



การผลิตถาดจากเส้นใยใบสับประรด  
Production of Tray from Pineapple Leaf Fiber

แสงสุรีย์ ไรจน์สกุลวงศ์  
Saengsuree Rojsakulwong

วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Food Technology  
Prince of Songkla University

2540

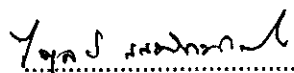
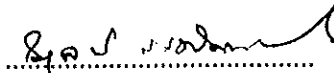
๑

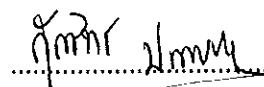
เลขที่	TS 2301.C8. ๒๕๒ ๒๕๔๐	๙. 2
Bib Key	๒๐๔๙๙๖	

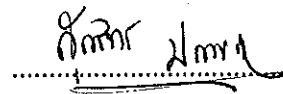
ชื่อวิทยานิพนธ์            การผลิตถาดจากเส้นใยใบสับปะรด  
ผู้เขียน                    นางสาวแสงสุรีย์ โรจน์สกุลวงศ์  
สาขาวิชา                  เทคโนโลยีอาหาร

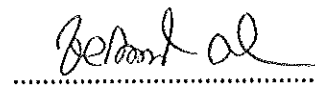
คณะกรรมการที่ปรึกษา

คณะกรรมการสอบ

 ..... ประธานกรรมการ     ..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ไพบุลย์ ธรรมรัตน์वासิก)    (รองศาสตราจารย์ ไพบุลย์ ธรรมรัตน์वासิก)


 ..... กรรมการ  
(อาจารย์ สุรสัทธิ ประสารปราน)

 ..... กรรมการ  
(อาจารย์ สุรสัทธิ ประสารปราน)

 ..... กรรมการ  
(ดร.ชัยรัตน์ ศิริพัตนะ)

 ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันทรพรหมมา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา            ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต            สาขาวิชา  
เทคโนโลยีอาหาร

 .....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนทร โสทธิพันธ์)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์      การผลิตถาดจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์  
ผู้เขียน                นางสาวแสงสุรีย์ โรจน์สกุลวงศ์  
สาขาวิชา              เทคโนโลยีอาหาร  
ปีการศึกษา            2539

### บทคัดย่อ

การสกัดเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่มีความชื้น ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักแห้ง ประกอบด้วย เซลลูโลส, ลิกนิน และเถ้า ร้อยละ 35.84, 6.09 และ 7.15 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น ร้อยละ 10 (w/w) ในอัตราส่วนวัตถุดิบ ต่อ สารละลาย เท่ากับ 1 : 10 (w/v) สกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชม. จะสามารถสกัดเส้นใยโดยให้ผลผลิต, เซลลูโลส และลิกนิน ร้อยละ 6.34, 80.13 และ 2.60 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อนำเส้นใยไปฟอกสี โดยใช้เส้นใย ต่อ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วน เท่ากับ 1 : 20 (w/v) พีเอช 11 อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ก่อนเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น ร้อยละ 35 (w/w) ในปริมาณ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเส้นใย ฟอกสีที่อุณหภูมิดังกล่าว นาน 2 ชม. ให้ปริมาณผลผลิต ร้อยละ 97.96 โดยน้ำหนักแห้ง เส้นใยฟอกสีที่ได้มีสีขาวอมเหลือง ให้ค่า L, a และ b เท่ากับ 78.160, 0.177 และ 13.110 ตามลำดับ ขณะที่ เส้นใยไม่ฟอกสี ให้ค่า L, a และ b เท่ากับ 69.693, 0.983 และ 13.520 ตามลำดับ

เมื่อนำเส้นใยโพลีเอสเตอร์ผลิตถาด ปริมาณ 2 กรัม โดยผสมกับแป้งมันสำปะหลัง คัดแปร 26 กรัม และสารยึดเหนี่ยวโลกซ์ปีนกัน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแป้ง จะให้ถาดที่มีผิวเรียบ แฉววาว สีเหลืองอ่อน หรือน้ำตาลอ่อน ลักษณะที่บ มี ความหนา และ น้ำหนัก เท่ากับ 3 มิลลิเมตร และ 26 กรัม ตามลำดับ ให้ค่าการต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงกด มีค่ามากกว่าของถาดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง และสารยึดเหนี่ยวชนิดอื่น ๆ และ เมื่อคิดเทียบกับปริมาณแป้งที่ใช้ผลิต 1 ถาด จะให้ค่าการดูดซึมน้ำ มีค่าน้อยกว่าถาดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง

เมื่อนำภาคที่ได้บรรจุเนื้อส้มโอตัดแต่ง ปริมาณ 200 กรัม เก็บไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 62 เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ภาคที่ได้บรรจุเนื้อส้มโอตัดแต่งมีการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และลักษณะปรากฏ ในทางเสื่อมลง กล่าวคือ เมื่อเก็บเป็นเวลา 2 วัน เนื้อส้มโอติดกลิ่นแฉะอบ ขณะที่บางส่วนของภาคเริ่มอ่อนนิ่ม และ เมื่อเก็บรักษานานขึ้น เนื้อส้มโอมีสีชมพูซีด ไม่แวววาว เนื้อนิ่ม ส่วนภาคสูญเสียความคงสภาพของบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้เนื้อส้มโอมีการสูญเสียน้ำหนัก ขณะที่ภาคมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก เนื้อส้มโอมีการคายน้ำ ขณะที่ภาคมีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ

Thesis Title     Production of Tray from Pineapple Leaf Fiber

Author            Miss Saengsuree   Rojsakulwong

Major Program   Food Technology

Academic Year   1996

### Abstract

The fiber extraction of dried pineapple leaf which was composed of 2.5% moisture, 35.84% cellulose, 6.09% lignin, 7.15% ash (on dry basis) was carried out by using 15 % sodiumhydroxide with the ratio of dried pineapple leaf to sodiumhydroxide as 1 : 10 (w/v) at 60 °C for 1 hr. The process gave 6.34 % yield (on dry basis). The fiber consisted of 80.13% cellulose and 2.6 % lignin (on dry basis) and was brownish - yellow in colour. The fiber was mixed with sodiumhydroxide at pH 11, with the ratio of fiber to sodiumhydroxide as 1 : 20 (w/v), pretreated to 70 °C before adding 35% (w/w) hydrogenperoxide at 5% (by weight of fiber). The bleaching process was carries out at 70 °C for 2 hr. The process displayed 97.96% yield (on dry basis). The colour of bleached fiber in term of L, a and b was 78.160, 0.177 and 13.110 respectively, while the colour of unbleached fiber was 69.693, 0.983 and 13.520 respectively.

The tray produced by mixing 2 g. of pineapple leaf fiber, 26 g. of modified tapiocd starch and 5 % of locust bean gum (by weight of starch) has smooth skin, yellowish colour with sheen condensed texture. The thickness and weight of tray was 3 mm. and 26 g. respectively. It was found that the bending strength and the compression strength of a tray made of modified tapioca starch were higher than of tray made of tapioca starch. While the water absorption was less than of tray made of tapioca starch.

The tray was used for containing 200 g. of peeled palmelo and storage at 10 °C, 62 % relative humidity for 7 day. It was showed that the peeled palmelo lost their colour and acquired a baked odour, while the tray was soften at the bottom after at 2 day storage. After long storage, the peeled palmelo was pale pink colour, had no sheen and had soften texture, while the tray loss the package properties. In addition the weight loss of the peeled palmelo and the weight increase of the tray were also observed.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ โดยได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาสิก ประธานกรรมการที่ปรึกษา และ อาจารย์ สุรสิทธิ์ ประสารปราน กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำวิจัย และ ช่วยแก้ไข ปัญหาต่างๆ ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ จึงขอขอบพระคุณยิ่งมา ณ โอกาสนี้ และ ขอขอบพระคุณ ดร.ชัยรัตน์ ศิริพันธ์ กรรมการผู้แทนภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร และ รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันทร์พรหมมา กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้ คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่าน ที่มีได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ให้ความรู้ และ แนะนำแนวทางในการทำวิจัย ขอขอบคุณ คุณชุตินุช สุจริตกุล ที่ช่วยถ่ายทำสไลด์ และ ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ให้ความสะดวกและ ความช่วยเหลือ ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัทมันสำปะหลังพัฒนา ที่ให้ความอนุเคราะห์แบ่งตัดแปรร และ ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความสะดวกในการตรวจสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ รวมทั้งขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ทุนสนับสนุน การทำงานวิจัย ประจำปีการศึกษา 2536

และท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบคุณ พี่ และ หลานทุกคน ที่ให้ความห่วงใย ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่ง มาโดยตลอด

แสงสุรีย์ โรจน์สกุลวงศ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(5)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ.....	(8)
รายการตาราง.....	(9)
รายการภาพ.....	(10)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
บทนำต้นเรื่อง.....	1
ตรวจเอกสาร.....	3
วัตถุประสงค์.....	24
2. วัสดุ อุปกรณ์ และ วิธีการ.....	25
3. ผลและ วิจารณ์.....	36
4. สรุป.....	59
เอกสารอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย.....	68
ภาคผนวก ข. การตรวจสอบการดูดซึมน้ำ.....	78
ภาคผนวก ค. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ.....	80
ประวัติผู้เขียน.....	91



รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบทางเคมีของใบสับปะรด ฟางข้าว และต้นข้าวโพด.....	6
2 เปรียบเทียบผลดี และผลเสียของการสกัดเส้นใยด้วยด่าง และกรด.....	8
3 อุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลของแป้งแต่ละชนิด.....	12
4 องค์ประกอบทางเคมีของใบสับปะรด.....	37
5 ค่าเฉลี่ยผลผลิต, เซลลูโลส และลิกนิน.....	39
(% โดยน้ำหนักแห้ง) จากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น, อุณหภูมิ และเวลา ต่าง ๆ	
6 ค่า L, a และ b ของเส้นใยฟอกสี ที่สภาวะต่าง ๆ.....	44
7 ค่าเฉลี่ย น้ำหนัก, ความหนา และปริมาณความชื้น ของถาดที่ผลิตจากสูตรต่าง ๆ.....	48
8 ค่าการดูดซึมน้ำ, แรงต้านการตัดโค้ง และ แรงต้านการกดของ.....	50
ถาดที่ผลิตจากสูตรต่าง ๆ	
9 การเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อสัมผัสตัดแต่ง และ ถาดที่เก็บรักษา.....	55
ในห้อง 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน	
10 การดูดซึมน้ำ, การต้านแรงตัดโค้ง และ การต้านแรงกดของ.....	58
ถาดที่ผ่านการบรรจุเนื้อสัมผัส หลังจากเก็บในห้อง 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน	

## รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ลักษณะทรงพุ่ม และประเภทของใบสับปะรด.....	4
2 ลักษณะของเส้นใยจากใบสับปะรด กำลังขยาย 360 เท่า.....	5
3 ภาพตัดขวางของกลุ่มเส้นใยจากใบสับปะรด กำลังขยาย 300 เท่า.....	5
4 โครงสร้างทางเคมีของไซโตเต็มคาร์บอกซีเมทริลเซลลูโลส.....	16
5 โครงสร้างทางเคมีของโลคัสปีนัม.....	17
6 โครงสร้างทางเคมีอัลจินตที่อยู่ในรูปน้ำตาลชนิดเดียวที่มีแมนูโรนิค(ก.)และกูลูโรนิค(ข)....	18
7 เครื่องมือที่ใช้สกัดเส้นใย (ก.) ใช้ใบพัดพร้อมมอเตอร์ (ข.)..... และสภาพการฟอกสี (ค.)	27
8 แม่พิมพ์ขึ้นรูปภาคบรรจุภัณฑ์ (ก.) แม่พิมพ์ส่วนบน และแม่พิมพ์ส่วนล่าง (ข.)..... และ แม่พิมพ์ใส่แผ่นแบ่ง	28
9 เครื่องยูนีเวอร์เซล เทสเตอร์ สำหรับการวัดการต้านแรงกด (ก.)..... และ การวัดการต้านแรงดัดโค้ง (ข.)	29
10 กระบวนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด.....	31
11 กระบวนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการฟอกสี.....	33
12 การขึ้นรูปภาค.....	35
13 แผ่นแบ่งที่เตรียมได้ ในแม่พิมพ์ขึ้นรูปภาค.....	35
14 ขึ้นใบสับปะรดแห้ง.....	36
15 เส้นใยที่ได้จากการสกัด (เส้นใยฟอกสี) และ เส้นใยไม่ฟอกสี.....	41
16 ลักษณะภาคที่ผลิตได้ จากแบ่งมันสำปะหลัง และแบ่งมันสำปะหลังดัดแปร..... ที่มีการเติม และไม่เติมเส้นใย เมื่อเทียบกับภาคโฟม	45
17 ลักษณะภาคที่ผลิตจากแบ่งมันสำปะหลัง (ก.) และแบ่งมันสำปะหลังดัดแปร (ข.)..... เติมเส้นใย 2 กรัม และสารยึดเหนี่ยว ชนิดต่าง ๆ ปริมาณ ร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนักแบ่ง	46
18 ลักษณะของเนื้อสัมผัส เก็บที่ห้อง 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน.....	54
19 ลักษณะของภาค เก็บที่ห้อง 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน.....	54
20 น้ำหนักเนื้อสัมผัสที่สูญเสีย และ น้ำหนักภาคที่เพิ่มขึ้น (% โดยน้ำหนักเริ่มต้น)..... เก็บที่ห้อง 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน	56

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถึง 1,000 เท่า ดังนั้น อุณหภูมิผิวโลกจึงร้อนขึ้นและเกิดสภาพภูมิอากาศแปรปรวน (สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค, 2534)

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาส่วนหนึ่ง ทุกคนต้องร่วมมือกันลดการใช้โฟมให้ใช้เท่าที่จำเป็น หรือใช้สารทดแทนซีเอฟซี คือ สารเฮชเอฟซี (Hydrofluorocarbons, HFCs) และสารเอฟซี (Fluorocarbons, FCs) ซึ่งสารทั้ง 2 ไม่มีอะตอมคลอรีนอยู่เลย จึงไม่ทำลายชั้นโอโซนแต่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก เหมือนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซชนิดอื่น ๆ จึงมีผลทำให้โลกร้อนขึ้น แต่ให้ผลกระทบน้อยกว่าสารซีเอฟซี สารทดแทนดังกล่าวยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากราคาแพง และผลิตไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาดโลก สารทดแทนดังกล่าว เริ่มใช้เป็นสารทำความเย็น ในเครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น และสารเป่าโฟมในอุตสาหกรรมผลิตโฟม คือ HFC 134 A และ HFC 152 A เป็นต้น จะเห็นได้ว่า เกิดปัญหามากจากปริมาณการใช้ถาดโฟม จำนวนมาก อีกแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาทำโดยใช้ภาชนะอื่นทดแทนที่เหมาะสม ภาชนะนี้อาจเป็นภาชนะที่สลายง่ายเมื่อเป็นขยะมูลฝอย เช่น ภาชนะที่ทำจากใบตอง กระดาษ หรือบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ(biodegradable package) เป็นต้น (สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค, 2534 ; สุทธิเวช ต.แสงจันทร์, 2536)

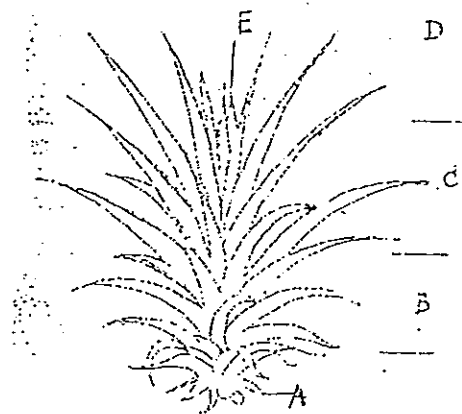
## 2. ตรวจเอกสาร

### 2.1 สันฐานวิทยา และองค์ประกอบทางเคมี

สับปะรด (*Ananas comosus* (L.) Merr.) เป็นพืชเมืองร้อนที่สำคัญทางเศรษฐกิจ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคชนิดหนึ่ง สายพันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทย มี 4 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ปัตตาเวีย อยู่ในกลุ่มไคยีน ปลูกกันทุกภาค แต่ละแหล่งเรียกต่างกัน เช่น สับปะรดศรีราชา สับปะรดตาดำ หรือสับปะรดปรานบุรี เป็นต้น สายพันธุ์ภูเก็ท อยู่ในกลุ่มควีน ปลูกมากในจังหวัดภูเก็ต และ พังงา สายพันธุ์อินทรีชิต อยู่ในกลุ่มสเปนนิส ทั่วไปเรียกว่าพันธุ์พื้นเมือง นิยมปลูกและบริโภคน้อยกว่าสายพันธุ์ปัตตาเวียและสายพันธุ์ภูเก็ท แหล่งปลูกที่สำคัญในปัจจุบัน คือ อำเภอบางค้ำ จังหวัดฉะเชิงเทรา สายพันธุ์สุดท้าย คือ สายพันธุ์นางแล จัดเป็นสายพันธุ์ย่อยของสายพันธุ์ปัตตาเวีย นำพันธุ์มาจากศรีลังกา ปลูกไว้ที่ ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย มีการขยายพันธุ์เพิ่มเนื้อที่ปลูกเรื่อย ๆ เนื่องจากมีรสชาติดีเป็นที่นิยมของตลาด (วิจิตร วรรณชิต, 2529)

สับปะรด มีอายุตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บผลได้ นาน 14 - 18 เดือน มีใบ 30 - 40 ใบ ใบยาว 90 - 150 เซนติเมตร และ กว้าง 2.5 - 5.0 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับ พันธุ์ และ ความสมบูรณ์ของต้น เป็นต้น ลักษณะทรงพุ่มของใบ ตามรูปทรงรอบนอก เป็นรูปหัวใจ ประเททของใบ แบ่งตามอายุ (ภาพที่ 1) ลักษณะเส้นใยจากใบ เป็นเส้นใยเดี่ยว รูปทรงกรวย ปลายแหลม ผิวรอบนอกของเส้นใยเรียบ (อัจฉราพร ไสละสูต, 2529) (ภาพที่ 2) เส้นใยจะอยู่เป็นกลุ่มกระจายตัวในเนื้อเยื่อใบ ภาพตัดขวางของกลุ่มเส้นใย เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 3,000 เท่า มีลักษณะหลายเหลี่ยม รี และ ค่อนข้างแบน มีลูเมน (lumen) อยู่ตรงกลางเส้นใย (อัจฉราพร ไสละสูต, 2529) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย โดยประมาณเท่ากับ 5 ไมครอน (De Guzman et al., 1982) (ภาพที่ 3) เส้นใย มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบทางเคมี สามารถแบ่งชั้นที่เป็นโครงสร้างของเส้นใยได้ 4 ชั้น คือ ชั้นแรก เป็นชั้นที่อยู่ชิดด้านนอกของเส้นใย ชั้นที่สอง เป็นชั้นที่อยู่ติดกับลูเมน สามารถจำแนกเป็นชั้นย่อยๆ ได้ 3 ชั้น คือ ชั้นนอก ชั้นกลาง และชั้นใน ติดกับลูเมนมากที่สุด แต่ละชั้นมีความแตกต่างในการจัดเรียงตัวกัน เส้นใยนอกจากจะมี เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบทางเคมีแล้ว เส้นใยแต่ละเส้นใยยังมีเฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน อยู่ล้อมรอบโดยที่ลิกนินจะจับยึดเส้นใยไว้ (Britt, 1970) โดยที่ใบสับปะรดมีองค์ประกอบทางเคมี แสดงในตารางที่ 1

ในการปลูกสับปะรด ถ้าใช้ระยะการปลูก 25 x 50 เซนติเมตร จะปลูกได้ 7 พัน - 8 พันต้นต่อไร่ ซึ่งใน 1 ต้น มีใบกำลังเจริญเติบโต 3 - 4 ใบ ใบนี้ถึงระยะใบโตเต็มที่พอดีเมื่อมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว (วิจิตต์ วรรณชิต, 2529) จึงประมาณจำนวนใบได้ 2.1 หมั่น - 3.2 หมั่นใบต่อไร่ กรมส่งเสริมการเกษตร (2534) รายงานว่า ในปี พ.ศ. 2534 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกสับปะรดทั้งประเทศรวม 0.51 ล้านไร่ ดังนั้นในปี พ.ศ. 2534 ทั้งประเทศ ประมาณจำนวนใบได้ 1.1 หมั่น - 1.6 หมั่นใบ ในขณะที่ปี พ.ศ. 2536 มีพื้นที่ปลูก 0.54 ล้านไร่ จึงประมาณจำนวนใบโตเต็มที่ ทั้งประเทศได้ 1.1 หมั่น - 1.7 หมั่นใบ



ภาพที่ 1 ลักษณะทรงพุ่ม และประเภทของใบสับปะรด

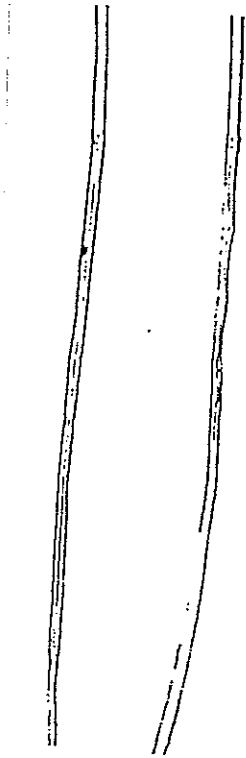
A คือ ใบแห้ง (dry leaves) อยู่บริเวณส่วนโคนต้นติดกับพื้นดิน มีอายุมากที่สุด มักจะแห้งตายติดอยู่กับลำต้น

B คือ ใบแก่ (old leaves) อยู่ถัดจากใบแห้งขึ้นไปข้างบน ทำมุมกับลำต้นแคบกว่า และอายุน้อยกว่าใบแห้ง

C คือ ใบโตเต็มที่ (mature leaves) อยู่ถัดจากใบแก่ขึ้นไปข้างบน ทำมุมกับลำต้นแคบกว่า และอายุน้อยกว่าใบแก่

D คือ ใบกำลังเจริญเติบโต (active leaves) เป็นใบที่กว้าง และยาวมากที่สุด มีกิจกรรมทางสรีระ (physiological actives) สูงสุด การหาใบกำลังเจริญเติบโต ทำได้ง่าย โดยการจับใบสับปะรดทั้งหมดรวมเข้าหากัน ใบที่มีความยาวมากที่สุด คือ ใบกำลังเจริญเติบโต ถัดขึ้นไปเป็นใบอ่อน (E) มีอายุน้อยที่สุด

ที่มา : จารุพันธ์ ทองแถม (2526)



ภาพที่ 2 ลักษณะของเส้นใยจากใบสับปะรด กำลังขยาย 360 เท่า  
ที่มา : Carpenter และคณะ (1963)



ภาพที่ 3 ภาพตัดขวางของกลุ่มเส้นใยจากใบสับปะรด กำลังขยาย 300 เท่า  
ที่มา : De Guzman และคณะ (1982)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของใบสับปะรด ฟางข้าว ต้นข้าวโพด

องค์ประกอบทางเคมี (%โดยน้ำหนักแห้ง)	ใบสับปะรด			ฟางข้าว	ต้นข้าวโพด
	1	2	3	4	5
เซลลูโลสทั้งหมด	75.24	81.02	68.50	35 - 40	-
α - เซลลูโลส	57.86	-	-	-	72.4
ลิกนิน	4.95	12.7	6.04	15 - 18	13.3
เถ้า	0.86	1.1	0.90	-	9.8
ความชื้น	9.53	-	-	3 - 10	-
ส่วนที่ละลายในน้ำ	-	3.5	-	-	-
ส่วนที่ละลายในแอลกอฮอล์ - เบนซีน	3.02	2.1	-	-	-

ที่มา : 1. De Guzman และคณะ (1982)

2. Sen (1982)

3. Saha และคณะ (1991)

4. Chou และคณะ (1990)

5. Abou - State และคณะ (1984)

## 2.2 วิธีการสกัดเส้นใยจากใบสับปะรด

วิธีการแยกหรือสกัดเส้นใย สามารถจำแนกได้ 3 วิธี ได้แก่ วิธีทางกล ใช้การบดของเครื่อง โดยมีน้ำช่วยลดความร้อนที่เกิดจากการบด เรียกเส้นใยจากวิธีนี้ว่า เส้นใยบด มีลิกนิน และสารประกอบอื่น ๆ ปนอยู่จำนวนมาก คุณภาพที่ได้ต่ำ (บวร วัฒนเสรี และคณะ, 2518) วิธีที่สองเป็นวิธีทางเอนไซม์ ใช้เอนไซม์เซลลูเลสย่อยสลาย ใบสับปะรดได้เส้นใยเซลลูโลส เพื่อนำไปทำกระดาษ สำหรับวิธีสุดท้ายเป็นวิธีทางเคมี ใช้สารเคมีเพื่อแยกเนื้อไม้ออกได้เส้นใยที่เรียกว่า เส้นใยเคมี มีลิกนิน และสารประกอบอื่น ๆ ปนอยู่น้อยมาก การใช้สารเคมีสกัดเส้นใย มีหลายกรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีโซดา (soda process) ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กรรมวิธีคราฟท์ (kraft process) ใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับโซเดียมไบซัลไฟต์ และกรรมวิธีไบซัลไฟต์ (bisulfite process) ใช้สารละลายแคลเซียมไบซัลไฟต์ อย่างเดียวหรือผสมกับ แมกนีเซียมไบซัลไฟต์และกรดซัลฟูริก (ทงศักดิ์ ด้านชูธรรม, 2522 ; Britt, 1970) และกรรมวิธีในการสกัดเส้นใยด้วยสารเคมีประเภทต่าง มีผลดีมากกว่าใช้สารเคมีประเภทกรด (ตารางที่ 2) (Hagenmeyer, 1984)

Sen (1982) ได้รายงานถึง วิธีการสกัดเส้นใยของใบสับปะรด ว่า มีหลายวิธี ทั้งสกัดโดยใช้กรดและใช้ด่าง แต่มีหลักการเหมือนกัน คือ กำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของพืช ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง แล้วจึงกำจัดลิกนินออกบางส่วนหรือออกทั้งหมด ขึ้นอยู่กับค่าสีของเส้นใยที่ต้องการ จากนั้นทำให้อ่อนนุ่ม (softening) ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง Hansen และคณะ (1991) ได้สกัดเส้นใยจากธัญพืชหรือฟางข้าว โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์สกัดเส้นใย ภายใต้อุณหภูมิและความดัน และเลือกการกำจัดลิกนินด้วยคลอรีนไดออกไซด์ พบว่า ขึ้นอยู่กับชนิดขนาดเล็ก เมื่อผ่านขั้นตอนดังกล่าว เส้นใยที่ได้มีสีขาวมากกว่า 80 ตามมาตรฐาน ของ ISO และ พบสารประกอบคลอรีน เช่น สารประกอบ ไดออกซิน (dioxins) ซึ่งมีความเป็นพิษสูง ในปริมาณเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณที่ผู้บริโภคยอมรับได้ จึงกล่าวได้ว่า การสกัดนี้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค นอกจากนี้ Chou และคณะ (1990) ได้ศึกษากรรมวิธีการสกัดเส้นใย โดยขั้นตอนแรกสกัดด้วยสารละลายต่าง และขั้นตอนต่อไป เป็นการฟอกสีด้วย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในสภาพต่าง เพื่อกำจัดลิกนินของวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร เช่น จากส่วนใบ ลำต้น เปลือกหุ้มผล และ เปลือกหุ้มเมล็ดของพืชในตระกูล Gramineae



