

อภิธานการ



การเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเขียวเพื่อการใช้งานเป็นฟิล์มเคลือบ  
PREPARATION OF MUNG BEEN STARCH FLIM FOR COATING APPLICATION

นางสาวทิพย์วิมล เพชรบูรณิน รหัสนิสิต 55361328

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยมหิดล

วันลงทะเบียน..... 0.2.0.พ. 2561.....

เลขทะเบียน..... 1929999

เลขเรียกหนังสือ..... ๒๕๕๘

2558


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล  
ปีการศึกษา 2558





## ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ      การเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเหนียวเพื่อการใช้งานเป็นฟิล์มเคลือบ  
ผู้ดำเนินโครงการ      นางสาวทิพย์วิมล                      เพชระบูรณิน รหัสนิสิต 55361328  
ที่ปรึกษาโครงการ      อาจารย์ณฤมล                      สีพลไกร  
สาขาวิชา                      วิศวกรรมวัสดุ  
ภาควิชา                      วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา                      2558

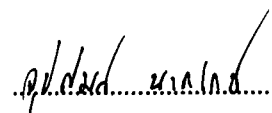
.....  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรัตนนคร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

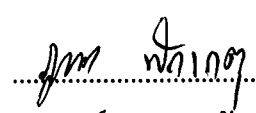
  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(อาจารย์ณฤมล สีพลไกร)

  
.....ที่ปรึกษาร่วมโครงการ  
(อาจารย์ประเทือง โมราราย)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุบลัมภ์ นาครักษ์)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ภูวนาท พิกเกต)

ชื่อหัวข้อโครงการ การเตรียมฟิล์มจากแป้งถั่วเขียวเพื่อการใช้งานเป็นฟิล์มเคลือบ  
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวทิพย์วิมล เพชระบุรณิน รหัสนิสิต 55361328  
ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ณฤมล สีพลไกร  
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ  
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
ปีการศึกษา 2558

---

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการการสังเคราะห์ และวิเคราะห์ลักษณะแป้งถั่วเขียวเพื่อการใช้งานเป็นฟิล์มเคลือบโดยใช้กลีเซอรอล และกรดซิตริกเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น และสารเพิ่มความยึดเกาะ พบว่าการทดลองการเตรียมฟิล์มแป้งถั่วเขียวนั้นสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มจากแป้งถั่วเขียวได้โดยมีลักษณะที่เหนียว และมีแข็งแรงที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 100 จึงเลือกสูตรนี้มาทำการตัดแปรรฟิล์ม หลังจากปรับปรุงสูตรเติมกรดซิตริกที่ร้อยละ 30 สามารถเคลือบบนใบไม้ได้มีการยึดเกาะที่ดี และมีความมันวาว การทดลองการละลายน้ำสูตรที่เติมกรดซิตริกการละลายน้ำต่ำกว่าสูตรที่ไม่ได้ผสมกรดซิตริกอาจเนื่องมาจากความเป็นกรดที่สูงขึ้นอาจจะไปทำลายการเชื่อมโยงพันธะจึงอาจจะทำให้สายโซ่เกิดการละลายได้มากขึ้น การทดสอบการดูดน้ำพบว่าสูตรที่เติมกรดซิตริกทำให้เกิดพันธะระหว่างสายโซ่ของแป้งส่งผลให้ร้อยละการดูดน้ำลดลง การทดสอบเคลือบฟิล์มบนใบไม้ที่มีรูรั่วที่อุณหภูมิห้องระยะเวลาในการทดสอบ 3 ชั่วโมง ไม่มีการรั่วซึมของน้ำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นน้ำจะดันให้ฟิล์มเปิดออกทำให้ลอกหลุดระหว่างฟิล์ม และใบไม้ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่าการเติมกลีเซอรอลส่งผลให้ค่าความเค้นแรงดึงสูงเนื่องมาจากกลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟิล์ม และฟิล์มมีร้อยละการยึดตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปริมาณของกลีเซอรอลที่มากขึ้น กลีเซอรอลนั้นเข้าไปช่วยเสริมการไหลระหว่างสายโซ่โมเลกุล

**Project title** Preparation of Mung Bean Starch Film for Coating Application  
**Name** Ms. Tipwimon Phetcharaburanin ID. 55361328  
**Project advisor** Ms. Narumon Seeponkai  
**Major** Material Engineering  
**Department** Industrial Engineering  
**Academic year** 2558

---

### **Abstract**

This study is to synthesize and characterize the mung bean film structure, with the crystallinity of 23.71 %. We used glycerol and citric acid as additives to increase the flexibility and adhesion of the film. We found that adding 30 % of citric acid shows that best performance. We coated on leaves with our formulated mixture and observed good adhesion and gloss. Water uptake test showed that the addition of citric acid to cause chain of obligation during flour to absorb water, resulting in a percentage decrease. At room temperature within 3 hour testing, no leakage was found. When temperature rises, water pressure causes delamination between the film and the leaf surface. The addition of glycerol results in a high tensile stress. Because of glycerol as an additive to add strength to the film and % elongation increasing volume of glycerol, it will be act as plasticizer in starch molecule.

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการวิจัยนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์นฤมล สีพลไกรซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และอาจารย์ประเทือง โมรราราย ซึ่งที่ปรึกษาร่วมโครงการ ในการให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวกับการค้นหาข้อมูลในการวิเคราะห์ต่าง ๆ ตลอดจนแนะนำวิธีการในการแก้ไขปัญหา และให้กำลังใจในการทำงานมาโดยตลอดมา จนสามารถลุล่วงไปด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์ อาจารย์ภูวนาท พิภพเกตุ และผู้ช่วยศาสตราจารย์อุบลัมภ์ นาครักษ์ ที่กรุณาเสียสละเวลามาเป็นอาจารย์สอบโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และขอเสนอแนะในการแก้ไขปรับปรุงแก้ไขในโครงการนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์สมร หิรัญประดิษฐกุล และนักวิทยาศาสตร์อิสริย์ วัตฤภาพ ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำโครงการ รวมไปถึงการแนะนำอุปกรณ์ในการทำโครงการ และเครื่องมือต่าง ๆ อย่างถูกวิธี

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้ทำโครงการ จนงานลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณอาคารปฏิบัติการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องเตาอบ และเครื่องมือต่าง ๆ ภายในอาคาร

ขอขอบพระคุณมารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนค่าใช้จ่าย และเป็นกำลังใจ จนสามารถศึกษา ทำโครงการวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องทุกคนที่ช่วยเหลือ และให้กำลังใจ ในการทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้ดำเนินโครงการ

นางสาวทิพย์วิมล เพชรบุรณิน

พฤษภาคม 2559

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	2
1.7 ขั้นตอน และแผนในการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 แป้ง.....	4
2.2 โครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง.....	9
2.3 คุณสมบัติของแป้ง.....	11
2.4 ถั่วเขียว.....	19
2.5 กลีเซอรอล.....	20
2.6 กรดซิตริก.....	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	24
3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในโครงการ.....	25
3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือ.....	25
3.3 วิธีการทดลอง.....	26

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การทดสอบฟิล์ม.....	27
3.5 วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	28
3.6 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่ม.....	28
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง .....</b>	<b>29</b>
4.1 ผลของการขึ้นรูปเป็นฟิล์มแก้วเขียวที่ปริมาณกลีเซอรอลต่าง ๆ .....	29
4.2 ผลของการตัดแปรรูปฟิล์มแก้วเขียว.....	30
4.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบฟิล์มแก้วเขียว.....	31
4.4 ผลการตรวจสอบการใช้งานเป็นฟิล์มเคลือบ .....	33
4.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Universal Tensile Machine).....	35
<b>บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>37</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	37
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	38
5.3 ปัญหาที่พบ.....	38
<b>เอกสารอ้างอิง .....</b>	<b>39</b>
ภาคผนวก ก.....	41
ภาคผนวก ข.....	43
<b>ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....</b>	<b>51</b>

## สารบัญรูป

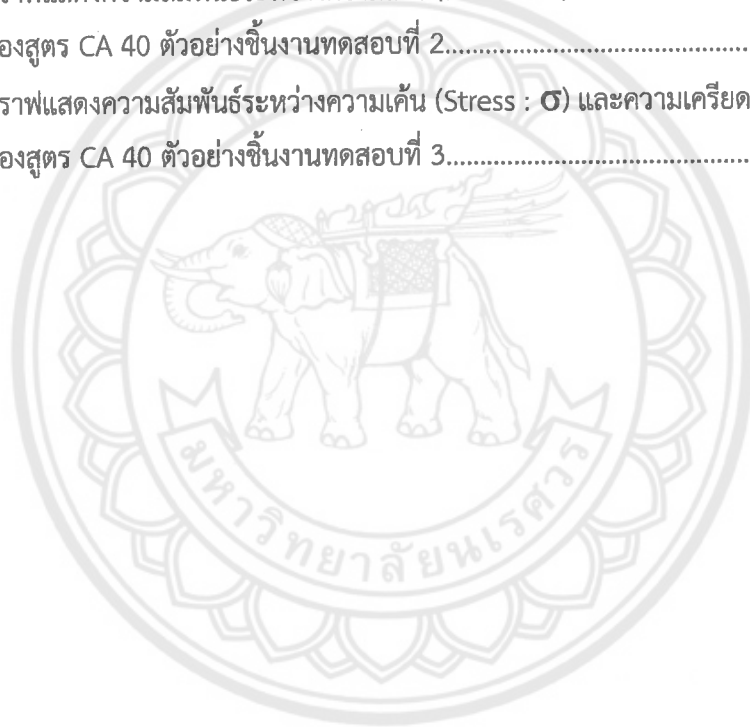
รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลของแป้ง .....	4
2.2 โครงสร้างอะไมโลส .....	5
2.3 โครงสร้างของอะไมโลสแพคติน .....	6
2.4 ลักษณะโครงสร้างอะไมโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก และส่วนที่เป็นอสัณฐาน .....	6
2.5 โครงสร้างภายในเม็ดแป้ง .....	9
2.6 โครงสร้างผลึกแบบ A และ B ของอะไมโลส .....	10
2.7 โครงสร้างของแป้งทนต่อการย่อยของเอนไซม์ชนิดที่ 3 ในสารละลายอะไมโลส .....	13
2.8 การพองตัวของเม็ดแป้ง .....	13
2.9 ระยะในการเกิดการเจลาติไนซ์เซชันของแป้ง .....	14
2.10 DSC Thermogram ของแป้ง .....	16
2.11 การเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation) และกลไกการคืนตัวของสตาร์ช .....	16
2.12 รูปแบบความหนืดของแป้งสุกชนิดต่าง ๆ .....	18
2.13 สมการแยกสลายไตรกลีเซอไรด์ด้วยน้ำในสภาวะกรด .....	20
2.14 โครงสร้างกลีเซอรอล .....	20
2.15 สูตรโครงสร้างของกรดซิตริก .....	22
3.1 ขั้นตอนการเตรียม และทดสอบฟิล์มจากแป้งกล้วย .....	24
3.2 เครื่องมือทดสอบแรงดึงยาง .....	27
3.3 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการต้านทานแรงดึง .....	27
4.1 ลักษณะของฟิล์มแป้งกล้วยที่ได้จากการเติมกลีเซอรอลที่ปริมาณต่าง ๆ .....	29
4.2 ลักษณะของฟิล์มแป้งกล้วยตัดแปรรูปที่ได้จากการเติมกรดซิตริกที่ปริมาณต่าง ๆ .....	31
4.3 กราฟแสดงการละลายน้ำของฟิล์มที่ CA ปริมาณต่าง ๆ เมื่อเทียบกับเวลา .....	32
4.4 กราฟแสดงการดูดน้ำของฟิล์มที่ CA ปริมาณต่าง ๆ เมื่อเทียบกับเวลา .....	32
4.5 แสดงลักษณะของการเกิดรูรั่วของซามไบไม้ที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งกล้วย .....	34
4.6 แสดงลักษณะของการใช้งานเคลือบแป้งตัดแปรรูปบนกรวยกระดาษ .....	34
4.7 กราฟ Tensile Strength แสดงการทดสอบการต้านทานแรงดึงของฟิล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ .....	35
4.8 กราฟลักษณะการยืดของฟิล์ม (Elongation) ของฟิล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ .....	36





## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress : $\sigma$ ) และความเครียด (Strain : $\epsilon$ ) ของสูตร CA 30 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ 2.....	49
ข.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress : $\sigma$ ) และความเครียด (Strain : $\epsilon$ ) ของสูตร CA 30 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ 3.....	49
ข.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress : $\sigma$ ) และความเครียด (Strain : $\epsilon$ ) ของสูตร CA 40 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ 1.....	50
ข.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress : $\sigma$ ) และความเครียด (Strain : $\epsilon$ ) ของสูตร CA 40 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ 2.....	50
ข.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress : $\sigma$ ) และความเครียด (Strain : $\epsilon$ ) ของสูตร CA 40 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ 3.....	50



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ .....	3
2.1 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่าง ๆ.....	5
2.2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน .....	7
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว และแป้งข้าว (คิดเป็นร้อยละน้ำหนักแห้ง).....	20
2.4 สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล .....	21
2.5 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี.....	22
3.1 ตารางแสดงส่วนผสมที่สัดส่วนต่าง ๆ .....	26
4.1 ลักษณะของฟิล์มแป้งข้าวที่สัดส่วนกลีเซอรอลต่าง ๆ.....	29
4.2 ลักษณะของฟิล์มแป้งข้าวตัดแปรเป็น (ฟิล์มเคลือบ) ที่สัดส่วนกลีเซอรอลต่าง ๆ.....	30
4.3 ลักษณะของฟิล์มแป้งข้าวตัดแปรเป็น (สารเคลือบ) ที่สัดส่วนกลีเซอรอลต่าง ๆ.....	31
4.4 การก่อนเคลือบและหลังเคลือบ CA ที่สัดส่วนต่าง ๆ .....	33
4.5 การทดสอบการรั่วซึม .....	35
ก.1 การทดสอบการละลายน้ำ (Water Dissolve) ของฟิล์มแป้งข้าว .....	43
ก.2 การทดสอบการดูดน้ำ (Water Up Take) ของฟิล์มแป้งข้าว .....	43
ข.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล Tensile Strength.....	51
ข.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล Elongation.....	51

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

การทำฟิล์มยืดหดเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกที่จะปนเปื้อนอาหารในปัจจุบันฟิล์มยืดก็คือพลาสติกประเภทหนึ่งที่มีคุณสมบัติเฉพาะคือยืดหยุ่นได้ฟิล์มประเภทนี้มีความยืดหยุ่นตัวสูงฟิล์มยืดนี้จะเกาะติดกันเองได้เมื่อดึงฟิล์มให้ยืดเล็กน้อยทำให้สะดวกในการใช้ห่อรัดสินค้าการใช้ฟิล์มยืดห่อสินค้าสามารถทำได้ง่ายทั้งการห่อด้วยมือในร้านค้า และซูปเปอร์มาเก็ตขนาดเล็กหรือใช้เครื่องมือในการห่อเมื่อสินค้ามีปริมาณมาก และต้องการความรวดเร็ว หรือในกรณีการห่อรวมสินค้าเป็นหน่วยใหญ่เพื่อการค้าลำเลียงขนส่งด้วยความสะดวกดังกล่าวจึงมีการใช้ฟิล์มยืดกันอย่างกว้างขวางอย่างไรก็ตามการเลือกใช้ฟิล์มยืดให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เป็นเรื่องที่สำคัญ โดยจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า คุณสมบัติสำคัญของฟิล์มยืดซึ่งเกี่ยวข้องต่อการเลือกใช้ได้แก่ ความสามารถในการยืดตัว (Stretchability) แรงยืด (Stretchforce) ความยืดหยุ่น (Elasticity) การต้านทานแรงดึง (Breaking Strength) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapour Transmission Rate) อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (Gas Transmission Rate) เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปพอลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นฟิล์มยืดหดคือ ฟิล์มที่ได้จากพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก

มีการใช้ประโยชน์จากแป้งในอุตสาหกรรมกระดาษ และสิ่งทอจะใช้ในรูปของแป้งฟิล์มแป้งเพื่อห่อหุ้มกระดาษหรือเส้นใยผ้าหรือเพื่อใช้เป็นกาวฟิล์มแป้งจะมีสมบัติเฉพาะตัวขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง โดยเฉพาะความสามารถในการละลายน้ำ และอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ฟิล์มที่ได้จากอะมิโลส และอะมิโลเพกตินมีสมบัติแตกต่างกันโดยฟิล์มจากอะมิโลสจะมีความแข็งแรงสูง ในขณะที่ฟิล์มจากอะมิโลเพกตินซึ่งมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านจะมีสมบัติเชิงกลที่แตกต่างออกไปโดยมีค่าความเค้นต่ำ นอกจากนี้สมบัติของฟิล์มจากแป้งยังขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลการจัดเรียงตัวของโมเลกุล การเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลวิธีการตัดแปรรแป้ง และความเป็นผลึกโดยเฉพาะสมบัติเชิงกล และสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของสารซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามระดับการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งที่ใช้เตรียมฟิล์ม ฟิล์มจากสตาร์ชซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสมบัติชอบน้ำมีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี แต่มีข้อด้อยคือไอน้ำสามารถซึมผ่านได้ง่ายโดยทั่วไปมักเติมสารจำพวกพลาสติกไซเซอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มจากแป้งโดยการเพิ่มความยืดหยุ่นหรือลดความเปราะของแผ่นฟิล์ม อย่างไรก็ตามพลาสติกไซเซอร์มักส่งผลกระทบต่อความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ และอากาศ

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมุ่งไปยังการทดสอบความสามารถในการเคลือบผิวบรรจุภัณฑ์ธรรมชาติ และความสามารถในการเป็นฟิล์มยืดของแป้งจากถั่วเขียว เพื่อที่จะประเมินความสามารถของการเคลือบผิวบรรจุภัณฑ์ธรรมชาติ และการเป็นฟิล์มยืดของแป้งถั่วเขียว

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อการศึกษาการเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเปียก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการตัดแปรรูปฟิล์มแป้งข้าวเปียกขึ้นรูปเป็นฟิล์มเคลือบ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติในการใช้งานเป็นฟิล์มเคลือบบนวัสดุธรรมชาติ

## 1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

- 1.3.1 การเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเปียกโดยการผสมกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 10, 30, 50, 100 และ 200 โดยน้ำหนักแป้ง และกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักแป้ง
- 1.3.2 ตรวจสอบสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบแรงดึง (Universal Tensile Test)
- 1.3.3 ตรวจสอบความสามารถ ในการยึดเกาะกับวัสดุธรรมชาติ เช่น ใบบัว
- 1.3.4 ทดสอบการละลายน้ำและดูดน้ำที่เวลา 5, 10, 15, 30 และ 60 นาที โดยทดสอบที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถเตรียมฟิล์มแป้งข้าวเปียกได้
- 1.4.2 ทำให้ทราบปริมาณ และสัดส่วนที่เหมาะสมของการเติมกลีเซอรอล และกรดซิตริกในการเตรียมฟิล์มแป้งข้าวเปียก
- 1.4.3 สามารถนำฟิล์มจากแป้งข้าวเปียกไปใช้งานเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ และเป็นฟิล์มเคลือบได้

## 1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตั้งแต่เดือน กันยายน พ.ศ. 2558 ถึงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2559

## 1.7 ขั้นตอน และแผนในการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ

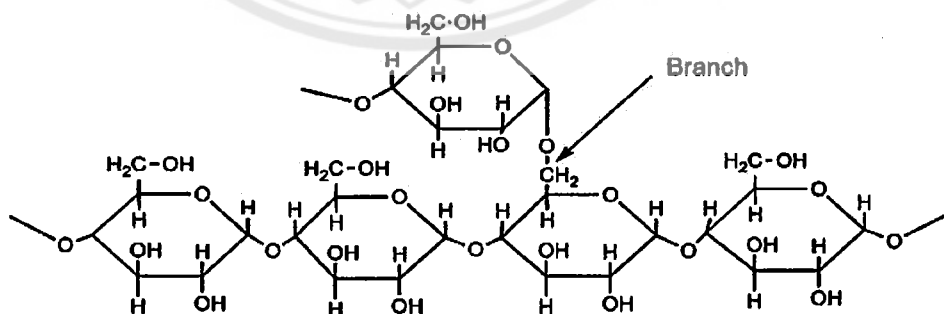
ลำดับ	การดำเนินงาน	ช่วงเวลา								
		พ.ศ. 2558				พ.ศ. 2559				
		ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.
1.7.1	ศึกษาการเตรียมฟิล์มและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←→								
1.7.2	จัดหาอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง		←→							
1.7.3	ทำการทดสอบฟิล์มแบ่งแก้วเขียวที่ผสมกรดซิดริกและกลีเซอรอลที่สัดส่วนต่างๆ			←→						
1.7.4	ทดสอบสมบัติของฟิล์มและวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี			←→						
1.7.5	วิเคราะห์และสรุปผล การทดลองพร้อมจัดทำรายงาน						←→			

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 แป้ง

แป้งเป็นโฮโมพอลิแซคคาไรด์ (Homo - Polysaccharide) ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืช และเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงแป้งที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะคือ มีโครงสร้างทางเคมีในโมเลกุลแตกต่างกัน และเม็ดแป้งจะมีขนาดรูปร่าง และสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันด้วยคำว่า “แป้ง” ในกระบวนการผลิตนั้นหมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นส่วนใหญ่มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่เล็กน้อยในอัตราส่วน 6 ต่อ 10 ต่อ 5 มีสูตรทางเคมีคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose Unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic Linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ด้านปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์เรียกว่า Reducing End Group ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ อยู่มากจะเรียกว่า ฟลาวัวร์ (Flour) เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี แป้งข้าวเจ้า แต่เมื่อสิ่งเจือปนอื่น ๆ ถูกสกัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ เรียกว่าแป้งสตาร์ช (Starch) ซึ่งแป้งสตาร์ชจะมีความบริสุทธิ์สูงจึงมักถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในรูปของสารเคมีโดยนำไปทำปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ มากมายแป้งที่มีการนำมาใช้มากที่สุดในโลกคือ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวสาลี และแป้งมันฝรั่ง ซึ่งแป้งทุกชนิดจะประกอบด้วยพอลิเมอร์พื้นฐาน 2 ชนิดคือ อะไมโลส และอะไมโลเพกติน แป้งที่มาจากแหล่งต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินต่างกัน ทำให้สมบัติของแป้งแต่ละชนิดต่างกันโครงสร้างโมเลกุลของแป้งแสดงดังในรูปที่ 2.1

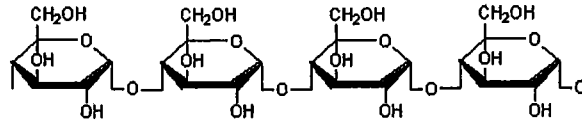


รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของแป้ง [1]

## 2.1.1 ส่วนประกอบของแป้ง

### 2.1.1.1 อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$  - 1, 4 - Glucosidic Linkage ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างอะไมโลส [2]

แป้งจากธัญพืชเช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่างมีปริมาณอะไมโลสสูง ประมาณร้อยละ 28 แป้งจากราก และหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งสาคูมีปริมาณ อะไมโลสประมาณร้อยละ 20 แป้งจากอะไมโลแมส (Amylomaize) มีอะไมโลสสูงถึงร้อยละ 80 ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวไม่มีอะไมโลสเลยน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส อยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน แป้งแต่ละชนิดจะมี Degree of Polymerization (DP) ของอะไมโลสต่างกันแป้งที่มีโมเลกุล ของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดการเสื่อมสภาพ (Retrogradation) ลดลงใน ธรรมชาติอะไมโลสมีกิ่งบ้างแต่ไม่มากตำแหน่งของอะไมโลสในเม็ดแป้งขึ้นกับสายพันธ์ของแป้ง สามารถพบอะไมโลสกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (Amorphous) และส่วนผลึก (Crystalline) โดยอะไมโลสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะขดเป็นเกลียวคู่กับอะไมโลเพกตินอยู่ที่ใจกลางเม็ดแป้งส่วนที่มี ขนาดโมเลกุลเล็กจะพบบริเวณขอบเม็ดแป้งโครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลาย รูปแบบคือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน เกลียวคลายตัว หรือม้วนอิสระ

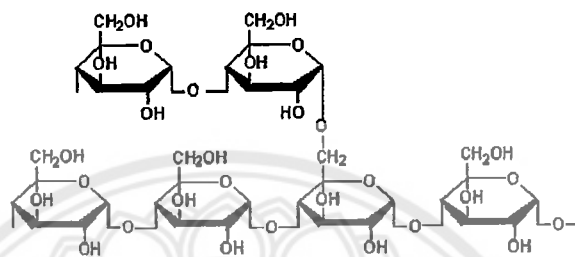
ตารางที่ 2.1 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่าง ๆ [3]

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ที่เห็นได้ชัด (Apparent)	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละโดยน้ำหนัก) สมบูรณ์ (Absolute)
ข้าวสาลี	28.8	25.8
ข้าวโพด	29.4	22.5
ข้าวเจ้า	25.0	20.5
ข้าวบาร์เลย์	25.5	23.6
มันสำปะหลัง	23.5	17.8
พุทธรักษา	43.2	22.7
ถั่วเขียว	37.9	30.7



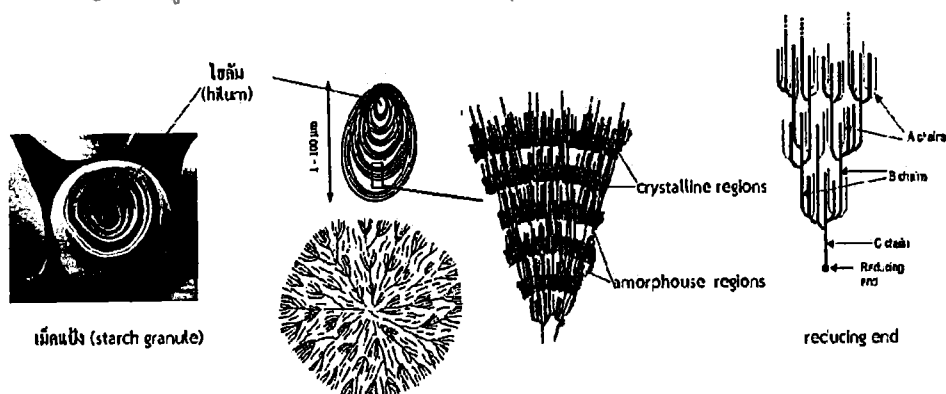
### 2.1.1.2 อะไมโลเพกติน (Amylopectin)

อะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย  $\alpha$  - 1, 4 - Glucosidic Linkage และส่วนที่เป็นกิ่งที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วย  $\alpha$  - 1, 6 - Glucosidic Linkage ซึ่งหน่วยกลูโคสที่มีพันธะ  $\alpha$  - 1, 6 - Glucosidic Linkage มีประมาณร้อยละ 5 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ในอะไมโลเพกตินทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพกติน [3]

ปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมดขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพกตินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลสคือ ประมาณ 107 ถึง 109 ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวเนื่องจากอะไมโลเพกตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสายโซ่ 3 ชนิด คือ สาย A (A - Chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อจากสายชนิดนี้ (Unbranched Structure) สาย B (B - Chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่น ๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 0.8 ต่อ 0.9 ต่อ 1 และ สาย C (C - Chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง (Reducing) 1 หมู่ ในอะไมโลเพกตินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างอะไมโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก และส่วนที่เป็นอสัณฐาน [1]

ตารางที่ 2.2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน [3]

สมบัติ	อะไมโลส (Amyloes)	อะไมโลสเพกติน (Amylopectin)
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบน้ำตาลกลูโคสเกาะ กันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	$\alpha$ - 1, 4	$\alpha$ - 1, 4 และ $\alpha$ - 1, 6
ขนาด	200 ถึง 2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีม่วงแดง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับ ตัวเป็นวุ้น และแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพกตินมีตั้งแต่ขนาดเล็กซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วยประกอบด้วยสาย A และ B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งมี DP ประมาณ 45 หน่วยประกอบด้วยสาย B สายยาว สายเหล่านี้รวมกันเป็นกลุ่มก้อน (Cluster) ศึกษาโครงสร้างอย่างละเอียดของอะไมโลเพกตินโดยใช้วิธีการ Debranching และ  $\beta$  - Amylase ย่อยอะไมโลเพกติน จากสตาร์ชมันฝรั่งโครงสร้างอะไมโลเพกตินการเกิดเกลียวคู่ของอะไมโลเพกตินต้องใช้พันธะไฮโดรเจน และแรงวนเคอร์วัลในการเชื่อมต่อกันกิ่งของอะไมโลเพกตินภายในเม็ดสตาร์ชสามารถเกิดผลึกได้ทั้งกิ่งที่อยู่ใกล้กันในกลุ่มเดียวกัน หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน

การจัดเรียงตัวของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินภายในเม็ดสตาร์ชมี 2 ลักษณะคือ ลักษณะแรกมีการจัดเรียงตัวอย่างหนาแน่นเป็นผลึก (Crystalline Region หรือ Trichite) เป็นส่วนที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเป็นส่วนที่ทำให้สตาร์ชสามารถคงรูปอยู่ได้ การเรียงตัวเป็นไปในแนวตั้งฉากกับผิวของเม็ดสตาร์ชบริเวณนี้จะตอบสนองต่อแสงโพราไรซ์ ทำให้เกิดเงาดำคาดเม็ดสตาร์ชเป็นกากบาท (Birefringence) โดยเส้นพาดขวางสีดำ (Maltese Cross) มีส่วนตัดอยู่ที่รอยบวมของเม็ดสตาร์ช (Hilum) นอกจากนี้ยังตอบสนองต่อรังสีเอกซ์เรย์ด้วยโดยสตาร์ชข้าวเจ้าจะมีลักษณะแบบ A (A - Type) ส่วนผลึกเป็นบริเวณที่มีการพองตัวอย่างจำกัดไม่สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้อีกส่วนหนึ่งมีการจัดเรียงอย่างหลวมเรียกว่า บริเวณอสัณฐาน (Amorphous Region) ซึ่งมีการขดตัวในส่วนกิ่งก้านของอะไมโลเพกตินจำนวนมาก (เป็นจุดเชื่อม) ทำให้โครงสร้างไม่เป็นระเบียบดูน้ำได้ดีกว่าบริเวณผลึก และไวต่อปฏิกิริยาเคมีเม็ดสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสหรืออะไมโลเพกตินที่ใกล้เคียงกัน อาจมีส่วนที่เป็นผลึกที่ไม่เท่ากันหรือมีการจัดเรียงของผลึกแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อเกิดการสุก (Gelatinization) จะมีรูปแบบการพองตัว และความหนืดแตกต่างกัน

### 2.1.1.3 ส่วนประกอบอื่น ๆ ภายในเม็ดแป้ง

ส่วนประกอบอื่น ๆ ภายในเม็ดสตาร์ชแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกออกจากแป้ง (Particulate Material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลาย และผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้งส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช (Surface Material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดสตาร์ช เช่น เยื่อหุ้มอะไมโลพลาสต์ และส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดสตาร์ (Internal Components) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดสตาร์ช เช่น ไขมันในแป้ง จำพวกธัญพืช หมู่ฟอสเฟตในแป้งมันฝรั่ง และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง ดังนี้

