



อิทธิพลของอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ แป้งดัดแปรประจุบวก และกรดซัลฟิวริก
ต่อการผลิตกระดาษจากต้นฟ้งแหรและธูปฤาษี

Influence of alkenyl succinic anhydride, cationic starch and sulfuric acid on the
production of paper from *Trema orientalis* (L.) Blume and *Typha angustifolia* (L.)

อุษรรมรณง ปลัดสงครนหม

Ruethamrong Paladsongkhram

วิทยนภนฐ์น้เป็นส่วนหน้หนึ่งของการศีกษาตามหลั้กฐุตรปริญญญาวิทยาศาสตร์มหาบั้ณฐิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภั้ณท์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Packaging Technology

Prince of Songkla University

2555

ลิขสิธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ อิทธิพลของอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ แป้งคัดแปรประจุบวก และกรด
ซัลฟิวริกต่อการผลิตกระดาษจากต้นฟังแหรและรูปถ่าย
ผู้เขียน นาย ฤทธิธรรมรงค์ ปลัดสงคราม
สาขาวิชา เทคโนโลยีบรรจุกัมภ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรัญญา ศรีเดช)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.ศุภชัย ภิสิทธิ์เพ็ญ)

.....กรรมการ
(ดร.เลอพงศ์ จารุพันธ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรัญญา ศรีเดช)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุกัมภ์

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ แป้งคัดแปรประจุบวก และกรดซัลฟิวริกต่อการผลิตกระดาษจากต้นฟังแหรและรูปถ่าย
ผู้เขียน	นายฤทธิรงค์ ปลัดสงคราม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ โดยการผสมเยื่อกระดาษจากไม้เนื้อแข็ง (ต้นฟังแหร) และวัชพืช (รูปถ่าย) กระดาษที่ผลิตขึ้นจะถูกปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงและความต้านทานน้ำด้วยการเติมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งคัดแปรประจุ รวมถึงการปรับสภาพพื้นผิวของกระดาษด้วยกรดซัลฟิวริกเพื่อให้กระดาษมีพื้นผิวเรียบ

เส้นใยจากต้นฟังแหรมีองค์ประกอบทางเคมี คือ เซลลูโลสร้อยละ 58.91 เถ้าร้อยละ 1.20 ลิกนินร้อยละ 16.20 และเพนโทแซนร้อยละ 7.65 ความสามารถในการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 25.32 ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.3 และ 0.0189 มิลลิเมตร ตามลำดับ ขณะที่รูปถ่ายมีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 42.61 เถ้าร้อยละ 12.56 ลิกนินร้อยละ 5.75 และเพนโทแซนร้อยละ 23.90 และความสามารถในการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 เท่ากับ 31.80 ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 19 และ 0.0418 มิลลิเมตร ตามลำดับ

การศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษจากต้นฟังแหรและรูปถ่ายด้วยกระบวนการกราฟท์ โดยใช้ระยะเวลาในการต้มเยื่อ 150 นาที และอัตราส่วนระหว่างชิ้นไม้ต่อน้ำยาเคมีเท่ากับ 1:15 พบว่า สภาวะเหมาะสมที่สุดของการต้มเยื่อกระดาษจากต้นฟังแหร คือ ค่าความเป็นด่างร้อยละ 23 ค่าความเป็นกรดร้อยละ 40 และอุณหภูมิในการผลิตเยื่อกระดาษ 157 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ผลผลิตเยื่อกระดาษร้อยละ 43.82 เลขแคลปา 16.36 และค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 43.71 Nm/g. ขณะที่สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากรูปถ่าย คือ ค่าความเป็นด่างร้อยละ 22 ค่าความเป็นกรดร้อยละ 20 และอุณหภูมิในการผลิตเยื่อกระดาษ 160 องศาเซลเซียส

ซึ่งจะให้ผลผลิตเชื้อกระดาษ เลขแคลปปา และค่าดัชนีความต้านทานแรงดึง เท่ากับร้อยละ 31.09 14.69 และ 68.92 Nm/g ตามลำดับ การผสมเชื้อกระดาษจากต้นฟังแหรและรูปฤาษีในอัตราส่วน 1:1 จะช่วยปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษให้ดีขึ้น โดยมีค่าดัชนีความต้านทานแรงดึง เท่ากับ 57.79 Nm/g ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ เท่ากับ 3.87 Kgf/cm² ค่าความต้านทานการฉีกขาด เท่ากับ 50.40 gf อัตราการดูดซับน้ำที่ 60 วินาทีเท่ากับ 99.97 g/m² และมูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระดาษที่ 0 และ 1 นาที มีค่าเท่ากับ 81.49 องศา และ 59.53 องศา ตามลำดับ

นอกจากนี้สมบัติด้านความแข็งแรงทางกล และความต้านทานน้ำของกระดาษจะถูกปรับปรุงด้วยการเติม อัลคินิล ซัลฟอนิก แอนไฮไดรด์ และแป้งตัดแปรประจุบวก โดยมีปริมาณที่เหมาะสม คือ แป้งตัดแปรประจุบวก ร้อยละ 7.5 และ อัลคินิล ซัลฟอนิก แอนไฮไดรด์ ร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักเชื้อกระดาษ ซึ่งกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงแล้วจะมีค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 98.07 Nm/g ความต้านทานแรงดันทะลุเท่ากับ 6.54 Kgf/cm² ความต้านทานการฉีกขาดเท่ากับ 60.80 gf ค่าอัตราการดูดซับน้ำที่ 60 วินาทีเท่ากับ 43.10 g/m² และมูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระดาษที่ 0 และ 1 นาที มีค่าเท่ากับ 124.38 องศา และ 121.57 องศา ตามลำดับ

การศึกษาการต้านทานการดูดซับน้ำมันของแผ่นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า แผ่นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที มีรอยคราบน้ำมันบนแผ่นกระดาษทดสอบเล็กน้อย และรอยคราบน้ำมันจะลดลงตามความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ลักษณะการแพร่กระจายของรอยคราบน้ำมันมีลักษณะเป็นวงกลม เมื่อนำแผ่นกระดาษมาปรับสภาพผิวด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 70 จะไม่มีรอยคราบน้ำมันปรากฏบนแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบ ซึ่งจะแตกต่างจากเชื้อกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกระดาษทดสอบที่ไม่ผ่านสารละลายกรดซัลฟิวริก ซึ่งมีรอยคราบน้ำมันบนแผ่นกระดาษทดสอบอย่างชัดเจน ลักษณะการแพร่กระจายของรอยคราบน้ำมันมีลักษณะรูปทรงอิสระ และมีการแพร่กระจายมากกว่า

การปรับปรุงลักษณะพื้นผิวของกระดาษสามารถทำได้โดยการจุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟิวริก ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กระดาษที่ผ่านการปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจะให้ลักษณะพื้นผิวของกระดาษที่มีความเรียบ สม่ำเสมอ และมีรูพรุนลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก

อย่างไรก็ตามน้ำหนักมาตรฐาน ความหนาและความแข็งแรงของแผ่นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุง
ลักษณะพื้นผิวด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจะมีค่าลดลง

คำสำคัญ : กระดาษ, ดัชนีพังແຫຼ, อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์, แป้งดัดแปรประจุบวก

Thesis Title Influence of alkenyl succinic anhydride, cationic starch and sulfuric acid on the production of paper from *Trema orientalis* (L.) Blume and *Typha angustifolia* (L.)
Author Mr.Ruethamrong Paladsongkhram
Major Program Packaging Technology
Academic Year 2011

ABSTRACT

This research was to make the packaging paper which produced from mixed wood pulp (Peach cedar) and non-wood pulp (Cattail). The strength properties and water repellent of paper were improved by adding alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch (CS). In addition, the paper was treated with sulfuric acid for the surface smoothness.

Chemical compositions of Peach cedar were 58.91% cellulose, 1.20% ash, 16.20% lignin and 7.65% pentosan. The solubility of Peach cedar fibers in 1% NaOH solution was 25.32%. The average of fiber length and fiber diameter were 1.3 and 0.0189 mm., respectively. The chemical compositions of Cattail were 42.61% cellulose, 12.56% ash, 5.75% lignin and 23.90% pentosan. The solubility of Cattail fibers in 1% NaOH solution was 31.80%. The average of fiber length and fiber diameter were 19 and 0.0418 mm., respectively.

The kraft pulping process of Peach cedar and Cattail were studied at the cooking time of 150 minutes and the wood/liquor ratio of 1:15. the results showed that the optimal pulping condition of Peach cedar was the effective alkali (EA) of 23%, sulfidity of 40% and cooking temperature of 157°C. The key performances of the Peach cedar pulping were the screened pulp yield of 43.82%, kappa number of 16.36 and tensile index of 43.71 Nm/g, respectively. At the same way, the optimal pulping condition of Cattail were EA of 22%, sulfidity of 20% and cooking temperature of 160°C. The key performances of the Cattail pulping were the screened pulp yield of 31.09%, kappa number of 14.69, and tensile index of 68.92 Nm/g, respectively. The strength of Peach cedar pulpsheets can be improved by mixing the wood pulps with Cattail pulps in the ratio of 1:1 (w/w). The tensile index, bursting strength and tearing strength of mixed pulpsheets were 57.79 Nm/g, 3.87 Kgf/cm² and 50.40 gf, respectively. The Cobb₆₀ test and contact angle at 0 and 1 minute of mixed pulpsheets were 99.97 g/m² and 81.49 degree and 59.53 degree, respectively.

Moreover, the strength property and water resistance of mixed pulp sheets were improved by CS and ASA. The optimal quantities of CS and ASA used to increase the strength property and water resistance of mixed pulpsheets were 7.5% and 2.5% (by OD pulp), respectively. The tensile index, bursting strength, tearing

strength, Cobb₆₀ test and contact angle at 0 and 1 minute of treated paper were 98.07 Nm/g, 6.54 Kgf/cm², 60.80 gf, 43.10g/m² and 124.38 degree and 21.57 degree, respectively.

The oil resistance of sulfuric acid treated paper was studied. It was found that sulfuric acid treated paper at the concentration of 30% and 50% for 15, 30, and 45 seconds had the small oil spots and the area of oil spot decreased with increasing the acid dipping time. The diffusion of oil spot was a circular shape. The paper treated with 70% sulfuric acid did not have the oil spot on the surface of paper. It was obviously different from untreated pulpsheets. The untreated pulpsheets had the large area of oil spot. The oil spot on the surface of untreated pulpsheets were free forming shape and higher diffusion.

The surface of paper can be improved by dipping the paper in sulfuric acid. The results showed that the surface of paper was smoother and less porosity than the untreated paper. However, the basis weight, caliper and strength property of treated paper were obviously decreased.

Keywords: Paper, Peach cedar, Alkenyl succinic anhydride, Cationic starch.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วรัญญา ศรีเดช อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือ ช่วยแก้ไข ปัญหาต่างๆ ในระหว่างการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ตที่ให้ทุนอุดหนุนและให้โอกาส ในการศึกษาค้นคว้าวิจัย บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ทุนอุดหนุน ในการค้นคว้าวิจัยรวมทั้งเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและ ความอำนวยความสะดวกในระหว่างการทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร.สุภชัย ภิรักษ์เพ็ญ ดร.เลอพงค์ จารุพันธ์ ผศ.ดร.เถวียน วิทยา และอาจารย์ทุกท่านของภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุภัณฑ์ คุณสมศักดิ์ สุดจันทร์ และคุณเกียรติศักดิ์ พิณจสกุล ที่ให้คำแนะนำคอยช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาระหว่างการทำงานวิจัย บริษัท สยาม มอติฟายด์สตาร์ช จำกัด จ.ปทุมธานี ซึ่งให้ความอนุเคราะห์แบ่งตัดแปรประจุบวก และบริษัท หลานสิน จำกัด กรุงเทพฯ ซึ่งให้ความอนุเคราะห์สารตัวอย่าง อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (18 ASA)

และท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ ด้วยความเคารพยิ่ง ที่ปลุกฝังให้ข้าพเจ้า หมั่นศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเรื่อยมา และคอยให้กำลังใจ รวมถึงคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อ ข้าพเจ้า และขอขอบคุณนวัทร เดชดวงจันทร์ คุณเรืองศักดิ์ รัตนน้อย คุณอนุสร ปลัดสงคราม ด.ช.ธนศ ปลัดสงคราม และน้องๆ ชาวเทคโนโลยีบรรจภัณฑ์ทุกท่านที่ช่วยเหลือแนะนำ และให้กำลังใจข้าพเจ้าในระหว่างที่ศึกษาในระดับปริญญาโทนี้ด้วยดีเสมอมา

ฤทธิมรณ ปลัดสงคราม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	(3)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ.....	(8)
รายการตาราง.....	(9)
รายการภาพประกอบ.....	(11)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ.....	(15)

บทที่

1. บทนำ.....	1
บทนำต้นเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	41
2. วิธีการวิจัย.....	42
วัสดุและอุปกรณ์.....	42
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	50
3. ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง.....	60
4. บทสรุป และข้อเสนอแนะ.....	101
เอกสารอ้างอิง.....	105
ภาคผนวก ก.....	112
ภาคผนวก ข.....	117
ภาคผนวก ค.....	124
ภาคผนวก ง.....	126
ภาคผนวก จ.....	128
ประวัติผู้เขียน.....	132

รายการตาราง

Table	Page
1. Length and width of some non-wood fibers.....	4
2. Chemical composition of some common non-wood fiber compared to wood fiber....	12
3. Contact angle and water wettability on surface of material.....	20
4. Chemical properties of 3 weed plants.....	29
5. Chemical composition of some common non-wood fiber.....	30
6. Some physical, mechanical and optical properties of papersheets.....	40
7. The operational variables of kraft pulping for Peach cedar.....	51
8. The operational variables of kraft pulping for Cattail.....	53
9. The amount of Cationic starch and Alkenyl succinic anhydride was adding to the pulp suspension to improve the water resistant and mechanical properties of papersheet.....	56
10. Some chemical and morphological characteristics of Peach cedar and Cattail.....	60
11. Variables of kraft pulping process for Peach cedar.....	63
12. Variables of kraft pulping process for Cattail.....	66
13. Brightness and color of papersheets made from Peach cedar pulp and Cattail pulps..	73
14. Color of pulpsheets mixing with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic Starch.....	80
15. Basis weight and thickness of sulfuric treated pulpsheets.....	81
16. Color of pulpsheets treated with sulfuric acid at different concentration.....	87
17. Basis weight and thickness of sulfuric treated papersheets.....	89
18. Color of papersheets treated with sulfuric acid at different concentration.....	94
19. Volume (ml) needed Concentration HCl and H ₂ SO ₄	117
20. The factor for correction to 50 percent permanganate consumption.....	125
21. Some mechanical and physical properties of papersheets made from Peach cedar and Cattail pulps.....	128

รายการตาราง (ต่อ)

Table		Page
22.	Some mechanical and physical properties of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.....	129
23.	Some mechanical and physical properties of sulfuric acid treated pulpsheets.....	130
24.	Some mechanical and physical properties of sulfuric acid treated papersheets.....	131

รายการภาพประกอบ

Figure	Page
1. Soft wood and hard wood of structure.....	4
2. (A) Short fiber , (B) Long fiber.....	5
3. Diameter of fiber width.....	6
4. Chemical structure of cellulose.....	10
5. Mechanical pulping process.....	14
6. Semicheical pulping process.....	14
7. Kraft process or sulphate process.....	16
8. The four classes of surface wettability types of surface based on their interaction with aqueous droplets.....	19
9. Chemical structure of Sulfuric acid.....	25
10. Peach cedar (<i>Trema orientalis</i> (L.) Blume)	27
11. Cattail (<i>Typha angustifolia</i> L.)	28
12. Reaction of ASA with cellulose (esterification) and water (hydrolysis).....	32
13. Synthesis of ASA by addition of maleic anhydride to an internal olefin.....	32
14. Chemical structure of cationic starch.....	36
15. Starch and DEC reaction of tertiary aminoalkyl starch ether.....	36
16. Hydropropyltrimethyl ammonium starch reaction.....	37
17. Peach cedar (<i>Trema orientalis</i> (L.) Blume).....	42
18. Cattail (<i>Typha angustifolia</i> L.).....	43
19. Sodium hydroxide ; NaOH.....	43
20. Sodium sulfide ; Na ₂ S.....	44
21. Alkenyl succinic anhydride; ASA.....	44
22. Cationic starch.....	45
23. Digester.....	45
24. Disintegrator.....	46

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

Figure	Page
25. Hand sheet forming machine.....	46
26. Digital balance.....	46
27. Temperature and humidity chamber.....	47
28. Hot air oven.....	47
29. Color analyzer.....	47
30. Universal testing machine.....	48
31. Contact angle meter.....	48
32. Thickness gauge.....	48
33. Elmendorf tearing strength tester.....	49
34. Magnetic Stirrer.....	49
35. Mullen bursting strength tester.....	49
36. Mixer.....	50
37. Color of Pulps from the Peach Cedar (A) and Cattail (B).....	62
38. Fiber length of Peach cedar (C) and Cattail (D).....	62
39. Relationship of pulp yield, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 40% for Peach cedar pulping.....	64
40. Relationship of kappa number, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 40% for Peach cedar pulping.....	65
41. Relationship of tensile index, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 40% for Peach cedar pulping.....	65
42. Relationship of pulp yield, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 20% for Cattail pulping.....	67
43. Relationship of kappa number, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 20% for Cattail pulping.....	68
44. Relationship of tensile index, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 40% for Cattail pulping.....	69

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

Figure	Page
45. Tensile Index of mixed pulpsheets made from Peach cedar and Cattail pulps.....	70
46. Bursting strength of mixed pulpsheets made from Peach cedar and Cattail pulps.....	70
47. Tearing strength of mixed pulpsheets made from Peach cedar and Cattail pulps.....	71
48. Cobb Test ($cobb_{60}$) of mixed pulpsheets made from Peach cedar and Cattail pulps.....	72
49. Contact angle of mixed pulpsheets made from Peach cedar and Cattail pulps for 0 and 1 minutes.....	72
50. Contact angle of mixed pulpsheets made from Peach cedar and Cattail pulps in the ratio of 50:50 for 0 and 1 minutes.....	73
51. Brightness of pulpsheets made from Peach cedar and Cattail mixed pulps.....	74
52. The appearance of mixed papersheets made from Peach cedar and Cattail pulps.....	74
53. Bursting strength of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.....	75
54. Tearing strength of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.....	76
55. Tensile Index of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.....	77
56. Water absorption of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.....	78
57. Contact angle of water on the papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.....	78
58. Contact angle of papersheets adding 7.5% caionic starch and 2.5% ASA of 0 and 1 minutes.....	79
59. Brightness of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.....	81
60. Bursting strength of sulfuric acid treated pulpsheets.....	82
61. Tearing strength of sulfuric acid treated pulpsheets.....	83

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

Figure	Page
62. Tensile Index of sulfuric acid treated pulpsheets.....	84
63. Water absorption (Cobb ₆₀) of sulfuric acid treated pulpsheets.....	85
64. Contact angle (θ) of sulfuric acid treated pulpsheets.....	86
65. Contact angle pulpsheet improved by 30% H_2SO_4 at different time (a) 15 seconds, (b) 30 seconds and (c) 45 seconds.....	86
66. Brightness of sulfuric acid treated pulpsheets.....	88
67. Bursting strength of sulfuric acid treated papersheets.....	90
68. Tearing strength of sulfuric acid treated papersheets.....	90
69. Tensile Index of sulfuric acid treated papersheets.....	91
70. Cobb Test (Cobb ₆₀) of sulfuric acid treated papersheets.....	92
71. Contact angle (θ) of sulfuric acid treated papersheets.....	93
72. Contact angle papersheets improved by 30% H_2SO_4 at different time (a) 15 seconds, (b) 30 seconds and (c) 45 seconds.....	93
73. Brightness of sulfuric acid treated papersheets.....	95
74. Characteristic of vegetable oil vapor absorption of mixed pulpsheets. (A) = Mixed pulpsheets; (B),(C),(D) = Treated pulpsheets with 30% H_2SO_4 /15, 30, 45; (E),(F),(G) = Treated pulpsheets with 50% H_2SO_4 /15, 30, 45; (H),(I),(J) = Treated pulpsheets with 70% H_2SO_4 /15, 30, 45; (K),(L),(M) = Cationic starch and ASA mixed papersheets and treated with 30% H_2SO_4 / 15, 30, 45; (N),(O),(P) = Cationic starch and ASA mixed papersheets and treated with 50% H_2SO_4 /15, 30, 45; (Q),(R),(S) = Cationic starch and ASA mixed papersheets and treated with 70% H_2SO_4 / 15, 30, 45.....	97
75. SEM of mixed pulpsheets. A = Mixed pulpsheets; B =Mixed pulpsheets with Cationic starch and ASA; C = Treated pulpsheets with 70% H_2SO_4 /15; D = Cationic starch and ASA mixed papersheets and treated with 70% H_2SO_4 /15.....	100

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

1. CA : Contact angle
2. CT : Cobb test
3. TI : Tensile index
4. TS : Tearing strength
5. BS : Bursting strength
6. EA : Effective alkali
7. S : Sulfidity
8. T : Temperature
9. YI : Yield
10. Kn : Kappa number
11. SEM : Scanning Electron Microscope

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ในปัจจุบันนี้ความต้องการใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษเพิ่มสูงขึ้น และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ (Robertson, 1993) เนื่องจากกระดาษเป็นวัสดุที่สามารถปรับปรุงให้มีคุณสมบัติตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานได้อย่างหลากหลายทั้งบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารและไม่ใช่อาหาร วัสดุกระดาษสามารถสร้างขึ้นใหม่จากการปลูกป่าทดแทน และคุณสมบัติเด่นของกระดาษคือ น้ำหนักเบา สามารถพับ หักงอ ขึ้นรูป พิมพ์ ตกแต่งได้อย่างสวยงาม ราคาถูก และสามารถรีไซเคิลได้ง่าย จึงถือว่ากระดาษเป็นวัสดุที่นำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมได้ การเพิ่มของจำนวนของประชากร ทำให้มีความต้องการใช้กระดาษและเยื่อกระดาษเพิ่มขึ้นทุกปี สำหรับในประเทศไทย การนำเข้าเยื่อกระดาษและเศษกระดาษ กระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ รวมถึงสิ่งพิมพ์ ในปี พ.ศ. 2553 มีมูลค่า 743.5, 1,395.8 และ 314.8 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับปีก่อน เพิ่มขึ้นร้อยละ 74.4, 27.4 และ 65.1 ตามลำดับ (กระทรวงพาณิชย์, 2553) จากปัญหาความต้องการเยื่อกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษที่มีสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษคือ ไม้ยูคาลิปตัส ที่ต้องใช้ระยะเวลาในการปลูกทดแทน จึงจำเป็นต้องมองหาแหล่งวัตถุดิบในการผลิตเยื่อที่มีคุณภาพเพื่อช่วยลดการนำเข้าเยื่อกระดาษจากต่างประเทศลดต้นทุนการผลิต และป้องกันปัญหาการขาดแคลนเยื่อกระดาษอันอาจเกิดขึ้นในอนาคต

ต้นพังกแห (*Trema orientalis* (L.) Blume) เป็นไม้เนื้อแข็งโตเร็ว ที่พบทั่วไปในประเทศไทย และเขตร้อนชื้น เนื้อไม้นิยมนำมาทำไม้พื้น ผลิตถ่าน ดินปืน และผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งจะให้ลักษณะเส้นใยสั้น (Orwa et al, 2009) ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการผลิตกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นการปรับปรุงเยื่อกระดาษจากต้นพังกแห เพื่อใช้เป็นกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์โดยการนำเยื่อกระดาษที่ผลิตจากต้นพังกแหมาผสมกับเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากพืชล้มลุกคือธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) ซึ่งเป็นพืชที่ขึ้นใกล้น้ำมีอยู่มากมายในพื้นที่ชุ่มน้ำทั่วประเทศและเป็นพืชโตเร็ว ให้ลักษณะเส้นใยยาว (Wachiranupap, 1999) สามารถนำมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษ ซึ่งความยาวของเส้นใย เป็นสัดส่วนผันตรงต่อความแข็งแรงของเยื่อกระดาษ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเส้นใยยาวลงในกระดาษจะทำให้ความแข็งแรงทางกลของกระดาษดีขึ้น (Hari, 2011) และเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น จึงมีการปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรง และการต้านทานน้ำของกระดาษด้วยแป้งคัดแปรประจุบวก (Cationic starch) และสารช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดู

ระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำคือ อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (Alkenyl succinic anhydride, ASA) (Hubbe, 2006) รวมถึงการปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวกระดาษด้วยกรดซัลฟิวริก

การตรวจเอกสาร

กระดาษ (Paper) และกระดาษแข็ง (Paperboard) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากเส้นใยเซลลูโลสของพืชมาสานอัดแน่นจนเป็นแผ่น กระดาษทั่วไปจะมีเส้นใยผสมอยู่ประมาณร้อยละ 70 - 95 ของน้ำหนักกระดาษ เส้นใยหรือเยื่อกระดาษ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ เยื่อใยยาวและเยื่อใยสั้นกระดาษ โดยทั่วไป กระดาษจะมีน้ำหนักมาตรฐานต่ำกว่า และมีความยืดหยุ่นมากกว่ากระดาษแข็ง ส่วนใหญ่นิยมใช้สำหรับเป็นกระดาษในการสำหรับการพิมพ์ การเขียน และเพื่อวัตถุประสงค์อื่นๆ กระดาษโดยทั่วไปจะมีความหนาต่ำกว่า 0.012 นิ้ว หรือ 12 พ้อยต์ สำหรับกระดาษแข็งจะมีความหนามากกว่า 0.012 นิ้ว หรือ 12 พ้อยต์ (Herbert, 2540) นอกจากนี้กระดาษสามารถแบ่งเป็น 4 ประเภทตามลักษณะการใช้งานคือ

1. กระดาษอนามัย เช่น กระดาษชำระ กระดาษเช็ดปาก และกระดาษเช็ดมือ
2. กระดาษและกระดาษแข็งเพื่อการบรรจุภัณฑ์ เช่น กระดาษกล่องเคลือบกระดาษกล่องไม่เคลือบ กระดาษทำลูกฟูก และกระดาษเหนียว
3. กระดาษพิมพ์และเขียน เช่น กระดาษพิมพ์ กระดาษเขียน กระดาษพิมพ์ต่อเนื่อง กระดาษถ่ายเอกสาร และกระดาษอัดสำเนา

4. กระดาษอื่นๆ เช่น กระดาษทำแผ่นยิปซัม

กระดาษสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. กระดาษคราฟท์ (Kraft paper) หรือกระดาษเหนียว หมายถึง กระดาษที่ผลิตจากเยื่อซัลเฟตหรือเยื่อคราฟท์ทั้งหมด หรือต้องมีเยื่อคราฟท์อย่างน้อยร้อยละ 80 กระดาษคราฟท์ที่ใช้งานทั่วไปมีทั้งประเภทไม่ฟอกสี (กระดาษสีน้ำตาล) สำหรับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูง และกระดาษคราฟท์ฟอกสีเพื่อความสวยงาม หรือเพื่อผลิตเป็นกระดาษสีชนิดต่างๆ

2. กระดาษเหนียวชนิดยืด (Stretchable paper) หมายถึง กระดาษเหนียวที่ปรับปรุงให้สามารถยืดตัวได้มากกว่าปกติ จึงสามารถทนทานแรงดึงได้สูงกว่ากระดาษเหนียวธรรมดา นิยมใช้ทำถุงเพื่อการขนส่ง

3. กระดาษแข็งแรงขณะเปียก (Wet strength paper) หมายถึง กระดาษเหนียวที่เติมเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde) หรือยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea formaldehyde) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษแม้ขณะเปียก นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง และใช้ทำถุงเพื่อการขนส่งที่มีโอกาสเปียกน้ำสูง

4. กระดาษกันไขมัน (Greaseproof paper) เป็นกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านการตีบดเป็นเวลานานจนเส้นใยกระจาย และบวมน้ำมากเป็นพิเศษ ทำให้กระดาษมีความหนาแน่นสูง จึงป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ดี นิยมใช้ห่อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันสูง และชิ้นส่วนอะไหล่ที่มีน้ำมันเคลือบกันสนิม

5. กระดาษกลาซีน (Glassine) ทำจากกระดาษกันไขมันที่ผ่านการรีดเรียบร้อยด้วยลูกกลิ้งภายใต้อุณหภูมิสูง ๆ ขณะกระดาษเปียกชื้น ทำให้ความหนาแน่นของกระดาษเพิ่มขึ้น และยังมีกรดซัลฟิวริก ทำให้กระดาษกลาซีนมีเนื้อแน่นและผิวเรียบมันวาว นิยมใช้ห่อผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง

6. กระดาษทิชชู (Tissue paper) หมายถึง กระดาษที่มีความนุ่มและบางเป็นพิเศษ น้ำหนักมาตรฐานประมาณ 17-30 กรัมต่อตารางเมตร นิยมใช้ห่อผลิตภัณฑ์ที่ต้องการป้องกันรอยขีดข่วน ห่อของขวัญ หรือห่อผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงเป็นการช่วยเสริมความสวยงามและความพิถีพิถัน เช่น น้ำหอม นาฬิกา และเครื่องประดับ เป็นต้น

7. กระดาษพาร์ชเมนต์ (Parchment paper) เป็นกระดาษที่ผ่านกระบวนการผลิตพิเศษ โดยการจุ่มกระดาษในกรดซัลฟิวริกเป็นเวลาสั้น ๆ แล้วนำไปล้างและทำให้เป็นกลางก่อนจะนำไปอบรีดให้แห้ง ตามมาตรฐาน ASTM D722-93 กระดาษประเภทนี้จะมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และไขมันได้เป็นอย่างดี นิยมใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ห่อขนมปังที่มีความมัน เนย และอาหารที่มีไขมัน รวมทั้งใช้ห่อไอศกรีม เนื้อสัตว์ต่างๆ ชา กาแฟ อาหารแช่แข็ง และใช้ทำกระดาษที่ต้องการความเหนียวพิเศษและผิวของกระดาษปราศจากฝุ่นเกาะ

1. องค์ประกอบหลักของกระดาษที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ

องค์ประกอบหลักของกระดาษที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเส้นใย และสารเคมี/สารเติมแต่ง

1.1 ส่วนที่เป็นเส้นใย

เยื่อที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เยื่อบริสุทธิ์ (Virgin pulp) และเยื่อรีไซเคิล (Recycled pulp or secondary pulp)

1) เยื่อบริสุทธิ์ (Virgin pulp)

เยื่อบริสุทธิ์ (Virgin pulp) เป็นเยื่อที่ได้จากการแปรรูปไม้ด้วยกรรมวิธีต่างๆ เช่น วิธีทางเคมี และวิธีทางกล เพื่อให้ได้เส้นใยสำหรับใช้ในการผลิตกระดาษ เส้นใยที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษเป็นเส้นใยที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสารคาร์โบไฮเดรต ซึ่งได้จากไม้ทุกชนิด โดยสามารถจำแนกประเภทของไม้ที่ใช้เป็นแหล่งเส้นใยในกระบวนการผลิตกระดาษ ออกเป็น 2 ประเภท คือ ไม้ยืนต้น (Wood fiber) และไม้ล้มลุก (Nonwood fiber)

1.1 เส้นใยจากไม้ยืนต้น (Wood fiber) ไม้ยืนต้นเป็นแหล่งเส้นใยที่สำคัญในกระบวนการผลิตกระดาษเนื่องจากไม้ยืนต้นให้ผลตอบแทน (Yield) ในรูปของเส้นใยสำหรับกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษที่สูง นอกจากนี้เยื่อกระดาษจากไม้ยืนต้นจะให้กระดาษที่มีคุณภาพดี มีความแข็งแรงสูง เนื้อกระดาษเรียบเนียนสามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น กระดาษพิมพ์เขียน และกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ไม้ยืนต้นที่ใช้เป็นแหล่งเส้นใยในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) ไม้เนื้ออ่อน (Soft wood)

2) ไม้เนื้อแข็ง (Hard wood)

ซึ่งลักษณะ โครงสร้างไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) และไม้เนื้อแข็ง(Hard wood) แสดงดัง Figure 1.

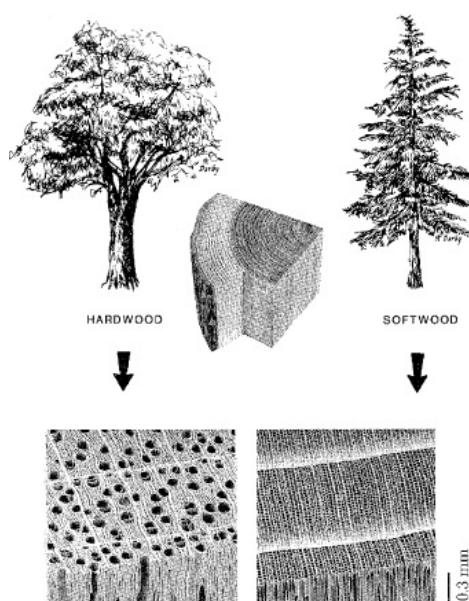


Figure 1. Soft wood and hard wood of structure.

Source : Gullichsen and Paulapuro (2000)

1) ไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) เป็นไม้ที่ขึ้นในที่สูง อากาศเย็น โด่ซ่า ไม้ผลัดใบ ใบมีลักษณะแคบ เรียวยาว เป็นรูปเข็ม (Needle) จัดเป็นไม้พวก Coniferous หรือ Gymnosperm เช่น สปรูซ (Spruce) สน (Pine) และเฟอร์ (Fir) ซึ่งจะให้เส้นใยที่มีลักษณะหยาบ มีความแข็งแรง เส้นใยจากไม้ประเภทนี้จะมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3-5 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 20-40 ไมครอน เยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากไม้ประเภทนี้จะเรียกว่า เยื่อใยขาว เมื่อนำมาผลิตเป็นกระดาษจะให้กระดาษที่มีความแข็งแรงสูง จึงนิยมนำมาใช้ผลิตกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์

2) ไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) เป็นไม้ที่ขึ้นในบริเวณเขตร้อน โตเร็ว ส่วนใหญ่เป็นไม้ผลัดใบ (Deciduous) ซึ่งใบมีลักษณะกว้าง จัดเป็นไม้พวก Angiosper เช่น ยูคาลิปตัส (Eucalyptus)

กระถินเทพา (Acacia) เบิร์ช (Birch) และแอสเพน (Aspen) เป็นต้น เส้นใยที่ได้จากไม้เหล่านี้จะมีลักษณะเล็ก ละเอียด ความแข็งแรงต่ำ มีความยาวประมาณ 1-2 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 10-20 ไมครอน เยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากไม้ประเภทนี้จะเรียกว่า เยื่อใยสั้น เมื่อนำมาผลิตเป็นกระดาษ จะให้กระดาษที่มีผิวเรียบจึงนิยมนำมาใช้ผลิตเป็นกระดาษสำหรับพิมพ์และเขียน

1.2 เส้นใยจากไม้ล้มลุก (Nonwood fiber) ไม้ยืนต้นมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาการเพาะปลูกที่ยาวนาน ทำให้เกิดการขาดแคลนวัตถุดิบที่เป็นเส้นใยสำหรับกระบวนการผลิตกระดาษ ดังนั้นจึงมีการนำเส้นใยจากไม้ประเภทอื่นมาใช้ทดแทนไม้ยืนต้น โดยเฉพาะเส้นใยจากวัชพืช และพืชทางการเกษตรต่างๆ เช่น ต้นข้าว ไม้ไผ่ ปอกระเจา ปอแก้ว และปอสา เป็นต้น

เส้นใยจากพืชทางการเกษตรสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เส้นใยที่ได้จากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ลำ ต้นข้าวโพด เป็นต้น ส่วนอีกประเภทเป็นเส้นใยที่ได้จากการเพาะปลูกพืชเส้นใยโดยตรงซึ่งจะมีส่วนประกอบของเซลล์ลูโลสในปริมาณที่สูง เช่น ปอกระเจา ปอชวา ฝ้าย ป่าน เป็นต้น ซึ่งพืชเหล่านี้มีลักษณะของเส้นใยที่คล้ายกับเส้นใยในไม้เนื้อแข็ง แต่มีความแตกต่างกันตรงที่เส้นใยของพืชเหล่านี้มีความหนาของผนังเซลล์ที่บางกว่าและมีเซลล์พาราเรนไคมา (Parenchyma) และเวสเซล (Vessel) เป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งลักษณะของเส้นใยพืชทางการเกษตร (Nonwood) ที่สำคัญ แสดงดัง Table 1.

คุณสมบัติของเส้นใย

1. ความยาวของเส้นใย (Fiber length) คือ ความยาวของเส้นใยที่ได้จากการต้มเยื่อและนำมาวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Micrometer eye piece) ขนาดความยาวของเยื่อกระดาษมี 2 ชนิดคือ

1.1 เยื่อใยสั้น (Short fiber) มีความยาวของเส้นใยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร

1.2 เยื่อใยยาว (Long fiber) มีความยาวมากกว่า 2 มิลลิเมตร

ลักษณะของเส้นใย แสดงดัง Figure 2.

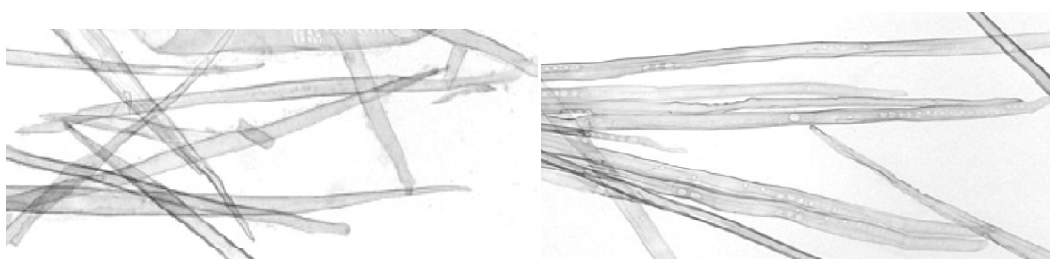


Figure 2. (A) Short fiber

(B) Long fiber

Source : Gullichsen and Paulapuro (2000)

Table 1. Length and width of some nonwood fibers.

Common name (Scientific name)	Fiber length (mm.)		Fiber width (μm)	
	Avg	(Range)	Avg	(Range)
Hemp (<i>Cannabis sativa</i>)	25	5~55	25	10~51
Ceiba, kapok tree (<i>Ceiba pentandra</i>)	19	8~30	19	10~30
Cotton lint(<i>Gossypium spp.</i>)	18	10~40	20	12~38
Kenaf (<i>Hibiscus cannabinus</i>)	5	2 ~ 6	21	14~33
Jute (<i>Corchorus caspularis</i>)	2	2~5	20	10~25
Bamboo (<i>Dendrocalamus arundinacea</i>)	2.7	1.5~4.4	14	7~27
Papyrus (<i>Cyperus papyrus</i>)	1.8	1.0~4.0	12	8~25
Sugar cane (<i>Sacchrum officiarum</i>)	1.7	0.8~2.8	20	10~34
Rice (<i>Oriza sativa</i>)	1.4	0.4~3.4	8	4~16

Source : Han (1998)

ความยาวของเยื่อจะส่งผลต่อลักษณะของกระดาษที่ต่างกันกล่าวคือ ขนาดของเยื่อใยที่สั้นจะช่วยให้กระดาษมีลักษณะเนื้อกระดาษที่แน่น สม่ำเสมอ เรียบ และมีความทึบแสงดี เนื่องจากเยื่อใยสั้นมีขนาดเล็ก สามารถแทรกตัวตามร่องหรือช่องว่างของเยื่อใยได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ ไม่สร้างความแข็งแรงให้กับกระดาษ ทำให้กระดาษขาดง่าย ส่วนกระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยยาวจะมีความแข็งแรงมากกว่า สามารถทนต่อแรงดึง แรงฉีกขาด เพราะเยื่อใยที่ยาวจะมีความสามารถในการยึดเกี่ยวกันสูง ทำให้กระดาษมีความแข็งแรง แต่ข้อเสียก็คือ เนื้อกระดาษที่ได้จะไม่เรียบเนื่องจากการกระจายตัวของเยื่อกระดาษไม่ดี เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน

2. เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (Diameter) คือ ขนาดความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรแสดงดัง Figure 3.



Figure 3. Diameter of fiber width.

Source : Gullichsen and Paulapuro (2000)

3. ค่า Slenderness ratio คือ ค่าของความยาวของเส้นใยหารด้วยเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D) แสดงถึงสมการที่ 1 เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการหัก งอ และการบิดตัวของเส้นใย ในการขึ้นรูปของเส้นใยเป็นแผ่นกระดาษ ถ้ามีค่าสูงจะทำให้กระดาษมีความแข็งแรง ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเส้นใยมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของเส้นใย (Oluwadare, 2007)

$$\text{Slenderness ratio} = \frac{\text{Fiber length}}{\text{Fiber diameter}} \quad (1)$$

การนำเส้นใยจากพืชทางการเกษตรมาในการผลิตกระดาษ

ข้อดี

1. มีปริมาณเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูง
2. มีปริมาณลิกนิน เป็นส่วนประกอบในปริมาณที่ต่ำ ซึ่งจะทำให้กระดาษที่ได้ไม่แข็งแรงต่าง
3. สามารถลดเวลาและพลังงานที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ
4. ลดการตัดไม้ทำลายป่า
5. เป็นพืชที่โตเร็วลดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ

ข้อเสีย

1. ต้องใช้ปริมาณวัตถุดิบในการผลิตจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ เพราะมีผลผลิตต่ำกว่า
2. สิ้นเปลืองพื้นที่ในการจัดเก็บวัตถุดิบ
3. มีปริมาณซิลิกา เป็นส่วนประกอบสูงกว่าเยื่อจากไม้ทำให้ขัดขวางการทำปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการฟอกสีเยื่อกระดาษ

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตกระดาษโดยใช้เยื่อผสมระหว่างเยื่อจากไม้ล้มลุก และไม้ยืนต้นที่คุณสมบัติของกระดาษไม่แตกต่างจากกระดาษที่ผลิตจากเยื่อของไม้ยืนต้นเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การใช้เยื่อกระดาษจากไม้ล้มลุกยังให้สมบัติพิเศษของกระดาษที่แตกต่างจากกระดาษที่ผลิตจากเยื่อของไม้ยืนต้น เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะลวดลายของเนื้อกระดาษ เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการพิจารณานำพืช หรือไม้มานำมาใช้ผลิตเป็นเยื่อกระดาษ นั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมหลายประการ เช่น ความยากง่าย ในการต้มย่อยเยื่อกระดาษ ปริมาณของเส้นใย แหล่งของเส้นใย รวมถึงค่าใช้จ่ายในการจัดหา รวบรวม ขนส่ง และการเก็บรักษา

2) **เยื่อรีไซเคิล (Recycled pulp or secondary pulp)** เป็นเยื่อที่ได้จากการแปรรูปกระดาษที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว หรือกระดาษที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยนำกระดาษเหล่านั้นมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อแยกเส้นใยที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษออก แล้วนำกลับมาผลิตเป็นกระดาษเพื่อใช้ประโยชน์อีกครั้ง

เมื่อกระดาษผ่านกระบวนการรีไซเคิล เยื่อกระดาษจะมีคุณภาพลดลงลงเรื่อยๆ ดังนั้นการรีไซเคิลเยื่อกระดาษจึงทำได้สูงสุด 4-6 ครั้ง การผลิตกระดาษจากเยื่อรีไซเคิลจำเป็นต้องเติมเยื่อใหม่ลงไปด้วย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับเยื่อกระดาษรีไซเคิลที่ผลิตออกมา

1.2 สารเคมี/สารเติมแต่ง

ส่วนมากเป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษซึ่งมีหลาย ชนิด สารเคมีเหล่านี้เติมลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

1.2.1. **ตัวเติม (Filler)** สารเติมแต่งชนิดนี้จะเป็นผงแร่สีขาว ใสลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านทัศนศาสตร์และปรับปรุงสมบัติด้านการพิมพ์ของกระดาษ นอกจากนี้ยังใสลงไปเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตกระดาษอีกด้วย เพราะตัวเติมส่วนมากจะมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมลงในกระดาษจะต้องมีขนาดเล็กละเอียด ตัวเติมที่ดีควรมีขนาดประมาณ 1-10 ไมครอน ผงแร่ที่มีขนาดเล็กนี้เมื่อเติมลงไปจะช่วยเพิ่มเนื้อที่ ผิวภายในกระดาษโดยเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างผงแร่กับอากาศและผงแร่กับเส้นใย ทำให้ค่าการกระเจิงแสง (Light scattering) ของกระดาษเพิ่มขึ้น กระดาษจะมีค่าความขาวสว่างและความทึบแสงเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารตัวเติมจะเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างเส้นใยกระดาษ ผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมในกระดาษ ได้แก่ ดินขาว (Kaolin clay) ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2) และแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate, $CaCO_3$) นอกจากนี้สารตัวเติมยังทำให้กระดาษมีการดูดซับหมึกได้ดีขึ้น และลดต้นทุนการผลิตกระดาษ แต่การเติมผงแร่ลงไปก็มีส่วนลดสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลงด้วย

1.2.2 **สารต้านการซึมน้ำ (Sizing agent)** สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านการต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ ทำให้กระดาษต้านทานการซึมน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากกระดาษทำจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูง กระดาษที่ไม่ได้ใส่สารต้านการซึมน้ำจึงเปียกน้ำและดูดซับน้ำได้ง่าย เช่น กระดาษชำระและกระดาษซับ การเติมสารต้านการซึมน้ำลงไปจะช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดูดระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำทำให้ลดอัตราการซึมน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษ เมื่อกระดาษสัมผัสน้ำจะไม่เปียกหรือซับน้ำในทันทีที่กระดาษที่เติมสารต้านทานการซึมน้ำ สามารถแบ่งได้ดังนี้

- 1) กระดาษที่ไม่ใส่สารด้านการซึมน้ำ (Water leaf) เช่น กระดาษชำระ เป็นต้น
- 2) กระดาษที่ใส่สารด้านการซึมน้ำเล็กน้อย มีระดับด้านทานการซึมน้ำปานกลาง (Slack sized) เช่น กระดาษพิมพ์และเขียน เป็นต้น
- 3) กระดาษที่ใส่สารด้านการซึมน้ำในปริมาณสูงมาก มีระดับด้านการซึมน้ำสูง (Hardsized) เช่น กระดาษทำถ้วย กระดาษทำกล่องนม เป็นต้น
- 4) สารด้านการซึมน้ำที่ใช้ในการทำกระดาษ ได้แก่ สารส้ม ชันสน (Alum/Rosinsize) ไช้ผึ้ง (Wax) ยางมะตอย (Asphalt) อัลคิล คีทีน ไคเมอร์ (Alkyl ketene dimmer, AKD) และอัลคิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (Alkenyl succinic anhydride, ASA) เป็นต้น

1.2.3 สารเพิ่มความเหนียว (Dry strength agent) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ โดยเฉพาะความต้านแรงดึง และความต้านแรงดันทะลุ นอกจากนี้ยังช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษและเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษแข็งซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญมากเพราะถ้าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นของกระดาษต่ำจะทำให้เกิดการแยกชั้นของ กระดาษแข็งในระหว่างการพิมพ์ได้ สารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ ได้แก่ แป้งธรรมชาติ (Native starch) แป้งดัดแปร (Modified starch) และ พอลิอะคริลเอไมด์ (Polyacrylamide) แป้งเป็นสารเพิ่มความเหนียวที่รู้จักกันดี และมีใช้มานานแล้ว ในปัจจุบันนิยมใช้ แป้งดัดแปรประจุบวก และพอลิอะคริลเอไมด์เพื่อปรับปรุงความเหนียวของกระดาษ เนื่องจากสารเหล่านี้มีประจุบวก จึงสามารถจับกับเส้นใยซึ่งมีประจุลบทำให้เพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษ ส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

1.2.4 สารฟอกขาว (Optical brightening agent ; OBA) สารฟอกขาวหรือสารเพิ่มความขาวสว่าง เป็นสารสีข้อมประเภทเรืองแสง (Fluorescent dye) เมื่อเติมลงไปจะช่วยให้กระดาษมีความขาวสว่าง (Brightness) เพิ่มมากขึ้นโดยปกติจะเติมลงในถังน้ำเยื่อ (Machine chest) หรือหน้าปั๊ม (Fan pump)

1.2.5 สารสีข้อม (Dyes) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปในการทำกระดาษ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาโทนสีของกระดาษให้คงที่และชดเชยกับสีของลิกนินซึ่งมีสีเหลือง โดยปกติถ้ากระดาษสัมผัสกับความร้อนหรือแสงอาทิตย์ ลิกนินที่หลงเหลืออยู่ในเนื้อกระดาษจะให้สีของตัวเองออกมา ทำให้กระดาษมีสีเหลือง สารสีข้อมยังใช้แต่งสีกระดาษขาวให้มีความสม่ำเสมอตามที่ต้องการ หรือเพื่อให้ดูขาวขึ้น ซึ่งเรียกว่า สีแต่ง (Tinting dye) โดยใช้สีแต่งในปริมาณน้อย ๆ เติมในส่วนผสมของน้ำเยื่อ สีที่ใช้แต่งนี้อาจเป็นสีอะไรก็ได้ แต่ในกระดาษขาวจะใช้สีม่วงหรือสีน้ำเงิน

2. องค์ประกอบทางเคมีของไม้

1.2.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆกัน ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างและให้ความแข็งแรงกับเส้นใย (แสดงดัง Figure 4.) สูตรโมเลกุลของเซลลูโลสคือ $(C_6H_{12}O_5)_n$ เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยกลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง

เซลลูโลสแบ่งตามความสามารถในการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เป็น 3 ชนิด (Anonymous, 2007) คือ

1) แอลฟา-เซลลูโลส (α -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5%

2) เบต้า-เซลลูโลส (β -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% ที่อุณหภูมิห้อง แต่สามารถตกตะกอนได้ง่ายในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด

3) แกมมา-เซลลูโลส (γ -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% และสารละลายกรด แต่สามารถตกตะกอนได้โดยใช้แอลกอฮอล์

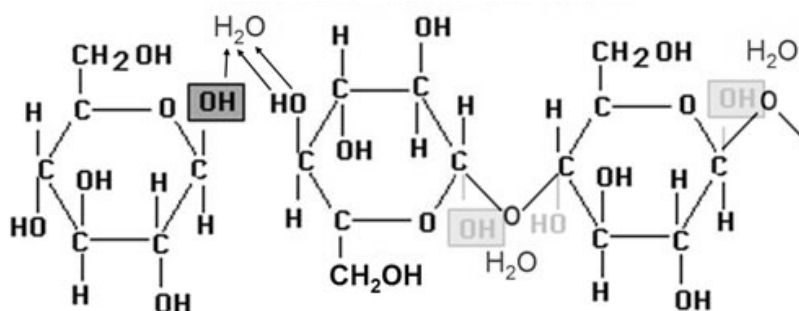


Figure 4. Chemical structure of cellulose.