ได้เส้นใยเซลลูโลส ใช้เป็นแหล่งเส้นใยในอาหารสำหรับมนุษย์ และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง และจุลินทรีย์ การสกัดเส้นใยด้วยกรรมวิธีนี้ ให้ผลดี ได้แก่ ลดปริมาณการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และต่างอย่างมีนัยสำคัญ, เพิ่มองค์ประกอบทางเคมี และมีปริมาณผลผลิต ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้, ประหยัดสารเคมี น้ำพลังงาน และ ลดการบำบัดของเสีย เนื่องจากสามารถนำสาร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และต่างกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยทำให้อยู่ในสภาพที่เข้มข้น นอกจากนี้ในตัวอย่างที่มีไขมัน วิธีนี้จะกำจัดไขมันออกได้มากขึ้น และเส้นใยเมื่อนำไปบด สามารถใช้ทดแทนแป้งในปริมาณมาก และยอมรับผลิตภัณฑ์มากขึ้น

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลดีและผลเสียของการสกัดเส้นใยด้วยต่างและกรด

ข้อเปรียบเทียบ	สารสกัด	
	ต่าง	กรด
• คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใย	แข็งแรงกว่า	อ่อนแอกว่า
• พลังงานความร้อนที่ใช้ผลิต	น้อยกว่า	มากกว่า
• การกักความร้อน	น้อยกว่า	มากกว่า
• ปริมาณการใช้น้ำ	น้อยกว่า	มากกว่า
• ปริมาณของเสียที่ต้องบำบัด	น้อยกว่า	มากกว่า
• ความสามารถต่อต้านจุลินทรีย์ของเส้นใย	มากกว่า	น้อยกว่า
• ความคงสภาพของกระดาษที่ผลิตได้	นานกว่า	น้อยกว่า
• ความสามารถของเส้นใยที่นำกลับมาใช้ใหม่	มากกว่า	น้อยกว่า
• การใช้สารปรับปรุงคุณภาพ เช่น $\text{CaCO}_3$	ไม่มีข้อจำกัด	มีข้อจำกัด

ที่มา : Hagenmeyer (1984)

สำหรับวิธีการสกัดของ Hansen และคณะ (1991) Chou และคณะ (1990), และ Sen (1982) มีการเตรียมวัตถุดิบคล้ายกัน คือ ตัดวัตถุดิบให้สั้นลง ขนาดสม่ำเสมอ ถ้าขนาดไม่สม่ำเสมอจะมีผลต่อการแทรกซึมของสาร เข้าไปในชิ้นวัตถุดิบไม่สมบูรณ์ หรือ การซึมผ่านไม่เพียงพอ (Gustafson *et al.*, 1989) การบดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสาร สกัดได้มากขึ้น ไม่ควรให้มีขนาดเล็กมาก เพราะจะเกิดปัญหาในการกรอง และ ทำแห้ง ทำให้ปริมาณการสูญเสียเพิ่มขึ้น การทำความสะอาด ล้างสิ่งสกปรกออก อาจใช้น้ำเย็น, น้ำร้อนหรือน้ำ การล้างด้วยน้ำร้อนหรือน้ำ ช่วยยับยั้งเอนไซม์ที่เร่งการแตกตัวของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ช่วยการละลายในน้ำของเกลืออนินทรีย์, หรือ ตัวเร่งปฏิกิริยา การแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, สารประกอบน้ำตาล และสารประกอบที่เกิด ออกซิไดส์ได้ เป็นต้น หลังจากล้างชิ้นวัตถุดิบด้วยน้ำเย็นหรือน้ำร้อน อาจนำไปล้างด้วย กรดแผลหรือกรดอินทรีย์ที่ไม่เป็นพิษ เช่น กรดไฮโดรคลอริก, กรดไนตริก, กรดซัลฟูริก, กรดซิตริก, กรดตาร์ตาริก และ กรดอะซีติก เป็นต้น กรดที่ใช้ควรเป็นกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง โดยแช่วัตถุดิบ ที่พีเอช 2.0 ใช้เวลา ประมาณ 15 นาที หรือมากกว่า จากนั้น กรองแยกชิ้นวัตถุดิบออก ล้างด้วยน้ำสะอาด ก่อนนำไปสกัดด้วยต่าง ในขั้นตอนลำดับต่อไป

Chou และคณะ (1990) ได้กล่าวว่า ขั้นตอนการสกัดด้วยต่าง ต้องมีปริมาณ สารละลายต่างมากพอที่จะแทรกเข้าไประหว่างชิ้นวัตถุดิบอย่างทั่วถึง โดยใช้ ร้อยละ 1 - 15 โดยน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ อุณหภูมิที่ใช้ 60 - 85 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาหนึ่ง เมื่อครบ กำหนดเวลา กรองแยกเส้นใยออกมาล้างด้วยน้ำ จากนั้น เข้าสู่ขั้นตอนการกำจัดลิกนิน โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ฟอกสีในสภาวะต่าง ที่พีเอชเริ่มต้น ประมาณ 8.5 - 11.0 เมื่อสิ้นสุดการฟอกสี จะมีพีเอช ประมาณ 7.5 - 9.5 ในการฟอกสีของเส้นใย ใช้สารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 35 - 70 โดยน้ำหนัก เดิมในปริมาณ ร้อยละ 5 - 8 ของน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ ต้มที่อุณหภูมิ 60 - 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 - 3 ชั่วโมง ในการฟอกสี หากใช้อุณหภูมิสูง ควรใช้เวลาน้อยลง เมื่อครบกำหนดเวลา กรองแยกเส้นใยออกล้างด้วยน้ำหลายครั้ง หรือ ล้างด้วยน้ำสะอาดก่อนนำไปแช่ในกรดเจือจาง ที่พีเอช 2.0 นาน 15 - 30 นาที แล้วล้างด้วยน้ำอีกครั้ง เพื่อล้างสารเคมีที่หลงเหลือ และสารประกอบที่ละลายในน้ำ ทำให้เส้นใยที่ได้มีองค์ประกอบทางเคมี และ ความขาว มีค่ามากขึ้น จากนั้นกรอง นำไปทำแห้ง โดยใช้เครื่องอบแห้งทั่ว ๆ ไป เช่น เครื่องอบแห้ง แบบโรตารี, เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด และ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เป็นต้น

เส้นใยที่ได้เป็นเส้นใยเซลลูโลส ที่ไม่ละลายน้ำ แต่มีคุณสมบัติการดูดซับหรือคายความชื้นได้ดี และรวดเร็ว (hygroscopic) และมีคุณสมบัติขับไขมัน (จรรยา ธงไชย, 2529) นอกจากนี้เส้นใยยังมีคุณสมบัติให้ความแข็งแรง เส้นใยมีความแข็งแรงลดลง เพราะหักงายเมื่อใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูง, อุณหภูมิสูง และ ใช้เวลาสกัดนาน (Britt, 1970)

### 2.3 วัสดุหรือสารเพิ่มคุณสมบัติแก่บรรจุภัณฑ์

ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย (2533) ได้กล่าวถึงการเติมสารกันน้ำ สี และสารประกอบอื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติที่ต้องการแก่เยื่อที่ได้จากทางเคมี เยื่อที่ได้จากทางเชิงกล และเยื่อจากเศษกระดาษ ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูป (moulded pulp container) เช่น ใส่ชั้นสนหรือซีฟิ่งผสมสารส้ม เพื่อเพิ่มคุณสมบัติกันชื้นน้ำแก่บรรจุภัณฑ์หรือเติมสารประเภท ฟลูโอโรคาร์บอนผสมกับสารดูดประจุลบ เพื่อเสริมคุณสมบัติต้านไขมัน นอกจากนี้อาจเติมสารเพิ่มคุณสมบัติเฉพาะอื่น ๆ ได้แก่ สารกันเปลวไฟ (flame retardant), สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อเปียก (wet - strength resins), สารยึดเหนี่ยว (binder) เช่น แป้งดัดแปร (modified starch), แป้งจากพืช ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี และแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งแป้งเป็นสารเพิ่มความเหนียวที่ราคาถูก แป้ง เป็นคาร์โบไฮเดรต ที่มีพอลิเมอร์ของ  $\alpha$ -D-glucose ประกอบด้วย อะไมโลส และอะไมโลเพคติน ภายในเม็ดแป้งมีโมเลกุลของแป้งจำนวนมาก ที่จับยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีการจัดเรียงตัว 2 แบบ คือ บริเวณที่โมเลกุลแป้งจับกันอยู่จะจัดกระจาย ไม่เป็นระเบียบ และบริเวณที่โมเลกุลแป้งจัดเรียงกันหนาแน่น เป็นระเบียบ เป็นรูปผลึก ในภาวะปกติ แป้งดูดความชื้นได้ ร้อยละ 12 - 14 เมื่ออยู่ในน้ำ เม็ดแป้งไม่ละลาย น้ำซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลแป้งได้ถึง ร้อยละ 30 โดยไม่ทำลายโครงสร้างของแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้เล็กน้อย ไม่สามารถมองด้วยตาเปล่า ซึ่งการพองตัวเกิดจากการแยกพันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่เดิมออก และเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำแทน การพองตัวจะเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของพันธะไฮโดรเจน ถ้ามีพันธะไฮโดรเจนมาก หรือบริเวณที่เป็นผลึกมีความแข็งแรง สามารถต้านการพองตัวได้ดีกว่า ส่วนที่มีพันธะไฮโดรเจนน้อย เม็ดแป้งจึงพองตัวช้า ปรัชญาการนี้สามารถผันกลับได้ โดยนำแป้งไปตากแห้ง จะได้แป้งมีลักษณะและคุณสมบัติเช่นเดิม (สร้อยลัดดา รอดปาน, 2532) การให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง ในระยะแรกจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของเม็ดแป้ง

จนกระทั่งถึงอุณหภูมิแป้งสุก เม็ดแป้งแต่ละเม็ดเริ่มสุก ที่อุณหภูมิต่างกัน จากการให้ความร้อนทำให้โมเลกุลของแป้งที่มีการจัดเรียงตัวแบบผลึก เริ่มคลายความหนาแน่น พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างแตกออก เม็ดแป้งดูน้ำได้ดีขึ้น เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น ส่วนโมเลกุลที่เหลือยังยึดเหนี่ยวกันไว้ จึงทำให้เกิดสภาพร่างแหยังคงสภาพเม็ดแป้งอยู่ และมีเม็ดแป้งบางส่วนพองตัวจนแตก โมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคติน เป็นอิสระกระจายตัวออกมาจากเม็ดแป้ง เกิดสภาพละลาย ได้เฟสใส ความหนืดเพิ่มขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดเจลาติไนซ์ (gelatinization) เมื่อให้อุณหภูมิแก่น้ำแป้งสูงขึ้นอีก โมเลกุลที่มีการจัดเรียงตัวแบบผลึกที่เหลืออยู่คลายตัว เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่จนแตก ทำให้เกิดการละลาย มาก (อรรพรรณ เคนสุขเจริญ, 2529) ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลาติไนซ์ ได้แก่ อุณหภูมิ (ตารางที่ 3), พีเอช และขนาดของเม็ดแป้ง เป็นต้น เม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กเป็นเจลาที่อุณหภูมิต่ำกว่าเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่ (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรพนี เดชกำแหง, 2530) ในขณะที่มีรายงานว่า เม็ดแป้งขนาดใหญ่ จะเกิดเจลาติไนซ์ได้ก่อนเม็ดแป้งขนาดเล็ก แต่มีอีกรายงานหนึ่งกล่าวขัดแย้ง ว่า เม็ดแป้งขนาดต่างกัน การสูญเสียเครื่องหมายกากบาท จะเกิดขึ้นได้พร้อม ๆ กัน การมีโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงมากหรือน้อยในเม็ดแป้งไม่มีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุก (อรรพรรณ เคนสุขเจริญ, 2529) ตัวอย่างขนาดเม็ดแป้งจาก ข้าวเจ้า, ข้าวโพด, มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง เป็น 5, 15, 15 และ 80 ไมครอน ตามลำดับ

แป้งมันสำปะหลัง เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง มีราคาถูก แต่มีการใช้ในประเทศ เพียงร้อยละ 40 และในจำนวนนี้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพียงร้อยละ 27.4 เท่านั้น โดยนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น อาหารกระป๋อง เครื่องดื่ม ซอสปรุงรส ซุป อาหารเด็ก และขนมหวานสำเร็จรูป เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมี การนำไปทดแทนแป้งชนิดอื่น ในขนมปังและขนมเค้กต่าง ๆ บะหมี่ และผลิตภัณฑ์อื่น เส้น เป็นต้น แต่แป้งมันสำปะหลัง มีข้อจำกัดในด้านปริมาณ และขอบเขตการใช้ดังนี้ คือ แป้งมันสำปะหลังมีความเสถียรต่ำ ต่ออุณหภูมิ พีเอช และการผสมที่รุนแรงในกระบวนการผลิต กล่าวคือ เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อน เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว และแตกง่ายเมื่อกวน ทำให้สูญเสียความหนืด คุณสมบัติของแป้งเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเพื่อแก้ไขข้อจำกัดการใช้ โดยการดัดแปรแป้ง ทำให้เม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น มีความเสถียรดีขึ้น ยับยั้งการพองตัว ความหนืดมีความเสถียรเพิ่มขึ้น (วรรณพร ศิริโรจน์, 2529)

วิธีที่สุดท้าย การครอสลิง มีการสร้างพันธะโควาเลนซ์ระหว่างพอลิเมอร์ของแป้ง ทำให้แรงยึดภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น เม็ดแป้งจึงมีการพองตัว และการละลายลดลง และเม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น การครอสลิงจึงสามารถควบคุมการพองตัว และการแตกตัวของเม็ดแป้งที่อุณหภูมิสูง แป้งดัดแปรแบบครอสลิงจึงทนต่อความร้อน แรงเฉือน และ ความเป็นกรด จึงเหมาะที่จะใช้ในอาหารที่มีความเป็นกรดสูง ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อ และ ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการทำให้ข้น และ ทำให้เนื้ออาหารกระจายตัวในสารละลาย (วรรณพร ศิริโรจน์, 2529 ; นุชฤดี ศิริบุญ, 2534 ; เอกพันธ์ แก้วมณีชัย, 2538)

ศุภวรรณ อนุเวชศิริเกียรติ และคณะ (2535) ได้ทำการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พีเอช 9.0 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปให้ความร้อนที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง แป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ได้มีความชื้น ร้อยละ 12.4 ปริมาณฟอสเฟตตกค้าง 95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของแป้งในรูปของฟอสฟอรัส ซึ่งต่ำกว่าปริมาณฟอสเฟตที่กำหนดให้มีได้ในแป้งดัดแปร (ตกค้างได้ไม่เกิน 400 พีพีเอ็มในรูปของฟอสฟอรัส ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 พ.ศ.2527) แป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ผลิตได้ มีความสามารถในการพองตัวสูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง 2 เท่า สารละลายแป้งมีความใสเพิ่มขึ้น เจลของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีความคงตัวหรือสามารถทนต่อจำนวนครั้งของการแช่เยือกแข็ง และการละลาย 4 ครั้ง โดยไม่เกิดการแยกตัวของน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่า แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรด้วยโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ด้วยวิธีการดังกล่าว มีศักยภาพในการนำไปใช้ในอาหารแช่แข็ง

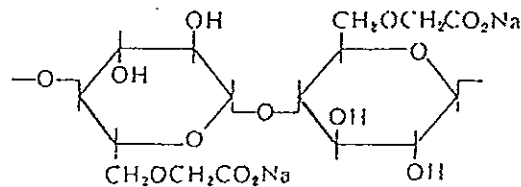
นอกจากนี้ วรรณพร ศิริโรจน์ (2528) และสมเกียรติ เกียรติกิตติกุล (2534) ได้ศึกษาการดัดแปรโดยใช้โซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตทำปฏิกิริยาครอสลิงกับแป้งมันสำปะหลัง ระดับการครอสลิงนี้ สามารถตรวจวัดได้จากเสถียรภาพของความหนืดระหว่าง heating - cooling cycle ของเพสต์จากแป้ง พบว่า ผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต และเวลาของปฏิกิริยา มีผลต่อระดับการครอสลิง ที่อุณหภูมิ  $45 \pm 2$  องศาเซลเซียส และ พีเอช 10.0 เมื่อปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต และเวลา

ของปฏิกิริยาที่ใช้เพิ่มขึ้น ระดับการครอสลิงกิงจะสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งลดลง อุณหภูมิแป้งสุกเพิ่มขึ้น ความหนืดของเพสต์ลดลง เสถียรภาพของความหนืดของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น และทำให้ความหนืดของสารละลายแป้งดัดแปรที่นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ ที่มีระดับพีเอช 3.0 - 5.0 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จะมีค่าลดลง เป็นเพราะว่า ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่ใช้ในการครอสลิงกิงมากขึ้น ระดับการครอสลิงกิงสูงขึ้น มีการครอสลิงกิง หรือ มีพันธะโควาเลนต์ เพิ่มขึ้น ทำให้เม็ดแป้งมีความสามารถในการพองตัวลดลง นอกจากนี้ปริมาณฟอสเฟตตกค้าง โดยการคำนวณในรูปฟอสฟอรัสในแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเพิ่มขึ้น ตามปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่ใช้ในการครอสลิงกิง ปริมาณฟอสฟอรัสที่ตกค้างนี้ ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

สำหรับสารยึดเหนี่ยว มีรายงานของ Liebermann (1994) ได้กล่าวถึงสารยึดเหนี่ยวที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable package) ว่า อาจเป็น สารสังเคราะห์ หรือสารอินทรีย์ ตัวอย่างสารยึดเหนี่ยวประเภทสังเคราะห์ ได้แก่ H.B. Fuller hot melt adhesive สารนี้สารผสมระหว่างพอลิเมออร์, เรซิน, พลาสติไซเซอร์ และไซ สำหรับตัวอย่างสารยึดเหนี่ยว ประเภทสารอินทรีย์ ส่วนมากเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดชอบน้ำ สามารถจำแนกได้ 5 กลุ่มตามแหล่งที่มา กลุ่มแรก คือ กลุ่มที่ได้จากต้นไม้ผลิตรายกภัย (exudate) เช่น กัมอะราบิก (arabic gum), ทรากาแคนท์ (tragacanth), คารายา (caraya) และกัมกาที (gum ghatti) กลุ่มที่สอง กลุ่มที่ได้จากการสกัด เช่น กัวร์, อัลจีเนต (alginate), เฟอ์เซลลาแรน (fucellaran), อนุพันธ์ของคาร์ราจีแนน (caragenan derivative), เพคติน, และเจลาติน กลุ่มที่สาม เป็นกลุ่มที่ได้จากแป้งและเมล็ดพืช (flours and seed gums) เช่น กัวร์กัม (guar gum), โลคัสบีนกัม (locust bean gum, LBG), แป้ง และ ไมโครคริสตอลไลน์ เซลลูโลส (microcrystalline cellulose, MCC) กลุ่มที่สี่ เป็นกลุ่มที่ได้จากการหมัก เช่น แซนแทนกัม (xanthan gum), เดริกตริน (dextrins), เคริดแลน (curdlan) และ เจลแลนกัม (gellan gum) กลุ่มสุดท้าย เป็นกลุ่มที่ได้จากการดัดแปรด้วยสารเคมี เช่น อนุพันธ์เซลลูโลส (cellulose derivatives), แป้งดัดแปร, เพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำ (low-methoxyl pectins) และโพรไพลีน ไกลคอล อัลจีเนต (propylene glycol alginate, PGA) (Carr, 1993)

สารไฮโดรคอลลอยด์ เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก ส่วนมากเป็น พอลิแซ็กคาไรด์ อาจมีประจุลบหรือไม่มีประจุ ยกเว้นเจลาตินที่เป็นโปรตีน มีทั้งประจุบวก และลบ สารไฮโดรคอลลอยด์ สามารถกระจายตัวหรือละลายในน้ำ ให้ความหนืดที่เป็นคุณสมบัติสำคัญ และ อาจเกิดลักษณะเจลที่มีความแข็งแรงหรืออ่อน ตัวอย่างและ คุณสมบัติของสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodiumcarboxymethylcellulose, CMC), โลคัสปีนกันัม และโซเดียมอัลจิเนต (sodiumalginate, SAG) มีรายละเอียด ดังนี้

CMC มีลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้น้ำแทนหลายมากในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสชนิดหนึ่ง ได้จากปฏิกิริยาของเซลลูโลสกับโซเดียมโมโนคลอไรด์ - อะซีเตต ในสภาพต่าง ได้อนุพันธ์ของเซลลูโลส ที่อยู่ในรูปคาร์บอกซีเมทิลอีเธอร์ (ภาพที่ 4) ในการผลิตมีปัจจัยที่ควบคุมคุณภาพ คือ ระดับการแทนที่ (degree of substitution, D.S.) และระดับการพอลิเมอร์ไรซ์ (degree of polymerization, D.P.) CMC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีค่า D.S. สูง และ ค่า D.S. มีผลต่อความหนืดของ สารละลาย ถ้า D.S. มีค่าสูง ความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ที่ความหนืดต่ำ CMC มี น้ำหนักโมเลกุล 90,000 ดาลตัน และที่ความหนืดสูง CMC มีน้ำหนักโมเลกุล 700,000 ดาลตัน ความหนืดของสารละลาย CMC มีความคงตัวได้ดีในช่วงพีเอช 5 - 11 ถ้าพีเอช ต่ำกว่า 5 หรือสูงกว่า 11 ความหนืดจะมีค่าลดลง ในผลิตภัณฑ์อาหาร D.S. ของ CMC มีค่าจำกัดมากที่สุด 0.9 ถึงแม้ว่าทางทฤษฎี สามารถผลิตให้มี D.S. ได้ถึง 3.0 CMC ที่มีค่า D.S. 0.3 หรือต่ำกว่า สามารถละลายในต่าง ส่วน CMC ที่มีค่า D.S. 0.4 - 0.5 ละลายได้ดีในน้ำร้อน ในทางการค้า CMC มีค่า D.S. 0.65 - 0.85 ละลายได้ดี ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน สำหรับอัตราการพองตัว ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ, ความเข้มข้น และ ขนาดอนุภาค (ยิ่งขนาดอนุภาคใหญ่ การพองตัวยิ่งช้า) เมื่อ CMC อยู่ในน้ำ จะพองตัวให้สารละลายมีความใส การนำไปใช้ประโยชน์ ในอุตสาหกรรมกระดาษแข็ง CMC จะเป็นตัวเพิ่มความเรียบและความแข็งแรง (Britt,1976 ; Whistler, 1973)

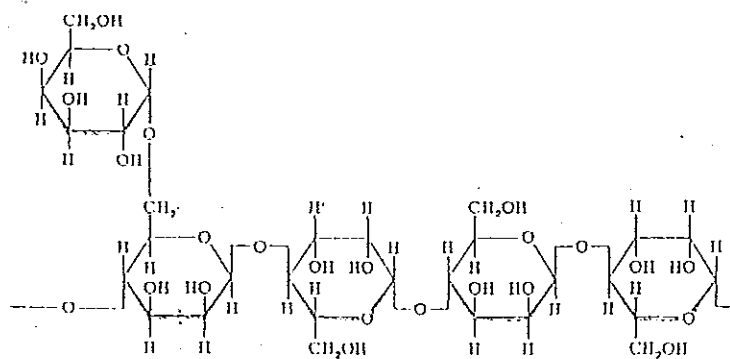


ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของไซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ที่มา : Whistler (1973)

LBG หรือคารอบป็นกัม (carob bean gum) ได้จากส่วนเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์มของ เมล็ดพืชตระกูลถั่ว ชื่อ *Ceratonia siliqua* L. มีการปลูกมากในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน LBG รู้จักกันมานานมากกว่า 2,000 ปีแล้ว โดยชาวอียิปต์โบราณใช้ในการทำ มัมมี่ ส่วนชาวอาหรับใช้เมล็ดคารอบ (carob seed) เป็นตุ๋มน้ำหนักที่ใช้ชั่งทองหรือเพชร LBG เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ไม่มีประจุ หรือเป็นพวกกาแลคโตแมนแนน ประกอบด้วย  $\beta$  - D แมนโนส เป็นหลักเชื่อมพันธะที่ตำแหน่ง 1,4 มีสายไซด้างข้างเป็น  $\beta$  - D กาแลคโตส เชื่อมกับแมนโนสที่ตำแหน่ง 1,6 (ภาพที่ 5) อัตราส่วน แมนโนส กับ กาแลคโตส ประมาณ 4 มีน้ำหนักโมเลกุล ประมาณ 300,000 ดาลตัน LBG มีลักษณะคล้ายกัวร์ กัม เพราะเป็นอนุพันธ์จากที่เดียวกัน และกัมทั้งสอง มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีคล้ายกันมาก เว้นแต่กัวร์ กัม ละลายในน้ำเย็นได้มากกว่า ให้ความหนืดสูงกว่า มีความคงตัวในช่วง พีเอชกว้าง เป็นบัฟเฟอร์ได้เล็กน้อย LBG ละลายได้ดีเมื่อใช้ความร้อน 80 - 85 องศาเซลเซียส สำหรับความหนืดของสารละลาย ร้อยละ 1 ให้ความหนืด 3,000 - 3,500 เซนติพอยส์ เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดจะลดลง และความหนืด จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้น สูงขึ้นด้วย LBG เกรดโรงงาน ไม่สามารถละลายได้หมด เนื่องจากมีสารโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำและมีเซลลูโลส เล็กน้อย ทำให้สารละลายมีลักษณะขุ่น อย่างไรก็ตาม เมื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ ก็ให้ความใสเป็นที่ยอมรับ ถึงแม้ว่า LBG ไม่สามารถเกิดเจลได้ แต่ก็มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ช่วยเสริมความสามารถของคาราจีแนน และวุ้น ให้ผลิตภัณฑ์ มีความหนืดหยุ่นดีขึ้น ในอุตสาหกรรมกระดาษ ใช้กัวร์ กัม เพื่อปรับปรุงความแข็งแรงของกระดาษ (Britt, 1970 ; Whistler, 1973)

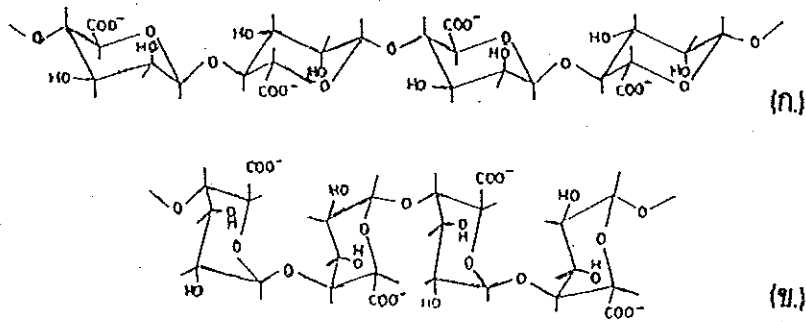




ภาพที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของโลคัสปีนัม

ที่มา : Pomeranz (1991)

อัลจินเต เป็นไฮโดรคอลลอยด์อีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร สกัดกรดอัลจินิกได้ครั้งแรกจากสาหร่ายสีน้ำตาล เช่น *Laminaria hyberborea*, *L. digitata*, *L. japonica*, *Ascophyllum nodosum* และ *Macro pyrifera* สายพันธุ์, ฤดูกาล และสถานที่เก็บเกี่ยว จะมีผลต่อปริมาณของกรดอัลจินิกแตกต่างกันไป กรดอัลจินิก เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีประจุลบ หรือเป็นพอลิเมอร์ร่วมกัน (co - polymer) ระหว่างกรด  $\beta$  - D แมนนูโรนิก และกรด  $\alpha$  - L กูลูโรนิก พอลิเมอร์เหล่านี้อาจอยู่ในรูปที่มีน้ำตาลชนิดเดียว (homopolymeric block) (ภาพที่ 6) หรือ ในรูปที่มีน้ำตาลทั้งสองชนิด (heteropolymeric block) ลักษณะทั้งสองนี้มีความสำคัญในการจำแนกความสามารถในการทำหน้าที่ของอัลจินเตในทางการค้า เนื่องจากลักษณะนี้สัมพันธ์กับความสามารถจับยึดกับแคลเซียม ในทางการค้าหากบอกว่า อัลจินเต มี G สูง หมายถึง มีกูลูโรนิตมากกว่าร้อยละ 50 หรือบอกว่า อัลจินเต มี M สูง หมายถึง มีแมนนูโรนิตมากกว่าร้อยละ 50 อัลจินเตเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ขึ้นอยู่กับระดับการพอลิเมอร์ไรซ์ หากระดับการพอลิเมอร์ไรซ์ในช่วง 100 - 300 จะมีน้ำหนักโมเลกุล ประมาณ 20,000 - 600,000 ดาลตัน ในการละลายกรดอัลจินิก และเกลือแคลเซียมของกรด จะละลายน้ำได้น้อยมาก ส่วนเกลือโซเดียม เกลือโปตัสเซียม เกลือแอมโมเนีย และไฟฟอสเฟตไกลคอลของกรดอัลจินิก จะละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อน และ น้ำเย็น ความหนืด ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ, ความเข้มข้น, น้ำหนักโมเลกุล และปริมาณแคลเซียม (Whistler, 1973)



ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของอัลจิเนต อยู่ในรูปน้ำตาลชนิดเดี่ยว ที่มีแมนูโรนิค (ก.) และ กัลดูโรนิค (ข.)

