



การผลิตถาดจากเส้นใยของเปลือกโกโก้
Production of Trays from Cocoa Husk Fiber

นพรัตน์ อุทัยพันธ์
Nopparat Uthiphan

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Master of Science Thesis in Food Technology
Prince of Songkla University

๗ 2540

เลขหมู่	TS2301	๗๓๔	๖๖๑๐	๒.๒	(1)
Bib Key	205002				

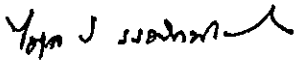
ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตถาดจากเส้นใยของเปลือกโกโก้

ผู้เขียน นางสาว นพรัตน์ อุทัยพันธ์

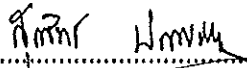
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร

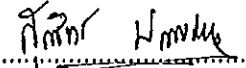
คณะกรรมการที่ปรึกษา

คณะกรรมการสอบ

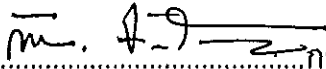

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ไพฑูริย์ ธรรมรัตน์วาสิก)


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ไพฑูริย์ ธรรมรัตน์วาสิก)

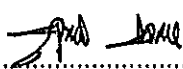

.....กรรมการ
(อาจารย์สุรสิทธิ์ ประสารปราน)


.....กรรมการ
(อาจารย์สุรสิทธิ์ ประสารปราน)

..... (ลาศึกษาต่อ)กรรมการ
(อาจารย์พิทยา อุดลยธรรม)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันท์พรหมมา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนทร ไสตทิพันธ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตถาดจากเส้นใยของเปลือกโกโก้
ผู้เขียน นางสาว นพรัตน์ อุทัยพันธ์
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

เปลือกโกโก้ ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 82.77 (น้ำหนักเปียก) เยื่อใย ลิกนิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 26.12, 11.74, 23.13 และ 6.40 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ เมื่อนำเปลือกโกโก้ไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิห้อง สามารถแยกกะลาออกจากเปลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพดีที่สุด ในเวลาประมาณ 6 - 7 ชั่วโมง เมื่อนำเปลือกที่แยกกะลาออกแล้ว มาต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที จะได้เส้นใยสีน้ำตาล ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 62.19 และลิกนินร้อยละ 27.08 (น้ำหนักแห้ง) และทำการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้เส้นใยสีขาวอมเหลือง ที่มีค่า L , a และ b เท่ากับ 75.427, -3.320 และ 17.707 ตามลำดับ และมีความสามารถในการดูดซับน้ำ 2.08 กรัม น้ำต่อกรัมเส้นใย เมื่อนำเส้นใยที่ได้มาผสมกับแป้งมันธรรมดา แป้งมันดัดแปร น้ำ และสารยึดเหนี่ยว คือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลส ในอัตราส่วนต่าง ๆ จากนั้นขึ้นรูปเป็นถาดด้วยแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส ให้ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 5 นาที และที่ความดัน 0 ปอนด์ต่อตารางนิ้วอีก 15 นาที จะได้ถาดที่มีลักษณะคล้ายถาดโฟม เมื่อนำไปวัดค่าการต้านแรงดัดโค้ง การต้านแรงกด และการดูดซึมน้ำ พบว่า ชนิดของแป้งและสารยึดเหนี่ยวมีผลต่อสมบัติทางกายภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยถาดจากเส้นใยผสมแป้งมันดัดแปรและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้ง เป็นถาดที่มีความแข็งแรงมากที่สุด

และเมื่อทดลองบรรจุฟุ้งตัดแต่งลงในถาดและห่อด้วยฟิล์มพลาสติก เก็บไว้ที่ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน พบว่า ถาดดูดซึมน้ำจากฟุ้งไว้ ทำให้ถาดนิ่มจนเสียรูปทรง และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ในขณะที่ฟุ้งมีน้ำหนักลดลง ผิวแห้งและมีสีน้ำตาล

Thesis Title Production of Trays from Cocoa Husk Fiber
Author Miss Nopparat Uthiphan
Major Program Food Technology
Academic Year 1996

Abstract

Cocoa husk is comprised of 82.77 % water (on wet basis), fiber, lignin, cellulose and hemicellulose, was 26.12, 11.74, 23.13 and 6.40 % (on dry basis) respectively. The condition suitable to separate the shell from the cocoa husk was found to be to soak the fresh husk in 30 % sodium hydroxide solution at room temperature for about 6 - 7 hours. The husk was then placed in 20 % sodium hydroxide solution at 121 °C with a pressure of 15 pounds per inch² for 30 minutes. After this step the fiber was brown and comprised of 62.19 % cellulose and 27.08 % lignin (on dry basis). The next step was to bleach this fiber with 15 % hydrogen peroxide solution at 75 °C for 2 hours. The result was that the bleached fiber was turned white - yellow. The best bright color in terms of L, a and b was 75.427, -3.320 and 17.707 respectively. The water holding capacity was 2.08 g water per g fiber. The fiber then was mixed with tapioca starch, modified tapioca starch, water and binders such as ; carboxymethylcellulose, hydroxypropylmethylcellulose and microcrystallinecellulose. The mixture was pressed mould which heated up to 120 °C at a pressure of 8,000 pounds per inch² for 5 minutes and 0 pounds per inch² for 15 minutes. The physical properties of the trays, namely, bending strength, compression strength and water adsorbtion,

found that trays from a mixture of fiber, modified tapioca starch, water and 10% carboxymethylcellulose was the strongest and most suitable for use in packaging. Pieces of sliced guava were packed in a tray, wrapped with plastic film and stored at 8-10 °C for 10 days. It was found that the guava was lighter, had drier skin and browning had occurred because of a loss of water from transpiration and absorption by the tray. The tray was heavier, softened and had lost shape, due to its absorption water from the fruit.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก ประธานกรรมการที่ปรึกษา อ.สุรสิทธิ์ ประสารปราน กรรมการที่ปรึกษา ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ในระหว่างทำการวิจัย ตลอดจน การตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณ อ. พิทยา อุดลยธรรม กรรมการผู้แทนคณะอุตสาหกรรมเกษตร รศ. ดร. ก้าน จันทร์พรหมมา กรรมการผู้ แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาตรวจแก้ไขและให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณครูพรชัย ศรีไพบูลย์ ที่ให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับ เครื่องมือ รวมทั้งเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและ ความสะดวกในระหว่างทำการวิจัย ขอขอบคุณคุณคุณศราวณีย์ กฤษณวรรณ และบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด ที่อนุเคราะห์แบ่งมันต์ดัดแปรพร้อมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาและให้ ข้อมูลเกี่ยวกับแบ่งมันต์ดัดแปร ขอขอบคุณคุณคุณไพศักดิ์ อนันต์นุกูล และเจ้าหน้าที่ศูนย์ การบรรจุหีบห่อไทย ที่กรุณาในการตรวจสอบภาคบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจ ที่ดีตลอดมา โดยเฉพาะ คุณชุตินุช สุจริต ที่ช่วยถ่ายทำสไลด์และรูปถ่าย

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ทุน สนับสนุนการเรียนและการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา รวมทั้งขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

และท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบคุณพี่และ น้องของข้าพเจ้า รวมทั้งคุณปรีชา วงศ์หิรัญเดชา ที่ให้ความช่วยเหลือ ความห่วงใย และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งตลอดมา

นพรัตน์ อุทัยพันธ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(5)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ.....	(8)
รายการตาราง.....	(9)
รายการตารางภาคผนวก.....	(10)
รายการภาพ.....	(11)
บทที่	
1 บทนำ.....	1
บทนำต้นเรื่อง.....	1
ตรวจเอกสาร.....	3
วัตถุประสงค์.....	24
2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ.....	25
3 ผลและการวิจารณ์.....	30
4 สรุป.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี	67
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ	71
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	80

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกโกโก้.....	5
2. ปริมาณของอะมิโนสในแป้งแต่ละชนิด.....	12
3. ช่วงเวลาการทำให้เป็นเจลลาตินของแป้งชนิดต่าง ๆ.....	14
4. สูตรส่วนผสมในการทำถาด.....	29
5. องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) ของเปลือกโกโก้.....	32
6. ปริมาณลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ในเปลือกโกโก้ เปลือกข้าวโอ๊ต ฟางข้าวและต้นข้าวโพด.....	32
7. ระยะเวลาการแช่เปลือกโกโก้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อแยกกะลาออกจากเปลือก.....	33
8. เปอร์เซนต์ผลผลิตของเส้นใยที่ได้หลังการฟอกสี.....	36
9. ค่า L, a และ b ของเส้นใยหลังการฟอกสี.....	36
10. ความชื้น น้ำหนัก และความหนาของถาดที่ผลิตจากเส้นใย ของเปลือกโกโก้ผสมแป้งและสารยึดเหนี่ยว.....	42
11. คุณสมบัติทางกายภาพของถาดที่ผลิตจากเส้นใยของเปลือกโกโก้ผสมแป้ง และสารยึดเหนี่ยว.....	43

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย เปอร์เซนต์ผลผลิต ของเส้นใยที่ได้หลังการฟอกสี.....	75
2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย ค่าสีขาว (L) ของเส้นใยหลังการฟอกสี.....	75
3. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย ค่า a ของเส้นใย หลังการฟอกสี.....	76
4. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย ค่า b ของเส้นใย หลังการฟอกสี.....	76
5. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย การต้านแรงดัดโค้ง ของถาดที่ผลิตขึ้น.....	77
6. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย การต้านแรงกด ของถาดที่ผลิตขึ้น.....	78
7. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย การดูดซึมน้ำของ ถาดที่ผลิตขึ้น.....	79

รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
1. ผลโกโก้.....	4
2. โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส.....	6
3. องค์ประกอบทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส.....	7
4. โครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบของลิกนิน.....	7
5. โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบเพคติน.....	8
6. โครงสร้างทางเคมีของอะมิโลส.....	11
7. โครงสร้างทางเคมีของอะมิโลเพคติน.....	12
8. โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.....	16
9. เยื่อกระดาษขึ้นรูป.....	19
10. การขึ้นรูปโดยแรงอัดของแม่พิมพ์ร่วม.....	20
11. การขึ้นรูปสุญญากาศใช้จุกช่วย.....	21
12. การขึ้นรูปโดยการอัดแบบชนิดฉีด.....	21
13. แม่พิมพ์.....	29
14. เศษกระดาษที่ปนมากับเส้นใย.....	33
15. เส้นใยของเบสีกโกโก้ที่ผลิตได้.....	37
16. ถาดที่ผลิตได้.....	39
17. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของฝรั่ง เมื่อเก็บไว้ที่ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน.....	47
18. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของถาด เมื่อเก็บไว้ที่ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน.....	47
19. ลักษณะของฝรั่งและถาด หลังเก็บไว้ที่ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน.....	48

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า บรรจุภัณฑ์มีบทบาทสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าตัวสินค้า จนแทบกล่าวได้ว่าตัวสินค้าและบรรจุภัณฑ์เป็นสิ่งที่ต้องอยู่คู่กัน เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค และบางครั้งอาจจะเป็นตัวกระตุ้นหรือชักจูงใจให้ซื้อสินค้านั้น ปัจจุบันบรรจุภัณฑ์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ทั้งจากวัสดุธรรมชาติและสารสังเคราะห์ โฟมและพลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่คุ้นเคยกันเป็นอย่างดีในชีวิตประจำวัน เพราะความสวยงาม แข็งแรงและสะดวกต่อการขนย้าย แต่เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อมตามมา เนื่องจากเป็นวัสดุที่ยากต่อการทำลายและต้องใช้เวลาานาน จากการรายงานของ นพพันธ์ อนุรัตน์ (2534) พบว่า โฟมไม่มีการสลายตัว ส่วนพลาสติกหากปล่อยให้สลายตัวไปตามธรรมชาติต้องใช้เวลาานาน 80-100 ปี (อำนาจ ฤทธิจันทร์, 2537) และถ้าใช้วิธีการเผาทำลายจะก่อให้เกิดก๊าซพิษ โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตโฟม มีการใช้สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนหรือสารซีเอฟซี ที่มีผลทำลายบรรยากาศชั้นโอโซนซึ่งช่วยป้องกันรังสีอุลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ไม่ให้ลงมาสู่พื้นโลกมากเกินไป เมื่อถูกทำลายไปจะมีผลให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นและมีประชาชนเป็นโรคมะเร็งผิวหนังเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีการรณรงค์ให้เลิกใช้โฟมเป็นภาชนะบรรจุหรือนำไปใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อลดปริมาณการก่อสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน ปัจจุบันจึงมีผู้หันมาสนใจการนำเอาวัสดุดิบจากธรรมชาติหรือวัสดุเหลือใช้จากโรงงาน เช่น ไม้จากป่าชายเลน เศษไม้ ฟางข้าว ใบสับปะรดและต้นผักตบชวา เป็นต้น มาทำเป็นเยื่อกระดาษแล้วแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ง่ายตามธรรมชาติ

เปลือกโกโก้เป็นวัสดุเหลือใช้อีกชนิดหนึ่งจากการผลิตเมล็ดโกโก้แห้ง เนื่องจากในการผลิตต้องเอาเปลือกออกเพื่อนำเมล็ดโกโก้ไปหมัก จึงมีเปลือกเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ในประเทศไทยโดยเฉพาะทางภาคใต้ กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ส่งเสริมให้เกษตรกรชาวสวนมะพร้าวปลูกโกโก้เป็นพืชแซม ตาม

แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2530-2534) โดยสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติได้จัดให้โกโก้เป็นพืชที่อยู่ในโครงการนำร่องขยายการผลิตสินค้าใหม่ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์ วาสิก และคณะ, 2534) ในปี พ.ศ.2525 ไทยมีปริมาณการส่งออกเมล็ดโกโก้แห้งปริมาณ 0.75 ตัน มูลค่า 10,000 บาท ต่อมาปี พ.ศ. 2532 มีการส่งออกถึง 101,427 ตัน มูลค่า 2.569 ล้านบาท (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์ วาสิก และคณะ, 2534) ดังนั้นในแต่ละปีจะมีปริมาณเปลือกเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก หากปล่อยทิ้งไว้ อาจก่อให้เกิดปัญหามลภาวะจากของเสียได้ เปลือกโกโก้จึงเป็นวัสดุธรรมชาติอีกอย่างหนึ่งที่น่าสนใจ นำมาศึกษาการใช้ประโยชน์ให้มากขึ้นกว่าการใช้เป็นอาหารสัตว์หรือปุ๋ยเพียงอย่างเดียว

ตรวจเอกสาร

1. โกโก้

โกโก้ (*Theobroma cocoa* L.) เป็นพืชเมืองร้อน อยู่ในตระกูล สเตอร์คิวเลียซีอี (order Sterculiaceae) (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก และคณะ, 2534) จะให้ผลเมื่ออายุประมาณ 2-3 ปี และให้ผลผลิตสูงเมื่ออายุประมาณ 8-15 ปี ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนถึงผลสุกประมาณ 5-6 เดือน (ดวงใจ ช่วยสถิตย์, 2535) ผลของโกโก้มีลักษณะคล้ายมะละกอดังภาพที่ 1 ประกอบด้วยเปลือกหนา ภายในมีเมล็ดอยู่ 30-43 เมล็ด และมีเนื้อเยื่อที่มีเมือกเหนียวหุ้มเมล็ดอีกชั้นหนึ่ง (Rohan, 1963) โกโก้แบ่งออกเป็น 3 สายพันธุ์ ได้แก่

1.1 สายพันธุ์ครีโอลโล (criollo) ผลมีสีเขียวยาว เมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือส้มเปลือกบาง ผิวขรุขระ ก้นแหลม ผลยาว เมล็ดใหญ่มีสีขาวหรือม่วงอ่อน ให้กลิ่นและรสชาติดี เหมาะสำหรับทำช็อกโกแลต แต่เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำ ไม่ต้านทานต่อโรคและแมลง จึงไม่ค่อยนิยมปลูก ในสายพันธุ์นี้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1.1.1 เซาท์ท อเมริกัน ครีโอลโล (south american criollo)

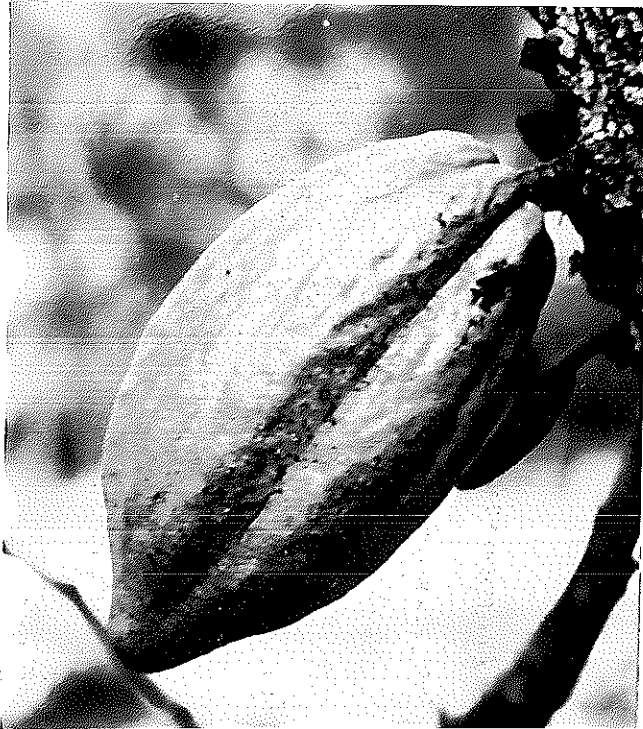
1.1.2 เซนทรัล อเมริกัน ครีโอลโล (central american criollo)

1.2. สายพันธุ์ฟอราสเตอร์ (forastero) ต่างจากสายพันธุ์ครีโอลโลที่ใบเลี้ยงมีสีแดงคล้ำกว่า มี 2 กลุ่มที่สำคัญคือ

1.2.1 เวสต์แอฟริกันอะมิโลนาโด (west african amelonado) ผลยาวมีสีเขียวยาว เมื่อสุกจะมีสีเหลือง เปลือกหนา ก้นมน เมล็ดแบนกว่าพันธุ์ครีโอลโล มีสีแดงม่วงหรือม่วงเข้ม ผลผลิตสูง ต้นที่ปลูกด้วยเมล็ดจากพันธุ์นี้มักจะไม่กลายเป็นพันธุ์ เพราะเมล็ดผสมตัวเองได้

1.2.2 อับเปอร์อเมซอน (upper amazon) ผลสีเขียวยาว เมื่อสุกมีสีเหลือง ขนาดของผลใกล้เคียงกับพันธุ์เวสต์แอฟริกันอะมิโลนาโด แต่มีขนาดเล็กกว่า เมล็ดมีสีม่วงเข้ม ผลผลิตสูง ต้นแข็งแรงเจริญเติบโตได้ดี ทนทานต่อการรบกวนของโรคและแมลงบางชนิด โกโก้พันธุ์นี้เมื่อปลูกจากเมล็ดมักจะไม่ตรงตามพันธุ์ เนื่องจากไม่สามารถผสมตัวเองได้ต้องอาศัยการผสมข้ามพันธุ์

1.3 สายพันธุ์ทรินิตาโร (trinitario) ผลค่อนข้างใหญ่ ก้นแหลม เมล็ดใหญ่ แต่ผลผลิตต่ำกว่าพันธุ์เวสต์ฟริกันอะมิโลนาโด จึงนิยมปลูกด้วยต้นติดตาหรือปักชำ (ผานิตงานกรณาธิการ, 2532 ; Rohan, 1963 ; Wood, 1975)



ภาพที่ 1 ผลโกโก้

ในประเทศไทย โกโก้ได้รับการส่งเสริมให้ปลูกเป็นพืชแซมมะพร้าว โดยปลูกกันมากแถบจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราชและชุมพร พันธุ์โกโก้ที่ได้รับการรับรองจากกรมวิชาการเกษตรเป็นพันธุ์ลูกผสมที่ให้ผลผลิตสูง ได้แก่ พันธุ์ Pa7 x Na32, UIT1 x Na32 และ UIT1 x Na33 สามารถให้ผลผลิตเมล็ดโกโก้แห้ง 200, 150 และ 120 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (วรารุช ชูธรรมธัช และคณะ, 2536) ผลของโกโก้เจริญเต็มที่พร้อมเก็บเกี่ยวได้หลังจาก 143 วัน และจะสุกหลังจาก 170 วัน สังเกตได้จากสีผิวของเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้ม การเก็บเกี่ยวจะใช้มีดตัดที่ก้าน แล้วใช้มีดผ่าหรือไม้ทุบให้เปลือกแตกออก เพื่อนำเมล็ดไปหมักให้เกิดกลิ่นรสของโกโก้ ส่วนเปลือกซึ่งมีอยู่ถึงร้อยละ 70 ของน้ำหนักผลทั้งหมด จะทิ้งไป หรือนำไปทำเป็นปุ๋ยและอาหารสัตว์ (บุญล้อม ชีวอิสระกุล, 2530 ; Rohan, 1963 ; Wood and Lass, 1985) เปลือกโกโก้มีองค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกโกโก้

องค์ประกอบ ทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง		
	Wood and Lass (1985)	ไพบูลย์ และคณะ (2534)	บุญล้อม ชีวอิสระกุล (2530)
ความชื้น*	-	-	84.00
คาร์โบไฮเดรต	-	53.50	49 - 61
โปรตีน	6.25	6.45	8.50
ไขมัน	-	0.34	0.59
เยื่อใย	27.30	21.62	26.90
เถ้า	8.10	8.68	10.60
แร่ธาตุ	3.74	-	-

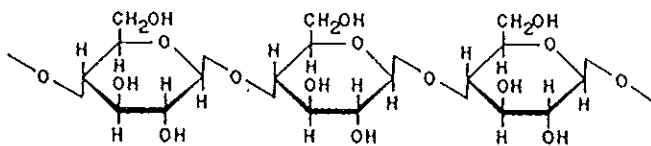
หมายเหตุ : * = ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

2. เส้นใย

เส้นใยเป็นสเคอเรนไคมา (sclerenchyma) ประกอบด้วยเซลล์ที่ตายแล้ว มีลักษณะเรียวยาว ปลายทั้งสองค่อนข้างแหลม ช่องว่างภายในเซลล์เกือบไม่มีหรือเล็กมาก เรียกว่า ลูเมน มีผนังเซลล์หนาเพราะมีลิกนินและเซลลูโลสสะสมอยู่มาก นอกจากนี้ยังมีเซลล์หิน (sclerecid) ซึ่งมีลักษณะคล้ายเส้นใย แต่เซลล์ไม่เหมือนเส้นใย คือ เซลล์อาจจะสั้นกว่า กลมหรือเหลี่ยม หรือเป็นท่อสั้น ๆ หรือมีรูปร่างไม่แน่นอน มักจะอยู่เป็นกลุ่ม ๆ ประมาณ 2-100 เซลล์ พบมากตามส่วนแข็ง ๆ ของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามเปลือกของเมล็ดหรือผลไม้ เช่น กะลามะพร้าว เมล็ดพุทรา หรือพบในเนื้อผลไม้ที่มีเนื้อสาก ๆ เช่น เสี้ยนในเนื้อลูกสาส์ เนื้อน้อยหน่าและฝรั่ง เป็นต้น (ชาร์ ชิโนริทซ์, 2522)