Source : Anonymous (2008)

เซลลูโลสในพืชจะพบอยู่ร่วมกับลิกนิน เพนโตแซน กัม แทนนิน ไขมันและสารที่ทำให้เกิดสี เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสโดยโครงสร้างของเซลลูโลสจะจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็น

ผลึกสูง อุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว นอกจากนี้ยังพบว่าเซลลูโลสมีความสามารถในการละลายต่ำ

เซลลูโลสในธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้จากการวัดค่าความหนืด

1.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลส เป็นพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะคล้ายเซลลูโลส แต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส อะราบิโนส ไซโลส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิกและกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลส จะพบอยู่ร่วมกับสารอื่นๆ ในเนื้อเยื่อของพืช เช่น ลิกนิน และเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสที่พบในไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ได้แก่ ไซเลน (Xylan) และเฮมิเซลลูโลสที่พบในไม้เนื้ออ่อน (Softwood) ได้แก่ กลูโคแมนแนน (Glucomannan) โดยเฮมิเซลลูโลส จะทำหน้าที่เป็นสารยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกันและให้ความแข็งแรงกับเส้นใย พบมากใน แกรบ ช้างข้าวโพด เฮกโซเซน

1.2.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินทำหน้าที่เป็นสารยึดหรือทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมประสานระหว่างเส้นใยและให้ความแข็งแรงกับเนื้อเยื่อ (Tissue) ของไม้ และช่วยทำให้กระดามีความทึบแสงดีเหมาะสำหรับกระดามที่ใช้พิมพ์สองด้าน แต่ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ จะต้องกำจัดลิกนินออกไปเนื่องจากเป็นสาเหตุทำให้ กระดามมีสีคล้ำ และมีความแข็งแรงลดต่ำลง

ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสารอะโรมาติก พบมากในส่วนของมิดเดิลลามิลา (Middle lamella) ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น ลิกนินมีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) มีอุณหภูมิที่อ่อนตัวอยู่ในช่วง 120-200 องศาเซลเซียส เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในเชื้อราลิกนิน ไม้ที่มีอายุมากจะมีปริมาณลิกนินสูง

1.2.4 สารแทรก (Extractive)

สารแทรก(Extractive) คือ สารที่ไม่ใช่องค์ประกอบของโครงสร้างของผนังเซลล์ อาจเป็นกรดหรือเป็นกลางก็ได้ มีตั้งแต่ สารไอโซพรีน เทอร์ปีน เฮดเตอโรไซคลิก กรดเรซิน

สารโพลีฟีนอลต่างๆ และอัลคาลอยด์ เป็นต้น และเป็นสารประกอบที่เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด สารประกอบเหล่านี้ จะทำให้พืชแต่ละชนิดมีสี กลิ่น รส และความแข็งที่แตกต่างกันออกไป สารแทรกแบ่งออกเป็นสารแทรกที่ละลายน้ำได้ กับสารแทรกที่ละลายในตัวละลายอินทรีย์ สารแทรกหลักที่ประกอบอยู่ในพืชจะเป็นพวกสารระเหย (Volatile compounds) กรดไขมัน (Fatty acids) ไข (Waxes) และ Polysaccharides และสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน (Aromatic compounds) เช่น Tannins Stilbenes Flavonoid เป็นต้น

การใช้ประโยชน์ของสารแทรกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของสารนั้น เช่น สารแทรกพวกเทอร์ปีนอาจใช้เป็นตัวทำละลาย ทำน้ำหอม ยา สบู่ กาว และใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ พวกโพลีฟีนอลใช้ในการฟอกหนัง สังกะสีกระดาษ ส่วนพวกอัลคา-ลอยด์ ส่วนใหญ่มีประโยชน์ทางเภสัชกรรม

โดยทั่วไปในพืชประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 40-45 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 20-25 ลิกนินร้อยละ 20-30 และสารแทรกร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืช ดินที่พืชเจริญเติบโต สภาพแวดล้อม เช่น อากาศ อุณหภูมิ เป็นต้น ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยจากไม้และพืชทางการเกษตร แสดงดัง Table 2.

Table 2. Chemical composition of some common non-wood fiber compared to wood fiber.

Fiber type	Chemical composition (% total)				
	Cellulose	Lignin	Pentosan	Ash	Silica
Rice	28~48	12~16	23~28	15~20	9~14
Sugar	32~48	19~24	27~32	1.5~5	0.7~35
Bamboo	26~43	21~31	15~26	1.7~5	0.7
Agricultural crops					
Esparto	33~38	17~19	27~32	6~8	-
Bagasse	32~48	19~24	27~32	1.5~5	0.7~35
Reed	44~46	22~24	20	3	3
Hemp	57~77	9~13	14~17	0.8	-
Kenaf	37~49	15~21	18~24	2 ~ 4	-
Jute	41~48	21~24	18~22	0.8	-
Softwood					
Coniferous	40~45	26~34	7~14	< 1	-
Hardwood					
Deciduous	38~49	23~30	19~26	< 1	-

Source : Han (1998)

จากองค์ประกอบทางเคมีในพืชทางการเกษตรและไม้สามารถสรุปได้ว่า พืชทางการเกษตรจะมีส่วนประกอบของลิกนินที่ต่ำกว่าเส้นใยในไม้ แต่จะมีปริมาณเพนโทเซนหรือเฮมิเซลลูโลสในปริมาณที่สูงกว่า เส้นใยจากกกจะมีลักษณะทางเคมีที่ใกล้เคียงกับเส้นใยไม้เนื้ออ่อน แต่ในเส้นใยกกจะมีปริมาณเส้นใยและซิลิกา ที่มากกว่า

1.3 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

การผลิตเยื่อกระดาษ มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการแยกเส้นใยออกมาจากองค์ประกอบอื่นๆ ของไม้ การผลิตเยื่อสามารถทำได้หลายวิธีทั้งโดยวิธีเคมี หรือวิธีกล ในบางกรณีอาจจะต้องนำไปผ่านการฟอกสีเยื่อให้ขาว ในการผลิตเยื่อจึงประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ คือวิธีผลิตเยื่อ และการฟอกเยื่อ ซึ่งวิธีการผลิตเยื่อกระดาษจะมีผลต่อคุณสมบัติของเยื่อกระดาษ ถึงแม้ว่าวัตถุดิบจะเป็นชนิดเดียวกัน แต่กระบวนการผลิตแตกต่างกันจะมีผลทำให้คุณสมบัติของเยื่อกระดาษที่ได้ต่างกัน กระดาษที่ผลิตใช้กันในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด โดยแต่ละชนิดจะมีลักษณะและคุณสมบัติ แตกต่างกัน คุณภาพและราคาก็แตกต่างกัน ดังนั้นในการผลิตกระดาษจะต้องพิจารณาชนิดของเยื่อที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตด้วยเพื่อจะได้คุณสมบัติของกระดาษตามต้องการ การผลิตเยื่อกระดาษสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามกรรมวิธีในการผลิต คือ

1.3.1 กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical pulping process)

การผลิตเยื่อเชิงกลเป็นการใช้พลังงานกลและพลังงานความร้อนในการแยกเส้นใยออกมา โดยไม้ที่นำมาใช้ในการผลิตเยื่ออาจเป็นท่อน (Log) ที่มีความยาว 1.2 เมตร หรือ 4 ฟุต หรืออาจใช้ชิ้นไม้ที่มีขนาดสม่ำเสมอยาวประมาณ 15-20 มิลลิเมตร โดยท่อนไม้จะถูกนำมากดอัดกับผิวของหินขัด (Grindstone) ขณะเดียวกันจะมีการพ่นไอน้ำไปยังผิวของหินขัดเพื่อช่วยให้เส้นใยแยกตัวออกจากผิวของหินขัดได้ง่ายขึ้น แสดงดัง Figure 5 อีกวิธีหนึ่งที่โรงงานอุตสาหกรรมนิยมทำกันมากคือ การใช้เครื่องบดที่มีลักษณะเป็นจานบด (Disc refiner) โดยชิ้นไม้จะถูกตัดให้มีขนาดสม่ำเสมอ และถูกส่งผ่านเข้าไประหว่างจานบดที่หมุนด้วยความเร็วเพื่อย่อยชิ้นไม้ให้เป็นเส้นใยเดี่ยว เรียกว่าเยื่อไม้บด (Groundwood pulp) และ/หรือ เยื่อเชิงกล (Mechanical pulp) ผลผลิตของเยื่อที่ได้จากการผลิตด้วยวิธีนี้จะสูงถึงร้อยละ 90-95 เส้นใยที่ได้จะมีองค์ประกอบของลิกนิน (Lignin) ลักษณะของเส้นใยที่ได้จะมีทั้งเส้นใยเดี่ยว และเส้นใยฝอย ซึ่งเกิดจากการฉีกขาดของเส้นใยและกลุ่มของเส้นใย กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเชิงกลจะมีเนื้อหยาบ มีความทึบแสง (Opacity) สูง มีความแข็งแรงต่ำ ส่วนใหญ่เยื่อเชิงกลจะผลิตจากไม้เนื้ออ่อนประเภทสน

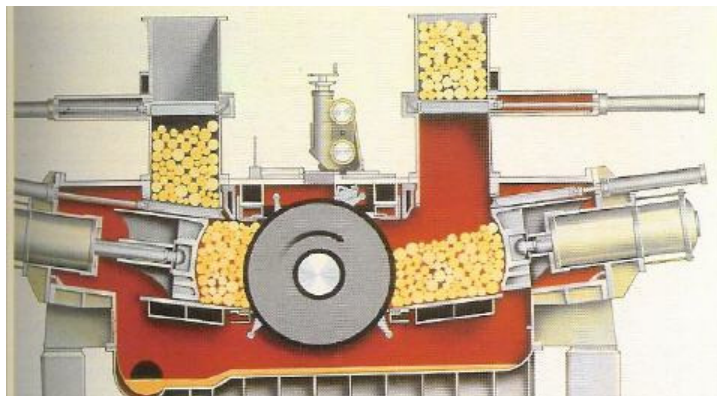


Figure 5. Mechanical pulping process.

Source : <http://chempatec-auhorn.com/stockprep/index.html> (28 July 2010)

1.3.2 กระบวนการผลิตเยื่อกึ่งเคมี (Semicheical pulping process)

การผลิตเยื่อกึ่งเคมีเป็นการนำสารเคมีและพลังงานกลมาใช้ในการแยกเส้นใย แสดงดัง Figure 6 โดยชิ้นไม้ จะถูกนำไปผ่านสารเคมีบางชนิดซึ่งจะทำให้การเชื่อมประสานกันของเส้นใยในเนื้อไม้อ่อนตัวลงเพื่อสะดวกในการแยกเส้นใยออกจากกันในขั้นตอนการใช้พลังงานกล ผลผลิตของเยื่อไม้ที่ผลิตด้วยวิธีนี้จะได้ผลผลิตมีค่าประมาณร้อยละ 70-80 สำหรับเยื่อไม้ที่ไม่ผ่านการฟอกสี เยื่อประเภทนี้ยังคงมีปริมาณลิกนินอยู่บ้างแต่น้อยกว่าเยื่อเชิงกล ดังนั้นเยื่อที่ได้จากวิธีนี้ เมื่อนำไปผลิตเป็นกระดาษจะได้กระดาษที่มีความแข็งแรงมากกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อเชิงกล เยื่อประเภทนี้นิยมนำมาผลิตเป็นกระดาษพิมพ์เขียนและกระดาษสมุด



Figure 6. Semicheical pulping process.

Source: http://individual.utoronto.ca/abdel_rahman/paper/images/processpic.jpg (28 July 2010)

1.3.3 กระบวนการผลิตเยื่อเคมี (Chemical pulping process)

การผลิตเยื่อประเภทนี้จะใช้พลังงานเคมี และพลังงานความร้อนในการทำให้เส้นใยแยกตัวออกจากกัน สารเคมีละลายสารในเนื้อไม้ที่เป็นตัวยึดให้เส้นใยกับเส้นใยที่จับตัวกันไว้ ออกมา วิธีการนี้เป็น วิธีการนำวัตถุดิบมาต้มกับสารเคมีความเข้มข้นสูงในหม้อต้มเยื่อ (Digester) เนื่องจากกระบวนการนี้มีเซลลูโลสสูง มีลิกนินและสารอินทรีย์อื่นๆ ปนอยู่น้อยมากมีความเหนียวสูง เนื่องจากสารเคมีและความร้อนจะละลายลิกนินออกไปเหลือไว้แต่เยื่อ เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีปริมาณน้อย (ประมาณร้อยละ 45-65) กระบวนการนี้แบ่งออกตามประเภทสารเคมีที่ใช้ได้ดังนี้

1) กระบวนการด่าง (Alkaline pulping process) เป็นกระบวนการที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการแยกเส้นใยออกมา วิธีนี้จะใช้เวลาในการต้มเยื่อนาน ผลผลิตและคุณภาพของเยื่อที่ได้ค่อนข้างต่ำ เยื่อที่ได้มีสีคล้ำ การฟอกเยื่อจะทำให้ลำบาก กระบวนการนี้นิยมใช้กับไม้เบญจพรรณต่างๆ และไม้ล้มลุก

2) กระบวนการซัลไฟต์ (Sulfite pulping process) จะใช้กรดซัลฟิวรัส (Sulphurous acid) หรือสารไบซัลไฟต์ (Bisulphite) ผสมกับซันไม้แล้วให้ความร้อนประมาณ 140 องศาเซลเซียส ลิกนินจะถูกแยกออกมา หลังจากนั้นเยื่อจะถูกนำไปล้างด้วยน้ำ แล้วถูกนำไปฟอกสี ด้วยสารเคมีก่อนที่จะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษต่อไป วิธีการนี้จะให้เยื่อซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ แต่ความแข็งแรงของเยื่อที่ได้จะไม่เทียบเท่าเยื่อที่ได้จากกระบวนการคราฟท์ โดยทั่วไปจะไม่ใช้กระบวนการซัลไฟต์กับไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน เช่น ไม้สน เนื่องจากไม้สนมีสารฟีนอลิก (Phenolic compound)

3) กระบวนการคราฟท์ (Kraft process or sulphate process) จะใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2S) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อละลายลิกนินออกมา เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีคุณภาพสูง กระบวนการคราฟท์สามารถใช้ได้กับไม้ทุกชนิด ซึ่งจะให้คุณภาพของเส้นใยที่แตกต่างกัน เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้เมื่อยังไม่ผ่านการฟอกสีจะมีสีคล้ำแต่สามารถฟอกสีได้ง่ายกว่าเยื่อที่ผลิตจากกระบวนการ โซดา นอกจากนี้สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อยังสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้อีกซึ่งกระบวนการคราฟท์ แสดงดัง

Figure 7

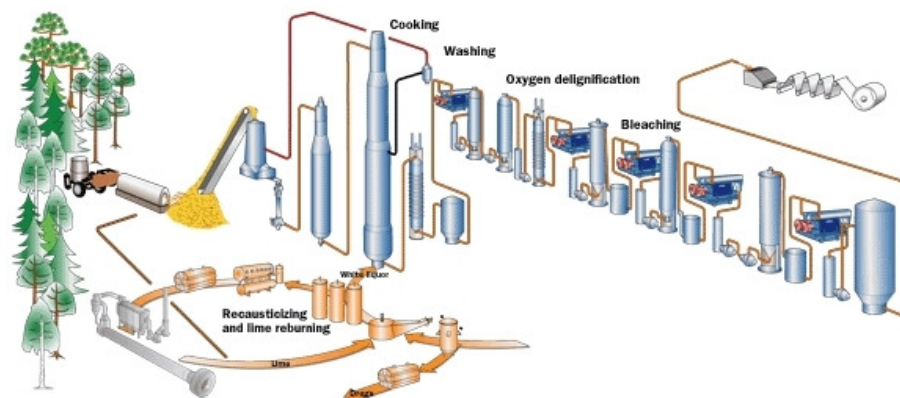


Figure 7. Kraft process or sulphate process.

Source: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pulp_mill_2.jpg (28 July 2010)

1.4 คุณสมบัติของกระดาษ

ผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ต่างๆที่ทำจากกระดาษมีมากมายหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดย่อมต้องการกระดาษที่มีสมบัติแตกต่างกันไป สมบัติของกระดาษเป็นตัวกำหนดประเภทของกระดาษให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน และยังเป็นตัวบ่งชี้ความเหมือน และความแตกต่างกันของกระดาษแต่ละชนิด สมบัติของกระดาษสามารถแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

1.4.1 สมบัติทางโครงสร้างของกระดาษ (Structural properties) กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งมีได้มีเนื้อเดียวกัน และมีความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษไม่เท่ากันตลอดทั้งแผ่นทั้งนี้เพราะโครงสร้างของกระดาษประกอบขึ้นจากการสานตัวของเส้นใยและมีสารเติมแต่งอุดช่องว่าง ระหว่างเส้นใยลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษจึงเป็นตัวบ่งชี้การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเนื้อกระดาษ เช่น การกระจายตัวของเส้นใย ทิศทางการเรียงตัวในแนวขนานเครื่องของเส้นใย ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติอื่น ๆ ของกระดาษด้วย ซึ่งประกอบด้วย

1. น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight หรือ Gramage) หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เก็บในสถานะอุณหภูมิและความชื้นที่ได้มีการควบคุมตามมาตรฐานกำหนด น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นประโยชน์ในด้านการควบคุมการผลิตกระดาษ โดยจะควบคุมปริมาณเนื้อกระดาษที่ใช้ หน่วยที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็น กรัมต่อตารางเมตรตามระบบสากลทั่วไป แต่บางประเทศจะมีการใช้เป็นหน่วยปอนด์ต่อตารางฟุต หรือปอนด์ต่อ 3,000 ตารางฟุต ในปัจจุบันมาตรฐาน ISO และ Tappi ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบกระดาษให้ใช้คำว่า “แกรมเมจ” (gramage) แทนน้ำหนักมาตรฐาน

2. ความหนา (Caliper) หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด หน่วยที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาจะระบุเป็น

นิ้ว (Inches) หรือมิล (Mil) ในระบบ SI จะวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร (Micrometer) แต่ส่วนใหญ่จะวัดเป็นมิลลิเมตร (Millimeter) ความหนาของกระดาษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ น้ำหนักมาตรฐาน แรงกดของลูกขณะเดินแผ่น การบดเยื่อและชนิดของเยื่อที่ใช้ความหนาแน่นปกติได้จากความสัมพันธ์ระหว่างมวลต่อปริมาตร สำหรับในวงการกระดาษจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและน้ำหนักมาตรฐานได้เป็นความหนาแน่นเสมือน (Apparent density) ซึ่งจะเป็นการเทียบหาความหนาแน่นของกระดาษที่ระดับน้ำหนักมาตรฐานเดียวกัน อาจมีความหนาไม่เท่ากัน

3. ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (Formation) หมายถึงความแตกต่างของปริมาณเส้นใยที่เกี่ยวข้องประสานหรือเกิดพันธะเคมีต่อกัน ในแต่ละบริเวณของกระดาษ นับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับกระดาษสำหรับพิมพ์ เมื่อนำกระดาษที่มีเนื้อไม่สม่ำเสมอ (Wild formation) ไปพิมพ์จะให้คุณสมบัติที่ไม่ดี ความไม่สม่ำเสมอของเนื้อกระดาษเกิดขึ้นจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ เช่น เส้นใย สารเติมแต่งต่าง ๆ ที่นำมาผสมกันมีความแตกต่างกันในขนาดรูปร่าง ความหนาแน่น ดัชนีหักเหของแสงและองค์ประกอบทางเคมี

4. ความแตกต่างของผิวกระดาษสองด้าน (Two-sidedness) สองด้านของผิวกระดาษที่กล่าวถึง คือ ด้านตะแกรง (Wire side, WS) และด้านสักหลาด (Felt side, FS) ด้านตะแกรง หมายถึง ด้านที่อยู่ตรงข้ามกับด้านตะแกรงหรือเป็นด้านบนเวลาทำแผ่นกระดาษ ที่จริงแล้วควรเรียกว่า ด้านบน (Top side) มากกว่า ในส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นจะมีการสั่นสะเทือนของเครื่องเพื่อไม่ให้เส้นใยจับกลุ่มกันและในส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นนี้ น้ำเยื่อจะเริ่มก่อตัวเป็นแผ่นด้วยกระบวนการกรองและมีการแยกน้ำออก

1.4.2 สมบัติเชิงกลของกระดาษ (Mechanical properties)

สมบัติเชิงกลของกระดาษเป็นตัวบ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้งานของกระดาษ ซึ่งเป็นสิ่งที่ระบุว่ากระดาษมีความทนทานต่อการใช้งาน (Durability) และความสามารถในการต้านทานแรงที่มากกระทำในลักษณะต่าง ๆ เช่น แรงดึง แรงเฉือน แรงบิด และแรงที่ทำให้กระดาษโค้งงอ ซึ่งแรงเหล่านี้เกิดขึ้นในหลายขั้นตอนตั้งแต่การผลิตกระดาษ การแปรรูปจนถึงการใช้งาน กระดาษจะตอบสนองแรงที่มากกระทำเหล่านี้ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกระดาษ ซึ่งสามารถวัดออกมาได้ในรูปของสมบัติเชิงกลได้ ดังนั้นในการเลือกกระดาษเพื่อนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงสมบัติทางเชิงกลของกระดาษด้วย ซึ่งประกอบด้วย

1. ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) คือความแข็งแรงต่อแรงเส้นที่กระทำต่อกระดาษในแนวยาว (Tensile stress) ความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษเป็นสมบัติที่สำคัญของกระดาษในระบบการพิมพ์ป้อนม้วนมากกว่ากระดาษในระบบการพิมพ์แบบป้อนแผ่น เนื่องจากการพิมพ์ในระบบป้อนม้วนกระดาษต้องได้รับแรงดึงตลอดเวลา หากกระดาษที่ใช้มีความแข็งแรงต่อ

แรงดึงน้อยอาจทำให้เกิดการขาดของกระดาษในระหว่างการพิมพ์ได้ นอกจากนี้กระดาษที่ต้องนำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ก็จำเป็นต้องมีความแข็งแรงต่อแรงดึงด้วย เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปอาจมีแรงดึงกระทำต่อกระดาษไม่มากนัก

2. ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength) หมายถึงความต้านทานต่อแรงที่กระทำกับพื้นที่หนึ่งตารางเมตรของกระดาษในแนวตั้งฉากก่อนที่กระดาษจะเกิดการขาดทะลุ มีหน่วยเป็นกิโลปาสคาล (kPa) หรือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรหรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว

3. ความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด (Tearing strength) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกระทำซึ่งจะทำให้ชั้นทดสอบหนึ่งชั้นขาดออกจากรอยฉีกนำเดิม หน่วยที่วัดได้เป็นมิลลินิวตัน (mN) หรือ กรัม (gram) กระดาษที่จำเป็นต้องตรวจสอบความต้านแรงฉีกขาดได้แก่ กระดาษทำถุง กระดาษพิมพ์และเขียน

4. ความแข็งตึง (Stiffness) หมายถึง ความต้านทานของกระดาษต่อการโค้งงอที่เกิดจากน้ำหนักของตัวเอง หรือแรงอื่นที่กระทำต่อกระดาษนั้น

5. ความแข็งแรงต่อการพับ (Folding strength) หมายถึงการพับไปพับมา (Double folds) ของชั้นทดสอบจนกระทั่งชั้นทดสอบขาดออกจากกันภายใต้แรงที่กำหนด หน่วยที่ใช้เป็นจำนวนครั้ง หรือ log 10 ค่าความทนทานต่อการพับขาดในแนวขนานเครื่องสูงกว่าแนวขวางเครื่อง ความทนต่อการพับขาดจะเป็นการวัดที่รวมความต้านแรงดึง การยืดตัว การแยกชั้นของกระดาษ และความต้านทานแรงกด ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงอายุการใช้งานของกระดาษ

1.4.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ (Optical properties)

สมบัติด้านทัศนศาสตร์ หมายถึง สมบัติทางแสงของกระดาษที่ปรากฏแก่สายตา ได้แก่ ความขาวสว่าง (Brightness) ความทึบแสง (Opacity) ความมันวาว (Gloss) สมบัติเหล่านี้ของกระดาษไม่สามารถวัดค่าออกมาโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์อย่างเดียวได้แต่จะต้องประกอบด้วยหลักการทางจิตวิทยาร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งต้องอาศัยดวงตาในการสังเกตและสมองตัดสินใจรับรู้ในการมองเห็นอีกครั้ง ดังนั้นในการวัดค่าเกี่ยวกับสมบัติทางทัศนศาสตร์จึงต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนในการพิจารณา คือ แหล่งกำเนิดแสง กระดาษที่ถูกล้อมสว่าง และดวงตามนุษย์หรือเครื่องวัดแสงที่ทำหน้าที่สังเกตการณ์และแปลผลของการสะท้อนแสงหรือการส่องผ่านของแสงที่กระทำต่อกระดาษ

1.4.4 สมบัติด้านการขวางกั้นและด้านการต้านทานของกระดาษ (Barrier and Resistance properties)

สมบัติด้านการขวางกั้น (Barrier properties) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการป้องกันการซึมผ่านของสารใดๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ ส่วนสมบัติด้านการต้านทาน

(Resistance properties) หมายถึงความสามารถของกระดาษในการต้านทานการซึมผ่านของสารใดๆ เข้าสู่เนื้อกระดาษ

กระดาษพิมพ์และเขียน (Writing and printing paper) กระดาษบรรจุภัณฑ์ (Packaging paper) และกระดาษดูดซับ (Absorption paper) ต้องมีคุณสมบัติด้านการต้านทาน เช่น กระดาษออฟเซต กระดาษทำถุง ต้องมีความต้านทานการซึมน้ำสูง และกระดาษกันไขมัน (Greaseproof paper) ต้องมีการต้านทานการดูดซึมไขมันได้ดี สำหรับกระดาษบรรจุภัณฑ์ต้องมีสมบัติด้านการกีดกันสูงต่อของเหลว ไขมัน ไอ้ น้ำ ก๊าซ ไขมัน และออกซิเจน เพื่อป้องกันความเสียหายของสินค้าที่บรรจุอยู่ภายใน

ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำสามารถวัดได้จาก มุมสัมผัส (Contact angle) คือ มุมที่เกิดจากเส้นสัมผัสกับผิวของของไหลบริเวณที่ติดกับผิวกระดาษตัดกับเส้นสัมผัสกับผิวกระดาษซึ่งมุมสัมผัสเป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงเชื่อมแน่นระหว่างโมเลกุลของของเหลวกับแรงยึดติดระหว่างโมเลกุลของของเหลวกับโมเลกุลของแข็ง

การวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angle) ระหว่างหยดน้ำ กับผิวกระดาษ ซึ่งมุมสัมผัสมากหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับค่าแรงตึงผิว หยดน้ำจะมีมุมสัมผัสหรือรูปทรงเป็นหยดอย่างชัดเจน เมื่อค่าแรงตึงผิวของน้ำมีค่ามากกว่าค่าแรงตึงผิวของกระดาษ แต่เมื่อค่าแรงตึงผิวของน้ำมีค่าเท่ากันหรือต่ำกว่าค่าแรงตึงผิวของกระดาษ น้ำที่เคยควบแน่นเป็นหยดน้ำก็จะเกิดเป็นฟิล์มแผ่นเรียบ ซึมเข้าไปในกระดาษซึ่งลักษณะแสดงดัง Figure 8

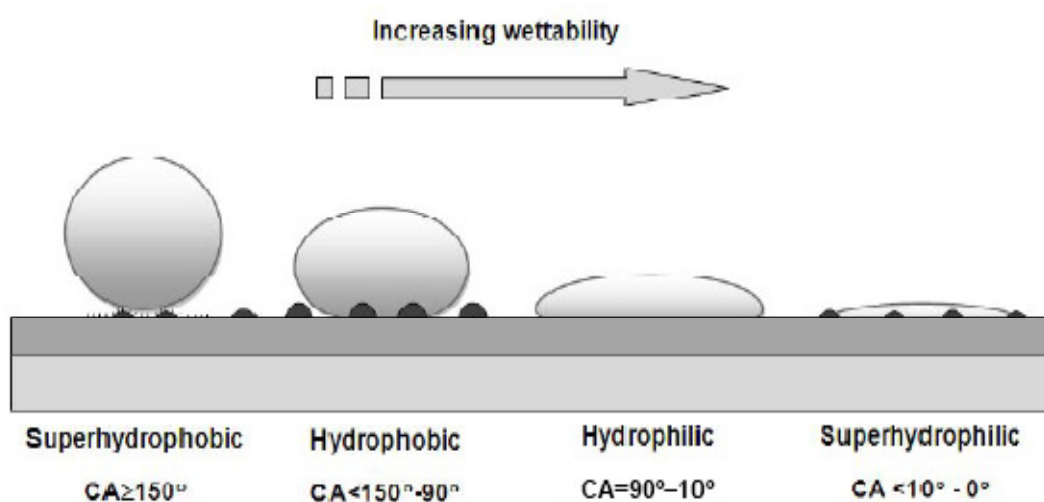


Figure 8. The four classes of surface wettability types of surface based on their interaction with aqueous droplets.

Source: Koch.*et.al*, (2008).

ค่าความสามารถในการเปียกจากมุมสัมผัสบนผิวหน้าของวัสดุ หากหยดน้ำกับวัสดุ มีมุมสัมผัสระหว่างผิวน้อยกว่า $0-10^\circ$ แสดงว่า ผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำอย่างยิ่งยวดหรือเป็นผิวซูเปอร์ไฮโดรฟิลิก (Super-hydrophilic) ถ้าหยดน้ำกับวัสดุมีมุมสัมผัสระหว่างผิวน้อยกว่า 90° แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำหรือเป็นผิวไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) ถ้ามุมสัมผัสระหว่างผิวอยู่ระหว่าง $90 - 150^\circ$ แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือผิวไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) และหากหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่ามุมสัมผัสระหว่างผิวดั้งแต่ $150 - 180^\circ$ แสดงว่าผิววัสดุนั้นมีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวดหรือผิวซูเปอร์ไฮโดรโฟบิก (Super-hydrophobic) กระดาษจะมีความต้านทานน้ำได้ดีมาก แสดงดัง Table 3 และ Figure 8

Table 3. Contact angle and water wettability on surface of material.

Contact angle (θ)	Wetting ability
Close to 0°	Super-hydrophilic
$10 - 30^\circ$	Highly hydrophilic
Up to 90°	Less strongly hydrophilic
$>90^\circ$	Hydrophobic
As high as 150°	Highly hydrophobic
$150-180^\circ$	Super-hydrophobic

Source : Shafrin and Zisman (1960).

การดูดซับน้ำ (Adsorption) หมายถึง ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษในพื้นที่ 1 ตารางเมตรภายในระยะเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็น กรัมต่อตารางเมตร มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของกระดาษและผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป ถ้าผลิตภัณฑ์มีการค่าดูดซับน้ำ (Adsorption) มากจะมีผลให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษและผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปลดลง วิธีทดสอบเรียกว่า "คอบบ์ เทส" (Cobb Test) เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือ Cobb sizing tester โดยมีมาตรฐานที่ใช้ทดสอบได้แก่ ISO 535, ASTM D 2045, TAPPI T 411

1.5 การปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษ

การปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษ เพื่อเพิ่มความสามารถของกระดาษให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกระดาษพิมพ์และเขียน (Writing and printing

paper) กระดาษบรรจุภัณฑ์ (Packaging paper) และกระดาษดูดซับ (Absorption paper) ในปัจจุบัน การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษบรรจุภัณฑ์ มี 3 วิธี คือ

- 1) การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษด้วยวิธีทางกล
- 2) การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษด้วยวิธีทางเคมี
- 3) การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษด้วยวิธีการใช้เทคโนโลยี

1.5.1 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยวิธีทางกล

1) การบดเยื่อ (Refining หรือ Beating) การบดเยื่อเป็นขั้นตอนหนึ่งในการเตรียมน้ำเยื่อเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเยื่อในการผลิตกระดาษ การบดเยื่อในอดีตจะใช้เครื่องจักรที่มีลักษณะเป็นครก และสาก (Mortar and hammer) จึงเรียกขั้นตอนนี้ว่า การบดเยื่อ (Beating) ในปัจจุบัน มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยในการบดเยื่อเพิ่มมากขึ้น จึงเรียกขั้นตอนนี้ว่า Refining ส่วนเครื่องจักรที่ใช้บดเยื่อจะเรียกว่า Refiner

การบดเยื่อเป็นกระบวนการแปลงสภาพทางกล (Mechanical modification) ของเยื่อในการเตรียมน้ำเยื่อเพื่อขึ้นรูปกระดาษ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกลโดยการบดหรือการปั่นจะส่งผลให้โครงสร้างผนังเซลล์ (Cell wall) เกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้มีผลต่อคุณภาพกระดาษทั้งทางกลและทางแสง (Optical properties) โดยการบดเยื่อจะส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความทึบแสง (Opacity) แต่จะทำให้การระบายน้ำในขั้นตอนการขึ้นรูปกระดาษช้าลง การบดเยื่อลักษณะนี้จะใช้พลังงานสูงมาก (Whitter,R.L., 1970)

การบดเยื่อสำหรับเยื่อที่ผ่านกระบวนการเตรียมทางเคมี (Chemical pulps) จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างไป เนื่องจากลิกนิน (Lignin) ในเยื่อได้ถูกกำจัดหรือแปลงสภาพให้มีคุณสมบัติที่ชอบน้ำมากขึ้น (Hydrophilic) ส่งผลให้เส้นใยสามารถที่จะอุ้มน้ำฟองตัว และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ทำให้เกิดการรวมตัวของเยื่อกระดาษที่แข็งแรงและหนาแน่นมากขึ้นจากแรง Capillary forces และ Pressing ดังนั้นการบดเยื่อที่ผ่านการเตรียมเยื่อทางเคมีจะส่งผลให้การเชื่อมติดกันของเยื่อดีขึ้น ความแข็งแรงของกระดาษที่ผ่านการขึ้นรูปจะสูงขึ้น ขณะที่จะลดการทึบแสงของกระดาษลง (Noland,W.J., 1970)

เครื่องบดเยื่อ (Refiner หรือ Beater) มีอยู่หลายประเภท เช่น Valley beater, Lampen mill, Jokro mill, Escher Wyss Klein refiner, PFI mill โดยที่ PFI mill จัดเป็นเครื่องบดเยื่อในระดับห้องปฏิบัติการที่นิยมใช้มากที่สุด วิธีการวัดและการประเมินระดับการบดเยื่อจะนิยมวัดด้วยดัชนี “Freeness” โดยเป็นการวัดการต้านทานต่อการไหลของน้ำเยื่อภายใต้สภาวะที่กำหนดในหน่วยปริมาตร เช่น มิลลิเมตร ซึ่งนิยมใช้วิธีของ Canadian Standard Freeness (CFS) และ Schoper

Riegler (°SR) การวัด“Freeness” โดยวิธีดังกล่าว อุตสาหกรรมนิยมใช้ในขั้นตอนการผลิตเยื่อเพื่อควบคุมคุณภาพการบดเยื่อก่อนที่จะมีการขึ้นรูปกระดาษ (วรัญญ ศรีเดช และคณะ, 2552)

นอกจากการวัดการวัดFreeness แล้วอาจวัดอัตราการไหลของเยื่อ (Drainage time) ตามวิธี T221 on-88 ของมาตรฐาน TAPPI Standard เป็นวิธีวัดความหนืดของน้ำเยื่อ (Slowness)

2) การขัดผิวกระดาษ (Supercalendering) กระดาษที่ผ่านการรีดผิวและ/หรือผ่านการเคลือบผิวมาแล้วเป็นกระดาษที่มีความเรียบและความมันวาวในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามเพื่อเพิ่มความมันวาวของกระดาษให้มากยิ่งขึ้น กระดาษจะถูกนำมาขัดผิวโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “ซูเปอร์คาร์แลนเดอร์ (Supercalender) ” ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ต่อแยกออกจากเครื่องผลิตกระดาษ อุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วยลูกกลิ้งขัดผิวจำนวนมาก มีลักษณะเป็นกระบอกเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง โดยมีลูกกลิ้งที่ทำจากเหล็กกล้าขัดมันเรียงสลับกับลูกกลิ้งที่หุ้มด้วยกระดาษหรือฟ้าย เมื่อสายของแผ่นกระดาษผ่านเข้าไประหว่างลูกกลิ้งแรงกดอัดระหว่างลูกกลิ้งที่กระดาษได้รับมีผลให้เส้นใยเซลลูโลสอัดตัวกันได้มากขึ้น และทำให้กระดาษมีผิวที่เรียบมากขึ้น อันเป็นผลทำให้ความมันวาวของกระดาษเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่กระดาษได้รับการขัดผิว

3) การเคลือบผิวกระดาษ (Coating) เป็นขั้นตอนสำหรับเคลือบผิวกระดาษด้วยสารตัวเติม โดยมีสารยึดตัวเติมให้ติดบนผิวกระดาษได้ การเคลือบผิวจะช่วยให้กระดาษมีผิวหน้าที่เรียบขึ้นทำให้สภาพพิมพ์ได้ของกระดาษดีขึ้น กระดาษที่ผ่านการเคลือบผิวมีชื่อเรียกว่า “กระดาษเคลือบผิว (Coated paper) ” ซึ่งการเคลือบผิวอาจเป็นแบบ เคลือบด้านเดียว (1-Side coating) หรือ เคลือบสองด้าน (2-Side coating) ของกระดาษ และอาจ เคลือบด้าน (Matt coating) หรือ เคลือบมัน (Gloss coating) ก็ได้ ทั้งนี้การเคลือบด้านหรือเคลือบมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่ใช้ ความมันวาวของกระดาษที่นำมาเคลือบผิว และวิธีการที่ใช้ในการเคลือบผิวเป็นสำคัญ ทั้งนี้อุปกรณ์ในการเคลือบผิวกระดาษอาจเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องผลิตกระดาษหรือแยกออกมาต่างหากก็ได้ สารเคลือบผิว (Surface coating) เป็นวัสดุที่เมื่อทำการเคลือบลงบนพื้นผิวใดๆ แล้ว จะเกิดเป็นฟิล์มที่มีการยึดเกาะกันระหว่างสารเคลือบผิวด้วยกันเองและระหว่างสารเคลือบผิวกับพื้นผิวที่ทำการเคลือบ วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว คือ

1. เพื่อป้องกันพื้นผิววัสดุจากมลภาวะต่างๆ สารเคลือบผิวจะช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุที่ถูกเคลือบมีความทนทานต่ออากาศ น้ำและสารเคมีต่างๆ นอกจากนี้ สารเคลือบผิวยังช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุมีความแข็งแรงขึ้น ทนทานต่อการขัดสีได้มากขึ้น และอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

2. เพื่อตกแต่งให้ดูสวยงาม ความสวยงามของวัสดุหลังการเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิวอาจมาจากสี (Color) จากความมันเงา (Gloss) จากลวดลายตกแต่ง (Texture) หรือจากความสว่าง (Brightening) หรือจากทั้งหมดรวมกัน

3. เพื่อจุดประสงค์พิเศษ เช่น การปรับปรุงกระดาษเพื่อต้องการให้กระดาษมีคุณสมบัติของการป้องกันจุลินทรีย์ เชื้อรา หรือทำความสะอาดด้วยตัวเอง เป็นต้น

การใช้สารเคลือบผิวโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมกระดาษ การเคลือบจะช่วยปรับปรุงสมบัติกระดาษทั้งทางกายภาพและทางกล โดยจะทำให้มีความเรียบและสม่ำเสมอมากขึ้น ทั้งยังช่วยปรับปรุงสมบัติในการต้านทานไขมันหรือน้ำ และเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษอีกด้วย

ส่วนประกอบของสารเคลือบผิว มีดังนี้ (อรอุยา สรวารี, 2539)

1. สารยึด (Binders) เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญที่สุดของสารเคลือบผิว ทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางเกาะติดแนบกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ (Substrate) และทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบอื่นๆ ของสารเคลือบผิวเข้าไว้ด้วยกัน สารยึดส่วนใหญ่เป็นสารพวกรезิน (Resin) การทำให้สารเคลือบผิวติดแน่น และมีความสวยงามทนทาน ขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมี และทางฟิสิกส์ของสารยึด โดยสารยึดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า สารเคลือบชนิดนี้ควรใช้งานประเภทใด

2. ตัวทำละลาย (Solvents) เนื่องจากสมบัติความเป็นของเหลวของตัวทำละลายจึงทำให้สารเคลือบผิวมีความสามารถในการไหล และระเหยไปหลังจากที่ส่วนประกอบอื่นๆ ทำปฏิกิริยาจนกลายเป็นฟิล์ม ตัวทำละลายมีหน้าที่ปรับความหนืดและช่วยในการผสมส่วนประกอบต่างๆ สารเคลือบผิวที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมีมากมายหลายชนิด ซึ่งการเลือกใช้ตัวทำละลายจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ความสามารถในการละลายสารยึด
- กรรมวิธีในการเคลือบ
- อัตราความเร็วในการแห้งของฟิล์มสารเคลือบผิว
- ความปลอดภัย ตัวอย่างเช่น สารที่ระเหยออกมาต้องไม่เป็นมลพิษต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

3. ผงสี (Pigments) เป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดเฉดสีและความทึบแสง ช่วยในการปิดบังพื้นผิว นอกจากนี้ในบางกรณียังทำหน้าที่พิเศษอื่นๆ เช่น ต้านทานการกัดกร่อนหรือการทนไฟ อย่างไรก็ตาม สารเคลือบผิวบางประเภทไม่จำเป็นต้องใส่ผงสี เช่น วาร์นิช (Varnish) และ แล็กเกอร์ (Lacquer)