ที่มา : Pomeranz (1991)

#### 2.4 บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

บรรจุภัณฑ์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพอาหาร การคุ้มครองหรือรักษาผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ ไม่ให้เน่าเสียหรือเสื่อมคุณภาพก่อนเวลากำหนด และไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะระหว่างการเก็บรักษา รอกการจำหน่าย จึงจำเป็นต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น บรรจุภัณฑ์ที่มีความหลากหลายทั้งรูปแบบและวัสดุที่ใช้ผลิต ผู้ผลิตจึงต้องให้ความสำคัญ และ ติดตามเรื่องของมาตรฐาน ข้อกำหนด และกฎระเบียบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์ (ชื่นจิต อาทร, 2537) รูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่ใส่ผลไม้ สำหรับผู้บริโภค มีหลายรูปแบบ เช่น แผ่นฟิล์มห่อโดยตรง ถุง กล่องพลาสติก และถาด (รุจิรา กิจธารทอง, 2534)

ถาด เป็นบรรจุภัณฑ์ย่อย ที่นิยมใช้มากชนิดหนึ่ง มักใช้พลาสติกชนิดพีเอส มีสีขาวทึบและความหนา ประมาณ 3 มิลลิเมตร พื้นถาด เป็นตารางสี่เหลี่ยมเล็กๆ ออกแบบให้บรรจุผลไม้ แอปเปิ้ล ลูกแพร์ และส้ม ได้ 4 - 6 ผล วางเรียงชั้นเดียวกัน ห่อรัดถาดด้วยฟิล์มยืดที่โปร่งใส เมื่อรัดห่อหุ้มถาด ความหนาแผ่นฟิล์ม ลดลง และจะไม่ใช้ฟิล์มยืดที่อุณหภูมิต่ำกว่า -30 องศาเซลเซียส และสูงกว่า 54 องศาเซลเซียส เพราะที่อุณหภูมิดังกล่าวทำให้คุณสมบัติการเกาะติด (cling) ความเหนียว การยึดตัวของฟิล์มลดลง การที่นิยมใช้ฟิล์มยืดพีวีซี เนื่องจากราคาถูก ใส แฉววาว มีความเหนียว ฉีกขาดได้ยาก ยืดได้ทุกทิศทาง ดูดซึมน้ำได้ค่อนข้างสูง ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและการผ่านของก๊าซ ได้ต่ำถึงปานกลาง ขึ้นอยู่กับ สารเติมแต่งที่ใส่ลงไป (รุจิรา กิจธารทอง, 2534)

ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก ต้องขึ้นรูปด้วยความร้อนอย่างต่อเนื่อง โดยการให้ความร้อน จนแผ่นพลาสติกอ่อนตัว และใช้แรงอัด หรือ สูญญากาศช่วย เมื่อขึ้นรูปแล้วทำให้เย็น โดยถ่ายโอนความร้อนให้กับแม่พิมพ์ หรือ อากาศรอบ ๆ แล้ว ผ่านการตัดแต่ง (ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย, 2533) แต่ด้วยบรรจุภัณฑ์พลาสติก ทำให้เกิดปัญหาในการกำจัด เนื่องจากเสื่อมสลายได้ยาก จึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

Sacharow (1991) ได้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้จากแป้ง(มันฝรั่ง, สาลี หรือ ข้าวโพด) กับวัตถุเจือปนอื่นๆ ทำให้เกิดความคงตัวเพิ่มขึ้น นำมาผสมกับน้ำ ใสแม่พิมพ์ ให้ความร้อน บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้ทนต่อความชื้น ความร้อน น้ำหนักเบา ใช้บรรจุเวชภัณฑ์ เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในบ้าน

Cessna (1992) ได้ผลิตถาดบรรจุที่ย่อยสลายได้ จากแผ่นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นก่อนนำไปขึ้นรูปร้อน อาจใช้จำนวน 1 หรือ 2 แผ่นประกบกัน วางบนแม่พิมพ์ที่ให้ความร้อน 143 - 176 องศาเซลเซียส (290 - 350 องศาฟาเรนไฮต์) แผ่นนี้ใช้เทคนิคการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตกระดาษ ประกอบด้วย เส้นใยที่ยังไม่ใช้งาน ร้อยละ 60 - 80 โดยน้ำหนักแห้ง เส้นใยสังเคราะห์ โพลีเอเลฟิน เช่น โพลีเอทิลีน และ โพลีโพรพิลีน ร้อยละ 20 - 40 โดยน้ำหนักแห้ง ดินขาว (china clay) ร้อยละ 10 - 15 โดยน้ำหนักเส้นใย และชั้นสนที่มีประจุบวก (cationic dispersed resin) ร้อยละ 1 - 2 โดยน้ำหนักเส้นใย อาจใส่สีลงไปเมื่อเตรียมแผ่นผลิตภัณฑ์นี้ได้ นำไปขึ้นรูป เกิดการละลายของเส้นใยสังเคราะห์ และชั้นสนที่เคลือบเส้นใยบริสุทธิ์ และ ดินขาวที่จับกับเส้นใยนั้น ที่อุณหภูมิ และความดันหนึ่ง ขึ้นอยู่กับชนิดเส้นใยสังเคราะห์โพลีเอเลฟิน ถาดที่ผลิตได้ สามารถป้องกันการซึมของเหลว และ ป้องกันน้ำมันได้ดี สีที่ใสไม่ปนเปื้อนติดอาหาร ใช้ใส่อาหารตုပ်ไมโครเวฟได้ดี

Lieberman (1994) ได้กล่าวถึงการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับการใส่อาหาร จากเศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม และสารยึดเหนี่ยว เศษวัสดุเหลือใช้ เป็นพวกเปลือกหุ้มเมล็ดข้าวโพด, รำข้าวสาลี, เปลือกถั่ว, เปลือกข้าว, และเปลือกข้าวโอ๊ต สารยึดเหนี่ยว อาจอยู่ในตัวเศษวัสดุเหลือใช้ ซึ่งมีตามธรรมชาติ หรือ มีการเติมลงไปในส่วนผสม สารยึดเหนี่ยวที่เติมอาจเป็นพวกสังเคราะห์ หรือสารอินทรีย์ ในกรณีใช้สารยึดเหนี่ยวที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น แป้งข้าวโพด, เดกซ์ทริน, กลูเตนเปียกของข้าวโพด,

กลูเตนของข้าวสาลี, กาวจากสัตว์, อัลจิเนต, คาราจีแนน, ไคโตแซน, กัม และ สารประกอบน้ำตาลชนิดต่างๆ ในการผลิต อันดับแรก ต้องผสมสารยึดเหนี่ยวกับเศษ วัสดุเหลือใช้ ให้กระจายอย่างทั่วถึงเป็นเนื้อเดียวกัน มีน้ำหนักของส่วนผสม 35 - 55 กรัม ก่อนนำเข้าแม่พิมพ์แบบกดรูปถ้วย ใช้อุณหภูมิระหว่าง 32 - 121 องศาเซลเซียส (90 - 250 องศาฟาเรนไฮต์) เวลาในการผลิตถ้วยที่ใช้สารยึดเหนี่ยวที่เป็นสารอินทรีย์ จะใช้เวลานานกว่าการใช้สารยึดเหนี่ยวสังเคราะห์ ใช้เวลาในช่วง 10 - 60 วินาที ถาดที่ผลิตจากไซเดียมอัลจิเนต ร้อยละ 10 และเปลือกข้าวโอ๊ต ร้อยละ 90 เมื่อนำไป วางในน้ำร้อน นาน 1 ชั่วโมง ยกขึ้นจากน้ำ นำไปทำแห้ง ถาดยังคงสภาพ แข็งแรงเหมือนเดิม

## 2.5 คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ และการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ และ บรรจุภัณฑ์ ระหว่างการเก็บรักษา

คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ เป็นลักษณะเฉพาะ และคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ที่สามารถคุ้มครองรักษาผลิตภัณฑ์ ไม่ให้เสื่อมเสีย ระหว่างรอการจำหน่าย และมีผลต่อการควบคุม และสร้างความมั่นใจในผลิตภัณฑ์ ในราคาต้นทุนที่เหมาะสม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของบรรจุภัณฑ์ เพื่อเป็นการรับรองหรือรับประกันในความสามารถ รองรับ และป้องกันรักษาคุณภาพของสินค้า หรือผลิตภัณฑ์

ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย (2533) กล่าวว่า การตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ของบรรจุภัณฑ์ ต้องนำขึ้นตัวอย่างปรับสภาพในสภาวะมาตรฐาน ที่แตกต่างกันตามภูมิภาค เช่น ประเทศไทย ปรับสภาพที่อุณหภูมิ  $27 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ  $65 \pm 2$  คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิด และรายละเอียดในการตรวจสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์นั้น ใช้ตามมาตรฐานของชาติ หรือมาตรฐานสากล เช่น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, International Standard Organization (ISO) และ American Standard Testing Method (ASTM) เป็นต้น ตัวอย่าง คุณสมบัติที่ต้องการของกระดาษลูกฟูก ตาม มอก. ได้กำหนดให้มีน้ำหนักมาตรฐาน ตามเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่กำหนด ปริมาณความชื้นสูงสุด ความหนา การดูดซึมน้ำ การต้านแรงกดลอนลูกฟูกต่ำสุด และ การต้านแรงกดวงแหวนต่ำสุด (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2523)

การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ ระหว่างการเก็บรักษา จากรายงานของ รุจิรา กิจธารทอง (2534) ซึ่งได้ศึกษาการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ และ บรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็งที่มีรูปแบบทั้งชนิดผลและชนิดเปิดครึ่งผล บรรจุในบรรจุภัณฑ์ย่อย 5 ชนิด ได้แก่ ถุงแอลดีพีอี ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี ถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี กล่องพีวีซี และกล่องพีเอส เมื่อทำการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิของเครื่อง - 40 องศาเซลเซียส นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า มังคุดแช่เยือกแข็งทุกรูปแบบ มีแนวโน้มให้คะแนนการยอมรับ คุณภาพทางประสาทสัมผัสลดลง เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น แต่ยังมีคุณภาพเป็นที่ ยอมรับ ยกเว้นมังคุดแช่เยือกแข็งชนิด ทั้งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี พบว่า ไม่เป็นที่ยอมรับเมื่ออายุการเก็บ รักษามากกว่า 2 เดือน คุณภาพทางเคมีของ มังคุดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา ค่อนข้างคงที่ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นปริมาณกรดแอสคอบิกที่ลดลง สำหรับลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ใน ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ความมันวาว และความสดของผลไม้ลดลงเล็กน้อย การพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับมังคุดแช่เยือกแข็ง พบว่า การบรรจุมังคุดแช่เยือกแข็งชนิด ทั้งผลในถาดโฟมพีเอสหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี แสดงลักษณะปรากฏที่เหมาะสม เนื่องจากฟิล์มยืดแอลแอลดีพีอี มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำปานกลาง ซึ่งสัมพันธ์กับความหนาของแผ่นฟิล์ม สำหรับมังคุดแช่เยือกแข็งชนิดเปิดครึ่งผลที่บรรจุในถาดโฟมพีเอสหุ้ม ด้วยฟิล์มยืดพีวีซี มีความเหมาะสมมากที่สุด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาครบ 3 เดือน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เกิดการคายน้ำเพียงเล็กน้อย และสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์ม ออกไปได้ ลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มจึงยังคงใส ไม่มีผลึกน้ำแข็ง และมีความมันวาว

นอกจากนี้ มณฑาทิพย์ หิรัญสาส์ (2536) ได้กล่าวถึง การเปลี่ยนแปลง คุณภาพทางเคมีของเนื้อมังคุด ที่ ระดับสีที่ 1 (เริ่มมีจุดประสีชมพูในบางส่วนของผล) ระดับสีที่ 2 (มีจุดประสีชมพูกระจายเกือบทั่วผล) และระดับสีที่ 3 (มีจุดประสีชมพู กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วผล) ภายหลังจากเก็บเกี่ยว และระหว่างการเก็บรักษา ใช้สารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต 4, 6 และ 8 กรัม ต่อมังคุด 20 ผล ในบรรยากาศดัดแปลงที่ มีการลดอุณหภูมิเหลือ 10 องศาเซลเซียส และไม่ลดอุณหภูมิ ก่อนการเก็บรักษา 0, 4, 5 และ 6 สัปดาห์ พบว่า มังคุดทั้ง 3 ระดับสี ให้ปริมาณเถ้าและปริมาณโปรตีน ค่อนข้างคงที่ ส่วนปริมาณความชื้น และ คาร์โบไฮเดรต มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

กล่าวคือ มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากมังคุดมีการสุกเพิ่มขึ้น ทำให้เนื้อมังคุดมีความนุ่มและฉ่ำน้ำมากขึ้น และมีผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น สำหรับองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด กรดทั้งหมดในรูปซิติริก และน้ำตาลทั้งหมด มีค่าลดลง เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำตาลและกรดบางส่วนถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ ในขณะที่น้ำตาลรีดิวซ์ มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเกิดการสลายตัวของน้ำตาลซูโครส โดยกระบวนการย่อยสลายได้เป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรักโตส เพิ่มขึ้น

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของบรรจุภัณฑ์ ระหว่างการเก็บรักษา มีรายงานของจรรยา ธงไชย (2529) และ จิระศักดิ์ ชัยสนธิ (2537) ได้กล่าวถึง อิทธิพลของความชื้นต่อคุณสมบัติกระดาษ ว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศโดยรอบ จะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา มีผลทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษแปรตาม โดยกระดาษจะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามลำดับ เนื่องจากกระดาษเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยเส้นใยเซลลูโลส จากพืชเป็นส่วนใหญ่ และเส้นใยเซลลูโลสมีคุณสมบัติด้านการดูดซับหรือคายความชื้นได้ดีและรวดเร็ว ตามสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศโดยรอบจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลความชื้น ปริมาณความชื้นในกระดาษมีผลทำให้แรงยึดเกาะระหว่างเส้นใยของกระดาษเปลี่ยนไป เกิดเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของกระดาษเกิดการโก่งงอ (curl) เป็นคลื่น (cockle) เนื่องจาก การยืดหรือหดตัวของเส้นใยในกระดาษ หรือ กระดาษได้รับความชื้นทั้งสองด้านไม่เท่ากัน พบได้ในกระดาษที่มีการเคลือบผิวเพียงด้านเดียว หรือกระดาษที่วางซ้อนกันมากๆ ทำให้ด้านที่สัมผัสกับบรรยากาศ ได้รับความชื้นมากกว่าอีกด้านหนึ่ง กระดาษจะโก่งงอได้นอกจากนี้ปริมาณความชื้น ยังมีผลเป็นอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของกระดาษอีกด้วย กล่าวคือ เมื่อปริมาณความชื้นในกระดาษลดลง การต้านทานแรงดึง (tensile strength) และการต้านทานแรงดันทะลุ (bursting strength) เพิ่มขึ้น ในขณะที่การต้านทานแรงฉีกขาด (tearing strength) การต้านทานต่อการหักพับ (folding endurance) และการยืดตัว (elongation) ของกระดาษ มีค่าลดลง ในทางตรงข้ามเมื่อความชื้นในกระดาษมากขึ้น การต้านทานแรงดึงและการต้านทานแรงดันทะลุ ลดลง แต่การต้านทานแรงฉีกขาด การทนทานต่อการหักพับ และการยืดตัวของกระดาษ จะมีค่าเพิ่มขึ้น

รุจิรา กิจธารทอง (2534) ได้กล่าวถึง กล้องกระดาษลูกฟูก ว่า น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ การดูดซึมน้ำ และการต้านแรงกด สัมพันธ์กับ ความแข็งแรงของกล้องกระดาษลูกฟูก การต้านแรงดันทะลุ สัมพันธ์กับ การต้านแรงดึงขาด และการต้านแรงฉีกขาด สำหรับการต้านแรงที่มทะลุ สัมพันธ์กับ ความเหนียว การต้านแรงฉีกขาด และความแข็งแรงในการเรียงซ้อนของกล้องกระดาษลูกฟูก และ มณฑาทิพย์ หิรัญสวัสดิ์ (2536) ได้กล่าวว่า เนื่องจากผลไม้สดยังมีการคายน้ำ จึงเกิดความชื้นขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา สูงถึงร้อยละ 80 - 100 กล้องกระดาษลูกฟูกจึงต้องมีความทนทานต่อการดูดซึมน้ำ ถ้ากระดาษที่ใช้ทำกล่องมีการดูดซึมน้ำมาก จะทำให้ความทนทานของกล่องลดน้อยลง ดังนั้นกระดาษที่ใช้ทำผิวกล่อง ควรมีการดูดซึมน้ำต่ำกว่า 100 กรัมต่อตารางเมตร นอกจากนี้กล้องกระดาษลูกฟูกต้องมีความทนทานต่อการเรียงซ้อน การสั่นสะเทือน และ แรงกระแทก เนื่องจากการตก

### 3. วัตถุประสงค์

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมี วัตถุประสงค์ ดังนี้

1. ศึกษาการสกัดเส้นใยจากใบสับปะรด เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถาด
2. ศึกษาปัจจัยการผลิตถาดจากเส้นใยสับปะรด
3. เป็นข้อมูลเบื้องต้น เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม



## บทที่ 2

### วัสดุ อุปกรณ์ และ วิธีการ

#### 1. วัสดุ

1. ไบสับประรดที่โตเต็มที่ จากอำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร
2. วัสดุและเคมีภัณฑ์ สำหรับการสกัดเส้นใย และ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เซลลูโลส ลิกนิน เถ้า และ กัม
3. แป้งมันสำปะหลัง ตราแมวแดง ดาวเทียม ลูกโลก  
ห้างหุ้นส่วนเกรียงไกรค้าแป้ง ถ.สาธิตประดิษฐ์ กรุงเทพฯ จากตลาดสดทั่วไป
4. แป้งมันสำปะหลังตัดแปร แบบครอสลิงกิง จาก บริษัทมันสำปะหลังพัฒนา ถ.สารไรต์ กรุงเทพฯ
5. สารยัดเหนียว ได้แก่ คาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลส (CMC), โลคัสปีนัม (LBG) และไซเดียมอัลจิเนต (SAG)
6. สัมไอพังก์ควอลิ่ง จากตลาดสดกิมหยง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

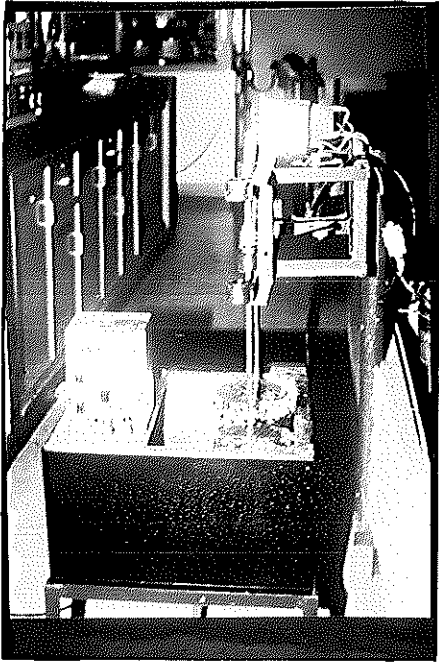
#### 2. อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ และเครื่องมือ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เซลลูโลส ลิกนิน เถ้า และ กัม
2. เครื่องวัดสี JUKI รุ่น JP 7100F
3. ตู้อบลมร้อน แบบถาด
4. ตู้อบไฟฟ้า Memmert รุ่น ULM 50
5. เต้าเผา Carbolite รุ่น ELF 10/6
6. เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง METTLER DELTA 320
7. อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดเส้นใย และฟอกสีเส้นใย (ภาพที่ 7)
8. ข่างน้ำให้ความร้อน Hetofrig รุ่น CB 7
9. อุปกรณ์เครื่องครัว

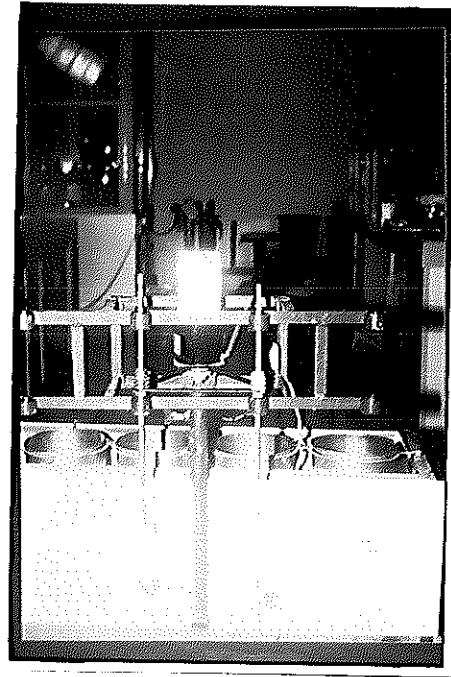
10. แม่พิมพ์ขึ้นรูปภาตบรรจุภัณฑ์ (ภาพที่ 8) ทำจากสแตนเลส มี 2 ส่วน คือ แม่พิมพ์ส่วนบน และแม่พิมพ์ส่วนล่าง แม่พิมพ์ส่วนล่าง เป็นรูปภาต มีขนาด กว้าง x ยาว x สูงเอียง เท่ากับ  $12 \times 10 \times 1.5$  เซนติเมตร รองรับแม่พิมพ์ส่วนบนที่ ยื่นลงมา ได้พอดีกับแม่พิมพ์ส่วนล่าง ระยะห่างแม่พิมพ์ส่วนบนและแม่พิมพ์ส่วนล่าง เป็นความหนาของภาตบรรจุภัณฑ์ ประมาณ 4.5 มิลลิเมตร

11. อุปกรณ์วัดการดูดซึมน้ำ (ภาคผนวก ข.)

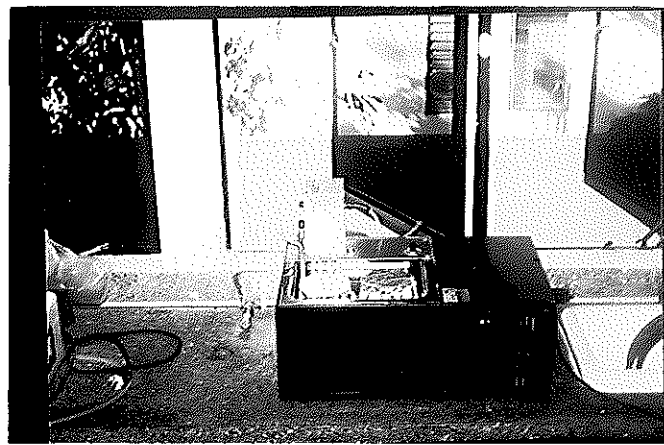
12. เครื่องยูนิเวอร์แซล เทสเตอร์ Instron รุ่น 1123 ติดตั้งอุปกรณ์วัดการต้าน แรงกด และ การต้านแรงดัดโค้ง (ภาพที่ 9) การวัดใช้ความเร็วเครื่อง 13 มิลลิเมตรต่อวินาที



(ก.)

