

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 สตาร์ชสำปะหลัง (Cassava starch) จากบริษัท สวงวนวงศ์ อุตสาหกรรม จำกัด
- 1.2 ออกซิไดส์สตาร์ช Purity gum 8 หมายเลขการผลิต CAB 3104
จากบริษัท เนชั่นเนล สตาร์ช และ เคมีคอล จำกัด
- 1.3 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) จากบริษัท นิปปอน (ประเทศญี่ปุ่น) จำกัด
(NH 29, แอลกอฮอล์ซิส ร้อยละ 99)

2. สารเคมี

- 2.1 สารเคมีที่ใช้ตัดแปรสตาร์ช
 - 2.1.1 โพรพอนิกแอนไฮไดรด์ (96% Propionic anhydride, $C_6H_{10}O_3$: Fluka)
- 2.2 พลาสติไซเซอร์
 - 2.2.1 กลีเซอรอล (Glycerol, $C_3H_8O_3$: J.T. Baker)
 - 2.2.2 ซอร์บิทอล (Sorbitol, $C_6H_{14}O_6$: Unilab)
 - 2.2.3 พอลิเอทิลีน ไกลคอล-400 (PEG-400, $H(OCH_2CH_2)_nOH$: Unilab)
 - 2.2.4 ฟออร์มาไมด์ (formamide)
- 2.3 สารเคมีที่ใช้ศึกษาการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่

2.3.1 ลิเทียมคลอไรด์ ($LiCl \cdot H_2O$)	ความชื้นสัมพัทธ์ 11.3 %
2.3.2 โพแทสเซียมแอซีเตต (CH_3COOK)	ความชื้นสัมพัทธ์ 21.6 %
2.3.3 แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2 \cdot H_2O$)	ความชื้นสัมพัทธ์ 32.4 %

2.3.4	โพแทสเซียมคาร์บอเนต ($K_2CO_3 \cdot 2H_2O$)	ความชื้นสัมพัทธ์ 43.2 %
2.3.5	แมกนีเซียมไนเตรด ($MgNO_3$)	ความชื้นสัมพัทธ์ 51.4 %
2.3.6	โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)	ความชื้นสัมพัทธ์ 67.9 %
2.3.7	โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	ความชื้นสัมพัทธ์ 75.1 %
2.3.8	โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	ความชื้นสัมพัทธ์ 83.6 %
2.3.9	โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)	ความชื้นสัมพัทธ์ 97.0 %
2.3.10	ซิลิกาเจล (Silica gel)	

3. อุปกรณ์ในการขึ้นรูปฟิล์ม

- 3.1 เครื่องมือตัดแปลงจากโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง
- 3.2 แผ่นกระจกแบนเรียบ
- 3.3 ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

4. เครื่องมือ

- 4.1 เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge, Dupont Sorvall RC plus)
- 4.2 เครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield (Brookfield model RVT)
- 4.3 เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter, Hanna HI 8424)
- 4.4 เครื่อง Hot plate and magnetic stirrer (Thermolyne, Model SD 46920)
- 4.5 เครื่องไล่ฟองอากาศด้วยระบบอัลตราโซนิกส์ (TRU-SWEEP, Model 2750)
- 4.6 ตู้อบไฟฟ้าและปรับสภาวะความชื้นและอุณหภูมิ (Binder, KBF 720)
- 4.7 เครื่องวัดความหนา (Thickness Tester model 49-72 TMI)
- 4.8 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว

(LLOYD instruments, LRX plus)

- 4.9 เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy ; FTIR) (Perkin Elmer Model System 2000)
- 4.10 เครื่องวัดความหนืดแบบ Rapid Visco Analyzer (RVA-3D, Newport Scientific)
- 4.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM, JEOL JSM-5600LV)
- 4.12 เครื่องทดสอบค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Illinois model 8500)

- 4.13 ถ้วยทดสอบหาค่าการซึมผ่านของไอน้ำ
- 4.14 ถ้วยหาความชื้น (Moisture can)
- 4.15 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w analyzer, Novasina Sprint TH-500)
- 4.16 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Satorious model BP 2100S)
- 4.17 เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน (Severin)
- 4.18 ตะแกรงร่อนขนาด 45 เมช
- 4.19 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

วิธีการ

1. การเตรียมโพรพ็อกเซนสตาร์ชด้วยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน

จากการศึกษาของ สุดารัตน์ (2548) พบว่า ฟิล์มที่ได้จากสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรโดยใช้ โพรพ็อกเซนไฮโดรด์ ปริมาณร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ชแห้ง) มีความเหมาะสมมากที่สุดในการพัฒนาเป็นฟิล์มละลายน้ำได้เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ได้จากสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรด้วยแอซีติกแอนไฮไดรด์ และบิวทริกแอนไฮไดรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และเติมพลาสติกไซเซอร์ในปริมาณที่เท่ากัน

ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงดัดแปรสตาร์ชมันสำปะหลังด้วยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ โพรพ็อกเซนไฮโดรด์ปริมาณร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ชแห้ง) ตามวิธีของ สุดารัตน์ (2548) ในภาคผนวก ก ข้อ 1 ตรวจสอบสมบัติของโพรพ็อกเซนสตาร์ช โดยวิเคราะห์ปริมาณหมู่แทนที่และคำนวณหาระดับการแทนที่ของสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรที่ได้ตามวิธีดัดแปลงจากกล้าณรงค์ (2530) ในภาคผนวก ก ข้อ 2

2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพ็อกเซนสตาร์ชและ ออกซิไดส์สตาร์ช

ตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพ็อกเซนสตาร์ชที่ได้จากการดัดแปรในข้อ 1 และออกซิไดส์สตาร์ชด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ RVA ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 3 นำไปทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมสตาร์ชต่อไป

3. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการอบฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ขึ้นรูปฟิล์มตามวิธีของปนัดดา (2540) ในภาคผนวก ก ข้อ 4 สตาร์ชมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักแห้ง) ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20 40 และ 60 จากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวของฟิล์ม เพื่อประเมินหาสถานะในการอบฟิล์มที่เหมาะสมต่อสมบัติและการขึ้นรูปฟิล์มต่อไป

4. การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สามารถผสมกับสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิโอนเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชสำหรับขึ้นรูปฟิล์ม

เตรียมสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิโอนเนตสตาร์ช (ที่ได้จากการตัดแปรในข้อ 1) ความเข้มข้นร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักแห้ง) ผสมด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 20 30 40 50 และ 60 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) นำไปให้ความร้อนจนอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส สตาร์ชจะเกิดการเจลลิตีไนซ์ ตั้งทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วนำไปขึ้นรูปตามวิธีของปนัดดา (2540) ในภาคผนวก ก ข้อ 4

เตรียมออกซิไดส์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักแห้ง) ผสมด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 20 30 40 50 และ 60 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) นำไปให้ความร้อนจนอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส สตาร์ชจะเกิดการเจลลิตีไนซ์ ตั้งทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส แล้วนำไปขึ้นรูปตามวิธีของปนัดดา (2540) ในภาคผนวก ก ข้อ 4 จากนั้นอบฟิล์มในสถานะที่เหมาะสมตามที่ได้ทดลองในข้อ 3

นำฟิล์มที่ได้ไปตรวจพินิจเพื่อดูการผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันของสตาร์ชกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทั้งนี้เพื่อเป็นเกณฑ์ในการกำหนดปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในการผสมกับสตาร์ชที่จะใช้เตรียมฟิล์มเพื่อการศึกษาในขั้นต่อไป โดยจะเลือกปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับสตาร์ชไม่พอการแยกตัวออกจากกัน

5. การพัฒนาฟิล์มละลายน้ำได้จากสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพ็อกเซนสตาร์ช และออกซิไคส์สตาร์ช ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

5.1 ศึกษาผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพ็อกเซนสตาร์ช และออกซิไคส์สตาร์ชต่อสมบัติของฟิล์ม

เตรียมส่วนผสมสำหรับนำไปขึ้นรูปฟิล์มตามวิธีการและผลการทดลองที่ได้จากข้อ 4 ดังนี้

- สตาร์ชมันสำปะหลัง ความเข้มข้นร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักแห้ง) ผสมด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 20 30 และ 40 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช)

- โพรพ็อกเซนสตาร์ช ความเข้มข้นร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักแห้ง) ผสมด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 20 และ 30 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช)

- ออกซิไคส์สตาร์ช ความเข้มข้นร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักแห้ง) ผสมด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 20 30 และ 40 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช)

5.2 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพ็อกเซนสตาร์ช และออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ขึ้นรูปฟิล์มตามปริมาณที่เหมาะสมได้จากข้อ 5.1 แล้วทดลองเติมพลาสติกไซเซอร์ 4 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล พอลิเอทิลีนไกลคอล และฟอร์มามาไมด์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ชและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์) นำฟิล์มที่ได้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงขาดและการยึดตัวของฟิล์ม เพื่อประเมินหาชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมต่อการศึกษาต่อไป

6. การทดสอบสมบัติของฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์, สตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

นำฟิล์มที่ได้จากข้อ 5.2 มาทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

6.1 วัดความหนาของฟิล์ม ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 5

6.2 ทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวของฟิล์ม ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 6

6.3 ทดสอบค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึก ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 7

6.4 ทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 8

6.5 ทดสอบความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 9

6.6 ทดสอบค่าการละลาย ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 10

6.7 ศึกษาการหาพันธะทางเคมีระหว่างสตาร์ชกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR) ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 11

7. การศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

ตรวจสอบลักษณะของฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สำหรับการบรรจุสารเคมี

นำฟิล์มที่ได้จากข้อ 5.2 มาศึกษาลักษณะผิวหน้าของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดส่องกราด (วิธีทดสอบแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 12)

8. การทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ทดสอบประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สำหรับการบรรจุสารเคมีและเมล็ดพันธุ์คลุกสารเคมี

8.1 ทดสอบการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่

ศึกษาการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ โดยนำฟิล์มที่ได้จากข้อ 5.2 มาทดสอบตามวิธีทดสอบแสดงในภาคผนวก ก ข้อ 13

8.2 การบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ

นำฟิล์มที่ได้จากข้อ 5.2 มาตัดให้มีขนาดประมาณ 7×14 เซนติเมตร แล้วพับครึ่งเพื่อขึ้นรูปเป็นซอง โดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำประมาณ 40 กรัม ปิดผนึกซอง แล้วนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ดังนี้

8.2.1 ทดสอบค่าความต้านทานแรงกดของซองบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 14

8.2.2 ทดสอบการใช้งานเพื่อดูความสามารถในการละลายของซองพร้อมปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 15

8.2.3 ประเมินความสามารถในการทนทานต่อสภาวะการเก็บรักษาของซองพร้อมปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 16

โดยทดลองเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 แล้วทำการสุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 1 เดือน มาตรวจพินิจลักษณะปรากฏของซองบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ

8.3 การบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดคอลลูกสารเคมี

นำฟิล์มที่ได้จากข้อ 5.2 มาตัดให้มีขนาดประมาณ 5 x 10 เซนติเมตร แล้วพับครึ่งเพื่อขึ้นรูปเป็นซอง โดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสม บรรจุเมล็ดข้าวโพดคอลลูกสารเคมี ซองละ 10 เมล็ด จากนั้นปิดผนึกซอง แล้วนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

8.3.1 ทดสอบความทนทานต่อแรงสั่นสะเทือน ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 17

8.3.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างฟิล์มสตาร์ชและเมล็ดข้าวโพดคอลลูกสารเคมีและความสามารถในการทนทานต่อสภาวะการเก็บรักษา ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 18

โดยทดลองเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องแล้วทำการสุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์เป็นเวลา 6 สัปดาห์ มาตรวจสอบลักษณะต่างๆ ดังนี้

ตรวจพินิจลักษณะปรากฏของซองบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดคอลลูกสารเคมี ทดสอบค่า วอเตอร์แอกทิวิตี ที่มีการเปลี่ยนแปลงของฟิล์มและเมล็ดข้าวโพดคอลลูกสารเคมี

8.3.3 ทดสอบการงอกของเมล็ดข้าวโพดคอลลูกสารเคมีเมื่อบรรจุในซองฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ตามวิธีในภาคผนวก ก ข้อ 19

นำฟิล์มที่ได้จากข้อ 5.2 มาตัดให้มีขนาดประมาณ 5 x 10 เซนติเมตร แล้วพับครึ่งเพื่อขึ้นรูปเป็นซอง โดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสม บรรจุเมล็ดข้าวโพดคอลลูกสารเคมี ซองละ 1 เมล็ด จากนั้นปิดผนึกซอง แล้วนำมาทดสอบการงอกของเมล็ดเทียบกับเมล็ดข้าวโพดที่ไม่ได้บรรจุซอง

9. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม SPSS for Windows version 11.0 โดยวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (พอลใจ, 2534)

10. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการของภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรม
เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ห้องปฏิบัติการของศูนย์เครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์กลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตบางเขน

ห้องปฏิบัติการของอาคาร โรงงานต้นแบบ KU-GREEN มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตบางเขน

11. ระยะเวลาในการทดลอง

พฤศจิกายน 2547 ถึง มิถุนายน 2549

ผลและวิจารณ์

1. การเตรียมโพรพืออเนตสตาร์ชด้วยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน

จากการเตรียมโพรพืออเนตสตาร์ชโดยการดัดแปรสตาร์ชมันสำปะหลังด้วยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โพรพืออิกแอนไฮไดรด์ ปริมาณร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ชแห้ง) แล้วนำสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรที่ได้มาตรวจสอบสมบัติโดยวิเคราะห์หาร้อยละของหมู่แทนที่และระดับการแทนที่ พบว่า มีปริมาณหมู่แทนที่ เท่ากับ ร้อยละ 9.04 และมีระดับการแทนที่ของสารเคมี คือ 0.282 ซึ่งจัดว่าเป็นสตาร์ชดัดแปรที่มีระดับการแทนที่ต่ำ (DS 0.2-0.3) ซึ่งมีความสอดคล้องกับการทดลองของสุคาร์ตัน (2548) โดยการแทนที่ของหมู่โพรพืออเนตแทนหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ในโครงสร้างของสตาร์ชจะมีผลทำให้สตาร์ชที่ได้มีความไวต่อความชื้นลดลง

2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพืออเนตสตาร์ชและออกซิไดส์สตาร์ช

จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพืออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ช ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ RVA พบว่า ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) เวลาในการเกิดความหนืดสูงสุด (peak time) ของสตาร์ชมันสำปะหลัง มีค่าสูงกว่าโพรพืออเนตสตาร์ชและออกซิไดส์สตาร์ช เนื่องจากในการดัดแปรสตาร์ชหมู่ของสารเคมีที่ใช้ในการดัดแปร จะเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในสตาร์ชทำให้พันธะเคมี (พันธะไฮโดรเจน) ในเม็ดสตาร์ชมีน้อยลงและเม็ดสตาร์ชพองง่ายขึ้น (Rutenberg, 1980; Shogren, 1996) ความร้อนที่ใช้ในการทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์จึงลดลง ซึ่งหมายถึงอุณหภูมิที่เกิดการเจลาติไนซ์ของสตาร์ชลดลง และเมื่อปริมาณสารเคมีในการดัดแปรเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ก็มีแนวโน้มที่จะลดลงด้วยเช่นกัน (สุคาร์ตัน, 2548)

จากผลของการวัดอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพืออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ช พบว่า สตาร์ชมันสำปะหลังมีอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลาติไนซ์สูงที่สุด (72.75 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ออกซิไดส์สตาร์ช (67.56 องศาเซลเซียส) และโพรพืออเนตสตาร์ช (66.95 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

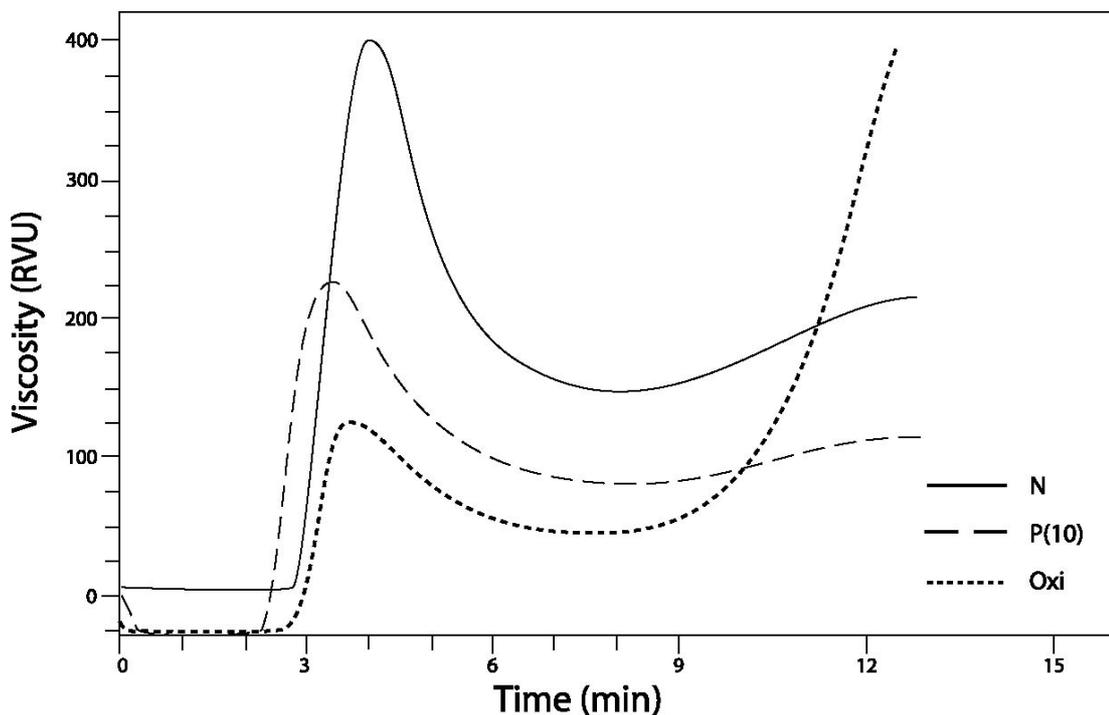
สำหรับความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของสตาร์ชมันสำปะหลังมีค่าสูงที่สุด (400.50 RVU) รองลงมาคือ โพรพิออนเตสตาร์ช (185.83 RVU) และออกซิไดส์สตาร์ช (132.25 RVU) ตามลำดับ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปในเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังได้ง่ายและไม่มีหมู่ของสารเคมีที่ใช้ตัดแปรไปขัดขวาง จึงทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชมันสำปะหลังสูงที่สุด รองลงมาคือ โพรพิออนเตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ช ตามลำดับ โดยจากการที่ออกซิไดส์สตาร์ช ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสตาร์ชกับสารออกซิไดส์ (oxidizing agent) ทำให้โครงสร้างทางเคมีและขนาดโมเลกุลเปลี่ยนแปลงโดยตัดพันธะภายใน โมเลกุลสตาร์ชแบบส้อม สตาร์ชตัดแปรที่ได้จะมีน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดลดลง (Wurzburg, 1987) ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 และภาพที่ 11

เมื่อให้ความร้อนแก่สตาร์ชอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดที่พองตัวได้สูงสุดในช่วงนี้ความหนืดของสตาร์ชทั้งสามชนิดจะเพิ่มขึ้นสูงสุด เมื่อเม็ดสตาร์ชแตกตัวออก โมเลกุลเอมิโลสจะหลุดออกมาภายนอกทำให้สตาร์ชมีความหนืดลดลงสังเกตจากค่าความหนืดต่ำสุด (ตารางที่ 4) และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง โมเลกุลเอมิโลสจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนกับ โมเลกุลเอมิโลสที่อยู่ใกล้เคียงกันหรือโมเลกุลเอมิโลเพกทินบริเวณที่เป็นเส้นตรง เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่มีความหนืดคงตัวมากขึ้นกลายเป็นเจลหรือตะกอน เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือ การคืนตัว (set back) ซึ่งพบว่าออกซิไดส์สตาร์ชมีค่าการคืนตัวสูงที่สุด คือ 348.41 RVU เมื่อเทียบกับสตาร์ชมันสำปะหลัง (67.75 RVU) และโพรพิออนเตสตาร์ช (39.17 RVU) เนื่องจากสายพอลิเมอร์ของออกซิไดส์สตาร์ชถูกตัดออกเป็นสายสั้นๆ ไม่มีกิ่งก้านสาขา (Luallen, 1985) จึงทำให้โมเลกุลสามารถเกิดการจัดเรียงตัวได้มากกว่าสตาร์ชชนิดอื่น

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิออนเตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ช ตรวจสอบด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ RVA

สตาร์ช	อุณหภูมิเริ่มเกิด ความหนืด (°C)	เวลาที่เกิดความ หนืดสูงสุด (นาที)	ความหนืด สูงสุด (RVU)	ความหนืด ต่ำสุด (RVU)	ความหนืด สุดท้าย (RVU)	การคืนตัว (RVU)
N	72.75	4.00	400.50	147.00	214.75	67.75
P(10)	66.95	3.20	185.83	79.50	118.67	39.17
Oxi	67.56	3.87	132.25	39.17	387.58	348.41

หมายเหตุ: N = สตาร์ชมันสำปะหลัง P(10) = โพรพิออนเตสตาร์ช Oxi = ออกซิไดส์สตาร์ช



ภาพที่ 11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรรววจวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ RVA โดย N=สตาร์ชมันสำปะหลัง P(10)=โพรพ็อกซิดีสตาร์ช Oxi=ออกซิไดส์สตาร์ช

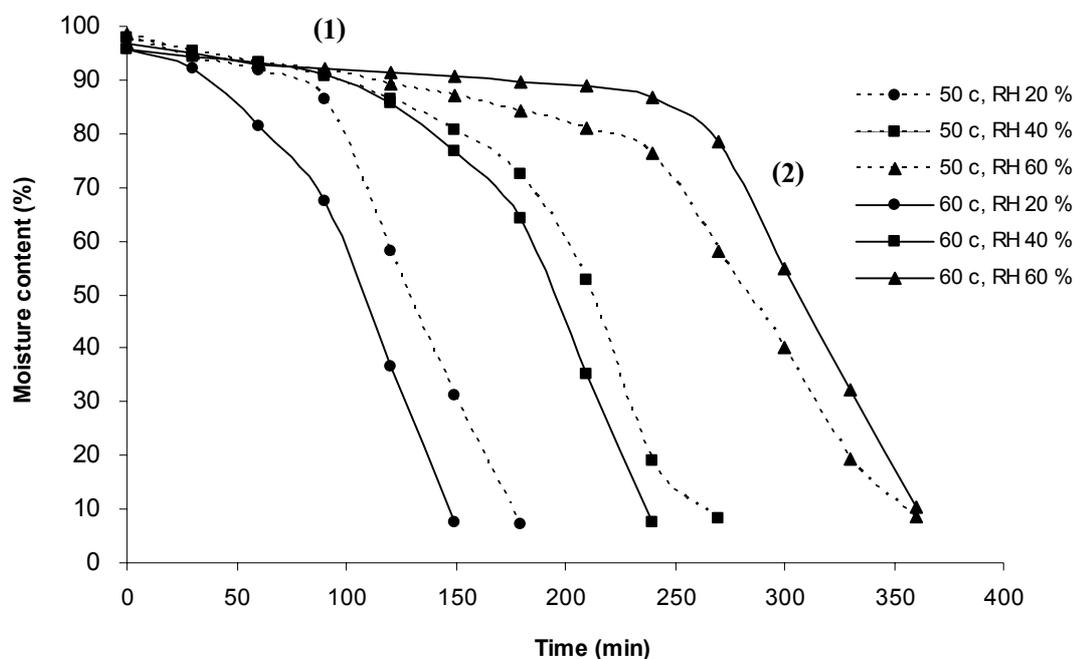
3. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการอบฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ทดลองขึ้นรูปฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักแห้ง) ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20 40 และ 60 เก็บตัวอย่างไปวัดความชื้นทุก 30 นาที จนกว่าฟิล์มแห้ง มีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 ประเมินหาสถานะในการอบฟิล์มที่เหมาะสมต่อสมบัติและการขึ้นรูปฟิล์ม

การอบแห้งของฟิล์ม เมื่อพิจารณาจากกราฟที่แสดงไว้ในภาพที่ 12 พบว่า สามารถแบ่งระยะการแห้งของฟิล์มได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นช่วงที่อัตราการทำแห้งของฟิล์มมีค่าต่ำ หรือกล่าวได้ว่าความชื้นลดลงช้าๆ ในอัตราคงที่ (constant rate drying period) เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างช้าๆ น้ำในฟิล์มจะค่อยๆ รับและสะสมพลังงานความร้อนจนกระทั่งมีค่ามากพอที่จะระเหยออกไป พบว่าการอบฟิล์มในระยะนี้ที่สถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะมีช่วงเวลาที่ยาวกว่าการอบที่สถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จากนั้นก็จะเข้าสู่ช่วงที่สอง ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราการ

ทำแห้งมีค่าสูง หรือความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว (falling rate drying period) คือ เมื่อน้ำในฟิล์มมีพลังงานมากพอที่จะระเหยออกไปอย่างต่อเนื่อง ความชื้นในฟิล์มจะลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งฟิล์มแห้ง (ความชื้นของฟิล์มแห้งมีค่าต่ำกว่า 10 ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง) พบว่าในช่วงที่สองนี้ อัตราการทำแห้งของฟิล์มที่การอบที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน

ในช่วงแรก que ความชื้นลดลงช้าๆ ในอัตราคงที่ (constant rate drying period) ความชื้นสัมพัทธ์จะมีความสำคัญมากกว่าอุณหภูมิแต่ในช่วงที่สองหรือความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว (falling rate drying period) พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่ส่งผลต่อการทำแห้งของฟิล์มมากนัก



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของฟิล์มในระหว่างการอบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20 40 และ 60

เพื่อประเมินหาสภาวะในการอบฟิล์มที่เหมาะสมต่อสมบัติและการขึ้นรูปฟิล์มจึงนำฟิล์มที่ได้จากการอบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20 40 และ 60 ไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงขาด การยืดตัว อัตราการแห้ง และเวลาที่ใช้ออบของฟิล์ม ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สมบัติเชิงกล อัตราการแห้ง และเวลาที่ใช้ออบของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 ที่สภาวะการอบต่างๆ