4. สารเติมแต่ง (Additives) คือ สารผสมพิเศษที่ใส่ลงไปปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของสารเคลือบผิว ประกอบด้วย

- พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) ช่วยลดความเปราะและเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มสารเคลือบผิวเมื่อแห้ง เพื่อให้สามารถทนแรงกระแทกและแรงดัดโค้ง

- สารป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ (Bacteriacide) ส่วนใหญ่ใช้ในสีน้ำพลาสติก เพื่อป้องกันไม่ให้สีภายในภาชนะบรรจุเสื่อมคุณภาพเนื่องจากแบคทีเรีย
- สารป้องกันเชื้อรา (Fungicide) ใช้ในสีน้ำพลาสติกและสีน้ำมันเป็นหลัก เพื่อป้องกันการขยายพันธุ์และการเจริญเติบโตของสาหร่ายและเชื้อรา
- สารกันการเกิดฟอง (Defoamer) ใช้ป้องกันการเกิดฟองอากาศทั้งในระหว่างขั้นตอนการผลิต การบรรจุและการใช้งาน
- สารข้น (Thickener) เพื่อปรับความข้นหนืดของสารเคลือบขณะขั้นตอนการใช้งาน
- สารเร่งแห้ง (Driers) ช่วยเร่งการแห้งของสารเคลือบผิว

1.5.2 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยวิธีทางเคมี

1) ความต้านทานการซึมน้ำ (Water resistance) เป็นการปรับปรุงสมบัติของกระดาษให้มีความสามารถต้านทานการซึมผ่านของ ของเหลวได้ดีขึ้น และเพิ่มสมบัติเชิงฟิสิกส์บางประการ ซึ่งแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ

1.1 Internal sizing เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษในขั้นตอนเตรียมน้ำเยื่อ เป็นการใส่สารเคมีลงไปในน้ำเยื่อ เช่น Rosin ทำให้มุมสัมผัสของ ของเหลวเพิ่มขึ้น จึงต้านการซึมผ่านของน้ำได้ดี

1.2 Surface sizing เป็นการเคลือบผิวของกระดาษด้วยสารพอลิเมอร์ เช่น แป้ง หรือ สตาร์ท จะเติมลงไปหลังการขึ้นรูปแผ่นกระดาษแล้ว โดยส่วนใหญ่ มักใช้อนุภาคแป้งเข้าไปอุดร่องรอยพื้นผิวที่ไม่เรียบ การปรับปรุงสมบัติกระดาษทางเคมี ให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ วัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงผิวกระดาษให้เรียบและแข็งแรงขึ้น เพื่อให้เหมาะกับงานเขียน และงานพิมพ์ ช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษ ความเข้มข้นของสารละลายแป้งที่ใช้ในการฉาบผิวกระดาษอาจอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2-15% ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องฉาบผิวที่ใช้และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Maurer, 2001) โดยทั่วไปแล้วแป้งดิบตามธรรมชาติมีความหนืดสูงมากเกินไปสำหรับใช้ในขั้นตอนการฉาบผิวกระดาษ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดความหนืดของแป้งลงก่อนที่จะนำไปใช้ได้ ซึ่งการลดความหนืดของแป้งนี้อาจทำได้ที่โรงงานผลิตกระดาษเองโดยการใช้เอนไซม์หรือใช้ความร้อนร่วมกับสารเคมี (Thermochemical conversion) อย่างไรก็ดีแป้งที่ลดความหนืดด้วยการลดขนาดโมเลกุลนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดการคืนตัว หรือที่เรียกว่า รีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ซึ่งหมายถึง การที่โมเลกุลแป้งกลับมาจับตัวกันเอง ทำให้ประสิทธิภาพในการเป็นสารเคลือบผิวของแป้งลดลง อีกทางเลือกหนึ่งที่ได้ก็คือ การซื้อแป้งที่ผ่านการตัดแปรแล้วจากโรงงานผู้ผลิตแป้งตัดแปร

แป้งออกซิไดซ์เป็นแป้งดัดแปรที่นิยมนำมาใช้ในการเคลือบผิวกระดาษมากที่สุดชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีสมบัติในการเกิดฟิล์มได้ดีและมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชั่นต่ำ อย่างไรก็ตามมีการนำกระดาษที่เคลือบด้วยแป้งออกซิไดซ์มาตีเป็นเยื่อและนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled) แป้งออกซิไดซ์ซึ่งมีประจุลบจะผลักผงแร่ (Mineral filler) ให้เกิดการกระจาย ทั้งผงแร่และแป้งออกซิไดซ์เองจะไม่สามารถเกาะติดบนเส้นใยของเยื่อกระดาษได้ ทำให้เกิดการสูญเสียผงแร่และแป้งออกซิไดซ์ไปในน้ำทิ้งของโรงงานเกิดปัญหาหมอกภาวะได้ แป้งดัดแปรที่มีการเติมหมู่ฟังก์ชันเข้าไปในโมเลกุลแป้ง เช่น แป้งอะซิเตท แป้งไฮดรอกซีเอทิล และแป้งแคโทอิกอนิกเริ่มเป็นที่นิยมสำหรับใช้เป็นสารเคลือบผิวกระดาษมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแป้งกลุ่มนี้เกิดรีโทรเกรเดชั่นต่ำและไม่ทำให้เกิดการกระจายตัวหรือสูญเสียผงแร่ถ้ามีการนำกระดาษกลับมาผลิตเป็นเยื่อใช้ใหม่

1.3.3 การปรับสภาพผิวด้วยกรดซัลฟิวริก

กรดซัลฟิวริก หรือกรดกำมะถัน (Sulfuric acid) มีสูตรโมเลกุลคือ H_2SO_4 (แสดงดัง Figure 9) เป็นกรดแร่ (Mineral acid) อย่างแรง ละลายได้ในน้ำที่ทุกความเข้มข้น ค้นพบโดย จาเบียร์ เฮย์ยัน (Jabir Ibn Hayyan) นักเคมีชาวอาหรับ พบว่า กรดซัลฟิวริกมีประโยชน์มากมายและเป็นสารเคมีที่มีการผลิตมากที่สุด รองจากน้ำ ในปี ค.ศ. 2001 ทั่วโลกผลิตรวมกันประมาณ 165 ล้านตัน ซึ่งมีมูลค่าประมาณ 320,000 ล้านบาท ประโยชน์ของกรดกำมะถันได้แก่ ใช้ในการผลิตปุ๋ย กระบวนการผลิตแร่ การสังเคราะห์เคมี การกำจัดน้ำเสีย ใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่และกระบวนการกลั่นน้ำมัน กรดกำมะถันมีชื่อเดิมคือ "Zayt al-Zaj" หรือ "ออยล์ ออฟ วิตริโอล" (Oil of vitriol)

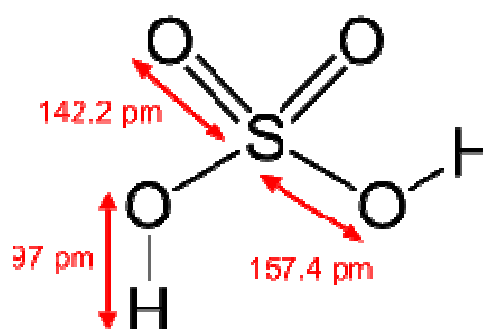


Figure 9. Chemical structure of Sulfuric acid (H_2SO_4)

Source: <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%A5%E0%B9%8C> : Sulfuric-acid-2D-dimensions.svg (28 July 2010)

การผลิตกรดซัลฟิวริกบริสุทธิ์ (ความเข้มข้น 100%) จะมีการสูญเสีย SO_3 ที่จุดเดือด โดยกรดซัลฟิวริกจะมีจุดเดือดอยู่ที่ 290 องศาเซลเซียส น้ำหนักโมเลกุล 98.08 มีสมบัติเป็นของเหลวใสคล้ายน้ำมัน ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็นกรดแก่ ขณะที่กรดซัลฟิวริกที่ระดับความเข้มข้น 98% จะมีเสถียรภาพมากในการเก็บรักษา รูปแบบผลิตภัณฑ์นี้ของกรดจะถูกเรียกว่า กรดซัลฟิวริก เข้มข้น (Concentrated sulfuric acid) ผลิตภัณฑ์ของกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นอื่นมีดังนี้ :

33.5% เรียก กรดแบตเตอรี่ (Battery acid) ใช้ใน แบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรด

62.18% เรียก แชมเบอร์ (Chamber) หรือ กรดปุ๋ย (Fertilizer acid)

77.67% เรียก โทเวอร์ (Tower) หรือ กรดโกลเวอร์ (Glover acid)

98.07% เรียก กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) เข้มข้น (Concentrated)

กรดซัลฟิวริกนิยมใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม สี ย้อม กระดาษ หนักร ส่วนประกอบของสารทำความสะอาด ฯลฯ และจัดเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ.2535

1.3.1 การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษด้วยการใช้เทคโนโลยี

ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว นวัตกรรมทางด้านบรรจุภัณฑ์ก็มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเทคโนโลยี เช่นการนำนาโนเทคโนโลยีมาให้กับกระดาษเพื่อปรับปรุงให้กระดาษมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ประโยชน์มากขึ้น การนำนาโนเทคโนโลยี มาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษ เช่น Plasma treatment : Inductively coupled plasma (ICP) using SF_6 gas (Sulphur hexafluoride)

พลาสมา(Plasma) หมายถึง ก๊าซที่ถูกไอออไนซ์ (Ionized gas) ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงมากๆ ทำให้เกิดประจุบวกและลบในปริมาณที่เท่าๆกัน โดยการให้ไฟฟ้ากับก๊าซที่เป็นกลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอมและทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอม กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากซึ่งจะทำให้ก๊าซแตกตัวและกลายเป็นพลาสมาในที่สุด ข้อดีของ Plasma treatment คือใช้ระยะเวลาสั้น เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะพื้นผิวของวัสดุในระดับนาโนเมตร เชื่อมต่อโมเลกุลแบบสายโซ่เข้าด้วยกัน คุณสมบัติของกระดาษที่ผ่านกระบวนการ Plasma treatment จะป้องกันน้ำได้ ป้องกันฝุ่นได้ ไม่ติดไฟ และเป็นฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น

อิสรา สระมาลา (2551) พัฒนากากระดาษที่สามารถกันน้ำได้โดยเคลือบผิวของกระดาษด้วยอนุภาคนาโน โดยใช้อนุภาคนาโนของสาร PTFE หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า "เทฟลอน"

มาบดเป็นผงให้มีขนาดประมาณ 10 นาโนเมตร แล้วนำไปเคลือบบนกระดาษสาจนทำให้มีคุณสมบัติกันน้ำแต่ยังมีความแข็งแรงเช่นเดียวกับกระดาษทั่วไป

ชัยญารัตน์ จิฎกานัญญ์ และคณะ (2552) ศึกษาการเคลือบพลาสติกบนกระดาษเพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานน้ำของกระดาษแข็งเพื่อใช้งานทางการบรรจุในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ โดยการประยุกต์ด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีนเทฟลูออไรด์ (SF6) โดยใช้เครื่องผลิตพลาสติกความดันต่ำระบบ ICP ผลการทดลองพบว่า เวลาในการประยุกต์พลาสติกที่ 60 วินาที เป็นสภาวะพลาสติกที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการต้านทานน้ำ/น้ำมันของกระดาษได้ดีที่สุด

3. วัตถุประสงค์ในการผลิตเยื่อ และกระดาษ ในงานวิจัย

3.1 ต้นพังกแห (*Trema orientalis* (L.) Blume)

ต้นพังกแห เป็นพืชในตระกูล *Trema* ชนิด *Orientalis* มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Trema orientalis* (L.) Bl. และชื่อสามัญว่า Peach cedar ต้นพังกแหมีชื่อเรียกแตกต่างกันหลายชื่อ เช่น พังกแห (Phang rae) พังกแหใหญ่ (Phang krae yai ;Yala) กีกะปะซา (Kikabasa ; Malay Narathiwat) ขางปอยป่า (Khang poi pa) ปอแฮก (Po haek ; Northern) ปะดัง (Padang ;Karen Mae Hongson) และ ปอ (Po ; ChiangMai) เป็นต้น ต้นพังกแหจะพบกระจายในเขตร้อนชื้นของแอฟริกา และเอเชีย จนถึงออสเตรเลีย ชอบขึ้นตามที่โล่ง และชายป่าดงดิบ ที่ระดับความสูง 600 -1,500 เมตร ในประเทศไทย ต้นพังกแห พบได้โดยทั่วไป โดยเฉพาะในเขตภาคใต้แถบชายป่าเนินภูเขา และตามพื้นที่โล่ง เช่น นครศรีธรรมราช พัทลุง ระนอง ตรัง พังงา และยะลา เป็นต้น

รูปร่างและลักษณะของต้นพังกแห เป็นไม้ต้นขนาดกลาง สูง 4-12 เมตร กิ่งอ่อนมีขนปกคลุม ใบ เดี่ยว รูปไข่แกมรูปใบหอก กว้าง 3-5 ซม. ยาว 7-12 ซม. ปลาย ใบเรียวแหลม โคนใบไม่สมมาตร ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อยละเอียด ใบแก่มีสีเหลือง ดอก สีน้ำตาลแกมเขียว ขนาดเล็ก ออกเป็นช่อสั้นๆ เป็นกระจุกที่ซอกใบ ดอกเพศผู้และดอกเพศเมียอยู่บนต้นเดียวกัน ดอกย่อยมีกลีบรวม 5 กลีบ ผล ลักษณะกลม ขนาด 1-2 มิลลิเมตร เมื่อสุก มีสีดำ มีเมล็ดเดียว แสดงดัง Figure 11.



Figure 10. Peach cedar (*Trema orientalis* (L.) Blume)

Source: Orwa et al. (2009)

ในปัจจุบันนิยมปลูกต้นพื้งแหรเป็นไม้เบิกนำฟื้นคืนสภาพป่าในแหล่งป่าเสื่อมโทรม ให้ความชุ่มชื้น เนื่องจากเป็นไม้โตเร็ว มีเนื้อไม้อ่อน ไม้ทนทาน ปลูกชอบ ใช้ทำสิ่งก่อสร้างชั่วคราว เนื้อไม้นิยมนำมาทำไม้พิน ผลิตถ่าน ดินปืน และผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งจะให้ลักษณะเส้นใยสั้น (Orwa *et al*, 2009)

3.2 ฐูปถายี (*Typha angustifolia* L.)

ฐูปถายี เป็นพืชในตระกูล *Typhaceae* ชนิด *Angustifolia* มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Typha angustifolia* L. และชื่อสามัญว่า Cattail ฐูปถายีมีชื่อเรียกแตกต่างกันหลายชื่อ เช่น ฐูปถายี กกช้าง กกฐูป เฟื้อง หญ้ากกช้าง หญ้าปรือ หญ้าเฟื้อง เฟื่อ (กลาง) ปรือ (ใต้) หญ้าสลาบหลวง (เหนือ) และ หญ้าสลาบหลวง เป็นต้น แสดงดัง Figure 11

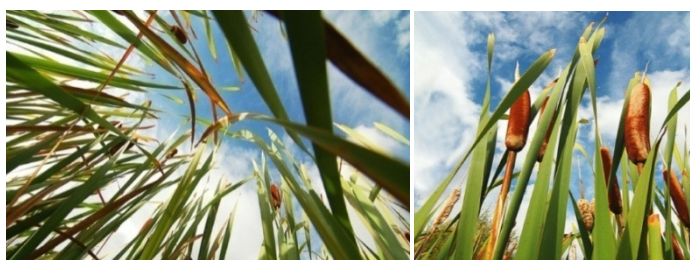


Figure 11. Cattail (*Typha angustifolia* L.)

Source: Nikon D50/ Tokina 12-24mm: <http://veerasak.multiply.com/photos/album/225> (29 September 2010)

ฐูปถายีมีเขตการกระจายพันธุ์ในประเทศไทยทั่วทุกภาค โดยเฉพาะในภาคใต้พบได้ทุกจังหวัด พบในที่ลุ่มทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม ถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในทวีปยุโรปและอเมริกา ปัจจุบันแพร่หลายไปทั่วโลก รูปร่างและลักษณะของฐูปถายีเป็นไม้ล้มลุก อายุสองปี เหง้ากลม แทงหน่อขึ้นเป็นระยะสั้นๆ ใบเดี่ยว เรียงสลับระนาบเดียว รูปแถบกว้าง 1.2-1.8 เซนติเมตร ยาวประมาณ ๒ เมตร แผ่นใบด้านบนโค้งเล็กน้อยเพราะมีเซลล์หุ้มตัวคล้ายฟองน้ำหมุนอยู่กลางใบ ส่วนด้านล่างแบน ข้อดอกแบบข้อเชิงลด ดอกมีจำนวนมาก ติดกันแน่น สีน้ำตาล ลักษณะคล้ายรูปดอกใหญ่ ก้านข้อดอกกลม แข็ง ดอกแยกเพศ แบ่งเป็นตอนเห็นได้ชัด กลุ่มดอกเพศผู้อยู่ปลายก้าน รูปทรงกระบอกยาว 15-30 เซนติเมตร และทิ้งช่วงห่างกลุ่มดอกเพศเมีย 0.5-12 เซนติเมตร ดอกเพศผู้มีเกสรเพศผู้ 2-3 อัน และมีขนแบนรูช้อน 3 เส้น กลุ่มดอกเพศเมียรูปทรงกระบอกเช่นกันแต่ใหญ่กว่าดอกเพศผู้ยาว 3-28 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร มีใบประดับย่อย (Bracteole) เป็นเส้นปลายสีน้ำตาลมากมายแซมดอก โคนก้านชูเกสรเพศเมีย (Gynophore) มีขนยาวสีเงินหลายเส้น ดอก

แก่จะแตกเห็นเป็นขนขาวฟู รังไข่มีช่องเดียว มีออวูล (Oovule) 1 เม็ด ผลเล็กมาก เมื่อแก่แตกตามยาว (สิทธิศานต์ วชิรานภาพ, 2542)

รูปถ่ายมีใบยาวและเหนียวนิยมนำมาประดิษฐ์ของใช้และเครื่องจักรสานประเภทต่างๆ เช่น เชือก หมวก เสื้อ กระเป๋าถือ และตะกร้า เนื่องจากรูปถ่ายเป็นวัชพืชที่มีใยไฟเบอร์มาก ทำให้มีความเหนียว แข็งที่ไคจากลำต้นใต้ดินและรากใช้บริโภคได้เช่นกัน ในอินเดียเคยใช้ ก้านช่อดอกทำปากกา และเชื่อว่าลำต้นใต้ดินและรากใช้เป็นยาบำบัดโรคบางชนิด เช่น ขับปัสสาวะ เยื่อ (Pulp) ของรูปถ่ายนำมาใช้ทำใยเทียม (Rayon) และกระดาษได้ มีเส้นใย (Fibre) ถึงร้อยละ 40 เส้นใยนี้มีความชื้นร้อยละ 8.9 เซลลูโลส (Cellulose) ร้อยละ 63 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ร้อยละ 8.7 ลิกนิน (Lignin) ร้อยละ 9.6 ไข (Wax) ร้อยละ 1.4 และเถ้า (Ash) ร้อยละ 2 เส้นใยมีสีขาวหรือน้ำตาลอ่อน นำมาทอเป็นผ้าใช้แทนฝ้ายหรือขนสัตว์ (AdvanceAgro. 2006) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของรูปถ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับวัชพืชชนิดอื่นๆ จะแสดงดัง Table 4.

รูปถ่ายมีปริมาณ โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างสูง กากที่เหลือจากการสกัดเอาโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตออกแล้วนำมาให้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ย่อย จะให้เกิดมีเทน (Methane) ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ผลของรูปถ่ายมี Long chain hydrocarbon 2 ชนิด คือ Pentacosane และ I-triacontanol สารพวก Phytosterol 2 ชนิด คือ β -sitosterol และ β -sitosteryl-3-O- β -D-glucopyranoside รูปถ่ายสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในที่ลุ่มต่อไร่ได้ถึง 400 กก. ต่อปี และสามารถดูดเก็บโพแทสเซียมต่อไร่ได้ถึง 690 ก.ก. ต่อปี จึงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีบทบาทเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต

Table 4. Chemical properties of 3 weed plants.

Chemical properties (%)	Weed plants		
	Vetiver grass	Cattail	Water hyacinth
Ash content	4.0	9.1	17.9
Solubility in %1 NaOH solution	37.7	44.4	56.5
Content of pentosan	32.4	22.9	19.2
Content of lignin	18.2	17.0	24.1
Content of holo-cellulose	77.3	70.5	52.9
Content of alpha-cellulose	42.9	46.9	41.7
Content of beta-cellulose	12.3	7.9	12.7
Content of gamma-cellulose	17.8	15.7	18.5

Source : ธนธร ทองสัมฤทธิ์ และคณะ (2550)

รูปถ่ายจะอาศัยเมล็ดขนาดเล็กในการสืบพันธุ์ เมล็ดมีเอนโดสเปิร์ม (Albuminous) ต้นอ่อนตรง และมีลักษณะเป็นเส้นขนหลายเส้น เบบสามารถปลิวไปตามลม และติดไปกับสิ่งของคน หรือสัตว์ได้ง่าย หรืออาจใช้เหง้าในการกระจายพันธุ์ พบขึ้นบริเวณแหล่งน้ำขัง ในหนอง บึง ในนาข้าวทั่วประเทศไทย

สิทธิสานต์ วชิรานุกาพ (2542) ศึกษาสภาวะในการต้มเยื่อจากต้นรูปถ่ายด้วยกระบวนการซัลเฟตที่ระดับ Effective alkali ร้อยละ 25 และ Sulfidity ร้อยละ 30 โดยมีระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง จะให้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 34.0 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง โดยคุณสมบัติของเยื่อที่ผลิตได้จะมีค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 66.4 กิโลนิวตัน-เมตร ต่อกิโลกรัม ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดเท่ากับ 5.99 นิวตัน-ตารางเมตรต่อกิโลกรัม และดัชนีความต้านทานแรงคั้นทะลุเท่ากับ 4.05 กิโลปาสกาล-ตารางเมตร/กรัม

วิทยา ปิ่นสุวรรณ (2541) ศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้สำหรับอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษโดยการวิเคราะห์หาปริมาณ ไฮโดรเซลลูโลส ลิกนิน เถ้า และแอลฟาเซลลูโลส ผลการวิเคราะห์พบว่า เปลือกในของปอทุกชนิด คือ ปอสา ปอแก้ว ปอกระเจา ปอควินา เหมาะสมที่จะใช้ทำเยื่อกระดาษ ในขณะที่กาบกล้วยไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตกระดาษ ส่วนเปลือกในของหม่อน ใบสับปะรด กาบปาล์มน้ำมัน มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเยื่อกระดาษได้ เพราะมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับชานอ้อยและซังข้าว ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษในปัจจุบัน (แสดงดัง Table 5)

Table 5. Chemical composition of some common non-wood fibers.

Fiber type	Chemical composition (% total)				
	Holocellulose	Lignin	Ash	Pentosan	Alpha cellulose
Paper mulberry	77.55	7.64	6.30	10.29	71.03
Jute	89.92	9.65	0.62	16.68	67.10
Roselle	72.90	15.12	7.24	17.85	66.34
Kenaf	78.06	15.19	1.92	9.26	62.44
Inner bark of mulberry	68.89	14.83	9.37	12.41	65.05
Pine apple leaf	67.05	17.41	5.98	24.34	24.34
Bagasse	71.41	21.09	3.85	27.83	51.04
Rice straw	64.89	21.27	16.93	21.15	46.30
Banana stem	55.50	19.43	15.34	14.78	47.37
Palm oil frond	69.36	8.47	1.29	26.64	54.24

Source : วิทยา ปิ่นสุวรรณ (2541)

ซึ่งสมบัติที่เหมาะสมของรูปถ่ายในการนำมาผลิตเยื่อกระดาษเนื่องจาก

ก. รูปถ่ายมีปริมาณเซลลูโลส (Cellulose) สูงเพราะเมื่อผลิตจะได้ผลผลิตเยื่อกระดาษ (Pulp yield) มาก

ข. เส้นใย (Fiber) สามารถแยกเป็นเส้นใยอิสระได้ง่าย เพื่อสะดวกในการขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ

ค. เส้นใยมีความเหนียว และแข็งแรงเพื่อจะได้รับการกระทำได้ดี ขึ้นรูปได้ง่ายนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก

ง. ความยาวเส้นใยมีความเหมาะสม เพื่อจะทำให้ได้กระดาษที่มีสมบัติ และคุณภาพดี

จ. วัตถุดิบหาได้ง่ายมีอยู่ทั่วไปเป็นจำนวนมากตามที่ชุ่มน้ำทั่วประเทศไทย ราคาถูก เพื่อลดต้นทุนการผลิต

ดังนั้นการศึกษการผลิตเยื่อกระดาษจากต้นพังกาพร ผสมกับรูปถ่าย จึงเป็นที่น่าสนใจ เพราะจะช่วยลดปริมาณการนำเข้าเยื่อกระดาษจากต่างประเทศ ลดต้นทุนการผลิต สร้างรายได้ให้กับชาวบ้าน และยังสามารถช่วยรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

3. สารตัวเติมที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติของเยื่อ และกระดาษ ในงานวิจัย

3.1 อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (Alkenyl succinic anhydride, ASA)

อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ เป็นสารสังเคราะห์ที่นิยมเติมลงในกระบวนการผลิตกระดาษแบบต่าง การใช้งาน ASA ขึ้นอยู่กับลักษณะของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ เพื่อช่วยเพิ่มความต้านทานเส้นใยเซลลูโลสต่อการดูดซับน้ำภายใต้สภาพเป็นกลางและด่าง (pH 7.5-8.5) ในปี ค.ศ. 1960 Wurzburg และ Mazzerella ได้ปรับปรุงคุณสมบัติของอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และผลิตขายในเชิงพาณิชย์ ASA ที่มีค่า pH 4.5-6.5 ถูกพัฒนาเป็นสารด้านการซึมในกระบวนการผลิตกระดาษนอกเหนือจากการใช้ อัลคิล คีตีน ไดเมอร์ (Alkyl ketene dimer, AKD) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาโดย บริษัท Hercules chemicals ของ Weissgerber C. สารเคมีทั้งสองจะเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยเซลลูโลส เกิดพันธะเอสเทอร์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส และกำจัดสารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ทำให้ผิวของเส้นใยไม่เกิดปฏิกิริยากับน้ำ เส้นใยจึงไม่จับกับน้ำ (แสดงดัง Figure 12) สารประเภทนี้จะทนต่อสารสกัดและตัวทำละลาย อีกทั้งยังสร้างความแข็งแรงในการยึดเกาะของพันธะเส้นใยในการผลิตกระดาษ (Jerome and Dominic, 2005) อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ ถูกนำมาใช้ในการปรับคุณสมบัติของกระดาษ กระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ ไม้อัดกันน้ำ หลังกา และอิมพัลเซอร์

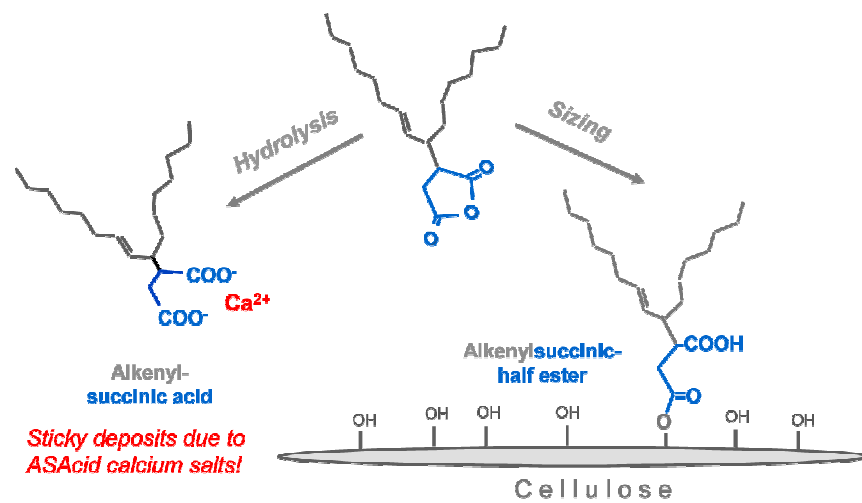


Figure 12. Reaction of ASA with cellulose (esterification) and water (hydrolysis)

Source: Akzo Nobel (1996)

อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ เป็นสารสังเคราะห์จากกระบวนการสองขั้นตอนที่เริ่มต้นด้วย Isomerization ของ Alpha olefine ทำปฏิกิริยากับ Maleic anhydride แสดงดัง Figure 13 โดย Alpha olefin ที่ใช้เริ่มต้นอยู่ในช่วง $C_{16} - C_{20}$ ซึ่งอาจมีโครงสร้างแบบเชิงเส้นหรือแบบกิ่ง ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ Alkenyl succinic anhydride (ASA) ซึ่งเป็นของเหลวสีเหลืองที่อุณหภูมิห้อง ทนต่อการสกัดและตัวทำละลาย สร้างความแข็งแรงในการยึดเกาะของพันธะเส้นใย ในการผลิตกระดาษ (Scott, 1996)

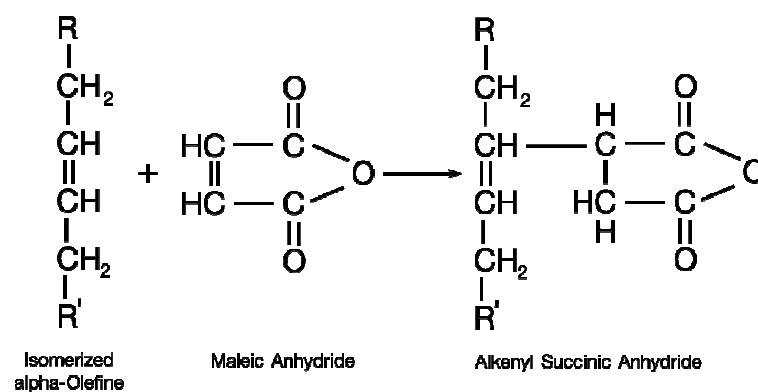


Figure 13. Synthesis of ASA by addition of maleic anhydride to an internal olefin.

Source: Scott (1996)

ข้อดีของการเติมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์

1. เติมน้ำในน้ำเชื่อมได้ทันที ไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการปรับสภาวะ
2. สามารถใช้งานได้กับค่าความเป็นกรดต่างในช่วงกว้างคือ อยู่ระหว่าง pH 5-9
3. ช่วยในการปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ดีขึ้น (e.g. no slippery effect)
4. ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีและเร็ว เมื่อเทียบกับอัลคิล คีติน ไคเมอร์
5. ไม่มีผลต่อการกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กระดาษเนื่องจากไม่ก่อให้เกิดการสลายตัวของโครงสร้างเซลลูโลสเมื่อเทียบกับอัลคิล คีติน ไคเมอร์
6. การเติมจะให้ผลดีขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับน้ำอุ่น
7. การเติมจะให้ผลดีขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
8. ช่วยลดต้นทุนการผลิต

อย่างไรก็ตามการเติมของอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ยังมีข้อด้อยบางประการเมื่อเปรียบเทียบกับ อัลคิล คีติน ไคเมอร์ เช่น

1. ต้องใช้งานในสภาวะที่เป็น Emulsification
2. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุปกรณ์ที่สูงกว่าอัลคิล คีติน ไคเมอร์
3. ปฏิกิริยาการย่อยสลายเร็ว

3.2 สตาร์ช (Starch) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (Glucose) และเป็น โฮโมพอลิแซคคาไรด์ (Homopolysaccharide) ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืชที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชเก็บสะสมไว้ตามส่วนต่างๆ เช่น ราก หัว เมล็ด ลำต้น สตาร์ชที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะ คือ มีโครงสร้างทางเคมีในโมเลกุลแตกต่างกัน และเม็ดสตาร์ชจะมีรูปร่างและสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันด้วย

โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์กลูแคน (Polymerglucan) 2 ชนิดผสมกัน คือ อะไมโลส (Amylose) เป็นพอลิเมอร์สายยาวของ แอลฟา-(1,4) กลูแคน และอะไมโลเพกติน (Amylopectin) เป็นสายแขนงที่มีโมเลกุลใหญ่และมีน้ำหนักสูง ต่อกันด้วยพันธะ แอลฟา (1, 4) เป็นสายตรงและมีพันธะแอลฟา(1, 6) เป็นสายแขนง อะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพกติน (Amylopectin) ที่เป็นองค์ประกอบในเม็ดสตาร์ชแต่ละชนิดแตกต่างกัน จึงมีความสามารถในการทำหน้าที่ได้แตกต่างกัน

เม็ดสตาร์ชโดยทั่วไปจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก (Crystalline) เป็นไปได้ 3 แบบ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) คือ

1. A-type เป็นโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากพืช เช่น สตาร์ชจากข้าว

2. B-type เป็นโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากลำต้นใต้ดิน หรือ หัว เช่น สตาร์ชจากมันฝรั่ง

3. C-type เป็นอินเทอร์มีเดียตของ 2 ชนิดแรก ซึ่งมักเป็นเม็ดสตาร์ชที่ได้จากหัว และราก

แป้งดัดแปร (Modified starch)

เนื่องจากแป้งดิบ โดยทั่วไปมีคุณสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะผิวสัมผัสที่ไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ และสิ้นเปลืองงบประมาณในการผลิตโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงมีการดัดแปรคุณสมบัติบางประการของแป้งดิบ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น คงทนต่อสภาวะการผลิตได้ดี การเกิด เจลาทีไนเซชัน (Gelatinization) การคืนตัว (Retrogradation) และการบีบน้ำออก (Syneresis) ของเจลลดลง มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือ เพิ่มความสามารถในการผสมกับตัวละลายอื่น (กลีเซอรอล, สิริรอด และเกลือกลูต, ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีความบริสุทธิ์สูง มีการปนเปื้อนของสารประกอบเคมีอื่นๆ ต่ำ เหมาะต่อการทำปฏิกิริยาเคมี ส่วนอสัณฐาน (Amorphous) ของอะไมโลเพกตินจะเป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยาเคมีได้ดีที่สุด

การดัดแปลงทางเคมี (Chemical modification)

โดยส่วนใหญ่การทำปฏิกิริยาเคมีกับแป้ง จะทำในสภาพการแขวนลอยที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทีไนเซชัน (45 ถึง 50°C) สารเคมีจะทำปฏิกิริยากับแป้งบริเวณผิวเม็ดแป้ง โดยจะเกิดปฏิกิริยาของเม็ดแป้งที่บริเวณพื้นผิวของส่วนผลึกและภายในส่วนอสัณฐาน เนื่องจากเม็ดแป้งประกอบด้วยอะไมโลส ประมาณร้อยละ 25 เมื่อทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารละลายไอโอดีน (Iodine) (มีน้ำเป็นตัวกลาง) เม็ดแป้งจะให้สารประกอบสีน้ำเงินเข้มซ้อนทันที แต่เมื่อทำปฏิกิริยา เม็ดแป้งแห้งกับไอโอดีนจะได้สีน้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งเท่านั้น ดังนั้นการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้งแห้ง สารเคมีจะไม่เข้าทำปฏิกิริยาได้ แต่เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับแป้งที่ชุ่มน้ำ หรือเม็ดแป้งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่าง เม็ดแป้งจะพองตัวและสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเคมีที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 1,000 g/mol ได้

การดัดแปรแป้งทางเคมี (Chemical modification) แบ่งออกเป็น

1. การเกิดอนุพันธ์ (Derivatization)

1.1 การแทนที่สารในโมเลกุลเดี่ยวของแป้ง (Mono starch substitution) ที่ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น แป้งแอซิเตต (Acetate starch) หรือปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน เช่น แป้งไฮดรอกซีเอทิล (Hydroxyethyl starch)

1.2 การแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เช่น แป้งครอสลิง (Cross-linked starch)

2. การลดขนาดโมเลกุลของแป้งโดยใช้กรด (Acid thinning) เช่น แป้งย่อยด้วยกรด (Acid modified starch)

3. เดกซ์ทรีไนเซชัน (Dextrinization) เป็นการลดหรือเปลี่ยนการจับเกาะโดยใช้ความร้อนหรือความร้อนกับกรด เช่น มอลโตเดกซ์ทรีน (Maltodextrin)

4. ออกซิเดชัน ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดของโมเลกุล โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น แป้งออกซิไดซ์

5. การย่อยสลาย (Hydrolysis) โดยใช้ น้ำย่อยหรือกรด เพื่อย่อยสลายน้ำตาลโมเลกุลเล็ก

แป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch)

แป้งดัดแปรที่มีประจุบวก ได้จากสารเคมีที่มีหมู่ Amino, Imino, Ammonium, Sulfonate หรือ Phosphonium มี 2 ชนิด คือ 1) เทอร์เทียรีอะมิโนแอลคิลสตาร์ชอีเทอร์ (Tertiary aminoalkyl starch ether) 2) ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ (Quaternary ammonium starch ether) โดยการเติมหมู่ Quaternary ammonium เข้าไปทำให้แป้งมีลักษณะเป็น Polyelectrolyte สามารถนำไปใช้ในการตกตะกอน (Flocculation) การกระจาย (Dispersion) และการดูดซับ (Adsorption) ตัวอย่างเช่น ใช้เติมลงในถังตีเชื้อกระดาษในกระบวนการผลิตกระดาษ ใช้เป็นสารช่วยให้ไททานเนียมไดออกไซด์จับตัวกัน หรือดูดซับบนกระดาษที่มีประจุลบ มีประโยชน์มากในงานอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกาว สารเคมีที่ใช้ในการผลิตแป้งดัดแปรที่มีประจุบวก (Cationic starch) ที่นำมาใช้กับบรรจุภัณฑ์อาหาร ตามข้อบังคับของ FDA (The Food and Drug Administration) ได้แก่ (4-chlorobutane-2)-trimethyl ammonium chloride, 2-diethylamino ethyl chloride และ 2, 3-(epoxypropyl) trimethylammonium chloride (Solarek,1986)

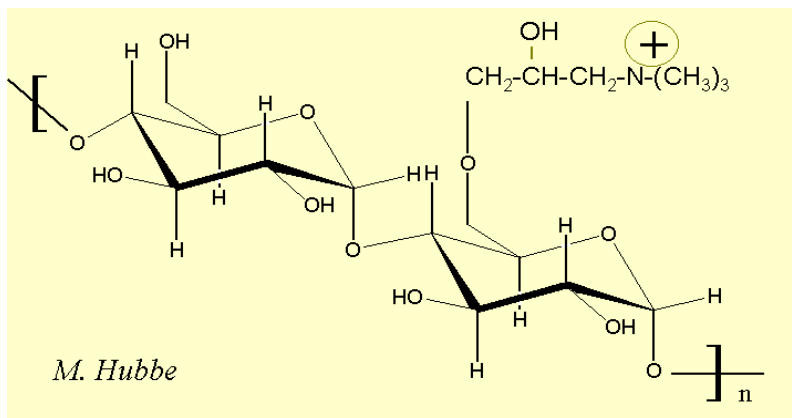


Figure 14. Chemical structure of cationic starch.

Source: Hubbe (1996)

การผลิตแคทไอออนิกสตาร์ช

การผลิตแคทไอออนิกสตาร์ชเป็นปฏิกิริยา ระหว่างแป้งกับสารเคมีในสภาวะเบส ที่อุณหภูมิ 20-50 องศาเซลเซียส ที่ pH 10.5-12.0 เป็นเวลาประมาณ 8-16 ชั่วโมง ในระหว่าง ปฏิกิริยาการเติมที่มีการเติม โซเดียมซัลเฟตหรือเกลืออื่นๆ เพื่อป้องกันการพองตัวของเม็ดแป้ง หลังจากนั้นเติมกรดเจือจาง เพื่อปรับ pH ให้ได้ 3-7 ขั้นตอนนี้ เป็นการเติมโปรตอนให้แก่แป้ง เกิด เป็นประจุบวก ต่อจากนั้นสกัดผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยการกรอง ล้างและทำให้แห้ง ปฏิกิริยาการแทนที่ ส่วนใหญ่เกิดตรงหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2

1. เทอร์เทียรอะมิโนแอลคิลสตาร์ชอีเทอร์ (Tertiary aminoalkyl starch ether) ได้ จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับ 2-diethylaminoethyl chloride (DEC) ในสภาวะที่เป็นเบส แสดงดัง Figure 15 ซึ่งคล้ายกับการเกิด ไฮดรอกแอลคิลสตาร์ชทั่วไป

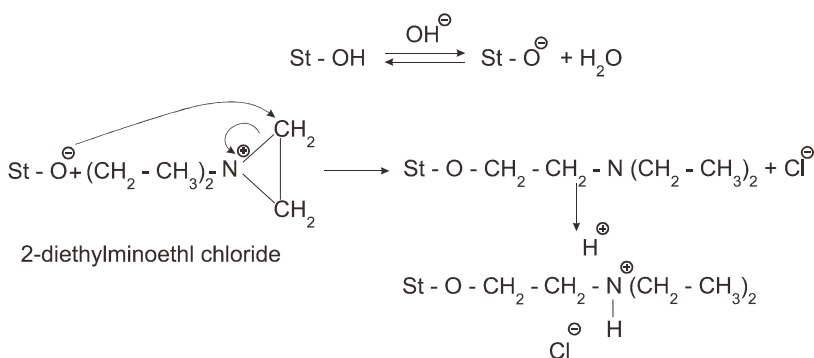


Figure 15. Starch and DEC reaction of tertiary aminoalkyl starch ether.

Source : Solarek (1986)

2. ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ (Quaternary ammonium starch ether) ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับ 2, 3-(epoxypropyl) trimethylammonium chloride ในสถานะที่เป็นเบส ดังปฏิกิริยาแสดงดัง Figure 16

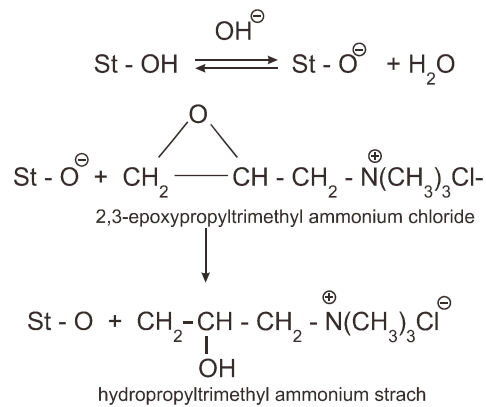


Figure 16. Hydropropyltrimethyl ammonium starch reaction.

