 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

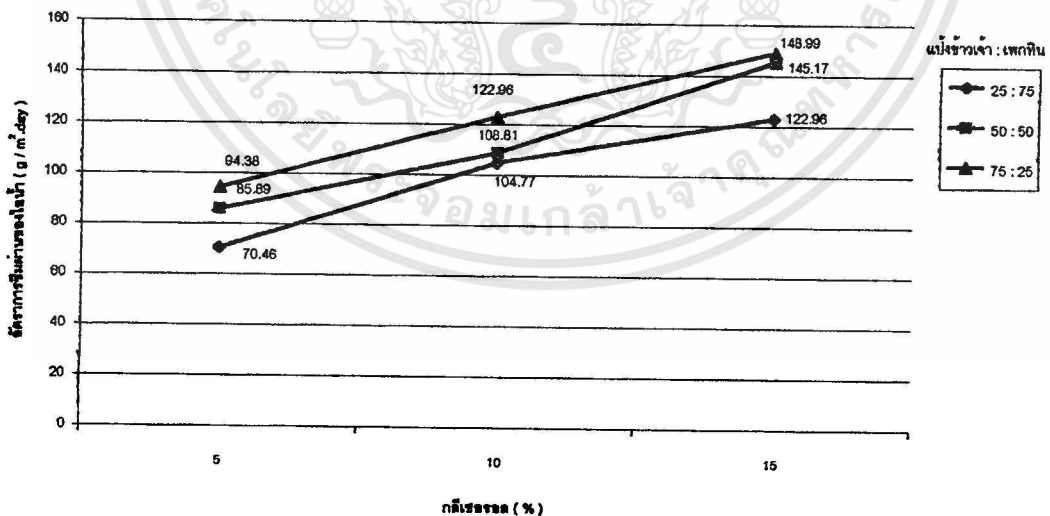
การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	WVTR (ก. / ม. <sup>2</sup> .วัน) <sup>4</sup>
1	25 : 75	5	70.46 ± 8.40 <sup>f</sup>
2		10	104.77 ± 0.90 <sup>c</sup>
3		15	122.96 ± 0.60 <sup>b</sup>
4	50 : 50	5	85.89 ± 0.20 <sup>e</sup>
5		10	108.81 ± 1.40 <sup>c</sup>
6		15	145.17 ± 0.40 <sup>a</sup>
7	75 : 25	5	94.38 ± 0.80 <sup>d</sup>
8		10	122.96 ± 0.60 <sup>b</sup>
9		15	148.99 ± 1.40 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง

2. R : P คือ อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

3. G คือ ระดับกัลลีเซอร์รอล

4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

#### 4.2.7 อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

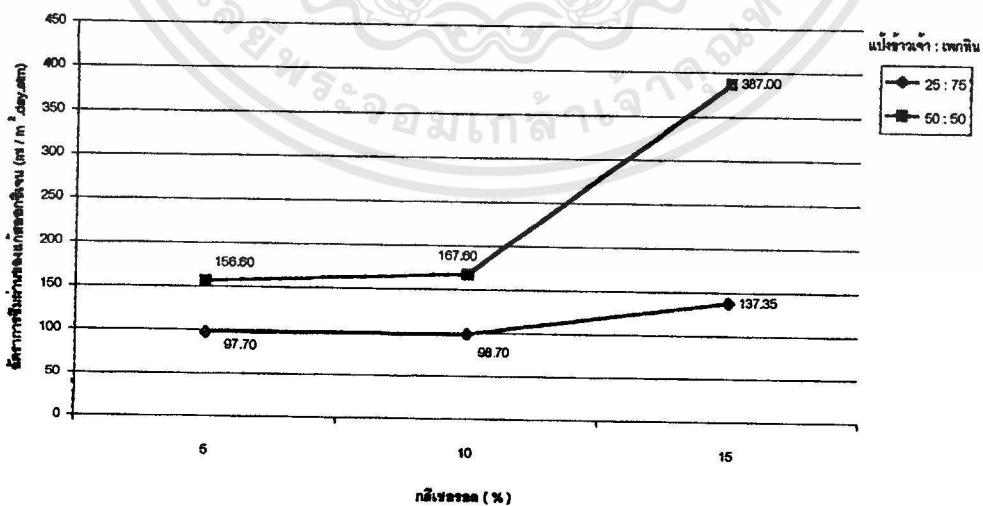
จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ในทุกอัตราส่วนใช้ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) ใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 ( ปริมาณของแข็ง คือ ปริมาณแป้งข้าวเจ้าและเพคตินส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน อยู่ระหว่าง  $79.70 \pm 1.70$  ถึง  $387.00 \pm 8.48$  มิลลิลิตร / ตารางเมตร.วัน. บรรยากาศ (แสดงดังตารางที่ 4.6) โดยที่อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50 ระดับกลีเซอรอล ร้อยละ 15 จะมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนสูงที่สุด และ อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 ระดับ กลีเซอรอล ร้อยละ 5 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนต่ำที่สุด

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test พบว่า ที่อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน จะมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนทุกอัตราส่วนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่อัตราส่วน 50 : 50 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนสูงที่สุด รองลงมา คือ อัตราส่วน 25 : 75 ส่วนอัตราส่วน 75 : 25 นั้นไม่สามารถทำการวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนได้ เนื่องจากฟิล์มแตก (แสดงในภาคผนวก) เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น ปริมาณเพคตินลดลง อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนจะเพิ่มขึ้น ส่วนกลีเซอรอลนั้นพบว่า ทุกระดับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนก็จะสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานที่ไปกระตุ้นการแพร่กระจายของแก๊สและไอให้ผ่านแผ่นฟิล์ม (energy of activation for diffusion, Ed.) มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ไปใช้แยกสายโซ่โพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กัน เพราะฉะนั้นพลาสติกไซ-เซอร์จึงทำให้แรงดึงดูดระหว่างสายโซ่ลดลงและเป็นผลให้ค่า Ed. ต่ำลง แต่ค่าคงที่ของการแพร่กระจายของแก๊สเพิ่มขึ้น (diffusion constant) และสภาพการซึมผ่านของแก๊สและไอของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น (Banker, 1966) และจากผลการทดลองจะเห็นว่าการใช้แป้งข้าวเจ้า : เพคตินที่อัตราส่วน 25 : 75 และกลีเซอรอลร้อยละ 5 และ 10 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สต่ำกว่าฟิล์มไนลอน/โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (ON/PE) ความหนา 0.015-0.040 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 120 มิลลิลิตรตารางเมตร. 24 ชั่วโมง. บรรยากาศ (Louis and De Leiris. 1991) และฟิล์มทุกสูตรมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันและไขมันบริโภค (2529) ที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่มีค่าต่ำกว่า 0.06 เฟมโตเมตรปราศกาล .วินาที (0.5251 มิลลิลิตร/ตารางเมตร . วัน . บรรยากาศ)

ตารางที่ 4.8 อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน<sup>1</sup>

การทดลอง ที่	ปัจจัยในการผลิต		คุณสมบัติของฟิล์ม
	F : P <sup>2</sup>	G <sup>3</sup>	อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (มด. / ม <sup>2</sup> .วัน. บรรยากาศ) <sup>4</sup>
1	25 : 75	5	79.70 ± 1.70 <sup>f</sup>
2		10	98.70 ± 3.68 <sup>g</sup>
3		15	137.35 ± 2.05 <sup>d</sup>
4	50 : 50	5	156.60 ± 3.39 <sup>c</sup>
5		10	167.60 ± 0.99 <sup>b</sup>
6		15	387.00 ± 8.48 <sup>a</sup>
7	75 : 25	5	ฟิล์มแตก
8		10	ฟิล์มแตก
9		15	ฟิล์มแตก

- หมายเหตุ : 1. ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง  
 2. R : P คือ อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าและเพคติน  
 3. G คือ ระดับกลีเซอรอล  
 4. ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.8 การต้านทานน้ำมันของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25 , 50 : 50 และ 25 : 75 ในแต่ละอัตราส่วนจะใช้กลีเซอรอล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 , 10 และ 15 (เทียบกับแป้ง 100 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง) และใช้อัตราส่วน ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (ปริมาณของเหลว คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนปริมาณของเหลว คือ น้ำกลั่น) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้ทุกสูตรจะมีความต้านทานน้ำมันได้นานกว่า 20 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันและไขมันบริโภค คือ 5 วัน (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) แสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน สามารถนำไปใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบสูงได้

#### 4.3 การเปรียบเทียบฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินกับฟิล์มชนิดอื่น

ในการเปรียบเทียบฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน จะใช้ผลการทดลองที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75 และระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5 ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับฟิล์มดังต่อไปนี้

##### 4.3.1 ฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเขียว (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2540 )

ปัจจัยที่ 1 ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว 3 ระดับ คือ 30 : 70 , 20 : 80 และ 10 : 90

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต : โปรตีน 3 ระดับ คือ 0.05 : 1 , 0.10 : 1 และ 0.15 : 1

ความเข้มข้นของกลีเซอรอลคงที่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์

ทำการผสมส่วนผสมในเครื่องผสม ความเร็ว 180 รอบ / นาที ใช้อุณหภูมิ 80 ° ซ เป็นเวลา 40 นาที เกลี่ยบนแผ่นกระจก อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ° ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออก นำไปทดสอบคุณสมบัติ

##### 4.3.2 ฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง (บุชนารถ ทรรศน์พาณิชย์ และคณะ. 2541)

ปัจจัยที่ 1 อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง (ปริมาณโปรตีน) (% น้ำหนักของผสม) : ปริมาณของเหลว 3 ระดับ คือ 10 : 90 , 12 : 88 และ 14 : 86

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณกลีเซอรอล (% น้ำหนักของผสม) 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 , 6 และ 7

นำส่วนผสมทั้งหมดมาปรับ pH ให้ได้ 8.0 ด้วย 1.0 N NaOH นำไปผสมในเครื่องผสมที่ความเร็ว 180 รอบ / นาที โดยให้ความร้อน 80 ° ซ นาน 40 นาที นำส่วนผสม 100 กรัม มาแผ่เป็น

แผ่นบางลงบนแผ่นพลาสติกอะคริลิก ขนาด 20×30 ซม. นำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 13°ซ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออก นำไปทดสอบคุณสมบัติ

#### 4.3.3 ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า (สาทิ สุขสม และโสภิพรรณ วารวินิช. 2541)

ปัจจัยที่ 1 ปริมาณของเหลว : ปริมาณของแข็ง 3 ระดับ คือ 90 : 10 , 85 : 15 และ 80 : 20

ปัจจัยที่ 2 แป้งมันสำปะหลัง : แป้งข้าวเจ้า 4 ระดับ คือ 100 : 00 , 90 : 10 , 80 : 20 และ 70 : 30

ใช้ปริมาณกลีเซอรอลคงที่ที่ระดับร้อยละ 5 (โดยน้ำหนักของแป้ง)

ส่วนผสมความเร็ว 250 รอบ / นาที ที่อุณหภูมิ 80°ซ เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 45°ซ เพื่อไล่ฟองอากาศ นำส่วนผสม 70 กรัม (น้ำหนักเปียก) แผ่นลงบนแผ่นโพลีเอทิลีน ขนาด 20 ×30 ซม. ขอบสูง 1.0 มม. นำไปผึ่งแดด 4-6 ชั่วโมง จนฟิล์มแห้ง ลอกฟิล์มออก เก็บในถุงพลาสติก (PE) นำไปทดสอบคุณสมบัติ

#### 4.3.4 ฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลัง (ปนัดดา พวงเกษม . 2540 )

น้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 5

พลาสติกไซเซอร์ ใช้ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล-400 โดยแต่ละชนิดใช้ระดับร้อยละ 0 , 10 , 20 และ 30

นำน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 5 มาเจลาตีไนส์ เต็มพลาสติกไซเซอร์ ไล่ฟองอากาศโดยใช้อัลตราโซนิค (Ultrasonic) เป็นเวลา 5 นาที ช้อนฟองทิ้ง ทิ้งไว้จนอุณหภูมิลดลงเหลือ 45°ซ ชั่งน้ำหนัก 70 กรัม ขึ้นรูปโดยปรับปรุงวิธีการโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง ทำแห้งที่อุณหภูมิ 60°ซ ลอกแผ่นฟิล์มออก นำไปทดสอบคุณสมบัติ

#### 4.3.5 ฟิล์มที่รับประทานได้จากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2534)

สตาร์ชและวุ้น

สตาร์ชอะมิโลสและวุ้น

อะมิโลสและวุ้น

พลาสติกไซเซอร์ใช้กลีเซอรอล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0 , 0.25 และ 0.5

เตรียมสารละลายสตาร์ชมันเทศ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนและคนตลอดเวลาจนเกิดการเจลาติไนส์ และเตรียมสารละลายวุ้นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 2 นำสารผสมทั้งสองมาผสมกันขณะร้อน ในอัตราส่วน สารละลายสตาร์ชต่อสารละลายวุ้น เท่ากับ 1 : 2 ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และผสมกลีเซอรอล ซึ่งน้ำหนัก 45 กรัม เทลงภาชนะขนาด 15× 25 ซม. วางทิ้งไว้ให้แผ่นฟิล์มเป็ยกคงรูป ทำแห้งด้วยไอน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 40-60°C จนฟิล์มแห้ง ลอกแผ่นฟิล์มออก นำไปทดสอบคุณสมบัติ

ในการเปรียบเทียบฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน กับฟิล์มดังกล่าวข้างต้นจะเปรียบเทียบ ความหนา , water activity , ความชื้น , ความต้านทานแรงดึงขาด , เปอร์เซ็นต์การยึดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ, อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน และความต้านทานน้ำมัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.9

