



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

สาขา

เทคโนโลยีการบรรจุ

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาสมบัติเยื่อซัลเฟตจากทางใบปาล์มน้ำมันและการประยุกต์

A Property Study of Sulfate Pulp from Oil Palm Frond and Its Application

นามผู้วิจัย นางสาวรตนพรพร หรรษอุดม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์งามทิพย์ ภู่วโรดม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัญญารัตน์ จิณกาญจน์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัญญารัตน์ จิณกาญจน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาสมบัติเยื่อซัลเฟตจากทางใบปาล์มน้ำมันและการประยุกต์

A Property Study of Sulfate Pulp from Oil Palm Frond and Its Application

โดย

นางสาวรัตนพรพรข หารรรษอดุม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

พ.ศ. 2552

รตนพรพร ทรัพย์อุดม 2552: การศึกษาสมบัติเยื่อซัลเฟตจากทางใบปาล์มน้ำมันและการ
ประยุกต์ ประยุกต์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ
ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์,
Ph.D. 134 หน้า

จากแนวทางเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมนำไปสู่การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษวัสดุเหลือทิ้งปาล์ม
น้ำมันจากกิจกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม ทางใบปาล์มน้ำมันสามารถ
นำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหา
สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันด้วยกระบวนการซัลเฟตหรือคราฟท์
และปรับปรุงสมบัติของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปโดยการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคตไอ
ออนิกสตาโรซ์และสารกันซึมชนิดแอลคิลคลิทีนไดเมอร์ อีกทั้งยังทดสอบการใช้งานเพื่อการขนส่งผลิตผล
ทางการเกษตรด้วยวิธีการวัดการสั่นสะเทือนโดยการบรรจุผลแอปเปิ้ลและวัดค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น
จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันด้วย
กระบวนการซัลเฟต ได้แก่ ปริมาณแอคติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 16 ซัลฟิไดต์เท่ากับร้อยละ 25
อัตราส่วนระหว่างสารเคมีต่อไม้เท่ากับ 5 ต่อ 1 อุณหภูมิต้มเยื่อ 160 องศาเซลเซียส และเวลาดัมเยื่อ 180
นาที่ ซึ่งให้ผลผลิตเยื่อหลังจากคัดกรองแล้วร้อยละ 29.19 ส่วนการปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษด้าน
ความแข็งแรงด้วยแคตไอออนิกสตาโรซ์ร่วมกับแอลคิลคลิทีนไดเมอร์ พบว่าปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสม
ที่สุดสำหรับใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน ได้แก่ แคตไอออนิก
สตาโรซ์และแอลคิลคลิทีนไดเมอร์ปริมาณร้อยละ 1.4 และ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ เยื่อกระดาษ
จากทางใบปาล์มน้ำมันถูกนำมาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดและทดสอบ
ความต้านทานแรงกด เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิลและถาดโฟม
พบว่าบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปทางใบปาล์มน้ำมันที่เก็บไว้ในสภาวะมาตรฐาน (27 °C ความชื้น
สัมพัทธ์ 65%) และสภาวะจำลองของห้องเย็น (12±2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5%) สามารถต้านทานแรง
กดสูงสุดคือ 1894 และ 1679 นิวตัน ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยวิธีการสั่นสะเทือน พบว่าผิวของบรรจุ
ภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันมีความแข็งแรงกระด้าง ส่งผลให้มีแอปเปิ้ลที่เกือยชำที่มี
ขนาดใหญ่กว่า 6.4 มิลลิเมตรถึง 88.89% ซึ่งจากผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้น
รูปทางใบปาล์มน้ำมันเหมาะสมสำหรับการขนส่งผลิตผลภัณฑ์ที่ต้องการความคงรูปสูง หากต้องการขนส่ง
สินค้าทางการเกษตรที่มีผิวบาง อาจต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารเติมแต่งที่สามารถเพิ่มความฟาม
ให้กับเส้นใย เพื่อลดผลกระทบจากการกระแทกต่อไป

Ratanapat Hunsu-Udom 2009: A Property Study of Sulfate Pulp from Oil Palm Frond and Its Application. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging Technology. Thesis Advisor: Mr. Lerpong Jarupan, Ph.D. 134 pages.

From an attempt to reduce ongoing environmental problems to value-adding of existing unutilized oil palm wastes that are generated abundantly from the growing plantation and extraction operation, oil palm frond is considered as a material for extended development of molded pulp packaging. The purposes of this study not only aim to utilize the waste but also to examine the pulping condition by Sulfate or Kraft process as well as to improve the mechanical properties of molded pulp packaging. Cationic starch as a dry strength and alkyl ketene dimer (AKD) as a sizing agent were then added during the papermaking process for that purpose. A vibration testing for packaging performance in handling and transporting apples was also investigated. A pulping process could be prepared at an optimal condition of using 16% active alkali charge, 25% sulfidity, with a ratio 5:1 of the liquor to raw material under the cooking temperature of 160 °C for 180 min. Under this condition, a 29.19% of the pulp were yielded. The addition of cationic starch and AKD to give good strengths and water resistance were 1.4% and 0.5% by oven dry weight, respectively. The molded pulp packaging was produced by a hydraulic compression machine, and then compared with a foam tray and a common packaging molded from recycled pulp. It was found that the molded-pulp tray from oil palm frond, stored under a standard condition (27 °C, 65% RH) and a simulated cool room (12±2 °C, 90±5% RH) was capable to enduring a compression load at 1894 and 1679 N, respectively. Finally, the vibration testing showed that the stiff surface of the oil palm frond tray resulted for 88.89% bruised apples. To this end, it can concluded that molded pulp packaging using oil palm frond may rather satisfy to handle and transport rigid products. In addition, it should be pointed out that the property enhancemen can be done for the future research by using additives that develop the pulp bulkiness, in order to reduce effects that can be arisen from shocks during the application of transportation.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณดร. เลอพงศ์ จารุพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษางานวิจัย วางแผนงาน ตลอดจนให้คำแนะนำ ประเมินและพิจารณาแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. งามทิพย์ ภู่วโรดมและ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธัญญารัตน์ จัญญาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ในทุก ๆ เรื่อง ขอขอบพระคุณ ดร. สุพจน์ ประทีปถิ่นทอง ผู้ทรงคุณิภายนอก และ ดร. รังรอง ยกसान ประธานการสอบ สำหรับคำแนะนำที่ทำให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุทุกท่านที่ให้ความเมตตากรุณาอบรมสั่งสอน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุทุกท่าน เจ้าหน้าที่โรงงานต้นแบบเคียวกรีนทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ รวมถึงอาจารย์และเจ้าหน้าที่ของโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม หน่วยงานเชื้อและกระดาษ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำตลอดจนคอยช่วยเหลือจนการปฏิบัติงานสามารถผ่านไปได้อย่างดี

ขอขอบพระคุณคุณวิศิษฐ์ จินตนาเลิศ ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบทางไบโพลีเมอร์ น้ำมัน บริษัหมันลำปะหลังพัฒนา จำกัด และบริษัท Eka Chemicals (Thailand) Ltd. ที่เอื้อเฟื้อสารเคมีที่ใช้ในการทดลองรวมถึงโครงการจัดตั้งหน่วยปฏิบัติการวิจัยชีวชาญเฉพาะการบรรจุอาหารและผลิตผลการเกษตร (SRU 4.48) ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายบางส่วนในการทำงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จครั้งนี้ อันได้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชายและน้องสาว ซึ่งเป็นผู้ที่ให้โอกาส ทุนทรัพย์และกำลังใจแก่ข้าพเจ้าจนมีทุกวันนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อนๆ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วรรณิการ์ ธนาเดชพันธุ์ ปิยรัตน์ ปวีณสุดา เกตุพิสิษฐ์ สุชาดา อรรถพล พิมลแข ปวเรศ และชวิน ที่คอยช่วยเหลือตลอดมา รวมถึงผู้มีพระคุณท่านอื่น ๆ ที่มีไ้ไ่เอ่ยนาม ณ ที่นี้ ผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่องจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จ

รตนพรชัย หารรรษอดม

เมษายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	89
สรุป	89
ข้อเสนอแนะ	91
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	93
ภาคผนวก	99
ภาคผนวก ก ข้อมูลจำเพาะของสารเพิ่มความแข็งแรงและสารกันซึม	100
ภาคผนวก ข วิธีการเตรียมสารเคมีและการคำนวณปริมาณสารเคมีในการต้มเชื้อ	103
ภาคผนวก ค วิธีการทดสอบและการคำนวณค่าการทดสอบ	109
ภาคผนวก ง ทางใบปาล์มน้ำมัน, เชื้อและกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมจากสภาวะต่าง ๆ	126
ภาคผนวก จ ภาพจำลองบรรจุภัณฑ์เชื้อกระดาษขึ้นรูป	130
ภาคผนวก ฉ การทดสอบการสันสะท้อนของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ	132
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	134

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของไม้ใบกว้างและไม้ใบแคบ	7
2	การผลิตเยื่อกระดาษต่าง ๆ	16
3	ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากสวนปาล์มน้ำมัน	26
4	องค์ประกอบทางเคมีจากวัสดุเหลือทิ้งปาล์มน้ำมันส่วนต่าง ๆ	28
5	สภาวะในการต้มเยื่อด้วยวิธีซัลเฟต	41
6	ปริมาณสารเติมแต่งที่เติมลงในกระดาษ	45
7	ผลการวิเคราะห์สมบัติของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ได้จากกระบวนการต้มเยื่อด้วยวิธีซัลเฟต	52
8	สมบัติเชิงกลของเยื่อที่ได้จากกระบวนการต้มเยื่อด้วยวิธีซัลเฟต	53
9	สมบัติทางกายวิภาคของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมัน	55
10	สมบัติเชิงกลของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและและเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐาน	58
11	สมบัติเชิงกลของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและเก็บไว้ในสภาวะห้องเย็น	60
12	ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแอลคิลคีตินไคเมอร์ และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและห้องเย็น	64
13	สมบัติเชิงกลของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอร์และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐาน	69
14	สมบัติเชิงกลของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอร์และเก็บไว้ในสภาวะห้องเย็น	72
15	ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวหน้าของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอร์	76
16	ภาพหยดน้ำบนผิวหน้าของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอร์ที่ระยะเวลาต่างกัน	77
17	เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันกับบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	เปรียบเทียบความต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบ ปาล์มน้ำมันกับบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ หลังเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและ สภาวะห้องเย็น	83
19	การทดสอบความเสียหายของแอปเปิ้ลเมื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ	85
ตารางผนวกที่		
ก1	สมบัติสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคดไอออนิกสตาร์ช	101
ก2	สมบัติของสารกันซึมชนิดแอลคิลคีตีนไดเมอร์	102
ข1	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในแต่ละสภาวะการทดลอง	108
ค1	ค่าแฟคเตอร์ f สำหรับปรับค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเปอร์เมอแกนตที่ใช้	112

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของไมไบแคบและเซลล์องค์ประกอบ	5
2 โครงสร้างของไมไบกว้างและเซลล์องค์ประกอบ	6
3 การกระจายตัวขององค์ประกอบทางเคมีในผนังเซลล์	8
4 โครงสร้างเคมีพื้นฐานของเซลลูโลส	9
5 โครงสร้างเคมีพื้นฐานของเฮมิเซลลูโลส	10
6 โครงสร้างเคมีของหน่วยพื้นฐานของลิกนิน	11
7 มุมสัมผัสระหว่างของเหลวกับผิวหน้าของกระดาษ	21
8 ปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสและสารกันซึม (R = หมู่ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic group), X = หมู่ที่ไวปฏิกิริยา (reactive group))	23
9 โครงสร้างแอลคิลคีตินไดเมอร์และกลไกการกันซึมในกระดาษ	24
10 โครงสร้างแอลคิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์และกลไกการกันซึมในกระดาษ	25
11 เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น	61
12 เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น	61
13 เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น	62
14 เปรียบเทียบความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น	62
15 เปรียบเทียบความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแอลคิลคีตินไดเมอร์ และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น	64
16 ลักษณะผิวหน้าของผิวหน้ากระดาษทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่เติมสารเติมแต่ง จาก SEM (ก) กำลังขยาย 100 เท่า (ข) กำลังขยาย 500 เท่า	65
17 ลักษณะผิวหน้าของผิวหน้ากระดาษทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช จาก SEM (ก) กำลังขยาย 100 เท่า (ข) กำลังขยาย 500 เท่า	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	ลักษณะผิวหน้าของผิวหน้ากระดาษทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแอลคิลคีตีนไคเมอร์จาก SEM (ก) กำลังขยาย 100 เท่า (ข) กำลังขยาย 500 เท่า	66
19	เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตีนไคเมอร์ และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น	73
20	เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตีนไคเมอร์ และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น	73
21	เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตีนไคเมอร์ และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น	74
22	เปรียบเทียบความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติม แคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตีนไคเมอร์ และเก็บไว้ในสภาวะทดสอบมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น	74
23	ลักษณะผิวหน้าของผิวหน้ากระดาษทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลคีตีนไคเมอร์จาก SEM กำลังขยาย 500 เท่า (ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง (ข) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.0 แอลคิลคีตีนไคเมอร์ร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง (ค) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.0 แอลคิลคีตีนไคเมอร์ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง (ง) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.2 แอลคิลคีตีนไคเมอร์ร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง (จ) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.2 แอลคิลคีตีนไคเมอร์ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง (ฉ) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.4 แอลคิลคีตีนไคเมอร์ร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง (ช) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.4 แอลคิลคีตีนไคเมอร์ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง	79
24	บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง	81
25	บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง	81
26	บรรจุภัณฑ์ประเภทถาดโฟม (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	เปรียบเทียบความเสียหายของแอมป์เบิ้ลที่เกิดขึ้น (ก) ไม่มีรอยชำบริเวณด้านบน (ข) ไม่มีรอยชำบริเวณด้านข้าง (ค) มีรอยชำที่มีขนาดใหญ่กว่า 6.4 มิลลิเมตรบริเวณด้านบน (ง) มีรอยชำที่มีขนาดใหญ่กว่า 6.4 มิลลิเมตรบริเวณด้านข้าง (จ) มีรอยชำที่มีขนาดใหญ่กว่า 6.4 มิลลิเมตรบริเวณด้านล่าง	86
28	แอมป์เบิ้ลที่ผ่านการทดสอบการสั่นสะเทือน (มุมบน) (ก) บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน (ข) บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล (ค) ถาดโฟม	87
29	แอมป์เบิ้ลที่ผ่านการทดสอบการสั่นสะเทือน (มุมด้านข้าง) (ก) บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน (ข) บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล (ค) ถาดโฟม	88
ภาพผนวกที่		
ง1	ทางใบปาล์มน้ำมัน (ก) ก่อนปอกเปลือก (ข) ปอกเปลือกและสับเป็นชิ้น	127
ง2	เยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน (ก) แอคติฟแอลเท่ากับร้อยละ 15 (ข) แอคติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 16 (ค) แอคติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 17	127
ง3	กระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมจากเยื่อที่ต้มในสภาวะต่าง ๆ (ก) แอคติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 15 (ข) แอคติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 16 (ค) แอคติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 17	128
ง4	กระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ปริมาณต่าง ๆ (ก) ร้อยละ 0.5 (ข) ร้อยละ 1.0 (ค) ร้อยละ 1.5	128
ง5	กระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เติมแอลคิลคีตินิกไดเมอรั (ก) ร้อยละ 0.1 (ข) ร้อยละ 0.2 (ค) ร้อยละ 0.3 (ง) ร้อยละ 0.4 (จ) ร้อยละ 0.5	129
ง6	กระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ร่วมกับแอลคิลคีตินิกไดเมอรั (แคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ : แอลคิลคีตินิกไดเมอรั) (ก) 1.0 : 0.4 (ข) 1.0 : 0.5 (ค) 1.2 : 0.4 (ง) 1.2 : 0.5 (จ) 1.4 : 0.4 (ฉ) 1.4 : 0.5	129

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
จ1 ภาพจำลองบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป (ก) เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์ม น้ำมัน (ข) เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล (ค) ถาดโฟม	131
ฉ1 บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันที่บรรจุแอปเปิ้ล	133
ฉ2 บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิลที่บรรจุแอปเปิ้ล	133
ฉ3 บรรจุภัณฑ์ประเภทถาดโฟมที่บรรจุแอปเปิ้ล	133

การศึกษาสมบัติเยื่อซัลเฟตจากทางใบปาล์มน้ำมันและการประยุกต์

A Property Study of Sulfate Pulp from Oil Palm Frond and Its Application

คำนำ

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลากหลายประเภท ทั้งผลิตภัณฑ์อุปโภคและบริโภค เชื้อเพลิง อาหารสัตว์ และปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งในปัจจุบันพบว่าเกษตรกรได้รับการส่งเสริมในการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศไทยสูงกว่าหนึ่งแสนตันต่อปี เป็นการสร้างรายได้ให้กับประเทศโดยรวมไม่ต่ำกว่า 40,000 ล้านบาท/ปี (ธีระ และคณะ, 2546) อีกทั้งยังมีการคาดการณ์ว่าปริมาณการปลูกปาล์มน้ำมันจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับความต้องการของตลาดน้ำมันปาล์มเพื่อการส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศมีอัตราสูงขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า อัตราการปลูกปาล์มน้ำมันที่สูงขึ้นเพื่อเป็นแหล่งทดแทนพลังงานนั้น ส่งผลให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากกิจกรรมการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก ทว่าวัสดุเหลือทิ้งจากหลายส่วนของปาล์มน้ำมันเหล่านั้น สามารถนำมาก่อให้เกิดประโยชน์ได้ อาทิเช่น ทางใบปาล์มน้ำมันที่ถูกตัดทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวผลปาล์ม ส่วนของลำต้นหลังการปรับเปลี่ยนพื้นที่ปลูกใหม่ เป็นต้น จากการสำรวจพบว่าปริมาณของทางใบปาล์มน้ำมัน ลำต้นปาล์มน้ำมันที่ถูกตัดทิ้งนั้น มีปริมาณมากถึง 1,336,500 ตันต่อปี 1,867,800 ตันต่อปี ตามลำดับ (ธีระ และคณะ, 2546) ทั้งนี้ยังไม่รวมทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม กากตะกอนปาล์ม กากสลัดจ์ เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์มน้ำมันที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม (ศิริพร, 2545)

ดังนั้น เพื่อให้ทรัพยากรเหลือทิ้งเหล่านี้เกิดประโยชน์สูงสุด งานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดในการนำเส้นใยจากทางใบปาล์มน้ำมันมาใช้ในการผลิตกระดาษ ซึ่งผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้จะเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการลดต้นทุนการผลิต อีกทั้งยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งปาล์มน้ำมัน และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

แนวคิดดังกล่าวข้างต้นมุ่งเน้นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ เนื่องจากพบว่า ผู้ผลิตและผู้บริโภคในปัจจุบันเริ่มหันมาให้ความสนใจและตระหนักถึงผลกระทบจากปัญหาสิ่งแวดล้อมมากขึ้น อีกทั้งบรรพบุรุษเป็นตัวละครสำคัญที่นำมาสู่ปัญหาดังกล่าว ดังนั้นการจัดการบรรพบุรุษที่

เหมาะสมจึงถือได้ว่าเป็นทางออกหนึ่งที่ต้องการความร่วมมือจากสังคมและแรงกระตุ้น จึงได้มีการพยายามหาวัสดุทดแทนเพื่อนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่ากระดาษเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกระดาษมีน้ำหนักเบา ราคาถูก สามารถนำมาผ่านกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (recycle) อีกทั้งสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ แต่กระนั้นกระดาษมักถูกนำมาใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทที่มีอายุการใช้งานสั้น เช่น เยื่อกระดาษขึ้นรูป (molded pulp) เพื่อบรรจุสินค้าประเภทเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม โดยบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่พบเห็นอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน นิยมผลิตจากกระดาษรีไซเคิล เนื่องจากมีราคาถูกกว่าเยื่อกระดาษบริสุทธิ์ที่จะต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ

อย่างไรก็ตาม บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปควรมีความแข็งแรงและมีคุณสมบัติที่สามารถตอบสนองต่อสภาวะการใช้งาน เช่น ระหว่างกระบวนการขนส่ง ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจึงอาจมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะส่งผลให้บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปมีความแข็งแรง การปรับปรุงสมบัติสามารถทำได้โดยการเติมสารเพิ่มความแข็งแรง (dry strength agent) ซึ่งเป็นการเพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษให้มีความแข็งแรงขึ้น โดยสารเพิ่มความแข็งแรงที่นิยมใช้มากที่สุด ได้แก่ สตาร์ช (starch) และสตาร์ชดัดแปร (modified starch) เป็นต้น นอกจากนี้ในบางสภาวะที่บรรจุภัณฑ์ต้องประสบกับระดับความชื้นสัมพัทธ์สูง ๆ ที่อาจส่งผลเสียต่อการคงรูปและความแข็งแรง เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เหล่านี้มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงขึ้น ดังนั้น การเติมสารเติมแต่งประเภทสารกันซึม (sizing agent) จะสามารถช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดูดระหว่างเส้นใยในกระดาษและโมเลกุลของน้ำ เป็นผลให้การดูดซับน้ำเข้าสู่ตัวบรรจุภัณฑ์ลดลง สารกันซึมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ ขี้ผึ้ง (wax) แอลคิลคีติโนไดเมอร์ (alkyl ketene dimer, AKD) แอลคิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (alkyl succinic anhydride, ASA) เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยจากทางใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากกิจกรรมการปลูกปาล์มน้ำมัน การนำเส้นใยมาประยุกต์เป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป และการปรับปรุงสมบัติบรรจุภัณฑ์โดยการเติมสารเติมแต่งประเภทสารเพิ่มความแข็งแรงและสารกันซึม ซึ่งผลที่คาดว่าจะได้รับจะสามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมและเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วัตถุประสงค์

1. หาสภาวะสำหรับการสกัดเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันและทดสอบสมบัติของกระดาษจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมได้จากวิธีซัลเฟต
2. ปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมัน โดยการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช (cationic starch) ซึ่งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงร่วมกับแอลคิลคีติน ไคเมอร์ซึ่งเป็นสารกันซึม
3. ขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมัน และทดสอบสมบัติด้านความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้เพื่อประยุกต์กับการขนส่งสินค้าเกษตรกรรม

การตรวจเอกสาร

กระดาษ

กระดาษ (paper) หมายถึง วัสดุเป็นแผ่นบาง ๆ โดยมากทำจากใยเปลือกไม้ ฟาง หญ้าหรือเศษผ้า เป็นต้น ใช้เขียนหรือพิมพ์หนังสือหรือห่อของและอื่น ๆ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2542) นอกจากนี้ สมหวัง (2551) กล่าวว่า กระดาษ คือ แผ่นวัสดุเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fibers) ที่ยึดจับโดยการสานตัว (interweaving) หรือการเกิดพันธะ (bonding) ระหว่างเส้นใย ในการผลิตกระดาษอาจมีการผสมสารเติมแต่งต่าง ๆ ตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป เพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษหรือกระบวนการผลิตกระดาษ ซึ่งสารเติมแต่งนี้อาจเติมก่อนการขึ้นแผ่นบริเวณด้านที่เปียกของเครื่องผลิตกระดาษ (wet end) หรือหลังการขึ้นแผ่น (sheet forming) แล้วก็ได้ขึ้นกับสมบัติกระดาษที่ต้องการ กระดาษที่ผลิตทั่วไปจะมีขนาดน้ำหนักมาตรฐาน 35-225 กรัมต่อตารางเมตร โดยกระดาษที่ผลิตที่ระดับสูงกว่า 225 กรัมต่อตารางเมตรขึ้นไปจะถือว่าเป็นกระดาษแข็ง (paperboard) (รุ่งอรุณ, 2545)

1. ประเภทของเส้นใย

จากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้มนุษย์สามารถสังเคราะห์เส้นใยขึ้นมาใช้เองได้ นอกเหนือจากเส้นใยที่มีอยู่เดิมในธรรมชาติ สามารถแบ่งประเภทเส้นใยตามแหล่งที่มาได้ดังนี้

1.1 เส้นใยธรรมชาติ (natural fiber) อาจแบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ดังนี้

1.1.1 เส้นใยสัตว์ (animal fiber) เช่น ขนสัตว์และผม (wool and hair) เส้นไหม (silk) เป็นต้น โดยเส้นใยชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นโปรตีนโดยส่วนใหญ่

1.1.2 เส้นใยไม้ (wood fiber) โดยเส้นใยประเภทนี้ส่วนใหญ่ได้จากไม้ยืนต้น (wood) และพืชมักไม้ใช่ไม้ยืนต้น (non wood) เช่น ไม้สน ไม้ยูคาลิปตัส ฟางข้าว เป็นต้น เส้นใยชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต

1.1.3 เส้นใยจากแร่ (mineral fiber) เป็นเส้นใยแร่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น แอสเบสตอสชนิดต่าง ๆ (asbestos)

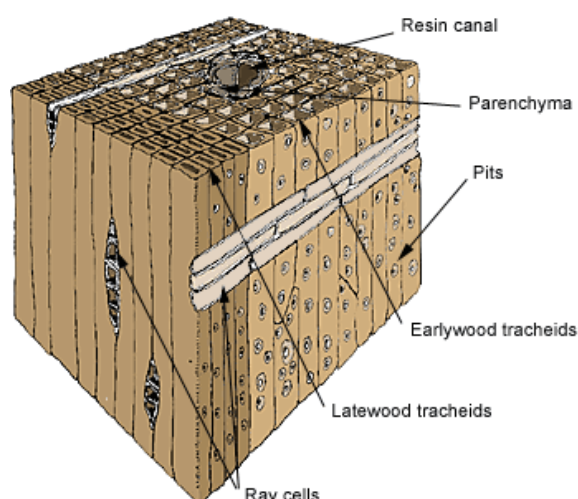
1.2 เส้นใยสังเคราะห์ (synthetic or man-made fiber) เป็นเส้นใยที่ทำจากวัตถุดิบจำพวก สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เส้นใยในกลุ่มนี้มีมากมายและใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เช่น เรยอน (rayon) ไนลอน (nylon) อะคริลิก (acrylic) เส้นใยแก้ว (fiber glass) เป็นต้น

2. แหล่งเส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาษ

ไม้จัดเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1 ไม้ยืนต้น (wood) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

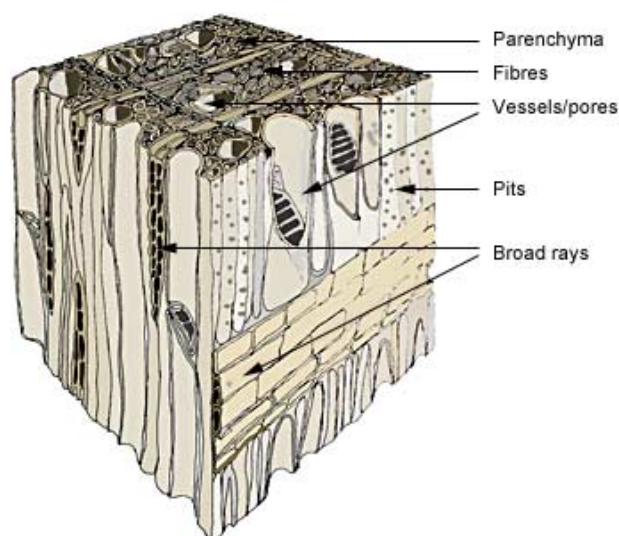
2.1.1 ไม้ใบแคบ (softwood) เป็นไม้จำพวก coniferous หรือ gymnosperm มีใบเป็นรูป เข็ม ในประเทศไทยพบ 2 ชนิด คือ สนสองใบและสนสามใบ เส้นใยมีความยาวเฉลี่ย 3 มิลลิเมตร โดยลักษณะทางโครงสร้างไม้ใบแคบและเซลล์องค์ประกอบแสดงดังภาพที่ 1 เยื่อที่ได้จากไม้ใบแคบเรียกว่า เยื่อใยยาวและในการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร N (needle) นำหน้า เช่น NBKP (needle bleached kraft pulp) เพื่อระบุว่าเป็นเยื่อใยยาว



ภาพที่ 1 โครงสร้างของไม้ใบแคบและเซลล์องค์ประกอบ

ที่มา: Anonymous (2009a)

2.1.2 ไม้ใบกว้าง (hardwood) เป็นไม้จำพวกแองจิโอสเปิร์ม (angiosperm) โดยทั่วไปมีใบที่กว้าง เส้นใยของไม้ใบกว้างมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เช่น ยูคาลิปตัส (eucalyptus) แอสเพน (aspen) และในการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร L (leaved) นำหน้า เช่น LBKP (leaved bleached kraft pulp) เพื่อระบุว่าเป็นไม้ใบกว้าง โดยลักษณะทางโครงสร้างของไม้ใบกว้างและเซลล์องค์ประกอบแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของไม้ใบกว้างและเซลล์องค์ประกอบ

ที่มา: Anonymous (2009b)

2.2 วัสดุไม่ใช่ไม้ (non wood) โดยส่วนใหญ่วัสดุในกลุ่มนี้เป็นเส้นใยที่ได้จาก ส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตร (agriculture residue) พืชตระกูลหญ้า (natural growing plants) และพืชเส้นใยต่าง ๆ (crop fiber) ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น

2.2.1 เส้นใยที่ได้จากส่วนเปลือกหรือลำต้น (bast or stem fibers) พืชในกลุ่มนี้เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ (dicotyledons) เช่น ปอกระเจา (jute) ปอแก้ว (kenaf) ปอสา (mulberry)

2.2.2 เส้นใยที่ได้จากผล (fruit fibers) เส้นใยในกลุ่มนี้ในกรณีที่ได้จากผลของพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น ฝ้าย นุ่น และที่ได้จากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น เส้นใยมะพร้าว เป็นต้น

2.2.3 เส้นใยที่ได้จากส่วนมัดท่อน้ำเลี้ยงของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (grass fibers) ได้แก่ เส้นใยที่ได้จาก ข้าว ข้าวโพด อ้อยและไผ่ เป็นต้น

2.2.4 เส้นใยที่ได้จากส่วนใบของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (leaf fibers) ได้แก่ เส้นใยที่ได้จาก ใบสับปะรด ป่านศรนารายณ์ เป็นต้น

โดยส่วนใหญ่เส้นใยที่ใช้ในวงอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษมักได้จากไม้ยืนต้น แต่ในบางกรณีเส้นใยจากพืชไม่ใช่ไม้ถูกนำมาใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีราคาถูก นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบดังกล่าวอีกด้วย

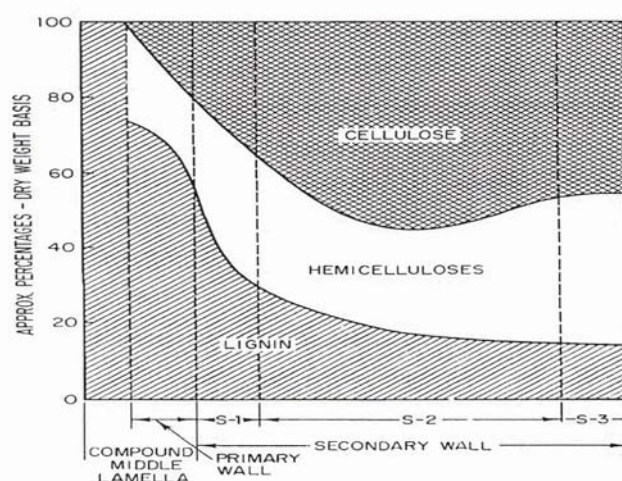
3. องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเยื่อไม้ (chemical constituents of wood pulp fiber)

เส้นใยที่ได้จากไม้โดยทั่วไปประกอบด้วยพอลิเมอร์ 3 ประเภท คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยสารแทรก (extractives) อีกด้วย โดยองค์ประกอบทางเคมีของไม้ใบกว้างและไม้ใบแคบแสดงดังตารางที่ 1 ทั้งนี้เซลลูโลสจัดอยู่ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตซึ่งมักเรียกรวมกันว่า “โฮโลเซลลูโลส (holocellulose)” การกระจายตัวของพอลิเมอร์ทั้งสามประเภทในผนังเซลล์ของเส้นใยแสดงดังในภาพที่ 3

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ใบกว้างและไม้ใบแคบ

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ไม้ใบแคบ	ไม้ใบกว้าง
เซลลูโลส	~ 45	~ 43
เฮมิเซลลูโลส	15-20	15-30
ลิกนิน	24-32	17-25
สารแทรก	~ 3.4	~ 2.0

ที่มา: รุ่งอรุณ (2545)



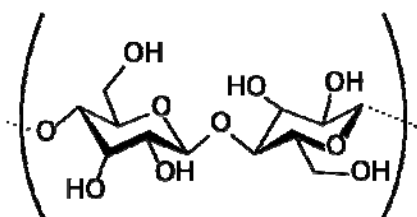
ภาพที่ 3 การกระจายตัวขององค์ประกอบทางเคมีในผนังเซลล์

ที่มา: Hale (1969)

3.1 เซลลูโลส

เซลลูโลส คือ สายโซ่พอลิเมอร์ของ anhydro-D-glucose ที่เชื่อมด้วย β -(1 $\rightarrow$ 4)-linkage มีลักษณะเป็นเส้นตรง (straighted chain) (Anynomous, 2008b) โครงสร้างเซลลูโลส แสดงดังภาพที่ 4 โดยทั่วไปในธรรมชาติเซลลูโลสมีระดับการเชื่อมตัวของหน่วยพื้นฐานเป็นสายพอลิเมอร์ (degree of polymerization) มากกว่า 10,000 (มีความยาวประมาณ 50,000 อังสตรอม) โดยเนื้อไม้หรือเส้นใยจะกำเนิดจากการที่เซลลูโลสประมาณ 40 สายเรียงรวมตัวกันเป็นมัดประกอบกันเป็นไฟบริลชั้นต้น (elementary fibril) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 35 อังสตรอม ไฟบริลชั้นต้นจะเรียงตัวรวมกันเป็นมัดประกอบกันเป็นไมโครไฟบริล โดยมีความกว้างและความหนาประมาณ 100-300 และ 50-100 อังสตรอม ตามลำดับ ไมโครไฟบริลดังกล่าวจะเรียงตัวรวมกันเป็นไฟบริลหรือมาโครไฟบริล (fibril or macrofibril) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นหลากหลายขนาดในผนังเซลล์ชั้นต่าง ๆ ของเส้นใยตามลำดับ ในส่วนของไมโครไฟบริลที่มีการเรียงตัวของเซลลูโลสอย่างเป็นระเบียบ (highly ordered region of cellulose molecules) จะมีชื่อเรียกว่า “crystalline region” หรือบริเวณที่เป็นสัณฐาน โดยมีความยาวตั้งแต่ 50 ถึง 600 อังสตรอม ในทางกลับกันหากมีการเรียงตัวของเซลลูโลสอย่างไม่เป็นระเบียบ (less-ordered region of cellulose molecules) จะมีชื่อเรียกว่า “amorphous region” หรือบริเวณที่เป็นอสัณฐาน อัตราส่วนระหว่าง crystalline region กับ amorphous region มีค่าประมาณ 2 ต่อ 1 โดยปกติแล้วเส้นใยที่ได้จากไม้จะมีส่วนของ crystalline region อยู่ประมาณร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 70 การที่โมเลกุลเซลลูโลสสามารถเรียงรวมตัวกันอยู่เป็น