องค์ประกอบของเส้นใย

เซลลูโลส เป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ประกอบด้วยหน่วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดเดียวกัน คือ น้ำตาลกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบตา 1,4 ไกลโคไซด์ (β -1,4 glycosidic bond) เป็นสายยาวตลอดไม่มีการแตกกิ่ง (ภาพที่ 2) อยู่ในลักษณะขนานกัน และยึดรวมกันเป็นกลุ่มก้อนด้วยพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแต่ละสายโซ่ ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช ช่วยทำให้พืชแข็งแรง เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำและในตัวทำละลายส่วนใหญ่ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์และด่าง แต่ไม่ทนต่อกรดเข้มข้น (ตริตาภรณ์ ชูศรี, 2529 ; อัจฉราพร ไสละสุต, 2529 ; ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรรณี เดชกำแหง, 2530 ; Anon, 1989)

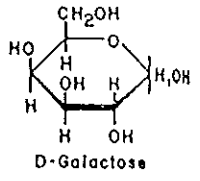
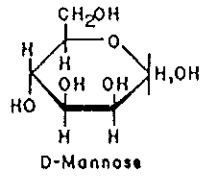
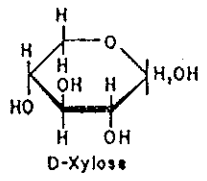


ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

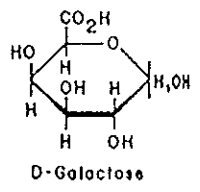
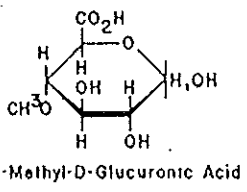
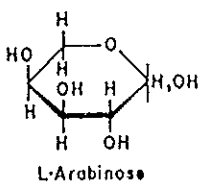
ที่มา : Schneeman (1986)

เฮมิเซลลูโลส เป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่มีอยู่ในผนังเซลล์พืชเช่นเดียวกับเซลลูโลส ประกอบด้วยหน่วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด โดยที่สายโซ่หลักเป็นสายโซ่ยาวของน้ำตาลชนิดใดชนิดหนึ่งคือ ไชโลส แมนโนส กาแลกโตสหรือกลูโคส ส่วนสายโซ่ข้างเป็นน้ำตาลพวก อะราบิโนส กาแลกโตส และกรดกลูคูโรนิก (ภาพที่ 3) จัดแบ่งเฮมิเซลลูโลสตามชนิดของน้ำตาลในสายโซ่หลัก เป็น 3 ชนิดคือ ไชแลน แมนแนน และไซโลกลูแคน เฮมิเซลลูโลสสามารถละลายได้ในสารละลายต่าง (ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรรณี เดชกำแหง, 2530 ; Anon, 1989 ; Olson, *et al.*, 1987)

a) Backbone Chain

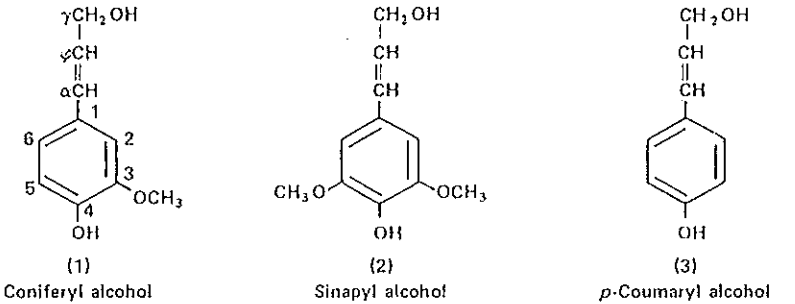


b) Side Chains



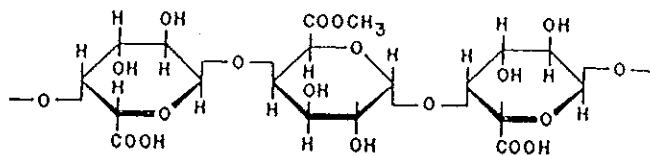
ภาพที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส
ที่มา : Schneeman (1986)

ลิกนิน เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ของอะโรมาติกแอลกอฮอล์ (aromatic alcohol) มีโครงสร้างทางเคมีซับซ้อน ประกอบด้วยสายโซ่กลาง เป็นพวกไซนาพิล แอลกอฮอล์ (sinapyl alcohol) คอนิเฟอริลแอลกอฮอล์ (coniferyl alcohol) และ พี-คาวมาริลแอลกอฮอล์ (p-coumaryl alcohol) (ภาพที่ 4) และมีสายโซ่ข้างเป็นโครงสร้างสามมิติ ลิกนินทำหน้าที่เหมือนกับเป็นกาวหรือซีเมนต์ยึดเหนี่ยวให้เส้นใยและเซลล์อื่น ๆ จับตัวกัน ทำให้เอนไซม์เข้าไปย่อยเซลลูโลสได้ยากขึ้น (สัมพันธ์ คัมภีรานนท์, 2525 ; พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์, 2533 ; Kirk, et al.,1980) ลิกนินไม่ละลายน้ำ ทนต่อการย่อยของมนุษย์ สลายตัวและละลายออกจากเนื้อไม้ได้ในสารละลายกรดซัลไฟต์หรือสารละลายด่างเข้มข้น ที่อุณหภูมิสูงๆ หรือถ้าใช้ตัวออกซิไดซ์ก็สามารถสลายลิกนินออกมาได้เช่นกัน (ตริตาภรณ์ ชูศรี, 2529 ; Anon, 1989)



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบของลิกนิน
ที่มา : Kirk และคณะ (1980)

สารประกอบของเพคติน เป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน มีสภาพเป็นคอลลอยด์ มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด พบในบางส่วนของผนังเซลล์พืชและในลามาเลลาชั้นกลาง โดยอยู่ร่วมกับเซลลูโลสในผนังเซลล์ของผักและผลไม้ โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยกรดดี-กาแลกทูโรนิกเป็นส่วนใหญ่ ต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1-4 ไกลโคไซด์ (ภาพที่ 5) โดยที่หมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลกทูโรนิกบางส่วนอาจเกิดเป็นเอสเทอร์กับหมู่เมทิล นอกจากนี้ยังประกอบด้วยน้ำตาลอื่นๆ ในโมเลกุล เช่น อะราบิโนส กาแลกโตส แรมโนส ไฮโลส และกลูโคส ในปริมาณเล็กน้อย สารอนุพันธ์ของเพคตินแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ โปรโตเพคติน กรดเพคติก และกรดเพคตินิก โปรโตเพคตินเป็นสารอนุพันธ์ของเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ เป็นสารตั้งต้นของเพคติน เกิดขึ้นในผนังเซลล์พืชที่กำลังอ่อน อยู่ร่วมกับเซลลูโลส โครงสร้างโมเลกุลยังไม่รู้แน่ชัด เมื่อผลไม้เริ่มสุก โปรโตเพคตินจะค่อย ๆ หายไป เนื่องจากการย่อยสลายของเอนไซม์โปรโตเพคตินเนส เป็นกรดเพคตินิกและกรดเพคติก ตามลำดับ ทำให้ผลไม้มีผลลง กรดเพคตินิกเป็นสารประกอบเพคตินที่ละลายน้ำได้ เป็นกลุ่มของกรดกาแลกทูโรนิก ที่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์อยู่ สามารถเกิดเจลได้ ส่วนกรดเพคติกเป็นสารอนุพันธ์ของเพคติน ที่ประกอบด้วยกลุ่มของกรดกาแลกทูโรนิกที่ไม่มีกลุ่มของเมทิลเอสเทอร์อยู่เลย (กนกอร อินทราพิเชษฐ, 2523 ; สัมพันธ์ คัมภีรานนท์, 2525 ; ประสิทธิ์ อติวีระกุล, 2527 ; ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรรณี เดชกำแหง, 2530 ; Anon, 1989)



ภาพที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบเพคติน

ที่มา : Schneeman (1986)

3. การทำเยื่อ

การทำเยื่อ (pulping) เป็นการแยกเส้นใยออกจากเนื้อไม้ โดยปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีในสารละลายที่ใช้ต้มเยื่อกับลิกนิน โดยมีกรรมวิธีต่าง ๆ ได้แก่ กรรมวิธีโซดา (soda process) ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว ต้มเยื่อที่อุณหภูมิสูง สารละลายต่างจะไฮโดรไลซ์ลิกนินให้พอลิเมอร์แตกออกเกิดการละลาย กรรมวิธีซัลไฟต์ (sulfite process) ใช้ซัลไฟต์ทำปฏิกิริยากับลิกนินในสภาวะที่เป็นกรด อุณหภูมิ 140-150 องศาเซลเซียส ได้เป็นสารประกอบลิกนินซัลเฟต ซึ่งละลายน้ำได้ ต่อมามีการพัฒนาเป็นกรรมวิธีคราฟท์ (kraft process) โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับโซเดียมซัลไฟต์ ที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง เพื่อให้ซัลไฟต์ซัลไฟต์ช่วยเร่งอัตราเร็วของการกำจัดลิกนินออก เรียกว่า ดีลิกนินฟิเคชัน (delignification) โดยซัลไฟต์ทำให้เกิดซัลไฟเนชันในสายโซ่ไพโรเพนที่ต่อกับกลุ่มฟีโนลิกในโมเลกุลของลิกนิน นอกจากนั้นโซเดียมซัลไฟต์ยังไฮโดรไลซ์เป็นโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ไม่ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงมากในตอนแรก (กมล โสภณพันธ์, 2529 ; ตติตราภรณ์ ชูศรี, 2529 ; John, 1973) นอกจากการทำเยื่อในระดับอุตสาหกรรมแล้ว ยังมีการทำเยื่อในระดับชาวบ้าน ซึ่งขั้นตอนการผลิตง่ายกว่า สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามชนิดของวัตถุดิบ เช่น สุวิชา ภัทรศิริ และ บรรจบ ศรีสมถวิล (2521) ทำเยื่อจากต้นปอสา โดยตัดเป็นท่อนยาวประมาณ 1 เมตร นำไปเผาหรือย่างจนเปลือกหดเข้าหากัน ลอกเอาส่วนเปลือกไปล้างน้ำ ขูดผิวสีเขียวออก ล้างน้ำ ตากแดดจนแห้ง แล้วนำเปลือกปอสาแห้งไปแช่น้ำ 12-15 ชั่วโมง ต้มกับชี้ไต้ 1/2-1 ปีบหรือโซเดียมไบคาร์บอเนตในอัตราส่วนร้อยละ 20 ของน้ำหนักปอสา ต้มจนปอสาเปื่อยใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำเย็นจนหมดฤทธิ์ต่าง นำไปทุบด้วยมือหรือเครื่องตีเยื่อเพื่อแยกเส้นใยปอออกจากกัน จะได้เยื่อปอสา ต่อมา จลอง เขียมอาทร (2533) ได้ทดลองทำเยื่อจากผักตบชวา โดยนำต้นผักตบชวามาตัดใบและรากทิ้ง เหลือไว้แค่ลำต้น ล้างน้ำ ตากแดดให้แห้ง ต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 8-10 ของน้ำหนักผักตบชวาแห้ง จนเปื่อย ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง เอาออกจากหม้อต้ม ล้างน้ำจนหมดฤทธิ์ต่าง ใช้เครื่องตีเยื่อหรือตำกับครกจนเป็นเยื่อกระดาษ ล้างน้ำ นำไปฟอกให้เยื่อขาวโดยใช้น้ำยาแคลเซียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร แช่ไว้ 2-3 ชั่วโมง จะได้เยื่อสีขาว

ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าทดลองนำเอาเส้นใยจากพืชมาผสมในอาหารเพื่อทำเป็นอาหารสุภาพ เรียกเส้นใยนี้ว่า เส้นใยอาหาร (dietary fiber) โดยหมายถึง อาหารประเภทโพลีแซคคาไรด์จากพืชที่มีลักษณะประกอบอยู่ ทนต่อการย่อยสลายของเอนไซม์ที่มีอยู่ในกระเพาะของคน พบว่ามีผลช่วยรักษาโรค เช่น โรคท้องผูก โรคหัวใจ โรคเบาหวาน มะเร็งลำไส้และความอ้วน เป็นต้น เนื่องจากเส้นใยอาหารสามารถควบคุมไขมันในเลือด ช่วยให้การย่อยสลายกลูโคส การดูดซับธาตุอาหารและระบบการขับถ่ายดีขึ้น (Schweizer and Wursch, 1979) สำหรับวิธีการสกัดเส้นใยอาหารจะแตกต่างกันออกไป เช่น Schweizer และ Wursch (1979) สกัดเส้นใยจากพืชต่าง ๆ โดยการย่อยด้วยเอนไซม์เปปซิน แพนเครียติน และกลูโคอะไมเลส ส่วน Selvendran และ Du Pont (1980) สกัดเส้นใยจากข้าวโอ๊ต ข้าวไรย์และรำข้าวสาลี ด้วยสารละลายไฮเดียมไดออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สารผสมของฟีนอล กรดอะซิติก น้ำ ในอัตราส่วน 2:1:1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรต่อปริมาตร และสารละลายไดเมทิลซัลไฟด์เข้มข้นร้อยละ 90 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ตามลำดับ ต่อมา Walter และคณะ (1985) ได้สกัดเส้นใยจากกากแอปเปิ้ลที่ผ่านการบีบน้ำออกแล้ว โดยต้มกับสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยปริมาตร ล้างเส้นใยด้วยเอทานอลผสมน้ำ (1:3) จนสะอาดหรือทำให้เป็นกลางก่อนล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณต่างที่เหลือจากนั้นฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร ในเอทานอลผสมน้ำ (1:3) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แล้วระเหยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส วิธีนี้สามารถผลิตเส้นใยเป็นปริมาณมากได้ โดยใช้กากแอปเปิ้ล 17 กิโลกรัมต่อไฮเดียมไฮดรอกไซด์ 255 กรัม ได้เส้นใยประมาณ 9 กิโลกรัม

4. สารฟอกสี

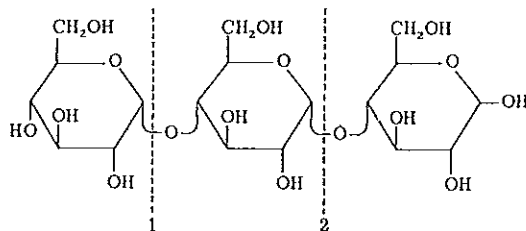
แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ เป็นสารที่มีผลสีขาว สลายตัวที่ 100 องศาเซลเซียส เมื่อสัมผัสกับน้ำจะให้ก๊าซคลอรีนซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดกร่อน ใช้เป็นสารฟอกสีได้ (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2524) แต่เนื่องจากก๊าซนี้มีกลิ่นรุนแรงทำให้หายใจไม่ออกและมีผลทำลายเนื้อเยื่อและผิวหนังอย่างรุนแรง จึงไม่เป็นที่นิยม (ทัศนีย์ จุตะกานนท์, 2533)

และมักเกิดการตกค้างของสารทำให้เส้นใยเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อเก็บไว้นาน (จิระศักดิ์ ชัยสนิท, 2537)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสารฟอกสีชนิดหนึ่ง เมื่อถูกความร้อนหรือแสงจะเกิดการสลายตัวให้ก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายได้ดีใน แอลกอฮอล์และอะซิโตน แต่ละลายไม่ดีในน้ำ เป็นที่นิยมใช้มากกว่าแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (ทศนีย์ จุฑะกานนท์, 2533) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง (พีเอช 8.5-11) การกำจัดลิกนินของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นจากการแตกตัวเป็น ไฮดรอกซิลอิออน (.OH) และซูเปอร์ออกไซด์อิออน (O_2^-) โดยอิออนทั้งสองจะทำการออกซิไดซ์ลิกนิน ให้อยู่ในรูปที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงจนสามารถละลายน้ำได้ (Gould, 1985)

6. สารยึดเหนี่ยว

แป้ง ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน 2 ชนิด คือ อะมิโลสและอะมิโลเพคติน โดยยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนในปริมาณและอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์พืช (ตารางที่ 2) อะมิโลส ประกอบด้วยแอลฟาดีกลูโคส เชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงที่ตำแหน่ง 1,4 (ภาพที่ 6) มีลักษณะบิดเป็นเกลียวแบบฮีลิกซ์ สามารถละลายน้ำและทำเป็นฟิล์มในตัวเองได้ ส่วนอะมิโลเพคติน ประกอบด้วยแอลฟาดีกลูโคส เชื่อมต่อกันเป็นลูกโซ่ที่ตำแหน่ง 1,4 และมีสาขาแตกออกไปที่ตำแหน่ง 1,6 (ภาพที่ 7) ไม่ละลายน้ำ เป็นสารละลายแขวนลอย (สิรินทร์ วิโมกษ์สันถ์, 2516 ; ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530 ; มณฑาทิพย์ หยุนฉลาด, 2535 ; สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2528)

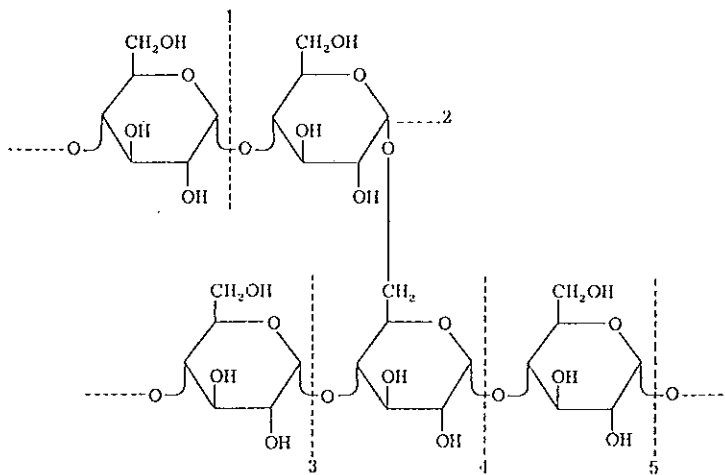


ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของอะมิโลส
ที่มา : Whistler และคณะ (1984)

ตารางที่ 2 ปริมาณของอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิด

ชนิดของแป้ง	ปริมาณอะมิโลส (%)
ข้าวเจ้าธรรมดา	16
ข้าวบาร์เลย์	27
ข้าวโพด	26
ข้าวสาลี	25
มันสำปะหลัง	20
มันเทศ	18
มันฝรั่ง	20
หัวเท้ายายม่อม	20
กล้วย	21

ที่มา : ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรรณี เดชกำแหง (2530)



ภาพที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของอะมิโลเพคติน

ที่มา : Whistler และคณะ (1984)

เมื่อนำแป้งไปละลายน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดน้ำเข้าไปและเกิดการพองตัว แต่ไม่ละลาย เนื่องจากพันธะระหว่างโมเลกุลของเม็ดแป้งบริเวณที่เป็นผลึกมีความแข็งแรง น้ำเย็นจึงไม่สามารถทำให้โมเลกุลเหล่านั้นแยกตัวออกจากกันได้ เม็ดแป้งจะจมลงไปในน้ำ ถ้าน้ำแป้งได้รับความร้อน ความร้อนจะทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างโมเลกุลเข้าด้วยกันนั้นแตกออก ทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำได้ดีขึ้น (วรรณพร ศิริโรจน์, 2529) เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะใหญ่ๆ 2 อย่างคือ การยึดติดกับสารอื่นได้และลักษณะชั้นเหนียว โดยลักษณะยึดติดนี้เกิดจากแรงกดดันจนติดแน่น หรือการจับตัวกันเอง หรือการระเหยของสารตัวทำละลาย จนทำให้มีการเกาะตัวกัน ส่วนลักษณะชั้นเหนียวเกิดจากพันธะไฮโดรเจนในน้ำและในเม็ดแป้งถูกทำลาย น้ำจึงซึมเข้าไปในระหว่างโมเลกุลของแป้ง ส่วนที่เป็นอะมิโลสจะละลายและดูดน้ำ ทำให้เกิดการพองตัวได้มากขึ้น โมเลกุลเข้ามาใกล้และยึดเข้าด้วยกัน ทำให้ได้สารละลายที่มีลักษณะเหนียวและชั้นเหนียว ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การทำให้เป็นเจลาติน (gelatinization) ซึ่งแป้งแต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เป็นเจลาตินแตกต่างกัน (ตารางที่ 3) (ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรรณี เดชกำแหง, 2530 ; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเป็นเจลาติน ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่างขนาดและชนิดของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กจะเป็นเจลาตินที่อุณหภูมิต่ำกว่าเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่ โดยเจลของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน เช่น ในแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวโพดจะมีลักษณะขุ่น กรอบและร่วน แป้งข้าวเหนียวจะใส กรอบและร่วน ส่วนแป้งมันฝรั่ง แป้งมันเทศและแป้งมันสำปะหลังจะใสและเหนียว นอกจากนั้นแป้งยังมีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์มจากสารละลายแป้งที่เม็ดแป้งพองตัวแล้วแตกออกหรือจับอยู่กับน้ำ เมื่อน้ำระเหยออกไป ส่วนต่าง ๆ ดังกล่าวจะมีการรวมตัวกัน เกิดเป็นร่างแหขึ้นที่ผิวหน้า ทำให้มีลักษณะเป็นฟิล์ม ซึ่งความเหนียวหรือความแข็งแรงของฟิล์มนั้นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณอะมิโลสและน้ำหนักโมเลกุลของแป้ง จากคุณสมบัตินี้จึงได้มีการทำฟิล์มจากแป้งเพื่อห่อหุ้มอาหาร เช่น ไล้เทียมสำหรับไล้กรอก และฟิล์มที่ได้ยังสามารถป้องกันมิให้น้ำมันหรือไขมันซึมผ่าน นิยมใช้ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ขนมหวานประเภทถั่ว ช็อกโกแลตและลูกอม ในอุตสาหกรรมการผลิตมันฝรั่งทอด มีการจุ่มชั้นมันฝรั่งลงในสารละลายแป้งเพื่อช่วยหุ้มผิวหน้า เป็นการป้องกันมิให้น้ำมันซึมผ่านเข้าไปในระหว่างการทอด ทำให้มีความกรอบและมีความคงตัวดีขึ้น (ศิวาพร ศิวเวช, 2529) นอกจากนี้

นี้ยังใช้แบ่งเป็นสารยึดเหนี่ยวในอุตสาหกรรมกระดาษและไม้อัด เป็นสารเคลือบเส้นใย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นสารเติมแต่งในสบู่เพื่อลดปริมาณการใช้ไขมันและปรับปรุงความคงตัวของสบู่ เป็นต้น (Radley, 1976)