ก. ความชื้น (Moisture) ปริมาณความชื้นของแป้งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) ของอากาศขณะเก็บผลิตภัณฑ์ถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำแป้งจะมีความชื้นต่ำด้วยถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูงแป้งจะมีความชื้นสูงปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content) ของแป้ง และขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง

ข. ไขมัน (Lipid) องค์ประกอบของไขมันในแป้งมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 1 ซึ่งชนิดของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมีผลต่อสมบัติของแป้ง เช่น มีผลต่อความหนืดของแป้งโดยจะไปลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง

ค. โปรตีน (Protein) องค์ประกอบของโปรตีนมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยแป้งจากหัว และราก เช่น แป้งมันฝรั่ง และมันสำปะหลังจะมีโปรตีนปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพดซึ่งโปรตีนจะเกาะอยู่บนพื้นผิวของเม็ดแป้งทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของแป้งคือ ทำให้เกิดประจุพื้นผิวเม็ดแป้ง มีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำอัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลลิตในซีเซชันเปลี่ยนแปลงไป

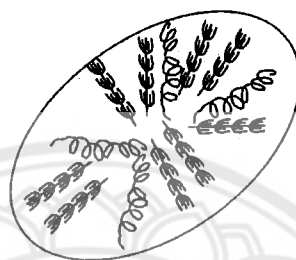
ง. เถ้า (Ash) แป้งโดยทั่ว ๆ ไปจะมีองค์ประกอบอนินทรีย์ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ซึ่งสารอนินทรีย์ ได้แก่ โซเดียม โปแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้จากส่วนที่เหลือหรือเถ้าจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ แป้งมันฝรั่งมีหมู่ฟอสเฟตในรูปของเกลือที่มีอยู่ในมันฝรั่งเองหรือได้จากกระบวนการล้างน้ำเถ้าของแป้งมันฝรั่งส่วนใหญ่มาจากหมู่ฟอสเฟตเถ้าบางส่วนในแป้งธัญพืชมาจากฟอสฟอลิปิด

จ. ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ภายในเม็ดแป้งอาจจะพบฟอสฟอรัสอยู่ในรูปของฟอสเฟตเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 6 ของหน่วยกลูโคส และในรูปของฟอสฟอลิปิด (Phospholipid) แป้งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสน้อยกว่าร้อยละ 0.1 โดยแป้งจากธัญพืชมีฟอสฟอรัสในรูปฟอสฟอลิปิดประมาณร้อยละ 0.02 ถึง 0.06 ส่วนแป้งจากพืชหัว และรากมักพบฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตโดยมีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสอยู่ประมาณ ร้อยละ 0.3 ถึง 0.4 แป้งที่มีฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตสูง เช่น แป้งมันฝรั่ง

## 2.2 โครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง

### 2.2.1 โครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช

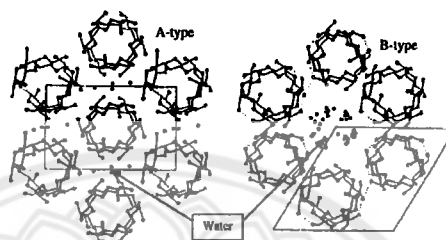
แป้งที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปเม็ดแป้ง (Granule) ขนาดเล็ก โดยจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งนั้นเม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (Semicrystalline) โดยโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) และส่วนอสัณฐาน (Amorphous) โดยลักษณะโครงสร้างภายในเม็ดแป้งแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรต [1]

เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างผลึกแบบกึ่งผลึก (Semi Crystallinity) โดยสายสั้นของอะไมโลเพกตินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวคู่ (Double Helices) ซึ่งบางส่วนจะเกิดเป็นโครงสร้างส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) สตาร์ชในธรรมชาติจะมีความเป็นผลึกประมาณร้อยละ 15 ถึง 45 โครงสร้างที่เป็นส่วนอสัณฐาน (Amorphous) ของเม็ดสตาร์ชจะประกอบไปด้วยโมเลกุลของสายอะไมโลส และสายยาวของอะไมโลเพกตินเม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างผลึก 4 แบบ คือแบบ A, B, C และ V จากการศึกษาโครงสร้างเม็ดสตาร์ชด้วยเครื่อง X - Ray Diffractometer โครงสร้างผลึกแบบ A จะให้พีคที่ตำแหน่งที่ 17 และ 17.9 พบในสตาร์ชจากธัญพืชเป็นส่วนใหญ่แบบ B จะให้พีคที่ตำแหน่ง 5.6 และ 17 พบในสตาร์ชจากพืชหัวหรือจากพืชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าร้อยละ 49 แบบ C เป็นลักษณะที่รวมกันของแบบ A และ B จะให้พีคที่ตำแหน่ง 5.6 และ 17.9 พบในสตาร์ชตระกูลถั่วแบบ V จะให้พีคที่ตำแหน่งในช่วง 7 ถึง 8, 13, 19 ถึง 20 และ 22 ถึง 23 อันเป็นรูปแบบที่เกิดจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของสตาร์ชกับสารอื่น เช่น ไอโอดีน แอลกอฮอล์ และไขมัน เป็นต้น หรือขณะเกิดเจลาตินไนซ์เซชัน นอกจากนี้ยังพบในสตาร์ชที่ถูกตัดแปรด้วยวิธีการให้ความร้อนขึ้น และในสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงโดยสิ่งที่มีอิทธิพลต่อการแสดงลักษณะโครงสร้างผลึกชนิดนั้น ๆ ได้แก่ ความยาวของสายอะไมโลเพกตินอุณหภูมิที่พืชเจริญเติบโต และกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบที่สตาร์ชแต่ละชนิดมีความเป็นผลึก (Relative Crystallinity) แตกต่างกันเนื่องจากความแตกต่างของขนาดของผลึกการจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่ความยาวเฉลี่ยของสายอะไมโลเพกติน และอัตราส่วนโดยโมลของอะไมโลเพกตินสายสั้น

ลักษณะผลึกแบบ A และ B มีความแตกต่างกันที่การจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่ (Double Helices) และปริมาณในโครงสร้างโดยผลึกแบบ B การจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่เป็นลักษณะแบบเฮกซะโกนอลยูนิทเซลล์ (Hexagonal Unit Cell) โดยมีช่องว่างขนาดใหญ่ตรงกลางซึ่งสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ 36 โมเลกุลต่อยูนิทเซลล์ ในขณะที่ผลึกแบบ A การจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่เป็นลักษณะแบบโมโนคลินิกยูนิทเซลล์ (Monoclinic Unit Cell) ซึ่งมีสายเกลียวคู่ตรงกลางของโครงสร้างโมเลกุลสามารถจับน้ำได้น้อยกว่า



รูปที่ 2.6 โครงสร้างผลึกแบบ A และ B ของอะไมโลส [3]

## 2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้ง

### 2.2.2.1 ชนิดของแป้ง

แป้งจากธัญพืชมีรูปแบบการพองตัว และการละลาย 2 ชั้นแสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึก และพันธะบริเวณอสัณฐานของแป้ง แป้งจำพวกนี้มีจำนวนพันธะมากที่สุดแต่มีลักษณะการพองตัว และการละลายต่ำสุดเนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูงทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้นจึงพองตัวได้ต่ำ

แป้งจากส่วนราก เช่น แป้งมันสำปะหลังมีการพองตัวขึ้นเดียวกำลังการพองตัว และการละลายสูงกว่าแป้งจากธัญพืชเนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่าแป้งจากส่วนราก จะเกิดเจลาตินไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช

แป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง จะมีการพองตัวสูงเนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอนอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในแป้งมันฝรั่งยังทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้นเนื่องจากสามารถก่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้การพองตัวในแป้งจากส่วนหัวจะเกิดเพียงชั้นเดียว และเกิดที่อุณหภูมิต่ำซึ่งเป็นลักษณะของแป้งที่เป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์

### 2.2.2.2 ความแข็งแรง และลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง

ความแข็งแรง และลักษณะร่างแหในเม็ดแป้งหรือเรียกว่าเป็นจำนวน และชนิดของพันธะภายในเม็ดแป้งในระดับโมเลกุลมีหลายปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนของพันธะ ได้แก่ ขนาด รูปร่าง ส่วนประกอบ และการกระจายตัวของร่างแหภายในเม็ดแป้งอัตราส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินน้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของโมเลกุลจำนวนกิ่งก้านสาขา การจัดเรียงตัว ความยาวของสาขาในอะไมโลเพกติน

### 2.2.2.3 สิ่งเจือปนในเม็ดแป้ง

เนื่องจากสิ่งเจือปน เช่น กรดไขมันจากธรรมชาติของแป้งอาจยับยั้งการพองตัวของแป้ง เนื่องจากเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะไมโลสได้ นอกจากนี้การใส่สารลดแรงตึงผิวในแป้งจะมีผลต่อกำล้างการพองตัวของเม็ดแป้ง

### 2.2.2.4 สมบัติหลังการดัดแปรทางเคมี

การดัดแปรด้วยกรดหรือการเกิดออกซิเดชันด้วยไฮโปคลอไรต์จะทำให้เกิดการแตกออกของพันธะภายในร่างทำให้เม็ดแป้งแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ การละลาย และการพองตัวสูงขึ้นการดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) หรือปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชัน (Etherification) จะเกิดการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลแป้ง ทำให้พันธะภายในเม็ดแป้งอ่อนแอลง อุณหภูมิในการเกิดเจลลาคือต่ำลง และมีการพองตัวเพิ่มขึ้น

### 2.2.2.5 ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะการพองตัว

สารละลายที่มีปริมาณแป้งต่ำกว่าร้อยละ 20 จะมีค่าความสามารถในการละลายจะสูงกว่าเมื่อมีแป้งอยู่สูงกว่าร้อยละ 20 การพองตัวอย่างอิสระ และการละลายที่สูงขึ้นจะถูกยับยั้งถ้าในสภาวะดังกล่าวมีน้ำน้อย

## 2.3 สมบัติของแป้ง

เมื่อพืชสังเคราะห์แสงได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวแล้ว จะมีกระบวนการลำเลียงน้ำตาลเหล่านั้นมาสู่ส่วนที่จะเก็บไว้เป็นพลังงานโดยจะรวมน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเหล่านั้น เป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ และก่อตัวเป็นกลุ่มก้อนเรียกว่า เม็ดสตาร์ช ดังนั้นแป้งจึงเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชพบทั้งในเมล็ด ผล ราก ลำต้น และใบของพืช แป้งจากพืชแหล่งต่าง ๆ นั้นจะมีสมบัติโดยรวม ๆ ใกล้เคียงกันแต่จะแตกต่างกันในสมบัติเฉพาะตัวบางอย่างซึ่งทำให้แป้งแต่ละชนิดมีความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกันแป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนประเภทเดียวกับเซลลูโลส ไกลโคเจน และเดกซ์ทรินเกิดจากน้ำตาลเฮกโซส (Hexose) เรียกว่า เฮกโซซาน (Haxosan) โดยเป็นพอลิเมอร์ (Polymer) ของ  $\alpha$  - D - Glucose แป้งประกอบด้วยอะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพคติน (Amylopectin) อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์แบบสายตรงที่หน่วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$  - D - (1, 4) Glucosidic มี Anhydroglucose Unit (AGU) ประมาณ 200 ถึง 2,000 หน่วย ส่วนอะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์ที่แตกเป็นสาขามากมาย ซึ่งหน่วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$  - D - (1, 4) Glucosidic เป็นส่วนใหญ่ และส่วนที่แตกสาขาเชื่อมกันด้วยพันธะ  $\alpha$  - D - (1, 6) Glucosidic แต่ละสาขาประกอบด้วยหน่วยกลูโคส (AGU) ประมาณ 15 ถึง 25 หน่วย แป้งต่างชนิดกันจะมีสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินต่างกัน

อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินมีผลต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของแป้งโดยมีผลต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ชความใส และความหนืดของ Paste แป้งที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำ และมีการพองตัวของเม็ดสตาร์ชช้าลง จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าปกติเพื่อให้เกิดการพองตัวของเม็ดสตาร์ช

อย่างสมบูรณ์แต่ถ้ามีอะไมโลสในปริมาณที่สูงมากเมื่อต้มในน้ำเดือดเม็ดสตาร์ชดูดน้ำได้น้อยเกินไปจนไม่สามารถพองตัวจนแตกออกทำให้อะไมโลสไม่สามารถหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชได้ ดังนั้น เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นจะไม่เกิดเป็นเจล เช่น แป้งข้าวเจ้าที่มีอะไมโลสสูงมากกว่าร้อยละ 33 แต่แป้งข้าวเจ้าที่มีอะไมโลสประมาณร้อยละ 27 ถึง 33 จะให้เจลที่มีลักษณะเหนียวหนืดดีเหมาะสำหรับทำกวยเตี๋ยวหรือเส้นหมี่ และถ้าอะไมโลสต่ำเกินไปแต่มีอะไมโลเพกตินสูง เช่น แป้งข้าวเหนียวเมื่อ Paste เย็นตัวลงจะไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้เช่นกัน

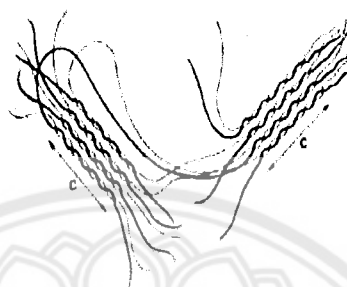
โดยทั่วไปในเม็ดสตาร์ชอะไมโลส และอะไมโลเพกตินจะวางตัวในแนวรัศมีสายของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินในแนวที่ขนานกันจะสร้างพันธะไฮโดรเจนทั้งทางตรงหรือเกิดการเกาะตัวกับน้ำ (Hydrate Bridge) เกิดพื้นที่ส่วนที่เรียกว่า Micelles หรือ Crystallites ขึ้น ทำให้สามารถแบ่งเม็ดสตาร์ชได้เป็น 2 ส่วน คือ Micelles หรือ Crystallites กับ Gel Phase แต่ละโมเลกุลในหลาย ๆ Micelles จะเชื่อมกันเป็นร่างแห 3 มิติด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งความแข็งแรงของร่างแหขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลที่มาเชื่อมต่อกัน และการจัดเรียงโมเลกุลของเม็ดสตาร์ช เม็ดสตาร์ชจึงมีสมบัติในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โครงสร้างแบบ Birefringence

ในรูปแป้งแห้งจะไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างแป้งชนิดต่าง ๆ ได้ แต่ถ้าใช้กล้องจุลทรรศน์ จะเห็นได้ว่าแป้งประกอบด้วยเซลล์เล็ก ๆ หรือเม็ดสตาร์ชเล็ก ๆ ซึ่งขนาด และรูปร่างจะต่างกันไปตามพันธุ์พืช เม็ดสตาร์ชทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 2 ถึง 100 ไมครอน มีรูปร่างต่างกัน เช่น กลม รูปไข่ และอื่น ๆ