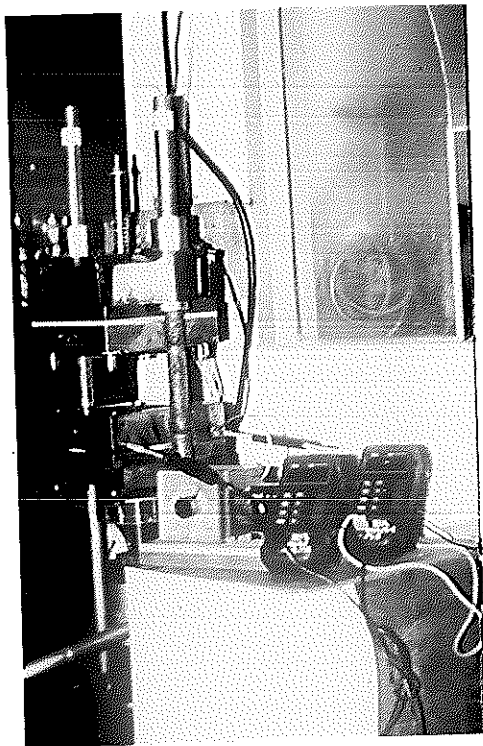


(ข.)

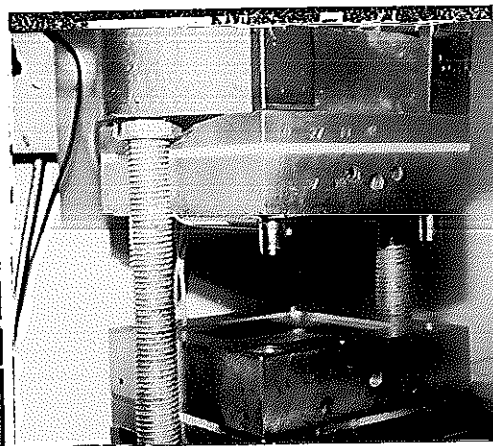


(ค.)

ภาพที่ 7 เครื่องมือที่ใช้สกัดเส้นใย (ก.) ใช้ใบพัดพร้อมมอเตอร์ (ข.) และ  
สภาพการฟอกสีเส้นใย (ค.)

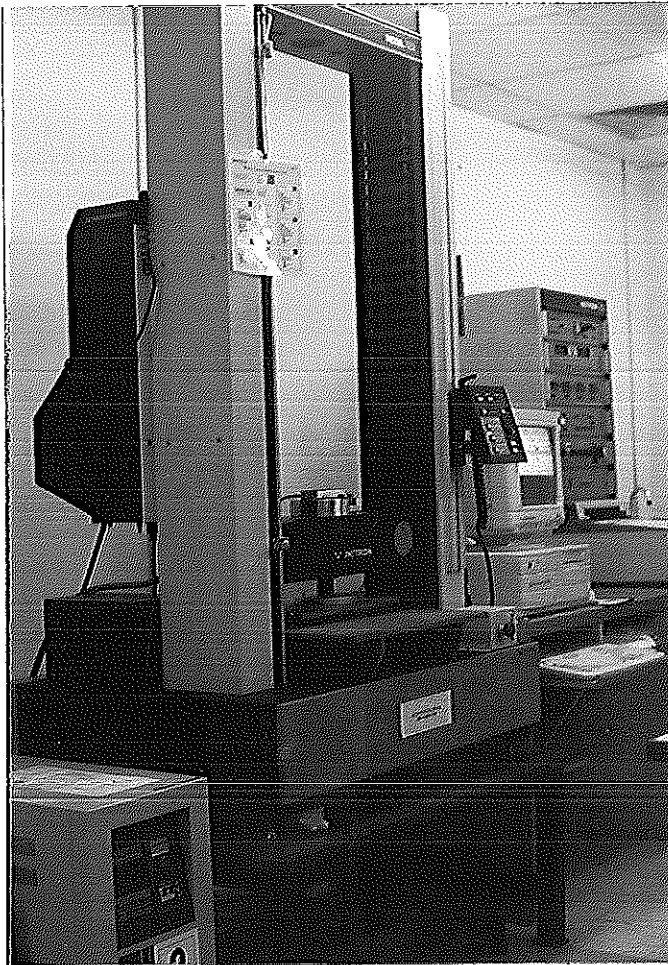


(ก.)

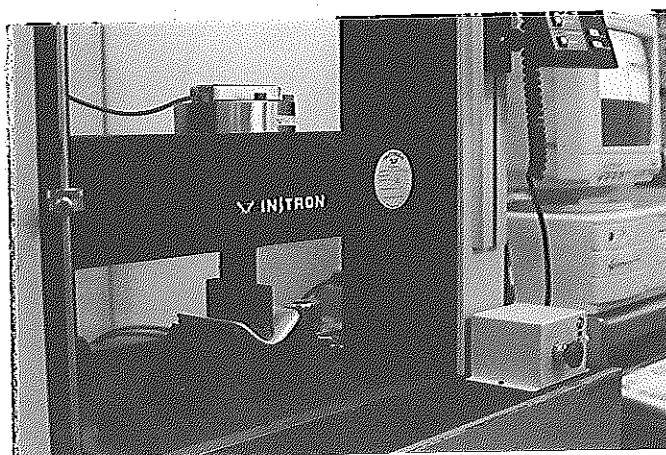


(ข.)

ภาพที่ 8 แม่พิมพ์ขึ้นรูปภาคบรรจุภัณฑ์ (ก.) แม่พิมพ์ส่วนบนและแม่พิมพ์ส่วนล่าง (ข.)



(ก.)



(ข.)

ภาพที่ 9 เครื่องยูนิเวอร์แซล เทสเตอร์ สำหรับการวัดการต้านแรงกด (ก.) และ  
การวัดการต้านแรงดัดโค้ง (ข.)

### 3. วิธีการ

#### 3.1 ศึกษาสภาวะการสกัดเส้นใยของใบสับปะรด

##### 3.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

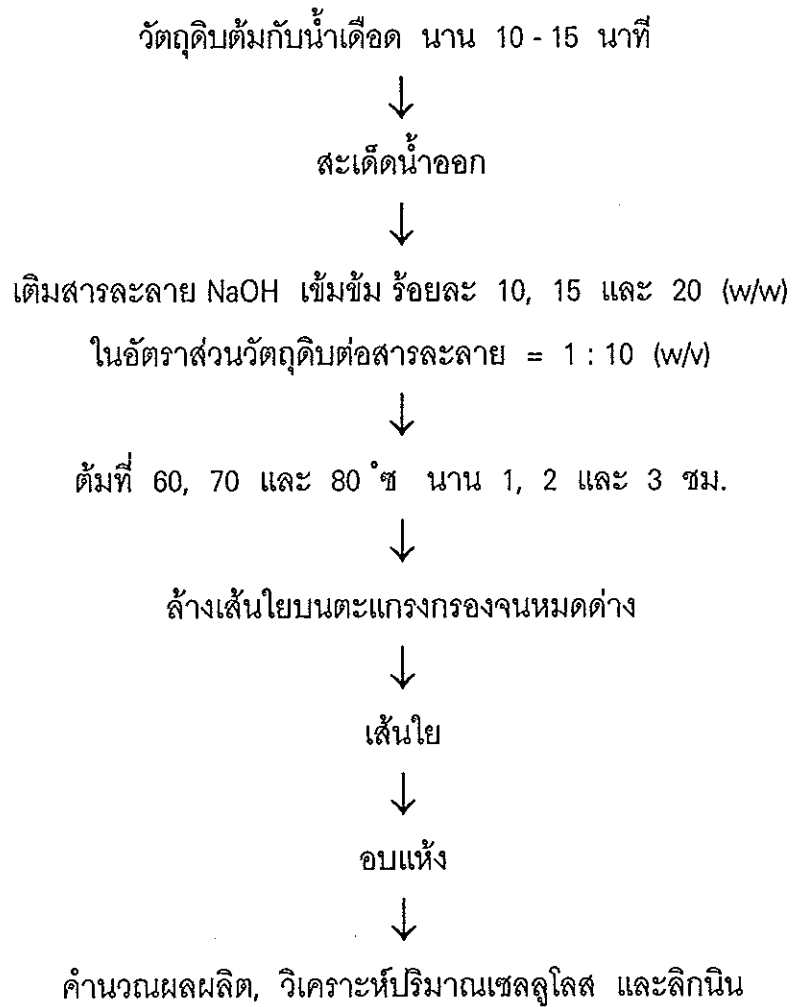
เตรียมตัวอย่างชิ้นใบสับปะรดแห้ง ตามวิธีดัดแปลงจาก Chou และคณะ (1990), Hansen และคณะ (1991) และ Sen (1982) โดยนำใบสับปะรดที่โตเต็มที่ แยกใบที่มีตำหนิ โรคและแมลงออก ตัดให้มีขนาดสม่ำเสมอ กว้าง 1 เซนติเมตร ยาวตามแนวใบ 2.5 - 3 เซนติเมตร นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน จนมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแห้ง และเก็บในถุงพลาสติก ปิดปากถุงให้แน่น เก็บในที่แห้ง เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาขั้นต่อไป

##### 3.1.2 วิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของใบสับปะรด

นำตัวอย่างชิ้นใบสับปะรดแห้ง จากข้อ 3.1.1 วิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณกำม โดยวิธี A.O.A.C. (1990) และ วิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส และ ปริมาณลิกนิน โดยวิธี Van Soest (1965)

##### 3.1.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใย

นำตัวอย่างชิ้นใบสับปะรดแห้ง จำนวน 50 กรัม ต้มในน้ำเดือด นานประมาณ 10 - 15 นาที กัดตัวอย่างให้จมในน้ำเดือด เมื่อครบกำหนดเวลา สะเด็ดน้ำออกจากตัวอย่าง เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น ร้อยละ 10, 15 และ 20 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในอัตราส่วน วัตถุดิบต่อสารละลาย เท่ากับ 1 : 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ต้มที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส นาน 1, 2 และ 3 ชั่วโมง (ภาพที่ 7 ก. และ 10) และกวนตลอด เมื่อครบกำหนดเวลา ล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาดบนตะแกรงเบอร์ 5 วางซ้อนบนเบอร์ 10 นำเส้นใยบนตะแกรง เบอร์ 5 ล้างรวมกับเส้นใยบนตะแกรงเบอร์ 10 จนหมดต่าง จากนั้นนำเส้นใยไปอบแห้ง คำนวณผลผลิต วิเคราะห์เซลลูโลส และลิกนิน โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ทำการวิเคราะห์ทางสถิติ วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล ใน CRD ทำ 3 ซ้ำ เมื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดได้แล้ว ทำการสกัดเส้นใย เพื่อใช้ศึกษาในลำดับต่อไป

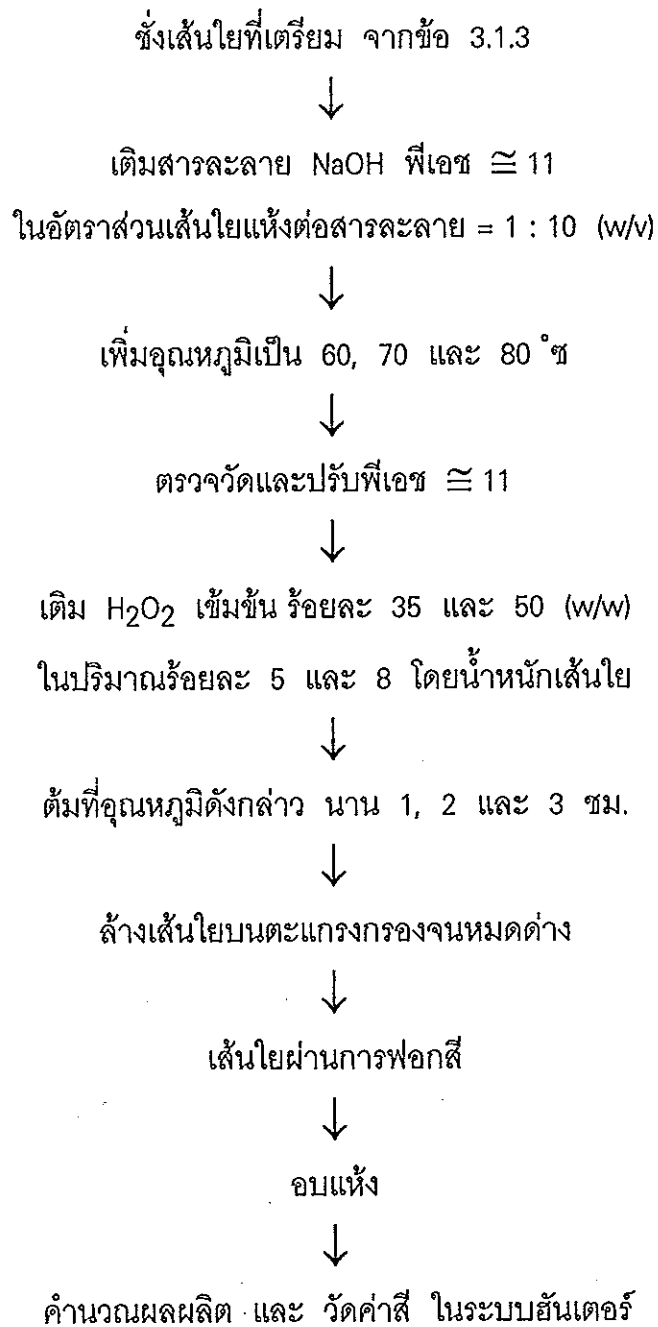


ภาพที่ 10 ขั้นตอนการสกัดเส้นใย

### 3.1.4 ศึกษาสภาวะการฟอกสี

ซึ่งตัวอย่างเส้นใยแห้ง ที่เตรียมได้ในข้อ 3.1.3 ปริมาณ 3 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่พีเอชประมาณ 11 ในอัตราส่วน เส้นใยแห้งต่อสารละลายเท่ากับ 1 : 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) คนให้เส้นใยกระจาย ตรวจวัดและปรับพีเอชประมาณ 11 นำไปเพิ่มอุณหภูมิเป็น 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ก่อนเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น ร้อยละ 35 และ 50 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในปริมาณ ร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนักเส้นใย คนเล็กน้อย ปิดปากภาชนะ ต้มที่อุณหภูมิดังกล่าว นาน 1, 2 และ 3 ชั่วโมง (ภาพที่ 7 ค. และ 11) เมื่อครบกำหนดเวลา ล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาดบนตะแกรงเบอร์ 10 จนหมดด่าง นำเส้นใยไปอบแห้ง คำนวณปริมาณผลผลิต และวัดค่าสีของเส้นใย ในระบบอัตโนมัติ ด้วยเครื่องวัดสี JUKI เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับกำหนดสภาวะการฟอกสีที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์ทางสถิติ วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล ใน CRD ทำ 3 ซ้ำ เมื่อได้สภาวะการฟอกสีที่เหมาะสมแล้ว ทำการผลิตเส้นใย เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตถาดบรรจุภัณฑ์ต่อไป





ภาพที่ 11 ขั้นตอนการฟอกสีเส้นใย

### 3.2 การผลิตถาดบรรจุภัณฑ์ และการทดสอบบรรจุภัณฑ์

ซึ่งแบ่งมันสำปะหลัง และแบ่งมันสำปะหลังดัดแปร ปริมาณ 20 และ 26 กรัม ตามลำดับ ผสมกับสารยึดเหนี่ยว คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, โลคัสปีสแกม และ โซเดียมอัลจิเนต ปริมาณ ร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักแบ่ง ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนผสมกับเส้นใยแห้ง ที่ได้จากข้อ 3.1.4 ซึ่งตัดเป็นเส้นสั้นด้วยเครื่องปั่น จำนวน 2 กรัม (ภาพที่ 12) นำส่วนผสมมาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม ขณะผสมให้เติมน้ำในอัตราส่วน แบ่ง : น้ำ เท่ากับ 1 : 1 ใช้เวลาผสม 2 - 3 นาที ซึ่งนำหนักก้อนแบ่งผสม และนำมาแผ่เป็น แผ่นกว้างและยาว เท่ากับ 3.5 x 3.5 เซนติเมตร นำแผ่นแบ่งที่เตรียมได้ ใส่ในแม่พิมพ์ขึ้นรูป (ภาพที่ 13) ที่อุณหภูมิ 115 - 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลาทั้งหมดขณะอยู่ในแม่พิมพ์ 20 นาที โดยที่ 3 นาทีแรก ให้ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากนั้นลดความดันลงเรื่อยๆจนกระทั่งเป็นศูนย์ ที่นาทีที่ 5 และ คงความดันเป็นศูนย์ไว้จนกระทั่งถึงเวลากำหนด นำตัวอย่างถาดไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 นาที ทำการชั่งน้ำหนัก ก่อนและหลังการตัดแต่ง ใส่ในถุงพลาสติกปิดผนึก เก็บในภาชนะปิดที่มีถุงสารกันความชื้น

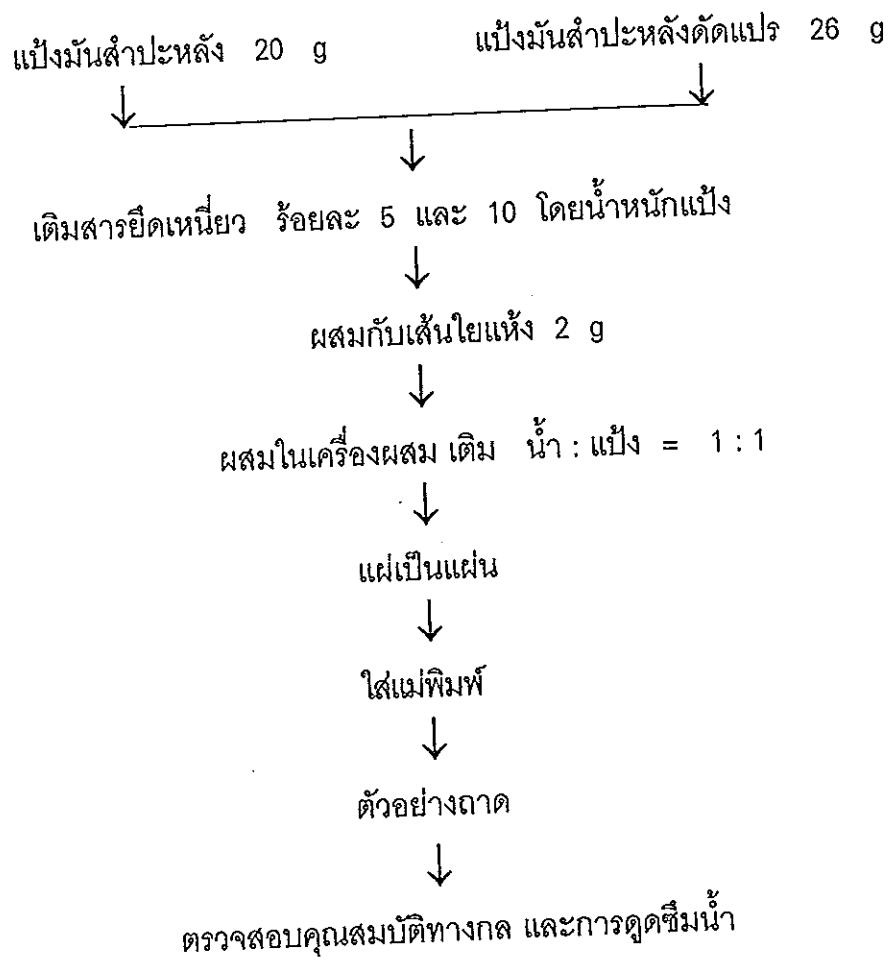
ถาดที่ผลิตได้ นำไปตรวจสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก วิธีคอบบ์ (Cobb method) (ISO,1976), คุณสมบัติการต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงกด ด้วยเครื่องยูนิเวอร์แซล เทสเตอร์ ณ ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณา คัดเลือกสูตรผลิตถาดที่เหมาะสม การทดลองวางแผนแบบแฟกทอเรียล ใน CRD ทำ 2 ชั้น เมื่อได้สูตรผลิตถาดที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการผลิตถาด เพื่อศึกษาการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้ ในลำดับต่อไป

### 3.3 ศึกษาการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้

ซึ่งเนื้อส้มโอดัดแต่ง หนัก 200 กรัม บรรจุในถาดที่ผลิตได้ หุ้มฟิล์มยืดพีวีซี เก็บที่ 10 องศาเซลเซียส ทำการตรวจสอบทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงต่อไป

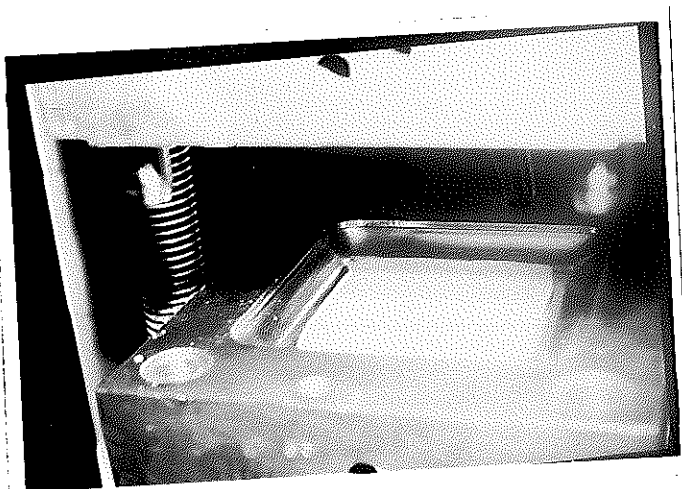
3.3.1 การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ส้มโอดัดแต่ง ทางด้านสี กลิ่น และ ลักษณะปรากฏ โดยวิธีทางประสาทสัมผัส

3.3.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ, การต้านแรงดัดโค้ง และ การต้านแรงกด



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการทำถาด

ที่มา : ดัดแปลงจาก Liebermann (1994)



ภาพที่ 13 แผ่นแป้งที่เตรียมได้ ในแม่พิมพ์ขึ้นรูปถาด

### บทที่ 3

#### ผล และวิจารณ์

#### 1. สภาวะการผลิตเส้นใยโพลีเอสเตอร์

##### 1.1 องค์ประกอบวัตถุดิบ

จากการเตรียมตัวอย่างเส้นใยโพลีเอสเตอร์แห้ง ให้ มีความชื้น ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักแห้ง จำนวน 1 กิโลกรัม พบว่า ต้องใช้เส้นใยโพลีเอสเตอร์สด ขนาดกว้าง ประมาณ 1 เซนติเมตร ยาวตามแนวใย 2.5 - 3 เซนติเมตร มีความชื้น ร้อยละ 86.42 โดยน้ำหนักสด จำนวนประมาณ 6 กิโลกรัม โดยอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 - 20 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำออกจากตู้อบ วางที่อุณหภูมิห้อง ก่อนเก็บใส่ถุงพลาสติก ปิดถุงให้แน่น เก็บในที่แห้ง เพื่อใช้เป็น วัตถุดิบในการศึกษาขั้นต่อไป (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 เส้นใยโพลีเอสเตอร์แห้ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบสับปะรดแห้ง (ตารางที่ 4) ไม่พบกัมอยู่ในใบสับปะรดที่ทดลอง แต่พบว่า มีเซลลูโลสทั้งหมด, ลิกนิน และเถ้า ร้อยละ 35.843, 6.04 และ 7.145 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ซึ่งจากรายงานของ De - Guzmann และคณะ (1982), Sen และคณะ (1982) และ Saha และคณะ (1991) ได้กล่าวว่า ในใบสับปะรดมีเซลลูโลสทั้งหมด ร้อยละ 75.12, 81.02 และ 68.50 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ในขณะที่มีลิกนิน ร้อยละ 4.96, 12.7 และ 6.04 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และมีเถ้า ร้อยละ 0.86, 1.1 และ 0.90 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ การที่ใบสับปะรดแห้งมีองค์ประกอบทางเคมี แตกต่างจากรายงานอื่นๆ ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ใบสับปะรดที่ใช้ในแต่ละการทดลอง มีความผันแปรทางด้านพื้นที่ข ความสมบูรณ์ของต้น ความสมบูรณ์ของธาตุอาหารในดิน สภาพอากาศและการดูแลรักษา (วิจิตต์ วรรณชิต, 2529 ; อังคณา หาญบรรจง และดวงสมร สิ้นเจิมศิริ, 2532)

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของใบสับปะรด

องค์ประกอบทางเคมี (%โดยน้ำหนักแห้ง)	ใบสับปะรด			ตัวอย่างใบสับปะรด แห้งที่ทดลอง
	1	2	3	
เซลลูโลสทั้งหมด	75.24	81.02	68.50	35.843
ลิกนิน	4.95	12.7	6.04	6.086
เถ้า	0.86	1.1	0.90	7.145
ความชื้น	9.53	-	-	2.5

ที่มา : 1. De Guzman และคณะ (1982)

2. Sen (1982)

3. Saha และคณะ (1991)

## 1.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใย

จากผลการทดลอง เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิต, เซลลูโลส และลิกนิน (ตารางผนวกที่ 1, 2 และ 3) พบว่า ปัจจัยของความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ และเวลา มีอิทธิพลหลักต่อ ผลผลิต และเซลลูโลส สำหรับลิกนินมีเพียงปัจจัยของเวลาที่เป็นอิทธิพลหลัก นอกจากนี้มีอิทธิพลร่วมสอง ปัจจัยมีเพียงปัจจัยระหว่าง ความเข้มข้นกับเวลา เท่านั้น ที่มีผลต่อเซลลูโลส ส่วนอิทธิพลร่วมจากสามปัจจัย ระหว่างความเข้มข้น, อุณหภูมิ และเวลา มีผลต่อผลผลิต และลิกนิน เท่านั้น กล่าวคือ ที่ความเข้มข้นต่ำ, อุณหภูมิต่ำ และเวลาน้อย จะให้ผลผลิต และลิกนินมาก แต่ให้เซลลูโลสน้อย จากตารางที่ 5 พบว่า การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 10 และ 15 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 1 และ 2 ชั่วโมง จะให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน แต่ให้เซลลูโลส และลิกนิน น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ในขณะที่ความเข้มข้น ร้อยละ 10 และ 15 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง กับที่ความเข้มข้น ร้อยละ 20 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง จะให้ผลผลิตมากกว่าที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเข้มข้น ร้อยละ 10, 15 และ 20 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) เวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง แต่เซลลูโลส และลิกนิน จะไม่มีความแตกต่างกัน ในสภาวะดังกล่าวข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ El - Kalyoubi และคณะ (1985) และ Saha และคณะ (1993) ได้กล่าวว่า การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นต่ำ จะให้ผลผลิตมีค่ามาก และให้เส้นใยที่ได้มีเซลลูโลส น้อยแต่มีลิกนิน สูง

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยผลผลิต, เซลลูโลส และลิกนิน (%โดยน้ำหนักแห้ง) จากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น, อุณหภูมิ และ เวลาต่างๆ