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า ฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินจะมีความหนาใกล้เคียงกับฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง, ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง แต่จะมีความหนามากกว่าฟิล์มจากโปรตีนสกัดถั่วเขียว และสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว ค่า  $A_w$  สูงกว่าฟิล์มจาก แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว เปอร์เซ็นต์ความชื้นมีค่าต่ำกว่าฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนสกัดถั่วเขียว และฟิล์มจากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง แต่มีค่าความชื้นสูงกว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า ความต้านทานแรงดึงขาดสูงกว่า ฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนสกัดถั่วเขียว , ฟิล์มจากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง , ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง แต่มีค่าต่ำกว่าฟิล์มจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว เปอร์เซ็นต์การยึดตัวสูงกว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง, ฟิล์มสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว แต่ต่ำกว่าฟิล์มโปรตีนสกัดถั่วเขียว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่า ฟิล์มจากโปรตีนสกัดถั่วเขียว, ฟิล์มจากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง, ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง และฟิล์มสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว และความต้านทานน้ำมันพบว่ามากกว่าฟิล์มชนิดอื่นยกเว้นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง

จากการพิจารณาจะพบว่าฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินจะมีคุณสมบัติทางด้าน ความหนา ความชื้น ความต้านทานแรงดึงขาด ความต้านทานน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าฟิล์มชนิดอื่น แต่ต่ำกว่าฟิล์มที่ผลิตได้จากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว และพบว่าฟิล์มที่ผลิตจากคาร์โบไฮเดรตจะมีคุณสมบัติทางด้าน ความหนา ความชื้น ความต้านทานแรงดึงขาด ความต้านทานน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าฟิล์มที่ผลิตได้จากโปรตีน แต่จะมีคุณสมบัติด้อยกว่าในด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊ส จึงควรที่จะมีการปรับปรุงพัฒนาต่อไป

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและพศดินกับฟิล์มที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติชนิดอื่น

ชนิดของฟิล์ม คุณสมบัติ	โปรตีนสกัด ถั่วเขียว	โปรตีนสกัด ถั่วเหลือง	แป้งข้าวเจ้าและ พศดิน	แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า	แป้งมันสำปะหลัง	สตาร์ชมันเทศ ที่แยกส่วนแล้ว
ความหนา (mm)	0.104 - 0.166	0.062 - 0.133	0.065 - 0.090	0.065 - 0.088	0.042 - 0.078	0.02-0.03
$A_w$	-	-	0.73 - 0.78	0.525 - 0.545	-	0.472-0.594
ความชื้น (%)	22.554 - 28.056	21.50 - 24.19	16.67 - 23.09	9.462 - 12.163	-	-
ความต้านทานแรงดึงขาด (kg / mm <sup>2</sup> )	0.007 - 0.013	0.0805 - 0.117	1.084 - 2.642	0.484 - 1.745	0.97 - 3.22	1.59 - 4.65
การยืดตัว (%)	9.334 - 17.334	-	1.194 - 4.575	-	1.28 - 15.50	1.00 - 3.75
อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (g / m <sup>2</sup> . day)	5.325 - 7.533	18.97 - 26.91	70.463 - 148.992	57.595 - 72.75	66.82 - 91.45	-
อัตราการซึมผ่านของแก๊ส ออกซิเจน (ml/m <sup>2</sup> .day.atm)	-	-	79.70 - 387.00	-	16 - 31365	1.094x10 <sup>3</sup> - 4.834x10 <sup>3</sup>
ความต้านทานน้ำมัน (hr)	> 36	> 72	> 480	> 360	2880	>36

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

1. จากการวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีความชื้นร้อยละ  $12.28 \pm 0.11$ , โปรตีนร้อยละ  $6.84 \pm 0.18$ , ไขมันร้อยละ  $0.30 \pm 0.00$ , เถ้าร้อยละ  $0.29 \pm 0.01$ , คาร์โบไฮเดรตร้อยละ  $80.21 \pm 0.15$ , เยื่อใยร้อยละ  $0.09 \pm 0.00$  และอะมิโนสร้อยละ  $23.92 \pm 0.09$  ส่วนเพคตินนั้นพบว่ามีค่าความชื้นร้อยละ  $11.21 \pm 0.05$

2. ในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน โดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน ที่อัตราส่วน 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 และทุกอัตราส่วนใช้กลีเซอรอล เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ระดับร้อยละ 5, 10 และ 15 แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพเคมี ได้แก่ ความหนา, water activity, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด, ความสามารถในการยึดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ, อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน และความต้านทานน้ำมัน พบว่า มีความหนาอยู่ระหว่าง  $0.065 \pm 0.007$  ถึง  $0.090 \pm 0.000$  มิลลิเมตร,  $A_w$  อยู่ระหว่าง  $0.73 \pm 0.02$  ถึง  $0.78 \pm 0.01$ , ความชื้น อยู่ระหว่างร้อยละ  $16.67 \pm 0.44$  ถึง  $23.09 \pm 0.07$ , ความต้านทานแรงดึงขาด อยู่ระหว่าง  $1.08 \pm 0.01$  ถึง  $2.64 \pm 0.29$  กิโลกรัม / ตารางมิลลิเมตร, ความสามารถในการยึดตัว ระหว่าง ร้อยละ  $1.19 \pm 0.27$  ถึง  $4.58 \pm 0.11$ , อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ อยู่ระหว่าง  $70.46 \pm 8.40$  ถึง  $148.99 \pm 1.40$  กรัม / ตารางเมตร . วัน, อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน อยู่ระหว่าง  $79.70 \pm 1.70$  ถึง  $387.00 \pm 8.49$  มิลลิตร / ตารางเมตร . วัน . บรรยากาศและความต้านทานน้ำมันนานกว่า 20 วัน

3. จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เปรียบเทียบโดยใช้ Duncan's Multiple-Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนา, ความต้านทานแรงดึงขาด และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น ส่วน water activity, ความชื้น, ความสามารถในการยึดตัว และอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนลดลง ส่วนปริมาณกลีเซอรอลนั้นพบว่า เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนา, water activity, ความชื้น, ความสามารถในการยึดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และอัตราการซึมผ่านของแก๊สจะเพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานแรงดึงขาดจะลดลง

4. จากการวิเคราะห์หสสัมพันธ์ของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินก็พบว่าปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณแป้งข้าวเจ้า : เพคติน ( $X_1$ ) เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ ความหนา, ความต้านทานแรงดึงขาด และอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน  $A_w$  และ ความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผลของปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณกลีเซอรอล ( $X_2$ ) นั้นจะพบว่าเมื่อ

ปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ ความหนา, เปรอร์เซ็นต์การยึดตัว, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความต้านทานแรงดึงขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง ( $X_1 \cdot X_2$ ) นั้นพบว่า มีผลต่อความหนา, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญ (แสดงดังตารางที่ 5.1)

5. จากการเปรียบเทียบฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินกับฟิล์มโปรตีนสกัดถั่วเขียว, ฟิล์มโปรตีนสกัดถั่วเหลือง, ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า, ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว พบว่า ฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าและเพคตินจะมีคุณสมบัติทางด้านความหนา, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด และความต้านทานน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าฟิล์มชนิดอื่นที่กล่าวข้างต้น แต่ด้อยกว่าฟิล์มสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว และพบว่าฟิล์มที่ผลิตจากคาร์โบไฮเดรตจะมีคุณสมบัติทางด้านความหนา, ความชื้น, ความต้านทานแรงดึงขาด ความต้านทานน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีน แต่จะมีคุณสมบัติด้อยกว่าในด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊ส จึงควรที่จะมีการพัฒนาปรับปรุงต่อไป

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ของฟิล์มที่รับประจําแสงได้จากแป้งข้าวเจ้า และเพคติน อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 ระดับกัลเลคโตรล้อยละ 5, 10 และ 15 อัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8

คุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมี	ความหนา	Water Activity	ความชื้น	การต้านทานแรงดึงขาด	การยัดตัว	อัตราสารซึมผ่านของไอน้ำ	อัตราสารซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน
ปัจจัย							
$X_1$	0.6378 <sup>**</sup>	-0.5383 <sup>*</sup>	-0.9223 <sup>**</sup>	0.5485 <sup>**</sup>	-0.3102 <sup>ns</sup>	0.3741 <sup>ns</sup>	0.6503 <sup>*</sup>
$X_2$	0.6378 <sup>**</sup>	0.4189 <sup>ns</sup>	0.2593 <sup>ns</sup>	-0.6314 <sup>**</sup>	0.5763 <sup>*</sup>	0.9137 <sup>**</sup>	0.5802 <sup>*</sup>
$X_1 \cdot X_2$	-0.6857 <sup>**</sup>	0.2947 <sup>ns</sup>	0.6407 <sup>**</sup>	0.5340 <sup>*</sup>	0.2301 <sup>ns</sup>	-0.9070 <sup>**</sup>	-0.6099 <sup>*</sup>

หมายเหตุ :  $X_1$  = ปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณแป้งข้าวเจ้า: ปริมาณเพคติน

$X_2$  = ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณกัลเลคโตรล

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

\*\* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01

## ข้อเสนอแนะ

1. फिल्मที่ผลิตได้จากแบ่งข้าวเจ้าและเพคตินมีข้อด้อยในด้านสมบัติที่ไวต่อความชื้น ความสามารถในการยึดตัวต่ำ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สออกซิเจนสูง จึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ คือ ไม่สามารถใช้ในลักษณะที่สัมผัสกับบรรยากาศโดยตรงได้ จึงน่าจะมีการศึกษาและพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มให้ดีขึ้น

2. การเตรียมฟิล์มเป็นการทดลองในระดับปฏิบัติการ ซึ่งทำการขึ้นรูปฟิล์มโดยใช้มือ จึงผลิตได้ในปริมาณน้อย และความหนาไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ขึ้นรูป ดังนั้นควรศึกษาการขยายขนาดการผลิตโดยใช้เครื่องมืออัตโนมัติในการขึ้นรูป เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีความหนาสม่ำเสมอ และผลิตได้ในปริมาณมาก ในระยะเวลาอันสั้น จึงจะเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระดับอุตสาหกรรมต่อไป



## เอกสารอ้างอิง

เกศศิณี ตระกูลทิวากร , วิภา สุโรจนะเมธากุล , ประชา บุญญสิทธิกุล และสมยศ จรรยาวิลาศ.

2529. "การทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง." วารสารอาหาร.

26 (4) : 249-262.

งามชื่น คงเสรี. 2518. "การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวไทย."

วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 8 : 421-433.

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2540. "การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเขียว."

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นุชนารถ ทรัพย์พานิชย์, มาริสา เพิ่มเต็มสิน และธัญญาภรณ์ ศิริพรพันธ์. 2540. " การศึกษา

การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง" ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปนัดดา พวงเกษม. 2537. "การเตรียมฟิล์มบริโคได้จากแป้งชนิดต่าง ๆ" ปัญหาพิเศษปริญญาโท.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปนัดดา พวงเกษม. 2540. " การเตรียมฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันสำปะหลังและแนวทางการใช้

ประโยชน์."วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พนอจิต ธัญญมงคลพงศ์. 2531. "การแยกส่วนอะมิโลสจากแป้งข้าวเจ้า." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร

มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มณฑาทิพย์ ยูนฉลาด. 2534. "การเตรียมฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว."

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริวรรณ แสงนิกรเกียรติ. 2540. "แนวความคิดใหม่ของบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมในยุโรป."

วารสารจาร์พา. ฉบับที่ 36 : 51-52.

ศุภยวีชัยข้าวปทุมธานี. 2531. "ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพ - เคมี ของแป้งเกี่ยวกับ

คุณภาพการหุงต้มและรับประทานได้ของข้าวเจ้าพันธุ์ดีที่ปลูกในสถานีทดลองต่าง ๆ."

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 16 น.

สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2540. "วท. จับมือ คพ. หามาตรการจัดการ

บรรจุภัณฑ์ในประเทศ." จดหมายข่าว วท. ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 มีนาคม

- สายสนม ประดิษฐดวง. 2528. "การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบชนิดต่าง ๆ. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2528." มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ 36 น.
- สาส์ สุธสม และโสภีพรรณ วารวณิช. 2540. " การศึกษาคุณสมบัติและการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า โดยขึ้นรูปด้วยตัวทำละลาย. " ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 13 น.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันและไขมันบริโภค. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 21 น.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2534. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 14 น.
- สุวัฒน์ พฤกษ์ศรี. 2539. "การผลิตฟิล์มที่บริโภคได้จากแป้งข้าวเจ้าและการประยุกต์ใช้:" ปัญหาพิเศษ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- 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 Philadelphia. pp. 39-47.
- American Standard for Testing and Material. 1992. Standard test method for determining gas permeability characteristic of plastics film and sheeting, D 1434 – 82 (Reapproved. 1992) Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia. pp. 207-218.
- American Standard for Testing and Materials. 1994. Standard test method for water vapor transmission of materials, E 96-94. Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia. p. 696-703.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16<sup>th</sup> ed. The Association of Analytical Chemists. Arlington, Virginia.
- Arpin, M. and C. Strazielle. 1976. "Conformation of aromatic polyimides in concentrated Sulfuric acid." Makromol. Chem. 177 : 581-584.
- Arpin, M. and C., Strazielle. 1977. "Characterization and conformation of aromatic poly-Amides : poly (1,4-phenyleneterephthalamide) and poly (p-benzamide) in sulphuric Acid." Polymer. 18 : 591-598.