มัดหรือประกอบกันเป็นไมโครไฟบริลและจากไมโครไฟบริลเรียง รวมตัวกันเป็นไฟบริลได้นั้น ก็เนื่องมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) ระหว่างสายพอลิเมอร์เซลลูโลส ดังนั้น ความแข็งแรงของเส้นใยจึงเป็นผลมาจากความแข็งแรงของสายโมเลกุลเซลลูโลสและความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจน (O-H...O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) และลักษณะดังกล่าวนี้เป็นที่มาของความแข็งแรงตามแนวแกนของเส้นใยหรือตามแนวเส้นใยที่มีค่าสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่เส้นใยมีมุมไฟบริลต่ำ



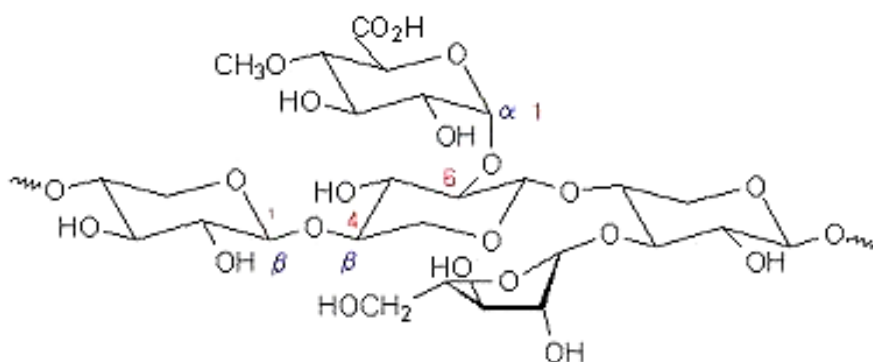
ภาพที่ 4 โครงสร้างเคมีพื้นฐานของเซลลูโลส

ที่มา: Anonymous (2008)

3.2 เซมิเซลลูโลส

เซมิเซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ของพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยปกติแล้วเซมิเซลลูโลสในพืชมักจะรวมปะปนกับเซลลูโลส เซมิเซลลูโลสประกอบไปด้วยน้ำตาลห้าและหกคาร์บอน (pentose and hexose) ที่เป็นพื้นฐานอยู่ 7 ชนิดกล่าวคือ ดี-กาแลคโตส (D-galactose) ดี-กลูโคส (D-glucose) ดี-แมนโนส (D-Mannose) ดี-กาแลคทูโรนิกแอซิด (D-galacturonic acid) ดี-กลูคูโรนิก (D-glucuronic acid) ดี-ไซโลส (D-xylose) และ แอล-อะราบิโนส (L-arabinose) ทั้งนี้เฉพาะไซโลสและอะราบิโนส เท่านั้นที่เป็นน้ำตาลห้าคาร์บอน ดังแสดงในภาพที่ 5 สมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของเซมิเซลลูโลสนั้นจะไม่เรียงรวมตัวกันเป็นสัณฐาน (crystalline) และมีระดับการเชื่อมตัวกันของหน่วยพื้นฐานเป็นสายพอลิเมอร์อยู่ระหว่าง 100 ถึง 300 ดังนั้นเซมิเซลลูโลสจึงสามารถละลายในตัวทำละลายและความไวต่อการทำปฏิกิริยาทางเคมีได้ดีกว่าเซลลูโลสในการผลิตกระดาษ เซมิเซลลูโลสมิบทบาทอย่างมากในการส่งเสริมให้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเซมิเซลลูโลสมีสัมพรรคภาพกับน้ำดี (hydrophilic) เนื่องมาจากหมู่ไฮดรอกซิลที่มีเป็นจำนวนมาก ลักษณะเช่นนี้ช่วยให้เส้นใยที่แขวนลอยในน้ำเยื่อ (pulp slurry) มีความอ่อนตัว (flexibility) อันเนื่องมาจากการการดูดซับน้ำของเซมิเซลลูโลสที่อยู่ในผนังเซลล์และความอ่อนตัวของเส้นใยดังกล่าจะช่วยให้มีการสัมผัสแนบตัวเข้าหากันระหว่างเส้นใยที่ดีขึ้นใน

ช่วงของการขึ้นรูปกระดาษ (sheet forming) ลักษณะดังกล่าวยอมทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยในโครงสร้างของกระดาษมีมากขึ้นและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใยที่สัมผัสกันอันเป็นพื้นฐานสำคัญต่อความแข็งแรงของกระดาษมากตามไปด้วย นอกจากนี้การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเซลลูโลสอันเป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์เส้นใยกับเฮมิเซลลูโลสก็เป็นปัจจัยหนึ่ง ที่ช่วยให้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้นเช่นกัน

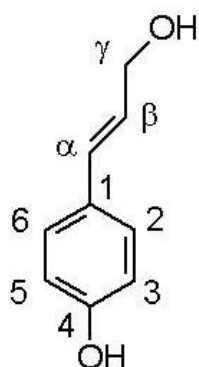


ภาพที่ 5 โครงสร้างเคมีพื้นฐานของเฮมิเซลลูโลส

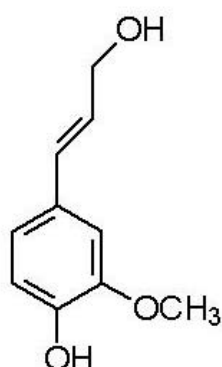
ที่มา: Anonymous (2009c)

3.3 ลิกนิน

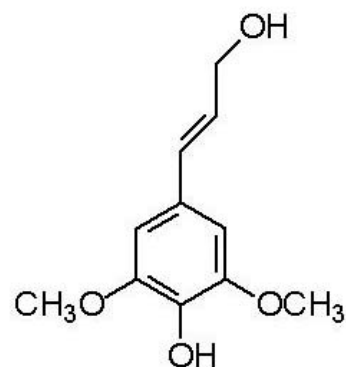
ลิกนิน เป็นพอลิเมอร์ที่สลับซับซ้อน โดยประกอบไปด้วยหน่วยพื้นฐานที่มีโครงสร้างวงแหวนของ ฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) และมีโครงสร้างแบบสามมิติแบบอสัณฐาน แม้ว่าลิกนินในพืชทั้งหลายจะมีโครงสร้างที่ไม่แน่ชัด แต่โดยปกติแล้วลิกนินจะมีหน่วยพื้นฐานหลักเพียง 3 ชนิดเท่านั้น คือ โคนิเฟอริลแอลกอฮอล์ (coniferyl alcohol) พี-คูมาริลแอลกอฮอล์ (p-coumaryl alcohol) และไซนาปิลแอลกอฮอล์ (sinapyl alcohol) (ภาพที่ 6) ในพืชตระกูลหญ้าจะมีลิกนินที่ประกอบด้วยหน่วยพื้นฐานทั้งสามชนิด ในไม้ใบกว้างจะมีลิกนินที่ประกอบด้วยหน่วยพื้นฐาน 2 ชนิด คือ โคนิเฟอริลแอลกอฮอล์และไซนาปิลแอลกอฮอล์ และในไม้ใบแคบจะมีลิกนินที่ประกอบด้วยหน่วยพื้นฐานเพียงชนิดเดียว คือ โคนิเฟอริลแอลกอฮอล์ โดยลิกนินจะพบมากที่บริเวณมิดเลลลามัลลา ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมเซลล์ต่าง ๆ ประกอบกันเป็นเนื้อไม้ ดังนั้นการสกัดหรือแยกเอาลิกนินออกจากด้วยสารเคมีจึงเป็นขั้นตอนหลักในการทำให้เซลล์ต่าง ๆ ของเนื้อไม้แยกเป็นอิสระออกจากกันในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษด้วยวิธีการต้มขึ้นไม้สับด้วยสารเคมี



ฟี-คูมาริลแอลกอฮอล์



โคนิเฟอริลแอลกอฮอล์



ไซนาฟิลแอลกอฮอล์

ภาพที่ 6 โครงสร้างเคมีของหน่วยพื้นฐานของลิกนิน

ที่มา: Anonymous (2009d)

3.4 สารแทรก

สารแทรก หมายถึง ส่วนประกอบในไม้หรือพืชที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เช่น อะซีโตน แอลกอฮอล์ ไดคลอโรมีเทนและคลอโรฟอร์ม เป็นต้น ทั้งนี้ไม่รวมถึงสารอนินทรีย์ (inorganic material) ที่อาจจะละลายออกมาด้วย สารแทรกส่วนใหญ่ที่ได้มักเป็นชั้นสนหรือยางไม้

4. เส้นใยกับความแข็งแรงของกระดาษ

เส้นใยที่ได้จากเนื้อไม้โดยปกติจะมีสัดส่วนความชื้นอยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 เส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวของไฟบริลที่ค่อนข้างขนานกับแกนเส้นใยหรือมีมุมไฟบริลต่ำจะมีความแข็งแรงสูง และมีมอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ตามแนวแกนเส้นใยที่สูงกว่าเส้นใยที่มีไฟบริลเรียงตัวทำมุมกับแกนเส้นใยมาก ลักษณะของไมโครไฟบริลที่ประกอบเป็นไฟบริลและผนังเซลล์จะอยู่ในเนื้อลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ความยาวของเส้นใย (fiber length) เป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของกระดาษ ในกรณีที่เส้นใยมีความแข็งแรงและขนาดความโตเท่ากัน เส้นใยที่ยาวจะสามารถเกิดพันธะกับเส้นใยข้างเคียงได้มากกว่าเส้นใยที่สั้น และย่อมให้ความแข็งแรงกับกระดาษที่สูงกว่า นอกจากนี้ หากความยาวเส้นใยทั้งหมดต่อหน่วยพื้นที่ของแผ่นกระดาษหรือน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของแผ่นกระดาษเท่ากัน เส้นใยที่สั้นจะให้ค่าการกระเจิงของแสงที่มากกว่าเนื่องจาก

การที่มีพื้นที่ผิวมากกว่ามีจำนวนเส้นใยที่มากกว่า จึงสรุปได้ว่าเส้นที่ยาวจะให้ความแข็งแรงของกระดาษมากกว่าเส้นใยที่สั้น

นอกจากความยาวของเส้นใยแล้ว ความเหมาะสมของเส้นใยในการทำกระดาษนั้น ยังอาจประเมินจากสัดส่วนรังเคิล (Runkel's ratio) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการยุบตัวของเส้นใย (collapsibility) และความอ่อนตัว การประเมินความเหมาะสมของเส้นใยไม่สามารถประเมินด้วยค่าหนึ่งค่าใดได้ จำเป็นต้องประเมินจากค่าสัดส่วนความชะลูด (slenderness ratio) สัดส่วนรังเคิลและค่าความอ่อนตัวของเส้นใยร่วมกัน นอกจากนี้เส้นใยที่มีความหนาของผนังเส้นใยมากมักมีความกว้างของลูเมนน้อยจึงมีข้อด้อยต่อการยุบตัวและสานตัวของเส้นใยขณะที่ขึ้นรูปแผ่นกระดาษส่งผลให้เกิดพันธะระหว่างเส้นใยในโครงสร้างของกระดาษไม่ดีเนื่องมาจากการที่มีเนื้อที่สัมผัสระหว่างเส้นใยไม่ดีทำให้ผิวกระดาษหยาบ (สมหวัง, 2551)

การเชื่อมติดกันระหว่างเส้นใย (interfiber bonding) หรือพันธะระหว่างเส้นใยจัดเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของกระดาษ โดยจะเกิดที่บริเวณเส้นใยสองเส้นใกล้ชิดกันโดยอาจเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

4.1 พันธะเคมี (chemical bonds) ที่อยู่ภายในโมเลกุลเซลลูโลสและปฏิกิริยาที่เกิดโดยกรดหรือด่าง

4.2 แรงดึงดูดระหว่างมวล (intermolecular Van Der Waals force)

4.3 การสานและพันตัวกันของสายพอลิเมอร์ (entanglements of polymer chains)

ความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใยนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีของผิวหน้าเส้นใยรวมไปถึงโครงสร้างระดับโมเลกุลของส่วนของเส้นใยที่ยึดติดกัน โดยพันธะไฮโดรเจนเป็นพันธะที่ยึดติดกัน นอกจากนี้แรงดึงดูดระหว่างมวลก็เป็นส่วนที่เสริมการเชื่อมกันระหว่างเส้นใยเช่นกัน โดยพลังงานของการยึดเหนี่ยวหรือการเกิดพันธะของพันธะไฮโดรเจน (bonding energy) จะอยู่ระหว่าง 8 ถึง 32 กิโลจูลต่อโมล

พันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใยที่ทำให้โครงสร้างของกระดาษแข็งแรงนั้น โดยปกติจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเหนี่ยวนำระหว่างอะตอมออกซิเจนกับอะตอมไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่

บนโมเลกุลของเซลลูโลส นอกจากนี้ในเฮมิเซลลูโลสซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มากมาย ก็สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้เช่นเดียวกัน โดยสิ่งที่สำคัญของการเหนี่ยวนำดังกล่าว คือ ระยะห่างระหว่างอะตอมทั้งสองชนิดของหมู่ไฮดรอกซิล $[-O-(H\cdots O)-H]$ ได้แก่ $H\cdots O$ และ $O-H$ ซึ่งมีระยะห่างระหว่างอะตอมเฉลี่ยประมาณ 0.17 และ 0.1 นาโนเมตร ตามลำดับ

จากกลไกการเหนี่ยวนำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนของอะตอมไฮโดรเจนและออกซิเจน ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกซึมและซึมซับเข้าสู่เส้นใยได้ดีและเมื่อโมเลกุลของน้ำมากขึ้นทำให้ระยะห่างระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลมากขึ้นจนเกิดการพองตัวของไฟบริลขึ้นต้น ไมโครไฟบริล ไฟบริลและผนังเซลล์ของเส้นใย ส่งผลให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงและเป็นผลต่อความแข็งแรงของกระดาษที่ลดลงอีกด้วย ดังนั้นในการผลิตกระดาษจึงมีการเติมสารกันซึมเพื่อลดการซึมของน้ำเข้าสู่ผิวหน้าของกระดาษ ส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น

5. องค์ประกอบของกระดาษ

กระดาษประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ (1) ส่วนที่เป็นเส้นใย ซึ่งเป็นโครงสร้างของแผ่นกระดาษ และ (2) ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ซึ่งเป็นสารเคมีแต่งที่ใช้เติมลงไปในส่วนเส้นใยเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

5.1 ส่วนที่เป็นเส้นใย (fiber)

กระดาษโดยทั่วไปมีส่วนเส้นใยผสมอยู่ประมาณร้อยละ 70-95 ของน้ำหนักกระดาษ ปริมาณส่วนเส้นใยจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ต้องการผลิต ส่วนเส้นใยนั้นได้จากพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ไม้ยืนต้นได้แก่ ไม้ใบแคบ ไม้ใบกว้าง และวัสดุไม่ใช่ไม้ ได้แก่ ส่วนที่เหลือทิ้งจากการเกษตร พืชตระกูลหญ้า พืชเส้นใยต่าง ๆ เป็นต้น ส่วนเส้นใยหรือที่เรียกทั่วไปว่า เชื้อ (pulp) ที่ใช้ทำกระดาษส่วนมากจะเป็นเชื้อผสมของเยื่อขาวและเยื่อสีน้ำตาล นอกจากนี้อาจมีการนำเยื่อหมุนเวียน (recycled pulp) มาเป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตกระดาษด้วย (ดวงทิพย์, 2550)

5.2 ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย (non-fiber)

ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยหรือที่เรียกว่าสารเคมีแต่ง เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน สารเคมีแต่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

5.2.1 สารเติมแต่งหลัก (functional additive) สารเติมแต่งประเภทนี้จะทำหน้าที่ปรับปรุงสมบัติเฉพาะอย่างของกระดาษ สามารถแบ่งได้ดังนี้

ก. สารกันซึม (sizing agents) เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปเพื่อต้องการควบคุมให้กระดาษมีการดูดซึมของเหลวหรือน้ำเป็นไปตามต้องการเนื่องจากกระดาษทำจากเส้นใยเซลลูโลสที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง ดังนั้นการเติมสารชนิดนี้ลงไปจะช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดูดระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำ ทำให้ลดอัตราการซึมของน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษ โดยสารกันซึมที่ใช้ในกระดาษ ได้แก่ สารส้มและชันสน (alum/rosin size) ไชฟิ่ง ยางมะตอย แอลคิลคลีติน ไคเมอร์ แอลคิลซัคซินิกแอโนไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

ข. ตัวเติม (fillers) เป็นผงแร่สีขาวใส่ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านทัศนศาสตร์และปรับปรุงสมบัติด้านการพิมพ์ของกระดาษ นอกจากนี้การเติมสารตัวเติมเป็นการลดต้นทุนในการผลิตกระดาษอีกด้วย เนื่องจากสารเคมีที่เป็นตัวเติมส่วนมากมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเส้นใย ผงแร่ที่เป็นสารเติมแต่งนั้นจะต้องมีขนาดเล็กและละเอียด ควรมีขนาด 1-10 ไมครอน ผงแร่ขนาดเล็กที่เติมลงไปจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวภายในกระดาษ ซึ่งการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างผงแร่กับอากาศและผงแร่กับเส้นใยเป็นการเพิ่มค่าการกระเจิงแสงของกระดาษ ทำให้กระดาษมีค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้นและยังทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น ผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมในกระดาษ ได้แก่ ดินขาว (kaolin clay) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide) และแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) เป็นต้น

ค. สารเพิ่มความแข็งแรง (dry strength agents) เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ โดยเฉพาะความต้านทานแรงดึงและความต้านทานแรงด้นทะลุ โดยสารเพิ่มความแข็งแรงจะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวของพันธะระหว่างเส้นใย สารเพิ่มความแข็งแรงที่นิยมใช้ได้แก่ สตาร์ช สตาร์ชดัดแปร กัม (gum) เป็นต้น

ง. สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อเปียก (wet strength agents) เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อรักษาความเหนียวของกระดาษให้คงไว้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ของความเหนียวเดิม สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ ยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์ (urea formaldehyde) เมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์ (melamine formaldehyde) โพลีเอมีน (polyamine) เป็นต้น

จ. สารสีย้อม (dye) เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปในการทำกระดาษเพื่อการผลิตกระดาษสีหรือต้องการแต่งสีกระดาษขาวให้ได้เฉดสีที่ต้องการหรือเพื่อให้ดูขาวขึ้น

จ. สารฟอกขาว (optical brightening agents) เป็นสารสีข้อมประเภทเรืองแสง เพื่อให้กระดาษมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น

5.2.2 สารเติมแต่งเสริม (chemical processing aids) สารเติมแต่งประเภทนี้นอกจากทำหน้าที่ช่วยเสริมให้สารเติมแต่งหลักทำหน้าที่เฉพาะได้ดีขึ้นแล้ว ยังช่วยบำรุงรักษาความสะอาดของเครื่องจักรผลิตกระดาษได้อีกด้วย สารเติมแต่งประเภทนี้ได้แก่ สารเพิ่มการตกค้าง (retention aids) สารต้านการเกิดฟอง (defoamers) สารควบคุมจุลชีวะ (microbiological control agents) สารควบคุมการเกิดจุดดำ (pitch control agents) สารช่วยแยกน้ำ (drainage aids) สารช่วยกระจายตัว (formation aids) เป็นต้น

6. การผลิตเยื่อกระดาษ (pulping)

การผลิตเยื่อกระดาษ (pulping) เป็นกระบวนการที่สำคัญโดยวัตถุประสงค์หลักของการผลิตเยื่อ คือ การแยกเส้นใยออกมาจากองค์ประกอบอื่นของไม้ การผลิตเยื่อสามารถทำได้ทั้งวิธีทางเคมีและเชิงกล (ตารางที่ 2) กระบวนการผลิตเยื่อแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

6.1 กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล (mechanical pulping process) เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานกลควบคู่ไปกับพลังงานความร้อนในการแยกเส้นใยออกมา โดยชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าเครื่องบด ซึ่งจะทำการที่บดและตัดชิ้นไม้ให้แหลกละเอียดเป็นเยื่อไม้ เยื่อที่ได้เรียกว่า เยื่อไม้บดหรือเยื่อเชิงกล เยื่อเชิงกลจะมีเนื้อค่อนข้างหยาบกระด้าง เส้นใยที่ได้จากเยื่อเชิงกลนี้ส่วนใหญ่ไม่สมบูรณ์จะมีลักษณะการขาดและตัดเป็นท่อน ๆ และยังคงมีลิกนินตกค้างอยู่มากทำให้พันธะระหว่างเส้นใยต่ำ เยื่อชนิดนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปทำกระดาษที่ต้องรับแรงสูง

6.2 กระบวนการผลิตเยื่อกึ่งเคมี (semi-chemical pulping process) เป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยทั้งพลังงานกลและพลังงานเคมีเข้ามาช่วย เพื่อให้เส้นใยแตกตัวเป็นอิสระง่ายขึ้น โดยเส้นใยที่ได้จากเยื่อชนิดนี้ยังคงมีปริมาณลิกนินอยู่บ้างแต่น้อยกว่าปริมาณลิกนินในเยื่อเชิงกล

6.3 กระบวนการผลิตเยื่อเคมี (chemical pulping process) การผลิตเยื่อตามกรรมวิธีนี้จะใช้พลังงานเคมีและพลังงานความร้อนในการทำให้เส้นใยแยกออกจากกัน โดยชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าหม้อต้มเยื่อ (digester) จากนั้นสารเคมีและความร้อนจะละลายลิกนินออกไป เหลือแต่ส่วนของเยื่อที่ไม่สามารถละลายได้ เยื่อที่ผ่านกระบวนการผลิตทางเคมีนี้มีหลายชนิด ซึ่งจะเรียกชื่อตามสารเคมีที่

ใช้ในการผลิต เช่น เยื่อซัลเฟต เยื่อซัลไฟด์และเยื่อโซดา เยื่อเคมีที่ผลิตได้จะมีลักษณะนุ่ม เส้นใยที่ได้มีความสมบูรณ์ เนื่องจากเยื่อชนิดนี้มีปริมาณลิกนินตกค้างต่ำ เหมาะแก่การนำไปใช้งานที่ต้องมีการรับแรง เช่น นำไปผลิตเป็นกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ โดยไม่จำเป็นต้องฟอก (bleaching) หรือใช้เพื่อการสื่อสาร ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการฟอกก่อนนำไปใช้งาน

6.3.1 กระบวนการโซดา (soda process) เป็นกระบวนการผลิตเยื่อที่ใช้สารเคมีเป็นสารละลายต่าง ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กระบวนการนี้เหมาะกับไม้ไมใช่ไม้ยืนต้นและไม้ใบกว้าง นอกจากนี้อาจมีการเติมสารประเภทแอนทราควิโนน (anthraquinone) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารละลาย (Biermann, 1996) ทำให้คุณสมบัติของเยื่อดีขึ้น

6.3.2 กระบวนการซัลเฟตหรือคราฟท์ (sulfate or kraft process) เป็นกระบวนการผลิตเยื่อที่นิยมใช้กันมาก สารเคมีที่ใช้เป็นสารละลายต่าง กระบวนการนี้พัฒนามาจากกระบวนการโซดา โดยสารละลายที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) กระบวนการซัลเฟตสามารถใช้กับไม้ได้ทุกชนิด (Biermann, 1996) เส้นใยที่ได้มีความแข็งแรง นอกจากนี้สารเคมีที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ได้ อีก โดยปฏิกิริยาที่เกิดระหว่างการต้มเยื่อ (cooking process) คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและการละลาย (solubilization) ของลิกนินออกมาทำให้เซลลูโลสแยกออกมา

6.3.3 กระบวนการซัลไฟต์ (sulfite process) เป็นกระบวนการที่ใช้สารละลายผสมประเภทกรดซัลฟิวรัส (sulfuric acid) เยื่อที่ได้มีคุณภาพสูงแต่ให้ผลผลิตเยื่อน้อยกว่ากระบวนการซัลเฟตประมาณร้อยละ 10

ตารางที่ 2 การผลิตเยื่อกระบวนการต่าง ๆ

กระบวนการ	สารเคมี	ชนิดไม้	สมบัติของเยื่อ	การใช้งาน	ผลผลิต (ร้อยละ)
ผลิตเยื่อเชิงกล	-	ไม้ใบกว้าง หรือไม้ใบ แคบบางชนิด	แข็งกระด้าง มี ความฟาม ความแข็งแรงต่ำ และทึบแสง	กระดาษสำหรับ งานพิมพ์และ นิตยสาร	92-96
ผลิตเยื่อกึ่งเคมี	NaOH หรือ NaHSO_3	ทุกชนิด	ความแข็งแรง ปานกลาง	กระดาษสำหรับ งานพิมพ์และ นิตยสาร	88-95

ตารางที่ 2 (ต่อ)

กระบวนการ	สารเคมี	ชนิดไม้	สมบัติของเยื่อ	การใช้งาน	ผลผลิต (ร้อยละ)
ผลิตเยื่อเคมี					
ซัลเฟต	NaOH + Na ₂ S	ทุกชนิด	ความแข็งแรงสูง มีสีเข้ม	ถุงกระดาษ กระดาษห่อของ	ขึ้นกับชนิดไม้
ซัลไฟต์	H ₂ SO ₃ + MSO ₃ (M = Ca, Mg, Na, NH ₄)	ไม้ใบกว้าง หรือไม้ใบ แคบบางชนิด	ความแข็งแรง ปานกลาง มีสี อ่อน	กระดาษกล่อง กระดาษสำหรับ งานพิมพ์และ นิตยสาร	48-51

ที่มา: Biermann (1996)

Lopez *et al.* (2000) ศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตเยื่อจากไม้มะกอก (olive tree) ได้แก่ กระบวนการโซดา ซัลเฟต และซัลไฟต์ จากนั้นศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติของเยื่อที่ผลิตได้จากกระบวนการต่าง ๆ เปรียบเทียบกันพบว่า เมื่อพิจารณาผลผลิตเยื่อที่ได้พบว่ากระบวนการโซดาให้ผลผลิตเยื่อสูงที่สุด คือ ร้อยละ 44.9 และพบว่ากระบวนการซัลไฟต์และซัลเฟตให้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 43.1 และ ร้อยละ 41.9 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อที่ได้ พบว่ากระบวนการซัลเฟตให้ไฮโดรเซลลูโลสสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ กระบวนการซัลไฟต์และโซดาตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเยื่อได้จากกระบวนการโซดามีปริมาณลิกนินสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ กระบวนการซัลเฟตและซัลไฟต์ ตามลำดับ จากองค์ประกอบทางเคมีที่ได้กล่าวไปข้างต้น เป็นผลให้เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลของเยื่อ พบว่า เยื่อจากกระบวนการซัลเฟตให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความสามารถในการยืด (stretch) ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลกับเยื่อที่ได้จากกระบวนการโซดาและซัลไฟต์ นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้ศึกษาถึงอิทธิพลของการตีเยื่อ (beating) พบว่าการตีเยื่อเป็นผลให้สมบัติเชิงกลของเยื่อจากทุกกระบวนการผลิตมีสมบัติที่ดีขึ้น

7. การปรับปรุงสมบัติกระดาษ

ในการผลิตกระดาษมีการเติมส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยลงไปผสมกับส่วนเส้นใยเพื่อปรับปรุงสมบัติของกระดาษ ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยประกอบด้วยสารหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน เช่น การ

เติมสารเติมแต่ง เพื่อเพิ่มสมบัติด้านขาวสว่าง ความทึบแสงและความเรียบ การเติมสารกันซึม เพื่อเพิ่มความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ การเติมสารเพิ่มความแข็งแรง เพื่อเพิ่มสมบัติด้านเชิงกลของกระดาษ เป็นต้น

7.1 การปรับปรุงสมบัติกระดาษโดยการเติมสารเพิ่มความแข็งแรง

7.1.1 สตาร์ช

สตาร์ชถูกนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในอุตสาหกรรมกระดาษ โดยสตาร์ช หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ โดยแยกเฉพาะส่วนที่เป็นสารอาหารคาร์โบไฮเดรตและสกัดสิ่งเจือปน คือ โปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่น ๆ ออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์สูง (กล้านรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

7.1.2 สตาร์ชดัดแปร

สตาร์ชหรือแป้งดิบ (native starch) โดยทั่วไปคุณสมบัติบางประการมีข้อจำกัดในการนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมกระดาษ เนื่องจากช่วงความหนืดแคบ มีความไม่เสถียรของสตาร์ช มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี และมีความคงทนต่อแรงเสียดสีในกระบวนการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่าง ๆ ต่ำ เป็นต้น (ดวงทิพย์, 2550) ดังนั้นสตาร์ชที่นำมาใช้ในโรงงานผลิตกระดาษจึงต้องมีการดัดแปรโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้เอนไซม์ การใช้อุณหภูมิสูง (Bramel, 1986) หรือการใช้สารเคมีในการแปรรูปหรือดัดแปรให้ได้สตาร์ชตามวัตถุประสงค์การนำไปใช้งาน สตาร์ชดัดแปรที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ได้แก่ แคตไอออนิกสตาร์ช(cationic starch) ออกซิไดซ์สตาร์ช (oxidized starch) ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (hydrophobic starch) เป็นต้น สามารถนำไปใช้งานโดยการเติมลงในน้ำเยื่อ (pulp stock) เป็นส่วนผสมของสารเคลือบ (coating formulation) เป็นต้น

ก. แคตไอออนิกสตาร์ช คือ สตาร์ชที่ได้จากการดัดแปรโดยใช้สารเคมีที่มีหมู่อะมิโน (amino) แอมโมเนียม (ammonium) ซัลโฟเนต (sulfonate) หรือฟอสโฟเนียม (phosphonium) เพื่อให้ได้สตาร์ชที่มีประจุบวกและเนื่องจากมีประจุบวกในโมเลกุลทำให้สามารถเกิดพันธะไอออนิกระหว่างประจุบวกกับประจุลบของเซลลูโลสที่ใช้ทำกระดาษได้ดี สตาร์ชประเภทนี้นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษในการเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ นอกจากนี้ยัง

ใช้ในการกันซึมและการเคลือบกระดาษเพื่อดำเนินงานการแทรกซึมของหมึกหรือของเหลว รวมถึงใช้เพื่อให้กระดาษทนต่อการขีดหรือลอก

Lim *et al.* (1992) เตรียมแคตไอออนิกสตาร์ชจากแป้งข้าวโอ๊ต ที่มีปริมาณของแข็ง (solid containing) เท่ากับร้อยละ 35 โดยใช้สารผสมระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมล แคลเซียมคลอไรด์ 0.49 โมล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 ชั่วโมงและใช้สารตัวกระทำปฏิกิริยา (reagent) ชนิดประจุบวก 50 มิลลิโมลต่อมิลลิโมลของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส พบว่าแคตไอออนิกสตาร์ชที่ได้มีค่าองศาการแทนที่ (degree of substitution) เท่ากับ 0.014 หลังจากนั้นนำสตาร์ชมาทำปฏิกิริยาในขั้นตอนสุดท้ายกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.48 โมลและโซเดียมซัลเฟต 2.43 โมล พบว่าแคตไอออนิกสตาร์ชที่ได้มีค่าองศาการแทนที่เท่ากับ 0.042 จากนั้นนำสตาร์ชที่ได้มาปรับปรุงสมบัติของกระดาษกราฟท์ โดยเติมในปริมาณ 4.5 9.1 และ 18.2 กิโลกรัมต่อเมตริกซ์ตันของเยื่อแห้ง พบว่า สมบัติเชิงกลของกระดาษ ได้แก่ ค่าความแข็งแรง ณ จุดขาด (strength at break) ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ (bursting strength) และค่า Scott bond ของกระดาษกราฟท์ที่เติมแคตไอออนิกสตาร์ชมีค่ามากกว่ากระดาษกราฟท์ที่ไม่ได้เติมแคตไอออนิกสตาร์ชนอกจากนี้การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าสมบัติเชิงกลดังกล่าวมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

ธีระชัย (2542) นำแคตไอออนิกสตาร์ชมาปรับปรุงสมบัติทางกายภาพกระดาษ โดยเปรียบเทียบกับแป้งดิบ พบว่า การใช้แคตไอออนิกสตาร์ชในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของเยื่อจากเศษกระดาษ ส่งผลให้สมบัติของกระดาษดีกว่าการใช้แป้งดิบเพราะแป้งสามารถตกค้างบนเส้นใยได้มากกว่า นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลกระทบของแคตไอออนิกสตาร์ช 3 ชนิดต่อสมบัติกระดาษ คือสตาร์ชที่ระดับการเติมประจุบวกเท่ากับ 2 หน่วยต่อกลูโคส 100 หน่วย, 3 หน่วยต่อกลูโคส 100 หน่วยและ 4 หน่วยต่อกลูโคส 100 หน่วยตามลำดับ พบว่าสตาร์ชที่มีระดับการเติมประจุบวกแตกต่างกันทั้ง 3 ชนิดส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของเยื่อกระดาษไม่แตกต่างกันมากนัก ที่ระดับการเติมสตาร์ชลงในกระดาษในปริมาณที่เท่ากัน นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณการใช้แคตไอออนิกสตาร์ชจะลดลง 2.1 เท่าของปริมาณการใช้แป้งดิบที่ระดับความแข็งแรงของกระดาษเดียวกัน

ข. ออกซิไดซ์สตาร์ช (oxidized starch)

ออกซิไดซ์สตาร์ช หมายถึง สตาร์ชที่ถูกดัดแปรด้วยวิธีออกซิเดชัน โดยการทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรด์ แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ แอมโมเนียมซัลเฟต เป็นต้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลให้เป็นหมู่แอลดีไฮด์ คีโตนหรือหมู่คาร์บอกซิล คุณสมบัติที่สำคัญของออกซิไดซ์สตาร์ชคือ เป็นสตาร์ชที่มีประจุลบ เนื่องจากมีหมู่คาร์บอกซิลเข้าไปอยู่ในโมเลกุลอะมิโนส มีความสามารถในการละลายน้ำได้มากเนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลมีคุณสมบัติชอบน้ำ ในอุตสาหกรรมกระดาษนิยมนำออกซิไดซ์สตาร์ชไปใช้เป็นสารยึดเกาะสำหรับการเคลือบกระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ เคลือบผิวหน้ากระดาษให้เรียบและฉาบผิวกระดาษเพื่อด้านทานการซึมของของเหลว

ค. ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (hydrophobic starch)

ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช หมายถึง สตาร์ชที่ถูกดัดแปรทางเคมีเพื่อให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ตัวอย่างของไฮโดรโฟบิกสตาร์ช คือ สตาร์ชผลิตได้จากกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน (esterification) ด้วยสารออกตินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (octenyl succinic anhydride, OSA) เป็นต้น การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ จะเกิดขึ้นคาร์บอนตำแหน่งที่ 2,3 และ 6 ภายในโมเลกุลของกลูโคสและเกิดขึ้นในบริเวณออสันฐานของแป้ง การดัดแปรสตาร์ชด้วยการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยโมเลกุลของ OSA นั้นทำให้ได้สตาร์ชที่เรียกว่า ออกตินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์สตาร์ช (octenyl succinate anhydride starch, OSA starch) ข้อดีของการมีหมู่ออกตินิลซัคซินิกคือ ช่วยรักษาสมบัติชอบน้ำของแป้งในขณะที่สามารถเพิ่มคุณสมบัติไม่ชอบน้ำให้กับแป้ง ทำให้ OSA starch มีคุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ที่ดีและยังมีความสามารถในการเป็นฟิล์มที่ดีด้วย

ง. สตาร์ชดัดแปรชนิดอื่น ๆ

ไฮดรอกซีเอทิลสตาร์ช (hydroxyethyl starch) เป็นฟิล์มแป้งที่มีความเรียบใส และยืดหยุ่นดี นิยมนำมาเคลือบกระดาษเพื่อเพิ่มความมันเงาและความต้านทานน้ำมัน

สตาร์ชแอซิเตต (starch acetate) นิยมใช้ผลิตกาวที่มีความยืดหยุ่น เป็นมันเงา และใช้เคลือบกระดาษเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพิมพ์

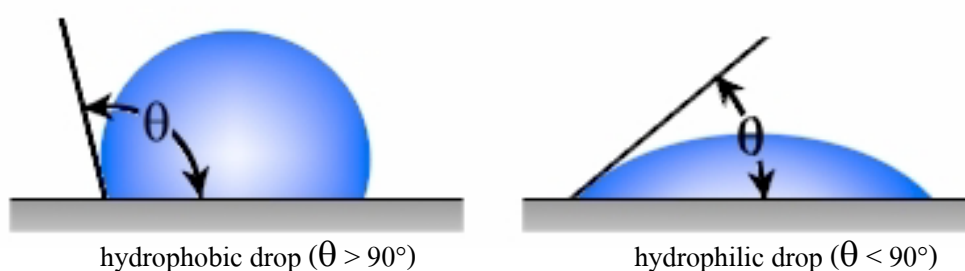
คาร์บอกซีเมทิลสตาร์ช (carboxymethyl starch) สามารถละลายในน้ำเย็นได้ มีความใสและเหนียว มีความหนืดสูง ละลายง่ายและไวต่อความชื้น นิยมใช้สำหรับพอกเยื่อหรือเป็นสารเคลือบกระดาษเพื่อการพิมพ์

7.2 การปรับปรุงสมบัติกระดาษโดยสารกันซึม

การใช้สารกันซึมในอุตสาหกรรมกระดาษ โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี ได้แก่

7.2.1 การกันซึมจากเนื้อในของกระดาษ (internal sizing or engine sizing or beater sizing)

เป็นการกันซึมโดยการผสมสารกันซึมเข้ากับน้ำเยื่อแล้วนำไปผลิตเป็นกระดาษ หลักการของการกันซึมจากเนื้อในของกระดาษ เป็นการนำเอาโมเลกุลของสารกันซึมซึ่งประกอบด้วยปลายโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (hydrophobic ends) และปลายโมเลกุลที่มีขั้ว (hydrophilic ends) หรือที่เรียกว่า แอมฟิพาติก (amphipathic) ไปผสมกับน้ำเยื่อ โดยโมเลกุลของสารกันซึมจะหันปลายที่มีขั้วเข้าจับยึดกับหมู่ไฮดรอกซิลหรือคาร์บอกซิลของเซลลูโลสบนผิวหน้าของเส้นใยและหันปลายที่ไม่มีขั้วไปสู่ด้านนอกและอาจเกิดการหลอมเหลวเป็นฟิล์มบาง ๆ เคลือบผิวเส้นใย ส่งผลให้มุมสัมผัสระหว่างของเหลวกับผิวหน้าของเส้นใยมีค่ามาก เป็นผลให้ของเหลวหรือน้ำซึมเข้าสู่เนื้อกระดาษได้ลดลง โดยภาพที่ 7 แสดงถึงมุมสัมผัสระหว่างของเหลวกับผิวหน้าของกระดาษ



ภาพที่ 7 มุมสัมผัสระหว่างของเหลวกับผิวหน้าของกระดาษ

ที่มา: Anonymous (2009e)

โดยทั่วไปสารกันซึมจากเนื้อในของกระดาษที่นิยมใช้มี 3 กลุ่ม ได้แก่

ก. โรซิน (rosin)

สารกันซึมกลุ่มนี้ได้จากไม้ตระกูลสน โดยแบ่งออกเป็น

- 1) ทอลล์ออยล์โรซิน (tall oil rosin) ได้จากกระบวนการผลิตเยื่อซัลเฟตโดยใช้ไม้สับจากพืชตระกูลสน
- 2) วูดโรซิน (wood rosin) ได้จากการสกัดโรซินจากต้นไม้ตระกูลสน
- 3) กัมโรซิน (gum rosin) ได้จากส่วนที่เป็นน้ำมันสน (turpentine)

สารกันซึมทั้ง 3 ประเภทนี้มีองค์ประกอบร้อยละ 80-90 เป็นเรซินซึ่งมีลักษณะเป็นแอมโฟพาติก (amphopathic) และส่วนปลายที่เป็นหมู่คาร์บอกซิลเป็นส่วนที่มีขั้ว แสดงดังภาพที่ 11 การใช้โรซินต้องมีการปรับสภาพของโรซินด้วยการให้ความร้อนแล้วเติมกรดฟูมาริก (fumaric acid) เพื่อเพิ่มหมู่คาร์บอกซิลให้กับโครงสร้างของโรซินเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น

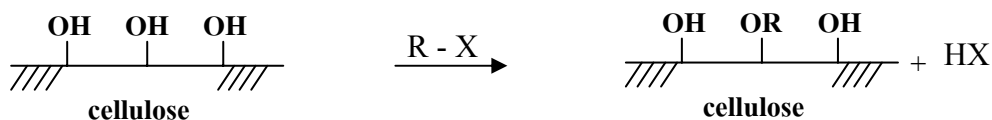
ข. แวกซ์ (wax)

สารกันซึมกลุ่มนี้มีสมบัติเป็น hydrophobic มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.5-2 ไมโครเมตรของพาราฟินที่เป็นอิมัลชันในน้ำ การใช้สารกันซึมกลุ่มนี้อาจใช้ร่วมกับโรซินและสารสั้ม หรือใช้กับสารสั้มอย่างเดียว เพื่อให้เกิดการตกค้างในแผ่นกระดาษได้ดี สารกันซึมกลุ่มนี้จะมีจุดหลอมเหลวต่ำจึงสามารถหลอมเหลวและแพร่กระจายครอบคลุมผิวหน้าของเส้นใยและกันน้ำได้เป็นอย่างดี

ค. เซลลูโลสรีแอคทีฟ (cellulose-reactive)

สารกันซึมกลุ่มนี้ได้จากการสังเคราะห์และมักนิยมใช้ในสถานะที่เป็นกลางหรือด่างโดยไม่ต้องมีการใช้สารสั้มเป็นตัวเชื่อมเพื่อให้ยึดเกาะกับเส้นใยได้ โดยมีปฏิกิริยากัน

ซึมระหว่างเซลลูโลสและสารกันซึมดังภาพที่ 8 สารกันซึมกลุ่มนี้มีสมบัติเป็นแอมฟิพาติก เช่นเดียวกับโรซิน และเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมกระดาษ ได้แก่



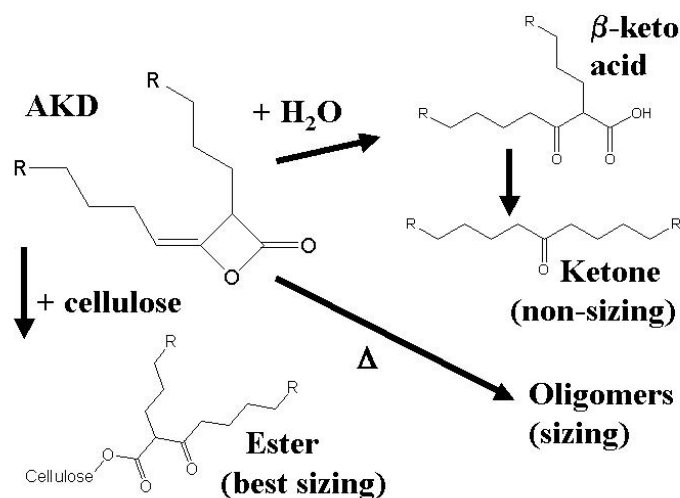
ภาพที่ 8 ปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสและสารกันซึม (R = หมู่ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic group),
X = หมู่ที่ไวปฏิกิริยา (reactive group))

ที่มา: Robert (1991b)

1) แอลคิลคีตีนไคเมอร์

สารกันซึมชนิดนี้ได้จากการสังเคราะห์และมักอยู่ในรูปของอิมัลชันที่มีอนุภาคน้ำขนาด 0.1-1.0 ไมโครเมตรกระจายตัวในน้ำ และอนุภาคยังถูกเหนี่ยวนำให้มีประจุบวกอ่อน ๆ ด้วยการผสมแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ซึ่งทำให้อิมัลชันเสถียร (stabilizer) ดังนั้นอนุภาคของสารกันซึมชนิดนี้จึงสามารถเข้าจับยึดกับผิวหน้าของเส้นใยที่เป็นประจุลบได้ อนุภาคของแอลคิลคีตีนไคเมอร์มีจุดหลอมเหลวประมาณ 40-50 องศาเซลเซียสจึงสามารถหลอมและยึดจับผิวหน้าของเส้นใยได้ดี โดยลักษณะการจับยึดมีความเสถียรมาก

Won-Sung *et al.* (2008) ได้ศึกษาถึงพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างแอลคิลคีตีนไคเมอร์และ 2,3-di-O-methylcellulose (23MC) ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองเซลลูโลส โดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (fourier transform infrared (FTIR) spectrometer) พบว่าเมื่อปฏิกิริยาได้รับความร้อนจะเกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะเอสเทอร์ระหว่างโมเลกุล 23MC และแอลคิลคีตีนไคเมอร์ ที่ตำแหน่ง C-6 ของ 23MC และ หมู่คีโตน (ketone) บริเวณโมเลกุลออกซิเจนของแอลคิลคีตีนไคเมอร์ โดยภาพที่ 9 แสดงกลไกการกันซึมของแอลคิลคีตีนไคเมอร์



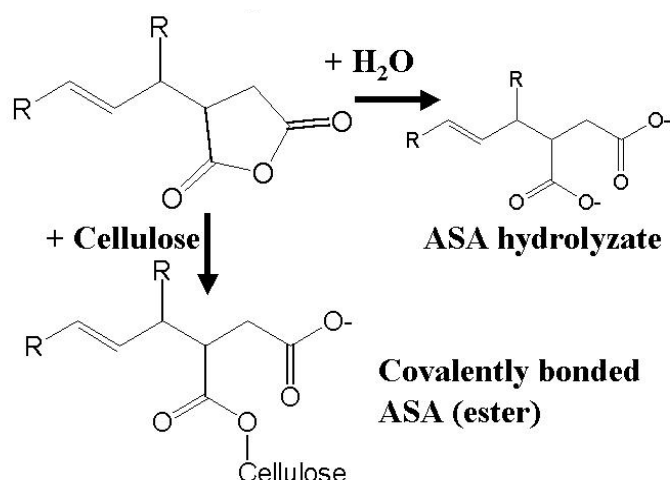
ภาพที่ 9 โครงสร้างแอลคิลคีตินไดเมอร์และกลไกการกันซึมในกระดาษ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hubbe (2009a)

นอกจากนี้ Bahr *et al.* (2002) ศึกษาสมบัติการต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษกราฟท์ เมื่อเติมสารกันซึมชนิดแอลคิลคีตินไดเมอร์ ในปริมาณร้อยละ 0-0.24 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง พบว่า การเติมสารกันซึมลงไป ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้กระดาษสามารถต้านทานการดูดซึมน้ำได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงพลังงานพื้นผิวของกระดาษเมื่อเติมแอลคิลคีตินไดเมอร์ลงไป พบว่า การเติมแอลคิลคีตินไดเมอร์ในปริมาณที่มากขึ้นเป็นผลให้ค่าพลังงานที่พื้นผิวมีค่าลดลง และส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสระหว่างของเหลวและผิวกระดาษที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงเป็นผลให้สมบัติการต้านทานการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น

2) แอลคิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์

สารกันซึมชนิดนี้มีความสามารถในการแพร่กระจายเข้าจับยึดและเกิดพันธะเอสเทอร์กับผิวหน้าเส้นใยได้เป็นอย่างดีและรวดเร็ว ดังนั้นการกันซึมจึงเกิดขึ้นทันทีเมื่อกระดาษถูกผลิตขึ้น แต่การใช้งานมีความลำบากมากกว่าแอลคิลคีตินไดเมอร์เนื่องจากต้องมีการใช้ activator เพื่อทำให้เกิดอนุภาคของแอลคิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ในอิมัลชัน และต้องมี promoter เพื่อให้เกิดการตกค้างในเนื้อกระดาษได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดการอุดตันของตะแกรงหลอดเดินแผ่นและสายพานผ้าในเครื่องจักรผลิตกระดาษ นอกจากนี้ยังมักเสียสภาพการกันซึมได้ง่ายเนื่องจากถูกไฮโดรไลส์ได้ง่าย โดยกลไกการกันซึมแสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 โครงสร้างแอลคิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์และกลไกการกันซึมในกระดาษ
ที่มา: ดัดแปลงจาก Hubbe (2009b)

7.2.2 การกันซึมบริเวณผิวหน้าของกระดาษ (external sizing or surface sizing)

สารกันซึมจะใช้กับผิวหน้าของกระดาษ โดยข้อดีของการกันซึมวิธีนี้คือ

ก. ปริมาณการใช้สารกันซึมมีประสิทธิภาพมากกว่าการกันซึมจากเนื้อในของกระดาษ

ข. สารกันซึมสามารถควบคุมให้เข้าสู่เนื้อกระดาษได้ดีและช่วยให้กระดาษมีสมบัติตามต้องการ

ค. ช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนของสารกันซึมในน้ำที่ใช้ในการผลิต ซึ่งเป็นผลดีต่อการบำบัดน้ำเสียและสิ่งแวดล้อม

สารกันซึมที่นิยมใช้ในวิธีนี้ได้แก่ สารละลายแป้ง คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxy methyl cellulose) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) เป็นต้น การใช้งานจะเคลือบไปบนกระดาษเพียงขณะอยู่บนเครื่องผลิตกระดาษหรือใช้ที่เครื่องรีดกระดาษ (สมหวัง, 2550)

ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* Jacq. จัดอยู่ในวงศ์ palmae พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่นิยม ได้แก่ พันธุ์ดुर่า (dura) พันธุ์พิสิเฟอร์รา (pisifera) พันธุ์เทนเอร์รา (tenera) โดยพันธุ์เทนเอร์ราเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อเป็นการค้าซึ่งเป็นพันธุ์ผสมระหว่างพันธุ์ดुर่าและพันธุ์พิสิเฟอร์รา ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมดประมาณ 2.74 ล้านไร่ มีผลผลิตโดยรวมประมาณ 7.27 ล้านตัน และคาดว่าพื้นที่เพาะปลูกภายในปีพ.ศ. 2550 จะเพิ่มขึ้นอีกจำนวน 300,000 ไร่ และจะขยายเพิ่มเป็น 550,000 ไร่ต่อปี เพื่อรองรับการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมและไบโอดีเซล (ฐานเศรษฐกิจ, 2550)

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชเศรษฐกิจทางภาคใต้ของประเทศไทย นอกจากผลผลิตโดยตรงคือ น้ำมันปาล์มแล้วยังแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น นมข้นหวานและนมจืด บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ครีมเทียม สบู่ เนยขาวและเนยเทียม เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น และยางรถยนต์เป็นต้น (กิจจารักษ์ และคณะ, 2541)

อย่างไรก็ตามจากกิจกรรมการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก วัสดุเหลือทิ้งดังกล่าว เช่น ทางใบปาล์ม และลำต้น ทั้งนี้ยังพบวัสดุเหลือทิ้งที่พบจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มของโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ ทะลายปาล์มเปล่า กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม กากตะกอนปาล์ม กากสลัดจ์ เส้นใยปาล์ม และกะลา เป็นต้น โดยในปี 2543 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ประเมินวัสดุเหลือทิ้งจากสวนปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ จากผลผลิตต่อปีรวม 3.256 ล้านตันต่อปี แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากสวนปาล์มน้ำมัน

วัสดุเหลือใช้ปาล์มน้ำมัน	อัตราส่วนวัสดุเหลือทิ้งต่อผลผลิต	ปริมาณวัสดุเหลือทิ้ง (10 ⁶ กก.)	
		ที่เกิดขึ้น	ที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์
ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า (oil palm empty fruit bunch)	0.428	1,394	814
เส้นใยปาล์มน้ำมัน (oil palm fiber)	0.147	479	64

ตารางที่ 3 (ต่อ)

วัสดุเหลือใช้ปาล์มน้ำมัน	อัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต	ปริมาณวัสดุเหลือทิ้ง (10 ⁶ กก.)	
		ที่เกิดขึ้น	ที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์
กะลาปาล์มน้ำมัน (oil palm shell)	0.049	160	6
ทางใบปาล์มน้ำมัน (oil palm frond)	2.604	8,479	8,479
ช่อดอกตัวผู้ (male inflorescence)	0.233	759	759

ที่มา: คัดแปลงจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2543)

ทางใบปาล์มน้ำมันจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกิจกรรมปาล์มน้ำมันประเภทหนึ่งที่ถูกตัดทิ้งเป็นจำนวนมากในแต่ละปี โดยปาล์มน้ำมันที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะมีทางใบ (frond) เกิดขึ้นที่รอบยอด (crow) ประมาณ 40-50 ทาง และมีทางใบอ่อนที่กำลังพัฒนาจากเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดอีกประมาณ 40-50 ทาง ต้นปาล์มที่สมบูรณ์ดีจะมีผลผลิตทางใบในทุก ๆ 12 วัน หรือประมาณ 30 ทางใบต่อปี การเจริญภายในแต่ละทางใบเป็นไปอย่างเชื่องช้า เป็นเวลา 2 ปี จึงปรากฏเป็นยอดแหลม (spear) ออกมา หลังจากนั้นก็เจริญอย่างรวดเร็วทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมภายนอกด้วย ทางใบปาล์มจะเรียงอยู่บนลำต้นเป็นระเบียบคือมีลักษณะเป็นเกลียวทั้งวนขวาและวนซ้าย โดยวนขวาเกลียวทางใบด้านสูงอยู่ทางขวาด้านต่ำอยู่ทางซ้ายซึ่งมักพบเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้ทางใบปาล์มน้ำมันจะติดอยู่กับลำต้นหลาย ๆ ปี ไม่มีหลุดออกจากต้นง่าย ๆ ดังนั้นจึงต้องมีการตัดแต่งทางใบ คงเหลือตอใบค้างอยู่ที่ลำต้น ดังที่เห็นอยู่เป็นจำนวนมาก การตัดแต่งทางใบปาล์มน้ำมันสามารถตัดโดยเฉลี่ยประมาณปีละ 18-25 ทาง โดยให้มีทางใบเหลือบนต้นประมาณ 35-50 ทาง ส่วนทางใบที่แก่จะแห้งหรือหลุดไปจากต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุของต้นปาล์ม (ศิริพร, 2545)

การใช้ประโยชน์ทางใบปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ใช้คลุมโคนต้นปาล์มหรือระหว่างแถวปาล์ม ซึ่งจะช่วยรักษาความชื้น ลดการชะล้างของหน้าดินและเมื่อย่อยสลายจะให้ธาตุอาหารที่ปาล์มนำไปใช้ประโยชน์ได้ รวมไปถึงทางใบปาล์มยังสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ นอกจากนี้ในปัจจุบันยังได้มีการนำมาผลิตเป็นเชื้อกระดากอีกด้วย (ธีระและคณะ, 2546)

1. การผลิตเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมัน

Khoo and Lee (1991) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งจากปาล์มน้ำมันต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4 และได้ศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเตรียมเยื่อโดยวิธีซัลเฟต ได้แก่ ค่าแอกติฟแอลคาไล อัตราส่วนระหว่างปริมาณสารละลายและวัตถุดิบ ระยะเวลาในการต้มเยื่อ พบว่า ทะลายปาล์มเปล่า ลำต้นและทางใบปาล์ม ให้ค่าผลผลิตเยื่อที่เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณค่าแอกติฟแอลคาไลที่เพิ่มสูงขึ้น โดยทะลายปาล์มเปล่าให้ค่าผลผลิตเยื่อ ร้อยละ 37-55.8 ลำต้น ให้ค่าผลผลิตเยื่อ ร้อยละ 34.8-46.6 และทางใบปาล์มน้ำมันให้ค่าผลผลิตเยื่อ ร้อยละ 35.9-42.5 นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณแอกติฟแอลคาไลร้อยละ 16 ทำให้ค่าผลผลิตเยื่อลดลง ส่วนค่าแคปปา (Kappa number) ซึ่งแสดงถึงปริมาณลิกนินในเส้นใย มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าแอกติฟแอลคาไลเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใย พบว่า เส้นใยมีความแข็งแรงมีค่าสูงขึ้นเมื่อแอกติฟแอลคาไลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การตีเยื่อ (beating) มีผลให้ความแข็งแรงของเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีจากวัสดุเหลือทิ้งปาล์มน้ำมันส่วนต่าง ๆ

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	ส่วนต่าง ๆ ของปาล์มน้ำมัน		
	ทะลายปาล์มเปล่า	ลำต้น	ทางใบ
ไฮโดรเซลลูโลส	70.7	71.8	84.6
แอลฟาเซลลูโลส	42.7	45.8	50.0
ลิกนิน	17.2	22.6	15.0
การละลายในเบนซีนแอลกอฮอล์	0.9	1.2	1.7
การละลายในน้ำร้อน	2.8	2.5	-
การละลายในด่าง	17.2	19.5	22.0
เพนโตแซน	27.3	25.9	23.9
เถ้า	0.7	1.63	0.48

ที่มา: Khoo and Lee (1991)

องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของกระดาษมากมายหลายชนิด อาจถูกปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงได้โดยกระบวนการแยกเยื่อทางเคมี Rushdan (2002) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อจากทะลายปาล์มเปล่าที่ต้มโดยใช้ด่าง 4 ชนิด คือ โซดา

โซดา-แอนทราควิโนน กราฟท์และกราฟท์-แอนทราควิโนน โดยประเมินจากปริมาณของลิกนิน ไฮโดรเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลส โมโนแซ็กคาไรด์และความหนืด ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบทางเคมีที่ละลายและที่หลงเหลืออยู่ พบว่าในกระบวนการต้มเยื่อทั้ง 4 ชนิด เยื่อโซดาที่มีปริมาณของลิกนินและไฮโดรเซลลูโลสสูงที่สุด ในขณะที่เยื่อโซดา-แอนทราควิโนน มีปริมาณของแอลฟาเซลลูโลสและค่าความหนืดสูงที่สุดและเยื่อกราฟท์-แอนทราควิโนนมีปริมาณกลูโคสสูงที่สุดและมีปริมาณอะราบินอส แมนโนส และกาแลกโตส ต่ำที่สุด

Wanrosli *et al.* (2004) ได้ศึกษาผลกระทบต่าง ๆ ของการเตรียมเยื่อที่มีผลต่อสมบัติของเส้นใยทางใบจากปาล์มน้ำมัน โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิระหว่าง 160-180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต้มเยื่อ 1-2 ชั่วโมง และปริมาณสารแอลคาไลในปริมาณร้อยละ 20-30 จากผลวิเคราะห์เชิงสถิติ พบว่า ปริมาณสารแอลคาไล อุณหภูมิและเวลา มีผลต่อปริมาณและสมบัติของเยื่อที่ได้ กล่าวคือ ปริมาณสารแอลคาไลที่ใช้มีผลต่อปริมาณลิกนินในเส้นใยโดยสารแอลคาไลนั้นทำหน้าที่ในการกำจัดลิกนินในเส้นใย นอกจากนี้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและเวลายังส่งผลในการต้มเยื่อที่นานขึ้นมีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารแอลคาไลและเส้นใยมากขึ้น ส่งผลต่อปริมาณเยื่อที่ได้ ซึ่งจากการทดลองนี้ปริมาณผลผลิตเยื่อที่ได้จากทางใบปาล์มน้ำมันมีปริมาณถึงร้อยละ 35-45

วิทยา และคณะ (2548) ได้ศึกษาถึงการแยกองค์ประกอบทางเคมีของต้นปาล์มน้ำมันโดยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า การระเบิดเส้นใยจากทะลายเปล่าของปาล์มด้วยไอน้ำ สามารถนำเยื่อมาแยกองค์ประกอบทางเคมีได้ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงสภาวะต่าง ๆ ในการระเบิดด้วยไอน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิของไอน้ำ ระยะเวลาในการระเบิดด้วยไอน้ำและการแช่และไม่แช่ขึ้นไม้สับในสารละลายกรดซัลฟิวริกก่อนการทำการระเบิดด้วยไอน้ำ โดยผลการทดลองจะถูกประเมินโดยการวัดค่าการละลายของน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ (กลูโคสและไซโลส) การละลายของน้ำตาลโอลิโกเมอร์ในสารละลาย เฮมิเซลลูโลส และปริมาณองค์ประกอบเคมีที่ประกอบอยู่ในเยื่อภายหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า กรดซัลฟิวริกช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อให้เกิดเป็นน้ำตาลไซโลสเพิ่มขึ้นและการแช่ขึ้นไม้สับในกรดจะให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสในรูปของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ ในขณะที่การไม่แช่ขึ้นไม้สับในกรดจะให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสในรูปของน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ในสารละลายเฮมิเซลลูโลส

Wanrosli *et al.* (2007) พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันมีความยาว เท่ากับ 1.13 มิลลิเมตร กว้าง 19.6 ไมโครเมตรและหนา 3.97 ไมโครเมตร เมื่อแยกองค์ประกอบทางเคมี พบว่า มีปริมาณชี้เยื่ออยู่ร้อยละ 0.7 สารสกัดต่าง ๆ อยู่ร้อยละ 1.4 ลิกนินอยู่ร้อยละ 15.2 และไฮโดรเซลลูโลสอยู่ร้อยละ 82.2

โดยองค์ประกอบหลักที่พบได้แก่ เซลลูโลสและไฮดรอกซีเซลลูโลส นอกจากนี้ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมัน โดยเตรียมจากกระบวนการเตรียมเยื่อทางเคมีโดย วิธีโซดา-ซัลไฟต์และวิธีโซดาและได้มีการเตรียมเยื่อทั้งวิธีโซดา-ซัลไฟต์ และวิธีโซดา พบว่า วิธีโซดาให้ผลผลิตเยื่อเท่ากับร้อยละ 44 และเส้นใยปาล์มมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นสารเสริมแรงในเยื่ออื่นๆ เพื่อเพิ่มสมบัติของเยื่อ เช่น การผสมเยื่อจากปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตเป็นกระดาษหนังสือพิมพ์ เนื่องจากค่าดัชนีความแข็งแรงของเส้นใยที่ดีมีผลให้เส้นใยปาล์มที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ใบกว้าง โดยเมื่อทำการศึกษพบว่าเยื่อปาล์มน้ำมันส่งผลให้สมบัติความแข็งแรง สีและความสว่างของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่เตรียมโดยวิธีความร้อนเชิงกล (thermomechanical pulping) มีสมบัติที่ดีขึ้น

วิวัฒน์ (2550) ศึกษาคุณสมบัติของเยื่อจากผลปาล์มน้ำมันเปล่าโดยเตรียมเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดาและซัลเฟต ในสถานะที่ศึกษาในกรรมวิธีโซดา ประกอบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 18-24 ของน้ำหนักไม้บดแห้งและอัตราส่วนของเหลวต่อวัตถุดิบคือ 6 ต่อ 1 อุณหภูมิสูงสุดและเวลาที่ใช้ต้มเยื่อคือ 170 องศาเซลเซียสและ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนสถานะที่ศึกษาสำหรับกรรมวิธีซัลเฟต ประกอบด้วยค่าซัลไฟต์ที่ร้อยละ 20 แอคติฟแอลคาไลที่ร้อยละ 15-22.5 อัตราส่วนของเหลวต่อวัตถุดิบคือ 59 ต่อ 1 อุณหภูมิสูงสุดและเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อคือ 170 องศาเซลเซียส และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าสถานะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเยื่อจากผลปาล์มน้ำมันเปล่า คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 24 และในกระบวนการโซดาและกระบวนการซัลเฟตควรใช้แอคติฟแอลคาไลที่ร้อยละ 17.5 โดยค่าผลผลิตเยื่อจากกรรมวิธีทั้งสอง คือ ร้อยละ 38.73 และ ร้อยละ 39.19 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเยื่อจากกรรมวิธีโซดาและกรรมวิธีซัลเฟตที่ความเป็นอิสระของเยื่อ 300 มิลลิลิตร พบว่า ค่าเคลปปาของทั้งส่วนที่เป็นเยื่อและส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ สำหรับเยื่อซัลเฟตมีค่ามากกว่าส่วนที่เป็นเยื่อและส่วนที่ไม่เป็นเยื่อของเยื่อโซดา แต่ค่าความขาวสว่างของเยื่อต่ำกว่าเยื่อโซดาและเมื่อนำเยื่อทั้งสองกรรมวิธีมาฟอกด้วยสารเคมีตามลำดับดังนี้ คลอรีนไดออกไซด์ (D) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (P) คลอรีนไดออกไซด์ (D) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (P) หรือวิธี D-P-D-P พบว่าเยื่อโซดาซึ่งมีความขาวสว่างสูงกว่าและฟอกได้ง่ายกว่าเยื่อซัลเฟต นอกจากนี้สมบัติเชิงกลของเยื่อโซดามีค่าต่ำกว่าเยื่อซัลเฟตยกเว้นค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดที่เยื่อโซดามีค่าสูงกว่าเยื่อซัลเฟต

บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป

บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป (molded pulp packaging) หมายถึง วัสดุหรือภาชนะบรรจุสามมิติที่ทำการขึ้นรูปเยื่อกระดาษเพื่อให้มีรูปร่างตามต้องการ โดยกรองผ่านตะแกรงแม่แบบ

กรรมวิธีการผลิตเป็นไปในทำนองเดียวกับการผลิตกระดาษแต่ต่างกันตรงตะแกรงที่ใช้ดินแผ่น กระดาษนั้นเป็นระนาบสองมิติ ในขณะที่ตะแกรงที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจะทำการเป็น รูปร่างตามลักษณะที่ต้องการใช้งาน ซึ่งมีลักษณะเป็นสามมิติ (จิระวรรณ และคณะ, 2545)

บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปมักนำมาใช้เป็นวัสดุกันกระแทก วัสดุช่วยบรรจุหรือภาชนะ บรรจุสินค้าที่บอบบาง แดกหักง่าย เพื่อช่วยในการขนส่ง ตัวอย่างการใช้งานของบรรจุภัณฑ์เยื่อ กระดาษขึ้นรูป ได้แก่ ถาดใส่ไข่ ถาดใส่อาหารและผลไม้สด ใช้เป็นวัสดุช่วยบรรจุขวดเหล้า สารเคมี กรอบรูป เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องมือทางวิศวกรรม สุขภัณฑ์ ห้องน้ำและสินค้าเซรามิก เป็นต้น

ในปัจจุบันมีความนิยมใช้บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปเพื่อทดแทนการใช้งานของ บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากแผ่นโฟมพลาสติก กระดาษลูกฟูกหนาเดียว กระดาษลูกฟูกหนึ่งหรือสองชั้น หรือถาดขึ้นรูปร้อนจากพลาสติก เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปมีอัตราการเสี่ยงต่อการติด ไฟต่ำ ไม่มีปัญหาเรื่องประจุไฟฟ้า ทำการผลิตได้ง่ายกว่าวัสดุอื่น รวมถึงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ทำลาย สิ่งแวดล้อมเนื่องจาก สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ นอกจากนี้ บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับผนังที่ค่อนข้างหนา ซึ่งอาจหนาถึง 2 มิลลิเมตร มีความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกได้ดีและความแข็งแรงขณะเรียงซ้อนสูง ซึ่ง คุณสมบัติเหล่านี้เมื่อรวมกับการใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูก ทำให้บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปมีความ เหมาะสมกับสินค้าอาหารที่บอบบาง เช่น ไข่ มะเขือเทศ แอปเปิ้ลและอื่น ๆ บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษ ขึ้นรูปยอมให้มีการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ จึงเป็นประโยชน์กับผักและผลไม้สด ซึ่งปกติมี การหายใจระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง การหายใจของผักและผลไม้สด เป็นองค์ประกอบ สำคัญที่ปกป้องสินค้าจากการเน่าเสียและการเกิดเชื้อรา นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปยัง สามารถให้ความคุ้มครองผลไม้แต่ละผลไม่ให้เสียหายจากการกระทบกันและตัวถาดมีน้ำหนักเบา เมื่อนำมาใช้งานภายในกล่องเพื่อการขนส่งจึงไม่เพิ่มค่าใช้จ่ายในการขนส่งมากนัก

1. ประเภทของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป

บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปสามารถแบ่งได้ตามชนิดของวัตถุดิบในการผลิตเป็น 2 ประเภท คือ

1.1 บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ทำจากเยื่อบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างเยื่อเคมีและเยื่อเชิงกล

1.2 บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ทำจากเศษกระดาษ

ชนิดของเยื่อกระดาษที่ใช้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่จะบรรจุ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารสด ได้แก่ เนื้อสัตว์ ปลา จะเลือกใช้เยื่อกระดาษที่มีคุณภาพสูง ทำจากเยื่อบริสุทธิ์ ในขณะที่วัสดุกันกระแทกสำหรับเฟอร์นิเจอร์จะผลิตจากเยื่อกระดาษใช้แล้วที่มีความแข็งแรงตามต้องการ

วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป ได้แก่ เยื่อบริสุทธิ์ และเศษกระดาษ โดยชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารสด ได้แก่ เนื้อสัตว์ เนื้อปลา จะเลือกใช้เยื่อกระดาษที่มีคุณภาพสูงทำจากเยื่อบริสุทธิ์ ในขณะที่วัสดุกันกระแทกสำหรับเฟอร์นิเจอร์จะผลิตจากเยื่อกระดาษใช้แล้ว

นอกจากนี้ในระหว่างกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป อาจมีการผสมสารกันซึม สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อเปียก แป้งคัดแปร สีหรือสารประกอบอื่น ๆ เพื่อเพิ่มสมบัติตามต้องการได้

2. กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป

การผลิตบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปโดยทั่วไปประกอบด้วยกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมเยื่อ การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์และการทำให้แห้ง