ความเข้มข้น NaOH [% (นน./นน.)]	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)								
		1			2			3		
		ผลผลิต	เซลลูโลส	ลิกนิน	ผลผลิต	เซลลูโลส	ลิกนิน	ผลผลิต	เซลลูโลส	ลิกนิน
10	60	6.8990 a f x	79.1347 b g y	2.8137 a g x	5.4960 ab f y	85.4910 a f x	2.0213 b g y	6.98333 a f x	86.9440 a f g x	2.2123 a f y
	70	6.5450 a f x	82.5947 b f g x	3.9290 a f x	5.2267 a f x	86.3333 a f x	2.4443 a g y	6.0323 a f x	84.5673 b g x	2.0370 a f y
	80	6.3227 a f x	85.1280 b f y	3.7370 a f x	5.2703 a f y	87.8303 ab f x y	3.0600 a f x	4.3013 a g z	89.9427 a f x	2.2113 a f y
15	60	6.3413 a f x	85.4333 a f y	2.7723 a f x	4.4320 b f y	87.6310 ab f x y	2.6633 a f x	5.9643 ab f x	88.3140 a f x	2.7353 a f x
	70	6.1783 ab f x	87.7187 a f x	3.0360 b f x	5.5420 a f x	85.7637 a f x	2.6010 a f x	4.5393 b g y	90.1077 a f x	2.5053 a f x
	80	6.0443 a f x	88.1703 ab f y	3.0310 b f x	5.1720 a f x	89.4173 a f y	2.7360 a f x	4.4653 a g x	91.4230 a f x	2.2353 a f y
20	60	7.0770 a f x	85.5810 a f x	2.6947 a f x	6.2713 a f x	85.9443 a f g x	2.7530 a f x	5.8427 b f x	85.1587 a f x	2.6960 a f x
	70	5.1953 a g x	89.1520 a f x	2.6033 b f x	5.1837 a g x	89.2860 a f x	2.4783 a f x	4.1803 b g x	88.3003 ab f x	2.1060 a f x
	80	4.1647 b g y	89.6427 a f x	2.7723 b f x	4.8313 a g x	84.7293 b g y	2.9103 a f x	4.8110 a f g x	87.7133 b f x	2.5350 a f x

หมายเหตุ อักษร a, b และ c ในแต่ละแนวตั้ง ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ในระหว่างความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์  
 อักษร f, g และ h ในแต่ละแนวตั้ง ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ในระหว่างอุณหภูมิ  
 อักษร x, y และ z ในแต่ละแนวนอน ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

และมีรายงานกล่าวว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถแยกเส้นใยออกจากองค์ประกอบทางเคมีของใบ โดยเส้นใยมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักทางเคมี และมีลิกนินล้อมรอบอยู่ ในการสกัดเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นสูงจะสามารถละลายเซลลูโลสที่อยู่ในรูป  $\beta$  และ  $\gamma$  โดยในรูป  $\beta$  จะตกตะกอนในสารละลายต่าง แต่สารละลายต่างไม่สามารถละลายเซลลูโลสที่อยู่ในรูป  $\alpha$  ส่วนสารประกอบลิกนิน จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่สามารถละลายได้ในสารละลายต่าง จึงทำให้ได้ผลผลิตน้อย สำหรับปัจจัยที่ใช้ในการสกัด นอกจากความเข้มข้นของสารเคมีแล้ว ยังมีอุณหภูมิ, เวลา, ชนิดและสภาพของไม้ และ อัตราส่วนของสารเคมีต่อชิ้นไม้ เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วย (Britt, 1970) และจากรายงานของ El - Kalyoubi และ คณะ (1985) ได้กล่าวว่า การสกัดที่อุณหภูมิต่ำจะให้ผลผลิต มากกว่าที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้มีอีกรายงานหนึ่งได้กล่าวว่า ที่อุณหภูมิสูง การเกิดปฏิกิริยากำจัดลิกนินจะเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยมีเซลลูโลสมาก ลิกนินที่ละลายได้ สามารถกลับมารวมตัวกันตกตะกอนบนเส้นใยได้ ทั้งนี้เพราะว่า ภายหลังครบเวลาสกัด ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ คงเหลือความเข้มข้นไม่เพียงพอที่จะละลายสารประกอบลิกนิน (Britt, 1970) จากการทดลองนี้ สามารถเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 15 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพราะที่สภาวะดังกล่าวให้ผลผลิตสูง และเส้นใยมีเซลลูโลสมาก แต่มีลิกนินต่ำ



#### 1.4 สภาพที่เหมาะสมในการฟอกสี

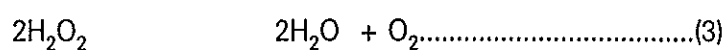
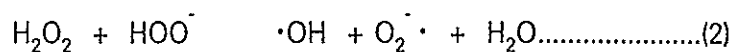
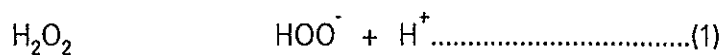
ในขั้นตอนการฟอกสี ด้วยการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น ร้อยละ 35 และ 50 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในปริมาณ ร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนักเส้นใย ในสารละลายต่างที่มีพีเอช 11 ทำการฟอกที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน ไม่พบว่า ปัจจัยดังกล่าว ทูกระดับ มีผลต่อปริมาณผลผลิตเส้นใย (ตารางผนวกที่ 4 และ 5) ดังนั้นในการคัดเลือก สภาพที่เหมาะสมในการฟอกสี จึงใช้ค่าสีของเส้นใยเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก

จากการวัดสี ของเส้นใย แสดงค่าสี ในรูปของ ค่า L, a และ b โดย ค่า L เท่ากับ 0 แสดงว่า มีสีดำ เมื่อค่า L เท่ากับ 100 แสดงว่า มีสีขาว สำหรับค่า a ถ้ามีค่าเป็นบวก แสดงสีแดง เมื่อค่า a มีค่าเป็นลบ แสดงสีเขียว และสำหรับค่า b ถ้ามีค่าเป็นบวก แสดงสีเหลือง เมื่อค่า b มีค่าเป็นลบ แสดงสีน้ำเงิน เมื่อเปรียบเทียบ ค่าสีของเส้นใยไม่ฟอกสี (เส้นใยที่ได้จากการสกัด) กับ เส้นใยฟอกสี พบว่า เส้นใยไม่ฟอกสี ให้ค่า L เท่ากับ 69.693 มีค่าน้อยกว่าค่า L ของเส้นใยฟอกสี ซึ่งมีค่าประมาณ 78.160 แสดงว่า เส้นใยฟอกสี มีสีขาวมากกว่าเส้นใยไม่ฟอกสี สำหรับค่า a และ b ของเส้นใยไม่ฟอกสี เท่ากับ 0.983 และ 13.520 ตามลำดับ มีค่ามากกว่าค่า a และ b ของเส้นใยฟอกสี ซึ่งมีค่าประมาณ 0.177 และ 13.110 ตามลำดับ แสดงว่า เส้นใยฟอกสีมีสีแดงอ่อนและสีเหลืองอ่อน (ภาพที่ 15) จึงกล่าว ได้ว่า การฟอกสีทำให้เส้นใยมีความขาวกว่า หรือ มีความเข้มสีน้อยกว่าการไม่ฟอกสี



ภาพที่ 15 เส้นใยที่ได้จากการสกัด และ เส้นใยฟอกสี

ผลการวัดสีของเส้นใย เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 6, 7 และ 8) พบว่า ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส และเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง มีผลต่อค่าสี อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 35 และ 50 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณ ร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนักเส้นใย ไม่มีผลต่อการฟอกสีเลย แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และปริมาณการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไม่มีผลต่อการฟอกสี กล่าวคือ การเพิ่มความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และปริมาณการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้เส้นใยมีค่าสีใกล้เคียงกัน แต่สามารถทำให้เส้นใยมีความเข้มสี อ่อนลง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Gagne และคณะ (1988) ได้กล่าวว่า ในการฟอกสีครั้งเดียวของเยื่อไม้บัวแซล (balsam pulp) ที่สกัดด้วยสารเคมี เมื่อเพิ่มความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้เส้นใยมีความเข้มสีอ่อนลง ค่า L มีค่าสูงขึ้น (เส้นใยมีสีขาวมากขึ้น), ค่า a มีค่าต่ำลง (เส้นใยมีเจดสีเขียวอ่อน) และ ค่า b มีค่าต่ำลง (เส้นใยมีเจดสีเหลืองอ่อน) ทั้งนี้เนื่องจากการฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในสภาพที่เหมาะสม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แตกตัวเป็นไฮโดรเปอร์ออกซีแอนไอออน ( $\text{HOO}^-$ ) และไฮโดรเนียม ( $\text{H}^+$ ) ตามสมการที่ 1 โดยที่ไฮโดรเปอร์ออกซีแอนไอออน สามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ไม่แตกตัวได้ไฮดรอกซิล ( $\cdot\text{OH}$ ) และไฮดรอกซิลเปอร์ออกไซด์ ( $\text{O}_2\cdot^-$ ) ตามสมการที่ 2 ไฮดรอกซิลทั้งสองออกซิไดซ์ สารประกอบลิกนิน ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง จนสามารถละลายน้ำได้ (Gould, 1985) จึงทำให้เส้นใยมีค่า L สูงขึ้น, ค่า a และ b ลดลง นั่นคือ เส้นใยมีสีขาวมากขึ้น มีสีน้ำตาลอ่อน แกรมเหลืองอ่อน



อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ปริมาณการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีอิทธิพลร่วมกับอุณหภูมิ และ เวลา ทำให้มีผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กล่าวคือ ค่าสีของเส้นใยฟอกสี (ตารางที่ 6) ที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 35 และ 50 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในปริมาณ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเส้นใย เวลา 1 ชั่วโมง, ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 35 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในปริมาณ ร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนักเส้นใย เวลา 2 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น ร้อยละ 50 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในปริมาณ ร้อยละ 8 โดยน้ำหนักเส้นใย เวลา 1 และ 2 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ค่า L มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) แต่ให้ค่า a และ b มีค่าลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) จากการศึกษาที่มีรายงาน ได้กล่าวว่า อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่อ การแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกตัวเป็นไฮโดรเปอร์ออกซี - แอนไอออน และไฮโดรเนียม โดยที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีค่าคงที่การแตกตัว (dissociation constant) มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาสูงขึ้น (จิระศักดิ์ ชัยสนิท, 2537) การใช้ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 35 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในปริมาณ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเส้นใย เวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปกลับให้ค่า L มีค่าลดลง แต่ให้ค่า a และ b มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะว่า ที่อุณหภูมิสูง นอกจากเร่งปฏิกิริยาการฟอกสีแล้ว ยังเร่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้ไม่เพียงพอสำหรับการทำปฏิกิริยา จึงทำให้เส้นใยมีสีเหลืองแกมน้ำตาลอ่อน (Britt, 1970) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ จิตต์ ศรีวรรณวิทย์ และ ดวงใจ วิบูลย์ธนภรณ์ (2521) และรายงานของ Liebergott (1990) ซึ่งได้กล่าวว่า การใช้อุณหภูมิสูงในการฟอกสี นอกจากทำให้เส้นใยมีสีค่อนข้างดำแล้ว ยังทำลายความแข็งแรงของเส้นใยจากการทดลองทำให้สามารถเลือกสภาวะที่เหมาะสมการฟอกสี โดยเลือกใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น ร้อยละ 35 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในปริมาณ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเส้นใย อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อเวลาในการฟอกสี นานขึ้น และที่อุณหภูมิสูง ทำให้ค่า L มีค่าเพิ่มขึ้น และให้ค่า a และ b มีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปตามรายงานของ Chou และคณะ (1990)

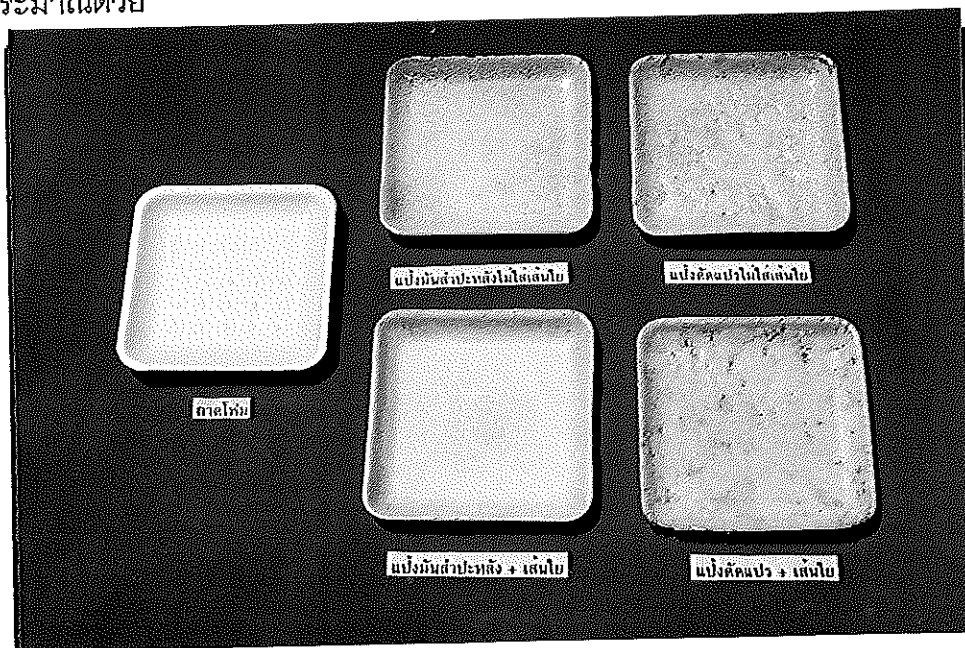
ตารางที่ 6 ค่า L, a และ b ของเส้นใยพอกสี ที่สภาวะต่างๆ

เติม H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ในปริมาณ [% (โดยนน. เส้นใย)]	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้น H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> [% (นน./นน.)]					
			35			50		
			ค่า L	ค่า a	ค่า b	ค่า L	ค่า a	ค่า b
5	1	60	77.067 a	0.557 a	14.377 a	76.923 b	0.453 a	13.870 a
		70	74.997 b	0.543 a	13.537 b	78.050 ab	0.307 a	13.600 ab
		80	77.560 a	0.287 a	13.350 b	78.353 a	0.280 a	13.667 b
	2	60	77.567 a	0.357 a	14.103 a	78.980 a	0.117 a	12.993 b
		70	78.160 a	0.177 a	13.110 b	77.330 a	0.370 a	13.763 a
		80	77.977 a	0.140 a	12.663 b	78.103 a	0.227 a	13.003 b
	3	60	79.607 a	0.043 b	13.337 b	76.760 a	0.600 a	14.447 a
		70	76.757 b	0.610 a	14.110 a	77.557 a	0.353 a	13.497 b
		80	76.870 b	0.440 a	13.363 b	76.857 a	0.547 a	13.673 b
8	1	60	77.763 a	0.337 a	13.980 a	77.363 b	0.487 a	14.003 a
		70	77.220 a	0.503 a	13.703 ab	76.757 b	0.400 ab	13.590 a
		80	77.427 a	0.220 a	13.227 b	80.030 a	0.080 b	12.720 b
	2	60	76.800 b	0.307 a	13.930 a	77.163 ab	0.490 a	14.200 a
		70	78.427 ab	0.087 a	13.100 b	75.827 b	0.570 a	13.673 a
		80	79.167 a	0.050 a	12.733 b	78.587 a	0.067 b	12.803 b
	3	60	77.743 a	0.430 a	14.633 a	78.263 a	0.203 a	13.640 a
		70	77.460 a	0.350 a	13.777 b	76.733 a	0.347 a	13.340 a
		80	76.663 a	0.573 a	13.377 b	77.680 a	0.457 a	13.547 a

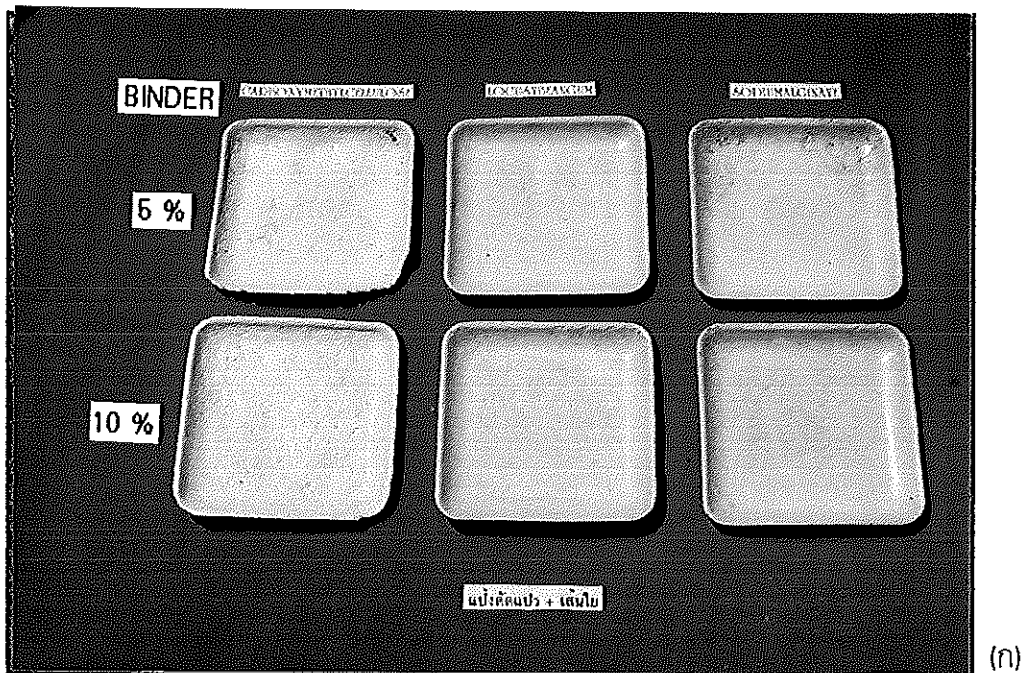
หมายเหตุ อักษรในแต่ละแนวตั้งที่เหมือนกัน แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

## 2. การผลิตถาดและการทดสอบถาดบรรจุภัณฑ์

ถาดที่ผลิตได้ มีขนาดใกล้เคียงกับถาดโฟมพีเอส คือ มีความกว้าง และความยาวของปากถาดวัดภายใน (top in) เท่ากัน ประมาณ 12 เซนติเมตร, ความกว้างและความยาวของก้นถาด เท่ากัน ประมาณ 10 เซนติเมตร, ความลึกด้านเอียง (slant depth) ประมาณ 1.5 เซนติเมตร, ความหนา ประมาณ 2.9 - 4.1 มิลลิเมตร และหนัก ประมาณ 16.0 - 29.0 กรัม นอกจากนี้ถาดที่ผลิตได้ มีผิวเรียบ แฉวาว, มีสีเหลืองอ่อน ถึง น้ำตาลอ่อน และมีลักษณะแน่นทึบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสม ได้แก่ ชนิดแป้ง, การเติมหรือไม่เติม เส้นใยและสารยึดเหนี่ยว และชนิดสารยึดเหนี่ยว ด้วยความแตกต่างของส่วนผสม ทั้งชนิดและปริมาณแป้ง การเติมหรือไม่เติมสารยึดเหนี่ยว ชนิดและปริมาณสารยึดเหนี่ยว การเติมหรือไม่เติมเส้นใย ในสภาวะการผลิตเดียวกัน ทำให้ถาดที่ผลิตได้มีลักษณะแตกต่างกัน (ภาพที่ 16 และ 17) เมื่อนำถาดตัวอย่างไปตรวจสอบคุณสมบัติ ยิ่งแตกต่างชัดเจนมากขึ้น ดังนั้นในการคัดเลือกสูตรผลิตถาดที่เหมาะสม จึงพิจารณาจากคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์เป็นหลัก ได้แก่ น้ำหนัก, ความหนา, ปริมาณความชื้น, การดูดซึมน้ำ และ คุณสมบัติทางกล ได้แก่ การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงกด นอกจากนี้ยังพิจารณาด้านทุนการผลิต โดยประมาณด้วย



ภาพที่ 16 ลักษณะถาดที่ผลิตได้ จากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ที่มีการเติมและไม่เติมเส้นใย เมื่อเทียบกับถาดโฟม



(ก)



(ข)

ภาพที่ 17 ลักษณะการเกิดจากแบคทีเรียที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (ข) เติมน้ำ 2 กรัม และ สารย้อมสีชนิดต่างๆ ปริมาณ ร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักแป้ง

ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของถาดที่ผลิตได้ (ตารางที่ 7) พบว่า ปริมาณความชื้น มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 13 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ ไม่เกิดสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา สำหรับความหนาเฉลี่ยของถาดที่ผลิตได้ ประมาณ 2.9 - 4.1 มิลลิเมตร มีค่าใกล้เคียงกับถาดโฟมพีเอส ซึ่งมีความหนา ประมาณ 4.0 มิลลิเมตร และ น้ำหนักถาด ประมาณ 9.9 - 28.3 กรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ส่วนผสม ถึงแม้ว่าถาดที่ผลิตได้หนักกว่าถาดโฟมที่ใช้ทั่วไป ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 2.84 กรัม ถึง 4 - 10 เท่า แต่ถาดที่ผลิตได้มีส่วนผสมของวัตถุดิบที่ผลิตจากธรรมชาติ เช่น แป้ง เส้นใย และสารยึดเหนี่ยว เป็นต้น เมื่อหมดสภาพการใช้งาน กลายเป็นขยะ จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ สามารถย่อยสลายได้ (Lieberman, 1994) และใช้เวลา สื่อมสลายโดยธรรมชาติ ไม่นานเท่ากับพลาสติกและถาดโฟม ซึ่งมีรายงานกล่าวว่า พลาสติกมีอายุการสลายตัวโดยธรรมชาติ ประมาณ 80 - 100 ปี ส่วนโฟมจะไม่สลายตัว (ธเรศ ศรีสถิตย์, 2533)

หน้าที่หลักของบรรจุภัณฑ์ คือ ต้องสามารถคุ้มครองรักษาผลิตภัณฑ์ มิให้ เสื่อมคุณภาพ หรือ เสียหาย ตลอดอายุการเก็บรักษา หรือ รอการจำหน่าย จึงต้องมี หลักเกณฑ์ ในการคัดเลือกสูตรผลิตถาด แต่เนื่องจาก งานวิจัยนี้ยังไม่เป็นที่เผยแพร่ จึงไม่ปรากฏหลักเกณฑ์ที่เป็นข้อบังคับหรือมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม จากการทดลองนี้ ถาดที่ผลิตได้ สามารถผ่านการทดสอบ ด้วยเครื่องมือที่ทดสอบคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์ ตามหลักมาตรฐานของบรรจุภัณฑ์นั้นๆ คุณสมบัติที่ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ, การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงกด เป็นต้น ดังนั้น ในการคัดเลือกสูตรผลิตถาด จึงพิจารณาจากค่าทั้งสาม โดยถาดต้องมีความแข็งแรง เพื่อสามารถรองรับน้ำหนักของ ผลิตภัณฑ์ และมีการดูดซึมน้ำน้อย เพื่อป้องกันมิให้เกิดการเสียรูปทรง เกิดการฉีกขาด จนกระทั่งเสียสภาพการเป็นบรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย น้ำหนัก, ความหนา และ ปริมาณความชื้น ของถาด  
ที่ผลิตจากสูตรต่างๆ

ชนิดแป้ง	ปริมาณ เส้นใย (กรัม)	ชนิดสาร ยึดเหนี่ยว	ปริมาณสาร ยึดเหนี่ยว (%) <sup>1</sup>	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	ความหนา เฉลี่ย (มม.)	ปริมาณ ความชื้น เฉลี่ย (%) <sup>2</sup>
แป้งมัน-				9.96	3.83	5.47
ลำปะหลัง	2			19.71	3.15	3.60
20 กรัม	2	CMC	5	20.03	3.02	4.25
			10	21.00	2.99	5.90
	LBG	5	15.78	3.78	6.40	
		10	16.70	4.08	7.44	
		AG	5	21.18	3.18	4.57
		10	24.66	3.13	3.91	
แป้งมัน-				21.31	3.21	3.04
ลำปะหลัง	2			28.30	3.03	2.93
ดัดแปร	2	CMC	5	25.81	3.14	4.49
			10	28.02	3.15	3.83
	LBG	5	26.13	3.11	4.61	
		10	26.35	3.34	5.44	
		AG	5	27.36	3.15	3.81
		10	27.73	3.48	3.91	

หมายเหตุ 1 = โดยน้ำหนักแป้ง

2 = โดยน้ำหนักแห้ง



เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่า ชนิดแป้ง ชนิดและปริมาณสารยึดเหนี่ยว และ อิทธิพลร่วมระหว่าง ชนิดแป้ง และชนิดสารยึดเหนี่ยวมี ผลต่อ ค่าการดูดซึมน้ำ ( $P < 0.05$ ) (ตารางภาคผนวกที่ 9) ในขณะที่ ชนิดแป้ง ปริมาณสารยึดเหนี่ยว และ อิทธิพลร่วม ระหว่างชนิดแป้ง และ ปริมาณสารยึดเหนี่ยว มีผลต่อค่าการต้านแรงดัดโค้ง ( $P < 0.05$ ) (ตารางภาคผนวกที่ 10) และพบชนิดแป้ง มีผลต่อค่าการต้านแรงกด ( $P < 0.05$ ) (ตารางภาคผนวกที่ 11) เมื่อเปรียบเทียบค่าทั้งสามของถาด ที่ผลิตจากสูตรต่างๆ (ตารางที่ 8) พบว่า ถาดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ให้ค่าการต้านแรงดัดโค้ง และแรงต้านการกด มากกว่าถาดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง เพราะว่าน้ำแป้งเมื่อได้รับความร้อนที่ระดับหนึ่งจะมีการพองตัว แป้งมันสำปะหลังมีการพองตัวสูงซึ่งการพองตัวเกิดจากการแยกพันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่เดิมออก และ เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำแทน เมื่อเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่จนแตก ทำให้เกิดการละลายมาก ทำให้การจับยึดระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดแป้ง มีน้อย และแป้งมันสำปะหลังมีความเหนียวไม่คงทนต่ออุณหภูมิสูงๆ (อรรพรรณ เคนสุขเจริญ, 2529) ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังดัดแปรแบบครอสลิงกิง สร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลของแป้ง ทำให้แรงยึดภายในโครงสร้างของเม็ดแป้ง มีความแข็งแรงขึ้น สามารถควบคุมการพองตัว และการแตกตัวของเม็ดแป้ง ทำให้ความเหนียวของเพสต์จากแป้ง มีเสถียรดีขึ้น เมื่อใช้ในสภาวะการผลิตที่อุณหภูมิสูง และที่ระดับการครอสลิงกิงเพิ่มขึ้น ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งจะลดลง (วรรณพร ศิริโรจน์, 2529) จึงทำให้ถาดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีความแข็งแรงมากกว่าถาดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง

ด้วยคุณสมบัติของแป้งทั้งสองที่ต่างกัน จึงทำให้ปริมาณการใช้แป้งในการผลิตถาดไม่เท่ากัน พบว่า ใช้แป้งมันสำปะหลัง ปริมาณน้อยกว่าใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร กล่าวคือ หากใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง จำนวน 26 กรัม ซึ่งเท่ากับปริมาณการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ผสมสารยึดเหนี่ยว ร้อยละ 5 หรือ 10 โดยน้ำหนักแป้ง และเติมเส้นใย 2 กรัม จะมีส่วนเกินที่ไม่ต้องการมาก เสียเวลาตัดแต่ง หากใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง น้อยกว่า 20 กรัม จะได้ถาดที่ไม่เต็มสมบูรณ์ มีบางส่วนของถาดขาดหายไป โดยเฉพาะส่วนความสูงเฉียงของถาด จึงได้ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 20 กรัม ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ปริมาณ 26 กรัม จากปริมาณการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ในการผลิตถาด มากกว่าแป้งมันสำปะหลัง ถาดที่ผลิตได้จึงมีน้ำหนักมากกว่าถาดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 8 ค่าการดูดซึมน้ำ, แรงต้านการตัดโค้ง และ แรงต้านการกด ของ ถาดที่ผลิตจากสูตรต่างๆ

ชนิด แป้ง	ปริมาณ เส้นใย (กรัม)	ปริมาณสาร ยัดเหนียว (%) <sup>1</sup>	ชนิดสาร ยัดเหนียว	การดูดซึมน้ำ (กรัม/ตร.ม.) (นิวตัน/ตร.ซม.)	การต้าน แรงตัดโค้ง (นิวตัน/ตร.ซม.)	การต้าน แรงกด (นิวตัน/ตร.ซม.)
แป้งมัน สำปะหลัง 20 กรัม	2	5	CMC	344.69 a	1.35 a	2.62 a
			LBG	298.30 a	1.25 a	1.90 a
			SAG	331.04 a	1.93 a	2.84 a
	10		CMC	437.34 a	1.42 a	2.90 a
			LBG	297.14 b	1.31 a	2.33 a
			SAG	349.83 b	1.39 a	2.85 a
แป้งมัน สำปะหลัง ดัดแปร 26 กรัม	2	5	CMC	504.19 a	2.27 a	5.07 a
			LBG	293.78 b	2.04 a	4.51 a
			SAG	300.50 b	1.58 a	4.19 a
	10		CMC	578.26 a	2.71 a	4.96 a
			LBG	301.78 b	2.78 a	5.83 a
			SAG	329.13 b	2.54 a	5.32 a

หมายเหตุ อักษรในแนวตั้งที่เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ )

1 = โดยน้ำหนักแป้ง

อย่างไรก็ตาม การใช้แป้งมันสำปะหลัง ปริมาณ 20 กรัม และ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ปริมาณ 26 กรัม เมื่อผสมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักแป้ง ก็ได้ถาดที่ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะส่วนมุมถาดขาดหายไป ส่วนกันถาด มีร่องการแยกของแป้ง การที่เป็นเช่นนี้ อาจเนื่องจากสารเชื่อมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มีความสามารถในการจับยึดกับน้ำได้ดี แต่ด้วยปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองได้กำหนดให้ เท่ากันทุกสูตร จึงทำให้เหลือน้ำไม่เพียงพอต่อการพองตัวของแป้งแต่ละชนิด

นอกจากนี้ ยังพบว่า ถาดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง และเติมโซเดียมอัลจิเนต ในปริมาณ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้ง และถาดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปร เติมโซเดียมอัลจิเนต ในปริมาณ ร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักแป้ง ให้ค่าการดูดซึมน้ำ ต่ำกว่าถาดที่ทำจากแป้งชนิดเดียวกัน ที่เติมสารยึดเหนี่ยวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในปริมาณที่เท่ากัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) แต่มีค่ามากกว่าถาดที่ทำจาก สูตรเดียวกันที่เติมสารยึดเหนี่ยวไคคัสปีนัม ในปริมาณเท่ากัน จากการศึกษาที่มีรายงาน กล่าวว่า ความหนืด ขึ้นอยู่กับการพองตัวของสารละลาย เมื่อสารยึดเหนี่ยวพองตัวมาก จะทำให้สารละลายให้ค่าความหนืดมาก (Forrest, 1996) ความหนืดของสารละลาย คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เข้มข้น ร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1,500 เซนติพอยส์ (บริษัทดินพจำกัด, 2538) มีค่ามากกว่าความหนืดของสารละลาย โซเดียมอัลจิเนต เข้มข้น ร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเท่ากับ 25 - 800 เซนติพอยส์ (Zapsalis, 1986) ทำให้กล่าวได้ว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีการพองตัว มากกว่าโซเดียมอัลจิเนต จึงได้ถาดที่ทำจากแป้งชนิดเดียวกันที่ใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในปริมาณเท่ากัน ให้ค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าถาดที่ทำจากสูตรเดียวกันแต่ใช้โซเดียมอัลจิเนต อย่างไรก็ตามจากสูตรผลิตถาดเดียวกัน ถาดที่ใช้โซเดียมอัลจิเนต ให้ค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าถาดที่ใช้ไคคัสปีนัม แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากโซเดียมอัลจิเนต ที่ใช้ในการทดลอง เป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ จากหมู่คาร์บอกซิลของกุฎูโรเนตที่อยู่ ในรูปเกลือโซเดียม สามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ในขณะที่ไคคัสปีนัม เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีประจุ ไม่สามารถละลายในน้ำเย็น จะละลายเมื่อได้รับความร้อน 80 - 85 องศาเซลเซียส (Forrest, 1996) จึงทำให้ถาดที่เติมโซเดียมอัลจิเนต ให้ค่า การดูดซึมน้ำมากกว่าถาดที่ทำจากสูตรเดียวกัน แต่ใช้ไคคัสปีนัม

ถาดที่ทำจากสูตรที่ใช้สารยัดเหนียวชนิดเดียวกัน ปริมาณสารยัดเหนียวเท่ากัน แต่ชนิดแป้งต่างกัน ให้ค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 8) กล่าวได้ว่า ถาดที่ทำจาก แป้งมันสำปะหลัง 20 กรัม เดิมโลคัสปิ่นกัม และโซเดียมอัลจิเนต ปริมาณร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักแป้ง ให้ค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกับถาดที่ทำจากสูตรเดียวกัน แต่ใช้แป้งมันสำปะหลัง ดัดแปร 26 กรัม หากคิดค่าการดูดซึมน้ำ เทียบกับปริมาณแป้งที่ใช้ จะแสดงถึง ถาดที่ทำ จากแป้งมันสำปะหลัง ให้ค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าถาดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปร การที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิหนึ่ง แป้งมันสำปะหลังมีการพองตัวสูง สามารถจับยึดกับ น้ำด้วยพันธะไฮโดรเจนได้มาก ในขณะที่โมเลกุลภายในเม็ดของแป้งมันสำปะหลังดัดแปร จับยึดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้น้อยจึงมีการพองตัวน้อย ดังนั้นถาดที่ ทำจากแป้งมันสำปะหลัง จึงให้ค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าถาดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปร เมื่อเทียบกับปริมาณแป้งที่ใช้เท่ากัน

นอกจาก ชนิดของแป้งที่ใช้ในการผลิตถาด มีผลต่อ ค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง และการต้านแรงกดแล้ว ยังพบว่า อิทธิพลระหว่างชนิดแป้ง และปริมาณสารยัดเหนียว มีผลต่อค่าการต้านแรงดัดโค้ง ( $P < 0.05$ ) และ การต้านแรงกด กล่าวคือ ถาดที่ทำจากแป้ง ชนิดเดียวกัน สารยัดเหนียวชนิดเดียวกัน ในปริมาณ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแป้ง จะให้ค่าการต้านแรงดัดโค้ง และแรงต้านการกด น้อยกว่าถาดที่ทำจากสูตรเดียวกันแต่ใช้ สารยัดเหนียว ปริมาณ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้ง ทั้งนี้เพราะว่า ความเข้มข้นของ สารยัดเหนียว มีผลต่อ ความหนืดของสารละลาย เมื่อสารยัดเหนียวอยู่ในน้ำ โมเลกุลของสารยัดเหนียวจับยึดกับน้ำ ทำให้พองตัวส่งผลให้เกิดความหนืดที่ระดับหนึ่ง เมื่อเพิ่มปริมาณสารยัดเหนียว จะมีโมเลกุลของสารยัดเหนียวมาก สามารถจับยึดกับ น้ำได้มาก ทำให้ความหนืดมาก ดังนั้นการเพิ่มปริมาณสารยัดเหนียวจาก ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแป้ง เป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้ง เป็นการเพิ่มความหนืดให้มีค่ามากขึ้น จึงอาจเป็นผลทำให้คุณสมบัติการต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงกดของถาด มีค่ามากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารยัดเหนียว

จากที่กล่าวมา สามารถเลือกสูตรผลิตถาดได้โดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร 26 กรัม ที่เติมเส้นใย 2 กรัม ผสมกับสารยัดเหนียวโลคัสปิ่นกัม หรือ โซเดียมอัลจิเนต ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแป้ง แต่เนื่องจากราคาต่อหน่วยน้ำหนักของโซเดียมอัลจิเนต มีราคาแพง กว่าของโลคัสปิ่นกัม ถึง 6 เท่า จึงเลือกใช้โลคัสปิ่นกัมเป็นสารยัดเหนียวในสูตรผลิตถาด เพื่อผลิตถาดใช้ในการศึกษาในลำดับต่อไป

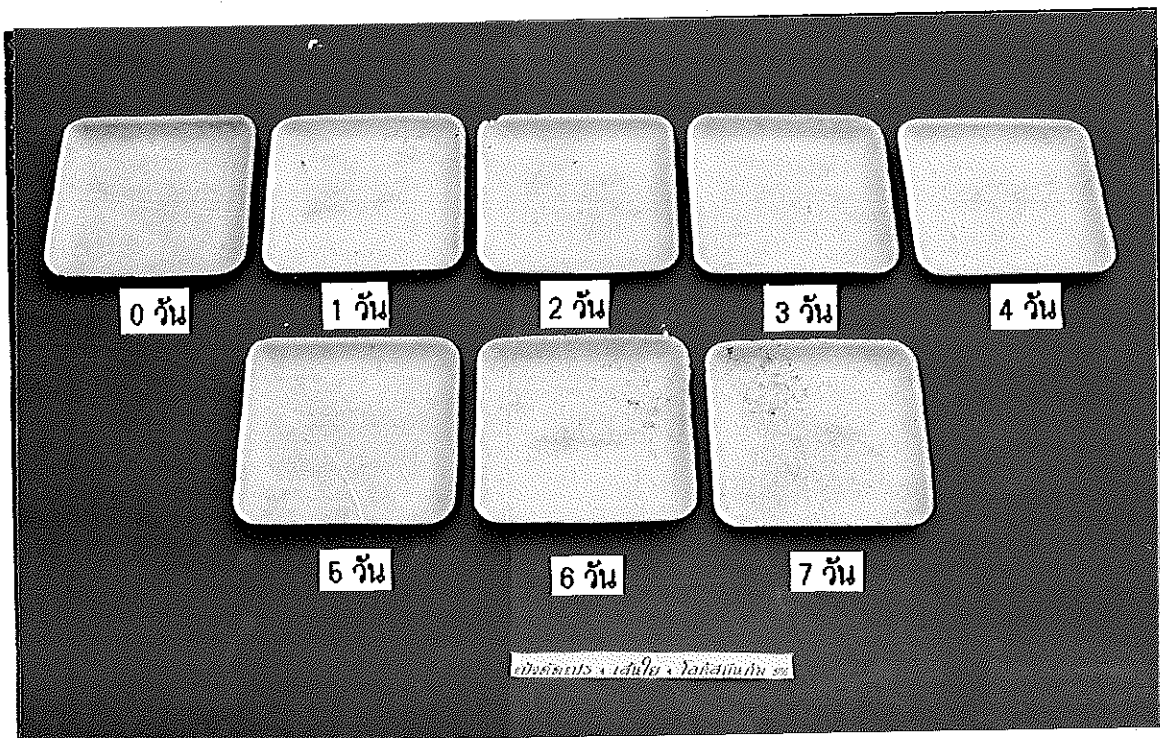
### 3. การใช้บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้

เมื่อใช้ภาชนะที่ผลิตได้ บรรจุเนื้อส้มโอตัดแต่ง และ หุ้มฟิล์มยืดพีวีซี เก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 62 เป็นเวลา 7 วัน ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเนื้อส้มโอ (ภาพที่ 18 และตารางที่ 9) และภาค (ภาพที่ 19 และตารางที่ 9) ด้วยประสาทสัมผัส พบว่า ในแต่ละวัน เนื้อส้มโอและภาคมีการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และลักษณะปรากฏ ในทางเสื่อมลง กล่าวคือ เมื่อเก็บนาน 2 วัน เนื้อส้มโอที่สัมผัสกับภาค มีกลิ่นแฉะของภาค ในขณะที่บางส่วนของภาคเริ่มอ่อนนิ่ม โดยเฉพาะบริเวณผิวด้านในของก้นภาคที่สัมผัสกับเนื้อส้มโอ บริเวณส่วนเนื้อที่ติดกับแนวแกนกลางของผล เป็นเพราะว่าในการแกะเนื้อส้มโอ ต้องใช้มีดกรีดส่วนของเยื่อหุ้มเนื้อในแนวแกนกลางผลก่อน ทำให้เนื้อส้มโอบริเวณนี้ มีโอกาสถูกมีดตัดขาดเมื่อสัมผัสกับผิวก้นภาค จึงทำให้บริเวณนั้นเริ่มอ่อนนิ่ม เมื่อเก็บนานเป็นเวลา 3 วัน เนื้อส้มโอนิ่มแต่ไม่เละ ไม่แฉะ และส่วนเนื้อส้มโอที่ถูกตัดขาด มีลักษณะเหี่ยวแห้งเป็นบริเวณเพียงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ภาคจะอ่อนนิ่มเป็นบริเวณกว้างมากขึ้น และ อ่อนนิ่มทั้งภาคเมื่อเก็บนาน 6 และ 7 วัน ส่วนเนื้อส้มโอนิ่มแต่ไม่เละ ไม่แฉะ ยังคงมีกลิ่นแฉะ สีซีด นอกจากนี้ตลอดอายุการเก็บรักษา ทั้งภาคและเนื้อส้มโอ ไม่พบเชื้อรา และกลิ่นแอลกอฮอล์

ตลอดอายุการเก็บรักษา เมื่อสังเกตด้วยประสาทสัมผัส พบว่า การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของเนื้อส้มโอ เกิดขึ้นไม่ชัดเจน จะชัดเจนมากขึ้น เมื่อนำไปชั่งน้ำหนัก พบว่า ในแต่ละวัน น้ำหนักเนื้อส้มโอ มีค่าลดลงจากน้ำหนักเริ่มต้น แต่น้ำหนักภาคมีค่าเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักภาคเริ่มต้น เมื่อเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 20) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ รุจิรา กิจธารทอง (2534) และ มณฑาทิพย์ หิรัญสาส์ (2536) อีกทั้งในห้องเก็บรักษาได้ใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เพียง ร้อยละ 62 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการรายงานของ ประสิทธิ์ อติวีรกุล (2527) กล่าวว่า ในห้องเก็บรักษา ต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมกับชนิดพืชผล ปกติจะใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 85 - 90 กับผลไม้ และร้อยละ 90 - 98 กับพืชผักต่างๆ การใช้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เนื้อส้มโอมีการสูญเสียน้ำหนักมาก สำหรับภาคมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บนานขึ้น เนื่องจากว่า เมื่อเนื้อส้มโอคายน้ำมาก จะเกิดความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์มาก ภาคสามารถดูดซึมน้ำได้ จึงดูดซับไอน้ำ ทำให้ภาคมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น



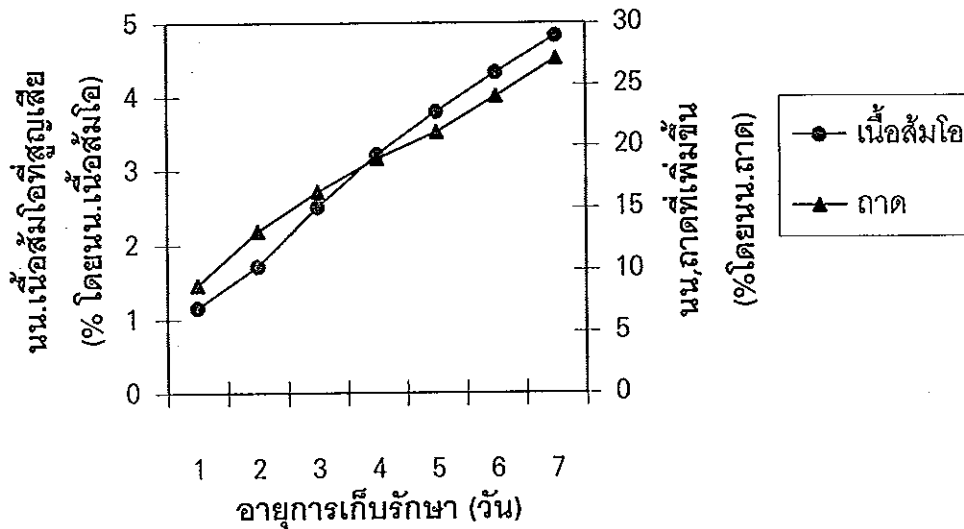
ภาพที่ 18 ลักษณะของเนื้อส้มโอ เก็บที่ห้อง 10 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน



ภาพที่ 19 ลักษณะของไข่ เก็บที่ห้อง 10 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อสัมผัสตัดแต่ง และสภาพที่เก็บรักษาในห้อง  
10 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

อายุการเก็บ (วัน)	สภาพ		เนื้อสัมผัสตัดแต่ง	
	สีและกลิ่น	ลักษณะปรากฏ	สีและกลิ่น	ลักษณะปรากฏ
0	สีเหลืองอ่อน แกมสีน้ำตาล อ่อน กลิ่นแป้งอบ	· ผิวภาคเรียบ มีผิวเป็นรู แต่ไม่ทะลุถึงด้านหลัง · ก้นภาค มีความแข็งแรง · ขอบภาคหรือความสูง มีความแข็งแรง	เนื้อสีชมพู อมแดง ส่วนปลายถุงสัมผัส มีสีเหลืองอ่อน ไม่มีกลิ่น	เนื้อแน่น แฉวฉว
1	เหมือนเก็บที่ 0 วัน	เหมือนเก็บที่ 0 วัน	เหมือนเก็บที่ 0 วัน	เหมือนเก็บที่ 0 วัน
2	สีไม่เปลี่ยน ไม่มีกลิ่น	ผิวก้นภาคเริ่มอ่อนนิ่ม เล็กน้อย ไม่ทะลุถึง ด้านหลัง โดยเฉพาะ บริเวณสัมผัสกับ เนื้อสัมผัส	กลิ่นแป้งอบ สีไม่เปลี่ยน	เหมือนเก็บที่ 0 วัน
3	สีไม่เปลี่ยน ไม่มีกลิ่น	ผิวก้นภาคเริ่มอ่อนนิ่ม มากขึ้น	กลิ่นแป้งอบ สีไม่เปลี่ยน	เนื้อบางส่วนนิ่ม ไม่และ ไม่แฉวฉว บางส่วนเหี่ยวแห้ง เล็กน้อย
4	สีไม่เปลี่ยน ไม่มีกลิ่น	ผิวก้นภาคอ่อนนิ่ม ถึงด้านหลังภาค	กลิ่นแป้งอบ สีไม่เปลี่ยน	เหมือนเก็บที่ 3 วัน
5	สีไม่เปลี่ยน ไม่มีกลิ่น	ผิวก้นภาคอ่อนนิ่ม ถึงด้านหลัง บริเวณกว้างมากขึ้น	กลิ่นแป้งอบ สีไม่เปลี่ยน	เหมือนเก็บที่ 3 วัน
6	สีไม่เปลี่ยน ไม่มีกลิ่น	ผิวก้นภาคอ่อนนิ่ม กว้างมากขึ้น	กลิ่นแป้งอบ สีชมพูซีด	เหมือนเก็บที่ 3 วัน
7	สีไม่เปลี่ยน ไม่มีกลิ่น	ก้นภาคอ่อนนิ่ม ขอบภาคบางส่วน ยังคงแข็งแรง	กลิ่นแป้งอบ สีชมพูซีด ขาวชุน เห็นชัดเจน	เหมือนเก็บที่ 3 วัน



ภาพที่ 20 น้ำหนักเนื้อส้มโอที่สูญเสีย (โดยน้ำหนักเริ่มต้น) และน้ำหนักน้ำที่เพิ่มขึ้น (โดยน้ำหนักเริ่มต้น) เก็บที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

การเปลี่ยนแปลงสภาพบรรจุภัณฑ์ ด้วยการตรวจสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ (ตารางที่ 10) ในแต่ละวัน ไม่พบค่าการดูดซึมน้ำของถาดแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) แม้อายุการเก็บรักษาจะนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก ผู้วิจัยนำถาดตัวอย่างที่ครบกำหนดอายุ ในแต่ละวัน ไปปรับสภาพ ในตู้ปรับความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณ ร้อยละ 65 นานกว่า 12 ชั่วโมง ถาดแต่ละถาดจึงอยู่ในสภาพเดียวกัน น้ำบางส่วนที่อยู่ในโครงสร้างของถาด ระเหยสู่บรรยากาศ จึงมีปริมาณน้ำใกล้เคียงกันในแต่ละถาด ซึ่งจากการศึกษามี รายงานกล่าวว่า กระดาษที่มีความชื้นใกล้เคียงกัน เมื่อนำมาทดสอบในสภาวะที่กำหนด เป็นผลให้สมบัติทางกายภาพของกระดาษแตกต่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญ (จรวาย ธงไชย, 2538) นอกจากนี้พบว่า การตรวจสอบการต้านแรงดัดโค้ง และ การต้านแรงกด ของถาด มีค่าลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เพราะว่ เมื่ออายุการเก็บนานขึ้น ถาดมีลักษณะอ่อนนิ่มมากขึ้น เมื่อนำไปตรวจสอบ ค่าแรงทั้งสอง จึงให้ค่าทั้งสองลดลง



ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ จรววย ธงไชย (2538) ได้กล่าวว่า ความชื้นในกระดาศ ตัวอย่างแตกต่างกัน จะทำให้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน และ กระดาศที่ได้รับความชื้นสูงมาก จะทำให้กระดาศสูญเสีย ความทรงรูป และการต้านทานแรงดึง จากรายงานของ รุจิรา กิจธารทอง (2534) ได้กล่าวว่า การดูดซึมน้ำ และการต้านแรงกด สัมพันธ์กับ ความแข็งแรงของกล่องกระดาศลูกฟูก และมีรายงานของ มณฑาทิพย์ หิรัญสาส์ (2536) ได้กล่าวถึงกระดาศที่ใช้ทำกล่อง กระดาศลูกฟูก ถ้ากระดาศที่ใช้ทำผิวกล่องมีการดูดซึมน้ำมาก ทำให้ความแข็งแรง ของกล่องลดน้อยลง กระดาศที่ใช้ทำผิวกล่องควรมีการดูดซึมน้ำต่ำกว่า 100 กรัมต่อ ตารางเมตร ในขณะที่ ถาดที่ใช้ในการบรรจุเนื้อส้มโอตัดแต่ง มีค่าการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 295 กรัมต่อตารางเมตร จะเห็นว่า ถาดที่ใช้บรรจุเนื้อส้มโอ ให้ค่าการดูดซึมน้ำ สูงมาก จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ถาดมีการเปลี่ยนแปลงในทางเสื่อมลง หมดสภาพการเป็น บรรจุภัณฑ์ เสียรูปทรง ไม่มีความแข็งแรง

จากการทดลองนี้ กล่าวได้ว่า ถาดที่ผลิตจากสูตรที่คัดเลือก เมื่อบรรจุ เนื้อส้มโอตัดแต่ง เก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 62 มีอายุการเก็บรักษา 1 วัน หลังจากนั้น ถาด และ เนื้อส้มโอ เริ่มเสื่อมสภาพลง ตามอายุการเก็บนานขึ้น

ตารางที่ 10 การดูดซึมน้ำ, การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงกด ของถาดที่บรรจุเนื้อสั้มโอ หลังจากเก็บในห้อง 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

อายุการเก็บ (วัน)	การดูดซึมน้ำ (กรัม/ตร.ม.)	การต้านแรงดัดโค้ง (กก.แรง/ตร.ซม.)	การต้านแรงกด (กก.แรง/ตร.ซม.)
0	290 a	2.04 a	0.45 a
1	280 ab	1.48 b	0.49 a
2	280 ab	0.65 c	0.26 b
3	250 b	0.57 c	0.25 b
4	290 ab	0.42 d	0.18 b
5	290 ab	0.42 d	0.19 b
6	270 ab	0.38 d	0.19 b
7	250 b	0.12 c	0.18 b

หมายเหตุ อักษรในแนวตั้ง เหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ )

## บทที่ 4

### สรุป

ใบสับปรวดแห้งที่ใช้ทดลอง มีความชื้น ร้อยละ 2.5 ประกอบด้วย เซลลูโลสทั้งหมด, ลิกนิน และเถ้า ร้อยละ 35.84, 6.08 และ 7.15 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยไม่พบกัมในตัวอย่าง เมื่อนำไปสกัดเส้นใยด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 10, 15 และ 20 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชม. พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย, อุณหภูมิ และ เวลา เพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตมีค่าลดลง และให้เซลลูโลสมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ลิกนินมีค่าลดลง ทั้งนี้เกิดจากไฮเดียมไฮดรอกไซด์ ย่อยสลายองค์ประกอบของเนื้อเยื่อส่วนใบ และสามารถทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสและลิกนิน ได้โมเลกุลมีขนาดเล็กที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ จากการใช้ไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 15 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชม. ในการสกัดเส้นใยจะให้ผลผลิต, เซลลูโลส และ ลิกนิน ร้อยละ 6.34, 80.13 และ 2.60 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เส้นใยที่ได้มีสีเหลืองอ่อน แกมน้ำตาล เมื่อนำไปฟอกสี โดยใช้เส้นใย ต่อ สารละลายต่าง 1: 20 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่พีเอช 11 อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ก่อนเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 35 และ 50 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในปริมาณ ร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนักเส้นใย ฟอกสีที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส นาน 1, 2 และ 3 ชม. พบว่า ให้ผลผลิต มีค่าไม่แตกต่างกัน ความเข้มข้นและปริมาณการใช้ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไม่มีผลต่อความเข้มของสี ของเส้นใย แต่อุณหภูมิ และเวลา ทำให้เส้นใยมีความเข้มสี อ่อนลง อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ดังนั้นการฟอกสีเส้นใยจึงใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 35 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในปริมาณ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเส้นใย ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชม. ซึ่งให้ปริมาณผลผลิต ร้อยละ 97.96 โดยน้ำหนักแห้ง มีค่า L, a และ b เท่ากับ 78.160, 0.177 และ 13.110 ตามลำดับ เส้นใยยังคงมีความอ่อนนุ่ม และ สีเหลืองอ่อน ในขณะที่เส้นใยไม่ฟอกสี มีค่า L, a และ b เท่ากับ 69.693, 0.983 และ 13.520 ตามลำดับ