เม็ดสตาร์ชมีขนาดเล็กที่สุดคือ ขนาด 3 ถึง 8 ไมครอน มีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยมมักพบอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเนื่องจากมีขนาดเล็กจึงเห็นไฮลัมวงแหวน และเครื่องหมายกากบาทหรือ Birefringence ไม่ชัด เม็ดสตาร์ชมันฝรั่งมีขนาดใหญ่ และเล็กคละกันมีขนาด 15 ถึง 100 ไมครอน ขนาดใหญ่จะมีลักษณะรูปไข่ขนาดเล็กจะมีลักษณะเหมือนหอยนางรม (Oyster) เห็นไฮลัมได้ชัดโดยอยู่ทางปลายด้านที่เล็กกว่าของเม็ดสตาร์ช และเห็นเครื่องหมายกากบาทได้ชัด เม็ดสตาร์ชข้าวโพดมีขนาด 10 ถึง 25 ไมครอน มีทั้งลักษณะกลม และหลายเหลี่ยม และคล้ายคลึงกันทั้งแบบธรรมดา และแบบข้าวเหนียว (Waxy Maize) แต่รูปร่างเม็ดสตาร์ชข้าวโพด ข้าวเหนียวจะมีเหลี่ยมมากกว่า มีไฮลัม และเครื่องหมายกากบาทที่เห็นได้ชัดพอควร เม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังขนาดเฉลี่ยเท่า ๆ กับเม็ดสตาร์ชข้าวโพด โดยอยู่ในช่วง 5 ถึง 35 ไมครอน แต่จะมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมหรือรูปไข่ที่มีด้านหนึ่งตัดตรง ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของแป้งนี้ไฮลัมจะอยู่ตรงศูนย์กลางเห็นเครื่องหมายกากบาทได้ชัดเจน เม็ดสตาร์ชมันเทศ (Sweet Potato Starch Granule) มีลักษณะคล้ายเม็ดสตาร์ชข้าวโพดแต่มีขนาดใหญ่กว่าโดยเฉลี่ยประมาณ 1 ถึง 2 เท่า เห็นไฮลัม และเครื่องหมายกากบาทไม่ชัด เม็ดสตาร์ชสำลี แป้งโรน และแป้งบาร์เลย์ มีลักษณะกลมที่คล้ายกันโดยมีทั้งขนาดใหญ่ และเล็กคละกัน ขนาดเล็ก 2 ถึง 6 ไมครอน และขนาดใหญ่ 20 ถึง 35 ไมครอน ไฮลัม และเครื่องหมายกากบาทเห็นไม่ชัดมากที่สุด เมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ซึ่งสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน

### 2.3.1 การดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลาย

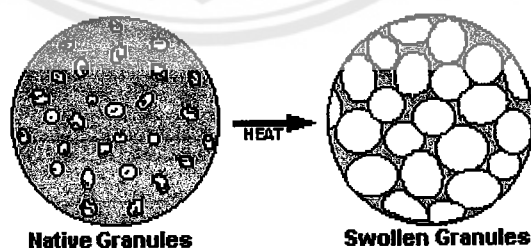
น้ำที่อยู่ในแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (Bound Water) และน้ำในรูปอิสระ (Free Water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 8 ถึง 10 สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิล ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคส แต่ละหน่วยของแป้งจะได้ สตาร์ชโมโนไฮเดรต



รูปที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างของแป้งทนต่อการย่อยของเอนไซม์ชนิดที่ 3 ในสารละลายอะไมโลส [4]

- (ก) แบบจำลอง Micelle สายเกลียวคู่ถูกจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในส่วน
- (ข) โครงสร้างที่เป็นผลึก
- (ค) นอกเหนือจากบริเวณที่เป็นอสัณฐาน

น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นสามารถแพร่ และผ่านเข้าไปในร่างแหของไมเซลล์ (Micelles) ในเม็ดสตาร์ชได้อย่างอิสระ เมื่อนำแป้งมาสองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเม็ดสตาร์ชประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวคัดขนาดโมเลกุล (Molecular Sieve) ของสารที่จะแพร่เข้าไปในเม็ดสตาร์ช



รูปที่ 2.8 การพองตัวของเม็ดแป้ง [3]

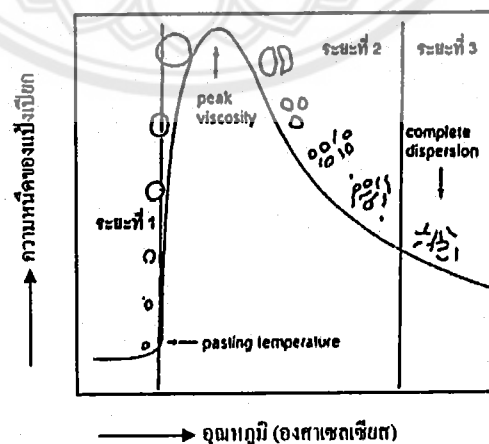
แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาคีไนซ์เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลที่อยู่ใกล้ ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่แต่เมื่ออุณหภูมิของสาร



ผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในซ์พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายโมเลกุลของน้ำ จะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืด และความใสเพิ่มขึ้น สมบัติของการบิตรีนาบแสงโพราไรซ์ (Birefringence) ในเม็ดสตาร์ชจะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัว และความสามารถในการละลายคือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรง และ ลักษณะของร่างแหภายในเม็ดสตาร์ชสิ่งเจือปนภายในเม็ดสตาร์ชที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตปริมาณน้ำใน สารละลายแป้ง และการตัดแปรทางเคมีรูปแบบในการพองตัว และการละลายของเม็ดสตาร์ชแต่ละ ชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้งเม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนัก ของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้น เมื่อเติมน้ำลงในแป้ง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำที่เติม ลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศห้องจนเกิดสมดุลของความชื้น

### 2.3.2 การเกิดเจลาตินในซ์ (Gelatinization)

โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group) จำนวนมากยึด เกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดสตาร์ชอยู่ในรูปของ ร่างแหไมเซลล์ (Micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดสตาร์ชละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นขณะที่สตาร์ชอยู่ในน้ำเย็นเม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำ และพองตัวได้เล็กน้อยแต่เมื่อให้ความร้อนกับ สารละลายสตาร์ช พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดสตาร์ชจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำกับ สตาร์ชจะมีความหนืดมากขึ้น และใสขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลื่ออยู่รอบ ๆ เม็ดสตาร์ช เหลือน้อยลง เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า อุณหภูมิเริ่ม เกิดเจลาตินในซ์เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืดมักจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลง ความหนืด (Pasting Temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Time) ซึ่งจะ แตกต่างกันในสตาร์ชแต่ละชนิด การเกิดเจลาตินในซ์เซชันของเม็ดสตาร์ชแบ่งได้ 3 ระยะ



รูปที่ 2.9 ระยะในการเกิดการเจลาตินในซ์เซชันของแป้ง [3]

ระยะแรก เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดสตาร์ชยังคงรักษารูปร่าง และโครงสร้างแบบ Birefringence ได้ เมื่อมีการใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำสตาร์ชจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ช)

ระยะที่ 2 เม็ดสตาร์ชจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดสตาร์ชจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำเข้ามามาก และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้เรียกว่า การเกิดเจลลาคีโนซิส เม็ดสตาร์ชมีการเปลี่ยนรูปร่าง และโครงสร้าง Birefringence ความหนืดของสารละลายน้ำสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สตาร์ชที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมาซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใส และหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น

ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดสตาร์ชจะไม่แน่นอนการละลายของสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลลาคีโนซิสของสตาร์ชจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ดีขึ้นรวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ต่าง ๆ ได้ดีกว่า

ความหนืดสูงสุดของสารละลายสตาร์ชในระหว่างการเกิดเจลลาคีโนซิสจะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของสตาร์ชซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอะไมโลส และไขมัน นอกจากนี้ระดับของอุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีโนซิสจะแตกต่างกันไปตามชนิด และองค์ประกอบของสตาร์ช เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน การจัดเรียงตัว และขนาดของเม็ดสตาร์ชเนื่องจากการจัดเรียงตัวของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินภายในเม็ดสตาร์ชมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอทำให้เม็ดสตาร์ชมีขนาดต่างกัน สตาร์ชชนิดต่าง ๆ จะมีลักษณะการเกิดเจลที่ต่างกัน

ความแตกต่างของระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีโนซิสระหว่างสตาร์ชแต่ละชนิดเกี่ยวข้องกับ 3 ปัจจัยดังนี้คือ

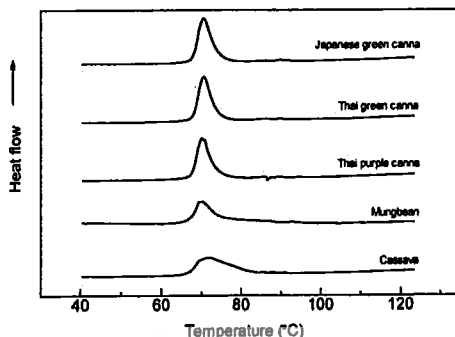
2.3.2.1 โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพกติน ซึ่งเกี่ยวข้องกับความยาวของสายอะไมโลเพกติน และปริมาณกิ่งก้าน

2.3.2.2 องค์ประกอบของสตาร์ช ได้แก่ อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน จำนวนของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน ปริมาณอะไมโลส และฟอสฟอรัส

2.3.2.3 การจัดเรียงตัวของโครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ช (อัตราส่วนของโครงสร้างส่วนผลึกต่ออสัณฐาน)

การวัดอุณหภูมิการเกิดการเจลลาคีโนซิสสามารถทำได้ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำให้สตาร์ชเกิดการเจลลาคีโนซิส ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC จะได้ค่าอุณหภูมิ (หน่วยองศาเซลเซียส) ที่สำคัญคือ อุณหภูมิเริ่มเกิดการเจลลาคีโนซิส (Onset Temperature,  $T_o$ ) อุณหภูมิที่สตาร์ชดูดความร้อนขณะเจลลาคีโนซิสสูงสุด (Peak Temperature,  $T_p$ ) อุณหภูมิสุดท้ายที่สตาร์ชเกิดการเจลลาคีโนซิส (Conclusion Temperature,  $T_c$ )

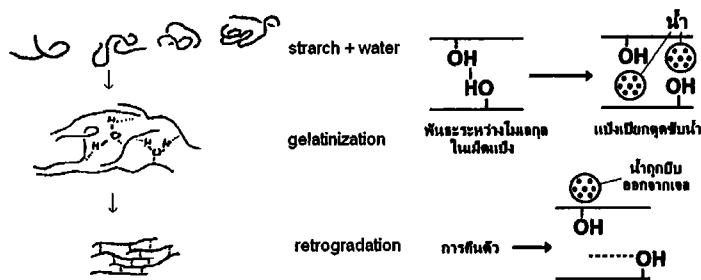
ค่าพลังงานเอนทาลปีของการเจลาตินไนซ์ ( $\Delta H_{gel}$ ) อุณหภูมิสุดท้ายที่สตาร์ชเกิดการเจลาตินไนซ์ (Conclusion Temperature,  $T_c$ ) และค่าพลังงานเอนทาลปีของการเจลาตินไนซ์ ( $\Delta H_{gel}$ )



รูปที่ 2.10 DSC Thermogram ของแป้ง [3]

2.3.3 การเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation)

เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินไนซ์เซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปจะ ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่ และแตกออกโมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็ก จะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลงเมื่อปล่อยให้เย็นตัวโมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะ เกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่ สามารถอุ้มน้ำ และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดมากขึ้นเกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือ ผลึกเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัวหรือ Setback เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้นโมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนเจลเรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะ ขาวขุ่น และมีความหนืดเพิ่มขึ้น การคืนตัวของสตาร์ชสุก และสารละลายสตาร์ชทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่น และทึบแสง เกิดขึ้นส่วนที่ไม่ละลายน้ำในสตาร์ชสุกที่ร้อนเกิดการ ตกตะกอนของอนุภาคสตาร์ชที่ไม่ละลายทำให้เกิดเจล และเมื่อน้ำถูกบีบออกมาจนเจลในการคืนตัวของสตาร์ชถ้าเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จะเกิดการตกตะกอน ถ้าเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น



รูปที่ 2.11 การเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation) และกลไกการคืนตัวของสตาร์ช [6]

การคืนตัวของสตาร์ชขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการได้แก่ ชนิดของสตาร์ช ความเข้มข้นของสตาร์ชกระบวนการให้ความร้อนกระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรดเบสของสารละลาย ปริมาณ และขนาดของอะไมโลส อะไมโลเพกติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในสตาร์ชในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ และความเข้มข้นของสตาร์ชสูงสตาร์ชสามารถคืนตัวได้ดีในช่วง pH5 ถึง pH7 ซึ่งสตาร์ชสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุดสำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้สตาร์ชจะคืนตัวได้ช้าลง

ปริมาณ และขนาดของอะไมโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของสตาร์ชสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มาก และเร็วกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงอัตราในการคืนตัวของสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) ที่ DP (Degree of Polymerization) ของอะไมโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการคืนตัวจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะไมโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ในการทำให้อะไมโลสที่คืนตัวกลับมามีการละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 ถึง 160 องศาเซลเซียส อะไมโลเพกตินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมากดังนั้นสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน

การตรวจสอบความสามารถในการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชแต่ละชนิดอาจประมาณได้จากค่า Setback ของสตาร์ชซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (Setback From Peak) หรือความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback from Trough) โดยเครื่อง Brabender หรือ Rapid Visco Analyzer นอกจากนี้การเกิด Retrogradation ของสตาร์ชสามารถวัดได้โดยการใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) โดยนำสตาร์ชดิบไปหาค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนซ์เซชัน (Enthalpy,  $\Delta H_{\text{gelatinization}}$ ) แล้วนำสตาร์ชที่ผ่านเจลลาติไนซ์เซชันนี้ไปบ่มไว้ในสภาวะที่กำหนดเพื่อให้เกิดรีโทรกราเดชันโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน เช่น 20, 24 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างกันตั้งแต่ 1 ถึง 21 วัน แล้วนำสตาร์ชที่เกิดรีโทรกราเดชันแล้วไปตรวจสอบด้วยเครื่อง DSC อีกครั้งบันทึกค่าพลังงานที่ใช้ ( $\Delta H_{\text{gelatinization}}$ ) ร้อยละของการเกิดรีโทรกราเดชันสามารถหาได้จากอัตราส่วนของเอนทาลปีของรีโทรกราเดชันต่อเอนทาลปีของเจลลาติไนซ์เซชัน

### 2.3.4 ความหนืด (Viscosity)

#### 2.3.4.1 สมบัติด้านความหนืด

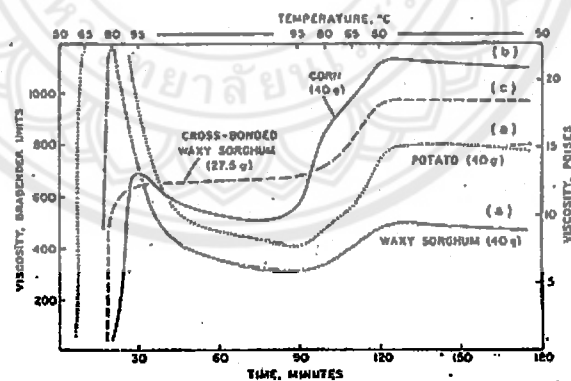
เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำ และพองตัวขยายใหญ่ขึ้นน้ำรอบ ๆ บริเวณเม็ดแป้งเหลือน้อยลงทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากเกิดความหนืดขึ้นเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวสูงสุดจะให้ค่าความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity) จากนั้นเม็ดแป้งจะเริ่มแตกออก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไปเรื่อย ๆ เม็ดแป้งจะแตกตัวอย่างสมบูรณ์ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญอย่างหนึ่งของแป้งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืด ได้แก่ ชนิด และองค์ประกอบของแป้งการตัดแปรงด้วยวิธีต่าง ๆ ความเข้มข้น และวิธีการทำให้แป้งสุก นอกจากนี้แรงเฉือนทางกลจะมีผลในการลดความหนืดของแป้งสุกเนื่องจากแรงเฉือนทำให้เม็ดแป้งสุกแตกออกส่งผลให้ความหนืดของแป้งสุกลดต่ำลงในการติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งนั้นก็มีเครื่องมือหลายชนิดที่ใช้การวัดความหนืดเครื่องมือที่ใช้วัดความหนืดที่สำคัญ ได้แก่