- Back, J.F., D., Oakenfull and M.B., Smith. 1979. "Increased thermal stability of protein In the presence of sugar and polyols." Biochemistry. 18 : 5191.
- Banker, G.S. 1966. "Film coating theory and practice." J. Pharm. Sci. 55 (1) : 81-89.
- Beerler, A.D. and D.C., Finney. 1983. " Plasticizers." p 193-195. In Modern Plastics Encyclopedia 59 (10A). New York : A McGraw – Hill Publication.
- Beerh, O.P., Raghuramiah and G.V., Krishnamurthy. 1976. "Utilization of mango waste : Peel as a source of pectin." J. Food Sci Technol. 13 (2) : 96-97.
- Brandenburg, A.H., C.L., Weller and R.F., Testin. 1993. "Edible films and coating from soy protein. J. Food Sci. 53 (3) : 1080-1089.
- Cagampang, G.B., C.M., Perez and B.O. Juliano. 1973. "A gel consistency test for Eating quality of rice." J. Sci. Food Agric. 24 : 1589-1594.
- Cheappimolchai, W. and A. Numhom. 1994. "Isolate protein from mungbean vermicelli waste for edible film production. Master." Thesis Asian Institute of Technology Bangkok Thailand.
- Coffin, D.R. and M.L., Fishman. 1993. "Viscoelastic properties of pectin/starch blend." J. Agric. Food. Chem. 41 : 1192-1197.
- Coffin, D.R. and M.L., Fishman. 1994 "Mechanical properties of pectin/starch films." p. 83-91. In M.L. Fishman. (ed.) Polymer From Agricultural Coproducts. Washington D.C. : U.S. copyright Published.
- Collision, R. 1968. "Swelling and-gelation of starch. " p. 168-193. In JA. Radley (ed.) Starches and Its Derivatives. London : Chapman and Hall Ltd.
- ominic, W.S. Wong. 1989. Mechanism and Theory in Food Chemistry. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Feuge, R.O. 1953. "Acetoglyceride – New fat product of potential value to the food Industry." Food Technol. 9 : 314.
- Gennadios, A. and C.L., Weller. 1990. "Edible film and coating from wheat and corn Protein." Food Technol. 44 (10) : 63-67.
- Gennadios, A. and C.L., Weller. 1991. "Edible film and coating : a review." Food Technol. 42 : 47-59.

- Gennadios, N., S. Gulibert and J. Cuq. 1993. "Water and glycerol as plasticizers affect Mechanical and water vapor barrier properties of and edible wheat gluten film." J. Food. Sci. 58 (1) : 206-211.
- Gennadios, A., C.L., Weller, M.A., Hanna and G.W., Froning. 1996. " Mechanical and barrier properties of egg albumen films." J. Food. Sci. 61 (3) : 585-589.
- Gontard, N., S. Guilbert and J.L., Cuq. 1993. "Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film." J. Food . Sci. 55 (1) : 206-211.
- Graham, H.D. 1977. Food Colloids. Westport, connecticut. : The AVI Publishing company, Inc.
- Guilbert, S. 1986. "Technology and application of edible films." p 371. *In* M. Mathlouthi (ed.) Food Packaging and Preservation Theory and Practice. London : Elsevier Applie Science Publisher.
- Hall, D.M. 1996. " A study of the surface wax deposits on apple fruit Aust." J. Biol. Sci. 19 : 1017
- Henglein, F.A. and G., Schneider. 1936. "Esterification of pectin sunstances." Chem. Ber. 69B : 309-324.
- Hullinger, C.H. 1965. "Starch film and coating." Cereal Sci. Today. 10(9) : 508-510.
- Juliano, B.O. 1971. "A simplified assay for milled – rice amylose." Cereal Sci. Today. 16 (10) : 334-360.
- Kester, J.J. and O.K., Fennema. 1986. "Edible film and coating : a review." Food Technol. Dec. : 47-59.
- Kester, J.J. and O.K., Fennema. 1989. "An edible film of lipid and cellulose ethers : Performance in a model frozen-food system." J. Food Sci. 54(6) : 1390-1392,1406.
- Kim, W.J., C.J.B., Smit and V.N.M., Rao. 1978. "Demethylation of pectin using acid and Ammonia." J. Food Sci. 43 : 74
- Krachanova, M., C., Benemou and C., Kratchanov. 1991. "On the pectic substances of Mango fruits." Carbohyd. Res. 15 : 271-282.

- Lovegren, N.V. and R.O., Feuge. 1954. "Permeability of acetostearin products to water Vapor." J. Agric. Food. Chem. 2 : 558.
- Maclay, W.D. and H.S., Owens. 1947. "Pectinates - promising food and industrial material." Chem. Dig. 6 : 325-329.
- Mark, A.M., W.B., Roth, C.L., Mehlretter and C.E., Rist. 1964. "Physical properties of films from dimethyl sulfoxide-pretreated amylo maize starches." Cereal Chem. 41 : 197-203.
- Mark, A.M., W.B., Roth, C.L., Mehlretter and C.E., Rist. 1966. "Oxygen permeability of Amylo maize starch films." Food Technol. Jan. : 75-77.
- Marquie., C., C.A., Jean Louis Cuq. And S., Guilbert. 1995. " Biodegradable Packaging from Cotton seed Flour." J. Agri. Food. Chem. 43 : 2762-2767.
- McHugh, T.H. and J.M., Krochta. 1994. "Permeability properties of edible films."pp. 139-187. *In* J.M. Krochta, E.A. Baldwin and M.O. Nisperos-Carriedo (eds). Edible Coating and Film to Improve Food Quality. Lancaster : Technomic Publishing Co.
- Miers, J.C., H.A., Swenson, T.H., Schultz and H.S., Owens. 1953. "Pectinate and pectate coating. I. General requirements and procedures." Food Technol. 7 : 229-231
- Mumma, C.E. 1967. " Development of extruded amylose packaging film. Cereal Sci. Today." 12(1) : 4 -9.
- Nisperos – Carriedo, M.O. 1994. "Edible coatings and films based on polysaccharides." p. 320-322, 329-330. *In* J.M. Krochta, E.A. Baldwin And M.O. Nisperos – Carriedo (ed.) Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. U.S.A : Technomic Publ. Co., Lancaster.
- Oakenfull, D. and A., Scott. 1984. " Hydrophobic interaction in gelation of high methoxyl Pectin." J. Food Sci. 49 : 1093-1098.
- Otey, F.H., R.P., Westhoff and C.R., Russell. 1977. " Biodegradable films from starch and Ethylene-acrylic acid copolymer." Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev. 16 : 305 - 308.
- Otey, F.H., R.P., Westhoff and W.M., Doane. 1980. " Starch-based blown films." Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev. 19 : 592-595.

- Otey, F.H., R.P., Westhoff and W.M., Doane. 1987. Starch-based blown films. 2. Ind. Eng. Chem. Res. 26 : 1659-1663.
- Ott, M. and E.E., Hester. 1965. "Gel formation as related to concentration of amylose and degree of starch swelling." Cereal Chem. 42 : 476-484.
- Park, H.J., C.L., Weller, P.J., Vergano and R.F., Testin. 1993. "Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films." J. Food Sci. 58 (6) : 1361-1364.
- Phatak, L., K.C., Chang and G., Brawn. 1988. "Isolation and characterization of pectin In sugar-beet pulp." J. Food Sci. 53 : 830-833.
- Rankin, J.C., I.A., Wolff, H.A., Davis and C.E., Rist. 1958. " Permeability of amylose film to Moisture vapor, selected organic vapors, and the common gases." Ind. Eng. Chem. Eng. Data. Ser. 3 : 120-123.
- Rao, M.A. and H.J., Cooley. 1993. "Dynamic rheological measurement of structure Development in high-methoxyl pectin / fructose gels." J. Food Sci. " 58(4) : 876-879.
- Roth, W.B. and C.L., Mehlretter. 1967. " Some properties of hydroxypropylated amylo maize starch films." Food technol. 21 : 72-74.
- Rutenberg, M.W. 1980. " Starch and its modifications." p. 1-22. *In* R.L. Davidson (ed.) . Handbook of Water – Soluble Gums and Resins. New York : McGraw – Hill Book Company.
- Schultz, T.H., H.S. Owen and W.D., Maclay. 1948. "Pectinate film." J. Colloid Sci. 3 : 53-62.
- Schultz, T.H., J.C., Miers, H.S., Owens and W.D., Maclay. 1949. " Permeability of Pectinate film to water vapor." J. Phys. Colloid Chem. 53 : 1320-1330.
- Swenson, H.A., J.C., Miers, T.H., Schultz and H.S., Owens. 1953. " Pectinated and Pectate coatings. II Application to nuts and fruit products." Food Technol. 7 : 232-235.
- Swinkels, J.J.M. 1985. " Source of starch, its chemistry and physics." p 15-45. *In* G.M.A., Van Beynum and J.A., Roles (eds.). Starch conversion Technology. New York. : Marcel Dekker Inc.
- Technical association of the Pulp and Paper Industry. 1989. Turpentine for grease Resistance of paper. T 454 os – 77. TAPPI Test Method. Technology Park, Atlanta p. 112.

- Tegge, G. 1984. "Glucose syrup the raw material. In *Glucose Syrups : Science and Technology.*" p 9-64 . In S.L. Dziedzic and M.W. Kearsley (eds.) London : Elsevier Applied Science.
- Thakur, B.R., R.K., Singh and A.K., Handa. 1997. "Chemistry and Use of Pectin – A review." *Critical Reviews in Food Sci. and Nutrition.* 37 (1) : 47-73.
- Walkinshaw, M.D. and S. Arnott. 1981. "Conformation and interactions of pectin.2. Models for junction zone in pectinic acid and calcium pectate gels." *J. Mol. Biol.* 153 : 1075.
- Westerlund, P.A., R.E., Anderson and SMM, Rahman. 1991. "Chemical characterization of water soluble pectin in papaya fruit." *Carbohydr. Res.* 15 : 67-78.
- Wolff, I.A., H.A., Davis, J.E., Cluskey, L.J., Gumdram and C.E., Rist. 1951. "Preparation of films from amylose." *Ind. Eng. Chem.* 43 : 915-919.
- Wong, C.P., H., Ohnuma and G.C., Berry. 1978. " Properties of some rodlike polymers in solution." *J. Polym. Sci., Polym. Symp.* 65 : 3206-3214.
- Wu, M.T. and D.K., Salunkhe. 1978. "Responses of lecithin and hydroxylated lecithin – coating potato tubers to light." *J. Agric. Food Chem.* 26 : 513-514.
- Young, A.H., 1984. " Fractionation of starch." p 269. In Whistler, R.L., J.N., BeMiller, E.F., Paschall (eds.) *Starch : Chemistry and Technology*, 2 nd.ed. New York : Academic Press.
- Zecher, D. and R.V., Coillie. 1992. "Cellulose derivative." p. 40-48. In Imeson, A. (ed.) *Thickening And Gelling agents for food.* Great Britain : Chapman and Hall.



## ภาคผนวก

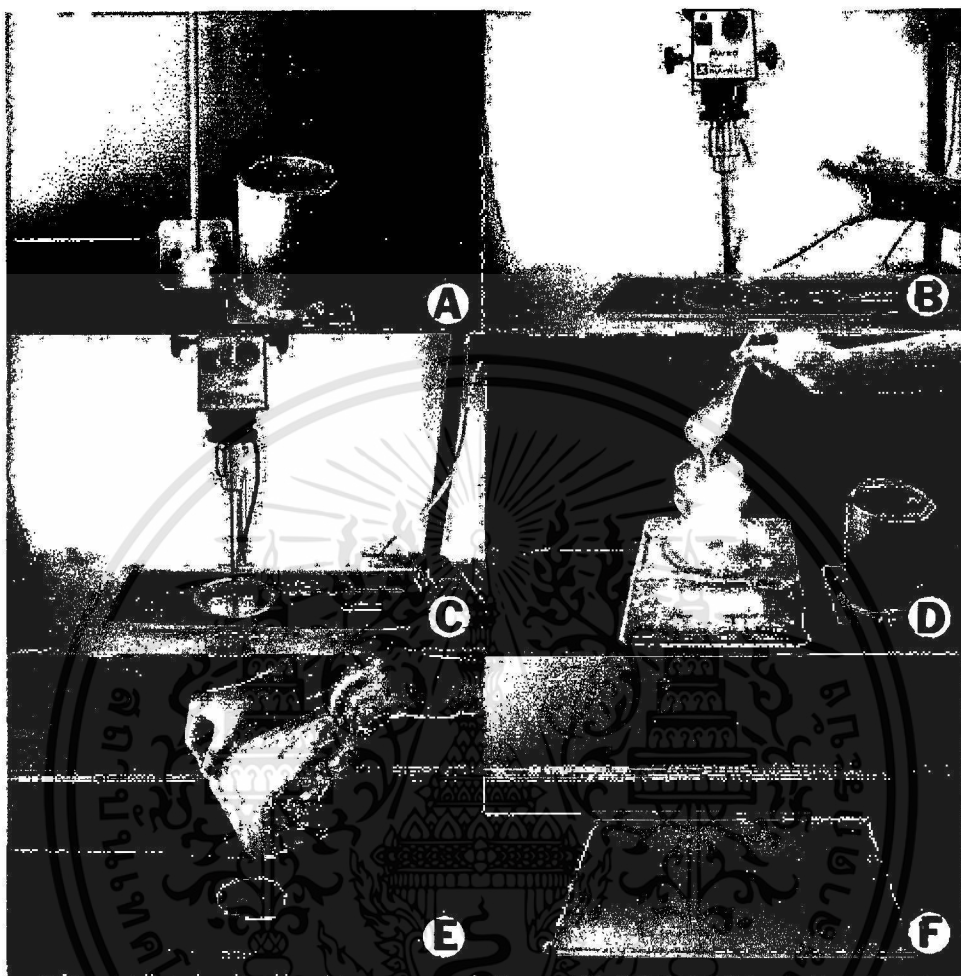
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

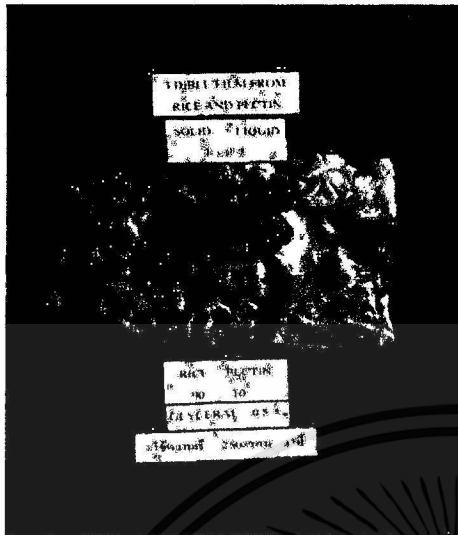
### การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพกทิน

จากการวิจัยเบื้องต้นในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพกทิน โดยใช้ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพกทิน ที่อัตราส่วน 90 : 10 และ 70 : 30 ใช้กาลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร ที่ระดับร้อยละ 0.5, 5, 10 และ 15 (เทียบกับน้ำหนักของแป้ง) และใช้อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 1 : 7, 1 : 8, 1 : 9 และ 1 : 10 ( ของแข็งคือ แป้งข้าวเจ้าและเพกทิน ส่วน ของเหลวคือน้ำกลั่น ในการทดลองจะทำการผสมน้ำกลั่น แป้งข้าวเจ้า และเพกทินในเครื่องผสมที่มีการให้ความร้อนโดยใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 250 รอบ / นาที นาน 10 นาที ค่อย ๆ เติมกาลีเซอรอลลงไป แล้วผสมต่ออีก 5 นาที ปล่อยสารผสมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จนอุณหภูมิลดลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักสารผสม 45 กรัม เทลงบนแผ่นพลาสติก (acrylic sheet) ที่ต่อขอบไว้สูง 1 มิลลิเมตร เกลี่ยสารผสมให้เต็มแผ่นพลาสติก นำไปทำให้แห้ง โดยเก็บไว้ที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง ลอกแผ่นฟิล์มออก

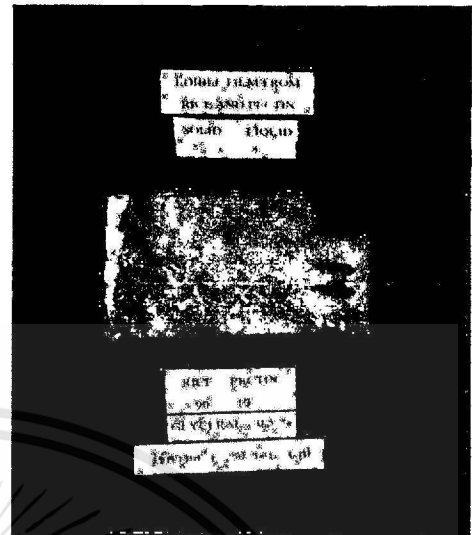
ในการวิจัยเบื้องต้นพบว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพกทิน 70 : 30 แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จะไม่แตก จึงออกแบบการทดลองโดยใช้อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพกทิน เท่ากับ 25 : 75 , 50 : 50 และ 75 : 25 ส่วนกาลีเซอรอลนั้นใช้ที่ระดับร้อยละ 0.5 แผ่นฟิล์มจะแตก ในการทดลองจึงใช้กาลีเซอรอลร้อยละ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว ใช้ที่อัตราส่วน 1 : 8 เนื่องจากการทดลองพบว่าการขึ้นรูปได้ง่ายและสะดวกที่สุด ในการเตรียมฟิล์มนั้นจะเพิ่มความเร็วในการผสมมากกว่า 250 รอบ / นาที เนื่องจากสารผสมที่ได้เป็นก้อนเนื่องจากการผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน รูปแสดงกระบวนการผลิตแสดงได้ดังรูปที่ ก1 และรูปฟิล์มที่ผลิตได้แสดงได้ดังรูปที่ ก2 - ก9



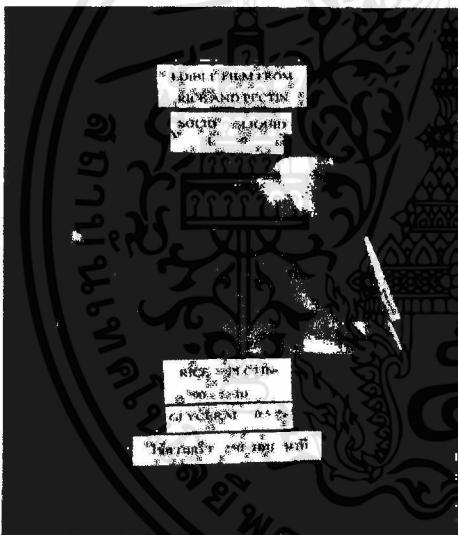
รูป ก1 แสดงกระบวนการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน



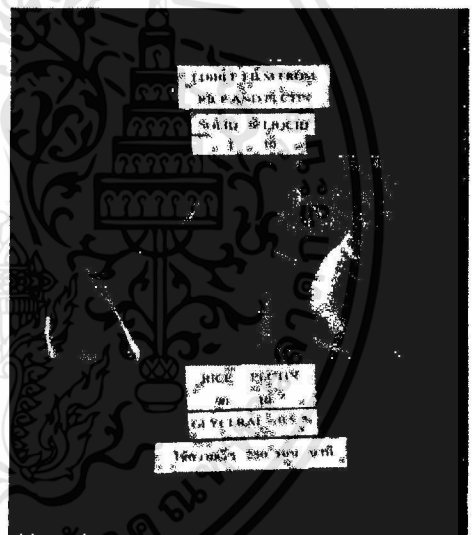
(1)



(2)

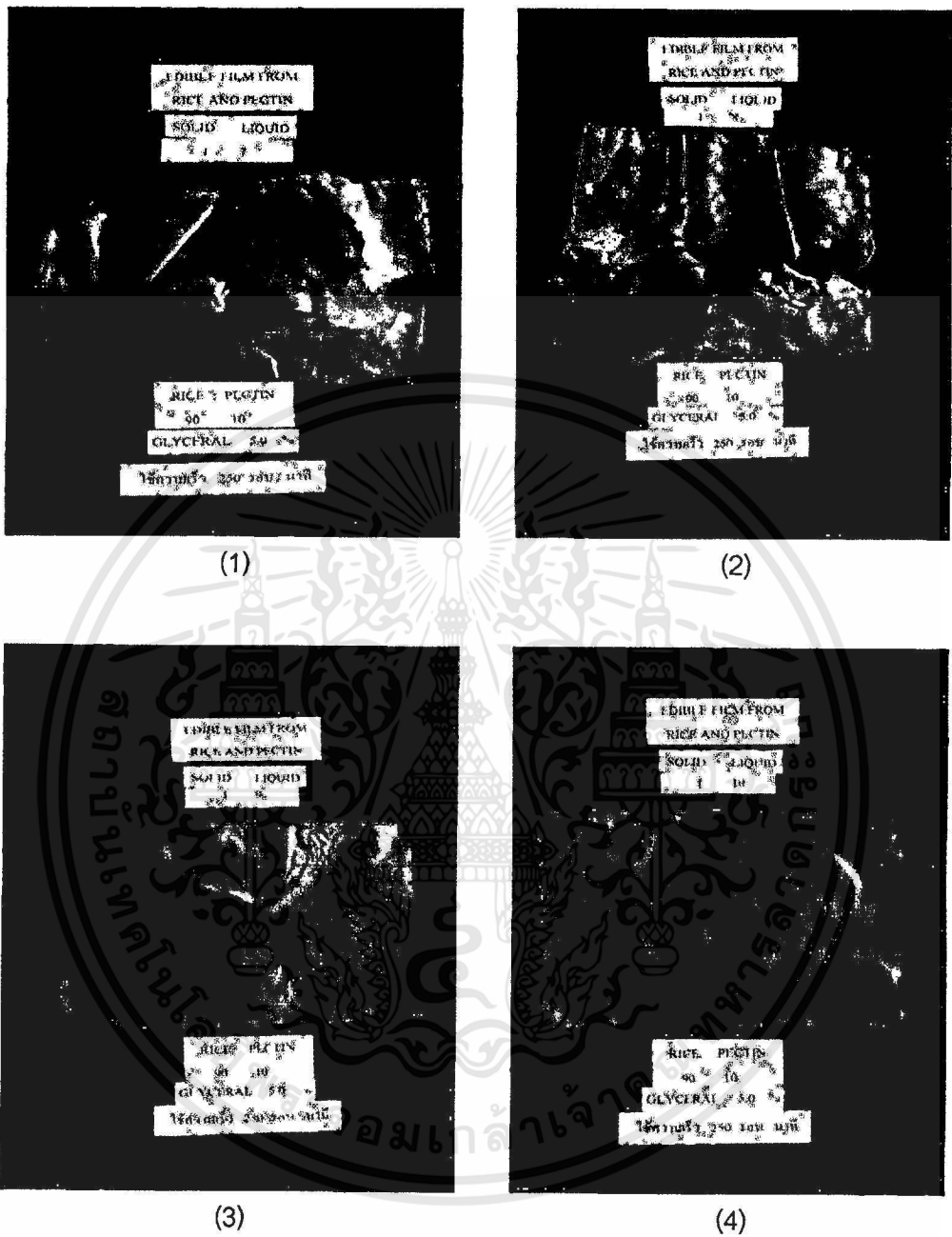


(3)



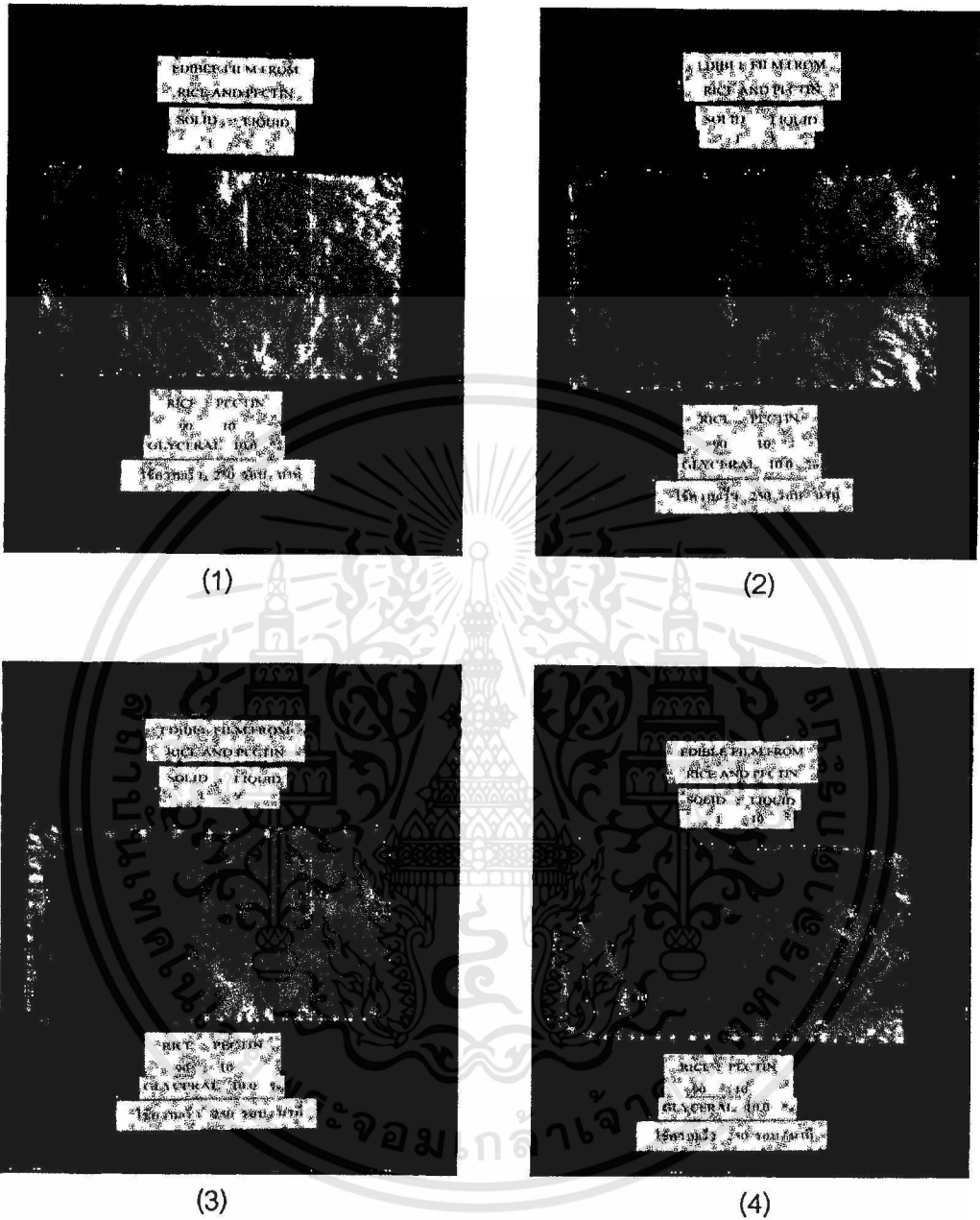
(4)

รูป ก2 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90 : 10 , ใช้ระดับ  
 กลิเซอรอลร้อยละ 0.5 และอัตราส่วน ของแป้ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8  
 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10