เมื่อนำเส้นใยไปผสมกับแป้งมันสำปะหลัง จะได้ถาดที่มีผิวเรียบ แฉวฉว มีสีเหลืองอ่อนถึงน้ำตาลอ่อน และมีลักษณะแน่นทึบ เช่นการใช้แป้งมันสำปะหลัง 20 กรัม และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร 26 กรัม, ผสมกับไฮเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC), โลคัสปีนแกม(LBG) และ ไฮเดียมอัลจินेट (SAG) ในปริมาณ ร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนักแป้ง จะให้ถาดที่มีความหนา และน้ำหนัก เท่ากับ 2.9 - 4.1 มิลลิเมตร และ 9.97 - 28.0 กรัม ตามลำดับ ถาดที่ผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ให้ค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่า แต่ให้ค่าการต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงกดมากกว่า ถาดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเทียบกับปริมาณแป้งที่ใช้ผลิตต่อถาด การเติมเส้นใย และ / หรือ สารยึดเหนี่ยว เป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ถาด แต่ที่ปริมาณการใช้ สารยึดเหนี่ยว ร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนักแป้ง ให้ค่าการดูดซึมน้ำ การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงกด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ ถาดที่ผลิตจากแป้งมัน สำปะหลังดัดแปร และใช้ปริมาณสารยึดเหนี่ยวเท่ากัน พบว่า CMC ให้การดูดซึมน้ำ มากกว่าใช้ LBG และ SAG อย่างมีนัยสำคัญ แต่เนื่องจาก SAG มีราคาแพงกว่า LBG ถึง 6 เท่า จึงเลือกใช้ LBG ในปริมาณ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแป้ง ผสมกับ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร 26 กรัม และ เส้นใย 2 กรัม เพื่อผลิตถาดซึ่งนำไปบรรจุ เนื้อส้มโอตัดแต่ง แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 62 นาน 7 วัน พบว่า เมื่ออายุการเก็บนานขึ้น ทั้งถาดและเนื้อส้มโอ มีการเปลี่ยนแปลง ของสี กลิ่น และ ลักษณะปรากฏ ในทางเสื่อมลง กล่าวคือ เมื่อเก็บ 2 วัน เนื้อส้มโอ ติดกลิ่นแป้งอบของถาด และบางส่วนของถาดเริ่มอ่อนนิ่ม และจะอ่อนนิ่มเป็น บริเวณกว้างมากขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น อีกทั้งในระหว่างการเก็บรักษา เนื้อส้มโอ มีการสูญเสียน้ำหนัก ขณะที่ถาดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากถาด มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ จึงทำให้ถาดมีความแข็งแรงลดลง เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ดังนั้น ทั้งผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ จึงมีอายุการเก็บรักษาได้เพียง 1 วัน

## ข้อเสนอแนะ

1. ในการขึ้นรูปถาด 1 ถาด ต้องใช้เวลานานถึง 20 นาที ในการทดลอง ครั้งต่อไป ควรศึกษาสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูป ได้แก่ ความดัน และ อุณหภูมิ เพื่อที่จะลดเวลาในการผลิต

2. จากสูตรผลิตถาดที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ต้องใช้แป้งปริมาณ 26 กรัม ถาดที่ผลิตได้มีน้ำหนัก มากกว่าถาดโฟม หลายเท่า ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปร เป็นแป้งที่ผ่านการดัดแปรแบบครอสลิงกิง ภายในเม็ดแป้งมีการจับยึดกันด้วยพันธะ โควาลেন্ট แป้งจึงมีการพองตัวน้อย จึงจำเป็นต้องใช้แป้งปริมาณมากกว่าแป้งมัน สำปะหลังที่ใช้เพียง 20 กรัม ถาดที่ได้จึงมีน้ำหนักมากกว่าถาดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง และถาดโฟม แต่ถาดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ให้ความแข็งแรงมากกว่า ถาดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง ในการทดลองครั้งต่อไป เพื่อให้ได้ถาดที่มีน้ำหนักน้อย แต่มีความแข็งแรง จึงอาจศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่มีระดับการครอสลิงกิง แตกต่างกันไป เพราะระดับการครอสลิงกิง ทำให้แป้งดัดแปรมีคุณสมบัติต่างกัน

3. แม้ถาดที่ผลิตได้มีความแข็งแรง แต่เนื่องด้วยมีสารยึดเหนี่ยวที่เป็น สารไฮโดรคอลลอยด์ชอบน้ำ เป็นส่วนผสมอยู่ จึงทำให้ถาดมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ถาดเสื่อมสภาพการเป็นบรรจุภัณฑ์ จึงมีการศึกษา ถึงการเคลือบถาด เพื่อป้องกันการซึมน้ำ แต่รายงานการศึกษาดังกล่าวยังไม่เป็นที่ เผยแพร่ให้กับบุคคลที่สนใจ ดังนั้นจึงควรที่จะศึกษาถึงการเคลือบถาดในการทดลองต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2534. สรุปผลการสัมมนาแนวทางการพัฒนาสับประรดเพื่อ  
อุตสาหกรรม. ณ โรงแรมรามาดาเก้นส์ กรุงเทพฯ. 21 พฤศจิกายน 2534.
- จารุพันธ์ ทองแถม. 2526. สับประรด และอุตสาหกรรมสับประรดในประเทศไทย. กรุงเทพฯ :  
ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิตต์ ศรีวรรณวิทย์ และ ดวงใจ วิบูลย์ธนภัณฑ. 2521. การศึกษาวิจัยการผลิตเซลลูโลส  
คุณภาพสูง. กรุงเทพฯ : กองวิจัย กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม.
- จรววย ธงไชย. 2529. อิทธิพลของความชื้นต่อคุณสมบัติกระดาษ.  
ว.กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 43 : 29 - 30.
- จิรศักดิ์ ชัยสนิท. 2538. เปรอร์ออกไซด์กับอุตสาหกรรมกระดาษ.  
ว.กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 42 : 15 - 18.
- ชื่นจิต อาทร. 2537. มาตรฐานและข้อกำหนดเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์. ว.กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- ทองศักดิ์ ด้านชูธรรม. 2522. การทำกระดาษโดยวิธีซัลเฟต. สักทอง. 4 : 44 - 49.
- ธเรศ ศรีสถิตย์. 2533. มลภาวะของพลาสติกและโฟม. จุลสารสภาวะแวดล้อม. 9 : 8 - 13.
- นุชฤดี ศิริบุญ. 2534. การดัดแปรสตาร์ชข้าวเจ้าแบบครอสลิงกิง.  
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บวร วัฒนเสรี, สมชาติ รุ่งอินทร์, นีโลบล เดชาติวงศ์ ณ อยุธยา และ  
รุ่งอรุณ ศิริพันธุ์. 2518. รายงานการศึกษาทดลองทำเยื่อกระดาษจากใบ  
สับประรด. กรุงเทพฯ : กองวิจัย กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม.

มณฑาทิพย์ หิรัญสาส์. 2536. การศึกษาการเก็บรักษามังคุด โดยการดัดแปลง  
บรรยากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มาลี วราหกิจ. 2520 - 2521. การใช้ประโยชน์ของเศษเหลือจากกระบวนการ  
แปรรูปสับปะรด. ข่าวสารเกษตรศาสตร์ 22 : 44 - 65.

รุจิรา กิจธารทอง. 2534. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์มังคุดแช่เยือกแข็ง.  
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วรรณพร ศิริโรจน์. 2529. การปรับปรุงคุณภาพของแป้งมันสำปะหลัง โดยการแปรสภาพ  
ทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิจิตร วรรณชิต. 2529. การปลูกสับปะรด. สงขลา : ภาควิชาพืชศาสตร์  
คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง. 2530. เคมีอาหารเบื้องต้น.  
กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ศุภวรรณ อนุเวชศิริเกียรติ, อัจฉรียา แก้วม่วง และปาริฉัตร หงส์ประภาส. 2535.  
การดัดแปลงแป้งมันสำปะหลังด้วยโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต.  
วารสารวิทยาศาสตร์ มศว. 9 : 41 - 47.

ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย. 2529. หลักการทดสอบวัสดุ และภาชนะบรรจุ.  
กรุงเทพฯ : สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย. 2533. คู่มือการใช้พลาสติกเพื่อการหีบห่อ.  
กรุงเทพฯ : สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สุทธิเวช ต. แสงจันทร์. 2536. สารทดแทน CFCs ในศตวรรษที่ 21.

ว. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 41 : 6 - 10.

สมเกียรติ เกียรติติกุล. 2534. การดัดแปรแป้งมันสำปะหลัง โดยการสร้างพันธะเชื่อมขวางและการออกซิไดซ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สร้อยลัดดา รอดปาน. 2532. การใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพในการทำขนมชั้น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค. 2534. มหันตภัยจากกล่องโฟม.

สคบ. สาร. 13 : 3 , 8

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2523. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระดาษลูกฟูก. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

อรวรรณ เคนสุขเจริญ. 2529. คุณสมบัติบางประการในการนำไปใช้ประโยชน์ของแป้งต่างๆ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อังคณา หาญบรรจง และดวงสมร สีนเจิมศิริ. 2532. การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพอาหารสัตว์. กรุงเทพฯ : ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัจฉราพร ไสละสูต. 2529. ความรู้เรื่องผ้า. พิมพ์ครั้งที่ 8  
กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดเทคนิค19.

เอกพันธ์ แก้วมณีชัย. 2538. การดัดแปรสตาร์ชในแป้งมันสำปะหลัง และข้าว ด้วยวิธีแอซิติลเลชั่น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.



Abou - State, M. A., Abd EL - M egeid, F.F. and EL - Mary, A. M. 1984. Studies on the pulping of *Zea mays*. *Linn. Research and Industry*. 29 : 171-175.

A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis. The Association of Official Analytical Chemists. 15 th ed. Verginia : Arlington.

Britt, K. W. 1970. Pulp and Paper Technology. 2 nd ed.  
New York : Van Nostrand Rein Hold Company.

Carr, J. M. 1993. Hydrocolloids and Stabilizers. *Food Technology*. 47 : 100.

Cessna, F. L. 1992. Biodegradable Food Trays. U.S. Pat 5 154 982. Oct. 13 ,1992.

Chou, Y. T., Garrison, D. F. and Lewis, W. I. 1990. Alkaline Extraction, Peroxide Bleaching of Woody Lignocellulose Substrates.  
U.S. Pat 4, 957, 599 Sep. 18, 1990.

De Guzman, Z. I., Berana, N. B. and Reyes, Jr., A. M. 1982. Abaca Kenaf and pineapple fibers for nonwoven fabrics. *NSTA Technology J*. 7 : 77 - 87.

El - Kalyoubi, S. F., El - Shinnawy, A. and Heikal, S. O. 1985. Pulping of corn stalks. *Research and Industry*. 30 : 25 - 28.

Forrest, B. 1996. Structure, function and internation of food stabilizer. *In Application of Hydrocolloid System and Other Additive in Canned Food Industry Seminar*. Novenber 20, 1996.

- Gagne, C., Barbe, M. C. and Deneault, C. 1988. Comparison of bleaching processes for mechanical and chemical pulps. Tappi J. 71 : 89 - 98.
- Glittenberg, D. 1993. Starch alternative for improved strength, retention and sizing. Tappi J. 76 : 215 -217.
- Gould, J. M. 1985. Studies on the mechanism of alkaline peroxide delignification of agricultural residues. Biotechnology and Bioengineering. 27 : 225 - 231.
- Gustafson, R. R., Jimenez, G., Mc Kean, W. T. and Chian, D. 1989.  
The role of penetration and diffusion of nonuniform pulping of softwood chip.  
Tappi J. 72 : 163 -167.
- Hansen, S. K. and Balle, A. H. 1991. Production and Process for Preparing a Plant Fiber Product. U.S. Pat 5, 068, 121 Nov. 26, 1991.
- Liebergott, N., Lierop, B., Kovacs, T. and Nolin, A. 1990. A Comparison of the order of addition of chlorine and chlorinedioxide in the chlorination state. Tappi J. 73 : 207 - 213.
- Liebermann, B. E. 1994. Biodegradable Construction Material and Manufacturing Method. U. S. Pat 5, 354, 621 Oct. 11, 1994.
- Norinaga, F., Kiroshi, T., Yoshio, K., Ryukichi, M. and Masashi, N. 1977.  
Paper form Pineapple Fibers. Japan Kakai. Pat 77, 118, 004 Oct. 10, 1977.
- Radley, J. A. 1976. Industrial Uses of Starch and Its Derivatives.  
London : Applied Science Publishers Ltd.

Roff, W. J. and Scott, J. R. 1971. Starch and starch derivatives. In *Fibers, Films, Plastics and Rubbers Handbook of Common Polymers*. pp. 182 - 192. London : Butterworths & Co (Publishers) Ltd.

Sacharow, S. 1991. Austrain firm's biopolymer offers environmental option, *Paper Film and Foil Converter*. 65 : 58 - 59.

Saha, S. C., Ray, P. K., Pandey, S. N. and Goswami, K. 1991. IR and X - ray diffraction studies of raw and chemically treated pineapple leaf fiber (PALF). *J. of Applied Polymer Science*. 42 : 2767 - 2772.

Saha, S. C., Das, B. K., Ray, P. K. and Pandey, S. N. 1993. Some physical properties of pineapple leaf fiber (PALF) influencing its textile behavior. *J. of Applied Polymer Science*. 50 : 555 - 556.

Sen, S. K.. 1982. Method of Processing Pineapple Leaves for the Production of Fibers. U.K. Pat 832508 Apr. 28, 1982.

Zapsalis, C. and Beck, R. A. 1986. *Carbohydrates : Chemistry, Occurrence, and Food Applications*. Food Chemistry and Nutritional biochemistry. pp. 315 - 414. U. S. A. : John Wiley & Son, Inc.

## ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

#### 1. การวิเคราะห์หาผนังเซลล์ (Neutral Detergent Fiber, NDF)

##### หลักการ

ละลายผนังเซลล์ของพืชด้วยสารโซเดียมลอริลซัลเฟต แล้วกรอง เพื่อแยกเอาส่วน ผนังเซลล์ของพืชออกจากส่วนที่เป็นเซลล์ที่ละลายได้ ซึ่งละลายอยู่ในดีเทอร์เจนที่เป็นกลาง

##### อุปกรณ์

1. เครื่องสกัดเส้นใย
2. ปีกเกอร์ชนิดขอบกลมไม่มีปากสำหรับเท (berzelius beaker) ขนาด 600 ซีซี.
3. ชินเทอร์กลาส ครูซิเบิล (ชนิดเบอร์ 1)
4. เครื่องดูดสุญญากาศ
5. ขวดสำหรับกรอง ขนาด 1,000 ซีซี. (filling flask)
6. แท่งแก้วคน

##### สารเคมี

1. สารละลายนุทรอล ดีเทอร์เจนท์ (neutral detergent)
  - 1.1 ส่วนประกอบ
    1. น้ำกลั่น 1 ลิตร
    2. โซเดียมลอริลซัลเฟต, USP (sodium lauryl sulphate, USP) 30 กรัม
    3. ไดโซเดียมเอทิลีน ไดเอมีน - เตตระอะซิเตต (EDTA) ไดไฮเดรต คริสตัล รีเอเจนท์เกรด (disodium ethylene diamine - tetraacetate (EDTA) dihydrate crystal) 18.61 กรัม
    4. โซเดียมบอเรตเดคะไฮเดรต รีเอเจนท์เกรด (sodium borate decahydrate,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) 6.81 กรัม
    5. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต, แอนไฮดรัส, รีเอเจนท์เกรด (disodium hydrogen phosphate, anhydrous) 4.56 กรัม
    6. 2 - เอททอกซีเอทานอล เพียวริไฟด์ เกรด (เอทิลีน ไกลคอล โมโนเอทิล อีเธอร์) (2 - ethoxyethanol (ethylene glycol monoethyl ether)) 10 ซีซี.

## 1.2 วิธีเตรียม

1. สารละลาย A ชั่ง EDTA และ โซเดียมบอแรตเดคะไฮเดรต ใส่ลงในปิ๊งเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไปพอสมควร นำไปต้มจนกระทั่งละลายหมด
  2. สารละลาย B ละลายโซเดียมลอร์ริลซัลเฟต ด้วยน้ำกลั่น แล้วเติม 2-เอททอกซีเอทานอล ลงไป
  3. ผสมสารละลาย A และ B
  4. ละลายไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ด้วยน้ำกลั่น ต้มจนละลายหมดแล้ว เทผสมลงในสารละลาย A และ B ปรับปริมาตรของสารละลายที่ผสมได้นี้ ให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น
  5. สารละลายที่เตรียมได้นี้ จะมี pH 6.9 -7.1 ถ้าไม่ได้ตามนี้ ให้ปรับความเป็นกรด - ต่าง ด้วยไฮโดรคลอริก หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. เดคะไฮโดรเนฟธาซีน (decahydronaphthalene) รีเอเจนท์ เกรด หรือ ออกทิล แอลกอฮอล์ (octyl alcohol)
  3. อะซีโตน (ชนิดไม่มีสี และระเหยได้หมด)
  4. โซเดียมซัลไฟต์แอนไฮไดรรัส รีเอเจนท์เกรด (sodium sulfite anhydrous, reagent grade)

## วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง ประมาณ 0.5 - 1.0 กรัม ใส่ลงในปิ๊งเกอร์ชนิดขอบกลม ไม่มีปากสำหรับเท (ตัวอย่างต้องบดละเอียด โดยบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร)
2. เติมสารละลายบูทอลดีเทอร์เจนท์ (22 องศาเซลเซียส) จำนวน 100 ซีซี, เดคะไฮโดรเนฟธาซีน 2 ซีซี. (หรือ ออกทิลแอลกอฮอล์ 1 ซีซี.), โซเดียมซัลไฟต์ 0.5 กรัม ต้มให้เดือดภายใน 5 - 10 นาที แล้วลดความร้อนลงให้เหลือเพียงให้สารละลาย ในปิ๊งเกอร์เดือด (เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองล้น) ต้มเดือดนาน 60 นาที (ใช้วิธีต้มแบบ reflux)
3. กรองโดยใช้ซินเทอร์กลาส ครุชีเบลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ในการกรองให้เท สารละลายลงในซินเทอร์กลาส ครุชีเบล จนเต็มก่อนแล้วจึงค่อยๆ เพิ่มแรงดูดสุญญากาศ ที่ละน้อย ไม่ควรใช้แรงดูดสุญญากาศมากเกินไป ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในปิ๊งเกอร์ลงในซินเทอร์กลาส ครุชีเบล ด้วยน้ำร้อน (90 - 100 องศาเซลเซียส) ใช้น้ำให้น้อยที่สุดเท่าที่จะใช้ได้ ปิดเครื่องดูดสุญญากาศ เมื่อดูดน้ำออกหมดแล้ว
4. เช็ยก่อนเยื่อที่อยู่ในครุชีเบล ให้แตกออกโดยใช้แทงแก้ว แล้วล้างด้วยน้ำร้อน อีก 2 ครั้ง (ใช้แรงดูดสุญญากาศ ทำเหมือนข้อ 3)

5. ล้างเยื่อใยในครุชิลเบล ด้วยอะซิโตนอีก 2 ครั้ง (ใช้แรงดูดสุญญากาศ ทำเหมือนข้อ 3)
6. นำครุชิลเบลไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือตลอดคืน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้ว ชั่งน้ำหนัก

#### การคำนวณ

$$\% \text{ NDF (cell wall)} = (A - B) \times 100 / S$$

โดย A = น้ำหนักครุชิลเบล + NDF

B = น้ำหนักครุชิลเบล

S = น้ำหนักอาหาร

$$\% \text{ Cell contents} = 100 - \% \text{ NDF}$$

หมายเหตุ : - ข้อควรระวัง สารละลายดีเทอร์เจนท์ที่เตรียมให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม 1.33 เท่า นั้น ควรเก็บไว้ในที่เย็น 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการตกตะกอน

- ถ้าตัวอย่างเป็นชนิดที่มีแป้งอยู่ในปริมาณมาก จะทำให้เกิดปัญหาเวลากรอง (กรองไม่ค่อยออก) ดังนั้น ตัวอย่างชนิดนี้ จึงควรที่จะทำการย่อยแป้ง ให้เป็นน้ำตาลที่ละลายได้ง่ายก่อน โดยใช้เอนไซม์ อัลฟา - อะไมเลส ซึ่งมีวิธีทำ ดังนี้

#### วิธีเตรียม อัลฟา - อะไมเลส

1. เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ ซึ่งประกอบด้วยโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต แอนไฮดรัส 3.56 กรัม และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 7.22 กรัม ผสมกันแล้ว ปรับให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน และปรับให้มี pH 7.0

2. ผสมเอนไซม์ อัลฟา - อะไมเลส จากเชื้อจุลินทรีย์ (BDH Catalogue No. 39004) จำนวน 2 กรัม ใส่ลงในสารละลายบัฟเฟอร์ 500 ซีซี. คนให้ละลายโดยใช้เครื่องกวนแบบแมกเนติก (magnetic stirrer) นาน 20 นาที

#### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง จำนวน 1 กรัม (ตัวอย่างอาหารต้องบดให้ได้ขนาด 1 มิลลิเมตร) ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 600 ซีซี. เติมสารละลายเอนไซม์ (ที่เตรียมไว้) จำนวน 20 ซีซี. ปิดด้วยกระดาษพิก้า นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน 38 องศาเซลเซียส ตลอดคืน

2. ยกปีกเกอร์ที่มีตัวอย่างออกจากตู้ปัม เติมสารละลายยูทอรอล - ดีเทอร์เจนท์ ที่มีความเข้มข้น 1.33 เท่าของที่ใช้กับอาหารปกติ จำนวน 75 ซีซี. หยดเดคะไลน์ (decaline) 2 - 3 หยด และใส่โซเดียมซัลไฟต์ 0.5 กรัม และให้ทำต่อ เช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์หา NDF ที่กล่าวไว้แล้ว

## 2. การวิเคราะห์หาแอซิดดีเทอร์เจนท์ไฟเบอร์ (Acid Detergent Fiber, ADF)

### หลักการ

ส่วนของส่วนประกอบภายในเซลล์และเยื่อเซลล์ที่ละลายในกรด จะถูกย่อยออกไปด้วยสารละลายแอซิดดีเทอร์เจนท์ (acid detergent) ส่วนที่เหลืออยู่ คือ ADF ซึ่งประกอบไปด้วยเซลลูโลส, ลิกนิน เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นยังมีสารที่อยู่ในผนังเซลล์อีกเล็กน้อย เช่น คิวติน และ ซิลิกา

อุปกรณ์ เช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์หา NDF

### สารเคมี

#### 1. สารละลายแอซิดดีเทอร์เจนท์

##### 1.1 ส่วนประกอบ

1. กรดซัลฟูริก เข้มข้น (sulfuric acid, conc) 49.04 กรัม
2. เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ เกรดวิเคราะห์ (cetyl trimethyl ammonium bromide, CTAB) 20 กรัม

##### 1.2 วิธีเตรียม

1. ชั่งกรดซัลฟูริก จำนวน 49.04 กรัม แล้วปรับให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น สารละลายที่เตรียมได้นี้ ควรมีความเข้มข้น 1 N (ตรวจสอบโดยไตเตรทกับ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน) เติม CTAB ลงไป 20 กรัม ผสมให้เข้ากัน
2. เดคะไฮโดรเนฟธาไลน์ หรือ ออกทิลแอลกอฮอล์
3. อะซีโตน (ชนิดไม่มีสี และระเหยได้หมด)
4. n - เฮกเซน เกรดวิเคราะห์

## วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในปิกเกอร์
2. เติมสารละลายแอสิดดีเทอร์เจนท์ 100 ซีซี. และเคคไฮโดรเนฟราซีน 2 ซีซี. (หรือ ออกทิล แอลกอฮอล์ 1 ซีซี.) ต้มให้เดือด ภายใน 5 - 10 นาที ลดความร้อนลง ต้ม (reflux) ให้เดือดต่อไปอีก 60 นาที
3. กรองผ่านซินเทอร์กลาส ครุชิล ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (กรองโดยวิธีเดียวกับการหา NDF) ล้างตัวอย่างที่กรองได้ ด้วยน้ำร้อนอีก 2 ครั้ง
4. ล้างด้วยอะซีโตน จนกระทั่งไม่มีสีออกมาอีก ในขณะที่ล้างให้ใช้แท่งแก้วเขี่ยอาหารที่อยู่ในซินเทอร์กลาส ครุชิล ให้แตกกระจายออก เพื่อสารละลายจะได้สัมผัสกับตัวอย่างได้ทั่วถึง
5. ในกรณีที่มีตัวอย่างยังเกาะกันเป็นก้อน อาจใช้แฮกเซนล้างอีกครั้ง แต่การใช้แฮกเซน ควรจะใช้เมื่อในครุชิลยังมีอะซีโตนเหลืออยู่ หลังจากนั้นทำให้แห้ง
6. นำครุชิล ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือตลอดคืน แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (ตัวอย่างที่ได้นี้ สามารถนำไปวิเคราะห์หาลิกนินได้)

## การคำนวณ

$$\% \text{ ADF} = (A - B) \times 100 / S$$

$$\text{โดย } A = \text{น้ำหนักครุชิล} + \text{ADF}$$

$$B = \text{น้ำหนักครุชิล}$$

$$S = \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$$

$$\% \text{ เสมิเซลลูโลส} = \% \text{ NDF} - \% \text{ ADF}$$

หมายเหตุ : ถ้าไม่วิเคราะห์หาลิกนิน (acid detergent lignin, ADL) ให้นำครุชิลไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เพื่อหาค่าแฉะที่ปราศจาก ADF (Ash - free ADF)



### 3. การวิเคราะห์หาลิแกนด์

#### หลักการ

ลิแกนด์จะถูกออกซิไดซ์ ด้วยสารละลายแอซิดิกแอซิด บัฟเฟอร์ โปตัสเซียม - เปอร์มันกาเนต โดยมีเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{3+}$ ) และซิลเวอร์ไอออน ( $Ag^+$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนแมงกานีส และไอออนออกไซด์ ที่ตกค้างอยู่จะถูกละลายด้วยสารละลายที่เป็นแอลกอฮอล์ของกรดออกซาลิก และไฮโดรคลอริก (alcoholic solution of oxalic and hydrochloric acids) ส่วนที่เหลือ คือ เซลลูโลส และเกลือแร่ที่ไม่ละลาย คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ลิแกนด์ได้จากน้ำหนักที่หายไป

#### สารเคมี

1. สารละลายแอซิดดีเทอร์เจนท์
2. เดคะไฮโดรเจนเนฟทาลีน
3. อะซีโตน
4. n - เฮกเซน
5. โปตัสเซียมเปอร์มันกาเนตอิ่มตัว (saturated potassium permanganate)

##### 5.1 ส่วนประกอบ

1. น้ำกลั่น 1 ลิตร
2. โปตัสเซียมเปอร์มันกาเนต 50 กรัม
3. ซิลเวอร์ซัลเฟต 0.05 กรัม

##### 5.2 วิธีเตรียม

ละลายโปตัสเซียมเปอร์มันกาเนต และซิลเวอร์ซัลเฟต ในน้ำกลั่น ระวังอย่า

ให้ถูกแสง (เก็บไว้ในขวดสีชา)

### 6. สารละลายลิแกนด์บัฟเฟอร์

#### 6.1 ส่วนประกอบ

1. เฟอร์ริกไนเตรตโนนไฮเดรต (ferric nitrate nonahydrate) 6 กรัม
2. ซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate) 0.15 กรัม
3. แอซิดิกแอซิด, กลาเซียล (acetic acid, glacial) 500 ซีซี.
4. โปตัสเซียมอะซีเตต (potassium acetate) 5 กรัม
5. เทอร์เชียรีบิวทิลแอลกอฮอล์ (tertiary butyl alcohol) 400 ซีซี.
6. น้ำกลั่น 100 ซีซี.