เครื่อง Brookfield Viscometer เป็นเครื่องวัดความหนืดที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ การทำงานของเครื่องเกิดจากการหมุนของวัตถุทรงกระบอก (Cylinder) หรือแผ่นจาน (Disc) ในของเหลวด้วยอัตราคงที่วัตถุทรงกระบอกจะมีหลายขนาดด้วยกันการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความหนืดของของเหลวที่ต้องการวัดถ้าตัวอย่างมีความหนืดต่ำจะใช้กระบอกใหญ่ และความเร็วสูง แต่ถ้าตัวอย่างมีความหนืดสูงจะใช้กระบอกขนาดเล็ก และความเร็วต่ำ ค่าความหนืดของของเหลวที่วัดได้จากค่าการต้านทานการหมุนของของเหลวที่อัตราคงที่ โดยแรงต้านจะทำให้สปริงเกิดการยืดตัว ค่านี้จะคูณด้วยค่าคงที่ตามความเร็ว ขนาด และชนิดของเครื่อง ความหนืดของของเหลวที่ได้มีหน่วยเป็นเซนติพอยส์ (Centipoise)

เครื่อง Brabender Amylograph เป็นเครื่องมือที่นิยมแพร่หลาย หลักการทำงานคือการติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงขั้นการทำให้เย็น และแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้หน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU)

#### 2.3.4.2 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้งความหนืดเป็นสมบัติ

เฉพาะตัวที่สำคัญของแป้งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้งได้แก่ ชนิดของแป้ง แป้งแต่ละชนิดมีสมบัติความหนืดแตกต่างกันออกไป จากการแบ่งประเภทของแป้งตามกราฟแสดงความหนืด สามารถแบ่งรูปแบบความหนืดของแป้งสุกที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของแป้ง แป้งเป็น 4 แบบ ได้ดังนี้



รูปที่ 2.12 รูปแบบความหนืดของแป้งสุกชนิดต่าง ๆ [3]

แบบ a : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีกำลังพองตัวสูง เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวฟ่าง แป้งจากธัญพืช เมื่อให้ความร้อนแก่แป้ง เม็ดแป้งจะมีกำลังการพองตัวสูง ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดแป้งกระจายตัวออกเมื่อได้รับแรงเฉือนลักษณะกราฟความหนืดจึงสูงชันแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

แบบ b : กราฟจากเม็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง ได้แก่ แป้งจากธัญพืชต่าง ๆ เม็ดแป้งไม่พองตัวมากถึงขั้นกระจายตัวออกจึงได้ลักษณะกราฟความหนืดที่สูงชัน และเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

แบบ c : กราฟจากเม็ดแป้งที่การพองตัวน้อย ได้แก่ แป้งจากถั่วต่าง ๆ และแป้งครอสลิงค์ (Cross Linked Starch) วิธีครอสลิงค์ทำให้การพองตัว และการละลายของเม็ดแป้งลดลง ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้นลักษณะกราฟความหนืดจึงไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีค่าความหนืดสูงซึ่งอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างต้มสุก

แบบ d : กราฟจากเม็ดแป้งที่การพองตัวน้อยมาก ได้แก่ แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพดอะมิโลสซึ่งมีอะมิโลสร้อยละ 50 ถึง 80

## 2.4 ถั่วเขียว

ถั่วเขียวจัดเป็นพืชไร่ที่สำคัญพืชหนึ่งเป็นพืชอายุสั้นมีอายุการเก็บเกี่ยวไม่เกิน 85 วัน ทนแห้งสามารถขึ้นได้ดีในเขตร้อน และเขตอบอุ่นปลูกกันแทบทุกประเทศในเอเชียนิยมรับประทานในรูปของถั่วต้มหรือทำเป็นแป้งเพื่อปรุงอาหารได้หลายรูปแบบ และเพราะเป็นถั่วอก ถั่วเขียวจัดเป็นพืชไร่ที่สำคัญพืชหนึ่งของประเทศไทยนิยมปลูกกันในทุก ๆ ภาคของประเทศซึ่งอาจปลูกในฤดูปกติหรือปลูกเป็นพืชหมุนเวียนหลังเก็บเกี่ยวข้าว สามารถเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรในแต่ละปีปลูกกันประมาณ 1.8 ล้านไร่ นอกจากนี้ใช้บริโภคภายในประเทศแล้วยังส่งเป็นสินค้าออกได้ปีละประมาณ 3,000 ล้านบาท ถั่วเขียวเราะเปลือกมีชื่อ เช่น ถั่วทอง ถั่วซีก ขนมหที่ใช้ถั่งเราะเปลือกมีหลายชนิดด้วยกันซึ่งถั่วเขียวเราะเปลือกที่มีขายกันอยู่ในปัจจุบันนี้จะไม่เหมือนกับสมัยก่อนเพราะจะมีการเคลือบสีให้เหลืองเนื่องจากถั่วยังไม่แก่เต็มที่ ถั่วเขียวก่อนนำมาทำขนมจะต้องคัด และล้างแล้วนำไปแช่น้ำค้างคืนแล้วนำไปล้างอีกครั้งก่อนนำมาต้มหรือหนึ่งแต่ในปัจจุบันนี้ถั่วเขียวที่นำมาใช้มักจะยังไม่แก่เต็มที่จึงใช้เวลาแช่น้ำน้อยลงโดยใช้น้ำอุ่นซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ก็ใช้ได้แล้วถ้านำถั่วเขียวไปแช่น้ำค้างคืนมักจะเหม็นบูด และขึ้นฟองเพราะเมล็ดถั่วยังไม่แก่ และแข็งพอ

### 2.4.1 คุณค่าทางอาหารของถั่วเขียว

ถั่วเขียวมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญถั่วเขียวมีไขมันต่ำเมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่น จึงไม่สามารถใช้กับวัตถุดิบน้ำมันปรุงอาหารได้แต่เป็นแหล่งสำคัญของแป้ง และแร่ธาตุต่าง ๆ ได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ร่างกายคนเราต้องการโพแทสเซียมในการเสริมกล้ามเนื้อให้แข็งแรง นอกจากนั้นเมล็ดถั่วเขียวยังอุดมไปด้วยวิตามินเอ, วิตามินบี 1, วิตามินบี 2, ไนอาซิน และวิตามินซี เมื่อนำเมล็ดถั่วเขียวไปทำแป้งจะมีเส้นใย และคาร์โบไฮเดรตลดลงไปเล็กน้อยแต่คุณค่าทางอาหารอื่น ๆ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียว และแบ่งถั่วเขียว  
(คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง) [6]

สารอาหาร	เมล็ดถั่วเขียว (ร้อยละ)	แบ่งถั่วเขียว (ร้อยละ)
โปรตีน	25.98	25.40
ไขมัน	1.30	2.25
ถั่ว	3.80	3.16
เส้นใย	4.79	1.01
คาร์โบไฮเดรต	64.12	58.77

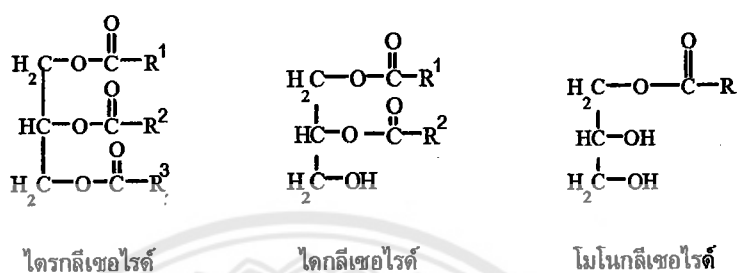
## 2.5 ก्लीเซอรอล

กลีเซอรอลมีการค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ.1779 โดย ซีลี (Scheele) พบว่ากลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมของปฏิกิริยาการผลิตสบู่ระหว่างน้ำมันมะกอกกับออกไซด์ของตะกั่ว ต่อมาในปี ค.ศ.1813 เชฟรูล (Chevreul) ได้พบว่ากลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบในไขมันโดยอยู่ในรูปของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจึงเรียกว่า กลีเซอรอล (Glycerol) กลีเซอรอลถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1866 โดย อัลเฟรด โนเบล (Alfred Noble) ได้นำกลีเซอรอลมาใช้ในการผลิตระเบิดไดนาไมต์หรือไนโตรกลีเซอรอล (Nitroglycerine) ต่อมาช่วงปลายปี ค.ศ.1930 ฟาร์เบน (Farben) ได้พัฒนา และสังเคราะห์กลีเซอรอลโดยใช้สารตั้งต้นเป็นโพนเพน และตั้งแต่ปี ค.ศ.1980 จนถึงปัจจุบันการผลิตกลีเซอรอลส่วนใหญ่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติมากถึงร้อยละ 75 และจากการสังเคราะห์โพรพินร้อยละ 25 กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น มีการใช้กลีเซอรอลในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้กลีเซอรอลเป็นสารรักษาความชื้นเป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติกชนิดที่ช่วยเก็บรักษาความอ่อนนุ่ม และความเหนียวเป็นสารอิมัลชัน และสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภทมาการีน น้ำสลัด และลูกกวาด ใช้กลีเซอรอลรักษาความชื้นให้กับยาสูบ และเป็นส่วนผสมในไส้กรองทำให้บุหรีติดไฟเข้าใช้เป็นส่วนผสมของยาหลายชนิด สารละลายกลีเซอรอลฟีนอล (Glycerolphenol) ใช้ในการล้างหูใช้ผสมในเครื่องสำอางประเภทครีม และโลชั่นเพื่อทำให้ผิวชุ่มชื้นใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ยาสีฟันแห้งแข็งตัวในหลอดใช้ห่อเนื้อ และทำกระดาษชนิดพิเศษใช้เป็นสารหล่อลื่นเนื่องจากมีความเหนียวสูง และไม่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำใช้กลีเซอรอลเป็นสารประกอบซีเมนสารอิมัลซิไฟเออร์ในยางรถถนน เซรามิก และกาว เป็นต้น

### 2.5.1 สมบัติของกลีเซอรอล

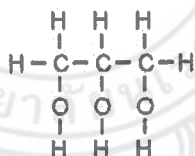
กลีเซอรอล (Glycerol) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กลีเซอริน (Glycerine) หรือ 1, 2, 3 โพรเพนไตรออล (1, 2, 3 Propantriol) เป็นสารจำพวกโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric Alcohol) มีสูตรทางเคมีเป็น  $C_3H_5(OH)_3$  มีมวลโมเลกุล เท่ากับ 92.09 ค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1779 โดยนัก

เคมีชาวสวีเดนชื่อ Carl W. Scheele จากปฏิกิริยาสaponification ของน้ำมันมะกอกมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดใส ไม่มีสีไม่มีกลิ่น และมีรสหวาน ต่อมาพบว่ากลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบหลักในไขมัน และน้ำมันเกือบทุกชนิดโดยไขมัน และน้ำมันประกอบด้วยกลีเซอรอลที่มีหมู่เอสเทอร์มาเกาะสามหมู่หรือที่เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ เมื่อนำไขมันหรือน้ำมันมาแยกสลายด้วยน้ำในสภาวะกรดจะได้กลีเซอรอล และกรดไขมัน (Fatty Acid)



รูปที่ 2.13 สมการแยกสลายไตรกลีเซอไรด์ด้วยน้ำในสภาวะกรด [7]

กลีเซอรอลมีลักษณะเป็นของเหลวใสหนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ มีรสหวานเล็กน้อยละลายได้ดีในน้ำ เมทานอล เอทานอล ไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล เพนทานอล รวมทั้งฟีนอลไกลคอล โพรเพนไดออล เอมีน และสารประกอบที่เป็นเฮเทอโรไซคลิก ไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และไดออกเซน ไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอนแอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว และตัวทำละลายจำพวกเฮโลเจน



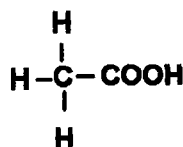
รูปที่ 2.14 โครงสร้างกลีเซอรอล [7]

#### ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล [7]

สมบัติ	ข้อมูล
น้ำหนักโมเลกุล	92.06 กรัม
จุดหลอมเหลว	18.17 องศาเซลเซียส
จุดเดือดที่ 101.3 กิโลปาสกาล	290 องศาเซลเซียส
การระเหยที่ 100 องศาเซลเซียส	26 ปาสกาล
ความหนืดที่ 20 องศาเซลเซียส	1499 มิลลิปาสกาล - วินาที
อุณหภูมิกลายเป็นไอที่ 55 องศาเซลเซียส	88.12 กิโลจูลต่อโมล



## 2.6 กรดซิตริก



รูปที่ 2.15 สูตรโครงสร้างของกรดซิตริก [8]

กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์อย่างอ่อนซึ่งพบมากในผลไม้รสเปรี้ยวกรดซิตริกถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทางด้านอาหารหลายอย่าง เช่น เติมน้ำในอาหาร และน้ำอัดลมเพื่อให้เกิดรสเปรี้ยว ในทางชีวภาพวัฏจักรของกรดซิตริกจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเมทาบอลิซึมในสิ่งมีชีวิตแทบทุกชนิดนอกจากนี้กรดซิตริก ยังถูกใช้เป็นสารกำจัดพวกเอเจนท์ต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อม และสามารถเป็นแอนติแอคซิแดนซ์ได้ด้วย

สูตรเคมีของกรดซิตริกคือ  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  และมีโครงสร้างซึ่งโครงสร้างนี้มีชื่อเรียกตาม IUPAC ว่า Hydroxy - 1, 2, 3 - Propanetricarboxylic Acid ความเป็นกรดของกรดซิตริกเนื่องมาจากหมู่ Carboxy (COOH) ซึ่งสูญเสียโปรตอนออกไปในสารละลายซึ่งส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็น Citrate Ion ซึ่ง Citrate จะเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีในการควบคุม pH ของสารละลายกรด

Citrate Ion ซึ่งมีสมบัติเป็นเกลือประเภทหนึ่งเรียกว่า Citrates ซึ่งซิเตรตสามารถจับกับไอออนของโลหะเกิดเป็นสารประกอบโลหะได้จึงทำให้มีการนำ Citrate มาใช้เป็นสารกันบูดในอาหาร และช่วยลดความกระด้างของน้ำได้

### ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี [9]

สมบัติ	ข้อมูล
ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น	ของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น
การละลาย	65 เปอร์เซ็นต์ ที่ 0 องศาเซลเซียส
ความเป็นกรดเป็นด่าง	1.80 pH ที่ 20 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว จุดเยือกแข็ง	100 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	135 ถึง 153 องศาเซลเซียส

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิสิษฐ์พันธุ์ กาญจนตะชะ, ชีราวุธ ปทุมธนทรัพย์ และผดุงขวัญ จิตโรภาส (2553) [10] ศึกษาผลของสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อสมบัติเชิงกล และการต้านการซึมผ่านน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งถั่วเขียวดัดแปรด้วยต่างในแอลกอฮอล์ (AMS) โดยใช้กลีเซอรอล และซอร์บิทอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นผลการศึกษาพบว่าแผ่นฟิล์ม AMS มีลักษณะโปร่งใสมีความสามารถในการต้านทานแรงเฉาะ และ