สภาวะการอบ		ความต้านทาน		อัตราการแห้ง		เวลาที่
อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์	แรงดึงขาด	การยืดตัว	(1)	(2)	ใช้ออบ
(°ซ)	(ร้อยละ)	(กก./ตร.มม.)	(ร้อยละ)	(ร้อยละของความชื้น/นาท)		(นาท)
	20	3.5219 b	5.0597 ab	0.0908	0.9413	170
50	40	3.6411 b	4.2689 bc	0.0911	0.8210	264
	60	3.6991 b	3.6837 c	0.0917	0.7493	383
60	20	3.2686 b	5.7592 a	0.0952	0.9777	127
	40	4.7072 a	4.8569 ab	0.0944	0.8843	231
	60	4.8005 a	4.1616 bc	0.0929	0.7740	370

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 5$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการนำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มที่อบที่สภาวะต่างๆ พบว่าฟิล์มอบที่อุณหภูมิ เดียวกันแต่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน ค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น โดยความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มน้อยกว่า ร้อยละ 40 และ ร้อยละ 60 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดฟิล์มหลังจากที่ได้ผสมองค์ประกอบของฟิล์มให้อยู่ในรูปของสารละลายแล้ว ทำการระเหยตัวทำละลายออกไปด้วยความร้อน พอลิเมอร์จะจัดเรียงตัวกันเกิดการยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงโคฮีชันที่เกิดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงๆ นั้น พอลิเมอร์จะมีเวลาจัดเรียงตัวกัน ได้มากกว่าสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น ตามลำดับ ซึ่งจะมีผลต่อความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มที่จะลดลง

ที่สภาวะการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40 และ 60 กลับพบว่ามีความต้านทานแรงดึงขาดน้อยกว่า การอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40 และ 60 จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าเวลาหรือสภาวะของการอบของฟิล์ม นั้นมีผลต่อการจัดเรียงโมเลกุล ซึ่งจะมีความเหมาะสมเฉพาะในแต่ละชนิด การใช้เวลาในการอบมากเกินไปอาจก่อให้เกิดผลเสีย หรือไม่เพิ่มความแข็งแรงให้กับฟิล์มได้

เวลาที่ใช้ในการอบฟิล์มแตกต่างกันตามสภาวะในการอบ โดยฟิล์มอบที่สภาวะอุณหภูมิสูง (60 องศาเซลเซียส) ฟิล์มจะแห้งเร็วกว่าอบที่สภาวะที่อุณหภูมิต่ำ (50 องศาเซลเซียส) และที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำฟิล์มจะแห้งเร็วกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง (ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20 มากกว่า 40 และ 60 ตามลำดับ)

สภาวะการอบที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์ม คือ การอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40 เนื่องจากฟิล์มมีความต้านทานแรงดึง และร้อยละการยึดตัวมีค่าสูงสุด อัตราการแห้งของฟิล์มและระยะเวลาในการอบฟิล์มอยู่ในระดับที่เหมาะสม

4. การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สามารถผสมกับสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิโอนेटสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชสำหรับขึ้นรูปฟิล์ม

การตรวจสอบลักษณะของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิโอนेटสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปริมาณต่างๆ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 13 ถึง 15 ตามลำดับ พบว่าการผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับสตาร์ชมันสำปะหลัง หรือออกซิไดส์สตาร์ชที่ปริมาณ ร้อยละ 10 20 30 และ 40 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) ฟิล์มที่ได้มีลักษณะกระด้าง แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 50 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) ขึ้นไป พบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกออกมาจากเนื้อฟิล์ม และพบมากขึ้นถ้าปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้น

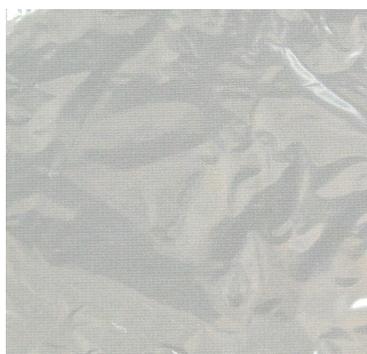
ส่วนฟิล์มโพรพิโอนेटสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 40 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) ฟิล์มที่ได้มีลักษณะกระด้างกว่าฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง หรือออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แต่ฟิล์มมีความเรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 40 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) ขึ้นไป ฟิล์มที่ได้พบ

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกออกมาจากเนื้อฟิล์มและพบมากขึ้นเมื่อปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมในฟิล์มมากขึ้น ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การประเมินลักษณะของฟิล์มเพื่อหาความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์ม

ฟิล์ม	ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (ร้อยละต่อน้ำหนักสตาร์ช)	ลักษณะปรากฏของฟิล์ม
N	10	ฟิล์มกระด้าง แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
	20	ฟิล์มกระด้าง แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
	30	ฟิล์มกระด้าง แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
	40	ฟิล์มกระด้าง แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
	50	พบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกจากเนื้อฟิล์ม
	60	พบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกจากเนื้อฟิล์มเพิ่มขึ้น
P(10)	10	ฟิล์มกระด้างกว่า N และ Oxi แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
	20	ฟิล์มกระด้างกว่า N และ Oxi แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
	30	ฟิล์มกระด้างกว่า N และ Oxi แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
	40	พบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกจากเนื้อฟิล์ม
	50	พบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกจากเนื้อฟิล์มมากขึ้น
	60	พบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกจากเนื้อฟิล์มมากที่สุด
Oxi	10	ฟิล์มกระด้าง แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
	20	ฟิล์มกระด้าง แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
	30	ฟิล์มกระด้าง แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
	40	ฟิล์มกระด้าง แต่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน
	50	พบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกจากเนื้อฟิล์ม
	60	พบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกจากเนื้อฟิล์มมากขึ้น

ดังนั้น ในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณ ร้อยละ 10 20 30 และ 40 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง และออกซิไคด์สตาร์ชเพื่อใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม ส่วนฟิล์มที่เตรียมจากโพรีฟิออนเตสตาร์ชจะผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 20 และ 30 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) เนื่องจากเป็นปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมในฟิล์มแล้วไม่พบการแยกตัวระหว่างสตาร์ชและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



(ก)



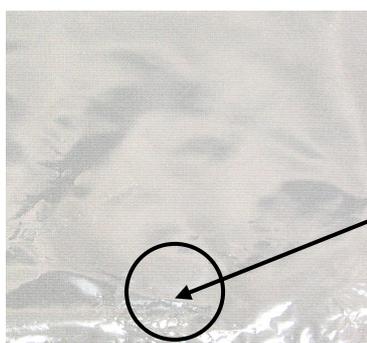
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

บริเวณฟิล์มที่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์
แยกตัวออกมา

ภาพที่ 13 ลักษณะของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่างๆ โดย (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ) เป็นรูปฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 (น้ำหนักสตาร์ชแห้ง) ตามลำดับ



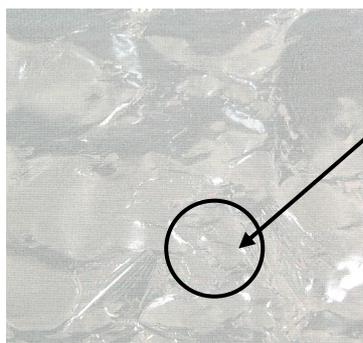
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

บริเวณฟิล์มที่
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์
แยกตัวออกมา

ภาพที่ 14 ลักษณะของฟิล์มโพรพิลอเนตสตาร์ซผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่างๆ โดย (ก) (ข) (ค) และ(ง) เป็นรูปฟิล์มโพรพิลอเนตสตาร์ซผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 20 30 และ 40 (น้ำหนักสตาร์ซแห้ง) ตามลำดับ



(ก)



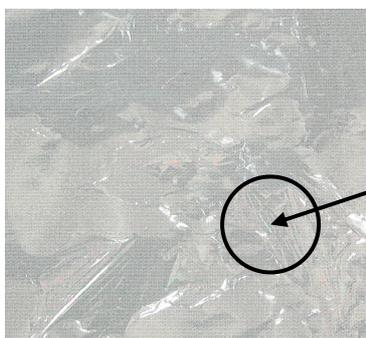
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

บริเวณฟิล์มที่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์
แยกตัวออกมา

ภาพที่ 15 ลักษณะของฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่างๆ โดย (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ) เป็นรูปฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 (น้ำหนักสตาร์ชแห้ง) ตามลำดับ

5. การพัฒนาฟิล์มละลายน้ำได้จากสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพ็อกเซนสตาร์ช และออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

5.1 ศึกษาผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพ็อกเซนสตาร์ช และออกซิไคส์สตาร์ชต่อสมบัติของฟิล์ม

ตารางที่ 7 ความหนา และสมบัติเชิงกลของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพ็อกเซนสตาร์ช และออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ฟิล์ม	ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (ร้อยละต่อน้ำหนักสตาร์ช)	ความหนา (มม.)	ความต้านทานแรงดึง (กก./ตร.มม.)	การยืดตัว (ร้อยละ)
N	0	0.04 c	ทดสอบไม่ได้	ทดสอบไม่ได้
	10	0.04 c	4.20 ef	3.08 cd
	20	0.04 b	3.99 fg	3.17 c
	30	0.03 d	3.55 g	3.84 ab
	40	0.04 c	3.52 g	4.08 a
P(10)	0	0.04 b	ทดสอบไม่ได้	ทดสอบไม่ได้
	10	0.04 b	5.12 d	2.94 cd
	20	0.04 c	4.94 d	3.69 ab
	30	0.04 b	4.75 de	3.82 ab
Oxi	0	0.06 a	ทดสอบไม่ได้	ทดสอบไม่ได้
	10	0.06 a	8.22 a	2.60 d
	20	0.06 a	7.52 b	3.05 cd
	30	0.06 a	6.94 bc	3.38 bc
	40	0.06 a	6.65 c	3.99 a

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 5$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ฟิล์มที่เตรียมจากออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะมีความหนา 0.06 มิลลิเมตร ซึ่งมากกว่าฟิล์มชนิดอื่นที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.03-0.04 มิลลิเมตร เนื่องจาก

ออกซิไดส์สตาร์ชเป็นสตาร์ชที่มีความหนืดต่ำ ดังผลการทดลองในข้อ 2 (ภาพที่ 11) การเตรียมจึงต้องใช้ออกซิไดส์สตาร์ช ร้อยละ 10 เพื่อให้มีความหนืดที่เหมาะสม ในขณะที่สตาร์ชมันสำปะหลังและโพรีพอเนตสตาร์ช ใช้ความเข้มข้นเพียงร้อยละ 4 เป็นสาเหตุให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสมที่ใช้เตรียมฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าสูงที่สุด ความหนาของฟิล์มที่ได้จึงมีค่าสูงที่สุดด้วย

สุภารัตน์ (2548) ได้ทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร เติมซอร์บิทอลร้อยละ 30 เป็นพลาสติกไซเซออร์พบว่ามีความต้านทานแรงดึงขาดอยู่ในช่วง 1-3 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันและไขมันบริโภค ของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (2529) ที่ระบุค่าความต้านทานแรงดึงขาดไว้ไม่น้อยกว่า 0.9177 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร (หรือ 9 กิโลปาสคาล) จากตารางที่ 7 พบว่าสมบัติของฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดอยู่ในช่วง 3-8 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร โดยฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุด คือ 6.65-8.22 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ฟิล์มโพรีพอเนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดรองลงมา คือ 4.75-5.12 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร และฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดต่ำที่สุด คือ ฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าอยู่ในช่วง 3.53-4.20 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนฟิล์มสตาร์ชทั้งสามชนิดที่ไม่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นไม่สามารถนำมาทดสอบได้ เนื่องจากตัวอย่างฟิล์มกรอบ เปราะ แตกเป็นชิ้นๆ ได้ง่าย แสดงให้เห็นว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีผลในการเพิ่มความแข็งแรงให้ฟิล์มสตาร์ชและสตาร์ชดัดแปร

อย่างไรก็ตามการผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงไปปริมาณมากจะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดมีค่าลดลงเนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของสตาร์ช ส่งผลให้ให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายของพอลิเมอร์ของสตาร์ชต่ำลง จึงมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดต่ำลง

ส่วนค่าการยึดตัวของฟิล์มอยู่ในช่วงร้อยละ 2 - 4 แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มสตาร์ชที่ได้มีความยืดหยุ่นต่ำโดยค่าการยึดตัวที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ชและปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมในฟิล์ม แนวโน้มของค่าการยึดตัวของฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราของพอลิไวนิลเพิ่มขึ้นเนื่องจากพอลิไวนิล

แอลกอฮอล์เข้าไปแทรกในโมเลกุลของสตาร์ชทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ของสตาร์ชลดต่ำลงการยึดตัวของฟิล์มจึงเพิ่มสูงขึ้น

ในการตัดสินใจเลือกปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในการทดลองต่อไปพิจารณาจากสมบัติเชิงกลของฟิล์ม คือ ความต้านทานการดึงขาด เนื่องจากการยึดตัวของฟิล์มปรับปรุงได้โดยการเติมพลาสติกไซเซออร์ ดังนั้นจึงตัดสินใจเลือกพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 ผสมกับสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิอเนตสตาร์ช และออกซิไคส์สตาร์ช ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุดและใช้ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่ำที่สุด เพื่อหาชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ต่อไป