Source : Solarek (1986)

คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์

แกทไอออนิกสตาร์ช มีความเสถียรมากขึ้น มีอัตราการคืนตัวต่ำ สามารถละลายน้ำได้สูง พองตัวได้ในน้ำเย็น และสามารถกีดกันชะไอออนิก ระหว่างประจุบวก กับประจุลบ ของเซลลูโลส (Cellulose) ที่ใช้ทำกระดาษได้ดี จึงมีการนำไปใช้มากในอุตสาหกรรมกระดาษ โดยเพิ่มความเหนียวให้กับกระดาษ ทำให้กระดาษทนต่อการขูด หรือการถลอก ด้านทานการซึมของหมึก หรือของเหลว ป้องกันฝุ่นละออง และทำให้ค่า BOD (Biochemical oxygen demand) และ COB (Chemical oxygen demand) ของน้ำทิ้งมีค่าต่ำ เป็นผลดีต่อสถานะแวดล้อม

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอใช้เป็นสารเคลือบผ้า และผสมในน้ำยาซักแห้งเพื่อเพิ่มความเหนียวนุ่ม และความเรียบให้แก่เส้นใยผ้าหลังจากซักแห้ง ในอุตสาหกรรมกาวใช้ผลิตกาวสำหรับฉลากติดขวด กาวแถบซองจดหมาย กาวสำหรับบอร์ด

ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ใช้เป็นสารตกตะกอน (Flocculant) สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่มีประจุลบ และใช้กำจัดโลหะหนักที่มีประจุลบ จากน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตฟิล์มถ้ายูโรป ใช้ในการผสมกับสารเคมีสำหรับน้ำยาสระผม สเปรย์แต่งผม น้ำยาล้างจาน (Solarek, 1986)

3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัลคิล คีทีนิก แอนไฮไดรด์ แป้งคัดแปรประจุบวกและกรดซัลฟูริก ต่อการผลิตกระดาษ

ธนธร ทองสัมฤทธิ์ และ สุขปา เนตรประดิษฐ์ (2548) ศึกษาการผลิตเยื่อและกระดาษจากต้นรูปถ่ายให้เหมาะสมต่อการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทเยื่อกระดาษขึ้นรูป เยื่อกระดาษที่ได้จากการต้มใบรูปถ่ายแบบระบบปิดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรับปรุงสมบัติกระดาษโดยผสมสารเติมเต็ม สารเพิ่มความแข็งแรง (แป้งคัดแปรประจุบวก) และสารด้านการซึมน้ำชนิดอัลคิล คีทีน ไดเมอร์ (Alkyl ketene dimmer; AKD) จากนั้นตรวจสอบสมบัติกระดาษและทดลองขึ้นรูปเยื่อ โดยเปรียบเทียบกับการใช้เยื่อกราฟที่รีไซเคิลจากกระดาษลูกฟูกร้อยละ 50 และ 100 พบว่า ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 10 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งทำให้กระดาษมีความต้านทานแรงดึงขาดและแรงดันทะลุดีที่สุด ปริมาณที่เหมาะสมของสารตัวเติม สารเพิ่มความแข็งแรง และสารด้านการซึมน้ำคือ ร้อยละ 0.1, 0.06 และ 0.15 ของน้ำหนักเยื่อแห้งตามลำดับ ส่วนบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปที่ได้จากการผสมเยื่อรูปถ่ายกับเยื่อกระดาษกราฟที่รีไซเคิลที่อัตราส่วน 1:0, 1:1 และ 0:1 มีค่าความต้านทานแรงกดประมาณ 127, 294 และ 523 กิโลกรัมแรงตามลำดับ

รัตนพรชัย หาราชอุดม และคณะ (2552) ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากใบปาล์ม เพื่อศึกษาภาพการขนส่งโดยผลิตเยื่อแบบซัลเฟตหรือกราฟท์ และปรับปรุงสมบัติเชิงกลและกายภาพของเยื่อ ด้วยการเติมสารเติมแต่งชนิดแป้งคัดแปรประจุบวกในปริมาณร้อยละ 1.4 และอัลคิล คีทีน ไดเมอร์ ในปริมาณร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันถูกขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีการกดอัดและทดสอบความสามารถต่อการต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงกับบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูป ที่ผลิตจากโพลีเอทิลีนและเยื่อกระดาษรีไซเคิลที่พบเห็นทั่วไปในท้องตลาด พบว่า บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันมีค่าความต้านทานแรงกดสูงกว่าบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปจากท้องตลาดทั้งสองประเภท นอกจากนี้การทดสอบการใช้งานด้านการขนส่งผลผลิตทางการเกษตรด้วยวิธีการมัดการสั้นสะเทือนโดยการบรรจุผลแอปเปิ้ล พบรอยช้ำบนผิวของแอปเปิ้ลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันมากกว่าบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปจากโพลีเอทิลีนและกระดาษรีไซเคิล ซึ่งแสดงว่าผิวสัมผัสของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปมีความแข็งแรงต่างมากกว่า

เลอพงษ์ จารุพันธ์ และคณะ (2550) พบว่า ลักษณะผิวหน้าของกระดาษที่ปรับปรุงสมบัติโดยวิธีการเติมสารเติมแต่งประเภทสารคัดแปรชนิดประจุบวก และสารกันซึมน้ำชนิดอัลคิล คีทีน ไดเมอร์ (Alkyl ketene dimmer; AKD) โดยมีสัดส่วนเป็น 1.4% และ 0.5% ต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง ผลที่ได้รับคือ การใช้สารเติมแต่งจะทำให้ได้กระดาษที่มีคุณสมบัติที่แข็งแรงขึ้น

และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) ที่กำลังขยายระดับ 100 ถึง 500 เท่า พบว่า กระจกก่อนเติมแป้งประจุบวกร่วมกับแอลคิล คีติน ไคเมอร์ มีลักษณะพื้นผิวหน้าที่ไม่เรียบและสามารถเห็นช่องว่างระหว่างเส้นใยอย่างชัดเจน โดยความเรียบจะมากขึ้นและช่องว่างระหว่างเส้นใยจะลดลง เนื่องจากแป้งประจุบวก และแอลคิล คีติน ไคเมอร์สามารถยึดเกาะบนเส้นใยได้ดี ทำให้สามารถเห็นเป็นลักษณะการแทรกตัวและปกคลุมอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยและผิวหน้าของกระจก ทั้งนี้ความเรียบจะเพิ่มมากขึ้นและช่องว่างระหว่างเส้นใยจะลดลงตามปริมาณของแป้งประจุบวก และแอลคิล คีติน ไคเมอร์ ที่เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้ค่าสมบัติเชิงกลและความต้านทานการซึมผ่านของเยื่อกระจกที่ได้สูงขึ้นด้วย เนื่องจากผิวหน้ากระจกที่มีความเรียบมากขึ้นและช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลง ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ลดลง รวมถึงสมบัติของแอลคิล คีติน ไคเมอร์ ซึ่งมีสมบัติเป็นอิมัลชันที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ โดยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำจะยึดเกาะกับเส้นใยเซลลูโลสส่วนหมู่ที่ชอบน้ำจะยึดเกาะกับน้ำและป้องกันการซึมผ่านของน้ำสู่กระจก

ธนธร ทองสัมฤทธิ์ และคณะ(2550) ทำการศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อในวัชพืชสามชนิดคือ ต้นหญ้าแฝก ต้นรูปฤาษี และผักตบชวา แล้วนำไปผลิตแผ่นกระจกและกระจกทำลูกฟูก ตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์ และขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กล่องกระจกลูกฟูก เยื่อกระจกได้จากการต้มด้วยระบบปิดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง สำหรับรูปฤาษี และร้อยละ 16 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง สำหรับหญ้าแฝก และผักตบชวา แล้วนำมาทำแผ่นกระจกน้ำหนักมาตรฐาน 120 แกรม โดยผสมวัชพืชที่อัตราส่วนต่างๆ และผสมสารเติมแต่งในปริมาณคงที่คือ แคลเซียมคาร์บอเนต แป้งดัดแปรประจุบวก และสารชนิดอัลคิล คีติน ไคเมอร์ (Alkyl ketene dimmer; AKD) ร้อยละ 2, 1.2 และ 2 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้งตามลำดับ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัชพืชพบว่า ผักตบชวามี เถ้า ซิลิกา ไซเบต้าเซลลูโลส แกมมาเซลลูโลส และลิกนินมาก มีความสามารถในการละลายได้ดี ต้นหญ้าแฝกมีปริมาณเพนโตซานมาก เมื่อนำไปฟอกจะมีความขาวสว่างมากกว่าวัชพืชประเภทอื่น ต้นรูปฤาษีมีปริมาณอัลฟาเซลลูโลสมากที่สุด ซึ่งให้ผลผลิตเยื่อมากที่สุด จากการทดสอบสมบัติของกระจกพบว่า กระจกจากเยื่อรูปฤาษีมีความหนา ปริมาณความชื้น และความต้านแรงฉีกขาดสูงสุด กระจกจากเยื่อหญ้าแฝกมีความขาวสว่างและความต้านแรงดึงสูงสุด แต่การดูดซึมน้ำต่ำสุด กระจกจากเยื่อผักตบชวามีความต้านแรงดันทะลุสูงสุด จากการผสมเยื่อวัชพืช 3 ชนิด พบว่า กระจกลูกฟูกทั้งหมดมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อเปรียบเทียบกับกระจกจากเยื่อรีไซเคิล และกระจกที่ผสมระหว่างเยื่อหญ้าแฝกร้อยละ 25 เยื่อรูปฤาษีร้อยละ 25 และเยื่อผักตบชวาร้อยละ 50 มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด เพราะมีค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนเฉลี่ย 260 นิวตัน และค่าความต้านแรงกด

ลอนลูกฟูกเฉลี่ย 223 นิวตัน ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเรื่องกระดาษทำลูกฟูก (มอก.321-2530) นอกจากนี้กระดาษที่ผลิตได้ยังสามารถใช้พิมพ์ด้วยระบบบอเพสได้ โดยมีขอบเขตการผลิตที่กว้างกว่ากระดาษจากเยื่อรีไซเคิล และเมื่อนำไปผลิตกล่องลูกฟูกพบว่า กล่องกระดาษลูกฟูกจากเยื่อวัชพืชมีค่าความต้านทานต่อแรงกดสูงกว่ากล่องกระดาษลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อรีไซเคิล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 47.3 และ 43.3 กิโลกรัมแรงตามลำดับ เห็นได้ว่าเยื่อวัชพืชผสมสามารถนำไปผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อทางเลือกใหม่ของบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกได้

กานดา จิรนราทร และคณะ (2551) ศึกษาการผลิตกระดาษจากโคนต้นจากโดยมีการเติมสารเติมแต่ง 3 ชนิดคือ แคลเซียมคาร์บอเนต (ตัวเติม) แอลคิล คีตีนไดเมอร์ (สารต้านการซึมน้ำ) แป้งคัดแปรประจุบวก (สารเพิ่มความแข็งแรง) และสารเพิ่มการตกค้าง จากนั้นนำกระดาษมาขึ้นรูปเป็นแผ่นแล้วนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติด้านเชิงกล และสมบัติทางทัศนศาสตร์ พบว่ากระดาษจากโคนต้นจากที่มีการเติมสารเพิ่มการตกค้างและแป้งประจุบวกนั้นมีสมบัติทางกลดีที่สุด ส่วนกระดาษที่เติมสารเพิ่มการตกค้างและสารต้านการซึมน้ำนั้นมีสมบัติด้านการซึมน้ำได้ดีกว่ากระดาษที่เติมสารเติมแต่งชนิดอื่นแสดงดัง Table 6

Table 6. Some physical, mechanical and optical properties of papersheets.

Properties	Paper type				
	Non additive	Retention Aid and AKD	Retention Aid and CaCO ₃	Retention Aid and CS	
Basic weight (g/m ²)	82.7	86	86.2	85.8	
Thickness (µm)	99.4	100	105	107	
Tensile Index (kN.m/kg)	78.3	76.2	68.7	80.9	
Tearing Index (mNm ² /g)	8.15	7.90	8.15	8.25	
Bursting Index (kPa./gm ²)	1.40	1.77	1.85	1.96	
Cobb Test (g/m ²)	75.5	36.8	73.3	45.7	
Brightness	46.7	45.0	47.0	44.4	
	L*	78.7	77.5	79.2	77.3
L*a*b*	a*	0.43	0.55	0.57	0.56
	b*	8.79	8.49	9.20	8.99

Source : กานดา จิรนราทร และคณะ (2551)

Lee และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาลักษณะของแป้งที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวกระดาษ พบว่า การเคลือบผิวกระดาษด้วยแป้งดัดแปรประจุบวกทำให้กระดาษมีค่าความทึบแสง ความสว่าง สีพิมพ์และความหนาแน่นของหมึกดีขึ้น จากการตรวจสอบด้วย Confocal laser scanning microscope (CLSM) พบว่า อัตราส่วนปริมาณการยึดเกาะของแป้งประจุบวกบนเส้นใยมากกว่าของแป้งออกซิไดซ์ และให้ค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าด้วย

Agahd (1970) ศึกษากระบวนการผลิตกระดาษพาร์ทเมนต์ (Vegetable parchment paper) โดยการปรับสภาพพื้นผิวของกระดาษขนาดกว้าง 226 มิลลิเมตร น้ำหนักมาตรฐาน 38 กรัม ต่อตารางเมตร แล้วให้แผ่นกระดาษเคลื่อนที่ผ่านสารละลายกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยลดระดับความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกจากร้อยละ 40 จนถึงร้อยละ 15 จากนั้นแผ่นกระดาษจะถูกล้างจนมีความเป็นกลางแล้วนำไปรีดและอบจนแห้ง จะได้กระดาษพาร์ทเมนต์ที่มีสมบัติในการต้านทานไขมันที่ดี

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากต้นพังแหร (*Trema orientalis* (L.) Blume) และธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) ด้วยกระบวนการคราฟท์ (Kraft process)
2. ศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างเยื่อกระดาษจากต้นพังแหรและธูปฤาษีในการผลิตกระดาษ
3. ศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติของเยื่อกระดาษด้วยการเติมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (Alkenyl succinic anhydride, ASA) และแป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch)
4. ศึกษาผลการป้องกันน้ำมันของกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก
5. ศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการผลิตเชื้อกระดาษจากต้นพังแหร (*Trema orientalis* (L.) Blume) และธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) โดยผสมเชื้อทั้งสองชนิดในอัตราส่วนต่างๆแล้วนำมาผลิตเป็นกระดาษ และปรับปรุงสมบัติของกระดาษที่ผลิตได้ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งวิธีดำเนินการวิจัย อุปกรณ์ สารเคมีสำหรับการสกัดเชื้อจากต้นพังแหร และธูปฤาษี สารเคมีสำหรับปรับปรุงคุณภาพของเชื้อกระดาษ และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อกระดาษที่ได้ จากการผสมเชื้อจากต้นพังแหร และธูปฤาษี มีรายละเอียด ดังนี้

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 วัตถุดิบ (Raw material)

1) ต้นพังแหร (*Trema orientalis* (L.) Blume) ที่ใช้ในงานวิจัย (Figure 17) เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเชื้อกระดาษ



Figure 17. Peach cedar (*Trema orientalis* (L.) Blume)

2) ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) ที่ใช้ในงานวิจัย (Figure 18) จะเป็นวัตถุดิบรองผสมเติมลงไปใต้น้ำเชื้อ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลของกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์



Figure 18. Cattail (*Typha angustifolia* L.)

1.2 สารเคมี (Chemical reagents)

1) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) สารเคมีประเภทด่าง ทำหน้าที่ในการแยกเส้นใยออกมา แสดงดัง Figure 19



Figure 19. Sodium hydroxide; NaOH.

2) โซเดียมซัลไฟด์ (Sodium sulfide; Na₂S) สารเคมีประเภทกรด ทำหน้าที่ในการละลายลิกนินออกจากเยื่อ แสดงดัง Figure 20



Figure 20. Sodium sulfide; Na_2S .

3) อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (Alkenyl succinic anhydride; ASA) มีความหนาแน่น 1.04 ถึง 1.07 จุดเดือด 100°C (212°F) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำของกระดาษ แสดงดัง Figure 21

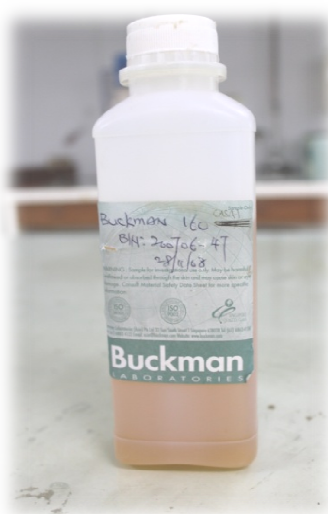


Figure 21. Alkenyl succinic anhydride; ASA.

4) แป้งคัดแปรประจุบวก (ExcelCat@35) มีลักษณะเป็นผงแป้งสีขาว เป็นสารช่วยเพิ่มความแข็งแรงทางกล และช่วยปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของกระดาษ ให้มีความเรียบ และมันวาว แสดงดัง Figure 22



Figure 22. Cationic starch.

5) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 85-89 ทำหน้าที่ในการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของกระดาษให้มีความเรียบ

1.3 อุปกรณ์ (Machine)

1) เครื่องต้มเยื่อควบคุมอุณหภูมิและความดัน มีลักษณะเป็นทรงกระบอก สามารถควบคุมอุณหภูมิ และความดัน มีลักษณะแสดงดัง Figure 23



Figure 23. Digester.

2) เครื่องกระจายเยื่อ สามารถปรับจำนวนรอบในการตีกระจายเยื่อ มีลักษณะแสดงดัง Figure 24



Figure 24. Disintegrator.

3) เครื่องขึ้นรูปแผ่นเยื่อ มีลักษณะเป็นทรงกระบอกฐานรูปวงกลม ใช้ระบบลมเพื่อควบคุมน้ำเยื่อให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันสามารถขึ้นรูปแผ่นเยื่อกระดาษเป็นวงกลมตามมาตรฐาน TAPPI T205 om -88 มีลักษณะแสดงดัง Figure 25



Figure 25. Hand sheet forming machine.

4) เครื่องชั่งแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP-2100S แสดงดัง

Figure 26

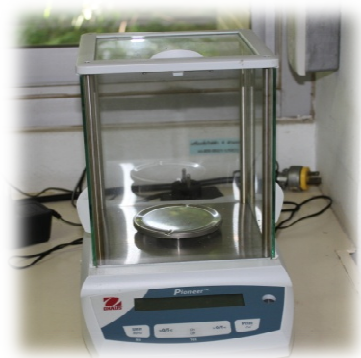


Figure 26. Digital balance.

- 5) ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ WTB Binder รุ่น KBF 115 แสดงดัง Figure 27



Figure 27. Temperature and humidity chamber.

- 6) ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น ULM 50 แสดงดัง Figure 28



Figure 28. Hot air oven.

- 7) เครื่องวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น Color Quest XT แสดงดัง Figure 29



Figure 29. Color analyzer.

- 8) เครื่องทดสอบแรงทางกลของวัสดุ ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LR 30 K
แสดงดัง Figure 30



Figure 30. Universal testing machine.

- 9) เครื่องทดสอบมุมสัมผัสหยดน้ำ รุ่น OCA 15 EC แสดงดัง Figure 31

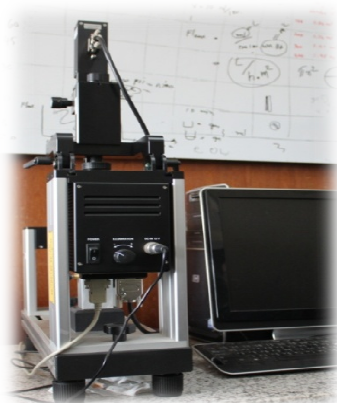


Figure 31. Contact angle meter.

- 10) เครื่องวัดความหนา GOTTECH รุ่น GT-313-A แสดงดัง Figure 32



Figure 32. Thickness gauge.

11) เครื่องทดสอบความต้านทานการแรงฉีกขาดของกระดาษ GOTECH รุ่น GT-7055 บริษัทที่ซื้อ บริษัท สิทธิพรเอสโซซีสแอส จำกัด แสดงดัง Figure 33



Figure 33. Elmendorf tearing strength tester.

12) เครื่องกวนผสมระบบแม่เหล็ก รุ่น IKA® C-MAG HS 7 เป็นเครื่องบดผสมสารเคมี แสดงดัง Figure 34



Figure 34. Magnetic Stirrer.

13) เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ ยี่ห้อ GOTECH รุ่น GT-7013AD 7055 แสดงดัง Figure 35



Figure 35. Mullen bursting strength tester.

14) เครื่องผสม ยี่ห้อ Imarflex รุ่น IF-309 แสดงดัง Figure 36



Figure 36. Mixer.

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบและการผลิตเยื่อกระดาษ

1. การเตรียมเยื่อกระดาษ

1.1 การเตรียมเยื่อกระดาษจากต้นฟังแห

1.1.1 นำต้นฟังแห มาปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว นำไปผึ่งแดดหรือในที่ที่มีอากาศถ่ายเทจนแห้ง แล้วนำชิ้นไม้ไปอบเพื่อหาน้ำหนักแห้ง (Dry matter content of chips) โดยกำหนดให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักชิ้นไม้

1.1.2 นำชิ้นไม้มาบดแล้วนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่น ปริมาณ เซลลูโลส และลิกนิน (ดัดแปลงจาก Van Soest and Wine, 1967 อ้างโดย มุทิตา มีนุ่น, 2549) ปริมาณการละลายใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 (TAPPI T212) ปริมาณเถ้า (TAPPI T211) และปริมาณเพนโตแซน (TAPPI T223)

1.1.3 นำชิ้นไม้ ที่ผ่านการตากแห้ง (ตามข้อ 1) แบ่งใส่ถุงพลาสติกน้ำหนัก ประมาณ 500 กรัม เพื่อนำมาผลิตเยื่อกระดาษด้วยกระบวนการคราฟท์ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ในการต้มชิ้นไม้จากปัจจัยศึกษา 3 ปัจจัย คือ

1. ค่าความเป็นด่าง (Effective alkali; EA)	ร้อยละ 20 - 30
2. ค่าความเป็นกรด (Sulfidity)	ร้อยละ 20 - 40
3. อุณหภูมิในการต้ม (Cooking temperature)	140 - 180 °ซ

โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ระยะเวลาในการต้มเยื่อที่ 150 นาที และอัตราส่วนของชิ้นไม้ต่อน้ำยาเคมีเท่ากับ 1:15 วางแผนการทดลองแบบ Response surface methodology (RSM) และจัดชุดการทดลองแบบ Box and Behnken design (BBD) หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อด้วย Graphical method (Superimposition) และใช้การวิเคราะห์แบบ Multiple regression analysis โดยจัดชุดการทดลอง แสดงดัง Table 7

4) เมื่อต้มเยื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำเยื่อที่ผลิตได้ มาล้างบนตะแกรงด้วยน้ำสะอาดจนหมดความเป็นด่างเพื่อกำจัดลิกนินและสารเคมีออก

5) วิเคราะห์ปริมาณผลผลิตและสมบัติของเยื่อกระดาษที่ผลิตได้ ตามวิธีการทดลองข้อ 1.3

Table 7. The operational variables of kraft pulping for Peach cedar.

Experimental No.	Effective alkali (%)	Sulfidity (%)	Temperature (°C)
1	1(30)	1(40)	0(160)
2	1(30)	-1(20)	0(160)
3	-1(20)	1(40)	0(160)
4	-1(20)	-1(20)	0(160)
5	1(30)	0(30)	1(180)
6	1(30)	0(30)	-1(140)
7	-1(20)	0(30)	1(180)
8	-1(20)	0(30)	-1(140)
9	0(25)	1(40)	1(180)
10	0(25)	1(40)	-1(140)
11	0(25)	-1(20)	1(160)
12	0(25)	-1(20)	-1(140)
13	0(25)	0(30)	0(160)
14	0(25)	0(30)	0(160)
15	0(25)	0(30)	0(160)

1.2 การเตรียมเยื่อกระดาษจากรูปถ่าย

1) นำรูปถ่ายมาหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว และนำไปผึ่งแดดหรือในที่ที่มีอากาศถ่ายเทจนแห้ง แล้วนำชิ้นไม้ไปอบเพื่อหาน้ำหนักแห้ง (Dry matter content of chips) โดยกำหนดให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักชิ้นไม้

2) นำรูปถ่ายมาบดแล้วนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่น ปริมาณเซลลูโลส และลิกนิน (ดัดแปลงจาก Van Soest and Wine, 1967) ปริมาณการละลายใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 (TAPPI T212) ปริมาณเถ้า (TAPPI T211) และปริมาณเพนโตแซน (TAPPI T223)

3) นำรูปถ่าย ที่ผ่านการตากแห้ง (ตามข้อ 1) แบ่งใส่ถุงพลาสติกน้ำหนักประมาณ 500 กรัม เพื่อนำมาผลิตเยื่อกระดาษด้วยกระบวนการกราฟท์ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มชิ้นไม้จากปัจจัยศึกษา 3 ปัจจัย คือ

- | | |
|-------------------------------------------|----------------|
| 1. ค่าความเป็นด่าง (Effective alkali; EA) | ร้อยละ 20 - 30 |
| 2. ค่าความเป็นกรด (Sulfidity) | ร้อยละ 20 - 40 |
| 3. อุณหภูมิในการต้ม (Cooking temperature) | 140 - 180 °ซ |

โดยมีปัจจัยควบคุม คือระยะเวลาในการต้มเยื่อที่ 150 นาที และอัตราส่วนของชิ้นไม้ต่อน้ำยาเคมีเท่ากับ 1:15 วางแผนการทดลองแบบ Response surface methodology (RSM) และ จัดชุดการทดลองแบบ Box and Behnken design (BBD) หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อด้วย Graphical method (Superimposition) และใช้การวิเคราะห์แบบ Multiple regression analysis โดย จัดชุดการทดลอง แสดงดัง Table 8

4) เมื่อต้มเยื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำเยื่อที่ผลิตได้ มาล้างบนตะแกรงด้วย น้ำสะอาดจนหมดความเป็นด่างเพื่อกำจัดลิกนินและสารเคมีออก

5) วิเคราะห์ปริมาณผลผลิตและสมบัติของเยื่อกระดาษที่ผลิตได้ ตามวิธีการทดลองข้อ 1.3

1.3 วิเคราะห์สมบัติของเยื่อที่ผลิตได้

นำเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากข้อ 1.1 และ 1.2 มาทำการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) ปริมาณผลผลิต (% Yield)
- 2) ค่าดัชนีบ่งชี้ปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเส้นใย (Kappa number, TAPPI T236)
- 3) ความยาวของเส้นใย (Fiber length, TAPPI T232)
- 4) ดัชนีความต้านทานแรงดึง (Tensile index strength, ASTM D3822)

Table 8. The operational variables of kraft pulping for Cattail.

Experimental No.	Effective alkali (%)	Sulfidity (%)	Temperature (°C)
1	1(30)	1(40)	0(160)
2	1(30)	-1(20)	0(160)
3	-1(20)	1(40)	0(160)
4	-1(20)	-1(20)	0(160)
5	1(30)	0(30)	1(180)
6	1(30)	0(30)	-1(140)
7	-1(20)	0(30)	1(180)
8	-1(20)	0(30)	-1(140)
9	0(25)	1(40)	1(180)
10	0(25)	1(40)	-1(140)
11	0(25)	-1(20)	1(160)
12	0(25)	-1(20)	-1(140)
13	0(25)	0(30)	0(160)
14	0(25)	0(30)	0(160)
15	0(25)	0(30)	0(160)

2. การขึ้นรูปเยื่อกระดาษ

1) นำเยื่อกระดาษซึ่งเตรียมได้จากข้อ 1 มาผลิตเป็นกระดาษโดยการผสมเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากต้นฟังแหร และรูปฤาษีในอัตราส่วนร้อยละ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 0:100 โดยน้ำหนัก

2) นำเยื่อกระดาษผสมมาขึ้นรูปแผ่นกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปแผ่นกระดาษตามวิธีมาตรฐาน (TAPPI T205) โดยกำหนดให้น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อทดสอบเท่ากับ 60 กรัมต่อตารางเมตร

3) นำแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้มาทดสอบสมบัติทางกายภาพ เช่น น้ำหนักมาตรฐาน (TAPPI T410) ความหนา (TAPPI T411) มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษ (TAPPI T458) และความต้านทานน้ำ (TAPPI T441)

- 4) นำกระดาษที่ได้มาทดสอบสมบัติเชิงกล เช่น ความต้านทานแรงดึง (TAPPI T494) ความต้านทานแรงดันทะลุ (TAPPI T403) และความต้านทานการฉีกขาด (TAPPI T414)
- 5) นำกระดาษที่ได้มาทดสอบสมบัติด้านทัศนศาสตร์ เช่น ความขาวสว่าง (TAPPI T452) และค่าสี CIE L* a* b* (TAPPI T527)
- 6) คัดเลือกอัตราส่วนการผสมเยื่อกระดาษที่เหมาะสมซึ่งให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดเพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 2 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษ

2.1 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยวิธีการเติม อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (Alkenyl succinic anhydride, ASA) ลงในน้ำเยื่อกระดาษ

2.1.1. การเตรียมสารละลาย อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (Alkenyl succinic anhydride, ASA)

- 1) นำอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์อิมัลชัน ที่มีจำหน่ายทางการค้ามาปรับให้มีความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5.0 และ 7.5 ต่อน้ำหนักเยื่อแห้งด้วยน้ำกลั่น ตามลำดับ
- 2) กวนผสมให้อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์อิมัลชัน เกิดการกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ เป็นเวลา 30 นาที โดยเครื่องกวนผสมด้วยแม่เหล็ก
- 3) นำไปเติมลงในน้ำเยื่อทันที หลังจากครบเวลา

2.1.2. การประยุกต์ใช้อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ ในกระดาษ

- 1) นำน้ำเยื่อที่ได้จากการผสมเยื่อกระดาษจากต้นฟังแหรและรูปฤาษี ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 (ข้อ 2) มาผสมกับอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์อิมัลชัน ซึ่งเตรียมได้จากข้อ 2.1.1 แล้วกวนผสมให้เข้ากันเป็นจำนวน 3,000 รอบ
- 2) นำน้ำเยื่อที่เตรียมไว้ในข้อ 1 มาขึ้นรูปแผ่นกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปแผ่นกระดาษตามวิธีมาตรฐาน (TAPPI T205) โดยกำหนดให้น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อเท่ากับ 60 กรัมต่อตารางเมตร
- 3) นำแผ่นเยื่อกระดาษที่ขึ้นรูปแล้วไปอบไล่ความชื้น จนกระดาษแห้ง จากนั้นนำไปปรับสภาพที่อุณหภูมิ 23 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5 % เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบสมบัติของกระดาษ ตามข้อ 2.4
- 4) คัดเลือกสูตรในการปรับปรุงแผ่นกระดาษที่มีสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลที่ดีที่สุดเพื่อนำไปทดลองต่อในตอนที่ 3

2.2 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยวิธีการเติมแป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch)

2.2.1 การเตรียมสารละลายแป้งดัดแปรประจุบวก

- 1) นำแป้งดัดแปรประจุบวกมากวนให้ละลายในน้ำเย็น โดยกำหนดให้น้ำแป้งมีความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5.0 และ 7.5 ต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ
- 2) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนสารละลายน้ำแป้งสุก
- 3) เก็บไว้ในภาชนะปิดสนิทเพื่อป้องกันการระเหย และการปนเปื้อนโดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2.2.2 การประยุกต์ใช้แป้งดัดแปรประจุบวก

- 1) นำน้ำเยื่อที่ได้จากการผสมเยื่อกระดาษจากต้นฟังแหรและรูปฤาษี ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 (ข้อ 2) มาผสมแป้งดัดแปรประจุบวก ซึ่งเตรียมจากข้อ 2.1.1 แล้วกวนผสมเป็นจำนวน 3,000 รอบ
- 2) นำน้ำเยื่อที่เตรียมไว้ในข้อ 1 มาขึ้นรูปแผ่นกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปแผ่นกระดาษตามวิธีมาตรฐาน (TAPPI T205) โดยกำหนดให้น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อเท่ากับ 60 กรัมต่อตารางเมตร
- 3) นำแผ่นเยื่อกระดาษที่ขึ้นรูปแล้วไปอบไล่ความชื้น จนกระดาษแห้ง จากนั้นนำไปปรับสภาพที่อุณหภูมิ 23 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5 % เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบสมบัติของกระดาษ ตามข้อ 2.4
- 4) คัดเลือกสูตรในการปรับปรุงแผ่นกระดาษที่มีสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลที่ดีที่สุดเพื่อนำไปทดลองต่อในตอนต่อไป

2.3 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยการผสมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งดัดแปรประจุบวก

2.3.1 การเตรียมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (Alkenyl succinic anhydride; ASA) และแป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch)

- 1) นำแป้งดัดแปรประจุบวกมากวนให้ละลายในน้ำเย็น โดยกำหนดให้น้ำแป้งมีความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5.0 และ 7.5 ต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ
- 2) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนสารละลายน้ำแป้งสุก
- 3) เก็บไว้ในภาชนะปิดสนิทเพื่อป้องกันการระเหย และการปนเปื้อนโดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

4) นำอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์อิมัลชัน (Alkenyl succinic anhydride emulsification) ที่มีจำหน่ายทางการค้ามาปรับให้มีความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5.0 และ 7.5 ต่อน้ำหนักเยื่อแห้งด้วยน้ำกลั่น ตามลำดับ

5) กวนผสมให้อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์อิมัลชัน (Alkenyl succinic anhydride emulsification) เกิดการกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ เป็นเวลา 30 นาที ด้วยเครื่องกวนผสมแม่เหล็ก

6) นำแป้งคัดแปรประจุบวกซึ่งเตรียมจากข้อ (3) มาผสมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ซึ่งเตรียมจากข้อ (5) กวนผสมให้เกิดการกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ตามอัตราส่วนการผสมแสดงดัง Table 9 เป็นเวลา 15 นาที โดยเครื่องกวนผสมด้วยแม่เหล็ก

7) นำไปเติมลงในน้ำเยื่อทันที หลังจากครบเวลา

Table 9. The amount of Cationic starch and Alkenyl succinic anhydride was adding to the pulp suspension to improve the water resistant and mechanical properties of papersheet.

Experimental No.	The amount of chemical additives.	
	Cationic Starch (% OD weight)	ASA (% OD weight)
1	0	0
2	2.5	0
3	5.0	0
4	7.5	0
5	10	0
6	0	2.5
7	0	5.0
8	0	7.5
9	0	10
10	2.5	7.5
11	5.0	5.0
12	7.5	2.5

2.3.2 การประยุกต์ใช้อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ผสมเป็งัดแปรประจุบวก

1) นำน้ำเยื่อที่ได้จากการผสมเยื่อกระดาษจากต้นพื้งแหรและรูปฤาษี ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 (ข้อ 2) มาผสมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ผสมเป็งัดแปรประจุบวก ซึ่งเตรียมข้อ 2.3.1 แล้วกวนผสมเป็นจำนวน 3,000 รอบ

2) นำน้ำเยื่อที่เตรียมไว้ในข้อ 1 มาขึ้นรูปแผ่นกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปแผ่นกระดาษตามวิธีมาตรฐาน (TAPPI T205) โดยกำหนดคให้น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อเท่ากับ 60 กรัมต่อตารางเมตร

3) นำแผ่นเยื่อกระดาษที่ขึ้นรูปแล้วไปอบไล่ความชื้น จนกระดาษแห้ง จากนั้นนำไปปรับสภาวะที่อุณหภูมิ 23 ± 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5 % เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบสมบัติของกระดาษ ตามข้อ 2.4

4) คัดเลือกสูตรในการปรับปรุงแผ่นกระดาษที่ให้สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลที่ดีที่สุดเพื่อนำไปทดลองต่อในตอนที 3

2.4 การทดสอบสมบัติของแผ่นกระดาษ

1) สมบัติทางกายภาพ เช่น น้ำหนักมาตรฐาน (TAPPI T410) ความหนา (TAPPI T411) มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษ (TAPPI T458) ลักษณะพื้นผิว (TAPPI T538) และความต้านทานน้ำ (TAPPI T441)

2) สมบัติเชิงกล เช่น ความต้านทานแรงดึง (TAPPI T494) ความต้านทานแรงดันทะลุ (TAPPI T403) และความต้านทานการฉีกขาด (TAPPI T414)

3) สมบัติด้านทัศนศาสตร์ เช่น ความขาวสว่าง (TAPPI T452) และค่าสี CIE L* a* b* (TAPPI T527)

ตอนที่ 3 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยกรดซัลฟิวริก

3.1 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากตอนที่ 1 ซึ่งไม่ผ่านการปรับสภาวะด้วยผสม อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์และเป็งัดแปรประจุบวกด้วยกรดซัลฟิวริก

นำแผ่นกระดาษที่คัดเลือกแล้วจากตอนที่ 1 มาปรับปรุงสมบัติด้วยกรดซัลฟิวริก ดังนี้

1) นำแผ่นกระดาษที่ผลิตได้ไปปรับสภาวะโดยเก็บที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) นำตัวอย่างกระดาษจุ่ม (Dipping) ลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 50 และ 70 และระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที

- 3) นำเยื่อกระดาษที่ผ่านการจุ่มสารละลายกรดซัลฟิวริก มาล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อล้างกรดออกและปรับค่า pH ให้มีสภาพความเป็นกลาง
- 4) อัดรีดน้ำออกด้วยแรงอัด 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นระยะเวลา 5 นาที
- 5) นำแผ่นกระดาษไปผ่านกระบวนการทำให้แห้ง
- 6) เก็บที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบสมบัติของกระดาษ ตามข้อ 3.3

3.2 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษ จากตอนที่ 2 ซึ่งผ่านการปรับสภาพด้วยผสม อัลคินิล ซัลฟอนิก แอนไฮไดรด์และแปรงตัดแปรประจุบวกด้วยกรดซัลฟิวริก

นำแผ่นกระดาษที่คัดเลือกแล้วจากตอนที่ 2 มาปรับปรุงสมบัติด้วยกรดซัลฟิวริก ดังนี้

- 1) นำแผ่นกระดาษที่ผลิตได้ไปปรับสภาวะโดยเก็บที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2) นำตัวอย่างกระดาษจุ่ม (Dipping) ลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 50 และ 70 และระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที
- 3) นำเยื่อกระดาษที่ผ่านการจุ่มสารละลายกรดซัลฟิวริก มาล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อล้างกรดออกและปรับค่า pH ให้มีสภาพความเป็นกลาง
- 4) อัดรีดน้ำออกด้วยแรงอัด 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นระยะเวลา 5 นาที
- 5) นำแผ่นกระดาษไปผ่านกระบวนการทำให้แห้ง
- 6) เก็บที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบสมบัติของกระดาษ ตามข้อ 3.3

3.3 การทดสอบความต้านทานดูดซึมผ่านของไขมัน (ดัดแปลงจาก Parkiabioglobosa and Brezovska *et al.*, 2004)

- 1) นำแผ่นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกไปปรับสภาวะโดยเก็บที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2) ตัดตัวอย่างแผ่นกระดาษ ขนาด 2.5×2.5 cm.
- 3) เท Vegetables oil ลงใน Flask ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศา จนไอน้ำมันระเหย

4) คีบตัวอย่างแผ่นกระดาษมาปิดปาก Flask ใ้ น้ำมันระเหยไปสัมผัสกับผิวหน้ากระดาษเป็นระยะเวลา 5 นาที สังเกต บันทึกเป็นภาพถ่าย และรายงานผล

3.4 การทดสอบสมบัติของแผ่นกระดาษ

1) สมบัติทางกายภาพเช่น น้ำหนักมาตรฐาน (TAPPI T410) ความหนา (TAPPI T411) มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษ (TAPPI T458) ลักษณะพื้นผิว (TAPPI T538) ความต้านทานน้ำ (TAPPI T441) และความต้านทานดูดซึมผ่านของไขมัน (ดัดแปลงจาก Parkiabiglobosa and Brezovska *et al.*, 2004)

2) สมบัติเชิงกล เช่น ความต้านทานแรงดึง (TAPPI T494) ความต้านทานแรงดันทะลุ (TAPPI T403) และความต้านทานการฉีกขาด (TAPPI T414)

3) สมบัติด้านทัศนศาสตร์ เช่น ความขาวสว่าง (TAPPI T452) และค่าสี CIE L* a* b* (TAPPI T527)

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จัดชุดการทดลองแบบแฟคทอเรียลและวางแผนการทดลองแบบ Completely randomize design (CRD) (Factorial in CRD) ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ Duncan's New Multiple Rang Test

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบและการผลิตเยื่อกระดาษ

1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และลักษณะทางสัณฐานวิทยาบางประการของเส้นใย

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษสำหรับงานวิจัยนี้เป็นเส้นใยที่ผลิตจากเนื้อไม้ต้นพังแหร และเส้นใยจากใบชูปฤายี่ ซึ่งสมบัติทางเคมีและลักษณะทางสัณฐานวิทยาบางประการของเส้นใยทั้งสองประเภท สามารถแสดงได้ดัง Table 10

Table 10. Some chemical and morphological characteristics of Peach cedar and Cattail.

Items	Type of fibers				
	Pc	C	Ct	Dt	B
Cellulose (%)	58.91	42.61	40-45	38-49 ^a	26-43 ^a
Ash (%)	1.20	12.56	< 1 ^a	< 1 ^a	1.7-5 ^a
Lignin (%)	16.20	5.75	26-34 ^a	23-30 ^a	21-23 ^a
Pentosan (%)	7.65	23.90	7~14 ^a	19~26 ^a	15-26 ^a
1% NaOH solubility (%)	25.32	31.80	-	-	-
Fiber length (mm.)	1.3	19	3-5 ^b	1-2 ^b	1.36-4.03 ^b
Fiber diameter (mm.)	0.0189	0.0418	0.02-0.04 ^b	0.032-0.043 ^b	0.008-0.03 ^c
Slenderness ratio(L/D)	68.78	454.54	100:1 ^c	50:1 ^c	135-175:1 ^c

Pc =Peach cedar, C = Cattail, Ct = Coniferous trees, Dt = Deciduous trees, B = Bamboo

Sources: ^a Parham and Kausftinen (1974), ^b Jahan (2003), ^c Leponiemi (2008)

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของเส้นใยจากต้นพังแหร พบว่า ปริมาณเซลลูโลสและลิกนินของเส้นใยต้นพังแหร มีค่าร้อยละ 58.91 และ 16.20 โดยน้ำหนักแห้งซึ่งจะมีปริมาณเซลลูโลสสูงกว่าพืชทั่วไป ซึ่งไม้ผลัดใบ(Deciduous) ทั่วไปจะมีปริมาณเซลลูโลสประมาณร้อยละ 38-49โดยน้ำหนักแห้ง แต่ปริมาณลิกนินของเส้นใยจากต้นพังแหรจะต่ำกว่าไม้ผลัดใบซึ่งมีปริมาณลิกนินประมาณร้อยละ 23-30 ของน้ำหนักแห้ง (Parham and Kausftinen,

1974) ต้นไม้ที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงจะให้ผลผลิตเชื้อในปริมาณสูง ปริมาณเถ้าของเส้นใยจากต้นพังกาเหมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.20 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีปริมาณเถ้าใกล้เคียงกับไม้พวกไม้ผลัดใบ (Conniferous) และไม้ผลัดใบ คือ น้อยกว่าร้อยละ 1 (Parham and Kausfinen, 1974)

เมื่อเปรียบเทียบกับรูปถ่ายพบว่า ปริมาณเซลลูโลส และลิกนินของเส้นใยรูปถ่ายมีปริมาณร้อยละ 42.61 และ 5.75 โดยน้ำหนักแห้งซึ่งมีค่าน้อยกว่าเส้นใยจากต้นพังกาเหเนื่องจากรูปถ่ายเป็นพืชพืชร่มลุก อย่างไรก็ตามปริมาณเซลลูโลสของรูปถ่ายจะอยู่ในช่วงเดียวกับ ไม้ไผ่ และกก คือ ร้อยละ 22-46 ของน้ำหนักแห้ง (Parham and Kausfinen, 1974) แต่จะมีปริมาณลิกนินที่ต่ำกว่า เส้นใยรูปถ่ายมีปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 12.56 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณเถ้าของเส้นใยจากพืชร่มลุกจะมีปริมาณมาก เนื่องจากมีองค์ประกอบของแร่ธาตุ สารอาหารและซิลิกอน สูงกว่า ไม้ยืนต้น

ปริมาณเพนโทแซนของเส้นใยจากต้นพังกาเหมีค่าร้อยละ 7.65 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่ง มีค่าต่ำกว่าพืชชนิดอื่นๆโดยจะมีค่าในปริมาณใกล้เคียงกับไม้ไม่ผลัดใบที่มีปริมาณเพนโทแซนเท่ากับร้อยละ 7-14 ของน้ำหนักแห้งซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าเส้นใยรูปถ่าย คือ ร้อยละ 23.90 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณของเพนโทแซนที่มีอยู่ในเชื้อจะช่วยเสริมสมบัติด้านความแข็งแรงให้กับกระดาษ เช่นแรงดันทะลุและการต้านทานการหักพับของกระดาษ สามารถบ่งบอกการรักษาและสูญเสียของเฮมิเซลลูโลสในระหว่างกระบวนการผลิตเส้นใย

ความสามารถของการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 ของเส้นใยจากต้นพังกาเหมีค่าร้อยละ 25.32 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าต่ำกว่ารูปถ่ายคือ ร้อยละ 31.80 เนื่องจากเส้นใยต้นพังกาเหมีปริมาณเซลลูโลสสูงกว่าปริมาณการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 จึงต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากแอลฟา-เซลลูโลส (α -cellulose) จะไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ซึ่งทั้งนี้ความสามารถของการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 ของเส้นใยนั้นจะเป็นดัชนีบ่งบอกถึงปริมาณของเซลลูโลสที่ถูกสกัดในระหว่างกระบวนการผลิตเชื้อซึ่งจะสัมพันธ์กับสมบัติด้านความแข็งแรงของเส้นใยพืช (Gorminho *et al.*, 2006)

ลักษณะของเยื่อกราฟท์ที่ผลิตได้จากต้นพังกาเห และรูปถ่าย แสดงดัง Figure 37 พบว่าลักษณะของเยื่อกระดาษจากรูปถ่ายจะมีสีคล้ำกว่า เยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากต้นพังกาเห และความยาวโดยเฉลี่ยของเส้นใยสำหรับเยื่อจากต้นพังกาเห และรูปถ่าย มีค่าเท่ากับ 1.3 มิลลิเมตร และ 19 มิลลิเมตร ซึ่งความยาวเส้นใยจากต้นพังกาเหมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับความยาวของเส้นใยจากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) คือ 0.7-3.0 มิลลิเมตร (Jahan, 2003) และความยาวของเส้นใย

จากรูปถาญมีมี ค่าใกล้เคียงกับเส้นใยจากฝ้ายคือ 18 มิลลิเมตร (Han, 1998) ความยาวของเยื่อจะส่งผลต่อลักษณะของกระดาษ คือ ขนาดของเยื่อใยที่สั้นจะช่วยให้กระดาษมีลักษณะเนื้อกระดาษที่แน่น สม่่าเสมอ เรียบ และมีความทึบแสงดี เนื่องจากเยื่อใยสั้นมีขนาดเล็ก สามารถแทรกตัวตามร่อง ช่องว่างของเยื่อใยยาวได้ ขณะที่เยื่อใยยาวจะมีความสามารถในการยึดเกี่ยวกันสูง (Adamopoulos, 2006) ทำให้กระดาษมีความแข็งแรง ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของต้นฟ้งแหรมมีค่าเท่ากับ 0.0189 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับเยื่อที่ผลิตได้จากไม้เนื้อแข็งคือ 20-40 ไมครอน (Jahan, 2009) และเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยจากรูปถาญ มีค่าเท่ากับ 0.0418 มิลลิเมตรซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับ เยื่อที่ผลิตได้จากไม้เนื้ออ่อน คือ 32-43 ไมครอน (Jahan, 2009) แสดงดัง Figure 38

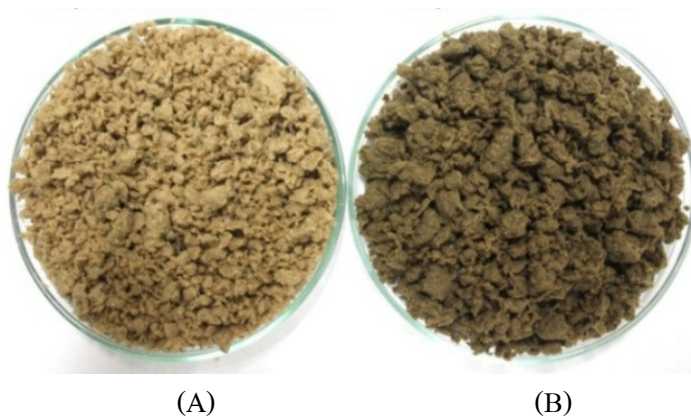


Figure 37. Color of Pulps from the Peach Cedar (A) and Cattail (B)

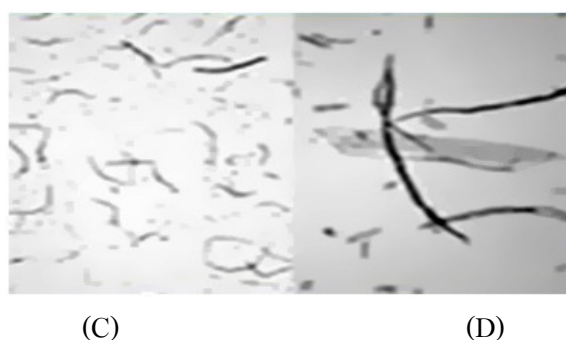


Figure 38. Fiber length of Peach cedar (C) and Cattail (D)

1.2 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษด้วยกระบวนการกราฟท์

1. ผลการศึกษาการผลิตเยื่อจากต้นฟ้งแหรมด้วยกระบวนการกราฟท์

ผลการศึกษาการผลิตเยื่อจากต้นฟ้งแหรมด้วยกระบวนการกราฟท์ที่ระดับค่าความเป็นด่าง(Effective alkali) ร้อยละ 20 25 และ 30 ค่าความเป็นกรด (Sulfidity) ร้อยละ 20 30 และ 40 และอุณหภูมิในการต้ม 140 160 และ 180°ซ. โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ระยะเวลาในการต้มเยื่อที่ 150

นาที่ และอัตราส่วนของชิ้นไม้ต่อน้ำยาเคมีเท่ากับ 1:15 จากการทดลองพบว่า ระดับค่าความเป็นด่าง ค่าความเป็นกรดและอุณหภูมิในการผลิตเยื่อกระดาษที่แตกต่างกันจะมีผลต่อผลผลิตเยื่อ ปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเส้นใย และความแข็งแรงของเส้นใยที่แตกต่างกัน และค่าผลการทดลอง ที่ได้มี ค่าใกล้เคียงกับผลการทำนาย การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Multiple regression analysis ดังแสดง ใน Table 11 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการต้มเยื่อของต้นพื้งแหรคือที่ระดับค่าความเป็นด่างร้อยละ 23 ค่าความเป็นกรดร้อยละ 40 และอุณหภูมิในการต้ม 157°C. ซึ่งจะให้ผลผลิตเยื่อกระดาษสูงที่สุด คือร้อยละ 43.82 โดยเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จะมีค่าเลขแคปปา (Kappa number) ประมาณ 16.36 และมีค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 43.71 Nm/g แสดงดัง Figure 39 40 และ 41

Table 11. Variables of kraft pulping process for Peach cedar.