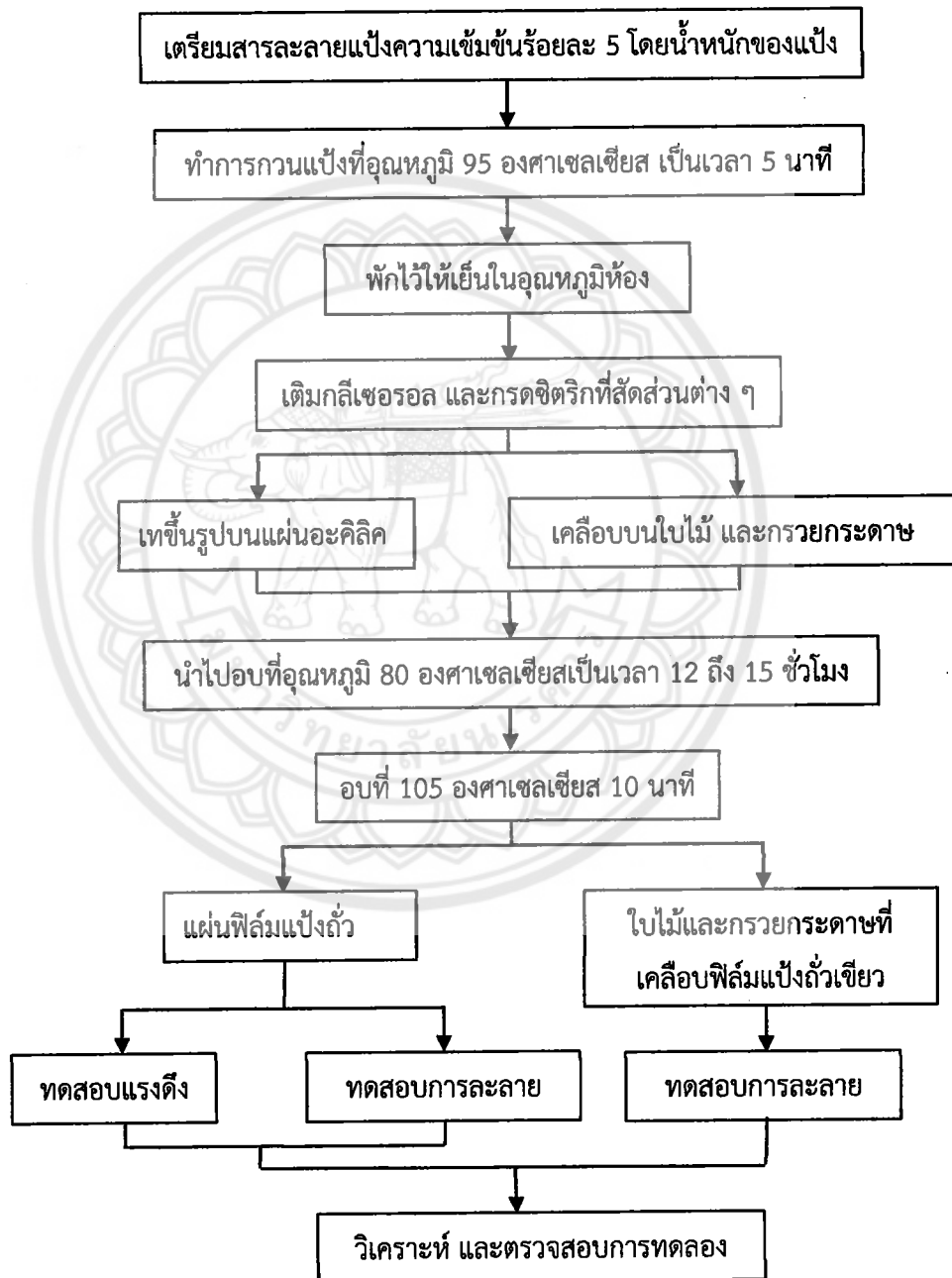
ความสามารถในการยึดเท่ากับร้อยละ 48.33±1.44 เมกะปาสคาล และร้อยละ 17.88±0.18 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับแผ่นฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC E15LV) สำหรับแผ่นฟิล์ม AMS ที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นในปริมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนัก AMS มีสมบัติเชิงกลดีกว่าแผ่นฟิล์ม AMS การละลายในน้ำน้อยกว่าแผ่นฟิล์ม HPMC E15LV และสามารถต้านการซึมผ่านน้ำได้ดีจึงสรุปได้ว่าชนิด และปริมาณของสารเพิ่มความยืดหยุ่นมีผลต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม AMS

รัตน์า จินดาพรรณ, จิรนาถ บุญคง และจีรศักดิ์ แก้วเกิด (2547) [11] ทดลองผลิตฟิล์มจากโปรตีนถั่วเขียว โดยการเตรียมสารละลายโปรตีนถั่วเขียวเข้มข้นร้อยละ 6 (ร้อยละมวลต่อปริมาตร) แปรระดับ pH คือ 7, 8 และ 9 ร่วมกับการแปรอัตราส่วนของ ปริมาณโปรตีนถั่วเขียวต่อปริมาณของกลี เซอรอลที่ 100 ต่อ 0, 70 ต่อ 30, 60 ต่อ 40 และ 50 ต่อ 50 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมกับการผลิตฟิล์มจากโปรตีนถั่วเขียว คือ pH 9 และอัตราส่วนของสารละลายโปรตีนถั่วเขียว ต่อปริมาณของกลีเซอรอลเป็น 70 ต่อ 30 ฟิล์มที่ผลิตได้มีสมบัติทางกายภาพดังนี้ ความหนา เท่ากับ 0.080 มิลลิเมตร อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 0.0010 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงการต้านทานแรงดึงขาด เท่ากับ 4.0537 นิวตัน และสามารถต้านทานน้ำมันมากกว่า 200 ชั่วโมง เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 0.8 โปรตีนร้อยละ 52.6 ไขมันร้อยละ 0.8 คาร์โบไฮเดรต 32.8 และเถ้า 3.0 ตามลำดับ สุดท้าย ทดลองนำโปรตีนถั่วเขียวดังกล่าวมาทดลองบรรจุเครื่องปรุงรสบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป พบว่าฟิล์มโปรตีนถั่วเขียวสกัดสามารถ ปิดผนึกได้ด้วยความร้อน และสามารถเก็บรักษาเครื่องปรุงรส ได้นานกว่า 3 เดือน นอกจากนี้สามารถละลายได้ในน้ำเดือดภายในเวลา 90 วินาที

กชิตศ อัมประไพ, อรพิน เกิดชูชื่น และ ณีฎฐา เลหาทกุลจิตต์ (2553) [12] ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโกลด์จากแป้งต่างชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 (ร้อยละมวลต่อปริมาตร) โดยเติมพลาสติกไซเซอร์ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของแป้ง และทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนา (Thickness) ความใส (Opacity) อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR) การละลาย (Solubility) ความทนต่อแรงยึด (Tensile Strength, TS) และการยืดตัว (Elongation, E) พบว่า ความหนาของฟิล์มจากแป้งทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มมากขึ้น ความใสของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีค่า ความใส (Opacity) ต่ำกว่าฟิล์มแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าฟิล์มแป้งข้าวเจ้า และเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มขึ้น สำหรับการละลาย ความทนต่อแรงยึด และการยืดตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการละลาย ความทนต่อแรงยึด และการยืดตัวสูงกว่าฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้า และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มขึ้น

### บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน

สำหรับวิธีการดำเนินงานโครงการนี้จะกล่าวถึง ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานวัสดุ และอุปกรณ์ รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งถั่วเขียวเพื่อการใช้งานเป็นฟิล์มเคลือบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียม และทดสอบฟิล์มจากแป้งถั่วเขียว



19299999

### 3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในโครงการงาน

#### 3.1.1 วัสดุดิบ

3.1.1.1 แป้งถั่วเขียว ตราต้นสน (บริษัท สิทธิพันธ์ จำกัด) ซื้อเมื่อเดือน ตุลาคม 2558

เก็บไว้ในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง

3.1.1.2 น้ำมันถั่วเหลือง ตราโอสัน (บริษัท เอ แอล ปาล์ม จำกัด)

3.1.1.3 น้ำเปล่า

#### 3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 กลีเซอรอล

3.1.2.2 กรดซิตริก (Citric Acid)

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล (Analytical Balance)

3.2.2 แม่เหล็ก (Magnetic)

3.2.3 เครื่องทำความร้อน

3.2.4 บีกเกอร์ (Beaker)

3.2.5 ช้อนตักสาร (Spatula)

3.2.6 กระจกบอขวด (Cylinder)

3.2.7 หลอดหยด (Dropper)

3.2.8 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

3.2.9 แผ่นอะคริลิก

3.2.10 ซามอะลูมิเนียม

3.2.11 แท่งแก้วคนสาร

3.2.12 เสาค้าง - ข้อต่อ 50 เซนติเมตร

3.2.13 เตาอบ

3.2.14 น้ำมันพืช

### 3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ชั่งแป้งข้าวเหนียวอัตราส่วนร้อยละ 5 กรัมโดยน้ำหนัก และชั่งน้ำเปล่าโดยให้น้ำหนักรวม 100 กรัม ผสมลงในบีกเกอร์

3.3.2 ทำการกวนแป้งข้าวเหนียวที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

3.3.3 เติมกลีเซอรอล และกรดซิตริกที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม (เทียบกับน้ำหนักแป้ง)

3.3.4 เทลงบนแผ่นอะคลิติก และเกลี่ยให้มีขนาดตามที่ต้องการ

3.3.5 นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ถึง 15 ชั่วโมง

3.3.6 นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปทดสอบแรงดึง และทดสอบการละลาย

3.3.7 บันทึก และสรุปผลการทดลอง

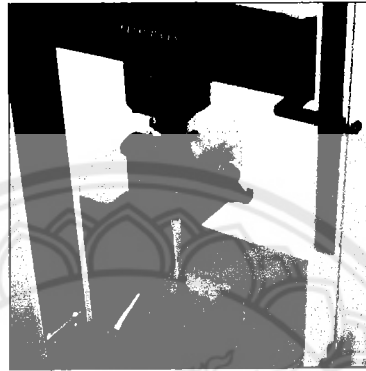
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงส่วนผสมที่สัดส่วนต่าง ๆ

ชื่อสูตร	ความเข้มข้นของ แป้งข้าวเหนียว (ร้อยละโดยน้ำหนักของแป้ง)	กลีเซอรอล (ร้อยละต่อน้ำหนักแป้ง)	กรดซิตริก (ร้อยละต่อน้ำหนักแป้ง)
G 0	5	-	-
G 10	5	10	-
G 30	5	30	-
G 50	5	50	-
G 70	5	70	-
G 100 (CA 0)	5	100	-
CA 10	5	100	10
CA 20	5	100	20
CA 30	5	100	30
CA 40	5	100	40
CA 50	5	100	50

### 3.4 การทดสอบฟิล์ม

#### 3.4.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Universal Tensile Machine)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดสมบัติแรงดึง (ความทนต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด ค่าโมดูลัส) ของฟิล์มที่มีความหนาประมาณ 0.8 มิลลิเมตร โดยจะใช้แรงดึงกับชิ้นงานทดสอบจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบขาดด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่ และบันทึกค่าค่าแรงดึง (Tension Force) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการยืดตัว (Deformation) ของวัสดุ



รูปที่ 3.2 เครื่องมือทดสอบแรงดึงยาง [13]



รูปที่ 3.3 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการต้านทานแรงดึง

ความเค้น (Stress :  $\sigma$ ) คือ แรงที่ใช้ในการดึงหรือยืดตัวอย่าง ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด

$$\text{ความเค้น} = \frac{\text{แรง (F)}}{\text{พื้นที่หน้าตัด (A)}} \quad (3.1)$$

ความเครียด (Strain :  $\epsilon$ ) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงต่อความยาวเริ่มต้น

$$\text{ความเครียด} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนแปลง } (\Delta L)}{\text{ความยาวเดิม (L)}} \quad (3.2)$$

### 3.4.3 ทดสอบความสามารถในการละลายน้ำและดูดน้ำของฟิล์มแป้งถั่วเขียว

โดยตัดฟิล์มให้มีขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร โดยสูตรที่ใช้ในการทดลอง คือ CA 0, CA 10, CA 20, CA 30, CA 40 และ CA 50 ตัดตัวอย่างชิ้นงาน ตัวอย่างละ 3 ชิ้น (1 สูตรใช้ 15 ชิ้น) โดยชั่งน้ำหนักที่เวลา 5, 10, 15, 30, และ 60 นาที ทาร้อยละน้ำหนักของแผ่นฟิล์มแป้งถั่วเขียวแต่ละสูตร จุ่มขึ้นฟิล์มลงไปในห้องทดลองที่มีน้ำ 10 มิลลิลิตร ตามระยะเวลาที่กำหนดชั่งน้ำหนักที่แป้งถั่วเขียวแต่ละสูตรที่เวลาต่าง ๆ เพื่อหาความสามารถในการดูดน้ำ แล้วนำฟิล์มแป้งถั่วเขียวที่ทดสอบการดูดน้ำไปอบให้ความร้อนเพื่อหาความสามารถในการละลายน้ำ

$$\text{ร้อยละการละลายน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times \text{ร้อยละ 100} \quad (3.3)$$

$$\text{ร้อยละการดูดน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times \text{ร้อยละ 100} \quad (3.4)$$

นำใบไม้ที่มีรูรั้วและกรวยกระดาษ ที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งถั่วเขียวมาทดสอบการรั้วซึมเวลาที่ใช้ในการทดสอบคือ 5, 10, 15, 30 และ 60 นาที นำใบไม้ที่มีรูรั้วมาใส่ในน้ำที่ผสมสีอาหารแล้วนำไปวางไว้ในชามที่มีน้ำเปล่าเพื่อดูการรั้วซึม กรวยกระดาษเหน็บใส่ไปในกรวยกระดาษเพื่อดูการรั้วซึม

### 3.5 วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลของการทดสอบสมบัติเชิงกล (การทดสอบความต้านทานแรงดึง) ทดสอบการดูดน้ำ และทดสอบการละลายของฟิล์มแป้งถั่วเขียวที่ได้จากการผสมแป้งถั่วเขียว กลีเซอรอล และกรดซิตริกที่อัตราส่วนต่างกัน

### 3.6 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่ม

สรุปผลจากการทดลองของการทดสอบสมบัติเชิงกล (การทดสอบความต้านทานแรงดึง) ทดสอบการดูดน้ำ และทดสอบการละลายของฟิล์มแป้งถั่วเขียว จัดทำรูปเล่ม เพื่อรายงานผลการทดลอง

## บทที่ 4

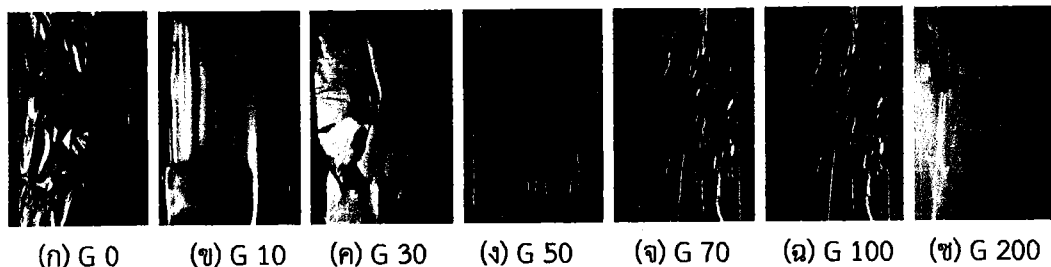
### ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลของการขึ้นรูปเป็นฟิล์มแก้วเขียวที่ปริมาณกลีเซอรอลต่าง ๆ

จากการทดลองเติมกลีเซอรอลที่ปริมาณต่าง ๆ โดยเมื่อกวนแป้งแก้วเขียวจนเกิดการเจลาติไนซ์เซชัน จึงยกมากวนที่อุณหภูมิห้องแล้วเติมกลีเซอรอลในแป้งแก้วเขียว กวนจนแป้งแก้วเขียวไม่เกิดฟองอากาศแล้วจึงเทบนแผ่นอะคริลิก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ถึง 15 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของฟิล์มแป้งแก้วเขียวที่สัดส่วนกลีเซอรอลต่าง ๆ

ชื่อสูตร	ความหนาแน่นของแป้งแก้วเขียว (ร้อยละต่อน้ำหนักของแป้ง)	กลีเซอรอล (ร้อยละต่อน้ำหนักของแป้ง)	ลักษณะของฟิล์มแป้งแก้วเขียว
G 0	5	-	มีความเปราะสูงมาก
G 10	5	10	มีความเปราะสูง มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
G 30	5	30	ความเปราะลดลง มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
G 50	5	50	มีความแข็งแรง มีความยืดหยุ่นน้อย
G 70	5	70	มีความแข็งแรง มีความยืดหยุ่นปานกลาง
G 100	5	100	มีความแข็งแรง มีลักษณะยืดหยุ่นสูง
G 200	5	200	ไม่มีความแข็งแรง ความยืดหยุ่นลดลงสูงมาก