ตารางที่ 3 ช่วงเวลาการทำให้เป็นเจลาตินของแป้งชนิดต่าง ๆ

ชนิดของแป้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	เริ่มต้น	จุดกึ่งกลาง	สุดท้าย
ข้าวโพด	62	66	70
ข้าวบาร์เลย์	51.5	57	79.5
ข้าวเจ้า	68	74.5	78
ข้าวไรย์	57	61	70
ข้าวสาลี	59.5	62.5	64
ถั่ว	57	65	70
มันฝรั่ง	58	62	66
มันสำปะหลัง	52	59	64

ที่มา : ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรรณี เดชกำแหง (2530)

แป้งดัดแปร เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งให้มีลักษณะเป็นที่ต้องการ มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีโครอสลิงกิง เป็นการเพิ่มพันธะที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลให้แข็งแรงขึ้น ทำให้น้ำแทรกเข้าไปได้ยาก เม็ดแป้งทนต่อการแตกตัวที่อุณหภูมิสูง (Leach, 1965) สารเคมีที่นิยมใช้ในการทำโครอสลิงกิง ได้แก่ อะดิปีกอันไฮโดรด์ อีพิกคลอโรไฮดริน โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต โดยสารเคมีเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล เกิดการเพิ่มพันธะที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลแป้ง ได้แก่ พันธะโควาเลนต์ ทำให้แรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลแข็งแรงขึ้น (Osman, 1967) จึงสามารถควบคุมการพองตัวและการแตกตัวที่อุณหภูมิสูงได้ โดยทำให้การพองตัวและการละลายลดลง เม็ดแป้งที่พองตัวมีความเสถียรมากขึ้น (วรรณพร ศิริโรจน์,

2529) วิธีคอนเวอร์ชัน เป็นการทำให้โมเลกุลแป้งเกิดการแตกตัว มีผลให้ความหนืดของแป้งลดลง เพิ่มความสามารถของการละลายในน้ำเย็นและการเกิดเป็นเจลของแป้ง (ศิวาพร ศิวเวชช, 2529)

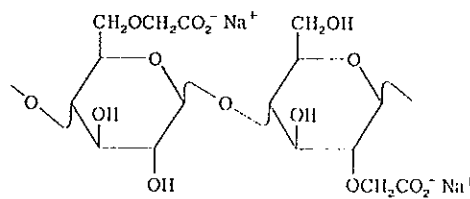
เดกซ์ทริน เป็นแป้งสังเคราะห์เกิดจากการไฮโดรไลซ์แป้งโดยผ่านการย่อยโมเลกุลบางส่วนด้วยกระบวนการใช้ความร้อน กรด ต่าง บัฟเฟอร์ หรือเอนไซม์ ทำให้โมเลกุลของแป้งมีขนาดเล็กลง ละลายน้ำได้ดีขึ้น ความหนืดลดลงและสุกได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ สามารถสร้างความเหนียวให้กระดาษได้สูงกว่าแป้งธรรมชาติ เนื่องจากเม็ดแป้งมีขนาดเล็กจึงแทรกเข้าไปในระหว่างเส้นใยได้มากขึ้น (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2536 ; ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530 ; Britt, 1970)

กัม เป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ มีคุณสมบัติเป็นกาว ผลิตได้จากพืชส่วนหัวหรือเมล็ด กัมที่นิยมใช้ ได้แก่ โลกัสปีนกัม และกัวร์กัม โมเลกุลของกัมมีลักษณะคล้ายเฮมิเซลลูโลสในไม้หรือเยื่อ สามารถกลมกลืนไปกับเฮมิเซลลูโลสได้ แต่กัมมักมีโมเลกุลใหญ่กว่า ความเป็นกาวจึงสูงกว่าและการอมน้ำต่ำกว่าเฮมิเซลลูโลส นอกจากนั้นกัมยังสามารถใช้ร่วมกับแป้งได้ดีโดยส่งเสริมซึ่งกันและกัน ใช้มากในอุตสาหกรรมกระดาษ เนื่องจากกัมทั้งสองชนิดนี้มีประจุไฟฟ้าลบจึงช่วยให้เยื่อกระดาษได้ดีขึ้น และมีความเป็นกาวสูงกว่าแป้งมาก ทั้ง ๆ ที่มีความหนืดต่ำกว่า ให้เนื้อกระดาษดี ทนทานต่อการดึงและการฉีกขาดได้สูง (Britt, 1970)

เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose : MC) เป็นเซลลูโลสอีเทอร์ ที่ได้จากกลุ่มเมทอกรอกซิลเข้าไปแทนที่กลุ่มไฮดรอกซิลของเซลลูโลส สามารถละลายน้ำได้ ให้ความหนืดสูง (Whistler and BeMiller, 1973) มีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถทำให้เยื่ออมน้ำได้เร็วขึ้นและทำให้เยื่อกระดาษตัวในเวลาเดียวกัน (Britt, 1970)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose : CMC) เป็นเซลลูโลสอีเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างไฮเดียมโมโนคลอไรด์กับอัลคาไลน์เซลลูโลส (ภาพที่ 8) ละลายน้ำได้ (Batdorf and Rossman, 1973) มีความเป็นกาวสูง และสามารถ

กลมกลื่นกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้ดี เนื่องจากองค์ประกอบเป็นเซลลูโลสเช่นกัน มีการกระจายตัวสูงมาก จึงกระจายสารเติมแต่งไม่ให้จับอยู่บนเส้นใย ลดการตกค้างของสารเติมแต่ง เมื่อเปรียบเทียบกับเมทิลเซลลูโลสพบว่า คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีความเป็นกาวยสูงกว่า ความหนืดต่ำกว่า แต่ราคาค่อนข้างสูงและการใช้ยากกว่า มีใช้ในอุตสาหกรรมผงซักฟอก โดยทำหน้าที่ป้องกันสิ่งสกปรกย้อนกลับมาติดเสื้อผ้า ในอุตสาหกรรมเส้นใยเป็นตัวห่อหุ้มเส้นด้าย เพิ่มความแข็งแรงให้เส้นใยช่วยให้ทอได้ง่ายขึ้น ในอุตสาหกรรมกระดาษและบอร์ดเพิ่มความเรียบและความแข็งแรง ในอาหารใช้เป็นสารเติมแต่งเพราะมีความบริสุทธิ์มาก ช่วยให้เกิดความคงตัว เพิ่มความหนืดและให้เนื้อสัมผัส (Britt, 1970)



ภาพที่ 8 โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
ที่มา : Batdorf และ Rossman (1973)

ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropylmethyl cellulose: HPMC) เป็นผลิตภัณฑ์เซลลูโลสสังเคราะห์ชนิดหนึ่ง อยู่ในกลุ่มของเมทิลเซลลูโลส เป็นเซลลูโลสอีเทอร์ โดยกลุ่มไฮโดรโพรพอกซิลเข้าไปแทนที่กลุ่มไฮดรอกซิลของเซลลูโลส สามารถละลายน้ำได้ และพองตัวได้ถึง 40 เท่า สามารถแพร่กระจายตัวได้ดี จะมีลักษณะเป็นเจลเมื่อได้รับความร้อน เป็นตัวทำให้ข้นและทำเป็นฟิล์มได้ มีคุณสมบัติในการยึดติดดีและมีพิษน้อยมาก ช่วยทำให้เกิดโครงสร้างของเซลล์และลดการยุบตัวของขนมอบ (Whistler and BeMiller, 1973)

ไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลส (microcrystalline cellulose : MCC) มีความเป็นกาวย ละลายในกรดและในตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนมาก สามารถละลายได้เล็กน้อยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ไม่ละลายน้ำ การเพิ่มพีเอชและการเติม

เกลือมีผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อพีเอชมากกว่า 10 นิยมใช้ไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลสเป็นสารยึดเหนี่ยวในการทำยาเม็ดเพื่อให้ยาขึ้นรูปได้ ใช้ควบคุมการเกิดน้ำแข็งในไอศกรีม ทำให้เกล็ดน้ำแข็งเล็กและเป็นเนื้อเดียวกัน ไอศกรีมจึงมีเนื้อละเอียดและสม่ำเสมอ ใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์ในผลิตภัณฑ์หลาย ๆ อย่าง และเป็นตัวควบคุมการไหลในอาหารโดยเป็นตัวที่ทำให้อาหารข้นขึ้น นอกจากนั้นยังมีการใช้ร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพื่อให้เกิดการกระจายตัวดีขึ้น โดยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะเคลือบไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลสไว้ เมื่อนำมาละลายน้ำ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะละลายน้ำเกิดการพองตัวผลึกโมเลกุลข้างเคียงออกห่าง ทำให้ไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลสกระจายตัวอย่างรวดเร็ว เกิดสารแขวนลอยที่มีความเสถียร (Battista, 1975)

6. บรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุอาหารมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น ถุง กระจปอง กล่อง แก้ว ขวด จาน ถ้วยและโฟม เป็นต้น โดยทำจากวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ กระดาษ แก้ว เซรามิก โลหะ และพลาสติก (ประชิด ทิถุมบุตร, 2531 ; อมร วงศ์รักษ์พาณิชย์, 2531)

ปัจจุบันบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก เช่น โฟม เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะมีน้ำหนักเบา แข็งแรง ไม่ดูดซับน้ำและน้ำมัน ผิวเรียบ สีขาว ดูสะอาดและสวยงาม แต่โฟมกลับเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ก่อปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากต้องใช้เวลานานในการย่อยสลายตามธรรมชาติ นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตยังมีการใช้สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนซึ่งเป็นสารที่ทำลายบรรยากาศชั้นโอโซน ส่งผลให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ระบบนิเวศเสียสมดุล และที่สำคัญมีรายงาน พบว่า มีผู้ป่วยเป็นโรคมะเร็งผิวหนังเพิ่มขึ้นร้อยละ 4-6 เมื่อโอโซนลดลงร้อยละ 1 (นพพันธ์ อนุรัตน์, 2534) จนเป็นที่หวุ่นวิตกกันไปทั่วโลก เกิดการรณรงค์ให้เลิกใช้โฟมหันมาใช้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุธรรมชาติแทน จึงได้มีการค้นคว้าทดลองผลิตบรรจุภัณฑ์แบบเสื่อมสลายได้ง่ายตามธรรมชาติ (biodegradable package) วันทนี สาตราคม และคณะ (2517) ได้ทดลองใช้เยื่อกระดาษจากปอไมยราบ มาทำเป็นกระดาษโดยใช้เยื่อฟอกขาวร้อยละ 84, ดินขาวร้อยละ 10 ชั้นสนร้อยละ 2 น้ำแป้งร้อยละ 1 และสารส้มร้อยละ 3 ที่พีเอช 4.5-5 กระดาษที่ได้มีคุณภาพดี สามารถใช้ทำเป็นถุงกระดาษใส่สิ่งของที่มีน้ำหนักเบาได้ ต่อมา Cessna (1992) ทดลองทำภาชนะอาหารที่ย่อยสลายได้จากการผสมกันระหว่างเส้นใยจาก

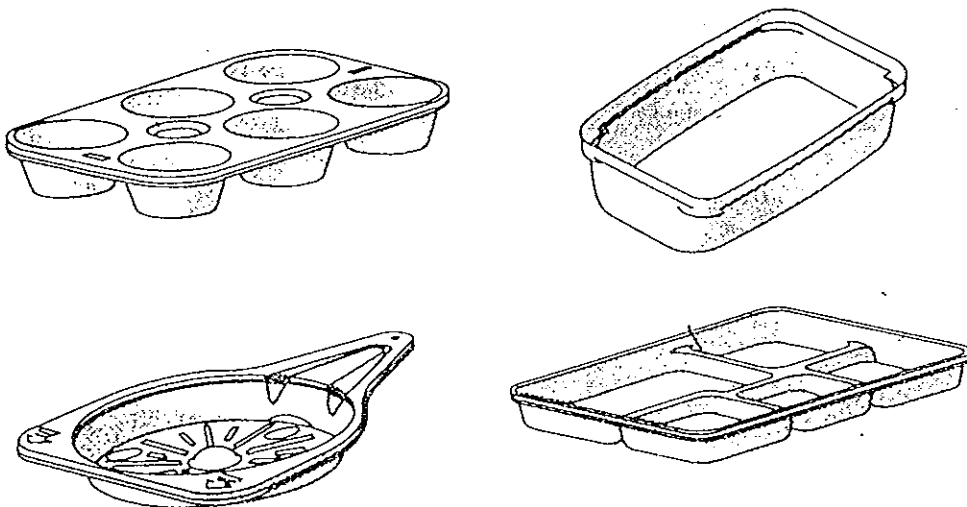
เยื่อไม้ร้อยละ 60-80 ไยสังเคราะห์ร้อยละ 20-40 ดินขาวร้อยละ 10-15 และชั้นสนร้อยละ 1-2 โดยนำมาทำเป็นแผ่นก่อน แล้วขึ้นรูปด้วยความร้อน ถาดที่ได้สามารถป้องกันการซึมของไขมันได้ระยะหนึ่ง เนื่องจากใยสังเคราะห์และโรซินละลายทำให้ถาดไม่เป็นรู จึงยืดเวลาการซึมผ่านได้ ในขณะที่ Cooper (1989) ทดลองทำบรรจุภัณฑ์ที่รับประทานได้จากโคนที่มีความหนืดสูง โดยขึ้นรูปโคนที่แบนราบแบบต่อเนื่อง และตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดตามความต้องการ นำแผ่นโคมมาหอบบนพื้นผิวที่ใช้เป็นแบบมีลักษณะเป็นกรวย ฉีดพ่นด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์ นำเข้าอบทั้งตัวแบบ ได้บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอ ซึ่งวิธีนี้ปรับปรุงจากเดิมที่ใช้วิธีฉีดอัดเข้าแม่พิมพ์แต่มีปัญหาความไม่สม่ำเสมอและเกิดการแตกหักมากหลังการอบแห้ง ส่วน Ruiz (1991) ทดลองทำบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นรูปถ้วยมีผนังและฐานหยักโค้งโดยรอบ คล้ายเปลือกหอยเชลล์ เพื่อเสริมความแข็งแรง โดยใช้ส่วนผสมที่รับประทานได้ เช่น แป้ง และ Branch (1988) นำเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการต้มกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มาบด ให้มีลักษณะเป็นครีม ปรับให้มีปริมาณน้ำร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก ใส่ในแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 280 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 1.5-2 นาที แล้วทอดในน้ำมันพืชเพื่อให้ความร้อนน้อยกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงทนสามารถใส่อาหารที่เปียกและร้อนได้ หลังจากนั้น Strantz และ Zottola (1992 a,b,c) ได้ทดลองใช้แป้งข้าวโพดมาเป็นส่วนผสมในการทำฟิล์มเพื่อให้ฟิล์มย่อยสลายได้ โดยใช้แป้งข้าวโพดร้อยละ 40 ผสมกับโพลีเอทิลีนร้อยละ 60 ปรากฏว่า ฟิล์มที่ได้มีลักษณะคล้ายกับฟิล์มพลาสติกทั่วไป สามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดี แต่ยังไม่สามารถย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่ใช้ย่อยแป้ง ส่วน Cunningham และคณะ (1991,1992) ได้ทดลองใช้แป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมในการทำโฟม โดยครั้งแรกใช้แป้งข้าวโพดธรรมดาในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของโพลีเอทิลีนโพลีออกซอล ซึ่งเป็นสารตัวหนึ่งในการทำโฟม ผสมกับสารต่าง ๆ ได้แก่ ไตรเอทิลีนไดเอมีน ไตรเอทานอลเอมีน ซิลิโคนโพลีอัลคิลีนโคโพลีเมอร์ ไดบิวทิลดีนไดลาอูเรท ฟลูออไรด์ไตรคลอโรมีเทน โพลีเมอริกไฮโดรไซยาเนต และน้ำ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า โฟมที่เติมด้วยแป้งข้าวโพดร้อยละ 10 จะให้ลักษณะและคุณสมบัติที่ดีที่สุด รองลงมาคือโฟมที่เติมแป้งข้าวโพดร้อยละ 5 ต่อมาได้ทดลองใช้แป้งข้าวโพดชนิดธรรมดาเปรียบเทียบกับแป้งข้าวโพดชนิดที่ได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติอีก 4 ชนิด คือ แป้งข้าวโพดชนิดเคลือบไซ แป้งข้าวโพดที่ปรับปรุง

คุณสมบัติด้วยกรดและมีการเคลือบไข มอลโตเดกซ์ทริน และคานารีเดกซ์ทริน ในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของโพลีอีเทอร์โพลีออกอล พบว่า โฟมที่ผสมแป้งข้าวโพดชนิดเดกซ์ทรินให้ผลใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด และในการทดลองเดียวกันนี้ยังได้ทดลองใช้คานารีเดกซ์ทรินผสมในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของโพลีอีเทอร์โพลีออกอล ให้ผลในการเพิ่มปริมาตรของโฟมตามน้ำหนักของเดกซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในรูปแบบของโฟมนี้ นพพันธ์ อนุรัตน์ (2534) ได้รายงานว่ามีบริษัทในแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา อย่างน้อย 2 บริษัท กำลังวางตลาดบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ที่ผลิตจากแป้งข้าวโพดโดยมีลักษณะเหมือนกล่องโฟม แต่มีสีเหลืองส้ม สามารถย่อยสลายได้ง่ายตามธรรมชาติ

7. การขึ้นรูป

วิธีการขึ้นรูปของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับวัสดุในการทำและรูปแบบที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น บรรจุภัณฑ์แบบถาดหรือถ้วย มีการขึ้นรูป ดังนี้

7.1 การขึ้นรูปจากเส้นใย อมรรัตน์ สวัสดิ์หัตต์ และคณะ (2532) กล่าวถึงเยื่อกระดาษขึ้นรูปว่า มีกรรมวิธีคล้ายการทำกระดาษ โดยกรองเยื่อกระดาษผ่านตะแกรงแม่แบบที่มีลักษณะสามมิติตามรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการ (ภาพที่ 9) เช่น ถาดใส่ไข่ ถาดใส่อาหารและผลไม้สด เป็นต้น



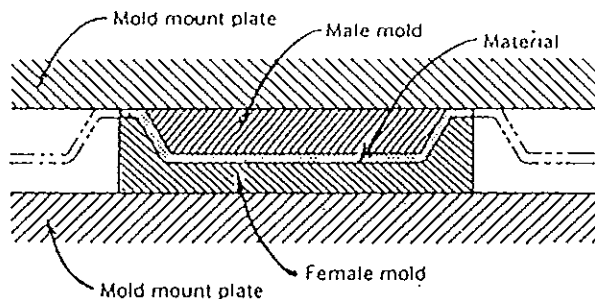
ภาพที่ 9 เยื่อกระดาษขึ้นรูป

ที่มา : มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์หัตต์ (2533)

7.2 การขึ้นรูปในแบบถ้วยหรือถาดโฟม เป็นการนำเม็ดพลาสติกมาเติมสารเร่งฟู (blowing agent) จำพวกไฮโดรคาร์บอน เช่น เพนเทน ฟรีออน แล้วให้ความร้อนจนถึงจุดหนึ่ง สารเร่งฟูจะเกิดการสลายตัวกลายเป็นก๊าซ พองตัวและแทรกตามจุดต่าง ๆ ในเนื้อพลาสติก ทำให้เกิดเป็นโพรงที่เรียกว่า เซลล์ จากนั้นนำมารีดอัดเป็นแผ่นโฟมดิบซึ่งต้องผ่านกระบวนการบ่ม โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-6 วัน เพื่อให้โฟมเกิดการพองตัว มีความนุ่มและยืดหยุ่นอย่างถาวร การขึ้นรูปจะให้ความร้อนแก่แผ่นโฟมเพื่อให้อ่อนตัว แล้วขึ้นรูปตามแม่พิมพ์ที่สร้างไว้โดยใช้สูญญากาศและความดัน จากนั้นทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว มีผลให้โฟมกลับแข็งตัวดังเดิม (มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิพย์, 2533)

7.3 การขึ้นรูปจากแผ่นพลาสติก มีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่

7.3.1 การขึ้นรูปโดยแรงอัดของแม่พิมพ์ร่วม (matched-mold forming) แผ่นพลาสติกจะถูกยึดด้วยเครื่อง ให้ความร้อนจนอ่อนตัว จากนั้นวางแผ่นพลาสติกที่อ่อนตัวลงบนแม่พิมพ์ตัวเมียแล้วกดแม่พิมพ์ตัวผู้ทับลงไป ฤดูอากาศออกทางรูที่อยู่ในแม่พิมพ์ การขึ้นรูปวิธีนี้จะได้ชิ้นงานที่มีความละเอียดและขนาดแน่นอน นิยมใช้ทำถาดใส่ไข่ และผลิตภัณฑ์จากโฟม (ภาพที่ 10)

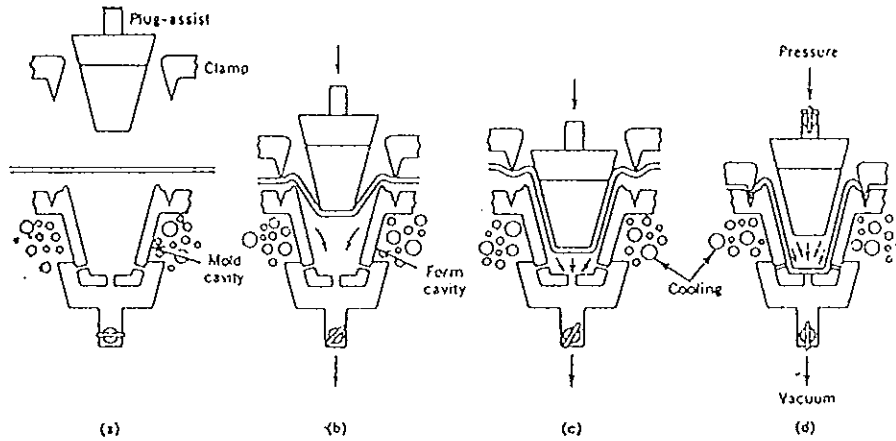


ภาพที่ 10 การขึ้นรูปโดยแรงอัดของแม่พิมพ์ร่วม

ที่มา : มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิพย์ (2533)

7.3.2 การขึ้นรูปสูญญากาศใช้จุกช่วย (plug-assist vacuum forming) ผนึกแผ่นพลาสติกด้วยเครื่องแล้วให้ความร้อนจนอ่อนตัว ค่อยๆ เลื่อนแม่พิมพ์ตัวผู้ลงมาสัมผัสกับแผ่นพลาสติกแล้วอัดเข้ากับแม่พิมพ์ตัวเมียโดยมีสูญญากาศช่วย ความลึกและความเร็วที่เคลื่อนที่รวมทั้งขนาดของจุกเป็นตัวกำหนดการกระจายตัวของพลาสติก ซึ่งจะมีผลต่อ