## 6.2 วิธีเตรียม

ละลายเฟอร์ริกไนเตรตในอะไซด์เรต และซิลเวอร์ไนเตรต ในน้ำกลั่น แล้วนำไปผสมกับกรดแอซิดิก และโปตัสเซียมแอไซด์เรต เติมหอรัเทียรีบิวทิลแอลกอฮอล์ ผสมให้เข้ากัน (กรด และสารละลายที่ใช้ต้องผ่านการทดสอบด้วยไดโครเมต)

## 7. สารละลายเปอร์มังกาเนตผสม (combined permanganate)

ผสมสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตอิมตัว กับ สารละลาย ลิกนินบัพเฟอร์ ในอัตราส่วน 2 : 1 โดยปริมาตร ก่อนนำมาใช้ สารละลายที่เหลือยังคง ใช้ อาจเก็บเอาไว้ได้ 1 สัปดาห์ ในตู้เย็น โดยเก็บไว้ในขวดสีชาไม่ให้ถูกแสง สารละลาย ที่ยังคงใช้ได้จะมีสีม่วง และไม่มีตะกอน ส่วนสารละลายที่เสื่อมแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีแดง

## 8. สารละลายดีมินอรัลไรซิง (demineralizing solution)

### 8.1 ส่วนประกอบ

1. ออกซาริกแอซิดไดไฮเดรต 50 กรัม
2. 95 % เอทานอล 700 ซีซี.
3. ไฮโดรคลอริกแอซิดเข้มข้น 50 ซีซี.
4. น้ำกลั่น 250 ซีซี.

### 8.2 วิธีเตรียม

ละลายออกซาริกแอซิดในเอทานอล เติมหไฮโดรคลอริก และน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน

9. เอทานอล 80% (ผสม 95 % เอทานอล จำนวน 845 ซีซี. ในน้ำกลั่น 155 ซีซี.)
10. ไฮโดรโบรมิกแอซิด

## วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างที่แห้งและบดละเอียด (ผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร) ประมาณ 1 กรัม (ถ้าตัวอย่างมีลิกนิน สูง 15 % หรือมากกว่าให้ใช้เพียง 0.5 กรัม)
2. ทำการวิเคราะห์ขั้นต้น เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หา ADF
3. วางซินเทอร์กลาส ครุชเชิล ที่มี ADF ลงในภาดเคลือบที่มีน้ำเย็นอยู่ ประมาณ 1 ชั่วโมง (ระวังอย่าให้เยื่อใยในซินเทอร์กลาส ครุชเชิลเปียกน้ำ)
4. เติมสารละลายเปอร์มังกาเนตผสม จำนวน 25 ซีซี. ลงในซินเทอร์กลาส ครุชเชิล ไหลออกเร็วเกินไป ให้แห้งแก้วคนสารละลายในซินเทอร์กลาส ครุชเชิล

5. วางซินเทอร์กลาส ครุชิลไว้ใต้อาถเคลือบที่อุณหภูมิ 20 - 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 90 ± 10 นาที (อาจเติมสารละลายได้อีกถ้าจำเป็น) สีของสารละลาย ต้องเป็นสีม่วงตลอดเวลา

6. นำซินเทอร์กลาส ครุชิลไปดูดสารละลายออกให้หมด โดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศ (ห้ามล้างด้วยน้ำ) นำครุชิลมาวางลงในอาถเคลือบที่สะอาด (ไม่มีน้ำ) เติมสารละลายดีมีเนอรัลโรซิง ลงไปประมาณครึ่งหนึ่งของซินเทอร์กลาส ครุชิล (จะวางอย่าให้สารละลายนี้เป็นฟอกหกออกมา) แช่ไว้นาน 5 นาที จึงดูดสารละลายนี้ ออกให้แห้งแล้วเติมสารละลายนี้ลงไปอีก ทำซ้ำเช่นเดียวกับครั้งแรก หากสารละลายยังเป็นสีน้ำตาลแก่ ให้ล้างด้านข้างของซินเทอร์กลาส ครุชิล ด้วยสารละลายนี้โดยใช้ขวดน้ำกลั่นที่พันเป็นฝอยได้ และล้างเยื่อใย ในซินเทอร์กลาส ครุชิลจนขาว (เวลาที่ใช้ในการทำขั้นตอนนี้ ประมาณ 20 - 30 นาที)

7. ล้างเยื่อใย ในซินเทอร์กลาส ครุชิลด้วย 80 % เอทานอล โดยเติมเอทานอลให้เต็มแล้วจึงดูดให้แห้ง ทำ 2 ครั้ง

8. ล้างด้วยอะซีโตน อีก 2 ครั้ง ดูดให้แห้ง

9. นำซินเทอร์กลาส ครุชิล ไปอบในตู้อบ ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักที่หายไป จาก ADF คือ น้ำหนักของลิกนิน)

การคำนวณ

$$\% \text{ Lignin} = (A - C) \times 100 / S$$

โดย A = น้ำหนักครุชิล + ADF

B = น้ำหนักครุชิล + เซลลูโลส + เกลือแร่ที่ไม่ละลาย

S = น้ำหนักตัวอย่าง

#### 4. การวิเคราะห์หาเซลลูโลส

กระทำต่อจากข้อ 9. ในวิธีการวิเคราะห์ลิกนิน

10. นำซินเทอร์กลาส ครุชิล (จากข้อ 9.) ไปเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ทำให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่หายไป คือ น้ำหนักของเซลลูโลส

การคำนวณ

$$\% \text{ เซลลูโลส} = (C - D) \times 100 / S$$

โดย C = น้ำหนักครุชิล + เซลลูโลส + เกลือแร่ที่ไม่ละลาย

D = น้ำหนักครุชิล + เกลือแร่ที่ไม่ละลาย

S = น้ำหนักอาหาร

หมายเหตุ : ข้อควรระวัง

1. ตัวอย่างที่มีลิกนินสูง ต้องใช้สารละลายเปอร์มังกาเนตมาก ซึ่งจะสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของสารละลายในครุชิล ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาล แสดงว่า ต้องเติมสารละลายใหม่ ในกรณีที่ครุชิลยังมีสารละลายอยู่เต็มให้ใช้เครื่องดูดสุญญากาศดูดออกแล้วจึงเติมสารละลายลงไปใหม่

2. หลังจากแช่ในสารละลายดีมีเนอรัลโรซิง แล้ว เยื่อใยในครุชิล ยังเป็นสีเหลืองอยู่ แสดงว่า ลิกนินถูกละลายออกไปไม่หมด ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินอยู่สูงเท่านั้น

3. สารควินที่มีอยู่บริเวณผิวหนังด้านนอกของเมล็ดพืช หรือ อยู่ในส่วนอื่นของพืช ไม่ถูกออกซิไดซ์ด้วยเปอร์มังกาเนต ดังนั้นจึงไม่ถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ สารควินที่ตกค้างอยู่ จะพบปนอยู่กับเยื่อใยของเซลลูโลส

4. ในกรณีของตัวอย่างที่เป็นหญ้าอ่อน ให้ระวังการไหลของสารละลายเปอร์มังกาเนต ซึ่งจะไหลเร็วมาก ในตัวอย่างแบบนี้เติมสารละลายเพียงครั้งเดียวก็พอ เพราะลิกนินถูกสกัดออกได้เร็วอยู่แล้ว และหากไม่ระวังอาจทำให้สารที่เป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส ถูกสกัดออกไปด้วย วิธีการลดการไหลออกของสารละลายในซินเทอร์กลาส ครุชิล ทำได้โดยการปรับระดับน้ำในภาดให้สูงขึ้น ในระดับเดียวกับสารละลายในครุชิล

5. การวิเคราะห์กัม โดยวิธีดัดแปลง จากวิธีของ A.O.A.C., 1980)

เป็นการตรวจสอบ ว่า ตัวอย่างมีกัมเป็นองค์ประกอบหรือไม่

สารเคมี

1. ไดออกแซน (dioxane) หรือ ไดเอทิลีนออกไซด์ (diethylene oxide) เกรดวิเคราะห์
2. 50 % ไตรคลอโรอะซิติกแอซิด (50 % trichloroacetic acid, TCA)
3. แอลกอฮอล์
4. สารละลายไซเตียมคลอไรด์อิ่มตัว
5. อีเธอร์
6. กรดไฮโดรคลอริก ผสมน้ำ อัตราส่วน 1 : 1

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างที่มีขนาด 1 มิลลิเมตร จำนวน 50 กรัม เติมไดออกแซน 150 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรง 2 นาที นำเข้าเครื่องเหวี่ยง 1800 รอบ/นาที นาน 10 นาที แยกสารละลาย ส่วนใสออกมา เติมอีเธอร์ 30 มิลลิลิตร และเขย่าอย่างรุนแรง เพื่อให้ตะกอนแยกตัว หรืออาจใช้แท่งแก้วคน จากนั้นเทอีเธอร์ออก แล้วล้างตะกอนด้วยอีเธอร์ใหม่อีกครั้ง แล้วจึงนำไปวางในอ่างน้ำให้ความร้อน เพื่อระเหยอีเธอร์ที่หลงเหลือ แล้วจึงค่อยเติมน้ำร้อน อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 30 มิลลิลิตร. ทำการเขย่าอย่างรุนแรง ภายใน 2 นาที เพื่อให้ได้อยู่ในรูปสารละลาย

2. เติม 50 % TCA 20 มิลลิลิตร แล้วอุ่นสารละลายจนอุณหภูมิถึง 60 องศาเซลเซียส เขย่า 1 นาที แล้วเข้าเครื่องเหวี่ยง 1200 รอบ/นาที นาน 10 นาที จากนั้นกรอง สารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ใหญ่สุด ทั้งส่วนที่ตกค้างบนกระดาษกรอง เติมแอลกอฮอล์ และ สารละลายไซเตียมคลอไรด์อิ่มตัว 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลายส่วนใส ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน ถ้าไม่พบตะกอน ให้ตั้งทิ้งไว้ค้างคืนอีก หรือ นำเข้าเครื่องเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบ/นาที นาน 10 นาที หากยังไม่พบตะกอนอีก แสดงว่า ตัวอย่าง นั้นไม่มีกัม ถ้าพบตะกอน ให้เทส่วนใสทิ้ง นำส่วนกัมที่ตกตะกอนมาล้างให้สะอาด ด้วยน้ำร้อน 80 องศาเซลเซียส 30 มิลลิลิตร และเขย่าอย่างรุนแรง เพื่อให้กัมกระจายตัว จากนั้นจึงเติม แอลกอฮอล์, สารละลายไซเตียมคลอไรด์อิ่มตัว 1 มิลลิลิตร และหยดกรดไฮโดรคลอริกที่ผสม น้ำ อัตราส่วน 1:1 จำนวน 1 หยด ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน แล้วจึงนำเข้า เครื่องเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบ/นาที นาน 10 นาที เทสารละลายส่วนใสทิ้ง นำตะกอนมาล้างให้สะอาดอีกครั้ง ก็จะได้กัม

ภาคผนวก ข. การตรวจสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ โดยวิธีดัดแปลง จากวิธีคอบป์ ตาม  
มาตรฐาน ISO 535 - 1976.

#### ความหมาย

การดูดซึมน้ำของกระดาษ หมายถึง ปริมาณน้ำเป็นกรัมที่แผ่นทดสอบ ดูดซึมไว้ใน  
พื้นที่ 1 ตารางเมตร ภายในเวลาที่กำหนดให้ เป็นการทดสอบว่า ของเหลว เช่น น้ำ  
กาวเหลว หมึกพิมพ์ สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อกระดาษได้ดีเพียงไร

#### หลักการ

ชั่งน้ำหนักถาดตัวอย่าง ทั้งที่แห้งก่อนและหลังจากทดสอบ ใส่น้ำ

#### วัสดุ และอุปกรณ์

1. น้ำกลั่น หรือน้ำบริสุทธิ์ ที่มีอุณหภูมิ  $27 \pm 2$  องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิห้อง
2. กระดาษซับน้ำ มีน้ำหนัก 200 - 250 กรัม/ตารางเมตร มีขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ

12.5 x 12.5 เซนติเมตร

3. ลูกตุ้มหนัก 10 กิโลกรัม
4. แผ่นไม้ขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ 10.5 x 10.5 เซนติเมตร
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 3 ตำแหน่ง
6. นาฬิกาจับเวลา
7. กระบอกตวง

#### วิธีการ

1. ปรับสภาพตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ  $27 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์  
ร้อยละ  $65 \pm 2$  นาน 12 ชั่วโมง

2. ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น ของถาดตัวอย่าง ( $W_1$ ) อย่างรวดเร็ว

3. เริ่มจับเวลา เมื่อเทน้ำกลั่น 50 ซีซี. ลงไปในถาดอย่างรวดเร็ว ทั้งใวนาน  
จนครบ 4 นาที 45 วินาที รีบเทน้ำออก นำกระดาษซับน้ำวางลงบนถาด ก้อนทับด้วย  
แผ่นไม้ที่กดทับด้วยลูกตุ้ม กดทับทั้งใวนาน 15 วินาที จึงยกลูกตุ้ม แผ่นไม้และกระดาษซับ  
ออกจากถาด

4. นำถาดที่ผ่านการทดสอบ ไปชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) อย่างรวดเร็ว

## การคำนวณ

$$\text{การดูดซึมน้ำของถาด} = (W_1 - W_2) / A$$

โดย  $W_1$  = น้ำหนักเริ่มต้นของถาดตัวอย่าง

$W_2$  = น้ำหนักถาดหลังทดสอบใส่น้ำ

$A$  = พื้นที่ผิวถาดที่สัมผัสน้ำ

หมายเหตุ : 1. ความหนาของแผ่นไม้ ต้องหนากว่าความสูงตรงของถาด เวลาวางลูกตุ้มหนัก 10 กิโลกรัม จะไม่สัมผัสกับขอบถาด

2. น้ำหนักที่กดลงบนกระดาษซับน้ำ เป็นน้ำหนักของลูกตุ้ม และแผ่นไม้ มีน้ำหนัก อยู่ในช่วง  $10 \pm 0.5$  กิโลกรัม ซึ่งไม่เกินข้อกำหนดของมาตรฐาน

3. ภายหลังจากเวลา 5 นาที ยกลูกตุ้ม แผ่นไม้ และกระดาษออก อาจมีน้ำหลงเหลืออยู่ ให้นำกระดาษซับแผ่นเดียวกับที่กำลังทดสอบอยู่ ซับน้ำส่วนที่หลงเหลือด้วยแรงเท่าๆ กัน

4. อุณหภูมิ ที่ใช้ทดสอบ ตลอดเวลา 5 นาที เป็นอุณหภูมิห้อง

## ภาคผนวก ค. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 1 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ ปริมาณผลผลิตเส้นใย  
ที่ผ่านสภาวะในการสกัด ต่างๆ

SV	DF	SS	MS	F
สิ่งทดลอง	26	61.468	2.364	5.45 **
เวลา (H)	2	12.483	6.241	14.39 **
โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)	2	5.693	2.847	6.56 **
อุณหภูมิ (T)	2	17.047	8.523	19.66 **
H x NaOH	4	4.622	1.155	2.66 *
H x T	4	5.664	1.416	3.27 *
NaOH x T	4	6.57	1.642	3.79 **
H x NaOH x T	8	9.390	1.174	2.71 *
Error	54	23.417	0.434	

หมายเหตุ CV = 11.9 %

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ตารางภาคผนวกที่ 2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ ปริมาณเซลล์โลสของเส้นใย  
ที่ผ่านสภาวะในการสกัด ต่างๆ

SV	DF	SS	MS	F
สิ่งทดลอง	26	531.212	20.431	3.61 **
เวลา (H)	2	68.351	34.176	6.04 **
โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)	2	118.047	59.023	10.44 **
อุณหภูมิ (T)	2	102.422	51.212	9.06 **
H x NaOH	4	109.818	27.454	4.86 *
H x T	4	32.779	8.195	1.45 ns
NaOH x T	4	52.823	13.206	2.34 ns
H x NaOH x T	8	46.972	5.871	1.04 ns
Error	54	305.323	5.654	

หมายเหตุ CV = 2.7 %

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P < 0.01$ )

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ ลิกนินของเส้นใย  
ที่ผ่านสภาวะในการสกัด ต่างๆ

SV	DF	SS	MS	F
สิ่งทดลอง	26	15.434	0.594	4.58 **
เวลา (H)	2	4.121	2.060	15.89 **
โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)	2	0.161	0.081	<1
อุณหภูมิ (T)	2	0.649	0.324	2.50 ns
H x NaOH	4	1.782	0.446	3.44 *
H x T	4	4.119	1.030	7.94 **
NaOH x T	4	2.048	0.512	3.95 **
H x NaOH x T	8	2.553	0.319	2.46 *
Error	54	7.001	0.130	

หมายเหตุ CV = 13.4 %

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P < 0.01$ )

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 4 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ ปริมาณผลผลิตเส้นใยฟอกสี  
ที่สภาวะต่างๆ

SV	DF	SS	MS	F
สิ่งทดลอง	35	39.954	1.412	<1
ปริมาตร (V)	1	0.391	0.391	<1
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (C)	1	3.836	3.836	3.36 ns
เวลา (H)	2	0.810	0.405	<1
อุณหภูมิ (T)	2	0.690	0.345	<1
V x C	1	0.639	0.639	<1
V x H	2	2.197	1.099	<1
V x T	2	1.514	0.757	<1
C x H	2	3.156	1.578	1.38 ns
C x T	2	2.546	1.273	1.11 ns
H x T	4	9.479	2.370	2.07 ns
V x C x H	2	0.010	0.005	<1
V x C x T	2	5.233	2.616	2.29 ns
V x H x T	4	2.614	0.654	<1
C x H x T	4	0.781	0.195	<1
V x C x H x T	4	6.058	1.514	1.33 ns
Error	72	82.249	1.142	

หมายเหตุ CV = 1.1 %

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตเส้นใยฟอกสี ที่สภาวะต่างๆ

เติม H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ในปริมาณ [% (โดยน้ำหนักเส้นใย)]	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้น H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> [% (นน./นน.)]	
			35	50
5	1	60	98.2953 a	95.5957 b
		70	97.6727 a	98.5260 a
		80	97.5317 a	97.4427 a
	2	60	98.1530 a	97.6203 a
		70	97.9577 a	97.6027 a
		80	98.3486 a	98.4017 a
	3	60	97.8330 a	97.5493 a
		70	96.5193 a	97.4073 a
		80	98.0823 a	97.7803 a
8	1	60	97.6913 a	97.7447 a
		70	98.9170 a	98.5613 a
		80	97.8513 a	97.2827 a
	2	60	98.1527 a	98.0643 a
		70	97.6380 a	98.1353 a
		80	97.9400 a	97.6203 a
	3	60	97.7623 a	98.6860 a
		70	98.5970 a	97.8513 a
		80	97.8510 a	98.7570 a

หมายเหตุ อักขรในแนวตั้งที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ  
(P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 6 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่า L ของเส้นใยฟอกสี  
ที่สภาวะต่างๆ

SV	DF	SS	MS	F
สิ่งทดลอง	35	103.661	2.962	2.31 **
ปริมาตร (V)	1	0.213	0.213	<1
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (C)	1	0.363	0.363	<1
เวลา (H)	2	2.733	1.366	1.07 ns
อุณหภูมิ (T)	2	14.279	7.109	5.55 **
V x C	1	0.572	0.572	<1
V x H	2	2.594	1.297	1.01 ns
V x T	2	2.751	1.375	1.07 ns
C x H	2	11.107	5.553	4.34 *
C x T	2	5.753	2.876	2.25 ns
H x T	4	21.490	5.372	4.20 **
V x C x H	2	5.267	2.633	2.06 ns
V x C x T	2	13.405	6.703	5.24 **
V x H x T	4	3.201	0.800	<1
C x H x T	4	14.959	3.740	2.92 *
V x C x H x T	4	5.034	1.258	<1
Error	72	92.185	1.280	

หมายเหตุ CV = 1.5 %

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 7 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่า a ของเส้นใยฟอกสี ที่สภาวะต่างๆ

SV	DF	SS	MS	F
สิ่งทดลอง	35	3.146	0.090	2.11 **
ปริมาตร (V)	1	0.017	0.017	<1
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (C)	1	0.010	0.010	<1
เวลา (H)	2	0.431	0.215	5.06 **
อุณหภูมิ (T)	2	0.317	0.158	3.72 *
V x C	1	0.002	0.002	<1
V x H	2	0.011	0.005	<1.
V x T	2	0.010	0.005	<1
C x H	2	0.279	0.139	3.27 *
C x T	2	0.062	0.031	<1
H x T	4	0.854	0.213	5.02 **
V x C x H	2	0.241	0.121	2.83 ns
V x C x T	2	0.148	0.074	1.74 ns
V x H x T	4	0.128	0.032	<1
C x H x T	4	0.302	0.075	1.78 ns
V x C x H x T	4	0.334	0.084	1.96 ns
Error	72	3.064	0.043	

หมายเหตุ CV = 60.1 %

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P < 0.01$ )

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 8 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่า b ของเส้นใยฟอกสี  
ที่สภาวะต่างๆ

SV	DF	SS	MS	F
สิ่งทดลอง	35	25.537	0.730	4.19 **
ปริมาตร (V)	1	0.020	0.020	<1
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (C) 1	1	0.012	0.012	<1
เวลา (H)	2	1.997	0.999	5.73 **
อุณหภูมิ (T)	2	14.401	7.200	41.33 **
V x C	1	0.189	0.189	1.09 ns
V x H	2	0.051	0.026	<1
V x T	2	0.216	0.108	<1
C x H	2	1.067	0.534	3.06 ns
C x T	2	0.063	0.032	<1
H x T	4	1.401	0.350	2.01 ns
V x C x H	2	0.921	0.460	2.64 ns
V x C x T	2	0.079	0.039	<1
V x H x T	4	0.389	0.097	<1
C x H x T	4	1.879	0.470	2.70 *
V x C x H x T	4	2.853	0.713	4.09 **
Error	72	12.543	0.174	

หมายเหตุ CV = 3.1 %

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 9 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่าการดูดซึมน้ำ  
ของถาดที่ผลิตจากสูตรต่างๆ

SV	DF	SS	MS	F
สิ่งทดลอง	11	0.00189	0.00017	18.16 **
ปริมาณสารยึดเหนี่ยว (P)	1	0.00008	0.00008	8.15 *
ชนิดสารยึดเหนี่ยว (B)	2	0.00128	0.00064	67.85 **
ชนิดแป้ง (S)	1	0.00010	0.00010	10.58 **
P x B	2	0.00006	0.00003	3.26 ns
P x S	1	0.00000	0.00000	<1
B x S	2	0.00036	0.00018	19.30 **
P x B x S	2	0.00000	0.00000	<1
Error	12	0.00011	0.00000	

หมายเหตุ CV = 8.5 %

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P < 0.01$ )

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ )



ตารางภาคผนวกที่ 10 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่าการต้านแรงดัดโค้ง  
ของถาดที่ผลิตจากสูตรต่างๆ

SV	DF	SS	MS	F
สิ่งทดลอง	11	7298432.333	663493.758	6.81 **
ปริมาณสารยึดเหนี่ยว (P) 1	1	474890.667	474890.667	4.87 *
ชนิดสารยึดเหนี่ยว (B) 2	2	39152.333	19576.167	<1
ชนิดแป้ง (S)	1	4621792.667	4621792.667	47.43 **
P x B	2	35786.333	17893.167	<1
P x S	1	1092266.667	1092266.667	11.21 **
B x S	2	692232.333	346116.167	3.55 ns
P x B x S	2	342310.333	171155.167	1.76 ns
Error	12	1169256.000	97438.000	

หมายเหตุ CV = 8.5 %

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P < 0.01$ )

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 11 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่าการต้านแรงกด  
ของถาดที่ผลิตจากสูตรต่างๆ

SV	DF	SS	MS	F
สิ่งทดลอง	11	39802798.0	3618436.18	9.99 **
ปริมาณสารยึดเหนี่ยว (P)	1	1583120.67	1583120.18	4.37 ns
ชนิดสารยึดเหนี่ยว (B)	2	244972.00	122486.00	<1
ชนิดแป้ง (S)	1	34867882.67	34867882.67	96.31 **
P x B	2	620058.33	310029.17	<1
P x S	1	430944.00	430944.00	1.19 ns
B x S	2	1389889.33	332965.50	1.93 ns
P x B x S	2	665931.00	332965.50	<1
Error	12	4344602.00	362050.17	

หมายเหตุ CV = 8.5 %

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P < 0.01$ )

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวแสงสุรีย์ โรจน์สกุลวงศ์  
วัน เดือน ปี เกิด 3 ตุลาคม 2514  
วุฒิการศึกษา  
วุฒิ ชื่อสถาบัน ปีที่สำเร็จการศึกษา  
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2536