รูปที่ 4.1 ลักษณะของฟิล์มแป้งแก้วเขียวที่ได้จากการเติมกลีเซอรอลที่ปริมาณต่าง ๆ



จากรูป 4.1 จะเห็นได้ว่าฟิล์มที่ไม่ได้เติมกลีเซอรอล (G 0) ถึงแม้จะมีลักษณะที่มีความเหนียวแต่มีความเปราะสูงมาก ที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 50 (G 50) ฟิล์มมีลักษณะยึดเกาะกันดีขึ้น มีความเหนียว แต่มีความยืดหยุ่นน้อย ที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 100 (G 100) ฟิล์มนั้นมีลักษณะที่เหนียว และมีความยืดหยุ่นได้ดี แต่ที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 200 (G 200) ฟิล์มนั้นไม่มีความแข็งแรง ถึงแม้ฟิล์มจะมีความยืดหยุ่นสูงขึ้นก็ตาม ดังนั้นเราจึงนำสูตร G 100 (CA 0) มาทำการตัดแปรฟิล์มแก้วเขียวให้มีความสามารถในการกับวัสดุธรรมชาติ เช่น ใบไม้ได้ ทำการตัดแปรโดยการเติมกรดซิตริกที่ปริมาณต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1 โดยทำการแยกเป็น 2 แบบดังนี้

4.1.1 เตรียมเป็นฟิล์มทดสอบ

4.1.2 ทำการเคลือบใบไม้และทำการทดสอบ

## 4.2 ผลของการตัดแปรฟิล์มแบ่งแก้วเขียว

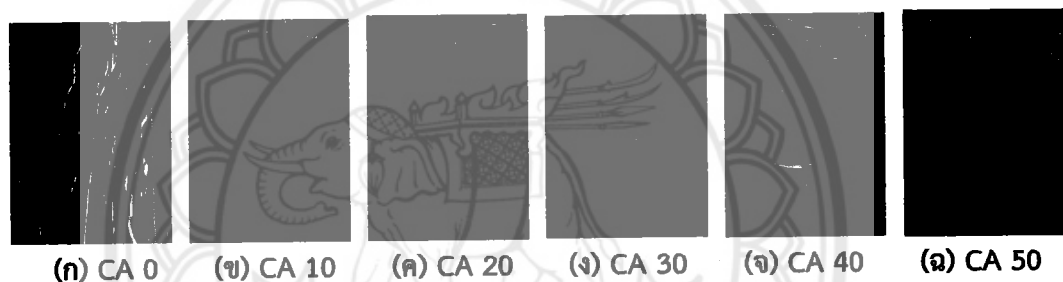
ทำการตัดแปรฟิล์มแบ่งแก้วเขียวโดยการเติมกรดซิตริก โดยเมื่อกวนแบ่งแก้วเขียวจนเกิดการเจลาติไนซ์เซชัน จึงยกมาทวนที่อุณหภูมิห้องแล้วเติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 100 (G 100) และเติมกรดซิตริกที่ปริมาณต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1 ในแบ่งแก้วเขียว กวนจนแบ่งแก้วเขียวไม่เกิดฟองอากาศ แล้วจึงเทบนแผ่นอะคริลิก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ถึง 15 ชั่วโมง และนำไปอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของฟิล์มแบ่งแก้วเขียวตัดแปรเป็น (ฟิล์มเคลือบ) ที่สัดส่วนกลีเซอรอลต่าง ๆ

ชื่อสูตร	กลีเซอรอล (ร้อยละต่อน้ำหนักของแบ่ง)	กรดซิตริก (ร้อยละต่อน้ำหนักของแบ่ง)	ลักษณะของฟิล์มแบ่งแก้วเขียวฟิล์มเคลือบ
CA 0	100	-	มีความแข็งแรง มีลักษณะยืดหยุ่นสูง
CA 10	100	10	ความแข็งแรงของฟิล์มลดลงเล็กน้อย ฟิล์มยังมีลักษณะยืดหยุ่น
CA 20	100	20	ความแข็งแรงของฟิล์มเริ่มลดลง ส่งผลให้ฟิล์มมีลักษณะยืดหยุ่นลดลง
CA 30	100	30	ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง การยืดหยุ่นลดลง
CA 40	100	40	ความแข็งแรงของฟิล์มลดลงสูงมาก ส่งผลให้การฉีกขาดของฟิล์มสูง
CA 50	100	50	ไม่มีความแข็งแรง การฉีกขาดสูง

ตารางที่ 4.3 ลักษณะของฟิล์มแบ่งแก้วเขียวตัดแปรเป็น (สารเคลือบ) ที่สัดส่วนกลีเซอรอลต่าง ๆ

ชื่อสูตร	กลีเซอรอล (ร้อยละต่อน้ำหนักของแป้ง)	กรดซิตริก (ร้อยละต่อน้ำหนักของแป้ง)	ลักษณะของฟิล์มแบ่งแก้ว เขียวที่เป็นสารเคลือบ
CA 0 (G 100)	100	-	-
CA 10	100	10	ยึดเกาะไปไม้ต่ำ
CA 20	100	20	ยึดเกาะไปไม้ต่ำ
CA 30	100	30	มีผิวมันวาว,สวยงาม
CA 40	100	40	มีผิวมันวาว เหนียวติด
CA 50	100	50	มีผิวมันวาว เหนียวติด

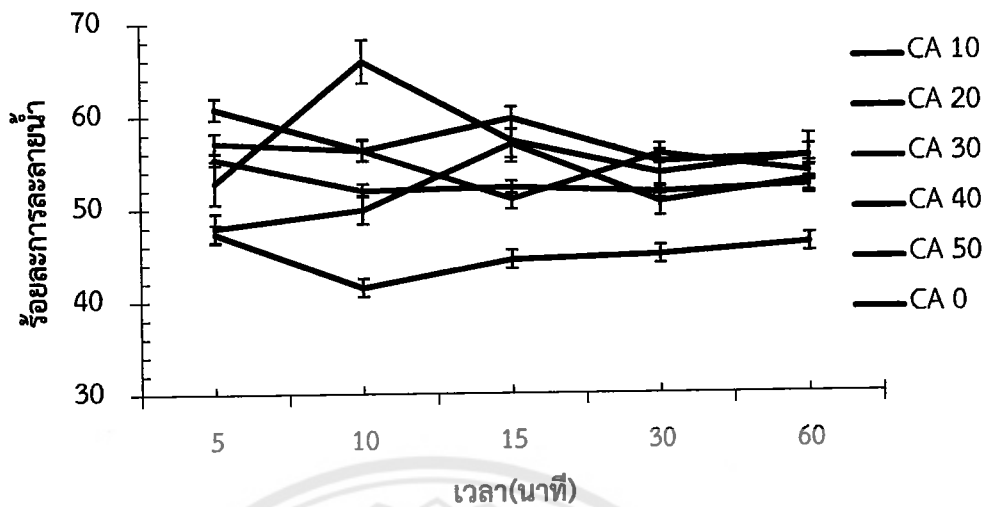


รูปที่ 4.2 ลักษณะของฟิล์มแบ่งแก้วเขียวตัดแปรที่ได้จากการเติมกรดซิตริกที่ปริมาณต่าง ๆ

### 4.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบฟิล์มแบ่งแก้วเขียว

#### 4.3.1 ผลการทดสอบการละลายน้ำ (Water Dissolve) ของฟิล์มแบ่งแก้วเขียว

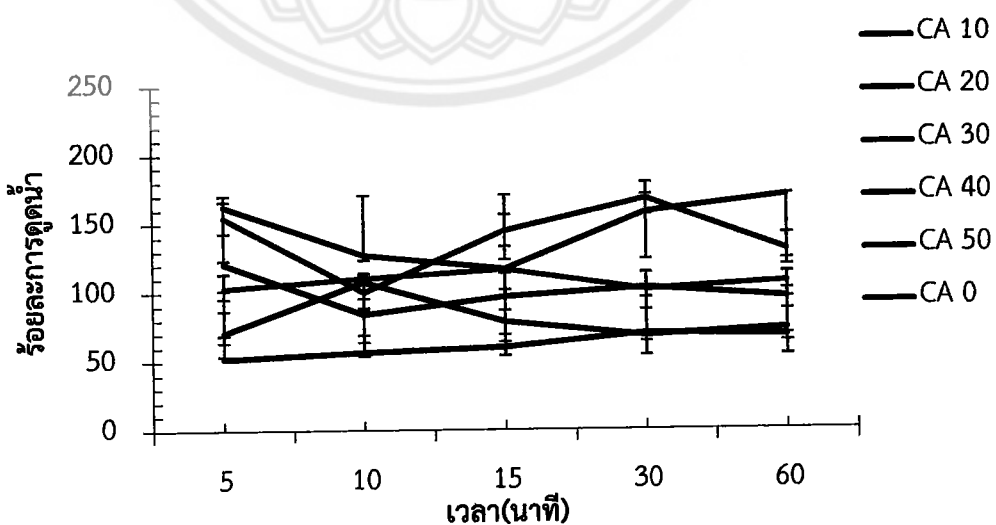
การทดลองพบว่า การทดลองการละลายน้ำที่เวลาต่าง ๆ ของฟิล์มแบ่งแก้วเขียว พบว่า สูตรที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 100 (CA 0) โดยน้ำหนักแป้ง มีร้อยละการละลายค่อนข้างสูงเติมกรดซิตริกร้อยละการละลายน้ำต่ำกว่าสูตรที่ไม่ได้ผสมกรดซิตริก เนื่องจากกรดซิตริกจะทำให้เกิดปฏิกิริยาแบบเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้ง จึงทำให้น้ำแทรกเข้าไปไม่ได้ และเมื่อเติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 100 โดยน้ำหนักของแป้ง และผสมกรดซิตริกที่ร้อยละ 10 (CA 10) โดยน้ำหนักของแป้ง พบว่าการละลายลดลง แต่ค่าการละลายที่สูงขึ้นสูตรที่เติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 100 โดยน้ำหนักของแป้ง และผสมกรดซิตริกที่ร้อยละ 20 (CA 20), 30 (CA 30), 40 (CA 40) และ 50 (CA 50) โดยน้ำหนักแป้ง อาจเนื่องมาจากความเป็นกรดที่สูงขึ้นอาจจะไปทำลายการเชื่อมโยงพันธะ จึงอาจจะทำให้น้ำแทรกเข้าไปเกิดการละลายได้มากขึ้น



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการละลายน้ำของฟิล์มที่ CA ปริมาณต่าง ๆ เมื่อเทียบกับเวลา

#### 4.3.2 ผลการทดสอบการดูดน้ำ (Water Up Take) ของฟิล์มแป้งถั่วเขียว

การทดสอบการดูดน้ำ (Water Up Take) ของฟิล์มแป้งถั่วเขียว พบว่าการเติมกรดซิตริกลงไปนั้นทำให้เกิดพันธะระหว่างสายโซ่ของแป้ง ส่งผลให้ร้อยละการดูดน้ำลดลง โดยเมื่อเติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 100 โดยน้ำหนักของแป้ง และผสมกรดซิตริกที่ร้อยละ 20 (CA 20) และ 50 (CA 50) โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าค่าการดูดน้ำจะใกล้เคียงกับสูตรที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 100 (CA 0) โดยน้ำหนักแป้ง ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อเพิ่มปริมาณกรดมากขึ้น ความเป็นกรดอาจจะส่งผลให้เกิดพันธะเชื่อมขวางกรดซิตริกอาจเกิดการแตกตัว และทำให้น้ำสามารถแทรกเข้ามาในโครงสร้างได้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการดูดน้ำของฟิล์มที่ CA ปริมาณต่าง ๆ เมื่อเทียบกับเวลา

#### 4.4 ผลการตรวจสอบการใช้งานเป็นฟิล์มเคลือบ

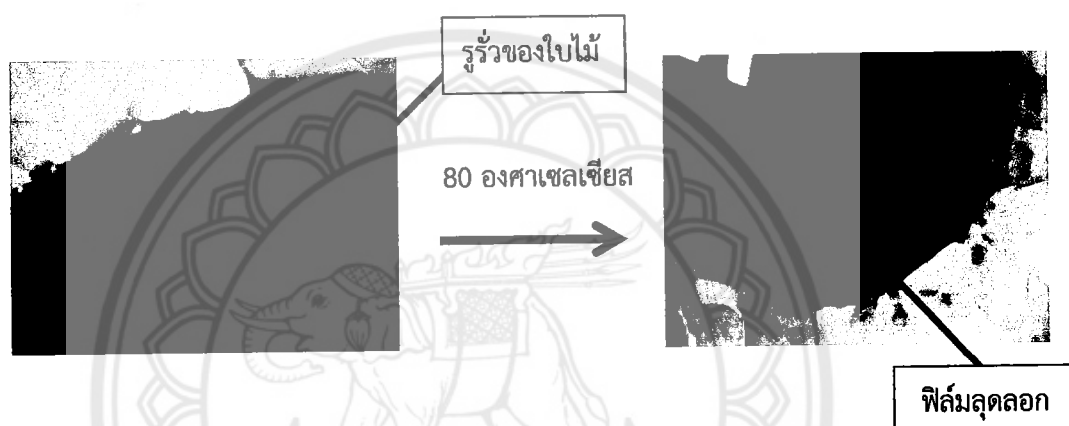
จากการทดลองนำแป้งตัดแปรสูตรต่าง ๆ มาทำการเคลือบบนใบไม้พบว่า เมื่อเติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 100 โดยน้ำหนักของแป้ง และผสมกรดซิตริกเป็นร้อยละ 30 (CA 30) ฟิล์มเคลือบจะมีลักษณะมันวาว และยึดเกาะได้ดีกับใบไม้ที่เป็นวัสดุจากธรรมชาติ และเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซิตริกมากขึ้น มีลักษณะเกาะใบไม้ไม่ค่อยดี

ตารางที่ 4.4 การก่อนเคลือบและหลังเคลือบ CA ที่สัดส่วนต่าง ๆ

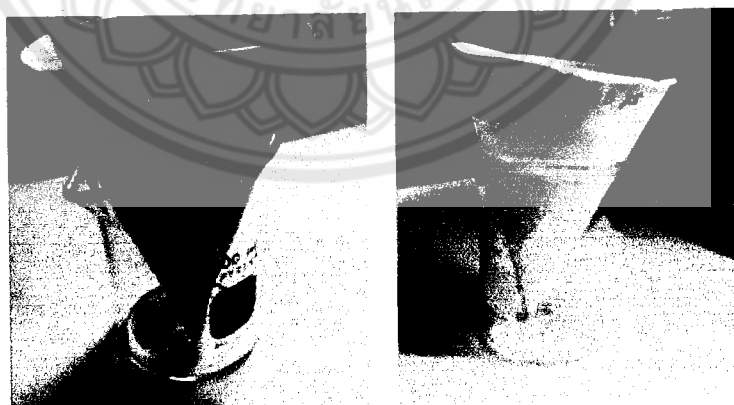
ชื่อสูตร	ก่อนเคลือบฟิล์มแป้ง ถั่วเขียวบนใบไม้	หลังเคลือบฟิล์มแป้ง ถั่วเขียวบนใบไม้
CA 10		
CA 20		
CA 30		
CA 40		
CA 50		

#### 4.4.1 ผลการทดสอบการรั่วซึมของใบไม้ที่เคลือบฟิล์มแบ่งถั่วเขียว

จากการทดสอบ โดยการทดลองเคลือบฟิล์มบนใบไม้ที่มีรูรั่วสูตรที่นำมาทดสอบคือ สูตรที่เติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 100 โดยน้ำหนักของแป้ง และผสมกรดซิตริกร้อยละ 30 (CA 30) โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าเมื่อฟิล์มสามารถปิดรูรั่วบนใบไม้ได้เมื่อใส่น้ำระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ 3 ชั่วโมง พบว่าที่อุณหภูมิห้องไม่มีการรั่วซึมของน้ำแต่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีการรั่วซึมของน้ำที่เวลา 30 นาที เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นน้ำจะดันให้ฟิล์มเปิดออกทำให้หลุดลอกออกจากกัน และทำให้เสียรูปร่างของฟิล์มเคลือบจึงทำให้เกิดการรั่วซึม นอกจากนี้ยังนำแป้งตัดแปรไปทดสอบเคลือบบนกรวยกระดาษ



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของการเกิดรูรั่วของใบไม้ที่เคลือบด้วยฟิล์มแบ่งถั่วเขียว



ก) ไม่เคลือบฟิล์มแบ่ง

ข) เคลือบฟิล์มแบ่ง

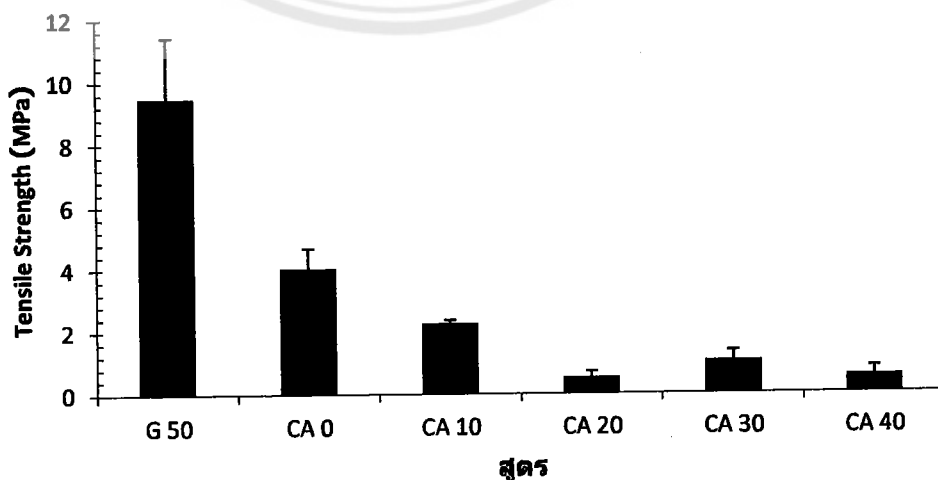
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของการใช้งานเคลือบแป้งตัดแปรบนกรวยกระดาษ

ตารางที่ 4.5 การทดสอบการรั่วซึม

เวลา (นาที)	ใบไม้		กรวยกระดาษ	
	น้ำอุณหภูมิต้อง	น้ำ 80 องศาเซลเซียส	ไม่เคลือบฟิล์ม	เคลือบฟิล์ม
5	ไม่รั่ว	ไม่รั่ว	รั่วตั้งแต่ 1 นาที	ไม่รั่ว
10	ไม่รั่ว	ไม่รั่ว	ไม่รั่ว	ไม่รั่ว
15	ไม่รั่ว	ไม่รั่ว	-	ไม่รั่ว
30	ไม่รั่ว	มีการหลุดลอกของฟิล์มแข็ง	-	ไม่รั่ว
60	ไม่รั่ว	มีการหลุดลอกของฟิล์มแข็ง	-	รั่ว มีการหลุดลอกของฟิล์มแข็ง

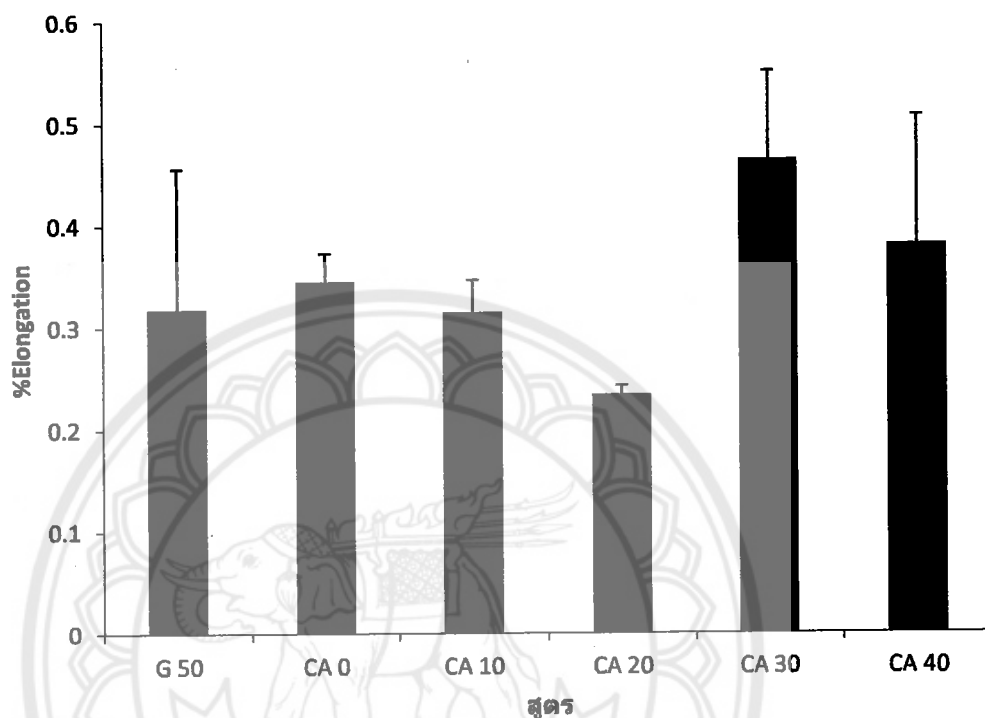
#### 4.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Universal Tensile Machine)

ฟิล์มจากแป้งข้าวเหนียวที่ไม่ผสมกรดซิตริกคือ สูตรที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 50 (G 50) โดยน้ำหนักแป้ง และสูตรที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 100 (CA 0) โดยน้ำหนักแป้ง มีค่าความเค้นแรงดึงโดยเฉลี่ย 9.479 และ 4.027 เมกะปาสคาล ซึ่งสูงกว่าฟิล์มจากแป้งที่เติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 100 โดยน้ำหนักของแป้ง และผสมกรดซิตริกที่ร้อยละ 10 (CA 10), 20 (CA 20), 30 (CA 30) และ 40 (CA 40) โดยน้ำหนักแป้ง มีค่าความเค้นแรงดึงโดยเฉลี่ย 2.271, 0.535, 1.058 และ 0.570 เมกะปาสคาล พบว่าสูตรที่เติมกลีเซอรอลมีค่าความเค้นแรงดึงมากกว่า เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟิล์ม แต่เมื่อเติมกลีเซอรอลมากขึ้นส่งผลให้ค่าความเค้นแรงดึงลดลง การเติมกรดซิตริกส่งผลให้ค่าความเค้นแรงดึงลดลง เนื่องจากกรดซิตริกจะทำให้เกิดปฏิกิริยาแบบเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งซึ่งความเป็นกรดที่สูงขึ้นอาจจะไปทำลายการเชื่อมโยงพันธะ



รูปที่ 4.7 กราฟ Tensile Strength แสดงการทดสอบการต้านทานแรงดึงของฟิล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ

ค้ำยงมอดูลัส (Young's Modulus) ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมในการรับแรงของฟิล์ม พบว่าเมื่อทำการเติมกลีเซอรอลมากขึ้น ทำให้ร้อยละการยืด (Elongation) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปริมาณของกลีเซอรอลที่มากขึ้นจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจน ระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์ของแป้งได้มากขึ้น จึงทำให้สายโซ่โพลิเมอร์เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับแรงดึง



รูปที่ 4.8 กราฟลักษณะการยืดของฟิล์ม (Elongation) ของฟิล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ

## บทที่ 5

### สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากการเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวเหนียวเพื่อการใช้งานเป็นฟิล์มเคลือบ และทำการเติมกลีเซอรอล (Glycerol) ที่ร้อยละ 100 (CA 0) โดยน้ำหนักแป้ง และผสมกรดซิตริก (Citric Acid) ที่ร้อยละ 10 (CA 10), 20 (CA 20), 30 (CA 30), 40 (CA 40) และ 50 (CA 50) โดยน้ำหนักแป้ง จากนั้นนำไปทดสอบการละลายน้ำ (Water Dissolve) และทดสอบการดูดน้ำ (Water Up Take) และนำสูตรที่ผสมกรดซิตริกร้อยละ 30 (CA 30) โดยน้ำหนักแป้ง ที่สามารถเคลือบบนใบไม้ นำไปทดสอบการรั่วซึม และนำสูตรที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 50 (G 50) สูตรที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 100 โดยน้ำหนักแป้ง และผสมกรดซิตริกร้อยละ 10 (CA 10), 20 (CA 20), 30 (CA 30) และ 40 (CA 40) โดยน้ำหนักแป้ง นำไปทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine, UTM) สามารถสรุปผลการทดลองดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการทดลองการเตรียมฟิล์มแป้งข้าวเหนียวนั้น สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มจากแป้งข้าวเหนียวได้ โดยมีลักษณะที่เหนียว และมีแข็งแรง

5.1.2 หลังจากปรับปรุงสูตร พบว่าฟิล์มแป้งข้าวเหนียวที่ได้ดัดแปร สามารถเคลือบบนใบไม้ได้ มีการยึดเกาะที่ดี และมีความมันวาว

5.1.3 การทดลองพบว่าผลการทดลองการละลายน้ำที่เวลาต่าง ๆ ของฟิล์มแป้งข้าวเหนียวการเติมกรดซิตริกการละลายน้ำต่ำกว่าสูตรที่ไม่ได้ผสมกรดซิตริกอาจเนื่องมาจากความเป็นกรดที่สูงขึ้นอาจจะไปทำลายการเชื่อมโยงพันธะ จึงอาจจะทำให้สายโซ่เกิดการละลายได้มากขึ้น

5.1.4 การทดลองการดูดน้ำพบว่ากรดซิตริกสูงเกินไปทำให้เกิดพันธะระหว่างสายโซ่ของแป้งส่งผลให้ร้อยละการดูดน้ำลดลง เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณกรดมากขึ้น ความเป็นกรดอาจจะส่งผลให้เกิดพันธะเชื่อมขวาง กรดซิตริกอาจเกิดการแตกตัว และทำให้น้ำสามารถแทรกเข้ามาในโครงสร้างได้

5.1.5 การทดลองเคลือบฟิล์มบนใบไม้ที่มีรูรั่ว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นน้ำจะดันให้ฟิล์มเปิดออกทำให้ลอกหลุดออกจากกัน และทำให้เสียรูปร่างของฟิล์มเคลือบจึงทำให้เกิดการรั่วซึม

5.1.6 การเติมกลีเซอรอลส่งผลให้ค่าความเค้นแรงดึงสูง เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟิล์ม

5.1.7 การเติมกรดซิตริกส่งผลให้ค่าความเค้นแรงดึงลดลง เนื่องจากกรดซิตริกจะทำให้เกิดปฏิกิริยาแบบเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งซึ่งความเป็นกรดที่สูงขึ้นอาจจะไปทำลายการเชื่อมโยงพันธะ



5.1.8 ร้อยละการยืด (Elongation) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปริมาณของกลีเซอรอลที่มากขึ้นจะไปทำลายพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งได้มากขึ้น จึงทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับแรงดึง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ทดลองหาสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ หรือสารช่วยยึดเกาะมาช่วยในการขึ้นรูป

## 5.3 ปัญหาที่พบ

5.3.1 การขึ้นรูปนั้น การเกิดเจลลิตไนเซชันของฟิล์มแป้งถั่วเขียว มีลักษณะของความหนืดไม่เท่ากัน ทำให้เวลาขึ้นรูป ทำให้ความหนาของการขึ้นรูปมีความหนาไม่เท่ากัน

5.3.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำฟิล์มแป้งถั่วเขียวนั้นไม่แน่นอนอยู่ในช่วง 80 ถึง 100 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่สามารถกำหนดระยะเวลาที่จะเกิดการเจลลิตไนเซชัน ทำให้ไม่สามารถควบคุมความหนืดได้

5.3.3 การใช้งานฟิล์มที่ได้เป็นฟิล์มเคลือบใบไม้ นั้น ใช้เวลาในการเคลือบนานกว่าสารเคลือบจะสามารถเคลือบเต็มใบไม้

5.3.4 หากใช้เวลาในการเคลือบฟิล์มแป้งถั่วเขียวบนใบไม้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน จะทำให้ฟิล์มเคลือบไหลลงมาอยู่ที่ใบไม้ ทำให้เสียเวลาในการเคลือบ

5.3.5 หากทำสารเคลือบในปริมาณที่เยอะ และมีคนช่วยในการเคลือบฟิล์มแป้งถั่วเขียวบนใบไม้ ทำให้เมื่อนำไปอบความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นั้นใบไม้จะมีลักษณะเป็นคราบสีเหลืองเป็นหย่อม ๆ ไม่สวยงาม

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ชวนชม อ่วมเนตร. (2552). การพัฒนาอ้อยสลายได้จากพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และแป่งตัดแปรเพื่อผลิตวัสดุคลุมโรงเรือนสำหรับเพาะปลูก วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยศิลปกร, กรุงเทพมหานคร.
- [2] ภัทรา ปกรณ์สมบูรณ์. (2550). การใช้กรดอินทรีย์ทดแทนโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการฟอกขาวเส้นก๋วยเตี๋ยที่ทำจากข้าว วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยศิลปกร, กรุงเทพมหานคร.
- [3] ดุชฎี อุตภาพ. (2554). เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรท วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.
- [4] อริญา ลาภโคกสูง. (2555). ผลของปริมาณอะมิโลสและโครงสร้างอะมิโลเพคตินในสตาร์ชข้าวพันธ์ต่าง ๆ ต่อการเกิดแป้งทนต่อการย่อยของเอนไซม์ชนิดที่ 3 วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- [5] นราพร ดาลัย. (2553). การเก็บรักษาและการใช้ความร้อนขึ้นต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าว และแป้งข้าว วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- [6] กฤติกา บุรณ์โชคไพศาล. (2556). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้งถั่วเขียวเพาะงอก. ราชภัฏเพชรบูรณ์สาร, 15 (2), 9 - 15.
- [7] ณัฐมน ดีปะติ. (2551). การผลิตและการพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ไดจากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม ปรียญานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.
- [8] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2547). Acetic acid / กรดแอซิดิก สืบค้นเมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2559 จาก [www.foodnetworksolution.com](http://www.foodnetworksolution.com)
- [9] INTERPRETIVE CO., LTD. (2553). เอกสารข้อมูลความปลอดภัย สืบค้นเมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2559 จาก [www.interpretive.co.th](http://www.interpretive.co.th)
- [10] พิสิษฐพันธ์ กาญจนเตชะ, ชีราวุธ ปทุมธนทรัพย์, อารมย์ ตัดตะวะศาสตร์ และผดุงขวัญจิตโรภาส. (2553). ผลของสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อคุณสมบัติเชิงกลและการต้านการซึมผ่านน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งถั่วเขียวดัดแปรด้วยต่างในแอลกอฮอล์. วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน, 6 (3) , 91 - 103.
- [11] รัตนา จินดาพรรณ, จิรนาถ บุญคง และจิรศักดิ์ แก้วเกิด. (2547). การผลิตฟิล์มจากโปรตีนถั่วเขียว. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 1, 45 - 52.

### เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] กษิติศ อิ่มประไพ, อรพิน เกิดชูชื่น และณัฐฐา เลหากุลจิตต์. (2553). การศึกษาคุณสมบัติทางกล และกายภาพของฟิล์มบริโอดได้จากแป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 41 (3/1), 609 - 612.
- [13] TestResources, Inc. (2559). **Tensile Testing Machines for Plastics, Polymers & Composites** สืบค้นเมื่อวันที่ 21 เมษายน 2559 จาก<http://www.testresources.net>.