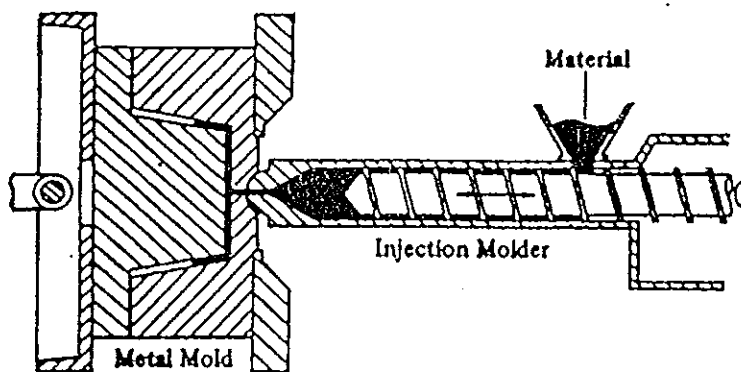
ความหนา วิธีนี้ใช้ในการทำถ้วยและภาชนะบรรจุอาหารต่าง ๆ (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 การขึ้นรูปสุญญากาศให้จุกช่วย

ที่มา : มยรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์ทัต (2533)

7.3.3 การขึ้นรูปโดยการอัดแบบชนิดฉีด (injection molding) ให้ความร้อนแก่เม็ดพลาสติกจนหลอมเหลวภายในกระบอกสูบหรือเกลียวข้อบ แล้วใช้แรงอัดเข้าไปในแม่พิมพ์ซึ่งมีการหล่อเย็นให้พลาสติกแข็งตัว เปิดแม่พิมพ์เอาชิ้นงานออกมา (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 การขึ้นรูปโดยการอัดแบบชนิดฉีด

ที่มา : มยรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์ทัต (2533)

หลังจากพลาสติกได้รับการขึ้นรูปแล้ว ต้องทำให้ชิ้นงานที่ได้เย็นลงโดยถ่ายเทความร้อนให้กับแม่พิมพ์หรืออากาศรอบๆ แล้วตัดแต่ง ที่สำคัญต้องควบคุมให้พลาสติกได้รับความร้อนที่เหมาะสม เพราะอุณหภูมิจะเป็นตัวควบคุมคุณสมบัติในการขึ้นรูปของ

พลาสติก (มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิพย์, 2533 ; Skinner and Roger, 1968)

8. คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานเป็นหัวใจสำคัญต่อการพัฒนาการบรรจุหีบห่อ เพื่อให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถคุ้มครองรักษาสินค้ามิให้เสื่อมคุณภาพหรือเสียหายตลอดการขนส่งและการวางจำหน่าย การตรวจสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ต้องอาศัยมาตรฐานของชาติหรือมาตรฐานสากลอันเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องและสามารถเปรียบเทียบกันได้ มาตรฐานที่นิยมใช้ ได้แก่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, International Standard Organization (ISO), American Standard Testing Method (ASTM), British Standard (BS) และ Japanese Industrial Standard (JIS) ในการตรวจสอบจำเป็นต้องปรับสภาวะของชิ้นทดสอบให้สอดคล้องกับสภาวะทดสอบมาตรฐานเสมอ เนื่องจากคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์จะแปรเปลี่ยนไปตามสภาวะแวดล้อม โดยสภาวะมาตรฐานจะแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิอากาศของแต่ละประเทศ เช่น ประเทศไทย มีสภาวะมาตรฐานอยู่ที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 ประเทศสหรัฐอเมริกา อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 2 และ ประเทศในยุโรป อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นต้น (ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย, 2529 ; มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิพย์, 2533)

9. การเปลี่ยนแปลงและการเสื่อมเสียของบรรจุภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงและการเสื่อมเสียของบรรจุภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม การใช้งานและการขนส่ง โดยบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุจากธรรมชาติจะเกิดการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมเสียได้ง่ายกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ การเสื่อมเสียของบรรจุภัณฑ์จากกระดาษส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากน้ำ เนื่องจากกระดาษมีคุณสมบัติในการดูดและคายความชื้นได้ดี จึงสามารถดูดหรือคายความชื้นให้แก่สิ่งแวดล้อมได้ ขึ้นอยู่กับความชื้นและอุณหภูมิโดยรอบ ปริมาณความชื้นจึงมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของกระดาษ เช่น การต้านแรงดันทะลุและแรงดึงขาดลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น เพราะ

ความแข็งแรงของพันธะที่จับยึดกันระหว่างเส้นใยลดลง แต่แรงต้านการหักพับมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความชื้นที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีความยืดหยุ่น จนเมื่อความชื้นมากเกินไป ความแข็งแรงของพันธะจะลดลง ทำให้กระดาษเกิดการโค้งงอ เป็นลอน (Britt, 1970; Casey, 1979) และเปื่อยยุ่ยได้เมื่อเปียกน้ำ (ตรีตราภรณ์ ชูศรี, 2529) สำหรับกระดาษที่ใช้ทำกล่องควรมีการดูดซึมน้ำต่ำกว่า 100 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เพราะการดูดซึมน้ำมาก ทำให้ความทนทานของกล่องลดลง โดยเฉพาะในกล่องที่บรรจุผักและผลไม้สด เนื่องจากผักและผลไม้มีการคายน้ำตลอดเวลา ทำให้เกิดความชื้นขึ้นภายในกล่องได้ (มณฑาทิพย์ หิรัญสาส์, 2536) ส่วนบรรจุภัณฑ์จากพลาสติก การเสื่อมเสียต้องใช้เวลาหลายสิบปี เนื่องจากพลาสติก ทนทานต่อสารเคมี และมีการดูดซึมน้ำต่ำ แต่มีพลาสติกบางชนิดที่เกิดการเสื่อมเสียได้หากเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ได้แก่ พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน ซึ่งสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 120 องศาเซลเซียส แต่ไม่ทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เพราะเกิดการกรอบและแตก (มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิต, 2533) นอกจากนี้ยังมีพลาสติกที่สลายตัวด้วยแสงอาทิตย์ โดยสลายตัวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในช่วง 270 - 360 นาโนมิเตอร์ เนื่องจากมีการเติมสารที่ไม่ทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต เช่น ทริเทเนียมไดออกไซด์ โดยแสงจะตัดโมเลกุลของพลาสติกให้สั้นลง ทำให้พลาสติกกรอบแตกเป็นชิ้นเล็กๆ หรือพลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ เช่น พลาสติกชนิดโพลีคาโพรแลคโตน และโพลีแลคไทด์ ซึ่งส่วนมากมีการเติมแป้งลงไป เมื่อมีความชื้นเหมาะสม แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตและย่อยแป้งได้ โดยพลาสติกประเภทนี้มีค่าการยึดตัวและการต้านแรงกระแทกต่ำ ป้องกันความชื้นไม่ดี และมีความหนาจำกัด (อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิต, 2535) ส่วนฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ที่ทำจากแป้งหรือสตาร์ชดูดความชื้นและละลายน้ำได้ง่าย ทำให้เกิดเป็นเมือกเหนียว (มณฑาทิพย์ หยุนฉลาด, 2530 ; เกศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ, 2539) เช่นเดียวกับโคนไอศกรีมที่ทำจากแป้ง เมื่อนำมาบรรจุไอศกรีมซึ่งมีความชื้นสูง โคนไอศกรีมจะดูดน้ำ ทำให้นิ่มและเป็นเมือก และจากลักษณะที่พองเป็นรูพรุนจึงทำให้โคนไอศกรีมจากแป้งเกิดการแตกหักได้ง่าย (Rubenstein and Pelaez, 1982) สำหรับบรรจุภัณฑ์จากแก้ว การเสื่อมเสียส่วนใหญ่มาจากการแตก เพราะการขนส่ง การตกกระแทกและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะทันหัน ในขณะที่บรรจุภัณฑ์กระป๋อง การเสื่อมเสียมีด้วยกันหลายสาเหตุ เช่น การบวมของกระป๋อง เนื่องจากความดันภายในกระป๋อง

มากกว่าภายนอก ซึ่งอาจเกิดจากก๊าซที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้น หรือปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาการกักต้อนทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งถ้ามีมากกว่าร้อยละ 60 จะทำให้ กระทบบวม มักเกิดกับอาหารที่เป็นกรด (กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2528 ; ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2529) หรือเกิดจากการแตกตัวของไนไตรต์ ไปเป็นออกไซด์ของไนโตรเจน และก๊าซไนโตรเจน มักพบในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่เติมไนไตรต์มากเกินไป หรือเกิดจาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ได้จากปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน การ บวมของกระป๋อง โดยแรงกดจากบรรยากาศภายนอกสูงกว่าภายในมาก มักเกิดกับ กระป๋องที่มีขนาดใหญ่ หรือจากการใช้แผ่นโลหะเคลือบดินบุกที่มีขนาดบางเกินไปจนไม่ สามารถทนต่อแรงกดภายนอก หรือเกิดจากการขนส่งที่มีแรงกระแทกอย่างรุนแรง การ เกิดจุดต่างในกระป๋อง จากสารเคมีแปลกปลอม หรือ จากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของ ผลิตภัณฑ์ และการเป็นสนิม จากการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิ ทำให้มี หยดน้ำในกระป๋อง โดยเฉพาะห้องเก็บที่มีความชื้นสูง หรือจากรอยขีดข่วน ทำให้ สารเคลือบกระป๋องหลุดออกไป เป็นต้น (กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2528 ; ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2529)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการสกัดเส้นใยจากเปลือกโกโก้และคุณสมบัติของเส้นใยที่สกัดได้
2. ศึกษาการใช้ประโยชน์ของเส้นใยในการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์และคุณสมบัติของบรรจุ - ภัณฑ์ที่ได้
3. เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้สนใจและเพื่อพัฒนาต่อไปในระดับอุตสาหกรรม

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ

1. วัสดุดิบ

- เปลือกโกโก้จากสวนของเกษตรกร อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช

2. สารเคมี

- สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี การสกัด การฟอกสีและการทำ

ถาด

อุปกรณ์

- เครื่องวัดค่าสี JUKI รุ่น JP 7100 F

- เครื่องวัดพีเอช Mettler Delta 350

- หม้อนิ่งความดันสูง (autoclave)

- ตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาด

- เครื่องสำหรับการขึ้นรูปถาด ได้แก่ แม่พิมพ์ตัวผู้และตัวเมีย ประกอบด้วยส่วนฐานทำด้วยเหล็กปลอดสนิม มีฮีตเตอร์ฝังอยู่ และส่วนพิมพ์ทำด้วยสแตนเลส เป็นรูปถาดขนาด 12.5 x 12.5 x 1.5 เซนติเมตร ใช้ร่วมกับเครื่องอัดไฮโดรลิกและเครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ (ภาพที่ 13)

- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า เยื่อใย ลิกนิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

- ความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใย ได้แก่ เครื่องเหวี่ยง Hitachi รุ่น himac SCR 20 B และเครื่องชั่งน้ำหนัก

- การต้านแรงดัดโค้ง ได้แก่ เครื่อง INSTRON รุ่น 1123 แห่งเหล็กกลมรัศมี 2.5 เซนติเมตร ยาว 11 เซนติเมตร แทนวางถาด และเครื่องคอมพิวเตอร์

- การต้านแรงกด ได้แก่ เครื่อง INSTRON รุ่น 1123 แผ่นไม้ขนาด 15 x 40 x 1.5 เซนติเมตร และเครื่องคอมพิวเตอร์

- การดูดซึมน้ำ ได้แก่ กระจก 200 ปอนด์ ขนาด 12.5 x 12.5 เซนติเมตร แผ่นไม้ขนาด 10.5 x 10.5 x 1 เซนติเมตร ลูกตุ้มหนัก 10 กิโลกรัม เครื่องชั่งน้ำหนักและนาฬิกาจับเวลา

วิธีการ

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกโกโก้

นำเปลือกโกโก้มาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น เถ้า และเยื่อใย โดยวิธี A.O.A.C. (1990) วิเคราะห์หาปริมาณลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โดยวิธีของ Van Soest และ Wine (1967)

2. ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม ในการแยกกะลาออกจากเปลือกโกโก้ โดยดัดแปลงวิธีการสกัดแยกเส้นใยของ ฉลอง เขียมอาหาร (2533)

ก. นำเปลือกโกโก้สดที่ผ่านการตัดตามความยาวของเปลือก ให้มีขนาดความกว้างแต่ละชิ้นประมาณ 2 นิ้ว มา 500 กรัม แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 1000 มิลลิลิตร จากนั้นทุก ๆ 15 นาที นำตัวอย่างเปลือกในแต่ละความเข้มข้นมาทดลองแยกกะลาออก จนพบเวลาการแช่เปลือกที่สามารถแยกกะลาออกจากเปลือกโกโก้ได้ง่ายที่สุด เลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมมาทำการทดลองในข้อต่อไป

ข. นำเปลือกโกโก้จากข้อ ก. ที่แยกกะลาออกแล้ว ประมาณ 500 กรัม มาต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองโดยใช้ตะแกรงขนาด 16 เมช แล้วขยี้ส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรงผ่านตะแกรงขนาด 16 เมช โดยมีน้ำไหลผ่านตลอด เพื่อให้เส้นใยแยกตัวออกมาและชะเอาส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยให้หลุดลอดผ่านตะแกรงออกไป จนเหลือแต่เฉพาะเส้นใย ล้างเส้นใยให้สะอาด สะเด็ดน้ำจนแห้ง

ค. นำเส้นใยที่ได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดจนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ และวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสด้วยวิธีของ Van Soest และ Wine (1967)

การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบ CRD แต่ละชุดทำ 3 ซ้ำ

3. ศึกษาหาความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการฟอกสี โดยดัดแปลงวิธีฟอกสีของ Walter และคณะ (1985)

ก. นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2 (ค) 1 กรัม มาเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ปรับให้ส่วนผสมมีพีเอชประมาณ 10-10.5 ต้มที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ปรับพีเอชให้เป็นกลาง จากนั้นกรองโดยใช้ตะแกรงขนาด 40 เมช ล้างส่วนที่ค้างบนตะแกรงด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง สะเด็ดน้ำจนแห้ง

ข. นำเส้นใยที่ได้ไปอบแห้งจนมีความชื้นร้อยละ 10-15 ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้และวัดความยาวของเส้นใยในค่าของ L, a และ b

ค. เลือกตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุดบรรจุในถุงพลาสติก เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์ต่อไป

การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบ CRD แต่ละชุดทำ 3 ซ้ำ

4. ตรวจสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใยที่คัดเลือกได้ โดยดัดแปลงวิธีของ Ning และคณะ (1990)

นำเส้นใยที่คัดเลือกได้จากข้อ 3 (ค) 2 กรัม มาเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที จากนั้นนำไปเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 rpm อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที รินส่วนใต้ออก แล้วเหวี่ยงหลอดทดลองที่ได้ตัวอย่างนาน 10 นาที ทิ้งส่วนใต้ออกทิ้ง ถ่ายตัวอย่างลงภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ทำการหาความชื้นตามวิธี A.O.A.C. (1990) คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใย

5. ศึกษาการทำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยที่สกัดได้

ปัจจัยที่ทำการศึกษา

1. ชนิดของแป้ง ได้แก่ แป้งมันธรมมา ตราแมวแดงดาวเทียมลูกโลก จากห้างหุ้นส่วนจำกัดเกรียงไกรค้าแป้ง และแป้งมันดัดแปร จากบริษัทสำปะหลังพัฒนา

2. ชนิดของสารยึดเหนี่ยว ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส และไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลส

3. ปริมาณของสารยึดเหนี่ยว ในระดับ ร้อยละ 5 และ 10 ของน้ำหนักแป้ง

ก. นำเส้นใยจากข้อ 3 (ค) มาผสมแป้ง น้ำและสารยึดเหนี่ยว ในอัตราส่วนต่างๆ ตามตารางที่ 4 ผสมให้เข้ากันดี โดยใช้เวลาในการผสมประมาณ 6-10 นาที นำส่วนผสมมาแผ่ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3x3 นิ้ว ใส่ในแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิประมาณ 115-120 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 13) อัดแม่พิมพ์ให้มีความดัน 8,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว นาน 5 นาที แล้วปล่อยให้ความดันลดลงจนถึง 0 ปอนด์/ตารางนิ้ว จับเวลาอีก 15 นาที ปลดแม่พิมพ์ลง แคะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ วางให้เย็นแล้วตัดแต่งให้เรียบร้อย ชั่งน้ำหนักและวัดความหนาอย่างน้อย 5 จุด ใส่ในถุงพลาสติก ปิดผนึก เก็บในภาชนะที่ปิดสนิท ภายในมีซิลิกาเจลเพื่อดูดความชื้น

การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบ CRD IN FACTORIAL แต่ละชุดทำ 3 ซ้ำ

ข. ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น

- การต้านแรงดัดโค้ง โดยดัดแปลงวิธีของศูนย์บรรจุหีบห่อไทย (2539)
- การต้านแรงกด โดยดัดแปลงวิธีของศูนย์บรรจุหีบห่อไทย (2539)
- การดูดซึมน้ำ โดยดัดแปลงวิธีตามมาตรฐานของ ASTM D 570 (1982)

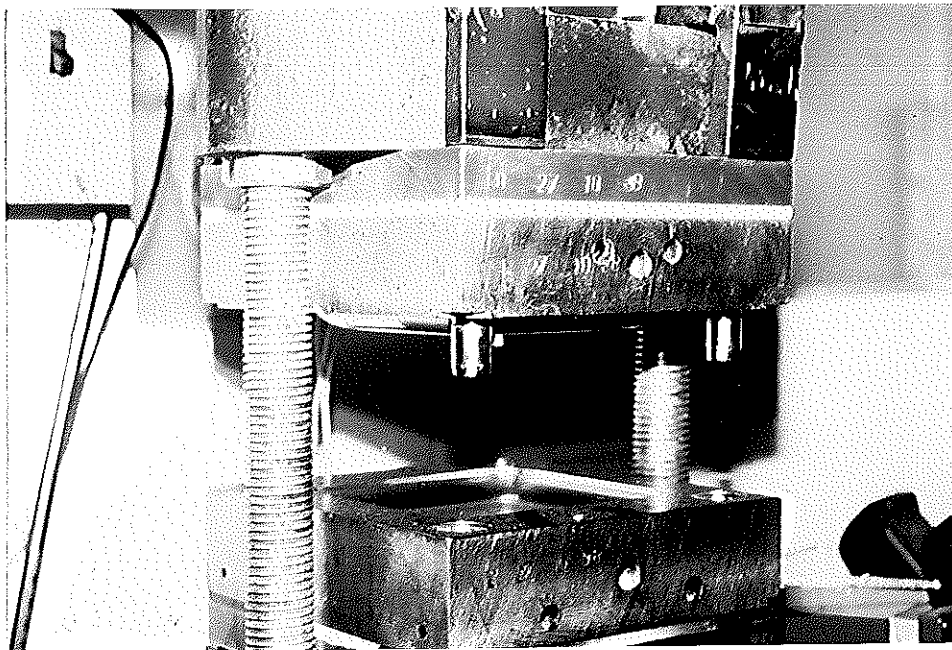
ค. คัดเลือกบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติดีที่สุด มาทำการศึกษาในข้อต่อไป

6. ศึกษาการใช้งานของถาดบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น

บรรจุภัณฑ์ตัดแต่งหนักประมาณ 150 กรัม ในถาดบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการคัดเลือก หุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน ชั่งน้ำหนักและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของฝรั่งและถาด เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับข้อ 5 (ข) ทุก ๆ 2 วัน จนครบ 10 วัน

ตารางที่ 4 สูตรส่วนผสมในการทำถาด

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)					
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6
เส้นใย	2	2	2	2	2	2
แป้งมันธรรมชาติ	20	20	20	-	-	-
แป้งมันดัดแปร	-	-	-	25	25	25
น้ำ	17	18.5	20	21	23	25
สารยึดเหนี่ยว	-	1	2	-	1.25	2.5



ภาพที่ 13 แม่พิมพ์

บทที่ 3

ผลและการวิจารณ์

1. องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกโกโก้

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกโกโก้จากอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ พบว่าเปลือกโกโก้มีความชื้นสูงถึงร้อยละ 82.77 (น้ำหนักเปียก) เถ้าร้อยละ 8.85 (น้ำหนักแห้ง) ใกล้เคียงกับรายงานของไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก และคณะ (2534) และมีเยื่อใยร้อยละ 26.12 ใกล้เคียงกับรายงานของบุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2530) มีปริมาณลิกนิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 11.74, 23.13 และ 6.40 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกข้าวโอ๊ต ฟางข้าวและต้นข้าวโพด (ตารางที่ 6) จะเห็นว่า ลิกนินของเปลือกโกโก้ใกล้เคียงกับเปลือกข้าวโอ๊ต แต่ต่ำกว่าฟางข้าวและต้นข้าวโพด ส่วนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสต่ำกว่าพืชทั้งสามชนิด ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกโกโก้ประกอบด้วยน้ำและคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ โดยมีน้ำมากกว่าร้อยละ 80 (น้ำหนักเปียก) และมีคาร์โบไฮเดรตถึงร้อยละ 49 - 61 (น้ำหนักแห้ง) (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2530)

2. ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการแยกกะลาออกจากเปลือกโกโก้

ในการสกัดเส้นใยจากเปลือกโกโก้ทั้งเปลือก จะมีเศษกะลาแผ่นเล็ก ๆ ปนมากับเส้นใย (ภาพที่ 14) โดยที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่สามารถย่อยสลายออกไปได้หมด เนื่องจากองค์ประกอบของกะลาเป็นเซลลูโลสเช่นเดียวกับเส้นใย แต่จัดอยู่ในกลุ่มเซลล์ลีน ซึ่งมีรูปร่างเซลล์ไม่แน่นอน มักพบตามส่วนแข็งๆของพืช เช่น กะลามะพร้าวและเมล็ดพุทรา เป็นต้น (เขาว์ ชิโนรักษ์, 2522) ซึ่งเศษกะลานี้หากก่อให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการทำบรรจุภัณฑ์ได้ จึงต้องแยกกะลาออกก่อนทำการสกัดเส้นใย โดยการแช่เปลือกโกโก้สดในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จับเวลาในการแช่จนสามารถแยกกะลาออกได้ (ตารางที่ 7) พบว่า การแช่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก สามารถแยกกะลาออกได้ดี ในเวลาประมาณ 6 - 7 ชั่วโมง มีเศษกะลา

ปะปนในส่วนที่แยกกะลาออกแล้วเล็กน้อย ในขณะที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก สามารถแยกกะลาออกได้เร็วกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ประมาณครึ่งชั่วโมง แต่มีเศษกะลาปนอยู่มาก เนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงมาก จึงละลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นตัวเชื่อมกะลาออกมา จนกะลาเกิดรอยร้าวมาก ทำให้มีกะลาบางส่วนแตกเป็นแผ่นเล็ก ๆ ปนลงไปในเรื่องเปลือกซึ่งยากต่อการแยกออก ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะใช้เวลาในการแช่นานถึง 11-12 ชั่วโมง ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการแช่เปลือกโกโก้สดเพื่อแยกกะลาออกควรเป็นความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เพราะใช้เวลาในการแช่นานและการปนเปื้อนของกะลามีน้อย