Experiment	Independent variables			Dependent variables					
	EA (%)	S (%)	T (°C)	Peach cedar			Predicted Response		
				YI (%)	Kn	TI (Nm./g)	YI (%)	Kn	TI (Nm./g)
1	1(30)	1(40)	0(160)	41.76	16.46	46.53	45.50	16.11	40.72
2	1(30)	-1(20)	0(160)	49.09	16.36	49.08	51.22	16.19	49.80
3	-1(20)	1(40)	0(160)	47.19	16.64	48.12	50.32	16.81	47.40
4	-1(20)	-1(20)	0(160)	40.49	16.42	34.11	42.01	16.77	39.92
5	1(30)	0(30)	1(180)	50.82	14.36	44.16	53.37	14.74	45.30
6	1(30)	0(30)	-1(140)	36.54	16.50	35.94	35.21	16.64	39.90
7	-1(20)	0(30)	1(180)	49.29	16.47	40.78	52.45	16.33	36.82
8	-1(20)	0(30)	-1(140)	32.46	16.72	46.33	35.21	16.34	45.19
9	0(25)	1(40)	1(180)	47.52	15.85	35.08	50.33	15.82	39.75
10	0(25)	1(40)	-1(140)	32.98	16.92	45.53	35.21	17.13	47.39
11	0(25)	-1(20)	1(180)	44.13	16.40	48.56	48.54	16.19	46.70
12	0(25)	-1(20)	-1(140)	30.56	16.75	46.71	33.09	16.78	42.04
13	0(25)	0(30)	0(160)	42.59	16.30	40.37	44.58	16.32	40.64
14	0(25)	0(30)	0(160)	41.94	16.46	40.64	44.58	16.32	40.64
15	0(25)	0(30)	0(160)	41.33	16.20	40.90	44.58	16.32	40.64

EA = Effective alkali; S = Sulphidity ; T= Temperature; YI = Yield; Kn = Kappa number; TI = Tensile index.

Figure 39 แสดงปริมาณผลผลิตเยื่อที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ สารเคมีและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง และจะลดลง แสดงว่าปริมาณสารเคมีและอุณหภูมิจะ เข้าไปทำลายลิกนินแล้วแยกเส้นใยออกมา แต่การเพิ่มปริมาณการใช้สารเคมีที่สูงเกินไปจะมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตเยื่อลดลงแสดงว่า ค่าความเป็นด่างและค่าความเป็นกรดนอกจากจะมีผล ในการละลายลิกนินแล้วยังมีผลในการทำลายสารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตอีกด้วย ดังนั้นถ้าต้องการ ให้ได้ผลผลิตเยื่อสูงควรคำนึงถึงปริมาณค่าความเป็นด่างและค่าความเป็นกรดที่ใช้ด้วยซึ่งปริมาณ ผลผลิตเยื่อกระดาษจากฟังแหรสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลผลิต} = & -199.95 - 2.82x_1 + 1.86x_2 + 2.69x_3 - 0.07x_1x_2 - 0.0064x_1x_3 + 0.0012x_2x_3 + 0.123x_1^2 \\ & - 0.004x_2^2 - 0.0069x_3^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$R^2 = 0.98$$

เมื่อ x_1 = ค่าความเป็นด่าง(%), x_2 = ค่าความเป็นกรด(%), และ x_3 = อุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$)

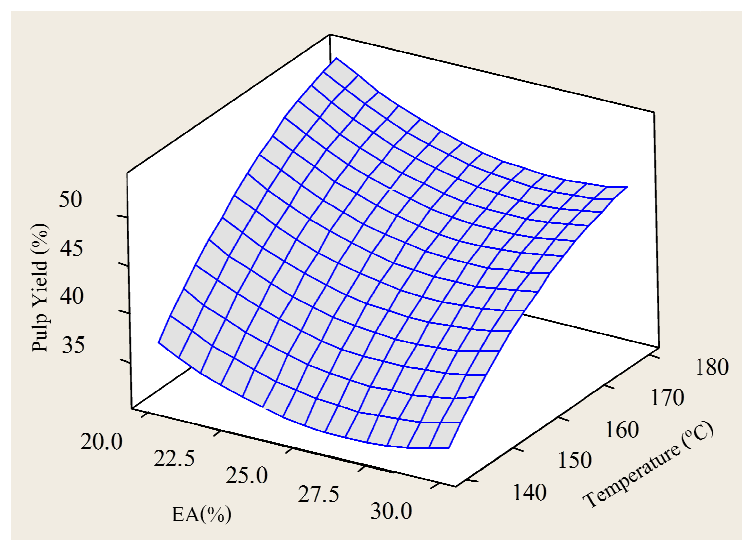


Figure 39. Relationship of pulp yield, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 40% for Peach cedar pulping.

Figure 40 แสดงปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อกระดาษที่ได้ซึ่งจะมีค่าลดลงตาม ปริมาณการใช้สารเคมีและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยค่าเลขแคปปา (Kappa number) จะเป็นตัวบ่งชี้ให้ ทราบว่ามีปริมาณลิกนินเหลืออยู่ในเยื่อปริมาณเท่าใดโดยเยื่อที่ได้จะมีค่าเลขแคปปาสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 ชนิด คือ ค่าความเป็นด่างค่า ความเป็นกรด และอุณหภูมิในการผลิตเยื่อกระดาษ ค่าเลขแคปปาของเยื่อกระดาษจากต้นฟังแหร สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{เลขแคปปา(Kappa number)} = & -12.62+1.027x_1-0.00.027x_2+0.24x_3-0.0006x_1x_2- 0.0047x_1x_3- \\ & 0.0009x_2x_3- 0.0.0063x_1^2 + 0.003x_2^2 - 3.72x_3^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$R^2 = 0.84$$

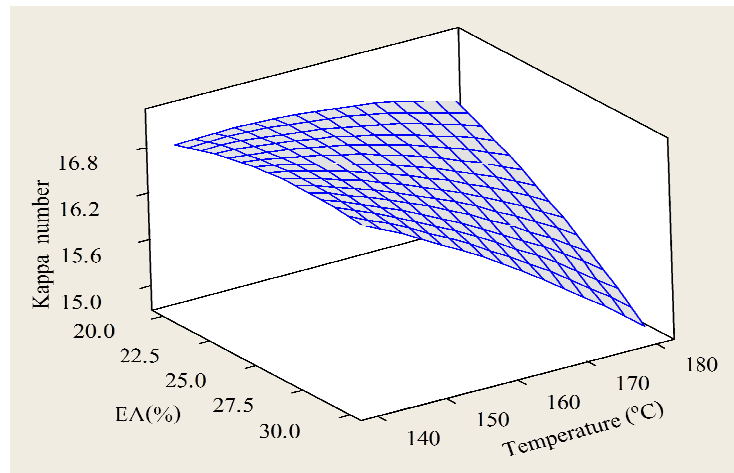


Figure 40. Relationship of kappa number, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 40% for Peach cedar pulping.

ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงของเยื่อกระดาษที่ผลิตจากต้นพังกาจะมีค่าลดลงตามปริมาณการใช้สารเคมีและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แสดงดัง Figure 40 ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความต้านทานแรงดึง ค่าความเป็นด่าง ค่าความเป็นกรด และอุณหภูมิในการผลิตเยื่อกระดาษสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึง} = & 114.869-4.52x_1+2.69x_2-0.706x_3+4.13x_1x_2-3.44x_1x_3+3.07x_2x_3- \\ & 0.033x_1^2 + 0.0.28x_2^2 - 0.00084x_3^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$R^2 = 0.96$$

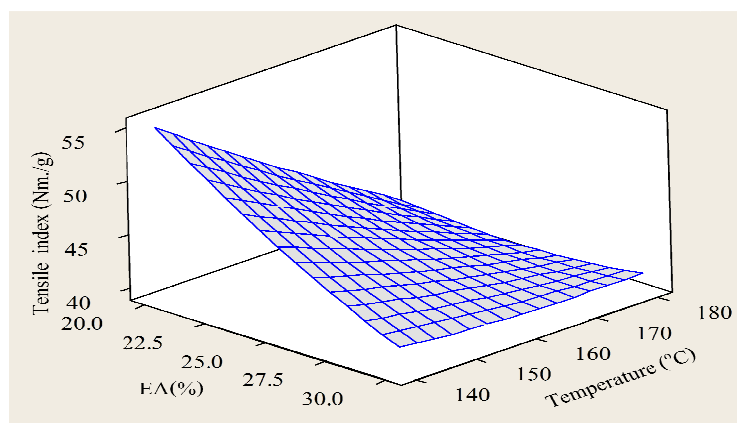


Figure 41. Relationship of tensile index, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 40% for Peach cedar pulping.

2. ผลการศึกษาการผลิตเยื่อจากธูปฤาษีด้วยกระบวนการkraft

ผลการศึกษาการผลิตเยื่อจาก ธูปฤาษีด้วยกระบวนการkraft ที่ระดับค่าความเป็นด่าง (Effective alkali) ร้อยละ 20 25 และ 30 ค่าความเป็นกรด (Sulfidity) ร้อยละ 20 30 และ 40 และ อุณหภูมิในการต้ม 140 160 และ 180 °ซ. (แสดงดัง Table 12) โดยมีปัจจัยควบคุม คือระยะเวลาในการต้มเยื่อที่ 150 นาที และอัตราส่วนของชิ้นไม้ต่อน้ำยาเคมีเท่ากับ 1:15

Table 12. Variables of kraft pulping process for Cattail.

Experiment	Independent variables			Dependent variables					
	EA (%)	S (%)	T (°C)	Cattail			Predicted Response		
				YI (%)	Kn	TI (Nm./g)	YI (%)	Kn	TI (Nm./g)
1	1(30)	1(40)	0(160)	31.75	14.96	56.95	28.78	10.10	58.19
2	1(30)	-1(20)	0(160)	31.22	11.85	53.35	30.46	11.33	53.13
3	-1(20)	1(40)	0(160)	29.48	14.60	56.98	30.24	15.12	57.20
4	-1(20)	-1(20)	0(160)	28.48	18.03	57.56	27.48	15.15	56.56
5	1(30)	0(30)	1(180)	27.79	7.22	57.19	26.50	5.63	56.83
6	1(30)	0(30)	-1(140)	30.55	18.25	57.58	31.61	17.48	57.16
7	-1(20)	0(30)	1(180)	27.25	11.24	52.15	26.19	12.01	52.57
8	-1(20)	0(30)	-1(140)	29.11	18.35	63.50	30.40	19.94	63.86
9	0(25)	1(40)	1(180)	23.37	10.36	58.62	23.66	9.07	57.97
10	0(25)	1(40)	-1(140)	36.09	18.37	62.65	34.04	16.26	62.07
11	0(25)	-1(20)	1(180)	26.79	4.88	52.82	28.84	6.99	53.40
12	0(25)	-1(20)	-1(140)	28.07	18.32	60.28	27.78	19.61	60.92
13	0(25)	0(30)	0(160)	33.49	18.08	56.30	31.74	17.98	56.94
14	0(25)	0(30)	0(160)	30.87	17.96	56.67	31.74	17.98	56.94
15	0(25)	0(30)	0(160)	30.87	17.91	57.84	31.74	17.98	56.94

EA = Effective alkali; S = Sulfidity ; T= Temperature; YI = Yield; Kn = Kappa number; TI = Tensile index.

จากการทดลองพบว่า ระดับค่าความเป็นด่าง ค่าความเป็นกรด และอุณหภูมิ ในการผลิตเยื่อกระดาษที่แตกต่างกัน จะมีผลต่อผลผลิตเยื่อ ปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเส้นใย และความแข็งแรงของเส้นใยที่ต่างกัน และค่าผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลการทำนาย การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Multiple regression analysis สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษของ ฐูปฤายีคือ ที่ระดับค่าความเป็นด่างร้อยละ 22 ค่าความเป็นกรดร้อยละ 20 และอุณหภูมิในการต้ม 160 °ซ ให้ผลผลิตเยื่อกระดาษสูงที่สุดคือร้อยละ 31.09 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จะมีค่าเลขแคปปา ประมาณ 14.69 และมีค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 68.92 Nm/g แสดงดัง Figure 42 43 และ 44

Figure 42. แสดงปริมาณผลผลิตเยื่อที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของสารเคมี และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง และจะลดลง แสดงว่าปริมาณสารเคมี และอุณหภูมิจะเข้าไป ทำลายลิกนินแล้วแยกเส้นใยออกมา แต่การเพิ่มปริมาณการใช้สารเคมีที่สูงเกินไปจะมีผลทำให้ ปริมาณผลผลิตเยื่อลดลงแสดงว่า ค่าความเป็นด่างและค่าความเป็นกรด นอกจากจะมีผลในการ ละลายลิกนินแล้วยังมีผลในการทำลายสารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตอีกด้วย ดังนั้นถ้าต้องการให้ได้ ผลผลิตเยื่อสูงควรคำนึงถึงปริมาณค่าความเป็นด่าง และค่าความเป็นกรดที่ใช้ด้วย ซึ่งปริมาณผลผลิต เยื่อกระดาษจากฐูปฤายีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) ดังนี้

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = -207.738 + 3.51x_1 + 3.65x_2 + 1.86 - 0.022x_1x_2 - 0.0023x_1x_3 - 0.014x_2x_3 - 0.048x_1^2 - 0.0129x_2^2 - 0.0047x_3^2 \quad (5)$$

$$R^2 = 0.82$$

เมื่อ x_1 = ค่าความเป็นด่าง(%) x_2 = ค่าความเป็นกรด(%) และ x_3 = อุณหภูมิ (°C)

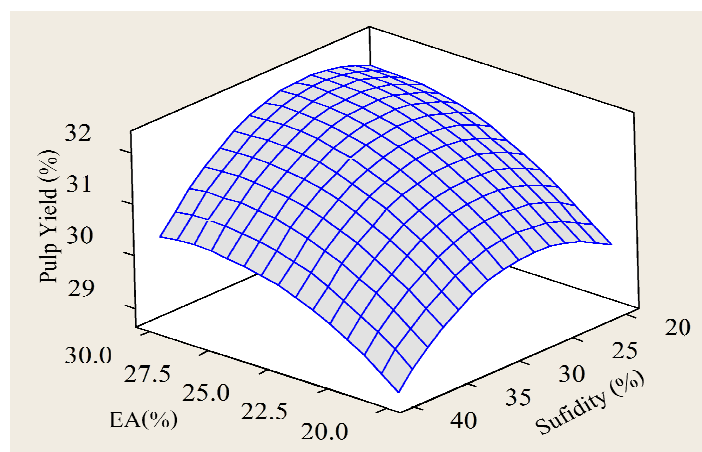


Figure 42. Relationship of pulp yield, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 20% for Cattail pulping.

Figure 43 แสดงปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อกระดาษที่ได้ซึ่งจะมีค่าลดลงตามปริมาณค่าความเป็นด่าง และค่าความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น โดยค่าเลขแคปปา (Kappa number) จะเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบว่าปริมาณลิกนินเหลืออยู่ในเยื่อปริมาณเท่าใด โดยเยื่อที่ได้จะมีค่าเลขแคปปาสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 ชนิด คือ ค่าความเป็นด่าง ค่าความเป็นกรด และอุณหภูมิในการผลิตเยื่อกระดาษ ค่าเลขแคปปาของเยื่อกระดาษจากธูปฤาษีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6) ดังนี้

$$\text{เลขแคปปา} = -154.426 + 5.581x_1 + 0.0784x_2 + 1.458x_3 - 0.006x_1x_2 - 0.0098x_1x_3 + 0.0067x_2x_3 - 0.086x_1^2 - 0.029x_2^2 - 0.005x_3^2 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.89$$

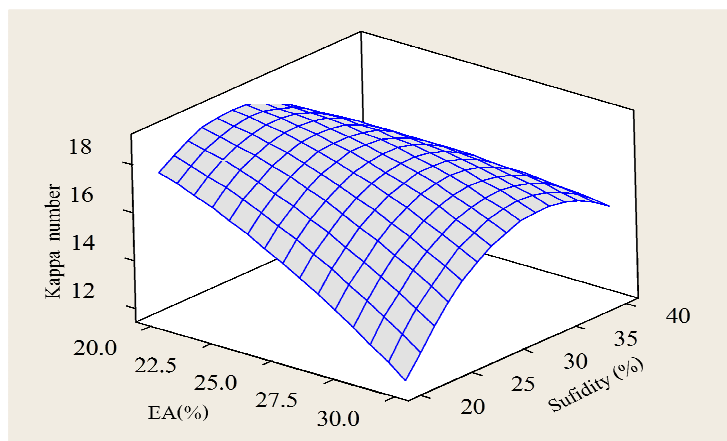


Figure 43. Relationship of kappa number, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 20% for Cattail pulping.

Figure 44 แสดงดัชนีค่าความต้านทานแรงดึงของเยื่อกระดาษที่ผลิตจากธูปฤาษี โดยจะมีค่าลดลงตามปริมาณค่าความเป็นด่าง และค่าความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความต้านทานแรงดึง ค่าความเป็นด่าง ค่าความเป็นกรด และอุณหภูมิในการผลิตเยื่อกระดาษสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) ดังนี้

$$\text{ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึง} = 302.159 - 3.514x_1 - 1.191x_2 - 2.155x_3 + 0.022x_1x_2 + 0.027x_1x_3 + 0.043x_2x_3 - 0.033x_1^2 + 0.0016x_2^2 + 0.0037x_3^2 \quad (7)$$

$$R^2 = 0.96$$

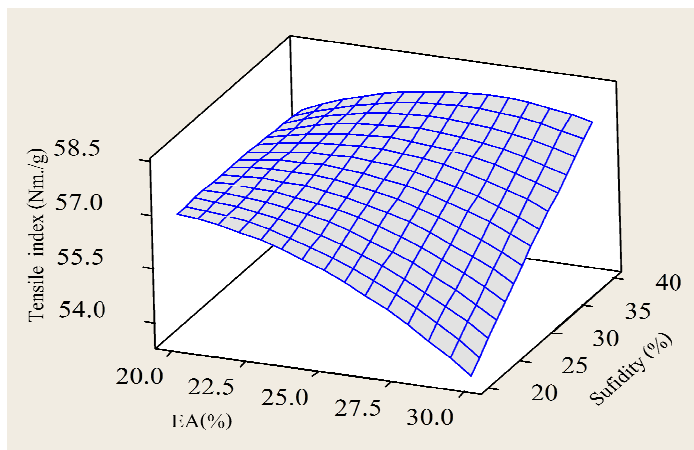


Figure 44. Relationship of tensile index, effective alkali (EA) and temperature at the sulfidity of 40% for Cattail pulping.

ตอนที่ 2 การขึ้นรูปเยื่อกระดาษ

2.1 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมเยื่อกระดาษจากต้นฟังแหร และรูปฤาษี

การนำเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากต้นฟังแหร และรูปฤาษีมาผสมกันในอัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 พบว่าความแข็งแรงทางกล และทางกายภาพจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเยื่อรูปฤาษีที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเยื่อจากต้นฟังแหรมีลักษณะเส้นใยสั้นขณะที่เยื่อจากรูปฤาษีมีลักษณะเส้นใยยาว ดังนั้นเมื่อนำเยื่อจากรูปฤาษีมาผสมกับเยื่อจากต้นฟังแหรจะทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลงกระดาษมีความหนาแน่นสูงขึ้น จึงทำให้มีความแข็งแรงทางกลสูงขึ้น (Adamopoulos, 2006) ซึ่งอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเยื่อที่ให้ความแข็งแรงสูงสุดคือ 50:50 จะให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 57.79 Nm/g จะมีค่าต่ำกว่าเยื่อจากรูปฤาษี 100 % แต่จะมีค่าสูงกว่าเยื่อผสมชนิดอื่น และสูงกว่าเยื่อจากต้นฟังแหร 100% คือให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 40.64 Nm/g แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) แสดงดัง Figure 45

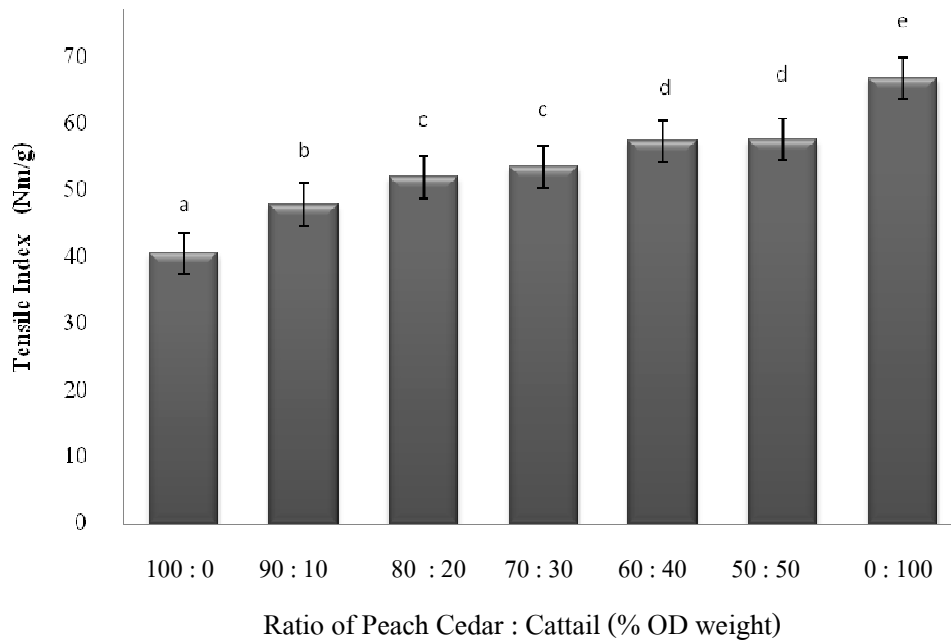


Figure 45. Tensile Index of mixed pulpsheets made from Peach cedar and Cattail pulps.

ค่าความต้านทานแรงดันทะลุมีค่าเท่ากับ 3.87 Kg/cm^2 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเชื้อจากรูปถาปี 100 % แต่จะมีค่าสูงกว่าเชื้อผสมชนิดอื่น และสูงกว่าเชื้อจากต้นพังแหร 100% ค่าความต้านทานแรงดันทะลุมีค่าเท่ากับ 2.84 Kg/cm^2 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) แสดงดัง Figure 46

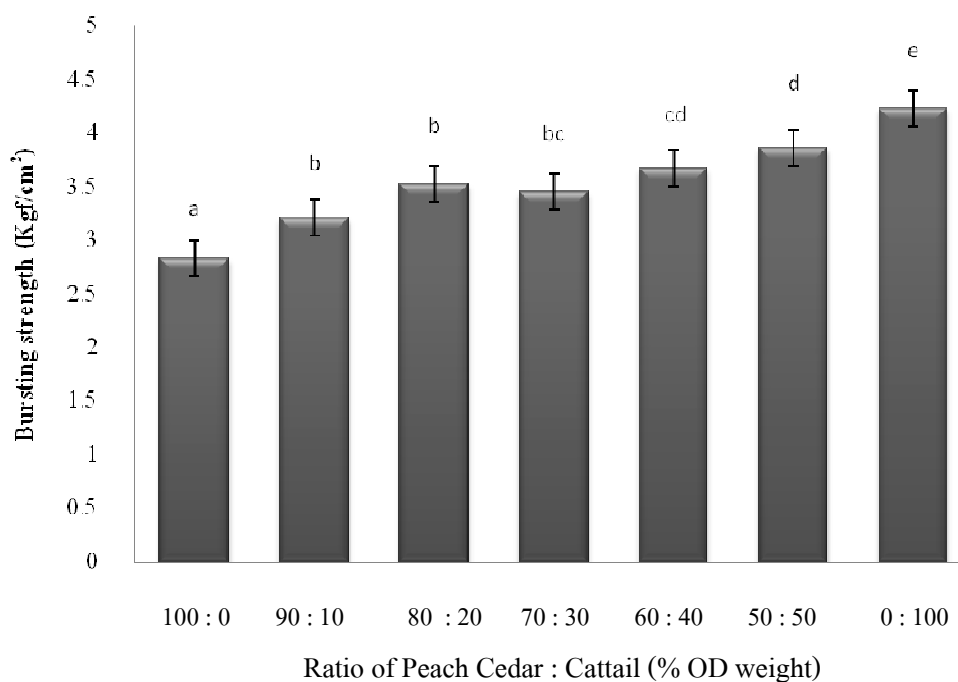


Figure 46. Bursting strength of mixed pulpsheets made from Peach cedar and Cattail pulps.

สำหรับค่าความต้านทานการฉีกขาดที่อัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมในการขึ้นรูป เยื่อซึ่งให้ค่าความต้านทานการฉีกขาดสูงสุด คือ 50:50 เท่ากับ 50.40 gf. จะมีค่าต่ำกว่าเยื่อจากธูปฤาษี 100 % แต่จะมีค่าสูงกว่าเยื่อผสมชนิดอื่น และสูงกว่าเยื่อจากต้นพังแหร 100% ซึ่งมีค่าความต้านทานการฉีกขาดเท่ากับ 40.27 gf. แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) แสดงดัง Figure 47

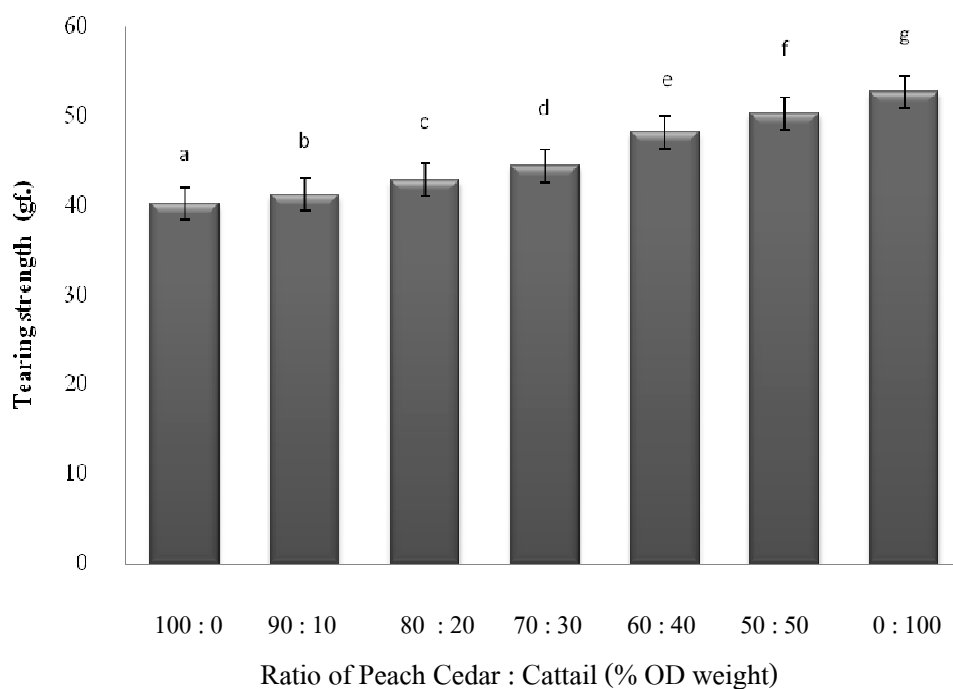


Figure 47. Tearing strength of mixed pulpsheets made from Peach cedar and Cattail pulps.

สมบัติทางกายภาพของกระดาษเยื่อผสมจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเยื่อธูปฤาษีที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เพราะเยื่อจากต้นพังแหรมีลักษณะเส้นใยสั้นขณะที่เยื่อจากธูปฤาษีมีลักษณะเส้นใยยาว ดังนั้นเมื่อนำเยื่อจากธูปฤาษีมาผสม กับเยื่อจากต้นพังแหร จะเกิดพันธะการยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใย ช่วยลดช่องว่างระหว่างเส้นใย กระดาษมีความหนาแน่นสูงขึ้น มีความเรียบและสม่ำเสมอมากขึ้น ช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลง จึงทำให้มีค่าอัตราการดูดซึมน้ำลดลง และอัตราส่วนการผสม 50:50 จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านน้ำต่ำสุด คือ 99.97 g/m^2 แต่จะมีค่าสูงกว่าแผ่นเยื่อที่ผลิตจากธูปฤาษี 100% อย่างไรก็ตามอัตราการซึมผ่านน้ำของแผ่นเยื่อผสมระหว่างเยื่อจากต้นพังแหร และธูปฤาษี ในอัตราร้อยละ 50:50 จะมีค่าต่ำกว่าเยื่อผสมในอัตราส่วนอื่น และต่ำกว่าแผ่นเยื่อที่ผลิตจากต้นพังแหร 100% แสดงดัง Figure 48

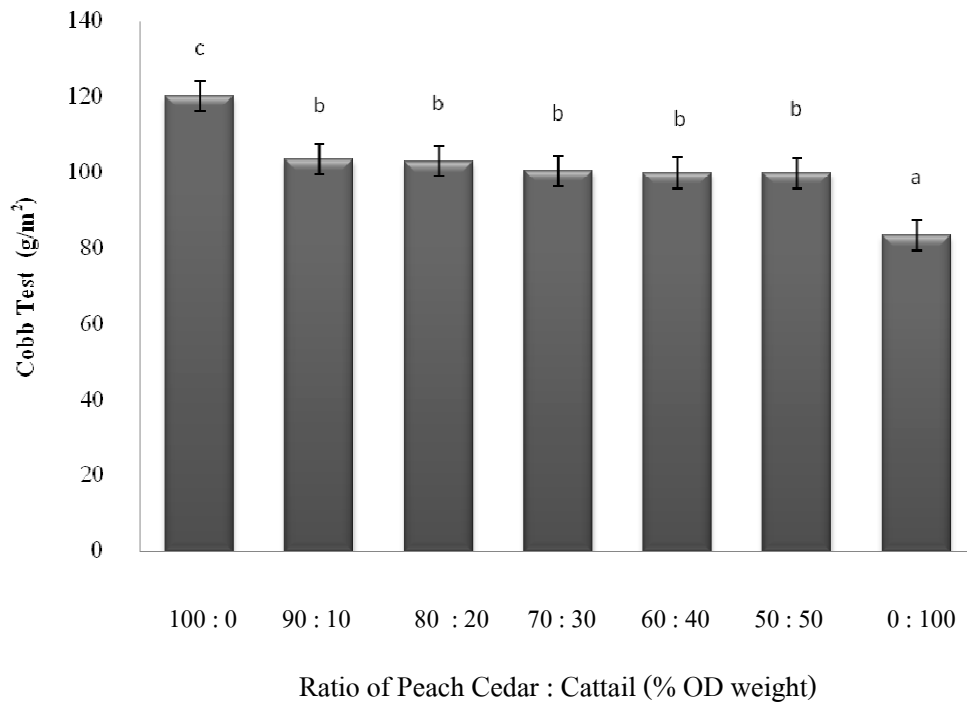


Figure 48. Cobb Test ($cobb_{60}$) of mixed pulp sheets made from Peach cedar and Cattail pulps.

มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษ ที่ 0 และ 1 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของรูปฤาษี แสดงดัง Figure 49 ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผสมเยื่อ คือ 50:50 ให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษที่ 0 และ 1 นาที เท่ากับ 81.49 องศา และ 59.53 องศาตามลำดับ

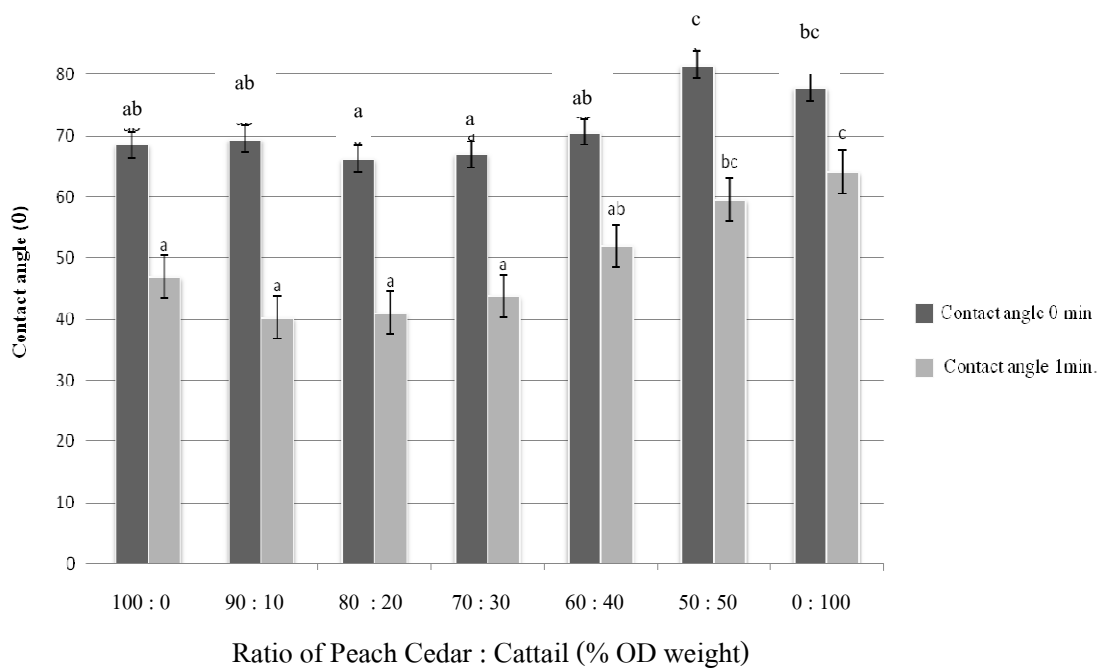


Figure 49. Contact angle of mixed pulp sheets made from Peach cedar and Cattail pulps for 0 and 1 minutes.

จาก Figure 49 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษของเยื่อผสมระหว่างเยื่อที่ผลิตจากต้นพังแหรและรูปฤาษีในอัตราส่วน 50:50 ที่ 0 และ 1 นาที จะมีมุมสัมผัสระหว่างผิวน้อยกว่า 90 องศา แสดงว่า ผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำหรือเป็นวัสดุไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) (Shafirin and Zisman., 1960) ซึ่งผิวของกระดาษจะต้านทานน้ำได้ไม่ดีแสดงดัง Figure 50



Figure 50. Contact angle of mixed pulpsheets made from Peach cedar and Cattail pulps in the ratio of 50:50 for 0 and 1 minutes.

การวิเคราะห์ค่าสีของกระดาษมักพิจารณาควบคู่ไปกับค่าความขาวสว่าง (Brightness) ซึ่งเมื่อนำกระดาษที่ได้ไปทดสอบค่าสี และค่าความขาวสว่าง จะเห็นว่าค่าความขาวสว่างของกระดาษจะมีค่าลดลงตามอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยจากรูปฤาษี ซึ่งสอดคล้องกับค่าสี L^* ที่มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน แสดงดัง Figure 51

จาก Table 13 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อจากรูปฤาษี ค่า a^* จะมีค่า (+) ที่เพิ่มขึ้นเข้าใกล้ค่าสีของเยื่อกระดาษจากรูปฤาษี คือ 6.08 แสดงว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อจากรูปฤาษี กระดาษที่ผลิตได้มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น และจากตารางจะเห็นได้ว่าค่า b^* มีค่า (+) ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ และมีค่าเข้าใกล้ค่าสีของเยื่อกระดาษจากรูปฤาษีคือ 19.86

Table 13. Brightness and color of mixed papersheets made from Peach cedar pulp and Cattail pulps.

Ratio (% OD weight) Peach cedar : Cattail	Properties*			
	Brightness*	L^*	a^*	b^*
100:0	64.86±0.54 ^f	94.04±0.28 ^c	5.36±0.01 ^a	17.52±0.01 ^b
90:10	61.10±1.98 ^c	91.47±0.91 ^d	5.33±0.05 ^a	16.42±0.22 ^a
80:20	58.92±0.83 ^d	91.00±0.69 ^{cd}	5.25±0.09 ^a	17.44±0.12 ^b
70:30	57.36±1.03 ^d	90.38±0.53 ^c	5.52±0.07 ^b	18.16±0.07 ^c
60:40	54.78±0.22 ^c	89.25±0.22 ^b	5.70±0.05 ^c	18.72±0.23 ^d
50:50	52.91±0.33 ^b	88.41±0.35 ^b	5.76±0.12 ^c	18.80±0.24 ^d
0:100	47.66±0.58 ^a	85.62±0.43 ^a	6.08±0.04 ^d	19.86±0.14 ^c

All values are reported as mean ($N \geq 5$).

*The different superscripts in the same column indicate the significant differences ($p < 0.05$).

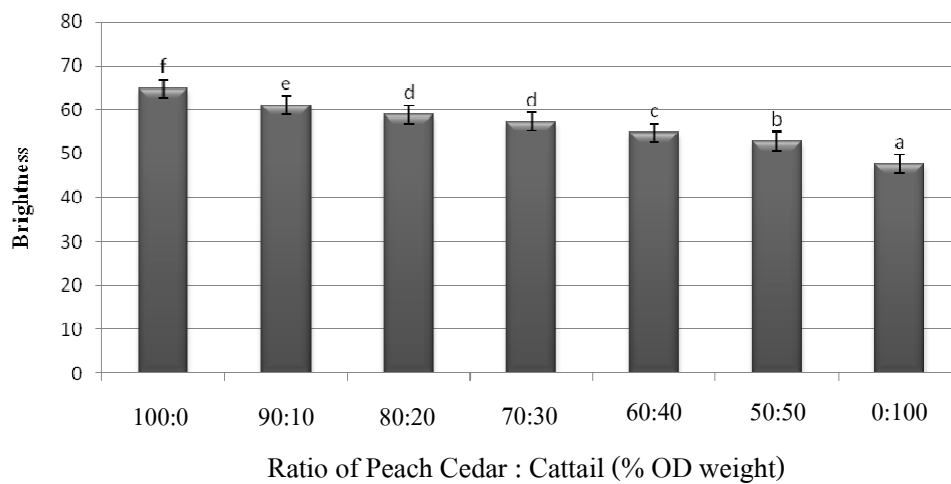


Figure 51. Brightness of pulpsheets made from Peach cedar and Cattail mixed pulps.

การเพิ่มปริมาณเชื้อจากรูปฤๅษีกระดาษที่ผลิตได้มีค่าใกล้เคียงสีเหลือง กระดาษที่ผลิตได้จากการผสมเชื้อกระดาษระหว่างต้นพังแหร และรูปฤๅษี จะมีสีเหลืองอมน้ำตาล เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของเชื้อจากรูปฤๅษี Figure 52

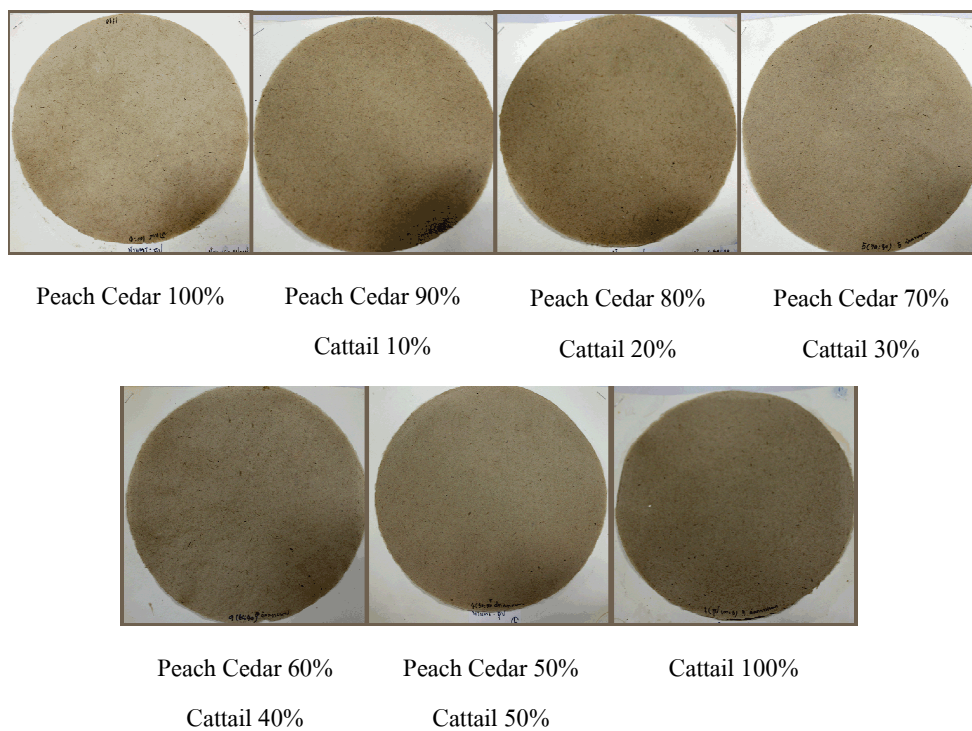


Figure 52. The appearance of mixed papersheets made from Peach cedar and Cattail pulps.

ตอนที่ 3 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยแป้งคัดแปรประจุบวกและอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์

นำเยื่อผสมระหว่างคั้นฟังแหร และรูปฤาษีในอัตราส่วน 50:50 ซึ่งให้สมบัติดีที่สุด จากตอนที่ 2 มาปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งคัดแปรประจุบวกในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าสมบัติทางกลและทางกายภาพของกระดาษมีค่าสูงขึ้น ซึ่งกระดาษจะมีความต้านทานแรงดันทะลุที่เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแป้งคัดแปรประจุบวกที่เพิ่มขึ้นซึ่งปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวกร้อยละ 7.5 และร้อยละ 10 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุสูงสุดซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 6.41 Kgf/cm^2 และ 6.42 Kgf/cm^2 ตามลำดับ และเมื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษด้วยการนำแป้งคัดแปรประจุบวกมาผสมกับอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ พบว่า เมื่อเติม แป้งคัดแปรประจุบวก ร้อยละ 7.5 และ อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ ร้อยละ 2.5 ให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุที่สูงขึ้นมีค่าเท่ากับ 6.54 Kgf/cm^2 ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติมแป้งคัดแปรประจุบวกในปริมาณร้อยละ 7.5 และร้อยละ 10 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

การเปรียบเทียบกระดาษที่ผลิตจากเยื่อผสมซึ่งเติมแป้งคัดแปรประจุบวก และ/หรือ อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ กับกระดาษที่ไม่ผ่านการเติมแป้งคัดแปรประจุบวก พบว่าค่าความต้านทานแรงดันทะลุมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อมีการเติมแป้งคัดแปรประจุบวก แต่ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเติมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์เพียงอย่างเดียว แสดงดัง Figure 53

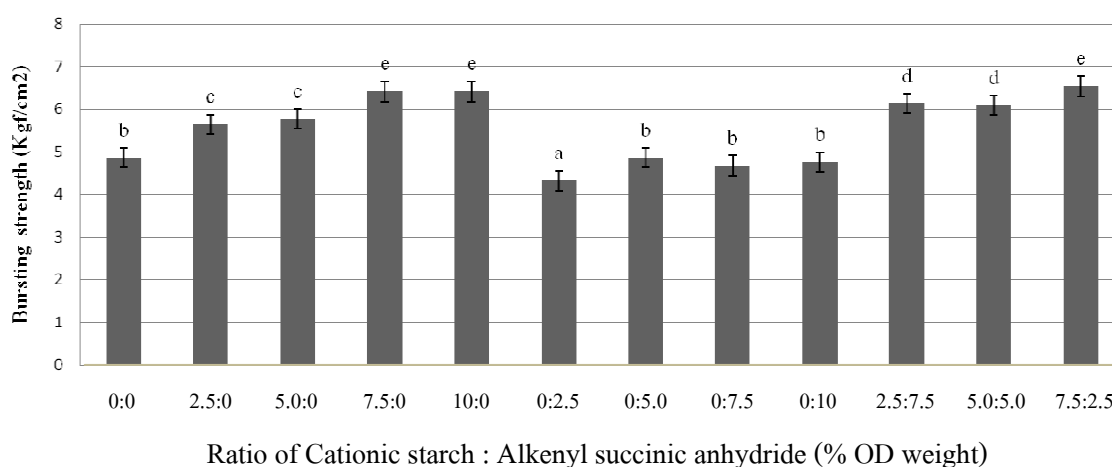


Figure 53. Bursting strength of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.