5.2 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซออร์ต่อสมบัติของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิอเนตสตาร์ช และออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ขึ้นรูปฟิล์มตามทีเลือกจากข้อ 5.1 คือ สตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิอเนตสตาร์ช และออกซิไคส์ ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) เติมพลาสติกไซเซออร์ 4 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล พอลิเอทิลีน ไกลคอล-400 และฟอร์มามาไมด์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน จากนั้นนำฟิล์มไปปรับสภาพที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจสอบนิจลัษณะของฟิล์มเพื่อหาชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่เหมาะสมในการศึกษาต่อไป ดังแสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 8

ฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิอเนตสตาร์ช และออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทีเติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ พบว่าฟิล์มมีลักษณะ ผิวเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน โปร่งแสง และสามารถลอกเป็นแผ่นได้ เหมาะสมที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์สำหรับการศึกษาต่อไป จากตารางที่ 8 พบว่า ฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังและออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 ทีเติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอล ร้อยละ 5 พบว่าฟิล์มทั้งก่อนและหลังปรับสภาพมีลักษณะยึดหยุ่น เมื่อเพิ่มเป็นร้อยละ 10 พบว่าฟิล์มทั้งก่อนและหลังปรับสภาพมีลักษณะยึดหยุ่นดี และเมื่อเพิ่มเป็นร้อยละ 15 และ 20 พบว่าก่อนปรับสภาพฟิล์มมีลักษณะยึดหยุ่นดีและยึดหยุ่นดีมากภายหลังจากปรับสภาพฟิล์มมีลักษณะชุ่มชื้นและยึดหยุ่นมากขึ้นเหมาะสมในการใช้งาน แต่เมื่อเติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 25 และ 30 ฟิล์มที่ได้มีลักษณะชื้นแฉะเล็กน้อยแต่ภายหลังจากหลังปรับสภาพฟิล์มเริ่มมีลักษณะชื้นแฉะมาก ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้

งาน ในทำนองเดียวกับฟิล์มที่เตรียมจากโพรพืออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชพบว่าโพรพืออเนตสตาร์ช สามารถเติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ได้ถึง ร้อยละ 25 และออกซิไดส์สตาร์ช สามารถเติมได้ถึง ร้อยละ 20 เช่นกัน

สำหรับการใช้พอลิเอทิลีน ไกลคอล-400 และ พอร์มาไมด์เป็นพลาสติกไซเซออร์ พบว่าฟิล์มที่ได้ทุกตัวอย่างมี มีลักษณะ แข็งกรอบ และแตกเป็นชิ้น ไม่เป็นแผ่น แสดงให้เห็นว่าพอลิเอทิลีน ไกลคอล-400 และพอร์มาไมด์ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับสตาร์ช เนื่องจากพอลิเอทิลีน ไกลคอล-400 มีขนาดโมเลกุลใหญ่ทำให้แทรกตัวและจับยึดกับโครงสร้างของสตาร์ชได้ยากซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สุภารัตน์ (2548) ที่พบว่าฟิล์มจากสตาร์ชหรือสตาร์ชดัดแปรที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล-400 เป็นพลาสติกไซเซออร์ มีลักษณะขาวขุ่น แข็งกรอบและแตกเป็นชิ้น ไม่สามารถลอกเป็นแผ่นฟิล์มได้ ส่วนฟิล์มที่ได้จากการเติมพอร์มาไมด์เป็นพลาสติกไซเซออร์ มีลักษณะขาวขุ่น และแข็งกรอบเช่นกัน ดังนั้น พอลิเอทิลีนไกลคอล-400 และพอร์มาไมด์ จึงไม่เหมาะสมในการใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์สำหรับฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพืออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

จากผลการศึกษาเบื้องต้นนี้จึงเลือกใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซออร์เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป โดยฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังและฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จะเติมกลีเซอรอลร้อยละ 5 10 15 20 และซอร์บิทอลร้อยละ 5 10 15 20 ส่วนฟิล์มโพรพืออเนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เติมกลีเซอรอลร้อยละ 5 10 15 20 25 และซอร์บิทอลร้อยละ 5 10 15 20 25 หลังจากขึ้นรูปฟิล์มแล้ว นำฟิล์มไปเก็บที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงทดสอบหาค่าความหนา ความต้านทานแรงดึง และการยึดตัวของฟิล์มได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 8 ลักษณะของฟิล์มที่เตรียมมาจากสตาร์ซมันสำปะหลัง โพรพิลอเนตสตาร์ซ และออกซิไดส์สตาร์ซผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักสตาร์ซแห้ง) และเติมพลาสติกไซเซออร์ชนิดต่างๆ

ฟิล์ม	พลาสติกไซเซออร์			ลักษณะฟิล์ม	
	ชนิด	ร้อยละ	ก่อนปรับสภาวะ	หลังปรับสภาวะ	
N + PVOH 10%	กัลิเซอรอล	-	กระดาษ	กระดาษขุ่น	กระดาษขุ่น
		5	ขีดยุ่น	ขีดยุ่น	ขีดยุ่น
		10	ขีดยุ่นดี	ขีดยุ่นดี	ขีดยุ่นดี
		15	ขีดยุ่นดี	ขีดยุ่นดีมาก	ขีดยุ่นดีมาก
		20	ขีดยุ่นดี	ขีดยุ่นดีมาก	ขีดยุ่นดีมาก
		25	ชั้นและเล็กน้อย	ชั้นและมาก	ชั้นและมาก
	30	ชั้นและ	ชั้นและมาก	ชั้นและมาก	
	ซอร์บิทอล	5	ขีดยุ่น	ขีดยุ่น	ขีดยุ่น
		10	ขีดยุ่นดี	ขีดยุ่นดี	ขีดยุ่นดี
		15	ขีดยุ่นดี	ขีดยุ่นดีมาก	ขีดยุ่นดีมาก
20		ขีดยุ่นดี	ขีดยุ่นดีมาก	ขีดยุ่นดีมาก	
พอลิเอทิลีน ไกลคอล-400	5	ชั้นและเล็กน้อย	ชั้นและมาก	ชั้นและมาก	
	30	ชั้นและ	ชั้นและมาก	ชั้นและมาก	
ฟอร์มามิเด	พอลิเอทิลีน ไกลคอล-400	5	แห้งกรอบ	แห้งกรอบ	แห้งกรอบ
		10	แห้งกรอบ	แห้งกรอบ	แห้งกรอบ
	พอร์มาไมด์	5	แห้งกรอบ	แห้งกรอบ	แห้งกรอบ
		10	แห้งกรอบ	แห้งกรอบ	แห้งกรอบ

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ฟิล์ม	พลาสติกไซเชอร์		ลักษณะฟิล์ม			
	ชนิด	รอยตะ	ก่อนปรับสภาวะ	หลังปรับสภาวะ		
P(10) + PVOH 10%	-	-	กระด้างกว่า N และ Oxi			
			กัลิเชอรอล	5	ยึดหยุ่น	ยึดหยุ่น
				10	ยึดหยุ่นดี	ยึดหยุ่นดี
				15	ยึดหยุ่นดี	ยึดหยุ่นดีมาก
				20	ยึดหยุ่นดี	ยึดหยุ่นดีมาก
				25	ยึดหยุ่นดี	ยึดหยุ่นดีมาก
				30	ขึ้นและเล็กน้อย	ขึ้นและมาก
			ซอร์บิทอล	5	ยึดหยุ่น	ยึดหยุ่น
				10	ยึดหยุ่นดี	ยึดหยุ่นดี
				15	ยึดหยุ่นดี	ยึดหยุ่นดีมาก
20	ยึดหยุ่นดี	ยึดหยุ่นดีมาก				
		25	ยึดหยุ่นดี	ยึดหยุ่นดีมาก		
		30	ขึ้นและเล็กน้อย	ขึ้นและมาก		
พอลิเอทิลีน ไกลคอล-400		5	แห้งกรอบ	แห้งกรอบ		
		10	แห้งกรอบมาก	แห้งกรอบมาก		
พอร์มาไมด์		5	แห้งกรอบ	แห้งกรอบ		
		10	แห้งกรอบมาก	แห้งกรอบมาก		

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ฟิล์ม	พลาสติกไซเชอร์		ลักษณะฟิล์ม		
	ชนิด	รอยตะ	ก่อนปรับสภาวะ	หลังปรับสภาวะ	
Oxi + PVOH 10%	-	-	กระด้าง	กระด้างน้อยลง	
	กิลีเชอรอล	5	ยืดหยุ่น	ยืดหยุ่น	ยืดหยุ่น
		10	ยืดหยุ่นดี	ยืดหยุ่นดี	ยืดหยุ่นดี
		15	ยืดหยุ่นดี	ยืดหยุ่นดีมาก	ยืดหยุ่นดีมาก
		20	ยืดหยุ่นดี	ยืดหยุ่นดีมาก	ยืดหยุ่นดีมาก
		25	ชั้นและเล็กน้อย	ชั้นและมาก	ชั้นและมาก
		30	ชั้นและ	ชั้นและมาก	ชั้นและมาก
	ซอร์บิทอล	5	ยืดหยุ่น	ยืดหยุ่น	ยืดหยุ่น
		10	ยืดหยุ่นดี	ยืดหยุ่นดี	ยืดหยุ่นดี
		15	ยืดหยุ่นดี	ยืดหยุ่นดีมาก	ยืดหยุ่นดีมาก
20		ยืดหยุ่นดี	ยืดหยุ่นดีมาก	ยืดหยุ่นดีมาก	
โพลีเอทิลีน ไกลคอล-400	25	ชั้นและเล็กน้อย	ชั้นและมาก	ชั้นและมาก	
	30	ชั้นและ	ชั้นและมาก	ชั้นและมาก	
ฟอร์มามิเด	5	แข็งแกร่ง	แข็งแกร่ง	แข็งแกร่ง	
	10	แข็งแกร่งมาก	แข็งแกร่งมาก	แข็งแกร่งมาก	
	5	แข็งแกร่ง	แข็งแกร่ง	แข็งแกร่ง	
	10	แข็งแกร่งมาก	แข็งแกร่งมาก	แข็งแกร่งมาก	

ตารางที่ 9 ผลของพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติ ของฟิล์มสตาร์ไขมันลำปะหลัง โพรพ็อกสเตนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักสตาร์ชแห้ง)

ฟิล์ม	พลาสติกไซเซอร์		ความหนา (มม.)	ความต้านทานแรงดึงขาด (กก./ตร.มม.)	การยืดตัว (ร้อยละ)
	ชนิด	ปริมาณ			
N	กลีเซอรอล	5	0.04 de	3.26 ijk	4.01 abc
N + PVOH 10%	ไม่มี	-	0.04 cde	4.19 gh	3.08 g-k
	กลีเซอรอล	5	0.04 bcd	4.01 ghi	3.11 f-j
		10	0.04 bcd	3.05 jkl	3.17 e-j
		15	0.04 bcd	2.38 l-o	3.25 e-j
		20	0.04 de	2.11 nop	3.36 c-j
		ซอร์บิทอล	5	0.04 bcd	3.78 hij
	10		0.04 bcd	2.96 klm	3.43 b-i
	15		0.04 bcd	2.64 k-o	3.72 a-g
	20		0.04 bcd	2.15 m-o	4.06 ab
	P(10)	กลีเซอรอล	10	0.04 de	2.85 k-n
P(10) + PVOH 10%	ไม่มี	-	0.04 b	5.12 g	2.94 h-k
	กลีเซอรอล	5	0.04 bcd	4.71 fg	3.01 h-k
		10	0.04 bcd	3.93 ghi	3.37 c-j
		15	0.04 de	3.12 jkl	3.82 a-e
		20	0.04 bcd	3.02 jkl	4.06 ab
		25	0.04 bcd	2.41 k-o	4.27 a
	ซอร์บิทอล	5	0.04 bc	4.69 fg	3.05 g-k
		10	0.04 e	2.85 k-n	3.26 e-j
		15	0.04 bc	2.56 k-o	3.52 b-h
		20	0.04 bcd	1.86 op	3.97 a-d
25		0.04 bcd	1.50 p	4.05 ab	

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ฟิล์ม	พลาสติกไซเซอร์		ความหนา (มม.)	ความต้านทานแรงดึงขาด (กก./ตร.มม.)	การยืดตัว (ร้อยละ)	
	ชนิด	ปริมาณ				
Oxi + PVOH 10%	ไม่มี	-	0.06 a	8.22 a	2.60 j-k	
		กลีเซอรอล	5	0.06 a	7.54 a-d	2.84 i-k
			10	0.06 a	7.04 cd	3.29 e-i
			15	0.06 a	6.81 de	3.76 a-f
			20	0.06 a	6.22 e	3.95 a-d
	ซอร์บิทอล	5	0.06 a	8.08 ab	2.75 i-k	
		10	0.06 a	7.78 abc	3.08 g-k	
		15	0.06 a	7.34 bcd	3.17 e-j	
		20	0.06 a	6.75 de	3.33 d-i	

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 5$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับค่าความหนาของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และฟิล์มโพรพ็อกไซด์สตาร์ชที่ใช้ซอร์บิทอลและกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์จะมีค่าประมาณ 0.04 มิลลิเมตร ส่วนฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เติมซอร์บิทอลและกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์จะมีความหนา 0.06 มิลลิเมตร และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มสตาร์ช ได้แก่ ความต้านทานแรงดึงขาด ร้อยละการยืดตัว พบว่า ฟิล์มสตาร์ชทั้งสามชนิดที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดอยู่ในช่วง 1.5-8 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร และค่าการยืดตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 2-4