หลังจากนั้นนำเปลือกที่ผ่านการแยกกะลาออกแล้วมาต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 30 นาที ได้เส้นใย คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลผลิตร้อยละ 1.19 ± 0.08 ต่อน้ำหนักแห้งของเปลือกโกโก้ จะเห็นว่า เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้้น้อยมาก เพราะสูญเสียผลผลิตไปในส่วนของกะลาที่ต้องทำการแยกออกไปก่อนการสกัด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการทำบรรจุภัณฑ์ โดยกะลามีลักษณะเป็นเส้นใยสั้น ๆ อัดตัวกันแน่นเป็นแผ่นแข็ง และจากการที่เปลือกโกโก้ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ทำให้เกิดปัญหาในการกรอง คือ กรองออกได้ยาก (อังคณา หาญบรรจงและดวงสมร สินเจิมสิริ, 2532) จึงต้องใช้ตะแกรงที่มีรูขนาดใหญ่เพื่อให้ส่วนที่เป็นแป้งหลุดออกไปได้ง่ายขึ้น มีผลให้เส้นใยสั้น ๆ หลุดลอดไป เปอร์เซ็นต์ผลผลิตจึงได้น้อยลง เส้นใยที่ได้มีสีน้ำตาล (ภาพที่ 15) มีปริมาณลิกนินอยู่ร้อยละ 27.08 ± 0.54 ต่อน้ำหนักแห้งของเส้นใย ซึ่งการสกัดเส้นใยด้วยสารละลายต่างส่วนใหญ่จะให้เส้นใยสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ เนื่องจากยังมีลิกนินหลงเหลืออยู่ (ตริตราภรณ์ ชูศรี, 2529) มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 62.19 ± 0.88 ต่อน้ำหนักแห้งของเส้นใย มากกว่าเส้นใยจากกากขานอ้อยที่มีเพียงร้อยละ 22-24 โดยน้ำหนักแห้ง (Michel, et al., 1988) เส้นใยจากเปลือกโกโก้ที่ได้มีลักษณะหนาและแข็ง เพราะมีปริมาณเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ที่อยู่มาก (ตริตราภรณ์ ชูศรี, 2529 ; อังคณา หาญบรรจง และ ดวงสมร สินเจิมสิริ, 2532)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) ของเปลือกโกโก้

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ ¹
ความชื้น ²	82.77 ± 0.56
เถ้า	8.85 ± 0.14
เยื่อใย	26.12 ± 0.08
ลิกนิน	11.74 ± 0.95
เซลลูโลส	23.13 ± 0.32
เฮมิเซลลูโลส	6.40

หมายเหตุ ¹ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)

² : คิดจากน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 6 ปริมาณลิกนิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ในเปลือกโกโก้ เปลือกข้าวโอ๊ต ฟางข้าว และต้นข้าวโพด

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง			
	เปลือกโกโก้ ⁽¹⁾	เปลือกข้าวโอ๊ต ⁽²⁾	ฟางข้าว ⁽³⁾	ต้นข้าวโพด ⁽⁴⁾
ลิกนิน	11.74	6-11	15-18	18-22
เซลลูโลส	23.13	25-30	35-40	30-40
เฮมิเซลลูโลส	6.40	45-50	30-35	30-35

ที่มา : ⁽¹⁾ : จากการทดลอง

^{(2) (3) (4)} : Chou และคณะ (1989)

ตารางที่ 7 ระยะเวลาการแช่เปลือกโกโก้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อแยกกะลาออกจากเปลือก

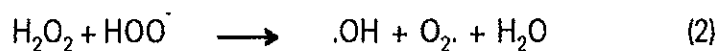
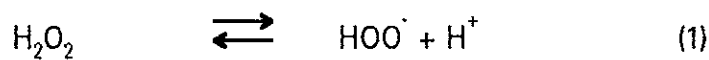
ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ระยะเวลาการแช่เปลือกโกโก้ จนแยกกะลาออกได้ (ชั่วโมง)
20	11 - 12
30	6 - 7
40	6 - 6.5



ภาพที่ 14 เศษกะลาที่ปนมากับเส้นใย

3. ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกสีเส้นใยจากเปลือกโกโก้

ผลของการฟอกสีเส้นใยด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 70 - 80 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 8) พบว่าความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตอย่างน้อยสำคัญ ($p > 0.05$) เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของเส้นใยที่ผ่านการฟอกสีอยู่ในช่วงร้อยละ 81-83 โดยน้ำหนักแห้งเทียบกับเส้นใยที่ยังไม่ฟอก สอดคล้องกับ Chou และคณะ (1989) ซึ่งกล่าวไว้ว่า การฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะต่าง จะมีการสูญเสียผลผลิตไปประมาณร้อยละ 20-37 ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง การทำงานของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงและอยู่ในสภาวะต่าง (พีเอช 8.5-11) (Gould, 1985) โดยที่อุณหภูมิสูงทำให้ค่าคงที่ของการแตกตัวสูงขึ้น และการเติมต่างจะช่วยลดไฮโดรเจนอิออน (H^+) และเพิ่มความเข้มข้นของเปอร์ไฮดรอกซิลอิออน (HOO^{\cdot}) (จิระศักดิ์ ชัยสนิท, 2537) โดยสามารถกำจัดลิกนินได้ถึงร้อยละ 50 (Gould, 1984) จากการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นไฮดรอกซิลอิออน ($\cdot OH$) และซูเปอร์ออกไซด์อิออน (O_2^{\cdot}) ดังสมการที่ 1 และ 2 โดยอิออนทั้งสองจะทำการออกซิไดซ์ลิกนินให้อยู่ในรูปโมเลกุลที่มีน้ำหนักต่ำลงจนสามารถละลายน้ำได้ (Gould, 1985) ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของกรดคาร์บอริก (Chou, *et al.*, 1989) และมีผลทำลายพันธะคู่ของคาร์โรทีนอยด์ (Ranum and DeStefanis, 1989)



จากการวัดค่าสีด้วยระบบ Hunter ค่า L เป็นค่าสีขาว เริ่มจากสีดำ เมื่อค่า L เป็น 0 และเป็นสีขาว เมื่อค่า L เป็น 100 ค่า a และ b แสดงถึงลักษณะสีของเส้นใย โดยค่า a แสดงถึงสีแดงเมื่อค่าเป็นบวก และสีเขียวเมื่อค่าเป็นลบ ส่วนค่า b แสดงสีเหลืองเมื่อมีค่าเป็นบวก และสีน้ำเงินเมื่อมีค่าเป็นลบ จากตารางที่ 9 จะเห็นว่าเส้นใยที่ผ่านการฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้งสามความเข้มข้น ให้ค่า a เป็นลบและค่า b เป็นบวก แสดงว่า เส้นใยที่ฟอกได้มีสีค่อนข้างไปทางสีเหลืองอมเขียว ซึ่งทั้งสามความเข้มข้นมีสีใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่า a และ b จึงไม่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกในครั้งนี

แต่จะพิจารณาเฉพาะค่าสีขาว พบว่า เส้นใยที่ผ่านการฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ให้เส้นใยที่มีสีขาวมากที่สุด แต่เปอร์เซนต์ผลผลิตน้อยที่สุด เนื่องจากสามารถกำจัดลิกนินและสารมีสีอื่นๆออกไปได้มาก ทำให้เส้นใยมีน้ำหนักเบาและขาวกว่าที่ความเข้มข้นอื่น สำหรับที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีความขาวรองลงมา และที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ให้ความขาวน้อยที่สุด ที่ความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้นสามารถกำจัดลิกนินได้มากขึ้น เพราะเหลือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทดแทนส่วนที่ระเหยไปอยู่มาก (Chou, *et al.*, 1989) แต่จากการสังเกตในระหว่างการทดลอง พบว่าการฟอกสีที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เกิดฟองอย่างรุนแรงและดันเส้นใยให้อยู่บนฟอง ทำให้เส้นใยไม่สัมผัสกับสารละลาย แม้มีการกวนก็ตาม การฟอกสีจึงเป็นไปได้ไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้เส้นใยเป็นสีขาวน้อย แต่เปอร์เซนต์ผลผลิตสูง สอดคล้องกับ Gould และคณะ (1984) ที่รายงานว่า การแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นก๊าซออกซิเจนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะผิวหน้า ส่วน Chou และคณะ (1989) ทดลองในเปลือกข้าวโอ๊ต พบว่า ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดฟองมากในช่วงต้นของการผสม ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ต้องการ สีขาวของเส้นใยเปลือกโกโก้ที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 73-76 ใกล้เคียงกับสีขาวของเปลือกข้าวโอ๊ตซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 75-79 (Chou, *et al.*, 1989) และสีขาวของเส้นใยจากต้นสนทะเล ต้นกระถินเทพา และต้นกระถินยักษ์ มีค่าสีขาวเท่ากับ 78.00, 79.50 และ 80.00 ตามลำดับ (ลิขิต หาญจางสิทธิ์ และ นัยนา นิยมวัน, 2532) ดังนั้นการฟอกสีเส้นใยด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จึงเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด เพราะให้เส้นใยที่มีสีขาวใกล้เคียงกับแป้งมากที่สุด (ภาพที่ 15)

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของเส้นใยที่ได้หลังการฟอกสี

ความเข้มข้นของสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตต่อ น้ำหนักแห้งของเส้นใย
10	81.64 ± 0.68 ^a
15	81.42 ± 0.62 ^a
20	82.60 ± 0.76 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 9 ค่า L, a และ b ของเส้นใยหลังการฟอกสี

ความเข้มข้นของสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	L	a	b
10	74.53 ± 0.25 ^b	-2.41 ± 0.59 ^b	15.88 ± 0.76 ^b
15	75.43 ± 0.28 ^a	-3.32 ± 0.18 ^a	17.71 ± 1.19 ^a
20	73.45 ± 0.85 ^b	-2.88 ± 0.10 ^{ab}	16.33 ± 0.35 ^{ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 15 เส้นใยของเปลือกโกโก้ที่ผลิตได้

4. ความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใย

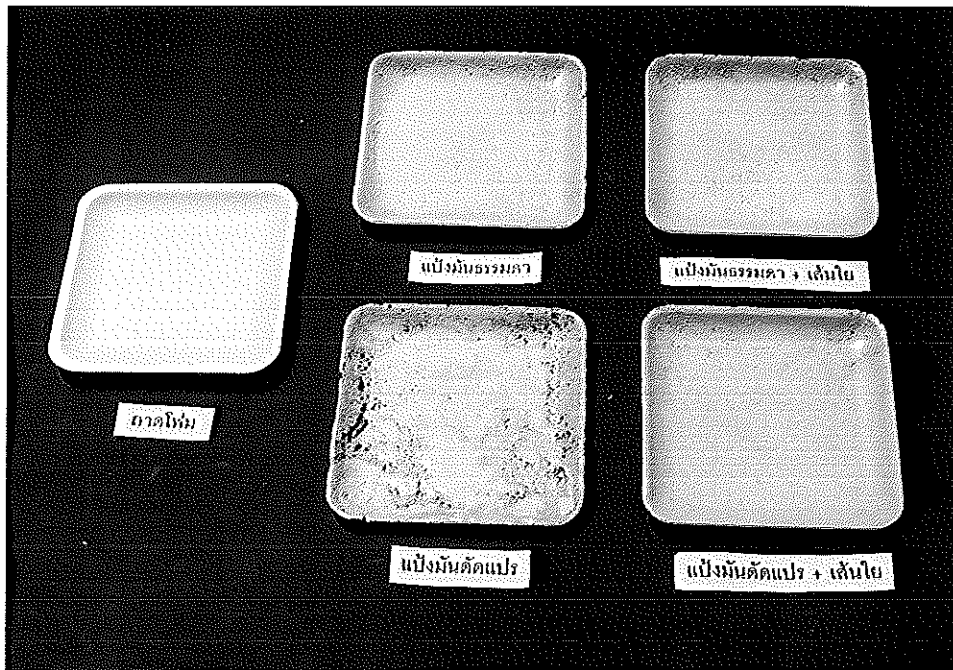
เส้นใยที่ผ่านการคัดเลือกมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ 2.08 กรัม น้ำต่อกรัมเส้นใย เมื่อเทียบกับเส้นใยจากแหล่งอื่น ๆ พบว่า มีความแตกต่างกัน เช่น เส้นใยจากกากชานอ้อย สามารถดูดซับน้ำได้ 26-29 กรัม น้ำต่อกรัมเส้นใย (Michel, *et al.*, 1988) ในขณะที่เส้นใยจากแอปเปิ้ลสามารถดูดน้ำได้ 9.36 กรัม น้ำต่อกรัมเส้นใย (Chen, *et al.*, 1988) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเส้นใย ซึ่งเส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลสมาก มีการดูดซับน้ำน้อย เพราะเซลลูโลสไม่อมน้ำ แต่เส้นใยที่ประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสมาก มีการดูดซับน้ำมาก เพราะเฮมิเซลลูโลสจะพองตัวทำให้เส้นใยอมน้ำ (Britt, 1979) นอกจากนี้ยังขึ้นกับโครงสร้างและรูพรุนของผนังเซลล์ โดยเส้นใยที่มีโครงสร้างของผนังเซลล์จับตัวกันแน่นและมีรูพรุนน้อย มีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำ (Chen, *et al.*, 1988 ; Gould, *et al.*, 1989 ; Ning, *et al.*, 1991)

5. การผลิตถาดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยเปลือกโกโก้

นำส่วนผสมของแป้ง น้ำ และเส้นใย มาใส่ในแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ให้ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนของแป้ง ทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าไประหว่างโมเลกุลได้ อะมิโลสภายในเม็ดแป้งจะละลายและดูดน้ำไว้ ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวจนเม็ดแป้งแตกออก บางส่วนของอะมิโลสจะไหลซึมออกมาในน้ำ ทำให้ได้สารละลายเหนียวข้น เกิดการจับยึดกันแน่นระหว่างโมเลกุลของแป้ง น้ำ และเส้นใย (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรณี เดชกำแหง, 2530 ; ศิวาพร ศิวเวช, 2529 ; Waniska and Gomez, 1992) ในขณะเดียวกัน ความดันจะช่วยให้ส่วนผสมกระจายได้ทั่วแม่พิมพ์ พร้อมทั้งควบคุมส่วนผสมให้มีรูปร่างตามแบบและช่วยให้ผิวถาดเรียบสม่ำเสมอ หลังจากนั้นลดความดันลง ทำให้แม่พิมพ์ที่ประกบกันแน่น คลายตัวออกจากกัน ความดันภายในแม่พิมพ์ซึ่งมากกว่าภายนอก จะดันน้ำส่วนที่กลายเป็นไอออกมาอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว แต่เนื่องจากมีน้ำบางส่วนหลงเหลืออยู่ จึงต้องอบในแม่พิมพ์ต่ออีกระยะหนึ่ง เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจนหมด ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการคงตัว ไม่บิดงอในภายหลัง

จากกลไกการผลิตถาดดังกล่าวคล้ายคลึงกับการทำเอ็กทรูชัน (extrusion) ซึ่งอาศัยหลักการให้ความร้อนสูงควบคู่กับการเปลี่ยนแปลงความดัน ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว ไอน้ำระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว จนโครงสร้างแข็งและคงตัว (ประชา บุญญศิริกุล, 2531 ; Williams, 1977 ; Boer, 1991 ; Lue, *et al.*, 1991)

จากการทดลอง พบว่า แป้งและน้ำเพียงอย่างเดียว สามารถขึ้นรูปเป็นถาดบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายถาดโฟมได้ แต่เปราะและแตกหักง่าย เมื่อเพิ่มเส้นใยลงไป ถาดจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง เนื่องจากสีของเส้นใย (ภาพที่ 16) ความหนาของถาดลดลงแต่น้ำหนักเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 10) ไม่เกิดการแตกหัก เมื่อนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ถาดมีค่าการต้านแรงดัดโค้งและแรงกดเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 11) แสดงว่าการใส่เส้นใยมีผลเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวและให้ความแข็งแรง ซึ่งเปลือใจ ดังคณะกุล และคณะ (2538) ทดลองพบว่า ขนบแป้งที่ผสมเส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้นและความยืดหยุ่นน้อยลง เมื่อพิจารณาถึงการดูดซึมน้ำ ถาดที่ใส่เส้นใยมีการดูดซึมน้ำน้อยกว่าถาดจากแป้งเพียงอย่างเดียว โดยเส้นใยมีผลให้การพองตัวของแป้งลดลง ความหนาแน่นมากขึ้น (Anderson, *et al.*, 1981) น้ำจึงแทรกตัวเข้าไปได้น้อยลง



ภาพที่ 16 ถาดที่ผลิตได้

1. ชนิดของแป้ง

ชนิดของแป้งมีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพของถาด โดยถาดจากแป้งมันดัดแปรมีสีเข้มกว่าถาดจากแป้งมันธรรมชาติเล็กน้อย (ภาพที่ 16) เนื่องจากแป้งมันดัดแปรมีแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าแป้งมันธรรมชาติ (เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, 2534; ศิวาพร ศิวเวชช, 2529 ; Wurzburg, 1986) จึงยึดเหนี่ยวเส้นใยไว้ในเนื้อถาดได้มาก ซึ่งสีของเส้นใยทำให้ถาดมีสีเข้มขึ้น เมื่อนำไปตรวจสอบการต้านแรงดัดโค้งและแรงกดจะมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 11 และตารางภาคผนวกที่ 5, 6) แสดงว่าแป้งมันดัดแปรมีผลทำให้ถาดแข็งแรงกว่าแป้งมันธรรมชาติ ทั้งนี้เพราะแป้งมันดัดแปรในการทดลอง เป็นแป้งที่ได้รับการปรับปรุงให้มีพันธะระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น เรียกว่าครอสลิงสตาร์ช (cross-linked starch) มีโครงสร้างเป็นแบบสามมิติ สามารถทนต่ออุณหภูมิ กรด และแรงเคียนได้ดี (เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, 2534 ; ศิวาพร ศิวเวชช, 2529 ; Wurzburg, 1986) เนื่องจากพันธะที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของครอสลิงสตาร์ชเป็นพันธะโควาเลนต์ ทำให้แรงยึดเหนี่ยวภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งแข็งแรง น้ำแทรกเข้าไปได้ยาก เม็ดแป้งจึงทนต่อการแตกตัวที่อุณหภูมิสูง (Leach, 1965 ; Osman, 1967) ในขณะที่แป้งมันธรรมชาติ พันธะระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนจึงถูกทำลายได้ง่าย

จากความร้อนและแรงเฉือน (คิวาพร คิวเวซช, 2529) ทำให้การพองตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับน้ำและความร้อน (Wurzburg, 1972) ซึ่งในระหว่างการทดลองสังเกตได้ว่าการใช้แป้งมันธรรมาเพียง 20 กรัม มีการพองตัวมากจนล้นออกจากแม่พิมพ์ ในขณะที่แป้งมันดัดแปรปริมาณเท่ากัน ขึ้นรูปได้ไม่เต็มแม่พิมพ์ เพราะการครอสลิงเป็นการเพิ่มพันธะของโมเลกุลแป้ง จึงทำให้การยืดหยุ่นระหว่างโมเลกุลมาก จนยากจะทำลายด้วยความร้อนและความดัน (Yen and Yen, 1993) จากการศึกษาของ Inagki and Seib (1992) โดยใช้แป้งข้าวบาร์เลย์ดัดแปรแบบครอสลิงแทนแป้งสาลีในการทำขนมปังแผ่น พบว่าการพองตัวของแป้งลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Boer (1991) และ Yook และคณะ (1992) พบว่าการพองตัวของแป้งข้าวโพดดัดแปรแบบครอสลิงลดลง แต่ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการทดลองจึงต้องเพิ่มปริมาณของแป้งมันดัดแปรเพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้เต็มแม่พิมพ์ เมื่อพิจารณาการดูดซึมน้ำ (ตารางที่ 11 และตารางภาคผนวกที่ 7) พบว่า ชนิดของแป้งมีผลต่อการดูดซึมน้ำของถาดน้อยมาก เพราะในขณะที่ถาดจากแป้งมันดัดแปรมีโพรงอากาศเล็ก เนื้อแน่นกว่า แต่ถาดจากแป้งมันธรรมาผิวเรียบและแวววาวกว่า ทำให้ชะลอการดูดซึมน้ำ ค่าการดูดซึมน้ำของถาดทั้งสองที่ได้จึงไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2. ชนิดของสารยึดเหนี่ยว

ชนิดของสารยึดเหนี่ยว ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) และไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลส (MCC) มีผลต่อลักษณะของถาดที่ผลิตได้ ถาดที่ใส่ MCC และ HPMC มีสีใกล้เคียงกับถาดที่ไม่ใส่สารยึดเหนี่ยว ผิวเรียบและแวววาว ส่วนถาดที่ใส่ CMC จะมีสีเหลืองเข้ม ผิวเรียบแต่ไม่แวววาว เมื่อนำไปตรวจสอบการต้านแรงดัดโค้งและแรงกดเปรียบเทียบกับถาดที่ไม่ใส่สารยึดเหนี่ยวในแป้งทั้งสองชนิด (ตารางที่ 11 และตารางภาคผนวกที่ 5, 6) พบว่า ถาดที่ใส่ CMC มีการต้านแรงดัดโค้งและแรงกดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ถาดที่ใส่ MCC และ HPMC มีค่าลดลง เมื่อพิจารณากำรต้านแรงดัดโค้งและแรงกดของสารยึดเหนี่ยวแต่ละชนิดในแป้งแต่ละชนิด (ตารางที่ 11 และตารางภาคผนวกที่ 5, 6) พบว่า ถาดจากแป้งมันธรรมาที่ใส่สารยึดเหนี่ยวทั้งสามชนิด มีการต้านแรงดัดโค้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สำหรับแป้งมันดัดแปร ถาดที่ใส่ CMC มีค่ามากกว่าถาดที่ใส่ MCC และ HPMC อย่างมีนัย

สำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนการต้านแรงกดของธาตุจากแป้งทั้งสองชนิด พบว่า ธาตุที่ใส่ CMC มีค่ามากกว่าธาตุที่ใส่ MCC และ HPMC อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เพราะ CMC มีความหนืดสูงกว่า MCC และ HPMC มาก (บริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด, 2539) เนื่องจาก CMC มีความเป็นกาวสูง และมีโมเลกุลบางส่วนเป็นเซลลูโลส จึงสามารถจับกับแป้งและเส้นใยได้เป็นอย่างดี (Britt, 1970) เมื่อสังเกตจากลักษณะภายในของเนื้อธาตุ พบว่า ธาตุที่ใส่ CMC มีเนื้อแน่น โพรงอากาศเล็ก สัมพันธ์กับน้ำหนักที่มากแต่ความหนาน้อย (ตารางที่ 10) โครงสร้างของธาตุจึงแข็งแรงกว่าธาตุที่ใส่ MCC และ HPMC ซึ่งมีโพรงอากาศใหญ่ สำหรับ MCC แม้จะเป็นกลุ่มเซลลูโลสสังเคราะห์เช่นเดียวกับ CMC แต่ไม่ละลายน้ำและไม่มีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดลองของ Zenoble (1982) พบว่า การใช้ MCC ทดแทนแป้งในการทำขนมเค้ก ช่วยลดการใช้น้ำลง แต่ไม่มีความหนืดเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิสูงยังมีความหนืดลดลง (บริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด, 2539) ส่วน HPMC ละลายน้ำได้ เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้ความหนืดลดลง (บริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด, 2539) เกิดการขยายตัวจนล้นออกจากแม่พิมพ์มากกว่าสูตรอื่น เนื่องจาก HPMC สามารถพองตัวได้ถึง 40 เท่าของน้ำหนักแห้ง (Whistler and BeMiller, 1973) เมื่อไอน้ำระเหยออกไปจะมีโพรงอากาศใหญ่มาก ซึ่งเห็นได้ชัดจากความหนาของธาตุมากแต่น้ำหนักน้อย เมื่อพิจารณาผลการดูดซึมน้ำพบว่า ธาตุที่ใส่ MCC มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือธาตุที่ใส่ CMC และ HPMC ตามลำดับ เนื่องจากธาตุที่ใส่ MCC มีองค์ประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ผิวธาตุเรียบและแวววาวมาก ทำให้น้ำแทรกตัวได้ยาก ส่วนธาตุที่ใส่ CMC และ HPMC มีผิวที่เรียบและแวววาวน้อยกว่า อีกทั้ง CMC และ HPMC มีคุณสมบัติช่วยให้เกิดการขู่มน้ำ (Whistler and BeMiller, 1973) จึงดูดซึมน้ำได้เร็ว โดยเฉพาะธาตุที่ใส่ HPMC ซึ่งมีโพรงอากาศใหญ่ จึงมีช่องว่างให้น้ำเข้าไปได้มาก

3. ปริมาณของสารยึดเหนี่ยว

ปริมาณสารยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก แป้ง ไม่มีผลต่อการต้านแรงดัดโค้งและการดูดซึมน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 11 และตารางภาคผนวกที่ 5, 7) แต่สำหรับการต้านแรงกด พบว่า ปริมาณของ CMC ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการต้านแรงกดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดย CMC เพิ่มขึ้นมี

ตารางที่ 10 ความชื้น น้ำหนัก และความหนาของภาคที่ผลิตจากเส้นใยของเปลือกโกโก้ผสม
แป้งและสารยึดเหนี่ยว

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	น้ำหนักภาค (กรัม)	ความหนา (เซนติเมตร)
A	4.22	18.87	0.34
B	3.84	20.05	0.30
B + CMC 5%	5.28	26.01	0.27
B + CMC 10%	5.59	26.67	0.28
B + HPMC 5%	3.57	17.19	0.32
B + HPMC 10%	3.82	19.26	0.33
B + MCC 5%	3.94	20.12	0.33
B + MCC 10%	6.46	20.34	0.33
C	6.40	10.00	0.42
D	4.62	14.48	0.37
D + CMC 5%	5.81	18.78	0.36
D + CMC 10%	5.84	20.49	0.36
D + HPMC 5%	3.58	12.44	0.38
D + HPMC 10%	3.58	14.88	0.38
D + MCC 5%	4.68	13.28	0.38
D + MCC 10%	5.00	15.00	0.39

หมายเหตุ : A = แป้งมันต์ดัดแปร + น้ำ

B = แป้งมันต์ดัดแปร + เส้นใย + น้ำ

C = แป้งมันธรรมชาติ + น้ำ

D = แป้งมันธรรมชาติ + เส้นใย + น้ำ

CMC = คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

MCC = ไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลส

HPMC = ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

ตารางที่ 11 สมบัติของภาคที่ผลิตจากเส้นใยของเปลือกโกโก้ผสมแป้งและสารยึดเหนี่ยว

ตัวอย่าง	การต้านแรงดัดโค้ง (กิโลกรัมแรง/ตร.ซม.)	การต้านแรงกด (กิโลกรัมแรง/ตร.ซม.)	การดูดซึมน้ำ (กรัม/ตร.ซม.)
A	1.344 cd	3.010 cd	0.049 bcde
B	2.457 a	3.151 bc	0.035 cde
B + CMC 5%	2.618 a	2.966 cde	0.052 bcd
B + CMC 10%	2.842 a	3.811 a	0.043 cde
B + HPMC 5%	0.907 d	1.750 ghij	0.090 a
B + HPMC 10%	0.866 d	1.104 kl	0.080 a
B + MCC 5%	1.891 b	2.168 fg	0.026 e
B + MCC 10%	1.635 bc	2.548 cdef	0.028 e
C	1.051 d	1.066 kl	0.048 bcde
D	1.193 cd	1.940 ghi	0.043 cde
D + CMC 5%	1.149 cd	2.041 fgh	0.043 cde
D + CMC 10%	1.098 d	3.640 ab	0.071 ab
D + HPMC 5%	0.888 d	0.983 l	0.053 bc
D + HPMC 10%	0.875 d	0.985 l	0.086 a
D + MCC 5%	1.092 d	1.646 ghijk	0.036 cde
D + MCC 10%	1.324 cd	1.226 jkl	0.033 cde

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

A = แป้งมันดัดแปร + น้ำ

B = แป้งมันดัดแปร + เส้นใย + น้ำ

C = แป้งมันธรรมชาติ + น้ำ

D = แป้งมันธรรมชาติ + เส้นใย + น้ำ

CMC = คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

MCC = ไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลส

HPMC = ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

ผลให้แรงยึดเหนี่ยวและความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (งามจิตร วิฑูรย์สถฤทธิศิลป์, 2520) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด (2539) สำหรับ MCC แม้จะเพิ่มปริมาณขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการต้านแรงกดของภาคเช่นเดียวกับ HPMC เพราะปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ MCC และ HPMC มีผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับ CMC (บริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด, 2539)

ดังนั้นภาคที่ได้จากสูตรแป้งมันดัดแปรผสมเส้นใยและ CMC ร้อยละ 10. โดยน้ำหนักแป้ง จึงเป็นภาคที่เหมาะสมเพราะมีความแข็งแรงมากที่สุดและมีการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับปานกลาง

6. การใช้งานของภาคที่ผ่านการคัดเลือก

จากการทดลองใช้ภาคที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 5 และภาคโฝม (ตัวอย่างควบคุม) บรรจุรังดัดแต่งหนัก 150 กรัม แล้วห่อด้วยฟิล์มพลาสติก เก็บไว้ที่ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน พบว่า

น้ำหนักของฝรั่ง ลดลงเรื่อย ๆ ตามอายุการเก็บ เนื่องจากผลไม้ส่วนใหญ่มีความชื้นสูงถึงร้อยละ 80-95 โดยฝรั่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 92 ในขณะที่บรรยากาศภายนอกตามปกติมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 (ศูนย์บริการข้อมูลชนบท, 2534) และในห้องเย็นที่ใช้ทำการทดลองมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 62 ความดันไอน้ำในฝรั่งจึงสูงกว่าในห้องเย็นมาก ทำให้เกิดการถ่ายเทไอน้ำจากฝรั่งให้กับห้องเย็น มีผลให้น้ำหนักฝรั่งลดลง นอกจากนั้นการปกเปิดเปลือกและการดัดแต่งยังเป็นการเร่งอัตราการสูญเสียน้ำ เพราะเซลล์ภายในถูกเปิดออก ทำให้น้ำระเหยออกไปได้ง่าย (ศูนย์บริการข้อมูลชนบท, 2534 ; Mitchell, 1985 ; King and Bolin, 1989) แต่สำหรับฝรั่งในภาคจากเส้นใย นอกจากสูญเสียน้ำหนักดังกล่าว ยังถูกภาคดูดซึมน้ำไว้ ทำให้น้ำหนักฝรั่งในภาคจากเส้นใยลดลงเร็วมากในช่วงสองวันแรก และค่อย ๆ ช้าลง (ภาพที่ 17) เพราะในช่วงแรกของอายุการเก็บ ภาคมีช่องว่างของโพรงอากาศอยู่มาก เมื่อสัมผัสกับฝรั่งซึ่งมีความชื้นสูงโดยตรงจึงดูดซึมน้ำจากฝรั่งเข้าไปอยู่ตามโพรงอากาศเหล่านั้น เมื่อเวลาผ่านไป น้ำเข้าไปอยู่จนเต็มช่องว่างเหล่านั้น ทำให้ภาคนิ่มลงจนเสียรูปทรงและอิมตัวด้วยน้ำ จึงดูดซึมน้ำจากฝรั่งลดลง ทำให้น้ำหนักฝรั่งลดลงอย่างช้า ๆ ในวันหลัง ๆ ของอายุการเก็บ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของฝรั่งจากภาคโฝม เห็นได้ว่า น้ำหนักฝรั่งของภาคโฝมลด

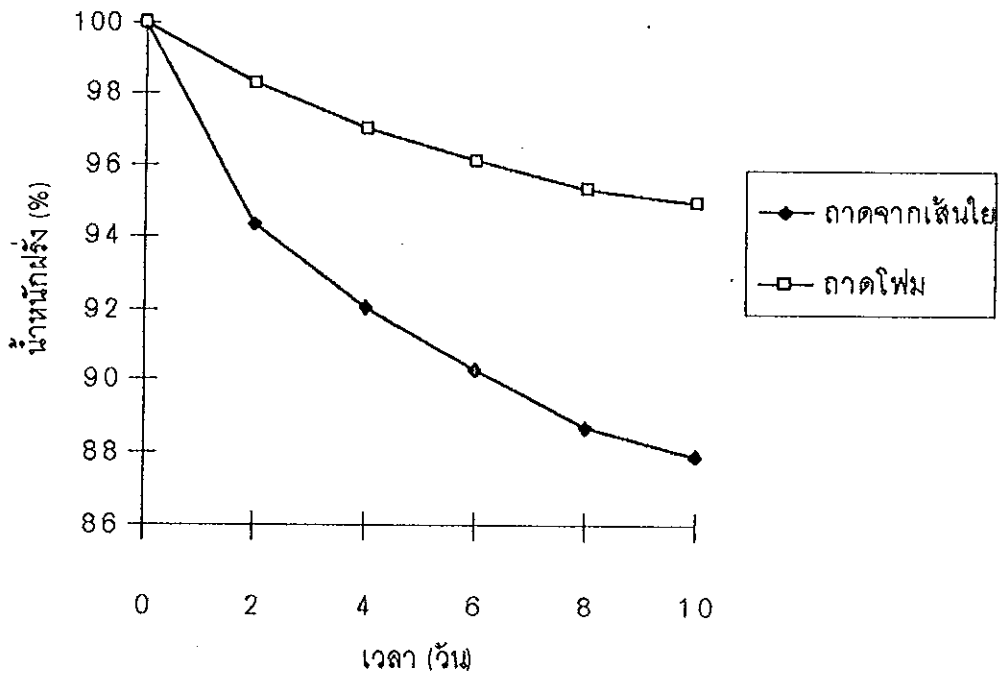
ลงช้ากว่าภาคจากเส้นใย เพราะภาคโฝมไม่ดูดซึมน้ำ ดังนั้นฝรั่งจึงไม่มีการสูญเสียน้ำ

น้ำหนักของภาค จะเห็นว่า ภาคจากเส้นใยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเร็วมากในช่วงแรก และค่อย ๆ ช้าลง (ภาพที่ 18) เพราะภาคดูดซึมน้ำจากฝรั่งไว้ดังกล่าวข้างต้น ส่วนภาคโฝมมีน้ำหนักคงที่ตลอดอายุการเก็บ

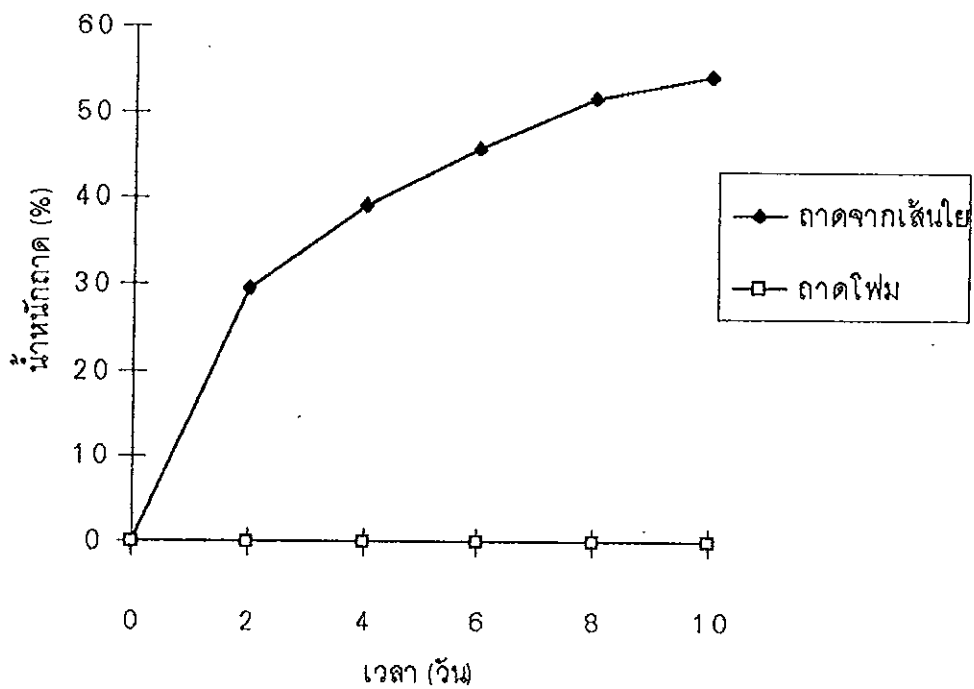
ลักษณะของฝรั่ง เมื่ออายุการเก็บนานขึ้น ผิวของฝรั่งแห้งลงเรื่อย ๆ และมีสีน้ำตาลเล็กน้อย (ภาพที่ 19) เมื่อทดสอบชิมพบว่า ความกรอบลดลง ในผลไม้บางชนิด เช่น ลูกพีช จะแสดงอาการเหี่ยวหรือหดตัวเมื่อสูญเสียน้ำไปร้อยละ 3-5 ของน้ำหนักเริ่มต้น (Mitchell, 1985 ; Sommer, 1985) สำหรับสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น เนื่องจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในเนื้อผลไม้ที่ผ่านการปอกเปลือกดึงออกซิเจนเข้ามาทำปฏิกิริยากับสารโพลีฟีนอล ทำให้เกิดสารควิโนนที่มีสีน้ำตาล (เมณฑาทิพย์ ญุ่นฉลาด, 2539 ; ประสาร สวัสดิ์ชิตัง, 2538 ; McEvily, et al.,1992) การเกิดสีน้ำตาลในฝรั่งจะเกิดขึ้นช้า เพราะฝรั่งมีกรดแอสคอบิกที่มีผลยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล อยู่ถึง 200 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเนื้อฝรั่ง (ประสิทธิ์ อติวีระกุล, 2527) นอกจากนี้การเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำรวมทั้งมีฟิล์มห่อหุ้มอยู่ทำให้ลักษณะผิวแห้งและเป็นสีน้ำตาลเกิดขึ้นช้าลง (दनัย บุญเกียรติ และ นิธิยา รัตนাপนนท์, 2535) โดยอุณหภูมิที่ลดลงทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส ช่วยชะลออัตราการหายใจ การคายน้ำ และปฏิกิริยาต่าง ๆ ลง 2-4 เท่า (Elliott and Michener, 1965 ; Kader,1985) จากการทดลองของ Mendoza และ Wills (1984) พบว่าการเก็บมะม่วงไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส ทำให้การสูญเสียน้ำลดลง เมื่อเทียบกับที่เก็บไว้ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับ Ryall และ Lipton (1972) พบว่า ลูกแพร์เสียน้ำหนักที่ 20 องศาเซลเซียส มากกว่าที่ 0 องศาเซลเซียส ในขณะที่ฟิล์มมีส่วนช่วยชะลออัตราการหายใจและการเกิดสีน้ำตาล โดยฟิล์มจะยอมให้คาร์บอนไดออกไซด์ผ่านเข้าออกได้ง่ายกว่าออกซิเจน ทำให้มีออกซิเจนสัมผัสกับเนื้อเยื่ออ่อนลง (दनัย บุญเกียรติ และ นิธิยา รัตนাপนนท์, 2535 ; Sommer, 1987) Anzueto และ Rizvi (1985) พบว่าอัตราการหายใจของแอปเปิ้ลที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มต่ำกว่าไม่ห่อหุ้ม เมื่อเปรียบเทียบลักษณะฝรั่งจากภาคทั้งสองประเภท จะเห็นว่า ฝรั่งในภาคจากเส้นใยจะเกิดลักษณะดังกล่าวเร็วกว่าภาคโฝม เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำมากกว่า หลังจากเก็บไปได้ 8-10 วัน ฝรั่งใน

จากจากเส้นใยมีจุดสีดำเล็ก ๆ เกิดขึ้นในฝรั่งบางชิ้น ส่วนกรดโฟมพบในวันที่ 10 เนื่องจากฝรั่งได้รับการปกป้องกันและตัดแต่งให้รับประทานได้ทันที ทำให้เนื้อภายในถูกเปิดและน้ำหวานซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ออกมาอยู่ที่บริเวณผิวหน้า จึงง่ายต่อการติดเชื้อ (Brackett, 1987 ; Garg, et al., 1993) นอกจากนี้การไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิ ทำให้เกิดเป็นหยดน้ำเกาะที่ฟิล์มและผิวฝรั่ง เป็นสาเหตุให้สปอร์ของเชื้อราเจริญได้ (Lund, 1983 ; Brackett, 1987 ; Rayall and Pentzer, 1974) จากรายงานของ Brackett (1987) และ Deak และคณะ (1987) พบว่า ในมะเขือเทศสดและข้าวโพดหวานที่ได้รับการบรรจุและปิดผนึกเป็นอย่างดี มีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น เพราะมีไอน้ำอยู่ภายในภาชนะบรรจุ ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ (Sommer, 1985) ซึ่งจุดดำๆ ที่เกิดขึ้นบนฝรั่งนั้น สันนิษฐานว่าเป็นกลุ่มเชื้อรา เนื่องจากเชื้อราสามารถเจริญได้สภาวะที่เป็นกรด ซึ่งผลไม้ส่วนใหญ่ มักมีกรดสูงรวมทั้งฝรั่ง แต่การเก็บไว้อุณหภูมิต่ำช่วยชะลอการเจริญของเชื้อรา โดยมีผลต่อการเพิ่มระยะฟักตัวและชะลออัตราการแบ่งตัวของจุลินทรีย์ (King and Bolin, 1989 ; Mitchell, 1985) จึงสังเกตเห็นเชื้อราได้ในวันหลัง ๆ ของอายุการเก็บ

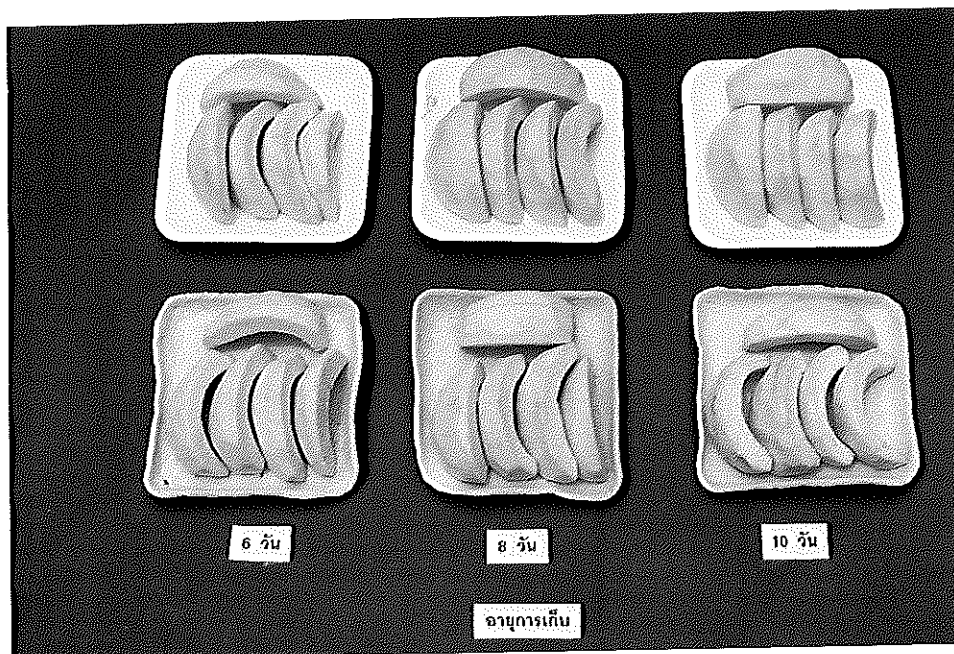
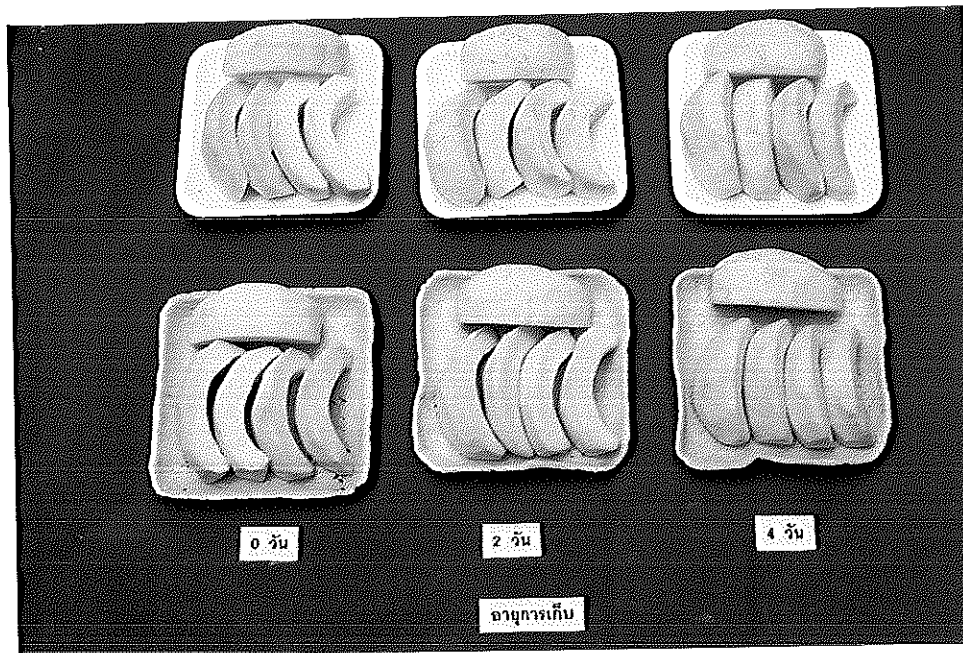
ลักษณะกรด พบว่า กรดโฟมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนกรดจากเส้นใยเริ่มมีในบริเวณที่สัมผัสกับฝรั่งโดยตรงนับตั้งแต่วันแรก เพราะกรดจากเส้นใยดูดซึมน้ำจากฝรั่งไว้ และกระจายไปทั่วทั้งกรดภายใน 4-6 วัน ทำให้กรดเสียรูปทรง ขอบกรดเกิดการบิดงอ ฟิล์มที่ดึงไว้ตั้งตั้งแต่แรกค่อย ๆ หย่อนลง บริเวณกลางกรดนิ่มมาก จนไม่อาจทดสอบการต้านแรงดัดโค้งและแรงกดได้ ผิวกรดเป็นเมือก แต่ไม่เปื่อยยุ่ย มีความยืดหยุ่นสูง การที่กรดแบ่งดูดซึมน้ำได้ดี เพราะแบ่งเกิดการพองตัว มีโพรงอากาศมาก น้ำจึงแทรกตัวเข้าไปตามโพรงอากาศเหล่านั้น อีกทั้ง CMC ยังดูดน้ำและอุ้มน้ำได้ดี (Pomeranz, et al., 1977) จึงทำให้กรดดูดซึมน้ำได้ง่าย แต่ช่วยให้กรดไม่เปื่อยยุ่ยง่ายเช่นกรดแบ่งหรือกรวยไอศกรีมโดยทั่วไป เพราะมีคุณสมบัติในการยึดเหนี่ยวดีมาก (Britt, 1970) ซึ่งการที่กรดนิ่มลงแสดงว่า น้ำมีผลให้โครงสร้างกรดอ่อนตัวลง สอดคล้องกับการทดลองเก็บคูกี้ไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ของ Zabik และคณะ (1979) โดยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ความชื้นหรือปริมาณน้ำในคูกี้ก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้คูกี้ที่นิ่ม ความแข็งลดลง เมื่อตรวจสอบการดูดซึมน้ำของกรด พบว่า ลดลงเรื่อย ๆ เมื่ออายุการเก็บมากขึ้น เนื่องจากกรดค่อย ๆ อิ่มตัวด้วยน้ำจากฝรั่ง ดังนั้นจึงเหลือส่วนที่รับน้ำได้น้อยลง



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรีดของธาด เมื่อเก็บไว้ที่ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรีดของธาด เมื่อเก็บไว้ที่ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน



ภาพที่ 19 ลักษณะของฝรั่งและภาค หลังเก็บไว้ที่ 8-10 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน

บทที่ 4

สรุป

เปลือกโกโก้ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบ ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 82.77 (น้ำหนักเปียก) เยื่อใย ลิกนิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 26.12, 11.74, 23.13 และ 6.40 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยจากเปลือกโกโก้ พบว่า การแช่เปลือกโกโก้สดในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิห้อง สามารถแยกกะลาออกจากเปลือกได้เร็วที่สุดในเวลาประมาณ 6 - 6.5 ชั่วโมง แต่มีการแตกหักของกะลามากกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ซึ่งใช้เวลาในการแช่ใกล้เคียงกัน คือ 6-7 ชั่วโมง ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 การแตกหักของกะลามีน้อยมาก แต่ใช้เวลาในการแช่นาน 11-12 ชั่วโมง ดังนั้นการแช่เปลือกโกโก้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จึงเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม หลังจากนั้นนำเปลือกที่แยกกะลาออกแล้ว มาต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที จะได้เส้นใยสีน้ำตาล นำเส้นใยมาฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า เส้นใยหลังการฟอกสี อยู่ในโทนสีขาวอมเหลือง โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 จะให้เส้นใยที่มีความขาวมากที่สุด และมีความสามารถในการดูดซับน้ำ 2.08 กรัม น้ำต่อกรัมเส้นใย นำเส้นใยดังกล่าวมาผสมกับแป้งมันธรมดา แป้งมันต์คัดแปร น้ำและสารยึดเหนี่ยว ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลส ในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วขึ้นรูปเป็นถาดบรรจุภัณฑ์ด้วยแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส ให้ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 5 นาที และที่ความดัน 0 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อีก 15 นาที จะได้ถาดบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายถาดโฟม นำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การต้านแรงดัดโค้ง การต้านแรงกด และการดูดซึมน้ำ พบว่า ชนิดของแป้งและสารยึดเหนี่ยวมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ โดยถาดจาก

แป้งมันดัดแปรให้ค่าการต้านแรงดัดโค้งและการต้านแรงกดมากกว่า แต่มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าแป้งมันธรรมดา ในขณะที่เดียวกันการใส่คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแป้ง ให้ค่าการต้านแรงทั้งสองชนิดมากกว่าไมโครคริสตอลไลน์เซลลูโลส และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ส่วนการดูดซึมน้ำปานกลาง เมื่อนำถาดดังกล่าวมาบรรจุฝรั่งตัดแต่งแล้วห่อด้วยฟิล์มพลาสติก เก็บไว้ที่ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน พบว่า ถาดดูดซึมน้ำจากฝรั่งไว้ ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นพร้อมกับตัวถาดนิ่มลงเรื่อย ๆ ตามอายุการเก็บ จนไม่สามารถตรวจสอบการต้านแรงดัดโค้งและแรงกดได้ ส่วนฝรั่งมีน้ำหนักลดลงเรื่อย ๆ ผิวแห้ง มีสีน้ำตาลและความกรอบลดลง เนื่องจากถูกถาดดูดซึมน้ำไว้และมีการคายน้ำตามธรรมชาติ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษานำสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และน้ำในการสกัดเส้นใยกลับมาใช้ใหม่ โดยผสมกับสารละลายใหม่ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้นและเป็นการประหยัด อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตเส้นใยได้
2. แม่พิมพ์ที่ใช้ไม่มีทางระบายไอน้ำที่เกิดขึ้นในระหว่างการให้ความดัน ทำให้ถาดที่ได้แห้งช้า จึงใช้เวลานานในการผลิต และบางครั้งไอน้ำที่เกิดขึ้นจะดันเนื้อแป้งให้เกิดการฉีกขาด ผิวจึงขรุขระ และเสียรูปทรง หากปรับปรุงแม่พิมพ์ให้สามารถระบายไอน้ำออกไปได้ในระหว่างการให้ความดัน จะช่วยให้การผลิตเป็นไป得更เร็วขึ้นและการเสียหายของผิวถาดเกิดขึ้นน้อยลง
3. ราคาของถาดที่ผลิตได้ค่อนข้างสูง เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของเส้นใยที่ได้น้อยมาก ดังนั้นจึงควรนำส่วนที่ทิ้งไปกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น นำกะลาไปฟอกสีแล้วบดให้ละเอียด ใช้ร่วมกับเส้นใยในการทำบรรจุภัณฑ์ หรือใส่ในอาหารเพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหาร เป็นต้น
4. เนื่องจากถาดที่ผลิตขึ้นไม่เหมาะสำหรับอาหารที่มีความชื้นสูง เพราะน้ำทำให้โครงสร้างถาดอ่อนตัวลง จึงควรวางวิธีการทำให้ถาดไม่ดูดซึมน้ำ เช่น ศึกษาการเคลือบถาดด้วยสารที่ป้องกันน้ำ ก็จะสามารถใช้กับอาหารที่มีความชื้นสูงได้ดีเช่นเดียวกับถาดโฟม

เอกสารอ้างอิง

- กนกอร อินทราพิเชษฐ. 2523. เคมีอาหาร. สงขลา : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร
คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 136 หน้า.
- กมล ไสภณพันธ์. 2529. การผลิตเยื่อกระดาษและการผลิตกระดาษแข็งใช้ทำกล่อง.
ใน : รายงานการสัมมนาเรื่องกระดาษแข็งเพื่อการบรรจุภัณฑ์. สถาบันวิจัย
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 20-21 มี.ค. 2529.
- กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม. 2528. กระทบอาหาร.
เสนาสาร. 35 (175) : 14-16.
- เกศศิณี ตระกูลทิวากร, วิภา สุโรจนะเมธากุล, ประชา บุญญสิริกุล และ สมยศ
จรรยาวิลาส. 2539. การทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้ง
มันสำปะหลัง. อาหาร. 26 (4) : 249-262.
- งามจิตร์ วิชญ์สุภษฏาศิลป์. 2520. ซี. เอ็ม. ซี. อุตสาหกรรมสาร. 20 (6) : 1-18.
- จิระศักดิ์ ชัยสนิท. 2537. เพอร์ออกไซด์กับอุตสาหกรรมกระดาษ. ว.กรมวิทยาศาสตร์
บริการ. 42(135) : 15-16.
- ฉลอง เขียมอาหาร. 2533. การทำกระดาษจากผักตบชวา. อุตสาหกรรมสาร. 33 (1) :
56-60.
- ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. 2524. พจนานุกรมเคมี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
512 หน้า.

เชาว์ ชีโนรักษณ์. 2522. ชีววิทยา. กรุงเทพฯ : ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 530 หน้า.

ดวงใจ ช่วยสถิตย์. 2535. การเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ระหว่างการหมักเมล็ดโกโก้.
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 127 หน้า.

ดนัย บุญเกียรติ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2535. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผัก
และผลไม้. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 148 หน้า.

ตติตราภรณ์ ชูศรี. 2529. อุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.
ว. วิทยาศาสตร์ขอนแก่น. 14 (3) : 166-171.

ทัศนีย์ จุตะกานนท์. 2533. สารานุกรมศัพท์เคมี. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พรีนติ้งเฮ้าส์.
348 หน้า.

นพนันท์ อนุรัตน์. 2534. หมายเหตุอารยธรรมจากใบตองถึงกล่องโฟม. ร้อยรอบตัว.
6 (65) : 39-46.

บุญล้อม ชีวะฉิสระกุล. 2530. การใช้เปลือกโกโก้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ว. วิทยา-
ศาสตร์เกษตร. 20 (2) : 238-290.

ประชา บุญญสิริกุล. 2537. การผลิตอาหารขบเคี้ยวที่มีข้าวโพดเป็นส่วนประกอบด้วย
กระบวนการอัดพอง. อาหาร. 24 (2) : 79-87.

ประชิด ทิณบุตร. 2531. การออกแบบบรรจุภัณฑ์. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พรีนติ้งเฮ้าส์.
174 หน้า

ประสาร สวัสดิ์ชิตัง. 2538. การเกิดสีน้ำตาลของอาหารและการควบคุมป้องกัน.
อาหาร. 25 (3) : 160-169.

ประสิทธิ์ อติวีระกุล. 2527. เทคโนโลยีของผลไม้และผัก. สงขลา : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
361 หน้า.

ผานิต งานกรณาธิการ. 2532. พันธุ์โกโก้. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเรื่อง
โกโก้กับการพัฒนาอุตสาหกรรม. ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 31 ม.ค.
2532.

พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์. 2533. หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 1 : โภชนะ. เชียงใหม่ : ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพบุลย์ ธรรมรัตน์वासิก. 2529. กรรมวิธีแปรรูปอาหาร. สงขลา : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 302 หน้า.

ไพบุลย์ ธรรมรัตน์वासิก, กนก ดิระวัฒน์, ไพศาล วุฒิจำนงค์, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, พรชัย ศรีไพบุลย์, มนัส ชัยสวัสดิ์, สมชาย สุคนธสิงห์, เสริมศักดิ์ ชื่นเจริญ และ ปิยะนุช นาคะ. 2534. โครงการวิจัยและพัฒนากรรมวิธีการผลิตเมล็ดโกโก้แห้ง. รายงานการวิจัย. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 193 หน้า.

เพลินใจ ดังคณะกุล, พัชรี ดังตระกูล, เนตรนภิส วัฒนสุขชาติ, พยอม ชัตถวิบูลย์กุล และ บุญมา นิยมวิทย์. 2538. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของขนมปังและคุกกี้ที่มีใยอาหารสูง. อาหาร. 25 (2) : 94 -107.

มณฑาทิพย์ หยุ่นฉลาด. 2535. ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้. อาหาร. 22 (1)
: 1-6.

มณฑาทิพย์ หิรัญสาส์. 2536. การศึกษาการเก็บรักษาผลมังคุดโดยการดัดแปลง
บรรยากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
อาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 136 หน้า.

มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์หัต. 2533. คู่มือการใช้พลาสติกเพื่อการหีบห่อ.
กรุงเทพฯ : ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งประเทศไทย. 137 หน้า.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2536. เดกซ์ทรีนสำหรับอุตสาหกรรม มอก.1171-
2536. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

ลิขิต หาญจางสิทธิ์ และ นัยนา นิยมวัน. 2532. เยื่อกระดาษจากไม้โตเร็ว. ว. โรงงาน.
8 (1) : 23-32.

วรรณพร ศิริโรจน์. 2529. การปรับปรุงคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังโดยการดัดแปร
สภาพทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทาง
อาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 136 หน้า.

วราวุธ ชูธรรมรัช, ผานิต งานกรณานิการ และ อานุกาฬ สีระกุล. 2536. การจัดการ
สวนโกโก้เพื่อเพิ่มผลผลิต. กสิกร. 66 (4) : 338-342.

วันทนี สาดราคม, บวร วัฒนเสรี, นิโบล เดชาติวงศ์ และ รุ่งอรุณ ศิริพันธ์. 2517.
การศึกษาเรื่องเยื่อกระดาษจากไม้กระถิน ไม้ปอทอง ไม้หอม ไม้เพ็งแหง
และ ไม้มะขามเทศ. รายงานการวิจัย. กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์
กระทรวงอุตสาหกรรม. 22 หน้า.

ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรรณี เดชกำแหง. 2530. เคมีอาหารเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 211 หน้า

ศิวาพร ศิวเวทช. 2529. วัตถุดิบอาหาร เล่ม 2. กรุงเทพฯ : ภาควิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 145-170.

ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย. 2529. หลักการทดสอบวัสดุและภาชนะบรรจุ. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 35 หน้า.

ศูนย์บริการข้อมูลอุตสาหกรรมชนบท. 2534. การเก็บถนอมอาหารประเภทผักและผลไม้. เทคโนโลยี .12(2) : 15-21.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2528. เทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์กึ่งอาหาร. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 125-130.

สัมพันธ์ คัมภีรานนท์. 2526. สรีรวิทยาของพืช. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 358 หน้า.

สิรินทร์ วิโมกษ์สันถว์. 2516. ชีวเคมี. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์บำรุงนุกุลกิจ. 582 หน้า.

สุพจน์ ไข่เทียมวงศ์. 2528. การผลิตเยื่อกระดาษโดยกรรมวิธีการหมักจากฟางข้าว. ว. วิทยาศาสตร์. 39 (15) : 195-200.

สุวิชา ภัทรศิริ และ บรรจบ ศรีสมถวิล. 2521. การทำกระดาษสาด้วยมือ. อุตสาหกรรมสาร. 21 (10) : 18-23.

สำปะหลังพัฒนา จำกัด. บริษัท. 2539. ติดต่อบริษัท

เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล. 2534. เคมีอาหารเบื้องต้น. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร
คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 253 หน้า.

อมร วงศ์วิเศษพานิช. 2531. คุณภาพของภาชนะบรรจุและผลิตภัณฑ์อาหาร. รายงาน
การสัมมนาเรื่องการหีบห่อและการพัฒนาคุณภาพอาหาร. กรุงเทพฯ : ศูนย์
การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ไทย.

อมรรัตน์ สวัสดิ์ทัต 2535. บรรจุภัณฑ์สำคัญไหน. ใน : รายงานสัมมนาเรื่องบรรจุ
ภัณฑ์อาหารแช่แข็งเพื่อการส่งออก. กรุงเทพฯ : ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 24 มิ.ย. 2535.

อมรรัตน์ สวัสดิ์ทัต, อัญชลี กมลรัตนกุล และ มยุรี ภาคลำเจียก. 2532. คู่มือการใช้
กระดาษเพื่อการหีบห่อ. กรุงเทพฯ : ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบัน
วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. ข้าวสาร : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : ภาควิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 350 หน้า.

อังคณา หาญบรรจง และ ดวงสมร สีนเจิมสิริ. 2532. การวิเคราะห์และประเมินคุณ
ภาพอาหารสัตว์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 155 หน้า

อัศจรรย์พร ไชยะสูต. 2529. ความรู้เรื่องผ้า. กรุงเทพฯ : บริษัทศูนย์หนังสือกรุงเทพฯ.
409 หน้า.

อำนาจ ฤทธิ์จันทร์. 2537. บรรจุภัณฑ์. ว. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 42 (134) : 21-25.

Anderson, Y. , Hedlund, B. , Jonsson, L. and Sevansson, S. 1981. Extrusion cooking of a high-fiber cereal product with crispbread character. Cereal chem. 58 (5) : 370-374.

Anon. 1989. Dietary fiber. Food Tech. 43 : 133-139.

Anzueto, C.R. and Rizvi, S.S.H. 1985. Individual packaging of apple for shelf-life evaluation. J. Food Sci. 50 (4) : 897-900.

A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis of the Associate of Official Analytical Chemists. 15 th ed. Washington, D.C.: The Associate of Official Analytical Chemists.

ASTM. 1982. Annual Book of ASTM Standards : Part 35 Plastic General Test Methods Nomenclature. Philadelphia : American Society for Testing and Materials.

Barmore, C.R. 1987. Packing technology for fresh and minimally processed fruits and vegetables. J. Food Qual. 10 : 207-217.

Batdorf, J.B. and Rossman, J.M. 1973. Sodium carboxymethylcellulose. In : Industrial Gum : Polysaccharides and Their Derivatives. USA : Academic Press, Inc. Ltd. 695-729.

Battista, O.A. 1975. Microcrystal Polymer Science. USA : McGraw-Hill Inc. 17-57.

- Boer, E.D. 1991. Chemically modified derivatives of starch from a new genetic variety of corn. *Cereal Food World*. 36 (8) : 631-639.
- Brackett, R.E. 1987. Microbiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Qual.* 10 : 195-206.
- Branch, B.W. 1988. Method for making an edible container from corn.
U.S. Patent. 4,749,583.
- Britt, K.W. 1970. *Handbook of Pulp and Paper Technology*. New York : Van Nostrand Reinhold, Co. 723 p.
- Casey, J.P. 1979. *Pulp and paper : Chemistry and Chemical Technology*. Vol 3. USA : A Wiley-interscience Publication.
- Cessna, F.L. 1992. Biodegradable food trays. U.S. patent 5,154,982.
- Chen, H., Rubenthaler, G.L., Leung, H.K. and Baranowski, J.D. 1988. Chemical, physical and baking properties of apple fiber compared with wheat and oat bran. *Cereal Chem.* 65(3) : 244 - 247.
- Chou, Y.T. Garrison, D.F. and Lewis, W.I. 1989. Alkaline Extraction, peroxide bleaching of nonwoody lignocellulose substrates. U.S. Patent. 4,957,599.
- Cooper, I. A. 1989. Method for forming an edible food container. U.S. Patent. 4,795,652.

- Cunningham, R.L. , Carr, M.E. and Bagley, E.R. 1991. Polyurethane foams extended with corn flour. *Cereal Chem.* 68(3) : 258-261.
- Cunningham, R.L. , Carr, M.E. and Bagley, E.R. 1992. Preparation and properties of rigid polyurethane foams containing modified cornstarches. *J. Appli. Polym. Sci.* 44 : 1477-1483.
- Deak, T., Heaton, E.R., Hung, Y.C. and Beuchar, L.R. 1987. Extending the shelf-life of fresh and irradiated sweet corn by shrink-wrapping and refrigeration. *J. Food Sci.* 52 (6) : 1625-1631.
- Garg, N., Churey, J.J. and Splittstoesser, D.F. 1993. Microflora of fresh cut vegetable stored of refrigerated and abuse temperature. *J. Food Sci. Technol.* 30(5) :385-386.
- Gorczyca, C.G. and Zabik, M.E. 1976. High fiber sugar-snop cookies containing cellulose and coated cellulose products. *Cereal Chem.* 56(6) : 537-540.
- Gould, J.M. 1984. Alkaline peroxide delignification of agricultural residues to enhance enzymatic saccharification. *Biotech. Bioeng.* 26 : 46-52.
- Gould, J.M. 1985. Studies on the mechanism of alkaline peroxide delignification of agricultural residues. *Biotech. Bioeng.* 27 : 225-231.
- Gould, J.M. ,Jasberg, B.K. and Cote, G.L. 1989. Structure Function relationships of alkaline peroxide-treatment linocellulose from wheat straw. *Cereal Chem.* 66(3) : 213-217.

- Harper, J. H. 1981. Extrusion of Foods. Vol 1. Florida : CRC Press, Inc. Boca Raton. 212 p
- Hsu, E.J. 1975. Factors affecting microflora in processed fruits. In : Commercial fruits processing. 113-140.
- John, H.R. 1973. Pollution Control and Chemical Recovery in the Pulp and Paper Industry. New Jersey : Noyes data Corporation. 354 p.
- Kader, A.A. 1985. Postharvest biology and technology : An overview. In: Postharvest Technology of Horticultural Crops. Division of Agriculture and Natural Resources. The Regents of University of California. USA. 3-7.
- King, A.D. and Bolin, H.R. 1989. Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables. Food Tech. 43(2) : 132-135, 139.
- Kirk, T.K., Higuchi, T. and Chang, H. 1980. Lignin Biodegradation : Microbiology ; Chemistry and Potential Applications. Vol 1. Florida : CRC. Press, Inc. 241 pp.
- Leach, H. W. 1965. Gelatinization of starch. In : Starch Chemistry and Technology. Vol1. New York : Academic Press, Inc. Ltd. 289-307
- Lue, S. , Hsieh, F. and Huff, H.E. 1991. Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber : effects on expansion properties, starch gelatin and dietary fiber content . Cereal Chem . 68 (3) : 227-234.

- Lund, B.M. 1983. Bacterial spoilage. In: Post-Harvest Pathology of Fruits and Vegetables. London: Academic Press, Inc. Ltd . 219-246.
- McEvily, A.J., Iyengar, R. and Otwell, W.S. 1992. Tnhibition of enzymetic browning in food and beverages. Crit. Rev. Food Sci. Nutri. 32 : 252-273.
- Mendoza, D. B. and Wills, R. B. H. 1984. Mango : Fruit Development Posthavest Physiology and Marketing in ASEAN . Malaysia : ASEAN Food Handling Burean . 111 pp.
- Michel,F. ,Thibault, J. Barry, J. and Baynast,R. 1988. Preparation and characterisation of dietary fiber from sugar beet pulp. J.Sci. Food Agri. 42 :77-85.
- Mitchell, F.G.1985. Cooling horticultural commodities. In: Posthavest Technology of Horticultural Crops. USA. : Division of Agriculture and Natural Resources. The Regents of University of California. 35-43.
- Ning, L. ; Villota , R. and Artz , W.E. 1991. Modification of corn fiber through chemical treatments in combination twin-screw extrusion . Cereal Chem. 68(6) : 632-636.
- Olson, A., Gray, G.M. and Chiu, M.C. 1987. Chemistry and analysis of soluble dietary fiber. Food Technol. 41 (1) : 71-80.
- Osman, E.M. 1967. Starch in the food industry. In : Starch : Chemistry and Technology. Vol.2. New York : Acedemic Press. 163-215.

- Parrott, M.E. and Thrall, B.E. 1978. Function properties of various fiber : physical properties. J Food Sci. 43 : 759-763.
- Pomeranz, Y. Shogren, M.D., Finney, Kf and Bechtel, D.B. 1977. Fiber in breadmaking - effect on functional properties . Cereal Chem. 54 (1) :25-41.
- Radley, J.A. 1976. Industrial Uses of Starch and Its Derivatives. England : Applied Science Publishers Ltd. 268 p.
- Ranum, P.M. and DeStefanis, V.A. 1989. Bleaching of Flour and dietary fiber products. Cereal Foods World. 34 (12) : 984-985, 988.
- Rohan, T.A. 1963. Processing of Raw Cocoa for Market. Rome : FAO. 207 p.
- Rubenstein, I.R. and Pelaez, C.A. 1982. Edible food containers and the method of coating said containers. U.S. Patent. 4,603,051.
- Ruiz, M.R. 1991. Edible food product. U.S. Patent. 5,002,783.
- Ryall, A. L. and Lipton, W.J. 1972. Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables : Vol. 1 : vegetables and melons . USA.: The AVI Publishing Company, Inc. 473 pp.
- Ryall, A. L. and Pentzer, W.T. 1974 . Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables : Vol. 2 : fruits and tree nut . USA.: The AVI Publishing Company, Inc. 545 pp.

- Schneeman, B.O. 1968. Dietary fiber : Physical and chemical properties, methods of analysis and physiological effects. *Food technol.* 40(2):104-110
- Schweizer, T.F. and Wursch, P. 1979. Analysis of dietary fiber. *J. Sci Food Agric.* 30 : 613-619.
- Selvendran, R.R. and Du Pont, M.S. 1980. An alternative method for the isolation and analysis of cell wall material from cereals. *Cereal Chem.* 57 (4) : 278-283.
- Skinner, W. and Roger, D.C.C. 1968. *Manufacturing Policy in the Plastic Industrial.* USA. 337 p.
- Sommer, N.F. 1985. Principle of disease suppression by handling practices. . In: *Postharvest Technology of Horticultural Crops.* Division of Agriculture and Natural Resources. The Regents of University of California, USA. 75-82 .
- Strantz, A.A. and Zottola, E.A. 1992 a. Bacterial survival on cornstarch containing polyethylene film held under food storage conditions. *J. Food Prot.* 55(9): 681-682.
- Strantz, A.A. and Zottola, E.A. 1992 b. Stability of cornstarch containing polyethylene film to starch-degrading enzyme. *J. Food Prot.* 55(9) :736-738.
- Strantz, A.A. and Zottola, E.A. 1992 c. Bacterial survival on lean beef and bologna wrapped wit cornstarch containing polyethylene film. *J. Food Prot.* 55(9) : 782-786.

- Stevens, M.J. 1985 . Extrusion Principle and Operation. England : Elsevire Applied Science Publisher Ltd.: 50.
- Van Soest, P.J. and Wine, R.H. 1967. Use of detergents in analysis of fibrous feeds determination of plant cell walls constituents. J. AOAC. 50(1) : 50.
- Walter, R.H., Rao, M.A., Sherman, R.M. and Cooley, H.J.1985. Edible fiber from apple pomace. J. Food Sci. 50 : 747-749.
- Waniska, R.D. and Gomez, M.H. 1992 Dispersion behavior of Starch . Food Tech. 46 (6) : 112-123.
- Whistler, R.L. and BeMiller, J.N. 1973. Industrial Gums : Polysaccharides and Their Derivatives. USA : Acedemic Press, Inc. Ltd.
- Williams, M.A. 1977. Direct extrusion of convenience foods. Cereal Food world. 22 (4) : 152-154.
- Wurzburg, O.B. 1986. Cross-linked starches. Chap.3. In : Modified Starches : Properties and Uses. Florida : CRC.Press Boca Ratom.
- Wood, G.A.R. 1975. Cocoa. London : Longman Publishers Ltd. 292 p.
- Wood, G.A.R. and Lass,R.A. 1985. Cocoa. Tropical Agriculture Series. Singapore : Longman Singapore Publishers Ltd. 620 p.
- Yen, An-I and Yen, Su-Lan. 1993. Some characteristic of hydroxypropylated and cross linked rice starch. Cereal Chem. 70 (5) :596-601.

Yook, C., Pek, U.H. and Park, K.h. 1992. Gelatinization behaviour and gel properties of hydroxypropylated and cross-linked corn starch. Korean J. Food Sci. and tech. 24(1) :70- 73.

Zabik, M.E. Fierke, S.G. and Bristol, D.K. 1979. Humidity effect on textural characteristics of sugar-snap cookies. Cereal Chem. 56(1) : 29-33.

Zenoble, O.C. 1982. Water relations in high ratio white cake batters and cellulose substituted white cake batters. Dissertation Abstracts International. 43 (5) : 1418-1419.

ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณลิกนินและเซลลูโลส (Van Soest and Wine, 1967)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชั่งหาปริมาณสารเยื่อใย ซึ่งประกอบด้วย ปีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร (Berzelius beaker) อุปกรณ์ควบแน่น และอุปกรณ์ให้ความร้อน
2. Fritted glass crucible ชนิดรูปพุนหยาบ ความจุ 40-50 มิลลิลิตร ล้างและเผาครุชชีเบลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ก่อนใช้
3. เครื่องดูดสูญญากาศ
4. ขวดสำหรับกรอง (Filtering flask) ขนาด 1 ลิตร
5. แท่งแก้วคน

สารเคมี

- ✓ 1. Acid detergent solution
ชั่งกรดซัลฟูริก 49.04 กรัม แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วเติม Cetyl trimethylammonium bromine (CTAB) ลงไป 20 กรัม ผสมให้เข้ากัน
2. Decahydronaphthalene
3. อะซิโตน
4. กรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 72

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. ประมาณ 1 กรัม (S) ใส่ลงในปีกเกอร์ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย acid detergent 100 มิลลิลิตร และ decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนเดือดภายใน 5-10 นาที แล้วลดความร้อนลงให้เดือดเบา ๆ ต้ม (reflux) ให้เดือดต่อไปอีก 60 นาที
3. กรองผ่านครุชชีเบลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว (W₁) โดยใช้แรงดูดสูญญากาศเบาๆ ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในปีกเกอร์ลงครุชชีเบลด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส)
4. เยือก้อนเยื่อใยที่อยู่ในครุชชีเบลให้กระจายออกโดยใช้แท่งแก้ว ล้างด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 2 ครั้ง โดยคนและแช่ไว้นาน 15-30 วินาที แล้วจึงดูดด้วย

เครื่องดูดสูญญากาศ

5. ล้างเยื่อใยในครุชิลเปิดด้วยอะซิโตนอีก 2 ครั้ง พร้อมทั้งกระจายเยื่อใยด้วยแท่งแก้วคน ให้อะซิโตนชะได้ทั่วถึง ใช้แรงดูดสูญญากาศดูดให้แห้ง
6. นำครุชิลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง หรือตลอดคืน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (W_2)
7. นำครุชิลเปิดวางในถาดกั้นดิน เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 72 (แช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส) ลงในครุชิลเปิดประมาณครึ่งหนึ่ง แล้วคนด้วยแท่งแก้วคน เพื่อให้เยื่อใยเปียกอย่างทั่วถึง เติมกรดลงไปอีกแล้วคนอย่างสม่ำเสมอ ปล่อยให้เยื่อใยในครุชิลเปิด อาจเติมกรดทุก ๆ 1 ชั่วโมง และควรวางครุชิลเปิดไว้ในที่เย็น (20-23 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
8. นำครุชิลไปกรองเอากรดออกโดยใช้เครื่องดูดสูญญากาศ แล้วล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด ใช้น้ำร้อนชะข้างครุชิลและแท่งแก้วคน นำแท่งแก้วคนออก
9. นำครุชิลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตลอดคืน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (W_3)
10. นำครุชิลไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หรือจนกว่าไม่มีคาร์บอน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (W_4)

การคำนวณ

$$\checkmark ADF = \frac{(W_2 - W_1)}{S} \times 100$$

$$\checkmark L = \frac{(W_3 - W_4)}{S} \times 100$$

$$\checkmark C = ADF - L$$

โดยที่ ADF = Acid detergent fiber (ร้อยละ)

L = ปริมาณลิกนิน (ร้อยละ)

C = ปริมาณเซลลูโลส (ร้อยละ)

W_1 = น้ำหนักครุชิลเปล่า

W_2 = น้ำหนักครุชิลและตัวอย่างหลังจากผ่านสารละลาย acid detergent

W_3 = น้ำหนักครุฑเปิดและตัวอย่างหลังผ่านกรดซัลฟูริก

W_4 = น้ำหนักครุฑเปิดและตัวอย่างหลังเผา

S = น้ำหนักตัวอย่าง

2. การวิเคราะห์ปริมาณเอมิเซลลูโลส (Van Soest and Wine, 1967)

อุปกรณ์

เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินและเซลลูโลส

สารเคมี

1. Neutral detergent solution

วิธีเตรียม

✓ - สารละลาย A

ซึ่ง disodium ethylene diamine-tetraacetate (EDTA) 18.61 กรัม และ sodium borate decahydrate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 6.81 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไปพอควร นำไปต้มจนกระทั่งละลายหมด

- สารละลาย B

ละลาย sodium lauryl sulfate (USP) 30 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วเติม

2-ethoxyethanol 10 มิลลิลิตร ลงไป ✕

- ผสมสารละลาย A ลงในสารละลาย B

- ละลาย disodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) 4.56 กรัม ด้วยน้ำกลั่น

ต้มจนละลายหมดแล้วผสมลงในสารละลาย A และ B ปรับปริมาตรของสารละลายผสมให้ได้ 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น สารละลายที่ได้จะมี pH 6.9-7.1 (ถ้าไม่ได้ตามนี้ให้ปรับความเป็นกรดต่างด้วย HCl หรือ NaOH)

2. Decahydronaphthalene

3. sodium sulfite

4. อะซิโตน

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. ประมาณ 1 กรัม (S_1) ใส่ลงในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลาย Neutral detergent ที่มีอุณหภูมิประมาณ 22 องศาเซลเซียส 100 มิลลิลิตร Decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร และ sodium sulfite 0.5 กรัม ต้มให้เดือดภายใน 5-10 นาที แล้วลดความร้อนลงให้เดือดเบา ๆ ต้ม (reflux) ให้เดือดต่อไปอีก 60 นาที

3. กรองผ่านครุชิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว (A) โดยใช้แรงดูดสุญญากาศเบาๆ ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ลงครุชิลด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส)

4. เชียก้อนเยื่อใยที่อยู่ในครุชิลให้กระจายออกโดยใช้แท่งแก้ว ล้างด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 2 ครั้ง โดยคนและแช่ไว้นาน 15-30 วินาที แล้วจึงดูดด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ

5. ล้างเยื่อใยในครุชิลด้วยอะซิโตนอีก 2 ครั้ง พร้อมทั้งกระจายเยื่อใยด้วยแท่งแก้วคน ให้อะซิโตนระเหยได้ทั่วถึง ใช้แรงดูดสุญญากาศดูดให้แห้ง

6. นำครุชิลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง หรือตลอดคืน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (B)

การคำนวณ

$$\text{NDF} = \frac{(B-A) \times 100}{S_1}$$

$$H = \text{NDF} - \text{ADF}$$

โดยที่ NDF = Neutral detergent fiber (ร้อยละ)

ADF = Acid detergent fiber (ร้อยละ)

H = ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ)

A = น้ำหนักครุชิลเปล่า

B = น้ำหนักครุชิลและตัวอย่างหลังผ่านสารละลาย Neutral detergent

S_1 = น้ำหนักตัวอย่าง

ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1. ความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใย (ดัดแปลงจาก Ning, *et al.*, 1990)

อุปกรณ์

เครื่องเหวี่ยง Hitachi รุ่น himac SCR 20 B

สารเคมี

น้ำกลั่น

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ในภาชนะบรรจุขนาดประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร

2. เขย่าให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที

3. เหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงที่ 10,000 rpm นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศา

เซลล์เยล

4. รินส่วนใสทิ้ง แล้วเหวี่ยงภาชนะบรรจุตัวอย่างนาน 10 นาที เพื่อทิ้งส่วนใสที่เหลือ

เหลือ

5. ถ่ายตัวอย่างลงภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ทำการหาความชื้นตามวิธี A.O.A.C. (1990)

การคำนวณ

$$WHC = (W_1 - W_2) / W_2$$

โดยที่ WHC = ความสามารถในการดูดซับน้ำ (ก.น้ำ/ก.ตัวอย่างแห้ง)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบหาความชื้น

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบหาความชื้น

2. การดูดซึมน้ำของถาด (ดัดแปลงวิธีตามมาตรฐาน ASTM D 570, 1982)

การดูดซึมน้ำของถาด หมายถึง ปริมาณน้ำที่ถาดดูดซึมไว้ในระยะเวลาที่

กำหนด

อุปกรณ์

1. กระจก 200 ปอนด์ ขนาด 12.5 x 12.5 เซนติเมตร
2. ลูกตุ้มหนัก 10 กิโลกรัม
3. กระจกบอกรวงขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. แผ่นไม้ ขนาด 10.5 x 10.5 X 1 เซนติเมตร
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก

สารเคมี

น้ำกลั่น

วิธีการ

1. นำภาชนะไปปรับสภาวะในห้องที่มีอุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลา 1 วัน
2. ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของภาชนะ (W_1)
3. เทน้ำกลั่น 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปในภาชนะ จับเวลา 4 นาที 45 วินาที แล้วรีบเทน้ำออกจากภาชนะ
4. นำกระจกและแผ่นไม้วางลงบนภาชนะ กดทับด้วยน้ำหนัก 10 กิโลกรัม เป็นเวลา 15 วินาที ยกตุ้มน้ำหนัก แผ่นไม้ และกระจกออก
5. นำภาชนะที่ผ่านการทดสอบไปชั่งน้ำหนัก (W_2)

การคำนวณ

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

โดยที่

W_1 = น้ำหนักเริ่มต้นของภาชนะ

W_2 = น้ำหนักของภาชนะหลังใส่น้ำ

A = พื้นที่ของภาชนะที่สัมผัสกับน้ำ

หมายเหตุ

การใช้กระจก แผ่นไม้ และลูกตุ้มหนัก 10 กิโลกรัม กดทับบนภาชนะ หลังจากเทน้ำทิ้ง เพื่อให้กระจกดูดซึมน้ำส่วนเกินที่ภาชนะไม่ดูดซึมออกไป โดยมีแผ่นไม้รองรับลูกตุ้มไม่ให้โดนขอบภาชนะ

3. การต้านแรงดัดโค้งและแรงกด (ดัดแปลงเครื่องมือในการตรวจสอบเพื่อให้เหมาะสมกับภาคที่ผลิตขึ้น โดยศูนย์บรรจุหีบห่อไทย, 2539)

อุปกรณ์

1. เครื่อง INSTRON รุ่น 1123
2. แผ่นไม้ ขนาด 15 x 40 X 1.5 เซนติเมตร (สำหรับแรงกด)
3. แท่งเหล็กกลม รัศมี 2.5 เซนติเมตร ยาว 11 เซนติเมตร (สำหรับแรงดัด

โค้ง)

4. แท่นวางภาค ซึ่งมีช่องว่างอยู่ตรงกลาง
5. เครื่องคอมพิวเตอร์

3.1 การต้านแรงดัดโค้ง (Bending strength)

การต้านแรงดัดโค้ง หมายถึง ความสามารถของภาชนะบรรจุในการต้านแรงดัดโค้งที่กระทำบนภาชนะบรรจุด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนภาชนะเสียรูป

วิธีการ

1. นำภาคไปปรับสภาพในห้องที่มีอุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลา 1 วัน
2. ติดตั้งแท่งเหล็กกลมเข้ากับเครื่อง INSTRON ที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์
3. นำภาคที่ปรับสภาพแล้วไปวางบนเครื่อง INSTRON โดยคว่ำภาคลงบนแท่นรองรับ แล้วสั่งให้เครื่องทำงานโดยคอมพิวเตอร์ แท่งเหล็กกลมจะค่อย ๆ เลื่อนลงไปกดภาคจนแตกหรือเสียรูปทรง ซึ่งแรงที่กดลงไปในนั้นจะถูกบันทึกเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ และแสดงค่าแรงสูงสุดที่ภาคทนได้หนึ่งค่า (F_m)

การคำนวณ

$$\text{ค่าการต้านแรงดัดโค้ง} = (F_m) / A$$

โดยที่ F_m = ค่าแรงสูงสุดที่ภาคทนได้ (กิโลกรัมแรง)

A = พื้นที่ผิวของภาคที่สัมผัสกับแท่งเหล็กกลม ในที่นี้ความกว้างของแท่งเหล็กกลมที่สัมผัสกับภาคประมาณ 0.5 เซนติเมตร และยาว 10 เซนติเมตร คิดเป็นพื้นที่ 5 ตารางเซนติเมตร

3.2 การต้านแรงกด (compression strength)

การต้านแรงกด หมายถึง ความสามารถของภาชนะบรรจุในการต้านแรงกดที่กระทำบนภาชนะบรรจุด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนภาชนะเสียรูป

วิธีการเช่นเดียวกับการต้านแรงดัดโค้ง แต่เปลี่ยนแท่งเหล็กกลมเป็นแผ่นไม้ และวางภาชนะขึ้นตามปกติบนพื้นราบ

การคำนวณ

$$\text{ค่าการต้านแรงกด} = (F_m) / A$$

โดยที่ F_m = ค่าแรงสูงสุดที่ภาชนะทนได้ (กิโลกรัมแรง)

A = พื้นที่ผิวของภาชนะสัมผัสกับแผ่นไม้ ในที่นี้เป็นขอบของภาชนะ

โดยเส้นรอบวงของขอบภาชนะยาว 46 เซนติเมตร และความหนาของขอบประมาณ 0.3 เซนติเมตร คิดเป็นพื้นที่ 13.8 ตารางเซนติเมตร

ภาคผนวก ค. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย เปอร์เซนต์ผลผลิตของ
เส้นใย หลังการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

SV	df	SS	MS	F
ความเข้มข้น	2	2.3722	1.1861	2.46 ns
Error	6	2.8579	0.4763	

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

cv : 0.8 %

ตารางภาคผนวกที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย ค่าสีขาว (L) ของ
เส้นใย หลังการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

SV	df	SS	MS	F
ความเข้มข้น	2	5.8993	2.9496	10.20 *
Error	6	1.7262	0.2877	

* : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

cv : 0.7 %

ตารางภาคผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย ค่า a ของเส้นใยหลัง
การฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

SV	df	SS	MS	F
ความเข้มข้น	2	1.2333	0.6166	4.91 ns
Error	6	0.7529	0.1255	

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

cv : 12.3 %

ตารางภาคผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย ค่า b ของเส้นใยหลัง
การฟอกสี ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

SV	df	SS	MS	F
ความเข้มข้น	2	5.4496	2.7248	3.87 ns
Error	6	4.2275	0.7046	

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

cv : 5.0 %

ตารางภาคผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย การต้านแรงดัดโค้ง
ของธาตุที่ผลิตขึ้น

SV	df	SS	MS	F
ซ้ำ	1	0.017578	0.017578	0.350128 **
ทรีตเมนต์	15	12.8736	0.85824	17.09478 **
Among Treatment	11	12.8356	1.166872	23.24225 **
Fact set - FN	1	0.038001	0.038001	0.756921 ns
FN	3	1.2168	0.4056	8.07891 **
Inset	11	12.8356	1.166872	23.24225 **
ชนิดแป้ง (A)	1	3.132037	3.132037	62.38523 **
ชนิดสารเชื่อม (B)	2	4.381358	2.190679	43.63486 **
ปริมาณสารเชื่อม (C)	1	0.001504	0.001504	0.029961 ns
AB	2	2.662725	1.331363	26.51863 **
AC	1	0.008438	0.008438	0.168062 ns
BC	2	0.016808	0.008404	0.167398 ns
ABC	2	2.632725	1.316362	26.21986 **
Error	15	0.753072	0.050205	
Total	31	13.64425		

* : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

** : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.05$)

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

cv : 15.42 %

ตารางภาคผนวกที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย การต้านแรงกด
ของภาคที่ผลิตขึ้น

SV	df	SS	MS	F
ซ้ำ	1	0.034914	0.034914	0.626974 **
ทรีตเมนต์	15	27.83226	1.855484	33.32014 **
Among Treatment	11	27.53711	2.503374	44.95472 **
Fact set - FN	1	0.295149	0.295149	5.300188 *
FN	3	4.972281	1.657427	29.7635 **
Inset	11	27.53711	2.503374	44.95472 **
ชนิดแป้ง (A)	1	2.498731	2.498731	44.87134 **
ชนิดสารเชื่อม (B)	2	15.04135	7.520673	135.0536 **
ปริมาณสารเชื่อม (C)	1	0.503441	0.503441	9.040613 **
AB	2	0.240686	0.120343	2.161081 ns
AC	1	0.053771	0.053771	0.965595 ns
BC	2	2.710706	1.355353	24.33896 **
ABC	2	6.48843	3.244215	58.25848 **
Error	15	0.835298	0.055687	
Total	31	28.70247		

* : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

** : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.05$)

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

cv : 11.10 %

ตารางภาคผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย การดูดซึมน้ำ
ของถาดที่ผลิตขึ้น

SV	df	SS	MS	F
ซ้ำ	1	6.33E-05	6.33E-05	0.678877 **
ทรีตเมนต์	15	0.01236	0.000824	8.839796 **
Among Treatment	11	0.011833	0.001076	11.539966 **
Fact set - FN	1	0.000527	0.000527	5.6573095 *
FN	3	2.45E-05	8.17E-06	0.087611 ns
Inset	11	0.011833	0.001076	11.539966 **
ชนิดแบ่ง (A)	1	1.04E-06	1.04E-06	0.0111749 ns
ชนิดสารเชื่อม (B)	2	0.008761	0.004381	46.993719 **
ปริมาณสารเชื่อม (C)	1	0.00026	0.00026	2.7897101 ns
AB	2	0.00074	0.00037	3.9711239 *
AC	1	0.000975	0.000975	10.463759 **
BC	2	0.000165	8.27E-05	0.8868426 ns
ABC	2	0.00093	0.000465	4.9858078 *
Error	15	0.001398	9.32E-05	
Total	31	0.013821		

* : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

** : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.05$)

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

cv : 19.01 %

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาว นพรัตน์ อุทัยพันธ์

วัน เดือน ปี เกิด 8 เมษายน 2514

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

ชื่อสถาบัน

ปีที่สำเร็จการศึกษา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2535

(วาริชศาสตร์)

วิทยาเขตหาดใหญ่

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

ทุนบัณฑิตศึกษาภายในประเทศของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