ค่าความต้านทานด้านการฉีกขาด จะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแป้งดัดแปรประจุบวกที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองพบว่า เมื่อเติมที่ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวกร้อยละ 5.0 7.5 และ 10 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะให้ค่าความต้านทานด้านการฉีกขาดสูงสุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ให้ค่าเท่ากับ 54.40 gf, 55.20 gf, และ 55.20 gf. ตามลำดับ และเมื่อปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยการนำแป้งดัดแปรประจุบวกมาผสมกับอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ พบว่าการเติมแป้งดัดแปรประจุบวกต่ออัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ร้อยละ 2.5:7.5 5.0:5.0 และ 7.5:2.5 จะให้ค่าความต้านทานด้านการฉีกขาด เท่ากับ 60.00 gf, 59.84 gf, และ 60.80 gf. ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ผลิตจากเยื่อผสมซึ่งเติมแป้งดัดแปรประจุบวก และ/หรือ อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ กับกระดาษที่ไม่ผ่านการเติมแป้งดัดแปรประจุบวก พบว่าค่าความต้านทานด้านการฉีกขาด มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อมีการเติมแป้งดัดแปรประจุบวก และอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ แต่ค่าความต้านทานด้านการฉีกขาด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเติมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ ในปริมาณร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เพียงอย่างเดียว แสดงดัง Figure 54

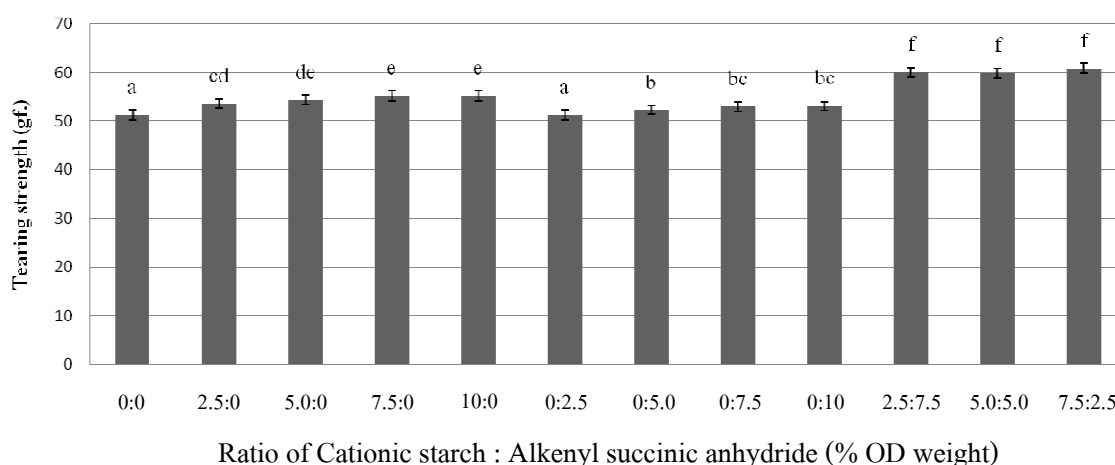


Figure 54. Tearing strength of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.

ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแป้งดัดแปรประจุบวกที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองพบว่า การเติมแป้งดัดแปรประจุบวกในปริมาณร้อยละ 2.5 5.0 7.5 และ 10 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึง ค่าเท่ากับ 72.59 N.m/g 83.54 N.m/g 87.37 N.m/g และ 91.78 N.m/g ตามลำดับ และเมื่อปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วย

การนำแป้งดัดแปรประจุบวกมาผสมกับอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ พบว่าการเติมแป้งดัดแปรประจุบวกต่ออัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ในอัตราส่วนร้อยละ 2.5:7.5 5.0:5.0 และ 7.5:2.5 จะให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึง เท่ากับ 95.87 N.m/g 96.31 N.m/g และ 98.07 N.m/g ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ผลิตจากเยื่อผสมซึ่งเติมแป้งดัดแปรประจุบวก และ/หรือ อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ กับกระดาษที่ไม่ผ่านการเติมแป้งดัดแปรประจุบวกพบว่า ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อมีการเติมแป้งดัดแปรประจุบวก และอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ แสดงดัง Figure 55

แผ่นเยื่อกระดาษที่เติมแป้งดัดแปรประจุบวกจะมีความแข็งแรงทางกลเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากแป้งดัดแปรประจุบวกสามารถ สร้างพันธะไอออนิก ระหว่างประจุบวก กับประจุลบบนผิวของเส้นใย ซึ่งจะส่งเสริมการยึดเกาะกันของเส้นใยทำให้ กระดาษมีความแข็งแรงทางกลสูง (Gaiolas *et al.*, 2006)

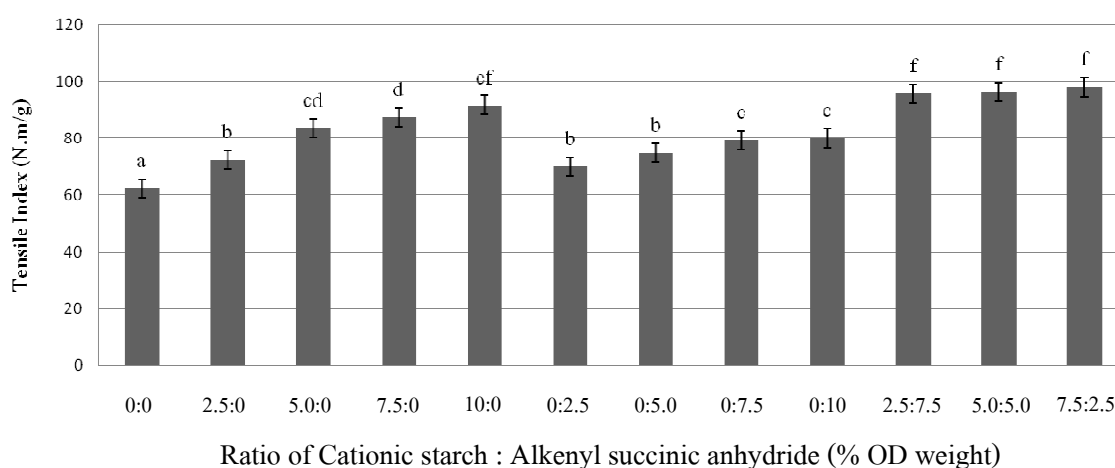


Figure 55. Tensile Index of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.

การเติมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (ASA) จะมีผลต่อสมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษพบว่า จากการทดลองอัตราการดูดซึมน้ำของกระดาษมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งดัดแปรประจุบวก และเมื่อเติมแป้งดัดแปรประจุบวกผสมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ ในปริมาณร้อยละ 7.5:2.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ระยะเวลา 1 นาที ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 43.10 g/m² ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุง แสดงดัง Figure 56

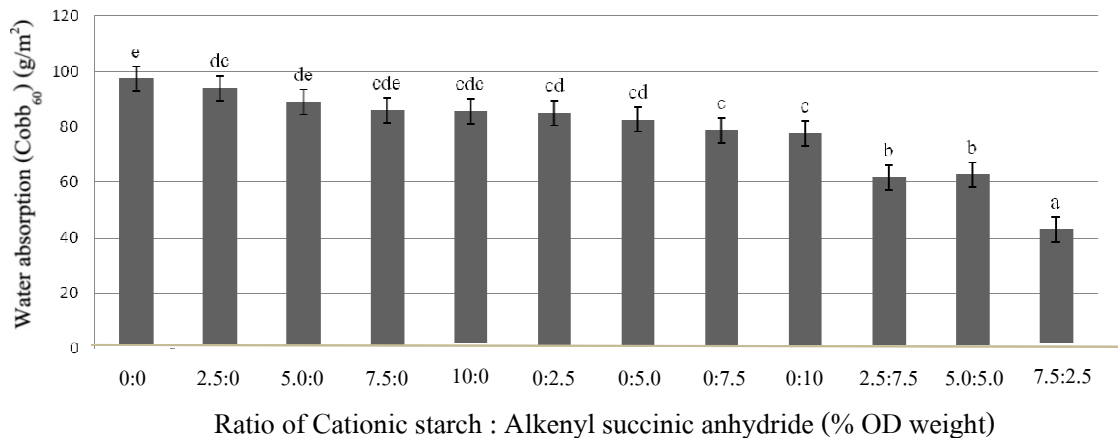


Figure 56. Water absorption of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.

มุ่มสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษ ที่ 0 และ 1 นาที เมื่อปรับปรุงด้วย อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (ASA) พบว่า มุ่มสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษ ที่ระยะเวลา 0 และ 1 นาที มีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งคัดแปรประจุบวก และเมื่อเติมแป้งคัดแปรประจุบวกผสมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ ในปริมาณร้อยละ 2.5:7.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะให้ค่ามุ่มสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษสูงที่สุดโดยที่ระยะเวลา 0 และ 1 นาที มีค่าเท่ากับ 124.53 องศา และ 122.57 องศา ตามลำดับ ซึ่งจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมแป้งคัดแปรประจุบวกผสม อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ ในอัตราส่วน 7.5: 2.5 และเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพบว่า มุ่มสัมผัสของหยดน้ำนั้นจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงดัง Figure 57

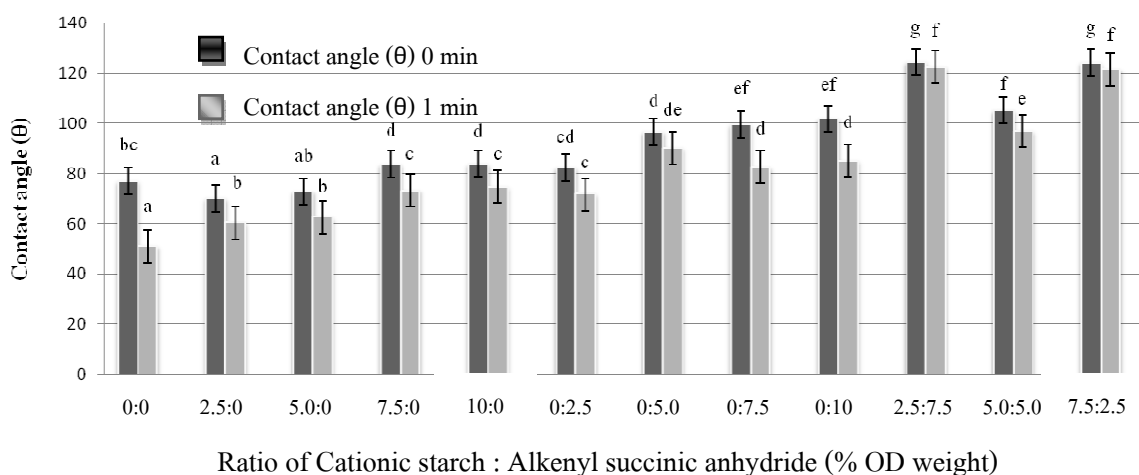


Figure 57. Contact angle of water on the papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.

ค่าความต้านทานน้ำของกระดาษที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ จะทำปฏิกิริยากับเส้นใยเกิดพันธะเอสเทอร์ (Ester bonds) กับหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ของเซลลูโลส โดยหันหมู่ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ออกทำให้ผิวของเส้นใยไม่เกิดปฏิกิริยากับน้ำเส้นใยจึงไม่จับกับน้ำ (Gess and Rende, 2005) นอกจากนี้การลดหมู่ไฮดรอกซิลในเส้นใยโดยการเติมแป้งดัดแปรประจุบวกเพื่อให้เส้นใยจับตัวกันอย่างแข็งแรงยังเป็นการลดอัตราการดูดซึมน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษ กระดาษจึงต้านทานการดูดซึมน้ำได้มากยิ่งขึ้น และเมื่อนำแป้งดัดแปรประจุบวก และอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์มาผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าค่าความแข็งแรงทางกล ค่าความต้านทานน้ำ และมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษของกระดาษจะแตกต่างกัน ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมแป้งดัดแปรประจุบวก และอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ลงในเยื่อกระดาษ คือ แป้งดัดแปรประจุบวกร้อยละ 7.5 และ อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ ร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์กระดาษที่มีค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 98.07 N.m/g ค่าความต้านทานแรงดันทะลุเท่ากับ 6.62 Kg/cm² ค่าความต้านทานการฉีกขาดเท่ากับ 61.76 gf. ค่าอัตราการซึมผ่านน้ำที่ 1 นาที เท่ากับ 43.10 g/m² และมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษ ที่ระยะเวลา 0 และ 1 นาที มีค่าเท่ากับ 126.38 องศา และ 121.57 องศาตามลำดับ แสดงดัง Figure 58

มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษที่ผสมแป้งดัดแปรประจุบวกร้อยละ 7.5 และอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ร้อยละ 2.5 แสดงดัง Figure 58 มีค่าอยู่ระหว่าง 90-150° แสดงว่าผิวกระดาษมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือวัสดุไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) (Shafrin and Zisman, 1960) ซึ่งจะทำให้กระดาษมีความต้านทานน้ำที่ดี



Figure 58. Contact angle of papersheets adding 7.5% caionic starch and 2.5% ASA of 0 and 1 minutes.

การวิเคราะห์ค่าความขาวสว่างและค่าสีของกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยแป้งดัดแปรประจุบวกและอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ แสดงดัง Figure 59 60 61 และ 62

จาก Figure 59 พบว่า ค่าความขาวสว่างของกระดาษเยื่อผสมจะมีค่าลดลงเมื่อนำมาปรับปรุงสมบัติด้วยแป้งดัดแปรประจุบวก และอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และจะ

ลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของสารเติมแต่ง และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษเยื่อผสมซึ่งไม่เติมสารเติมแต่ง พบว่า ค่าความขาวสว่างจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยการเติมแป้งคัดแปรประจุบวกและอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ในอัตราส่วนร้อยละ 7.5:2.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้งจะให้ค่าความขาวสว่างสูงสุด เท่ากับ 52.63

ค่าสีของกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงโดยการเติม แป้งคัดแปรประจุบวกและอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ ซึ่งจากการทดลองพบว่า กระดาษที่เติมสารเติมแต่งในปริมาณที่แตกต่างกัน จะมีค่า L^* ที่ใกล้เคียงกัน และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) สำหรับค่า a^* ซึ่งแสดงค่าสีของสีเขียวถึงสีแดง จะให้ค่า (+) แสดงว่ากระดาษที่ผลิตได้จะให้สีในโทนสีแดง และค่า b^* ที่แสดงค่าสีของสีเหลืองและสีน้ำเงิน จะให้ค่า (+) แสดงว่ากระดาษที่ผลิตได้มีค่าโทนสีเป็นสีเหลือง ดังนั้นกระดาษที่ผลิตได้จึงมีค่าสีเป็นสีน้ำตาล แสดงดัง

Table 14

Table 14. Color of papersheets mixing with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.

Ratio of Cationic starch : ASA (% OD weight)	Properties*			
	Brightness*	L^*	a^*	b^*
0 : 0	53.20±0.63 ^{abc}	87.93±0.50 ^a	5.76±0.12 ^b	19.16±0.25 ^b
2.5 : 0	55.50±1.23 ^{dc}	89.34±0.40 ^{ab}	5.71±0.09 ^b	18.71±0.30 ^{ab}
5.0 : 0	54.96±1.34 ^{bc}	88.87±0.52 ^a	5.72±0.14 ^b	18.78±0.42 ^b
7.5 : 0	53.13±0.10 ^{abc}	88.49±0.36 ^a	5.61±0.01 ^b	18.53±0.02 ^{ab}
10 : 0	53.09±0.06 ^{ab}	88.15±0.11 ^a	5.67±0.01 ^b	18.68±0.02 ^{ab}
0 : 2.5	55.34±0.27 ^c	90.83±0.61 ^{ab}	5.36±0.16 ^a	17.94±0.62 ^a
0 : 5.0	55.23±1.54 ^c	92.65±2.09 ^b	5.61±0.03 ^b	18.33±0.15 ^{ab}
0 : 7.5	54.78±0.22 ^{bc}	89.42±0.07 ^{ab}	5.70±0.04 ^{ab}	18.73±0.22 ^b
0 : 10	54.73±0.05 ^{bc}	89.40±0.02 ^{ab}	5.76±0.01 ^b	18.82±0.16 ^b
2.5 : 7.5	53.84±0.37 ^{abc}	88.70±0.35 ^a	5.89±0.16 ^b	18.70±0.23 ^{ab}
5.0 : 5.0	53.36±0.42 ^{abc}	88.08±0.06 ^a	5.77±0.05 ^b	20.12±0.61 ^c
7.5 : 2.5	52.63±0.31 ^a	88.00±0.09 ^a	6.12±0.07 ^c	19.92±0.28 ^c

All values are reported as mean ($N \geq 5$).

*The different superscripts in the same column indicate the significant differences ($p < 0.05$).

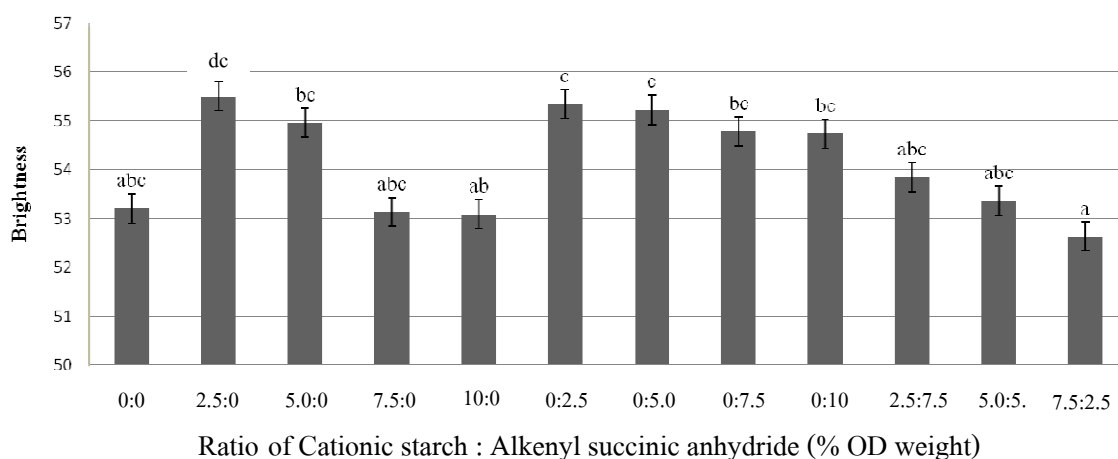


Figure 59. Brightness of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.

ตอนที่ 4 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยกรดซัลฟิวริก

4.1 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษเชื่อมผสมจากต้นฟังแหและรูปถ่ายด้วยกรดซัลฟิวริก

นำกระดาษที่ผลิตจากเชื่อมผสมระหว่างต้นฟังแหและรูปถ่ายในอัตราส่วน 50:50 มาปรับปรุงสมบัติของกระดาษโดยการจุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 50 และ 70 ในระยะเวลาการจุ่มที่แตกต่างกันคือ 15 30 และ 45 วินาที พบว่าน้ำหนักมาตรฐาน และความหนาของกระดาษจะลดลงเมื่อปริมาณความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากกรดซัลฟิวริกจะเข้าไปทำลายโครงสร้างของเซลลูโลสทำให้สายพอลิเมอร์ของเซลลูโลสถูกตัดให้มีขนาดเล็กลงบางส่วนละลายไปกับกรด บางส่วนจะมีขนาดโมเลกุลเล็กลงเป็นโอลิโกเมอร์ (Oligomer) ซึ่งมีลักษณะเป็นเจลเคลือบผิวของกระดาษทำให้กระดาษ มีผิวเรียบ และสม่ำเสมอมากขึ้น และเนื่องจากโครงสร้างของเซลลูโลสบางส่วนถูกทำลายไป จึงทำให้น้ำหนักมาตรฐาน และความหนาของกระดาษมีค่าลดลง แสดงดัง Table 15

Table 15. Basis weight and thickness of sulfuric acid treated pulpsheets.

Type Paper / Time (min)	Basis weight (g/m^2)	Thickness (mm.)
Pulp sheet	62.57±0.029	0.064±0.005
30% H_2SO_4 /15	62.47±0.008	0.064±0.006
30% H_2SO_4 /30	61.93±0.027	0.064±0.009
30% H_2SO_4 /45	61.63±0.008	0.060±0.004
50% H_2SO_4 /15	61.81±0.027	0.061±0.004
50% H_2SO_4 /30	61.55±0.017	0.060±0.004
50% H_2SO_4 /45	59.39±0.045	0.060±0.004
70% H_2SO_4 /15	55.22±0.020	0.058±0.003
70% H_2SO_4 /30	54.73±0.047	0.055±0.007
70% H_2SO_4 /45	54.19±0.027	0.054±0.003

All values are reported as mean ($N \geq 5$).

กระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 50 และ 70 และระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที จะมีสมบัติทางกลเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจากการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกเพิ่มสูงขึ้นทำให้กระดาษมีค่าสมบัติทางกลที่ลดลง แต่ค่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อนำไปปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 ระยะเวลาในการจุ่ม 15 วินาที โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 4.00 Kg/cm^2 และจะลดลง เมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาในการปรับปรุงเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.87 Kg/cm^2 ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของกรด และระยะเวลา จะมีผลต่อการทำลายโครงสร้างคาร์โบไฮเดรตของเส้นใย ความเข้มข้นของกรด และระยะเวลาจะเข้าทำลายเส้นใย และขนาดโมเลกุลของเซลลูโลส เปลี่ยนเป็น โอลิโกเมอร์ (Oligomer) เคลือบผิวของกระดาษทำให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ถ้าพอลิเมอร์ของเซลลูโลสถูกทำลายมากเกินไปจะทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลง ซึ่งผลจากการทดลอง แสดงดัง Figure 60

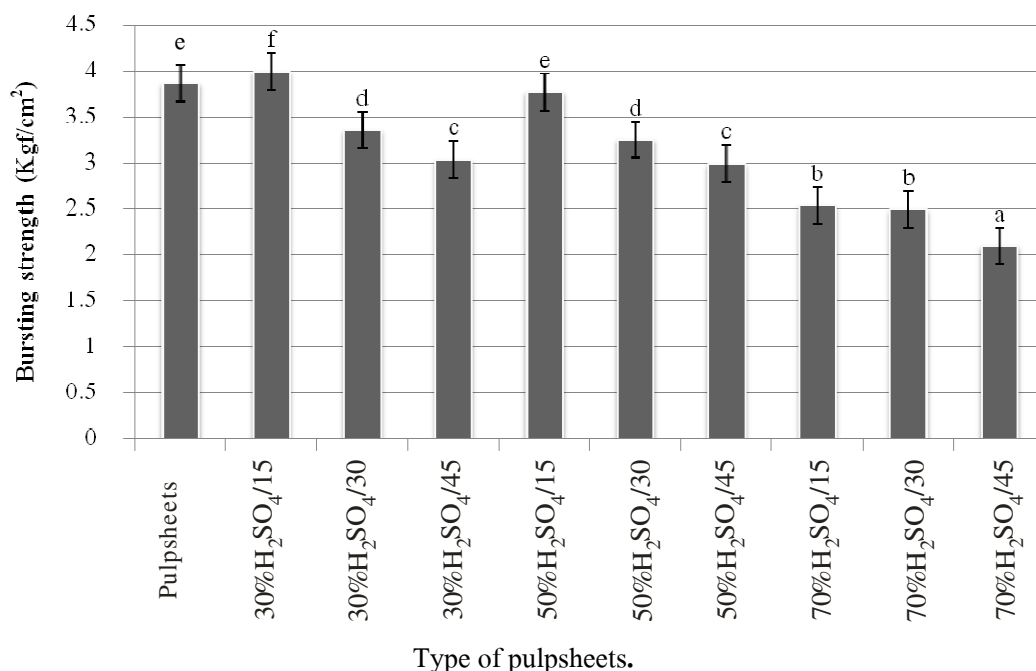


Figure 60. Bursting strength of sulfuric acid treated pulpsheets.

กระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 50 และ 70 และระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที จะมีสมบัติทางกลเปลี่ยนแปลงไป

ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกเพิ่มสูงขึ้นทำให้กระดาษมีค่าสมบัติทางกลที่ลดลง แต่ค่าความต้านทานการฉีกขาดของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อนำไปปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 และ 50 ระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 70.52 gf. 69.83 gf. 67.86 gf. 69.92 gf. 68.59 gf. 65.32 gf. ตามลำดับ และจะลดลง เมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาในการปรับปรุงเพิ่มสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงซึ่งมีค่าเท่ากับ 60.80 gf. อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจะมีค่าความต้านทานการฉีกขาดสูงขึ้นกว่ากระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของกรด และระยะเวลา จะมีผลต่อการทำลายโครงสร้างคาร์โบไฮเดรตของเส้นใย ความเข้มข้นของกรด และระยะเวลา จะทำลายเส้นใย และขนาดโมเลกุลของเซลลูโลสจะเปลี่ยนเป็น โอลิโกเมอร์ (Oligomer) เคลือบผิวของกระดาษทำให้กระดาษมีความต้านทานการฉีกขาดเพิ่มขึ้น แต่ถ้าพอลิเมอร์ของเซลลูโลสถูกทำลายมากเกินไปจะทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลง แสดงดัง Figure 61

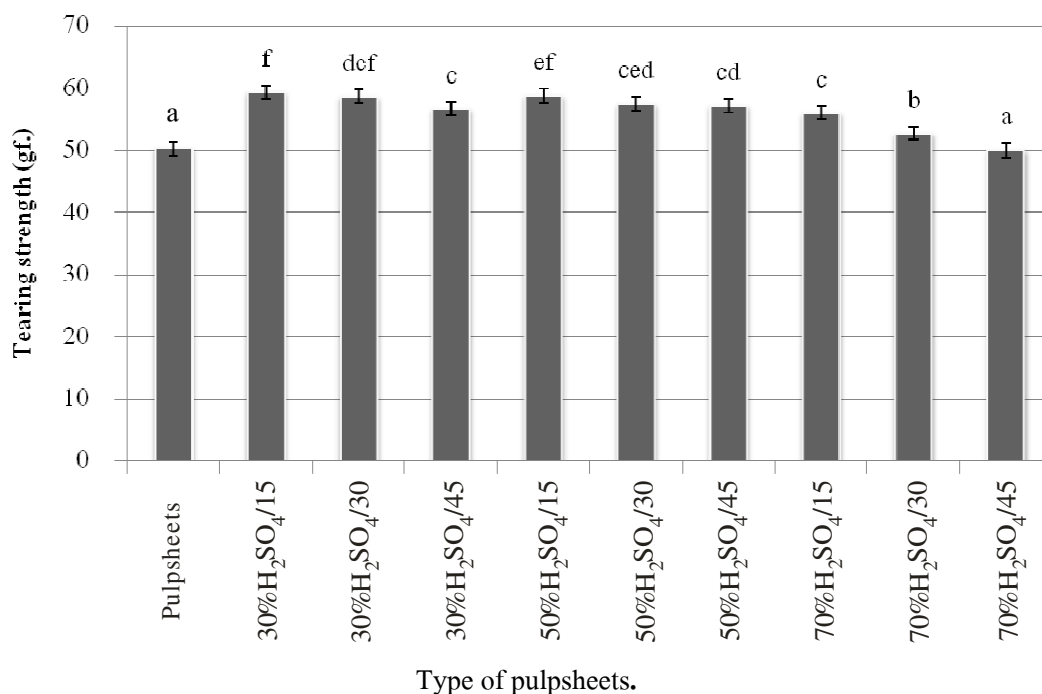


Figure 61. Tearing strength of sulfuric acid treated pulpsheets.

ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงของกระดาษจะมีค่าลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 57.79 N.m/g เนื่องจากสารคาร์โบไฮเดรตภายในโครงสร้างของเส้นใยถูกทำลายด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก จึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะของเส้นใยลดลง แสดงดัง Figure 62

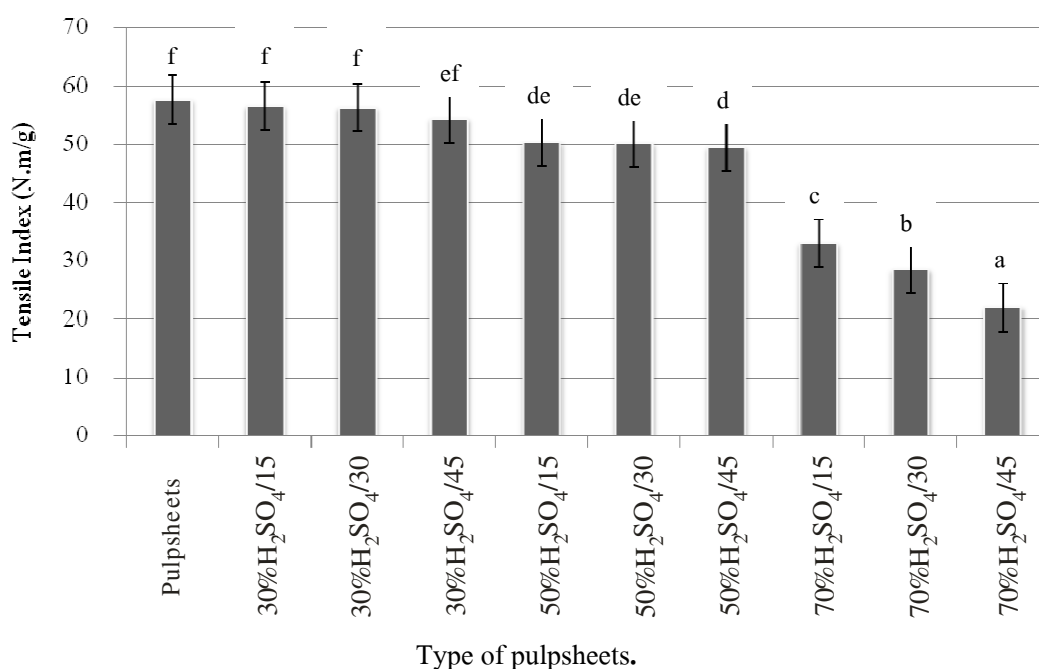


Figure 62. Tensile Index of sulfuric acid treated pulpsheets.

จากการวิเคราะห์ความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษที่ระยะเวลา 1 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) นั่นคือกระดาษมีความต้านทานการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของกรด และระยะเวลา จะมีผลต่อการทำลายโครงสร้างคาร์โบไฮเดรตของเส้นใย ความเข้มข้นของกรด และระยะเวลาจะทำลายเส้นใย และขนาดโมเลกุลของเซลลูโลสให้เปลี่ยนเป็นโอลิโกเมอร์ (Oligomer) เคลือบผิวของกระดาษทำให้กระดาษมีความหนาแน่นมาก แต่อย่างไรก็ตาม ที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 30 ระยะเวลาในการจุ่ม 45 วินาที สารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 50 ระยะเวลาในการจุ่ม 45 วินาที และสารละลาย

กรดซัลฟิวริก ร้อยละ 70 ระยะเวลาในการจุ่ม 15 วินาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเมอร์ของเซลลูโลสถูกทำลายมากเกินไปจนจะไปทำให้ กระดาษมีความชอบน้ำมากขึ้น จึงดูดซึมน้ำได้ดี แสดงดัง Figure 63

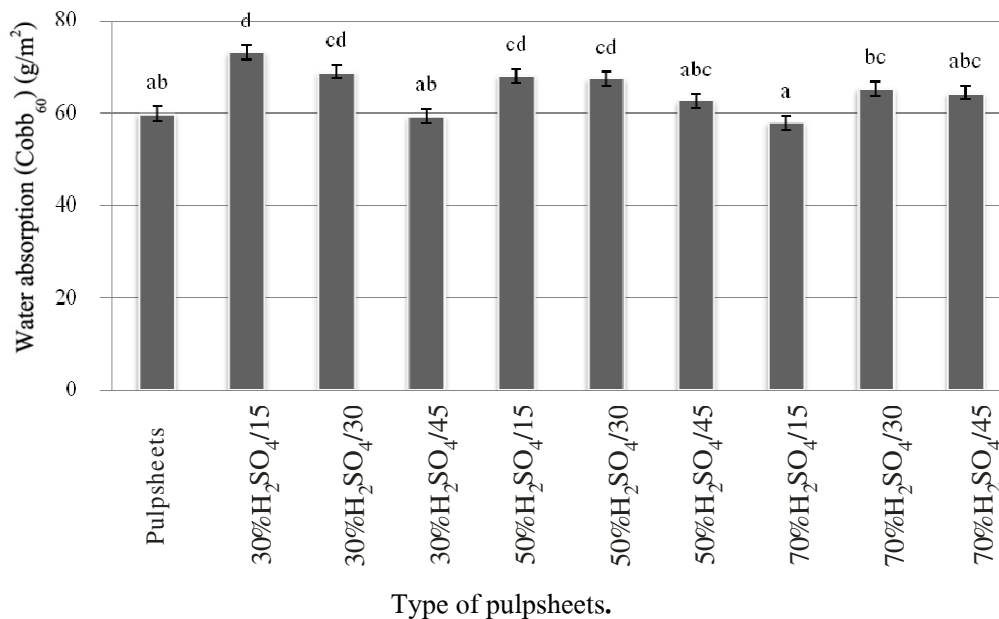


Figure 63. Water absorption (Cobb₆₀) of sulfuric acid treated pulpsheets.

จากการวิเคราะห์หุ้มน้ำสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่าหุ้มน้ำสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระดาษที่ระยะเวลา 1 นาที มีค่าลดลงตามปริมาณ กรดเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และตามระยะเวลาที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) นั่นคือหุ้มน้ำสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระดาษลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก แสดงดัง Figure 64 หุ้มน้ำสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 เป็นระยะเวลา 15 30 และ 45 นาที ที่เวลา 0 และ 1 นาที จะให้ค่าหุ้มน้ำสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระดาษที่ไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่จะมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก

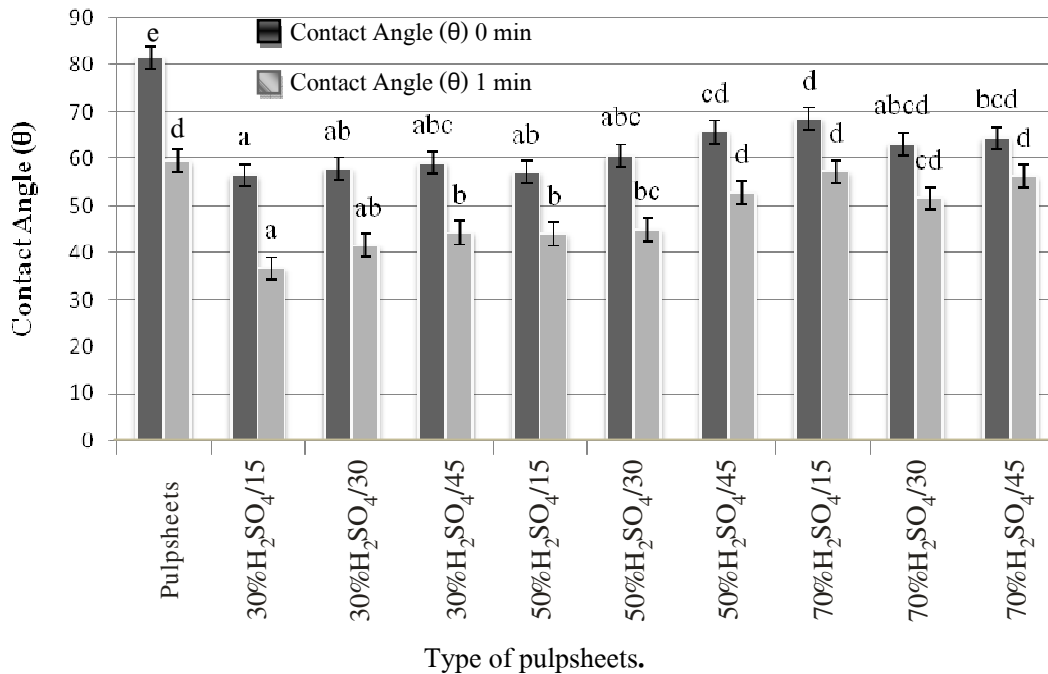


Figure 64. Contact angle (θ) of sulfuric acid treated pulpsheets.

การเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่มีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากัน พบว่า มุมสัมผัสของหยดน้ำบนผิวของกระดาษมีค่าน้อยกว่า 90 องศา แสดงว่า ผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำหรือเป็นผิวไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) (Shafrin and Zisman, 1960) กระดาษจะต้านทานน้ำได้ไม่ดี แสดงดัง Figure 65

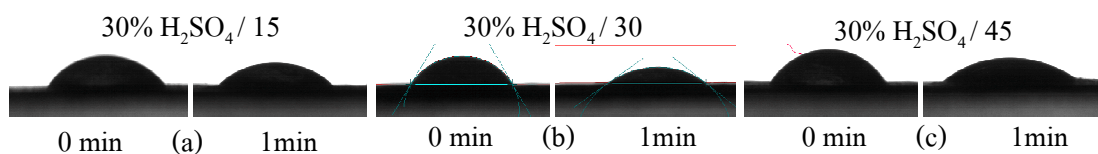


Figure 65. Contact angle pulpsheet improved by 30% H₂SO₄ at different time (a) 15 seconds, (b) 30 seconds and (c) 45 seconds

การวิเคราะห์ค่าความขาวสว่างและค่าสีของกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก แสดงดัง Table 16 และ Figure 66

จาก Table 16 เมื่อนำกระดาษที่ได้ไปทดสอบค่าความขาวสว่าง และค่าสี แสดงดัง จะเห็นว่าค่าความขาวสว่างของกระดาษจะมีค่าลดลงจากร้อยละ 27.61 เป็นร้อยละ 12.22 ตามอัตรา

การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาในการจุ่มสารละลายกรดซัลฟิวริก และเมื่อนำมาวัดค่าสีพบว่าค่า L* จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน จาก 69.58 เป็น 41.78

Table 16. Color of pulpsheets treated with sulfuric acid at different concentration.

Type of pulpsheets/ Treated time (min)	Properties*			
	Brightness*	L*	a*	b*
Pulpsheet	52.91±0.33 ^g	88.41±0.35 ^c	5.76±0.12 ^a	18.80±0.24 ^b
30% H ₂ SO ₄ / 15	27.61±1.48 ^f	69.58±0.58 ^b	4.15±0.06 ^a	16.42±0.22 ^a
30% H ₂ SO ₄ / 30	25.24±1.06 ^e	66.31±0.81 ^b	4.52±0.16 ^a	16.02±0.033 ^a
30% H ₂ SO ₄ / 45	24.53±0.04 ^{de}	65.62±0.03 ^b	4.47±0.05 ^{ab}	16.38±0.43 ^a
50% H ₂ SO ₄ / 15	24.28±0.44 ^{de}	65.47±0.24 ^b	4.52±0.13 ^{ab}	16.59±0.37 ^a
50% H ₂ SO ₄ / 30	22.79±0.92 ^d	63.76±1.08 ^b	4.99±0.49 ^{bc}	16.29±0.34 ^a
50% H ₂ SO ₄ / 45	22.72±1.04 ^d	64.05±0.85 ^b	4.57±0.15 ^{ab}	16.75±0.39 ^a
70% H ₂ SO ₄ / 15	17.33±0.14 ^c	71.67±2.70 ^b	4.49±0.47 ^{bc}	16.03±0.41 ^a
70% H ₂ SO ₄ / 30	15.17±0.40 ^b	56.11±0.58 ^b	4.80±0.10 ^{bc}	18.49±0.05 ^b
70% H ₂ SO ₄ / 45	12.22±0.55 ^a	41.78±1.61 ^a	5.33±0.08 ^c	19.16±0.09 ^b

All values are reported as mean (N ≥ 5).

*The different superscripts in the same column indicate the significant differences ($p < 0.05$).

จาก Figure 66 พบว่า ค่าความขาวสว่างของกระดาษเยื่อผสมจะมีค่าลดลงเมื่อนำมาปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก จะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และระยะเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษเยื่อผสมซึ่งไม่ผ่านการปรับปรุง พบว่า ค่าความขาวสว่างจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยการปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 70 ระยะเวลาในการจุ่ม 45 วินาที ให้ค่าความขาวสว่างต่ำสุด เท่ากับ 12.22

ค่าสีของกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ซึ่งจากการทดลองพบว่า กระดาษที่ปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกในปริมาณที่แตกต่างกัน จะมีค่า L* ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) สำหรับค่า a* ซึ่งแสดงค่าสีของสีเขียวถึงสีแดง จะให้ค่า (+) แสดงว่ากระดาษที่ผลิตได้จะให้สีในโทนสีแดง และค่า b* ที่แสดงค่าสีของสีเหลืองและสีน้ำเงิน จะให้ค่า (+) แสดงว่ากระดาษที่ผลิตได้มีค่าโทนสีเป็นสีเหลือง ดังนั้นกระดาษที่ผลิตได้จึงมีค่าสีเป็นสีน้ำตาล(แดงอมเหลือง)

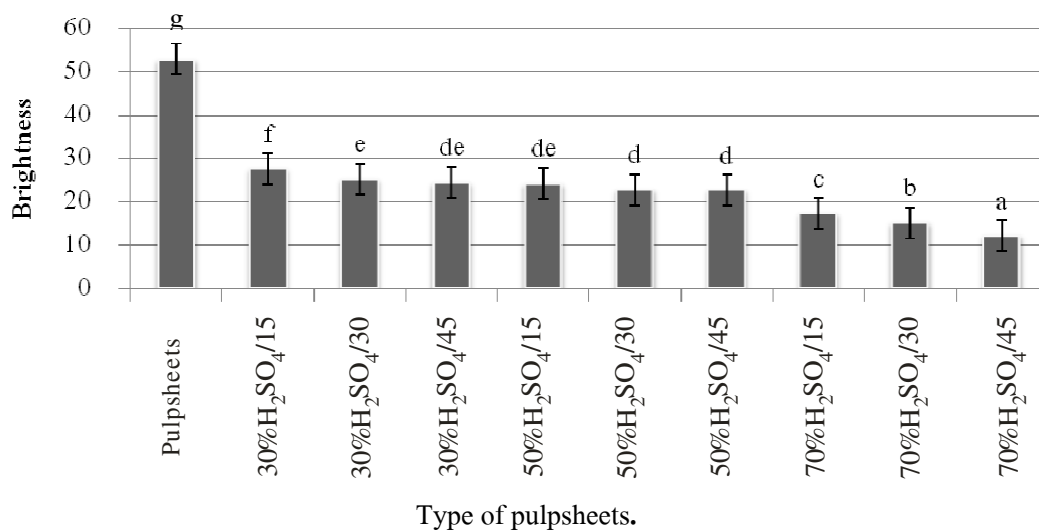


Figure 66. Brightness of sulfuric acid treated pulpsheets.

4.2 การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยกรดซัลฟิวริก

นำกระดาษที่ผลิตได้จากการผสมเยื่อกระดาษจากต้นฟังแหรและชูปถาญี ในอัตราส่วน 50:50 ซึ่งผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยแป้งตัดแปรประจุบวกร้อยละ 7.5 และ อัลคินิล ซักซินิก แอนไฮไดรด์ร้อยละ 2.5 มาปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก โดยการจุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 50 และ 70 เป็นระยะเวลา ในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที พบว่าน้ำหนักมาตรฐาน และความหนาของกระดาษจะลดลง เมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกเพิ่มมากขึ้นแสดงดัง Table 17

การลดลงของน้ำหนักมาตรฐานและความหนาของกระดาษเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้าไปทำลาย โครงสร้างของเซลลูโลสและคาร์โบไฮเดรตทำให้สายพอลิเมอร์ถูกตัดให้มีขนาดเล็กลงเป็นโอลิโกเมอร์ (Oligomer) ซึ่งมีลักษณะเป็นเจลเคลือบผิวของกระดาษทำให้กระดาษมีผิวเรียบ รูพรุนน้อยลง และสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของเซลลูโลสบางส่วนถูกทำลายไป จึงทำให้น้ำหนักมาตรฐาน และความหนาของกระดาษมีค่าลดลง

Table 17. Basis weight and thickness of sulfuric acid treated papersheets.

Type of papersheets / Treated time (min)	Basis weight (g/m ²)	Thickness (mm.)
Papersheet	63.06±0.93	0.064±0.02
Papersheet+ 30%H ₂ SO ₄ / 15	62.68±0.87	0.064±0.05
Papersheet+ 30%H ₂ SO ₄ / 30	62.58±0.67	0.063±0.07
Papersheet+ 30%H ₂ SO ₄ / 45	62.55±0.77	0.061±0.06
Papersheet+ 50%H ₂ SO ₄ / 15	62.75±0.63	0.062±0.07
Papersheet+ 50%H ₂ SO ₄ / 30	62.47±0.89	0.061±0.08
Papersheet+ 50%H ₂ SO ₄ / 45	60.31±0.78	0.060±0.05
Papersheet+ 70%H ₂ SO ₄ / 15	59.80±0.87	0.058±0.08
Papersheet+ 70%H ₂ SO ₄ / 30	55.30±0.99	0.056±0.07
Papersheet+ 70%H ₂ SO ₄ / 45	54.75±0.69	0.055±0.07

All values are reported as mean (N ≥5).

สมบัติทางกลของกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการจุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 50 และ 70 และระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกเพิ่มสูงขึ้นทำให้กระดาษมีค่าสมบัติทางกลที่ลดลง แสดงดัง Figure 67

ค่าความต้านทานแรงดึงตันทะลุของกระดาษมีค่าลดลงตามความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก เนื่องจากโครงสร้างภายในของสารคาร์โบไฮเดรตภายในโครงสร้างของเส้นใยถูกทำลายด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก จึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะของเส้นใยลดลง และกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 70 ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน จะมีค่าความต้านทานแรงดึงตันทะลุไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) แสดงดัง Figure 67

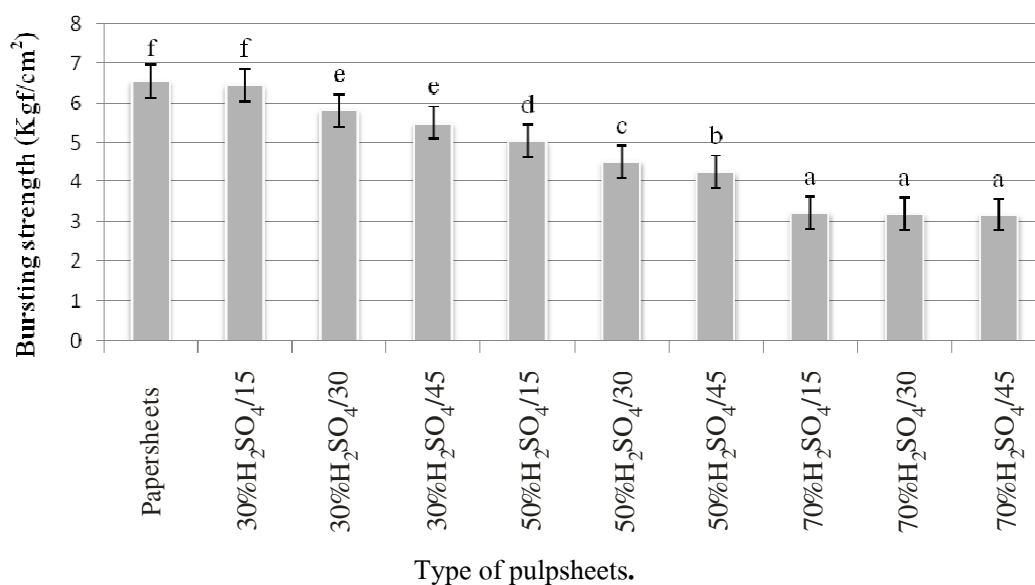


Figure 67. Bursting strength of sulfuric acid treated papersheets.