การเติมพลาสติกไซเซอร์ลงในฟิล์มแต่ละชนิด พลาสติกไซเซอร์จะเข้าไปแทรกระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชและยึดติดกับโมเลกุลของสตาร์ชด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชนั้นเกิดอ่อนแอลง ค่าความต้านทานแรงดึงขาดลดลงและมีค่าการยืดตัวเพิ่มขึ้น (Tudorachi *et al.*, 2000)

จากการศึกษาหาชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์ม ซึ่งประเมินจากความต้านทานแรงขาดและการยึดตัวของฟิล์ม ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญทางการบรรจุ พบว่าค่าความต้านทานแรงขาดและค่าการยึดตัวของฟิล์ม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จากการสังเกตฟิล์มขณะที่ทำการทดลอง พบว่าฟิล์มที่มีการเติมพลาสติกไซเซออร์จะมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากกว่าฟิล์มที่ไม่มีการเติมพลาสติกไซเซออร์ (สอดคล้องกับผลการสังเกตลักษณะของฟิล์มสตาร์ชและสตาร์ชดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ข้อ 4 ตารางที่ 6) โดยพลาสติกไซเซออร์จะทำหน้าที่ช่วยรักษาความชื้นภายในฟิล์ม ทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นในระหว่างการเก็บรักษาและการใช้งาน ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงได้เติมกลีเซอรอลที่ปริมาณร้อยละ 5 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) ลงไปในฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังและฟิล์มออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ส่วนโพธิอเนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งจากตารางที่ 6 พบว่าฟิล์มมีความกระด้างมากกว่า ฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังและฟิล์มออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จึงเติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ปริมาณมากกว่า คือปริมาณร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช)

6. การทดสอบสมบัติของฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์, สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

6.1 สมบัติของฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

จากตารางที่ 10 เมื่อมีการเติมกลีเซอรอลและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงไปในตัวอย่าง ฟิล์มจะมีผลต่อสมบัติทางการบรรจุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มออกซิไคส์สตาร์ชมีค่าสูงสุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มโพธิอเนตและฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง และการเพิ่มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์พบว่ามีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มเพิ่มขึ้น ยกเว้นฟิล์มออกซิไคส์สตาร์ช สำหรับค่าการยึดตัวของฟิล์ม พบว่ามีความสอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงดึงขาด คือ ฟิล์มที่มีความแข็งแรงมากจะสามารถยึดตัวได้น้อย

สุคาร์ตัน (2548) พบว่าฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง ฟิล์มโพรพิโอนเตสตาร์ชที่ใช้ กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์นั้นไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อน ดังนั้นจึงได้มีการทดลองใช้ ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่าทำให้ฟิล์มมีค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึกดีกว่าการใช้ กลีเซอรอล อย่างไรก็ตามการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับเติมกลีเซอรอลจะทำให้ได้ฟิล์มที่มีความสามารถในการปิดผนึกสูงกว่าฟิล์มที่มีการเติมซอร์บิทอลเพียงอย่างเดียว โดยฟิล์มออกซิไดส์ สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึก คือ 1.13 กก./25 มิลลิเมตร รองลงมาคือ ฟิล์มโพรพิโอนเตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0.90 กก./25 มิลลิเมตร และฟิล์ม สตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0.65 กก./25 มิลลิเมตร ตามลำดับ และสอดคล้อง กับค่าการยืดตัวของรอยปิดผนึกฟิล์มซึ่งเพิ่มสูงขึ้น ในทางการบรรจุความแข็งแรงของรอยปิดผนึก ที่ระดับนี้อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมที่จะใช้ในการบรรจุสภาวะทั่วไป

การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ในตารางที่ 10 พบว่าฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังมีค่า อัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนต่ำสุด (16.52 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตร.วัน.บรรยากาศ) และการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนลดลง (13.11 ลูกบาศก์ เซนติเมตรต่อตารางเมตร.วัน.บรรยากาศ) และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่น ต่ำ ฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังจัดได้ว่าเป็นฟิล์มที่มีการป้องกันก๊าซออกซิเจนได้ดีกว่ามาก เนื่องจาก ความเป็นขั้วของสตาร์ช พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกลีเซอรอล ทำให้ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซ ออกซิเจนของฟิล์มตัวอย่างทั้งสามชนิดนี้ ในทางการบรรจุจัดว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางการใช้งาน

ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่ไม่ได้เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จะมีค่าอยู่ในช่วง 9-12 กรัมต่อตารางเมตร.ชั่วโมง และฟิล์มที่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าอยู่ในช่วง 8-11 กรัม ต่อตารางเมตร.ชั่วโมง ซึ่งมีค่าน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ได้มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเมื่อเปรียบ เทียบกับฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำซึ่งเป็นฟิล์มที่ไม่มีขั้ว พบว่าฟิล์มที่ทดลองทั้งหมดมีค่า อัตราการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่ามาก เนื่องจากความเป็นขั้วขององค์ประกอบที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นทำให้ไอน้ำสามารถผ่านได้ง่าย อย่างไรก็ตามค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของ ฟิล์มทั้งสามชนิดอยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในการใช้งาน

จากตารางที่ 10 แสดงการละลายน้ำของฟิล์ม พบว่าฟิล์มโพรพ็อกซีเนตสตาร์ชสามารถเริ่มละลายในน้ำได้เร็วที่สุด คือ เริ่มละลายเมื่อเวลาผ่านไป 28 วินาที รองลงมาคือฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง และฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ช เริ่มละลายเมื่อเวลาผ่านไป 47 และ 71 วินาที ตามลำดับ โดยโครงสร้างของฟิล์มโพรพ็อกซีเนตสตาร์ชมีหมู่โพรพ็อกซีเนต ซึ่งเป็นหมู่แทนที่ขนาดใหญ่ที่เกิดจากการตัดแปรสตาร์ชไปขัดขวางการเกิดพันธะระหว่างโมเลกุล ทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าไปในพอลิเมอร์ได้ง่าย (สุดารัตน์, 2548) มากกว่าฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง ส่วนฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชนั้นพบว่าฟิล์มเริ่มละลายช้าที่สุดเนื่องจากฟิล์มมีความหนาแน่นมากที่สุด (0.06 มิลลิเมตร) จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการที่น้ำจะซึมเข้าไปในฟิล์มและฟิล์มเริ่มเกิดการละลาย

จากค่าการละลายน้ำของฟิล์มในตารางที่ 10 เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงในฟิล์มแต่ละชนิด พบว่าฟิล์มทั้งสามชนิดนั้นสามารถเริ่มละลายในน้ำได้เร็วขึ้น คือฟิล์มโพรพ็อกซีเนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เริ่มละลายเมื่อเวลาผ่านไป 25 วินาที และรองลงมาคือ ฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง และฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ช เริ่มละลายได้เมื่อเวลาผ่านไป 43 และ 66 วินาที ตามลำดับ ซึ่งการที่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีความเป็นขั้วสูงและสามารถละลายน้ำได้ลงในฟิล์ม ความเป็นขั้วนั้นจะไปช่วยทำให้พอลิเมอร์ของฟิล์มแตกตัวได้ดีขึ้นในน้ำ จึงทำให้ฟิล์มสามารถละลายได้ดีขึ้น

ตารางที่ 10 สมบัติทางการบรรจุค่าความหนา และการละลายน้ำของฟิล์มสตาร์ซมันส์ภายใต้สภาวะที่โพรพ็อกซิไดส์สตาร์ซผสมและไม่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ฟิล์ม	ความหนา (มม.)	ความต้านทานแรงดึง (กก./ชด.มม.)	การยืดตัว (ร้อยละ)	รอยบิดพ่นึก		OTR (cc/m ² . day.atm)	P(O ₂) (cc.mm/m ² . day.atm)	WVTR (g/m ² . hour)	WVP (g.mm/m ² . hour.mmHg)	ค่าการละลายน้ำ (วินาที)	
				การยืดตัว (ร้อยละ)	การขีดตัว (ร้อยละ)					เริ่มละลาย	หมด
LDPE	0.05	1.99	251.64	-	-	3523	176.15	0.0583	0.0046	-	-
N + Gly 5%	0.04 b	3.26 d	4.01 a	ทดสอบไม่ได้	ทดสอบไม่ได้	16.52	0.66	9.72 cd	0.54 b	47 c	< 180 a
P(10) + Gly 10%	0.04 b	2.85 d	2.8 ab	ทดสอบไม่ได้	ทดสอบไม่ได้	20.41	0.82	11.52 ab	0.60 b	28 d	< 180 a
Oxi + Gly 5%	0.06 a	8.22 a	2.6 c	ทดสอบไม่ได้	ทดสอบไม่ได้	25.14	1.54	12.40 a	1.15 a	71 a	< 180 a
N + PVOH + Gly 5%	0.04 b	4.01 c	3.11 bc	0.65 c	2.54 bc	13.11	0.52	8.87 d	0.55 b	43 c	< 180 a
P(10) + PVOH + Gly 10%	0.04 b	3.93 c	3.37 ab	0.90 b	3.56 ab	15.79	0.63	10.59 bc	0.65 b	25 d	< 180 a
Oxi + PVOH + Gly 5%	0.06 a	7.54 b	2.84 ab	1.13 a	4.47 a	22.04	1.22	11.86 a	1.09 a	66 b	< 180 a
N + Sor 30%	0.04 b	-	-	0.23 d	1.44 d	-	-	-	-	-	-
P(10) + Sor 30%	0.04 b	-	-	0.68 c	2.84 bc	-	-	-	-	-	-
Oxi + Sor 30%	0.06 a	-	-	0.95 b	3.45 ab	-	-	-	-	-	-

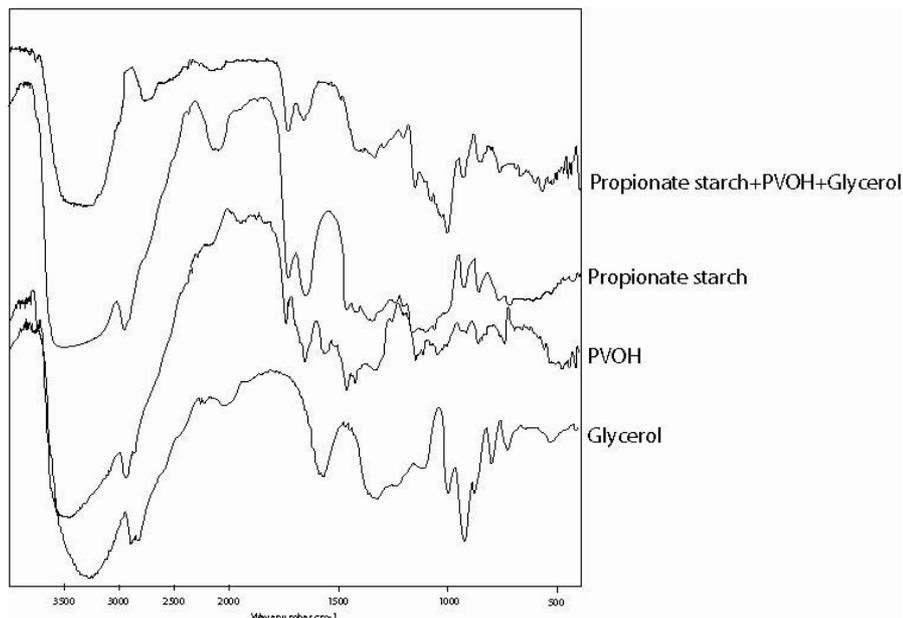
หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (n = 5) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- หมายถึง ไม่ได้ทดสอบ

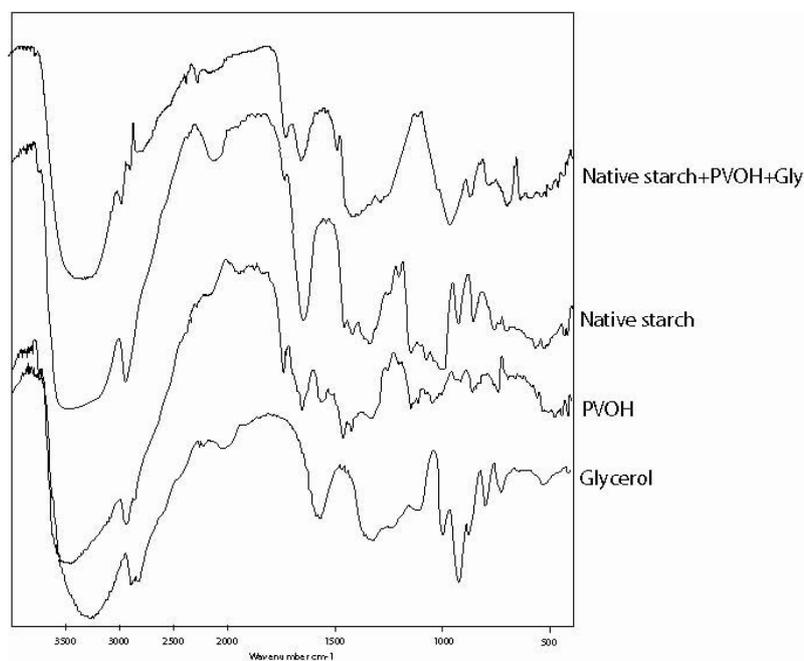
6.2 ศึกษาการหาพันธะทางเคมีระหว่างสตาร์ชกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR)