2.1 การเตรียมเยื่อ

ขั้นตอนการเตรียมเยื่อในการผลิตบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปนั้น มีจุดประสงค์เพื่อเตรียมเยื่อให้มีการกระจายตัวดีรวมถึงมีความชื้นของเยื่อกระดาษสม่ำเสมอ โดยในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากตีวัตถุดิบให้กระจายอย่างสม่ำเสมอในน้ำ เยื่อที่ผ่านการตีแล้วจะผ่านไปยังถังผสมเพื่อผสมกับสารอื่น ๆ ต่อไป

2.2 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนนี้เป็น การขึ้นรูปเยื่อกระดาษให้เป็นรูปผลิตภัณฑ์ตามต้องการ โดยมี การใช้กระบวนการขึ้นรูป 2 วิธี คือ กระบวนการขึ้นรูปแบบกดและฉีด (pressure injection molding) และ กระบวนการขึ้นรูปแบบดูด (suction-molding)

2.2.1 กระบวนการขึ้นรูปแบบกดและฉีด (pressure injection molding) การขึ้นรูปแบบนี้จะใช้เครื่องจักรแบบกึ่งอัตโนมัติ เครื่องจักรที่นิยมใช้จะประกอบด้วยชุดตะแกรงแม่แบบ 6 ชุด โดยที่แม่แบบทั้ง 5 ชุดจะเคลื่อนที่ได้ ส่วนผสมของเยื่อและน้ำที่ต้องการจะถูกเทลงในแม่แบบ และการขึ้นรูปตามแม่แบบจะเกิดขึ้นโดยการเป่าลมที่มีความดันประมาณ 4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิประมาณ 480 องศาเซลเซียส บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ได้จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 40-45 และจำเป็นต้องผ่านการทำให้แห้งต่อไป บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตด้วยวิธีนี้ จะมีความแข็งแรงทนทาน แต่มีน้ำหนักเบาและสามารถผลิตให้มีรูปร่างได้หลากหลายตามต้องการ

2.2.2 กระบวนการขึ้นรูปแบบดูด (suction-molding) กระบวนการนี้ส่วนผสมเยื่อจะถูกเทลงในแม่แบบและขึ้นรูปตามแม่แบบ โดยมีปั๊มสุญญากาศที่อยู่อีกด้านหนึ่งของแม่แบบช่วยดึงน้ำออกจากเยื่อและดูดเยื่อให้ติดกับตะแกรงแม่แบบ วิธีการขึ้นรูปแบบนี้ จะมีความชื้นคงเหลือในบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปมากกว่าการขึ้นรูปแบบกดและฉีด (ประมาณร้อยละ 85)

2.3 การทำให้แห้ง

ขั้นตอนนี้เป็น การระเหยน้ำออกจากเยื่อกระดาษภายหลังการขึ้นรูป โดยใช้การตากแห้งด้วยแสงแดดหรือลมเป่า ในกรณีที่ใช้ลมร้อนจะเป็นการผลิตแบบต่อเนื่องที่มีสายพานนำผลิตภัณฑ์ผ่านเข้าอุโมงค์ลมร้อน โดยภายในอุโมงค์จะมีลมร้อนหมุนเวียนเป่าผลิตภัณฑ์จนแห้ง บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปภายหลังจากออกจากอุโมงค์ลมร้อนนี้ จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 10

3. คุณสมบัติในการเลือกใช้

คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตขึ้นใช้งานปัจจุบันนี้อยู่ในช่วงที่กว้างมาก เนื่องจากสมบัติขึ้นกับความต้องการของสินค้าแต่ละชนิด

ปัจจุบันได้มีการนำเส้นใยจากวัสดุเหลือทิ้ง เช่น ผักตบชวา ใบธูปฤาษี ชานอ้อย รวมถึง วัชพืชต่าง ๆ มาผลิตเป็นเยื่อและพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่

ปาริชาติ และวงศ์ผกา (2542) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปใน รูปแบบของถาดผลไม้จากผักตบชวา โดยศึกษาถึงอิทธิพลและอัตราส่วนของสารเพิ่มความแข็งแรง ประเภทแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสม ศึกษาการหดตัวของเยื่อผักตบชวาที่ป่นและไม่ป่น รวมถึง ศึกษาชนิดของแม่พิมพ์ที่เหมาะสมต่อการผลิตบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากผักตบชวา โดย พบว่า ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสม ได้แก่ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง นอกจากนี้ยัง พบว่า เยื่อที่มีการป่นจะหดตัวมากกว่าเยื่อที่ไม่ได้ป่น เนื่องจากเยื่อที่ป่นจะมีช่องว่างให้น้ำแทรกซึม ระหว่างเยื่อมากกว่าเยื่อที่ไม่ป่น ทำให้เมื่ออบแห้งแล้วน้ำระเหยไปเยื่อจึงเกิดการหดตัว โดยการเติม แป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงช่วยลดการหดตัวของเยื่อได้ และเมื่อศึกษาชนิดของ แม่พิมพ์ ได้แก่ แม่พิมพ์มุ้งลวด แม่พิมพ์ปูน แม่พิมพ์พลาสติกชนิดอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอิน- สไตรีน (acrylonitrile butadiene styrene) พบว่า บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากแม่พิมพ์มุ้งลวดมี การหดตัวมากที่สุด เนื่องจากไม่มีแม่พิมพ์ตัวผู้มากกดทับด้านบน ในส่วนของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษ ขึ้นรูปจากแม่พิมพ์ปูนและแม่พิมพ์พลาสติกชนิดอะครีโลไนไตรล์ บิวทาไดอินสไตรีน พบว่าบรรจุ ภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตได้มีผิวที่ขรุขระ รวมถึงมีการหดตัวเหมือนกัน และพบว่าการผสม แป้งมันสำปะหลัง ช่วยลดการหดตัวของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปนอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่ม แรงกดรวมถึงการใช้ความร้อนขณะกดอัดจะช่วยลดการหดตัวรวมถึงการบิดเบี้ยวของบรรจุภัณฑ์ เยื่อกระดาษขึ้นรูปได้อีกด้วยและเมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจาก ผักตบชวาเปรียบเทียบกับถาดผลไม้ในท้องตลาด ถาดโฟม และกระดาษลูกฟูกพบว่าบรรจุภัณฑ์เยื่อ กระดาษขึ้นรูปจากผักตบชวามีค่าความต้านทานแรงทิ่มทะลุ (puncture test) ค่าแรงดัด (3 point bending) ต่ำที่สุด

สินชัย (2543) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตต้นแบบภาชนะบรรจุอาหารจากเยื่อ ตะไคร้หอม โดยเยื่อตะไคร้หอมที่เตรียมนั้น เตรียมจากเยื่อตะไคร้หอมสดและอบแห้งที่ผ่านการ สก๊ิดน้ำมันหอมระเหยแล้ว โดยการเตรียมเยื่อใช้วิธีทางเคมี ในอัตราส่วนของตะไคร้หอม 5.8 กรัม ต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัมต่อน้ำ 400 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาดมนาน 1.5 ชั่วโมง นอกจากนี้ยัง ศึกษาถึงผลของสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแป้งมันสำปะหลัง และพลาสติกไซเซอร์ ในขั้นตอนการ ขึ้นรูปใช้เครื่องอัดแบบนิวเมติก (pneumatic machine) ความดัน 2 บาร์ และใช้ความร้อนระดับ 3 และแม่พิมพ์อลูมิเนียม จากการทดลองการขึ้นรูปภาชนะบรรจุพบว่า บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป ตะไคร้หอมสดมีสีเขียวและบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปตะไคร้หอมอบแห้งมีสีน้ำตาล นอกจากนี้

พบว่า การเตรียมเยื่อจากตะไคร้หอมแห้งเตรียมได้ง่ายกว่าตะไคร้สด เนื่องจากสามารถตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ การเติมพลาสติกไซเซอรช่วยให้อิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ค่อนข้างเรียบ เนื่องจากพลาสติกไซเซอรช่วยให้แป้งมันสำปะหลังและเส้นใยเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น โดยอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังและพลาสติกไซเซอรที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ร้อยละ 30 และร้อยละ 5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ และเมื่อทดสอบค่าแรงคัต ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดและค่าความเค้นสูงสุดพบว่า ค่าดังกล่าวของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปตะไคร้หอมมีค่ามากกว่าถาดโฟม เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปเยื่อตะไคร้หอมมีลักษณะแข็งแรงกว่าถาดโฟม จึงสามารถรับแรงคัตได้มากกว่าและเมื่อทดสอบการซึมผ่านของน้ำและน้ำมันเปรียบเทียบกัน พบว่า น้ำมันพืชสามารถซึมผ่านบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปตะไคร้หอมได้มากกว่าน้ำ

วิวัฒน์ (2546) ศึกษาถึงกระบวนการและอัตราส่วนที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์จากขานอ้อย โดยในกระบวนการและสัดส่วนที่ดีที่สุดที่ใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์จากขานอ้อย ได้แก่ น้ำ 60 กรัมผสมโพลิไวนิลอะซิเตด (polyvinyl acetate) 10 กรัม ภายใต้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที จากนั้นผสมกับเยื่อขานอ้อยและนำไปขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 150 นาที นอกจากนี้ นำบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้มาเคลือบด้วยโพลิไวนิลอะซิเตด แล้วนำไปอบอีกครั้ง และเมื่อทำการทดลองการบรรจุมังคุดในบรรจุภัณฑ์ขานอ้อยพร้อมสารดูดซับออกซิเจน เพื่อยืดอายุมังคุด พบว่าสามารถยืดอายุมังคุดได้เป็นระยะเวลา 8 วันเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมังคุดที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมปกติ

ธนธร และคณะ (2547) ได้ศึกษาสมบัติของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่เตรียมได้จากใบธูปฤาษี โดยเตรียมเยื่อจากใบธูปฤาษีโดยวิธีโซดา ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมล ปริมาตรร้อยละ 8 10 และ 12 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง นอกจากนี้ยังมีการเติมสารตัวเติมชนิดแคลเซียมคาร์บอเนต สารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคลอีนิกสตาร์ชและสารด้านการซึมน้ำชนิดแอลคิลคีตินไดเมอรัล โดยพบว่าเยื่อที่ได้มีผลผลิตเยื่อสูงสุดเท่ากับร้อยละ 55 มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 60 กิโลนิวตันเมตรต่อกิโลกรัม ความต้านทานแรงฉีกขาด 15.98 นิวตันตารางเมตรต่อกิโลกรัม และความต้านทานแรงฉีกขาด 3.32 กิโลปาสกาลตารางเมตรต่อกรัม จากนั้นนำมาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป โดยมีการผสมกับเยื่อกระดาษนำกลับมาใช้ใหม่ที่เตรียมด้วยวิธีคราฟท์ ที่อัตราส่วนเยื่อธูปฤาษีต่อเยื่อนำกลับมาใช้ใหม่ 1:0 1:1 และ 0:1 พบว่ามีค่าความต้านทานแรงกดเท่ากับ 127 294 และ 523 กิโลกรัมแรง ตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 ทางใบปาล์มน้ำมัน จากสวนปาล์มน้ำมัน จังหวัดชลบุรี

1.2 แอปเปิ้ลเขียว พันธุ์แกรนนี่สมิท (Granny Smith) ขนาด 113

1.3 สารเคมีสำหรับต้มเชื้อ

1.3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) (Ajax Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)

1.3.2 โซเดียมซัลไฟด์ (sodium sulfide) (ห้างหุ้นส่วนจำกัดแซทเทอร์นเคมีคอล, ประเทศไทย)

1.4 สารเติมแต่ง

1.4.1 สารเพิ่มความแข็งแรง ชนิด แคตไอออนิกสตาร์ช (cationic starch) (ชื่อทางการค้า TAPLINK-3, สำปะหลังพัฒนา จำกัด, ประเทศไทย) ความชื้น ร้อยละ 11.56 ค่าความเป็นกรด-เบส 6.24 ionic strength 0.035

1.4.2 สารก้นซึม ชนิด แอลคิลคีตีนไดเมอร์ (alkyl ketene dimer, AKD (ชื่อทางการค้า EKA DR C221, Eka Chemicals (Thailand) Ltd., ประเทศไทย) ความหนาแน่น 1.00 ถึง 1.02 g/cm³ ปริมาณของแข็ง ร้อยละ 11.5 ถึง 13.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.5 ถึง 4.5 ความหนืด 100 cP ที่ 25 องศาเซลเซียส

1.5 สารเคมีที่ใช้เตรียมสารละลาย

1.5.1 กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 37.5 (hydrochloric acid) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

1.5.2 แบเรียมคลอไรด์ (barium chloride) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

1.5.3 โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

1.5.4 โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (potassium hydrogen phthalate) (Ajax Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)

1.5.5 เมทิลออเรนจ์ (methyl orange) (Fisher Scientific, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

1.5.6 น้ำกลั่น

1.6 สารเคมีที่ใช้ทดสอบค่าแคลปา

1.6.1 กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นร้อยละ 97 (sulfuric acid) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

1.6.2 โซเดียมไธโอซัลเฟต (sodium thiosulfate) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

1.6.3 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide) (Ajax Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)

1.6.4 ไดโซเดียมออกซาเลต (disodium oxalate) (Carlo Erba, ประเทศอิตาลี)

1.6.5 โพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

1.6.6 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (potassium permanganate) (Carlo Erba, ประเทศอิตาลี)

1.6.7 สตาร์ช (starch) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

2. อุปกรณ์และเครื่องมือ

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษและบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป

2.1.1 เครื่องต้มเยื่อระบบปิด

2.1.2 เครื่องกระจายเยื่อ (pulp disintegrator) (Herman Manufacturing, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.1.3 เครื่องทำแผ่นกระดาษทดสอบมาตรฐาน (handsheet forming machine) (Havir Engineering, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.1.4 เครื่องวัดการอมน้ำ (freeness tester) (Tokyo Senki Seisaku Sho, ประเทศญี่ปุ่น)

2.1.5 เครื่องวัดความชื้น (moisture analyzer รุ่น HR 73) (Mettler Toledo, ประเทศไทย)

2.1.6 เครื่องคัดแยกเยื่อ (flat screening machine) (Valley Laboratory Equipment, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.1.7 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (รุ่น AT400) (Mettler Toledo, ประเทศไทย)

2.1.8 เครื่องชั่งทศนิยม 1 ตำแหน่ง (รุ่น AT400) (Sartorius, ประเทศเยอรมนี)

2.1.9 เครื่องกดรีดน้ำ (hydraulic pressing) (Tokyo Senki Seisaku Sho, ประเทศญี่ปุ่น)

2.1.10 เครื่องเซนตริฟิว (centrifugal separator) (Neng Shin Machinery Works, ประเทศไทย)

2.1.11 เครื่องผสมสารเคมีแต่ง (dynamic paper chemistry jar รุ่น E284) (Electro-Craft Servo Product, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.1.12 เตาอบ (stabil-term gravity) (Blue M Electric Company, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.1.13 เครื่องให้ความร้อน (hot plate รุ่น SP46910-26) (Branstead Thermolyne Corporation, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.1.14 เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก (hydrau press machine รุ่น PML-10) (Pamalyne, ประเทศไทย)

2.1.15 แม่พิมพ์เรซินขึ้นรูป (resin mold)

2.1.16 อุโมงค์ลมร้อน (heat tunnel)

2.1.17 เครื่องตากแผ่นกระดาษ

2.1.18 ตะแกรงขนาด 150 mesh

2.1.19 กล่องลูกฟูกขนาด $23 \times 24.5 \times 25$ เซนติเมตร ลอน B

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกระดาษและบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป

2.2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงขาด (tensile tester) (Toyo Scisaku-sho, ประเทศญี่ปุ่น)

2.2.2 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (burst tester) (TMI, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

- 2.2.3 เครื่องทดสอบความหนาของกระดาษ (thickness tester รุ่น ID-C 112BS) (Mitutoyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.2.4 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด (elemendorp tear test รุ่น 83-11-01-002) (TMI, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.2.5 เครื่องทดสอบแรงสั่นสะเทือน (electro-hydraulic vibration table รุ่น 1000) (Lansmont, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.2.6 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดทับ (compression test machine รุ่น 350 Rochdale, ประเทศอังกฤษ)
- 2.2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope รุ่น JSM-5600LV) (JEOL, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.2.8 กล้องวัดขนาดเส้นใย (image analyzer รุ่น BHM) (Olympus, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.2.9 กล้องถ่ายรูป (รุ่น EXILIM) (Casio, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.3 อุปกรณ์เพิ่มเติมในการทำวิจัย

- 2.3.1 แท่งแก้ว
- 2.3.2 บีกเกอร์ขนาดความจุต่าง ๆ
- 2.3.3 ปีเปต
- 2.3.4 กระดาษซับ
- 2.3.5 กระดาษกรอง
- 2.3.6 หลอดหยด
- 2.3.7 กระจกนาฬิกา
- 2.3.8 นาฬิกาจับเวลา
- 2.3.9 ขวดวัดปริมาตร
- 2.3.10 กระบอกตวง
- 2.3.11 เทอร์มอมิเตอร์

วิธีการ

1. การผลิตเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมัน

1.1 การเตรียมทางใบปาล์มน้ำมัน เตรียมโดยนำทางใบปาล์มน้ำมันมาปอกเปลือกและตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปผึ่งแดด

1.2 การต้มเยื่อ ใช้การต้มเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันแบบซัลเฟต โดยศึกษาถึงค่าแอกติฟแอลคาไลที่เหมาะสมกับการเตรียมเยื่อจากทางใบปาล์ม โดยวิธีการต้มเยื่อมีขั้นตอนดังนี้

1.2.1 นำทางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมไว้ไปหาความชื้น เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำหนักวัตถุดิบแห้ง ให้ได้ปริมาณวัตถุดิบแห้ง 300 กรัม (ดูภาคผนวก ข)

1.2.2 เตรียมสารเคมี ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ตามสถานะต้มเยื่อดังตารางที่ 5 โดยปรับปริมาตรของสารละลายให้ได้อัตราส่วนระหว่างสารเคมีและวัตถุดิบตามสถานะต้มเยื่อด้วยน้ำ โดยปริมาตรของน้ำที่ใช้จะคิดรวมกับปริมาณของความชื้นในทางใบปาล์มน้ำมันด้วย (ดูภาคผนวก ข)

1.2.3 นำทางใบปาล์มน้ำมันและสารเคมีใส่ในหม้อต้มเยื่อและต้มเยื่อตามสถานะที่กำหนด โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่อุณหภูมิถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้

1.2.4 ปิดเครื่องเมื่อครบเวลาที่กำหนด จากนั้นเปิดฝาหม้อต้มเยื่อ เพื่อปล่อยน้ำเยื่อภายในหม้อทิ้ง น้ำเยื่อไปล้างในตะแกรงด้วยน้ำสะอาดจนไม่เหลือปริมาณสารเคมีในเยื่อ

1.2.5 ร่อนคัดแยกเยื่อเพื่อคัดแยกเยื่อที่ไม่ต้องการออก ซึ่งเป็นการคัดแยกกลุ่มก้อนของเส้นใยที่ไม่แยกตัวกันอย่างสมบูรณ์ออกและเป็นการขจัดสิ่งสกปรกของเยื่อที่ต้มแล้วก่อนที่จะนำมาผลิตกระดาษ โดยการนำเยื่อที่ผ่านจากการปั่นแยกเส้นใยเจือจางมาแยกผ่านเครื่องคัดแยกเยื่อ แล้วทำการปั่นแยกน้ำออกด้วยเครื่องเซนตริฟิว

1.2.6 เก็บเยื่อในลักษณะเยื่อเปียกในตู้เย็น ก่อนนำไปทดสอบต่อไป

ตารางที่ 5 สภาวะในการต้มเยื่อโดยวิธีซัลเฟต

ปัจจัยที่ศึกษา	สภาวะในการต้มเยื่อ		
	1	2	3
ปริมาณเยื่อแห้ง (กรัมแห้ง)	300	300	300
แอกติฟแอลคาไล (ร้อยละ)	15	16	17
ซัลฟิตี (ร้อยละ)	25	25	25
อัตราส่วนระหว่างสารเคมีและวัตถุดิบ	5:1	5:1	5:1
อุณหภูมิต้มเยื่อ (องศาเซลเซียส)	160	160	160
เวลาต้มเยื่อ (นาที)	180	180	180

1.3 หาค่าแคปจากเยื่อที่ผลิตได้จากสภาวะต่าง ๆ เพื่อศึกษาถึงปริมาณลิกนินที่มีอยู่ในเส้นใย (ดูภาคผนวก ก)

1.4 วัดค่าการร่อนน้ำของเยื่อ (freeness index) ด้วยวิธีคานาเดียนสแตนดาร์ดฟรีเนส (canadian standard freeness, CSF) ตามมาตรฐาน TAPPI T227 om-94 (ดูภาคผนวก ค)

1.4 ทดสอบสมบัติทางกายวิภาคของเยื่อ (morphologies properties) ตามมาตรฐาน TAPPI T 233 cm-82 (ดูภาคผนวก ค) ได้แก่

1.5.1 ความยาวเส้นใย (fiber length)

1.5.2 ความกว้างเส้นใย (fiber width)

1.5.3 ลูเมน (lumen)

1.5.4 ความหนาผนังเซลล์ (thickness of cell wall)

2. การผลิตกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน

2.1 การเตรียมน้ำเยื่อสำหรับทำแผ่นกระดาษ

ในกระบวนการนี้ น้ำเยื่อถูกเตรียมให้มีปริมาตรหรือปริมาณเยื่อ 1.5 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร เพื่อขึ้นรูปแผ่นกระดาษจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมัน ขนาด 60 กรัมต่อตารางเมตร

2.2 การทำแผ่นกระดาษด้วยเครื่องทำแผ่นกระดาษทดสอบที่มีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 60 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

2.2.1 ล้างเครื่องมือทำแผ่นทดสอบมาตรฐานให้สะอาด เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและสิ่งตกค้างบนตะแกรงขึ้นแผ่นให้หมด

2.2.2 ตักน้ำเยื่อปริมาณ 800 มิลลิลิตรต่อการขึ้นรูปแผ่นกระดาษหนึ่งแผ่นมาเทใส่ลงไปลงในทรงกระบอที่อยู่นบนตะแกรง

2.2.3 เปิดวาล์วเอาน้ำออกเยื่อจะตกค้างอยู่บนตะแกรง

2.2.4 ซับน้ำออกจากเยื่อที่อยู่นบนตะแกรงด้วยกระดาษซับน้ำ จากนั้นวางแผ่นเหล็กเรียบและให้ลูกกลิ้งเหล็กกดทับเพื่อกดรีดน้ำและทำให้กระดาษเรียบ

2.2.5 นำแผ่นกระดาษมาตากให้แห้ง ในสภาวะอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นกระดาษออกเพื่อทำการทดสอบต่อไป

3. การทดสอบลักษณะทางโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของกระดาษ

แบ่งการทดสอบตามคุณสมบัติกระดาษออกเป็น 2 ลักษณะ และทดสอบกระดาษโดยยึดวิธีการทดสอบตามมาตรฐานของ International Organization for Standardization (ISO) และมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ดังนี้

3.1 ลักษณะทางกายภาพของกระดาษ (physical properties)

3.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) ตามมาตรฐาน ISO 536:1995 (ดูภาคผนวก ค)

3.1.2 ความหนา (thickness) ตามมาตรฐาน ISO 534:1988 (ดูภาคผนวก ค)

3.1.3 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) ตามมาตรฐาน ISO 534:1988 (ดูภาคผนวก ค)

3.2 สมบัติของกระดาษทางด้านเชิงกล (mechanical properties)

3.2.1 ความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) ตามมาตรฐาน ISO 1924-2:1994 (ดูภาคผนวก ค)

3.2.2 ความต้านทานแรงฉีกขาด (tear resistance) ตามมาตรฐาน ISO 1974:1990 (ดูภาคผนวก ค)

3.2.3 ความต้านทานแรงดันทะลุ (bursting resistance) ตามมาตรฐาน ISO 2758:2001 (ดูภาคผนวก ค)

3.2.4 ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (water resistance) ตามมาตรฐาน มอก.321:2522 (ดูภาคผนวก ค)

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสภาวะด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS version 12 เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อ

4. การปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน คือ การผลิตบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้ต้องมีความสามารถในการรับแรงและปกป้องสินค้าภายในได้ โดยในขั้นตอนนี้ มีการปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันด้วยสารเติมแต่ง

4.1 ปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน ด้วยสารเติมแต่ง 2 ชนิด คือ สารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคตไอออนิกสตาร์ชและสารกันซึมชนิดแอลคิลคิทีนไคเมอร์ โดยศึกษาถึงปริมาณของสารดังกล่าวที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน โดยการทดลองแบ่งเป็นสองขั้นตอน ได้แก่

4.1.1 การเติมสารเติมแต่งชนิดแคตไอออนิกสตาร์ชเพียงชนิดเดียวและการเติมสารเติมแต่งชนิดแอลคิลคิทีนไคเมอร์เพียงชนิดเดียว เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารเติมแต่งแต่ละชนิด โดยปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลคิทีนไคเมอร์ที่เติมแสดงดังตารางที่ 6

4.1.2 การเติมสารเติมแต่งชนิดแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคิทีนไคเมอร์เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารเติมแต่งที่จะเติมในบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป โดยปริมาณสารเติมแต่งที่เติมแสดงดังตารางที่ 6

4.2 เตรียมสารละลายแคตไอออนิกสตาร์ชก่อนนำไปผสมในน้ำเยื่อ

4.2.1 ชั่งแคตไอออนิกสตาร์ชตามปริมาณที่กำหนดจากนั้นละลายแคตไอออนิกสตาร์ชในน้ำกลั่น

4.2.2 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 ± 5 องศาเซลเซียส และคนให้ทั่วกันอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อให้แป้งแตกตัวอย่างสมบูรณ์

4.3 เตรียมน้ำเยื่อและการทำแผ่นกระดาษทดสอบ มีขั้นตอนดังนี้

4.3.2 สารละลายแคตไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลคีตินไคเมอร์ถูกนำมาผสมกับน้ำเยื่อตามปริมาณดังแสดงในตารางที่ 6 จากนั้นปั่นกวนน้ำเยื่อด้วยเครื่องปั่นกวนที่ความเร็ว 1200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้สารเติมแต่งและน้ำเยื่อเข้ากันดี

4.3.3 ขึ้นรูปแผ่นกระดาษขนาด 60 กรัมต่อตารางเมตร ตามวิธีการดังข้อ 2.2

4.3.4 อบแผ่นกระดาษที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้สารแอลคิลคีตินไคเมอร์ให้เกิดปฏิกิริยากันซึม

ตารางที่ 6 ปริมาณสารเติมแต่งที่เติมลงในกระดาษ

สถานะ	ปริมาณสารเติมแต่ง (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	
	แคตไอออนิกสตาร์ช	แอลคิลคีตินไคเมอร์
การเติมแคตไอออนิกสตาร์ช		
1	0.0	-
2	0.5	-
3	1.0	-
4	1.5	-
การเติมแอลคิลคีตินไคเมอร์		
1	-	0.0
2	-	0.1
3	-	0.2
4	-	0.3
5	-	0.4
6	-	0.5
การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับการเติมแอลคิลคีตินไคเมอร์		
1	0.0	0.0
2	1.0	0.4
3	1.0	0.5
4	1.2	0.4
5	1.2	0.5
6	1.4	0.4
7	1.4	0.5

5. การทดสอบลักษณะทางโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของกระดาษที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารเติมแต่ง

กระดาษจะถูกนำไปเก็บในสภาวะมาตรฐาน (27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65) และสภาวะห้องเย็น (12 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5) เพื่อจำลองสภาวะเช่นเดียวกับการขนส่งในห้องเย็น (Canwell, 2001) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ โดยสมบัติที่ทดสอบ ได้แก่

5.1 ลักษณะทางกายภาพของกระดาษ (physical properties)

5.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) ตามมาตรฐาน ISO 536:1995 (ดูภาคผนวก ค)

5.1.2 ความหนา (thickness) ตามมาตรฐาน ISO 534:1988 (ดูภาคผนวก ค)

5.1.3 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) ตามมาตรฐาน ISO 534:1998 (ดูภาคผนวก ค)

5.1.4 ลักษณะผิวหน้าของกระดาษด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM)

5.1.5 มุมสัมผัสระหว่างผิวหน้ากระดาษและน้ำ (contact angle) ดัดแปลงจาก ASTM D5946-04 (ดูภาคผนวก ค)

5.2 สมบัติของกระดาษทางด้านเชิงกล (mechanical properties)

5.2.1 ความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) ตามมาตรฐาน ISO 1924-2:1994 (ดูภาคผนวก ค)

5.2.2 ความต้านทานแรงฉีกขาด (tear resistance) ตามมาตรฐาน ISO 1974:1990 (ดูภาคผนวก ค)

5.2.3 ความต้านแรงดันทะลุ (bursting resistance) ตามมาตรฐาน ISO 2758:2001
(ดูภาคผนวก ก)

5.2.4 ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (water resistance) ตามมาตรฐาน มอก.321:2522
(ดูภาคผนวก ก)

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสภาวะด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS version 12 เพื่อคัดเลือกรูปแบบการเติมแต่งที่ให้สมบัติต่าง ๆ ดีที่สุด

6. การเตรียมบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน

เยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันถูกนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปและปรับปรุงสมบัติบรรจุภัณฑ์ด้วยสารเติมแต่งชนิดแคตไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลลิทีนไคเมอรั โดย มีขั้นตอนดังนี้

6.1 หาความชื้นของเยื่อและชั่งเยื่อให้มีปริมาณ 30 กรัมของน้ำหนักเยื่อแห้งสำหรับการขึ้นรูปต่อหนึ่งชิ้นบรรจุภัณฑ์

6.2 นำเยื่อมาปั่นกวนเพื่อกระจายเยื่อ จากนั้นผสมสารละลายแคตไอออนิกสตาร์ช (วิธีการเตรียมดังข้อ 4.2) และแอลคิลลิทีนไคเมอรัลงในน้ำเยื่อและปั่นกวนเยื่อต่อเพื่อให้สารเติมแต่งและน้ำเยื่อเข้ากันดี

6.3 ขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป โดยนำตะแกรงขนาด 150 mesh ที่ถูกกดให้มีรูปร่างตามแม่พิมพ์มาซ้อนเยื่อในน้ำเยื่อจากนั้นปิดทับด้วยตะแกรงขนาด 150 mesh อีกอัน เพื่อป้องกันเยื่อติดแม่พิมพ์ นำตะแกรงที่ซ้อนเยื่อแล้วไปวางบนแม่พิมพ์เรซินตัวเมียและกดทับด้วยแม่พิมพ์ตัวผู้ จากนั้นนำไปกดอัดด้วยเครื่องกดอัดแบบไฮดรอลิกส์ ด้วยความดัน 2.5 บาร์ เป็นเวลา 3 นาที

6.4 นำบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตได้มาอบแห้งด้วยเครื่องอุโมงค์ความร้อนที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

6.5 นำบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ได้ ไปกดอัดด้วยเครื่องกดอัดแบบไฮดรอลิกส์อีกครั้ง ที่ความดัน 1 บาร์ เป็นเวลา 1 นาทีเพื่อให้พื้นผิวของเยื่อกระดาษขึ้นรูปเรียบและรูปทรงไม่โค้งงอ

6.6 ทดสอบสมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป โดยเปรียบเทียบระหว่างบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน เยื่อกระดาษขึ้นรูปในท้องตลาด และถาดผลไม้ที่ทำจากโฟม โดยก่อนการทดสอบบรรจุภัณฑ์จะถูกนำไปเก็บที่ สภาวะมาตรฐาน (27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65) และสภาวะห้องเย็น (12 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ± 5) (Canwell, 2001) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สมบัติที่ทดสอบได้แก่

6.6.1 ความหนา (thickness)

6.6.2 น้ำหนัก (weight)

6.6.3 ความต้านทานแรงกด (compression strength) ตามมาตรฐาน ดัดแปลงจาก ASTM D642 ทดสอบที่ความเร็ว 30 มิลลิเมตรต่อนาที และวัดแรงกดที่การเสียรูป 15 มิลลิเมตร โดยรายละเอียดวิธีการทดสอบแสดงดังภาคผนวก ก

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสภาวะด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS version 12

7. การทดสอบบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปในสภาวะการนำไปใช้งาน

การทดสอบบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันเพื่อเปรียบเทียบกับเยื่อกระดาษขึ้นรูปในท้องตลาดและถาดผลไม้ที่ทำจากโฟม โดยใช้แอปเปิ้ลเขียวเป็นผลไม้สำหรับการทดสอบ และทดสอบการสั่นสะเทือน (vibration test) โดยมีขั้นตอนดังนี้

7.1 นำแอปเปิ้ลเขียวมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนทำการทดสอบ

7.2 ก่อนทดสอบ ตรวจจำนวนรอยชำรุดของแอปเปิ้ลเขียวและทำสัญลักษณ์แสดงรอยชำรุดไว้ก่อนทดสอบ โดยรอยชำรุดต้องมีขนาดมากกว่า 6.4 มิลลิเมตร (Singh and Xu, 1993)

7.3 บรรจุแอปเปิ้ลเขียวลงในบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการทดสอบและบรรจุลงในกล่องถูกฟู ขนาด $23 \times 24.5 \times 25$ เซนติเมตร ลอน B อีกครั้ง บรรจุโดยเรียงซ้อนกัน 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นบรรจุแอปเปิ้ลเขียวจำนวน 5 ผล เมื่อบรรจุแอปเปิ้ลเขียวแล้วปิดฝากล่องให้แน่นและนำไปวางบนโต๊ะจำลองการสั่นสะเทือน

7.4 ทดสอบการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ASTM 4169 โดยทดสอบการสั่นสะเทือนแบบสุ่ม ค่าความถี่ของการสั่นสะเทือนอยู่ในช่วง 0 ถึง 200 เฮิรตซ์ และทำการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 60 นาที

7.5 วัดค่าความเสียหายของแอปเปิ้ลเขียว (ดูภาคผนวก ก) ดังนี้

7.5.1 จำนวนผลแอปเปิ้ลเขียวที่พบการชำ (percent bruise apples)

7.5.2 ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอยชำของผลแอปเปิ้ลเขียวต่อผล (average number of bruises per apple)

7.5.3 ค่าเฉลี่ยของพื้นที่รอยชำของผลแอปเปิ้ลต่อผล (average bruise area per fruit)

รายละเอียดการคำนวณความเสียหายของแอปเปิ้ลแสดงดังภาคผนวก ก จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสภาวะด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS version 12

8. สถานที่ทำการทดลอง

8.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

8.2 ห้องปฏิบัติการโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม หน่วยงานเชื้อและกระดาษ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรุงเทพฯ

9. ระยะเวลาทำการวิจัย

การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2550 และสิ้นสุดเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2551

ผลและวิจารณ์

1. ศึกษาสภาวะการต้มเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมัน

1.1 สมบัติต่าง ๆ ของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมัน

1.1.1 ผลผลิตเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ได้หลังจากการต้มและผ่านการคัดขนาด (screen yield)

คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของเยื่อหลังจากการต้มและผ่านการคัดขนาดต่อน้ำหนักของไม้ที่ต้มทั้งหมด ตารางที่ 8 แสดงผลผลิตเยื่อที่ได้จากทางใบปาล์มน้ำมันที่ต้มในสภาวะต่าง ๆ โดยพบว่า เมื่อปริมาณแอกติฟแอลคาไลเพิ่มขึ้นผลผลิตเยื่อที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณแอกติฟแอลคาไลที่แสดงถึงปริมาณสารเคมีที่เข้าทำปฏิกิริยากับทางใบปาล์มน้ำมัน สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับทางใบปาล์มน้ำมันมากขึ้น ส่งผลให้เกิดกระบวนการกำจัดลิกนิน (delignification process) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่เชื่อมแต่ละเซลล์เส้นใยไว้ (Bierman, 1996) เป็นผลให้แต่ละเซลล์เส้นใยแยกออกจากกันและมีผลผลิตเยื่อสูงขึ้น และพบว่าเมื่อผลผลิตเยื่อลดลงเมื่อปริมาณแอกติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 17 เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่เข้าทำปฏิกิริยากับทางใบปาล์มน้ำมันมากเกินไป เป็นผลให้เกิดกระบวนการฟูลลิ่ง (peeling reaction หรือ carbohydrate degradation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่นอกจากทำปฏิกิริยากับลิกนินแล้วยังเกิดปฏิกิริยากับเซลลูโลสอีกด้วย ซึ่งเกิดในกรณีที่ไฮดรอกไซด์ไอออนมากเกินไปหรือปฏิกิริยาถูกเร่งด้วยความร้อน (Johansson, 2008) โดยการเกิดกระบวนการฟูลลิ่งนั้น โมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสในสายโซ่เซลลูโลสจะถูกตัดออกไปโดยพบว่าหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) จะเปลี่ยนไปเป็นหมู่แอลกอฮอล์ (alcohol) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมู่แอลดีไฮด์เปลี่ยนเป็นหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) ปฏิกิริยาที่จะหยุดลง (stop reaction) โดยกระบวนการฟูลลิ่งเป็นผลให้สายโซ่เซลลูโลสสั้นลง ดังนั้นผลผลิตเยื่อจึงลดลง (วิทยาและคณะ, 2549; Green *et al.*, 1977; Li *et al.*, 2000)

1.1.2 ค่าแคปปาและปริมาณลิกนิน

ค่าแคปปา คือ จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ไปต่อเยื่อ 1 กรัม (คิดจากน้ำหนักแห้ง) (พัชรียา, 2550) ใช้ในการประเมินปริมาณลิกนินที่อยู่ในเยื่อหลังผ่านกระบวนการต้มเยื่อ โดยปริมาณลิกนินมีค่าเท่ากับผลคูณของค่าแคปปากับ 0.13 (Biermann, 1996) โดยตารางที่ 7 แสดงค่าแคปปาของเยื่อ พบว่าเยื่อที่ต้มในสถานะแอคทีฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 15, 16 และ 17 จะให้ค่าแคปปาเท่ากับ 88.63, 81.72 และ 69.51 ตามลำดับ หรือปริมาณลิกนินลดลงเท่ากับ 13.29, 12.25 และ 10.42 ตามลำดับ เนื่องจากแอคทีฟแอลคาไลแสดงถึงปริมาณของสารเคมีที่เข้าทำปฏิกิริยากับทางไบปาล์มน้ำมันในระหว่างกระบวนการต้มเยื่อ ดังนั้นเมื่อแอคทีฟแอลคาไลสูงขึ้น สารเคมีจึงสามารถแพร่กระจายเข้าไปในทางไบปาล์มน้ำมันมากและสามารถละลายลิกนินในทางไบปาล์มน้ำมันออกมาได้มากขึ้นหรือเกิดกระบวนการกำจัดลิกนิน (delignification process) สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณลิกนินมีค่าลดลง

1.1.3 ค่าการอนน้ำของเยื่อ

ค่าการอนน้ำของเยื่อ คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถในการให้น้ำไหลผ่านเยื่อไปได้ช้าหรือเร็วเพียงใด ซึ่งเป็นสมบัติที่จำเป็นต่อการเกิดเป็นแผ่นกระดาษเปียกบนตะแกรงลวดเดินแผ่น (ณรงค์, 2537) จากตารางที่ 7 แสดงค่าดัชนีการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อ พบว่ามีค่าเท่ากับ 495, 467.5 และ 450 มิลลิลิตร เมื่อปริมาณแอคทีฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 15, 16 และ 17 ตามลำดับ โดยทดสอบที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณแอคทีฟแอลคาไลมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อมีค่าลดลง เนื่องจากการที่ลิกนินถูกกำจัดออกไปนั้นทำให้เส้นใยเกิดการสานตัวกันได้ดีขึ้น การไหลผ่านของน้ำจึงเป็นไปอย่างช้า ๆ ทำให้น้ำที่ไหลออกมาทางช่องเปิดด้านข้าง (side orifice) มีปริมาณน้อย (Biermann, 1996) ค่าการอนน้ำของเยื่อจึงมีค่าลดลง ในทางกลับกันเยื่อที่ต้มด้วยปริมาณแอคทีฟแอลคาไลต่ำ ลิกนินยังหลงเหลืออยู่ในเซลล์เส้นใย เป็นผลให้เส้นใยสานตัวกันได้ไม่ดี การไหลผ่านของน้ำจึงไหลอย่างรวดเร็วและเกิดการเอ่อล้นออกมาทางช่องเปิดด้านข้างในปริมาณมาก ค่าการอนน้ำของเยื่อจึงมีค่าสูง

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์สมบัติของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ได้จากกระบวนการต้มเยื่อด้วยวิธีซัลเฟต

	แอคติฟแอลคาไล (ร้อยละ)		
	15	16	17
ปริมาณเยื่อที่ได้หลังจากการต้มและผ่านการคัดขนาด (ร้อยละ)	24.16	29.19	27.27
ค่าแคลปา	88.63	81.72	69.51
ปริมาณลิกนิน	13.29	12.25	10.42
ค่าการร่อนน้ำของเยื่อ (ml)	495.00	467.50	450.00

1.2 สมบัติเชิงกลของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อทางใบปาล์มน้ำมัน

1.2.1 ความต้านทานแรงดึงขาด

ค่าความต้านทานแรงดึงขาด หมายถึง ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดที่กระดาษจะทนได้ก่อนขาดออกจากกัน โดยค่าที่วัดได้จะเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความทนทานและศักยภาพในการใช้งานของกระดาษซึ่งต้องรับแรงขณะใช้งาน (รุ่งอรุณ, 2545) ดังนั้นกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยที่มีความแข็งแรงหรือประสานตัวกันได้ดีย่อมมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูง (Bublitz, 1980) โดยตารางที่ 8 แสดงค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมจากเยื่อที่ต้มด้วยสภาวะแอคติฟแอลคาไลที่แตกต่างกัน พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่เข้าทำปฏิกิริยากับทางใบปาล์มน้ำมันไม่ได้เข้าไปทำลายโครงสร้างของสายโซ่เซลลูโลสมากเพียงพอที่จะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยเปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของเส้นใยจึงไม่แตกต่างกันเมื่อแอคติฟแอลคาไลเปลี่ยนแปลง

1.2.2 ความต้านทานแรงฉีกขาด

ความต้านทานแรงฉีกขาด หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่ต้านแรงกระทำซึ่งจะทำให้ชิ้นทดสอบหนึ่งชิ้นขาดออกจากรอยฉีกนำเดิม (รุ่งอรุณ, 2545) โดยค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดขึ้นกับค่าความยาวของเส้นใย ซึ่งเส้นใยที่มีความยาวเส้นใยมากจะมีค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดสูง (Bublitz, 1980) โดยตารางที่ 8 แสดงค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของ

กระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน ที่ผลิตจากเยื่อที่ต้มในสภาวะของแอสฟัลต์แอลคาไลที่แตกต่างกัน พบว่าค่าแอสฟัลต์แอลคาไลที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่เข้าทำปฏิกิริยากับทางใบปาล์มน้ำมัน ไม่ได้เข้าไปทำลายโครงสร้างเซลลูโลส

1.2.3 ความต้านทานแรงดันทะลุ

ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะทนแรงดันได้สูงสุด เมื่อได้รับแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากต่อผิวหน้ากระดาษ (รุ่งอรุณ, 2545) ซึ่งค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุเป็นสมบัติเชิงกลที่ขึ้นกับการความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใย (Bublitz, 1980) โดยค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษจากเยื่อทางปาล์มน้ำมันที่เตรียมจากสภาวะของแอสฟัลต์แอลคาไลต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 8 พบว่าค่าแอสฟัลต์แอลคาไลที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อ ไม่ได้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของเส้นใย ดังนั้นค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุที่ได้จึงมีค่าไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 8 สมบัติเชิงกลของเยื่อที่ได้จากกระบวนการต้มเยื่อด้วยวิธีซัลเฟต

	แอสฟัลต์แอลคาไล (ร้อยละ)		
	15	16	17
น้ำหนักมาตรฐาน (g/m^2)	$66.65^a \pm 2.23$	$64.30^b \pm 1.42$	$62.88^b \pm 2.22$
ความหนา (mm)	$0.1048^a \pm 0.01$	$0.0975^b \pm 0.01$	$0.1003^{ab} \pm 0.01$
ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)	636.21	659.49	626.77
ดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด (N.m/g)	$62.9280^a \pm 5.24$	$63.044^a \pm 6.17$	$59.2476^a \pm 7.35$
ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด ($\text{mN.m}^2/\text{g}$)	$10.0087^a \pm 1.31$	$10.4355^a \pm 1.02$	$11.5788^a \pm 1.57$
ดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ ($\text{kPa.m}^2/\text{g}$)	$3.2408^a \pm 0.23$	$3.2415^a \pm 0.12$	$3.2572^a \pm 0.03$

หมายเหตุ ^{ab} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากสมบัติของเยื่อและสมบัติเชิงกลของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน ที่เตรียมจากเยื่อที่ต้มด้วยวิธีซัลเฟตที่สภาวะแตกต่างกัน โดยพิจารณาจากปริมาณแอสกีฟแอลคาไลที่ร้อยละ 15, 16 และ 17 ตามลำดับ พบว่าระดับของแอสกีฟแอลคาไลที่แตกต่างกันไม่ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นการเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเยื่อเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจึงได้พิจารณาจากผลผลิตเยื่อที่ได้หลังจากการต้มและผ่านการคัดขนาด โดยจากผลการทดสอบพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ปริมาณแอสกีฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 16 นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาสมบัติทางกายวิภาคของเยื่อที่ผลิตจากสภาวะดังกล่าว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.3 สมบัติทางกายวิภาคของเยื่อ

เยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้จากกระบวนการซัลเฟตถูกนำมาทดสอบสมบัติทางกายวิภาคของเยื่อและเปรียบเทียบกับสมบัติทางกายวิภาคของทะเลาะปาล์มน้ำมันเปล่าและลำต้นปาล์มน้ำมัน แสดงดังตารางที่ 9 พบว่า เยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันมีความยาวของเส้นใยมากกว่าเยื่อจากทะเลาะปาล์มน้ำมันเปล่าและลำต้นปาล์มน้ำมัน แต่มีความกว้างน้อยกว่าเยื่อจากทะเลาะปาล์มน้ำมันเปล่าและลำต้น โดยค่าทั้งสองนี้จะส่งผลต่อค่าสัดส่วนความชะลูด ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวและความกว้างของเยื่อ พบว่าเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมันมีค่าสัดส่วนความชะลูดเท่ากับ 76.92 ซึ่งมีค่าสูงกว่าทะเลาะปาล์มน้ำมันเปล่าและลำต้นปาล์มน้ำมันที่มีค่าสัดส่วนความชะลูดสูงเท่ากับ 30.30 และ 32.50 ตามลำดับ โดยค่าสัดส่วนความชะลูดที่สูงจะมีผลให้กระดาษที่ผลิตได้มีสมบัติความต้านทานแรงฉีกขาดสูง (Bublitz, 1980)

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนรังเคิล ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง 2 เท่าของความหนาผนังเซลล์ต่อลูเมน พบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันมีค่าเท่ากับ 0.63 ซึ่งมากกว่าทะเลาะปาล์มน้ำมันเปล่าและลำต้น ซึ่งมีค่าสัดส่วนรังเคิล เท่ากับ 0.32 และ 0.48 ตามลำดับ ซึ่งหากสัดส่วนรังเคิลมีค่าสูงจะแสดงถึงความฟาม (bulk) ของเส้นใยที่สูง ส่งผลต่อการประสานตัวของเส้นใยในการผลิตกระดาษได้ไม่ดี นอกจากนี้จากการหาค่าความอ่อนตัวของเส้นใย (flexibility coefficient) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างลูเมนต่อความกว้างเส้นใยพบว่า ทางใบปาล์มน้ำมันยังมีค่าความอ่อนตัวของเส้นใยต่ำกว่าทะเลาะปาล์มน้ำมันเปล่าและลำต้นปาล์มน้ำมัน โดยค่าความอ่อนตัวของเส้นใยเป็นสมบัติที่มีผลต่อความสามารถในการรับและกระจายแรงของเส้นใยเมื่อได้รับแรงกระทำหรือสมบัติเชิงกลต่าง ๆ อาทิเช่น ความต้านทานแรงดึงขาด และความต้านทานแรงดันทะลุ

ตารางที่ 9 สมบัติทางกายวิภาคของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมัน

สมบัติทางกายวิภาคของเยื่อ	ปาล์มน้ำมัน		
	ทางใบ	ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า*	ลำต้น*
ความยาว (mm)	1.80	0.82	0.96
ความกว้าง (mm)	23.40	27.00	29.60
ลูเมน (μm)	14.40	20.50	20.00
ความหนาผนังเซลล์ (μm)	4.50	3.28	4.80
สัดส่วนรังเคล	0.63	0.32	0.48
ความอ่อนตัว	0.62	0.76	0.68
สัดส่วนความชะลุด	76.92	30.30	32.50

ที่มา: * Khoo and Lee (1991)

2. ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยสารเติมแต่ง

2.1 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคตไอออนิกสตาร์ช

ในขั้นตอนนี้เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคตไอออนิกสตาร์ช โดยปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชที่เติมลงในเยื่อ ได้แก่ ร้อยละ 0.0, 0.5, 1.0 และ 1.5 ตามลำดับ ทดสอบสมบัติเชิงกลหลังการเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น ได้ผลการทดสอบดังนี้

2.1.1 สมบัติเชิงกลของกระดาษที่เติมสารเติมแต่งชนิดแคตไอออนิกสตาร์ชและเก็บไว้ในสภาวะทดสอบมาตรฐาน

ก. ความต้านทานแรงดึงขาด

ตารางที่ 10 แสดงค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมสารเติมแต่งชนิดแคตไอออนิกสตาร์ชเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ พบว่า การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษมีค่า

สูงขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากสมการความสัมพันธ์ของ Page (Page's equation) (Au and Thorn, 1995) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงขาดของ กระดาษที่แปรผันตรงกับความแข็งแรงของเส้นใยและพันธะระหว่างเส้นใยดังนี้

$$\frac{1}{T} \propto \frac{1}{B} + \frac{1}{F} \quad (1)$$

เมื่อ T = ความต้านทานแรงดึงขาด

B = ความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใย (bonding strength)

F = ความแข็งแรงของเส้นใย (fiber strength)

ความสัมพันธ์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใยย่อมส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษมากขึ้น เนื่องจากแคตไอออนิกสตาบิลิซเซอร์สามารถเพิ่มความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใยได้ โดยประจุบวกของสตาบิลิซเซอร์สามารถถูกดูดซับบนผิวเส้นใยและสร้างพันธะระหว่างเส้นใยที่แข็งแรงมากขึ้น (Robert, 1991a) นอกจากนี้พบว่า เมื่อปริมาณแคตไอออนิกสตาบิลิซเซอร์เพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการเติมสารเติมแต่งชนิดแคตไอออนิกสตาบิลิซเซอร์ในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้พันธะระหว่างเส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น เส้นใยสามารถยึดเกาะกันได้ดีขึ้น ดังนั้นเมื่อกระดาษจึงสามารถรับแรงดึงและถ่ายเทแรงได้ดีขึ้น ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดจึงมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับธีระชัย (2542) และ Lim *et al.* (1992) ซึ่งรายงานว่ เมื่อปริมาณแคตไอออนิกสตาบิลิซเซอร์เพิ่มขึ้นที่ปริมาณร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดมีค่าลดลง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากปริมาณแคตไอออนิกสตาบิลิซเซอร์ที่มากเกินไป จะส่งผลเสียต่อการกระจายตัวของแคตไอออนิกสตาบิลิซเซอร์ในกระดาษ เกิดการเกาะตัวกันเป็นก้อน ดังนั้นจึงสามารถรับและส่งผ่านแรงได้ไม่ดี ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดจึงมีค่าลดลง

ข. ความต้านทานแรงฉีกขาด

ตารางที่ 10 แสดงค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ เมื่อมีการเติมแคตไอออนิกสตาบิลิซเซอร์ พบว่า ปริมาณแคตไอออนิกสตาบิลิซเซอร์ที่แตกต่างกันไม่ทำให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ปรากฏการณ์ดังกล่าวอธิบายได้ว่า ค่าดัชนีความ

ด้านทานแรงฉีกขาดเป็นสมบัติเชิงกลที่ขึ้นอยู่กับสมบัติกายวิภาคของเส้นใย โดยเส้นใยที่มีความยาวเส้นใยมากหรือสัดส่วนความชะงืดมากจะสามารถต้านทานแรงฉีกขาดได้ดี

ค. ความต้านทานแรงดันทะลุ

จากตารางที่ 10 เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชเปรียบเทียบกับกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันเมื่อมีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชพบว่า ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านทานมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุเมื่อปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชเท่ากับร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนั้นอธิบายได้ว่าการเติมสตาร์ชที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของสตาร์ชไม่ดี เกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น ดังนั้นเมื่อได้รับแรงที่กระทำต่อผิวหน้ากระดาษในทิศทางตั้งฉาก จึงสามารถรับแรงได้น้อยลง ดังนั้นค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุจึงมีแนวโน้มที่ลดลง

ง. ความต้านทานการดูดซึมน้ำ

ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำ เป็นการวัดระยะเวลาที่กระดาษใช้เวลาในการดูดซึมน้ำ 1 หยดจนหมด (รุ่งอรุณ, 2545) โดยค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชแสดงดังตารางที่ 10 พบว่าการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชลงในกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันส่งผลให้ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษเพิ่มมากขึ้น หรือต้องใช้ระยะเวลานานขึ้นสำหรับการซึมหายไปของหยดน้ำบนกระดาษ ซึ่งที่ปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชเท่ากับร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำมีค่าสูงสุดเนื่องจากปริมาณสตาร์ชที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เส้นใยสามารถประสานตัวกันได้ดี รวมถึงแคตไอออนิกสตาร์ชที่เติมลงไปยังส่งผลให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลง ดังนั้นค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำจึงมีค่าสูงขึ้น (Bramel, 1986; Smook, 1992) อย่างไรก็ตามพบว่า ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำมีค่าลดลงเมื่อปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชเท่ากับร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง อาจเนื่องมาจากการกระจายตัวที่ไม่ดีของแคตไอออนิกสตาร์ชเมื่อมีปริมาณที่มากเกินไป ดังนั้นเส้นใยจึงอาจประสานตัวกันได้ไม่ดี และยังมีช่องว่างระหว่างเส้นใย เป็นผลให้ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง

ตารางที่ 10 สมบัติเชิงกลของกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและ
และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐาน

	ปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละของน้ำหนักเชื้อแห้ง)			
	0.0	0.5	1.0	1.5
น้ำหนักมาตรฐาน (g/m^2)	61.96 ^{ab} ±0.32	62.10 ^{ab} ±1.03	63.19 ^a ±1.12	60.88 ^b ±1.82
ความหนา (mm)	0.09 ^b ±0.00	0.09 ^b ±0.00	0.10 ^a ±0.00	0.10 ^a ±0.00
ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)	648.09	652.61	634.49	620.97
ดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด (N.m/g)	51.59 ^b ±2.77	54.39 ^{ab} ±3.93	56.93 ^a ±5.13	48.67 ^b ±7.04
ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด (mN.m ² /g)	11.27 ^a ±0.71	11.18 ^a ±1.48	11.12 ^a ±1.38	12.31 ^a ±2.15
ดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ (kPa.m ² /g)	3.82 ^a ±0.22	3.60 ^a ±0.49	3.76 ^a ±0.31	3.49 ^a ±0.40
ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (sec)	40.29 ^d ±6.70	75.71 ^c ±16.46	206.61 ^a ±19.01	130.89 ^b ±34.36

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

2.1.2 สมบัติเชิงกลของเยื่อที่เติมสารเติมแต่งชนิดแคตไอออนิกสตาร์ชในสภาวะห้องเย็น

ก. ความต้านทานแรงดึงขาด

ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาศที่เก็บไว้ในสภาวะห้องเย็นแสดงดังตารางที่ 11 พบว่าการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชไม่ส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ภาพที่ 11 เปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาศที่เก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานเปรียบเทียบกับสภาวะห้องเย็น พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดที่ปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชเท่ากัน กระดาศที่เก็บไว้ในสภาวะห้องเย็นมีค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดต่ำกว่ากระดาศที่เก็บไว้ในสภาวะมาตรฐาน อาจมาจากสาเหตุว่าโมเลกุลของน้ำ

ที่แทรกตัวระหว่างเส้นใยในสถานะที่ปริมาณความชื้นเพิ่มสูง ส่งผลให้การยึดเกาะกันของเส้นใยลดลง ดังนั้นค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดจึงมีค่าลดลง (สมหวัง, 2551)

ข. ความต้านทานแรงฉีกขาด

ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ เมื่อมีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและเก็บไว้ในสถานะห้องเย็น แสดงดังตารางที่ 11 พบว่าค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากความต้านทานแรงฉีกขาดเป็นสมบัติเชิงกลที่ขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใย ดังนั้นการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชจึงไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด และเมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดที่เก็บไว้ในสถานะมาตรฐานและสถานะห้องเย็นที่ปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชเท่ากันดังแสดงในภาพที่ 12 พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน

ค. ความต้านทานแรงด้นทะลุ

ตารางที่ 11 แสดงค่าดัชนีความต้านทานแรงด้นทะลุของกระดาษ เมื่อมีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช พบว่า ค่าดัชนีความต้านทานแรงด้นทะลุมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านทานแรงด้นทะลุของกระดาษที่เก็บไว้ในสถานะทดสอบมาตรฐานและสถานะห้องเย็นที่ปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชเท่ากันดังภาพที่ 13 พบว่า ค่าดัชนีความต้านทานแรงด้นทะลุของกระดาษที่เก็บไว้ในสถานะห้องเย็นมีค่าต่ำกว่ากระดาษที่เก็บไว้ในสถานะมาตรฐาน เนื่องจากค่าดัชนีความต้านทานแรงด้นทะลุเป็นสมบัติที่ขึ้นกับความแข็งแรงของเส้นใยและพันธะระหว่างเส้นใย ดังนั้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้น โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกตัวเข้าระหว่างเส้นใย เป็นผลให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใยลดลง ดังนั้นค่าดัชนีความต้านทานของกระดาษที่เก็บไว้ในสถานะห้องเย็นจึงมีค่าต่ำกว่าสถานะมาตรฐาน

ง. ความต้านทานการดูดซึมน้ำ

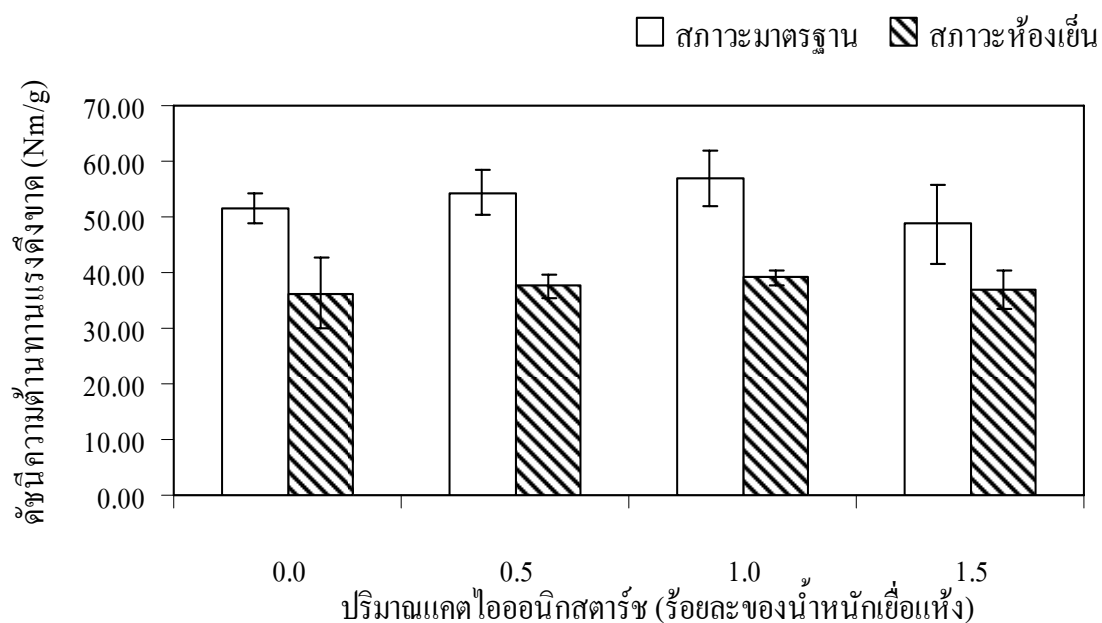
ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษที่เก็บไว้ในสถานะทดสอบห้องเย็น แสดงดังตารางที่ 11 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชเท่ากับร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เนื่องจากปริมาณสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เส้นใยสามารถยึดเกาะกันได้ดีและสามารถลดช่องว่างระหว่างเส้นใยได้ ดังนั้นค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำจึงมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำ

ของกระดาศที่เก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็นและมีปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชเท่ากัน (ภาพที่ 14) พบว่า กระดาศในสภาวะห้องเย็นมีค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำสูงกว่าที่สภาวะมาตรฐาน เนื่องจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เส้นใยพองตัวจากการดูดซับ โมเลกุลของน้ำที่บริเวณผนังเซลล์ของเส้นใย (วิรัช, 2533) เป็นผลให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลง ดังนั้นความต้านทานการดูดซึมน้ำจึงมีค่าสูงขึ้น

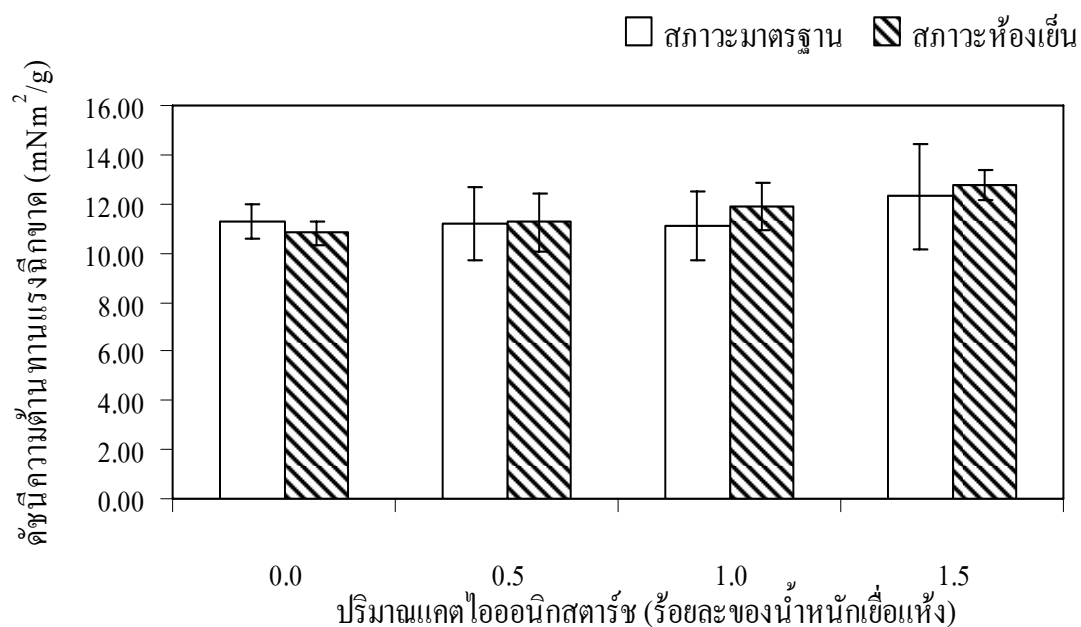
ตารางที่ 11 สมบัติเชิงกลของกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและเก็บไว้ในสภาวะห้องเย็น

	ปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละของน้ำหนักเนื้อแห้ง)			
	0.0	0.5	1.0	1.5
น้ำหนักมาตรฐาน (g/m^2)	65.83 ^{ab} ±1.39	65.91 ^{ab} ±2.62	67.10 ^a ±2.77	63.80 ^b ±1.82
ความหนา (mm)	0.09 ^b ±0.00	0.09 ^b ±0.00	0.10 ^a ±0.00	0.10 ^a ±0.00
ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)	665.93	685.47	675.89	614.14
ดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด (N.m/g)	36.27 ^a ±6.24	37.52 ^a ±2.14	39.17 ^a ±1.34	37.05 ^a ±3.41
ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด (mN.m ² /g)	10.82 ^a ±0.46	11.25 ^a ±1.17	11.90 ^a ±0.99	12.79 ^a ±0.63
ดัชนีความต้านทานแรงคั้นทะลุ (kPa.m ² /g)	2.99 ^a ±0.25	3.04 ^a ±0.53	3.49 ^a ±0.37	3.24 ^a ±0.11
ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (sec)	59.32 ^c ±28.48	117.39 ^{bc} ±62.60	326.41 ^a ±66.58	182.75 ^b ±68.77

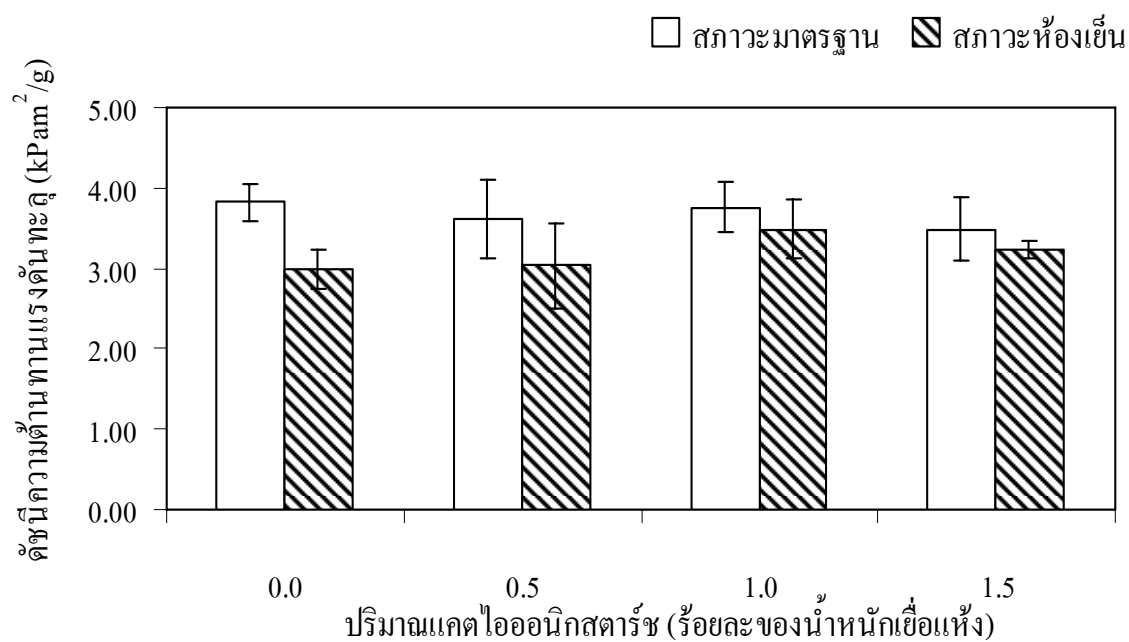
หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



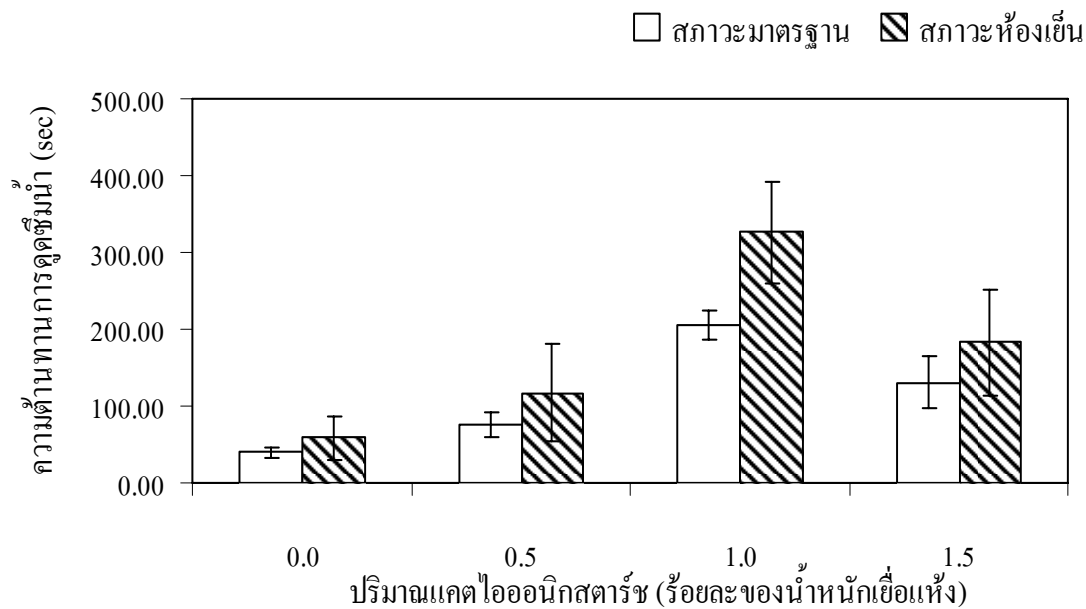
ภาพที่ 11 เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น



ภาพที่ 12 เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงดันของกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น



ภาพที่ 14 เปรียบเทียบความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลทั้งหมด แสดงว่าปริมาณแคตไอออนิกสตาบิลที่ที่เหมาะสม สำหรับการเติมลงในกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดในช่วงร้อยละ 1.0 ถึง 1.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

2.2 การปรับปรุงสมบัติกระดาษด้วยสารกันซึมชนิดแอลคิลคีตินไคเมอร์

2.2.1 ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษ ที่เก็บไว้ในสภาวะมาตรฐาน