ค่าความต้านทานการฉีกขาดของกระดาษที่ผ่านการจุ่มด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการจุ่มจาก 15 วินาที เป็น 30 วินาที ทั้งนี้เพราะ มีค่าสูงขึ้นถึงระดับหนึ่ง ที่ระดับเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 30 50 และ 70 ระยะเวลาในการจุ่ม 15 และ 30 วินาที และเมื่อ ปริมาณกรดเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาในการจุ่มเพิ่มสูงขึ้นค่าความต้านทานการฉีกขาดของกระดาษจะลดลง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เนื่องจากโครงสร้างภายในของสารคาร์โบไฮเดรตภายในโครงสร้างของเส้นใย ถูกทำลายด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก จึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะของเส้นใยลดลง แสดงดัง Figure 68

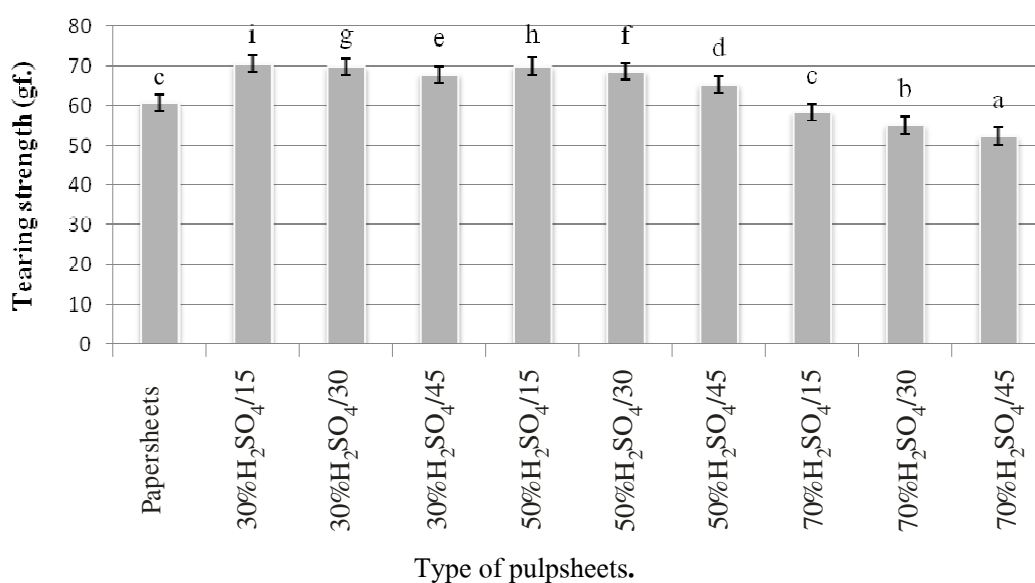


Figure 68. Tearing strength of sulfuric acid treated papersheets.

ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงของกระดาษมีค่าลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย กรดซัลฟิวริกซึ่งมีค่าเท่ากับ 98.07 N.m/g เนื่องจากโครงสร้างภายในของสารคาร์โบไฮเดรตภายในโครงสร้างของเส้นใยถูกทำลายด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก จึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะของเส้นใยลดลงจาก แสดงดัง Figure 69

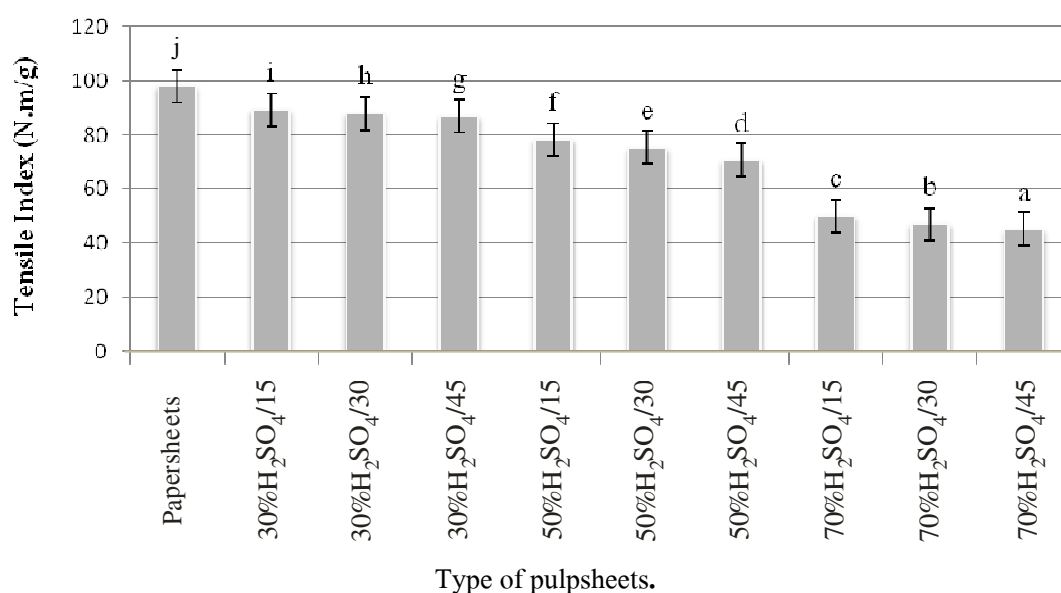


Figure 69. Tensile Index of sulfuric acid treated papersheets.

จากการวิเคราะห์ความต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษที่เวลา 60 วินาที มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) นั่นคือ กระดาษมีความต้านทานการดูดซึมน้ำน้อยลง เปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยแป้งดัดแปรประจุบวก ร้อยละ 7.5 และอัลคินิล ซัลฟอนิก แอนไฮไดรด์ร้อยละ 2.5 แสดงดัง Figure 70

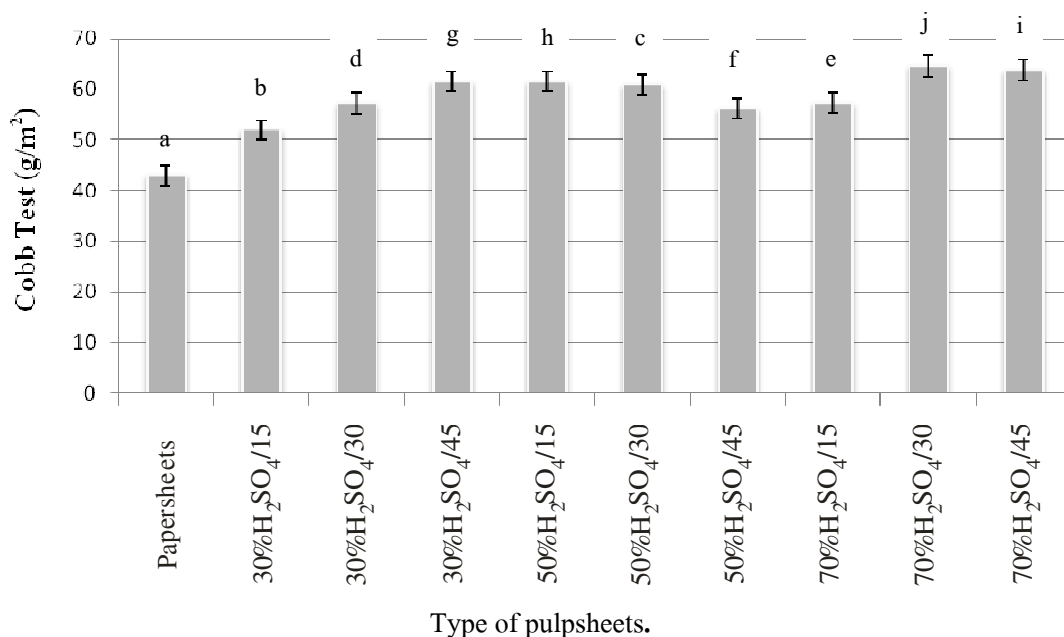


Figure 70. Cobb Test (Cobb₆₀) of sulfuric acid treated papersheets.

ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษจะมีค่าลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 70 เป็นระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 นาที จะให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษที่ เวลา 0 และ 1 นาที มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยแป้งดัดแปรประจุบวกร้อยละ 7.5 และ อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ร้อยละ 2.5 ที่มีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากัน ซึ่งค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนผิวของกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 และระยะเวลาในการจุ่ม 15 วินาที วัดค่าที่เวลา 0 และ 1 นาที เท่ากับ 92.75 องศา และ 87.26 องศา ตามลำดับ โดยมีค่าอยู่ใกล้เคียง 90 องศา ซึ่งเป็นลักษณะของสมบัติการไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แสดงว่าผิวของกระดาษมีสมบัติไม่ชอบน้ำ และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก มีค่าเท่ากับ 124.38 องศา และ 121.57 องศา แสดงดัง Figure 71 และ

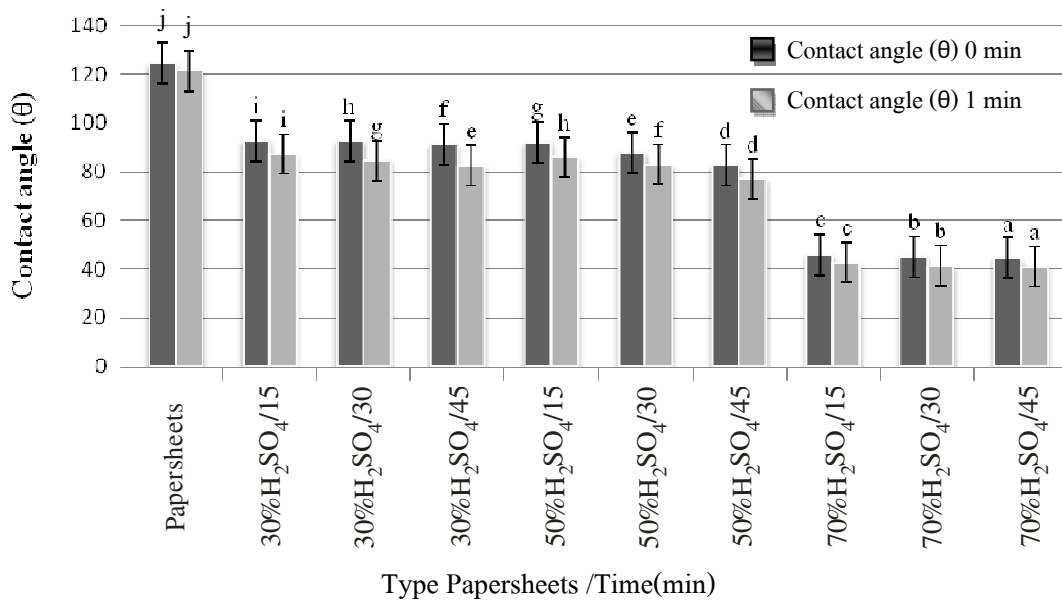


Figure 71. Contact angle (θ) of sulfuric acid treated papersheets.

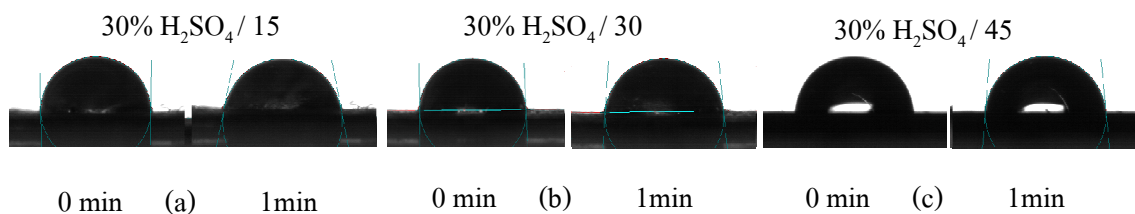


Figure 72. Contact angle papersheets improved by 30% H₂SO₄ at different time (a) 15 seconds, (b) 30 seconds and (c) 45 seconds

การวิเคราะห์ค่าความขาวสว่าง(Brightness) และค่าสีของกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ แสดงดัง Table 18 พบว่า ค่าความขาวสว่างของกระดาษจะมีค่าลดลงตามความเข้มข้นเพิ่มขึ้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาในการจุ่ม โดยมีค่าความสว่างลดลงจาก 26.72 เป็น 13.25 เมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 70 ตามลำดับ ทั้งนี้สอดคล้องกับค่า L* ซึ่งจะมีค่าลดลงจาก 69.45 เป็น 50.78 ตามลำดับ

Table 18. Color of papersheets treated with sulfuric acid at different concentration.

Type of papersheets / Treated time (min)	Properties*			
	Brightness*	L*	a*	b*
Papersheet	52.63±0.31 ^g	88.00±0.09 ^c	6.12±0.07 ^d	19.92±0.28 ^b
Papersheet + 30%H ₂ SO ₄ / 15	26.72±0.12 ^f	69.45±0.10 ^b	4.88±0.12 ^a	16.32±0.14 ^a
Papersheet + 30%H ₂ SO ₄ / 30	25.01±0.11 ^c	66.05±0.13 ^b	4.80±0.16 ^a	16.11±0.13 ^a
Papersheet + 30%H ₂ SO ₄ / 45	24.56±0.10 ^{de}	65.67±0.12 ^b	4.74±0.11 ^{ab}	16.36±0.14 ^a
Papersheet + 50%H ₂ SO ₄ / 15	24.01±0.12 ^{de}	65.47±0.11 ^b	4.78±0.11 ^{ab}	16.48±0.13 ^a
Papersheet + 50%H ₂ SO ₄ / 30	22.54±0.09 ^d	63.81±0.13 ^b	5.30±0.14 ^{bc}	16.28±0.14 ^a
Papersheet + 50%H ₂ SO ₄ / 45	22.47±0.15 ^d	64.05±0.12 ^b	4.85±0.14 ^{ab}	16.65±0.11 ^a
Papersheet + 50%H ₂ SO ₄ / 15	16.65±0.12 ^c	58.55±0.15 ^b	5.51±0.13 ^{bc}	19.35±0.10 ^b
Papersheet + 50%H ₂ SO ₄ / 30	14.88±0.11 ^b	57.11±0.13 ^b	5.00±0.11 ^{bc}	19.29±0.12 ^b
Papersheet + 50%H ₂ SO ₄ / 45	13.25±0.13 ^a	50.78±0.11 ^a	5.23±0.13 ^c	19.55±0.09 ^b

All values are reported as mean (N ≥ 5).

*The different superscripts in the same column indicate the significant differences ($p < 0.05$).

จากค่า Figure 73 แสดงให้เห็นถึงค่าสีของกระดาษที่ปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจะมีค่าลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย และระยะเวลาในการจุ่ม จากค่า L* คือค่าความขาวสว่าง จะเห็นได้ว่ากระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการจุ่มด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกในปริมาณที่แตกต่างกัน มีค่าความขาวสว่างที่ใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ค่า a* คือค่าที่แสดงสีของสีเขียวถึงสีแดง และค่า a* มีค่า(+) แสดงว่ากระดาษที่ผลิตได้ให้สีในโทนสีแดง และค่า b* คือค่าที่แสดงสีของสีเหลืองและสีน้ำเงิน ซึ่งค่า b* มีค่า(+) แสดงว่ากระดาษที่ผลิตได้มีค่าโทนสีเป็นสีเหลือง ดังนั้นกระดาษที่ผลิตได้จึงมีค่าสีใกล้เคียงสีน้ำตาลอมเหลือง

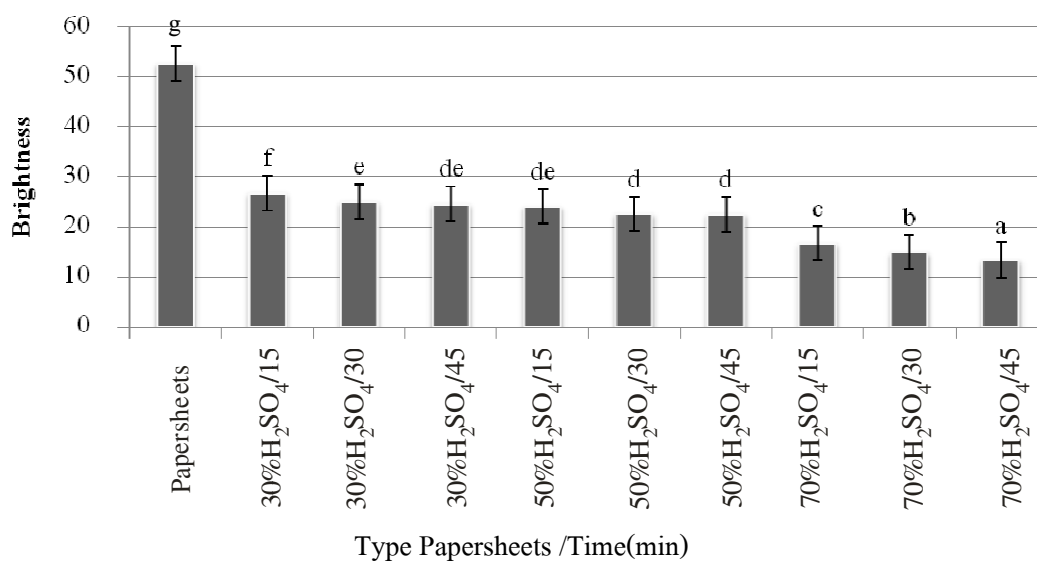


Figure 73. Brightness of sulfuric acid treated papersheets.

5. การต้านทานการดูดซับไขมัน

การศึกษาการต้านทานการดูดซับไขมันของแผ่นกระดาษที่ได้จากเชื้อผสมจากต้นพังกา และรูปถ่าย ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า แผ่นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที จะมีรอยคราบน้ำมันบนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบเพียงเล็กน้อย และรอยคราบน้ำมันจะลดลงตามระยะเวลาในการจุ่มแผ่นกระดาษที่เพิ่มขึ้น ลักษณะการแพร่กระจายของรอยคราบน้ำมันมีลักษณะรูปทรงอิสระคล้ายทรงกลม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 50 ระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที พบว่า จะมีรอยคราบน้ำมันปรากฏบนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกับตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยแผ่นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 ที่ระยะเวลาการจุ่มที่ 45 วินาที จะมีลักษณะรอยคราบน้ำมันเป็นวงกลม แต่มีขนาดเล็กกว่าแผ่นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 และกระดาษทดสอบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 จะไม่มีรอยคราบน้ำมันปรากฏบนแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานไขมันกับตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า แผ่นกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจะมีรอยคราบน้ำมันปรากฏบนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่

ใช้ทดสอบอย่างชัดเจน ลักษณะการแพร่กระจายของรอยคราบน้ำมัน จะมีลักษณะรูปทรงอิสระและแพร่กระจายตัวได้สูงกว่า แสดงดัง Figure 74

กระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยแป้งคัดแปรประจุบวกร้อยละ 7.5 และอัลคินิลซัคซินิก แอนไฮไดรด์ร้อยละ 2.5 เมื่อนำมาปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที พบว่า จะปรากฏรอยคราบน้ำมันบนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบ และโดยรอยคราบน้ำมันจะลดลงตามระยะเวลาในการจุ่มที่เพิ่มขึ้น ลักษณะการแพร่กระจายของรอยคราบน้ำมันมีลักษณะเป็นรูปทรงอิสระ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟิวริกเป็นร้อยละ 50 ระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที พบว่า มีรอยคราบน้ำมันปรากฏบนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบเพียงเล็กน้อย และลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ลักษณะการแพร่กระจายของรอยคราบน้ำมันเป็นลักษณะวงกลม แต่มีขนาดเล็กกว่าตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 และกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 จะไม่ปรากฏรอยคราบน้ำมันบนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกระดาษทดสอบที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า แผ่นกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจะปรากฏรอยคราบน้ำมันบนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบอย่างชัดเจน ลักษณะการแพร่กระจายของรอยคราบน้ำมันจะมีลักษณะรูปทรงอิสระและกระจายตัวได้สูงกว่า แสดงดัง Figure 78

ความสามารถในการต้านทานน้ำมันของกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก เนื่องจากสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้าทำลายพอลิเมอร์ของเซลลูโลสให้เซลลูโลสมีลักษณะเป็นเจล เข้าเคลือบพื้นผิวของกระดาษจึงทำให้ กระดาษไม่มีรูพรุน มีความเรียบและสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งผลจากการทดลองจะคล้ายกับการทดลองของ *Parkiabiglobosa* และ *Brezovska.S* และคณะ ปี ค.ศ. 2004 ศึกษาสมบัติดูดซับ Isotherms ใอน้ำมันเบนซิน และ โครงสร้างของรูพรุนกระดาษด้วยกรดซัลฟิวริกพบว่า มีจำนวนรูพรุนลดลง การดูดซับ ใอน้ำมันเบนซินจึงลดลง

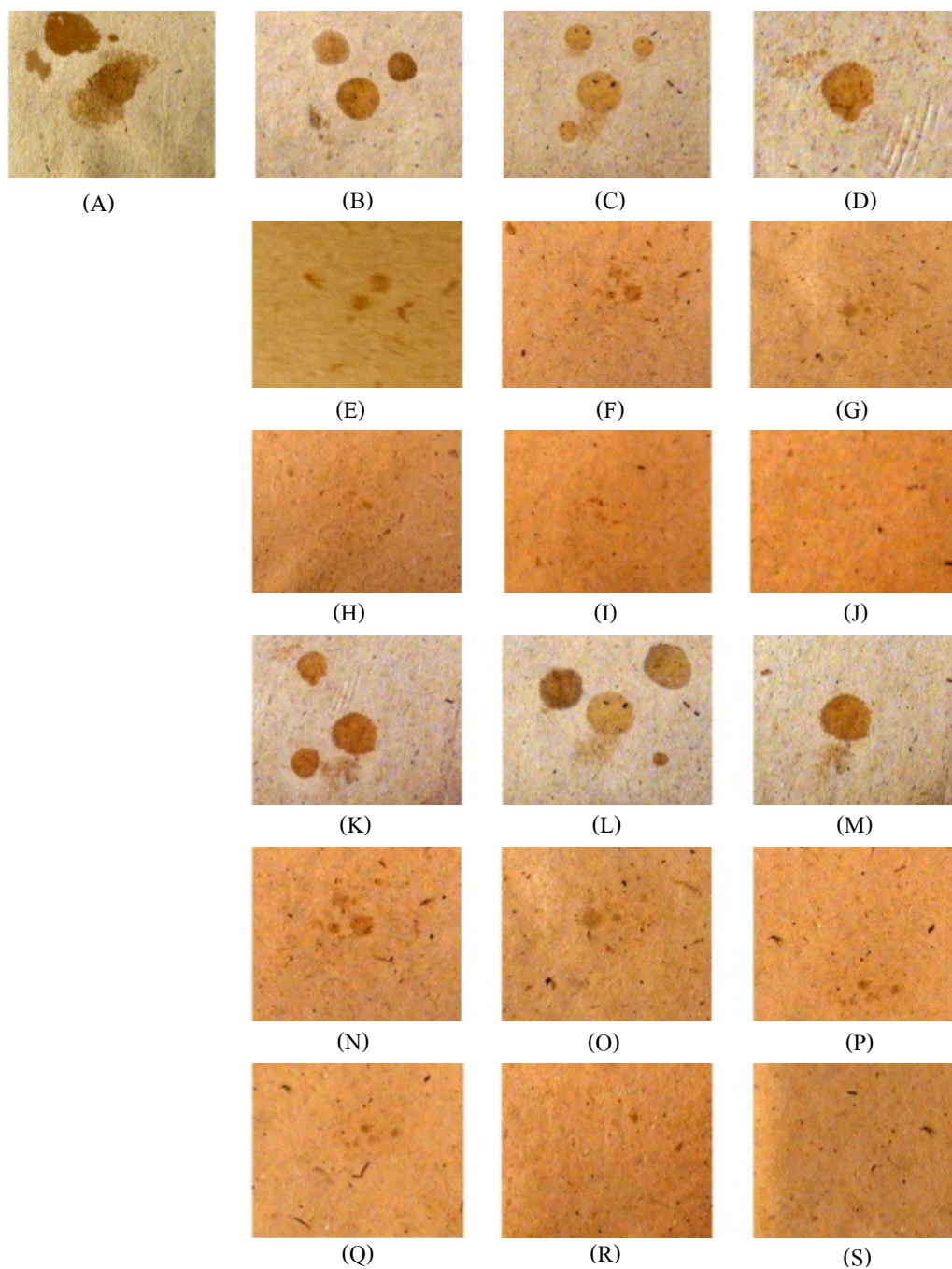


Figure 74. Characteristic of vegetable oil vapor absorption of mixed pulpsheets. (A) = Mixed pulpsheets; (B),(C),(D) = Treated pulpsheets with 30% H_2SO_4 /15, 30, 45; (E),(F),(G) = Treated pulpsheets with 50% H_2SO_4 /15, 30, 45; (H),(I),(J) = Treated pulpsheets with 70% H_2SO_4 /15, 30, 45; (K),(L),(M) = Cationic starch and ASA mixed papersheets and treated with 30% H_2SO_4 /15, 30, 45; (N),(O),(P) = Cationic starch and ASA mixed papersheets and treated with 50% H_2SO_4 /15, 30, 45; (Q),(R),(S) = Cationic starch and ASA mixed papersheets and treated with 70% H_2SO_4 /15, 30, 45.

6. การศึกษาลักษณะพื้นผิวของกระดาษด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของแผ่นเยื่อผสมระหว่างเยื่อที่ผลิตได้จากต้นพังกาและเยื่อที่ผลิตจากธูปฤาษีด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) แสดงดัง Figure 75 พบว่า ลักษณะการจัดเรียงของเส้นใยที่ได้จากการผสมเยื่อที่ผลิตจากต้นพังกาและธูปฤาษี จะมีการเรียงตัวเป็นชั้นๆหนาแน่น เนื่องจากเส้นใยที่ผลิตจากต้นพังกามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเล็ก และเส้นใยมีขนาดสั้น (Short fiber) ซึ่งจะสั้นกว่าเส้นใยจากธูปฤาษี ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกว้าง และมีขนาดยาวกว่า การผสมเส้นใยทั้งสองประเภทเข้าด้วยกันจะทำให้ เส้นใยสั้นจากต้นพังกาสามารถเข้าแทรกในช่องว่างระหว่างเส้นใยของธูปฤาษี เชื่อมเกี่ยวประสานหรือเกิดพันธะเคมีต่อกันได้ดีเป็นแผ่นเยื่อผสมที่มีการเรียงตัวกันเป็นชั้นๆ หนาแน่นจึงทำให้แผ่นเยื่อที่ผลิตได้มีความความแข็งแรงทางกลที่ดี แสดงดังรูป (A) เมื่อนำกระดาษเยื่อผสมมาปรับปรุงด้วยอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งคัดแปรประจุบวก พบว่า ลักษณะการจัดเรียงของเส้นใยในกระดาษที่ผลิตจากเยื่อผสมระหว่างเยื่อจากต้นพังกาและเยื่อจากธูปฤาษีที่ผ่านการปรับปรุงด้วยอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ร้อยละ 7.5 และแป้งคัดแปรประจุบวกร้อยละ 2.5 จะมีการจัดเรียงตัวกันเป็นชั้นๆ ที่หนาแน่นขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อกระดาษที่ไม่ผ่านการเติมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งคัดแปรประจุบวก โดยพบว่า รูพรุนระหว่างเส้นใยจะมีปริมาณลดน้อยลง แสดงดัง รูป (B) เนื่องจากแป้งคัดแปรจะมีประจุบวกซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกับเส้นใยที่มีประจุลบ โดยจะส่งเสริมการยึดเกาะระหว่างเส้นใยได้ดีขึ้น ทั้งนี้แป้งคัดแปรประจุบวกจะถูกเตรียมในรูปของแป้งสุกที่มีลักษณะเป็นเจลใสก่อนเติมลงในน้ำเยื่อ น้ำแป้งสุกจะเข้าไปเชื่อมพื้นผิวระหว่างเส้นใยเข้าด้วยกัน และเกิดเป็นฟิล์มบางเคลือบแผ่นกระดาษ มีผลทำให้แผ่นกระดาษมีรูพรุนน้อยลง และมีความแข็งแรงทางกลสูงขึ้น

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของกระดาษเยื่อผสมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า ลักษณะกระดาษที่ ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 ซึ่งมีระยะเวลาในการจุ่มในสารละลายกรด 15 วินาที ($70\% \text{H}_2\text{SO}_4/15$) จะมีลักษณะพื้นผิวเรียบ สม่ำเสมอ คล้ายมีแผ่นฟิล์มมาเคลือบบนผิวกระดาษเมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อกระดาษที่ ไม่ผ่านการปรับปรุงแสดงดังรูป (C) เนื่องจากเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใยถูกสารละลายกรดซัลฟิวริกทำลายกลายเป็นเจล เข้าเคลือบพื้นผิวของกระดาษจึงทำให้พื้นผิวของกระดาษ มีความเรียบ และสม่ำเสมอมากขึ้น

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยผสมระหว่างเยื่อจากต้นพังกาและธูปฤาษีที่ผ่านการปรับปรุงด้วยอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งคัดแปรประจุบวก แล้วนำมาปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 70

ด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบส่องกราด พบว่า ลักษณะพื้นผิวของกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยผสมระหว่างเยื่อจากต้นพังกา และรูปถ่ายที่ผ่านการเติมด้วยอัลคินิล ซักซินิก แอนไฮไดรด์ร้อยละ 2.5 และ แป้งคัดแปรประจุบวกร้อยละ 7.5 เมื่อนำมาปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยใช้ระยะเวลาในการจุ่ม 15 วินาที ($70\% \text{H}_2\text{SO}_4/15$) พบว่า ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างกระดาษจะเรียบคล้ายมีแผ่นฟิล์มเคลือบบนผิวของกระดาษ แสดงดังรูป (D) เมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก โดยไม่มีการเติมอัลคินิล ซักซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งคัดแปรประจุบวก พบว่า พื้นผิวของกระดาษที่เติมอัลคินิล ซักซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งคัดแปรประจุบวก เมื่อนำมาปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจะมีลักษณะพื้นผิวขรุขระกว่า แผ่นกระดาษที่ไม่เติมอัลคินิล ซักซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งคัดแปรประจุบวก ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะอัลคินิล ซักซินิก แอนไฮไดรด์ ที่เติมลงในกระบวนการผลิตกระดาษมีลักษณะเป็นอิมัลชัน ซึ่งจะขัดขวางการเคลือบเป็นแผ่นฟิล์มของเจลาเซลลูโลสจึงทำให้ กระดาษมีพื้นผิวไม่เรียบ และไม่สม่ำเสมอ เทียบกับกระดาษที่ไม่เติมอัลคินิล ซักซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งคัดแปรประจุบวก

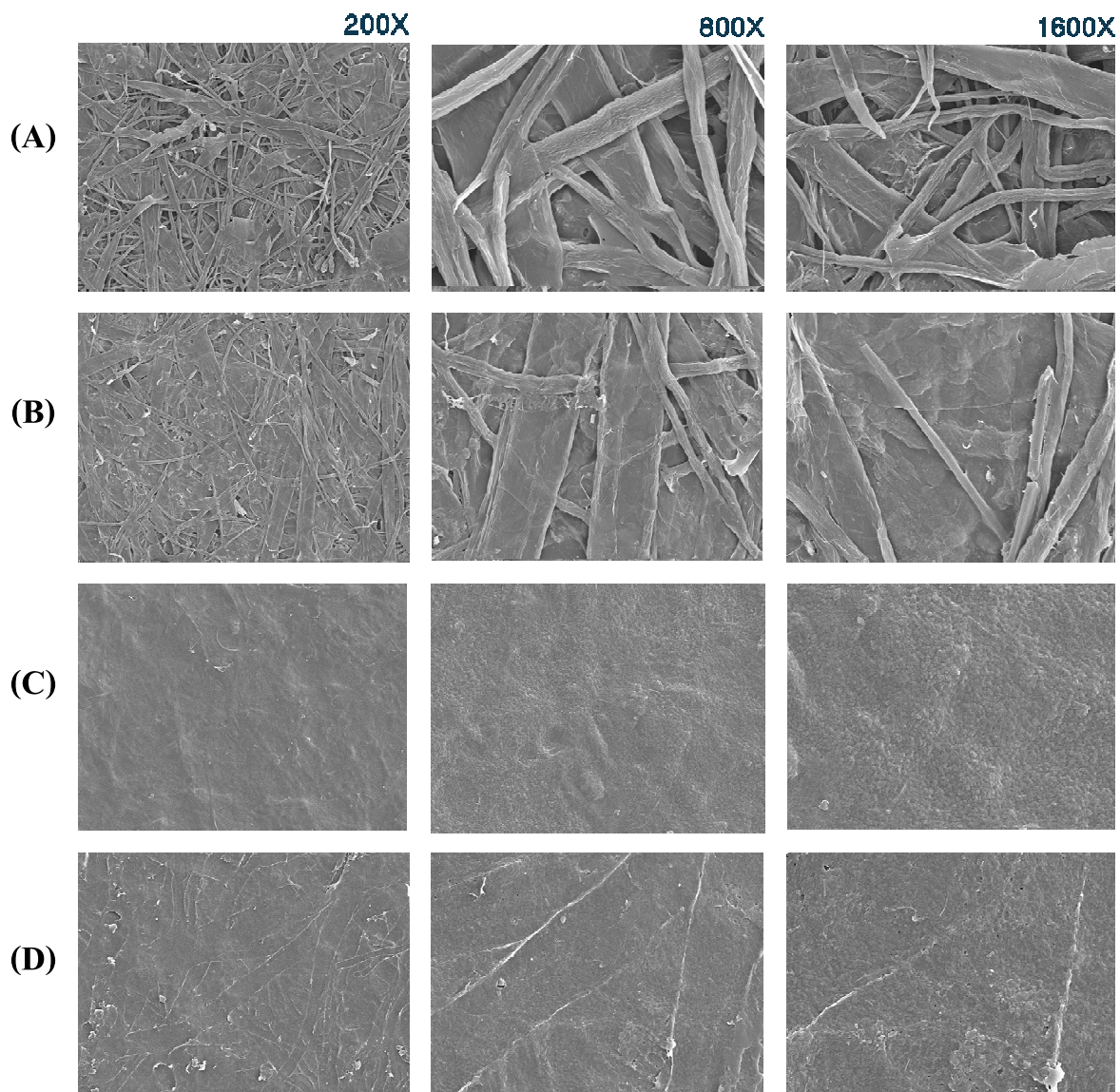


Figure 75. SEM of mixed pulpsheets. A = Mixed pulpsheets; B = Mixed pulpsheets with Cationic starch and ASA; C = Treated pulpsheets with 70% $H_2SO_4/15$; D = Cationic starch and ASA mixed papersheets and treated with 70% $H_2SO_4/15$.

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการผลิตเชื้อด้วยกระบวนการกราฟท์ จากต้นพืงแหและรูปถาญมี พบว่า องค์ประกอบทางเคมี ของเส้นใยจากต้นพืงแหที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อกระดาษ ประกอบด้วย เซลลูโลส ลิกนิน เพนโทเซน และ เถ้า ในอัตราส่วนร้อยละ 58.91 1.20 7.65 และ 16.20 โดยน้ำหนักเชื้อแห้ง ตามลำดับ และองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากรูปถาญมี ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเชื้อกระดาษ ประกอบด้วยเซลลูโลส ลิกนิน เพนโทเซน และเถ้า ในอัตราส่วนร้อยละ 42.61 12.56 23.90 และ 5.75 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณการละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 1 ของเส้นใยจากต้นพืงแห และรูปถาญมี มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 25.32 และ 31.80 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยจากต้นพืงแห และรูปถาญมี มีค่าเท่ากับ 1.3 0.0189 19 และ 0.0418 มิลลิเมตร ซึ่งการศึกษาสภาวะของการผลิตเชื้อใช้ระยะเวลาในการผลิต 150 นาที และอัตราส่วนของขี้เถ้าต่อน้ำยาเคมี 1:15 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเชื้อกระดาษจากต้นพืงแหด้วยกระบวนการกราฟท์ คือ ค่าระดับความเป็นด่างร้อยละ 20 ความเป็นกรดร้อยละ 40 และอุณหภูมิของการผลิตเชื้อกระดาษ 161 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาในการต้มเชื้อ 150 นาที และอัตราส่วนของขี้เถ้าต่อน้ำยาเคมีเท่ากับ 1:15 ซึ่งให้ผลผลิตเชื้อกระดาษสูงที่สุดคือร้อยละ 43.8 โดยน้ำหนักขี้เถ้าแห้ง ซึ่งเชื้อกระดาษ ที่ผลิตได้จะมีปริมาณเลขแคปปา เท่ากับ 1.3 และมีค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 43.1 Nm/g.

สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเชื้อกระดาษจากรูปถาญมีที่ระดับค่าความเป็นด่าง ร้อยละ 22 ค่าความเป็นกรดร้อยละ 20 และอุณหภูมิของการผลิตเชื้อกระดาษ 160 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตเชื้อกระดาษสูงที่สุดคือร้อยละ 31.09 โดยน้ำหนักขี้เถ้าแห้ง ซึ่งเชื้อกระดาษที่ผลิตได้ จะมีค่าปริมาณเลขแคปปา 14.9 และมีค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 8.9 Nm/g ซึ่งลักษณะของเชื้อจากรูปถาญมีจะมีสีคล้ำกว่าเชื้อที่ผลิตจากต้นพืงแห

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมเชื้อกระดาษจากต้นพืงแห และรูปถาญมี ซึ่งให้ความแข็งแรงทางกลสูงสุด คือ 50:50 โดยเชื้อผสมจะมีค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 5.9 Nm/g ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ เท่ากับ 3.8 Kgf/cm ค่าความต้านทานการฉีกขาด เท่ากับ 50.40 gf. ค่าอัตราการดูดซับน้ำที่ 0 วินาที มีค่าเท่ากับ 99.9 g/m และมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษที่ 0 และ 1 นาที มีค่าเท่ากับ 81.49 องศา และ 59.53 องศา ตามลำดับ โดยลักษณะของแผ่นเชื้อผสมจะมีสีคล้ำขึ้นตามอัตราส่วนของเชื้อจากรูปถาญมีที่เพิ่มขึ้น

สำหรับผลการศึกษการปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยการเติมแป้งตัดแปร ประจุบวก และอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ พบว่ากระดาษมีค่าความต้านทานแรงดันทะลุ ความต้านทานด้านการฉีกขาด และดัชนีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจากแป้งตัดแปร ประจุบวกสามารถ สร้างพันธะไฮออนิกระหว่างประจุบวก กับประจุลบ บนผิวของเส้นใยซึ่ง จะส่งเสริมการยึดเกาะของเส้นใย กระดาษจึงมีความแข็งแรงทางกลเพิ่มมากขึ้น และยังพบว่า กระดาษมีค่าอัตราการดูดซับน้ำลดลง และมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษที่ 0 และ 1 วินาที มีค่าสูงขึ้นอันเนื่องมาจากอิทธิพลของอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ ที่เติมลงไป ในน้ำเยื่อ ซึ่งจะช่วยให้อัตราการดูดซับน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเติมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งตัดแปรประจุบวกลงในกระดาษคือ 2.5:7.5 โดยน้ำหนักของ เยื่อแห้ง

การศึกษาผลการปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยกรดซัลฟิวริก พบว่ากระดาษ ที่ผลิตจากเยื่อผสมระหว่างต้นพังกาและรูปฤาษีในอัตราส่วน 50:50 ซึ่งมี การเติมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และแป้งตัดแปรประจุบวกในอัตราส่วนร้อยละ 5:5 เมื่อนำมาผ่านกรดซัลฟิวริก ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ มีน้ำหนักมาตรฐาน และความหนาของกระดาษลดลงตามความเข้มข้น ของกรดซัลฟิวริก และเวลาที่เพิ่มขึ้น กระดาษจะมีรูพรุนน้อยลง มีความเรียบ และสม่ำเสมอมากขึ้น แต่ความแข็งแรงทางกลของกระดาษจะลดลง

การศึกษการต้านทานการดูดซับน้ำมันของแผ่นกระดาษที่ได้จากเยื่อผสม จากต้นพังกา และรูปฤาษี ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า แผ่นกระดาษที่ ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ระยะเวลา ในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที จะมีรอยคราบน้ำมันบนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบเพียง เล็กน้อย และรอยคราบน้ำมันจะลดลงตามระยะเวลาในการจุ่มแผ่นกระดาษที่เพิ่มขึ้น ลักษณะ การแพร่กระจายของรอยคราบน้ำมันมีลักษณะรูปทรงอิสระคล้ายวงกลม แผ่นกระดาษที่ผ่าน การปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 ที่ระยะเวลาการจุ่มที่ 45 วินาที จะมีลักษณะรอยคราบน้ำมันเป็นวงกลม และกระดาษทดสอบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย กรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 จะไม่มีรอยคราบน้ำมันปรากฏบนแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานไขมันกับตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ไม่ผ่าน การปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า แผ่นกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย กรดซัลฟิวริก จะมีรอยคราบน้ำมันปรากฏบนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบอย่างชัดเจน ลักษณะ การแพร่กระจายของรอยคราบน้ำมัน จะมีลักษณะรูปทรงอิสระและแพร่กระจายตัวได้ มากกว่า

กระดาษที่ผ่านการปรับปรุงด้วยแป้งคัดแปรประจุบวกร้อยละ 5 และอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ร้อยละ 5 เมื่อนำมาปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ระยะเวลาในการจุ่ม 15 30 และ 45 วินาที พบว่า จะปรากฏรอยคราบน้ำมัน บนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบ และโดยรอยคราบน้ำมันจะลดลงตามระยะเวลาในการจุ่ม ที่เพิ่มขึ้น ลักษณะการแพร่กระจายของรอยคราบน้ำมันมีลักษณะเป็นรูปทรงอิสระ และกระดาษ ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 จะไม่ปรากฏรอยคราบน้ำมันบนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกระดาษทดสอบที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า แผ่นกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย กรดซัลฟิวริกจะปรากฏรอยคราบน้ำมันบนตัวอย่างแผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบอย่างชัดเจน ลักษณะ การแพร่กระจายของรอยคราบน้ำมันจะมีลักษณะรูปทรงอิสระและกระจายตัวได้มากกว่า

จากการศึกษาลักษณะ โครงสร้างของกระดาษด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบส่องกราดพบว่า กระดาษที่ผลิตจากเยื่อผสมระหว่างเยื่อจากฟางแหรและรูปถาญี จะมีการเรียงตัวกันเป็นชั้นๆ มีปริมาณรูพรุนระหว่างเส้นใยและชั้นของเส้นใย และเมื่อนำไปจุ่มใน กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น ร้อยละ 0 เป็นระยะเวลา 15 วินาที กระดาษจะมีความเรียบ สม่ำเสมอ และไม่มีรูพรุน เนื่องจาก เซลลูโลสจะละลายกลายเป็นเจลเคลือบบนพื้นผิวของกระดาษ และผลของการปรับปรุงสมบัติของ กระดาษที่ผสมอัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ และ/หรือ แป้งคัดแปรประจุบวกด้วยกรดซัลฟิวริก โดยศึกษาลักษณะ โครงสร้างของกระดาษด้วย เครื่องวิเคราะห์แบบส่องกราด พบว่า พื้นผิวของ กระดาษจะมีการเรียงตัวกันเป็นชั้นๆ แน่นมากขึ้น ปริมาณรูพรุนระหว่างเส้นใยและชั้นของ เส้นใยลดน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อกระดาษที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และเมื่อนำไปจุ่มในกรด ซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 0 เป็นระยะเวลา 15 วินาที กระดาษมีลักษณะพื้นผิวไม่เรียบ สม่ำเสมอ และไม่มีรูพรุน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจาก ความเป็นอิมัลชันของ อัลคินิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ ซึ่งจะขัดขวางการกระจายตัวของเซลลูโลสที่ละลายเคลือบเป็นแผ่นฟิล์มบาง พื้นผิว ของกระดาษจึงไม่เรียบ

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การศึกษาวิจัยในเรื่องการนำ ต้นพื้งแหร และรูปฤาษีมาใช้ประโยชน์ด้านการผลิตเชื้อกระดาศ เป็นไปอย่างสมบูรณ์ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในขอบเขต ดังนี้

1. ศึกษาหองค์ประกอบทางเคมีของต้นพื้งแหร และรูปฤาษีที่ระดับอายุต่างๆ
2. ศึกษาเปรียบเทียบการผลิตเชื้อกระดาศผสมจากต้นพื้งแหร และรูปฤาษี กับการผสมเชื้อกระดาศของพืชชนิดอื่นๆ เพื่อความเหมาะสมในการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม
3. ศึกษาผลิตเชื้อกระดาศผสมด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนาโน ในการปรับปรุงสมบัติกระดาศ เช่น การประยุกต์ใช้นาโนไททานเนียมไดออกไซด์ (Nano TiO₂) และ/หรือนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano ZnO) สำหรับผลิตกระดาศยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 126-143.
- ชนธร ทองสัมฤทธิ์ และสุชปา เนตรประดิษฐ์. 2548. การผลิตเชื้อและกระดาษจากไบโอบุญถั่วเหลืองเพื่อนวัตกรรมบรรจุภัณฑ์, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา. 18-20 ตุลาคม, หน้า 315.
- ชนธร ทองสัมฤทธิ์, สุชปา เนตรประดิษฐ์, และนิทัศน์ ทิพย์โสตนัยนา. 2550. การพัฒนาเชื้อกระดาษจากวัชพืชในประเทศ เพื่อทางเลือกใหม่ของบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูก. การประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33, 18-20 ตุลาคม 2550 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. จ.นครศรีธรรมราช. หน้า 9-11
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2553. การผลิตหมวดกระดาษและผลิตภัณฑ์. รายงานวิจัยอุตสาหกรรมกระดาษและผลิตภัณฑ์. ธนาคารกรุงเทพ. 31 สิงหาคม 2553. หน้า 1-2.
- ชัยรัตน์ จัญญาจัน, สุชาดา ถาวรวิริยะนันท์, ชีรวรรณ บุญญาวรรณ, พรชัย ราชชนะพันธ์ และอำพร เสน่ห์. 2552. กระดาษเคลือบพลาสติกด้านทานน้ำสำหรับอุตสาหกรรมการบรรจุภัณฑ์ (ออนไลน์) สืบค้นจาก : <http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch53/group02/tanyarat/plasma.html> (29 กันยายน 2553).
- ธีรชัย รัตนโรจน์มงคล และคณะ. 2540. การผลิตเชื้อปอสาคุณภาพสูง. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- นักวิจัยระดับปฏิบัติการ รุ่น 4. 2544. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากใบสับปะรด. หน้า.7-10. กรุงเทพฯ :กลุ่มงานฝึกอบรมการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ปุ่น และสมพร คงเจริญเกียรติ. 2541.บรรจุภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์บริษัทแพคแมทส์ จำกัด. บริษัท โรงพิมพ์หิ่เฮง จำกัด กรุงเทพฯ.
- รัตนพรชัย ทรัพย์อุดม, เลอพงษ์ จารุพันธ์, งามทิพย์ ภู่วโรดม และชัยรัตน์ จัญญาจัน. 2552. การปรับปรุงสมบัติเพื่อศักยภาพการขนส่งของบรรจุภัณฑ์เชื้อกระดาษขึ้นรูปทางไบโอดีเซลน้ำมัน. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 : สาขาอุตสาหกรรมเกษตร ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 17-20 มีนาคม 2552. หน้า 109 –114.