เนื่องจากสตาร์ชและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากจึงอาจเกิดพันธะเคมีระหว่างการนำมาผสมเป็นสารละลายที่อุณหภูมิสูงในขณะที่มีการเตรียมฟิล์ม ดังนั้นจึงศึกษาหาพันธะที่อาจจะเกิดขึ้นนี้ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR) ดังภาพที่ 16-18 แสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ฟิล์มโพรพิโอนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ตามลำดับ พบว่าสเปกตรัมของฟิล์มทั้งสามชนิดมีพีคและลักษณะของสเปกตรัมเหมือนกับองค์ประกอบที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม แสดงว่าโครงสร้างของฟิล์มทั้งสามชนิดยังคงเหมือนเดิมไม่มีการสร้างพันธะใหม่ขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jayasekara *et al.* (2004) ที่พบว่า ฟิล์มสตาร์ชข้าวสาลี:พอลิไวนิลแอลกอฮอล์:กลีเซอรอล ผสมกันในปริมาณร้อยละ 60:20:20 โดยน้ำหนักแห้ง ฟิล์มที่ได้เมื่อนำไปตรวจสอบด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ปรากฏว่าไม่พบการเกิดพันธะใหม่ระหว่างสตาร์ชและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

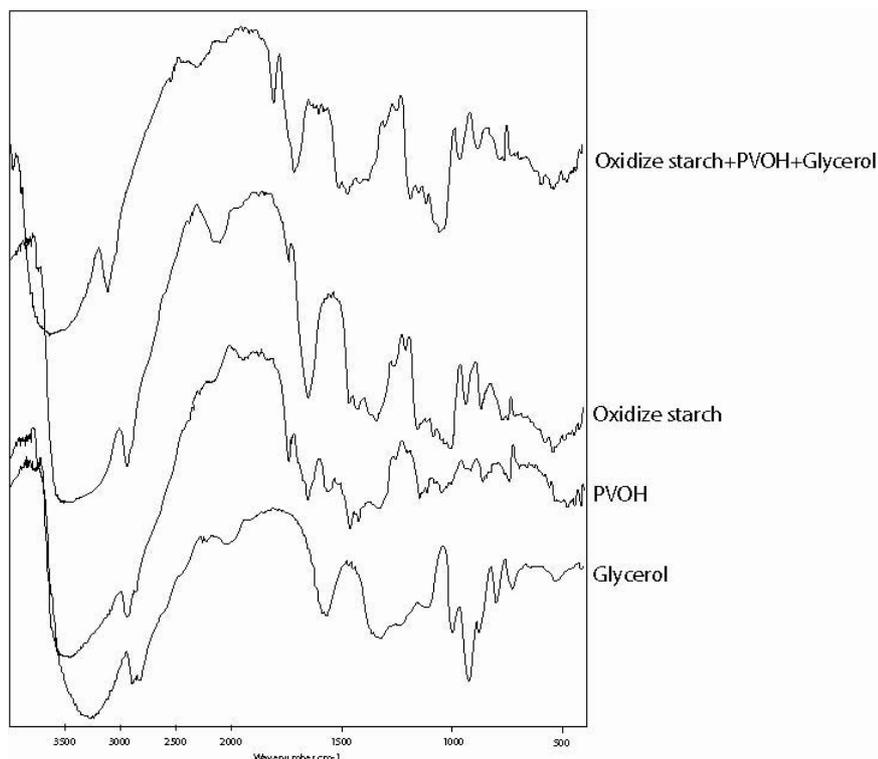
การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในแป้งที่เจลาทิไนซ์นั้นจะไม่เกิดพันธะเคมีระหว่างกัน แต่เป็นการผสมกันทางกายภาพเท่านั้น ดังนั้นปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่จะเติมได้จึงมีขีดจำกัด เมื่อเติมในปริมาณที่มากจนถึงระดับหนึ่งจะเกิดการแยกตัวซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 4



ภาพที่ 16 สเปกตรัมอินฟราเรดของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (เติมกลีเซอรอล) สตาร์ชมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกลีเซอรอล



ภาพที่ 17 สเปกตรัมอินฟราเรดของฟิล์มโพธิออนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (เติมกลีเซอรอล) โพธิออนตสตาร์ช พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกลีเซอรอล

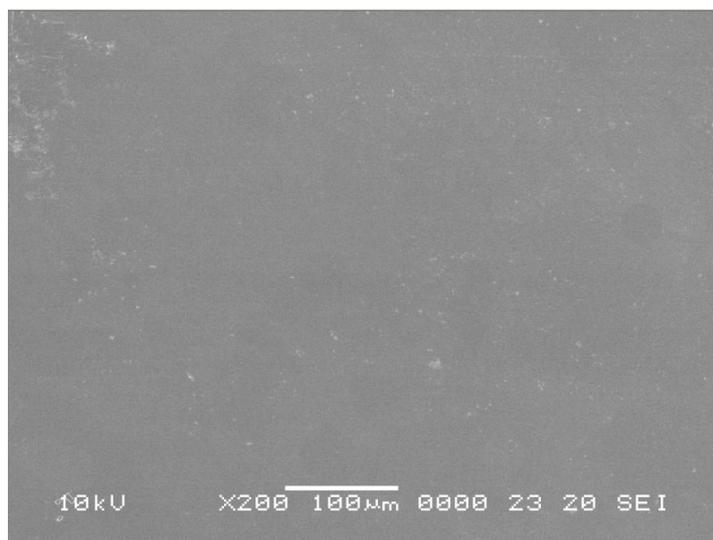


ภาพที่ 18 สเปกตรัมอินฟราเรดของฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (เติม กลีเซอรอล) ออกซิไดส์สตาร์ช พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกลีเซอรอล

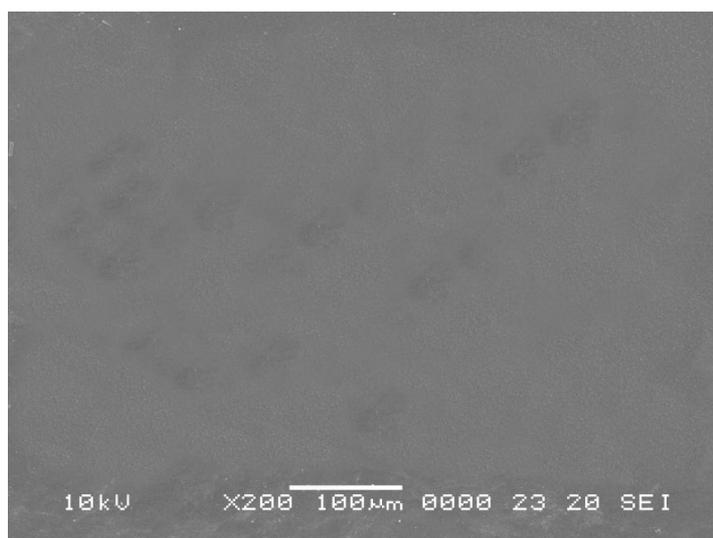
7. การศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

ตรวจสอบลักษณะผิวหน้าของฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ กราดส่องกราด พบว่า ฟิล์มสตาร์ชทั้งสามชนิดมีลักษณะโปร่งแสง ไม่มีรูพรุน และพบว่าในฟิล์ม สตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์ม โพรพิอเนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ ผิวค่อนข้างเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากการขึ้นรูปสตาร์ชสองชนิดนี้ต้องผ่าน กระบวนการเกิดเจลลาตินในซ้อย่างสมบูรณ์ ได้เป็นเจลลาตินที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ฟิล์มสตาร์ชจึงมี ลักษณะโปร่งแสง พื้นผิวหน้าของฟิล์มเรียบ ส่วนฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีลักษณะขรุขระมากกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ ที่ทำการทดลองเนื่องมาจากออกซิไดส์สตาร์ชเป็นสตาร์ชที่มีความหนืดต่ำ การเตรียมจึงต้องใช้ออกซิไดส์สตาร์ชถึงร้อยละ 10 เพื่อให้มีความหนืดที่เหมาะสม (สตาร์ชมันสำปะหลังและ โพรพิอเนตสตาร์ช ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 4) ทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสมที่เตรียมฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าสูงที่สุด ฟิล์มที่ได้

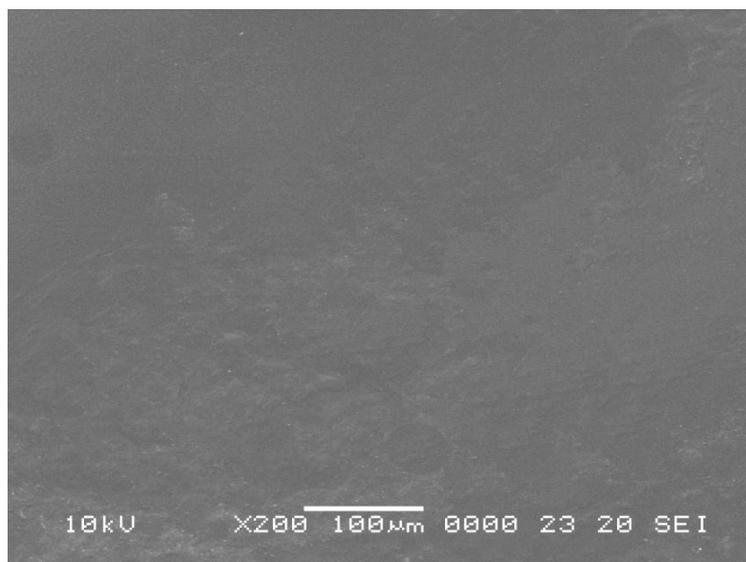
จึงขรุขระมากกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ ที่ได้ทำการทดลอง ได้ผลดังแสดงไว้ในภาพที่ 19 ถึง 21 ตามลำดับ



ภาพที่ 19 ลักษณะพื้นผิวฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 (ต่อน้ำหนักสตาร์ช) เดิมกลีเซอรอล ร้อยละ 5 จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า



ภาพที่ 20 ลักษณะพื้นผิวฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 (ต่อน้ำหนักสตาร์ช) เดิมกลีเซอรอล ร้อยละ 5 จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า



ภาพที่ 21 ลักษณะพื้นผิวฟิล์มออกซิไดส์สตาบิลไอโพลีเอทิลีนออกไซด์ ร้อยละ 10 (ต่อน้ำหนักสตาบิล) เติมกลีเซอรอล ร้อยละ 5 จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 200 เท่า

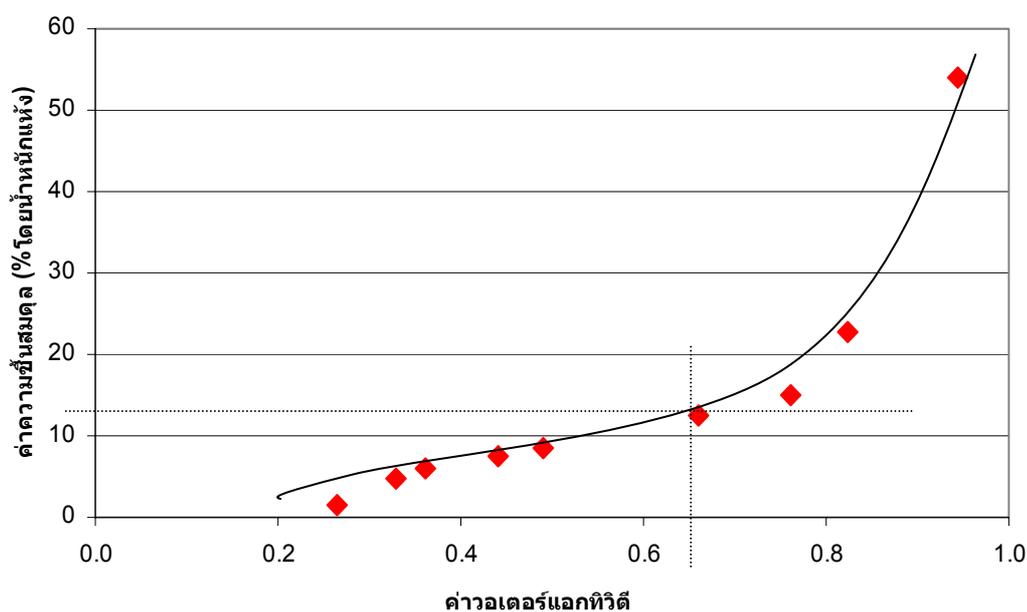
8. การทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานของฟิล์มสตาบิลไอโพลีเอทิลีนออกไซด์ และฟิล์มสตาบิลไอโพลีเอทิลีนออกไซด์

ทดสอบประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของฟิล์มสตาบิลไอโพลีเอทิลีนออกไซด์และฟิล์มสตาบิลไอโพลีเอทิลีนออกไซด์สำหรับการบรรจุสารเคมีและเมล็ดพันธุ์พืช