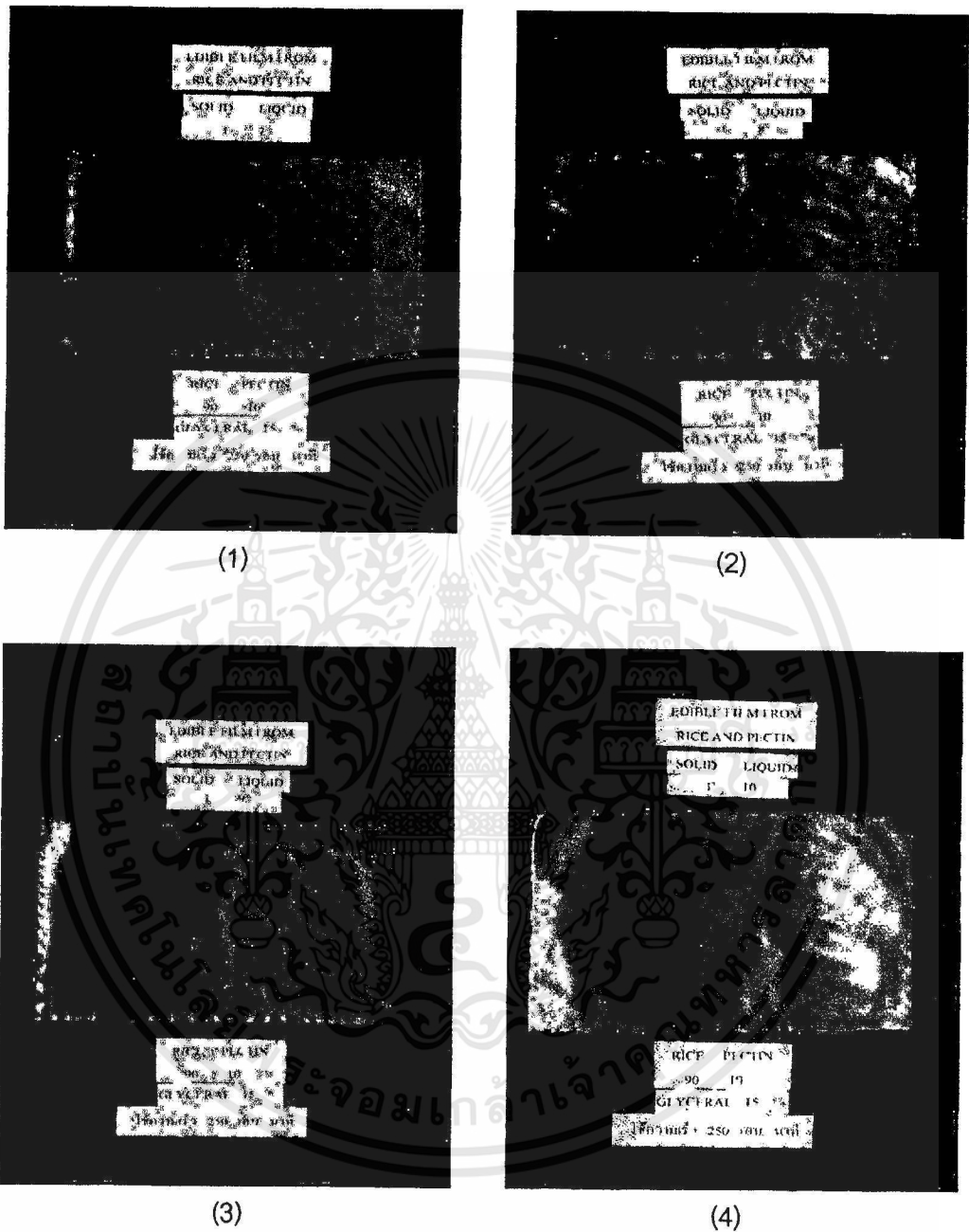


รูป ก3 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90 : 10 , ใช้ระดับ กลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วน ของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10

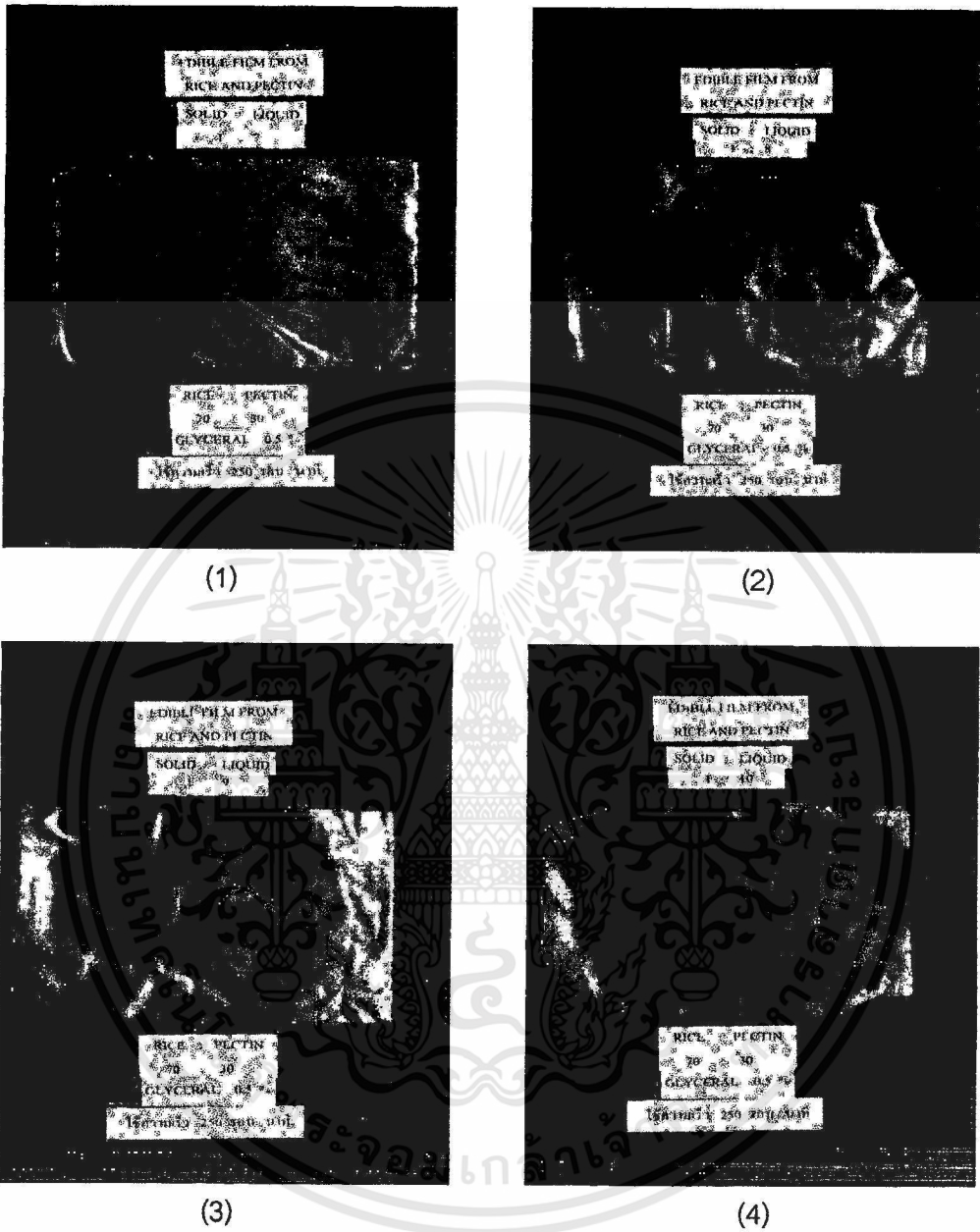
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



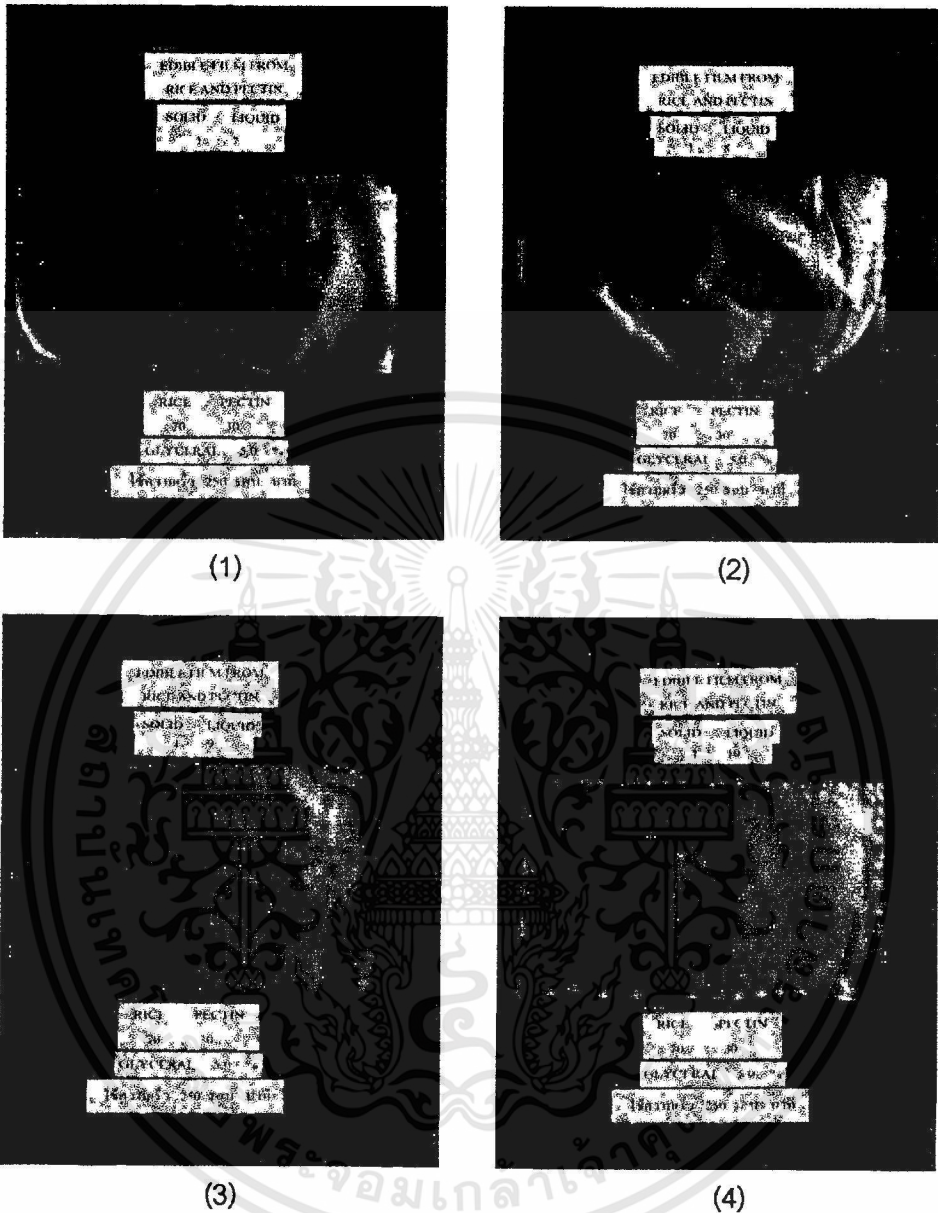
รูป ก4 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90 : 10 , ใช้ระดับ กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วน ของแป้ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10



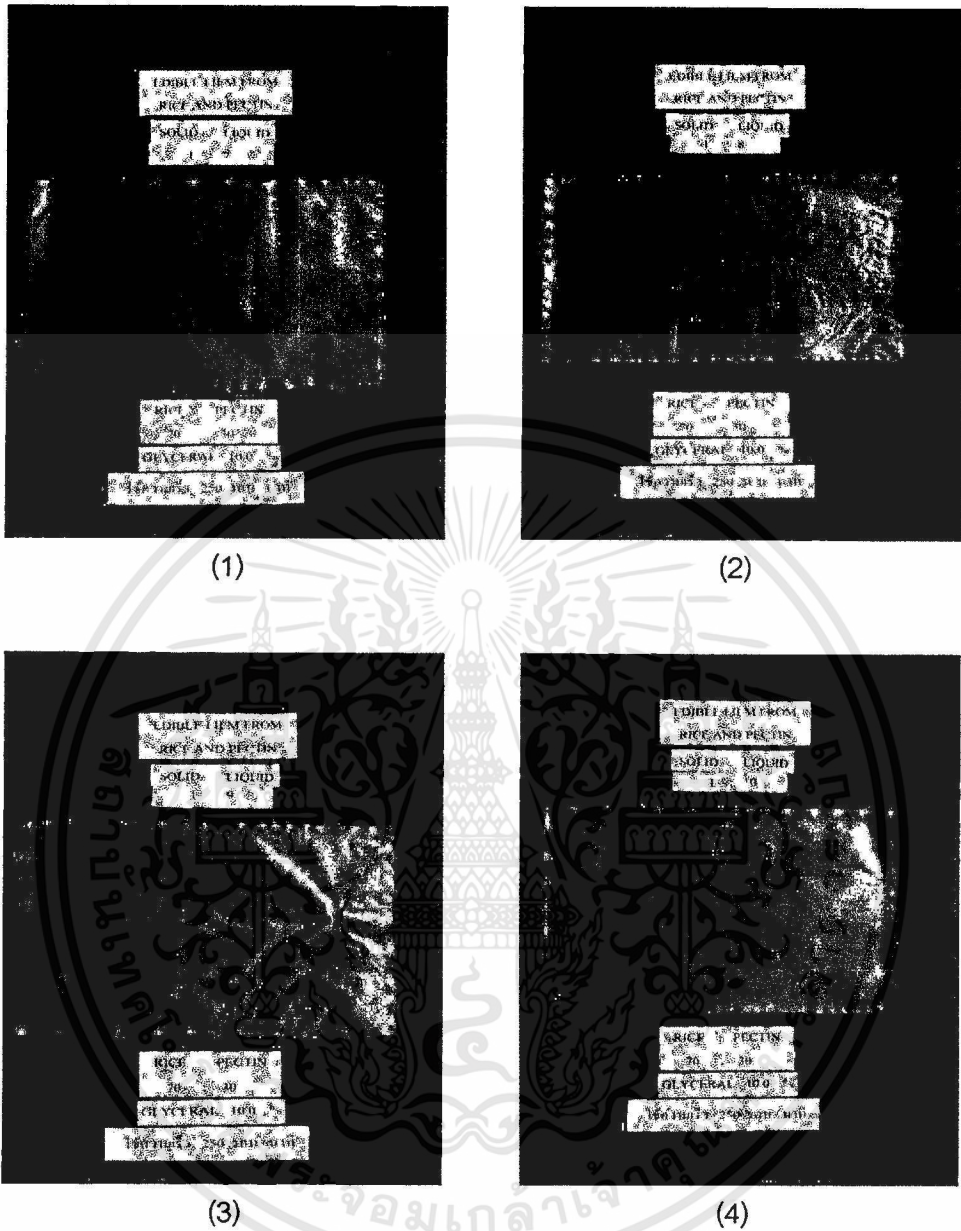
รูป ก5 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 90 : 10 , ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วน ของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10