- เลอพงศ์ จารุพันธ์ และรัตนพรพร หรรษอุดม. 2550. อิทธิพลของสารเพิ่มความเหนียวและสารกันซึมต่อสมบัติเชิงกลของเยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมัน. ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิทยา ปั่นสุวรรณ. 2541. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36. ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 3-5 กุมภาพันธ์ 2541. หน้า 271.
- สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว. 2540. โครงการฉลากเขียว ข้อกำหนดของกระดาษฉลากเขียว. กองส่งเสริมและฝึกอบรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. พิมพ์ที่ : โรงพิมพ์สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กรุงเทพฯ. หน้า 4.
- สิทธิศักดิ์ วชิรานุภาพ. [54] การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเยื่อกระดาษจาก ต้นธูปฤาษี. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สุชปา เนตรประดิษฐ์, นุชจรินทร์ เหลืองสะอาด, ธนธร ทองสัมฤทธิ์ และพงษ์ยุทธ จันทอง. 2548. การพัฒนากระดาษใบสับประรดที่เหมาะสมต่อการพิมพ์บรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา. 18-20 ตุลาคม 2548. หน้า 315.
- อรอุษา สรวารี. 2539. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิชและแล็กเกอร์). พิมพ์ครั้งที่ 2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- อิสรา สระมาลา. 2551. ก้นน้ำให้กระดาษสวย "เทฟลอนนาโน"(ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://sciinaction.blogspot.com/2007/06/blog-post_4121.html. (6 กันยายน 2553)
- AdvanceAgro. ([00] รู้เพื่อเรื่องกระดาษ: องค์ประกอบของกระดาษ. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://online.hcu.ac.th/mtechno/images/fbfiles/files/.pdf> (7 พฤศจิกายน 2554)
- A.O.A.C. 1999. Official Methods of Analysis of the Association of Official analytical Chemists. 16th ed. The Association of official analytical chemists. Inc.
- Abdel, R. A. 2003. World wide paper and pulp supply website. (Online). Available http://individual.utoronto.ca/abdel_rahman/paper/images/processpic.jpg. (28 July 2010).

- Adamopoulos, S. 2006. Quantification of softwood, hardwood, and nonwood fiber content in packaging grade papers. *TAPPI Journal*. Peer-reviewed Fiber analysis. 5(3): 27-32.
- Agahd, K. 1970. Manufacture of vegetable parchment paper. United states patent office. Patented April 28, 1970. Pat.no. 3,508,859.
- Alen, R. 2000. Basic chemistry of wood delignification. *In Papermaking Science and Technology Series*. Vol. II. 3rd (Stenius, P., ed.). p.58-104. Fapet, Helsinki Prees. Finland.
- Au, C. O. and Thorn, I. 1995. Application of wet-end paper chemistry. *In Printing paper and ink*. p.110-144. International Thomson Press. London.
- Brezovska, S.A., Marina, B., Panova, B., Burevski, D., Bosevska, V., Stojanovska.L., 2003. The adsorption characteristics and porous structure of bentonite adsorbents as determined from the adsorption isotherms of benzene vapor. *J.Serb.Chem.Soic*. 69(2): 145–151.
- Dutt, D., Upadhyay J.S., Singh B., Tyagi C.H. 2009. Studies on Hibiscus Cannabinus and Hibiscus sabdariffa as an alternative pulp bland for softwood : An optimization of Kraft delignification Process. *Industrial Crops and Products*. 29: 16-26.
- Gaiolas, C., Silva M. S., and Costa P. Influence of the combined use of cationic starch and cationic polyacrylamine on the quality of printing paper. *J. Tappi*. 5(1): 3-8.
- Gess, J. M. and Rende, D.S. 2005. Alkenyl succinic anhydride, ASA. *J. TAPPI*. 4(9): 25-30.
- Gullichsen, J. and Fogelholm, C. J. 2000. Chemical pulping. *In Papermaking Science and Technology*, Book 6b). p.497. Fapet Oy, Helsinki, Finland.
- Halvarssona, S., Edlunda, H. and Norgrena, M. 2009. Manufacture of non-resin wheat straw fibreboards. *Industrial crops and product*. 29: 437-445.
- Han, J.S. 1998. Properties of nonwood fibers. *In Proceedings of the Korean society of wood science and Technology annual meeting*. Part of this paper was presented as Fiber Property Comparison at the TAPPI 1998 North American Nonwood Symposium at Atanata, GA, 17-18 February 1998. p. 3 -12.
- Hellwig, G., Bischoff, D. and Rubo, A. 1992. Productiono cationic starch ethers using an improved dry process. *J. Starch/Starke*. 44: 69-74.

- Hensleigh, T. 1988. (*Trema orientalis* (L.)Blume). [On-line]. Available :
<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=1095>.
- Hubbe, M.A. 2006. Paper's resistance to wetting, *J.BioRes.* 2(1) : 106-145.
- Jahan M. S., Gunter B.G., and Rahman A. A. F. M., 2009. Substituting Wood with Nonwood Fibers in Papermaking: A Win-Win Solution for Bangladesh. Bangladesh Development Research Working Paper Series (BDRWPS) 4: 1-19.
- Jerome, M. G. and Dominic, S. R., 2005. Alkyl succinic anhydride, *ASA. J. Tappi.* 4(9): 25-30.
- Lawton, J.W. 2000. Nonfood uses of cereals, In *Handbook of Cereal Science and Technology.* Ed. K. Kulp and J.G. Ponte. Marcel Dekker, Inc., NY. p.725-740.
- Lee, H.L. Shin, J. Y., Koh C-H., Ryu, H., Lee D-J., and Sohn, C. 2002. Surface sizing with cationic starch: its effect on paper quality and papermaking process. *Tappi Journal* 11: 34-49.
- Lee, H.L., Kim, J.S. and Youn, H.J. 2004. Improvement of ASA sizing efficiency using hydrophobically modified and acid-hydrolyzed starches. *Tappi Journal* 3(12): 3-6.
- Maurer, H.W. 2001. Starch and starch products in surface sizing and paper coating. Tappi press, Atlanta. p.170.
- Noland, W.J. 1970. Lignin. In *Hand book of Pulp and Paper Technology.* Van Nostrand Reinhold company Press. New York. p.135-143.
- Oluwadare, A.O., 2007. The relationship between fibre characteristics and pulp-sheet properties of *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. *J. Sci. Res.* 2(2): 63-68.
- Orwa, C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R., and Simons A., 2009. Agroforestry Database : A tree reference and selection guide.(Online). Available :
<http://www.worldagroforestry.org/af/treed> (28 August 2011).
- Parham, R. A. and Kausfinen, H. M. 1974. Papermaking materials. An atlas of electron micrographs. The Institute of paper chemistry, Appleton. WI.
- Robert, W., Hurter, P. E. 1998. Will non-woods become an important fiber resource for north America. In *summit Proceedings of the Presented at 1998 World Wood Summit.* Chicago. August 31 - September 2.1998. p.1-9.

- Rohde, R.A. 2007. Sulfuric acid molecule formula.png. (Online). Available :
<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%A5%E0%B9%8C> :Sulfuric-acid-2D-dimensions.svg (28 July 2010).
- Scott, W. E. 1996. Principles of wet end chemistry. *In* Technology Park. Tappi Press. Atlanta. 1: 105-109.
- Shafrin, E.G. and Zisman W.A. 1960. Constitutive relations in the wetting of low energy surfaces and the theory of the retraction method of preparing monolayers, *J. Phys Chem.* 64(5): 519–524.
- Sobral, H.S. 1990. Vegetable plants and their fibres as building materials. Chapman and Hall. USA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Solvent extractives of wood and pulp T 204 om-88. *In* TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Water solubility of and pulp T 207 om-88. *In* TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp T 212 om-88. *In* TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Pentosans in wood and pulp T 223 om-84. *In* TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper and paperboard (Cobb test) T 441 om-90. *In* TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Tensile properties of paper and paperboard T 494 om-88. *In* TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.
- Toshihiro, H., Matsumura, O., Shuji, O. and Taniguchi, Y. 2002. Biodegradable tray for raising seedlings. U.S. Patented December 10, 2002. Pat no.6,490,827.

- Ward, W. J., Andruszkiewicz, K., Gray, R.T., McGinnis, T.P., Novak, R.W. 2008. Use of alkenyl succinic anhydride compounds derived from symmetrical olefins in internal sizing for paper production. U.S. Class: 162/158; 162/184; 162/185; 549/233; 549/255. November 25, 2008. Pat no. 7455751.
- Werner, J. 2009. Pulp production processes. *In* Papermaking Chemistry and Technology. (Online). Available: <http://chempatec-auhorn.com/stockprep/index.html>. (28 July 2010).
- Whitter, R. L. and Teng, J. 1970. Cellulose Chemistry. *In* Hand book of pulp and paper technology. Van Nostrand Reinhold Company Press. New York. p.13-14.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมีและทางกายภาพ

1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
2. ตู้อบไฟฟ้า (electric oven)
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการทดลอง (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 1999)

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ใน โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
2. กระทำเช่นข้อ 1 ช้าจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียด ประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
4. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 4-5 ชั่วโมง
5. นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
6. อบซ้ำอีก ครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
7. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก} = 100 \times \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

2. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เตาเผา (muffle furnace)
2. ถ้วยครุชชีเบิลกระเบื้องเคลือบ
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า

วิธีการทดลอง (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 1999)

1. เผาด้วยครุชชีเบิลกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ปิดสวิทช์เตาเผาแล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่ออุณหภูมิภายในเตาเผา ลดลงก่อน แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก

2. เผาซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1-2 กรัมใส่ในด้วยครุชชีเบิลกระเบื้องเคลือบซึ่งทราบค่าน้ำหนักแล้ว นำไปเผาในตู้ควันจนหมดควัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผาตั้งอุณหภูมิเตาเผาไว้ที่ 600 องศาเซลเซียส และกระทำเช่นเดียวกับข้อ 1-2

4. คำนวณหาปริมาณได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณถ่านคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = 100 \times \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

3. การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสและลิกนิน

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดหาปริมาณเซลลูโลส ซึ่งประกอบด้วย บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร และอุปกรณ์ควมแน่นและอุปกรณ์ให้ความร้อน

2. ครุชชีเบิลกันกรองชนิดแก้ว ความจุประมาณ 50 มิลลิลิตร

3. ขวดกรองแบบสุญญากาศ

4. ตู้อบไฟฟ้า

5. เตาเผา

6. โถดูดความชื้น

7. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

8. อะซิโตน

9. กรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 72

10. Decahydronapthalene

11. Acid detergent solution

วิธีการทดลอง (ดัดแปลงจาก Van Soest and Wine, 1967)

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร นำตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย Acid detergent ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และ decahydronaphthalene ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนเดือดเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้น ลดความร้อนลงให้เดือดเบาๆ เป็นเวลา 60 นาที
3. กรองผ่านครุชชีเบลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว (W_1) โดยใช้แรงดูดสุญญากาศเบาๆ ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ลงครุชชีเบลด้วยน้ำร้อน 3.5 ครั้ง ขณะล้างให้เขี่ยก้อนเชื้อยที่อยู่ในครุชชีเบลให้กระจายออกโดยใช้แท่งแก้ว หลังจากนั้นจึงดูดด้วยเครื่องสุญญากาศ และล้างต่อด้วยอะซิโตนปริมาณเล็กน้อยประมาณ 2-3 ครั้ง แล้วใช้เครื่องดูดสุญญากาศดูดให้แห้ง
4. นำครุชชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หรืออบจนกระทั่งชั่งน้ำหนักได้คงที่ (W_2)
5. นำครุชชีเบลวางในถาดกั้นดิน เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 72 (ก่อนใช้ให้แช่เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 15 องศาเซลเซียส) ลงในครุชชีเบลประมาณครึ่งหนึ่งแล้วคนด้วยแท่งแก้ว คนเพื่อเชื้อยเปียกอย่างทั่วถึง เติมกรดเพิ่มลงไปทุกๆ ชั่วโมง พร้อมคนอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
6. นำครุชชีเบลไปกรองเอากรดออก โดยดูดด้วยเครื่องสุญญากาศ แล้วล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด
7. อบครุชชีเบลที่ได้จากข้อ 6 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสตลอดคืน จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักให้คงที่ (W_3)
8. นำครุชชีเบลไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หรือจนกว่าไม่มีคาร์บอน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักให้คงที่ (W_4)

การคำนวณ

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

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

$$C = ADF - L$$

โดยที่ AFD	=	Acid detergent fiber (ร้อยละ)
L	=	ปริมาณลิกนิน (ร้อยละ)
C	=	น้ำหนักเซลลูโลส (ร้อยละ)
W_1	=	น้ำหนักครุชิลเปลา (กรัม)
W_2	=	น้ำหนักครุชิลและตัวอย่างหลังผ่านสารละลาย Acid detergent (กรัม)
W_3	=	น้ำหนักครุชิลและตัวอย่างหลังผ่านกรดซัลฟูริก (กรัม)
W_4	=	น้ำหนักครุชิลและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
S	=	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

4. การวิเคราะห์ความสามารถของการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 %

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อ่างน้ำร้อน
2. บีกเกอร์ทรงสูงขนาด 200 มิลลิลิตร
3. ครุชิลกั้นกรองชนิดแก้ว ความจุประมาณ 50 มิลลิลิตร
4. ขวดรูปชมพู่ขนาด 1000 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. Sodium hydroxide solution 1.0%
2. Acetic acid 10%

วิธีการทดลอง (TAPPI T 212 om-88)

1. นำตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 2-3 กรัมมาใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 200 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาณ 100 มิลลิลิตร แล้ว คนด้วยแท่งแก้วคนจนเข้ากัน

2. ปิดปากบีกเกอร์ด้วยถาดกั้นตื้น จากนั้นนำไปวางในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 97-100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที โดยการให้ระดับน้ำในอ่างน้ำร้อนอยู่สูงกว่าระดับสารละลายในบีกเกอร์ทรงสูง

3. ทำการคนตัวอย่างในบีกเกอร์ทรงสูงที่ช่วงเวลา 10 15 และ 25 นาที เป็นเวลา 5 วินาทีภายหลังจากวางในอ่างน้ำร้อน เมื่อได้เวลาตามกำหนดทำการกรองตัวอย่างผ่านครุชิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้วล้างด้วยน้ำร้อนปริมาณ 100 มิลลิลิตร

4. ใส่สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 25 มิลลิลิตรในครุชิลเป็นเวลา 1 นาทีโดยทำซ้ำ 2 ครั้ง หลังจากนั้นล้าง ตัวอย่างด้วยน้ำร้อนจนหมดความเป็นกรด

แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนตัวอย่างแห้ง แล้วนำไปวางทิ้งไว้ให้เย็นใน โถดูดความชื้น จากนั้นชั่งหาน้ำหนักของตัวอย่างที่แน่นอน

5. กำหนดหาความสามารถของการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1 จากสูตร

$$\text{ความสามารถของการละลาย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(A-B) \times 100}{A}$$

โดยที่ A = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังการสกัด

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดซัลฟูริก (H₂SO₄)

1.1 การเตรียม

Table 19. Volume (ml) needed Concentration HCl and H₂SO₄

Normality of a solution	Volume (ml) needed	Volume (ml) needed
	Concentration HCl	Concentration H ₂ SO ₄
	Approx. 12 N	Approx. 36 N, 1.84 g/ml
0.01	0.83	0.30 (0.55g)
0.05	4.15	1.50 (2.76g)
0.10	8.3	3.00 (5.52g)
0.50	41.5	15.00 (27.6g)
1.00	83	30.0 (55.2g)

1.2 การทำ Standardization

1. ชั่ง 2-3 กรัมของ Sodium carbonate
2. นำไปอบที่ความร้อน 105 ± 5 องศาเซลเซียส ในตู้อบ
3. ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และชั่งน้ำหนักทันทีให้ใกล้เคียง 0.01 มิลลิกรัมของสารที่ใช้ในการไตเตรต ทุกๆ 40 มิลลิเมตร
4. คำนวณ Na₂CO₃ โดยใช้กรด 0.1 N ใช้ Na₂CO₃ 0.21 กรัม
5. ละลาย Na₂CO₃ น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
6. เติม Methyl red indicator 3 หยด
7. ไตเตรตด้วยกรดจนกระทั่งถึงจุดยุติ
8. ต้มสารละลายที่ได้อย่างระมัดระวังอย่าให้เกิดการสูญเสีย จนกระทั่งสารละลายไม่มีสี
9. วางให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
10. ไตเตรตต่อจนถึงจุดยุติสุดท้าย

$$\text{Normality of HCl or H}_2\text{SO}_4 = \text{Wt of Na}_2\text{CO}_3 \text{ (g) / 0.05299 * Titration Volume (ml)}$$

2. การเตรียม Methyl red (0.1%) ปริมาตร 50 ml.

2.1 การเตรียม

1. นำ Methyl red จำนวน 0.05 กรัม ละลายใน Ethanol ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร

2. เก็บไว้ใน ห้องเย็น

3. การเตรียม Phenolphthalein indicator solution (0.1%) ปริมาตร 50 ml.

3.1 การเตรียม

1. นำ Phenolphthalein จำนวน 0.05 กรัม ละลายใน Ethanol ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร

2. เก็บไว้ใน ห้องเย็น

4. การเตรียม Thymolphthalein indicator solution (0.1%) ปริมาตร 50 ml.

4.1 การเตรียม

1. นำ Thymolphthalein จำนวน 0.05 กรัม ละลายใน Ethanol ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร

2. เก็บไว้ใน ห้องเย็น

3.

5. การเตรียม Barium chloride solution; BaCl₂ (200 g/l. หรือ 20%)

5.1 การเตรียม

4. นำ BaCl₂ จำนวน 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร

5. เก็บไว้ใน อุณหภูมิห้อง

6. การเตรียม Formaldehyde (HCHO-35%) – neutralized with 1 M NaOH solution with phenolphthalein indicator.

6.1 การเตรียม

1. ชั่ง NaOH จำนวน 40 g. ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml.

2. นำ HCHO 37% มาไตเตรทให้ได้ความเข้มข้น 35% ด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml. จำนวนจาก
$$\text{HCHO } 37\% = \frac{35 \times 100}{37} = 94.6 \text{ ml.}$$

6.2 การทำ Standardization

1. นำ Phenolphthalein indicator หยดลงใน HCHO 35% จำนวน 3 หยด แล้วไทเตรตด้วย NaOH จนเปลี่ยนเป็นสีส้ม

7. การเตรียม Potassium Permanganate (KMnO₄)

7.1 การเตรียม

1. ชั่ง 3.2 กรัมของ KMnO₄ และละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร
2. ให้ความร้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. กรองด้วย Funnel และเก็บไว้ในขวดสีชา

7.2 การทำ Standardization

1. นำ Sodium oxalate อบที่อุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. ทำให้เย็นในเคซิเคเตอร์
3. ชั่ง Sodium oxalate มา 0.3 ± 0.01 g ใส่ลงใน Flask ขนาด 500 มิลลิลิตร
4. เติมกรดซัลฟูริก 205 ml แล้วนำไปต้มเวลา 10 นาที แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
5. คนให้เข้ากัน และไทเตรตด้วย KMnO₄ จนกระทั่งปรากฏเป็นสีชมพู
6. ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส สีชมพูที่ได้ต้องหายไป (ถ้าไม่ไทเตรตเกินจุดยุติ)
7. ไทเตรตต่อจนถึงจุดยุติ (ได้สีชมพู จะปรากฏเป็นเวลา 30 นาที)

$$\text{Normality of KMnO}_4 = \text{Wt of Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 \text{ (g)} / 0.067 * \text{Titration Volume (ml)}$$

8. การเตรียม Sodium Thiosulphate (Na₂S₂O₃ 0.1 N)

8.1 การเตรียม

1. ชั่ง Na₂S₂O₃ มา 25 กรัม และละลายในน้ำที่ปราศจาก CO₂
2. เติม Na₂CO₃ 0.1 กรัม และปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
3. ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงก่อนทำ Standardization

8.2 การทำ Standardization

1. นำ Potassium dichromate มาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
2. ชั่ง Potassium dichromate มา $0.2 \pm$ กรัม ลงใน Flask ขนาด 250 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
3. เติม 3.0 กรัม Potassium iodide
4. เติม HCl เข้มข้นลงไป 5 มิลลิลิตร
5. ทำให้เข้ากันทันที แล้วเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 10 นาที
6. ไตเตรตด้วยสารละลาย Thiosulphate โดยใช้ น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ เป็นสีเหลืองอมเขียว

$$\text{Normality of NaS}_2\text{O}_3 \text{ (N)} = \text{Wt of K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (g)} / 0.04903 * \text{Titration Volume (ml)}$$

9. เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก 1.0 นอร์มอล หรือ 0.5 โมลต่อลิตร (โมลาร์)

จากกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (98%, 1.84 kg/L) ซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับ 36 นอร์มอล หรือ 18 โมลาร์ โดยปิเปตกรด เข้มข้นมา 28.3 ml ละลายในน้ำแล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

10. การเตรียม Acid detergent solution

ชั่ง 20 กรัม ของ CTAB (Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide) ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 1.0 นอร์มอล แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร

11. การเตรียม Hydrochloric acid เข้มข้นประมาณ 1 M.

นำ Hydrochloric acid ปริมาตร 83 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายดังกล่าวไว้ในขวดแก้วที่มีฝาเกลียวปิด

12. การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Hydrochloric acid

1. อบ Sodium carbonate (Na_2CO_3) ปริมาณประมาณ 3 กรัม ในเพลต (Plate) ที่อุณหภูมิ 105°C นาน 12 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccator
2. ชั่ง Sodium carbonate (Na_2CO_3) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ปริมาตร 1.05 กรัม บันทึกน้ำหนักที่ได้ (1.0502)
3. ละลายในน้ำ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

4. หยด Methyl red จำนวน 3 หยด ลงในสารละลาย Sodium carbonate (Na_2CO_3)
5. ทำการ Titrate ด้วย Hydrochloric acid ด้วยการ เติมสารละลาย Hydrochloric acid ที่เตรียมไว้ลงใน Buret บันทึกปริมาตรเริ่มต้น (ไล่ฟองอากาศออกให้หมดก่อนเติม)
6. ค่อยๆ หยดสารละลาย Hydrochloric acid จาก Buret ลงไปใน Conical Flask พร้อมทั้งเขย่าตลอดเวลาจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดง
7. ต้มใน Water bath จนสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี
8. ทำเยื่อที่อุณหภูมิห้อง
9. ทำการ Titrate ต่อค่อยๆ หยดสารละลาย Hydrochloric acid จาก Buret ลงไปใน Conical Flask พร้อมทั้งเขย่าตลอดเวลาจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงอ่อน
10. ต้มใน Water bath จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู
11. บันทึกปริมาตรของสารละลาย Hydrochloric acid ที่ใช้

13. การเตรียม Potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)

13.1 การเตรียม

1. อบ Potassium dichromate ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
2. ชั่ง Potassium dichromate มา 4.9031 กรัม ละลายในน้ำแล้วเจือจางในขวดรูปชมพู่ขนาด 1 ลิตร

13.2 การทำ Standardization

1. ปิเปตสารละลายไดโครเมต 50 มิลลิลิตร ใส่ Flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร
3. เติม Potassium iodide 3 กรัม
4. เติม HCl เข้มข้น 5 มิลลิลิตร
5. เก็บสารละลายไว้ในที่มืดเป็นเวลา 10 นาที
6. ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 N
7. เติมน้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์เมื่อสีเหลืองเริ่มจาง
8. ไตเตรตต่อจนถึงจุดยุติ เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน

$$\text{Normality of } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (N)} = \text{ml of } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 * \text{N of } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 / \text{Titration Volume (ml)}$$

14. การเตรียม Effective alkalinity of NaOH

14.1 การเตรียม

1. นำ NaOH ชั่งจำนวน 120 g. ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml.
2. ไตเตรท สารละลาย NaOH ปริมาตร 5 ml. ด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 50 ml.
3. หยด Thymolphthalein จำนวน 10 หยด
4. ทำการไตเตรทด้วย กรดไฮโดรคลอริก จนสารละลาย NaOH เปลี่ยนเป็นไม่มีสี
5. จดปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่หายไปจากการไตเตรท

15. การเตรียม Active alkalinity of Na₂S (Step I)

15.1 การเตรียม

1. นำ Na₂S ชั่งจำนวน 200 g. ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml.
2. ไตเตรท สารละลาย Na₂S ปริมาตร 5 ml. ด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 30 ml. และ BaCl₂ ปริมาตร 20 ml.
3. หยด Thymolphthalein จำนวน 10 หยด
4. ทำการไตเตรทด้วย กรดไฮโดรคลอริก จนสารละลาย Na₂S เปลี่ยนเป็นไม่มีสี
5. จดปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่หายไปจากการไตเตรท

16. การเตรียม Active alkalinity of Na₂S (Step II)

16.1 การเตรียม

1. นำ ผลที่ได้จาก(Step II) มาทำการศึกษาต่อด้วยการเติม Formaldehyde solution จำนวน 5 ml.
2. หยด Phenolphthalein จำนวน 10 หยด
3. ทำการไตเตรทด้วย กรดไฮโดรคลอริก จนสารละลาย Na₂S เปลี่ยนเป็นสีชมพู
4. จดปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่หายไปจากการไตเตรท

ตัวอย่างการคำนวณหา Effective alkalinity in NaOH

EA of NaOH solution = $\{a(m/v) \times 40\}$ g/l. in terms of NaOH

when

a = Volume of HCL consumed at the end point in ml.

m = Concentration of HCL solution in molarity.

$$\begin{aligned}
 v &= \text{Volume of sample (NaOH) taken in ml.} \\
 40 &= \text{molecular weight of NaOH} \\
 \text{EA of NaOH solution} &= 11.2 \left(\frac{1.00095}{5} \right) 40 = 89.68512
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณหา Effective alkalinity in Na₂S

$$\text{EA of NaOH solution} = \{a(m/v) \times 40\} \text{ g/l. in terms of Na}_2\text{S}$$

when

$$\begin{aligned}
 a &= \text{Volume of HCL consumed at the end point in ml.} \\
 m &= \text{Concentration of HCL solution in molarity.} \\
 v &= \text{Volume of sample (Na}_2\text{S) taken in ml.} \\
 40 &= \text{molecular weight of NaOH} \\
 \text{EA of NaOH solution} &= 6.1 \left(\frac{1.00095}{5} \right) 40 = 48.84636
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณหา Active alkalinity

$$\text{AA of Na}_2\text{S solution} = \{b(m/v) \times 40\} \text{ g/l. in terms of NaOH}$$

when

$$\begin{aligned}
 b &= \text{Total volume of HCL consumed at the end point in ml.} \\
 m &= \text{Concentration of HCL solution in molarity.} \\
 v &= \text{Volume of sample (Na}_2\text{S) taken in ml.} \\
 40 &= \text{molecular weight of NaOH} \\
 \text{AA of Na}_2\text{S solution} &= 11.7 \left(\frac{1.00095}{5} \right) 40 = 93.68892
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ก

การทดสอบสมบัติของเส้นใยหลังผ่านการสกัด

1. การวัดความยาวเส้นใย

วัสดุอุปกรณ์

1. micrometer
2. forceps

วิธีการ

1. สุ่มตัวอย่างเส้นใยของแต่ละตัวอย่าง
2. วัดความยาวด้วย micrometer
3. บันทึกผล

2. การหา Kappa Number

วัสดุอุปกรณ์

1. ตัวอย่างเชื้อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้ว
2. บีกเกอร์ขนาด 1500 มิลลิลิตร
3. ปีเปตขนาด 100 มิลลิลิตร
4. กระบอกตวง
5. แท่งแก้วคน (Stirring rod)
6. หลอดหยด
7. บิวเรต

สารเคมี

1. Potassium permanganate solution 0.1 N
2. Sodium thiosulphate 0.2 N
3. Potassium iodide solution 1.0 N
4. Sulphuric acid 4.0 N
5. Starch indicator solution 0.2 %

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างมาประมาณ 3-10 กรัม
2. เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

3. ถ่ายตัวอย่างลงในบีกเกอร์ขนาด 1500 มิลลิลิตร ใช้น้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร
4. เปิดสารละลาย Potassium permanganate 100 มิลลิลิตร และ Sulphuric acid 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. เทสารละลายข้างต้นลงในบีกเกอร์ตัวอย่าง และเขย่าอย่างรวดเร็ว เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
6. ทิ้งไว้ 10 นาที (เก็บที่มีด) เติมสารละลาย KI มิลลิลิตร
7. เติม Starch indicator solution ใดเตรตด้วยสารละลาย Sodium thiosulphate

การคำนวณ

$$a = \frac{(b - c)m}{0.1}$$

$$\text{Kappa Number} = \frac{a * b (1+0.013(25-t))}{m}$$

เมื่อ

a = ปริมาตรของ 20 mol/l (0.2 N) ของเปอร์แมงกานेटในหน่วยมิลลิลิตร

b = ปริมาตรของโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้วัด Blank

c = ปริมาตรของโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้วัดตัวอย่าง

n = ความเข้มข้นของโซเดียมไธโอซัลเฟตในหน่วย mole/l

m = น้ำหนักของตัวอย่างในหน่วยกรัมเชื้อแห้ง

t = อุณหภูมิของปฏิกิริยาในการผสมหลัง 5 นาที หน่วยองศาเซลเซียส

d = factor for correction to 50 percent permanganate consumption, dependent on to value of A

Table 20. The factor for correction to 50 percent permanganate consumption.

A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0.958	0.960	0.962	0.964	0.966	0.968	0.970	0.973	0.975	0.977
40	0.979	0.981	0.983	0.985	0.987	0.989	0.991	0.994	0.996	0.998
50	1.000	1.002	1.004	1.003	1.009	1.011	1.013	1.015	1.017	1.019
60	1.022	1.024	1.026	1.028	1.030	1.033	1.035	1.037	1.039	1.042
70	1.044									

ที่มา : ดัดแปลงจาก Anonymous (1999)

ภาคผนวก ง

1. การขึ้นแผ่นเยื่อกระดาษ

วัสดุอุปกรณ์

1. เยื่อกระดาษ
2. บีกเกอร์ขนาด 1-2 ลิตร
3. กระบอกตวง
4. เครื่องขึ้นแผ่นเยื่อกระดาษ
5. กระดาษซับน้ำ
6. ฝู้อบ
7. เครื่องอัดไฮดรอลิก
8. เครื่องปั่นกระจายเยื่อ

วิธีการ

ตอนที่ 1 การเตรียมเยื่อกระดาษ

1. คำนวณหาปริมาณเยื่อที่ต้องการใช้ทั้งหมด โดยกำหนดให้กระดาษที่ต้องการผลิตมีค่า 60 กรัมต่อตารางเมตร

วิธีการคำนวณหาปริมาณเยื่อน้ำหนักในการขึ้นรูปแผ่นกระดาษเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องขึ้นรูปแผ่นกระดาษเท่ากับ 18 เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ของตะแกรงขึ้นรูปแผ่นกระดาษ} &= \pi r^2 = \frac{22}{7} \times (0.09)^2 \\ &= 0.025457 \text{ ตารางเมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ผลิตกระดาษ } 60 \text{ g/m}^2 = \text{g} / 0.025457 = 1.52742 \text{ กรัม}$$

ใช้น้ำหนักเยื่อแห้ง 1.52742 กรัมต่อ 1 แผ่นกระดาษ

2. เจือจางเยื่อด้วยน้ำ ปรับค่าความเข้มข้นของเยื่อที่เตรียม โดยกำหนดให้ปริมาตรน้ำ 500 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักเยื่อที่ใช้ทำกระดาษ 1 แผ่น

3. กระจายเยื่อเป็นเวลา 3,000 rpm.

ตอนที่ 2 การขึ้นแผ่นเยื่อกระดาษ

1. เปิดน้ำให้ไหลเข้าเครื่องขึ้นแผ่นเยื่อกระดาษ (Sheet - forming machine) ประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาตรทั้งหมด

2. เติมน้ำเยื่อที่เตรียมไว้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ลงในเครื่องขึ้นแผ่นเยื่อกระดาษ

3. เปิดน้ำไหลเข้าเครื่องขึ้นแผ่นเยื่อกระดาษจนถึงขีดที่กำหนด (ประมาณ 35 เซนติเมตรเหนือแผ่นตะแกรงน้ำ)

4. กวนให้เยื่อกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยเปิดลมเป่าจากท่อด้านล่างนาน 35 วินาที

5. รอจนน้ำเยื่อนิ่งแล้วเปิดวาล์วปล่อยน้ำออกอย่างรวดเร็วจนน้ำแห้ง

6. ทำการซับน้ำโดยวางกระดาษซับไว้ด้านบนแล้วค่อยๆ กดกระดาษซับน้ำ

7. ลอกแผ่นกระดาษออกจากตะแกรง แล้วนำไปวางบนแผ่นสแตนเลส เพื่อรอการทำแห้ง

8. ทำซ้ำจนครบตามจำนวนแผ่นกระดาษที่ต้องการ

9. นำแผ่นเยื่อกระดาษทั้งหมดไปทำแห้งโดยการอัดด้วยความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

10. นำกระดาษที่ได้ไปวางในตู้ควบคุมสภาวะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 จนกระดาษแห้ง

11. กระดาษที่แห้งแล้วยังคงเก็บในตู้ควบคุมสภาวะเพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพต่อไป

ภาคผนวก จ

ผลการทดลอง

Table 21. Some mechanical and physical properties of papersheets made from Peach cedar and Cattail pulps.

Ratio Pc:Ct (% OD weight)	Properties					
	BS (Kgf/cm ²)*	TS (gf.)*	TI (Nm/g)*	CT(cobb ₆₀) (g/m ²)*	CA (θ) 0 (min)* 1(min)*	
100:0	2.84±0.10 ^a	40.27±0.23 ^a	40.64±1.21 ^a	120.33±0.33 ^c	68.52±0.23 ^{ab}	46.90±0.23 ^a
90:10	3.22±0.13 ^b	41.33±0.28 ^b	47.94±3.29 ^b	103.73±0.005 ^b	69.51±4.42 ^{ab}	40.29±7.51 ^a
80:20	3.53±0.05 ^b	42.93±0.28 ^c	52.13±2.14 ^c	103.17±0.05 ^b	66.20±4.48 ^a	41.01±3.75 ^a
70:30	3.46±0.12 ^{bc}	44.53±0.28 ^d	53.62±1.80 ^c	100.63±0.02 ^b	66.95±3.02 ^a	43.77±2.50 ^a
60:40	3.68±0.19 ^{cd}	48.27±0.28 ^c	57.51±1.39 ^d	100.10±0.04 ^b	70.62±4.13 ^{ab}	51.92±6.64 ^{ab}
50:50	3.87±0.06 ^d	50.40±0.57 ^f	57.79±2.26 ^d	99.97±0.04 ^b	81.49±5.86 ^c	59.53±7.38 ^{bc}
0:100	4.24±0.06 ^e	52.80±0.57 ^g	66.89±0.96 ^e	83.67±0.01 ^a	77.88±1.71 ^{bc}	63.98±2.86 ^c

All values are reported as mean (N ≥ 5).

*The different superscripts in the same column indicate the significant differences ($p < 0.05$).

Pc = Peach cedar, Ct = Cattail, BS = Bursting strength, TS = Tearing strength, TI= Tensile Index, CT = Cobb Test, CA = Contact angle.

Table 22. Some mechanical and physical properties of papersheets with alkenyl succinic anhydride (ASA) and cationic starch.

Ratio of CS :	Properties					
	ASA (% OD weight)	BS (Kgf/cm ²)*	TS (gf.)*	TI (N.m/g)*	CT(Cobb ₆₀) (g/m ²)*	CA(θ) 0 (min)* 1(min)*
0 : 0	4.86±0.13 ^b	51.20±0.07 ^a	62.37±3.46 ^a	97.44±1.04 ^c	77.05±1.44 ^{bc}	51.10±2.67 ^{e a}
2.5 : 0	5.64±0.03 ^c	53.60±0.07 ^{cd}	72.59±3.19 ^b	94.05±2.99 ^{de}	70.15±2.16 ^a	60.35±0.13 ^b
5.0 : 0	5.77±0.05 ^c	54.40±0.63 ^{de}	83.54±2.32 ^{cd}	88.94±1.39 ^{de}	72.90±1.73 ^{ab}	62.76±1.64 ^b
7.5 : 0	6.41±0.05 ^e	55.20±0.20 ^e	87.37±2.21 ^d	85.92±2.40 ^{cde}	83.72±2.58 ^d	73.48±2.48 ^c
10 : 0	6.42±0.05 ^e	55.20±0.20 ^e	91.78±2.08 ^{ef}	85.56±1.25 ^{cde}	83.94±0.86 ^d	74.85±1.76 ^c
0 : 2.5	4.32±0.10 ^a	51.20±0.83 ^a	70.27±0.86 ^b	85.00±1.89 ^{cd}	82.37±2.54 ^{cd}	71.76±2.79 ^c
0 : 5.0	4.86±0.13 ^b	52.32±0.37 ^b	74.87±0.62 ^b	82.61±0.15 ^{cd}	96.74±1.44 ^d	90.19±1.96 ^{de}
0 : 7.5	4.68±0.06 ^b	52.96±0.37 ^{bc}	79.46±0.59 ^c	78.81±2.30 ^c	99.54±1.95 ^{ef}	82.61±2.97 ^d
0 : 10	4.76±0.2 ^b	53.07±0.74 ^{bc}	80.13±0.67 ^c	77.58±1.59 ^c	101.88±1.32 ^{ef}	85.28±1.97 ^d
2.5 : 7.5	6.13±0.06 ^d	60.00±0.65 ^f	95.87±1.91 ^f	61.75±2.26 ^b	124.53±2.75 ^g	122.57±2.28 ^f
5.0 : 5.0	6.09±0.06 ^d	59.84±0.05 ^f	96.31±0.65 ^f	62.79±3.24 ^b	105.12±2.56 ^f	97.01±1.31 ^c
7.5 : 2.5	6.54±0.05 ^e	60.80±0.25 ^f	98.07±2.8 ^f	43.10±1.67 ^a	124.38±1.87 ^g	121.57±2.26 ^f

All values are reported as mean (N ≥ 5).

*The different superscripts in the same column indicate the significant differences ($\rho < 0.05$).

CS = Cationic starch, BS = Bursting strength, TS = Tearing strength, TI= Tensile Index,

CT = Cobb Test, CA = Contact angle(θ)

Table 23. Some mechanical and physical properties of sulfuric acid treated pulpsheets.

Type of papersheets / Treated time (min)	BS (Kgf/cm ²)*	TS (gf.)*	TI (N.m/g)*	CT(Cobb ₆₀) (g/m ²)*	CA(θ)	
					0 (min)*	1(min)*
Pulpsheet	3.87±0.06 ^e	50.40±0.5 ^a	57.79±2.26 ^f	69.97±0.04 ^{ab}	81.49±5.86 ^e	59.53±7.38 ^d
30% H ₂ SO ₄ / 15	4.00±0.10 ^f	59.47±0.63 ^f	56.74±4.83 ^f	73.29±4.60 ^d	56.56±3.02 ^a	36.68±1.55 ^a
30% H ₂ SO ₄ / 30	3.36±0.41 ^d	58.77±0.71 ^{def}	56.51±2.03 ^f	68.98±1.65 ^{cd}	57.83±1.64 ^{ab}	41.59±2.36 ^{ab}
30% H ₂ SO ₄ / 45	3.04±0.13 ^c	56.80±0.80 ^c	54.50±2.50 ^{ef}	59.48±1.67 ^{ab}	59.11±1.66 ^{abc}	44.24±4.40 ^b
50% H ₂ SO ₄ / 15	3.78±0.08 ^e	58.93±0.33 ^{ef}	50.46±3.93 ^{de}	68.18±2.01 ^{cd}	57.15±5.12 ^{ab}	43.96±4.25 ^b
50% H ₂ SO ₄ / 30	3.26±0.05 ^d	57.60±1.09 ^{cde}	50.24±3.00 ^{de}	67.56±1.01 ^{cd}	60.69±2.56 ^{abc}	44.96±6.17 ^{bc}
50% H ₂ SO ₄ / 45	3.00±0.10 ^c	57.33±0.68 ^{cd}	49.63±2.80 ^d	62.76±1.19 ^{abc}	65.73±1.30 ^{cd}	52.83±1.46 ^d
70% H ₂ SO ₄ / 15	2.54±0.05 ^b	56.16±0.37 ^c	33.04±1.97 ^c	57.99±4.49 ^a	68.51±4.66 ^d	57.23±1.18 ^d
70% H ₂ SO ₄ / 30	2.50±0.07 ^b	52.85±0.38 ^b	28.55±1.12 ^b	65.35±1.46 ^{bc}	63.14±4.27 ^{abcd}	51.54±1.82 ^{cd}
70% H ₂ SO ₄ / 45	2.10±0.05 ^a	50.13±0.81 ^a	22.15±0.98 ^a	64.50±2.28 ^{abc}	64.44±0.81 ^{bcd}	56.31±1.18 ^d

All values are reported as mean (N ≥ 5).

*The different superscripts in the same column indicate the significant differences ($p < 0.05$).

BS = Bursting strength; TS = Tearing strength; TI= Tensile Index; CT = Cobb Test;

CA = Contact angle (θ)

Table 24. Some mechanical and physical properties of sulfuric acid treated papersheets.

Type of papersheets / Treated time (min)	BS (Kgf/cm ²)*	TS (gf.)*	TI (Nm/g)*	CT(Cobb ₆₀) (g/m ²)*	CA(θ)	
					0 (min)*	1(min)*
Papersheet	6.54±0.05 ^f	60.80±0.25 ^c	98.07±2.8 ^j	43.10±1.67 ^a	124.38±1.87 ^j	121.57±2.26 ^j
30%H ₂ SO ₄ / 15	6.45±0.04 ^f	70.52±0.23 ⁱ	89.24±0.23 ⁱ	52.02±0.05 ^a	92.75±0.14 ⁱ	87.26±0.13 ⁱ
30%H ₂ SO ₄ / 30	5.81±0.04 ^c	69.83±0.21 ^g	88.01±0.21 ^h	57.21±0.08 ^c	92.58±0.12 ^h	84.61±0.10 ^g
30%H ₂ SO ₄ / 45	5.50±0.11 ^e	67.86±0.25 ^e	87±0.18 ^g	61.52±0.10 ^f	91.30±0.10 ^f	82.59±0.12 ^e
50%H ₂ SO ₄ / 15	5.04±0.15 ^d	69.92±0.15 ^h	78.45±0.09 ^f	61.59±0.13 ^g	92.26±0.09 ^g	86.02±0.11 ^h
50%H ₂ SO ₄ / 30	4.52±0.16 ^c	68.59±0.16 ^f	75.25±0.23 ^c	60.97±0.12 ^b	87.87±0.14 ^c	83.02±0.13 ^f
50%H ₂ SO ₄ / 45	4.26±0.20 ^b	65.32±0.13 ^d	70.64±0.12 ^d	56.17±0.20 ^c	82.85±0.12 ^d	77.15±0.12 ^d
70%H ₂ SO ₄ / 15	3.23±0.25 ^a	58.40±0.12 ^c	50.0±0.09 ^c	57.27±0.09 ^b	45.92±0.12 ^c	42.69±0.11 ^c
70%H ₂ SO ₄ / 30	3.20±0.15 ^a	55.1±0.14 ^b	47.1±0.12 ^b	64.62±0.12 ⁱ	45.01±0.13 ^b	41.23±0.14 ^b
70%H ₂ SO ₄ / 45	3.18±0.09 ^a	52.31±0.15 ^a	45.15±0.11 ^a	63.78±0.11 ^h	44.43±0.14 ^a	41.01±0.13 ^a

All values are reported as mean (N ≥ 5).

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นาย ฤทธิรงค์ ปลัดสงคราม		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5211020021		
วุฒิการศึกษา			
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ออกแบบผลิตภัณฑ์)	สถาบันราชภัฏภูเก็ต	2543	

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Paladsongkhram, R. and Sridach, W. 2011. Influence of alkenyl succinic anhydride and cationic starch on production of paper from *Trema orientalis* (L.) Blume and *Typha angustifolia* (L.). In Proceeding of The 2nd MJU-Phrae National Research Conference, Maejo University Phrae Campus, Thailand.1-2 September 2011.