

ผลขององค์ประกอบต่อสมบัติของฟิล์มแข็งขาวตัดแปรที่บริเวณนี้ได้



นางสาว นริศา เหลาะดุหวิ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF COMPOSITION ON PROPERTIES OF EDIBLE MODIFIED RICE STARCH FILM



Miss Narisa Lehduwi

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

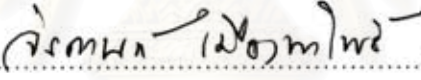
Copyright of Chulalongkorn University


หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลขององค์ประกอบต่อสมบัติของฟิล์มแบ่งข้าวตัดแปรที่บริโภคได้
โดย	นางสาวนริศา เหลละดูหวี
สาขาวิชา	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ดร.วรัญ แต่ไพสิฐพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ไตรดา วัลลภา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ไตรดา วัลลภา)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จिरกานต์ เมืองนาโพธิ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.วรัญ แต่ไพสิฐพงษ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.ไตรดา วัลลภา)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์)

นริศา เหลาะคูหวิ : ผลขององค์ประกอบต่อสมบัติของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าดัดแปรที่บริโภคได้.
(EFFECTS OF COMPOSITION ON PROPERTIES OF EDIBLE MODIFIED RICE
STARCH FILM)

อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.วรัญญู แต่โฬสิฐพงษ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม :ดร.ไศรดา วัลลภา จำนวน
132 หน้า.

อัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำหนักรัตอน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าดัดแปรที่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้คือ น้ำหนักน้ำ:น้ำหนักแป้งข้าวเจ้าดัดแปร 10:1 ถึง 16:1 ค่า Tensile strength, Elongation, Young's Modulus และค่าความหนาลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณอิลาสติคเจลไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Young's Modulus ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่า Tensile strength และ Elongation เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณอิลาสติคเจล ขึ้นกับปัจจัยจากความเข้มข้นของน้ำแป้งเป็นปัจจัยร่วม ความหนาของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณกลีเซอรอลมีผลให้ Tensile strength, Elongation มีค่าลดลง ขณะที่ทำให้ Young's Modulus และค่าความหนามีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนผลของการเพิ่มขึ้นของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ และการยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้ยังไม่ปรากฏผลที่ชัดเจน การเพิ่มปริมาณกรดเตียรีคในฟิล์มทำให้ Tensile strength, Elongation มีค่าลดลง ขณะที่ค่า Young's Modulus และค่าความหนามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าการยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกรดเตียรีคในฟิล์มที่มีอิลาสติคเจลเป็นส่วนผสม ส่วนฟิล์มแป้งข้าวเจ้าดัดแปรอย่างเดียวกับที่เติมกรดเตียรีคให้ค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดเตียรีคเพิ่มขึ้น ผลของปริมาณกรดเตียรีคต่อค่าการยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้ยังไม่ชัดเจน ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อคุณสมบัติด้านการซึมผ่านได้ของก๊าซออกซิเจน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 55% ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าดัดแปรมีค่าการยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำกว่าฟิล์ม Polypropylene และที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 68% ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าดัดแปรมีค่าการยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้มากกว่าฟิล์ม Polypropylene

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4671456921: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: EDIBLE FILM / RICE STARCH

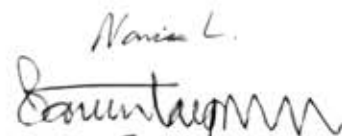

NARISA LEHDUWI : FACTORS AFFECTING PROPERTIES OF EDIBLE MODIFIED RICE STARCH FILM. THESIS ADVISOR : VARUN TAEPAISITPHONGSE Ph.D., THESIS COADVISOR : SORADA VALLAPA Ph.D., 132 pp.

Modified rice starch film could be formed at the weight ratio of water to modified rice starch 10:1 - 16:1. Tensile strength, elongation, Young's modulus and thickness decreased as starch concentration decreased. Elasticgel (modified tapioca starch) quantity didn't affect the Young's modulus. Changing of tensile strength and elongation depended not only on elasticgel but also starch concentration. Tensile strength, elongation were decreased when increasing glycerol quantity while Young's modulus and thickness were increased. Glycerol didn't show any significant effect on water vapor permeability and gas permeability in this experiment. Addition of stearic acid decreased tensile strength and elongation of the film while Young's modulus and thickness were increased. Water vapor permeability increased when stearic acid was increased. Water vapor permeability of the modified rice starch film which was composited with elasticgel could be decreased by increasing stearic acid. Stearic acid didn't show any significant effect on water vapor permeability and gas permeability in this experiment. Oxygen permeability of modified rice starch film was less than oxygen permeability of polypropylene film at the 55%relative humidity. At the 68% relative humidity oxygen permeability of modified rice starch film was more than polypropylene film.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Chemical Engineering
Field of study Chemical Engineering
Academic year 2007

Student's signature
Advisor's signature
Co-advisor's signature

Narisa L.



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนต้องขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ และพี่น้อง ชาวสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ในฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุ คือ คุณวีระเดช กীরติธนวิทย์ คุณมณีนีย์ หวังดี ธรรม คุณจุฬารัตน์ คุณวรินทร์ และพี่ ๆ เพื่อน ๆ จากศูนย์บรรจุหีบห่อไทย คือ คุณไพศาล อัมพันธ์ นุกูล คุณฉวี สีบุปผา คุณวิจิตร รัตนถาวรกิติ ที่ได้กรุณาให้ผู้เขียนได้หยิบยืมอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ เพื่อใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมถึงผู้บังคับบัญชา พี่ ๆ และเพื่อน ๆ ฝ่ายเทคโนโลยีอาหารทุกท่าน ที่จะลืมเสียมิได้ คือ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำการศึกษาในครั้งนี้ และกำลังใจที่สำคัญจากคุณพ่อ คุณแม่และน้อง ๆ ที่รักยิ่ง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 फिल्मบริโศคได้.....	5
2.2 การผลิตฟิล์ม.....	6
2.3 คุณสมบัติของฟิล์ม.....	7
2.4 คุณลักษณะทางเคมีของเมล็ดข้าว.....	11
2.5 แป้งดัดแปร.....	18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 วัตถุประสงค์.....	25
3.2 สารเคมี.....	25
3.3 อุปกรณ์.....	25
3.4 เครื่องมือวิเคราะห์.....	26
3.5 วิธีการทดลอง.....	34
3.5.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าดัดแปรต่อน้ำต่อ คุณสมบัติทางกลของฟิล์ม.....	34
3.5.2 การศึกษาผลของปริมาณอิลาสติคเจลต่อคุณสมบัติทางกล....	35
3.5.3 การศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติทางกล.....	37
3.5.4 การศึกษาผลของปริมาณกรดเตียริคต่อคุณสมบัติทางกล.....	38

	หน้า
3.5.5 การศึกษาผลจากปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำ	38
3.5.6 การศึกษาปัจจัยจากปริมาณกรดสเตียริกต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำ	40
3.5.7 ศึกษาการซึมผ่านของออกซิเจนผ่านฟิล์ม.....	41
3.5.8 การศึกษาเปรียบเทียบความใสของฟิล์ม.....	42
3.5.9 วิธีการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางกล.....	42
3.5.10 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ.....	43
3.5.11 วิธีการวิเคราะห์ค่าการซึมได้ผ่านของไอน้ำ.....	43
3.5.12 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	44
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	45
4.1 ผลจากความเข้มข้นของน้ำแข็งต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม.....	45
4.2 ผลของการผสมแป้งข้าวเจ้าตัดแปรด้วยอิลาสติคเจลดต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม.....	49
4.3 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติทางกล.....	58
4.4 ผลของปริมาณกรดสเตียริกต่อคุณสมบัติทางกล.....	62
4.5 การศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำ.....	66
4.6 ผลของปริมาณกรดสเตียริกต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำ.....	68
4.7 การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์ม.....	70
4.8 ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าความใสของฟิล์ม.....	79
4.9 ผลการเปรียบเทียบ.....	81
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	83
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	83
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	84
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	84
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก ก.....	91
ภาคผนวก ข.....	110
ภาคผนวก ค.....	127
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	132

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 ปริมาณการส่งออกข้าวของโลกปี พ.ศ.2546-2551.....	1
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแอมิโลส.....	12
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของแอมิโลเพคติน.....	13
รูปที่ 3.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ.....	27
รูปที่ 3.2 มอเตอร์กวนและใบกวน.....	27
รูปที่ 3.3 Doctor Blade จากบริษัท Tester Sangyo Co.Ltd.....	28
รูปที่ 3.4 แผ่นอะคริลิค.....	28
รูปที่ 3.5 ตู้อบลมร้อน.....	29
รูปที่ 3.6 ไฮโมจิไนเซอร์.....	29
รูปที่ 3.7 ตู้ดูดอากาศ.....	30
รูปที่ 3.8 Instron machine.....	30
รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความหนา Mitutoyo Micrometer.....	31
รูปที่ 3.10 ถ้วยบรรจุซิลิกาเจล ปิดทับด้วยฟิล์ม.....	31
รูปที่ 3.11 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	32
รูปที่ 3.12 เครื่องชั่ง ชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง.....	32
รูปที่ 3.13 เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ Navsdina's water activity meter, Model MA1aw.....	33
รูปที่ 3.14 เครื่องมือวัดสี Minolta Chromameter CR-300 Series.....	33
รูปที่ 3.15 เครื่อง Spectrophotometer.....	34
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรกับ Tensile strength.....	47
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรกับ Elongation	48
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรกับค่า Young's Modulus.....	48
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรกับค่าความหนา.....	49
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรกับค่าปริมาณ	

	น้ำอิสระ.....	49
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength และปริมาณอิลาสติคเจล.....	56
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation และปริมาณอิลาสติคเจล.....	56
รูปที่ 4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's Modulus และปริมาณอิลาสติคเจล.....	57
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนา และปริมาณอิลาสติคเจล.....	57
รูปที่ 4.10	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength และปริมาณกลีเซอรอล (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)	60
รูปที่ 4.11	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation และปริมาณกลีเซอรอล(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)	60
รูปที่ 4.12	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's Modulus และปริมาณกลีเซอรอล (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14).....	61
รูปที่ 4.13	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาและปริมาณกลีเซอรอล (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14).....	61
รูปที่ 4.14	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength และปริมาณกรดสแตียริก	64
รูปที่ 4.15	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation และปริมาณกรดสแตียริก.....	65
รูปที่ 4.16	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's Modulusและปริมาณกรดสแตียริก...	65
รูปที่ 4.17	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาและปริมาณกรดสแตียริก.....	66
รูปที่ 4.18	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลีเซอรอลกับค่าซึ่มผ่านได้ของไอน้ำ (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0.3:14).....	67
รูปที่ 4.19	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลีเซอรอลกับค่าซึ่มผ่านได้ของไอน้ำ (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14).....	68
รูปที่ 4.20	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสแตียริกกับค่าซึ่มผ่านได้ของไอน้ำ (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0.3:14)..	69
รูปที่ 4.21	ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสแตียริกกับค่าซึ่มผ่านได้ของไอน้ำ (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14).....	70
รูปที่ 4.22	การเปลี่ยนแปลงของสีผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า L (68%RH).....	73
รูปที่ 4.23	การเปลี่ยนแปลงของสีผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า a (68%RH).....	73
รูปที่ 4.24	การเปลี่ยนแปลงของสีผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า b (68%RH).....	74
รูปที่ 4.25	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีผิวเงาะอบแห้งใน 2 วันแรก ค่า L, a, b	

	(68%RH).....	74
รูปที่ 4.26	การเปลี่ยนแปลงของสีผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า L (55%RH).....	77
รูปที่ 4.27	การเปลี่ยนแปลงของสีผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า a (55%RH).....	77
รูปที่ 4.28	การเปลี่ยนแปลงของสีผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า b (55%RH).....	78
รูปที่ 4.29	เปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงสีผิวเงาะอบแห้งจากค่า L, a, b (55%RH)	78
รูปที่ 4.30	เปรียบเทียบความใสของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปรและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าจาก ท้องตลาด.....	79
รูปที่ 4.31	ฟิล์มที่ได้จากแป้งข้าวเจ้าตัดแปรและแป้งข้าวเจ้าในท้องตลาด.....	80

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 1.1	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าว.....	2
ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่าน (water-vapor permeability) ของฟิล์มบรีโกลด์และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low-density Polyethylene).....	9
ตารางที่ 2.2	เปรียบเทียบการซึมผ่านของออกซิเจนผ่านฟิล์มบรีโกลด์เทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์สังเคราะห์.....	10
ตารางที่ 2.3	เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของฟิล์มบรีโกลด์เทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์สังเคราะห์.....	11
ตารางที่ 2.4	ปริมาณแอมิโลสในพันธุ์ข้าว.....	15
ตารางที่ 3.1	คุณสมบัติของวัสดุดิบ.....	25
ตารางที่ 4.1	ค่า Tensile strength ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน.....	46
ตารางที่ 4.2	ค่า Elongation ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน.....	46
ตารางที่ 4.3	ค่า Young's Modulus ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน.....	46
ตารางที่ 4.4	ผลจากความเข้มข้นต่อความหนาของฟิล์มที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน.....	47
ตารางที่ 4.5	ปัจจัยจากความเข้มข้นต่อปริมาณน้ำอิสระที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน.....	47
ตารางที่ 4.6	ผลของปริมาณอิลาสติกเจลต่อคุณสมบัติ Tensile strength.....	52
ตารางที่ 4.7	ผลของปริมาณอิลาสติกเจลต่อคุณสมบัติ Elongation.....	53
ตารางที่ 4.8	ผลของปริมาณอิลาสติกเจลต่อคุณสมบัติ Young's Modulus.....	54
ตารางที่ 4.9	ผลของปริมาณอิลาสติกเจลต่อความหนา.....	55
ตารางที่ 4.10	ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อ Tensile strength.....	58
ตารางที่ 4.11	ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า Elongation.....	58
ตารางที่ 4.12	ผลจากปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า Young's Modulus.....	59
ตารางที่ 4.13	ผลจากปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าความหนา.....	59
ตารางที่ 4.14	ผลของปริมาณกรดสเดียริกต่อ Tensile strength ของฟิล์ม.....	63
ตารางที่ 4.15	ผลของปริมาณกรดสเดียริกต่อค่า Elongation ของฟิล์ม.....	63
ตารางที่ 4.16	ผลของปริมาณกรดสเดียริกต่อค่า Young's Modulus ของฟิล์ม.....	63

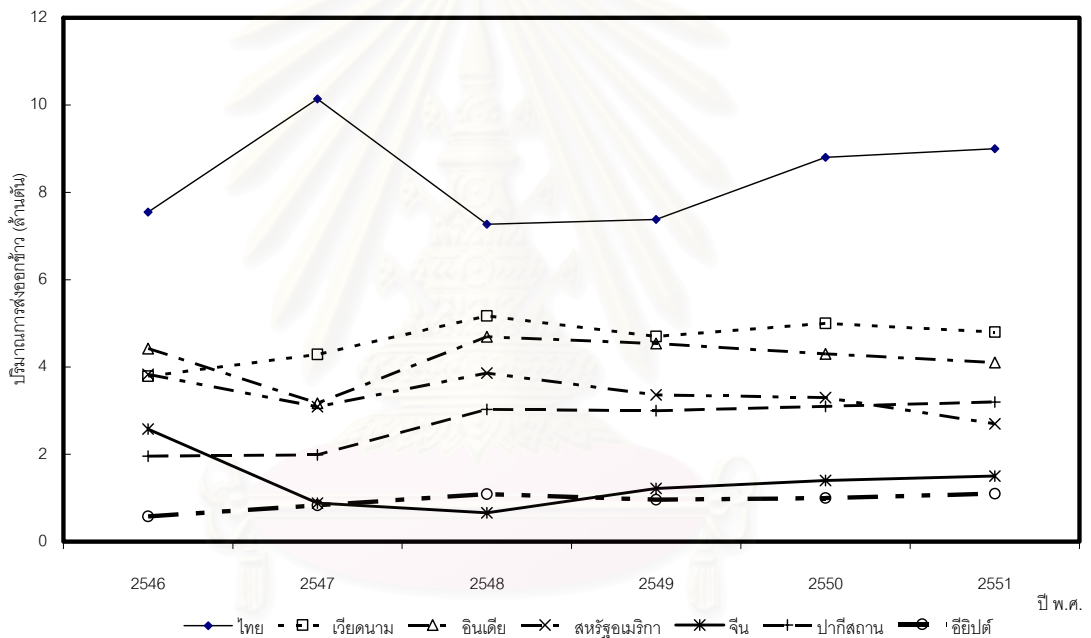
ตารางที่ 4.17	ผลของปริมาณกรดสเดียริคต่อค่าความหนา ของฟิล์ม.....	64
ตารางที่ 4.18	ค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ต่างกัน (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0.3:14).....	67
ตารางที่ 4.19	ค่าการซึมผ่านของไอน้ำที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ต่างกัน (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14).....	68
ตารางที่ 4.20	ผลของปริมาณกรดสเดียริคต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0.3:14).....	69
ตารางที่ 4.21	ผลของปริมาณกรดสเดียริคต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14).....	70
ตารางที่ 4.22	การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งค่า L ที่ 68%RH.....	71
ตารางที่ 4.23	การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งค่า a ที่ 68%RH.....	72
ตารางที่ 4.24	การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งค่า b ที่ 68%RH.....	72
ตารางที่ 4.25	อัตราการเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งในช่วง 2 วันแรกที่ 68%RH.....	72
ตารางที่ 4.26	การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งค่า L ที่ 55%RH.....	76
ตารางที่ 4.27	การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งค่า a ที่ 55%RH.....	76
ตารางที่ 4.28	การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งค่า b ที่ 55%RH.....	76
ตารางที่ 4.29	อัตราการเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งในช่วง 2 วันแรกที่ 55%RH.....	76
ตารางที่ 4.30	ค่า Opacity ของฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าในท้องตลาดและฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าตัดแปร.....	79
ตารางที่ 4.31	การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของฟิล์มบริโภคน้ำได้และฟิล์มประเภทต่างๆ.....	81
ตารางที่ 4.32	เปรียบเทียบค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ water vapor permeability	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ทำรายได้ให้ประเทศเป็นอันดับที่ 16 ของสินค้าส่งออกทั้งหมด คิดเป็นมูลค่า 97,539.37 ล้านบาทในปีพ.ศ. 2549 [1] ประเทศไทยมีส่วนแบ่งการตลาดในตลาดข้าวโลกเป็นอันดับหนึ่งมาโดยตลอด ดังแสดงในรูปที่ 1.1 [2]



รูปที่ 1.1 ปริมาณการส่งออกข้าวของโลกปี พ.ศ.2546-2551

(ข้อมูลปี 2550 และ 2551 ได้จากการคาดคะเน)

แม้ว่าประเทศไทยจะสามารถส่งออกข้าวได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลก แต่ชนิดของข้าวที่สามารถทำตลาดได้ดีคือข้าวขาวคุณภาพดี ขณะที่ข้าวคุณภาพต่ำมีการแข่งขันสูงจากประเทศอื่น เช่น เวียดนาม ทั้งนี้เนื่องจากเวียดนามมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าไทย จึงได้มีการเสนอแนะว่าประเทศไทยควรลดการผลิตข้าวคุณภาพต่ำซึ่งไม่สามารถแข่งขันได้และนำข้าวคุณภาพต่ำมาผลิตเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวแทน [4,51]

ปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวหลายประเภทเช่น แป้งข้าว
ขนมปังอบกรอบ เส้นก๋วยเตี๋ยว แป้งแผ่น สตาร์ชจากข้าว (rice starch) เป็นต้น โดยมีปริมาณและ
มูลค่าในการส่งออกดังแสดงในตารางที่ 1.1 [3]

ตารางที่ 1.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าว [3]

ผลิตภัณฑ์	ปี พ.ศ. 2546		ปี พ.ศ. 2547		ปี พ.ศ. 2548	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
แป้งข้าวเหนียว	68,371	1,404	69,052	1,446	72,714	1,412
เส้นก๋วยเตี๋ยว	40,575	1,367	43,829	1,562	41,964	1,511
แป้งข้าวเจ้า	26,793	443	35,111	594	39,301	767
ขนมปังอบกรอบ	22,483	2,338	21,786	2,160	22,297	2,136
แป้งแผ่นทำจาก ข้าว	1,122	79	993	73	770	64
สตาร์ชทำจากข้าว เจ้า	239	7	168	5	260	10
สตาร์ชทำจากข้าว เหนียว	778	22	1,829	70	5,569	179
รวม	160,362	5,659	172,770	5,910	182,875	6,078

ในสภาพชีวิตที่ต้องเร่งรีบเช่นในปัจจุบัน หลายคนไม่ต้องการที่จะต้องใช้เวลามากนักใน
การเตรียมอาหารในครัว ไม่ว่าจะเป็นการปลอกเปลือกหรือหั่นผักผลไม้ แม้ในปัจจุบันจะมี
ผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องมากมายในท้องตลาด แต่ก็ยังคงมีปัญหาในเรื่องกลิ่นรสที่ไม่เหมือนเดิม
ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมปรุงที่ได้รับการเตรียมมาบางส่วน และอาหารพร้อมบริโภคที่ ยังคงรักษา
สภาพกลิ่นรสเช่นเดิมได้ จึงได้รับการตอบรับที่ดีจากผู้บริโภคปัจจุบัน การรักษาสภาพกลิ่นรสของ
ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว เป็นผลจากการทำให้เกิดกลไกที่สามารถหน่วงการสูญเสียความชื้นของ
ผลิตภัณฑ์ หน่วงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) ซึ่งมีผลต่อการเกิดจุดสีน้ำตาล
ลดอัตราการระเหยของกลิ่น และยับยั้งหรือหน่วงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ณ บริเวณผิว
ผลิตภัณฑ์ การห่อหุ้มผิวของผักหรือผลไม้ที่เตรียมไว้แล้วด้วยฟิล์มที่บริโภคได้ ทำให้ไม่ต้อง
เสียเวลาดึงเอาแผ่นฟิล์มออก อีกทั้งฟิล์มที่บริโภคได้นี้ถ้ามีคุณสมบัติการยอมให้ก๊าซซึมผ่านเข้า

ออกที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้นจะยังช่วยรักษาสภาพผลิตภัณฑ์ได้ใกล้เคียงหรือเหมือนเดิม ตามหลักการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

Brody และคณะ [5] กล่าวว่าฟิล์มบริโกลได้ถูกใช้สำหรับห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารมานานแล้ว เช่นใช้ในการห่อผลไม้ และลูกกวาด เพื่อใช้ในการควบคุมความชื้นและปรับปรุงรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นอีกช่องทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบการเกษตร ปัจจุบันมีการใช้ฟิล์มบริโกลรวมทั้งแวคซ์ (wax) หุ้มผิวผักผลไม้ เซลแลค (shellac คือเรซินที่ได้จากแมลงชนิดหนึ่งหรือที่เรียกว่าครั่ง) ซีน (zein คือโปรตีนที่ได้จากข้าวโพด) ห่อลูกกวาดเพื่อต้านทานการดูดซับความชื้นจากภายนอกและเพื่อปรับปรุงรูปลักษณะให้ชวนบริโภค คอลลาเจน (Collagen) ใช้สำหรับห่อหุ้มไส้กรอกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ป้องกันการดูดซับออกซิเจนจากภายนอก และเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นไส้กรอก ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropylmethyl cellulose, HPMC) ใช้ทำบรรจุภัณฑ์อ่อนสำหรับบรรจุเครื่องปรุงอาหาร รวมแล้วทั้ง HPMC เซลแลค (shellac) ซีน (zein) และเจลาติน (gelatin) ถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงรูปลักษณะผลิตภัณฑ์ สร้างความแข็งแรง มีความเสถียรและสามารถย่อยได้ในระบบย่อยอาหาร บรรจุภัณฑ์บริโกลได้เหล่านี้ไม่ได้มีจุดมุ่งหมายที่จะมากำจัดความต้องการใช้บรรจุภัณฑ์ปกติทั่วไป หากแต่มันถูกผลิตมาเพื่อให้ใช้งานร่วมกับบรรจุภัณฑ์ปกติ เพื่อยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น

แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการนำฟิล์มบริโกลได้ไปใช้งานเพื่อถนอมอาหารสด แต่อย่างไรก็ดีคุณภาพของอาหารที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มบริโกลได้ในปัจจุบันยังไม่เป็นที่น่าพอใจเท่าที่ควร [12] การใช้ฟิล์มบริโกลได้ก่อให้เกิดการปรับสภาพบรรยากาศภายในผลิตภัณฑ์ เช่น ทำให้มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำ [38] ดังกรณีที่เคยลอบผิวผลแอปเปิลและลูกแพร์ด้วยแวคซ์ทำให้ลดอัตราการสุก และหากหุ้มด้วยแวคซ์ในปริมาณที่เพียงพอจะทำให้ยับยั้งการหายใจ ทำให้มีแอลกอฮอล์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการหมักแบบไร้อากาศ [39] มะเขือเทศที่หุ้มด้วยฟิล์มบริโกลได้ชนิดที่ทำจากโปรตีนข้าวโพด ที่ความหนา 0.6 มม. มีการผลิตแอลกอฮอล์เกิดขึ้นภายในผลมะเขือเทศ เนื่องจากมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่สูงและมีปริมาณก๊าซออกซิเจนอยู่น้อย [40] ผลการห่อหุ้มด้วยฟิล์มบริโกลได้ทำให้เกิดการสูญเสียลักษณะทางกายภาพร่วมกับเกิดการปรับบรรยากาศภายในผลไม้ ทำให้เกิดการสูญเสียความสดเนื่องจากมีการสะสมของเอทานอลและมีกลิ่นของแอลกอฮอล์ wax และสารผสมของ sugar fatty acid ester (SFAE) เป็นฟิล์มบริโกลที่นิยมนำมาใช้ในการห่อผักผลไม้ แต่มีประสิทธิภาพไม่เหมือนกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ถูกห่อ อีกปัญหาหนึ่งที่พบคือผู้บริโกลเริ่มระงังผลิตภัณฑ์ที่หุ้มด้วยแวคซ์ ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาฟิล์มบริโกลในแบบอื่น ที่ไม่มีกลิ่นของแวคซ์ [12] โดยสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือการเปลี่ยนสี การสูญเสียความแข็งแรง เอทานอลที่เกิดจากการหมักแบบ

ไร้อากาศอันเนื่องมาจากปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมเนื่องจากการหายใจของผักผลไม้ สัดส่วนการเสื่อมและน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มบรีโกลด์ที่ห่อหุ้มบนผลไม้ [37]

แม้ในงานวิจัยที่ผ่านมาจะมีการศึกษาการนำวัสดุชีวภาพ อาทิเช่น แป้งมันสำปะหลัง โปรตีนข้าวโพด และไคโตซาน (chitosan) เป็นต้น มาทดลองผลิตเป็นฟิล์มบรีโกลด์ได้ [17,18,19,20,21,23,30,31] แต่การศึกษาด้วยการนำแป้งข้าวมาผลิตเป็นฟิล์มบรีโกลด์ มีอยู่ไม่มากนัก ดังนั้นการศึกษานี้ซึ่งจะนำแป้งข้าวัดแปรมาผลิตเป็นฟิล์มบรีโกลด์เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของข้าวคุณภาพต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการกระบวนการผลิตฟิล์มบรีโกลด์จากแป้งข้าวเจ้าัดแปร (จากข้าวเกร็ดตำ)

1.2.2 เพื่อศึกษาผลขององค์ประกอบต่อสมบัติของฟิล์มแป้งข้าวัดแปรที่บรีโกลด์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผงแป้งต่อของเหลว อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าัดแปรต่อพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสม

1.3.2 ศึกษากระบวนการผลิตฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าัดแปร

1.3.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตได้ เช่น ปริมาณอิลาสติซิเจลปริมาณกลีเซอรอล และปริมาณของกรดสเตียริก

1.3.4 ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตได้เช่น ความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ (water vapor permeability) ความสามารถในการซึมผ่านได้ของก๊าซออกซิเจน (oxygen permeability)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พิล์มบริโภคนได้

Brody และคณะ [5] ได้รวบรวมข้อมูลไว้ดังนี้ พิล์มบริโภคนได้โดยทั่วไปสามารถแบ่งตามองค์ประกอบหลักที่ใช้ขึ้นรูปฟิล์มได้ 3 ชนิด คือ พอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) โปรตีน (protein) และไขมัน (fat) ซึ่งล้วนแต่เป็นวัตถุดิบที่ได้มาจากพืชและสัตว์

2.1.1 พอลิแซคคาไรด์ พิล์มที่ได้จากวัตถุดิบที่เป็นพอลิแซคคาไรด์ เช่น สารอนุพันธ์ของเซลลูโลส (cellulose derivative) สตาร์ช (starch) อนุพันธ์ของสตาร์ช (starch derivative) คาราจีแนน (caragenan) อัลจีเนต (alginate) เพคติน (pectin) และไคโตซาน (chitosan)

2.1.2 โปรตีน พิล์มที่ได้จากวัตถุดิบที่เป็นโปรตีน เช่น คอลลาเจน (collagen) เจลาติน (gelatin) เคซีน (casein) เวย์โปรตีน (whey protein โปรตีนจากหางนม) ซีน (zein โปรตีนจากข้าวโพด) กลูเตน (gluten โปรตีนจากข้าวสาลี) และโปรตีนจากถั่วเหลือง

2.1.3 ไขมัน วัตถุดิบที่จัดอยู่ในประเภทไขมัน นำมาใช้ผลิตฟิล์มบริโภคนได้ เช่น คาร์นูบาแวคซ์ (carnauba wax) แคนดิลลาแวคซ์ (candelilla wax) บีแวคซ์ (bee wax) เชลแลค (shellac คือเรซินที่ได้จากแมลงชนิดหนึ่ง หรือที่เรียกว่าครั่ง) ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) อะซิตีเลทโมโนกลีเซอไรด์ (acylated monoglycerides) กรดไขมัน (fatty acid) แอลกอฮอล์ไขมัน (fatty alcohols) และ เอสเทอร์ของกรดไขมันซูโครส (sucrose fatty acid esters) เนื่องจากไขมันไม่ได้อยู่ในรูปแบบที่สามารถทำให้เป็นฟิล์มได้ด้วยการเชื่อมพันธะระหว่างตัวมันเอง หากแต่มันสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของฟิล์มเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความมันเงาและเป็นตัวกันความชื้น

พันธะไฮโดรเจนในพอลิแซคคาไรด์และในโปรตีนทำให้ฟิล์มมีลักษณะ

- ยอมให้ความชื้นซึมผ่านชั้นฟิล์มได้ง่าย
- ยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านชั้นฟิล์มได้น้อยในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ
- ยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้บ้างในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

ขณะที่ไขมันไม่ได้มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ แต่อย่างไรก็ตามมันมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดความเงา และทำให้ฟิล์มมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของความชื้น

นอกจากองค์ประกอบหลักข้างต้นแล้ว พิล์มบริโภาคได้ยังประกอบด้วยองค์ประกอบอื่น [5] เช่น พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) ทำหน้าที่เป็นตัวปรับคุณสมบัติความยืดหยุ่นและความคงทนของฟิล์ม โดยทั่วไปแล้วมันจะทำให้ค่า Tg (glass transition temperature) ลดต่ำลง เป็นผลให้เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับฟิล์ม และเพิ่มความสามารถในการยอมให้ซึมผ่านได้ (permeability) อีกด้วย สารเคมีที่นิยมนำมาใช้ทำเป็นพลาสติไซเซอร์ในฟิล์มบริโภาคได้เช่น ซูโครส (sucrose) กลีเซอรอล (glycerol) ซอร์บิทอล (sorbitol) โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) พอลิเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol) กรดไขมัน (fatty acid) และ โมโนกลีเซอรอล (monoglycerol) รวมทั้งน้ำ

นอกจากนั้นอาจมีสารเติมแต่งอื่น ๆ เช่น สารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidants) สารต่อต้านจุลินทรีย์ (antimicrobials) สารอาหาร กลิ่น สี ที่ต้องได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาว่าสามารถนำมาใช้บริโภคได้ [5]

2.2 การผลิตฟิล์ม

กระบวนการหลักที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม [5] โดยทั่วไปแล้วมี 3 วิธีคือ

2.2.1 Solvent casting การรีดสารละลายให้เป็นแผ่น

วิธีการนี้เริ่มจากการเตรียมวัสดุที่ต้องการขึ้นรูปฟิล์มให้อยู่ในรูปสารละลาย จากนั้นจึงนำสารละลายนั้นไปรีดให้เป็นแผ่นบนพื้นผิวเรียบ ทำการระเหยเอาตัวทำละลายออก ฟิล์มที่ได้จะถูกแกะออกจากพื้นผิวเรียบ ปัจจุบันได้มีการผลิตด้วยวิธีนี้ในเชิงการค้า [5] เช่น พิล์มบริโภาคได้ที่ผลิตจากเมทิลเซลลูโลส (Methyl cellulose) และ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl methyl cellulose) โดยทำการขึ้นรูปแบบรีดเป็นแผ่นบนสายพานที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง จากนั้นจึงทำให้แห้ง นำออกจากสายพาน และนำฟิล์มที่ได้มาเป่าลมอีกครั้ง ฟิล์มที่ได้สามารถนำมาทำเป็นฟิล์มบริโภาคได้ หรือทำเป็นบรรจุภัณฑ์อ่อนชนิดละลายน้ำสำหรับบรรจุเครื่องปรุงอาหาร ในการผลิตเจลลาตินแคปซูลหรือแคปซูลชนิดแข็ง มีวิธีเตรียมสารที่ต้องการนำมาขึ้นรูปทำให้เป็นสารละลายก่อนจากนั้นจึงจุ่มแม่พิมพ์ที่เป็นหมุด ทำให้แห้ง แล้วค่อยนำแคปซูลที่แห้งแล้วออกจากหมุด

2.2.2 Molten casting การรีดวัสดุหลอมเหลวให้เป็นแผ่น

ฟิล์มไขมันหรือการทำเป็นแผ่นฟิล์มหรือชั้นเคลือบ (coating) สามารถผลิตฟิล์มด้วยวิธีนี้ด้วยการหลอมเหลววัสดุที่ต้องการทำเป็นฟิล์ม จากนั้นจึงนำไปรีดเป็นแผ่นแล้วทำให้เย็นเพื่อให้เกิดการแข็งตัว สำหรับวัสดุบางชนิดอาจต้องใช้อุณหภูมิสูง ฟิล์มที่ผลิตต้องได้รับการควบคุมความหนา การเกาะติด และความเปราะ การขึ้นรูปชั้นฟิล์มไขมันสามารถทำเป็นชั้นฟิล์มรีดทับบนแผ่นฟิล์มพอลิแซคคาไรด์ที่รีดไว้ก่อนหน้าแล้ว หรือรีดทับบนแผ่นฟิล์มโปรตีน หรือพอลิแซคคาไรด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความชื้น

2.2.3 Extrusion วิธีการอัดขึ้นรูป

การผลิตฟิล์มคอลลาเจนสำหรับห่อหุ้มไส้กรอกใช้วิธีการอัดขึ้นรูป โดยนำของเหลวชั้นของคอลลาเจนที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้กรด (acidified) ที่ความเข้มข้น 4-10% อัดขึ้นรูป แล้วนำมาผ่านอ่างสะเทิน (Neutralizing coagulation bath) ให้เป็นกลางและตกตะกอน จากนั้นนำมาล้าง เต็มพลาสติกไซเซออร์ และทำให้แห้ง

2.3 คุณสมบัติของฟิล์ม

2.3.1 คุณสมบัติการเป็นตัวกั้นการส่งผ่าน (Barrier Properties)