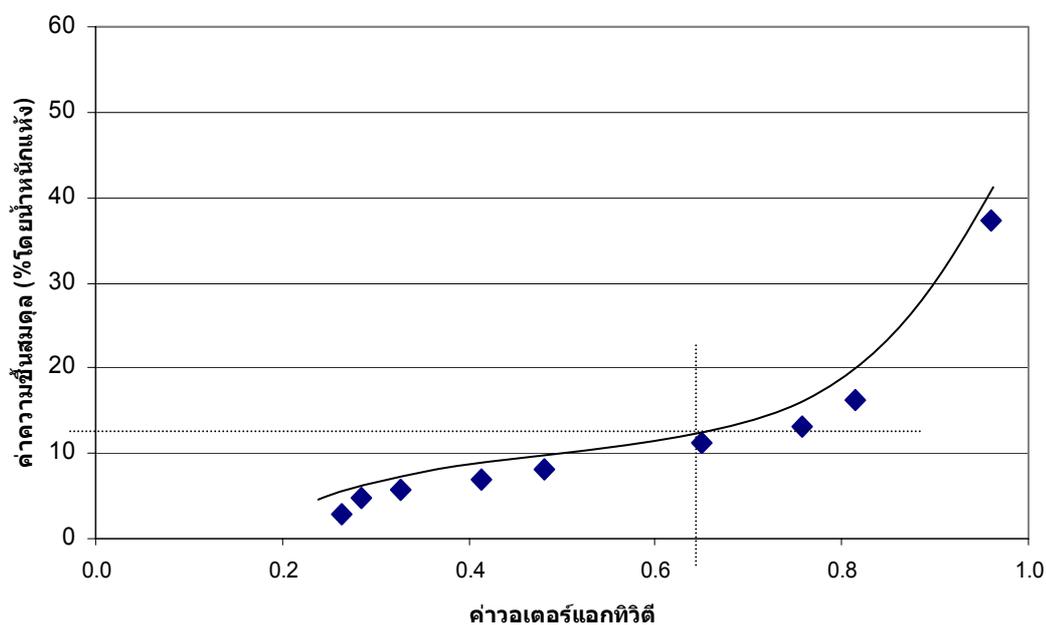
8.1 ทดสอบการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่

จากการนำฟิล์มสตาบิลไอโพลีเอทิลีนออกไซด์ โพรพิลีนไดออกไซด์ และออกซิไดส์สตาบิลไอโพลีเอทิลีนออกไซด์ปริมาณร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาบิล) และเติมน้ำ ร้อยละ 5 และ 10 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาบิล) ตามลำดับมาทำการศึกษาการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ ดังผลที่ได้แสดงในภาพที่ 22 ถึง 24 ตามลำดับ พบว่าฟิล์มทั้งสามชนิดมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเมื่อความชื้นสมดุลเปลี่ยนไปคล้ายคลึงกัน แต่ฟิล์มสตาบิลไอโพลีเอทิลีนออกไซด์มีความชื้นมากกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ

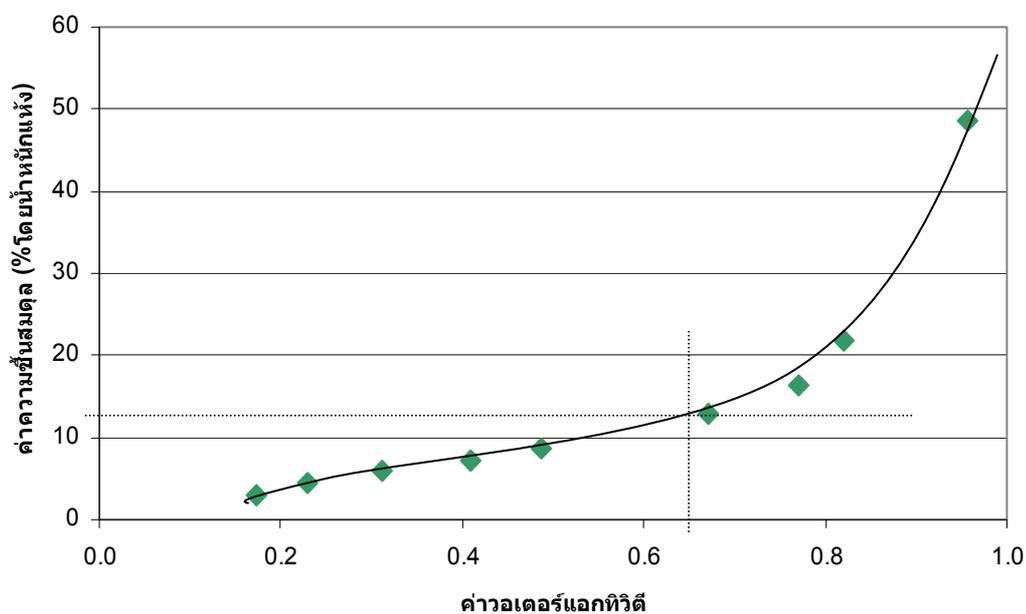
แสดงว่าไวต่อความชื้นมากกว่าเมื่อเทียบที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากัน รองลงมาคือ ฟิล์มออกซิไดส์ สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์ม โพรพิโอนีสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากใน โครงสร้างของโพรพิโอนีสตาร์ชมีหมู่แทนที่ขนาดใหญ่เข้าไปแทนที่ หมู่ไฮดรอกซิลทำให้ช่วยลดความไวต่อความชื้นได้ (สุครัตน์, 2548)



ภาพที่ 22 การดูดซับความชื้นของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เดิมกลีเซอรอลร้อยละ 5 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 23 การดูซ้ำความขึ้นของฟิล์มโพธิอเนตสตาร์ซผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เติม กลีเซอรอลร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ซ) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 24 การดูซ้ำความขึ้นของฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ซผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เติม กลีเซอรอลร้อยละ 5 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ซ) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

จากกราฟของการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ของฟิล์มทั้งสามชนิดที่ได้ พบว่าฟิล์มทั้งสามชนิดไม่ควรมีความชื้นเกินร้อยละ 10 เนื่องจากถ้าฟิล์มมีความชื้นเกินร้อยละ 10 จะส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของฟิล์มสูงกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตและอาจทำให้ฟิล์มเกิดความเสียหายได้

8.2 การบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ

ตัดฟิล์มที่ได้จากข้อ 5.2 ให้มีขนาดประมาณ 7 x 14 เซนติเมตร พับครึ่งขึ้นรูปเป็นซอง และปิดผนึกด้วยความร้อน บรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำประมาณ 40 กรัม ปิดผนึกซอง แล้วนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

8.2.1 ทดสอบค่าความต้านทานแรงกดของซองบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ

นำซองตัวอย่างที่บรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำและปิดผนึกด้วยความร้อนมาทดสอบค่าความต้านทานแรงกดของซอง โดยกดตัวอย่างผ่านแท่นให้น้ำหนัก 60 กิโลกรัม ลงบนเครื่องชั่ง นาน 2 นาที แล้วตรวจพินิจ จากการทดลองได้ผลดังแสดงในตารางที่ 11

ซองของฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถต้านแรงกดของซองได้มากที่สุดเนื่องจากหลังจากการกดพบว่า ซองมีการยุบตัวลงเล็กน้อย รองลงมา คือ ฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ ฟิล์มโพรพ็อกเซนสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ตามลำดับ เนื่องจากฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความหนาของฟิล์มมากกว่าฟิล์มชนิดอื่น จึงทำให้มีความแข็งแรง และรองรับแรงกดได้มากกว่า

ตารางที่ 11 ค่าความต้านทานแรงกดของซองสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพ็อกเซนสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ

ฟิล์ม	ลักษณะปรากฏจากการตรวจพินิจ
N + PVOH 10% + Gly 5%	ลักษณะของยุบตัวเล็กน้อย ซองไม่แตก
P(10) + PVOH 10% + Gly 10%	ลักษณะของยุบตัว ซองไม่แตก
Oxi + PVOH 10% + Gly 5%	ลักษณะของไม่ยุบตัว ซองไม่แตก

8.2.2 ทดสอบการละลายของซองพร้อมปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ

นำฟิล์มฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มโพรพิอเนตสตาร์ช ออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มาขึ้นรูปเป็นซองบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ และปิดผนึกด้วยความร้อน แล้วนำไปทดสอบหาค่าการละลายน้ำของซองบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 12

ค่าการละลายน้ำของฟิล์มโพรพิอเนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถละลายพร้อมปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำได้เร็วที่สุด รองลงมาคือ ฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามฟิล์มทั้งสามชนิดสามารถละลายน้ำได้หมดภายใน 3 นาที หรือละลายหมดพร้อมกับปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ ดังนั้นฟิล์มทั้งสามชนิดมีความเหมาะสมในการใช้งานเป็นซองละลายน้ำได้เพื่อใช้ในการบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ หรือนำไปประยุกต์ใช้กับสารเคมีผงแห้งที่ต้องละลายน้ำก่อนการใช้งานเพื่อลดการสัมผัสกับสารเคมีโดยตรง

ตารางที่ 12 ค่าการละลายน้ำของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง ฟิล์มโพรพิอเนตสตาร์ช ฟิล์มออกซิไคส์สตาร์ชผสมและไม่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ฟิล์ม	ค่าการละลายน้ำ (วินาที)	
	ฟิล์มเริ่มละลาย	ฟิล์มละลายหมด
N + PVOH 10% + Gly 5%	42 c	< 180 a
P(10) + PVOH 10% + Gly 10%	26 b	< 180 a
Oxi + PVOH 10% + Gly 5%	61 a	< 180 a

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 5$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

8.2.3 ทดสอบความทนทานต่อสภาวะการเก็บรักษาของซองพร้อมปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ

โดยทดลองเก็บรักษาซองฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ได้จากข้อ 5.2 บรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำประมาณ 40 กรัม แล้วปิดผนึกด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 แล้วทำการสุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 1 เดือน มาตรวจพินิจลักษณะปรากฏของซองบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ ผลจากการประเมินดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการประเมินความทนทานต่อสภาวะการเก็บรักษาของซองละลายน้ำได้บรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ ระยะเวลา 1 เดือน

ฟิล์ม	ลักษณะปรากฏจากการตรวจพินิจ	
	ลักษณะปรากฏของซอง	ลักษณะปรากฏของปุ๋ยเกล็ด
N + PVOH 10% + Gly 5%	ปกติ	ไม่เปลี่ยนแปลง
P(10) + PVOH 10% + Gly 10%	ปกติ	ไม่เปลี่ยนแปลง
Oxi + PVOH 10% + Gly 5%	ปกติ	ไม่เปลี่ยนแปลง

ซองละลายน้ำได้จากฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ฟิล์มโพรพิออนีสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มออกซิไคส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถทนต่อสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นระยะเวลา 1 เดือนได้ โดยบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่จากผลทดสอบการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ของฟิล์มสตาร์ชและสตาร์ชดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในข้อ 8.1 (ภาพที่ 20-22) ถ้าเก็บซองที่บรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำไว้ที่บรรยากาศทั่วไป โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ประมาณร้อยละ 65 ซองของฟิล์มสตาร์ชและสตาร์ชดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จะมีแนวโน้มที่จะดูดซับความชื้นเพิ่มมากขึ้นดังนั้นควรเก็บไว้ในภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความชื้น เพื่อรักษาคุณสมบัติของซองและผลิตภัณฑ์ไว้ได้ให้สามารถยืดอายุการใช้งานได้นานขึ้น

8.3 การบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดคลุกสารเคมี

นำฟิล์มที่ได้จากข้อ 5.2 มาตัด แล้วพับครึ่งเพื่อขึ้นรูปเป็นซองโดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสม บรรจุเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมี (ดังตัวอย่างในภาพที่ 25) จากนั้นปิดผนึกซอง แล้วนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ



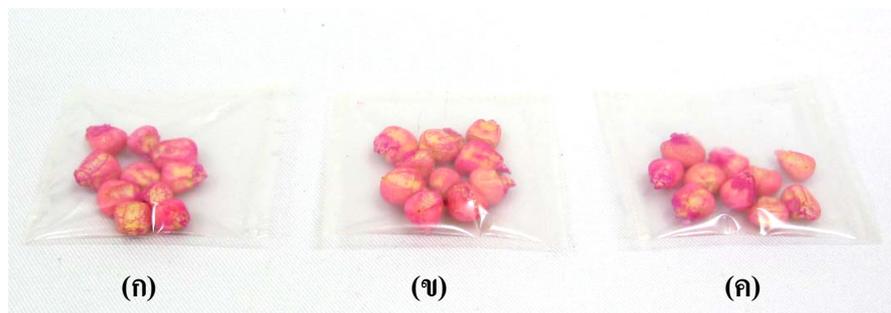
ภาพที่ 25 ตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง

8.3.1 ทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงสั่นสะเทือน

นำฟิล์มที่ได้จากข้อ 5 มาตัดให้มีขนาดประมาณ 5 x 10 เซนติเมตร แล้วพับครึ่งเพื่อขึ้นรูปเป็นซอง โดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน บรรจุเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมี ซองละ 10 เมล็ด จากนั้นปิดผนึกซองดังภาพที่ 26 แล้วนำมาทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงสั่นสะเทือน จากนั้นตรวจพินิจคุณลักษณะของซองที่ทำการทดสอบและรายงานผลเป็นร้อยละของตัวอย่างที่ได้รับความเสียหาย

ตารางที่ 14 ความสามารถในการทนต่อแรงสั่นสะเทือนของสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิโอเนต สตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด

ฟิล์ม	จำนวนซองที่เสียหาย
N + PVOH 10% + Gly 5%	ตัวอย่างที่ทดสอบไม่ปรากฏความเสียหาย
P(10) + PVOH 10% + Gly 10%	ตัวอย่างที่ทดสอบไม่ปรากฏความเสียหาย
Oxi + PVOH 10% + Gly 5%	ตัวอย่างที่ทดสอบไม่ปรากฏความเสียหาย



ภาพที่ 26 ของละลายน้ำได้บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดคลุกสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
 (ก) फिल्मสตาร์ซมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
 (ข) फिल्मโพรพิออนเนตสตาร์ซผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
 (ค) फिल्मออกซิไคส์สตาร์ซผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