ตารางที่ 12 แสดงค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษเมื่อเติมแอลคิลคีตินไคเมอร์ พบว่าค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำเมื่อเติมแอลคิลคีตินไคเมอร์ในปริมาณร้อยละ 0.1 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกระดาษที่ไม่ได้เติมแอลคิลคีตินไคเมอร์ ($p > 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอลคิลคีตินไคเมอร์เป็นร้อยละ 0.4 และ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง พบว่า ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นและแตกต่างกันทางสถิติกับกระดาษที่ไม่ได้เติมแอลคิลคีตินไคเมอร์ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากอนุภาคของแอลคิลคีตินไคเมอร์เข้ายึดจับกับผิวหน้าของเส้นใยโดยหันปลายที่มีขั้วเข้ายึดเส้นใยและหันปลายที่ไม่มีขั้วออกและเคลือบผิวเส้นใย ดังนั้นจึงเป็นการลดการซึมผ่านของโมเลกุลน้ำเข้าสู่ผิวหน้ากระดาษได้เป็นอย่างดี เป็นผลให้ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น (Robert, 1991b) โดยปริมาณการเติมแอลคิลคีตินไคเมอร์ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ให้ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำสูงที่สุด

2.2.2 ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษ ที่เก็บไว้ในสภาวะห้องเย็น

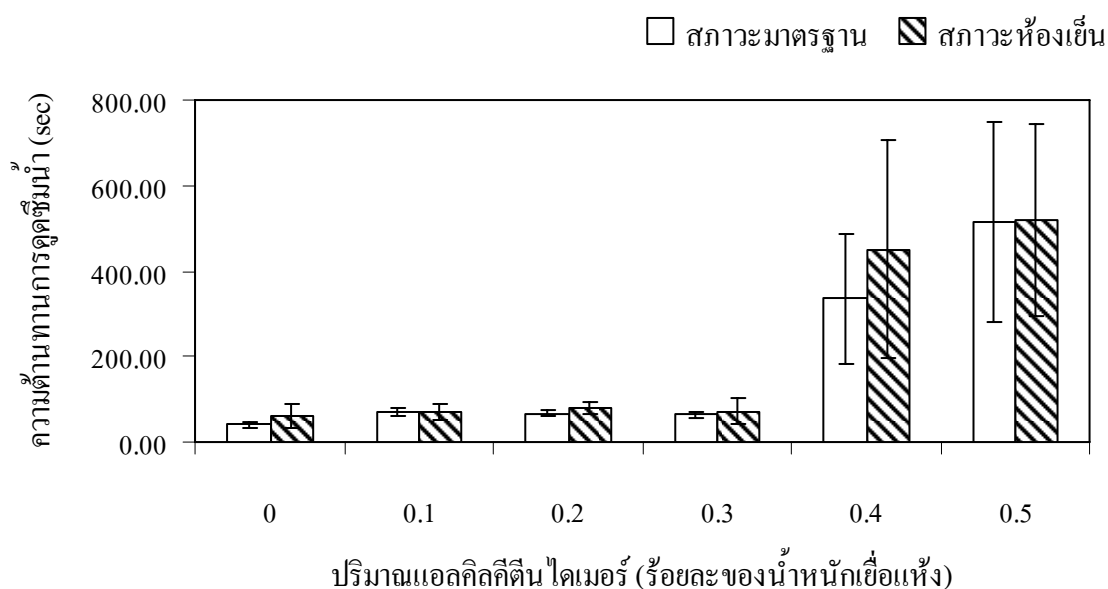
ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษที่เก็บไว้ในสภาวะห้องเย็น แสดงดังตารางที่ 12 พบว่าการเติมแอลคิลคีตินไคเมอร์ในปริมาณร้อยละ 0.4 และ 0.5 ให้ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่มีการเติมแอลคิลคีตินไคเมอร์

เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษที่เก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น แสดงดังภาพที่ 15 พบว่า ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของทั้งสองสภาวะมีค่าไม่แตกต่างกันนัก เนื่องจากแอลคิลคีตินไคเมอร์ที่เติมลงไปทำหน้าที่เคลือบผิวของเส้นใยไว้ ส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำเข้าไปที่ผิวเส้นใยน้อยลง ดังนั้นค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำจึงมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 12 ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติม
แอลคิลคีติน ไคเมอร์ และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น

สารกันซึมชนิดแอลคิลคีติน ไคเมอร์ (ร้อยละต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง)	ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (sec)	
	สภาวะมาตรฐาน	สภาวะห้องเย็น
0.0	40.29 ^c ±6.70	59.32 ^b ±28.48
0.1	71.71 ^c ±9.44	70.28 ^b ±18.89
0.2	66.59 ^c ±7.63	78.61 ^b ±14.96
0.3	63.90 ^c ±5.67	71.57 ^b ±30.42
0.4	335.40 ^b ±150.79	450.37 ^a ±256.10
0.5	514.03 ^a ±234.89	520.70 ^a ±224.61

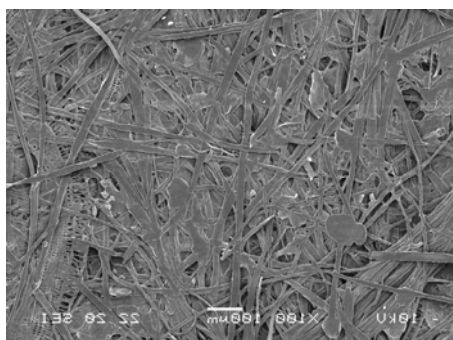
หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวดิ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
($p \leq 0.05$)



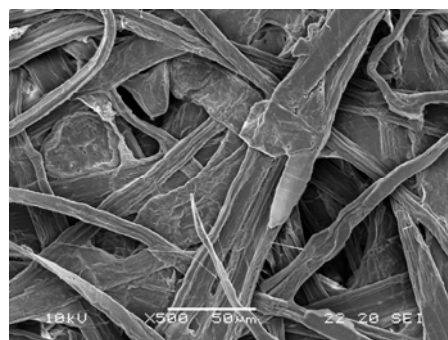
ภาพที่ 15 เปรียบเทียบความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติม
แอลคิลคีติน ไคเมอร์ และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น

2.3 ลักษณะผิวหน้าของกระดาษทางใบปาล์มน้ำมันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากการศึกษาลักษณะผิวหน้าของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง เปรียบเทียบกับกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เติมแคตไอออนิกสตาร์ช และ แอลคิลคีตินไคเมอร์ (ภาพที่ 16 - 18) พบว่า ผิวหน้าของกระดาษที่เติมสารเติมแต่งมีผิวหน้ากระดาษที่เรียบขึ้น ช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง เนื่องจากแคตไอออนิกสตาร์ชที่เติมลงไปทำหน้าที่ยึดเกาะบนผิวของเส้นใย ส่งผลให้เส้นใยยึดเกาะกันได้ดี ช่องว่างระหว่างเส้นใยจึงลดลง ในขณะที่แอลคิลคีตินไคเมอร์ที่เติมลงไปยังคงเคลือบอยู่บริเวณผิวหน้าของกระดาษ ดังนั้นการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลคีตินไคเมอร์จึงเป็นผลให้ผิวหน้ากระดาษมีความเรียบขึ้นและช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลง เป็นผลให้กระดาษที่เติมสารเติมแต่งทั้งสองชนิดมีสมบัติเชิงกลและสมบัติความต้านทานการดูดซึมน้ำดีกว่ากระดาษที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง

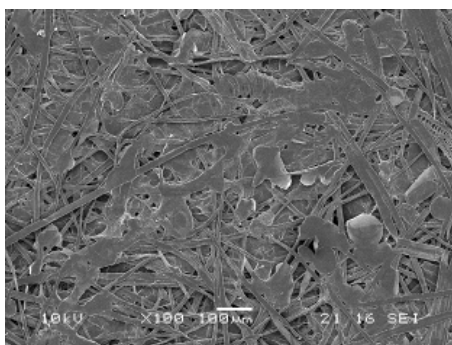


(ก)

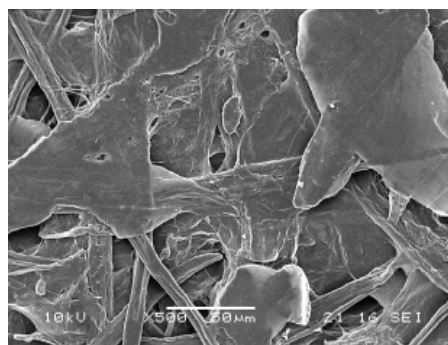


(ข)

ภาพที่ 16 ลักษณะผิวหน้าของผิวหน้ากระดาษทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่เติมสารเติมแต่ง จาก SEM
(ก) กำลังขยาย 100 เท่า (ข) กำลังขยาย 500 เท่า

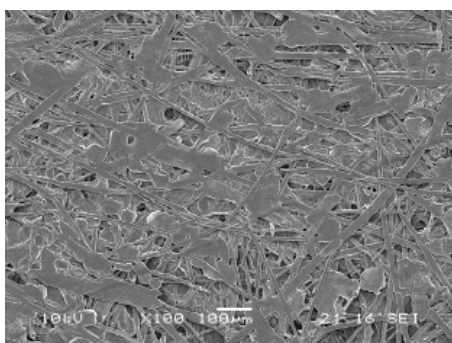


(ก)

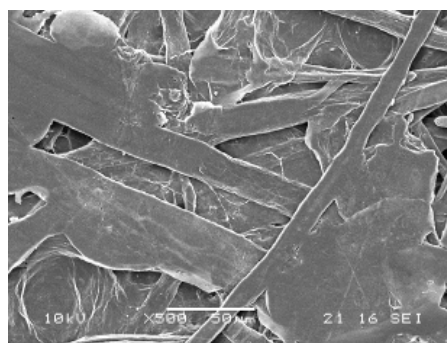


(ข)

ภาพที่ 17 ลักษณะผิวหน้าของผิวหน้ากระดาษทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช จาก SEM (ก) กำลังขยาย 100 เท่า (ข) กำลังขยาย 500 เท่า



(ก)



(ข)

ภาพที่ 18 ลักษณะผิวหน้าของผิวหน้ากระดาษทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแอลคิลคีตินไคเมอร์ จากการทดสอบด้วย SEM (ก) กำลังขยาย 100 เท่า (ข) กำลังขยาย 500 เท่า

2.4 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคตไอออนิกสตาร์ช ร่วมกับสารกันซึมชนิดแอลคิลคีตินไคเมอร์

ในขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาปริมาณการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอร์ที่เหมาะสมของ เพื่อผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป โดยเลือกปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชจากผลการทดสอบที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงสมบัติกระดาษด้วยแคตไอออนิกสตาร์ชโดยเลือกทดสอบในช่วงปริมาณที่ละเอียดขึ้นได้แก่ ร้อยละ 1.0, 1.2 และ 1.4 ของน้ำหนักเยื่อ

แห้ง และจากขั้นตอนการปรับปรุงสมบัติกระดาษด้วยแอลคิลคีนไคเมอร์ ได้เลือกปริมาณแอลคิลคีนไคเมอร์ปริมาณร้อยละ 0.4 และ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้งมาเติมลงในเยื่อกระดาษ

การทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาษที่เก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น ได้ผลการทดสอบดังนี้

2.4.1 สมบัติเชิงกลของกระดาษที่เติมสารเติมแต่งชนิดแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับแอลคิลคีนไคเมอร์ และเก็บไว้ในสภาวะทดสอบมาตรฐาน

ก. ความต้านทานแรงดึงขาด

ตารางที่ 13 แสดงค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันเมื่อมีการเติมแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับแอลคิลคีนไคเมอร์ พบว่าเมื่อปริมาณแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์เพิ่มขึ้นค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการเติมแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ร้อยละ 1.4 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ทำให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุด เนื่องจากการเติมแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ทำให้พันธะระหว่างเส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นเมื่อได้กระดาษได้รับแรงดึงจึงสามารถรับและถ่ายเทแรงได้มากขึ้น นอกจากนี้ หากพิจารณาจากปริมาณแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ที่เท่ากันพบว่า การเติมแอลคิลคีนไคเมอร์ไม่มีผลกระทบต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด และเมื่อมีการเติมแอลคิลคีนไคเมอร์ในปริมาณที่ต่างกันก็พบว่า ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ($p > 0.05$)

ข. ความต้านทานแรงฉีกขาด

ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด แสดงดังตารางที่ 13 พบว่าค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่มีการเติมสารเติมแต่งชนิดแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับแอลคิลคีนไคเมอร์ มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง เนื่องจากดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดเป็นสมบัติที่ขึ้นกับสมบัติทางกายวิภาคของเส้นใย และการเติมสารเติมแต่งไม่ได้เปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายวิภาคของเส้นใย ดังนั้นค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดจึงมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

ก. ความต้านทานแรงดันทะเล

ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะเลของกระดวยที่มีการเติมสารเติมแต่งชนิด แคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ร่วมกับแอลคิลทีนไคเมอร์ได้แสดงดังตารางที่ 13 พบว่าการเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ในปริมาณร้อยละ 1.4 ของน้ำหนักเยื่อแห้งให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะเลของกระดวย สูงที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์มีผลทำให้พันธะระหว่างเส้นใยแข็งแรงขึ้น สามารถรับแรงกระทำได้สูงขึ้น ดังนั้นการเพิ่มปริมาณแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์เป็นการเพิ่มความต้านทานแรงดันทะเล นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมสารกันซึมแอลคิลทีนไคเมอร์นั้นไม่ส่งผลกระทบต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะเล โดยสามารถพิจารณาได้จากค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะเล ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ในปริมาณที่เท่ากันแต่แอลคิลทีนไคเมอร์ต่างกัน

ง. ความต้านทานการดูดซึมน้ำ

ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดวยที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ร่วมกับแอลคิลทีนไคเมอร์ แสดงดังตารางที่ 13 พบว่า ความต้านทานการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ร่วมกับแอลคิลทีนไคเมอร์ เนื่องจากแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ที่เติมลงไป ช่วยให้เส้นใยสามารถยึดเกาะได้ดีและลดช่องว่างระหว่างเส้นใย รวมทั้งแอลคิลทีนไคเมอร์ยังทำหน้าที่เคลือบบริเวณผิวหน้าของเส้นใย ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านผิวหน้าเส้นใยได้ยากขึ้น ดังนั้นค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำจึงมีค่าสูงกว่ากระดวยที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง นอกจากนี้หากพิจารณาการเติมแอลคิลทีนไคเมอร์ที่ปริมาณเท่ากันแต่มีการเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ในปริมาณที่มากขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น โดยที่ปริมาณแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์เท่ากับร้อยละ 1.4 และแอลคิลทีนไคเมอร์เท่ากับร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้งนั้นจะให้ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำสูงที่สุด เนื่องจากการเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์และแอลคิลทีนไคเมอร์สามารถลดช่องว่างระหว่างเส้นใย รวมทั้งสามารถเคลือบผิวหน้ากระดวยได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงต้องใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นสำหรับการยอมให้หยดน้ำซึมผ่านเข้าสู่ผิวหน้าของกระดวย

ตารางที่ 13 สมบัติเชิงกลของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอรัและเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐาน

	แคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ : แอลคิลคีตินไคเมอรั (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)						
	0.0 : 0.0	1.0 : 0.4	1.0 : 0.5	1.2 : 0.4	1.2 : 0.5	1.4 : 0.4	1.4 : 0.5
น้ำหนักมาตรฐาน (g/m ²)	61.95 ^a ±0.32	57.17 ^{bc} ±1.49	61.78 ^a ±1.68	58.16 ^{bc} ±2.98	56.69 ^{bc} ±4.46	55.27 ^c ±1.86	58.87 ^{ab} ±0.95
ความหนา (mm)	0.09 ^c ±0.00	0.10 ^b ±0.00	0.11 ^a ±0.01	0.11 ^a ±0.01	0.11 ^a ±0.1	0.11 ^a ±0.00	0.11 ^a ±0.01
ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m ³)	648.09	568.27	557.55	548.68	521.12	498.80	525.59
ดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด (N.m/g)	51.59 ^b ±2.77	52.17 ^b ±10.11	51.97 ^b ±2.47	54.30 ^{ab} ±9.01	57.90 ^{ab} ±4.86	62.45 ^a ±7.05	61.05 ^a ±2.96
ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด (mN.m ² /g)	11.27 ^{ab} ±0.71	10.26 ^b ±1.13	10.64 ^b ±0.66	11.34 ^{ab} ±2.02	11.11 ^{ab} ±1.67	10.22 ^b ±1.07	12.67 ^a ±0.71
ดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ (kPa.m ² /g)	3.82 ^b ±0.22	3.57 ^b ±0.17	3.70 ^b ±0.27	4.16 ^a ±0.04	3.79 ^b ±0.10	4.22 ^a ±0.29	4.18 ^a ±0.16
ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (sec)	40.29 ^c ±9.32	210 ^d ±39.59	340 ^c ±108.89	2740 ^b ±5.65	2770 ^b ±67.88	2800 ^b ±39.59	4210 ^a ±12.02

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.4.2 สมบัติเชิงกลของกระดาษที่เติมสารเติมแต่งชนิดแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ร่วมกับแอลคิลคิโตนไคเมอร์ และเก็บไว้ในสภาวะห้องเย็น

ก. ความต้านทานแรงดึงขาด

ตารางที่ 14 แสดงค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ร่วมกับแอลคิลคิโตนไคเมอร์ จากผลการทดสอบพบว่า ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดมีค่าสูงสุดเมื่อเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์และแอลคิลคิโตนไคเมอร์ในปริมาณร้อยละ 1.4 และ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้งตามลำดับ เนื่องจากการเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ทำให้พันธะระหว่างเส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นเมื่อได้รับแรงดึงจึงสามารถรับและถ่ายเทแรงได้มากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษที่เก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานเทียบกับสภาวะห้องเย็น ดังภาพที่ 19 พบว่าค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษที่เก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานมีค่าสูงกว่ากระดาษที่เก็บไว้ในสภาวะห้องเย็น ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะห้องเย็นเป็นสภาวะที่มีปริมาณความชื้นสูง โมเลกุลของน้ำจึงสามารถแทรกเข้าสู่กระดาษ เป็นผลให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใยลดลง จึงทำให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดลดลง

ข. ความต้านทานแรงฉีกขาด

ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่เก็บไว้ในสภาวะห้องเย็น แสดงดังตารางที่ 14 พบว่า การเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ร่วมกับแอลคิลคิโตนไคเมอร์ ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นก็ทำให้ได้ความต้านทานแรงฉีกขาดที่ใกล้เคียงกัน ปรากฏการณ์เช่นนี้อาจมีสาเหตุจากความต้านทานแรงฉีกขาด เป็นสมบัติเชิงกลที่ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายวิภาคของเส้นใย ซึ่งการเติมสารเติมแต่งไม่ได้เปลี่ยนแปลงกายวิภาคของเส้นใยหรือเพิ่มความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใยมากนัก ดังนั้นค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดจึงมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาภาพที่ 20 ซึ่งเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่เก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานเทียบกับสภาวะห้องเย็น พบว่ากระดาษที่เก็บไว้ในทั้งสองสภาวะไม่ส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดมีค่าแตกต่างกันมากนัก

ก. ความต้านทานแรงดันทะเล

ตารางที่ 14 แสดงค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะเลของกระดวยจากทางใบ ปาล์มน้ำมันเมื่อเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ร่วมกับแอลคิลซีดีนไคเมออร์ พบว่าค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะเลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยกระดวยที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ที่ร้อยละ 1.4 และแอลคิลซีดีนไคเมออร์ที่ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเชื้อเพลิงนั้นให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะเลสูงสุด อธิบายได้ว่าการเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ช่วยเพิ่มความแข็งแรงระหว่างพันธะของเส้นใย เป็นผลให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะเลเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาภาพที่ 21 พบว่าค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะเลของกระดวยของกระดวยที่เก็บไว้ในสถานะห้องเย็นมีค่าลดลง เนื่องจากเป็นสถานะที่มีปริมาณความชื้นสูง โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกตัวเข้าระหว่างเส้นใย ส่งผลให้เส้นใยจึงยึดเกาะกันได้น้อยลง ดังนั้นค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะเลจึงลดลง

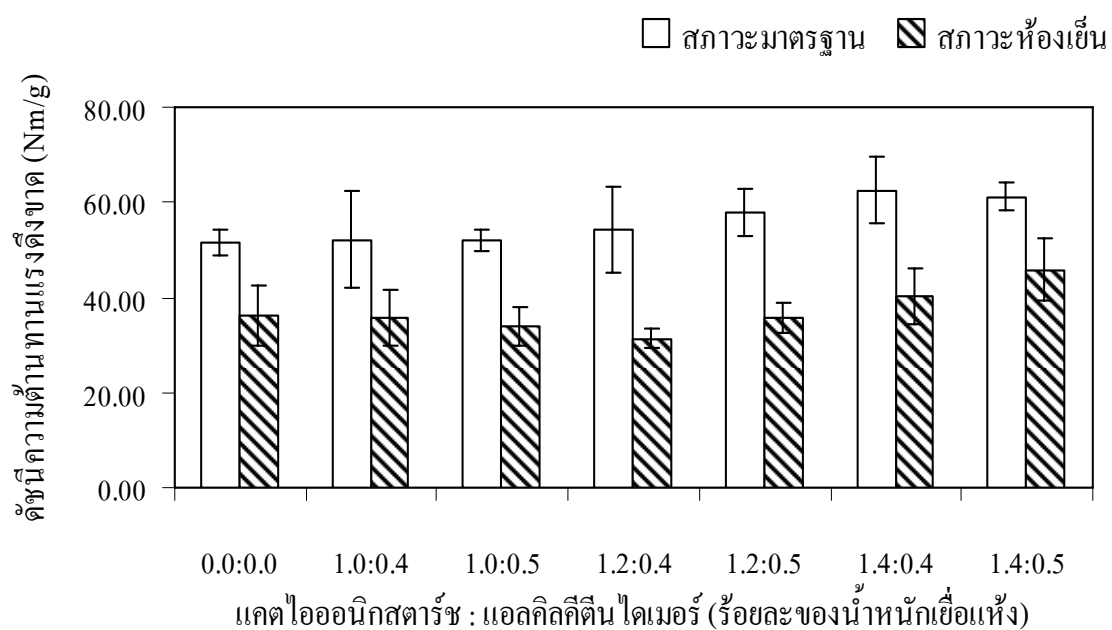
ง. ความต้านทานการดูดซึมน้ำ

ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดวยที่เก็บไว้ในสถานะห้องเย็น แสดงดังตารางที่ 14 พบว่า การเติมสารเติมแต่งประเภทแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ร่วมกับแอลคิลซีดีนไคเมออร์ ส่งผลให้ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณการเติมสารเติมแต่งทั้งสองชนิด โดยค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำสูงที่สุดเมื่อเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ในปริมาณร้อยละ 1.4 และแอลคิลซีดีนไคเมออร์ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเชื้อเพลิง อธิบายได้ว่าการเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ช่วยเพิ่มการยึดติดกันระหว่างเส้นใย เป็นผลให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลง รวมทั้งแอลคิลซีดีนไคเมออร์ที่เติมลงไปนั้นช่วยเคลือบบริเวณผิวของเส้นใย เป็นการป้องกันการซึมผ่านของหยดน้ำเข้าสู่ผิวหน้าเส้นใยได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำจึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์และแอลคิลซีดีนไคเมออร์ในปริมาณที่มากขึ้น นอกจากนี้ หากพิจารณาค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดวยที่เก็บไว้ในสถานะมาตรฐานเปรียบเทียบกับสถานะห้องเย็น ดังภาพที่ 22 พบว่า ค่าดูดซึมน้ำของกระดวยที่เก็บไว้ในสถานะห้องเย็นมีค่าสูงกว่าในสถานะมาตรฐาน เนื่องจากในสถานะห้องเย็นนั้น โมเลกุลของน้ำสามารถเข้าแทรกบริเวณผนังเซลล์ของเส้นใย ส่งผลให้เส้นใยเกิดการพองตัว ช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลง รวมทั้งเส้นใยเกิดการอึดตัวเนื่องจากการดูดซึมน้ำเป็นจำนวนมาก ดังนั้น โมเลกุลของน้ำจึงแทรกตัวเข้าไปได้น้อยลง (วิรัช, 2533) ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำจึงมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับ

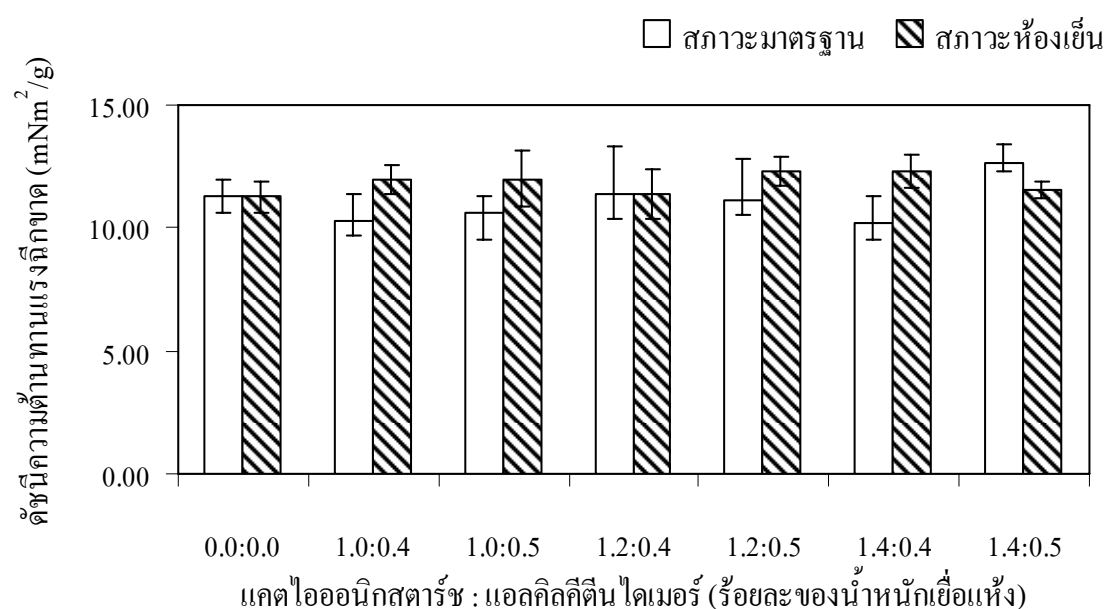
ตารางที่ 14 สมบัติเชิงกลของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอรัและเก็บไว้ในสภาวะทดสอบห้องเย็น

	แคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ : แอลคิลคีตินไคเมอรั (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)						
	0.0 : 0.0	1.0 : 0.4	1.0 : 0.5	1.2 : 0.4	1.2 : 0.5	1.4 : 0.4	1.4 : 0.5
น้ำหนักมาตรฐาน (g/m ²)	65.83 ^a ±1.39	65.44 ^a ±1.94	65.97 ^a ±2.67	67.99 ^a ±1.84	67.86 ^a ±4.21	68.04 ^a ±0.90	64.52 ^a ±3.38
ความหนา (mm)	0.09 ^c ±0.00	0.09 ^c ±0.00	0.09 ^c ±0.00	0.10 ^b ±0.00	0.09 ^c ±0.00	0.10 ^b ±0.00	0.13 ^a ±0.00
ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m ³)	665.93	691.88	694.77	668.93	695.89	663.38	592.76
ดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด (N.m/g)	36.27 ^{bc} ±6.24	35.77 ^{bc} ±5.93	33.86 ^c ±4.06	31.37 ^{bc} ±2.11	35.75 ^{bc} ±3.17	40.09 ^{ab} ±5.85	45.87 ^a ±6.49
ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด (mN.m ² /g)	11.27 ^b ±0.65	11.99 ^{ab} ±0.59	11.99 ^{ab} ±1.12	11.39 ^{ab} ±1.01	12.33 ^a ±0.60	12.30 ^a ±0.66	11.55 ^{ab} ±0.35
ดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ (kPa.m ² /g)	2.99 ^{abc} ±0.25	2.85 ^{abc} ±0.34	2.79 ^{bc} ±0.21	2.72 ^c ±0.15	3.08 ^{abc} ±0.21	3.13 ^{ab} ±0.43	3.19 ^a ±0.17
ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (sec)	59.32 ^d ±28.48	1100 ^c ±266.87	1092 ^c ±423.24	12060 ^b ±900.96	15068 ^b ±1315.20	15570 ^b ±606.24	23250 ^a ± 303.22

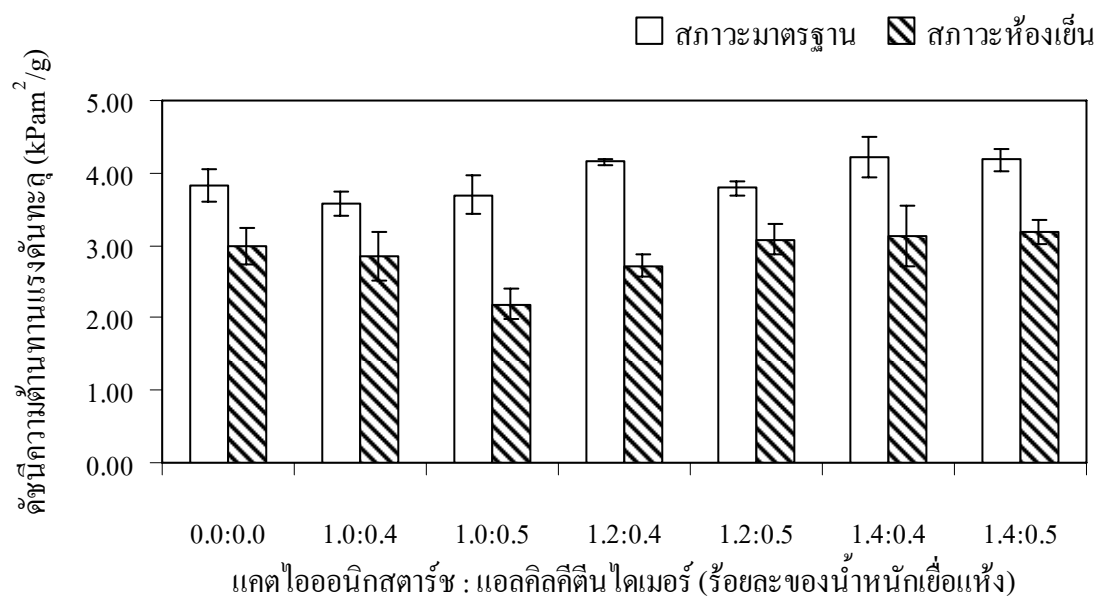
หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



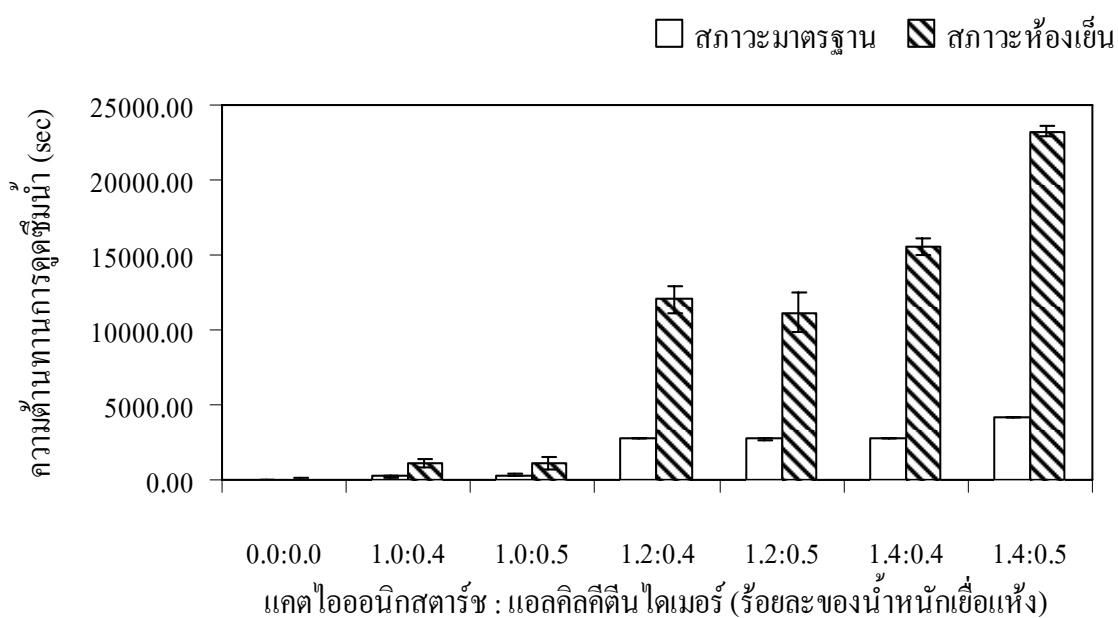
ภาพที่ 19 เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคสโตลและแอลคิลคีตินไคเมอ์ และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น



ภาพที่ 20 เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคสโตลและแอลคิลคีตินไคเมอ์ และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบดัชนีความต้านทานแรงดันของกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับแอลคิลลิทีนไดเมอรั และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับแอลคิลลิทีนไดเมอรั และเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น

2.4.3 ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวหน้าของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอร์

มุมสัมผัส (contact angle) หมายถึง มุมที่เกิดจากผิวของของเหลวสัมผัสกับผิวกระดาษ (รุ่งอรุณ, 2545) โดยตารางที่ 15 และ 16 แสดงมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวหน้าของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เวลา 0, 30 และ 60 วินาที พบว่ามุมสัมผัสมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยมุมสัมผัสของกระดาษที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ระยะเวลา 60 วินาที หยดน้ำซึมลงสู่ผิวหน้ากระดาษจนหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้

หากพิจารณามุมสัมผัสที่เกิดขึ้นกับกระดาษที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอร์ ณ เวลาเดียวกัน พบว่า เมื่อปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลคีตินไคเมอร์สูงขึ้น มุมสัมผัสจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยแคตไอออนิกสตาร์ชที่เติมเข้าไปในปริมาณร้อยละ 1.2 และ 1.4 ร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอร์ ร้อยละ 0.4 และ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง พบว่ามุมสัมผัสมีค่ามากกว่า 90 องศา ณ เวลาเริ่มต้น (หรือเท่ากับ 0 วินาที) เนื่องจากการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลคีตินไคเมอร์นั้นส่งผลให้พลังงานที่พื้นผิว (surface energy) ของกระดาษมีค่าต่ำหรือกระดาษอยู่ในสภาพที่เรียกว่าไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) (Smook, 1992) ดังนั้น มุมสัมผัสที่วัดได้จึงมีค่ามากกว่า 90 องศา และเมื่อเพิ่มปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลคีตินไคเมอร์ มุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากขึ้น นั่นแสดงว่าการเติมสารเติมแต่งดังกล่าวส่งผลให้ผิวหน้าของกระดาษเกิดสภาพไฮโดรโฟบิกที่รุนแรงขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป มุมสัมผัสมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากสภาพของการเป็นไฮโดรโฟบิกของผิวกระดาษเป็นผลให้หยดน้ำซึมเข้าสู่ผิวหน้ากระดาษได้ช้าลง

ตารางที่ 15 ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวหน้าของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติม
แคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับแอลคิลคีตินิกไดเมอรั

แคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ : แอลคิลคีตินิกไดเมอรั (ร้อยละของน้ำหนักเชื้อแห้ง)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ (องศา)		
	0 sec	30 sec	60 sec
0.0 : 0.0	40.31 ^d ±1.61	22.00 ^c ±4.24	-
1.0 : 0.4	78.79 ^c ±2.14	71.50 ^d ±9.19	70.00 ^d ±7.54
1.0 : 0.5	88.13 ^b ±0.17	81.75 ^{cd} ±0.35	78.88 ^{cd} ±0.88
1.2 : 0.4	96.33 ^{ab} ±0.47	91.50 ^{bc} ±1.17	87.50 ^{bc} ±0.23
1.2 : 0.5	100.50 ^{ab} ±4.00	96.33 ^{ab} ±5.18	91.33 ^b ±1.41
1.4 : 0.4	102.33 ^{ab} ±3.77	99.50 ^{ab} ±1.64	94.83 ^b ±0.23
1.4 : 0.5	112.50 ^a ±3.52	108.17 ^a ±7.30	107.17 ^a ±6.83

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 16 ภาพหยดน้ำมันผิวหน้าของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ร่วมกับแอลคิลคีตินไดเมอร์ที่ระยะเวลาต่างกัน

แคตไอออนิกสตาบิไลเซอร์ : แอลคิลคีตินไดเมอร์ (ร้อยละของน้ำหนักเชื้อแห้ง)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ		
	0 sec	30 sec	60 sec
0.0 : 0.0			
1.0 : 0.4			
1.0 : 0.5			
1.2 : 0.4			
1.2 : 0.5			
1.4 : 0.4			
1.4 : 0.5			

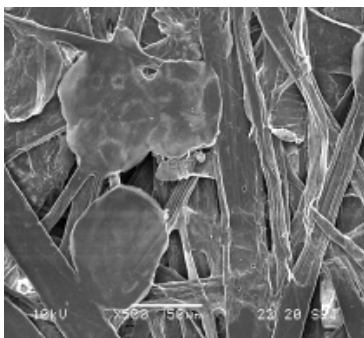
2.4.4 ลักษณะผิวหน้าของกระดาศทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคดไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลซีตินไคเมอร์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากการศึกษาลักษณะผิวหน้าของกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งเปรียบเทียบกับกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมสารเติมแต่งชนิดแคดไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลซีตินไคเมอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ กัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าหลังจากเติมแคดไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลซีตินไคเมอร์นั้น ผิวหน้าของกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันมีลักษณะเรียบขึ้นและช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลงเมื่อเทียบกับกระดาศจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งใด ๆ ที่มีลักษณะผิวหน้าที่ไม่เรียบและเห็นช่องว่างระหว่างเส้นใยอย่างชัดเจน เมื่อเพิ่มปริมาณของแคดไอออนิกสตาร์ชเป็นร้อยละ 1.0, 1.2 และ 1.4 ของน้ำหนักเชื้อแห้งและแอลคิลซีตินไคเมอร์ในปริมาณร้อยละ 0.4 และ 0.5 ของน้ำหนักเชื้อแห้ง (ภาพที่ 23) ลักษณะผิวหน้าจะมีความเรียบมากยิ่งขึ้นรวมถึงช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลง เมื่อพิจารณาลักษณะผิวหน้าของกระดาศที่มีการเติมสารเติมแต่งที่ปริมาณสูงสุด คือ แคดไอออนิกสตาร์ชเท่ากับร้อยละ 1.4 และแอลคิลซีตินไคเมอร์เท่ากับร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเชื้อแห้ง (ภาพที่ 23ข) พบว่าสารเติมแต่งเคลือบบนผิวหน้าของเส้นใยเป็นปริมาณมาก ทั้งนี้เนื่องจากแคดไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลซีตินไคเมอร์ที่เติมลงไปสามารถตกค้างบนเส้นใยและเคลือบบนผิวหน้าของกระดาศได้

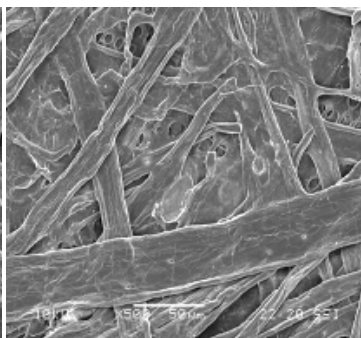
จากผลการศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่าการเติมแคดไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลซีตินไคเมอร์สามารถทำให้เส้นใยสามารถยึดเกาะกันได้มากขึ้น ส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดาศรวมถึงปริมาณของช่องว่างระหว่างเส้นใยที่ลดลงซึ่งมีอิทธิพลต่อค่าการต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาศ



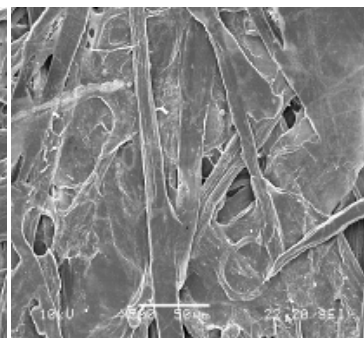
(ก)



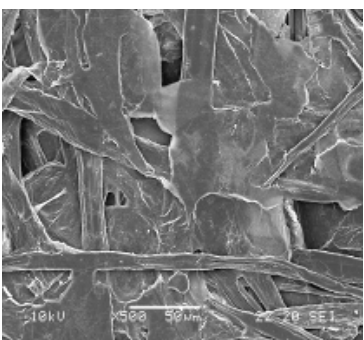
(ข)



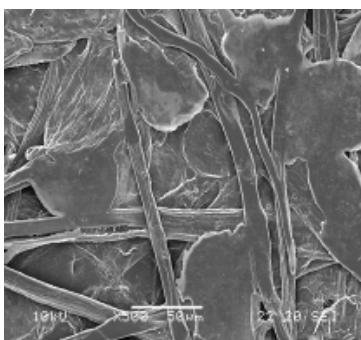
(ค)



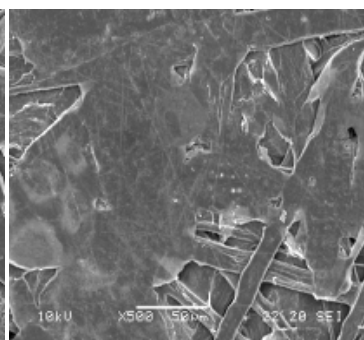
(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)

ภาพที่ 23 ลักษณะผิวหน้าของกระดาษทางใบปาล์มน้ำมันที่มีการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและแอลคิลคีตินิกไดเมอรัลจากการทดสอบด้วย SEM ที่กำลังขยายเท่ากับ 500 เท่า

(ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง (ข) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.0 แอลคิลคีตินิกไดเมอรัลร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง (ค) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.0 แอลคิลคีตินิกไดเมอรัลร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง (ง) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.2 แอลคิลคีตินิกไดเมอรัลร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง (จ) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.2 แอลคิลคีตินิกไดเมอรัลร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง (ฉ) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.4 แอลคิลคีตินิกไดเมอรัลร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง (ช) แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 1.4 แอลคิลคีตินิกไดเมอรัลร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

จากผลของการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของกระดาษโดยการใส่สารเติมแต่งประเภทสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคตไอออนิกสตาบิลไรซ์และสารกันซึมชนิดแอลคิลคีตีนไดเมอรั พบว่า การเติมแคตไอออนิกสตาบิลไรซ์ในปริมาณร้อยละ 1.4 และแอลคิลคีตีนไดเมอรัร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้งเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเตรียมน้ำเยื่อเพื่อบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป

3. ศึกษาการเตรียมบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน

บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่เตรียมได้โดยวิธีการกดอัดด้วยเครื่องกดระบบไฮดรอลิกส์สามารถแสดงดังภาพที่ 24 นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาสมบัติด้านความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์อีก 2 ประเภทในท้องตลาด ได้แก่ 1) บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล 2) ถาดโฟม (ภาพที่ 25 และ 26)

3.1 สมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันและบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันกับบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ

	ประเภทบรรจุภัณฑ์		ถาดโฟม
	เยื่อกระดาษขึ้นรูป จากทางใบปาล์มน้ำมัน	เยื่อกระดาษขึ้นรูป จากกระดาษรีไซเคิล	
ความหนา (mm)	1.27±0.11	1.39±0.15	2.56±0.16
น้ำหนัก (g)	27.96±1.17	24.68±0.86	7.42±0.23
พื้นที่ (mm ²)	50,887	57,100	58,423



(ก)



(ข)

ภาพที่ 24 บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 25 บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 26 บรรจุภัณฑ์ประเภทถาดโฟม (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

3.2 สมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ

3.2.1 ความต้านทานแรงกด (compression strength)

ค่าความต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์ คือ แรงที่ใช้ในการกดบรรจุภัณฑ์จนเสียหาย (พรชัย, 2550) จากการทดสอบความต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์ที่การเสียรูปที่ระดับ 15 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 18 ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าความต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันและกระดาษรีไซเคิลที่เก็บไว้ ณ สภาวะมาตรฐานก่อนการทดสอบ ($p > 0.05$) โดยถาดโฟมมีค่าความต้านทานแรงกดต่ำที่สุด เนื่องจากถาดโฟมมีลักษณะที่ยืดหยุ่นและมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นช่องว่างภายใน ดังนั้นการเสียรูปจึงเกิดได้ง่ายกว่าบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปทั้งสองประเภทที่มีลักษณะแข็งกระด้างกว่า และเมื่อพิจารณาที่สภาวะการเก็บที่ห้องเย็นเปรียบเทียบกับสภาวะทดสอบมาตรฐานพบว่า ค่าความต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันและกระดาษรีไซเคิลมีค่าลดลงเท่ากับร้อยละ 11.3 และร้อยละ 24.17 ตามลำดับ เนื่องจากในสภาวะที่มีความชื้นสูงเส้นใยสามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำเข้าไปภายใน เป็นผลให้การยึดเกาะกันของเส้นใยลดลง ดังนั้นความต้านทานแรงกดจึงมีค่าลดลง นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิลมีค่าความต้านทานแรงกดลดลงมากกว่าบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน เนื่องจาก เส้นใยจากกระดาษรีไซเคิลเป็นเส้นใยที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิล เช่น กระบวนการปั่นและย่อยเส้นใย เป็นผลให้เส้นใยมีความแข็งแรงลดลง จากเหตุผลดังกล่าวทำให้การยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยลดลง เป็นผลให้บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิลมีค่าต้านทานแรงกดต่ำกว่าบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน ทั้งนี้ ถาดโฟมซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมนผลิตจากพอลิสไตรีน (polystyrene) มีสมบัติที่ไม่ดูดความชื้น ค่าความต้านทานแรงกดในสภาวะมาตรฐานจึงมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะห้องเย็น

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบความต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์ม น้ำมันกับบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ หลังเก็บไว้ในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น

ประเภทบรรจุภัณฑ์	ความต้านทานแรงกด (N) ที่การเสียรูปที่ระดับ 15 mm	
	สภาวะมาตรฐาน	สภาวะห้องเย็น
เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน	1894.45 ^a ± 328.73	1679.05 ^a ± 239.21
เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล	1836.65 ^a ± 213.22	1392.65 ^b ± 83.53
ถาดโฟม	1161.85 ^b ± 22.92	1168.40 ^c ± 31.59

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. ทดสอบการสั่นสะเทือนเพื่อจำลองสภาวะการขนส่ง

การจำลองสภาวะการขนส่งสามารถทำได้โดยทดสอบการสั่นสะเทือนแบบสุ่ม (random vibration) โดยเลือกแอปเปิ้ลเขียวเป็นตัวอย่างผลไม้ที่ใช้ในการทดสอบ และวัดความเสียหายของแอปเปิ้ลที่เกิดขึ้น

4.1 น้ำหนักของแอปเปิ้ลรวมกับบรรจุภัณฑ์

น้ำหนักของแอปเปิ้ลรวมกับบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 19 พบว่าน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันและกระดาษรีไซเคิลเมื่อบรรจุแอปเปิ้ลแล้วมีค่าสูงกว่าน้ำหนักของถาดโฟมเมื่อบรรจุแอปเปิ้ล

4.2 จำนวนแอปเปิ้ลเขียวที่พบรอยช้ำ

รอยช้ำ (bruising) เป็นสาเหตุหลักของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแอปเปิ้ล (Bollen, 1999) รอยช้ำเกิดจากแรงกระทำต่าง ๆ เช่น แรงบีบ แรงกด แรงกระแทก (งามทิพย์, 2550) ทำให้เซลล์ของผลไม้แตก เป็นผลให้น้ำในเซลล์ไหลออกมา และเกิดการออกซิไดซ์เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

เมื่อสัมผัสกับอากาศ ผลไม้เกิดเป็นรอยชำรุดน้ำตาลขึ้น (กัวหน่าและศศิธร, 2547) โดยภาพที่ 28 และ 29 แสดงรอยชำรุดบริเวณด้านบนและด้านข้างของผลแอปเปิ้ลที่เกิดขึ้น

สำหรับการทดลองหาจำนวนแอปเปิ้ลเขียวที่พบรอยชำ จะคิดเฉพาะแอปเปิ้ลที่มีรอยชำที่สามารถมองเห็นได้บริเวณผิวโดยต้องมีขนาดใหญ่กว่า 6.4 มิลลิเมตร (Singh and Xu, 1993) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 19 พบว่า จำนวนแอปเปิ้ลเขียวที่พบการชำไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางไบโพลัมน์น้ำมันกับบรรจุภัณฑ์จากกระดาษรีไซเคิล ($p > 0.05$) เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางไบโพลัมน์น้ำมันและกระดาษรีไซเคิลมีคุณสมบัติเชิงกลได้แก่ ค่าความต้านทานแรงกดที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการถ่ายเทแรงสั่นสะเทือนของบรรจุภัณฑ์จึงมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้จำนวนแอปเปิ้ลที่มีรอยชำมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ไม่พบแอปเปิ้ลที่มีรอยชำบนถาดโฟมพอลิสไตรีน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า โครงสร้างของโพลิสไตรีนมีลักษณะเป็นเซลล์ปิด ดังนั้นจึงสามารถทนการกระแทกได้ดี เป็นการป้องกันความเสียหายของแอปเปิ้ลที่เกิดขึ้นได้ จึงไม่พบว่ามีแอปเปิ้ลชำเกิดขึ้นเมื่อบรรจุในถาดโฟม

4.3 ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอยชำของผลแอปเปิ้ลต่อผล

ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอยชำของผลแอปเปิ้ลต่อผล คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนรอยชำที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อจำนวนผลแอปเปิ้ลที่ทดสอบทั้งหมด โดยรอยชำต้องมีขนาดมากกว่า 6.4 มิลลิเมตร (Singh and Xu, 1993) แสดงดังตารางที่ 19 ซึ่งเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนรอยชำของผลแอปเปิ้ลต่อผลหลังการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ พบว่า บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางไบโพลัมน์น้ำมันมีจำนวนรอยชำของผลแอปเปิ้ลต่อผลมากที่สุดคือ โดยเฉลี่ย 3.84 รอยชำต่อผล ในส่วนของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิลพบค่าเฉลี่ยจำนวนรอยชำต่อผลแอปเปิ้ลเท่ากับ 1.60 รอยชำต่อผล ส่วนแอปเปิ้ลที่บรรจุในถาดโฟมนั้นไม่พบรอยชำ โดยสาเหตุที่ทำให้บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางไบโพลัมน์น้ำมันมีจำนวนรอยชำต่อผลสูงสุดเนื่องจากความหยาบกระด้างของพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งอธิบายได้โดยสมบัติกายวิภาคของเส้นใย ได้แก่ สัดส่วนรังเคิลที่มีค่าสูง จึงส่งผลให้เส้นใยมีความแข็ง (stiff) ดังนั้นเมื่อนำไปบรรจุแอปเปิ้ลและทำการทดสอบจึงเกิดจำนวนรอยชำที่มากเมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ นอกจากนี้อาจเกิดจากรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ที่ความลึกน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ ทำให้ผลแอปเปิ้ลเกิดการกระแทกระหว่างการทดสอบการสั่นสะเทือนได้ง่ายขึ้นจากรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ที่ไม่พอดีกับผลแอปเปิ้ล

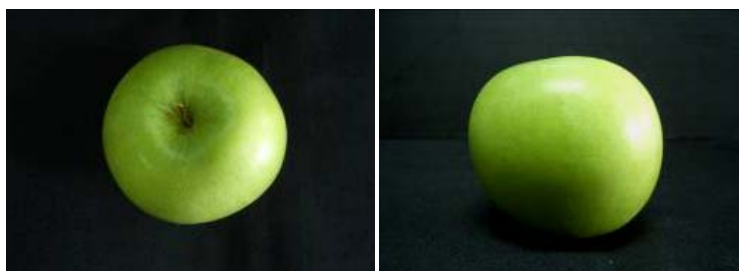
4.4 ค่าเฉลี่ยของพื้นที่รอยชำของแอปเปิ้ลต่อผล

ค่าเฉลี่ยของพื้นที่รอยชำของแอปเปิ้ลต่อผล คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่รอยชำแต่ละจุดที่เกิดขึ้นต่อจำนวนผลแอปเปิ้ลที่ทดสอบทั้งหมด (Singh and Xu, 1993) แสดงดังตารางที่ 19 พบว่าแอปเปิ้ลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทมีค่าเฉลี่ยของพื้นที่รอยชำของแอปเปิ้ลต่อผลแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันมีค่าเฉลี่ยของพื้นที่รอยชำต่อผลแอปเปิ้ลมากที่สุด เนื่องจากความหยาบกระด้างของพื้นผิวบรรจุภัณฑ์รวมถึงรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ที่ดันเกินไป ส่งผลให้เมื่อทดสอบการสั่นสะเทือนผลแอปเปิ้ลเกิดการกระแทกและเกิดรอยชำขนาดใหญ่ โดยลักษณะรอยชำที่เกิดขึ้นแสดงดังภาพที่ 28 และ 29

ตารางที่ 19 การทดสอบความเสียหายของแอปเปิ้ลเมื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ

ค่าการทดสอบความเสียหายของแอปเปิ้ล	ประเภทบรรจุภัณฑ์		
	เยื่อกระดาษขึ้นรูป		ถาดโฟม
	ทางใบปาล์มน้ำมัน	กระดาษรีไซเคิล	
น้ำหนัก (g)	285 ^a ±0.02	283 ^a ±0.01	268 ^b ±0.00
จำนวนผลแอปเปิ้ลเขียวที่พบการชำ (ร้อยละ)	88.89 ^a ±3.85	64.44 ^a ±23.41	0.00 ^b ±0.00
ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอยชำของผลแอปเปิ้ลต่อผล	3.84 ^a ±0.30	1.60 ^b ±0.5	0.00 ^c ±0.00
ค่าเฉลี่ยของพื้นที่รอยชำของผลแอปเปิ้ลต่อผล (mm ²)	268.90 ^a ±23.55	53.74 ^b ±27.53	0.00 ^c ±0.00

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

(จ)

ภาพที่ 27 เปรียบเทียบความเสียหายของแอปเปิ้ลที่เกิดขึ้น (ก) ไม่มีรอยชำบริเวณด้านบน (ข) ไม่มีรอยชำบริเวณด้านข้าง (ค) มีรอยชำที่มีขนาดใหญ่กว่า 6.4 มิลลิเมตรบริเวณด้านบน (ง) มีรอยชำที่มีขนาดใหญ่กว่า 6.4 มิลลิเมตรบริเวณด้านข้าง (จ) มีรอยชำที่มีขนาดใหญ่กว่า 6.4 มิลลิเมตรบริเวณด้านล่าง



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 28 แอปเปิ้ลที่ผ่านการทดสอบการฉ่นสะเทือน (มุมบน) (ก) บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน (ข) บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล (ค) ถาดโฟม



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 29 แอปเปิ้ลที่ผ่านการทดสอบการสั่นสะเทือน (มุมด้านข้าง) (ก) บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน (ข) บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล (ค) ถาดโฟม

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาสมบัติของเชื้อซัลเฟตจากทางไบโพลีเมอร์น้ำมัน เพื่อประยุกต์เป็นบรรจุภัณฑ์เชื้อกระดาษขึ้นรูป พบว่า ทางไบโพลีเมอร์น้ำมันสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบของบรรจุภัณฑ์ได้หลังการปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อกระดาษด้วยสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคตไอออนิกสตาร์ชและสารกันชื้นชนิดแอลคิลคีตีนไดเมอรัล และเมื่อเปรียบเทียบการใช้งานของบรรจุภัณฑ์เชื้อกระดาษขึ้นรูปจากทางไบโพลีเมอร์น้ำมันกับบรรจุภัณฑ์ในท้องตลาดได้แก่ บรรจุภัณฑ์เชื้อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิลและถาดโฟม โดยทำการวิเคราะห์ความเสียหายต่อแอปเปิ้ลเขียว พบว่าบรรจุภัณฑ์เชื้อกระดาษขึ้นรูปจากทางไบโพลีเมอร์น้ำมันมีความแข็งแรงหลังการปรับปรุงคุณสมบัติ โดยจะสังเกตได้จากลักษณะความเสียหายของแอปเปิ้ล ทั้งนี้สามารถสรุปประเด็นสำคัญจากผลการทดลองได้ดังนี้

1. สภาพการเตรียมเชื้อจากทางไบโพลีเมอร์น้ำมันด้วยกระบวนการซัลเฟตหรือกราฟท์ โดยการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณแอคติฟแอลคาไลที่มีผลต่อค่าผลผลิตเชื้อที่ได้ รวมถึงสมบัติเชิงกลของกระดาษที่เตรียมจากเชื้อในสถานะต่าง ๆ พบว่าปริมาณแอคติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 16 ให้ค่าผลผลิตเชื้อหลังการคัดกรองแล้วเท่ากับร้อยละ 29.19 ค่าเคปปาเท่ากับ 81.72 คิดเป็นปริมาณลิกนินเท่ากับ 12.25 นอกจากนี้ จากการทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ ดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดและดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 60 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งเตรียมจากเชื้อที่มีปริมาณแอคติฟแอลคาไลที่แตกต่างกัน พบว่า สมบัติเชิงกลข้างต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเชื้อซัลเฟตจากทางไบโพลีเมอร์น้ำมันคือ ปริมาณแอคติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 16 ซัลฟิไดรี้อยละ 25 อุณหภูมิในการต้มเชื้อ 160 องศาเซลเซียส เวลาในการต้มเชื้อ 180 นาที และอัตราส่วนระหว่างสารเคมีต่อไม้เท่ากับ 5 ต่อ 1 เนื่องจากเป็นสถานะที่ให้ค่าผลผลิตเชื้อหลังจากคัดกรองแล้วดีที่สุด

2. จากสมบัติทางกายวิภาคของเชื้อซัลเฟตจากทางไบโพลีเมอร์น้ำมันเพื่อใช้ประเมินสมบัติของกระดาษและบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมได้ พบว่าความยาวเส้นใยมีค่าเท่ากับ 1.8 มิลลิเมตรซึ่งถือว่าเป็นเส้นใยที่ยาวกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าและลำต้นปาล์มน้ำมัน

นอกจากนี้พบว่า ความกว้างของเส้นใยเท่ากับ 23.4 ไมโครเมตร ลูเมนเท่ากับ 14.4 ไมโครเมตร และความหนาผนังเซลล์ 14.5 ไมโครเมตร ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถใช้สำหรับการคำนวณหาค่าสัดส่วนรังเคลซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.63 ความอ่อนตัวเท่ากับ 0.62 และสัดส่วนความชะลูดเท่ากับ 76.92 โดยผลจากการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถประเมินได้ว่า เส้นใยจากทางใบปาล์มน้ำมันมีความแข็งแรงและไม่ยืดหยุ่นมากนัก แต่สามารถปรับปรุงสมบัติดังกล่าวได้โดยการเติมสารเติมแต่ง

3. การปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันด้วยแคตไอออนิกสตาโรซพบว่า การเติมแคตไอออนิกสตาโรซสามารถเพิ่มความต้านทานแรงดึงขาด ความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษที่ผ่านการเก็บในสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น ทั้งนี้หลังการเติมแคตไอออนิกสตาโรซความต้านทานแรงดึงขาดไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายวิภาคของเส้นใย อีกทั้งความต้านทานแรงดันทะลุก็ไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ การเติมแคตไอออนิกสตาโรซในปริมาณร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้งจะส่งผลให้สตาโรซเกิดการเกาะกัน ทำให้สมบัติเชิงกลจึงมีค่าลดลง เนื่องจากมีปริมาณแคตไอออนิกสตาโรซที่มากเกินไป

4. การปรับปรุงสมบัติการต้านทานการดูดซึมน้ำด้วยแอลคิลคีตินไคเมอร์ส่งผลให้กระดาษมีค่าการต้านทานการดูดซึมน้ำมากกว่ากระดาษที่ไม่ได้เติมแอลคิลคีตินไคเมอร์ และเมื่อเติมแอลคิลคีตินไคเมอร์ในปริมาณที่มากขึ้น ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำก็มีค่ามากขึ้นตามลำดับ โดยปริมาณของแอลคิลคีตินไคเมอร์เท่ากับร้อยละ 0.4 และ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้งจะให้ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษสูงที่สุดทั้งสภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น

5. การปรับปรุงความแข็งแรงของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันด้วยการเติมแคตไอออนิกสตาโรซร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอร์ พบว่าปริมาณแคตไอออนิกสตาโรซเท่ากับร้อยละ 1.4 และปริมาณแอลคิลคีตินไคเมอร์เท่ากับร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ส่งผลให้กระดาษมีความต้านทานแรงดึงขาดและการต้านทานการดูดซึมน้ำที่ดีที่สุด ในขณะที่ความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายวิภาคของเส้นใย

6. จากผลการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติระหว่างหยดน้ำและผิวหน้าเส้นใย พบว่าคุณสมบัติมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ปริมาณการเติมแคตไอออนิกสตาโรซร้อยละ 1.4 ร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอร์ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้งให้ค่าคุณสมบัติมากที่สุด ซึ่งมีค่าคุณสมบัติเท่ากับ 112.5, 108.17 และ 107.17 องศา ที่เวลาเริ่มต้น, 30 และ 60 วินาที ตามลำดับ แสดงให้

เห็นถึงผิวหน้าของกระดาษที่มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก หรืออีกนัยหนึ่งคือสามารถต้านการเปียกน้ำของผิวหน้ากระดาษได้ดี นอกจากนี้ลักษณะผิวหน้าของกระดาษจากการสังเกตจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า การเติมสารเติมแต่งในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้ผิวหน้ากระดาษมีความเรียบมากขึ้น และทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลง

7. การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องกดอัดแบบไฮดรอลิกส์ นอกจากนี้การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชร่วมกับแอลคิลคีตินไคเมอ์ในปริมาณร้อยละ 1.4 และ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ เพื่อปรับปรุงความแข็งแรงและสมบัติการต้านทานการซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากทางใบปาล์มน้ำมันเทียบกับบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิลและโฟม พบว่า บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันมีความหนาและน้ำหนักใกล้เคียงกับบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล แต่มีความหนาน้อยกว่าและหนักกว่าถาดโฟม และเมื่อทดสอบค่าความต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทหลังการเก็บที่สภาวะมาตรฐานและสภาวะห้องเย็น พบว่า บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันสามารถต้านทานแรงกดได้สูงสุด ในขณะที่ถาดโฟมต้านทานแรงกดได้น้อยที่สุด

8. การประยุกต์บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันในสภาวะจำลองการขนส่งเห็ดแบบสุ่ม เพื่อวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อผลแอปเปิ้ล พบจำนวนผลแอปเปิ้ลเขียวที่มีรอยชำรุดเล็กน้อยของจำนวนรอยชำรุดของผลแอปเปิ้ลต่อผล และค่าเฉลี่ยของพื้นที่รอยชำรุดของผลแอปเปิ้ลต่อผลมากที่สุด เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันมีความแข็งแรงกระด้างสูง และลักษณะผิวหน้าของบรรจุภัณฑ์ที่หยาบกว่าบรรจุภัณฑ์อื่น ๆ

ข้อเสนอแนะ

1. จากสถานะที่ใช้สำหรับการสกัดเชื้อซัลเฟตพบว่า นอกจากอิทธิพลของสารเคมีแล้ว อุณหภูมิที่สูงขึ้นและการตีเยื่อ (beating) ก็มีอิทธิพลต่อสมบัติของเยื่อเช่นเดียวกัน ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิการต้มเยื่อหรือเพิ่มการตีเยื่ออาจเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยลดปริมาณสารเคมีในการต้มเยื่อได้

2. จากการปรับปรุงความแข็งแรงของกระดาษด้วยแคตไอออนิกสตาร์ช พบว่า ความแข็งแรงของกระดาษสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแคตไอออนิกสตาร์ช ดังนั้นหากมีการปรับเปลี่ยนชนิดของแคตไอออนิกสตาร์ชด้วยการเพิ่มองศาการแทนที่ของประจุบวก (degree of substitution) อาจทำ

ให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษเพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้อาจทำให้ปริมาณแคตไอออนิกสตาบิลิซัลดลดลงอีกด้วย

3. จากการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากทางใบปาล์มน้ำมันด้วยเครื่องกดอัดไฮดรอลิกส์ พบว่าความหนาของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้ยังคงไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งยังพบรอยขาดในบางบริเวณของบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นการเปลี่ยนวิธีการขึ้นรูปเป็นวิธีการขึ้นรูปแบบกดและฉีดหรือแบบดูด น่าจะทำให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่ได้มีความหนาสม่ำเสมอ และลดรอยขาดลงได้

4. จากสาเหตุของความแข็งแรงกระด้างของบรรจุภัณฑ์ทางใบปาล์มน้ำมันที่ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลแอปเปิ้ลมากเมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์อื่น ๆ ดังนั้นแนะนำว่าหากต้องการใช้สำหรับการขนส่งผลไม้ที่มีผิวบาง จำเป็นต้องมีการปรับปรุงความยืดหยุ่นของบรรจุภัณฑ์ โดยการเติมสารเติมแต่งประเภทอื่นๆ เช่น สารตัวเติมเพื่อเพิ่มความฟุ้งของเนื้อกระดาษ การผสมเส้นใยประเภทอื่นเพื่อลดความแข็งแรงกระด้างที่เกิดจากเส้นใยจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีความยาวสูงและความอ่อนตัวต่ำ โดยเส้นใยประเภทอื่นที่น่าสนใจ เช่น เส้นใยจากกระดาษรีไซเคิล และเส้นใยส่วนอื่น ๆ ของปาล์มน้ำมัน เป็นต้น

5. เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันมีความต้านทานแรงกดสูงรวมถึงมีผิวหน้าที่หยาบ ดังนั้นการนำไปใช้งานสำหรับบรรจุสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการบรรจุภัณฑ์ที่มีความคงรูปสูงจึงอาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2543. ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย.

แหล่งที่มา: http://www2.dede.go.th/renew/bio_p.htm, 24 กุมภาพันธ์ 2552.

ก้าวหน้า ศรีสมบัติ และศศิธร ล้อมเวียง. 2547. รายงานการศึกษาความสามารถของตาข่ายที่ถักจาก
ผักตบชวาและหญ้าแฝกในการป้องกันผลแอปเปิ้ลจากการกระแทก.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กิจจารักษ์ วงษ์กุลและ, นารณ์ ภูมิภรณ์ และศักดิ์ศิลป์ โชตติสกุล. 2541. ปาล์มน้ำมัน. กรม

ส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.

งามทิพย์ กุ้วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร. เอส พี เอ็ม การพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

จิระวรรณ สุทธิลักษณ์, บุญกร ประดิษฐ์นิกุล, พัทธรา มณีนันท์, ลออ เชียงทอง และวสันต์ ตุ่นคำ.

2545. คู่มือการใช้กระดาดเพื่อการหีบห่อ. อรุณการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ฐานเศรษฐกิจ. 2550. นักธุรกิจปาล์มได้จัดแบ่งบริโภค-ไบโอล้อมคอกแย่งตลาด. แหล่งที่มา:

http://agro.psu.ac.th/index.php?option=com_content&task=view&id=1106&Itemid=113,

20 พฤษภาคม 2551.

ณรงค์ วุทธเสถียร. 2537. ปทานุกรมคำศัพท์เยื่อและกระดาษ. แอ็ดวานซ์อะโกร, กรุงเทพฯ.

ดวงทิพย์ กุ้เกียรติกุลชัย. 2550. ผลการเคลือบสตาร์ชตัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษ

คราฟท์ทำผิวกล่องเพื่อใช้งานในสถานะห้องเย็น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนธร ทองสัมฤทธิ์, สุชาภา เนตรประดิษฐ์ และไพฑิพย์ ชีรเวชญาณ. 2547. รายงานการผลิตเยื่อและกระดาษจากใบรูปถ่ายเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมสิ่งพิมพ์บรรจุภัณฑ์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิพนธ์, ธีระพงศ์ จันทนิยม, ประกิจ ทองคำ และวรรณ เลี้ยววาริน. 2546. คู่มือปาล์มน้ำมันและการจัดการสวน. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ธีระชัย รัตนโรจน์มงคล. 2542. รายงานการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษโดยใช้แป้งตัดแปรชนิดประจุบวก.

ปาริชาติ ชาราพัตราพร และวงศ์ผกา วงศ์รัตน์. 2542. การศึกษาบรรจุภัณฑ์จากผักตบชวา. ปัญหาพิเศษ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัชรียา รัชฎา. 2550. อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อลักษณะเฉพาะของเยื่อจากทางใบปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พรชัย ราชชนะพันธุ์. 2550. พลศาสตร์การบรรจุ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ราชบัณฑิตยสถาน. 2542. พจนานุกรม. แหล่งที่มา: <http://rirs3.royin.go.th/new-search/word-search-all-x.asp>, 20 พฤศจิกายน 2551.

รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์. 2545. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาษ. กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กรุงเทพฯ.

วิวัฒน์ อรรถพานุรักษ์. 2550. รายงานการผลิตเยื่อกระดาษจากเศษเหลือกิจกรรมเกษตรเพื่อเส้นใยเส้นจากผลปาล์มน้ำมันเปล่า.

วิทยา ปันสุวรรณ. 2548. รายงานการแยกองค์ประกอบทางเคมีของต้นปาล์มน้ำมันโดยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ.

_____, ศิริพร เสรียุทธ, วัณญา รัตนเสนา และกาญจนา พงษ์ศักดิ์. 2549. รายงานการใช้เชื้อไม้มักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการต้มเยื่อไม้ยูคาลิปตัส.

วิรัช ชื่นวาริน. 2533. สมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อไม้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. 2546. รายงานการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย.

ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์. 2539. ปฏิบัติการเคมีปริมาณวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ศิริพร ศรีสมบูรณ์. 2545. การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ปาล์มน้ำมันเพื่อการเกษตรยั่งยืน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมหวัง ชันทยานวงศ์. 2550. การเตรียมน้ำเยื่อและการผลิตกระดาษ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. เส้นใยเยื่อและกระดาษ: สมบัติทางกายภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สินชัย แซ่ตั้ง. 2543. การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตต้นแบบภาชนะบรรจุอาหารจากเยื่อตะไคร้หอม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง. 2540. พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Anonymous. 2008. **Cellulose**. Available source: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>, October 5, 2008.