คุณสมบัติการเป็นตัวกั้น เป็นคุณสมบัติที่มีผลต่อคุณภาพ และอายุการเก็บของอาหารหรือยาที่ถูกบรรจุ คุณสมบัติการเป็นตัวกั้นการส่งผ่านนี้ ได้แก่ การเป็นตัวกั้นการส่งผ่านความชื้น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กลิ่น หรือน้ำมัน โดยพิจารณาจากค่าความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) ได้มีการให้คำจำกัดความ ค่า ความสามารถในการซึมผ่าน หมายถึง สภาวะที่มีความคงตัวของเหตุการณ์ที่มีสารได้ละลายและแพร่ผ่านฟิล์มหรือตัวกลาง โดยแรงขับเคลื่อนที่ทำให้มีศักยภาพในการแพร่นั้นเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารที่แพร่นั้นที่อยู่ระหว่างทั้งสองด้านของฟิล์ม ดังสมการต่อไปนี้ [12,13]

$$P = D.S \quad (1)$$

P = ความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) (mol.m/N.s)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusivity)

S = ความสามารถในการละลาย (Solubility) (mol/N.m)

ดังนั้นค่าความสามารถในการซึมผ่านหาได้จาก

$$P = QX/(At\Delta p) \quad (2)$$

Q = ปริมาณของก๊าซที่แพร่ผ่านฟิล์ม (g หรือ ml)

X = ความหนาของฟิล์ม (mm)

A = พื้นที่ของฟิล์มที่ก๊าซแพร่ผ่าน (m²)

t = เวลา (s)

Δp = ความแตกต่างของความดันย่อยคร่อมฟิล์ม (Pa)

2.3.2 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ความสามารถในการละลายได้ของฟิล์มเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ ทั้งนี้ขึ้นกับการออกแบบเลือกใช้ชนิดของฟิล์มและการนำไปใช้งาน เช่น ฟิล์มที่ทำจากเวย์โปรตีน และบรรจุภัณฑ์อ่อน

สำหรับบรรจุเครื่องปรุงอาหารชนิดละลายน้ำได้ บางกรณีต้องการบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ละลายน้ำโดยต้องการให้มีการกั้นการซึมผ่านของน้ำ เพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ถูกบรรจุโดยรวม

2.3.3 คุณสมบัติทางกล (Mechanical property)

คุณสมบัติทางกลของฟิล์มคือ ค่า Tensile strength เป็นค่าที่ได้จากการใช้แรงดึงฟิล์มจนฟิล์มขาดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด Elongation (E) คือระยะที่ฟิล์มสามารถยืดออกก่อนที่จะขาด Elastic modulus (EM) คือความเหนียวของฟิล์ม พิจารณาจากอัตราส่วนของแรงที่ใช้ดึงต่อพื้นที่ที่ฟิล์มเสียรูปไป

การเลือกคุณสมบัติของฟิล์มขึ้นอยู่กับพิจารณาว่าจะนำไปใช้กับอาหารชนิดใด ฟิล์มแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางกล คุณสมบัติการเป็นตัวกั้นการส่งผ่านที่ไม่เหมือนกัน คุณสมบัติเฉพาะเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญในการเลือกใช้ ตารางที่ 2.1-2.3 แสดงคุณสมบัติของฟิล์มที่สภาวะต่าง ๆ สิ่งสำคัญที่ควรตระหนักคือ ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ และสภาวะในการทดสอบฟิล์ม เช่น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ มีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของฟิล์ม ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นในพอลิแซคคาไรด์และฟิล์มโปรตีน ส่งผลให้เพิ่มความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) และทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง ดังนั้นในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มจะไม่สามารถละเลยต่อบัจจัยเหล่านี้ได้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (water-vapor permeability) ของฟิล์มบรีโกลได้และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low-density Polyethylene) [5]

Film	Test Condition ^a	Permeability [(g.mm)/m ² .day.kPa]
WPI:Gly(4:1)	25°C,0/77% rh ^b	70
Gluten:Gly(3.1:1)	21°C,85/0% rh	53
Na caseinate	25°C,0/81% rh ^b	37
Amylose	25°C,100/0% rh	31.6
Zein:Gly(4.9:1)	21°C,85/0% rh	9.6
HPMC	27°C,0/85% rh	9.1
HPMC:PEG(9:1)	25°C, 85/0% rh	6.5
WPI:BW:Sor(3.5:1.8:1)	25°C,0/98% rh ^b	5.3
Ca caseinate:BW(1.7:1)	25°C,0/97% rh ^b	3.6
Shellac	30°C,0/84% rh	0.72
LDPE	38°C,90/0% rh	0.079
BW/SA:PA:MC:HPMC:PEG	25°C,97/0% rh	0.058
SA:PA:HPMC:PEG	25°C,85/0% rh	0.048
HPMC:SA(1.25:1)	27°C,0/85% rh	0.026
BW	25°C,0/100% rh	0.021

^aRelative humidities are those on top and bottom sides of film (top/bottom)

^b Corrected rh shown;

HPMC = hydroxypropylmethyl cellulose

MC = methyl cellulose

SA = stearic acid

PA = palmitic acid

BW= beewax

PEG = polyethylene glycol

WPI = whey protein isolate

Gly = glycerol

Sor = sorbitol

LDPE = low density polyethylene

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์มบิโภาคได้เทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์สังเคราะห์ [5]

Film	Test conditions	Permeability [(g.mm)/m ² .day.kPa]
LDPE	23°C, 50% rh	1870.0
BW	25°C, 0% rh	931.0
HPMC	24°C, 50% rh	272.0
Shellac	29°C, 55% rh	212.0
MC	24°C, 50% rh	97.0
WPI:Gly(2.3:1)	23°C, 50% rh	76.1
Collagen	RT, 63% rh	23.3
WPI:Sor(2.3:1)	23°C, 50% rh	4.3
EVOH(70% VOH)	23°C, 95% rh	12.0
EVOH(70% VOH)	23°C, 0% rh	0.1

BW= beewax

EVOH = ethylene-vinyl alcohol copolymer

Gly = glycerol

HPMC = hydroxypropylmethyl cellulose

LDPE = low density polyethylene

MC = methyl cellulose

Sor = sorbitol

VOH = vinyl alcohol

WPI = whey protein isolate

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของฟิล์มบิโภาคได้เทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์สังเคราะห์ [5]

Film	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
HPMC	69	10
MC	62	10
Starch	49	7
Amylose	70	23
Collagen:Cell:Gly(3.4:0.8:1)	3-11	25-50
Zein:PEG + Gly(2.6-5.9:1)	3-28	6-213
Gluten:Gly (2.5:1)	3	276
WPI:Gly(2.3:1)	14	31
LDPE	9-17	500
Polystyrene	35-55	1

Cell = cellulose

Gly = glycerol

HPMC = hydroxypropylmethyl cellulose

LDPE = low density polyethylene

MC = methyl cellulose

PEG = polyethyleneglycol

WPI = whey protein isolate

2.4 คุณลักษณะทางเคมีของเมล็ดข้าว

องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวที่สำคัญคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำ

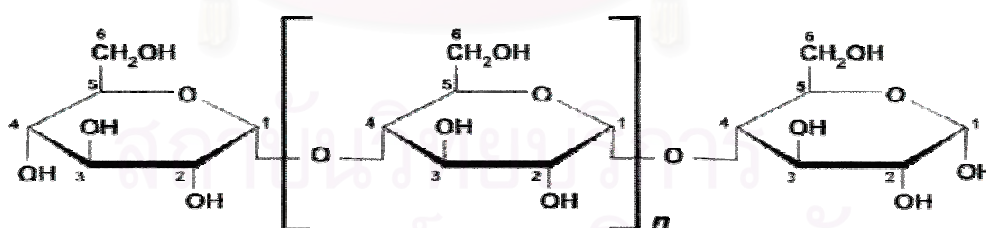
2.4.1 คาร์โบไฮเดรต

สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิเมอร์พบอยู่ในข้าวปริมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ จึงมีผลต่อคุณภาพของข้าวมากที่สุด โมเลกุลของสตาร์ชรวมตัวกันเป็นเม็ดสตาร์ช ขนาด 3-5 ไมครอน เล็กที่สุดในกลุ่มธัญชาติ มีรูปร่างลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายเหลี่ยม รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือยาวหรืออยู่ภายในแอมิโลส (amylose) หรือคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ของเซลล์จำนวน 20-60 เม็ด สตาร์ช ขนาดของเม็ดสตาร์ชในแอมิโลพลาสต์ (amyloplast) มีขนาดประมาณ 7-39 ไมครอน [16]

วิธีการสกัดสตาร์ชออกจากเมล็ดข้าวทำได้ด้วยวิธีการบดเปียกด้วยน้ำ หรือสารละลายเบส เพื่อสกัดแยกส่วนโปรตีนออกไป จากนั้นแยกส่วนสตาร์ชจากสารละลาย ทำให้แห้ง แล้วนำไปบดละเอียด

โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ลักษณะคือ แอมิโลส (amylose) และแอมิโลเพคติน (amylopectin) โมเลกุลทั้งสองจะจัดเรียงตัวกันแน่นจนเป็นเม็ดสตาร์ช โดยมีโครงสร้างลักษณะเป็นรัศมีจากจุดกลางแบบกิ่งผลึก โดยบางส่วนจะอยู่ร่วมกับไลปิด (lipid)

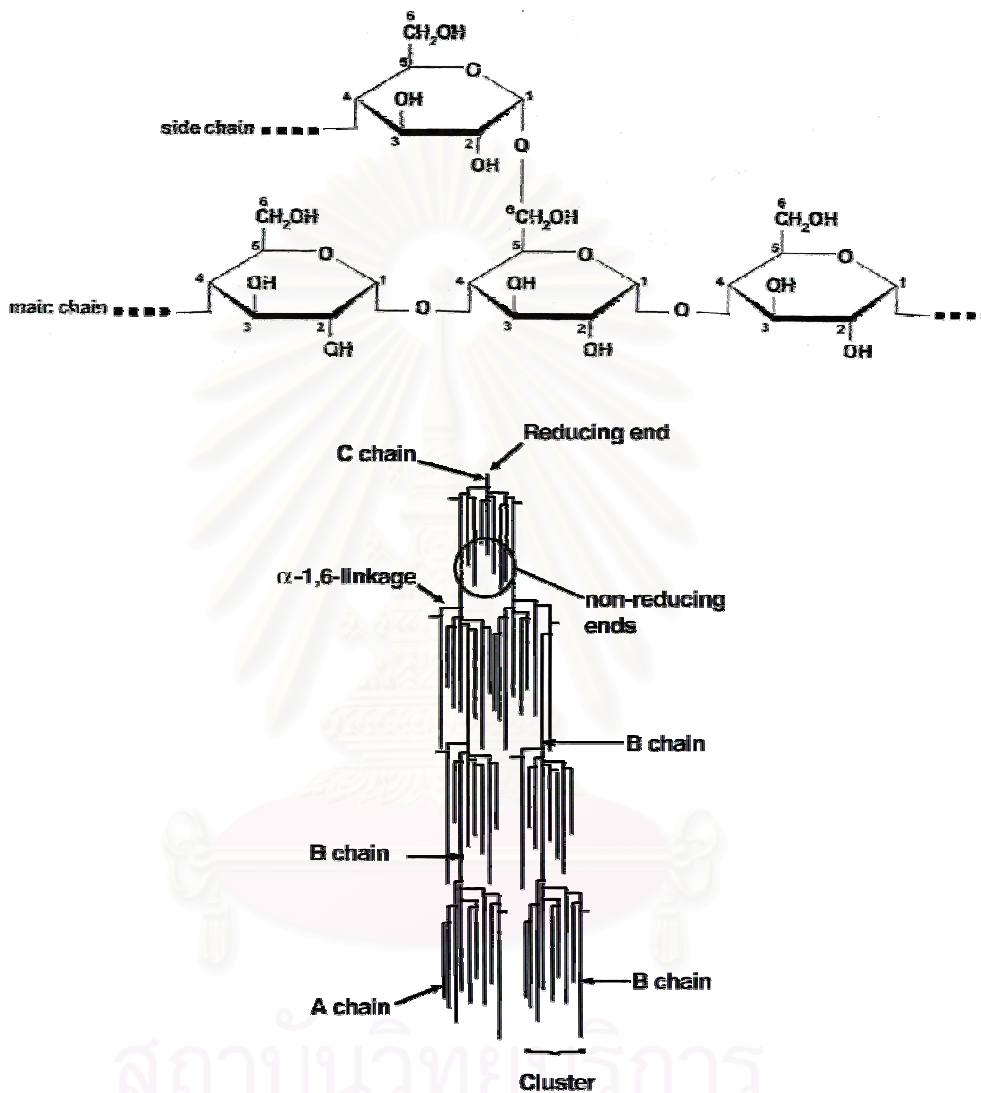
แอมิโลสประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสจัดเรียงตัวเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น ด้วยพันธะแอลฟา-1,4 (α -1,4 linked D-glucopyranose) มีโซ่กิ่งอยู่ประมาณ 3-4 กิ่ง ด้วยพันธะแอลฟา-1,6 มีค่า DP (Degree of polymerization) ประมาณ 1,500-6,000 น้ำหนักโมเลกุล (MW) อยู่ในช่วง 243,000 ถึง 972,000 ดังแสดงในรูปที่ 2.1 มีรายงานระบุว่า แอมิโลสที่ได้จากมันฝรั่งมีน้ำหนักโมเลกุล (MW) 1,000,000 แต่โดยทั่วไปแล้วจะน้อยกว่า 500,000 เมื่อย่อยด้วยเอนไซม์ ปีตา-แอมิโลส ได้ส่วนที่เหลือจากการย่อยประมาณ 73-81% มีค่า DP เฉลี่ย 1,000-1,100 มีความยาวของสายเฉลี่ย 250-320 จำนวนสายเฉลี่ย 3.4-4.0 และมีโมเลกุลที่เป็นกิ่งก้าน 31-49% โครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลสมีหลายรูปแบบ เช่น สายตรง สายพันเป็นเกลียว (helix) เดี่ยวหรือคู่ มีลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง ภายในพอลิเมอร์ที่เป็นเกลียวมีไฮโดรเจนอยู่เป็นองค์ประกอบ ก่อให้เกิดคุณสมบัติการเป็น hydrophobic ทำให้แอมิโลสสามารถรวมเป็นสารเชิงซ้อนได้กับกรดไขมันอิสระ กรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของกลีเซอรไรด์แอลกอฮอล์บางชนิดและไอโอดีน [27] แอมิโลสมีคุณสมบัติที่สามารถเป็นเจลได้เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิการเกิดเจล



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแอมิโลส [56]

แอมิโลเพคติน ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสที่จัดเรียงตัวเป็นพอลิเมอร์ที่มีโซ่กิ่งเป็นแขนงมากประมาณ 96% ต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4 และอีก 4% ต่อดวยพันธะแอลฟา-1,6 มีค่า DP เฉลี่ย 4,700-18,500 ความยาวของสายเฉลี่ย 18-21 มีจำนวนสายเฉลี่ย 220-1,000 สาย โดยความยาวของสายภายนอกเฉลี่ย 12-14 [16] และความยาวของสายภายในเฉลี่ย 5-6 [16] มีน้ำหนักโมเลกุล 10,000,000-50,000,000 โครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลเพคตินมีลักษณะเป็นกิ่งก้านเป็น

โซ่กิ่งเกิดขึ้นจากสายที่ต่อด้วยน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้น ซึ่งมีคาร์บอนตัวที่หนึ่งเป็นหมู่รีดิวซิ่ง ดังนั้น โมเลกุลแอมิโลเพคตินจะประกอบด้วยสายแกนหนึ่งสาย สายกิ่งเชื่อมที่นำมาต่อกับสายอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแอมิโลเพคติน [56]

ปริมาณของแอมิโลสและแอมิโลเพคตินมีผลต่อคุณสมบัติของข้าวหรือสตาร์ช กล่าวคือ เมื่อมีการให้ความร้อนและน้ำกับสตาร์ช สตาร์ชจะมีการพองตัวค้ำน้ำเข้าไปในบริเวณอสัณฐาน (amorphous zone) ของโครงสร้างโมเลกุล แอมิโลเพคตินที่คลายตัวลงสามารถค้ำน้ำเข้าไปใน เมล็ดสตาร์ชทำให้พองขึ้นเรื่อย ๆ จนเกิดสภาวะการเป็นเจล เรียกว่า เจลาติไนเซชัน (gelatinization) กรณีที่มีน้ำอยู่มากน้ำจะเข้าไปในโครงสร้างผลึกของแอมิโลเพคติน เมื่อให้ อุณหภูมิสูงต่อไปเรื่อย ๆ โครงสร้างสตาร์ชจะถูกทำลาย ความหนืดจะลดลง เป็นผลให้โมเลกุลของ

แอมมิโลเพคตินและแอมมิโลสกระจัดกระจายและแขวนลอย แต่เมื่อทิ้งไว้จะมีการคืนตัว หรือรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ทำให้มีลักษณะขุ่นขึ้น มีความหนืดอีกครั้ง แต่เมื่อทิ้งไว้ต่อไป จะมีการแยกชั้นของน้ำออกจากสตาร์ช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการทำให้เย็น น้ำที่แยกออกจากโมเลกุลของแอมมิโลสจะเกิดขึ้นง่ายกว่าแอมมิโลเพคติน เนื่องจากโครงสร้างของแอมมิโลเพคตินที่เป็นโซ่กิ่งสามารถอุ้มน้ำได้ดีกว่า การทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วจะทำให้น้ำซึ่งแอมมิโลสและแอมมิโลเพคตินอุ้มไว้ในโครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยการแช่เยือกแข็งจะทำให้น้ำภายในโมเลกุลสตาร์ชเป็นน้ำแข็งขนาดเล็ก ทำให้ได้เจลที่มีความคงตัวมากขึ้น นอกจากนี้ความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกแต่ละสายพันธุ์ขึ้นกับความแตกต่างของสัดส่วนโมเลกุลสายตรงที่ยาวของทั้งแอมมิโลสและแอมมิโลเพคตินในสตาร์ช ถ้ามีแอมมิโลสมากจะทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวแข็ง และร่วนมาก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ปริมาณแอมิโลสในพันธุ์ข้าว [16]

พันธุ์ข้าว	แอมิโลส (%)
	ข้าวสุกนุ่มและเหนียว
ขาวดอกมะลิ 105*	12-17
กข 15*	14-17
กข 21	17-20
	ข้าวสุกร่วน (ข้าวอ่อน)
ขาวปากหม้อ	24-26
ขาวตาแห้ง 17	26-28
กข 7	24-28
กข 23	26-30
สุพรรณบุรี 60	19-26
	ข้าวสุกร่วนแข็ง
เหลืองใหญ่ 148	30-31
น้ำสะกุก 19	30-31
เหลืองประทิว 123	28-32
เล็บมือนาง 111	29-32
ปิ่นแก้ว 56	29-31
นางพญา 132	31-32
กข 11	29-32
กข 15	30-33
กข 25	30-33
ปทุมธานี 60*	27-32
ชัยนาท 1	27-30
สุพรรณบุรี 90	27-30
สุพรรณบุรี 1	29

2.4.2 โปรตีน

ปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวโดยประมาณ 6-10% ส่วนใหญ่เป็นกลูเทนิน (glutenins) มีรายงานการศึกษาการสกัดโปรตีนจากข้าว [25] พบว่า มีโปรตีนจากข้าว 6.8-8.5% ประกอบด้วยโปรตีนละลายน้ำ แอลบูมิน (albumin) ประมาณ 3.8-8.8% โปรตีนที่ละลายในเกลือ

โกลบูลิน (globulin) ประมาณ 9.6-10% โปรตีนที่ละลายในอัลกอฮอล์หรือ โพรลามิน (prolamin) หรือออริซานิน (oryzanin) ประมาณ 66.1-78.0%แต่อย่างไรก็ดียังคงมีความต่างกันตามสายพันธุ์ การคำนวณปริมาณโปรตีนในข้าวใช้ แฟกเตอร์ 5.95 คูณกับไนโตรเจน [6]

โมเลกุลของโปรตีนที่รวมตัวกันเป็นรูปร่างโปรตีน (protein bodies) มี 3 รูปแบบ คือ แบบ ผลึก แบบรูปร่างกลมขนาดเล็ก และแบบรูปร่างกลมขนาดใหญ่ โปรตีนที่กระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อ เมล็ดข้าวมักเป็นโปรตีนรูปร่างกลมขนาดเล็ก ส่วนโปรตีนรูปร่างกลมขนาดใหญ่จะมีมากในส่วนกลางเมล็ดข้าวเท่านั้น องค์ประกอบของโปรตีนประกอบด้วยโพรลามิน (prolamin) และกลูเทลิน (glutenins) โปรตีนชนิดรูปร่างแหจะพบน้อยมาก หรือไม่พบเลยในเมล็ดข้าวซึ่งต่างจากธัญชาติอื่น ๆ หากพบก็เป็นลักษณะเส้นใยโปรตีน (protein fibrils) โปรตีนจะอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช ซึ่งมีผลต่อการเกิดเป็นเจลของเม็ดสตาร์ช โดยทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชไม่เสียรูปได้ง่าย และทำให้โมเลกุลของแอมิโลสไม่ซึมผ่านออกไป มีผลต่อความอ่อนหรือแข็งของเจลเมื่อเย็นลง ซึ่งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกที่มีลักษณะนุ่ม เหนียว หรือร่วน [6] จากรายงานวิจัยที่นักวิจัยพยายามหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนกับเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก พบว่าโปรตีนอาจมีผลในการขัดขวางการดูดซับน้ำและการพองตัวของเม็ดสตาร์ชในขณะหุงต้ม โดยเฉพาะออริซานิน ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำของสตาร์ชลดลง มีผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวร่วนขึ้น [7,8,16]

2.4.3 ไขมัน

ข้าวมีไขมันประมาณ 3% อยู่ในส่วนด้านนอกเมล็ดมากกว่าในใจกลางเมล็ด ข้าวสารที่ผ่านการขัดสีจะมีไขมันอยู่เพียง 0.3-0.5% [9] ไขมันมีความสัมพันธ์กับเม็ดสตาร์ชใน 3 ลักษณะ [10] ดังนี้

- ไขมันอยู่ติดกันกับโปรตีนซึ่งอยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ชภายนอก
- ไขมันอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชโดยเกาะเกี่ยวกับสตาร์ช
- ไขมันที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ช แต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช

ไขมันที่อยู่ในข้าวส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ รองลงมาคือ ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) ไกลโคลิปิด (glycolipids) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ไขมันภายนอกและภายในเม็ดสตาร์ชเป็นไขมันประเภทสารประกอบมอโนแอซิล (monoacyl) ซึ่งกลุ่มของมอโนแอซิลจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยจะมีส่วนไม่อิ่มตัวมากกว่า นอกจากนั้นยังมีไลโซเลซิทีน (lysolecithin) และกรดไขมันอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช [11,16]

2.4.4 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นทั้งในข้าวเปลือกและข้าวสารถูกใช้ในเป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญในการซื้อขายข้าว เนื่องจากเป็นตัวบ่งชี้ถึงน้ำหนักของเนื้อข้าวที่ผู้ซื้อและผู้ขายทำการซื้อขาย นอกจากนั้น ความชื้นยังมีผลต่ออายุการเก็บรักษาข้าว มีการทดลองพบว่าที่ความชื้น 13% สามารถเก็บรักษา

ข้าวได้ดีภายในระยะเวลา 6 เดือน และเมื่อความชื้นลดลงเป็น 12% จะสามารถเก็บได้นานขึ้น ความชื้นของข้าวที่เหมาะสมในการไปทำการสีข้าวประมาณ 22-26% และควรมีการตากข้าวให้มีความชื้นลดลงโดยไม่ควรสูงกว่า 14% กรณีที่ต้องการเก็บรักษาข้าว [15,16]

2.4.5 อุณหภูมิการเกิดเจลลาทีไนเซชัน (Gelatinization temperature)

ความสามารถในการดูดซับน้ำ และความสามารถในการละลายของข้าวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิการเกิดเจลที่ต่างกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะต่ำกว่า 70-75 °C ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (Non waxy rice) มีอุณหภูมิการเกิดเจลที่ต่ำกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ (Waxy rice) [15]

ในกระบวนการการหุงข้าวให้สุกเพื่อบริโภค อุณหภูมิการเกิดเจลยังบ่งบอกถึงเวลาในการทำให้ข้าวสุก ทั้งนี้เนื่องจากในเมล็ดข้าวมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 85% การหุงให้ข้าวสุกมีผลให้สตาร์ชเกิดการเจลลาทีไนส์ ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวนุ่ม หากสตาร์ชยังไม่เกิดเจลลาทีไนส์ จะทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวแข็งไม่เหมาะสมต่อการบริโภค วิธีการวัดอุณหภูมิการเกิดเจล ทำได้หลายวิธี เช่น การวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบฐานร้อน (Kafler hot stage microscope) และกล้องจุลทรรศน์แบบกราดลำแสง การวัดโดยอ้อม โดยดูการละลายของเมล็ดข้าวในสารละลายเบส หรือการวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำให้สตาร์ชเกิดเจลลาทีไนส์ โดยสามารถตั้งลำดับอัตราการให้ความร้อนด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ค่าพลังงานความร้อนที่วัดได้จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการนำข้าวหรือแป้งไปผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ [16]

2.4.6 ความหนืดของแป้งข้าว

วิธีวัดความหนืดของแป้งโดยทั่วไป ใช้เครื่องบาร์เบนเดอร์วิสโค/แอมิโลกราฟ (Brabender Visco/Amylograph) ค่าที่อ่านได้เป็นกราฟระหว่างความหนืด มีหน่วยเป็น ปิยูในแกนตั้ง และระยะเวลาในแกนนอน โดยตั้งอัตราการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของเครื่องอยู่ที่ 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที นอกจากนั้นยังมีเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็วและใช้จำนวนตัวอย่างที่น้อยกว่า คือ อาร์วีเอ (Rapid Visco Analyser, RVA) ค่าที่อ่านได้มีหน่วยเป็น อาร์วียู หรือ เซนติพอยส์ (centipoise) แต่ค่าที่ได้จะไม่ตรงกับค่าที่อ่านจากเครื่องบาร์เบนเดอร์ ดังนั้นจึงไม่สามารถนำผลการวัดจากเครื่องทั้งสองมาเปรียบเทียบกันได้ ได้มีผู้ทำการศึกษาพบว่าแป้งชนิดเดียวกันหากได้จากวิธีการบดที่ต่างกัน เช่น ใช้เครื่องบดแบบเข้มนวด (impeller mill) และเครื่องบดแบบจานบด (disk mill) เป็นผลให้ความหนืดของตัวอย่างแป้งต่างกันได้ ความหนืดมีความสัมพันธ์กับ ขนาดและรูปร่างของแป้งและปริมาณโปรตีน [16,28]

2.5 แป้งดัดแปร (Modified starch) [34]

แป้งดัดแปรคือแป้งที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของแป้งเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน วิธีการที่ใช้มีทั้งวิธีการทางเคมีและวิธีการทางชีวภาพ วิธีการทางเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ การทำให้เกิดอนุพันธ์ หรือเกิดการก่อตัวเป็นอีเธอร์ (ether) หรือเอสเทอร์ (ester) การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ที่หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ที่พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bonds)

2.5.1 การเชื่อมขวางสายโซ่ (Crosslinking)

คือการดัดแปรด้วยการทำให้เกิดการเชื่อมขวาง (cross link) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนสายพอลิเมอร์เดียวกันหรือต่างกัน พันธะที่เกิดจากการเชื่อมขวางเป็นเสมือนจุดเชื่อมต่อที่ทำให้เกิดการเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของสตาร์ช การเชื่อมขวางจะทำให้เกิดการควบคุมการพองตัว (swelling) และทำให้แป้งสามารถทนอุณหภูมิสูง ทนต่อแรงเฉือน และทนสภาวะความเป็นกรดได้

การทำการเชื่อมขวางมักทำปฏิกิริยาในสภาวะที่เป็นด่าง มีค่าพีเอช 7.5-12 ใช้น้ำแป้งเข้มข้น 30-45% สารเคมีสำหรับการเชื่อมขวางที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหารได้แก่ phosphorus oxychloride, sodium trimetaphosphate และสารผสมของ acetic anhydride ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25-50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที -24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาปรับพีเอชให้เป็นกลาง กรอง ล้างและอบให้แห้ง

2.5.2 Substitution (stabilization)

ปัญหาที่มักพบบ่อย ๆ ในแป้งคือ เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหนืดและเนื้อสัมผัสเมื่อเก็บไว้ระยะหนึ่ง เนื่องจากแป้งมีความสามารถในการเกิดการรวมตัวกันใหม่ retrogradation ซึ่งมักเกิดเมื่อแป้งที่มีแอมิโลสเป็นองค์ประกอบได้รับความเย็น ผลจากการเกิด retrogradation ทำให้แป้งตกผลึกและมีเนื้อสัมผัสเป็นเจล เมื่อนานขึ้นเจลมีลักษณะคล้ายยางและทำการคายน้ำออกมา เรียกว่าเป็น syneresis ซึ่งมักพบในผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไปที่ใช้แป้งที่มีแอมิโลสที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร กระบวนการทำ substitution เป็นวิธีการที่นำมาใช้ป้องกันการเกิด retrogradation โดยการแทนที่ด้วยสารเคมีที่อยู่ในกลุ่ม acetyl หรือ hydroxypropyl ในโครงสร้างพอลิเมอร์ การแทนที่จะเป็นผลให้ลดอุณหภูมิการเกิดเจล (gelatinization temperature) ทำให้แป้งเสถียรมากขึ้น แป้งที่ดัดแปรด้วยวิธีนี้ส่วนใหญ่มักถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง

2.5.3 Conversion

โดยทั่วไปแล้วสตาร์ชมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เพื่อเป็นการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น การผลิตเป็นลูกกวาด หรือการนำไปเป็นวัสดุห่อหุ้มอาหาร ทำให้มีการลดขนาดของน้ำหนัก

โมเลกุลของพอลิเมอร์ เป็นผลให้ความหนืดลดลง การลดน้ำหนักโมเลกุลทำได้หลายวิธี เช่น acid hydrolysis, oxidation, pyroconversion และการใช้เอ็นไซม์

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกศศิณี ตระกูลทิวากร [18] ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มบรีโภาคได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังที่มีจำหน่ายในท้องตลาด มีขั้นตอนการเตรียม 2 ขั้นตอน คือ การเตรียมวัสดุทำฟิล์ม และการขึ้นรูปฟิล์ม ในการเตรียมวัสดุทำฟิล์ม ผู้วิจัยได้เตรียมแป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลัง นำไปผสมกับกลีเซอรอล (glycerol) หรือกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (glycerol monostearate) นำมาเตรียมเป็นวัสดุสำหรับทำฟิล์ม ด้วยการทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง หรือ ใช้เครื่องอัดขึ้นรูปแบบสกรูคู่ (twin screw extruder) ผลการศึกษาพบว่า วัสดุที่เตรียมไว้สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ โดยปริมาณกลีเซอรอลมีผลต่อความเรียบของฟิล์ม กลีเซอรอลโมโนสเตียเรทไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ ปริมาณกลีเซอรอลที่ร้อยละ 0.2 ให้ฟิล์มที่ดี ฟิล์มที่ได้จากแป้งข้าวเจ้ามีลักษณะขาวขุ่นและเปราะกว่าฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง

Doung Thi Phuoung Lien [23] ผลิตฟิล์มบรีโภาคได้จากการใช้อัลจิเนตโดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้อัลจิเนตอย่างเดียว อัลจิเนตร่วมกับพลาสติกไซเซออร์ อัลจิเนตคอมพอสิตฟิล์มกับแป้งมันสำปะหลัง และคอมพอสิตฟิล์มของอัลจิเนตกับไขมัน จากการศึกษาพบว่าฟิล์มที่มีส่วนผสมของอัลจิเนต 2.5% กลีเซอรอล 5% และแป้งมันสำปะหลัง 1% ให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด ฟิล์มที่ได้มีค่า tensile strength 5.25 kgf/mm^2 elongation 1.9% ค่าการยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้ $201.1 \times 10^{-18} \text{ mol.m/m}^2.\text{s.Pa}$ ค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ $4.87 \text{ g.m/m}^2.\text{d.kPa}$

จารุณี ยาห้องภาค [30] ผลิตฟิล์มบรีโภาคได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน ศึกษาผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อเพคติน ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ ทำการขึ้นรูปฟิล์มบนแผ่นอะครีลิกเรียบ พบว่า เมื่ออัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้นมีผลให้คุณสมบัติด้านความหนา ความต้านทานแรงดึงขาด อัตราการซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น ส่วน water activity ความชื้น ความสามารถในการยึดตัว และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนลดลง ปริมาณของกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ความหนา water activity ความชื้น ความสามารถในการยึดตัว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซออกซิเจน เพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานแรงดึงขาดลดลง ฟิล์มที่ผลิตได้มีคุณสมบัติด้านความหนา ความชื้น ความต้านทานแรงดึงขาด ความต้านทานน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มโปรตีน คุณสมบัติด้านความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซยังต้องปรับปรุง

สมศักดิ์ ภัคดีวารารณ์ [31] ศึกษาการผลิตฟิล์มบรีโภาคได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแป้งข้าวที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ เป็นไปในลักษณะเดียวกับการใช้แป้งข้าวเจ้าและเพคติน คืออัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้นมีผลให้คุณสมบัติด้านความหนา ความต้านทานแรงดึงขาด อัตราการซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น ส่วน water activity ความชื้น ความสามารถในการยึดตัว และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนลดลง ผลของพลาสติกไซเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มพบว่าเมื่อปริมาณของกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ความหนา water activity ความชื้น ความสามารถในการยึดตัว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจน เพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานแรงดึงขาดลดลง ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกันเช่นกับการใช้แป้งข้าวเจ้าและเพคติน อัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้แป้งข้าวเจ้าต่อแป้งมันสำปะหลังอยู่ในช่วง 1:1-1:3 ซึ่งไม่มีผลต่อความแตกต่างของคุณสมบัติต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ปัญหาที่พบคือฟิล์มที่ได้มีสีขุ่นและมีปัญหาปริมาณฟองอากาศ ฟิล์มที่ได้จากการเตรียมที่อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้า: แป้งมันสำปะหลัง 1:3 ใช้กลีเซอรอลร้อยละ 5 ให้คุณสมบัติที่ดี

กล้าณรงค์ ศรีรอด [29] ศึกษาการผลิตแป้งข้าวโปรตีนต่ำด้วยวิธีการทางเคมี และวิธีการทางชีวภาพ พบว่าแผ่นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้แป้งข้าวโปรตีนต่ำมีลักษณะใสกว่าแป้งข้าวที่ไม่ได้สกัดโปรตีน เนื่องจากแป้งข้าวมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ถึง 80% สตาร์ชประกอบด้วยแอมิโลสและแอมิโลเพคตินในสัดส่วนที่ต่างกัน ปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพคตินมีผลต่อคุณลักษณะของแป้ง และต่อคุณสมบัติของฟิล์ม การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบรีโภาคได้จากฟิล์มแอมิโลสซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้สรุปว่ามีคุณสมบัติที่สามารถในการเป็นฟิล์มได้ดี มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับฟิล์มเซลลูโลส และปัจจุบันได้มีการศึกษาการทำฟิล์มจากสตาร์ช อยู่มากเพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อโครงสร้างในการเกิดการเป็นพลาสติก และคุณสมบัติอื่น ๆ [20]