จากตารางที่ 14 รายงานความสามารถทนต่อแรงสั่นสะเทือน ที่ระยะการสั่น 12.5 มิลลิเมตร ความถี่ 240 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ของช่องสตาร์ซและสตาร์ซตัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดคลุกสารเคมีพบว่า ช่องที่มีการขึ้นรูปจากสตาร์ซมันสำปะหลัง โพรพิออนเนตสตาร์ซ และออกซิไคส์สตาร์ซผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นสามารถทนต่อแรงสั่นสะเทือนได้ดี ไม่ปรากฏความเสียหาย แสดงว่าฟิล์มทั้งสามชนิดมีความแข็งแรงเพียงพอกับการใช้บรรจุเมล็ดพันธุ์พืชซึ่งมีมุมแหลมคมหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีผิวแข็งได้

8.3.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างฟิล์มสตาร์ซและเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมี และความสามารถในการทนทานต่อสภาวะการเก็บรักษา

ทดลองเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 แล้วทำการสุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ มาตรวจพินิจลักษณะปรากฏของช่องบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดคลุกสารเคมี ผลจากการประเมินดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลการประเมินความสามารถในการทนทานต่อสภาวะการเก็บรักษาของซองละลายน้ำ
ได้เมล็ดข้าวโพดคอลลูการเคมี

ฟิล์ม	ลักษณะปรากฏจากการตรวจพินิจ	
	ลักษณะปรากฏของซอง	ลักษณะปรากฏของเมล็ดข้าวโพด
N + PVOH 10% + Gly 5%	ปกติ	ไม่เปลี่ยนแปลง
P(10) + PVOH 10% + Gly 10%	ปกติ	ไม่เปลี่ยนแปลง
Oxi + PVOH 10% + Gly 5%	ปกติ	ไม่เปลี่ยนแปลง

ซองที่ได้จากฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ฟิล์มโพรพิออนเตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถทนต่อสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยพบว่าเมล็ดข้าวโพดคอลลูการเคมีมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นซองละลายน้ำได้จากฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ฟิล์มโพรพิออนเตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้บรรจุเมล็ดข้าวโพดคอลลูการเคมี

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของฟิล์มและเมล็ดข้าวโพดคอลลูการเคมีระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี			
	เริ่มต้น	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
N + PVOH 10% + Gly 5%	0.381 d	0.386 c	0.392 b	0.398 a
เมล็ดข้าวโพดคอลลูการเคมี	0.468 c	0.468 c	0.474 c	0.478 a
P(10) + PVOH 10% + Gly 10%	0.341 d	0.342 c	0.344 b	0.346 a
เมล็ดข้าวโพดคอลลูการเคมี	0.468 d	0.469 c	0.472 b	0.474 a
Oxi + PVOH 10% + Gly 5%	0.366 d	0.368 c	0.371 b	0.374 a
เมล็ดข้าวโพดคอลลูการเคมี	0.468c	0.468 c	0.470 b	0.473 a

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 5$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การถ่ายเทความชื้นระหว่างฟิล์มที่ใช้ขึ้นรูปเป็นซองกับตัวผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเก็บรักษา ดังนั้นทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของฟิล์มและเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีว่ามีการถ่ายเทความชื้นระหว่างกันหรือไม่ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยตรวจวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีตัวอย่าง ทุกๆ 2 สัปดาห์ จากตารางที่ 16 พบว่าเมื่อเก็บซองที่บรรจุเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีได้จากฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ฟิล์มโพรพ็อกเซนสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มออกซิไคลด์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เมื่อถึงแม้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของฟิล์มและเมล็ดข้าวโพดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงโดยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สาเหตุมาจากการดูดความชื้นของฟิล์มและเมล็ดข้าวโพดในอากาศที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าไม่พบการถ่ายเทความชื้นระหว่างฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ขึ้นรูปเป็นซองและเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมี แต่จากผลการทดลองข้อ 8.1 ทำให้ทราบว่าถ้ามีการเก็บในระยะยาวค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของฟิล์ม มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นในการใช้งานจึงจำเป็นต้องมีภาชนะบรรจุหุ้ญญิบรรจุของสตาร์ชที่ใส่เมล็ดข้าวโพดอีกชั้นหนึ่ง เพื่อเป็นการป้องกันความชื้น หรือเพื่อเป็นการรวมหน่วยเพิ่มความสะดวกในการใช้งานอีกด้วย

ตารางที่ 17 การงอกของเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีบรรจุในซองทำจากฟิล์มสตาร์ชและสตาร์ชคัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ฟิล์ม	การงอกของเมล็ดข้าวโพด	
	จำนวนเมล็ดที่งอก	ร้อยละของการงอก
ไม่ใส่ซอง	49.0 <i>a</i>	98.0 <i>a</i>
N + PVOH 10% + Gly 5%	49.0 <i>a</i>	98.0 <i>a</i>
P(10) + PVOH 10% + Gly 10%	48.8 <i>a</i>	97.6 <i>a</i>
Oxi + PVOH 10% + Gly 5%	48.8 <i>a</i>	97.6 <i>a</i>

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($n = 5$) ด้วยวิธี DMRT โดยตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการทดสอบการงอกของเมล็ดในตารางที่ 17 เมื่อนำฟิล์มที่ได้จากการทดลองมาทดสอบการใช้งานร่วมกับเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีโดยเฉพาะเมล็ดพร้อมกับของละลายน้ำพบว่า การที่บรรจุเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีในฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง ฟิล์มโพรพ็อกเนตสตาร์ช และ ฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่าร้อยละของการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างกับการที่เพาะเมล็ดแบบโดยไม่บรรจุในช่อง ดังนั้นสรุปได้ว่าการบรรจุเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีไม่ส่งผลต่อการงอกของเมล็ด จึงมีความสามารถที่จะนำไปใช้งานบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดคลุกสารเคมีป้องกันการสัมผัสสารเคมีที่ใช้คลุกเมล็ดโดยตรง เพื่อเป็นการลดการสะสมสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนี้ยังสามารถอำนวยความสะดวกในการใช้กับระบบการปลูกในพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยการบรรจุเมล็ดตามจำนวนที่ต้องการในช่องและประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรที่ใช้ปลูกได้ด้วย

สรุป

1. สภาพการอบที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังหรือสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปรรูปผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40 เนื่องจากฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึง และร้อยละการยืดตัวมีค่าสูงสุด อัตราการแห้งของฟิล์มและระยะเวลาในการอบฟิล์มอยู่ในระดับที่เหมาะสม

2. ปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สามารถผสมสตาร์ชมันสำปะหลังและออกซิไดส์สตาร์ชสูงสุดโดยที่ไม่พบการแยกตัวระหว่างสตาร์ชและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ ร้อยละ 40 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) ส่วนโพรพืออเนตสตาร์ช คือ ร้อยละ 30 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช)

3. ฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพืออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุดและมีความเหมาะสมในการพัฒนาเป็นฟิล์มละลายน้ำได้

4. เมื่อตรวจสอบฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพืออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ปรากฏว่าไม่พบการเกิดพันธะใหม่ระหว่างสตาร์ชและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นการผสมกันทางกายภาพเท่านั้น

5. ฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพืออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นฟิล์มละลายน้ำ เตรียมได้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักแห้ง) เต็มกลีเซอรอลร้อยละ 5 10 และ 5 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) เป็นพลาสติกไซเซออร์ ตามลำดับ แผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะโปร่งแสง ผิวเรียบ เมื่อทดสอบสมบัติทางกล พบว่า ฟิล์มมีความหนาอยู่ในช่วง 0.04-0.06 มิลลิเมตร ค่าความต้านทานแรงดึงขาดอยู่ในช่วง 4-8 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ค่าการยืดตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 3-4

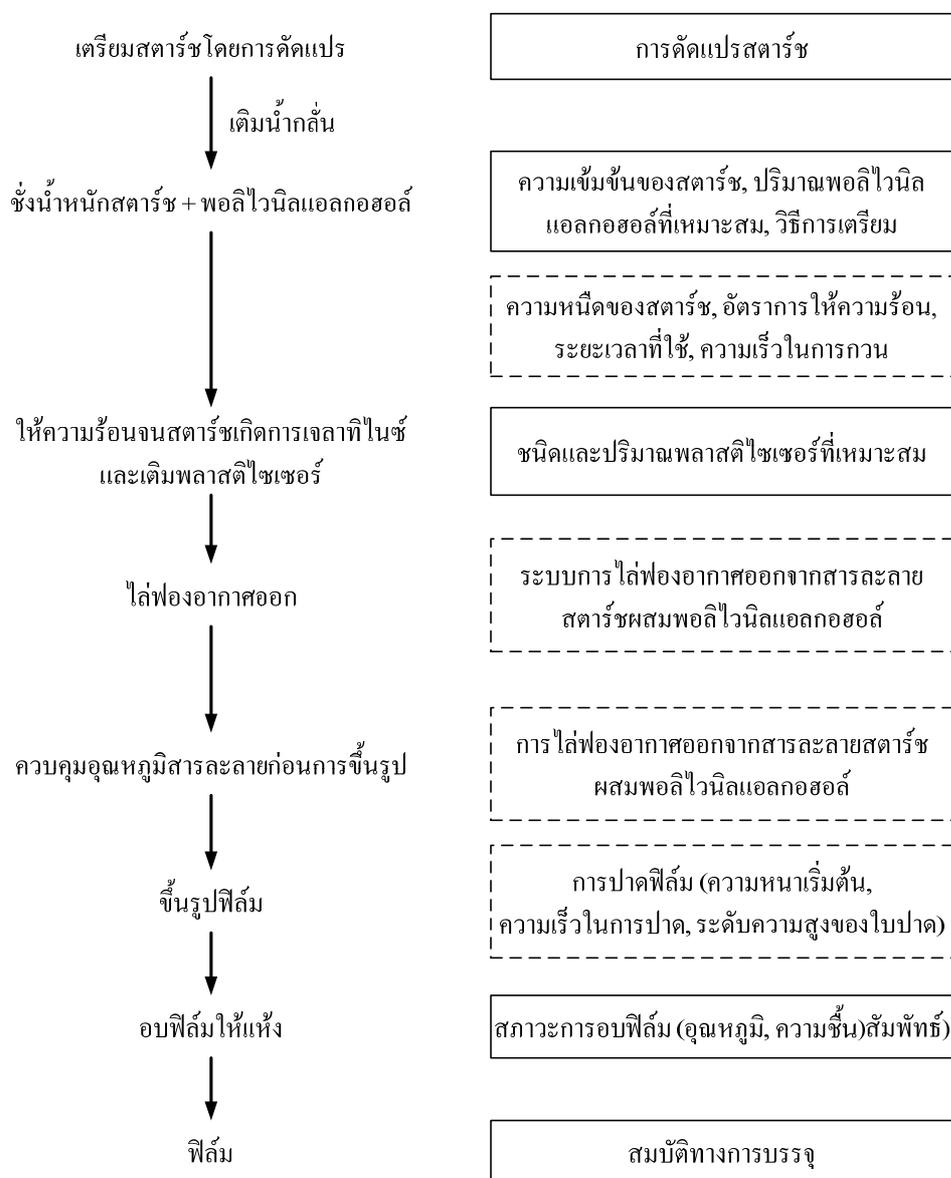
6. फिल्मสตार्चมันสำปะหลัง โพรพิออนเตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน อยู่ในช่วง 13-22 มิลลิลิตรต่อตารางเมตร.วัน และมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ 8-11 กรัมต่อตารางเมตร.ชั่วโมง

7. फिल्मสตार्ชมันสำปะหลัง โพรพิออนเตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดี เมื่อทดสอบค่าการละลายน้ำ फिल्मทั้งสามชนิด สามารถละลายน้ำได้อย่างรวดเร็ว และสามารถละลายน้ำได้หมดพร้อมกับปฏิกิริยาคัดเคมิละลายน้ำ ภายใน 3 นาที

8. फिल्मสตार्ชมันสำปะหลัง โพรพิออนเตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ สามารถทนทานต่อแรงสั่นสะเทือนได้และในการใช้งานควรมีภาชนะบรรจุหุติยภูมิ บรรจุของสตาร์ชที่ใส่เมล็ดข้าวโพดอีกชั้นหนึ่ง เป็นการป้องกันการดูดความชื้นจากบรรยากาศ เพื่อรักษาคุณสมบัติของซองและผลิตภัณฑ์ หรือเพื่อรวมหน่วยเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษากระบวนการผลิตฟิล์มละลายน้ำได้จากสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณมาก เพื่อที่จะนำไปปรับใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ นอกเหนือจากที่ได้มีการศึกษาในงานวิจัยนี้ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิตเพื่อให้สามารถผลิตฟิล์มได้มีความสม่ำเสมอ และมีคุณภาพคงที่ แสดงในขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังหรือสตาร์ชมันสำปะหลังคัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ดังนี้



--- ยังไม่ได้มีการศึกษา

▭ ได้ทำการศึกษาไว้แล้ว

2. ควรมีการศึกษาและพัฒนาเพิ่มเติมในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ เพื่อให้ฟิล์มมีความเหมาะสมและใช้ได้กับเครื่องจักรทางการบรรจุ

3. ควรมีการประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ นอกเหนือจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ได้ทดลอง

4. ควรมีการทดลองกำหนดวิธีการวัดค่าการละลายของฟิล์ม เพื่อให้เป็นมาตรฐานและสามารถวัดค่าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น