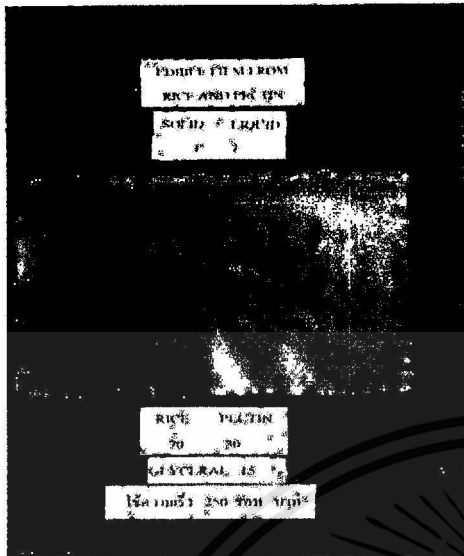
รูป ก6 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70 : 30 , ใช้ระดับ  
 กลีเซอรอล ร้อยละ 0.5 และอัตราส่วน ของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8  
 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10



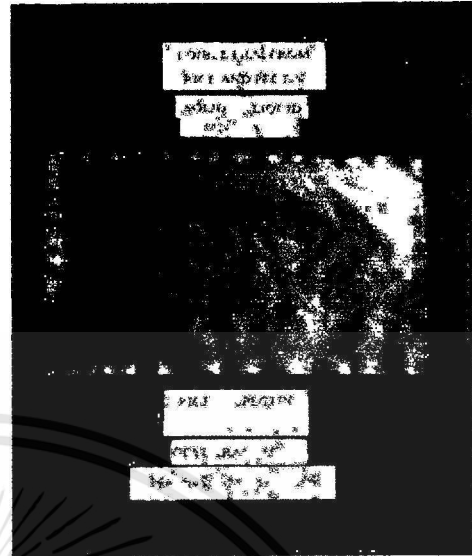
รูป ก7 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70 : 30, ใช้ระดับ กลีเซอรอล ร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10



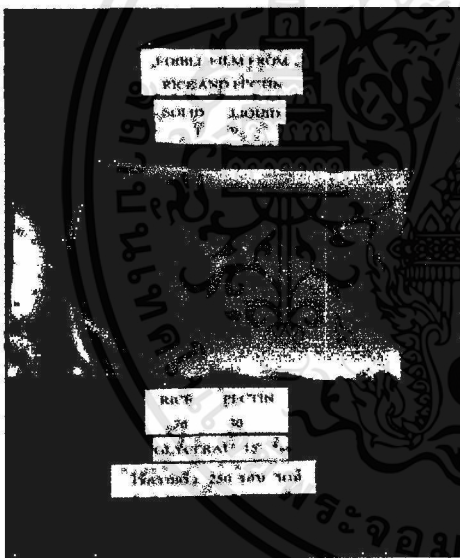
รูป ก8 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70 : 30, ใช้ระดับ กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10



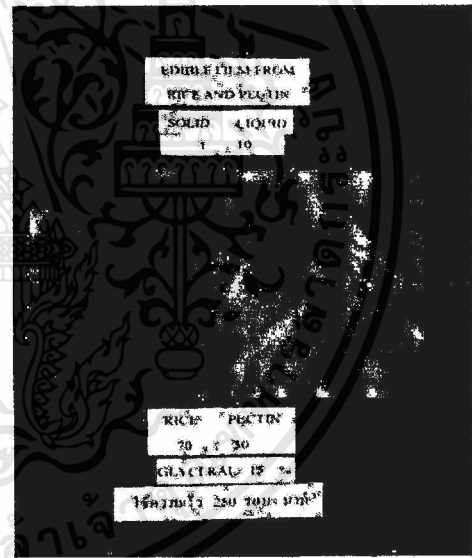
(1)



(2)



(3)



(4)

รูป ก9 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 70 : 30, ใช้ระดับ  
 กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ (1) 1 : 7 (2) 1 : 8  
 (3) 1 : 9 และ (4) 1 : 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

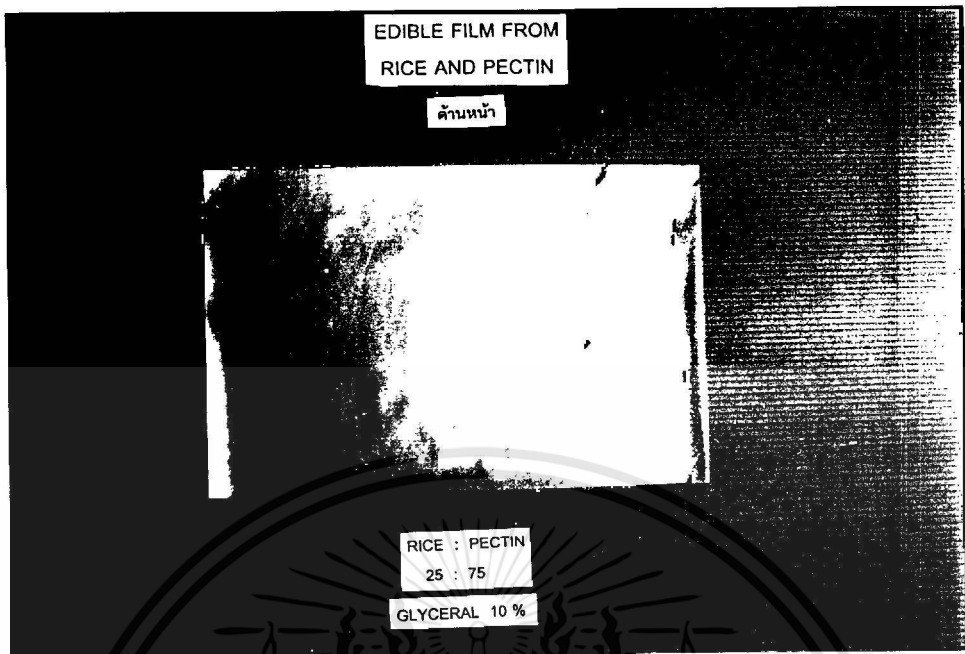
## ภาคผนวก ข

### กระบวนการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

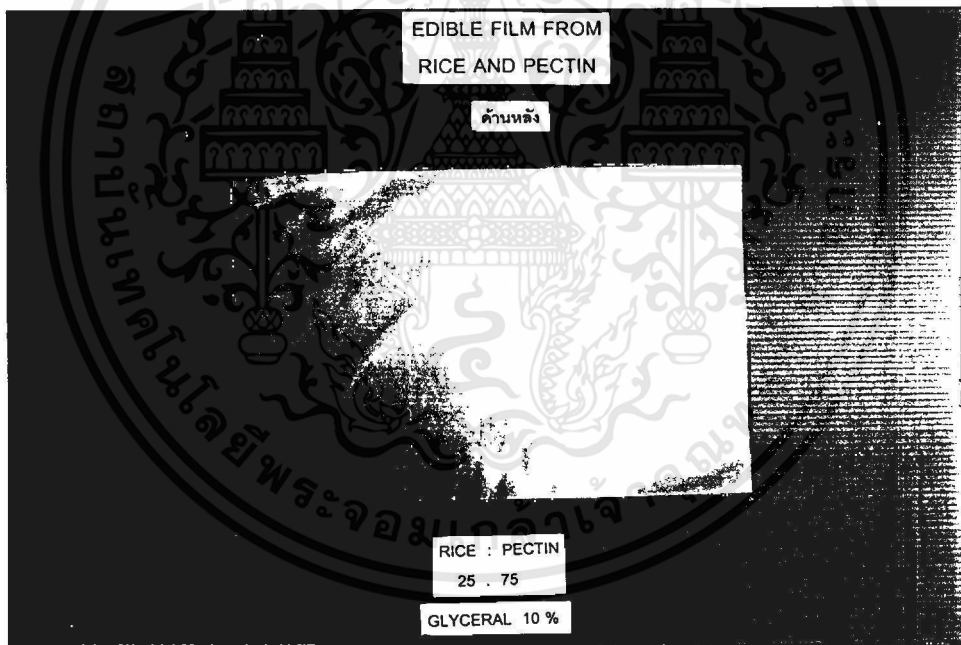
ในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน จะวางแผนการทดลองแบบ แฟคทอเรียล  $3 \times 3$  ปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน 3 อัตราส่วน คือ 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 ปัจจัยที่ 2 คือ กลีเซอรอล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 10 และ 15 (เทียบกับน้ำหนักของแป้ง) โดยในทุกสูตรจะใช้อัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว (ของแข็ง คือ แป้งข้าวเจ้าและเพคติน ส่วนของเหลว คือ น้ำกลั่น) เท่ากับ 1 : 8 ในการทดลองจะทำการผสมแป้งข้าวเจ้า, เพคตินและน้ำกลั่นในเครื่องผสม ความเร็ว 350 รอบ/ นาที ให้ความร้อนโดยใช้อ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที หลังจากนั้นเพิ่มความเร็วยังเป็น 500 รอบ/ นาที ผสมต่ออีก 5 นาที ค่อย ๆ เติมกลีเซอรอลลงไป แล้วผสมต่ออีก 5 นาที ปล่อยให้ของผสมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิ ลดลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของผสม 45 กรัม เทลงบนแผ่นพลาสติก (acrylic sheet) ที่ต่อขอบสูง 1 มิลลิเมตร เกลี่ยให้ทั่วจนเต็มแผ่นพอดี นำไปทำให้แห้งโดยเก็บไว้ในห้องเย็น อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง ทำการลอกแผ่นฟิล์มออก เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีต่อไป รูปแสดงกระบวนการผลิตแสดงดังภาคผนวก รูปที่ ก1 และรูปแสดงฟิล์มที่ผลิตได้แสดงดังรูปที่ ข1-ข9



รูป ข1 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75, ระดับ  
กลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ  
(2) ด้านหลัง

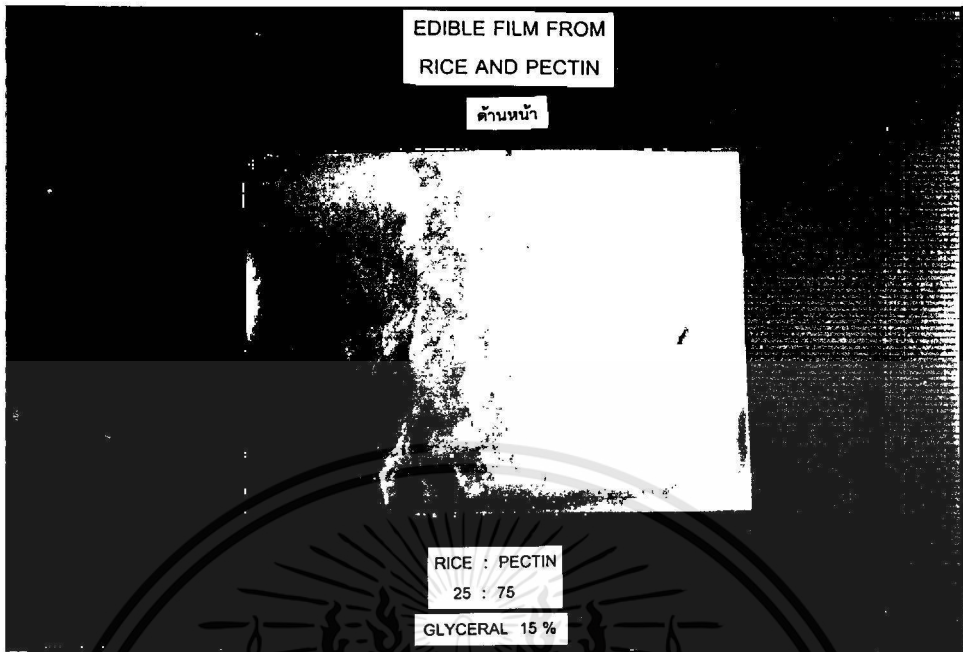


(1)

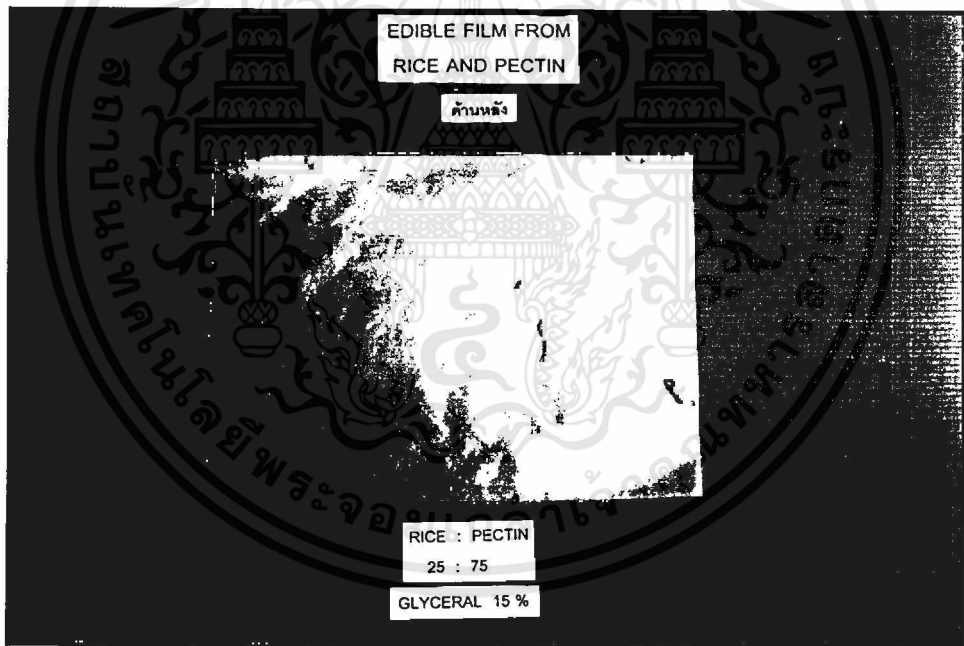


(2)

รูป ข2 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75, ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง



(1)

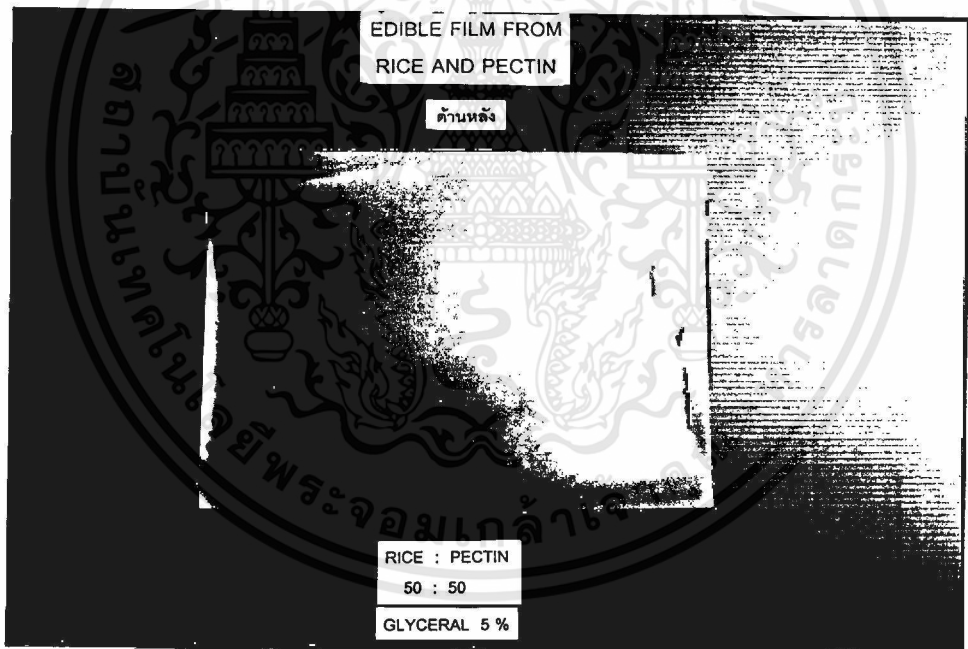


(2)

รูป ข3 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 25 : 75, ระดับ  
กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของน้ำ : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ  
(2) ด้านหลัง

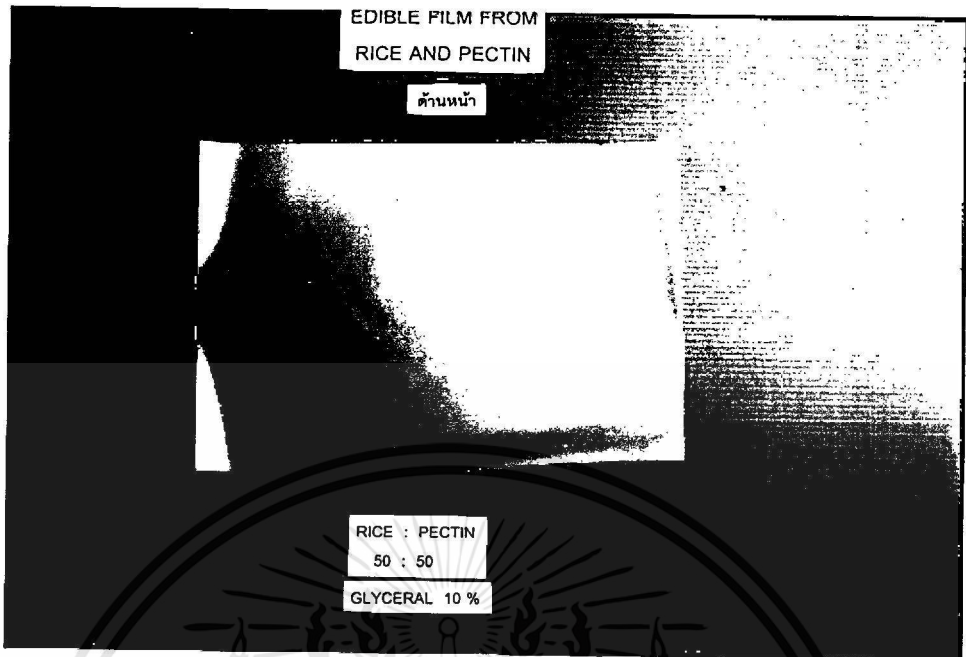


(1)

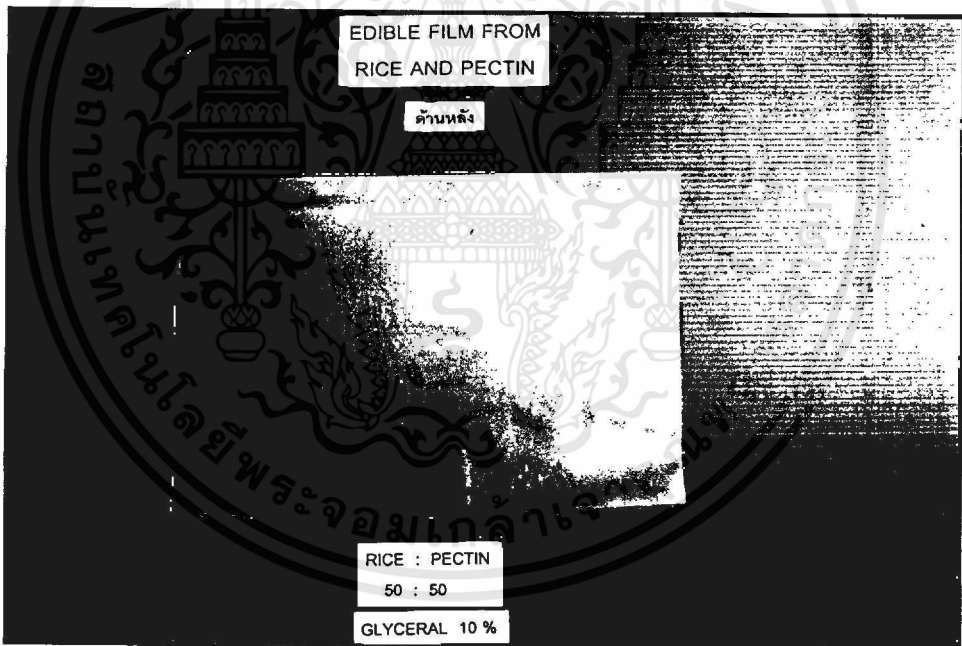


(2)

รูป ข4 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50, ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง

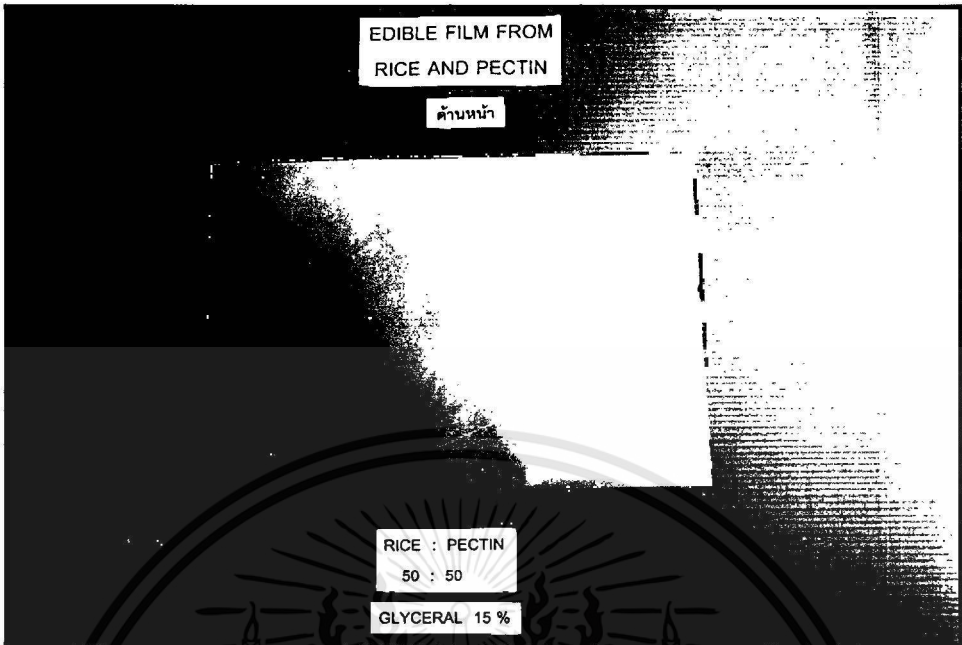


(1)

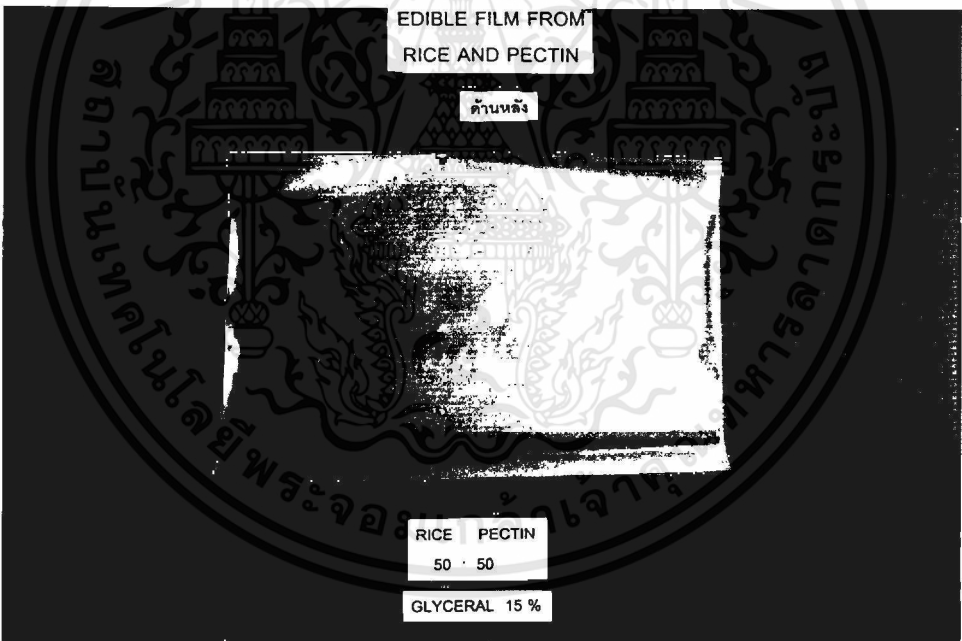


(2)

รูป ข5 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50, ระดับ กลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง

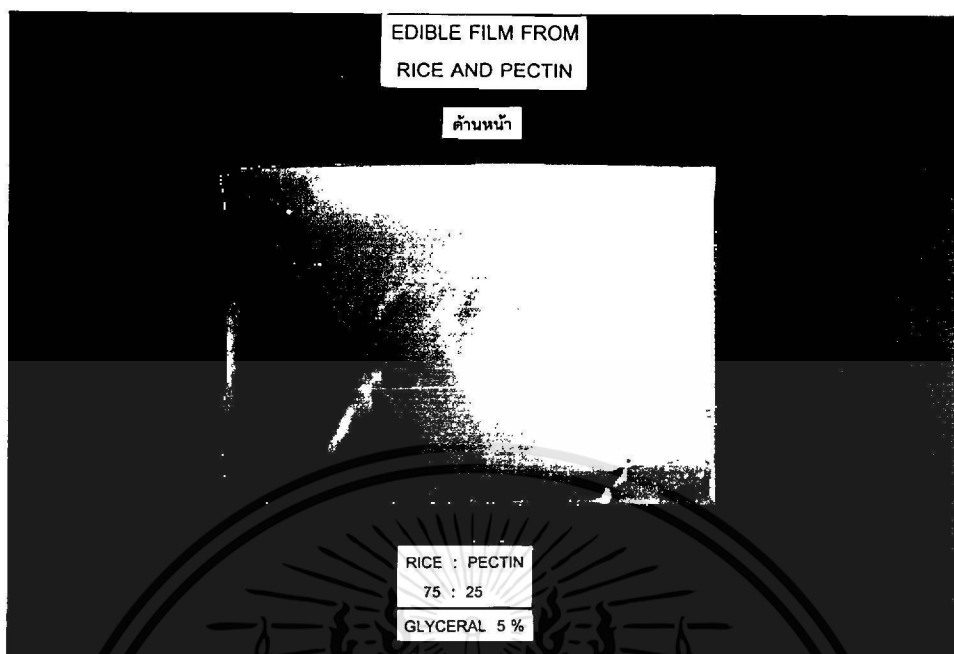


(1)

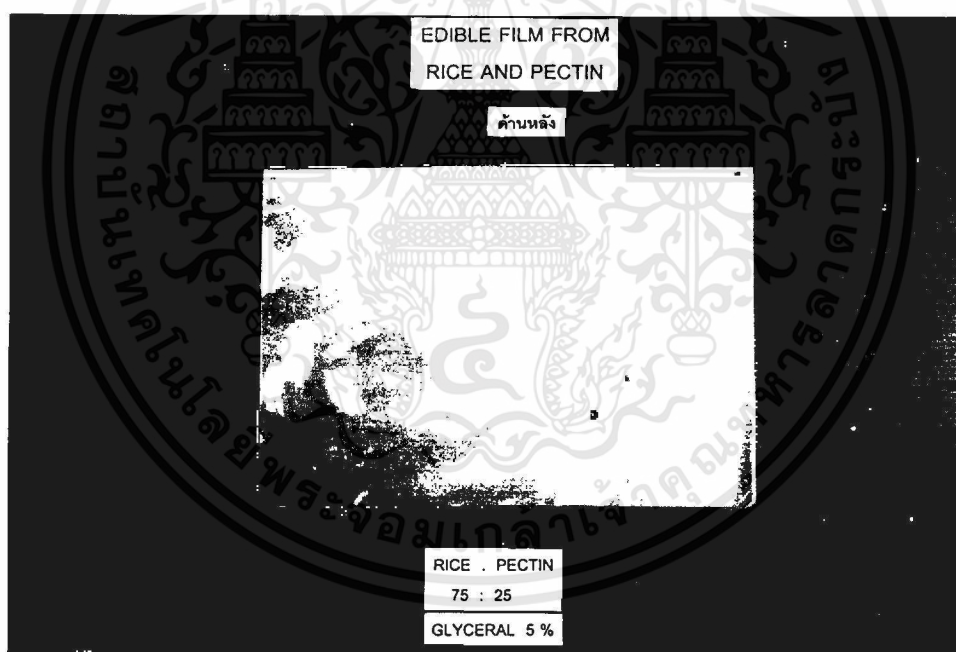


(2)

รูป ข6 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 50 : 50, ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง



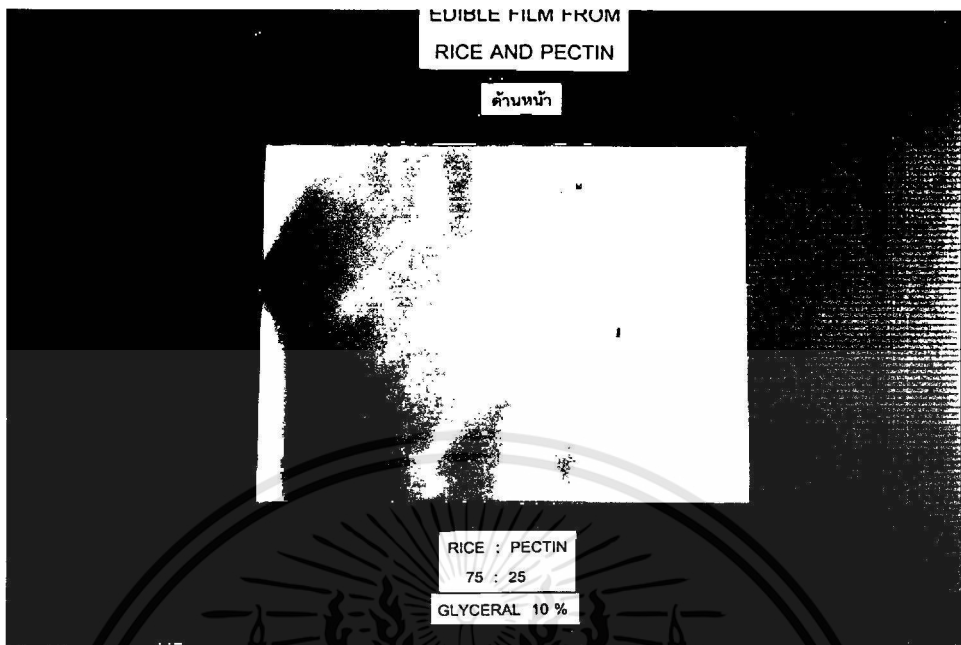
(1)



(2)

รูป ข7 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25, ระดับ  
กลีเซอรอลร้อยละ 5.0 และอัตราส่วนของน้ำ : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ  
(2) ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

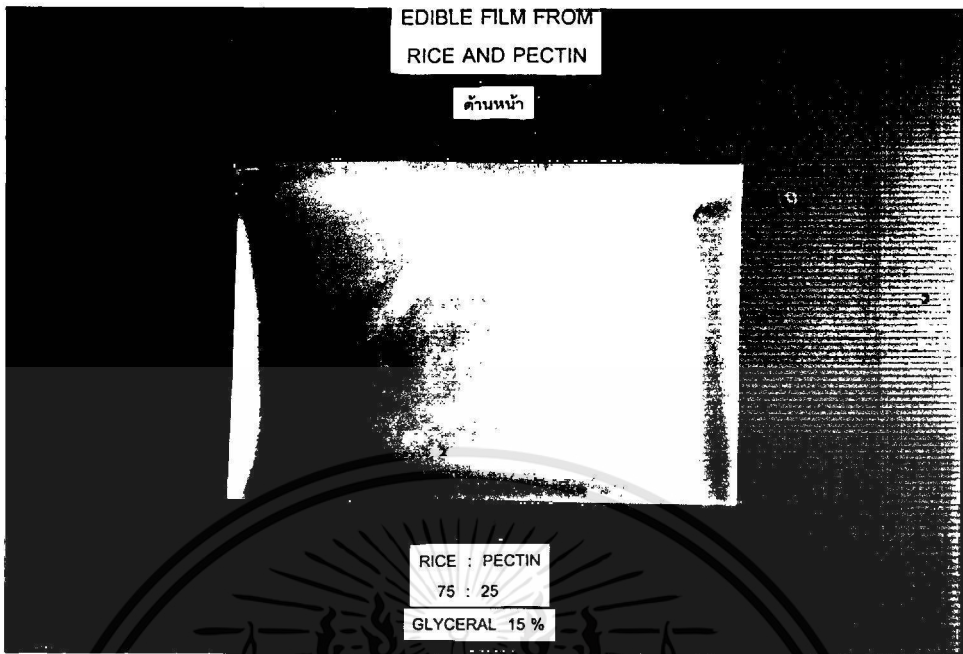


(1)

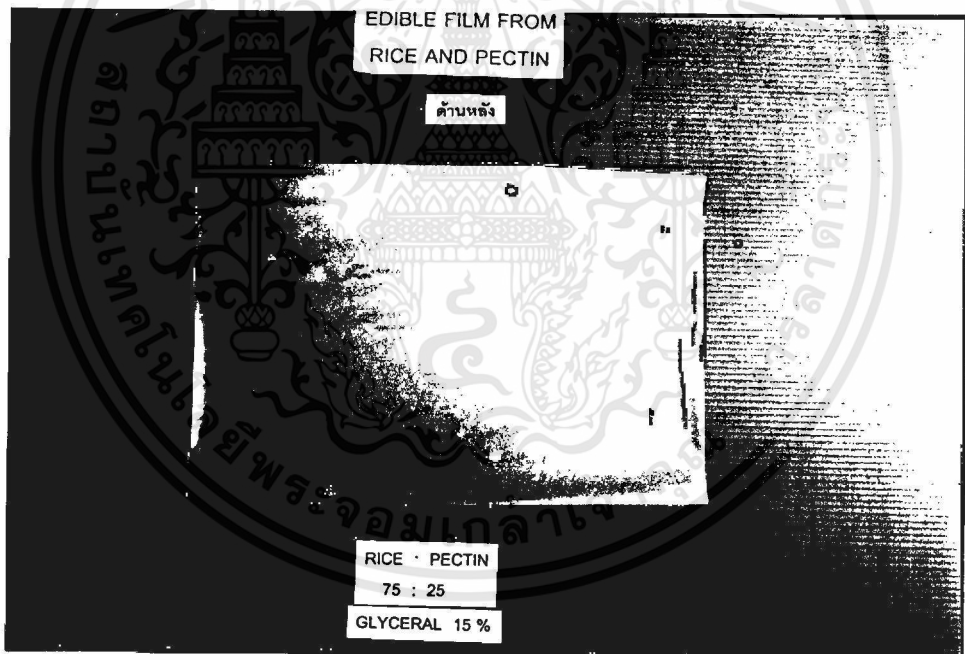


(2)

รูป ข8 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25, ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 10 และอัตราส่วนของแข็ง : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ (2) ด้านหลัง



(1)

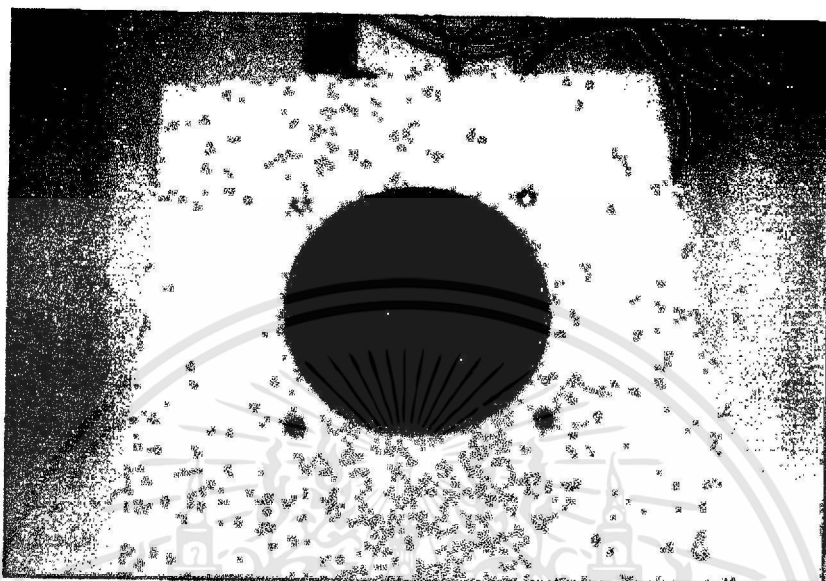


(2)

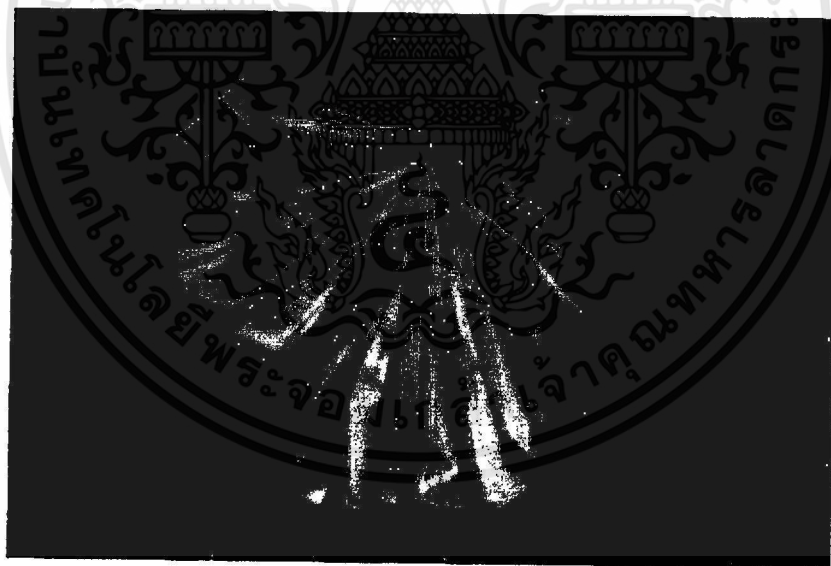
รูป ข9 แสดงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า : เพคติน เท่ากับ 75 : 25, ระดับ  
กลีเซอรอลร้อยละ 15 และอัตราส่วนของน้ำ : ของเหลว เท่ากับ 1 : 8 (1) ด้านหน้า และ  
(2) ด้านหลัง

## ภาคผนวก ค

## การแตกของฟิล์มในระหว่างการวัดอัตราการผลิตของแก๊สออกซิเจน



(1)



(2)

รูป ค1 แสดงการแตกของฟิล์มระหว่างการวัดอัตราการผลิตของแก๊สออกซิเจน ขณะอยู่ใน  
(1) เครื่องมือวัด และ (2) ไม่ได้อยู่ในเครื่องมือวัด

## ภาคผนวก ง

## ข้อมูลการทดลอง

ตาราง ง1 ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

ตัวอย่างแป้งข้าวเจ้า (ซ้ำที่)	คุณสมบัติทางเคมี (%)						
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	คาร์โบไฮเดรต	อะมิโดส
1	12.28	7.02	0.29	0.30	0.09	80.03	23.82
2	12.17	6.84	0.30	0.28	0.09	80.31	23.99
3	12.39	6.65	0.30	0.29	0.09	80.28	23.96

ตาราง ง2 ข้อมูลการวิเคราะห์ความชื้นของเพคติน

ตัวอย่างเพคติน (ซ้ำที่)	ความชื้น (%)
1	11.1602
2	11.2145
3	11.2688

ตาราง ง3 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางฟิสิกส์เคมีของฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน

F : G <sup>1</sup> (G) <sup>2</sup>	Thickness <sup>3</sup>	A <sub>w</sub> <sup>4</sup>	Moisture <sup>5</sup>	T.S. <sup>6</sup>	E <sup>7</sup>	WVTR <sup>8</sup>	Gas <sup>9</sup>
25 : 75	0.070	0.749	22.670	1.330	1.625	64.521	80.900
( 5.0 )	0.060	0.770	20.538	1.295	1.780	76.406	78.500
25 : 75	0.070	0.764	22.727	1.125	2.693	104.139	101.300
( 10.0 )	0.070	0.779	21.355	1.188	2.735	105.412	96.100
25 : 75	0.080	0.776	23.044	1.079	3.088	122.533	138.800
( 15.0 )	0.080	0.788	23.141	1.090	3.170	123.382	135.900
50 : 50	0.070	0.713	18.700	2.847	2.575	85.745	154.200
( 5.0 )	0.070	0.760	18.328	2.436	3.200	86.028	159.000
50 : 50	0.080	0.729	19.118	1.448	3.618	107.818	168.300
( 10.0 )	0.070	0.762	18.821	1.177	3.813	109.798	166.900
50 : 50	0.080	0.733	20.528	1.138	4.500	144.889	393.000
( 15.0 )	0.090	0.776	19.033	1.181	4.650	145.455	381.000
75 : 25	0.080	0.721	16.983	2.265	1.175	95.649	แตก
( 5.0 )	0.080	0.744	16.363	2.225	1.213	93.102	แตก
75 : 25	0.080	0.728	17.215	1.942	1.545	122.533	แตก
( 10.0 )	0.090	0.752	16.454	1.948	1.645	123.382	แตก
75 : 25	0.090	0.753	18.332	1.400	2.295	148.001	แตก
( 15.0 )	0.090	0.759	17.979	1.596	2.545	149.982	แตก

หมายเหตุ : 1. อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า : เพคติน

2. ระดับกลีเซอรอล (เปอร์เซ็นต์)
3. ความหนา (มิลลิเมตร)
4. ค่า water activity
5. ความชื้น (%)
6. ความต้านทานแรงดึงขาด (กิโลกรัม / ตารางมิลลิเมตร)
7. ความสามารถในการยึดตัว (%)
8. อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (กรัม / ตารางเมตร . วัน)
9. อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (มิลลิลิตร / ตารางเมตร . วัน . บรรยากาศ)

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวจารุณี ยาห้องภาค เกิดวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2515 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก ปีการศึกษา 2537 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ในปี พ.ศ. 2540 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2543



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้