Myllärinen และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาผลของกลีเซอรอลต่อคุณลักษณะของฟิล์มที่เป็นแอมิโลสฟิล์ม และแอมิโลเพคตินฟิล์ม โดยวิธีการรีดให้เป็นแผ่น (solvent casting) ฟิล์มที่ได้จากทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะโปร่งใส (ยอมให้แสงผ่านได้บางส่วน) ฟิล์มที่ได้จากแอมิโลเพคตินมีลักษณะเปราะ แอมิโลเพคตินฟิล์มที่ผสมกลีเซอรอลน้อยกว่า 10% จะไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ จากการศึกษพบว่าน้ำเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่มีประสิทธิภาพ แต่กลีเซอรอลทำปฏิกิริยากับโครงสร้างภายในโมเลกุลดีกว่า และเนื่องจากน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาคืนตัวได้ง่าย และสามารถระเหยได้ ทำให้ไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ [16] ฟิล์มแอมิโลสที่ผสมกลีเซอรอลมากกว่า 20% จะมีค่า elongation เพิ่มขึ้นการเติมกลีเซอรอลในฟิล์มแอมิโลสสามารถเพิ่มความเข้มข้นได้สูงสุดที่ 70% แต่สำหรับแอมิโลเพคตินสามารถผสมกลีเซอรอลได้สูงสุดไม่เกิน 30% มีรายงานการวิจัยที่ระบุว่า สตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสมากกว่า 70% ให้ฟิล์มที่มีความ

แข็งแรงมีความยืดหยุ่นดี โครงสร้างที่เป็นกิ่งก้านของแอมิโลเพคตินทำให้คุณสมบัติทางกลด้อยลง การทำให้พันธะไฮโดรเจนของพอลิเมอร์อ่อนลงด้วยการแทนที่ด้วย hydroxyl group สามารถปรับปรุงคุณสมบัติ freeze thaw stability ได้ อีกทั้งยังทำให้ได้สารละลายสำหรับเตรียมฟิล์มใสขึ้น [31]

Arvanitoyannis และคณะ [33] ศึกษาการใช้ Hydroxypropyl starch composites ในการผลิตฟิล์มถนอมอาหารสำหรับใช้กับ ลูกกวาด ถั่ว เพื่อป้องกันการ ออกซิเดชัน และการเหม็นหืน

Parra และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาค่าผลของพลาสติกไซเซออร์แต่ละชนิดต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังโดยเลือกใช้ กลีเซอรอล (Glycerol) พอลิเอทิลีนไกลคอล (Poly ethylene glycol) เป็นพลาสติกไซเซออร์ ใช้กลูตารอลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) เป็นเคมีที่ใช้ในการเชื่อมขวาง (cross link) พบว่าผลของปริมาณกลีเซอรอลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของฟิล์มไม่ปรากฏชัด ความเป็นพลาสติกไซเซออร์ของพอลิเอทิลีนไกลคอล จะถูกหน่วงเมื่อใช้กลูตารอลดีไฮด์มากกว่า 0.5 กรัม

Chittrakarn [19] ศึกษาการเตรียมฟิล์มจากโปรตีนข้าวเข้มน้ำ และแป้งข้าวคั่วดัดแปร พบว่าโปรตีนจากแป้งข้าวไม่สามารรถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ด้วยตัวของมันเอง เนื่องจากจะทำให้ได้ฟิล์มที่เปราะ แป้งข้าวคั่วดัดแปรที่ได้จากการทำปฏิกิริยา hydroxypropylation มีคุณสมบัติที่สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าแป้งข้าวธรรมดา มีความสามารถในการคืนตัวต่ำเมื่อ thawing จากการแช่เยือกแข็ง เมื่อใช้ Hydroxypropyl starch อย่างเดียวนำมาขึ้นรูปฟิล์ม โดยผสมกลีเซอรอล 0.75, 1.0, 1.2 กรัมต่อปริมาณวัสดุขึ้นรูป 6 กรัม พบว่าฟิล์ม Hydroxypropyl starch มีค่าการยอมให้อิอน้ำซึมผ่านลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล ขณะที่ Hydroxypropyl starch ที่คอมพอลิกับโปรตีนให้ผลในทางกลับกัน นอกจากนั้นกลีเซอรอลทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้นเพราะน้อยลง

มีงานวิจัยที่ศึกษาพบว่าฟิล์มเซลลูโลสที่มีส่วนผสมของไลปิด (lipid) ทำให้ฟิล์มคุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำมัน ไออน้ำและออกซิเจนได้เป็นอย่างดี การมีฟองอากาศในเนื้อฟิล์ม มีผลต่อคุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของไออน้ำและก๊าซ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไลปิด (lipid) มีผลให้ความสามารถในการต้านทานไออน้ำมีมากขึ้น [34]

Ayranci และคณะ [26] ได้ศึกษาค่าผลของกรดไขมันต่อการซึมผ่านของความชื้นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านฟิล์มบริโกลูที่ได้ที่ทำจากเซลลูโลส โดยใช้เมทิลเซลลูโลส (Methyl cellulose) เป็นวัตถุดิบหลัก เชื่อมขวางด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) และกรดไขมันที่ศึกษาคือ สเตียริกแอซิด (Stearic acid) ปาล์มิติกแอซิด (Palmitic acid) ลาคูริกแอซิด (Lauric acid) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดกรณีเติมกรดไขมันแต่ละชนิด พบว่าการเติมปริมาณกรดไขมันทั้ง 3 ชนิดมีผลทำให้ค่าความสามารถในการซึมผ่านของไออน้ำผ่านฟิล์ม

ลดลงเมื่อเทียบกับกรณีไม่ได้มีส่วนผสมของกรดไขมัน โดยฟิล์มที่มีส่วนผสมของกรดลาอูริกแอซิด (Lauric acid) มีค่าความสามารถในการซึมผ่านของความชื้นผ่านฟิล์มสูงกว่า ฟิล์มที่ผสมปาล์มิติคแอซิด และสเตียริกแอซิด ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลาอูริกแอซิดให้ค่าความสามารถการซึมผ่านสูงกว่าฟิล์มควบคุมส่วนปาล์มิติคแอซิดและสเตียริกแอซิดให้ค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงต่ำกว่าฟิล์มควบคุมตามลำดับ

Ayranci และคณะ [36] พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของ ไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methyl cellulose) เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) มีผลต่อความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability) ที่น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 41,000 ขึ้นไป เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำลดลง และมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของ พอลิเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol) จนถึง 1,000

US Patent 6528088 [22] ได้ระบุว่า ฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นสูงได้จากการใช้แป้ง หรือแป้งดัดแปรที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 100,000-2,000,000 และมีพลาสติกไฮเซออร์ผสมอยู่ในช่วง 25-75%

Laurdin และคณะ [41] ศึกษาปัจจัยที่เกิดจากแอมิโกลสต่อคุณสมบัติของฟิล์มและของโฟมโดยมีปริมาณน้ำ (water content) 10-20% พบว่า ปริมาณแอมิโกลสเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม ปริมาณน้ำที่อยู่ในฟิล์มหรือโฟมและอัตราส่วนระหว่างแอมิโกลสและแอมิโกลเพคตินไม่ได้เป็นปัจจัยต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกล การเติมกลีเซอรอลทำให้ฟิล์มมีคุณสมบัติทางกลที่ดีเมื่อฟิล์มมีปริมาณแอมิโกลสต่ำกว่า 40%

Westling และคณะ [44] พบว่าสตาร์ชประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์ 2 ชนิด คือ แอมิโกลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์เส้นตรง และแอมิโกลเพคตินซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีกิ่งก้าน ตามธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้วจะพอลิแซคคาไรด์ทั้งสองประกอบกันอยู่ในรูปกึ่งผลึก (Semi crystalline) เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชด้วยเครื่อง x-ray [27] สามารถแยกตามลักษณะของกราฟที่ได้จากเครื่อง x-ray ออกเป็น 3 ชนิด คือโครงสร้างเป็นผลึกชนิด A, B และ C สตาร์ชจากข้าวสาลี ข้าวโพดและข้าวส่วนใหญ่มีผลึกชนิด A สตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังมีผลึกชนิด B สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วมีโครงสร้างผลึกชนิด C โครงสร้างสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการนำมาขึ้นรูปด้วยการรีดให้เป็นแผ่น (casting) หรือการอัดด้วยแรงดันสูง (extrusion) น้ำที่ผสมอยู่กับสตาร์ชจะทำให้หน้าที่เป็นพลาสติกไฮเซออร์ ทำลายการเชื่อมต่อกันอย่างเป็นลำดับภายในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่เกาะกันภายในพอลิเมอร์อ่อนตัวลง ส่งผลให้ ค่า Tg (glass transition temperature) ลดลง ทำให้เกิดการพองตัวของสตาร์ชมากขึ้น นอกจากนั้นยังทำให้เกิดเครือข่ายภายนอกระหว่างแอมิโกลสและแอมิโกลเพคตินเมื่อน้ำระเหยออกหมด ผลึกเล็ก ๆ

(microcrystalline) ของแอมิโลสเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดเครือข่าย ดังนั้นยังมีผลึกเล็ก ๆ ของแอมิโลสมากเท่าใด ก็ยิ่งจะทำให้ค่า Young's Modulus และ tensile strength มีค่ามากขึ้นเท่านั้น [42,43,44,45] อย่างไรก็ตามการเกาะกันเป็นเครือข่ายจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีความเข้มข้นของแอมิโลสมีปริมาณที่มากพอ

Myllärineb และคณะ [46] ศึกษาการเกิดผลึกในแอมิโลสและแอมิโลเพคตินฟิล์ม โดยการเอ็กซ์เรย์ดูโครงสร้างของผลึกของแอมิโลสและแอมิโลเพคตินฟิล์มที่ผสมกับกลีเซอรอลที่ 0, 10, 30% ตามลำดับ เก็บรักษาไว้ที่ สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0, 54, และ 91% ฟิล์มที่ทำการศึกษาเป็นฟิล์มที่ได้จากกระบวนการผลิตด้วยวิธีการรีด (casting) ผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ฟิล์มแอมิโลสมีโครงสร้างผลึกแบบ B ปริมาณผลึกเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6-32% โดยขึ้นกับปริมาณของกลีเซอรอลและปริมาณน้ำในฟิล์ม จากการศึกษาอายุในการเก็บรักษา พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึกในช่วงระยะเวลา 2 เดือน แอมิโลเพคตินฟิล์มมีลักษณะเป็นอสัณฐาน (amorphous) เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ที่สภาวะความชื้นสูงสุดที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 91% แอมิโลเพคตินฟิล์มที่มีกลีเซอรอลผสมอยู่ 30% มีการเกิดผลึกเกิดขึ้น 19% ขณะที่แอมิโลเพคตินฟิล์มที่มีกลีเซอรอลอยู่ 0% และ 10% ยังคงสภาพการเป็นอสัณฐานต่อไป การเกิดผลึกของฟิล์มทั้งสองขึ้นอยู่กับสภาพการเป็น rubbery ขณะทำการเก็บรักษา แอมิโลสฟิล์มสแตียรในน้ำ ขณะที่แอมิโลเพคตินฟิล์มถูกไฮโดรไลซ์หมด เมื่อนำฟิล์มทั้งสองมาละลายในกรดไฮโดรคลอริก พบว่าแอมิโลเพคตินฟิล์มสามารถละลายได้หมด ขณะที่แอมิโลสฟิล์มสามารถละลายได้ 50% ของฟิล์มทั้งหมดโดยใช้เวลา 1 อาทิตย์ ทั้งนี้ผู้วิจัยให้ความเห็นว่าส่วนที่เป็นอสัณฐานในแอมิโลสฟิล์มมีความต้านทานการไฮโดรไลซ์ได้ดีกว่าอสัณฐานในแอมิโลเพคตินฟิล์ม

พอลิเมอร์สามารถมีโครงสร้างที่คงอยู่ได้ 2 แบบในขณะเดียวกันคือทั้งในแบบที่เป็นผลึก (crystalline) และเป็นอสัณฐาน (amorphous) โดยมีการเรียงตัวที่แทรกสลับกันไปมาระหว่างทั้งสองแบบนี้ คุณสมบัติการเป็นผลึกในพอลิเมอร์มีผลต่อคุณสมบัติของมัน เช่น ความแข็ง (Hardness) โมดูลัส (Modulus) แรงดึงเมื่อขาด (Tensile) ความเหนียว (Stiffness) การแตก (Crease) และจุดหลอมเหลว (Melting point) ยังมีสัดส่วนของส่วนที่เป็นผลึกมากเท่าใด ยิ่งจะให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์มีมากขึ้นเท่านั้น นอกจากนั้นการเรียงตัวของผลึกเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ Hegde และคณะ [47] อธิบายกระบวนการผลิตเส้นใยไฟเบอร์ว่า คุณสมบัติของเส้นใยนอกจากจะขึ้นกับผลึกที่เกิดขึ้นแล้วยังขึ้นกับการเรียงตัวของผลึกที่เกิดขึ้นในระหว่างสภาวะการฉีดพอลิเมอร์ผ่านรูขนาดเล็ก (spinneret) ในการผลิตเส้นใยไฟเบอร์ โมเลกุลของพอลิเมอร์จัดเรียงตัวมันเองตามแรงฉีด การเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นกับแรงขับ (Draw force) ความเร็วรอบของสกรู กรณีที่เป็นขึ้นรูปด้วยการอัดแรงดันสูง (extrusion) อุณหภูมิ

ในการหลอมเหลว (Melt temperature) แรงเค้นบนพอลิเมอร์ที่หลอมเหลว (stress on melt) และจำนวนรูขนาดเล็กบนแม่พิมพ์ที่ฉีด (number of spinneret holes) เมื่อพอลิเมอร์หลอมเหลวการเรียงตัวของโมเลกุลเป็นไปได้ไปอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อมันถูกอัดเข้าสู่แม่พิมพ์ที่เป็นรูขนาดเล็กขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กทำให้มันเกิดการเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

1. แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป ผลิตจากข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนและการไฮโดรไลซิสโดยใช้กรด จากฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

2. Elasticgel 1000J (แป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูป) จากบริษัทเนชั่นแนลสตาร์ช

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	ข้าวเจ้าตัดแปรรูป	Elasticgel
ความชื้น(%)	8.06	13
เถ้า(%)	0	-
ไขมัน (%น้ำหนักแห้ง)	0	-
เส้นใย (%น้ำหนักแห้ง)	0.25	-
โปรตีน (%น้ำหนักแห้ง)	0.5	-
คาร์โบไฮเดรต (%น้ำหนักแห้ง)	99.25	-

3.2 สารเคมี

- กลีเซอรอล (Glycerol) Analytical grade จากบริษัท Ajex Fine Chem
- กรดสเตียริก (Stearic acid) Laboratory grade จากบริษัท Asia Pacific Specialty Chemical Limited

3.3 อุปกรณ์

- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
- มอเตอร์กวน และใบกวน

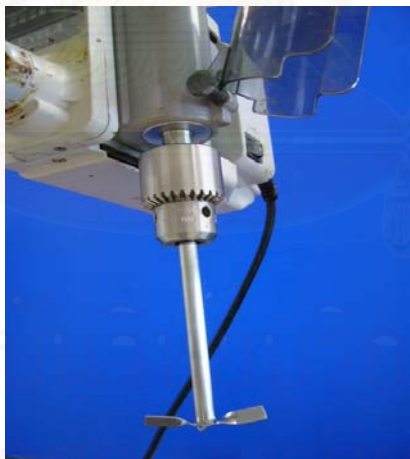
3. Doctor Blade จากบริษัท Tester Sangyo Co.,Ltd. ขนาดหน้ากว้าง 150 มม.
ระยะช่องว่าง 20 มิล
4. แผ่นอะคริลิก (Acrylic plate) ขนาด 300x 300x 40 มม.
5. ตู้อบลมร้อน
6. โฮโมจีไนเซอร์ (Homoginizer)
7. ตู้ดูดอากาศ (Vacuum chamber)

3.4 เครื่องมือวิเคราะห์

1. เครื่องทดสอบแรงดึง Instron machine
 2. เครื่องมือวัดความหนา Mitutoyo Micrometer
 3. ถ้วยสำหรับบรรจุซิลิกาเจลและแผ่นฟิล์มในการทดสอบการซึมผ่านได้ของไอน้ำ
 4. ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น Temperature and Humidity control chamber
 5. ตาชั่งไฟฟ้า Electronic weight
 6. เครื่องมือวัดปริมาณน้ำอิสระ Navsdina's water activity meter, Model MA1aw
 7. เครื่องวัดสี Minolta Chromameter CR-300 Series
 8. เครื่อง Spectrophotometer
- อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.1 – 3.15



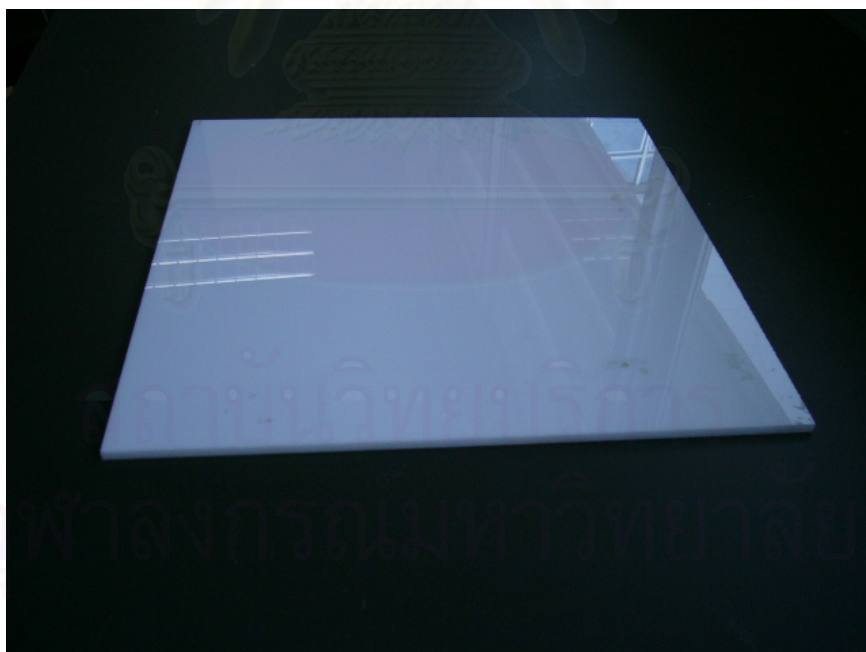
รูปที่ 3.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.2 มอเตอร์กวนและใบกวน



รูปที่ 3.3 Doctor Blade จากบริษัท Tester Sangyo Co.Ltd.



รูปที่ 3.4 แผ่นอะคริลิก



รูปที่ 3.5 ตู้อบลมร้อน



รูปที่ 3.6 ไฮไมจิเนเตอร์



รูปที่ 3.7 ตู้ดูดอากาศ



รูปที่ 3.8 Instron machine



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความหนา Mitutoyo Micrometer



รูปที่ 3.10 ถ้วยบรรจุซิดิกาเจล ปิดทับด้วยฟิล์ม



รูปที่ 3.11 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 3.12 เครื่องชั่ง ชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.13 เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ Navsdina's water activity meter, Model MA1aw



รูปที่ 3.14 เครื่องมือวัดสี Minolta Chromameter CR-300 Series



รูปที่ 3.15 เครื่อง Spectrophotometer



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าตัดแปรต่อน้ำต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม

1. ผสมแป้งข้าวเจ้าตัดแปร :น้ำ ที่อัตราส่วน 1:10, 1:12, 1:14, 1:16 โดยน้ำหนัก
 - สูตรที่ 1 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:น้ำ 1:10
ชั่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 18.18 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม
 - สูตรที่ 2 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:น้ำ 1:12
ชั่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 15.38 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม
 - สูตรที่ 3 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:น้ำ 1:14
ชั่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม
 - สูตรที่ 4 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:น้ำ 1:16
ชั่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 11.76 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม
2. ทิ้งไว้ในตู้ดูดอากาศเพื่อกำจัดฟองอากาศในสารละลายแป้ง ปรับความดันให้ได้ประมาณ - 700 มิลลิเมตรปรอท ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
3. ชั่งน้ำหนักสารละลายตัวอย่าง และปรับน้ำหนักโดยการเติมน้ำ เพื่อให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 200 กรัม
4. นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กวนด้วยมอเตอร์กวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
5. เทเจลบนแผ่นอะคริลิกที่ปรับระนาบแล้ว ด้วยการใช้ดอกเตอร์เบลด์ที่ปรับระยะความหนาไว้ที่ 20 มิล จากนั้นรีดเจลบนแผ่นอะคริลิก
6. นำฟิล์มที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
7. นำฟิล์มที่ได้จากข้อ 6 ไปทดสอบคุณสมบัติทางกล ตามมาตรฐาน ASTM 882-02 และวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity)

3.5.2 การศึกษาผลของปริมาณอิลาสติคเจลต่อคุณสมบัติทางกล

1. ผสมแป้งข้าวเจ้าตัดแปร :อิลาสติคเจล: น้ำ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก
 - 1:0:10, 1:0.3:10, 1:0.5:10
 - 1:0:12, 1:0.3:12, 1:0.5:12
 - 1:0:14, 1:0.3:14, 1:0.5:14
 - 1:0:16, 1:0.3:16, 1:0.5:16
 - สูตรที่ 1 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ 1:0:10
ชั่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 18.18 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม
 - สูตรที่ 2 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ 1:0.3:10

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 17.70 กรัม อีลาสติคเจล 5.31 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม
200 กรัม

สูตรที่ 3 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0.5:10

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 17.39 กรัม อีลาสติคเจล 8.70 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม
200 กรัม

สูตรที่ 4 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0:12

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 15.38 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม

สูตรที่ 5 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0.3:12

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 15.04 กรัม อีลาสติคเจล 4.51 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม
200 กรัม

สูตรที่ 6 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0.5:12

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 14.81 กรัม อีลาสติคเจล 7.41 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม
200 กรัม

สูตรที่ 7 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0:14

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม

สูตรที่ 8 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0.3:14

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.07 กรัม อีลาสติคเจล 3.92 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม
200 กรัม

สูตรที่ 9 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0.5:14

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 12.9 กรัม อีลาสติคเจล 6.45 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม
200 กรัม

สูตรที่ 10 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0:16

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 11.76 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม

สูตรที่ 11 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0.3:16

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 11.56 กรัม อีลาสติคเจล 3.46 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม
200 กรัม

สูตรที่ 12 อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0.5:16

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 11.43 กรัม อีลาสติคเจล 5.71 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม
200 กรัม

2. ปั่นด้วยโฮโมจีไนเซอร์ ที่ความเร็วรอบ 9500 รอบต่อนาที ประมาณ 1 นาที
3. ซึ่งน้ำหนักสารละลายตัวอย่าง

4. ทิ้งไว้ในตู้ดูดอากาศเพื่อกำจัดฟองอากาศในสารละลายแบ่งปรับความดันให้ได้ประมาณ -700 มิลลิเมตรปรอท ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
5. ปรับน้ำหนักของสารละลายตัวอย่างให้ได้เท่ากับที่ซึ่งไว้ในข้อ 3
6. นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กวนด้วยมอเตอร์กวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
7. เทเจลบนแผ่นอะคริลิกที่ปรับระนาบแล้ว ด้วยการใช้ออกเตอร์เบลดที่ปรับระยะความหนาไว้ที่ 20 มิล จากนั้นรีดเจลบนแผ่นอะคริลิก
8. นำฟิล์มที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
9. ฟิล์มที่ได้จากข้อ 8 นำไปทดสอบคุณสมบัติทางกล ตามมาตรฐาน ASTM 882-02

3.5.3 การศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติทางกล

1. ผสมแป้งข้าวเจ้าตัดแปร: อีลาสติคเจล:น้ำ ที่อัตราส่วน 1:0:14 เติมกลีเซอรอลที่ 0%, 0.5%, 4% และ 10% โดยน้ำหนักของปริมาณแป้งข้าวเจ้าตัดแปรตามลำดับ ดังรายละเอียดข้างล่างนี้
 - สูตรที่ 1 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0:14 กลีเซอรอล 0%
ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม เติมน้ำจนมีน้ำหนักโดยรวม 200 กรัม ผสมกับกลีเซอรอล 0 กรัม
 - สูตรที่ 2 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0:14 กลีเซอรอล 0.5%
ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม เติมน้ำจนมีน้ำหนักโดยรวม 200 กรัม ผสมกับกลีเซอรอล 0.07 กรัม
 - สูตรที่ 3 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0:14 กลีเซอรอล 4%
ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม เติมน้ำจนมีน้ำหนักโดยรวม 200 กรัม ผสมกับกลีเซอรอล 0.53 กรัม
 - สูตรที่ 4 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0:14 กลีเซอรอล 10%
ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม เติมน้ำจนมีน้ำหนักโดยรวม 200 กรัม ผสมกับกลีเซอรอล 1.33 กรัม
2. บั่นด้วยไฮโมจิไนเซอร์ ที่ความเร็วรอบ 9500 รอบต่อนาที ประมาณ 1 นาที
3. ชั่งน้ำหนักสารละลายตัวอย่าง
4. ทิ้งไว้ในตู้ดูดอากาศเพื่อกำจัดฟองอากาศในสารละลายแบ่งปรับความดันให้ได้ประมาณ -700 มิลลิเมตรปรอท ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
5. ปรับน้ำหนักของสารละลายตัวอย่างให้ได้เท่ากับที่ซึ่งไว้ในข้อ 3

6. นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กวนด้วยมอเตอร์กวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
7. เทเจลบนแผ่นอะคริลิกที่ปรับระนาบแล้ว ด้วยการใช้ดอกเตอร์เบลด์ที่ปรับระยะความหนาไว้ที่ 20 มิล จากนั้นรีดเจลบนแผ่นอะคริลิก
8. นำฟิล์มที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
9. ฟิล์มที่ได้จากข้อ 8 นำไปทดสอบคุณสมบัติทางกล ตามมาตรฐาน ASTM 882-02

3.5.4 การศึกษาผลของปริมาณกรดสเทียริกต่อคุณสมบัติทางกล

1. ผสมแป้งข้าวเจ้าตัดแปร: อีลาสติกเจล:น้ำ ที่อัตราส่วน 1:0:14 เติมกรดสเทียริกที่ 0%, 0.5%, 0.75% ของปริมาณแป้งข้าวเจ้าตัดแปรตามลำดับ ดังรายละเอียดข้างล่างนี้
 - สูตรที่ 1 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติกตัดแปร เจล:น้ำ 1:0:14 กรดสเทียริก 0%
ชั่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม น้ำ 186.67 กรัม กรดสเทียริก 0 กรัม
 - สูตรที่ 2 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติกเจล:น้ำ 1:0:14 กรดสเทียริก 0.5%
ชั่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม น้ำ 186.67 กรัม กรดสเทียริก 0.07 กรัม
 - สูตรที่ 3 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติกเจล:น้ำ 1:0:14 กรดสเทียริก 0.75%
ชั่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม น้ำ 186.67 กรัม กรดสเทียริก 0.10 กรัม
2. อุ่นน้ำที่ซึ่งเตรียมไว้ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ละลายกรดสเทียริกในน้ำอุ่นจนกรดสเทียริกหลอมละลาย จากนั้นผสมกับแป้งที่ซึ่งไว้ทันทีขณะที่น้ำยังอุ่น ปั่นสารละลายที่ได้ด้วยไฮโมจิในเซอร์ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที ประมาณ 1 นาที
3. ชั่งน้ำหนักสารละลายก่อนนำเข้าตู้ดูดอากาศ
4. ทิ้งไว้ในตู้ดูดอากาศเพื่อกำจัดฟองอากาศในสารละลายแบ่งปรับความดันให้ได้ประมาณ -700 มิลลิเมตรปรอท ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
5. ปรับน้ำหนักของสารละลายให้ได้ตามที่บันทึกไว้ในข้อ 2
6. นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กวนด้วยมอเตอร์กวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
7. เทเจลบนแผ่นอะคริลิกที่ปรับระนาบแล้ว ด้วยการใช้ดอกเตอร์เบลด์ที่ปรับระยะความหนาไว้ที่ 20 มิล จากนั้นรีดฟิล์มบนแผ่นอะคริลิก
8. นำฟิล์มที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
9. ฟิล์มที่ได้จากข้อ 8 นำไปทดสอบคุณสมบัติทางกล ตามมาตรฐาน ASTM 882-02

3.5.5 การศึกษาผลจากปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำ

3.5.5.1

1. ผสมแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล:น้ำ ที่อัตราส่วน 1:0.3:14 เติมกลีเซอรอลที่ 0%,0.5%,1% ของปริมาณแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูปตามลำดับ ดังรายละเอียดข้างล่างนี้
 - สูตรที่ 1 แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล: น้ำ 1:0.3:14 กลีเซอรอล 0% ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป 13.07 กรัม อีลาสติคเจล 3.92 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม
 - สูตรที่ 2 แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล: น้ำ 1:0.3:14 กลีเซอรอล 0.5% ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป 13.07 กรัม อีลาสติคเจล 3.92 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม ผสมกับกลีเซอรอล 0.07 กรัม
 - สูตรที่ 3 แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล: น้ำ 1:0.3:14 กลีเซอรอล 1% ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป 13.07 กรัม อีลาสติคเจล 3.92 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม ผสมกับกลีเซอรอล 0.13 กรัม
2. ปั่นสารละลายที่ได้ด้วยไฮโมจิไนเซอร์ที่ความเร็ว 9500 รอบต่อนาที ประมาณ 1 นาที
3. ชั่งน้ำหนักสารละลายตัวอย่าง
4. ทิ้งไว้ในตู้ดูดอากาศเพื่อกำจัดฟองอากาศในสารละลายแป้งปรับความดันให้ได้ประมาณ - 700 มิลลิเมตรปรอท ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
5. ปรับน้ำหนักของสารละลายตัวอย่างให้ได้เท่ากับที่ชั่งไว้ในข้อ 3
6. นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กวนด้วยมอเตอร์กวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
7. เทเจลบนแผ่นอะคริลิกที่ปรับระนาบแล้ว ด้วยการใช้ออกเตอร์เบลด์ที่ปรับระยะความหนาไว้ที่ 20 มิลเป็นตัวรีดฟิล์ม
8. นำฟิล์มที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
9. นำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบค่าการซึมผ่านของไอน้ำตามมาตรฐาน ASTM E-96

3.5.5.2

1. ผสมแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล:น้ำ ที่อัตราส่วน 1:0:14 เติมกลีเซอรอลที่ 0%, 1%, 10% ของปริมาณแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูปตามลำดับ ดังรายละเอียดข้างล่างนี้
 - สูตรที่ 1 แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล: น้ำ 1:0:14 กลีเซอรอล 0% ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป 13.33 กรัม อีลาสติคเจล 0 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม
 - สูตรที่ 2 แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล: น้ำ 1:0:14 กลีเซอรอล 1% ซึ่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป 13.33 กรัม อีลาสติคเจล 0 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม

ผสมกับกลีเซอรอล 0.13 กรัม

สูตรที่ 3 แบ่งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล: น้ำ 1:0:14 กลีเซอรอล 10% ซึ่งแบ่งข้าวเจ้าตัดแปรรูป 13.33 กรัม อีลาสติคเจล 0 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนักรวม 200 กรัม ผสมกับกลีเซอรอล 1.3 กรัม

2. ปั่นสารละลายที่ได้ด้วยไฮโมจิในเซอร์ที่ความเร็ว 9500 รอบต่อนาที ประมาณ 1 นาที
3. ชั่งน้ำหนักสารละลายตัวอย่าง
4. ทิ้งไว้ในตู้ดูดอากาศเพื่อกำจัดฟองอากาศในสารละลายแบ่งปรับความดันให้ได้ประมาณ - 700 มิลลิเมตรปรอท ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
5. ปรับน้ำหนักของสารละลายตัวอย่างให้ได้เท่ากับที่ชั่งไว้ในข้อ 3
6. นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กวนด้วยมอเตอร์กวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
7. เทเจลบนแผ่นอะคริลิกที่ปรับระนาบแล้ว ด้วยการใช้ออกเตอร์เบลด์ที่ปรับระยะความหนาไว้ที่ 20 มิลเป็นตัวรีดฟิล์ม
8. นำฟิล์มที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
9. นำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบค่าการซึมผ่านของไอน้ำตามมาตรฐาน ASTM E-96

3.5.6 การศึกษาปัจจัยจากปริมาณกรดเตียยริคต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำ

3.5.6.1

1. ผสมแบ่งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล: น้ำ ที่อัตราส่วน 1: 0.3: 14 เติมกรดเตียยริคที่ 0%, 0.5%, 1% ของปริมาณแบ่งข้าวเจ้าตัดแปรรูปตามลำดับ เตรียมตัวอย่างดังรายละเอียดข้างล่างนี้

สูตรที่ 1 แบ่งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล: น้ำ 1: 0.3: 14 กรดเตียยริค 0% ซึ่งแบ่งข้าวเจ้าตัดแปรรูป 13.07 กรัม อีลาสติคเจล 3.92 กรัม น้ำ 183 กรัม

สูตรที่ 2 แบ่งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล: น้ำ 1:0.3:14 กรดเตียยริค 0.5% ซึ่งแบ่งข้าวเจ้าตัดแปรรูป 13.07 กรัม อีลาสติคเจล 3.92 กรัม น้ำ 183 กรัม กรดเตียยริค 0.06 กรัม

สูตรที่ 3 แบ่งข้าวเจ้าตัดแปรรูป: อีลาสติคเจล: น้ำ 1:0.3:14 กรดเตียยริค 0.75% ซึ่งแบ่งข้าวเจ้าตัดแปรรูป 13.07 กรัม อีลาสติคเจล 3.92 กรัม น้ำ 183 กรัม กรดเตียยริค 0.10 กรัม

2. คู่ขนานที่ซึ่งเตรียมไว้ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ละลายกรดสเตียริกในน้ำอุ่นจนกรดสเตียริกหลอมละลาย จากนั้นผสมกับแป้งที่ซึ่งไว้ทันทีขณะที่น้ำยังอุ่น ปั่นสารละลายที่ได้ด้วยไฮโมจิในเซอร์ที่ความเร็วรอบ 9500 รอบต่อนาที ประมาณ 1 นาที
3. ชั่งน้ำหนักสารละลายก่อนนำเข้าตู้ดูดอากาศ
4. ทิ้งไว้ในตู้ดูดอากาศเพื่อกำจัดฟองอากาศในสารละลายแป้งปรับความดันให้ได้ประมาณ -700 มิลลิเมตรปรอท ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
5. ปรับน้ำหนักของสารละลายให้ได้ตามที่บันทึกไว้ในข้อ 3 นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กวนด้วยมอเตอร์กวนที่ความเร็ว รอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. เทเจลบนแผ่นอะคริลิกที่ปรับระนาบแล้ว ด้วยการใช้ออกเตอร์เบลด์ที่ปรับระยะความหนาไว้ที่ 20 มิล จากนั้นรีดฟิล์มบนแผ่นอะคริลิก
7. นำฟิล์มที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
8. นำฟิล์มที่ได้จาก 6 มาทดสอบค่าการซึมผ่านของไอน้ำตามมาตรฐาน ASTM E-96

3.5.6.2

1. ผสมแป้งข้าวเจ้าตัดแปร: อีลาสติกเจล: น้ำ ที่อัตราส่วน 1: 0: 14 เติมกรดสเตียริกที่ 0%, 0.5%, 0.75% ของปริมาณแป้งข้าวเจ้าตัดแปรตามลำดับ เตรียมตัวอย่างดังรายละเอียดข้างล่างนี้
 - สูตรที่ 1 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร: อีลาสติกเจล: น้ำ 1: 0: 14 กรดสเตียริก 0% ชั่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม น้ำ 186.67 กรัม
 - สูตรที่ 2 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร: อีลาสติกเจล: น้ำ 1:0:14 กรดสเตียริก 0.5% ชั่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม น้ำ 186.67 กรัม กรดสเตียริก 0.07 กรัม
 - สูตรที่ 3 แป้งข้าวเจ้าตัดแปร: อีลาสติกเจล: น้ำ 1:0:14 กรดสเตียริก 0.75% ชั่งแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 13.33 กรัม น้ำ 186.67 กรัม กรดสเตียริก 0.10 กรัม
2. คู่ขนานที่ซึ่งเตรียมไว้ ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ละลายกรดสเตียริกในน้ำอุ่นจนกรดสเตียริกหลอมละลาย จากนั้นผสมกับแป้งที่ซึ่งไว้ทันทีขณะที่น้ำยังอุ่น ปั่นสารละลายที่ได้ด้วยไฮโมจิในเซอร์ที่ความเร็วรอบ 9500 รอบต่อนาที ประมาณ 1 นาที
3. ชั่งน้ำหนักสารละลายก่อนนำเข้าตู้ดูดอากาศ
4. ทิ้งไว้ในตู้ดูดอากาศเพื่อกำจัดฟองอากาศในสารละลายแป้งปรับความดันให้ได้ประมาณ -700 มิลลิเมตรปรอท ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที

5. ปรับน้ำหนักของสารละลายให้ได้ตามที่บันทึกไว้ในข้อ 3 นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กวนด้วยมอเตอร์กวนที่ความเร็ว รอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. เทเจลบนแผ่นอะคริลิกที่ปรับระนาบแล้ว ด้วยการใช้ดอกเตอร์เบลดที่ปรับระยะความหนาไว้ที่ 20 มิล จากนั้นรีดฟิล์มบนแผ่นอะคริลิก
7. นำฟิล์มที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
8. นำฟิล์มที่ได้จาก 6 มาทดสอบค่าการซึมผ่านของไอน้ำตามมาตรฐาน ASTM E-96

3.5.7 ศึกษาการซึมผ่านของออกซิเจนผ่านฟิล์ม

1. เตรียมผลิตภัณฑ์เงาะอบแห้ง จากการทำ Freeze dry
2. ห่อเงาะอบแห้งด้วยถุงพีพี ฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปรที่อัตราส่วน แบ่งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล :น้ำ ที่ 1:0:14 1:0:14 กลีเซอรอล 0.75% 1: 0 :14 กรดสแตียริก 0.75% ทำการห่อ 1 ชั้นต่อเงาะหนึ่งชิ้น
3. นำเงาะที่ห่อฟิล์มเก็บไว้ในสภาวะความชื้นปกติ 1 ชุด และเก็บไว้ในที่สภาวะควบคุมความชื้นที่ 54% โดยใช้สารละลายอิมิตัวของ โซเดียมโบรไมด์
4. วัดสีของเงาะด้วยเครื่องวัดสี โดยการวัดค่าดัชนีสีค่า L ค่า a และค่า b ความหมายของดัชนีสีมีดังนี้ [53]

ค่าดัชนีสี	ค่าเป็นลบมากที่สุด	ค่าเป็นบวกมากที่สุด
L	ดำ	ขาว
A	เขียว	แดง
b	น้ำเงิน	เหลือง

3.5.8 การศึกษาเปรียบเทียบความใสของฟิล์ม

การวัดค่าความใสของฟิล์มใช้วิธีการที่พัฒนาจาก มาตรฐาน BSI 1968 มีรายละเอียดดังนี้

1. เตรียมฟิล์มจากแบ่งข้าวที่มีในท้องตลาด จากแบ่งข้าวเจ้าตัดแปร โดยทำการเตรียมที่อัตราส่วน ข้าวตัดแปร อิลาสติคเจล น้ำ 1:0:14
2. ตัดฟิล์มที่ได้จากข้อ 1 ให้เท่ากับขนาดของเซลล์ที่ใช้กับเครื่อง Spectrophotometer ที่ต้องการ
3. ตั้งค่าความยาวคลื่นของเครื่อง spectro photometer ที่ 400-600 นาโนเมตร

3.5.9 วิธีการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางกล

การวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางกลเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D-882

- นำตัวอย่างฟิล์มที่ต้องการมาทดสอบตัดให้ได้ขนาด ความกว้าง 1 นิ้ว ยาว 5 นิ้ว
- พักตัวอย่างไว้ใน ห้องควบคุมความชื้น ณ.ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย ที่ อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67% เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย
- วัดค่าความหนาเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างด้วยไมโครมิเตอร์ สุ่มวัด 20 ตำแหน่งต่อหนึ่งสูตร นำมาทดสอบแรงดึงเมื่อฟิล์มขาดด้วยเครื่อง Instron Machine Loyd Instrument ตั้งระยะห่างระหว่างหัวจับไว้ที่ 50 มม. ความเร็วในการดึง 5 มม./นาที วัดจำนวน 5 ครั้งต่อหนึ่งสูตร

ค่า Tensile strength ที่วัดได้เป็นค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ฟิล์มขาดหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของฟิล์ม

$$\text{Tensile strength} = \frac{\text{แรงที่ดึงเมื่อขาด}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของฟิล์ม}}$$

ค่า Elongation ได้จากความยาวที่ฟิล์มยืดออกสูงสุดหารด้วยความยาวเดิม

$$\text{Elongation} = \frac{\Delta L}{L}$$

ค่า Young's Modulus คืออัตราส่วนระหว่าง Tensile strength และ Elongation

$$\text{Young's Modulus} = \frac{\text{Tensile strength}}{\text{Elongation}}$$

3.5.10 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

นำฟิล์มที่ต้องการวิเคราะห์มาหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ เก็บไว้ในสถานะควบคุมความชื้นที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 57 % โดยเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ (Desiccator) ที่มีสารละลายอิ่มตัวของ โซเดียมโบรไมด์ (NaBr) เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำมาวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ ด้วยเครื่อง Navsina's water activity meter, Model MA1aw

3.5.11 วิธีการวิเคราะห์ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ

การวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำตามมาตรฐาน ASTM E-96

- ตู้ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ ปรับให้อยู่ที่ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90%
- ตัดฟิล์มที่ต้องการทดสอบให้ได้ขนาดตามปากถ้วยที่ต้องการนำมาใช้ทดสอบ
- ใส่ซิลิกาเจลลงในถ้วยที่ต้องการทดสอบให้ได้ความสูงของเบดประมาณ 1 เซนติเมตร จากก้นถ้วย
- ผนึกฟิล์มที่ตัดแล้วลงบนปากถ้วย โดยการตรึงด้วยแวคซ์
- ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นให้เป็นเวลาที่ 0 จากนั้นนำไปพักในตู้ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ ที่ปรับ

สภาวะไว้ที่ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% โดยนำมาซึ่งดูความเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักทุกๆ ครึ่งชั่วโมง จำนวน 4 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง

6. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยการนำมาพล็อตกราฟระหว่างน้ำหนักกับระยะเวลาตามมาตรฐาน ASTM E96-001

การคำนวณ Water vapor transmission (WVT) = $(G/t)/A$

G/t = ความชันของกราฟที่ได้ (น้ำหนักที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา)

A = พื้นที่หน้าตัดของฟิล์มที่นำมาทดสอบ

การคำนวณ Permeance = $WVT/\Delta P$
= $WVT/S(R_1-R_2)$

ΔP = ค่าความแตกต่างของความดันไอ (Vapor pressure difference)

S = ค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิทดสอบ (Saturated vapor pressure at test temperature)

R_1 = ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในตู้

R_2 = ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในถ้วย (มีค่า 0% กรณีใช้สารดูดความชื้น)

average permeability = permeance \times ความหนาของฟิล์ม

3.5.12 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์โดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลจากความเข้มข้นของน้ำแป้งต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม

จากผลการทดลองตามวิธีการในข้อ 3.5.1 พบว่า Tensile strength ของฟิล์มมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งลดลง โดยลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ น้ำ: แป้งข้าวเจ้าตัดแปรที่ 10:1 - 12:1 ส่วนในช่วง 12:1 - 16:1 ค่า Tensile strength ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 ค่า elongation ที่ได้ มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 โดยค่าที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอยู่ในช่วงอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 14:1-16:1 ฟิล์มที่ได้จากน้ำแป้งที่ระดับความเข้มข้นที่ลดลงมีผลให้ค่า Young's Modulus ที่ได้มีค่าที่ลดลง ในช่วงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ น้ำ: แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 10:1 - 12:1 และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า Young's Modulus ในช่วงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ น้ำ: แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 12:1 - 16:1 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 เมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งลดลงความหนาของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ ปริมาณน้ำอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งลดลงในช่วงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ น้ำ: แป้งข้าวเจ้าตัดแปรที่ 10:1 - 14:1 ส่วนในช่วงอัตราส่วน 16:1 มีค่าที่ไม่ต่างจาก 14:1 ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5

ในกระบวนการผลิตฟิล์มด้วยวิธีการรีด (casting) ความเข้มข้นของน้ำแป้งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความหนืดขณะทำการรีดฟิล์ม และส่งผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม ทั้งนี้เนื่องจากการเกาะเกี่ยวกันของพอลิเมอร์ในฟิล์ม เป็นการทำงานระหว่างพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างไฮดรอกซิลกรุป [41] สตาร์ชประกอบด้วยแอมิโลสและแอมิโลเพคติน ซึ่งสามารถละลายในน้ำร้อน ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิสูงจนถึงสภาวะที่ทำให้เกิดเจล สารละลายที่พองตัวเปลี่ยนรูปเป็นเจล สภาวะดังกล่าวเกิดจากแอมิโลสและแอมิโลเพคตินได้สร้างพันธะเชื่อมต่อระหว่างกันทำให้เกิดเครือข่ายและกลายเป็นแผ่นฟิล์มเมื่อน้ำระเหยออกหมด ผลึกขนาดเล็ก (microcrystalline) ของแอมิโลสเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดเครือข่าย ดังนั้นยังมีผลึกขนาดเล็กของแอมิโลสมากเท่าใด ก็ยิ่งจะทำให้ค่า Young's Modulus และ Tensile strength มีค่ามากขึ้นเท่านั้น [42,43,44,45,46,47] ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองเมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรลดลง มีผลให้ปริมาณของแข็งในน้ำแป้งลดลง ความหนาแน่นของแอมิโลสน้อยลง Tensile strength, Elongation, Young's Modulus และความหนาที่ได้จึงมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.1 ค่า Tensile strength ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน

ความเข้มข้น (น้ำหนักน้ำ/หนึ่งหน่วยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าตัดแปร)	Tensile strength (MPa)
10	12.87 ± 2.35a
12	10.37 ± 1.31b
14	9.41 ± 0.85b
16	9.26 ± 1.68b

หมายเหตุ: a,b แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.2 ค่า Elongation ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน

ความเข้มข้น (น้ำหนักน้ำ/หนึ่งหน่วยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าตัดแปร)	Elongation (%)
10	1.79 ± 0.23a
12	1.77 ± 0.22a
14	1.58 ± 0.17a
16	1.27 ± 0.19b

หมายเหตุ: a,b แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.3 ค่า Young's Modulus ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (น้ำหนักน้ำ/หนึ่งหน่วยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าตัดแปร)	Young's Modulus (MPa)
10	977.47 ± 142.53a
12	793.93 ± 49.50b
14	798.09 ± 89.59b
16	787.71 ± 151.59b

หมายเหตุ: a,b แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.4 ผลจากความเข้มข้นต่อความหนาของฟิล์มที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

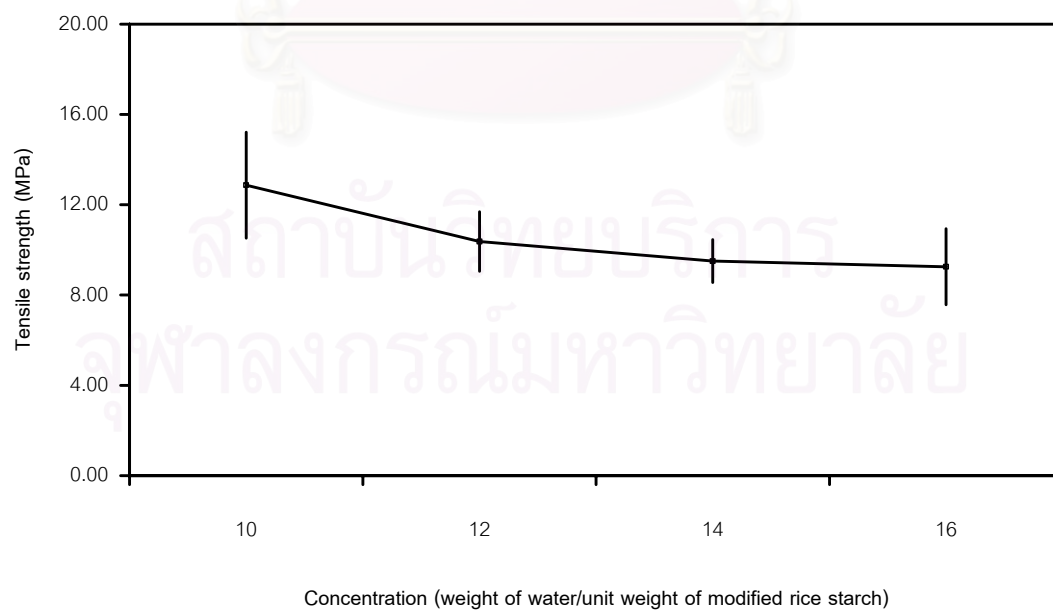
ความเข้มข้น (น้ำหนักน้ำ/หนึ่งหน่วยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าดัดแปร)	ความหนา (mm.)
10	0.028 ± 0.005a
12	0.025 ± 0.004ab
14	0.024 ± 0.005b
16	0.020 ± 0.003c

หมายเหตุ: a,b,c แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

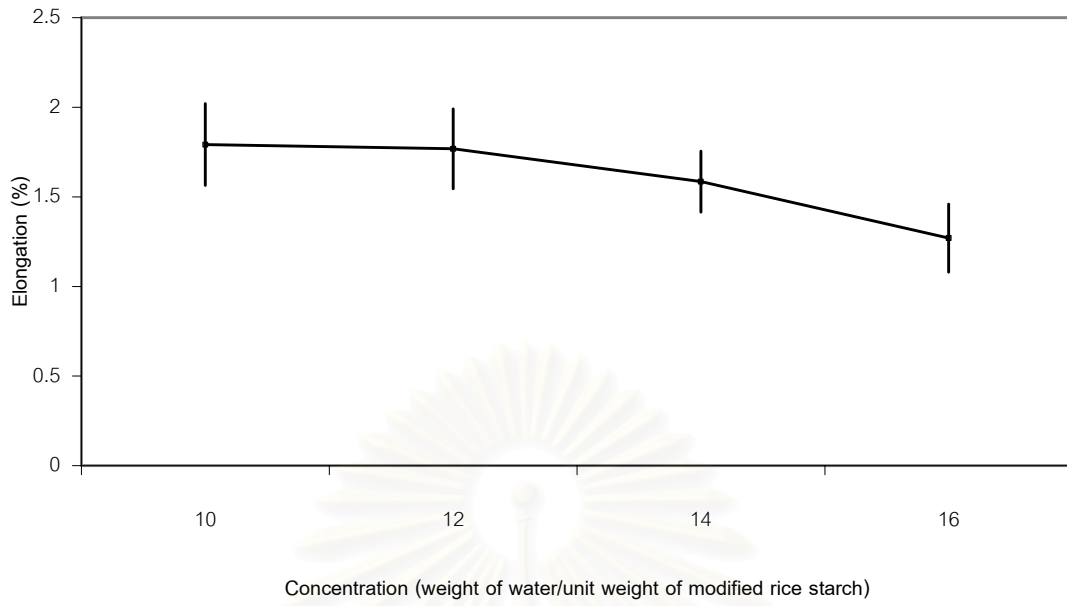
ตารางที่ 4.5 ปัจจัยจากความเข้มข้นต่อปริมาณน้ำอิสระที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (น้ำหนักน้ำ/หนึ่งหน่วยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าดัดแปร)	ปริมาณน้ำอิสระ (aw)
10	0.652 ± 0.025a
12	0.689 ± 0.010b
14	0.741 ± 0.004c
16	0.725 ± 0.005c

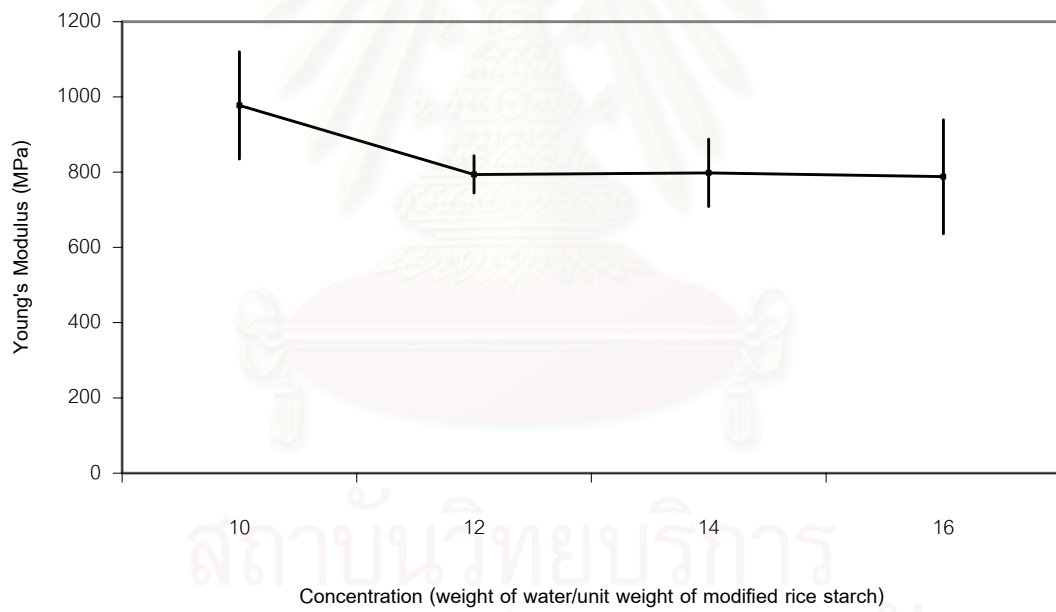
หมายเหตุ: a,b,c แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



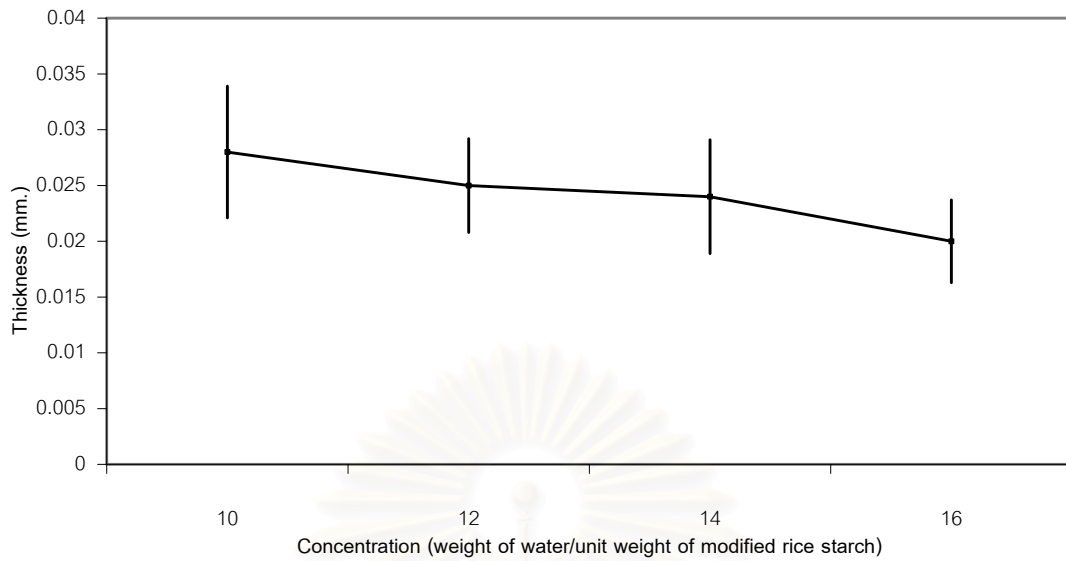
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าดัดแปรกับ Tensile strength



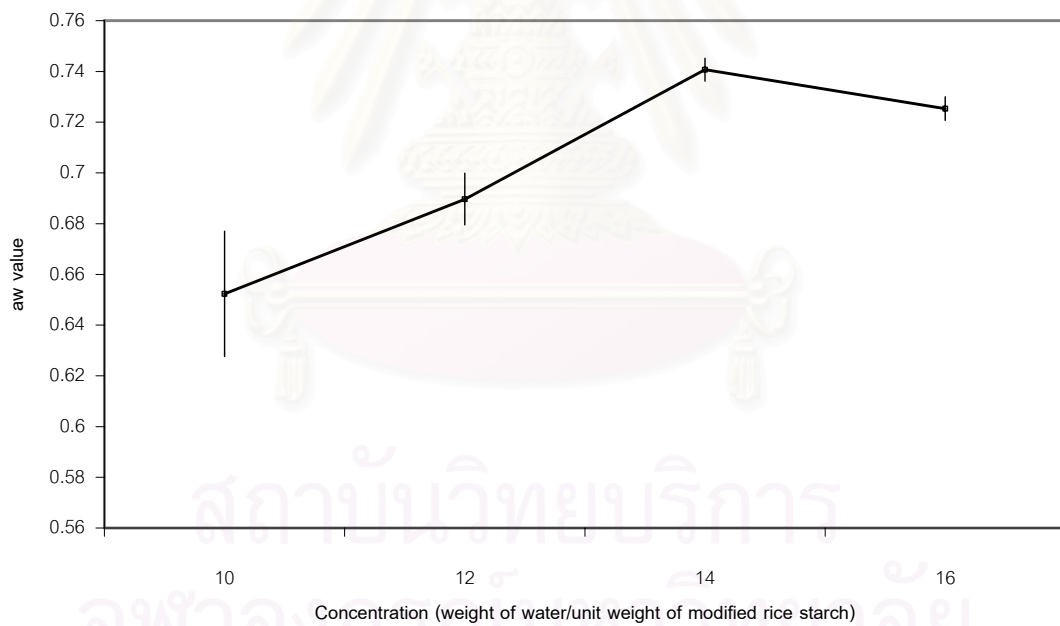
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรกับ Elongation



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรกับค่า Young's Modulus



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรกับค่าความหนา



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรกับค่าปริมาณน้ำอิสระ

4.2 ผลของการผสมแป้งข้าวเจ้าตัดแปรด้วยอิลาสติคเจลต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองตามวิธีในข้อ 3.5.2 พบว่าค่า Tensile strength ที่ได้ที่มีความแตกต่างกันในแต่ละความเข้มข้นดังนี้

ที่ระดับความเข้มข้น อัตราส่วนของน้ำหนักของน้ำต่อแป้งข้าวเจ้าตัดแปรที่ 10:1 Tensile strength ลดลงเมื่อมีปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้น ขณะที่ Elongation และความหนาแน่นค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณอิลาสติคเจลที่เติมแตกต่างกันไม่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า Young's Modulus

ที่ระดับความเข้มข้น 12:1 การเพิ่มขึ้นของปริมาณอิลาสติคเจลในช่วง 0-0.1 เท่าของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Tensile strength แต่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ปริมาณอิลาสติคเจล 0.3 และมีค่าลดลงที่ปริมาณอิลาสติคเจล 0.5 ในส่วนของค่า Young's Modulus ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มปริมาณอิลาสติคเจลที่ระดับ 0-0.5 ค่า Elongation มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้นที่ 0.1 และ 0.3 เท่าของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร แต่ที่ปริมาณอิลาสติคเจล 0.5 เท่าของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปรค่า Elongation มีค่าลดลง

ที่ระดับความเข้มข้น 14:1 และ 16:1 Tensile strength มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ Elongation ของความเข้มข้น 14:1 เป็นไปเช่นเดียวกับ 12:1 คือมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้น ที่ปริมาณอิลาสติคเจล 0.1 และ 0.3 เท่าของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร แต่ที่ 0.5 เท่า ค่า Elongation มีค่าลดลง และที่ความเข้มข้น 16:1 Elongation เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้น ค่า Young's Modulus ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มปริมาณ อิลาสติคเจล ดังแสดงในตารางที่ 4.6-4.8 กราฟรูปที่ 4.6-4.8

การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้จากการผสมแป้งข้าวเจ้าตัดแปรด้วยอิลาสติคเจล ซึ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังตัดแปรมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกกวาด อาหารขบเคี้ยว เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส การทดลองได้ทำการปรับปริมาณการใช้อิลาสติคเจล ตั้งแต่ 0, 0.1, 0.3, 0.5 เท่าโดยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าตัดแปรตามวิธีการทดลองในหัวข้อ 3.5.2 ปริมาณของอิลาสติคเจลที่เติมลงในสารละลายแป้งข้าวเจ้าให้ผลต่างกันตามแต่ละความเข้มข้น ที่ระดับความเข้มข้น อัตราส่วนของน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 10:1 เมื่อเพิ่มอิลาสติคเจล ค่า tensile strength ลดลงทั้งนี้เนื่องจากที่อัตราส่วนความเข้มข้นดังกล่าวเป็นความเข้มข้นสูงสุดของน้ำแป้งที่ทำให้เจลที่ได้ไม่เหนียวข้นเกินกว่าจะนำมาอัดเป็นแผ่นได้ เมื่อเติมอิลาสติคเจลจึงยิ่งทำให้เพิ่มปริมาณของแข็งในเจลหรือเพิ่มความเข้มข้น เนื่องจากมีปริมาณของแข็งในน้ำแป้งเพิ่มขึ้น แม้จะสามารถอัดเป็นฟิล์มได้ แต่การเรียงตัวของผลึกภายในอาจจะซ้อนกันอย่างไม่เป็นระเบียบ การเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีต่อความแข็งแรงของพอลิเมอร์ (46) แต่อย่างไรก็ดี Elongation และความหนาแน่นค่าได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณอิลาสติคเจลที่

เพิ่มขึ้น ที่ระดับความเข้มข้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 12:1 ค่า tensile strength ที่ปริมาณอิลาสติคเจล 0, 0.1 และ 0.5 เท่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ที่ปริมาณอิลาสติคเจล 0.3 เท่า ค่า tensile strength เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่กลับมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอิลาสติคเจลที่ 0.5 เท่า เช่นเดียวกับค่า Elongation ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับที่ความเข้มข้น 10:1 คือปริมาณของแข็งในน้ำแป้งมีค่ามากเกินไปทำให้การเรียงตัวของผลึกที่เกิดขึ้นกัน ที่ระดับความเข้มข้นอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 14:1 และ 16:1 ค่า tensile strength มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้น

ความหนาของฟิล์มที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับปริมาณอิลาสติคเจลที่แตกต่างกัน โดยที่ระดับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 10:1 ค่าความหนา มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใส่อิลาสติคเจล แต่ปริมาณอิลาสติคเจลที่เพิ่มขึ้นในช่วง 0.1, 0.3 และ 0.5 เท่าของแป้งข้าวเจ้าตัดแปรไม่มีผลต่อความหนาอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 12:1 ค่าความหนา มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มที่ไม่เติมอิลาสติคเจลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับความหนาของฟิล์มที่มีอิลาสติคเจล 0.3 เท่า แต่มีความหนาต่างจากฟิล์มที่มีอิลาสติคเจล 0.1, 0.5 เท่าอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 14:1 ความหนาของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.9 แต่ค่าความแตกต่างความหนาที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับของปริมาณอิลาสติคเจล ที่ระดับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 16:1 ความหนาของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มที่ไม่เติมอิลาสติคเจล มีความหนาต่างจาก ฟิล์มที่เติมอิลาสติคเจล 0.1, 0.3, 0.5 เท่าอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ความหนาของฟิล์มที่เติมอิลาสติคเจล 0.1, 0.3 และ 0.5 เท่าของแป้งข้าวเจ้าตัดแปรมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อดูในภาพรวมแล้วประเมินได้ว่าความหนาของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้นและเริ่มที่จะปรับตัวให้คงที่ ที่ปริมาณอิลาสติคเจล 0.3 เท่า ซึ่งในการขึ้นรูปฟิล์มในการศึกษานี้ใช้วิธีการรีดโดยใช้แท่งแม่พิมพ์สำหรับรีดฟิล์ม (doctor blade) โดยตั้งค่าความหนาไว้ที่ 20 mil หรือ 0.508 มิลลิเมตร (1 mil = 1/1000 นิ้ว)

ตารางที่ 4.6 ผลของปริมาณอิลาสติคเจลต่อคุณสมบัติ Tensile strength

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ น้ำ/หนึ่งหน่วยแป้งข้าวเจ้า ดัดแปร	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอิลาสติคเจล/หนึ่งหน่วยแป้งข้าวเจ้าดัดแปร	Tensile strength (MPa)
10	0	12.87 ± 2.35a
	0.1	10.41 ± 1.17b
	0.3	9.65 ± 1.08b
	0.5	9.31 ± 0.97b
	12	0
12	0.1	11.07 ± 1.83c
	0.3	13.62 ± 0.96d
	0.5	9.93 ± 1.00c
	14	0
14	0.1	11.82 ± 1.35ef
	0.3	12.60 ± 1.19f
	0.5	13.67 ± 2.69f
	16	0
16	0.1	14.94 ± 1.71gh
	0.3	10.56 ± 1.03h
	0.5	11.76 ± 1.48i

หมายเหตุ: a,b,c,d,e,f,g,h,i แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.7 ผลของปริมาณอิลาสติคเจลต่อคุณสมบัติ Elongation

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ น้ำ/หนึ่งหน่วยแป้งข้าวเจ้า ดัดแปร	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอิลา สติคเจล/หนึ่งหน่วยแป้งข้าว เจ้าดัดแปร	Elongation (%)
10	0	$1.79 \pm 0.23_{ef}$
	0.1	$1.63 \pm 0.14_e$
	0.3	$1.99 \pm 0.27_f$
	0.5	$2.04 \pm 0.29_f$
12	0	$1.77 \pm 0.22_{cd}$
	0.1	$1.81 \pm 0.33_{cd}$
	0.3	$2.06 \pm 0.34_d$
	0.5	$1.55 \pm 0.24_c$
14	0	$1.58 \pm 0.17_a$
	0.1	$1.87 \pm 0.14_b$
	0.3	$1.81 \pm 0.18_{ab}$
	0.5	$1.57 \pm 0.25_a$
16	0	$1.27 \pm 0.19_g$
	0.1	$1.97 \pm 0.2_h$
	0.3	$1.84 \pm 0.16_h$
	0.5	$1.93 \pm 0.38_h$

หมายเหตุ: a,b,c,d,e,f,g,h แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ผลของปริมาณอิลาสติคเจลต่อคุณสมบัติ Young's Modulus

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ น้ำ/หนึ่งหน่วยแป้งข้าวเจ้า	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอิลาสติคเจล/หนึ่งหน่วยแป้งข้าวเจ้า	Young's Modulus (MPa)
ตัดแปร	เจ้าตัดแปร	
10	0	977.47 ± 142.53a
	0.1	805.23 ± 112.19ab
	0.3	777.77 ± 192.39b
	0.5	818.86 ± 62.39ab
	12	0
12	0.1	871.11 ± 87.62
	0.3	893.03 ± 59.30
	0.5	838.53 ± 115.43
	14	0
14	0.1	842.10 ± 57.31c
	0.3	853.88 ± 58.93 c
	0.5	1119.87 ± 163.55d
	16	0
16	0.1	1071.42 ± 133.71f
	0.3	993.34 ± 276.47ef
	0.5	853.53 ± 49.96ef

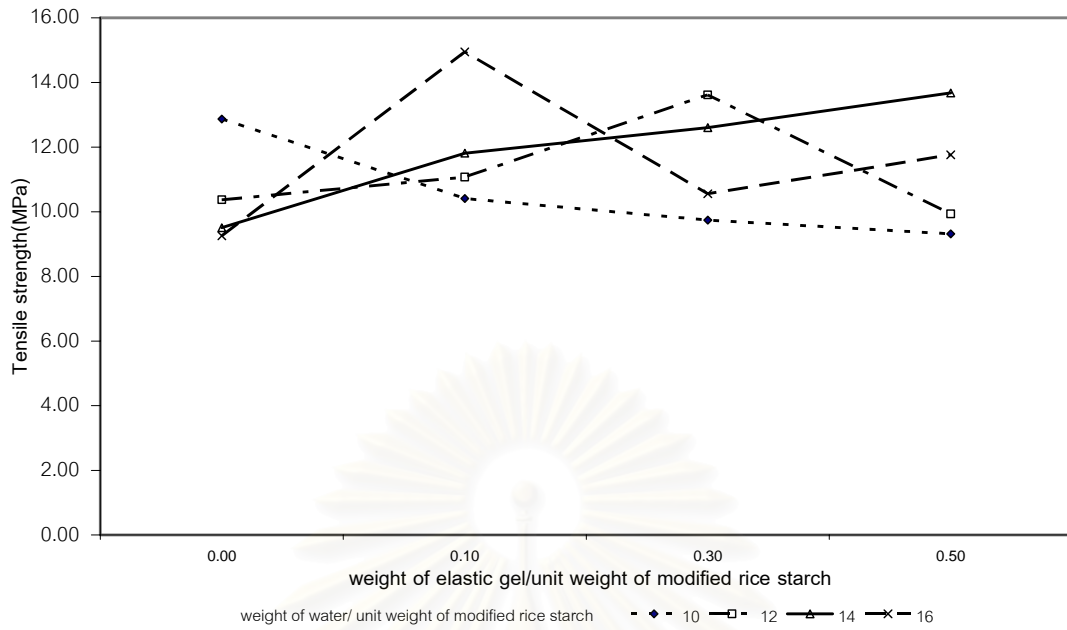
หมายเหตุ: a,b,c,d,e,f แสดงค่าความแตกต่างที่ ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

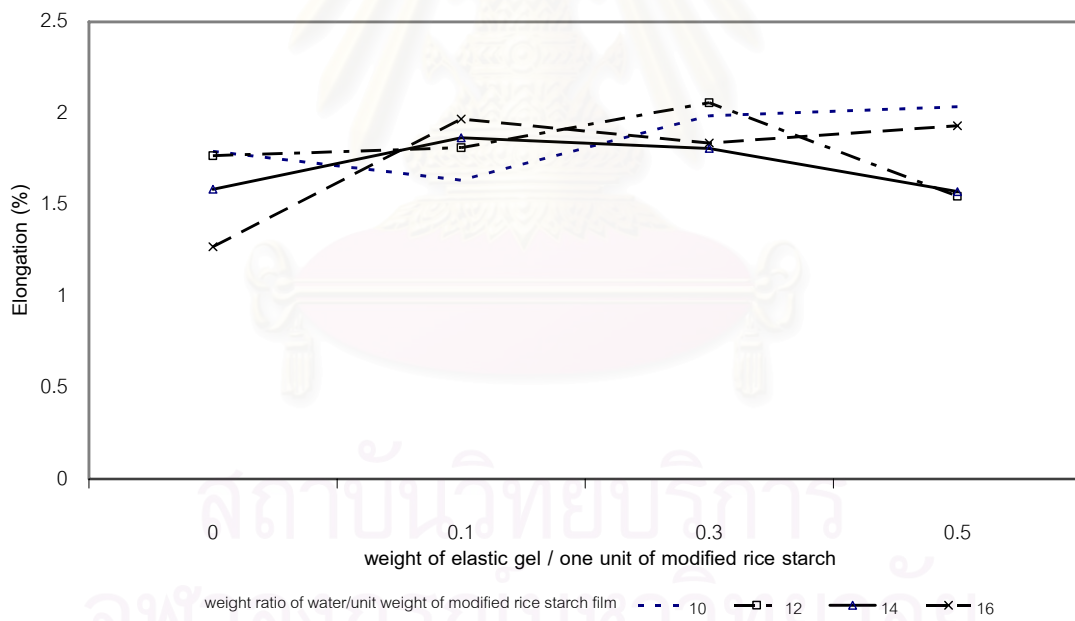
ตารางที่ 4.9 ผลของปริมาณอิลาสติคเจลต่อความหนา