_____. 2009a. **Soft Wood**. Available source: <http://www.valuecreatedreview.com/softwood.html>, February 15, 2009.

_____. 2009b. **Hard Wood**. Available source: <http://www.valuecreatedreview.com/hardwood.html>, February 15, 2009.

- Anonymous. 2009c. **The Composition and Structure of Wood**. Available source: <http://chemistry.umeche.maine.edu/Fort/Cole-Fort.html>, January 12, 2009.
- _____. 2009d. **Lignin**. Available source: <http://en.wikipedia.org/wiki/Lignin>, October 5, 2009.
- _____. 2009e. **Contact Angle**. Available source: <http://www.ramehart.com/goniometers/contactangle.html>, February 14, 2009.
- Au, C. O. and I. Thorn. 1995. Applications of wet-end paper chemistry. Chapman & Hall, New York. *Cited* Page, D. H. 1969. A theory for the tensile strength of paper. **Tappi J.** 52 (4): 674-681.
- Bahr, M. V., R. Seppanen, F. Tiberg and B. Zhmud. 2002. Wettability of AKD-Sized Papers. *In* **Camurus AB Ideon Science Park**, Sweden.
- Biermann, C. J. 1996. **Handbook of Pulping and Paper Making**. Academic press Inc., New York.
- Bollen, A. F., H. X. Nguyen and B. T. Dela Rue. 1999. Comparison of Methods for estimating the bruise volume of apples. **J. Agr. Eng. Res.** 74: 325-330.
- Bramel, G. F. 1986. Modified starch for surface sizing and coating of paper. **Tappi J.** 69 (1): 54-56. *Cited* P. Lertsutthiwong. 2002. **The use of chitosan in the production of high quality printing paper**. Asian Institute of Technology, Thailand.
- Brunn, S. E. 2002. Starch, *In* J. Gullichsen and H. Paulapuro, comps. **Papermaking Science and Technology: pigment Coating and Surface Sizing of Paper, Series 11**. Fapet Oy, Finland.
- Bublitz, W. J. 1980. **Pulp and Paper: Chemistry and Chemical Technology Vol. 1**. 3rd ed. A Wiley Interscience Publication, New York.

- Canwell, M. 2001. **Properties and Recommended Conditions for Storage of Fresh Fruits and Vegetables**. Post harvest Technology. Available Source: <http://postharvest.edu/Produce/Storage/index.shtml>, January 19, 2008.
- Green, J. W., I. A. Pearl and F. C. Haigh. 1977. Fast Reaction in Alkali Pulping II: The Peeling Reaction. **IPC technical paper series**. 42.
- Hale, J. D. 1969. Structural and Physical Properties of Pulpwood, *In* R. G. Macdonald and J. N. Franklin (eds.). **Pulp and Paper Manufacture: The Pulping of Wood**. 2nd ed. Vol. 1. McGraw-Hill Company, New York.
- Hubbe, M. 2009a. **Alkyl Ketene Dimer**. Available source: <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/AKD.html>, February 14, 2009.
- _____. 2009b. **Alkyl Succinic Anhydride**. Available source: <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/ASA.html>, February 14, 2009.
- Johansson D. 2008. **Modeling of Kinetic Results: Carbohydrate Degradation and Dissolution During Kraft Cooking**. Karlstad University Studies, Sweden.
- Khoo, K. C. and T. W. Lee. 1991. Pulp and paper from the oil palm. **Appita J.** 44 (6): 385-391.
- Lennart, S. 1986. The Cell Wall as a Composite Structure, 51-73. *In* B. J. Anthony and K. Petter. **Paper Structure and Properties**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Li, J., G. Moeser and L. Roen. 2000. Nonuniformity of carbohydrate degradation during kraft pulping-measurement and modeling using a modified g-factor. **Ind. Eng. Chem. Res.** 39 (4): 916-921.
- Lim, W. J., Y. T. Liang and P. A. Seib. 1992. Cationic oat starch: preparation and effect on paper strength. **Cereal Chem.** 69 (3): 237-239.

- Lopez, F., J. Ariza, I. Perez and L. Jimenez. 2000. Comparative study of paper sheets from olive tree wood pulp obtained by soda, sulphite or kraft pulping. **Biores. Tech.** 71: 83-86.
- Robert, J. C. 1991a. **Paper Chemistry**. Chapman & Hall, New York. *Cited* Moeller, H. W. 1966. Cationic starch as a wet-end strength additive. **Tappi J.** 49 (5): 211-214.
- _____. 1991b. **Paper Chemistry**. Chapman & Hall, New York.
- Rushdan, I. 2002. Chemical composition of alkaline pulp from oil palm empty fruit bunches. **Oil palm bulletin.** 44: 19-24.
- Singh, S. P. and M. Xu. 1993. Bruising in apples as a function of truck vibration and packaging. **Appl. Eng. Agr.** 9 (5): 455-460.
- Smook, G. A. 1992. **Handbook for Pulp & Paper Technologists**. Augus Wilde Publications Inc., Canada.
- Stinebaugh, D. K., L. A. Gasper, L. E. Deter and L. E. Fitt. 1993. Preparation of starch for pigmented coating, *In* J. C. Walter, comp. **The Coating Process**. Tappi Press, Atlanta.
- Wanrosli, W. D., K. N. Law, Z. Zainuddin and R. Asro. 2004. Effect of pulping variables on the characteristics of oil palm frond fiber. **Biores. Tech.** 93: 233-240.
- _____. 2007. Pulp from oil palm fronds by chemical processes. **Ind. Crop. Prod.** 25: 89-94.
- Won-Sung, S., C. Nam-Seok and O. Shoji. 2008. Possibility of hydrogen bonding between AKD and cellulose molecules during AKD sizing. **J. Fac. Agr.** 53(2): 405-410.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลจำเพาะของสารเพิ่มความแข็งแรงและสารกันซึม

สารเพิ่มความแข็งแรง

สารเพิ่มความแข็งแรงชนิด แคตไอออนิกสตาร์ชชื่อทางการค้า TAPLINK-3
ผู้ผลิต บริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด

ตารางผนวกที่ ก1 สมบัติสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคตไอออนิกสตาร์ช

Item	Specification	Analysis
Moisture content, %	11-13	11.56
pH (10% uncooked solution)	5-7	6.24
Degree of substitution	0.030-0.036	0.035

สารกันซึม

สารกันซึมชนิดแอคิลคีตีนไคเมอร์ ชื่อทางการค้า EKA DR C221

ผู้ผลิต บริษัท Eka Chemicals (Thailand) Ltd.

ตารางผนวกที่ ก2 สมบัติของสารกันซึมชนิดแอคิลคีตีนไคเมอร์

Item	Analysis
Composition	Aqueous AKD Emulsion
Apperance	Milky liquid
Charge	Cationic
Density	1.00 to 1.02 g/cm ³
Solids	11.5 to 13.5%
pH	2.5 to 4.5 pH
Viscosity	100 cP @ 25 °C

ภาคผนวก ข

วิธีการเตรียมสารเคมีและการคำนวณปริมาณสารเคมีในการต้มเชื้อ

วิธีการเตรียมสารเคมี

การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบค่าแคลปา ตามมาตรฐาน TAPPI USEFUL METHOD 246

สูตรที่ใช้คำนวณน้ำหนักเพื่อให้ได้ค่าออร์มาลิตี (สุกชัย, 2539) คือ

$$\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)} = \text{ค่าออร์มาลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล}$$

(น้ำหนักสมมูล คือ มวลโมเลกุลของสารหารด้วยจำนวนครั้งการแตกตัวของอิเล็กตรอน)

1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 ความเข้มข้น 0.1 N

จากสูตรความสัมพันธ์ค่าออร์มาลิตี ต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 ความเข้มข้น 0.1 N ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เมื่อ KMnO_4 มีมวลโมเลกุล 158.04 แยกตัว 5 ครั้ง ดังนั้นสามารถคำนวณน้ำหนักสารได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักสาร} &= \text{ค่าออร์มาลิตี (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล} \\ &= 0.1 \times 1.0 \times (158.04/5) \\ &= 3.16 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นต้องชั่งสาร KMnO_4 จำนวน 3.16 กรัม และปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเทใส่ขวดสีชาเนื่องจากอาจเกิดการสลายตัวได้

1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ความเข้มข้น 4.0 N

จากสูตรความสัมพันธ์ค่าออร์มาลิตี ต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ความเข้มข้น 4.0 N ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เมื่อ H_2SO_4 มีมวลโมเลกุล 98 แยกตัว 2 ครั้ง ดังนั้นสามารถคำนวณน้ำหนักสารได้ดังนี้

1.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ความเข้มข้น 0.2 N

จากสูตรความสัมพันธ์ค่าแอมัลทิติ ต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ความเข้มข้น 0.2 N ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เมื่อ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ มีมวลโมเลกุล 248.18 แตกตัว 2 ครั้ง ดังนั้นสามารถคำนวณน้ำหนักสารได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักสาร} &= \text{ค่าแอมัลทิติ (N)} \times \text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล} \\ &= 0.2 \times 0.5 \times (248.18/2) \\ &= 12.4 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

ดังนั้นต้องชั่งสาร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จำนวน 12.4 กรัม และปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 500 มิลลิลิตร

การคำนวณปริมาณสารเคมีในการต้มเยื่อ

การคำนวณปริมาณสารเคมีในการต้มเยื่อด้วยวิธีซัลเฟต โดยปริมาณร้อยละแอคทีฟแอลคาไล ได้แก่ 15 16 และ 17 ค่าซัลฟิดีร้อยละ 25 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารเคมีตามสภาวะดังกล่าว ได้แก่

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารเคมีที่ปริมาณแอคทีฟแอลคาไลเท่ากับ 15 และค่าซัลฟิดีร้อยละ 25

$$\text{แอฟเฟกทีฟแอลคาไล} = (\text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S})$$

$$\text{ซัลฟิดี} = [\text{Na}_2\text{S} / (\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S})] \times 100$$

แอคทีฟแอลคาไลร้อยละ 15 มีค่าเท่ากับแอฟเฟกทีฟแอลคาไล (active alkali) 150 กรัมต่อกิโลกรัมไม้ ดังนั้น

$$\text{ซัลฟิดี} = [\text{Na}_2\text{S} / (\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S})] \times 100$$

$$25 = [\text{Na}_2\text{S} / (\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S})] \times 100$$

$$100\text{Na}_2\text{S} = 25\text{NaOH} + 25\text{Na}_2\text{S}$$

$$\text{NaOH} = 3\text{Na}_2\text{S}$$

$$\text{แอฟเฟกทีฟแอลคาไล} = (\text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S})$$

$$150 = (\text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S})$$

$$150 = (3\text{Na}_2\text{S} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S})$$

$$300 = 7\text{Na}_2\text{S}$$

$$\text{Na}_2\text{S} = 300/7 = 42.86 \text{ กรัมต่อกิโลกรัมไม้}$$

$$\text{NaOH} = 3 \times 42.86 = 128.58 \text{ กรัมต่อกิโลกรัมไม้}$$

สำหรับปริมาณสารเคมีที่สภาวะอื่น ๆ แสดงดังตารางผนวกที่ ข1

ตารางผนวกที่ ข1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในแต่ละสภาวะการทดลอง

แอคติฟแอลดคาไล	ปริมาณสารเคมี (กรัมต่อกิโลกรัมไม้)	
	โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
15	42.86	128.58
16	45.71	137.13
17	48.57	145.71

ภาคผนวก ค

วิธีการทดสอบและการคำนวณค่าการทดสอบ

ค่าแคลปา

1. มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T 236 cm-85

2. คำจำกัดความ

ค่าแคลปา คือ จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ความเข้มข้น 0.1 N ที่ใช้ไปต่อเยื่อ 1 กรัม น้ำหนักแห้ง ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

3. อุปกรณ์และสารเคมี

3.1 เครื่องตีกระจายเยื่อ

3.2 บีกเกอร์ขนาดต่าง ๆ

3.3 ปีเปต

3.4 บิวเรต

3.5 กระบอกตวง

3.6 นาฬิกาจับเวลา

3.7 เครื่องชั่ง

3.8 สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.1000 ± 0.0005 N

3.9 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.2 ± 0.0005 N

3.10 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 0.1 N

3.11 กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 4.0 N

3.12 น้ำแป้ง ความเข้มข้นร้อยละ 0.2

3.13 น้ำกลั่น

4. วิธีการทดสอบ

4.1 ชั่งน้ำหนักเยื่อตัวอย่างอย่างละเอียดด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.001 กรัม

4.2 ปั่นแยกเยื่อตัวอย่างในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จากนั้นเทเยื่อที่ปั่นกระจายแล้วลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร

4.3 ปิเปตสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต 50 ± 0.1 มิลลิลิตรและสารละลายกรดซัลฟิวริก 50 ± 0.1 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์เชื่อมตัวอย่างพร้อม ๆ กันและพร้อมกับการปั่นกวนตลอดเวลา จากนั้นจับเวลา 10 นาที โดยก่อนการทดสอบต้องปรับสภาวะของสารละลายให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

4.4 เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที เติมสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์เพื่อหยุดปฏิกิริยา

4.5 ไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เมื่อเข้าใกล้จุดยุติ (สารละลายมีสีเหลืองอ่อน) เติมน้ำเบี่ยงเล็กน้อยเพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ จะได้สารละลายสีน้ำเงิน จากนั้นไตเตรตต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป บันทึกปริมาณของสารละลายโปแตสเซียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

4.6 สำหรับ Blank ใช้น้ำกลั่นทดสอบด้วยวิธีเช่นเดียวกันโดยไม่ต้องเติมเชื่อมตัวอย่างลงไป

5. การคำนวณค่าแคลปา

$$\text{ค่าแคลปา (K)} = (p \times f) / w$$

$$p = (b-a)N / 0.1$$

p = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของ 0.1 N ของสารละลายเปอร์แมงกาเนตที่ใช้โดยตัวอย่างที่ทดสอบ

w = น้ำหนักเป็นกรัมของเชื่อมตัวอย่างที่ใช้

f = แฟกเตอร์สำหรับการปรับค่าร้อยละ 50 ของการใช้เปอร์แมงกาเนต โดยแสดงดังตารางผนวกที่ ค1

b = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายไทโอซัลเฟตที่ใช้ไปของ Blank

a = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายไทโอซัลเฟตที่ใช้ไปของตัวอย่างทดสอบ

N = ค่าความเข้มข้นของสารละลายไทโอซัลเฟตในหน่วย N

การร่อนน้ำของเยื่อ

1. มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T227 om-94

2. อุปกรณ์

- 2.1 เครื่องวัดการร่อนน้ำ
- 2.2 กระบอทดวง
- 2.3 เทอร์มอมิเตอร์
- 2.4 น้ำ

3. วิธีการทดสอบ

- 3.1 เตรียมน้ำเยื่อให้มีปริมาณ 0.3% consistency โคนอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ต้องไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส
- 3.2 คนเยื่อที่แขวนลอยในน้ำให้กระจายกันดี แล้วเทอย่างรวดเร็วลงในกระบอทดวงของเครื่องวัดการร่อนน้ำ
- 3.3 ปิดฝาด้านบนและท่อบน เปิดฝาด้านล่าง เปิดท่อบนที่ฝาด้านบน
- 3.4 หลังจากที่ไม่ได้น้ำหยดออกมาจากท่อข้างแล้ว อ่านปริมาตรของน้ำจากกระบอทดวงที่ร่อนน้ำไว้ ซึ่งเป็นค่าแคนาเดียนฟรีเนส (canadian freeness, CF)
- 3.5 ทำการทดสอบอย่างน้อยสองครั้งและหาค่าเฉลี่ยที่ได้
- 3.6 บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยมิลลิลิตร (ml)

ความยาวเส้นใย

1. มาตรฐานการทดสอบ TAPPI 233 cm-82

2. อุปกรณ์

- 2.1 เครื่องกระจายเชื้อ
- 2.2 เครื่องแยกขนาดเส้นใย Bauer-Mcnett
- 2.3 ตะแกรงขนาด 200 mesh
- 2.4 เครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2.5 เครื่อง Image Analyzer
- 2.6 สไลด์
- 2.7 นาฬิกาจับเวลา

3. วิธีการทดสอบ

- 3.1 ชั่งเชื้อตัวอย่าง 5 กรัมน้ำหนักแห้ง แช่เชื้อทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง
- 3.2 กระจายเชื้อด้วยเครื่องกระจายเชื้อที่ 3000 รอบ แล้วเติมน้ำให้ได้ 3333 มิลลิลิตร
- 3.3 แยกขนาดเชื้อด้วยเครื่อง Bauer-Mcnett ดังวิธีต่อไปนี้
 - 3.3.1 ทำความสะอาดตะแกรงให้สะอาด
 - 3.3.2 เปิดน้ำให้ไหล overflow ผ่านเครื่องด้วยอัตราการไหล 11.335 ลิตรต่อนาที เปิดมอเตอร์
 - 3.3.3 เมื่อได้อัตราไหลของน้ำตามต้องการแล้ว เทเชื้อ 3333 มิลลิลิตร ลงใน fraction ส่วนแรก
 - 3.3.4 จับเวลาเท่ากับ 20 นาที $\pm$ 10 นาที
 - 3.3.5 หลังจากนั้นปิดน้ำและมอเตอร์ แล้วดึงจุกยางออก เก็บเชื้อที่ได้ในแต่ละ fraction (fraction 1 = 50 mesh, fraction 2 = 100 mesh, fraction 3 = 140 mesh, fraction 4 = 200 mesh, fraction 5 = 250 mesh)
- 3.4 นำเชื้อที่ได้จากข้อ 3.3.5 ไปกระจายแล้วกรองด้วยตะแกรงขนาด 200 mesh
- 3.5 นำเชื้อที่ค้างบนตะแกรง 200 mesh ไปทำแผ่นสไลด์โดยใช้แถบกาวยาสติกทาบนตะแกรง เส้นใยจะติดแถบกาวยึ้นมาแล้วนำแถบกาวยที่มีเชื้อติดอยู่ไปเข้ากรอบสไลด์

3.6 ทำตามขั้นตอนที่ 3.1 ถึง 3.5 อีกครั้ง เพื่อหาน้ำหนักเยื่อที่เก็บได้ในแต่ละ fraction โดยนำเยื่อที่ได้ในแต่ละ fraction ไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่แล้วชั่งหาน้ำหนักแห้งที่ได้ ดังนั้นจะได้น้ำหนักเยื่อที่ค้างบนตะแกรงในแต่ละ fraction

3.7 นำสไลด์ที่ได้จากข้อ 3.5 ไปเข้าเครื่อง Image Analyzer เพื่อวัดขนาดของเส้นใยและนับจำนวนเส้นใยในแต่ละระดับความยาวที่กำหนด เพื่อคำนวณหาปริมาณเส้นใยในแต่ละระดับของแต่ละ fraction

4. การคำนวณ

Weight average length by length ของแต่ละ fraction, l_i

$$l_i = \sum n l^2 / \sum n l$$

Weight average length by weight ของแต่ละ fraction, l_w

$$L_w = \sum W_i l_i / \sum W$$

เมื่อ

W_i = น้ำหนักเยื่อที่ค้างบนตะแกรงในแต่ละ fraction

W = น้ำหนักเยื่อเริ่มต้น

l = ความยาวเส้นใย

n = จำนวนเส้นใย

l_i = Weight average length by length

l_w = Weight average length by weight

น้ำหนักมาตรฐาน

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 536:1995

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องชั่งแบบละเอียดตุนิยม 4 ตำแหน่ง

3. วิธีการทดสอบ

3.1 ตัดแผ่นทดสอบมาตรฐานขนาด 200 ตารางเซนติเมตรหรือ 0.02 ตารางเมตร

3.2 นำแผ่นทดสอบมาตรฐานไปชั่งน้ำหนักที่ละแผ่น โดยใช้เครื่องชั่งแบบละเอียดตุนิยม 4 ตำแหน่ง

3.3 บันทึกค่าที่ได้

4. การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักมาตรฐาน} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นทดสอบ (กรัม)}}{\text{ขนาดกระดาษ (ตารางเมตร)}}$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยกรัมต่อตารางเมตร (g/m^2)

ความหนา

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 534:1988

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องวัดความหนา

3. วิธีการทดสอบ

1. นำแผ่นทดสอบมาตรฐานมาวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนา ครั้งละ 5 แผ่น
แผ่นละ 5 จุด โดยแต่ละจุดไม่ซ้อนทับกัน
2. บันทึกค่าที่ได้

4. การคำนวณ

$$\text{ความหนาต่อหนึ่งแผ่นทดสอบ} = \frac{\text{ค่าความหนาที่วัดได้}}{5}$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยมิลลิเมตร (mm)

ความหนาแน่นปรากฏ

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 534:1988

2. การคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่นปรากฏ} = \frac{\text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}}{\text{ความหนา (mm)}}$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m³)

ความต้านทานแรงดึงขาด

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 1924-2:1994

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง

3. วิธีการทดสอบ

- 3.1 ตัดแผ่นทดสอบมาตรฐานขนาดความกว้าง 15 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร
- 3.2 เปิดเครื่องทดสอบแล้วปรับระยะที่หนีบกระดาด้านบนให้อยู่ที่ระยะ 100 มิลลิเมตร
- 3.3 ใส่แผ่นทดสอบในเครื่องทดสอบ ปรับสกรูให้แน่น
- 3.4 ปรับค่าแรงดึงและค่าการคลาดเคลื่อนของ crosshead ให้เท่ากับศูนย์
- 3.5 กดปุ่มเพื่อเริ่มทดสอบ
- 3.6 บันทึกค่าทดสอบที่ได้ในหน่วยนิวตันต่อความกว้าง 15 มิลลิเมตร (N/15 mm)

4. การคำนวณ

$$\text{ดัชนีความต้านทานแรงดึง} = \frac{\text{ค่าแรงดึง (N/15 mm)}}{\text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}}$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยนิวตันเมตรต่อกรัม (Nm/g)

ความต้านทานแรงฉีกขาด

1. มาตรฐานการทดสอบ ISO 1974:1990

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด

3. วิธีการทดสอบ

3.1 ตัดแผ่นทดสอบมาตรฐานขนาดความยาวอย่างน้อย 53 มิลลิเมตร ความกว้าง 63 มิลลิเมตร

3.2 ทดสอบแผ่นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด โดยทำการ calibrate weight ของ pendulum ขนาด 1600 กรัม

3.3 เริ่มการทดสอบ โดยทดสอบครั้งละ 4 แผ่นทดสอบ มีระยะฉีกนำเป็นระยะ 20 มิลลิเมตร

3.4 บันทึกค่าทดสอบที่ได้ในหน่วย div

4. การคำนวณ

$$\text{ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด} = \frac{\text{ความต้านทานแรงฉีกขาด (div)} \times 68.8 \text{ gcm/div} \times 9.81 \text{ mN}}{4.3 \text{ cm} \times 4 \times 2 \times \text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}}$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยมิลลินิวตันตารางเมตรต่อกรัม (mNm²/g)

ความต้านทานแรงดันทะลุ

1. มาตรฐานการทดสอบ มาตรฐาน ISO 2758:2001

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ

3. วิธีการทดสอบ

3.1 นำแผ่นทดสอบมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ

3.2 บันทึกค่าทดสอบที่ได้ในหน่วยกิโลพาสกาล (kPa)

4. การคำนวณ

$$\text{ดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ} = \frac{\text{ความต้านทานแรงดันทะลุเฉลี่ย (kPa)}}{\text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}}$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยกิโลพาสกาลตารางเมตรต่อกรัม (kPa.m²/g)

ความต้านทานการดูดซึมน้ำ

1. มาตรฐานการทดสอบ มาตรฐาน มอก.321:2522

2. อุปกรณ์และสารเคมี

2.1 ไมโครปิเปต

2.2 นาฬิกาจับเวลา

2.3 กระจกนาฬิกา

2.4 น้ำกลั่น

3. วิธีการทดสอบ

3.1 หยดน้ำกลั่นขนาดหยด 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงบนแผ่นทดสอบ จำนวน 1 หยด

3.2 จับเวลาทันทีเมื่อน้ำกลั่นกระทบผิวแผ่นทดสอบ จนกระทั่งแผ่นทดสอบดูดซึมน้ำจนหมด ในกรณีที่ใช้เวลามากกว่า 2 นาที ให้ใช้กระจกนาฬิกาครอบหยดน้ำไว้

3.3 บันทึกผลในหน่วยวินาที

ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำ

1. มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก ASTM D5946-04

2. อุปกรณ์และสารเคมี

- 2.1 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
- 2.2 ขาตั้งกล้อง
- 2.3 ไมโครปิเปต ขนาด 100 ไมโครลิตร
- 2.4 นาฬิกาจับเวลา
- 2.5 น้ำกลั่น

3. วิธีการทดสอบ

3.1 หยดน้ำกลั่นปริมาตร 40 ไมโครลิตร ลงบนแผ่นทดสอบด้วยไมโครปิเปต โดยให้ไมโครปิเปตอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้น และเริ่มจับเวลา

3.2 ถ่ายภาพหยดน้ำบนผิวแผ่นทดสอบเมื่อเริ่มหยดน้ำและเมื่อจับเวลาครบ 30 และ 60 วินาที

3.3 บันทึกภาพถ่ายลงในคอมพิวเตอร์ และวัดค่ามูมสัมพัทธ์โดยใช้โปรแกรม AutoCAD 2006

3.4 นำค่ามูมสัมพัทธ์ทั้งมุมซ้ายและขวาของหยดน้ำมาเฉลี่ยกัน

ความต้านทานแรงกด

1. มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก ASTM D642

2. อุปกรณ์และสารเคมี

2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกด

3. วิธีการทดสอบ

3.1 วางบรรจุภัณฑ์บนแผ่นเครื่องทดสอบความต้านทานแรงกด

3.2 ทำการกดเพื่อหาค่าความต้านทานแรงกดในแนวดิ่ง โดยใช้อัตราเร็วในการกด (compression rate) เท่ากับ 30 มิลลิเมตร/นาที่ และบันทึกค่าแรงกดที่การเสียรูป 15 มิลลิเมตร

ความเสียหายของผลแอปเปิ้ล

1. จำนวนผลแอปเปิ้ลเขียวที่ชำ (percent bruise apples) (Singh and Xu, 1993)

$$\text{จำนวนผลแอปเปิ้ลเขียวที่พบการชำ (ร้อยละ)} = \frac{\text{จำนวนผลแอปเปิ้ลที่พบการชำ}}{\text{จำนวนแอปเปิ้ลทั้งหมด}} \times 100$$

2. ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอยชำของผลแอปเปิ้ลเขียวต่อผล (average number of bruises per apple)

$$\text{ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอยชำของผลแอปเปิ้ลเขียวต่อผล} = \frac{\text{จำนวนรอยชำทั้งหมด}}{\text{จำนวนแอปเปิ้ลทั้งหมด}}$$

3. ค่าเฉลี่ยของพื้นที่รอยชำของผลแอปเปิ้ลต่อผล (average bruise area per fruit)

$$\text{ค่าเฉลี่ยของพื้นที่รอยชำของผลแอปเปิ้ลต่อผล} = \frac{\text{พื้นที่รอยชำทั้งหมด}}{\text{จำนวนแอปเปิ้ลทั้งหมด}}$$

ภาคผนวก ง

ทางใบปาล์มน้ำมัน, เชื้อและกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมจากสภาวะต่าง ๆ

ทางใบปาล์มน้ำมัน, เยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมจากสถานะต่าง ๆ

1. ทางใบปาล์มน้ำมัน



(ก)



(ข)

ภาพผนวกที่ ๑1 ทางใบปาล์มน้ำมัน (ก) ก่อนลอกเปลือก (ข) ลอกเปลือกและสับเป็นชิ้น

2. เยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการต้มและคัดกรอง



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพผนวกที่ ๑2 เยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน (ก) แอคติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 15
(ข) แอคติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 16 (ค) แอคติฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 17

3. กระจกจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมจากสถานะต่าง ๆ

2.1 กระจกจากเชื้อที่ต้มในสถานะต่าง ๆ



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพผนวกที่ ง3 กระจกจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เตรียมจากเชื้อที่ต้มในสถานะต่าง ๆ

(ก) แอคทีฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 15 (ข) แอคทีฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 16

(ค) แอคทีฟแอลคาไลเท่ากับร้อยละ 17

2.2 กระจกที่เติมแคตไอออนิกสตาบิลิซเซอร์ปริมาณต่าง ๆ



(ก)

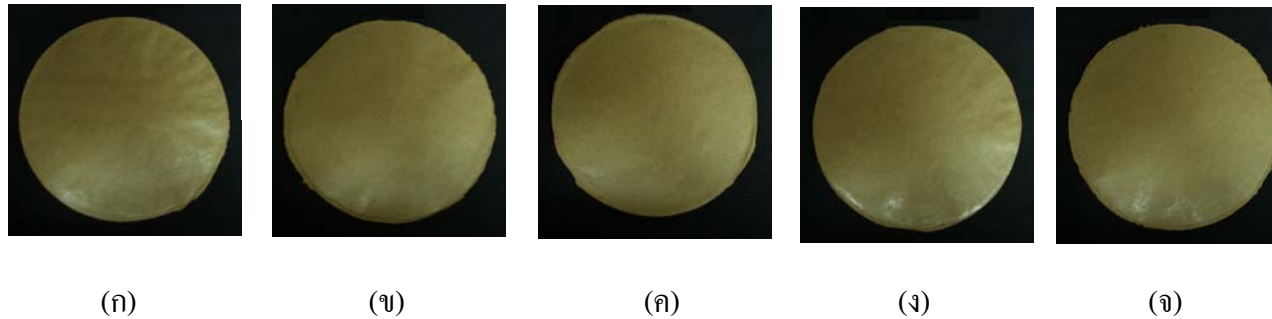
(ข)

(ค)

ภาพผนวกที่ ง4 กระจกจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เติมแคตไอออนิกสตาบิลิซเซอร์ปริมาณต่าง ๆ

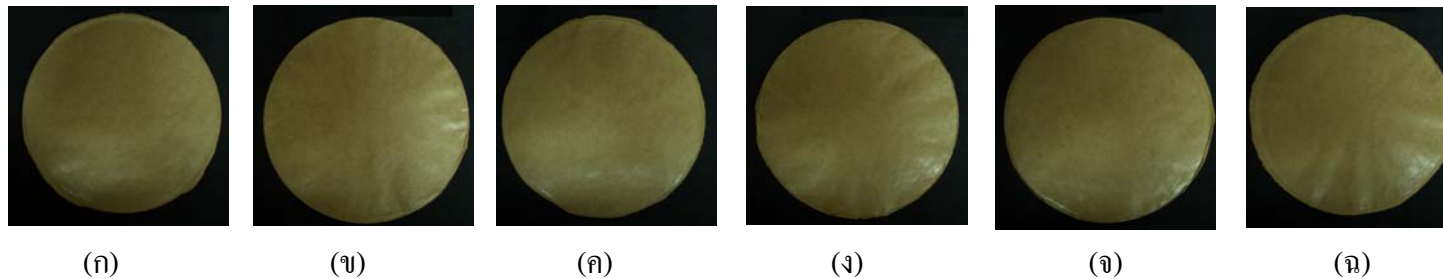
(ก) ร้อยละ 0.5 (ข) ร้อยละ 1.0 (ค) ร้อยละ 1.5

2.3 กระดาษที่เติมแอลคิลคีตินิกไดเมอร์ปริมาณต่าง ๆ



ภาพผนวกที่ ๓5 กระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เติมแอลคิลคีตินิกไดเมอร์ (ก) ร้อยละ 0.1 (ข) ร้อยละ 0.2 (ค) ร้อยละ 0.3 (ง) ร้อยละ 0.4 (จ) ร้อยละ 0.5

2.4 กระดาษที่เติมแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับแอลคิลคีตินิกไดเมอร์ปริมาณต่าง ๆ



ภาพผนวกที่ ๓6 กระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่เติมแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับแอลคิลคีตินิกไดเมอร์ (แคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ : แอลคิลคีตินิกไดเมอร์)

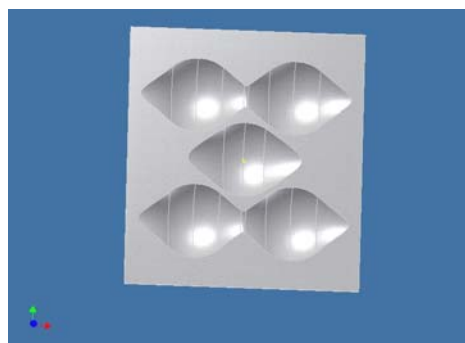
(ก) 1.0 : 0.4 (ข) 1.0 : 0.5 (ค) 1.2 : 0.4 (ง) 1.2 : 0.5 (จ) 1.4 : 0.4 (ฉ) 1.4 : 0.5

ภาคผนวก จ

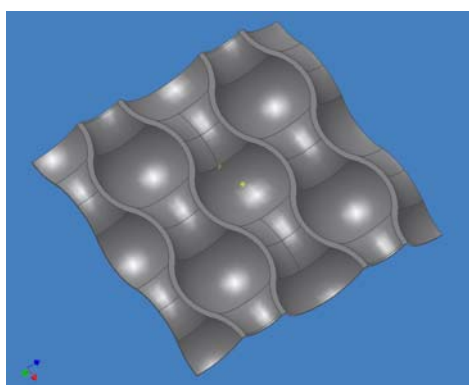
ภาพจำลองบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป

ภาพจำลองบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป

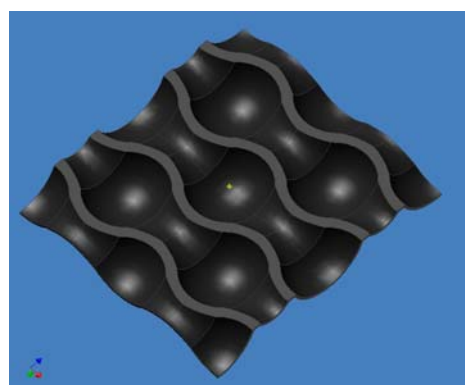
สร้างภาพจำลองบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปด้วยโปรแกรม Autodesk Inventor เพื่อใช้ประมาณพื้นที่ของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพผนวกที่ ๑1 ภาพจำลองบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป (ก) เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางไบโपाल์ม น้ำมัน (ข) เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล (ค) ถาดโฟม

ภาคผนวก จ

การทดสอบการสันตะเพื่อนของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ

การทดสอบการสั่นสะเทือนของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ

1. บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมัน



ภาพผนวกที่ จ1 บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันที่บรรจุแอปเปิ้ล

2. บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางกระดาษรีไซเคิล



ภาพผนวกที่ จ2 บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิลที่บรรจุแอปเปิ้ล

3. บรรจุภัณฑ์ประเภทถาดโฟม



ภาพผนวกที่ จ3 บรรจุภัณฑ์ประเภทถาดโฟมที่บรรจุแอปเปิ้ล

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวรตนพรพร ทรัพย์อุดม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	14 ธันวาคม 2524
สถานที่เกิด	อ.เมือง จ.อุดรดิตถ์
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-