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ น้ำ/หนึ่งหน่วยแป้งข้าวเจ้า ดัดแปร	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอิลา สติคเจล/หนึ่งหน่วยแป้งข้าว เจ้าดัดแปร	ความหนาเฉลี่ย(มม.)
10	0	0.028 ± 0.005a
	0.1	0.034 ± 0.006b
	0.3	0.037 ± 0.011b
	0.5	0.035 ± 0.006b
12	0	0.025 ± 0.004c
	0.1	0.030 ± 0.004d
	0.3	0.028 ± 0.004cd
	0.5	0.030 ± 0.007d
14	0	0.024 ± 0.005e
	0.1	0.023 ± 0.004e
	0.3	0.026 ± 0.005e
	0.5	0.024 ± 0.004e
16	0	0.020 ± 0.003f
	0.1	0.023 ± 0.004g
	0.3	0.024 ± 0.006g
	0.5	0.025 ± 0.005g

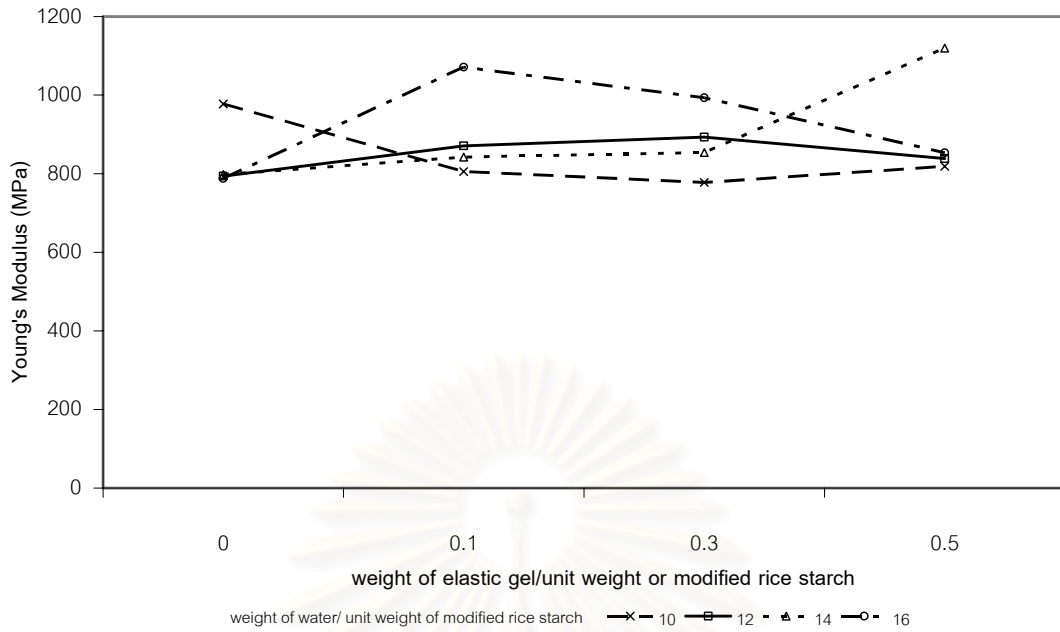
หมายเหตุ: a,b,c,d,e,f,g แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



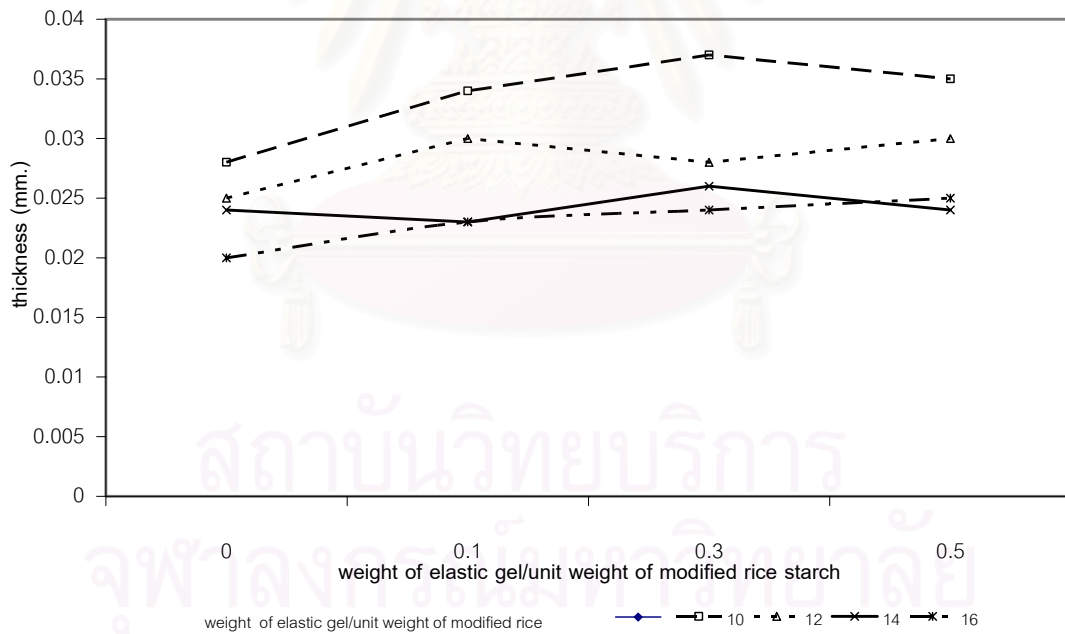
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength และปริมาณอีลาสติคเจล



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation และปริมาณอีลาสติคเจล



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's Modulus และปริมาณอีลาสติคเจล



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนา และปริมาณอีลาสติคเจล

4.3 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติทางกล

ฟิล์มที่ได้จากการเตรียมตามวิธีการในข้อ 3.5.3 โดยมีส่วนประกอบของ แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป:อิลาสติคเจล:น้ำ 1:0:14 เมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกลให้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.10 – 4.13 และรูปที่ 4.10 – 4.13 ค่า Tensile strength ของฟิล์มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่า Elongation และค่า Young's Modulus มีค่าลดลงเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ขณะที่ความหนามีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น

ตารางที่ 4.10 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อ Tensile strength

(แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

กลีเซอรอล (%ของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป)	Tensile strength (MPa)
0	31.12 ± 4.99a
0.5	25.25 ± 2.45b
4	23.09 ± 4.40b
10	17.43 ± 2.27c

หมายเหตุ: 1. a,b,c แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ฟิล์มที่ใช้ทดสอบ เป็นฟิล์มที่เตรียมคนละชุดกับชุดศึกษาความเข้มข้น

ตารางที่ 4.11 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า Elongation

(แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

กลีเซอรอล (%ของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป)	Elongation (%)
0	1.61 ± 0.24
0.5	2.19 ± 0.41
4	1.6 ± 0.19
10	1.24 ± 0.14

หมายเหตุ: 1.ฟิล์มที่ใช้ทดสอบ เป็นฟิล์มที่เตรียมคนละชุดกับชุดศึกษาความเข้มข้น

ตารางที่ 4.12 ผลจากปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า Young's Modulus
(แป้งข้าวเจ้าดัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

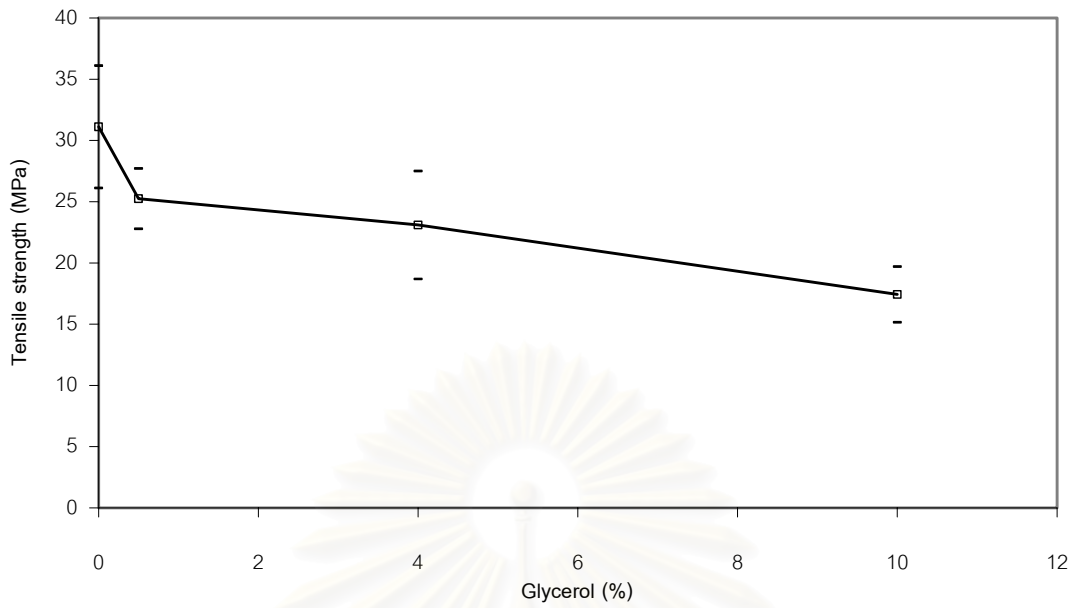
กลีเซอรอล (%ของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าดัดแปร)	Young's Modulus (MPa)
0	1877.57 ± 345.02
0.5	1698.96 ± 140.29
4	1782.57 ± 372.26
10	1497.50 ± 108.09

หมายเหตุ:1.ฟิล์มที่ใช้ทดสอบ เป็นฟิล์มที่เตรียมคนละชุดกับชุดศึกษาความเข้มข้น

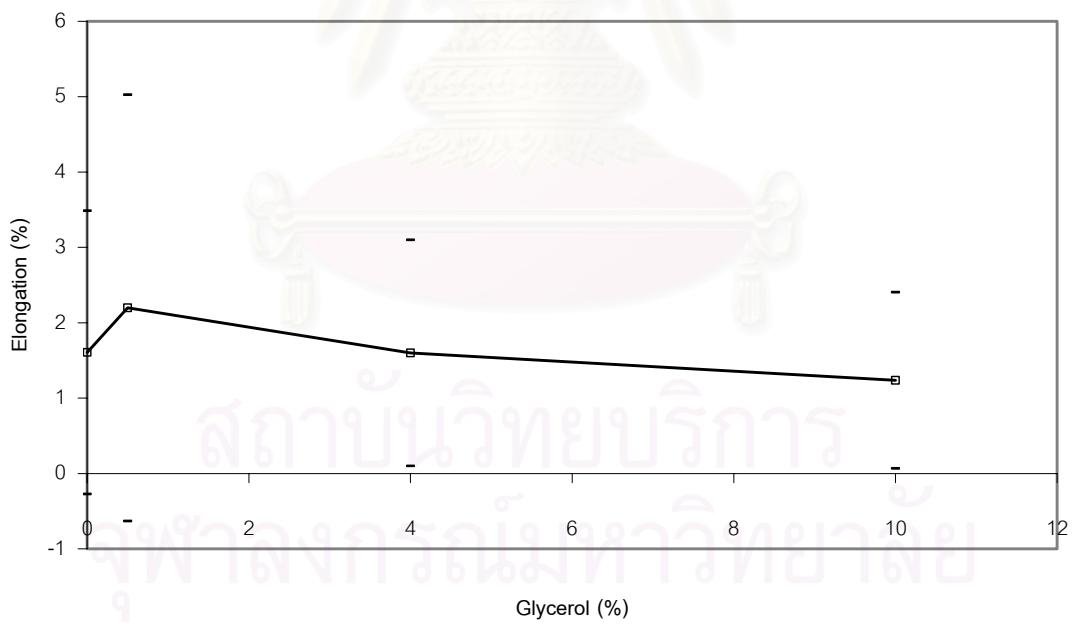
ตารางที่ 4.13 ผลจากปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าความหนา
(แป้งข้าวเจ้าดัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

กลีเซอรอล (%ของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าดัดแปร)	Thickness (mm.)
0	0.020 ± 0.004
0.5	0.021 ± 0.003
4	0.019 ± 0.003
10	0.024 ± 0.004

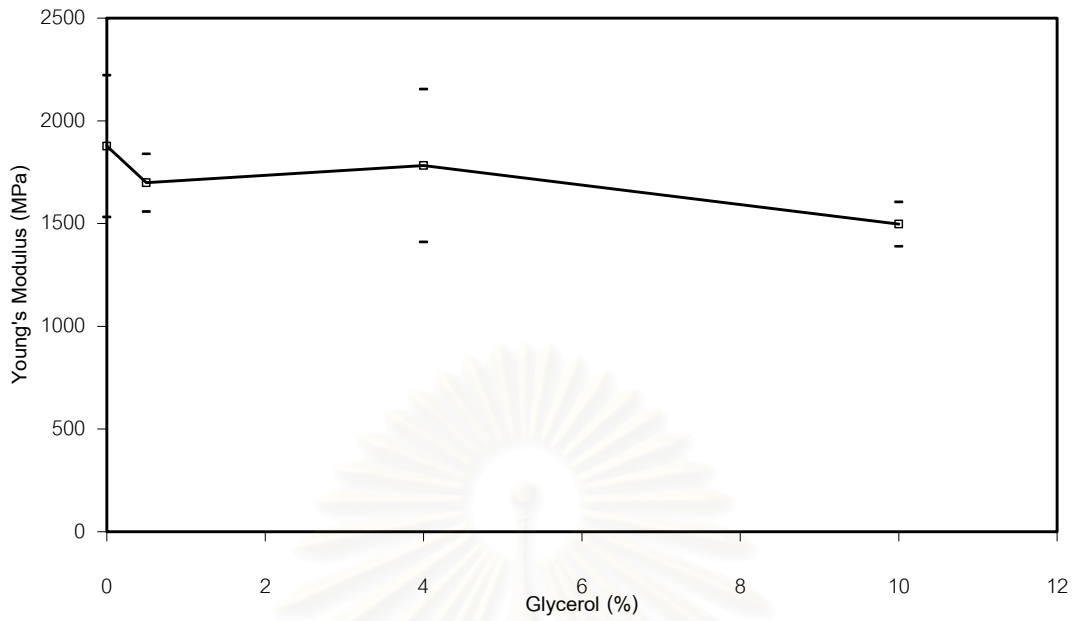
หมายเหตุ:1.ฟิล์มที่ใช้ทดสอบ เป็นฟิล์มที่เตรียมคนละชุดกับชุดศึกษาความเข้มข้น



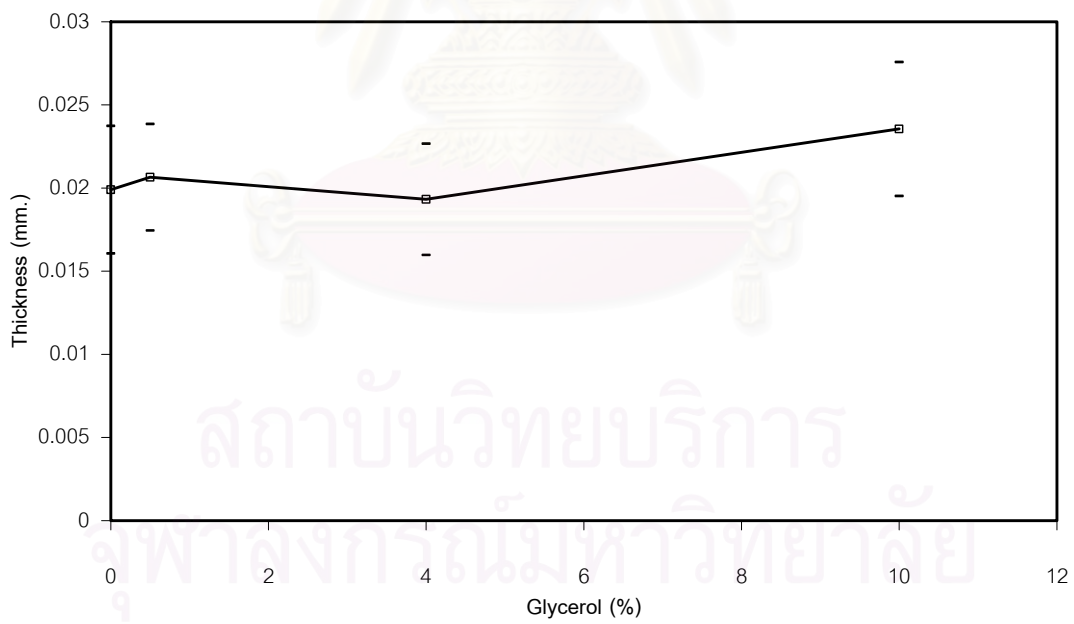
รูปที่ 4.10 ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength และปริมาณกลีเซอรอล
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)



รูปที่ 4.11 ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation และปริมาณกลีเซอรอล
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)



รูปที่ 4.12 ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's Modulus และปริมาณกลีเซอรอล
(แบ่งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)



รูปที่ 4.13 ค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาและปริมาณกลีเซอรอล
(แบ่งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

4.4 ผลของปริมาณกรดเตียริคต่อคุณสมบัติทางกล

จากผลการทดลองศึกษาผลของปริมาณกรดเตียริคต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์มตามวิธีการในข้อ 3.5.4 โดยทำการศึกษาที่ปริมาณกรดเตียริค 0, 0.5 และ 0.75% โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าตัดแปรตามลำดับ โดยที่ปริมาณกรดเตียริค 0.75% เป็นปริมาณสูงสุดที่สามารถเติมลงในสารละลายแป้งที่ความเข้มข้นของ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อแป้งข้าวเจ้า 14:1 แล้วคงสภาพของเจลที่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ พบว่าค่า Tensile strength และ Elongation ของฟิล์ม มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อปริมาณกรดเตียริคมีค่าเพิ่มขึ้น

กรดเตียริคเป็นกรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ จากรายงานการศึกษาของ Ayranci E. และคณะ [25] กรดเตียริคทำให้ฟิล์มมีความสามารถในการกั้นการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่อย่างไรก็ดียังไม่มีปรากฏรายงานการศึกษาถึงผลต่อคุณสมบัติทางกล จึงได้นำมาทำการศึกษาในครั้งนี้ และเนื่องจากคุณสมบัติในการไม่ชอบน้ำของกรดเตียริคทำให้มันเข้าไปแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลของน้ำและแป้งได้ไม่ดีพอ หรือเพียงลอยอยู่บริเวณผิวของฟิล์มเท่านั้น ทำให้มีผลต่อการยึดเกาะกันของพันธะในฟิล์ม เป็นผลต่อค่า Tensile strength และ Elongation

ตารางที่ 4.14 ผลของปริมาณกรดสเตรียริกต่อ Tensile strength ของฟิล์ม
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

ปริมาณกรดสเตรียริก(%)	Tensile strength(MPa)
0	9.41 ± 0.85a
0.5	14.22 ± 2.08b
0.75	6.43 ± 1.89c

หมายเหตุ: 1.a,b,c แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ฟิล์มที่ใช้ทดสอบ เป็นฟิล์มที่เตรียมคนละชุดกับชุดศึกษาความเข้มข้น

ตารางที่ 4.15 ผลของปริมาณกรดสเตรียริกต่อค่า Elongation ของฟิล์ม
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

ปริมาณกรดสเตรียริก(%)	Elongation (%)
0	1.58 ± 0.15a
0.5	1.67 ± 0.12a
0.75	1.32 ± 0.31b

หมายเหตุ: 1.a,b แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ฟิล์มที่ใช้ทดสอบ เป็นฟิล์มที่เตรียมคนละชุดกับชุดศึกษาความเข้มข้น

ตารางที่ 4.16 ผลของปริมาณกรดสเตรียริกต่อค่า Young's Modulus ของฟิล์ม
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

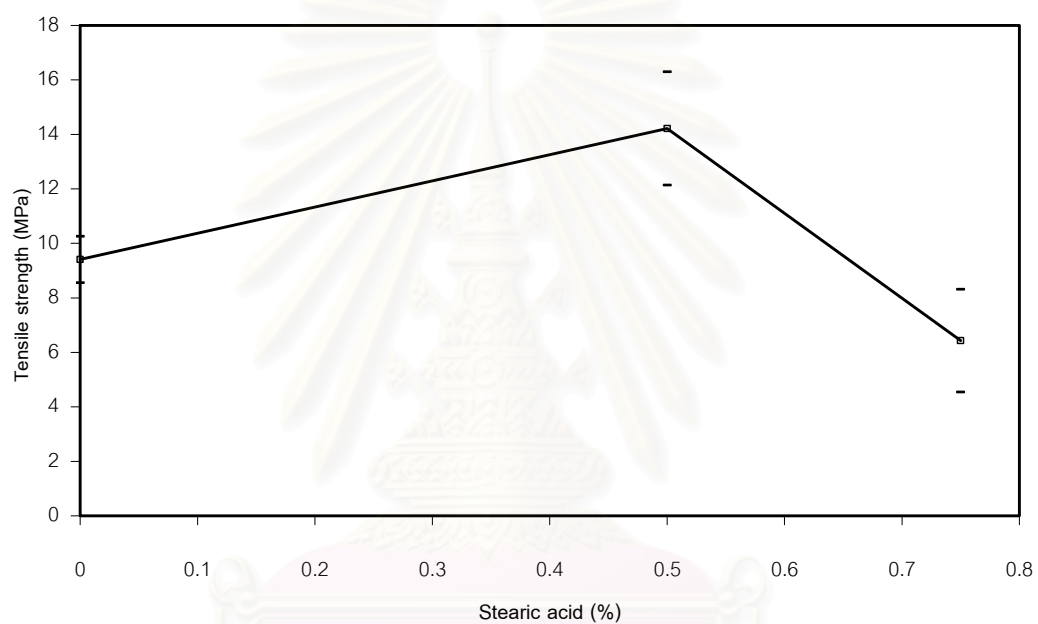
ปริมาณกรดสเตรียริก(%)	Young's Modulus (MPa)
0	770.32 ± 67.45
0.5	1036.78 ± 94.69
0.75	1023.80 ± 284.99

หมายเหตุ: 1.. ฟิล์มที่ใช้ทดสอบ เป็นฟิล์มที่เตรียมคนละชุดกับชุดศึกษาความเข้มข้น

ตารางที่ 4.17 ผลของปริมาณกรดสเตียริกต่อค่าความหนา ของฟิล์ม
(แบ่งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

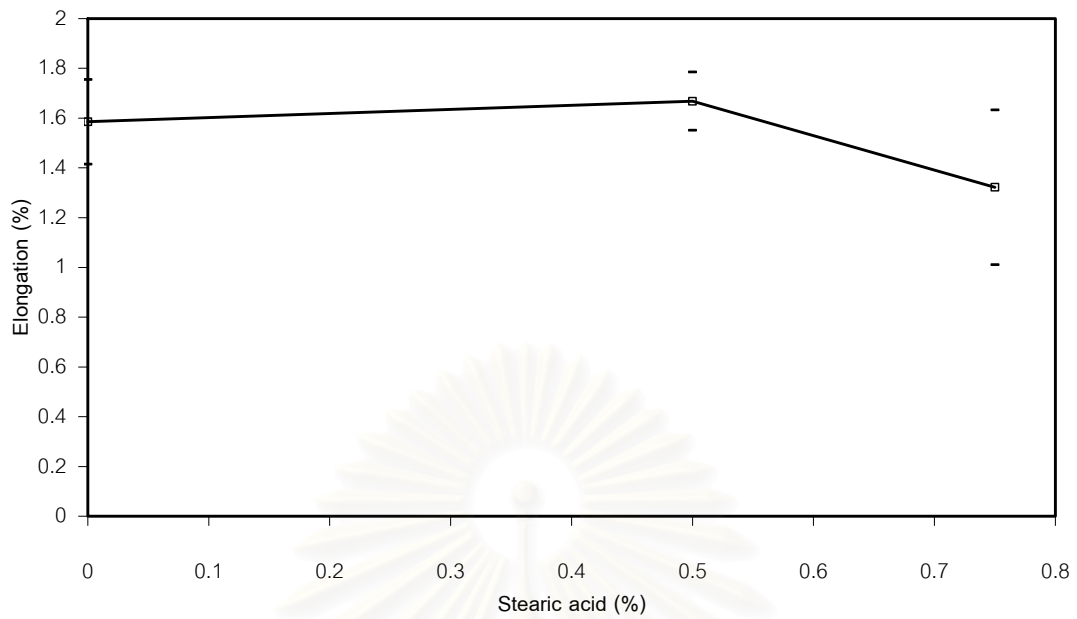
ปริมาณกรดสเตียริก(%)	Thickness (mm.)
0	0.023 ± 0.005
0.5	0.046 ± 0.004
0.75	0.061 ± 0.007

หมายเหตุ:1. ฟิล์มที่ใช้ทดสอบ เป็นฟิล์มที่เตรียมคนละชุดกับชุดศึกษาความเข้มข้น



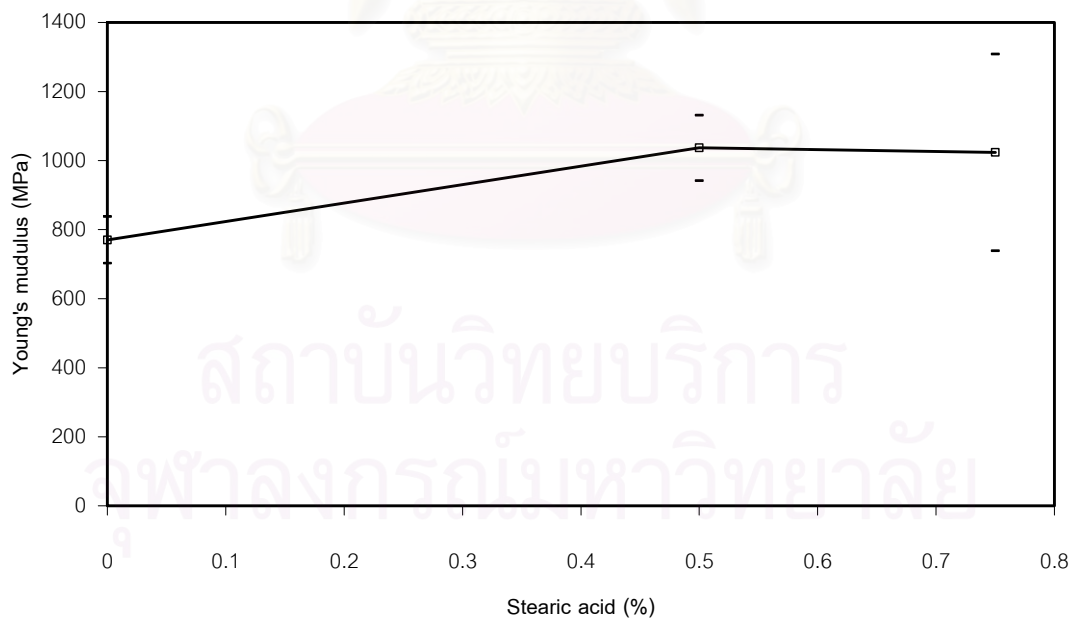
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength และปริมาณกรดสเตียริก
(แบ่งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



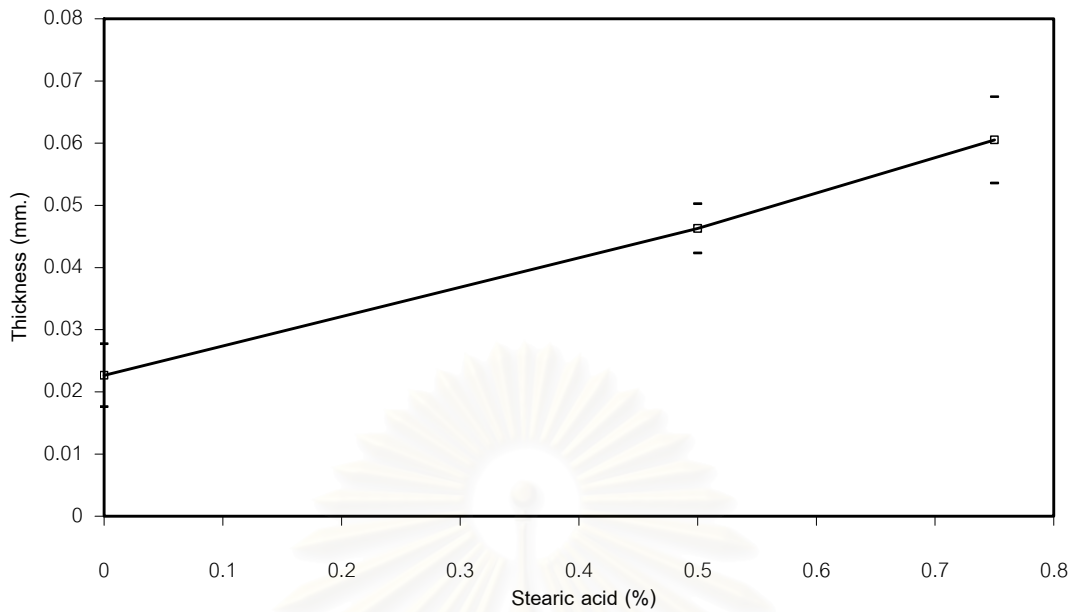
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation และปริมาณกรดสเตียริก

(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus และปริมาณกรดสเตียริก

(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความหนาและปริมาณกรดสเตียริก
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

4.5 การศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำ

4.5.1

จากการศึกษาผลของการทดลองตามข้อ 3.5.5.1 เพื่อศึกษาปัจจัยจากปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 0%, 0.5% และ 1% ค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำให้ค่าความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเข้มข้น 0.5% ค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำมีค่าลดลงจาก 0% ขณะที่ ที่ความเข้มข้น 0%และ1% ไม่มีความแตกต่าง

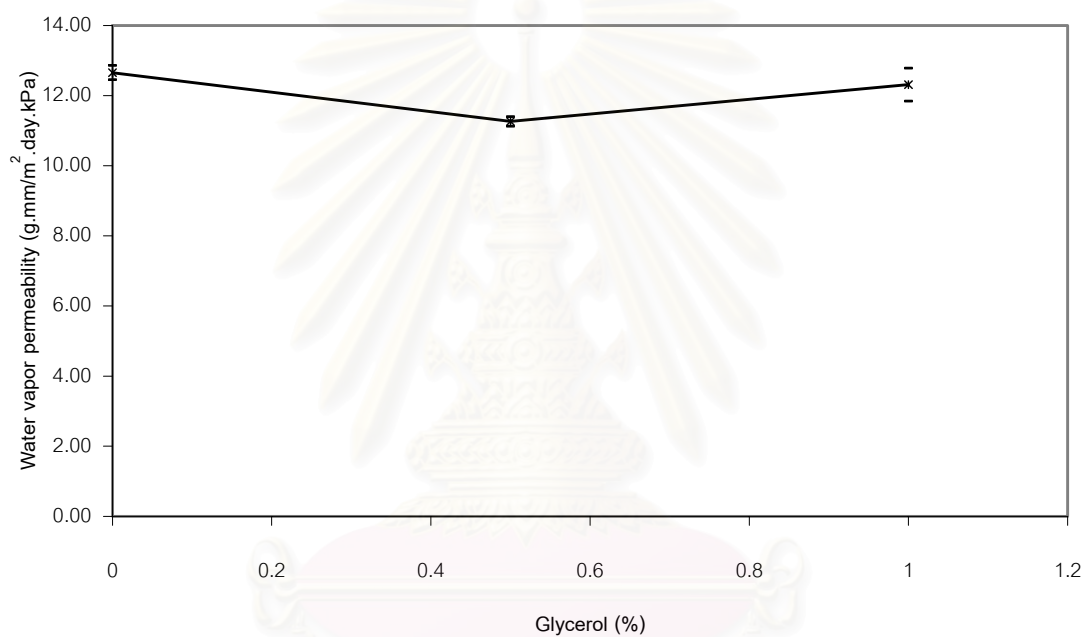
ผลจากการทดลองที่ได้เป็นผลจากผสมกลีเซอรอลต่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าตัดแปร โดยที่มีปริมาณอิลาสติคเจลผสมอยู่ 30% การเพิ่มปริมาณอิลาสติคเจลคือการเพิ่มปริมาณอะไมโลสลงในส่วนผสมของฟิล์ม ปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้น้อยเกินกว่าที่จะทำให้เกิดผลชัดเจน

ตารางที่ 4.18 ค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ต่างกัน
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0.3:14)

ปริมาณกลีเซอรอล(%)	WVP(g.mm/m ² .day.kPa)
0	12.66 ± 0.20a
0.5	11.26 ± 0.14b
1	12.31 ± 0.47a

หมายเหตุ: 1.a,b แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.ฟิล์มที่ใช้ทดสอบ เป็นฟิล์มที่เตรียมคนละชุดกับชุดศึกษาความเข้มข้น



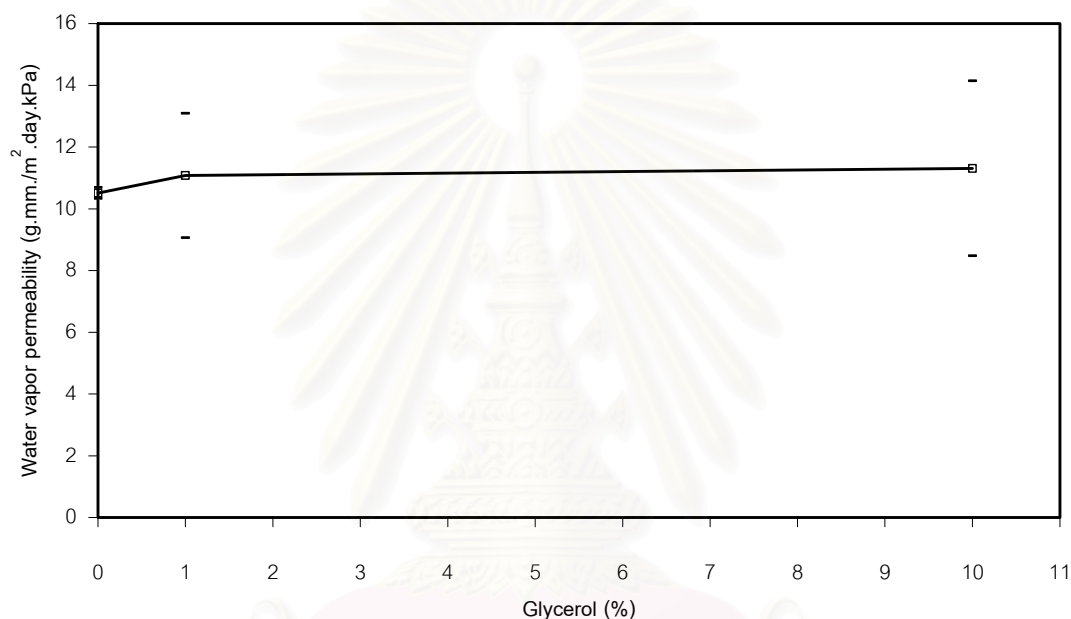
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ของปริมาณกลีเซอรอลกับค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0.3:14)

4.5.2

ผลการทดลองตามวิธีการ 3.5.5.2 เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล 0, 1 และ 10% โดยไม่เติมอีลาสติคเจล ค่าการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นที่ทุกระดับความเข้มข้นแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.19 และ กราฟ รูปที่ 4.19 ซึ่งต่างจาก จารุณี ยาห้องภาค และสมศักดิ์ ภักดีวารภรณ์ [29,30] กล่าวไว้ว่า การซึมผ่านของไอน้ำเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลในฟิล์มมีค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.19 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ต่างกัน
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

ปริมาณกลีเซอรอล(%)	WVP(g.mm/m ² .day.kPa)
0	10.51 ± 0.18
1	11.08 ± 2.02
10	11.31 ± 2.83



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ของปริมาณกลีเซอรอลกับค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

4.6 ผลของปริมาณกรดสเตียริกต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำ

4.6.1

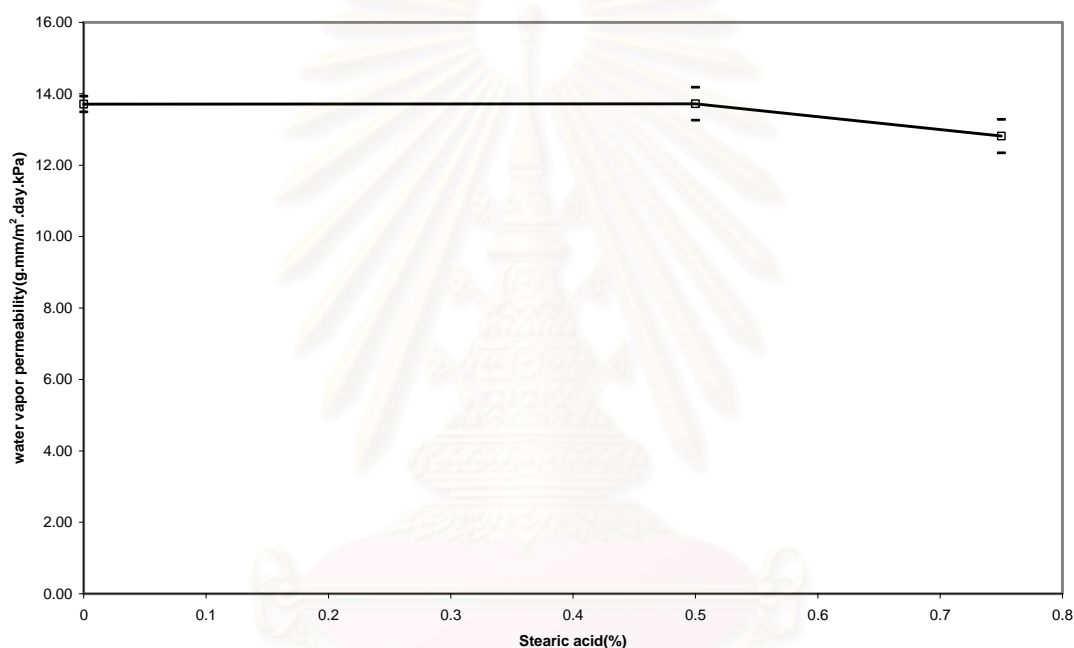
จากการศึกษาผลของปริมาณกรดสเตียริกต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำตามวิธีในหัวข้อ 3.5.6 โดยผสมในอัตราส่วนโดยน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0.3:14 ที่ปริมาณกรดสเตียริก 0, 0.5 และ 0.75% โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าตัดแปรตามลำดับ พบว่าเมื่อปริมาณของ กรดสเตียริกสูงขึ้นมีผลให้ ค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำลดลง โดยมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกถึง 0.75% ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Ayranci E และคณะ [25]

ตารางที่ 4.20 ผลของปริมาณกรดสเตียริกต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0.3:14)

ปริมาณกรดสเตียริก(%)	WVP(g.mm/m ² .day.kPa)
0	13.71 ± 0.22a
0.5	13.72 ± 0.46a
0.75	12.81 ± 0.47b

หมายเหตุ: 1.a,b แสดงค่าความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ: 2.ฟิล์มที่ใช้ทดสอบ เป็นฟิล์มที่เตรียมคนละชุดกับชุดศึกษาความเข้มข้น



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดสเตียริกกับค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0.3:14)

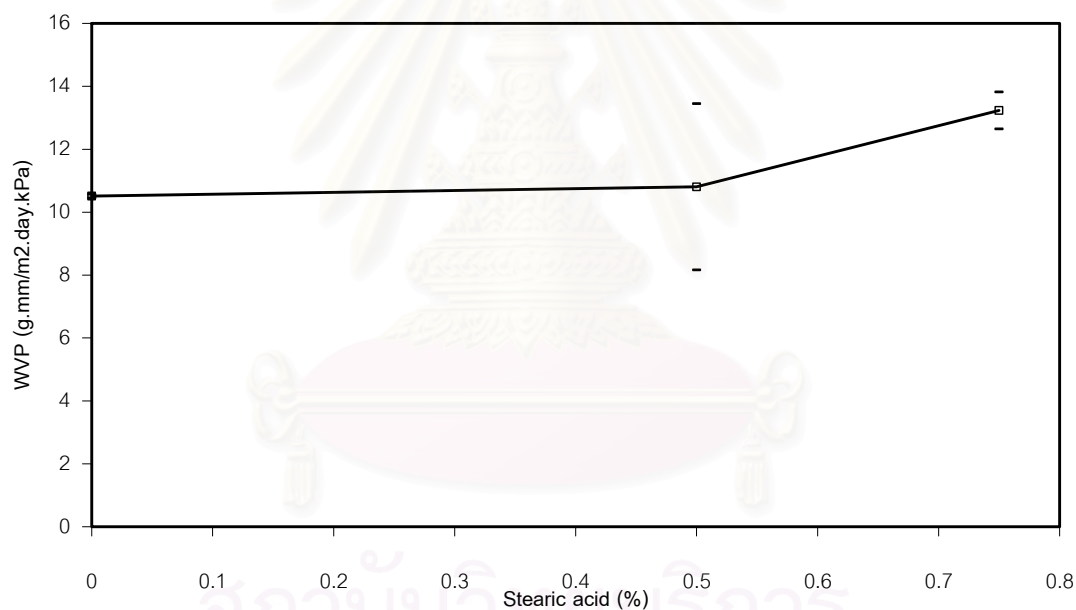
4.6.2

ฟิล์มที่ได้จากการเตรียมตามข้อ 3.5.6.2 ซึ่งเป็นฟิล์มที่มีอัตราส่วน ของแป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ 1:0:14 มีปริมาณของกรดสเตียริก 0% 0.5% และ 0.75% ตามลำดับ ปริมาณของกรดสเตียริกที่ 0.75% เป็นปริมาณสูงสุดที่สามารถเติมลงในสารละลายน้ำแป้งแล้ว ยังคงทำให้ แป้งข้าวเจ้าตัดแปรยังคงฟอร์มตัวในรูปเจลที่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ ค่าการยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้ของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดสเตียริกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งต่างจากเมื่อมีอีลาสติคเจลผสมอยู่ กล่าวคือเมื่อเติมกรดสเตียริกทำให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ทั้งนี้เนื่องจากกรดสเตียริกเป็นกรดไขมันที่ไม่เข้ากันกับน้ำ ในการฟอร์มตัวเป็นฟิล์ม อาจจะมีช่องว่างระหว่างแป้ง

และกรดสเตียริกทำให้อิโนซีนผ่านได้ ขณะที่เมื่อเติมอีลาสติคเจลซึ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังดัดแปรโดยปกติจะใช้ในการเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับอาหารขบเคี้ยว อีลาสติคเจลน่ามีคุณสมบัติในการเข้ากันได้กับโครงสร้างที่ไม่ชอบน้ำ ทำให้การฟอร์มตัวเป็นเจลของแป้งและกรดสเตียริกวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.21 ผลของปริมาณกรดสเตียริกต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ
(แป้งข้าวเจ้าดัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

ปริมาณกรดสเตียริก(%)	WVP(g.mm/m ² .day.kPa)
0	10.51 ± 0.06
0.5	10.81 ± 2.64
0.75	13.23 ± 0.59



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดสเตียริกกับค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ
(แป้งข้าวเจ้าดัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

4.7 การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์ม

เนื่องจากการเกิดผิวสีน้ำตาลที่เกิดในผลไม้ส่วนใหญ่เป็นปัญหาจากการเกิดออกซิเดชันของฟีนอลิก (Phenolic substrate) โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) [54,55] การศึกษาการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มแป้งข้าวเจ้าดัดแปร ทำการศึกษาโดยศึกษาผลจากการที่มีการยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มได้ของฟิล์มแต่ละชนิด ก่อให้เกิดออกซิเดชัน

ที่ผิวของเงาะอบแห้ง โดยทำการวัดการเปลี่ยนแปลงของสีที่บริเวณผิวของเงาะ จากผลการทดลอง ที่ได้พบว่า ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 68% ซึ่งเป็นสภาวะบรรยากาศปกติ การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอันเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงในช่วง 2 วันแรก ค่าดัชนีสี L a และ b เป็นค่าดัชนีสีของผิวเงาะที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือวัด फिल्मทุกชนิดที่นำมาห่อเงาะอบแห้งให้ค่าความชันของกราฟของค่าดัชนีสี L และ b ไม่ต่างกันคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า L อยู่ในช่วง -6.71, -7.02, -7.15 และ -7.77 เป็นเงาะอบแห้งที่ห่อด้วยฟิล์ม แบ่งข้าวเจ้าตัดแปร + กรดสเตียริก 0.75% ฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปร ฟิล์ม PP และฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปร+กลีเซอรอล 0.75%ตามลำดับ หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะในส่วนนของสีขาวและดำ(L)[53] ของ फिल्मทุกชนิดให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอยู่ระดับที่ไม่ต่างกัน ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำเงินและเหลือง(b)[53]ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของ फिल्मทุกชนิดใกล้เคียงกันคือที่ -0.96, -1.14, -1.73 และ -1.75 b value/day เป็นเงาะอบแห้งที่ห่อด้วยฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปร ฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปร+กลีเซอรอล 0.75% ฟิล์ม PP และฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปร+กรดสเตียริก 0.75% ตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีในช่วงสีเขียวและแดง(a)[53]ของเงาะที่ห่อด้วยฟิล์ม PP มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย 0.05 a value/day ขณะที่เงาะอบแห้งที่ห่อด้วยฟิล์มแบ่งข้าวตัดแปรอย่างเดียวมีอัตราการเปลี่ยนแปลง 0.53 a value/day ฟิล์มแบ่งข้าวตัดแปรผสมกับ 0.75% กรดสเตียริก 0.55 a value/day ฟิล์มแบ่งข้าวตัดแปรผสมกับ 0.75% กลีเซอรอล 0.61 a value/day จากค่าการเปลี่ยนแปลงของ a value ทำให้สรุปได้ว่าที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 68% ฟิล์ม PP ยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้น้อยกว่า ฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปรอย่างเดียว ฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปร+กรดสเตียริก 0.75% และฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปร+กลีเซอรอล0.75% ขณะที่ฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปรอย่างเดียว ฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปร+กรดสเตียริก 0.75%และฟิล์มแบ่งข้าวเจ้าตัดแปร+กลีเซอรอล0.75% มีการยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้ในระดับที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งค่า L ที่ 68%RH

ชนิดของฟิล์ม	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 6
PP	55.97	41.67	41.67	41.43
ฟิล์มแบ่งข้าวตัดแปร	53.17	39.12	39.37	38.17
ฟิล์มแบ่งข้าวตัดแปร + 0.75%กรดสเตียริก	53.14	39.71	39.97	30.6
ฟิล์มแบ่งข้าวตัดแปร + 0.75%กลีเซอรอล	55.39	39.85	39.32	37.27

ตารางที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาอบแห้งค่า a ที่ 68%RH

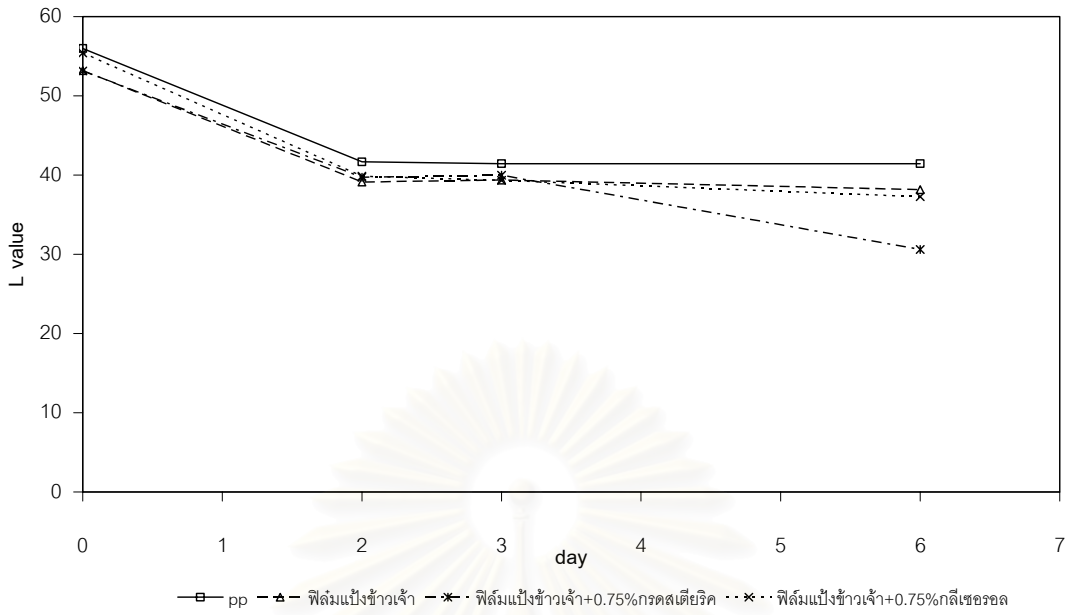
ชนิดของฟิล์ม	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 6
PP	0.09	0.195	0.22	0.38
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร	0.04	1.1	1.4	1.59
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กรดสเดียริค	0.01	1.11	1.26	1.48
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กลีเซอรอล	0.17	1.4	1.46	1.71

ตารางที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาอบแห้งค่า b ที่ 68%RH

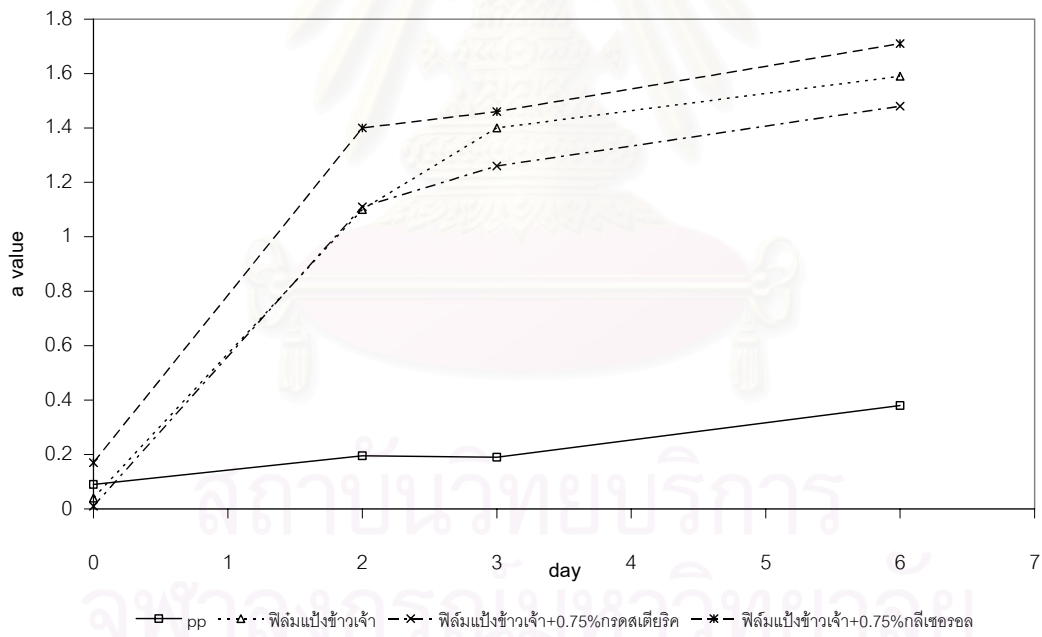
ชนิดของฟิล์ม	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 6
PP	7.07	3.6	3.45	3.33
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร	6.65	4.72	4.46	4.35
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กรดสเดียริค	7.37	3.87	3.82	3.53
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กลีเซอรอล	6.52	4.24	3.96	3.93

ตารางที่ 4.25 อัตราการเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาอบแห้งในช่วง 2 วันแรกที่ 68%RH

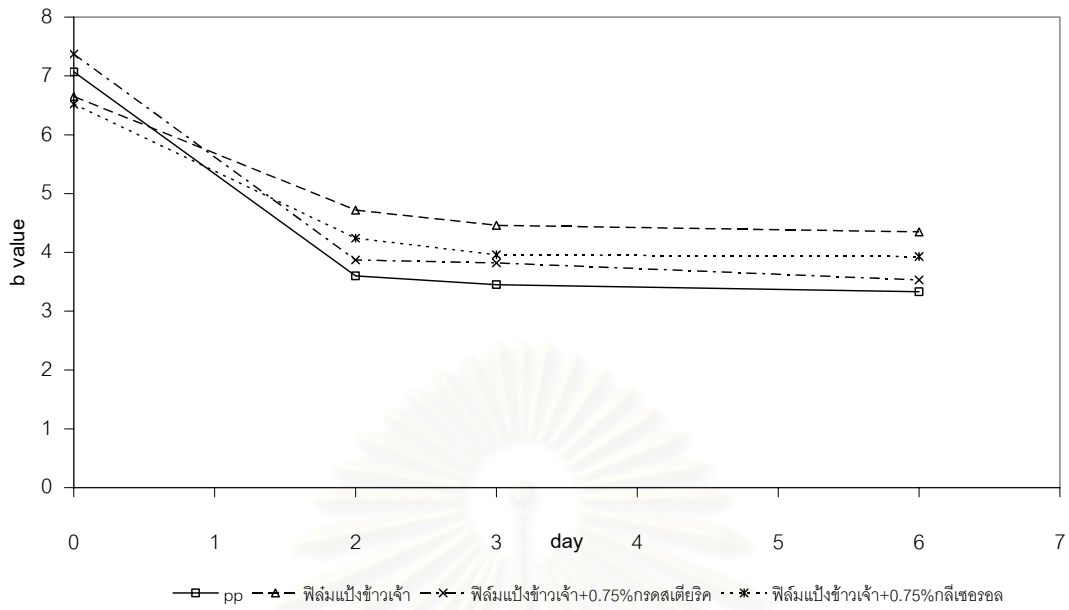
ชนิดของฟิล์มที่ห่อ	ค่า L	ค่า a	ค่า b
	(L value/day)	(a value/day)	(b value/day)
PP	-7.15	0.05	-1.73
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร	-7.02	0.53	-0.96
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กรดสเดียริค	-6.71	0.55	-1.75
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กลีเซอรอล	-7.77	0.61	-1.14



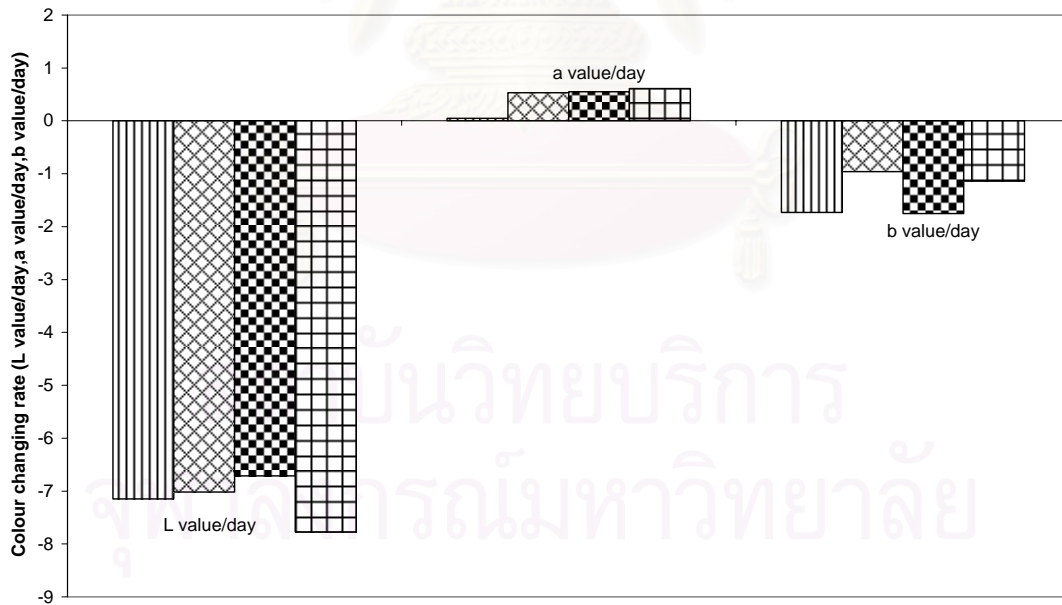
รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงของสีของผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า L(68%RH)



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงของสีของผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า a (68%RH)



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงของสีของผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า b (68%RH)



□ pp □ ฟิล์มแบ่งข้าวเจ้า ■ ฟิล์มแบ่งข้าวเจ้า+0.75%กรดสเดียรีค ▨ ฟิล์มแบ่งข้าวเจ้า+0.75%กลีเซอรอล

รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีของผิวเงาะอบแห้งใน 2 วันแรกจากค่า

L,a,b(68%RH)

ที่สภาวะความชื้นต่ำที่ 55%RH การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวของเงาะอบแห้งห่อด้วยฟิล์ม อัตราการเปลี่ยนแปลงของสีที่วัดเป็นค่า L มีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่า -6.06, -6.21, -6.36, -6.80 L value/day เป็นเงาะอบแห้งที่ห่อด้วยฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร+กรดสเตียริก 0.75% ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร+กลีเซอรอล 0.75% ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร และฟิล์ม PP ตามลำดับ เช่นเดียวกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า b มีค่า -1.11, -1.21, -1.22, -1.33 b value/day เป็นเงาะอบแห้งที่ห่อด้วยฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร+กรดสเตียริก ฟิล์ม PP และฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร+กลีเซอรอล ตามลำดับ มีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า a มีค่า 0.33, 0.20, 0.12 และ 0.08 เป็นเงาะอบแห้งที่ห่อด้วย ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร+กลีเซอรอล 0.75% ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร+กรดสเตียริก 0.75% ฟิล์ม PP และฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร อัตราการเปลี่ยนแปลงของสีค่า a ของเงาะอบแห้งที่ห่อด้วยฟิล์ม PP มีค่าต่างจากกับฟิล์มแป้งข้าวทั้ง 3 ชนิด โดยฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร+กลีเซอรอล 0.75% ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุด คือยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้มากที่สุด รองลงมาคือฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร+กรดสเตียริก 0.75% และฟิล์ม PP ฟิล์มแป้งข้าวเจ้ายอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้น้อยที่สุด

จากการศึกษาในครั้งนี้ ปริมาณของกลีเซอรอลและกรดสเตียริกไม่มีผลที่อย่างชัดเจนว่ามีผลต่อการอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน แต่พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อฟิล์มแป้งข้าวอยู่ในสภาวะความชื้นต่ำ 55% ซึ่งต่างจากเมื่ออยู่ในสภาวะความชื้นสูง 68%

ค่าการเปลี่ยนแปลงของ a value ของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 55% มีค่า 0.08 a value/day ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์ม PP ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร+กรดสเตียริก และฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร+กลีเซอรอล ที่มีค่า 0.12 0.20 0.33 a value/day ตามลำดับ ขณะที่ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 68% ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าในทุกสูตร มีค่าการเปลี่ยนแปลงของ a value สูงกว่าฟิล์ม PP มากกว่า 10 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ P.Dole และคณะ [52] กล่าวว่า ที่สภาวะที่แห้งจะทำให้ฟิล์มมีคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดีกว่าสภาวะที่มีความชื้น ทั้งนี้เนื่องจากการซึมผ่านได้ของก๊าซออกซิเจนเป็นไปตามกฎการแพร่ คือก๊าซจะละลายผ่านตัวกลางในเนื้อฟิล์ม (Solubility) จากนั้นก๊าซที่ละลายในตัวกลางจะแพร่ (Diffusivity) ออกมาจากฟิล์ม

ตารางที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งค่า L ที่ 55%RH

ชนิดของฟิล์ม	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 6
PP	56.07	42.46	41.92	41.03
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร	53.5	40.78	39.93	39.84
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กรดสเดียริค	52.87	40.75	40.11	39.38
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กลีเซอรอล	53.61	41.19	39.8	39.7

ตารางที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งค่า a ที่ 55%RH

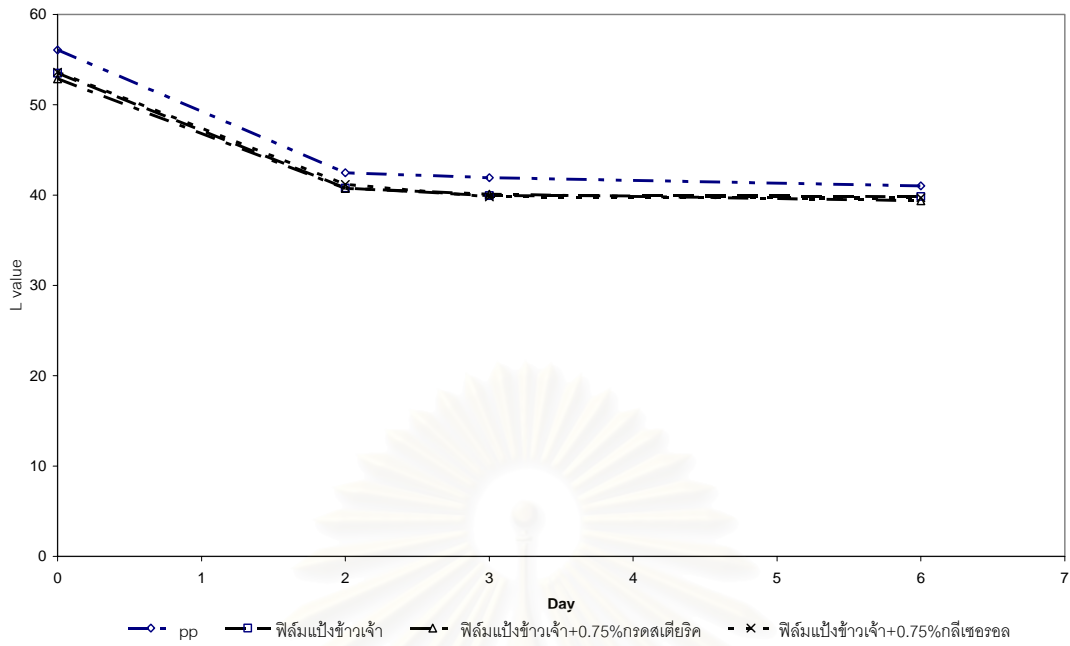
ชนิดของฟิล์ม	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 6
PP	-0.36	-0.11	0.21	0.36
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร	0.48	0.65	0.99	1.22
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กรดสเดียริค	0	0.39	0.76	0.76
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กลีเซอรอล	-0.09	0.58	0.62	0.83

ตารางที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งค่า b ที่ 55%RH

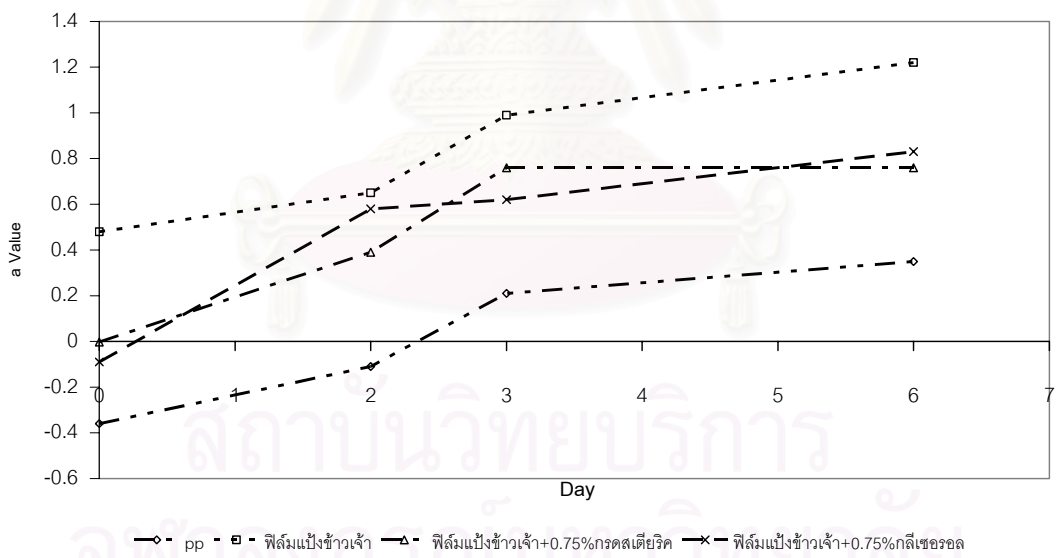
ชนิดของฟิล์ม	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 6
PP	6.91	4.47	4	3.62
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร	7.26	5.04	5.11	4.65
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กรดสเดียริค	7.29	4.87	4.54	4.38
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กลีเซอรอล	7.12	4.49	4.37	4.22

ตารางที่ 4.29 อัตราการเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งในช่วง 2 วันแรกที่ 55%RH

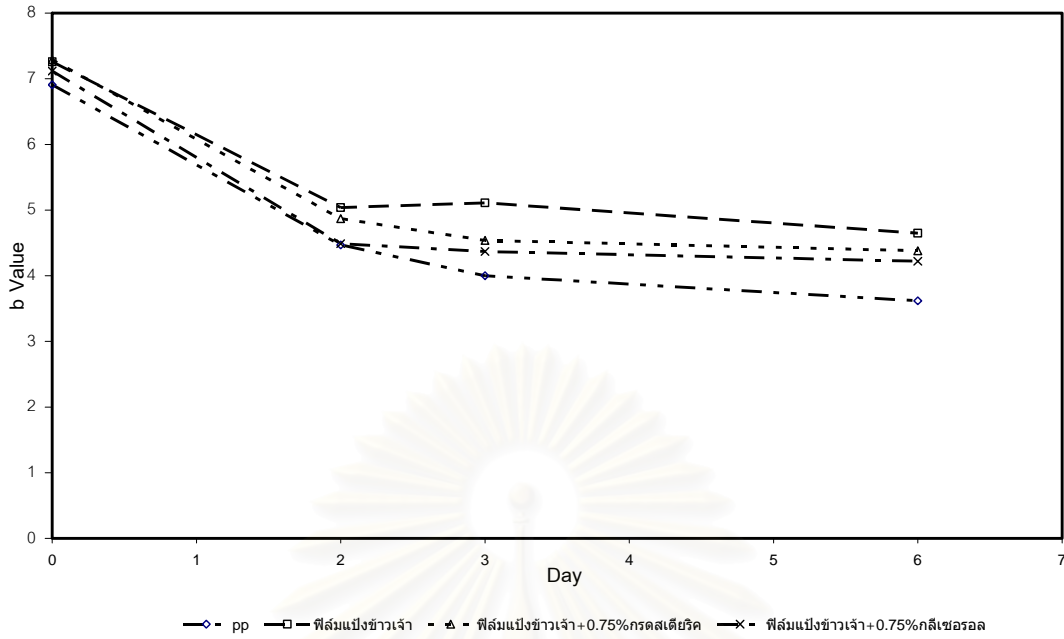
ชนิดของฟิล์มที่ห่อ	ค่า L	ค่า a	ค่า b
	(L value/day)	(a value/day)	(b value/day)
PP	-6.80	0.12	-1.22
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร	-6.36	0.08	-1.11
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กรดสเดียริค	-6.06	0.20	-1.21
ฟิล์มแป้งข้าวัดดแปร + 0.75%กลีเซอรอล	-6.21	0.33	-1.31



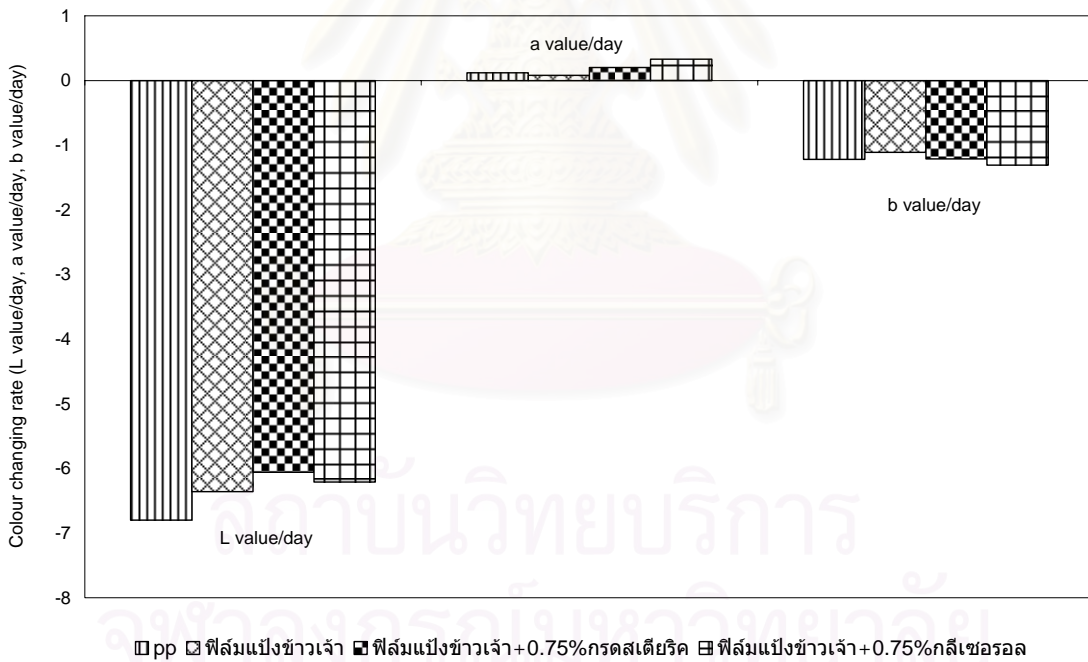
รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงของสีของผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า L (55%RH)



รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงของสีของผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า a (55%RH)



รูปที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงของสีของผิวเงาะอบแห้งดัชนีของสีเป็นค่า b (55%RH)



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของสีของผิวเงาะอบแห้งจากค่า L,a,b(55%RH)

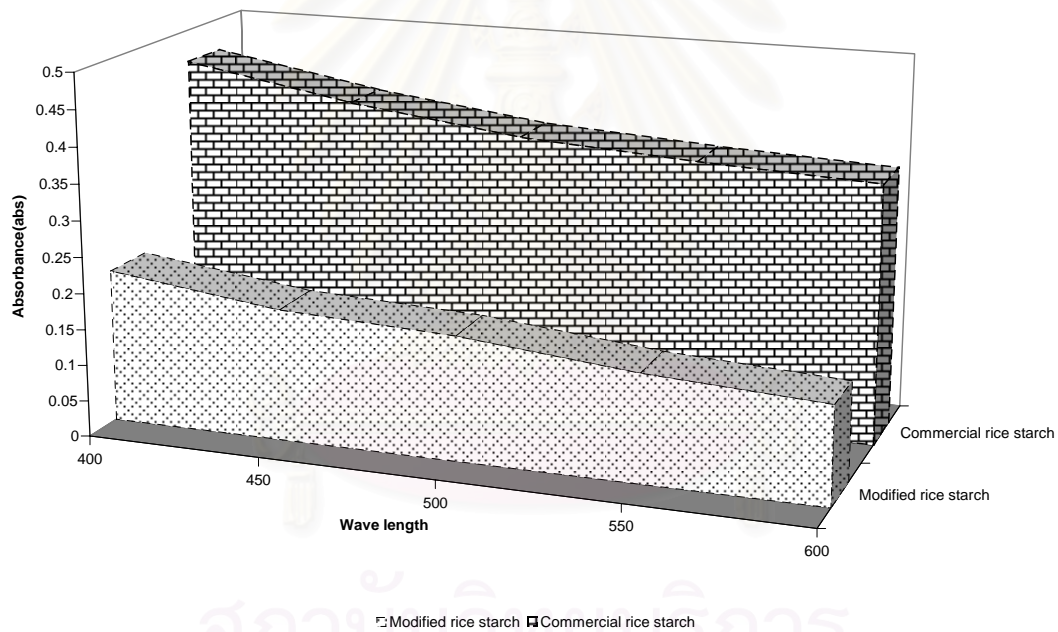
4.8 ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าความใสของฟิล์ม

ฟิล์มที่เตรียมได้จากวิธีการในข้อ 3.5.8 นำมาวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer .ในช่วงความยาวคลื่น 400-600 นาโนเมตรเพื่อเปรียบเทียบความใสของฟิล์มที่ผลิตจากแบ่งขาวเจ้าในท้องตลาดกับแบ่งขาวเจ้าตัดแปรร เมื่อดูด้วยตาเปล่าสีของฟิล์มที่ได้

จากแป้งข้าวเจ้าในท้องตลาดจะมีลักษณะสีขาวขุ่นกว่าฟิล์มที่ได้จากแป้งข้าวเจ้าดัดแปร โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.30 กราฟรูปที่ 4.30 และ ภาพถ่ายลักษณะภายนอกดังรูปที่ 4.31

ตารางที่ 4.30 ค่า Opacity ของฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าในท้องตลาดและฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้าดัดแปร

ความยาวคลื่น(นาโนเมตร)	ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าในท้องตลาด	ฟิล์มแป้งข้าวเจ้าดัดแปร
400	0.455	0.212
450	0.413	0.182
560	0.383	0.172
550	0.369	0.149
600	0.359	0.136



รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบความใสของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าดัดแปรและฟิล์มแป้งข้าวเจ้าจากท้องตลาด



รูปที่ 4.31 फिल्मที่ได้จากแป้งข้าวเจ้าตัดแปรและแป้งข้าวเจ้าในท้องตลาด

4.9 ผลการเปรียบเทียบ

จากการเปรียบเทียบผลของคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้จากแป้งข้าวเจ้าตัดแปรเมื่อเทียบกับฟิล์มประเภทอื่น พบว่า คุณสมบัติทางกลของฟิล์มที่ได้จากแป้งข้าวเจ้าตัดแปร ให้ฟิล์มที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า ฟิล์มที่ได้จากวัตถุดิบอื่นเกือบทั้งหมด -ขณะที่ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีค่าสูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นแต่ต่ำกว่า ฟิล์มที่ได้จาก แอมีโลส เวย์โปรตีนที่ผสมกับกลีเซอรอล โซเดียมเคซิเนท และกลูเตน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.31 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของฟิล์มบริโคโคได้และฟิล์มประเภทต่างๆ

ส่วนประกอบของฟิล์ม	วิธีการขึ้นรูป	Young's Modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
HPMC			69	10
MC			62	10
Starch			49	7
Amylose			70	23
Collagen:Cell:Gly(3.4:0.8:1)			3-11	25-50
Zein:PEG + Gly(2.6-5.9:1)			3-28	6-213
Gluten:Gly (2.5:1)			3	276
WPI:Gly(2.3:1)			14	31
LDPE			9-17	500
Polystyrene			35-55	1
Modifiedrice starch:water (1:14)	casting	63.03-109.10	7.66-15.11	1.09-2.01

ตารางที่ 4.32 เปรียบเทียบค่าการซึมผ่านไอน้ำของโพลิเมอร์ water vapor permeability

Film	Test Condition ^a	Permeability [(g.mm)/m ² .day.kPa]
HPMC:PEG(9:1)	25°C, 85/0% rh	6.5
SA:PA:HPMC:PEG	25°C,85/0% rh	0.048
BW/SA:PA:MC:HPMC:PEG	25°C,97/0% rh	0.058
HPMC	27°C,0/85% rh	9.1
HPMC:SA(1.25:1)	27°C,0/85% rh	0.026
Amylose	25°C,100/0% rh	31.6
Zein:Gly(4.9:1)	21°C,85/0% rh	9.6
Gluten:Gly(3.1:1)	21°C,85/0% rh	53
WPI:Gly(4:1)	25°C,0/77% rh ^b	70
WPI:BW:Sor(3.5:1.8:1)	25°C,0/98% rh ^b	5.3
Na casenate	25°C,0/81% rh ^b	37
Ca caseinate:BW(1.7:1)	25°C,0/97% rh ^b	3.6
Shellac	30°C,0/84% rh	0.72
BW	25°C,0/100% rh	0.021
LDPE	38°C,90/0% rh	0.079
Modified rice starch:water (1:14)	38°C,90/0% rh	10.51

ค่าการยอมให้ออกซิเจนผ่านได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ก่อนหน้านี้ของ P.Dole และคณะ [52] Forssell P และคณะ [49] จากผลการทดลองที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 68% เมื่อพิจารณาจากดัชนีการเปลี่ยนแปลงของค่า a พิล์มแป้งข้าวเจ้าดัดแปรมีการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวเงาคิดเป็น 10.6 เท่าของฟิล์ม พีพี ส่วนที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 55% พิล์มแป้งข้าวเจ้าดัดแปรมีการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวช้ากว่าเงาที่ห่อด้วยฟิล์มพีพี ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้น้อยกว่าฟิล์ม PP โดยคิดจากดัชนีสีค่า a เป็น 0.67 เท่าของฟิล์ม PP ผลจากปริมาณของกรดสเตียริกและปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าการยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้ไม่ให้ผลที่แตกต่างจากฟิล์มแป้งข้าวเจ้าดัดแปรชุดควบคุม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าตัดแปรที่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้อยู่ในช่วง 10:1 ถึง 16:1 ผลของความเข้มข้นของน้ำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรต่อคุณสมบัติทางกลพบว่า ค่า Tensile strength, Elongation, Young's Modulus และความหนา แปรผันตามความเข้มข้น คือที่ค่าความเข้มข้นลดลง Tensile strength, Elongation, Young's Modulus และความหนา จะมีค่าที่ลดลง โดยฟิล์มที่ได้มีค่า Tensile strength 9-13 MPa, Elongation 1-1.9%, Young's Modulus 63.03-1120 MPa ความหนา 0.017-0.033 mm

2. การเติมปริมาณอิลาสติคเจลไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Young's Modulus ในทุกความเข้มข้น ค่า Tensile strength มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะแตกต่างกัน ในแต่ละความเข้มข้น คือ ที่ความเข้มข้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าตัดแปร 10:1 Tensile strength มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอิลาสติคเจล ส่วนที่ความเข้มข้น 12:1 Tensile strength มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมอิลาสติคเจล 0.3 เท่าของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเป็น 0.5 เท่าของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร ที่ความเข้มข้น 14:1 และ 16:1 Tensile strength มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่า Elongation เมื่อเพิ่มปริมาณอิลาสติคเจล ที่ความเข้มข้น 10:1 Elongation มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอิลาสติคเจล ที่ความเข้มข้น 12:1 และ 14:1 Elongation มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอิลาสติคเจลที่ 0.1-0.3 และมีค่าลดลงเมื่อ เพิ่มปริมาณอิลาสติคเจล ที่ 0.5 เท่าของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร และที่ความเข้มข้น 16:1 ค่า Elongation มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอิลาสติคเจล

3. การเติมกลีเซอรอลลงในฟิล์มเป็นผลให้ค่า Tensile strength, Elongation มีค่าลดลง ขณะที่ค่า Young's Modulus และค่าความหนามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มที่มีกลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอิลาสติคเจลเพิ่มขึ้นแต่ในการทดลองครั้งนี้ยังไม่แสดงผลที่ชัดเจน และผลต่อการต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนไม่แสดงผลที่ชัดเจน ปริมาณกลีเซอรอลสามารถเติมได้สูงสุด 0.1 เท่า ของแป้งข้าวเจ้าตัดแปร

4. การเติมกรดสแตียริก เป็นผลให้ค่า Tensile strength, Elongation มีค่าลดลง ขณะที่ค่า Young's Modulus และค่าความหนามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มที่มี

กรดสเตียริกมีค่าลดลงเมื่อมีอิลาสติคเจลเป็นส่วนผสม พิล์มที่มีกรดสเตียริกแต่ไม่มีอิลาสติคเจลผสมในฟิล์มค่าการยอมให้ได้น้ำซึมผ่านได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดสเตียริกเพิ่มขึ้นปริมาณกรดสเตียริกสูงสุดที่ยังคงทำให้ฟิล์มสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ อยู่ที่ค่า 0.75 เท่าของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร ผลต่อการต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนยังไม่เป็นที่ชัดเจน

5. พิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปรต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี เมื่ออยู่ในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จากการศึกษาในครั้งนี้ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 55% พิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปรยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านได้น้อยกว่าการซึมผ่านได้ในฟิล์ม PP เป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของดัชนีสีค่า a ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวเงาอันเกิดจากการทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน มีค่า 0.67 เท่าของฟิล์ม PP ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 68% พิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปรยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านได้มากกว่าฟิล์มพีพี เป็นผลให้มีค่าดัชนีสี ค่า a มากกว่าฟิล์ม PP 10.6 เท่า

6. พิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปรมีความใสกว่าฟิล์มได้ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าที่มีอยู่ในท้องตลาด

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลจากปัจจัยต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าตัดแปร พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะบรรยากาศ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะความชื้นที่ต่างกันมีผลต่อการเกิดโครงสร้างผลึกแอมโลสในฟิล์มซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม [46,47] ในด้านคุณสมบัติในการยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้ของฟิล์มสามารถทำให้มีคุณสมบัติการยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้ลดลง เมื่อเติมกรดไขมันลงในฟิล์ม แต่อย่างไรก็ดี กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมีสภาวะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องอย่างกรดสเตียริกจะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับฟิล์ม ทำให้เพิ่มปริมาณช่องว่างให้ไอน้ำซึมผ่านได้มากขึ้น จึงควรใช้อิมัลซิไฟเออร์ หรือพอลิเมอร์ที่สามารถเข้ากันได้กับกรดไขมัน ในการศึกษาครั้งนี้อิลาสติคเจลซึ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังตัดแปร มีคุณสมบัติที่เข้ากันได้กับกรดไขมัน ทำให้ฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้ลดลงในระดับหนึ่ง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค่าความชื้นสัมพัทธ์กับคุณสมบัติของฟิล์ม
2. ควรศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติต้านการต้านการซึมผ่านได้ของไอน้ำด้วยการใช้อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ร่วมกับกรดไขมัน

รายการอ้างอิง

- [1]. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ สินค้าส่งออก
สำคัญ 2 รายการแรกของไทย ปี 2544-2549 [On line] แหล่งที่มา
http://www.ops2.moc.go.th/meeting/X_com10B.xls [20/5/2007]
- [2]. United States Department of Agriculture Grain:World Markets and Trade [On line]
The Foreign Agriculture Service (FAS) 2007 Available from
<http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf> [2007,May 20]
- [3]. สถาบันอาหาร ข้าวและผลิตภัณฑ์แปรรูปของไทย [On line] แผนกวิเคราะห์ข้อมูล ฝ่ายบริการ
ข้อมูลและสารสนเทศสถาบันอาหาร นุชจรินทร์ เกตุนิล 28 กพ.2549 แหล่งที่มา
<http://www.nfi.or.th/nfi/Cluster/pdf/profile-rice.pdf> [23/5/2007]
- [4]. สายฝน ตระกลสุทรัพย์. ความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบการส่งออกข้าวของประเทศไทยในปี
2529-2539 . วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและ
ทรัพยากร คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2543.
- [5]. Brody, L. A., Marsh S.K,1999 The Willey Encyclopedia of PackagingTechnology 2nd
edition A Willey – Interscience Publishtion p.397.
- [6]. Hansen, L. P., Hasek, R., Callan, M., and Jones, F.T. 1981. The development of
HighProtein Rice Flour for Early Childhood Feeding, Food Technology 35(11):38.
- [7]. Chastil, J 1990. Chemical and physiochemical changes of rice during storage at
different temperatures. J. Cereal Sci. 11:71-85.
- [8]. Hamaker, B.R. 1994. The influence of rice protein on rice quality. In Marshalland,
W.E., Wadsworth, J.I., eds. Rice Science and Technology, 177-193.
Newyork:Marcel Dekker Inc.
- [9]. Ramesh, M., Bhattachaya, K.R., and Mitchell, J.R. 2000. Developments in
understanding the basis of cooked-rice texture. Critical Reviews in Food Science
and Nutrition 40 (6): 449-460.
- [10]. Hosene, R.C. 1986. Principles of Cereal Science and Technology. St. Paul,
Minnesota: The American Association of Chemists, Inc.
- [11]. Morrison, W.R.1988. Lipids.In V. Pomeranz, ed., Wheat: Chemistry and
Technology. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc.
- [12]. Park, H. J. 2003. Edible coatings. In Zeuthen, P., and Bogh-Sorensen., eds.,

- Food preservative techniques. Woodheadpublishing Lmt and CRC Press LLC. Woodheadpublishing Lmt and CRC Press LLC.91-94.
- [13]. Mallikarjunan, P., Antonova, I., and Chinnan, M. S.. 2001. Modeling water vapor, gas, and solute transport through protein films. In Gennadios, A. ed., Protein Based Edible Films, 329-340. Boca Raton, FL :CRC Press.
- [14]. Jones, B. E. 1987 Capsule standards. In Ridaway, K., ed. Hard capsules developments and technology, 61-203. London: The Pharmaceutical Press.
- [15]. Juliano, B.O. 1985. Polysaccharides, Proteins and Lipids. In Juliano, B.O., ed. Rice chemistry and technology, 65-85. St. Paul, Minnesota: The American Association of Cereal Chemistry Inc.
- [16]. อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [17]. Moates, G.K., Noel, T.R., Parker, R., Ring S.G. 2001. Dynamic mechanical and dielectric characterization of amylose-glycerol films. Carbohydrate Polymers 44: 247-253.
- [18]. เกศศิณี ตระกูลทิวารกร, วิภา สุโรจนะเมธากุล, ประชา บุญญสิทธิ์กุล, สมยศ จรรยาวิลาศ. 2539. การทำฟิล์ม ที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง. อาหาร, ปีที่ 26 ฉบับที่ 4:249-262.
- [19]. Sasivimon Chittrakorn. 1997. Composite films from rice protein concentrate and modified rice starch. Master's Thesis, School of Environment Resource and Development Asian Institute of Technology.
- [20]. Myllärinen, P., Partanen, R., Seppälä, J., Forssell, P. 2002. Effect of glycerol on behaviour of amylose and amytopectin films. Carbohydrate Polymers 50: 355-361.
- [21]. Arvanitoyannis, I., Nakayama, A., Aiba, S. 1998. Chitosan and gelatin based edible film:state diagrams, mechanical and permeation properties. Carbohydrate Polymers 37: 371-382.
- [22]. US Patent 6528088 Gilleland,G.M. Tuner, J.L. Patton ,P.A. Harrison, M.D. Highly flexible starch-based films Assignee A.E. Stanley Manufacturing Co., Decatur IL.
- [23]. Duong Thi Phuong Lien. 1999. Quality evaluation of composite alginate based films . Master's Thesis, School of Environment Resource and Development

Asian Institute of Technology.

- [24] Parra, D.F., Tadini, C.C., Ponce, P., Lugão, A.B. 2004. Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers*, 58: 475-481.
- [25]. Hernández-Muñoz,P., Villalobos, R., Amparo, C. 2004 . Effect of thermal treatments on functional properties of edible films made from wheat gluten tractions. *Food hydrocolloids*, 18: 647-654.
- [26]. Ayranci, E., Tune, S. 2001. The effect of fatty acid content on water vapour and carbon dioxide transmissions of cellulose-based edible films. *Food Chemistry*,72: 231-236.
- [27]. Thomas, D. J., Atwell, W.A. 1997. *Starch Ergon Handbook Series*. USA. Eagan Press.
- [28.] Becker, A., Hill ,S.E., and Mitchell ,J.R. 2001. Milling- a further parameter affecting the rapid Visco Analyser(RVA)profile. *Cereal Chem*, 78: 166-172.
- [29]. ก้านรงค์ ศรีรอด. 2548. การผลิตแป้งข้าวเจ้าโปรตีนต่ำโดยวิธีการทางเคมีและชีวภาพและการใช้ประโยชน์ [online]. กรุงเทพฯ: ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ: [http://rde.biotech.or.th/rdedocs/Proposal/457PP/AbstractCTh.doc [20/5/2005].
- [30]. จารุณี ยาห้องาศ. 2543. การผลิตคาร์โบไฮเดรตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและเพคติน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ว.,
- [31]. สมศักดิ์ รักดีวารภรณ์ 2544. การผลิตฟิล์มรับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [32]. Tharanathan, R.N. 2003. Biodegradable films and composite coatings : past , present and future. *Trend in food science & Technology*, 14: 71-78.
- [33]. Arvanitoyannis, I., Nakayama, A., Aiba, S. 1998. Edible films made from hydroxypropyl starch and gelatin plasticized by polyols and water. *Carbohydrate Polymers*, 36: 105-119.
- [34]. Thomas, D.J., Atwell, W.A. 1997. *Starches Eagan Handbook Series*. USA: Eagan Press.
- [35]. Park, J.H., Chinnan, S.M. 1995 Gas and water vapor barrier properties of edible

- films from protein and cellulose materials. *Journal of Food Engineering* ,25: 497-507
- [36]. Ayranci, E., Büyüktas, S.B., Cetin, E.E. 1997. The effect of molecular weight of constituents on properties of cellulose-based edible films. *Lebensm.-Wiss.u.Technol*, 30:101–104.
- [37]. Shewfelt, L. R., Prussia, E., S., Resurreccion, V. A., Hurst, C. W. and Campbell, T.D., 1987. Quality changes of vine-ripened tomatoes within the post harvest handling system. *Journal of Food Science* 52(3): 72-661.
- [38]. Ben-Yehoshua, S. 1969. Gas exchange, transportation, and the commercial deterioration in storage of orange fruit. *Journal of American Society Horticultural Science*, 94: 8-524.
- [39]. Smock, M. R., 1940. Some addition effects of waxing apples. *Journal of American Society Horticultural Science*, 37: 52-448.
- [40]. Park, J. H., Chinnan, S.M., Shewfelt, L. R. 1994. Edible corn-zein film coatings to extend storage life of tomatoes. *J Food Proc Pres* 18: 31-317.
- [41]. Lourdin, D., Della Valle, G., & Colonna, P. 1995. Influence of amylase content on starch films and foams. *Carbohydrate Polymers.*, 27: 261-270.
- [42]. Riku, A. T., Harry, H., Yrjö, H. R. Kirsi, J. 2007. Effect of various polyols and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films. *Carbohydrate polymers*, 67: 288-295.
- [43]. Bader, H. G., Göritz, D. 1994. Investigations on high amylase corn starch film Part 3: Stress strain behaviour, *Starch/Stärke*, 46(11): 435-439.
- [44]. Rindlav-Westling, Å., Stading, M., Hermansson, A.-M., Gatenholm, P. 1998. Structure, mechanical and barrier properties of amylase and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers*, 36(2-3): 217-224.
- [45]. Miles, M. J., Morris, V. J., Ring, S. G. 1985. Gelation of amylase. *Carbohydrate Res* 135:257-269.
- [46]. Myllärineb, P., Buleon, A., Lahtinen, R., Forssell, P. 2002. The crystallinity of amylase and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers* , 48: 41-42.
- [47]. Hegde, R. R., Kamath, M. G., Dahiya A., Polymer crystallinity [online][Wadsworth Larry C.(electronic class of material science and engineering The University of

Tennessee) available from

<http://web.utk.edu/~mse/pages/Textiles/Polymer%20Crystallinity.htm>[2007, 9 April]

- [48]. Scandola, M., Ceccorulli, G., and Pizzoli M., *Int J. Biol.Macromol.*, 1991, 13: 254.
- [49]. Forssell, P., Lahinen, R., Lahelin, M., Myllärinen, P. 2002. Oxygen permeability of amylase and Amylopectin films. *Carbohydrate polymers*, 47: 125-129.
- [50]. Fisher, R. A., *Statistical Method for Research Workers*. Oliver and Boyd, Edindurg.
- [51]. กลุ่มศึกษาการค้าเสรีภาคประชาชน เปิดร่างยุทธศาสตร์ข้าวไทย 2547-2551 [online] มติชน 10 มิย.2547 แหล่งที่มา
<http://www.ftawatch.org/cgi-bin/content/news/show.pl?2197> [23/5/2007]
- [52]. Dole, P., Joly ,C., Espuche, E.,Alric, I., Gontard, N. 2004. Gastransport properties of starch based films *Carbohydrate Polymers* 58:335-34.
- [53]. Konica Minolta Sensing Inc. Konica Minolta Precise color communication[online]. Konica Minolta Sensing Inc., 2003 available from
<http://www.konicaminoltaeurope.com/pcc/en/part1/07.html>[2007, May1].
- [54]. Marshall, M. R., Kim, J., Wei, C. 2000. Enzymatic browning in Fruits, Vegetables and Seafoods[online]. Chief, Publishing and Multimedia Service FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy(Distributor), available from
<http://www.fao.org/ag/Ags/agssi/ENZYMFINAL/Enzymatic%20Browning.html>[2007, August 6]
- [55]. นิธิยา รัตนานนท์. 2549. เคมีอาหาร:ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล. พิมพ์ครั้งที่ 2.กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- [56]. Casey Rod, Starch structure [online],. John Innes Center.(Distributor), 2006 available from <http://www.jic.ac.uk/staff/cliff-hedley/Starch.html> [2007 August 6].



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ก1.1 ปัจจัยจากความเข้มข้นของน้ำแข็งต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม

ตารางที่ ก1.1 Tensile strength ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน

ความเข้มข้น (น้ำหนักน้ำ/หนึ่งหน่วยน้ำหนักแข็ง ข้าวเจ้าตัดแปร)	(MPa)					ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5		
10	13.54	15.83	12.17	9.40	13.40	12.87	2.35
12	9.83	8.45	10.47	11.21	11.88	10.37	1.31
14	8.73	10.65	8.71	9.93	9.02	9.41	0.85
16	9.05	10.04	7.99	7.48	11.70	9.26	1.68

ตารางที่ ก1.2 Elongation ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน

ความเข้มข้นน้ำหนักน้ำ/หนึ่งหน่วยน้ำหนัก แข็งข้าวเจ้าตัดแปร	Elongation (%)					ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5		
10	2.00	1.42	1.83	1.95	1.76	1.79	0.23
12	1.50	1.67	1.67	2.00	2.00	1.77	0.22
14	1.67	1.67	1.33	1.67	1.45	1.56	0.16
16	1.50	1.37	1.33	1.10	1.05	1.27	0.19

ตารางที่ ก1.3 ค่า Young's Modulus ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นน้ำหนักน้ำ/ หนึ่งหน่วยน้ำหนักแข็ง ข้าวเจ้าตัดแปร	Young's Modulus (MPa)					ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5		
10	937.38	878.80	878.80	1222.67	969.71	977.47	153.54
12	851.24	807.59	807.59	787.40	715.82	793.93	49.50
14	713.23	886.71	863.38	729.08	800.20	798.52	89.59
16	803.47	915.58	546.81	757.12	915.58	787.71	151.59

ตารางที่ ก1.4 ผลของความหนาของฟิล์มที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้น			
	10	12	14	16
1	0.031	0.034	0.023	0.018
2	0.026	0.025	0.026	0.016
3	0.027	0.022	0.026	0.017
4	0.026	0.031	0.023	0.018
5	0.029	0.023	0.018	0.016
6	0.028	0.024	0.018	0.019
7	0.027	0.020	0.025	0.018
8	0.026	0.025	0.024	0.021
9	0.021	0.026	0.023	0.021
10	0.023	0.027	0.018	0.016
11	0.027	0.022	0.035	0.016
12	0.034	0.021	0.025	0.023
13	0.024	0.027	0.035	0.016
14	0.029	0.022	0.025	0.024
15	0.049	0.033	0.020	0.026
16	0.034	0.023	0.021	0.019
17	0.034	0.024	0.020	0.029
18	0.023	0.023	0.031	0.018
19	0.030	0.033	0.021	0.020
20	0.019	0.023	0.019	0.023
ค่าเฉลี่ย	0.028	0.025	0.024	0.020
SD	0.006	0.004	0.005	0.004

ตารางที่ ก1.5 ปริมาณน้ำอิสระที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (น้ำหนักน้ำ/หนึ่ง หน่วยน้ำหนัก ของแป้งข้าวเจ้า ตัดแปร)	a_w			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
10	0.669	0.624	0.664	0.652	0.025
12	0.697	0.694	0.678	0.689	0.010
14	0.745	0.741	0.736	0.741	0.004
16	0.720	0.728	0.728	0.725	0.005

ก2. ผลของการผสมแป้งข้าวเจ้าตัดแปรด้วยอิลาสติคเจลต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม

ตารางที่ ก2.1 แสดงผลของปริมาณอิลาสติคเจล ต่อคุณสมบัติ tensile strength

อัตราส่วน	อัตราส่วน						ค่าเฉลี่ย	SD
โดย น้ำหนัก ของน้ำ/ หนึ่ง หน่วย แป้งข้าว เจ้าตัด แปร	โดย น้ำหนัก ของอิลา สติคเจล/ หนึ่ง หน่วย แป้งข้าว เจ้าตัด แปร	1	2	3	4	5		
10	0.0	13.54	15.83	12.17	9.40	13.39	12.87a	2.34
	0.1	8.97	11.46	9.97	11.77	9.87	10.41b	1.17
	0.3	9.37	8.79	10.03	8.73	11.35	9.65b	1.08
	0.5	9.98	10.16	7.87	8.76	9.79	9.31b	0.97

12	0	9.83	8.45	10.47	11.21	11.88	10.37c	1.31
	0.1	9.85	12.03	8.93	10.94	13.62	11.07c	1.83
	0.3	12.91	15.30	13.13	13.48	13.25	13.62d	0.96
	0.5	9.83	8.30	10.99	10.23	10.30	9.93c	1.00
14	0	8.73	10.65	8.71	9.93	9.02	9.41e	0.85
	0.1	11.08	13.95	11.12	10.60	12.32	11.82ef	1.35
	0.3	11.40	11.81	14.20	13.50	12.11	12.60f	1.19
	0.5	11.31	10.43	14.36	16.58	15.68	13.67f	2.69
16	0	9.05	10.04	7.99	7.48	11.70	9.25g	1.68
	0.1	17.15	15.54	15.57	13.55	12.90	14.94gh	1.71
	0.3	10.28	10.34	9.55	12.30	10.31	10.56h	1.03
	0.5	11.33	10.14	12.41	10.97	13.97	11.76i	1.48

หมายเหตุ: a,b,c,d,e,f,g,h,i แสดงค่าความแตกต่างที่นัยสำคัญที่ 95%

ตารางที่ ก2.2 ผลของปริมาณอิลาสติคเจล ต่อคุณสมบัติ Elongation

อัตราส่วน	อัตราส่วน							
โดย	โดย							
น้ำหนัก	น้ำหนัก							
ของน้ำ/	ของอิลา							
หนึ่ง	สติคเจล/							
หน่วย	หนึ่ง							
แป้งข้าว	หน่วย							
เจ้าตัด	แป้งข้าว							
แปร	เจ้าตัด							
	แปร							
		1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย	SD
10	0	2	1.42	1.83	1.95	1.76	1.792ef	0.23
	0.1	1.5	1.67	1.83	1.67	1.5	1.634e	0.14
	0.3	1.91	1.59	1.96	2.18	2.29	1.99f	0.27
	0.5	2.17	2.17	2.170	2.17	1.5	2.036f	0.29

12	0	1.5	1.67	1.67	2.00	2.00	1.77cd	0.22
	0.1	2.06	1.67	1.33	1.83	2.17	1.81cd	0.33
	0.3	1.48	2.38	2.19	2.05	2.19	2.06d	0.34
	0.5	1.88	1.5	1.69	1.33	1.33	1.55c	0.24
14	0	1.67	1.67	1.33	1.67	1.45	1.56a	0.16
	0.1	1.67	2.00	1.83	2.00	1.83	1.87b	0.14
	0.3	1.69	1.65	1.84	2.10	1.76	1.81ab	0.18
	0.5	1.67	1.17	1.52	1.83	1.67	1.57a	0.25
16	0	1.50	1.37	1.33	1.10	1.05	1.27g	0.19
	0.1	2.17	2.17	2.00	1.67	1.83	1.97h	0.2
	0.3	1.65	1.76	1.93	2.06	1.79	1.84h	0.16
	0.5	2.17	1.33	2.00	1.83	2.33	1.93h	0.38

หมายเหตุ: a,b,c,d,e,f,g,h,i แสดงค่าความแตกต่างที่นัยสำคัญที่ 95%

ตารางที่ ก2.3 ผลของปริมาณอิลาสติคเจล ต่อคุณสมบัติ Young's Modulus

อัตราส่วน โดย น้ำหนัก ของน้ำ/ หนึ่ง หน่วย แป้งข้าว เจ้าตัด แปร	อัตราส่วน โดย น้ำหนัก ของอิลา สติคเจล/ หนึ่ง หน่วย แป้งข้าว เจ้าตัด แปร	อัตราส่วน (MPa)					ค่าเฉลี่ย	SD
		1	2	3	4	5		
10	0	937.38	878.80	878.80	1222.67	969.71	977.47	153.54
	0.1	798.58	964.95	723.71	857.74	681.14	805.23	112.19
	0.3	1064.06	886.71	608.03	665.04	665.04	777.77	192.39
	0.5	775.77	749.91	899.89	803.47	865.28	818.86	62.39

12	0	851.24	807.59	807.59	787.40	715.82	793.93	49.50
	0.1	937.38	846.67	905.06	937.38	729.08	871.11	87.62
	0.3	969.71	937.38	852.17	878.80	827.10	893.03	59.30
	0.5	690.70	749.91	874.89	905.06	972.10	838.53	115.43
14	0	713.23	886.71	863.38	729.08	800.20	798.52	89.59
	0.1	815.12	925.27	796.16	796.16	877.82	842.10	57.31
	0.3	796.97	917.72	818.50	917.72	818.50	853.88	58.93
	0.5	937.38	994.19	1093.61	1312.34	1261.86	1119.87	163.55
16	0	803.47	915.58	546.81	757.12	915.58	787.71	151.59
	0.1	1222.67	1104.35	1104.35	1069.84	855.87	1071.42	133.71
	0.3	1215.13	1093.61	1261.86	698.05	698.05	993.34	276.47
	0.5	926.35	851.24	807.59	807.59	874.89	853.53	49.96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.2.4 ผลของปริมาณอิลาสติคเจลต่อความหนา (มม.)

ตัวอย่าง ที่	10 (น้ำหนักน้ำ/น้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปง)				12 (น้ำหนักน้ำ/น้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปง)				14 (น้ำหนักน้ำ/น้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปง)				16 (น้ำหนักน้ำ/น้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปง)			
	0	0.1	0.3	0.5	0	0.1	0.3	0.5	0	0.1	0.3	0.5	0	0.1	0.3	0.5
	(น้ำหนักอิลาสติคเจล/น้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปง)				(น้ำหนักอิลาสติคเจล/น้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปง)				(น้ำหนักอิลาสติคเจล/น้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปง)				(น้ำหนักอิลาสติคเจล/น้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปง)			
1	0.031	0.039	0.059	0.038	0.034	0.027	0.033	0.024	0.023	0.018	0.022	0.025	0.018	0.020	0.036	0.017
2	0.026	0.038	0.040	0.041	0.025	0.023	0.024	0.029	0.026	0.025	0.024	0.022	0.016	0.025	0.029	0.021
3	0.027	0.045	0.027	0.038	0.022	0.024	0.027	0.026	0.026	0.023	0.024	0.026	0.017	0.026	0.031	0.029
4	0.026	0.034	0.028	0.038	0.031	0.031	0.023	0.035	0.023	0.022	0.027	0.032	0.018	0.029	0.035	0.022
5	0.029	0.030	0.038	0.032	0.023	0.037	0.030	0.026	0.018	0.019	0.022	0.024	0.016	0.030	0.029	0.021
6	0.028	0.025	0.021	0.031	0.024	0.038	0.029	0.023	0.018	0.024	0.023	0.027	0.019	0.022	0.031	0.031
7	0.027	0.048	0.041	0.042	0.020	0.025	0.024	0.030	0.025	0.019	0.021	0.024	0.018	0.024	0.026	0.018
8	0.026	0.029	0.038	0.031	0.025	0.031	0.032	0.031	0.024	0.021	0.025	0.017	0.021	0.015	0.026	0.023
9	0.021	0.031	0.032	0.036	0.026	0.028	0.028	0.023	0.023	0.022	0.036	0.027	0.021	0.028	0.026	0.024
10	0.023	0.036	0.037	0.030	0.027	0.028	0.031	0.025	0.018	0.023	0.030	0.021	0.016	0.026	0.021	0.021
11	0.027	0.042	0.059	0.028	0.022	0.027	0.025	0.022	0.035	0.021	0.022	0.018	0.016	0.016	0.021	0.029
12	0.034	0.031	0.039	0.043	0.021	0.026	0.033	0.037	0.025	0.021	0.023	0.026	0.023	0.018	0.022	0.021
13	0.024	0.031	0.037	0.040	0.027	0.033	0.024	0.028	0.035	0.031	0.026	0.020	0.016	0.030	0.024	0.022

14	0.029	0.030	0.051	0.033	0.022	0.031	0.027	0.025	0.025	0.027	0.028	0.022	0.024	0.025	0.018	0.028
15	0.046	0.028	0.048	0.025	0.033	0.026	0.029	0.031	0.020	0.030	0.038	0.023	0.026	0.019	0.013	0.032
16	0.034	0.036	0.039	0.030	0.023	0.029	0.019	0.049	0.021	0.021	0.035	0.034	0.019	0.020	0.017	0.028
17	0.034	0.029	0.029	0.045	0.024	0.028	0.030	0.024	0.020	0.023	0.018	0.021	0.029	0.022	0.021	0.026
18	0.023	0.026	0.025	0.032	0.023	0.034	0.029	0.034	0.031	0.029	0.029	0.023	0.018	0.025	0.020	0.033
19	0.030	0.034	0.027	0.029	0.033	0.027	0.025	0.035	0.021	0.021	0.028	0.022	0.020	0.020	0.024	0.022
20	0.019	0.031	0.031	0.035	0.023	0.037	0.029	0.035	0.019	0.023	0.023	0.020	0.023	0.021	0.021	0.032
ค่าเฉลี่ย	0.028	0.034	0.037	0.035	0.025	0.030	0.028	0.030	0.024	0.023	0.026	0.024	0.020	0.023	0.025	0.025
SD	0.006	0.006	0.011	0.006	0.004	0.004	0.004	0.007	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.006	0.005

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก2.5 ผลจากปริมาณกลีเซอรอลต่อ Tensile strength
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร : อีลาสติคเจล : น้ำ = 1:0:14)

กลีเซอรอล (%ของน้ำหนักแป้ง ข้าวเจ้าตัดแปร)	(MPa)					ค่าเฉลี่ย	SD
0	30.52	23.99	29.39	35.19	36.51	31.12	4.99
0.5	28.45	23.16	23.22	24.15	27.28	25.25	2.45
4	19.15	20.50	20.30	26.39	29.13	23.09	4.40
10	16.01	18.69	19.55	18.75	14.14	17.43	2.27

ตารางที่ ก2.6 ผลจากปริมาณกลีเซอรอลต่อ Elongation

กลีเซอรอล (%ของน้ำหนักแป้ง ข้าวเจ้าตัดแปร)	(%)					ค่าเฉลี่ย	SD
0	1.50	1.33	1.50	1.83	1.88	1.61	0.24
0.5	1.83	1.83	2.33	2.17	2.83	2.20	0.41
4	1.67	1.67	1.83	1.33	1.50	1.60	0.19
10	1.17	1.17	1.50	1.17	1.17	1.24	0.15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก2.7 ผลจากปริมาณกลีเซอรอลต่อ Young's Modulus

กลีเซอรอล (%ของน้ำหนัก แป้งข้าวเจ้าตัด แปร)	(MPa)	ค่าเฉลี่ย	SD
0	2139.68	2236.94	2236.94
0.5	1499.81	1630.23	1442.13
4	2252.29	2072.11	1593.93
10	1562.30	1640.42	1491.29

ตารางที่ ก2.8 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าความหนา (มม.)

ตัวอย่างที่	กลีเซอรอล (%ของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร)			
	0	0.5	4	10
1	0.017	0.024	0.020	0.022
2	0.017	0.017	0.023	0.024
3	0.020	0.016	0.017	0.022
4	0.022	0.019	0.029	0.024
5	0.026	0.022	0.021	0.023
6	0.023	0.020	0.021	0.019
7	0.015	0.026	0.018	0.023
8	0.022	0.018	0.019	0.021
9	0.019	0.023	0.018	0.021
10	0.017	0.019	0.012	0.018
11	0.029	0.023	0.017	0.028
12	0.024	0.025	0.020	0.023
13	0.023	0.022	0.020	0.027
14	0.019	0.020	0.021	0.025
15	0.018	0.020	0.020	0.022

16	0.015	0.019	0.017	0.026
17	0.014	0.019	0.017	0.024
18	0.019	0.016	0.017	0.037
19	0.020	0.015	0.019	0.020
20	0.019	0.025	0.017	0.022
ค่าเฉลี่ย	0.020	0.021	0.019	0.024
SD	0.004	0.003	0.003	0.004

ก3 ผลของกรดสเทียริกต่อคุณสมบัติทางกล

ตารางที่ ก3.1 ผลของปริมาณกรดสเทียริกต่อ Tensile strength

(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

ปริมาณกรดสเทียริก(%)	(MPa)					ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5		
0	8.73	10.65	8.71	9.92	9.02	9.41	0.85
0.5	16.19	16.52	11.65	13.23	13.52	14.22	2.08
0.75	6.14	6.43	9.47	4.28	5.84	6.43	1.89

ตารางที่ ก3.2 ผลของปริมาณกรดสเทียริกต่อ Elongation

(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

ปริมาณกรดสเทียริก(%)	(%)					ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5		
0	1.67	1.67	1.33	1.67	1.45	1.56a	0.16
0.5	1.67	1.67	1.83	1.5	1.67	1.67a	0.12
0.75	1.83	1.33	1.17	1	1.28	1.32b	0.31

ตารางที่ ก3.3 ผลของกรดสเตียริกต่อค่า Young's modulus

(แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

กรดสเตียริก(%)	(MPa)						
	1	2	3	4	5	Avg	Sd
0	713.23	886.71	863.38	729.08	800.20	7798.52	89.59
0.5	1131.32	994.19	911.34	1131.32	1015.74	1036.78	94.69
0.75	630.93	1058.33	1093.61	1312.34	1171.73	1053.39	255.53

ตารางที่ ก3.4 ผลของปริมาณกรดสเตียริกต่อค่าความหนา (มม.)

(แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

ตัวอย่างที่	กรดสเตียริก (%ของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป)		
	0	0.5	0.75
	1	0.023	0.029
2	0.026	0.023	0.032
3	0.026	0.029	0.030
4	0.023	0.015	0.032
5	0.018	0.028	0.037
6	0.018	0.025	0.019
7	0.025	0.029	0.022
8	0.024	0.023	0.032
9	0.023	0.023	0.029
10	0.018	0.017	0.017
11	0.035	0.024	0.028
12	0.025	0.025	0.019
13	0.035	0.026	0.025
14	0.025	0.026	0.032
15	0.020	0.020	0.015
16	0.021	0.019	0.027

17	0.020	0.025	0.035
18	0.031	0.024	0.015
19	0.021	0.019	0.022
20	0.019	0.023	0.020
Avg	0.023	0.046	0.061
SD	0.005	0.004	0.007

ก4 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำ

ตารางที่ ก4.1 ค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ต่างกัน
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0.3:14)

ปริมาณกลีเซอรอล(%)	WVP (g.mm/m ² .day.kPa)				
	1	2	3	Avg	SD
0	12.89	12.55	12.53	12.66	0.20
0.5	11.38	11.29	11.12	11.26	0.14
1	12.04	12.86	12.04	12.31	0.47

ตารางที่ ก4.2 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ต่างกัน
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

ปริมาณกลีเซอรอล(%)	WVP (g.mm/m ² .day.kPa)				
	1	2	3	Avg	SD
0	10.69	10.51	10.33	10.51	0.18
1	13.09	11.08	11.31	11.08	2.02
10	10.33	9.06	8.48	11.31	2.83

ก5 ผลของปริมาณกรดสเตรียริคต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำ

ตารางที่ ก5.1 แสดงผลของปริมาณกรดสเตรียริคต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0.3:14)

ปริมาณกรดสเตรียริค(%)	WVP g.mm/m ² .day.kPa				
	(g.mm/m ² .day.KPa)	Avg	Sd		
0	13.97	13.59	13.57	13.71	0.22
0.5	13.93	14.04	13.19	13.72	0.46
0.75	13.12	13.05	12.27	12.81	0.47

ตารางที่ ก5.2 แสดงผลของปริมาณกรดสเตรียริคต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

ปริมาณกรดสเตรียริค(%)	WVP g.mm/m ² .day.kPa				
	(g.mm/m ² .day.KPa)	Avg	Sd		
0	10.53	10.45	10.56	10.51	0.06
0.5	13.45	10.81	8.16	10.81	2.64
0.75	13.11	12.71	13.87	13.23	0.59

ก6 การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์ม

ตารางที่ ก6.1 การเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวเงาะอบแห้งค่า Lที่ 68%RH
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

วันที่	PP	ฟิล์มแป้งข้าว	ฟิล์มแป้งข้าว +	
			0.75%กรดสเตรียริค	0.75%กลีเซอรอล
0	59.13	53.27	49.31	53.95
	53.10	55.17	58.48	52.30
	55.67	51.06	51.64	59.91

Avg	55.97	53.17	53.14	55.39
SD	3.03	2.06	4.77	4.00
2	41.64	39.33	38.41	39.29
	40.84	39.1	40.87	38.49
	42.55	39.68	39.84	40.2
Avg	41.77	39.37	39.71	39.32
SD	0.86	0.29	1.24	0.86
3	42.75	38.85	40.02	39.60
	40.43	38.88	39.93	40.02
	41.80	39.62	-	39.93
Avg	41.66	39.12	39.97	39.85
SD	1.17	0.44	0.06	0.22
6	42.49	37.87	39.02	37.05
	40.38	38.76	38.19	36.89
	41.62	37.89	-	37.86
Avg	41.50	38.17	38.60	37.27
SD	1.06	0.51	0.59	0.52

ตารางที่ ก6.2 สีที่ผิวเงาอบแห้งค่า a ที่ 68%RH
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

วันที่	PP	ฟิล์มแป้งข้าว	ฟิล์มแป้งข้าว + 0.75%กรดสเดี่ยริค	ฟิล์มแป้งข้าว + 0.75%กลีเซอรอล
0	0.29	0	0.55	0.24
	0.01	0.01	-0.53	0.13
	-0.02	0.12	0	0.17
Avg	0.09	0.04	0.01	0.18
SD	0.18	0.07	0.54	0.06
2	0.12	1.85	2.31	1.96
	0.19	1.24	0.83	1.34
	0.34	1.67	1.3	1.84
Avg	0.22	1.59	1.48	1.71

SD	0.11	0.31	0.76	0.33
3	0.27	1.73	0.93	1.68
	0.34	1.41	1.59	0.93
	0.54	1.06	-	1.59
Avg	0.38	1.40	1.26	1.4
SD	0.14	0.33	0.47	0.41
6	0.15	1.32	1.06	1.45
	0.24	0.82	1.16	1.32
	0.52	1.16	-	1.61
Avg	0.30	1.1	1.11	1.46
SD	0.19	2.56	0.07	0.15

ตารางที่ ก6.3 สีที่ผิวเงาอบแห้งค่า b ที่ 68%RH
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

วันที่	PP	ฟิล์มแป้งข้าว	ฟิล์มแป้งข้าว + 0.75%กรดสแตียริก	ฟิล์มแป้งข้าว + 0.75%กลีเซอรอล
0	7.39	7.18	7.00	7.54
	6.48	7.59	7.82	6.93
	7.34	5.18	6.29	5.09
Avg	7.07	6.65	7.04	6.52
SD	0.51	1.29	0.77	1.27
2	3.21	4.12	3.41	4.17
	3.03	3.96	3.59	3.62
	3.75	4.96	3.59	4.94
Avg	3.33	4.35	3.53	4.24
SD	0.37	0.55	0.10	0.66
3	3.93	4.19	3.89	4.03
	3.49	4.15	3.86	3.89
	3.37	5.03	-	3.86
Avg	3.60	4.46	3.87	3.93
SD	0.29	0.49	0.02	0.09

6	3.75	4.76	3.78	3.67
	3.16	5.19	3.86	3.49
	4.18	4.22	-	4.72
Avg	3.70	4.72	3.82	3.96
SD	0.51	0.49	0.06	0.66

ตารางที่ ก6.4 สีที่ผิวเงาอบแห้งค่า L ที่ 55%RH
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อิลาสติคเจล:น้ำ = 1:0:14)

วันที่	PP	ฟิล์มแป้งข้าว	ฟิล์มแป้งข้าว + 0.75%กรดสเดียม ริค	ฟิล์มแป้งข้าว + 0.75%กลีเซอรอล
0	55.66	54.37	53.46	54.59
	55.39	54.04	55.84	51.01
	57.18	52.09	49.30	55.22
Avg	56.08	53.50	52.87	53.61
SD	0.97	1.23	3.31	2.27
2	42.58	41.81	40.22	42.72
	41.39	41.73	42.07	40.19
	43.40	38.80	39.96	40.65
Avg	42.46	40.78	40.75	41.19
SD	1.01	1.72	1.15	1.35
3	41.65	40.93	40.33	40.19
	42.36	40.35	40.22	39.45
	41.75	38.51	39.79	39.76
Avg	41.92	39.93	40.11	39.80
SD	0.38	1.26	0.29	0.37
6	41.04	39.99	39.34	39.80
	41.90	41.04	39.74	39.90
	40.96	38.48	39.05	39.42
Avg	41.30	39.84	39.38	39.71
SD	0.52	1.29	0.35	0.25

ตารางที่ ก 6.5 สีที่ผิวเงาอบแห้งค่า a ที่ 55% RH
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร อีลาสติคเจล น้ำ = 1:0:14)

วันที่	PP	ฟิล์มแป้งข้าว	ฟิล์มแป้งข้าว + 0.75%กรดสเดียมยวค	ฟิล์มแป้งข้าว + 0.75%กลีเซอรอล
0	-0.24	0.08	-0.25	-0.24
	-0.45	0.64	0.10	-0.04
	-0.38	0.73	0.14	0
Avg	-0.36	0.48	0	-0.09
SD	0.11	0.35	0.21	0.13
2	-0.05	0.62	0.43	0.79
	-0.08	1.14	0.27	0.43
	-0.20	0.19	0.46	0.53
Avg	-0.11	0.65	0.39	0.58
SD	0.08	0.48	0.10	0.19
3	0.27	0.96	0.74	0.77
	0.19	1.26	0.79	0.87
	0.18	1.43	0.75	0.84
Avg	0.21	1.22	0.76	0.83
SD	0.05	0.24	0.03	0.05
6	0.48	0.87	1.00	0.61
	0.25	1.06	0.54	0.69
	0.32	1.03	0.75	0.56
Avg	0.35	0.99	0.76	0.62
SD	0.12	0.10	0.23	0.07

ตารางที่ ก 6.5 สีที่ผิวเงาอบแห้งค่า b ที่ 55% RH
(แป้งข้าวเจ้าตัดแปร อีลาสติคเจล น้ำ = 1:0:14)

วันที่	PP	ฟิล์มแป้งข้าว	ฟิล์มแป้งข้าว + 0.75%กรดสเตรียวิค	ฟิล์มแป้งข้าว + 0.75%กลีเซอรอล
0	7.73	6.73	8.33	6.73
	7.30	8.15	6.72	6.58
	6.91	6.90	6.83	8.05
Avg	7.31	7.26	7.29	7.12
SD	0.41	0.78	0.89	0.81
2	4.54	5.22	4.45	5.67
	3.95	5.92	5.17	3.57
	4.92	3.97	4.98	4.22
Avg	4.47	5.03	4.87	4.49
SD	0.49	0.99	0.37	1.07
3	4.20	4.33	4.29	4.64
	3.18	5.66	4.17	3.55
	3.49	3.95	4.67	4.48
Avg	3.62	4.65	4.38	4.22
SD	0.52	0.89	0.26	0.59
6	3.97	4.64	4.67	4.72
	3.66	6.27	4.43	3.88
	4.38	4.43	4.53	4.56
Avg	4.00	5.11	4.54	4.39
SD	0.36	1.01	0.12	0.45

ภาคผนวก ข.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ข1 ผลของความเข้มข้นต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม

ผลของความเข้มข้นต่อค่า Tensile strength

ANOVA

Tensile strength

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	41.813	3	13.938	5.153	.011
Within Groups	43.273	16	2.705		
Total	85.086	19			

Duncan

WATER	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
16	5	9.2540	
14	5	9.4100	
12	5	10.3700	
10	5		12.8680
Sig.		.325	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ผลของความเข้มข้นต่อค่า Elongation

ANOVA

Elongation

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.879	3	.293	7.178	.003
Within Groups	.653	16	.041		
Total	1.531	19			

Duncan

WATER	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
16	5	1.2700	
14	5		1.5580
12	5		1.7680
10	5		1.7920
Sig.		1.000	.101

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ผลของความเข้มข้นต่อค่า Young's Modulus

ANOVA

MODULUS

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1181.943	3	393.981	3.126	.055
Within Groups	2016.696	16	126.043		
Total	3198.638	19			

Duncan

WATER	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
16	5	77.1980	
12	5	77.8040	
14	5	79.4000	
10	5		95.7900
Sig.		.773	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ผลของความเข้มข้นต่อค่าความหนา

ANOVA

thickness

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	3	.000	11.019	.000
Within Groups	.002	76	.000		
Total	.002	79			

Duncan

water	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
16.00	20	.019700		
14.00	20		.023800	
12.00	20		.025400	.025400
10.00	20			.028200
Sig.		1.000	.294	.068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

ผลของความเข้มข้นต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ

ANOVA

AW

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.014	3	.005	24.702	.000
Within Groups	.002	8	.000		
Total	.015	11			

Duncan

WATER	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
10.00	3	.652333		
12.00	3		.689667	
16.00	3			.725333
14.00	3			.740667
Sig.		1.000	1.000	.209

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ข2 ผลของปริมาณอิลาสติคเจลต่อคุณสมบัติทางกล

ผลของปริมาณอิลาสติคเจลต่อ Tensile strength

ความเข้มข้น น้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 10:1

ANOVA

Tensile strength

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	38.589	3	12.863	5.702	.008
Within Groups	36.097	16	2.256		
Total	74.687	19			

Duncan

elastic	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.50	5	9.3120	
.30	5	9.6540	
.10	5	10.4120	
.00	5		12.8660
Sig.		.289	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ความเข้มข้น น้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 12:1

ANOVA

Tensile strength

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	40.613	3	13.538	7.667	.002
Within Groups	28.250	16	1.766		
Total	68.862	19			

Duncan

elastic	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.50	5	9.9280	
.00	5	10.3700	
.10	5	11.0740	
.30	5		13.6100
Sig.		.214	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ความเข้มข้น น้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 14:1

ANOVA

Tensile strength

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	49.288	3	16.429	5.854	.007
Within Groups	44.904	16	2.806		
Total	94.192	19			

Duncan

ELASTIC	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.00	5	9.4080	
.10	5		11.8140
.30	5		12.6040
.50	5		13.6740
Sig.		1.000	.115

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ความเข้มข้น น้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 16:1

ANOVA

Tensile strength

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	89.121	3	29.707	13.178	.000
Within Groups	36.069	16	2.254		
Total	125.190	19			

Duncan

ELASTIC	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
.00	5	9.2460		
.30	5	10.5560	10.5560	
.50	5		11.7640	
.10	5			14.9420
Sig.		.187	.222	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ผลของปริมาณอิลาสติคเจลดต่อ Elongation

ความเข้มข้น น้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 10:1

ANOVA

Elongation

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.513	3	.171	2.914	.066
Within Groups	.938	16	.059		
Total	1.451	19			

Duncan

elastic	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.10	5	1.6340	
.00	5	1.7920	1.7920
.30	5		1.9860
.50	5		2.0360
Sig.		.318	.150

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ความเข้มข้น น้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 12:1

ANOVA

Elongation

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.661	3	.220	2.627	.086
Within Groups	1.342	16	.084		
Total	2.002	19			

Duncan

ELASTIC	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.50	5	1.5460	
.00	5	1.7680	1.7680
.10	5	1.8120	1.8120
.30	5		2.0580
Sig.		.187	.152

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ความเข้มข้น น้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 14:1

ANOVA

Elongation

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.379	3	.126	3.635	.036
Within Groups	.556	16	.035		
Total	.935	19			

Duncan

ELASTIC	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.00	5	1.5580	
.50	5	1.5720	
.30	5	1.8080	1.8080
.10	5		1.8660
Sig.		.060	.629

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ความเข้มข้น น้ำ:แป้งข้าวเจ้าตัดแปร 16:1

ANOVA

Elongation

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.594	3	.531	8.267	.002
Within Groups	1.028	16	.064		
Total	2.622	19			

Duncan

elastic	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.00	5	1.2700	
.30	5		1.8380
.50	5		1.9320
.10	5		1.9680
Sig.		1.000	.454

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลของปริมาณอิลาสติคเจดต่อ Young's modulus

ความเข้มข้น น้ำ:หนึ่งหน่วยน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าดัดแปร 10:1

ANOVA

modulus

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	121664.851	3	40554.950	2.198	.128
Within Groups	295245.661	16	18452.854		
Total	416910.512	19			

Duncan

elastic	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.30	5	777.7744	
.10	5	805.2257	805.2257
.50	5	818.8613	818.8613
.00	5		977.4710
Sig.		.657	.074

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ความเข้มข้นอัตราส่วนโดยน้ำหนักน้ำ:หนึ่งหน่วยน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าดัดแปร 12:1

ANOVA

modulus

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	27850.275	3	9283.425	1.377	.286
Within Groups	107872.416	16	6742.026		
Total	135722.691	19			

Duncan

elastic	N	Subset for alpha = .05
		1
.00	5	793.9288
.50	5	838.5320
.10	5	871.1138
.30	5	893.0309
Sig.		.097

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ความเข้มข้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักน้ำ:หนึ่งหน่วยน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าวัดได้แปร 14:1

ANOVA

MODULUS

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2963.666	3	987.889	10.220	.001
Within Groups	1546.641	16	96.665		
Total	4510.307	19			

Duncan

ELASTIC	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.00	5	79.4000	
.10	5	82.5240	
.30	5	83.6760	
.50	5		109.7460
Sig.		.525	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเข้มข้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักน้ำ:หนึ่งหน่วยน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าวัดแปร 16:1

ANOVA

modulus

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	250272.415	3	83424.138	2.786	.074
Within Groups	479155.964	16	29947.248		
Total	729428.379	19			

Duncan

elastic	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.00	5	787.7122	
.50	5	853.5346	853.5346
.30	5	993.3404	993.3404
.10	5		1071.4167
Sig.		.093	.076

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ผลของปริมาณอิลาสติคเจลต่อคุณสมบัติด้านความหนา

ความเข้มข้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ:หนึ่งหน่วยน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าวัดแปร 10:1

ANOVA

thickness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	3	.000	5.486	.002
Within Groups	.004	76	.000		
Total	.005	79			

Duncan

elastic	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.00	20	.028200	
.10	20		.033650
.50	20		.034850
.30	20		.037300
Sig.		1.000	.142

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

ความเข้มข้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ:หนึ่งหน่วยน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าวัดแปร 12:1

ANOVA water 12

thickness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	3	.000	3.348	.023
Within Groups	.002	76	.000		
Total	.002	79			

Duncan

elastic	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.00	20	.025400	
.30	20	.027550	.027550
.10	20		.029500
.50	20		.029600
Sig.		.164	.211

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

ความเข้มข้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ:หนึ่งหน่วยน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าวัดแปร 14:1

ANOVA water 14

thickness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	3	.000	1.740	.166
Within Groups	.002	76	.000		
Total	.002	79			

Duncan

elastic	N	Subset for alpha = .05
		1
.10	20	.023150
.50	20	.023700
.00	20	.023800
.30	20	.026200
Sig.		.058

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

ความเข้มข้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำ:หนึ่งหน่วยน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าวัดแปร 16:1

ANOVA water 16

thickness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	3	.000	4.933	.003
Within Groups	.002	76	.000		
Total	.002	79			

Duncan

elastic	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.00	20	.019700	
.10	20		.023050
.30	20		.024550
.50	20		.025000
Sig.		1.000	.234

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

ผลของปริมาณอิลาสติคเจล ต่อปริมาณน้ำอิสระ (aw)

ANOVA

AW water 12

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.007	3	.002	13.715	.002
Within Groups	.001	8	.000		
Total	.008	11			

Duncan

ELASTICG	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.30	3	.539667	
.50	3		.585667
.00	3		.598000
.10	3		.598000
Sig.		1.000	.296

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ข3 ปัจจัยจากปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติทางกล

ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า Tensile strength

ANOVA

Tensile strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	480.371	3	160.124	11.545	.000
Within Groups	221.919	16	13.870		
Total	702.289	19			

Duncan

GLY	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
10.00	5	17.4280		
4.00	5		23.0940	
.50	5		25.2520	
.00	5			31.1200
Sig.		1.000	.373	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า Elongation

ANOVA

Elongation

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.017	3	.006	2.271	.119
Within Groups	.039	16	.002		
Total	.056	19			

Duncan

GLY	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
10.00	5	.4400	
.50	5	.4660	.4660
.00	5	.4720	.4720
4.00	5		.5200
Sig.		.347	.121

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า Young's modulus

ANOVA

MODULUS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	392793.936	3	130931.312	1.812	.186
Within Groups	1155950.931	16	72246.933		
Total	1548744.867	19			

Duncan

GLY	N	Subset for alpha = .05	
		1	
10.00	5	1497.4960	
.50	5	1698.9560	
4.00	5	1782.5720	
.00	5	1877.5740	
Sig.		.055	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ข4 ปัจจัยจากปริมาณกรดสเตียริกต่อคุณสมบัติทางกล

ผลของปริมาณกรดสเตียริกต่อค่า Tensile strength

ANOVA

Tensile strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	108.727	2	54.364	43.408	.000
Within Groups	15.029	12	1.252		
Total	123.756	14			

Duncan

STEARIC	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
.750	5	5.33160		
.000	5		9.40840	
.500	5			11.85920
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ผลของปริมาณกรดสเตียริกต่อค่า Elongation

ANOVA

Elongation

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.313	2	.156	3.457	.065
Within Groups	.542	12	.045		
Total	.855	14			

Duncan

STEARIC	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.750	5	1.32200	
.000	5	1.55800	1.55800
.500	5		1.66800
Sig.		.105	.429

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ผลของปริมาณกรดสเตียริกต่อค่า Young's modulus

ANOVA

MODULUS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	241511.518	2	120755.759	4.653	.032
Within Groups	311401.958	12	25950.163		
Total	552913.476	14			

Duncan

STEARIC	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.000	5	776.29954	
.500	5		1036.78526
.750	5		1053.38874
Sig.		1.000	.873

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ผ.4.5.5ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ

ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = (1:0.3:14)

ANOVA

WVP

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.310	2	1.655	21.365	.002
Within Groups	.465	6	.077		
Total	3.775	8			

Duncan

GLY	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.500	3	11.26193	
1.000	3		12.40363
.000	3		12.65583
Sig.		1.000	.310

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ (แป้งข้าวเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:ย้า = (1:0:14)

ANOVA

WVP

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.013	2	0.507	.125	.884
Within Groups	24.253	6	4.042		
Total	25.266	8			

Duncan

GLY	N	Subset for alpha = .05	
		1	
.000	3		10.51056
1.000	3		11.07739
10.000	3		11.30928
Sig.			.654

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ข5 ผลของปริมาณกรดเสตียริกต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ
(แบ่งขั้วเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = (1:0:14)

ANOVA

WVP

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.389	2	6.695	2.736	.143
Within Groups	14.681	6	2.447		
Total	28.070	8			

Duncan

STR	N	Subset for alpha = .05	
		1	
.000	3		10.51055
.500	3		10.80587
.750	3		13.23293
Sig.			.085

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ผลของปริมาณกรดเสตียริกต่อค่าการซึมผ่านได้ของไอน้ำ
(แบ่งขั้วเจ้าตัดแปร:อีลาสติคเจล:น้ำ = (1:0.3:14)

ANOVA

WVP

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.626	2	.813	5.053	.052
Within Groups	.965	6	.161		
Total	2.591	8			

Duncan

STR	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.750	3	12.81343	
.000	3		13.71040
.500	3		13.71950
Sig.		1.000	.979

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ภาคผนวก ค.

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวน [56]

การศึกษาในครั้งนี้ ใช้วิธีการวิเคราะห์ แบบ Completely randomized design (CRD) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ข้อดีและข้อเสียของวิธีการนี้มีดังนี้

ข้อดี

- คำนวณง่ายไม่ซับซ้อน
- วางแผนการทดลองได้ง่าย
- ความแม่นยำสูงกว่าวิธีการอื่นๆ เนื่องจาก Means square error มีขนาดใหญ่
- จำนวนครั้งหรือซ้ำของข้อมูลไม่จำเป็นต้องมีจำนวนเท่ากัน

ข้อเสีย

- ตัวอย่างที่ทำการศึกษาคงต้องไม่อยู่ภายใต้ปัจจัยจากอิทธิพลภายนอก
- ศึกษาได้เพียงปัจจัยเดียว

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ

การหาค่า Correction factors

$$C = \frac{(\text{ผลรวมทั้งหมดในการทดลอง})^2}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}}$$

การหาค่า Total sum square

$$TSS = \text{ผลบวกของ(ข้อมูลแต่ละหน่วยทดลอง)}^2 - C$$

การหาค่า Treatment sum square

$$TrSS = [\text{ผลบวกของ(ผลรวมของแต่ละสิ่งทดลอง)}^2 / \text{จำนวนซ้ำ}] - C$$

ตารางที่ ค1 Tensile strength ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน

	ความเข้มข้น (MPa)							
ความเข้มข้น	1	2	3	4	5	sum	sum ²	avg
10	13.54	15.83	12.17	9.4	13.4	64.34	4139.636	12.87
12	9.83	8.45	10.47	11.21	11.88	51.84	2687.386	10.37
14	8.73	10.65	8.71	9.93	9.02	47.04	2212.762	9.40
16	9.05	10.04	7.99	7.48	11.7	46.26	2139.988	9.25

sum	41.15	44.97	39.34	8.02	46	209.48	43881.87
sum ²	1693.32	2022.30	1547.64	1445.52	2116	8824.78	

(ตารางที่ ค1:ความเข้มข้น คือ น้ำหนักน้ำ/หนึ่งหน่วยน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าตัดแปร)

$$\begin{aligned}
 C &= (209.48^2)/20 = 2194.094 \\
 TSS &= (13.54^2+15.83^2+12.17^2+9.4^2+13.4^2+9.83^2+8.45^2 \dots \\
 &\dots\dots+11.7^2) - 2194.094 \\
 &= 85.16 \\
 TrSS &= (4139.636+2687.386+2212.762+2139.988)/5 - 2194.094 \\
 &= 41.86 \\
 Error &= 85.16 - 41.86 = 43.30
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างการวิเคราะห์

Source of Variance (SOV)	df	SS	MS	F	F table	
				Calculate		
Total	19	85.16			0.05	0.01
Tr	3	41.86	13.95	5.15	3.01	4.77
Error	16	43.30	2.71			

ค่า F ที่ได้จากการคำนวณ = 5.15 มีค่ามากกว่า ค่า F ที่ 0.05 = 3.01 F ที่ 0.01 = 4.77 แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	41.813	3	13.938	5.153	.011
Within Groups	43.273	16	2.705		
Total	85.086	19			

2.การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test [56]

$$LSR = S_x \times SSR$$

$$S_x = \left\{ \frac{MS_{error}}{No. of column} \right\}^{1/2}$$

$$= (2.71/5)^{1/2}$$

$$= 0.74$$

$$SSR_{ที่นัยสำคัญ 0.05} = 3.00 \quad 3.15 \quad 3.23 \quad 3.30 \quad 3.34$$

$$LSR_{ที่นัยสำคัญ 0.05} = 2.22 \quad 2.33 \quad 2.39 \quad 2.44 \quad 2.47$$

ค่าเฉลี่ยเรียงจากมากไปน้อย

น้ำ	10	12	14	16
ค่าเฉลี่ย	12.87	10.37	9.40	9.25

$$\text{ค่าเฉลี่ยที่ 10} - \text{ค่าเฉลี่ยที่ 12} \quad 12.87 - 10.37 = 2.5 > 2.22 \quad \text{แตกต่างที่ } 0.05$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยที่ 10} - \text{ค่าเฉลี่ยที่ 14} \quad 12.87 - 9.40 = 3.47 > 2.22 \quad \text{แตกต่างที่ } 0.05$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยที่ 10} - \text{ค่าเฉลี่ยที่ 16} \quad 12.87 - 9.25 = 3.62 > 2.22 \quad \text{แตกต่างที่ } 0.05$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยที่ 12} - \text{ค่าเฉลี่ยที่ 14} \quad 10.37 - 9.40 = 0.97 < 2.33 \quad \text{ไม่แตกต่างที่ } 0.05$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยที่ 12} - \text{ค่าเฉลี่ยที่ 16} \quad 10.37 - 9.25 = 1.12 < 2.33 \quad \text{ไม่แตกต่างที่ } 0.05$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยที่ 14} - \text{ค่าเฉลี่ยที่ 16} \quad 9.40 - 9.25 = 0.15 < 2.33 \quad \text{ไม่แตกต่างที่ } 0.05$$

Duncan

WATER	N	Subset for alpha =	
		1	2
16	5	9.2540	
14	5	9.4100	
12	5	10.3700	
10	5		12.8680
Sig.		.325	1.000

IPC 1280/480426

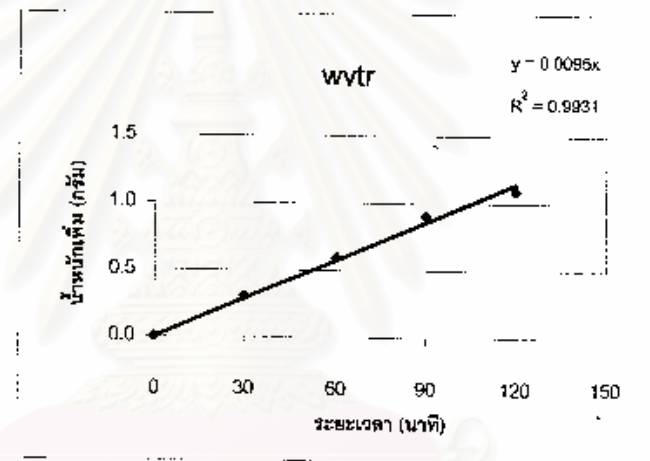
CODE : A

รีรันทดสอบที่ 2 1:0:14

น้ำหนัก (กรัม)	ระยะเวลา (นาที)	น้ำหนักเพิ่ม (กรัม)
	X	Y
165.3748	0	0.0000
165.6778	30	0.3030
165.9704	60	0.5956
166.2772	90	0.9024
166.4680	120	1.0932

slope = 0.0091

WVTR = 2623.68 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน



ผู้ทดสอบ 1

(ชีว สีบุรุษ)

วันที่ 27 เม.ย. 49

2

()

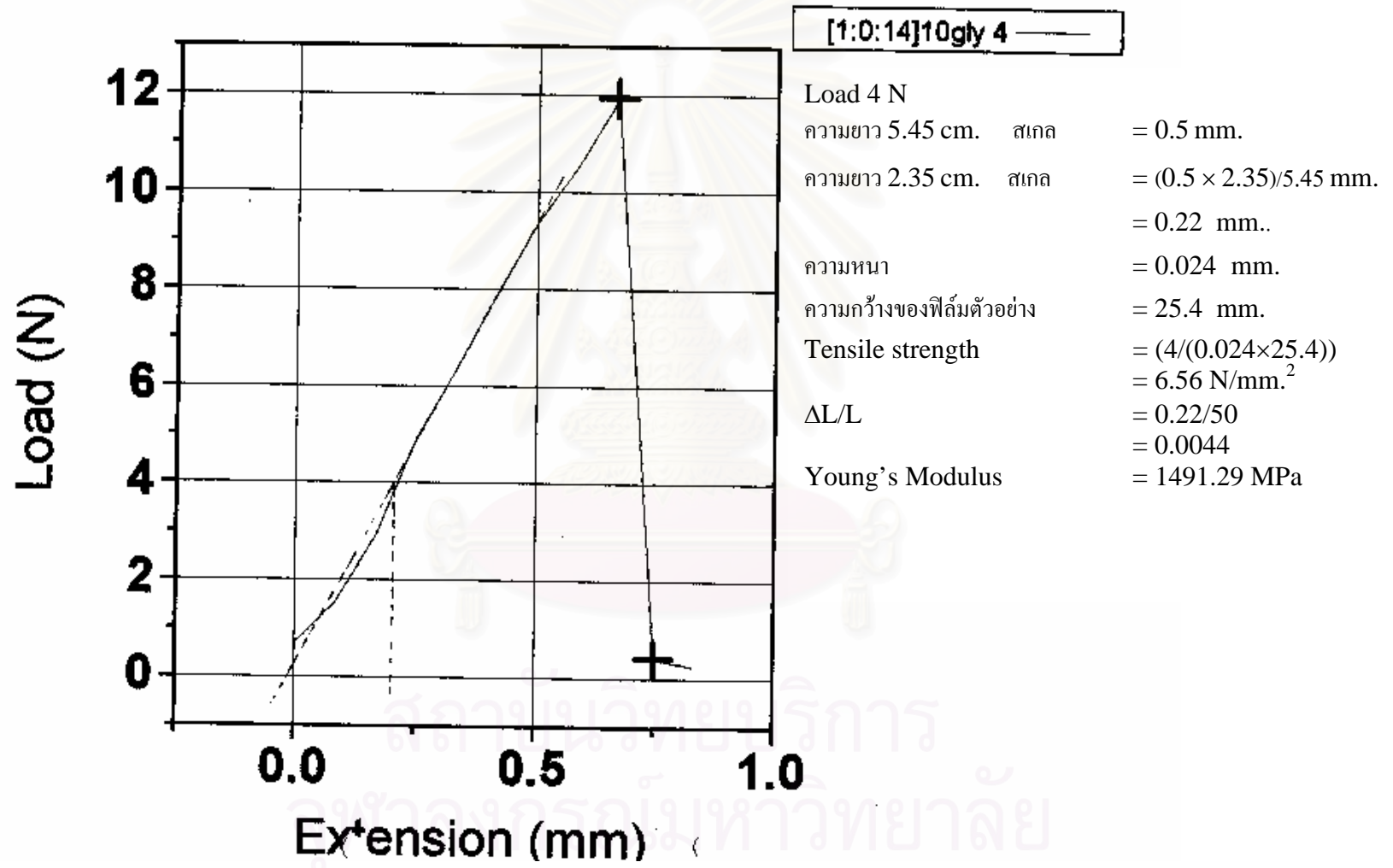
วันที่

ผู้ตรวจสอบ

()

วันที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นางสาวนริศา เหลาะคูหวี

การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ปีการศึกษา 2530

อาชีพปัจจุบัน พนักงานรัฐวิสาหกิจ

สถานที่ทำงานปัจจุบัน ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง

ประเทศไทย. เลขที่ 35 หมู่ 3 เทคโนโลยีธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเคมี (ภาคนอกเวลา) ปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย