



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

เทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การระเบิดด้วยไอน้ำสำหรับการผลิตเยื่อกลึงเคมีจากไม้สบู่ดำ
เพื่อการประยุกต์ทางบรรจุภัณฑ์กระดาษ

Steam Explosion for Chemi-Thermo Mechanical Pulping of Physic Nut
(*Jatropha curcas* Linn.) for Paper Packaging Applications

นามผู้วิจัย นางสาวสิวพร บุตรราช

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยฤกษ์รัตน์ จิณกาญจน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์วิวัฒน์ อรรณพานุรักษ์, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยฤกษ์รัตน์ จิณกาญจน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การระเบิดด้วยไอน้ำสำหรับการผลิตเยื่อกลึงเคมีจากไม้สนดำ
เพื่อการประยุกต์ทางบรรจุภัณฑ์กระดาษ

Steam Explosion for Chemi-Thermo Mechanical Pulping of Physic Nut
(*Jatropha curcas* Linn.) for Paper Packaging Applications

โดย

นางสาวศิวพร บุตรราช

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

พ.ศ. 2554

ศิวพร บุตรราช 2554: การระเบิดด้วยไอน้ำสำหรับการผลิตเชื้อกลแข็งเคมีจากไม้สับดำเพื่อการประยุกต์ทางบรรจุภัณฑ์กระดาษ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์, Ph.D. 131 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์จากกิ่งสับดำซึ่งเป็นเศษเหลือทางกิจกรรมการเกษตรเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อด้วยกรรมวิธีกลแข็งเคมี โดยวิเคราะห์ห้วงข้อประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพของเชื้อ และภาวะที่เหมาะสมในการระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำที่ความดัน 0, 13, 15, 17, 19, 21 kg/cm² เป็นเวลา 3 นาที ระดับภาวะความรุนแรง (Log₁₀R₀) เท่ากับ 0, 3.31, 3.45, 3.57, 3.69 และ 3.81 ก่อนนำเชื้อที่ได้ไปปฏิบัติเบื้องต้นต่อการแช่ในสารละลายอัลคาไลน์ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักเชื้อแห้ง อัตราส่วนน้ำต่อเชื้อแห้ง 1 ต่อ 10 อุณหภูมิต้มเชื้อ 105 องศาเซลเซียส เวลาถึงอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 15 นาที เวลาที่อุณหภูมิสูงสุด 60 นาที จากการเปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงพบว่าเชื้อที่ไม่ผ่านกระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำให้ผลผลิตเชื้อและสมบัติความแข็งแรงในรูปของดัชนีความต้านแรงดันทะลุ ดัชนีความต้านแรงดึง ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด และความขาวสว่างสูงสุด ($p \leq 0.05$) เมื่อนำเชื้อจาก 3 ภาวะได้แก่เชื้อที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและการแช่ในอัลคาไลน์ร้อยละ 15 เชื้อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ ณ ภาวะความรุนแรงเท่ากับ 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 และเชื้อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำภาวะความรุนแรงเท่ากับ 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ร่วมกับการเติมสารกันซึมอัลคิลดีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาบิไลซ์ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 2.0 ของน้ำหนักเชื้อแห้งเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นเชื้อขึ้นรูป พบว่าเชื้อที่ได้ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ ณ ระดับความรุนแรงเท่ากับ 3.31 อัลคาไลน์ร้อยละ 10 ให้แผ่นทดสอบที่มีค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุ (2.21-2.61 kPa.m²/g) และความต้านแรงดึง (37.63-45.87 N.m/g) สูงสุด ณ ทุกระดับการเติมสารกันซึมทั้งสองชนิด ส่วนเชื้อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ ณ ระดับความรุนแรงเท่ากับ 3.31 อัลคาไลน์ร้อยละ 5 ให้แผ่นทดสอบที่มีค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนสูงสุด (0.059-0.078 kN/m) ส่วนเชื้อที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ให้แผ่นทดสอบที่มีค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด (4.24-5.42 mN.m²/g) และค่าความขาวสว่างสูงสุด (ร้อยละ 22.65-29.71) ส่วนค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการเติมอัลคิลดีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาบิไลซ์ที่เพิ่มขึ้น โดยแผ่นทดสอบที่ใช้เชื้อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำระดับความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 และเติมอัลคิลดีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาบิไลซ์เท่ากับร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักเชื้อแห้งให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด โดยสามารถอธิบายได้จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของแผ่นทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของแผ่นทดสอบกับกระดาษเหนียวจากอุตสาหกรรมพบว่า แผ่นทดสอบที่ใช้เชื้อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 และแผ่นทดสอบที่ใช้เชื้อซึ่งผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำระดับความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 มีสมบัติความต้านแรงดึงและความต้านแรงดันทะลุเทียบเท่ากับกระดาษเหนียว

Siwaporn Butrat 2011: Steam Explosion for Chemi-Thermo Mechanical Pulping of Physic Nut (*Jatropha curcas* Linn.) for Paper Packaging Applications. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging and Materials Technology. Thesis Advisor: Mr. Lerpong Jarupan, Ph.D. 131 pages.

This research aims to utilize an agricultural waste of physic nut as raw material for chemithermo mechanical pulp. Chemical composition and morphological properties were analyzed prior to the determination of optimal condition for a steam explosion at the pressure of 0, 13, 15, 17, 19, 21 kg/cm² for 3 min, equivalent to severity conditions ($\log_{10} R_0$) 0, 3.31, 3.45, 3.57, 3.69 and 3.81, respectively. The resulted pulp was then pretreated by an immersion in an alkali solution of 0, 5, 10 and 15 based on oven dried weight, the ratio of water to dried pulp 1:10, cooking temperature 105 °C, time to maximum for 15 min, time at maximum for 60 min. Comparative strength properties from various pulping conditions showed that the handsheet undergone the steam explosion gave the highest pulp yield, brightness, and strengths in terms of tensile and tear indices ($p \leq 0.05$). The pulp was formed to handsheets by chosen three conditions nonsteam explosion and 15% alkalinity, steam explosion at severity level of 3.31, 5% alkalinity, and severity level of 3.31, 10% alkalinity with the addition of sizing agents of alkyl ketene dimer (AKD) and cationic starch at concentrations of 0, 0.5, 1.0 and 2.0% based on oven dried weight. Those sizing agents were used to enhance mechanical and physical properties of the formed handsheets. The results showed that, at every level of both sizing additives, the handsheet that was used the pulp undergone the steam explosion with severity level equal to 3.31 and 10% alkalinity gave the best mechanical properties in terms of bursting (2.21-2.61 kPa.m²/g) and tensile (37.63-45.87 Nm/g) indices. Nevertheless, the handsheet that was used the pulp undergone the steam explosion at severity level of 3.31 and 5% alkalinity gave the highest ring crush resistance index (0.059-0.078 kN/m); whereas the handsheet used the pulp that had not undergone the steam explosion with 15% alkalinity gave the highest tear index (4.24-5.42 mN.m²/g) and the best brightness (22.65-29.71%). Water absorption tends to decrease with the increase of both sizing additives. The handsheet with pulp undergone the steam explosion at severity level of 3.31, 10% alkalinity with 2.0% AKD and cationic starch was reported the lowest water absorption. This can be affirmed by surface analysis using scanning electron microscopy (SEM). Mechanical properties between the resulted handsheets and kraft liners were compared. The handsheet with the pulp that had not undergone the steam explosions with 15% alkalinity and that of severity level of 3.31, 10% alkalinity gave relatively comparable properties in terms of tensile and bursting strengths to the kraft liners.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยญ์รัตน์ จิฎาณจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สำหรับการดูแลเอาใจใส่ ให้คำปรึกษาแนะแนวทางตลอดงานวิจัย และการตรวจแก้วิทยานิพนธ์เล่มนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณหน่วยสนับสนุนโดยธรรมชาติ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร อาจารย์วิชัญ วรรณพานุรักษ์ คุณสุธีรา วิทยาภาณจน์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่หน่วยงาน คุณสมบูรณ์ ปลื้มปัญญา คุณเคียวเพชร ลบแย้ม ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ ความเอาใจใส่ กำลังใจและคำแนะนำต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนสนับสนุนอุปกรณ์ และสารเคมีในการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณสถานีวิจัยพืชไร่สุวรรณวาทกสิกิจที่เอื้อเฟื้อกิ่งพันธุ์ดำ และ บริษัท Eka Chemicals (Thailand) Co., Ltd. สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ ความเอาใจใส่ คำแนะนำ และกำลังใจที่ดีเสมอมา เจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุทุกท่านที่ติดต่อประสานงานและคอยให้ความช่วยเหลือ ตลอดทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่คอยถามไถ่ และให้กำลังใจ

และท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณครอบครัว และทุกท่านที่คอยผลักดัน เป็นธุระจัดหา และให้กำลังใจตลอดมา จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สิวพร บุตราช

กันยายน 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	32
อุปกรณ์	32
วิธีการ	34
ผลและวิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	88
สรุป	88
ข้อเสนอแนะ	91
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	92
ภาคผนวก	99
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	131

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ขนาดความกว้างของลอนความสูงของลอนและจำนวนลอนต่อความยาวฟุตของลอนลูกฟูกประเภทต่างๆ	25
2	ความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำ	36
3	การปฏิบัติต่อเชื้อด้วยสารเคมีและความร้อนก่อนทำการบด	37
4	องค์ประกอบทางเคมีของกึ่งสบู่ดำ	42
5	สมบัติทางกายวิภาคของเส้นใยจากกึ่งสบู่ดำ	44
6	การแปลงปัจจัยการระเบิดด้วยไอน้ำเป็นระดับความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำ	45
7	ผลผลิตเชื้อในสบู่ดำที่ความรุนแรงของการระเบิดด้วยไอน้ำ	46
8	ความรุนแรงระเบิดด้วยไอน้ำและระดับการใช้แอลคาไลน์ต่อค่าความอิสระเชื้อ	47
9	ความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับการแช่ด้วยแอลคาไลน์ต่อสมบัติความแข็งแรงและทัศนสมบัติของแผ่นทดสอบ	50
10	การใช้แอลคิลคีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชต่อสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่เชื้อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 15	56
11	การใช้แอลคิลคีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชต่อสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 5	60
12	การใช้แอลคิลคีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชต่อสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 10	64
13	มูมัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 15 ที่วินาทีที่ 0	70
14	มูมัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 15 ที่วินาทีที่ 5	71
15	มูมัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 15 ที่วินาทีที่ 30	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	มูมสัมพัทธ์ที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ และใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ที่วินาทีที่ 60	72
17	มูมสัมพัทธ์ที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำ ความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 ที่วินาทีที่ 0	72
18	มูมสัมพัทธ์ที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำ ความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 ที่วินาทีที่ 5	73
19	มูมสัมพัทธ์ที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำ ความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 ที่วินาทีที่ 30	73
20	มูมสัมพัทธ์ที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำ ความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 ที่วินาทีที่ 60	74
21	มูมสัมพัทธ์ที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำ ความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ที่วินาทีที่ 0	74
22	มูมสัมพัทธ์ที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำ ความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ที่วินาทีที่ 5	75
23	มูมสัมพัทธ์ที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำ ความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ที่วินาทีที่ 30	75
24	มูมสัมพัทธ์ที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำ ความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ที่วินาทีที่ 60	76
25	ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบที่เชื้อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและ ใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15	77
26	ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบที่เชื้อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5	78
27	ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบที่เชื้อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10	79
28	เปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบกับกระดาษที่ใช้งานทาง บรรจุภัณฑ์	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

หน้า

1 แสดงค่าแฟกเตอร์ f

117



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แบบจำลองโครงสร้างของเส้นใย	5
2	โครงสร้างพื้นฐานเซลลูโลส	7
3	การกระจายตัวขององค์ประกอบเคมีในผนังเซลล์	7
4	โครงสร้างน้ำตาลที่เป็นหน่วยพื้นฐานของเฮมิเซลลูโลส	8
5	โครงสร้างเคมีพื้นฐานของลิกนิน	9
6	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสับปะรด	11
7	ลักษณะเส้นใยในการบดเยื่อเมื่อมีการปฏิบัติความร้อน	15
8	ลักษณะการบดพื้นฐานของเยื่อเชิงกลและการแยกผนังของเส้นใยในการบดเยื่อ TMP และ CTMP	17
9	ลักษณะงานบดสำหรับการบดเยื่อ	17
10	สัดส่วนการใช้งานของสารกันซึมในอุตสาหกรรม	18
11	ลักษณะการยึดเกาะกันระหว่างอัลคิลคีตีนไคเมอร์ และเส้นใย	19
12	ลักษณะการยึดเกาะกันของแคตไอออนิกสตาร์ช	21
13	มุมสัมผัสที่หยดน้ำกระทำกับพื้นผิว (ก) ไม่มีการดูดซึม (ข) มีการดูดซึม	31
14	ความสัมพันธ์ค่าความอิสระเยื่อต่อความรุนแรงในการระเบิดด้วยไอน้ำ	48
15	ความสัมพันธ์ค่าความอิสระเยื่อต่อระดับการใช้แอลคาไลน์	48
16	ดัชนีความต้านแรงดันทะลุของแผ่นทดสอบที่ระดับอัลคิลคีตีนไคเมอร์และ ระดับแคตไอออนิกสตาร์ชต่างๆ	68
17	ดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบที่ระดับอัลคิลคีตีนไคเมอร์และ ระดับแคตไอออนิกสตาร์ชต่างๆ	68
18	ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบทั้งสามชนิดที่ระดับ อัลคิลคีตีนไคเมอร์และระดับแคตไอออนิกสตาร์ชต่างๆ	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ลักษณะพื้นผิวแผ่นทดสอบที่เชื่อมต่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) ไม่เติมอัลคิลิทีนไดเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ช (ข) ระดับอัลคิลิทีนไดเมอร์ร้อยละ 0 ระดับแคตไออนิกสตาร์ช ร้อยละ 2 (ค) ระดับอัลคิลิทีนไดเมอร์ร้อยละ 2 ระดับแคตไออนิกสตาร์ช ร้อยละ 0 (ง) ระดับอัลคิลิทีนไดเมอร์ร้อยละ 2 ระดับแคตไออนิกสตาร์ช ร้อยละ 2	81
20	ลักษณะพื้นผิวของแผ่นทดสอบที่เชื่อมต่อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) ไม่เติมอัลคิลิทีนไดเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ช (ข) ระดับอัลคิลิทีนไดเมอร์ร้อยละ 2 ระดับแคตไออนิกสตาร์ชร้อยละ 2	82
21	ลักษณะพื้นผิวของแผ่นทดสอบที่เชื่อมต่อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) ไม่เติมอัลคิลิทีนไดเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ช (ข) ระดับอัลคิลิทีนไดเมอร์ร้อยละ 2 ระดับแคตไออนิกสตาร์ชร้อยละ 2	82

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ลักษณะพื้นผิวแผ่นทดสอบเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า แผ่นทดสอบที่เชื่อมไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 (ก) ไม่เติมอัลคิลทีดินไคเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ช (ข) ระดับอัลคิลทีดินไคเมอร์ร้อยละ 2 แคตไออนิกสตาร์ชร้อยละ 2 แผ่นทดสอบการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 อัลคาไลน์ร้อยละ 5 (ค) ไม่เติมอัลคิลทีดินไคเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ช (ง) ระดับอัลคิลทีดินไคเมอร์ร้อยละ 2 แคตไออนิกสตาร์ชร้อยละ 2 แผ่นทดสอบการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 อัลคาไลน์ร้อยละ 10 (จ) ไม่เติมอัลคิลทีดินไคเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ช (ฉ) ระดับอัลคิลทีดินไคเมอร์ร้อยละ 2 แคตไออนิกสตาร์ชร้อยละ 2	83
ภาพผนวกที่		
1	ขนาดแผ่นขึ้นทดสอบที่ทำการตัดเพื่อหาสมบัติความแข็งแรง	121

การระเบิดด้วยไอน้ำสำหรับการผลิตเยื่อกลึงเคมีจากไม้สบู่ดำ เพื่อการประยุกต์ทางบรรจุภัณฑ์กระดาษ

Steam Explosion for Chemi-Thermo Mechanical Pulping of Physic Nut (*Jatropha curcas* Linn.) for Paper Packaging Applications

คำนำ

สบู่ดำเป็นพืชน้ำมันอีกชนิดที่ได้รับการส่งเสริมและมีการพัฒนาวิจัยจนสามารถผลิตเป็นไบโอดีเซลทดแทนการใช้น้ำมันที่มีความต้องการมากขึ้นในท้องตลาด แม้ผลผลิตและความคุ้มค่าของการปลูกสบู่ดำจะยังต่ำกว่าการปลูกปาล์มน้ำมัน แต่ข้อได้เปรียบทางด้านภูมิประเทศของสบู่ดำที่สามารถปลูกได้ในพื้นที่แห้งแล้ง และปลูกได้แทบทุกภูมิภาคของประเทศ รวมถึงระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่สั้นกว่าปาล์มน้ำมันนั้น ทำให้สบู่ดำได้รับการส่งเสริมการปลูกอย่างกว้างขวาง เป็นการเพิ่มการผลิตน้ำมันเพื่อใช้ในท้องถิ่น เพื่อการพึ่งพาตนเองของชุมชน พบว่าการตัดแต่งกิ่งของสบู่ดำนั้น สามารถช่วยเพิ่มจำนวนเมล็ดสบู่ดำต่อไร่และง่ายต่อการเก็บเกี่ยวผลผลิต กิจกรรมดังกล่าวส่งผลให้เกิดเศษเหลือทางการเกษตรมีปริมาณมาก จึงเล็งเห็นความจำเป็นต่อการนำไปใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมเพื่อสร้างมูลค่าให้กับเศษเหลือจากวัชธุกรมชาติเหล่านี้

จากกระแสการอนุรักษ์และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การผลิตเยื่อเชิงกลนับเป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันมากขึ้น การผลิตเยื่อเชิงกลพบว่าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมลภาวะต่ำ รวมไปถึงให้ผลผลิตเยื่อที่สูง และต้นทุนการผลิตต่ำ แต่ข้อเสียของวิธีการผลิตเยื่อเชิงกลนี้คือ เยื่อที่ได้มักมีสมบัติความแข็งแรงที่ต่ำไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน จึงมีแนวทางเพื่อพัฒนาเป็นการใช้เยื่อกลึงเคมี เพื่อเพิ่มคุณสมบัติเยื่อให้ได้คุณภาพที่ดีขึ้น เหมาะแก่การนำไปใช้งานต่อไป โดยยังคงให้ปริมาณผลผลิตที่มาก พบว่าการปฏิบัติต่อเยื่อด้วยสารเคมีหรือการใช้ความร้อนก่อนที่ไม้จะผ่านกรรมวิธีทางกลนั้น สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติความแข็งแรงให้แก่เส้นใยได้ จึงมีความพยายามที่จะนำกรรมวิธีทั้งทางเคมีและทางกลมาใช้ในไม้ เพื่อให้ได้เยื่อที่มีคุณภาพ

การระเบิดด้วยไอน้ำนั้น เป็นอีกกรรมวิธีที่นิยมใช้แยกเส้นใยของวัสดุจำพวกลิกโนเซลลูโลสออกจากกัน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยใช้ไอน้ำที่ความดันสูงเข้าไปเปิดโครงสร้างของเนื้อไม้เป็นกรรมวิธีที่สะอาด ไม่มีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ใช้ระยะเวลาที่สั้น ต้นทุนต่ำ ไม้ที่ผ่าน

การระเบิดด้วยไอน้ำมีโครงสร้างเปิด ทำให้การแทรกซึมของสารเคมีทำได้ง่าย กรรมวิธีนี้จึงสามารถช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงได้ จากเหตุผลข้างต้นงานวิจัยนี้จึงนำวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำมาใช้ปฏิบัติต่อไม้ก่อนนำไปทำการบดเชิงกลเพื่อเป็นการเปิดโครงสร้างเนื้อไม้ และลดการใช้สารเคมีในระหว่างกระบวนการบด

กระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมมากขึ้นจากกระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เพื่อทดแทนการใช้วัสดุที่ทำจากโฟมและพลาสติก แต่กระบวนการรีไซเคิลกระดาษพบว่า ทำให้ความแข็งแรงของเยื่อกระดาษโดยรวมลดลง จึงมีความจำเป็นต้องผสมเยื่อใหม่เข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษเหล่านี้ เยื่อที่ใช้ส่วนหนึ่งได้จากการนำเข้ามาจากต่างประเทศ ทั้งในส่วนที่เป็นเยื่อที่ผลิตขึ้นใหม่ และส่วนที่เป็นกระดาษที่ใช้งานแล้ว ประกอบกับการผลิตเยื่อภายในประเทศ พบว่ายังไม่เพียงพอแก่ความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นแนวทางการผลิตเยื่อโดยใช้วัสดุจากแหล่งธรรมชาติ จึงนับเป็นผลดี ทั้งเป็นการเพิ่มวัตถุดิบการผลิตเยื่อ การลดการนำเข้าเยื่อและกระดาษจากต่างประเทศ การส่งเสริมการพึ่งพาตนเอง

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษากระบวนการผลิตเยื่อกลึงเคมีจากกิ่งสนูป่า เพื่อประโยชน์ด้านบรรจุภัณฑ์กระดาษ เพื่อเป็นแหล่งวัตถุดิบเพิ่มเติมในการผลิตเยื่อที่มีความต้องการการใช้ที่สูงขึ้น รวมถึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเหลือทางการเกษตรเหล่านี้ การศึกษามุ่งเน้นหาภาวะที่เหมาะสมในการระเบิดด้วยไอน้ำเพื่อเปิดโครงสร้างเนื้อไม้ ระดับใช้อัลคาไลน์ในการบดที่ส่งผลต่อคุณสมบัติความแข็งแรงของเยื่อกลึงเคมีที่ผลิตได้ หาภาวะที่เหมาะสมในการใช้เยื่อร่วมกับสารกันซึมอัลคิลดีดีทีดีเมออร์และแคตไอออนิกสตาบิไลซ์เพื่อสมบัติการต้านทานน้ำ รวมถึงเปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงกับกระดาษที่ใช้งานทางบรรจุภัณฑ์ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อจากสนูป่าในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาภาวะความรุนแรงของการระเบิดด้วยไอน้ำและการปฏิบัติด้วยอัลคาไลน์ที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติของเยื่อกลึงเคมีจากกิ่งสนุ่นดำ
2. เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างอัลคิลดีนไโดเมอร์และแคตไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติความแข็งแรงและทัศนสมบัติของแผ่นทดสอบ
3. เพื่อเปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงบางประการของแผ่นทดสอบจากเยื่อกลึงเคมีกับกระดาษที่ใช้งานทางบรรจุภัณฑ์

การตรวจเอกสาร

เส้นใย

เนื้อไม้หรือไม้ เป็นวัสดุประเภทของแข็งมีรูพรุนประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic material) แบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ ตามโครงสร้างของเนื้อไม้คือ ไม้ใบแคบ (Softwood) ได้แก่ พวกไม้ตระกูลสน และ ไม้ใบกว้าง (Hardwood) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นประเภทไม้ที่พบได้ทั่วไป โครงสร้างของเนื้อไม้แตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิด โดยประกอบไปด้วยเซลล์ต่างๆ ที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป และลักษณะก็แตกต่างกันไปตามหน้าที่เหล่านั้น เช่น เซลล์ที่ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงมักมีขนาดยาวหัวปิดท้ายปิด เซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจะมีลักษณะเป็นท่อสั้นๆ ต่อกันไปจนเป็นท่อยาว

เส้นใย (Fiber) ถูกนำมาใช้เรียกแทนเซลล์เหล่านี้ ซึ่งก็คือเซลล์เทรคีด (Tracheid cell) ใน ไม้ใบแคบ หรือเซลล์เส้นใย (Fiber cell) ใน ไม้ใบกว้างนั่นเอง โดยทั่วไปจะมีความยาวเฉลี่ยใน ไม้ใบกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร ส่วนใน ไม้ใบแคบมีความยาวเฉลี่ย 3 มิลลิเมตร (วิรัช, 2533; สมหวัง 2546)

1. โครงสร้างเส้นใย (Fiber structure)

โครงสร้างของผนังเซลล์เส้นใย ดังภาพที่ 1 ประกอบไปด้วยชั้นต่างๆ 3 ชั้นคือ

1.1 มิดเดิลลามেলা (Middle lamella) เป็นผนังเชื่อมยึดติดระหว่างเซลล์ โดยมากมักเป็นส่วนประกอบของ แคลเซียมเพกเตต (Calcium pectate) แมกนีเซียมเพกเตต (Magnesium pectate) และลิกนิน (Lignin)

1.2 ผนังเซลล์ปฐมภูมิ (Primary wall) ประกอบด้วยสารจำพวกพอลิแซ็กคาไรด์ (Cellulose) และลิกนินมีสัดส่วนอยู่ประมาณร้อยละ 5-10 ของเนื้อไม้

1.3 ผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary wall) ผนังเซลล์ในชั้นนี้มีสัดส่วนมากที่สุดในเนื้อไม้ โดยในผนังชั้นทุติยภูมินี้ยังแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้นอันได้แก่

1.3.1 ชั้น S1 เป็นชั้นนอกสุดประกอบด้วยชั้นบางๆ ของไมโครไฟบริลที่เรียงตัวเวียนสลับกันเป็นชั้นๆ โดยมีการเรียงตัวเกือบตั้งฉากกับแนวแกนของเซลล์ การเรียงตัวสลับร่างของไมโครไฟบริลในชั้น S1 นี้ทำให้เซลล์มีความแข็งแรงต่อการดึงในแนวขวางสูง และจากการเรียงตัวเช่นนี้เองทำให้ผนังเซลล์ไม่มีการพองตัวเมื่อมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในเนื้อไม้

1.3.2 ชั้น S2 ซึ่งเป็นชั้นกลางของผนังเซลล์ทุกภูมิภาคจะมีความหนามากที่สุดในการบรรดาทั้งสามชั้น การเรียงตัวของไมโครไฟบริลในชั้นนี้เกือบขนานกับแนวแกนของเซลล์ โดยทำมุมประมาณ 10-30 องศากับแนวแกนต้นเพื่อรับแรง ด้วยเหตุที่มีความหนาที่สุดจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดผนังเซลล์มาก ความหนาของชั้นนี้แตกต่างกันไปตามความหนาของผนังเซลล์

1.3.3 ชั้น S3 เป็นชั้นที่บางกว่าชั้น S1 การเรียงตัวของไมโครไฟบริลในชั้นนี้จะอยู่ในแนวราบทำมุมระหว่าง 60-90 องศากับแนวแกนต้น (วิรัช, 2533)



ภาพที่ 1 แบบจำลองโครงสร้างของเส้นใย

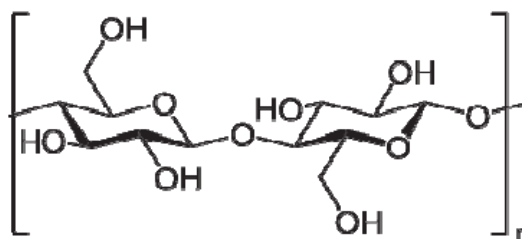
ที่มา: Somboon (2009)

2. องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย (Chemical constituents of wood pulp fiber)

เส้นใยซึ่งเป็นส่วนของผนังเซลล์ในเนื้อไม้ นั้นประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่สำคัญอยู่สองประเภท ได้แก่ สารจำพวกโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ซึ่งโพลีแซคคาไรด์นี้มีอยู่สองชนิดคือ เซลลูโลส (Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ในบางครั้งมีการเรียกรวมส่วนที่เป็น เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสนี้ว่า โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) ส่วนสารสำคัญอีกประเภทหนึ่งคือ ลิกนิน (Lignin) ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนในการยึดเซลล์ประสานในเนื้อไม้ นอกจากนี้ยังมีสารแทรก ซึ่งสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบส่วนน้อยอีก เช่น แทนนิน (Tanins) ยางน้ำมันไม้ (Volatile oils and resins) แอลคาลอยด์ (Alkaloids) และสารที่มีสีอื่นๆ ปริมาณ และชนิดขององค์ประกอบของ สารเคมีเหล่านี้จะแตกต่างกันไปในไม้ต่างชนิดกัน

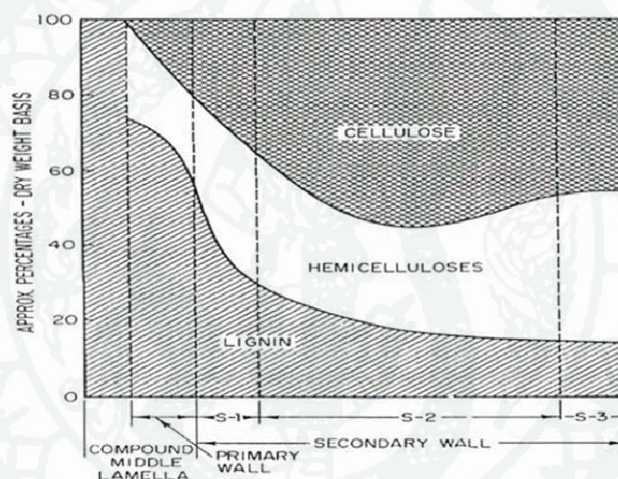
2.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ ทั้งในด้านปริมาตรและผลกระทบ ที่มีต่อคุณสมบัติของเนื้อไม้ เช่น การดูดและการคายน้ำ (Hygroscopic properties) และสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) เซลลูโลสเป็นสายโพลิเมอร์ของ Anhydro-D-glucose เชื่อมกันด้วย β -(1-4)-linkage ดังภาพที่ 2 โดยปกติจะมีการเชื่อมต่อด้วยสายโพลิเมอร์ (Degree of polymerization หรือ DP) ที่อยู่ระหว่าง 5000-10,000 หากไม่โดนทำลายหรือตัดขาดในระหว่างขั้นตอนการผลิตเยื่อ สายของเซลลูโลสจะเรียงตัวกันเป็นมัดประกอบกันเป็นไฟบริลปฐมภูมิ (Element fibril) และมัดเหล่านี้ก็จะเรียงตัวกันเป็นไมโครไฟบริล (Microfibril) แต่ละไมโครไฟบริลจะเรียงตัวรวมมัดกันเป็นไฟบริลหรือมาโครไฟบริล (Fibril or macrofibril) ของผนังเซลล์ชั้นต่างๆ ของเส้นใยต่อไป ในไมโครไฟบริลนี้เรียงตัวได้สองลักษณะ คือเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบในไม้หรือสัณฐาน (Crystalline region) ซึ่งมีอยู่ถึงร้อยละ 50-70 ในเนื้อไม้ และส่วนไมโครไฟบริลที่เรียงตัวไม่เป็น ระเบียบหรืออสัณฐาน (Amorphous region) นั้น จะพบในเฮมิเซลลูโลสมากกว่าในส่วนที่เป็น เซลลูโลส การเรียงตัวของไฟบริลปฐมภูมิจนเป็นมาโครไฟบริลนั้นเกิดจากพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) ระหว่างสายโพลิเมอร์เซลลูโลส ซึ่งเป็นต้นกำเนิดความแข็งแรงของเส้นใยที่มี เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก เซลลูโลสจะกระจายตัวอยู่ทั่วไปในผนังเซลล์ เมื่อดูจากภาพที่ 3 เซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเส้นใยนั้นจะกระจายตัวอยู่มากในชั้น S1 และ S2 ของ เซลล์ทุติยภูมิ (สมหวัง, 2546)



ภาพที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานเซลลูโลส

ที่มา: Anonymous (2009)



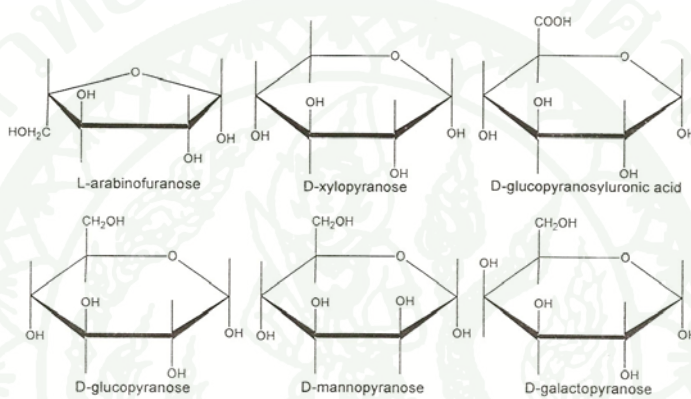
ภาพที่ 3 การกระจายตัวขององค์ประกอบเคมีในผนังเซลล์

ที่มา: สมหวัง (2546)

2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลส เป็นโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) น้ำหนักโมเลกุลต่ำ การเชื่อมตัวของสายโพลีเมอร์ที่ 100 ถึง 300 เรียงตัวกันแบบอสัณฐาน มีการแตกแขนงออกไปจากโมเลกุลที่ต่อกันเป็นเส้นสั้นๆ โครงสร้างแบบเปิดเช่นนี้จึงทำให้สามารถสลายหรือถูกทำลายได้ง่ายกว่าเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลห้าคาร์บอน (Pentose) และน้ำตาลหกคาร์บอน (Hexose) มีหน่วยพื้นฐานเจ็ดชนิดคือ D-lactose, D-glucose, D-mannose, D-galacturonic acid, D-glucuronic acid,

D-xylose และ L-arabinose โดยใน Xylose และ Arabinose นั้นเป็นน้ำตาลห้าคาร์บอน ดังภาพที่ 4 เฮมิเซลลูโลสพบว่ามีประมาณร้อยละ 20-30 ในเนื้อไม้ โดยการกระจายตัวในไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไป โดยส่วนใหญ่พบว่า การกระจายตัวของเฮมิเซลลูโลสจะกระจายตัวมากในชั้นของผนังเซลล์ปฐมภูมิ และผนังเซลล์ทุติยภูมิชั้น S1 และ S2 ดังภาพที่ 3 เฮมิเซลลูโลสมีประโยชน์และบทบาทในการทำกระดาษซึ่งในการผลิตหรือต้มเยื่อนั้น ถ้ามีปริมาณเฮมิเซลลูโลสเหลือมากในเยื่อกระดาษ จะทำให้เยื่ออู่น้ำได้ดี การตีเยื่อทำได้ง่าย เส้นใยแตกแขนง ค่าความต้านแรงดึง และค่าความต้านแรงดันทะลุดีขึ้น



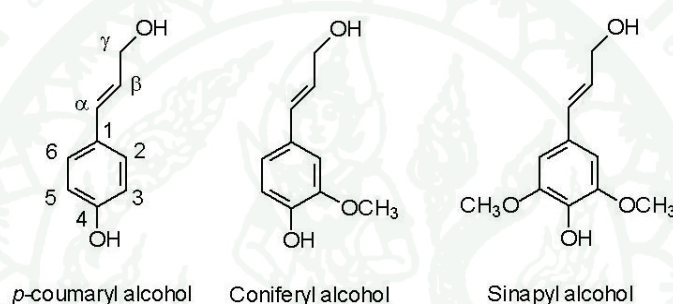
ภาพที่ 4 โครงสร้างน้ำตาลที่เป็นหน่วยพื้นฐานของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา: สมหวัง (2546)

2.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นโพลิเมอร์โครงสร้างสามมิติ น้ำหนักโมเลกุลสูงเรียงสลับซับซ้อน ประกอบด้วยหน่วยพื้นฐานเป็นวงแหวนของฟีนิลโพรเพน (Phenyl propane) ลิกนินมีหน่วยพื้นฐานหลักเพียงสามชนิด คือ Coniferly alcohol, P-coumary alcohol และ Sinapyl alcohol ดังภาพที่ 5 ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามชนิดไม้ โดยทั่วไปพบว่าลิกนินมีประมาณร้อยละ 25 เนื้อไม้พบมากในบริเวณที่ผนังเซลล์ชั้นมิดเซลลามิเซลลาซึ่งมีความเข้มข้นมากที่สุด และลดน้อยลงในผนังเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิดังภาพที่ 3

ลิกนินทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมระหว่างเซลล์ต่างๆ ในเนื้อไม้ โดยทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมเซลล์แต่ละเซลล์ของเนื้อเยื่อพืชประกอบกันจนเป็นเนื้อไม้ ลิกนินมีคุณสมบัติอ่อนตัว และเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ได้เมื่อโดนความร้อน (Thermoplastic) โดยมีค่าอุณหภูมิกลายแก้ว (Glass temperature, Tg) อยู่ที่ประมาณ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นประโยชน์ในการทำให้เกิดแรงยึดระหว่างเส้นใยและชิ้นไม้ในการทำแผ่นใยไม้อัดและแผ่นชิ้นไม้อัด ลิกนินมีการดูดหรือคายน้ำได้น้อยกว่าเซลลูโลสมาก มักจะแทรกอยู่ตามผนังเซลล์ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงขนาดเมื่อปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลง อีกทั้งเป็นตัวขัดขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไฟเบอร์อีกด้วย (ปรีชา, 2526; Rowell, 1999)



ภาพที่ 5 โครงสร้างเคมีพื้นฐานของลิกนิน

ที่มา: สมหวัง (2546)

สบู่ดำ

สบู่ดำ (Physic nut หรือ Purging nut) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* Linn. เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Euphobiaceae เช่นเดียวกับ ไม้ยางพารา สบู่แดง มันสำปะหลัง ฯลฯ เป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลางสูงประมาณ 2-7 เมตร ลำต้นมีลักษณะเกลี้ยงกลาใบเรียบมี 4 แฉกคล้ายใบละหุ่ง แต่มีหยักตื้นกว่าใบที่เจริญเติบโตเต็มที่มีขนาดเท่าฝ่ามือ ลำต้นใบ ผล และเมล็ดมีสารไฮโดรไซยานิกของยอดและใบอ่อนมีสีม่วงแกมเขียว ส่วนก้านใบจะมียางสีขาวขุ่นคล้ายน้ำมันไหลออกมาเมื่อกลั่นเหี้ยนเขียว ลำต้นส่วนที่อยู่เหนือยอดมีสีเขียวผิวเรียบ อวบน้ำและเปราะหักได้ง่ายเพราะเป็นไม้เนื้ออ่อนไม่มีแก่น เมื่อมีอายุมากขึ้น โคนต้นจะมีสีน้ำตาลอมเทา ออกดอกเป็นช่อกระจุกที่ข้อส่วนปลายของยอด ขนาดดอกเล็กสีเหลือง มีกลิ่นหอมอ่อนๆ มีดอกตัวผู้จำนวนมากและดอกตัวเมียจำนวนน้อยอยู่บนต้นเดียวกัน เมื่อติดผลแล้วมีสีเขียวอ่อนเกลี้ยงกลาเป็นช่อพวงมีหลายผล เวลาสุกแก่จัดมี

สีเหลืองคล้ายลูกจัน รูปผลมีลักษณะทรงกลมขนาดปานกลางเปลือกหนาปานกลาง ผลมี 3 พู โดยแต่ละพูทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ เมล็ดมีสีดำขนาดเล็กกว่าเมล็ดละหุ่งเล็กน้อย ขนาดของเมล็ดเฉลี่ยความยาว 1.7-1.9 เซนติเมตร หนา 0.8-0.9 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 69.8 กรัมต่อ 100 เมล็ด เมื่อแกะเปลือกนอกสีดำออกจะเห็นเนื้อในสีขาว

สับุด้าเป็นพืชที่สามารถทนแล้งได้ดี ขึ้นได้ในที่ดอนและดินลูกรังแม่แห้งแล้งแต่ไม่ทนสภาพน้ำท่วมขังจึงสามารถปลูกได้แทบทุกภูมิภาค ไม่ค่อยมีแมลงและศัตรูพืชสามารถดูแลรักษาได้ง่าย สับุด้าส่วนมากให้ผลผลิต 2 ช่วง คือ เดือนมิถุนายน-กรกฎาคม และตุลาคม-ธันวาคม หลังจากนั้นจะทิ้งใบหมด จึงมีการตัดแต่งกิ่งสับุด้าเพื่อให้ลำต้นแตกกิ่งก้านได้มากขึ้นเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อไปให้แก่สับุด้ารวมถึงเพื่อความสะดวกต่อการเก็บเกี่ยว โดยการตัดแต่งกิ่งสับุด้านั้นจะเริ่มทำเมื่ออายุประมาณ 1 ปี (ชำนาญ, 2549; ประจักษ์, ม.ป.ป.)

สับุด้าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายส่วนเช่น ข้างจาก้านใบใช้ป้ารักษาโรคปากนกกระจอก ห้าเมล็ด แก้วปวดฟัน แก้วเป็นฝ้าขาว ส่วนของลำต้นสามารถต้มน้ำกินแก้วชาวตาลขโมยหรือตัดเป็นท่อนแช่น้ำอาบแก้วโรคพุพอง ในชนบทใช้สับุด้าปลูกเป็นปลูกแนวรั้วป้องกันสัตว์เข้าทำลายผลผลิต ส่วนของเมล็ดนั้นถูกนำมาใช้มากที่สุดคือใช้หีบเป็นน้ำมันใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล สามารถทำการหีบใช้ได้เองตามชนบท นอกจากนี้กากที่เหลือจากการหีบน้ำมันพบว่าสามารถใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ดี โดยพบว่ามีธาตุอาหารไนโตรเจนในปริมาณที่สูง (สุขสันต์ และระพีพรรณ, 2547; จรุง และทาเคะ, ม.ป.ป.)

หากเปรียบเทียบสับุด้าและปาล์มน้ำมันแล้วพบว่า ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตปริมาณน้ำมันต่อไร่ได้มากกว่า รวมทั้งมีการใช้ประโยชน์ได้ในวงที่กว้างกว่า แต่ข้อเสียของปาล์มน้ำมันคือปลูกได้ในพื้นที่จำกัด มีความต้องการปริมาณน้ำและความชื้นค่อนข้างสูง และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตตั้งแต่เริ่มปลูกค่อนข้างยาว ในขณะที่สับุด้าทนแล้งได้ดีให้เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในระยะสั้นตั้งแต่ปีที่ปลูก การลงทุนในการเพาะปลูกต่ำ การสกัดน้ำมันทำได้ง่ายโดยเครื่องหีบน้ำมันซึ่งเกษตรกรสามารถผลิตน้ำมันดีเซลใช้เองได้ กอปรกับราคาปาล์มน้ำมันที่มีแนวโน้มสูงขึ้นจากอุตสาหกรรมอาหาร สับุด้าจึงเป็นพืชอีกชนิดที่มีแนวโน้มได้รับการส่งเสริมให้ปลูกในพื้นที่ภาคอีสานและตอนเหนือของไทยในพื้นที่ที่กว้างว่างเปล่าหรือตามหมู่บ้าน เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมไปถึงการส่งเสริมการพึ่งพาตนเองของหมู่บ้าน (ชำนาญ, 2549; นิรนาม, 2550)



ภาพที่ 6 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสับจุ่มดำ

ที่มา: อนุวัฒน์ (ม.ป.ป.)

อย่างไรก็ตามปริมาณกิ่งและลำต้นสับจุ่มดำที่ตัดแต่งในแต่ละครั้งมีปริมาณมากขึ้น แต่มีการนำไปใช้ประโยชน์น้อย ปัจจุบันได้มีการวิจัยต่อเนื่องเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อไร่ของสับจุ่มดำ รวมถึงศึกษาการใช้ประโยชน์จากกิ่งสับจุ่มดำที่ได้จากการตัดแต่งเหล่านี้ เช่น การศึกษาการผลิตแผ่นผนัง แผ่นฝ้า เพดาน และแผ่นใยไม้อัดจากสับจุ่มดำ การทำฟืนสำหรับความร้อน รวมถึงเปลือกที่ใช้ในการสกัดแทนนิน การพัฒนาสมุนไพรจากสับจุ่มดำ การศึกษาส่วนสกัดและสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ การผลิตอาหารสัตว์จากกากและของเหลือจากสับจุ่มดำ สารสกัดจากใบสับจุ่มดำ เปลือกผลแห้ง สารสกัดจากน้ำมันและน้ำยางจากสับจุ่มดำ เพื่อใช้เป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิดได้ (ชานานู, 2549; ฅกัญญภัทร และคณะ, 2549)

ในด้านการผลิตเชื้อพบเพียงการนำเปลือกสับจุ่มดำมาพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์สำหรับ กระดาษหัตถกรรม มีการศึกษาสมบัติความแข็งแรงของกระดาษเปลือกสับจุ่มดำที่ทำด้วยมือเพื่องาน หัตถกรรมโดยทดลองกับเปลือกโคนต้น เปลือกกลางลำต้นและเปลือกปลายต้น (วุฒินันท์, 2552) โดยการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ก่อนทำการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 15 โซเดียมซัลไฟด์ร้อยละ 2 แมกนีเซียมซัลเฟต ร้อยละ 0.05 โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1.5 อบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนทำกระดาษขึ้นรูปด้วยมือ โดยเปลือกสับจุ่มดำส่วนกลางลำต้นมีคุณสมบัติเหมาะสมกับงานเชิง

หัตถกรรมใกล้เคียงกับกระดาษสา พบว่างานวิจัยยังคงใช้ประโยชน์จากสบูดำเพียงส่วนของเปลือกเท่านั้น การนำกิ่งสบูดำมาผลิตเชื้อโดยใช้ทั้งส่วนของเปลือกและเนื้อไม้จึงมีโอกาที่จะใช้ประโยชน์สบูดำได้มากขึ้นเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุที่เหลือทิ้งเหล่านี้

การระเบิดด้วยไอน้ำ

การระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam explosion) เป็นการแยกเชื้อโดยใช้แรงดันไอน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 180-220 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่เหนือจุดอุณหภูมิกลายแก้วของลิกนิน เป็นเวลา 1-2 นาที ปริมาณเชื้อที่ได้มีสูงถึงร้อยละ 80-90 จึงจัดว่าเป็นเทคนิคการแยกเชื้อและเปิดโครงสร้างเนื้อไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลสด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันสูง เชื้อที่ได้จะมีสีก้ำใช้ประโยชน์ได้ดีในการทำบอร์ดและไม้อัด (วิทยา, 2548; Kokta and Ahmed, 1998)

การระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำมีภาวะความรุนแรงที่ได้รับจาก 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ (Temperature) และเวลา (Time) เพื่อให้ทราบถึงภาวะความรุนแรงที่วัสดุ ได้รับความจากการระเบิดด้วยไอน้ำ จึงถูกทำให้ออกมาในรูปสมการ (Viola *et al.*, 2008)

$$R_0 = t \times \exp\left(\frac{T - 100}{14.74}\right) \quad (1)$$

โดยมีตัวแปรคือ

R_0 คือ ระดับความรุนแรง

t คือ เวลาในการระเบิดเชื้อ ในหน่วย นาที

T คือ อุณหภูมิในการระเบิดเชื้อ ในหน่วย องศาเซลเซียส

Anapanuruk *et al.* (2007) ได้ทำการผลิตเชื้อจากไม้โดยการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดันไอน้ำ 15 kg/cm² อุณหภูมิ 219 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าได้ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อเนื้อเยื่อเท่ากับร้อยละ 3.78 ได้ส่วนที่เป็นเยื่อร้อยละ 41.90 เมื่อนำเชื้อที่ได้มาเปรียบเทียบกับเชื้อกราฟท์ที่ระดับค่าความอิสระเยื่อ 300 มิลลิลิตร พบว่าเชื้อกราฟท์ให้สมบัติความแข็งแรงสูงกว่าเชื้อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ และพบว่าคุณสมบัติความแข็งแรงของเชื้อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำสามารถเทียบได้กับความแข็งแรงของเยื่อเชิงกล

Martin *et al.* (1995) ได้จำลองการผลิตเอทานอลและการผลิตเยื่อกราฟท์จากไม้สน *Pinus Radiata* โดยเอทานอลได้จากการ Depolymerization ของเฮมิเซลลูโลส หลังจากการผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำพบว่า อุณหภูมิการระเบิดด้วยไอน้ำที่ 220 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการระเบิดน้อยกว่า 2 นาที ให้ผลผลิตเส้นใยที่มีคุณภาพดีเหมาะแก่การผลิตเป็นเยื่อกราฟท์ต่อไป และยังพบว่า การระเบิดด้วยไอน้ำก่อนทำการต้มเยื่อกราฟท์สามารถช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ลง แต่ผลผลิตเยื่อที่ได้ก็ต่ำกว่ากรรมวิธีการต้มเยื่อกราฟท์แบบเดิม ถึงแม้ระยะเวลาการระเบิดจะสั้นก็ตาม

Kokta *et al.* (1993) ได้ทำการผลิตเยื่อจากยูคาลิปตัส โดยผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำพบว่า การปฏิบัติด้วยเยื่อก่อนการระเบิดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% และโซเดียมโซโอสัลเฟต 8% ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อเยื่อ 1 ต่อ 3 ก่อนทำการบดนั้น สามารถทำให้เยื่อที่ได้มีความแข็งแรงเทียบเท่ากับเยื่อ CTMP และเยื่อ CMP และพบว่า การแช่ด้วยอัลคาไลน์นี้สามารถช่วยลดพลังงานในระหว่างการบดลงได้

Zhang *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาผลการระเบิดด้วยไอน้ำและการใช้เอ็นไซม์กำจัดลิกนินในฟางข้าว พบว่าฟางข้าวที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและย่อยสลายต่อด้วยเอ็นไซม์มีอัตราการสลายลิกนินสูงถึงร้อยละ 75.34 ส่วนฟางข้าวที่ไม่ได้ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและเอ็นไซม์มีอัตราการย่อยสลายอยู่ที่ร้อยละ 31.23

นิคม และกนกอร (2548) ได้ศึกษาการผลิตและลักษณะโครงสร้างของแผ่นใยไม้อัดจากเยื่อไผ่ที่ได้จากกรรมวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำความดัน 22-28 kgf/cm² ระยะเวลาที่ใช้ในการระเบิด 5 นาที พบว่าเส้นใยที่ได้จากการระเบิดด้วยไอน้ำเป็นวัตถุดิบที่มีคุณภาพดี เส้นใยยังคงรักษาความยาวเดิมไว้ได้อย่างดี มีการแยกตัวกันโดยโครงสร้างไม่ถูกทำลาย ยังคงมีปริมาณลิกนินและเฮมิเซลลูโลสสูง เมื่อทำการอัดร้อนนั้นลิกนินและเฮมิเซลลูโลสสามารถแยกตัวออกจากผนังเซลล์มาจับที่เส้นใยได้ง่าย จึงสามารถใช้ประโยชน์จากการทดแทนกาวประสานได้ดี ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่แยกตัวออกมาแล้วสามารถหลอมตัวอีกครั้งแล้วสร้างรูปแบบด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อน ยึดเส้นใยได้ดีในการผลิตแผ่นใยไม้อัด

Montane *et al.* (1995) ได้ทำการแยกเยื่อจากฟางข้าวด้วยกรรมวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า สามารถแยกวัสดุออกได้เป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารแทรก ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ส่วนน้ำล้างที่ได้จากการล้างเยื่อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำซึ่งมี

ส่วนประกอบของไฮโดรเซลลูโลสนั้น สามารถนำไปสกัดได้เพนโตแซน และในการทำเซลลูโลสบริสุทธิ์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของโพลีเมอร์

นอกจากนี้กรรมวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำมักถูกนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการผลิตวัตถุดิบตั้งต้นที่ต้องใช้เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพนโตแซน เช่น การแยกเยื่อกระดาษด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำในภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้เพคตินและเฮมิเซลลูโลส การสกัดลิกนินจากเปลือกสับปะรดและซังข้าวโพดที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำด้วยโอโซนและซูเปอร์ออกไซด์ การย่อยฟางข้าวด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำก่อนที่จะนำไปเป็นอาหารสัตว์ การผลิตเอทานอลจากเส้นใยของปาล์มน้ำมันด้วยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำเพื่อให้ได้เซลลูโลสก่อนนำไปย่อยต่อย่อยด้วยกรดเพื่อผลิตเอทานอล (Bonini *et al.*, 2007; Viola *et al.*, 2008)

การปฏิบัติเบื้องต้น

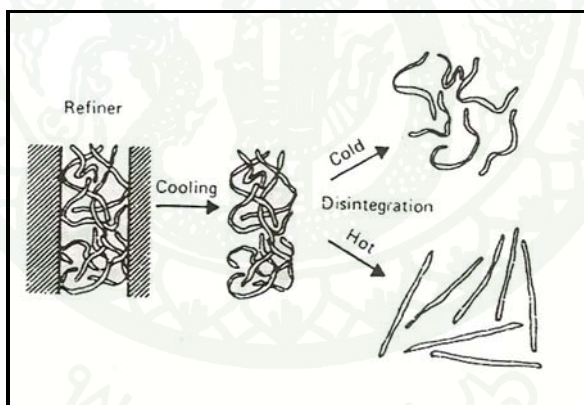
หลังจากไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำก่อนทำการบดเชื้อ กระบวนการปฏิบัติเบื้องต้น (Pretreatment) ถูกใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการผลิต พบว่าสามารถช่วยลดปริมาณสารเคมีในกระบวนการผลิต หรือแม้กระทั่งเพิ่มคุณสมบัติที่ดีต่อวัสดุเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ การปฏิบัติต่อเยื่อทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อน การใช้สารเคมี

การใช้สารเคมี (Chemical pretreatment) เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเยื่อและกำจัดลิกนินบางส่วนในเนื้อไม้ออกไป เปิดโครงสร้างของผนังเซลล์ในส่วนที่เป็นสัณฐานให้มีการพองตัว มีช่องว่างและอ่อนตัวลง เมื่อทำการบดเชื้อเส้นใยจึงไม่ถูกทำลาย เกิดแยกชั้นกันได้ง่ายในขั้นตอนหมักและหมัก และหมัก ช่วยให้เกิดการแตกแขนงที่ผนังเซลล์เส้นใย คุณภาพเยื่อที่ได้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณสมบัติที่ดีให้กับเยื่อเชิงกล

Montane *et al.* (1995) พบว่าการแช่เยื่อด้วยสารละลายอัลคาไลน์นั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตเยื่อด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำทั้งองค์ประกอบเคมีรวมถึงความแข็งแรงของเยื่อ ปริมาณลิกนินและเพนโตแซนจะละลายได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นกับปริมาณสารละลายอัลคาไลน์ที่ใช้ในการแช่ ส่วนคุณภาพเยื่อที่ผลิตได้นั้นขึ้นกับ ปริมาณสารละลายอัลคาไลน์ อุณหภูมิ เวลาที่ทำการระเบิด และวิธีการคัดแยกเศษเส้นใย (Fines) ออกจากเยื่อ ซึ่งทั้งหมดจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้ รวมถึงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของเยื่อ

บัวผัน (2549) ศึกษาเยื่อกลึงเคมีในไม้ต้นแป้นพบว่า ในการผลิตเยื่อกลึงเคมี การแช่ชิ้นไม้ด้วยสารละลายต่างก่อนการนำไปบดนั้น ช่วยให้สัดส่วนที่ไม่เป็นเยื่อน้อยลง ปริมาณเยื่อที่ได้สูงขึ้นและความแข็งแรงต่อเยื่อเพิ่มขึ้น

การใช้ความร้อน (Preheating) เป็นอีกหนึ่งวิธีสำหรับการปฏิบัติเบื้องต้น พบว่าการใช้น้ำร้อนกับเยื่อระหว่างทำการบดนั้น สามารถช่วยให้เส้นใยมีความยืดหยุ่นตัว (Latency) อ่อนตัวได้ง่าย (ดังภาพที่ 7) รวมถึงผนังเส้นใยเกิดการแตกแขนงเป็นขุย เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างกัน ส่งผลต่อการเพิ่มพันธะให้กับเส้นใย นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถช่วยลดพลังงานระหว่างกระบวนการผลิต รวมถึงคุณภาพเยื่อที่ได้ก็ดีขึ้น โรงงานจึงมักใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตมาใช้ในการปฏิบัติเบื้องต้นกับไม้ก่อน เพื่อเตรียมไม้ให้ได้คุณลักษณะที่ดีก่อนจะผ่านกระบวนการผลิตต่อไป เพื่อลดการใช้ทางสารเคมีภายในโรงงาน การเพิ่มขึ้นปริมาณและอุณหภูมิใช้น้ำระหว่างการปฏิบัติต่อเยื่อนั้นส่งผลถึงค่าความขาวสว่างของเยื่อ และทำให้เส้นใยเกิดการแตกหักเสียหายได้ อุณหภูมิที่เหมาะสมระหว่างการปฏิบัติอยู่ที่ประมาณ 105-122 องศาเซลเซียส และระยะเวลาระหว่างการปฏิบัติเบื้องต้นอยู่ที่ประมาณ 1-3 นาที (Somboon, 2009)



ภาพที่ 7 ลักษณะเส้นใยในการบดเยื่อเมื่อมีการปฏิบัติความร้อน

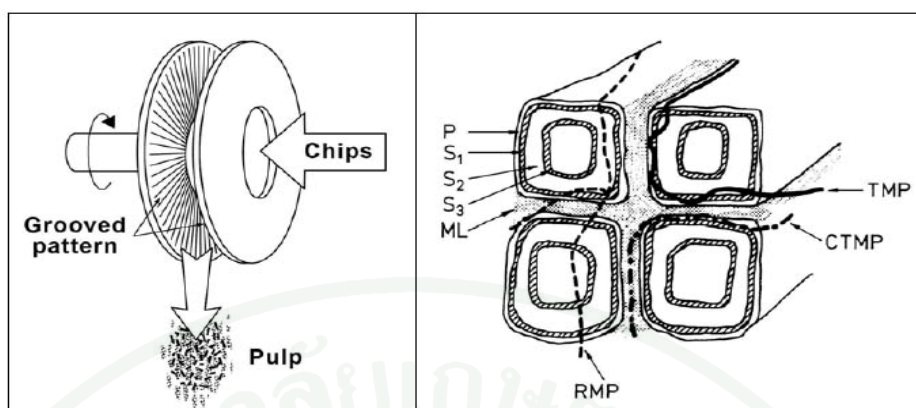
ที่มา: Smook (1992)

เยื่อกลเชิงเคมี

เยื่อเชิงกล (Mechanical pulp, MP) คือ กรรมวิธีการใช้แรงกลกระทำกับเยื่อโดยไม่มีสารเคมีเข้ามาเกี่ยวข้อง ผลผลิตเยื่อที่ได้จึงสูงกว่ากรรมวิธีทางเคมี แต่เยื่อที่ได้มีความคงรูปแข็งตัวมีสีคล้ำ และแข็งแรงน้อยกว่า เพราะกรรมวิธีนี้ไม่ได้กำจัดลิกนินออกไป และลิกนินเหล่านี้จะขัดขวางการเกิดพันธะระหว่างเส้นใย มีการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับ ทั้งการใช้สารเคมี ความร้อน และไอน้ำ จนถึงเยื่อ Thermo mechanical pulp (TMP) ซึ่งเป็นการใช้ความร้อนเข้าช่วยระหว่างทำการบดเยื่อที่ผลิตได้มีปริมาณผลผลิตที่สูง เหมาะในการนำไปใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในงานหลายประเภท แต่เยื่อเยื่อที่ได้ยังต้องการเพิ่มคุณสมบัติบางด้านเพิ่มเติม

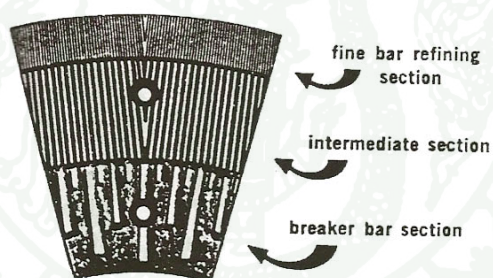
เยื่อกลเชิงเคมีหรือ Chemithermo Mechanical pulp (CTMP) เป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกพัฒนามาจากเยื่อ TMP ซึ่งจะทำให้การแช่ชิ้นไม้สับด้วยสารเคมีเพื่อเปิดโครงสร้างเนื้อไม้และกำจัดลิกนินบางส่วนในชั้นมิดเซลลามีผลดีก่อนทำการบดภายใต้ภาวะความดันไอน้ำที่สูงกว่า 100 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 8) ซึ่งทำให้ลิกนินอ่อนตัวแยกเส้นใยได้ง่ายโดยใช้พลังงานต่ำ ลิกนินที่อ่อนตัวนั้นถ้าอยู่ต่ำกว่าอุณหภูมิคล้ายแก้วการแยกจะเกิดขึ้นในผนังเซลล์ทุติยภูมิชั้น S1 ในขณะที่ถ้าสูงกว่าระดับอุณหภูมิคล้ายแก้วจะส่งผลให้เกิดการแยกที่ชั้นมิดเซลลามีผลดีซึ่งเส้นใยถูกทำลายได้น้อย และยังคงสภาพผนังของเส้นใยไว้ค่อนข้างสมบูรณ์และจะเกิดการแตกแขนง (Fibrillation) จากการเสียดสีกันเองและเสียดสีกับพื้นงานบดขณะทำการบดโดยลักษณะการเกิดการแตกแขนงนี้ยังขึ้นกับลักษณะของงานที่ใช้ทำการบดด้วย (Biermann, 1996)

สำหรับการผลิตเยื่อกลเชิงเคมีนั้นเริ่มจากการบด (Refining) โดยใช้งานบดที่มีหลายลักษณะเพื่อให้ได้เยื่อตามที่ต้องการ โดยส่วนใหญ่จะถูกแบ่งตามลักษณะพื้นบด การบดหยาบในตอนแรกเพื่อทำให้ชิ้นไม้สับมีขนาดเล็กลง การบดพื้นหยาบตอนกลางเพื่อแยกเยื่อออกจากโครงสร้างเนื้อไม้ (Defibration) จากนั้นจึงทำการบดละเอียดเพื่อให้ผนังเส้นใยเกิดการแตกแขนงต่อไป ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ลักษณะการบดพื้นฐานของเชื้อเชิงกลและการแยกผนังของเส้นใยในการบดเชื้อ TMP และ CTMP

ที่มา: Soomboon (2009)



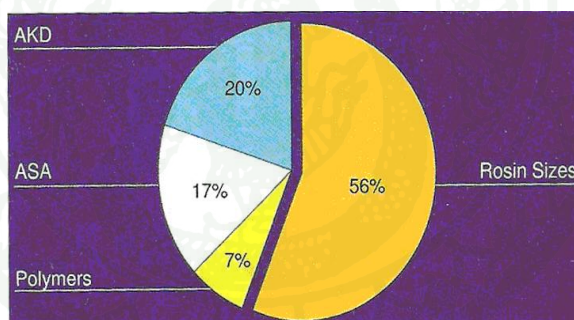
ภาพที่ 9 ลักษณะจานบดสำหรับการบดเชื้อ

ที่มา: Smook (1992)

สารด้านการซึมน้ำ

สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านการต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ ทำให้กระดาษต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากกระดาษมีองค์ประกอบของเส้นใยซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูง กระดาษที่ไม่ได้ใส่สารด้านการซึมน้ำจึงเปียกน้ำและดูดซับน้ำได้ง่าย การเติมสารด้านการซึมน้ำลงไปจะช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดูดระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำ ทำให้ลดอัตราการซึมน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษ เมื่อกระดาษโดนน้ำจะไม่เปียกหรือซับน้ำในทันทีทันใด ทำให้กระดาษสามารถทนต่อการกระทำกับน้ำได้

สารด้านการซึมน้ำที่นิยมใช้ เช่น โรซิน (Rosin) อัลคิลคีตีนไดเมอร์ (Alkyl ketene dimer, AKD) อัลคีนิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (Alkenyl succinic anhydride, ASA) และโพลิเมอร์ของสารประกอบจำพวกสไตรีนอะคริเลต (styrene acrylate, PSA) และสไตรีนแมลลิเนต (Styrene maleinate) สตาร์ช (Starch) (Holik, 2006)



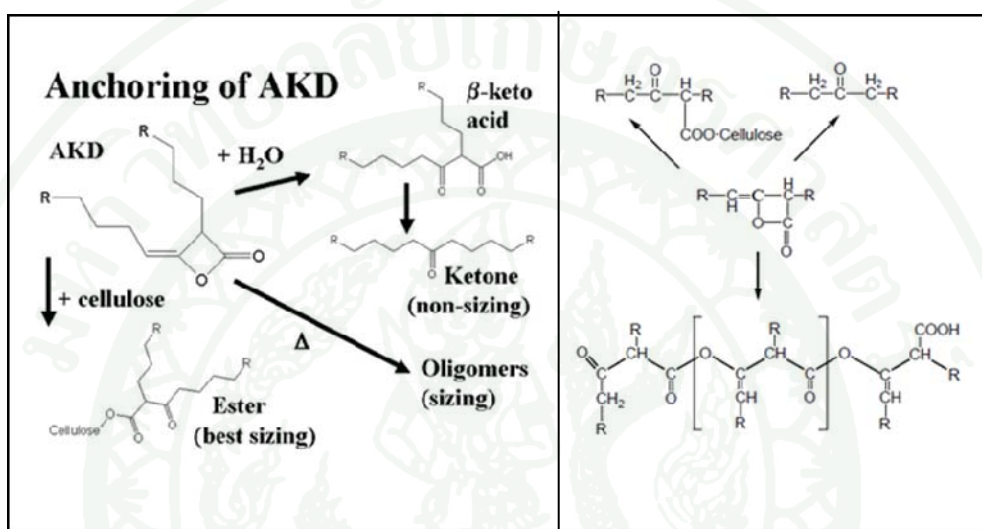
ภาพที่ 10 สัดส่วนการใช้งานของสารกันซึมในอุตสาหกรรม

ที่มา: Holik (2006)

1. อัลคิลคีตีนไดเมอร์

เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากรองจากโรซิน ใช้ได้ในเยื่อที่ผลิตจากกรรมวิธีอัลคาไลน์ มักอยู่ในรูปของสารประกอบอิมัลชัน มีโครงสร้างเป็นสายยาวโดยด้านหนึ่งเป็นวงแหวนและมีพันธะคู่ มีประจุเป็นบวกอ่อนๆ จึงสามารถเกิดพันธะได้ดีกับเส้นใยซึ่งมีประจุเป็นลบ โดยจะ

หันด้านที่เป็นวงแหวนเข้าจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส (ภาพที่ 11) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสารอื่นๆ เพื่อใช้ควบคู่กับอัลคิลคิรีนไดเมอ์เรื่อมา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกันซึมในเนื้อกระดาษ เช่น แป้งปรุงแต่ง (Modified starch) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะระหว่างเส้นใย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณการใช้ที่เหมาะสมควบคู่กับภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม จะส่งผลเพิ่มความสามารถในด้านการต้านทานการซึมน้ำได้ยิ่งขึ้น (Holik, 2006; Seppanen, 2007)



ภาพที่ 11 ลักษณะการยึดเกาะกันระหว่างอัลคิลคิรีนไดเมอ์เรื่อและเส้นใย

ที่มา: Hubbe (2009)

Lindfors *et al.* (2007) ทำการเปรียบเทียบการใช้อัลคิลนิกซ์ซินิกแอนไฮไดรด์ และอัลคิลคิรีนไดเมอ์ โดยทำการเคลือบด้วยวิธี Spin coating และ Casting พบว่าลักษณะโมเลกุลที่เรียงตัวบนพื้นผิวกระดาษไม่เหมือนกัน รวมถึงมุมที่น้ำกระทำกับกระดาษที่เคลือบผิวก็ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลในการเคลือบจึงอยู่ที่วิธีการเคลือบ ชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้ ความเข้มข้นของสารเติมแต่งที่ใช้ และภาวะขณะทำการเคลือบผิว

Ekhtera *et al.* (2008) ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันระหว่างสารเติมแต่งโดยทดลองกับโพลีเอทิลีนไกลคอล 400 สตาร์ช สารส้ม และโรซิน เพื่อหาค่าความแข็งแรง และทัศนสมบัติของกระดาษลูกฟูก พบว่าโพลีเอทิลีนไกลคอล 400 และสตาร์ชช่วยเพิ่มความแข็งแรงได้ และเมื่อมีการใช้งานร่วมกันจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านแรงดันทะลุอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การใช้

ปริมาณสารส้มและโรซินเพิ่มขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพด้านความแข็งแรงลดลง แต่การใช้สารส้มที่ปริมาณหนึ่งจะช่วยให้โฟลีโอลูมินัมคลอไรด์ และสตาร์ชตกค้างบนผิวกระดาษได้มากขึ้น นั่นเท่ากับเป็นการส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพทางอ้อม

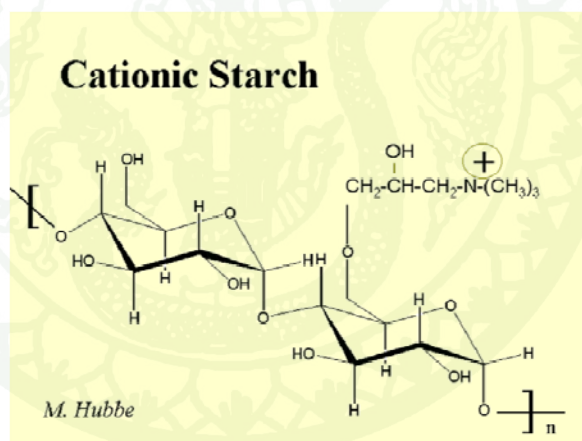
2. สตาร์ช

ในอุตสาหกรรมกระดาษมีใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในส่วนของสตาร์ช สามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษ เพิ่มน้ำหนัก เพิ่มการกระเจิงแสง ในกระบวนการผลิตกระดาษนั้น สตาร์ชถูกนำมาใช้ในสองส่วนการผลิต คือ การใช้ระหว่างขึ้นรูปกระดาษขณะเปียก (Wet end operation) เช่น การใส่ในน้ำเยื่อ (Stock preparation) การใส่ฉาบผิว (Size press) และการใช้ในขณะกระดาษขณะแห้ง (Dry end operation) โดยจะทำการใส่หลังกระบวนการทำกระดาษออกมาแล้ว เช่น การใช้เคลือบผิวกระดาษ การใส่ก่อนขัดมัน ซึ่งการใช้งานในสองส่วนนี้จะใช้ลักษณะสตาร์ชที่แตกต่างกัน

2.1 สตาร์ช (Starch) คือผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่างๆ โดยเฉพาะส่วนที่เป็นสารอาหารคาร์โบไฮเดรต และสกัดสิ่งเจือปน คือ โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ อื่นๆ ออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์สูงเรียกว่าสตาร์ช ซึ่งสตาร์ชที่ยังไม่ได้ถูกดัดแปรหรือแปรรูป เรียกว่า แป้งดิบ (Raw starch or native starch) สตาร์ชที่ถูกดัดแปรหรือแปรรูปแล้วเรียกว่า สตาร์ชดัดแปรหรือ Modified starch วัตถุดิบทางการเกษตรที่นำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์จากสตาร์ช มีแหล่งต่างๆ ได้แก่ สตาร์ชที่ผลิตจากเมล็ดธัญพืชและถั่ว เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวโพด ข้าวสาลี หรือมันฝรั่ง มันสำปะหลัง (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

2.2 สตาร์ชดัดแปร (Modified starch) สตาร์ชที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษมาจากแหล่งที่แตกต่างกันขึ้นกับพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ ในระหว่างกระบวนการดัดแปรหรือทำให้แป้งสุกนั้น เม็ดแป้งจะเริ่มพองตัวที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส และเริ่มแตกตัวที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส หรือเสีรูปร่างไป เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 95 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นอุณหภูมิที่สตาร์ชละลาย และแตกตัวอย่างสมบูรณ์ โดยสตาร์ชจะมีสมบัติในการประสาน (Binding properties) ได้ดีเฉพาะรูปแบบที่แตกตัว (Dissolved Form)

2.2.1 แคตไอออนิกสตาร์ช (Cationic starch) คือ สตาร์ชดัดแปรที่มีประจุบวก ดัดแปรโดยใช้สารเคมีที่มีหมู่ Amino, Imino, Ammonium, Sulfonate หรือ Phosphonium เพื่อให้ได้สตาร์ชที่มีประจุบวก โดยการดัดแปรสตาร์ชวิธีนี้เป็นการเติมโปรตอนให้แก่สตาร์ช เกิดเป็นหมู่ประจุบวก ปฏิกริยาการแทนที่ส่วนใหญ่เกิดตรงหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 แคตไอออนิกสตาร์ชที่ได้จะมีสมบัติความเสถียรมากขึ้น อัตราการคิ่นตัวลดลง สามารถละลายน้ำได้สูง พองตัวได้ในน้ำเย็น แคตไอออนิกสตาร์ชสามารถยึดเกาะกับเส้นใยเซลลูโลสที่หมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นประจุลบ ทำให้เพิ่มพันธะในกระดาษ นอกจากนี้การใส่ที่ผิวหน้ากระดาษยังช่วยเพิ่มความเรียบ (Smoothness) ความมันวาว (Glossness) ความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ (Surface strength) และความคงตัวของกระดาษ (Stiffness) รวมถึงช่วยลดฝุ่นละอองบนผิวกระดาษ (Dusting) ลงได้ สามารถเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ โดยเฉพาะความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาด ซึ่งจำเป็นในกระดาษบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ยังช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษและเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษแข็ง (Mert, 2001; นวพร, 2549)



ภาพที่ 12 ลักษณะการยึดเกาะกันของแคตไอออนิกสตาร์ช

ที่มา: Hubbe (2009)

2.2.2 ออกซิไดซ์สตาร์ช (Oxidized starch) เป็นสตาร์ชที่ใช้วิธีการออกซิเดชันซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลไปเป็นหมู่อัลดีไฮด์ คีโตนหรือคาร์บอกซิล คุณสมบัติที่สำคัญของออกซิไดซ์สตาร์ชคือเป็นสตาร์ชที่มีประจุลบ เนื่องจากมีหมู่คาร์บอกซิลเข้าไปอยู่ในโมเลกุลอะมิโนส มีความสามารถในการละลายน้ำได้มากเนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลมีคุณสมบัติชอบน้ำ

ดังนั้นในทางอุตสาหกรรมกระดาษจึงนิยมนำออกซิไดซ์สตาร์ชไปใช้เป็นในการเคลือบผิวกระดาษมากกว่าที่จะใช้ในขณะขึ้นรูป โดยออกซิไดซ์สตาร์ชมักใช้เป็นตัวประสานยึดเกาะระหว่างอนุภาคที่ต้องการเคลือบ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษหรือเพิ่มคุณสมบัติให้กับพื้นผิว เช่น เพื่อเพิ่มความขาวสว่าง ความเงา และความทึบแสง ช่วยให้กระดาษมีผิวเรียบสม่ำเสมอมากขึ้น

2.2.3 ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (Hydrophobic starch) เป็นสตาร์ชที่ถูกดัดแปรให้มีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ ในอุตสาหกรรมกระดาษมักใช้สตาร์ชประเภทนี้ในการเคลือบผิวกระดาษ เพื่อให้มีคุณสมบัติต้านทานน้ำ (ดวงทิพย์, 2550)

ธนธร และคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาการผลิตเยื่อ และกระดาษจากใบรูปฤาษีเพื่อนวัตกรรมสิ่งพิมพ์บรรจุภัณฑ์ โดยได้ทำการต้มใบรูปฤาษีกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate, CaCO_3) แคลไออนิกสตาร์ชและอัลคิลคิตินไคเมอร์ ปริมาณที่เหมาะสมของการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต แคลไออนิกสตาร์ชและอัลคิลคิตินไคเมอร์ คือร้อยละ 0.1 0.06 และ 0.15 ตามลำดับ พบว่าการใช้ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มากขึ้นส่งผลให้กระดาษรูปฤาษีมีค่าความต้านแรงดึงและความต้านแรงฉีกทะลุเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้อัลคิลคิตินไคเมอร์ที่มากขึ้นส่งผลให้การต้านทานการฉีกน้ำมากขึ้น และการใช้แคลไออนิกสตาร์ชในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลต่อค่าความต้านแรงฉีกขาดที่มากขึ้น

นวพร (2549) ศึกษาผลของการเคลือบสตาร์ชดัดแปร ที่มีผลต่อสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษคราฟท์ โดยศึกษาสตาร์ชสองชนิด คือ ออกซิไดซ์สตาร์ชและแคลไออนิกสตาร์ช ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 15 และ 25 โดยน้ำหนัก พบว่าชนิดของสตาร์ชดัดแปรและความเข้มข้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านแรงฉีกของกระดาษคราฟท์อย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความต้านแรงฉีกเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.8-12.4 เมื่อเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ช และเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.3-16.0 เมื่อทำการเคลือบด้วยแคลไออนิกสตาร์ช อุณหภูมิก่อนการเคลือบไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรง ส่วนการใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชและแคลไออนิกสตาร์ชเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความต้านแรงดึง การแข็งแรงทางกายภาพ และความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษได้เฉพาะที่ความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ชที่ร้อยละ จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าแคลไออนิกสตาร์ชสามารถเพิ่มสมบัติความแข็งแรงให้กระดาษได้มากกว่าออกซิไดซ์สตาร์ช ที่ระดับความเข้มข้นและอุณหภูมิเดียวกัน

ดวงทิพย์ (2550) ได้ศึกษาผลการเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชและสารกันซึมต่อสมบัติของ กระดาษกราฟที่ผิวกล่องสำหรับการใช้งานในห้องเย็น พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของออกซิไดซ์ สตาร์ชจะส่งผลให้กระดาษมีการต้านการซึมน้ำและต้านแรงดันทะเลสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน การเคลือบด้วยไฮโดรฟอบิกสตาร์ชทำให้กระดาษมีความต้านทานน้ำและความต้านแรงดันทะเลสูง กว่าเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ช การดูดและคายความชื้นของกระดาษกราฟที่ผ่านการเคลือบ ด้วยสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึมพบว่าปริมาณการดูดซึมน้อยกว่ากระดาษที่ไม่เคลือบ

Kozminski *et al.* (2007) ได้ศึกษาการรวมกลุ่มसानตัว (Flocculation) ของสารอัลคิลคีติน ไคเมอร์และแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกผลึก โดยการใช้ร่วมกับแคตไอออนิกสตาร์ช คาดการณ์ ว่าจะเกิดการจับตัวกันของสารทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน (Hetero flocculation) ซึ่งจะช่วยทำให้เกิด ประสิทธิภาพการตกค้างที่มากขึ้นบนกระดาษ แต่จากผลการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าสารทั้งสองชนิดไม่เกิดการรวมกลุ่มข้ามชนิดแต่อย่างใด แคลเซียม คาร์บอเนตชนิดตกผลึก เกิดการรวมตัวกันเองเฉพาะสาร (Homo flocculation) เช่นเดียวกับอัลคิลคี ติน ไคเมอร์ ผลจากภาพยังอธิบายไปถึงการที่แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกผลึกรวมกลุ่มจับตัวกันนั้น เกิดจากการดึงแคตไอออนิกสตาร์ชมาเพื่อให้เกิดการรวมตัว ทำให้อัลคิลคีติน ไคเมอร์เกิดความเสถียร ลดลง

กระดาษลูกฟูก

กระดาษลูกฟูกมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

1. กระดาษผิวหน้า (Liner) หรือกระดาษเหนียว (Kraft paper)

เป็นกระดาษที่ติดบนหน้ากระดาษลอนลูกฟูก โดยใช้กระดาษกราฟที่รวมถึงอาจใช้เยื่อ กระดาษเก่า ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและเกรดกระดาษ ต้องการความแข็งแรงสูงเพื่อให้ตรงกับ ลักษณะการใช้งาน ในกรณีการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับน้ำ ผิวหน้าของกระดาษต้องมีความสามารถ ต้านทานน้ำได้ดี โดยอาจมีการปรับปรุงผิวหน้าเช่น การใช้สารกันซึมหรือการใช้พลาสติก และวัสดุ อื่นๆ เคลือบทับ เพื่อให้มีคุณสมบัติที่ตรงกับความต้องการใช้งาน

2. กระดาษลอนลูกฟูก (Corrugated medium)

เป็นกระดาษที่ใช้ในการขึ้นเป็นลอนลูกฟูก โดยใช้กระดาษที่ผลิตจากเยื่อกราฟท์ หรือเยื่อกระดาษเก่าขึ้นกับความแข็งแรงที่ต้องการนำมาขึ้นลอน กระดาษลอนลูกฟูกนี้สามารถแบ่งออกได้ 5 ประเภท ตามขนาดของลอนดังนี้

2.1 ลอน A เป็นลอนต้นแบบและเป็นลอนที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ดังนั้นเมื่อนำไปประกอบกับกระดาษทำผิวกล่องด้านในและด้านนอกแล้วจะมีความหนาของแผ่นกระดาษลูกฟูกมากที่สุด สามารถรับแรงกระแทกและกดทับได้มากที่สุด เหมาะสำหรับบรรจุสิ่งของที่บอบบาง แดงง่าย เนื่องจากลอน A มีระดับความแข็งแรงสูง รับน้ำหนักและแรงกดทับได้มาก

2.2 ลอน B มีความสูงของลอนน้อยกว่าลอน A และมีจำนวนลอนต่อความยาวฟุตมากกว่า มีจุดสัมผัสกับกระดาษทำผิวกล่องมากกว่าลอน A ทำให้แผ่นกระดาษลูกฟูกลอน B มีพื้นผิวที่แข็งและเรียบตึงกว่า เมื่อนำไปทำกล่องได้ก็จะได้กล่องที่สวยงาม มีคุณสมบัติในการต้านแรงกดสูง นิยมนำไปผลิตเป็นแผ่นรอง แผ่นกั้น และส่วนประกอบต่างๆ ภายในกล่อง นอกจากนี้ลอน B ยังเหมาะที่จะนำไปบรรจุสินค้าประเภทบรรจุภัณฑ์กระป๋อง ทำกล่องได้ก็จะได้กล่องที่แข็งแรงและทนทาน โดยทั่วไปแล้วมักจะนำไปประกอบกับกระดาษทำผิวกล่องที่มีน้ำหนักเบา

2.3 ลอน C ถูกใช้เพื่อรวมความแตกต่างระหว่างลอน A กับลอน B เข้าด้วยกัน มีความหนาแน่นน้อยกว่าลอน A แต่มากกว่าลอน B ทำให้ลอน C มีคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกและการรับแรงกดทับกันได้ดี ดังนั้น ลอน C จึงเป็นที่นิยมใช้งานอย่างมากที่สุด เมื่อเทียบกับลอนลูกฟูกอื่นๆ โดยประมาณร้อยละ 80 ของบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกในปัจจุบัน ผลิตจากแผ่นกระดาษลูกฟูกลอน C

2.4 ลอน E มีความต้านแรงกระแทกสูงมาก และมีพื้นผิวที่เรียบตึง ส่งผลให้งานพิมพ์มีคุณภาพสูง มีขนาดเล็ก ซึ่งทำให้ประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ เนื่องจากความบางและคุณสมบัติในการรับแรงกระแทก ลอน E จึงสามารถนำมาใช้แทนกล่องลูกฟูก หรือบรรจุภัณฑ์โฟมเบอร์ได้ การใช้งานลอน E ได้แก่ บรรจุภัณฑ์พิเศษ กล่องใส่เครื่องสำอาง เครื่องแก้ว เครื่องกระเบื้อง และเครื่องมือเครื่องใช้ที่บอบบางต่างๆ

2.5 ลอนไมโครหรือลอนจิ๋ว มีขนาดเล็กมากโดยมีความหนาเพียงครึ่งหนึ่งของลอน E เท่านั้น โดยปัจจุบันมีการพัฒนาเพื่อใช้ทดแทนบรรจุภัณฑ์ที่เป็นองค์ประกอบของไฟเบอร์ เช่นเดียวกับลอน E เพื่อให้ได้น้ำหนักที่เบา ปัจจุบันยังพบในลักษณะของบรรจุภัณฑ์พิเศษ เช่น กล่องเครื่องสำอาง กล่องอัญมณี

ตารางที่ 1 ขนาดความกว้างของลอน ความสูงของลอน และจำนวนลอนต่อความยาวฟุตของลอน ลูกรูปประเภทต่างๆ

ชื่อลอน	ชื่อไทย	จำนวนลอนต่อความยาวเป็นเมตร	ความสูงของลอน (มิลลิเมตร)
A	ใหญ่	105 - 125	4.5 - 4.7 มม.
B	เล็ก	150 - 185	2.1 - 2.9 มม.
C	กลาง	120 - 145	3.5 - 3.7 มม.
E	จิ๋ว	290 - 320	1.1 - 1.2 มม.
micro	ไมโคร	400 - 440	0.7 - 0.8 มม.

ที่มา: ปูน และสมพร (2554)

3. ประเภทของกระดาดลูกรูป

กระดาดลูกรูปที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน มี 4 ประเภท คือ

3.1 กระดาดลูกรูปหน้าเดียว (Single face) ประกอบด้วยกระดาดทำผิวกล่อง 1 แผ่น ประกบติดกับลอนลูกรูป 1 แผ่น นิยมใช้ห่อสินค้าหรือทำเป็นแผ่นรองภายในกล่อง เพื่อเป็นวัสดุกันกระแทก

3.2 กระดาดลูกรูป 3 ชั้น (Single wall) ประกอบไปด้วยกระดาดทำผิวกล่อง 2 แผ่น ทากาวประกบกับลอนลูกรูป 1 แผ่น โดยลอนลูกรูปจะอยู่ตรงกลางระหว่างกระดาดแผ่นเรียบทั้ง 2 แผ่น มักใช้กับสินค้าที่มีน้ำหนักปานกลางหรือไม่เน้นความแข็งแรงมากนัก ลอนมาตรฐานที่ใช้ คือ ลอน B ลอน C และลอน E

3.3 กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น (Double wall) ประกอบด้วยกระดาษแผ่นเรียบ 3 แผ่น ประกบกับลอนลูกฟูก 2 แผ่น โดยกระดาษลอนลูกฟูกที่อยู่ติดกับผิวกล่องด้านนอกจะเป็นลอน B เพื่อประโยชน์ทางการพิมพ์ และกระดาษลอนลูกฟูกที่อยู่ด้านในจะเป็นลอน C เพื่อประโยชน์ทางด้านรับแรงกระแทก นิยมใช้สำหรับสินค้าที่ต้องการการป้องกันสูงหรือมีน้ำหนักมาก ลอนมาตรฐาน คือ ลอน BC (ลอน B จะอยู่ด้านนอก ส่วนลอน C จะอยู่ด้านใน)

3.4 กระดาษลูกฟูก 7 ชั้น (Triple wall) ประกอบด้วยกระดาษแผ่นเรียบ 4 ชั้นประกบกับลอนลูกฟูกอีก 3 ชั้น เป็นกระดาษลูกฟูกที่ผลิตเพื่อใช้งานในอุตสาหกรรมหนัก ที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกเป็นจำนวนมาก (นิรนาม, 2554)

คุณสมบัติของกระดาษ

สมหวัง (2546) ได้อธิบายไว้ว่า วัตถุประสงค์พื้นฐานที่ใช้ในการผลิตกระดาษนั้นคือเส้นใยเยื่อ ซึ่งโดยมากได้มาจากส่วนที่เป็นเนื้อในพืช สมบัติส่วนหนึ่งของกระดาษจึงเกิดมาจากสมบัติของเส้นใยเยื่อเช่นกัน

การทดสอบหาสมบัติต่างๆ นั้นจำเป็นที่จะต้องอยู่บนพื้นฐานเดียวกันตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เช่น มาตรฐาน TAPPI (Technical Association of pulp and paper Industry, USA) หรือ ISO (International Organization for Standardization) ทุกมาตรฐานจะมีการกำหนดภาวะที่ใช้ในการทดสอบกระดาษไว้อย่างชัดเจน กล่าวคือ ก่อนการทำการทดสอบต้องมีการปรับภาวะของกระดาษตัวอย่างทุกครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาษนั้นมีสมบัติที่เรียกว่า Hygroscopic นั่นคือ มีการดูดและคายความชื้นได้ และการดูดและคายความชื้นของเส้นใยนี้เองจะส่งผลต่อเนื่องไปถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติของกระดาษ นอกจากนั้นยังได้แบ่งสมบัติของกระดาษไว้ดังนี้

1. สมบัติพื้นฐาน (Basic properties)

โดยปกติการเตรียมตัวอย่างในไทยนิยมใช้มาตรฐาน TAPPI T205 เพื่อหาสมบัติมาตรฐานอันได้แก่

1.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content) หมายถึงปริมาณน้ำในเนื้อกระดาษต่อน้ำหนักเยื่อแห้งโดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ

1.2 น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight) หมายถึง น้ำหนักของเยื่อกระดาษต่อ 1 หน่วยพื้นที่กระดาษ นิยมบอกเป็นจำนวนกรัมของน้ำหนักกระดาษต่อขนาดพื้นที่หนึ่งตารางเมตร มีหน่วยเป็น g/m^2 หรือเรียกว่า แกรม ซึ่งน้ำหนักมาตรฐานนี้แปรผกผันกับปริมาณความชื้นและส่งผลต่อสมบัติอื่นๆ ของกระดาษดังนั้นในการทดสอบหาน้ำหนักมาตรฐานจึงจำเป็นที่จะต้องมีการทำการทดสอบที่ภาวะควบคุมตามมาตรฐาน

1.3 ความหนา (Thickness หรือ Caliber) หมายถึง ระยะตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและด้านล่างของกระดาษ ภายใต้ภาวะทดสอบโดยใช้แรงกดที่ไม่ทำให้กระดาษยุบตัว ความหนาของแผ่นกระดาษนั้นจะมีอิทธิพลต่อความทึบแสง การยอมให้ไหลผ่านและความแข็งดั่งของกระดาษ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความฟู ความคงรูปของเส้นใยด้วย นิยมระบุหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร (mm) โดยทั่วไปเมื่อกระดาษมีน้ำหนักมาตรฐานเพิ่มขึ้น ความหนาของกระดาษมักจะเพิ่มขึ้นและทำให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

1.4 ความหนาแน่น (Density) หมายถึงสัดส่วนน้ำหนักของกระดาษต่อปริมาตรของกระดาษ มีหน่วยเป็น g/m^3

1.5 ความฟู (Bulk) ความฟูของกระดาษคือส่วนกลับของความหนาแน่นของกระดาษ หรือสัดส่วนของปริมาตรต่อน้ำหนัก มีหน่วยเป็น cm^3/g

1.6 ปริมาณสารเติมแต่ง (Filler content) โดยทั่วไปในการผลิตกระดาษนั้น มักมีการเติมอนุภาค อนินทรีย์ (Inorganic matter) ที่ราคาไม่แพงมากนัก เพื่อเพิ่มน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ และเพิ่มสมบัติบางประการที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์หรือการนำไปใช้งาน หรือแม้กระทั่งเพื่อทัศนสมบัติ เช่น การเติมสารเพิ่มความขาวสว่าง การเพิ่มการกระจายแสง เป็นต้น อนุภาคสารมักมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยเยื่อ (อยู่ระหว่าง 0.2-10 ไมโครเมตร) อยู่ในโครงสร้างของกระดาษได้ดี

2. สมบัติความแข็งแรง (Strength properties)

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุที่มีสัดส่วนความหนาน้อยมากเมื่อเทียบกับความกว้างและความยาวของแผ่น ดังนั้นมักเป็นสมบัติความแข็งแรงที่อยู่ในแนวระนาบของแผ่นกระดาษโดยตรง โดยทั่วไปสมบัติความแข็งแรงของกระดาษสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.1 ความต้านแรงดันทะลุ (Bursting strength) เป็นความสามารถของกระดาษในการต้านแรงดันที่กระทำบนแผ่นกระดาษ โดยวัดค่าเป็นแรงดันที่ทำให้แผ่นตัวอย่างทะลุจนขาดได้มีหน่วยเป็น kg/cm^2 ความต้านแรงดันทะลุเกี่ยวข้องกับพันธะที่ยึดกันระหว่างเส้นใยแต่ละเส้น ถ้าแรงเกาะยึดมีค่าสูง กระดาษจะมีค่าความต้านแรงดันทะลุสูงขึ้น โดยทั่วไปกระดาษที่มีความหนาหรือน้ำหนักมาตรฐานมากมักมีความต้านแรงดันทะลุมากขึ้นตามไปด้วย ในการเปรียบเทียบกระดาษแต่ละชนิดที่มีความหนาหรือน้ำหนักมาตรฐานไม่เท่ากันจึงใช้ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ (Burst index) ซึ่งเป็นค่าความต้านแรงดันทะลุต่อน้ำหนักมาตรฐาน มีหน่วยเป็น $\text{kPa.m}^2/\text{g}$ เป็นตัวชี้วัด

2.2 ความต้านแรงดึง (Tensile strength) เป็นสมบัติความแข็งแรงพื้นฐานที่ใช้บ่งบอกความแข็งแรงที่แท้จริงของกระดาษ เกี่ยวข้องกับสมบัติของเส้นใยและความยาวของเส้นใย โดยทั่วไปกระดาษที่มีความหนามากขึ้นจะมีความต้านแรงดึงที่มากขึ้นตาม ในการเปรียบเทียบกระดาษสองชนิดจึงใช้ดัชนีความต้านแรงดึง (Tensile index) ซึ่งเป็นค่าความต้านแรงดึงต่อน้ำหนักมาตรฐาน มีหน่วยเป็น N.m/g เป็นตัวชี้วัด

2.3 ความต้านแรงฉีกขาด (Tear strength) ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยที่ใช้การผลิตกระดาษ รวมถึงกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตเป็นสำคัญ โดยทั่วไปกระดาษที่ใช้เยื่อเส้นใยยาวจะมีค่าความแข็งแรงต่อการฉีกขาดสูงกว่ากระดาษที่ผลิตจากเส้นใยสั้น ทั้งนี้เนื่องจากความแข็งแรงของกระดาษโดยพื้นฐานประกอบด้วยสองส่วนคือ ความแข็งแรงของเส้นใยเอง (Fiber strength) และความแข็งแรงของการเกิดพันธะเชื่อมตัวกันระหว่างเส้นใย (Internal bonding) เส้นใยที่ยาวย่อมมีโอกาสที่จะมีตำแหน่งการเกิดพันธะที่สูงกว่าเส้นใยที่สั้น หากความแข็งแรงของเส้นใยมีมากด้วยแล้ว กระดาษที่ผลิตขึ้นก็มีความแข็งแรงต่อการฉีกขาดมากยิ่งขึ้น กระดาษที่หนาหรือมีน้ำหนักมาตรฐานมากกว่าจึงมีแนวโน้มที่จะมีค่าความต้านแรงฉีกขาดที่สูงกว่า เพราะมีพื้นที่การเกิดพันธะระหว่างกันที่มากกว่า ในการเปรียบเทียบกระดาษแต่ละชนิดจึงมักใช้ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด (Tear index) ซึ่งเป็นค่าความต้านแรงฉีกขาดต่อน้ำหนักมาตรฐาน มีหน่วยเป็น $\text{mN.m}^2/\text{g}$ เป็นตัวชี้วัด

2.4 ความต้านแรงหักพับ (Folding endurance) มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงต่อการดึง ความยืดหยุ่น (Elasticity) และการยืดหยุ่นตัว (Elongation)

2.5 ความแข็งแรงที่ระยะการดึงเท่ากับศูนย์ (Zero-span tensile strength) เป็นการทดสอบความแข็งแรงที่มีอิทธิพลจากความแข็งแรงในส่วนของเส้นใยโดยตรง

2.6 ความแข็งแรงของผิวหน้า (Surface strength) เป็นคุณสมบัติของกระดาษที่จำเป็นเมื่อกระดาษนั้นถูกนำไปใช้ด้านบรรจุภัณฑ์ และการพิมพ์ รวมถึงใช้งานในลักษณะของการยัดติด

2.7 ความแข็งแรงตั้งฉากกับระนาบของแผ่น (z-Direction strength) เป็นการทดสอบกระดาษในด้านความแข็งแรงระหว่างเส้นใย มักใช้กับกระดาษที่ใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการแยกชั้นตามความหนาของแผ่นกระดาษ เนื่องมาจากการรับแรงเป็นหลัก

3. ทิศสมบัติ (Optical properties)

ทิศสมบัติของกระดาษที่สำคัญส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับงานพิมพ์ได้แก่ ความขาว (Whiteness) ความขาวสว่าง (Brightness) ความทึบแสง (Opacity) ความมันเงา (Gloss) เป็นต้น สมบัติเหล่านี้เกิดจากการปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) กระแทกกับวัตถุใดๆ แล้วสะท้อนไปสัมผัสประสาทรับรู้การมองเห็น และท้ายสุดคือการแปลผลของสมอง

4. สมบัติความแข็งตึง (Stiffness properties)

สมบัติความแข็งตึงของกระดาษนั้นมักคำนวณทดสอบหาความแข็งแรงต่อการดึงของกระดาษ สำหรับกระดาษหนา (Paperboard) อาจหาได้จากการทดสอบการดัดสถิต (Static bending test)

5. สมบัติทางโครงสร้าง (Structural properties)

สมบัติทางโครงสร้างของกระดาศที่สำคัญอันได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนาแน่น ความหนา หรือ ความฟู ล้วนมีอิทธิพลต่อสมบัติทางโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการยอมให้อากาศไหลผ่าน (Air permeability) ซึ่งสมบัติชนิดนี้มีความสำคัญต่อการนำไปใช้ในการเป็นภาชนะบรรจุประเภทผัก หรือ ผลไม้ รวมถึงอาหารต่างๆ และจากกระดาศเป็นวัสดุที่มีรูพรุนมาก (Highly porous material) ดังนั้นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการยอมให้อากาศไหลผ่านกระดาศก็คือความพรุน (Porosity) ในเนื้อกระดาศนั่นเอง ในโครงสร้างของกระดาศจะประกอบไปด้วยความพรุน 3 ชนิด อันได้แก่ รูพรุน (True pore) ที่มีกระจายตัวเชื่อมติดกันทั่วโครงสร้างของแผ่น รูที่ตื้น (Recesses) ซึ่งมีรูเปิดอยู่ที่ผิวหน้ากระดาศแล้วค่อยๆ ตื้นตันเมื่อความยาวของรูดังกล่าวอยู่ในโครงสร้างของแผ่น และช่องว่าง (Void) เป็นช่องว่างของอากาศที่กระจายตัวอยู่ในโครงสร้าง โดยมีลักษณะเชื่อมต่อกัน นอกจากความพรุนของกระดาศจะเกี่ยวข้องกับการยอมให้อากาศไหลผ่านแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับการดูดซับหมึกพิมพ์ การดูดซับน้ำยาเคลือบผิวกระดาศ และสำคัญต่อกรณีที่มีการนำกระดาศไปใช้ในการกรองทั้งที่เป็นอากาศและของเหลว

6. สมบัติของผิวหน้า (Surface properties)

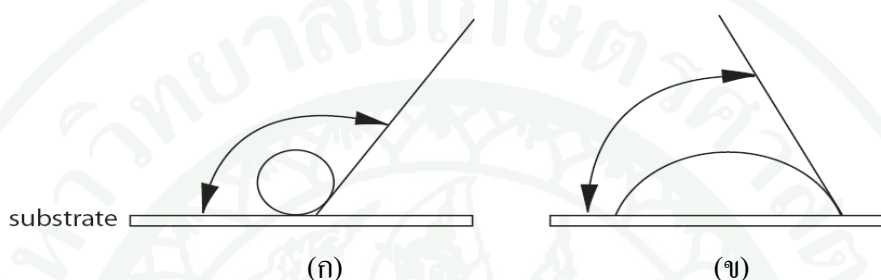
สมบัติของผิวหน้าของกระดาศที่มักคุ้น ได้แก่ ความเรียบ (Smoothness) ความมันเงา (Gloss) ความเสียดทาน (Friction) ความแข็งแรงของผิวหน้า (Surface strength)

7. สมบัติการดูดซึม (Absorption properties)

สมบัติการดูดซึมของเหลวของกระดาศที่พบเห็นได้บ่อยๆ และมีความสำคัญต่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้แก่ การดูดซึมน้ำ น้ำมัน และหมึกพิมพ์ การวัดค่าการดูดซึมน้ำมีความสำคัญในกระดาศบรรจุภัณฑ์ โดยใช้ตัวชี้วัดหลายวิธีได้แก่

7.1 ค่าการดูดซึมน้ำแบบคอบบ์ (Water absorption-Cobb method) เป็นค่าการดูดซึมน้ำหรือของเหลว ที่กระดาศดูดซึมไว้ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยมีหน่วยเป็น g/m^2 ซึ่งการดูดซึมของเหลวเข้าสู่กระดาศนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความแข็งแรงของกระดาศ (มาตรฐานอุตสาหกรรม, 2550)

7.2 ค่ามุมสัมผัส (Contact angle) เป็นวิธีการทดสอบการดูดซึมน้ำ โดยการวัดมุมที่ของเหลวสัมผัสกับผิวของวัสดุ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมบัติการเปียกของวัสดุชนิดนั้น หดที่มีมุมสัมผัสขนาดใหญ่จะไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มีการเปียก (Wettability) การยึดติด (Adhesion) และพลังงานผิว (Surface energy) ต่ำ ส่วนหยดที่มีมุมสัมผัส ขนาดเล็กจะมีความชอบ น้ำ (Hydrophilic) การเปียก การยึดติด และพลังงานผิวสูง (สุชาติ, 2551)



ภาพที่ 13 มุมสัมผัสที่หยดน้ำกระทำกับพื้นผิว (ก) ไม่มีการดูดซึม (ข) มีการดูดซึม

ที่มา: ดวงทิพย์ (2550)

8. สมบัติอื่นๆ ของกระดาษ (Other properties)

สมบัติอื่นๆ ของกระดาษที่สำคัญ ได้แก่ การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) การนำความร้อน (Thermal conductivity) การนำคลื่นเสียง (Acoustical conductivity) ความนุ่ม (Softness) ความแข็ง (Hardness) โดยมากสมบัติเหล่านี้มีผลต่อการนำไปใช้งานของกระดาษ ในกระดาษทางบรรจุภัณฑ์สมบัติเหล่านี้จะมุ่งเน้นในการรับแรงกระทำที่กระดาษจะได้รับ เช่น ความต้านแรงกดวงแหวน (Ring crush resistance) ซึ่งเป็นความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกดที่กระทำอย่างสม่ำเสมอบนขอบของชิ้นทดสอบ ที่นำมาโค้งงอเป็นวงแหวนด้วยเครื่องมือจับยึด จนกระทั่งชิ้นทดสอบเสียรูปทรง โดยมีหน่วยเป็น kN/m ค่าความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษในแนวขวาง เครื่องจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความต้านแรงกดกล่อง (Box compression strength test) ซึ่งเป็นคุณภาพที่จำเป็นต่อการกองเก็บเคลื่อนย้ายและขนส่งสินค้าบรรจุกล่องถูกผูก กระดาษที่จะนำมาทำกระดาษลอนลูกฟูกมักจำเป็นต้องได้รับการทดสอบเพื่อคุณสมบัตินี้ว่าเหมาะสมที่จะนำไปใช้หรือไม่ (มาตรฐานอุตสาหกรรม, 2550)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

- 1.1 กิ่งสบู่ดำ (*Jatropha curcus* Linn.) อายุ 1 ปี จากสถานีวิจัยพืชไร่นาสวนวนจากกสิกิจ
- 1.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมีและสัณฐานเส้นใย
- 1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH)
- 1.4 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
- 1.5 กรดซัลฟิวริก เข้มข้นร้อยละ 97 (Merck, ประเทศเยอรมนี)
- 1.6 โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
- 1.7 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
- 1.8 ไดโซเดียมออกซาเลต (Disodium oxalate) (Carlo Erba, ประเทศอิตาลี)
- 1.9 โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
- 1.10 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate) (Carlo Erba, ประเทศอิตาลี)
- 1.11 น้ำแข็ง
- 1.12 อัลคิลคีตินไดเมอร์ (Alkyl ketene dimer, AKD) ชื่อทางการค้า EKA DR D10 บริษัท Eka Chemicals (Thailand) Co.,Ltd. ความหนาแน่น $997 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ ปริมาณของแข็งร้อยละ 12.5 ± 0.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.0 ถึง 4.0
- 1.13 แคตไอออนิกสตาร์ช (Cationic Starch) ชื่อทางการค้า TAPLINK-3, มันสำปะหลังพัฒนาจำกัด, ประเทศไทย ความชื้นร้อยละ 11.56 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.24 องค์การแทนที่ 0.0035
- 1.14 สารพอลิเมอร์ 3 ชนิด เพื่อการปรับสภาพน้ำและช่วยการยึดเกาะของอัลคิลคีตินไดเมอร์ บริษัท Eka Chemicals (Thailand) Co., Ltd. ชื่อทางการค้า NP882, PL1510 และ ATC8510

2. อุปกรณ์

- 2.1 เครื่องสกัดสารแทรก (Soxlet fat extractor)
- 2.2 เครื่องระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam explosion)
- 2.3 เครื่องบดเยื่อแบบงานบด (High consistency refiner) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.4 เครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยง (Centrifugal separators) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.5 เครื่องกระจายเยื่อ (Disintegrator) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.6 เครื่องทดสอบความเป็นอิสระเยื่อ (Canadian standard freeness tester) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.7 เครื่องขึ้นรูปกระดาษ (Handsheet former) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.8 เครื่องกดรีดน้ำ (Hydraulic pressing) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.9 เครื่องอบกระดาษแบบหมุน (Rotary dryer DR-200) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.10 เครื่องวัดความหนา (Digital micrometer for sheet thickness) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.11 เครื่องวัดค่าความต้านแรงฉีกทะลุ (Burst strength measurement) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.12 เครื่องวัดค่าความต้านต่อแรงดึง (Schopper tensile tester) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.13 เครื่องวัดค่าความต้านต่อการฉีกขาด (Elmendorff tearing tester) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.14 เครื่องทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน (Testometric micro 350, England)
- 2.15 ชุดเครื่องมือศึกษาการดูดซึมน้ำ (Cobb sizing test method)
- 2.16 เครื่องวัดมุมสัมผัส (OCA 15EC, Dataphysics, Germany)
- 2.17 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (WTC binder, ประเทศอิตาลี)
- 2.18 เครื่องตัดแผ่นชิ้นทดสอบ (Test specimen cutter) (Kumagai riki kogyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.19 กล้องวัดขนาดเส้นใย
- 2.20 เดซิเคเตอร์ (Desicator)

- 2.21 เครื่องย่อยชิ้นไม้สับทางการเกษตร
- 2.22 ตะแกรงคัดขนาดชิ้นไม้สับขนาด 0.5 เซนติเมตร
- 2.23 ตะแกรงคัดขนาดชิ้นไม้สับขนาด 2 เซนติเมตร
- 2.24 ตะแกรงคัดขนาดเยื่อขนาด 200 เมช
- 2.25 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Shimadzu BX300, Japan)
- 2.26 หม้อเสตนเลสสำหรับต้มไม้

วิธีการ

1. เตรียมชิ้นไม้สับจากกิ่งสบูดำ

1.1 นำกิ่งสบูดำที่ได้จากการสุ่มเก็บในแปลงที่ทำการตัดฟันหลังการเก็บเกี่ยว มาตัดให้ได้ขนาดประมาณ 1 ฟุต ก่อนจะลวกด้วยน้ำร้อนประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อกำจัดสารระเหยได้

1.2 นำกิ่งสบูดำที่ผ่านขั้นตอนแรก เข้าเครื่องย่อยชิ้นไม้ ก่อนผึ่งให้แห้งในบรรยากาศเพื่อย่อยทำชิ้นไม้สับให้ได้ขนาดสม่ำเสมอ

1.3 คัดขนาดชิ้นไม้สับโดยใช้ตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 เซนติเมตร โดยใช้ขนาดชิ้นไม้สับที่ผ่านตะแกรง 2 เซนติเมตร แต่ค้ำบนตะแกรง 0.5 เซนติเมตร

1.4 นำชิ้นไม้สับที่ผ่านการคัดขนาดแล้ว หาความชื้น และทำการบรรจุใส่ถุงๆ ละ 200 กรัม (น้ำหนักแห้ง)

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติกายวิภาคของกิ่งสบูดำ

2.1 สุ่มตัวอย่างวัตถุดิบ 10 ถุง ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 เมช นำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

2.1.1 การละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน (Alcohol-benzene solubility) ตามมาตรฐาน TAPPI T204

2.1.2 การละลายในแอลกอฮอล์ (Alcohol solubility) ตามมาตรฐาน TAPPI T264

2.1.3 การละลายในน้ำร้อน (Hot water solubility) ตามมาตรฐานการทดสอบ TAPPI T207

2.1.4 การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 ตามมาตรฐาน TAPPI T212

2.1.5 ปริมาณขี้เถ้า (Ash) ตามมาตรฐาน TAPPI T211

2.1.6 ปริมาณโฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) วิเคราะห์ตามวิธี Acid chlorite ของ Browning (1967)

2.1.7 ปริมาณลิกนิน (Lignin) ตามมาตรฐาน TAPPI T222

2.1.8 ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) ตามมาตรฐาน TAPPI T203

2.1.9 ปริมาณเพนโทแซน (Pentosan) ตามมาตรฐาน TAPPI T223

2.2 สุ่มตัวอย่างชิ้นไม้สับ เพื่อหาสมบัติทางกายวิภาคเส้นใยตามวิธีของ Franklin (1937)

2.2.1 ความยาวเส้นใย (Fiber length)

2.2.2 ความกว้างเส้นใย (Fiber width)

2.2.3 ลูเมน (Lumen)

2.2.4 ความหนาผนังเซลล์ (Thickness of cell wall)

3. ผลผลิตเยื่อ

3.1 นำชิ้นไม้สับที่เตรียมแล้ว มาผ่านเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำ เพื่อแยกเนื้อไม้ที่ระดับความรุนแรงต่างกันโดยใช้ความดัน 0, 13, 15, 17, 19 และ 21 kg/cm² เป็นเวลา 3 นาที เก็บชิ้นตัวอย่างที่ได้โดยใช้ตะแกรง 200 เมช

3.2 หาผลผลิตเยื่อที่ได้หลังผ่านกระบวนการ

ตารางที่ 2 ความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำ

ปัจจัยที่ศึกษา	ความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำ					
ระดับความดันที่ใช้ (kg/cm ²)	0	13	15	17	19	21
ปริมาณเชื้อแห้ง (กรัมแห้ง)	200	200	200	200	200	200
เวลา (นาท)	3	3	3	3	3	3

3.3 นำไม้ที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำมาชั่งน้ำหนัก 150 กรัม (น้ำหนักแห้ง) เพื่อทำการหาภาวะการบดเชื้อต่อไป

3.4 แช่วัสดุด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักเชื้อแห้ง โดยอัตราส่วนน้ำต่อเชื้อเท่ากับ 1 ต่อ 10 อุณหภูมิในการแช่ที่ระดับ 90-100 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาถึงอุณหภูมิสูงสุด (Time to max) 15 นาที และเวลาที่อุณหภูมิสูงสุด (Time at max) 1 ชั่วโมง

3.5 เมื่อทำการปฏิบัติต่อเชื้อครบตามเวลา นำเชื้อที่ได้เข้าเครื่องบดเชื้อแบบจาน โดยใช้ระยะห่างระหว่างฟันที่ 0.05 มิลลิเมตร ทำการบดซ้ำ 3 ครั้งขณะที่เชื้อยังคงมีอุณหภูมิสูง โดยควบคุมปริมาณเชื้อต่อน้ำให้อยู่ที่ระดับ 1 ต่อ 10 ส่วน

3.6 เก็บตัวอย่างเชื้อที่ได้จากการผ่านเครื่องโดยใช้ตะแกรงขนาด 200 เมช ล้างน้ำให้สะอาด เพื่อยุติการทำปฏิกิริยาของโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.7 หาปริมาณผลผลิตเชื้อที่ได้

ตารางที่ 3 การปฏิบัติต่อเยื่อด้วยสารเคมีและความร้อนก่อนทำการบด

ปัจจัยศึกษา	ภาวะในการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดัน 0, 13, 15, 17, 19, 21 (kg/cm ²) เวลา 3 นาที			
	0	5	10	15
ระดับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ)	0	5	10	15
ปริมาณเยื่อแห้ง (กรัมแห้ง)	150	150	150	150
อัตราส่วนเยื่อแห้งต่อน้ำ	1:10	1:10	1:10	1:10
เวลาถึงอุณหภูมิสูงสุด (นาที)	15	15	15	15
เวลาที่อุณหภูมิสูงสุด (นาที)	60	60	60	60
อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)	105	105	105	105
รอบการบดเยื่อ (รอบ)	3	3	3	3
ระยะระหว่างจานบด (มิลลิเมตร)	0.05	0.05	0.05	0.05

3.8 นำเยื่อที่ได้จากการบดหาค่าความอิสระของเยื่อ (Freeness) ตามมาตรฐานการทดสอบ TAPPI T227 และขึ้นเป็นแผ่นทดสอบ ตามมาตรฐานการทดสอบ TAPPI T205

3.9 นำเยื่อที่ได้จากการบดสุ่มตัวอย่างหาค่าคัปปาตามมาตรฐาน TAPPI T236 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณลิกนินในเยื่อ

3.10 คัดเลือกภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเยื่อ โดยใช้ปัจจัยชี้วัดดังนี้

3.10.1 ปริมาณผลผลิตเยื่อซึ่งอยู่ระหว่างร้อยละ 60-80

3.10.2 ค่าความอิสระของเยื่อ ประมาณ 300 มิลลิลิตร

3.10.3 ลักษณะพื้นฐานอื่นๆ ของเยื่อ เช่น ความยากง่ายในการขึ้นรูปแผ่น ความคล้ำ

ของเยื่อ

4. คัดเลือกภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารกันซึมต่อคุณสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบ

4.1 เลือกเยื่อจากภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนก่อนหน้า ผลิตเยื่อที่ภาชนะนั้นเพื่อศึกษาอิทธิพลโดยใช้อัลคิลคีติน ไคเมอร์ ระดับความเข้มข้นสารที่ร้อยละ 0, 0.5, 1 และ 2 กรัมต่อน้ำหนักเยื่อแห้งและแคตไอออนิกสตาร์ช ระดับความเข้มข้นที่ร้อยละ 0, 0.5, 1 และ 2 กรัมต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง

5. ขึ้นรูปและวิเคราะห์สมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบ

5.1 ชั่งน้ำหนักเยื่อตามปริมาณที่คำนวณในการทำแผ่นทดสอบ ก่อนนำเยื่อไปกระจายในเครื่องกระจายเยื่อเป็นเวลา 5 นาที โดยรักษาอุณหภูมิขณะทำการทดสอบที่ 25 องศาเซลเซียส เมื่อครบทำการปิดเครื่องกระจายเยื่อ

5.2 เตรียมสารพอลิเมอร์ทั้งสามชนิดได้แก่ NP882, PL1510 และ ATC8510 ปริมาณ 200 ppm สำหรับเติมระหว่างการขึ้นรูปแผ่นทดสอบเพื่อเพิ่มการตกค้างของสารบนเยื่อรวมถึงช่วยปรับสภาพน้ำและเส้นใยให้เหมาะสมในการสานตัว จากนั้นเปิดเครื่องกระจายเยื่ออีกครั้งทำการใส่สารตามลำดับขั้นและระยะเวลาที่กำหนด ทำการใส่อัลคิลคีติน ไคเมอร์แล้วเริ่มจับเวลาเป็นวินาทีที่ 0 เมื่อถึงวินาทีที่ 15 เติม ATC8510 วินาทีที่ 20 เติมแคตไอออนิกสตาร์ช วินาทีที่ 30 เติม PL1510 และวินาทีที่ 45 เติม NP882 จากนั้นกระจายเยื่อต่อจนครบ 1 นาที

5.3 เทเยื่อที่กระจายแล้วในถัง จากนั้นขึ้นรูปแผ่นทดสอบที่น้ำหนักมาตรฐาน 80 g/m² ด้วยเครื่องขึ้นรูปแผ่นทดสอบ เพื่อศึกษาคุณสมบัติความแข็งแรงที่มีผลจากปริมาณการใช้สารอัลคิลคีติน ไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช

5.4 นำแผ่นทดสอบที่ขึ้นรูปได้ผ่านเครื่องกดเพื่อรีดน้ำออกเป็นเวลา 5 นาที

5.5 นำแผ่นทดสอบที่รีดน้ำหมาดก่อนเข้าเครื่องอบกระดาศอุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส อบจนแผ่นทดสอบแห้ง

5.6 นำแผ่นทดสอบที่ได้ เข้าสู่รักษาความชื้น ก่อนทำการทดสอบสมบัติมาตรฐาน สมบัติความแข็งแรง ทศนสมบัติ สมบัติการต้านทานน้ำ และลักษณะพื้นผิวต่อไป

5.6.1 เตรียมชิ้นตัวอย่างก่อนทำการทดสอบ ตามมาตรฐาน TAPPI T205

5.6.2 หาสมบัติมาตรฐาน (Basic properties)

- ก. ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามมาตรฐาน ISO 287
- ข. น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight) ตามมาตรฐาน TAPPI T205
- ค. ความหนา (Thickness) ตามมาตรฐาน TAPPI T205
- ง. ความหนาแน่น (Density) ตามมาตรฐาน TAPPI T205

5.6.3 สมบัติความแข็งแรง (Strength properties) และทัศนสมบัติ (Optical properties)

- ก. ความต้านแรงฉีกขาด (Bursting strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T403
- ข. ความต้านแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T494
- ค. ความต้านแรงฉีกขาด (Tear strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T414
- ง. ความต้านแรงกดวงแหวน (Ring crush resistance) ตามมาตรฐาน TAPPI

T818

- จ. ค่าความขาวสว่าง (Brightness) และค่าความทึบแสง (Opacity) ตามมาตรฐาน

TAPPI T452

5.6.4 สมบัติการต้านทานน้ำ (Absorption properties)

- ก. ค่าการดูดซึม (Cobb test) TAPPI T441
- ข. ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (Contact angle) ตามมาตรฐาน ASTM D 5946-04

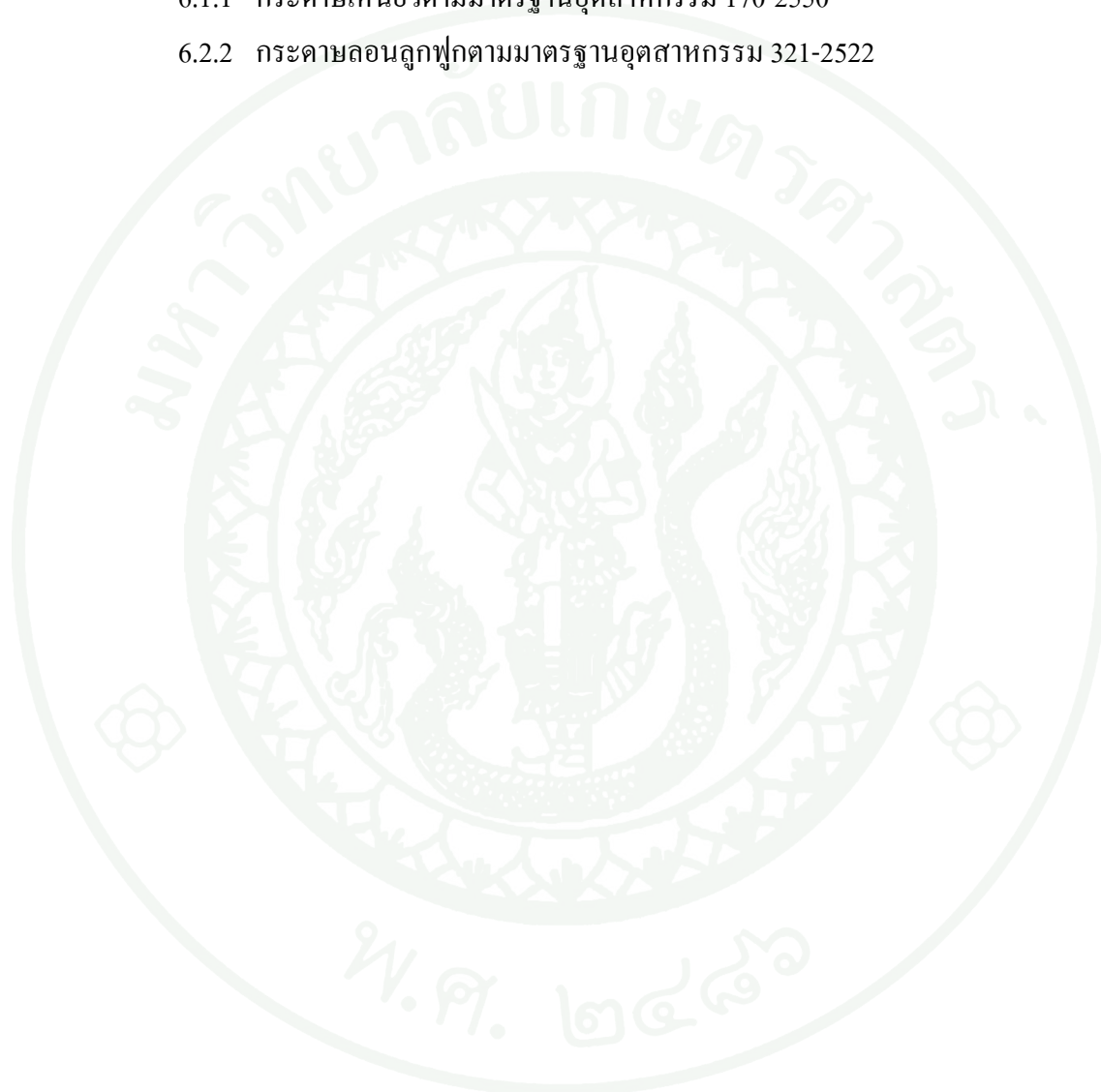
5.6.5 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นทดสอบเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

6. เปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่ได้กับกระดาศที่ใช้งานทางบรรจุภัณฑ์

6.1 นำแผ่นทดสอบที่ได้เปรียบเทียบกับกระดาศที่ใช้ทางบรรจุภัณฑ์ได้แก่

6.1.1 กระดาศเหนียวตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 170-2550

6.2.2 กระดาศลอนลูกฟูกตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 321-2522



ผลและวิจารณ์

1. องค์ประกอบทางเคมีของกิ่งสับดำ

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกิ่งสับดำ โดยแยกวิเคราะห์ในส่วนของเนื้อไม้ สับดำ (Wood) ส่วนที่เป็นเปลือกสับดำ (Bark) และส่วนที่เป็นกิ่ง (Branch) ที่ได้จากการลิดกิ่งทั้ง เนื้อไม้ และเปลือกรวมกัน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีมีความแตกต่างกันตามตารางที่ 4

ผลการวิเคราะห์การละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน การละลายในแอลกอฮอล์ การละลายใน น้ำร้อนและปริมาณเถ้า ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณสารแทรกที่กระจายตัวในไม้พบว่าในส่วนที่เป็นเปลือก มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 5.23 1.19 27.31 และ 10.70 มากกว่าในเนื้อไม้ซึ่งมีค่าร้อยละ 6.08 6.45 11.58 และ 2.00 โดยการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีนแสดงถึงปริมาณสารแทรกที่ไม่ระเหยในไม้ และเป็นสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น จี๊ฟซีไขมันและชัน ส่วนการละลายใน แอลกอฮอล์และการละลายในน้ำร้อนเป็นปริมาณสารแทรกจำพวกกัม แทนนิน และแป้ง ค่าลิกนิน ในตารางเป็นปริมาณลิกนินที่ไม่ละลายในกรดพบว่าในเปลือกมีปริมาณลิกนิน 18.79 ต่ำกว่าใน เนื้อไม้ที่มีปริมาณร้อยละ 21.53 ค่าการละลายในด่างร้อยละ 1 ในเปลือกมีค่าร้อยละ 41.85 มากกว่า ในเนื้อไม้ที่มีค่าร้อยละ 23.13 ซึ่งค่าการละลายในด่างร้อยละ 1 นี้แสดงถึงสารประเภทเฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสที่ถูกทำลายโดยการไฮโดรไลซ์ โดยเป็นบอการสูญเสียในระหว่างกระบวนการผลิต และยังเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงและสมบัติอื่นๆของเยื่อ ในส่วนค่าไฮโดรเซลลูโลสพบว่าในเปลือก มีค่าร้อยละ 89.20 มากกว่าในเนื้อไม้ซึ่งมีค่าร้อยละ 73.36 ค่าไฮโดรเซลลูโลสนี้แสดงปริมาณของ เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในเนื้อไม้ บ่งบอกความสามารถในการนำเอาไม้ส่วนนี้ไปใช้ในการผลิต กระดาษ (ปรีชา, 2526) ค่าแอลฟาเซลลูโลสและเพนโตแซนพบว่าในเปลือกมีค่าร้อยละ 69.95 และ 8.63 ในส่วนของเนื้อไม้ที่มีค่าร้อยละ 50.41 และ 21.71 พบว่าปริมาณแอลฟาเซลลูโลสอยู่ในระดับ ที่สูงนี้ส่งผลให้ผลิตเยื่อที่ได้มีปริมาณสูงในและปริมาณเพนโตแซนที่มากสามารถช่วยเพิ่ม คุณสมบัติความต้านแรงดันทะลุ และความต้านแรงหักพับได้ (วิวัฒน์, 2552)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบข้างต้นพบว่าในส่วนของเปลือกและเนื้อไม้สามารถใช้ผลิต เป็นเยื่อได้จากปริมาณไฮโดรเซลลูโลสที่สูง งานวิจัยนี้จึงทำการใช้ประโยชน์จากทั้งส่วนของเปลือก และเนื้อไม้เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้สับดำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของกิ่งสนุ่นดำ

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าที่วัดได้ (ร้อยละ น้ำหนักของเชื้อแห้ง)		
	เปลือกสนุ่นดำ	เนื้อไม้สนุ่นดำ	กิ่งสนุ่นดำ
การละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน	5.23	6.08	2.28
การละลายในแอลกอฮอล์	1.19	0.45	1.47
การละลายในน้ำร้อน	27.31	11.58	8.78
การละลายในด่างร้อยละ 1	41.85	23.13	33.84
ปริมาณเถ้า	10.70	2.00	6.13
ไฮโดรเซลลูโลส	89.20	73.36	75.37
ลิกนิน	18.79	21.53	24.11
แอลฟาเซลลูโลส	69.95	50.41	57.06
เพนโตแซน	8.63	21.17	19.11

2. สมบัติกายวิภาคของเชื้อจากกิ่งสนุ่นดำ

เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายวิภาคจากตารางที่ 5 พบว่าเส้นใยในส่วนของเปลือกสนุ่นดำ (Bark) ความยาวเส้นใย 5.23 มิลลิเมตร ความกว้าง 29.17 ไมโครเมตร ความกว้างลูเมน 22.48 ไมโครเมตร ความหนาผนังเซลล์ 3.35 ไมโครเมตร ค่าเหล่านี้สามารถจัดเส้นใยของเปลือกสนุ่นดำเป็นประเภทเส้นใยยาวเช่นเดียวกับปอ ฝ้าย สน และไม้เส้นใยยาวอื่นๆ โดยเซลล์ส่วนใหญ่ในส่วน of เปลือกเป็นเซลล์เส้นใยยาว ลักษณะเรียวยาวแหลมหัวท้าย ผนังเซลล์บาง เมื่อนำมาทำกระดาษจะได้ลักษณะกระดาษที่แข็งแรงและเรียบเนื่องจากเส้นใยประสานตัวทำได้ดี ในขณะที่เส้นใยในส่วน of เนื้อไม้ (Wood) นั้นมีความยาวเพียง 0.66 มิลลิเมตร ความกว้าง 25.67 ไมโครเมตร ความกว้างลูเมน 22.48 ไมโครเมตร ความหนาผนังเซลล์ 3.35 ไมโครเมตร จัดเป็นไม้เส้นใยสั้น ในส่วนของเนื้อไม้พบว่ามีสัดส่วนใกล้เคียงกับเส้นใยจากไม้ *Trimbling aspen* (Wanrosli *et al.* 2006) ซึ่งเป็นไม้เส้นใยสั้น เมื่อทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าในเนื้อไม้ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเซลล์เส้นใยสั้น ซึ่งมีลักษณะเป็นแหลมหัวท้ายผนังเซลล์บาง เมื่อนำมาทำกระดาษจะให้ค่าความแข็งแรงที่ต่ำ (Anonymous, 1937)

เมื่อพิจารณาสัดส่วนรังเคิล (Runkel ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของสองเท่าของความหนาผนังเซลล์ต่อความกว้างของลูเมน ซึ่งสัดส่วนรังเคิลที่สูงจะแสดงถึงความคงรูป ความฟูของเส้นใย และการยุบตัวของเส้นใยที่น้อย ทำให้การสานพันธะระหว่างเส้นใยเกิดได้ไม่ดี พบว่าในส่วนของเปลือกเท่ากับ 0.30 ในขณะที่เนื้อไม้เท่ากับ 0.40 นั้น ซึ่งสูงกว่า แสดงถึงเส้นใยในเนื้อไม้มีความคงรูปความฟู ที่มากกว่าและการยุบตัวของเส้นใยเกิดขึ้นได้น้อยกว่าส่วนที่เป็นเปลือก

ค่าประสิทธิภาพความอ่อนตัว (Flexibility coefficient) เป็นอัตราส่วนความกว้างของลูเมนต่อเส้นความกว้างเส้นใย บ่งบอกถึงความสามารถในการรับแรงและกระจายแรงของเส้นใยเมื่อได้รับแรงกระทำหรือสมบัติเชิงกลต่างๆ พบว่าในส่วนของเนื้อไม้สับุดามีประสิทธิภาพความอ่อนตัวเท่ากับ 0.71 ซึ่งน้อยกว่าเปลือกสับุดามีค่า 0.77

ค่าสัดส่วนความชะลูด (Slenderness ratio) หรืออัตราส่วนความชะลูด เป็นอัตราส่วนของความยาวของเส้นใยต่อความกว้าง ซึ่งบ่งบอกลักษณะเส้นใยว่ามีลักษณะเช่นไร ในส่วนของเปลือกสับุดามีค่าสัดส่วนความชะลูดเท่ากับ 179.26 สูงกว่าในส่วนของเนื้อไม้ที่มีค่าเพียง 25.62 นั้นแสดงให้เห็นว่าในส่วนของเปลือกมีโอกาสที่จะเกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้สูงตามไปด้วย ซึ่งส่งผลต่อค่าความต้านแรงฉีกขาด

ค่าเศษชิ้นส่วนผนังเซลล์ (Wall fraction) ส่วนนี้จะช่วยในการสานการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยแต่หากมีมากเกินไปก็เป็นการขัดขวางการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ พบว่าเส้นใยที่มีเศษชิ้นส่วนผนังเซลล์น้อยกว่าร้อยละ 40 เหมาะสมในการนำไปทำกระดาษต่อไป (วิชัญห์ และคณะ, 2549)

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายวิภาคแม้พบว่าเส้นใยที่ได้จากเปลือกมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเส้นใยที่ได้จากส่วนของเนื้อไม้ หากแต่เส้นใยในส่วนของเนื้อไม้มีปริมาณมากกว่ามาก สามารถช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตเชื้อและเพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากกิ่งสับุดำสูงสุด งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ทั้งในส่วนที่เป็นเปลือกและเนื้อไม้

ตารางที่ 5 สมบัติทางกายวิภาคของเส้นใยจากกิ่งสนุ่นดำ

สมบัติทางกายวิภาคของเยื่อสนุ่นดำ	สนุ่นดำ		Trimbling aspen
	เปลือก	เนื้อไม้	
ความยาว (มิลลิเมตร)	5.23	0.66	0.73
ความกว้าง (ไมโครเมตร)	29.17	25.70	20.80
ลูเมน (ไมโครเมตร)	22.48	18.37	16.94
ความหนาผนังเซลล์ (ไมโครเมตร)	3.35	3.67	1.93
สัดส่วนรังเคิล	0.30	0.40	0.23
ประสิทธิภาพความอ่อนตัว	0.77	0.71	0.81
สัดส่วนความชะลูด	179.26	25.62	35.10
เศษชิ้นส่วนผนังเซลล์ (ร้อยละ)	22.94	28.53	18.56

ที่มา: Wanrosli *et al.* (2006)

3. การผลิตเยื่อ

3.1 การศึกษาภาวะการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับการแช่ด้วยอัลคาไลน์ต่อปริมาณผลผลิตเยื่อ

กิ่งสนุ่นดำที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำพบว่าความดันแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิ ดังตารางที่ 6 ซึ่งทั้งอุณหภูมิและเวลาส่งผลต่อคุณภาพเยื่อที่ได้ จึงได้นำปัจจัยทั้งสองส่วนมาคำนวณตามสมการที่ 1 เพื่อหาปัจจัยร่วมในรูปแบบของระดับความรุนแรงที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ (Severity factor, $\text{Log}_{10}R_0$) (Viola *et al.*, 2008)

ตารางที่ 6 การแปลงปัจจัยการระเบิดด้วยไอน้ำเป็นระดับความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำ

การระเบิดด้วยไอน้ำ			ความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำ $\text{Log}_{10} R_0$
ความดัน (kg/cm^2)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
0	3	-	0 (ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ)
13	3	196.25±0.86	3.31
15	3	200.94±1.06	3.45
17	3	205.13±0.72	3.57
19	3	209.19±0.54	3.69
21	3	213.31±0.70	3.81

กึ่งสบูดำที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรง 0, 3.31, 3.45, 3.57, 3.69 และ 3.81 ได้ปริมาณผลผลิตเชื้อเท่ากับร้อยละ 100, 94.38, 92.22, 90.80, 89.12 และ 83.59 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) เมื่อดูจากองค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4) เป็นไปได้ว่าส่วนที่หายไปน่าจะเป็นส่วนเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ระหว่างชั้นมิดเดิลลามาเมลลา และผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิถูกความร้อนละลายออกไปรวมถึงเศษเส้นใยที่มีอนุพันธ์เซลลูโลสขนาดเล็ก ระดับความร้อนที่สูงขึ้นการละลายก็มากขึ้นตามลำดับ ลักษณะเชื้อที่ได้มีสีคล้ำมากขึ้น ปริมาณส่วนคัดทิ้ง (Reject) หรือส่วนที่ไม่เป็นเชื้อน้อยลง มีความแตกตัวออกเป็นเชื้อได้ดีขึ้น

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของระดับการแช่ด้วยอัลคาไลน์ 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ก่อนทำการบดเชื้อปรากฏรายละเอียดในตารางที่ 7 พบว่า ปริมาณผลผลิตเชื้อลดลงตามระดับอัลคาไลน์ที่เพิ่มขึ้นโดยความรุนแรงระดับ 0, 3.31, 3.45, 3.57, 3.69 และ 3.81 โดยเมื่อทำการแช่ด้วยอัลคาไลน์ร้อยละ 0 จะให้ผลผลิตเชื้อเท่ากับ 95.79, 71.73, 70.13, 71.12, 69.49 และ 68.61 37 เมื่อทำการแช่ด้วยอัลคาไลน์ร้อยละ 5 จะให้ผลผลิตเชื้อเท่ากับ 88.15, 65.05, 65.23, 63.35, 64.54 และ 62. เมื่อทำการแช่ด้วยอัลคาไลน์ร้อยละ 10 จะให้ผลผลิตเชื้อเท่ากับ 76.86, 58.57, 58.36, 55.13, 57.49 และ 54.99 เมื่อทำการแช่ด้วยอัลคาไลน์ร้อยละ 15 จะให้ผลผลิตเชื้อเท่ากับ 74.55, 55.63, 54.73, 52.68, 51.48 และ 52.01 ตามลำดับ

สรุปได้ว่าความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำส่งผลให้มีการลดลงของปริมาณผลผลิตเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.81 ให้ผลผลิตของเชื้อต่ำที่สุดร้อยละ 83.59 ส่วนอิทธิพลของระดับการแช่ด้วยอัลคาไลน์ต่อผลผลิตเชื้อพบว่าที่ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ส่งผลให้ผลผลิตเชื้อต่ำสุดเช่นกัน นอกจากนั้นผลผลิตเชื้อและสภาพความสมบูรณ์ของเชื้อที่ความรุนแรงของการระเบิดด้วยไอน้ำที่สูงเกิน 3.69 เชื้อที่ได้มีความแตกหักเสียหาย มีสีคล้ำไหม้ ซึ่งเป็นผลจากความรุนแรงที่สูงในการระเบิดด้วยไอน้ำ (Montane *et al.*, 1995)

ตารางที่ 7 ผลผลิตเชื้อในสปีดค่าที่ความรุนแรงของการระเบิดด้วยไอน้ำ

ความรุนแรง การระเบิดด้วยไอน้ำ $\text{Log}_{10} R_0$	หลังการระเบิด ด้วยไอน้ำ	ผลผลิตเชื้อ (ร้อยละ)			
		หลังการบด (ระดับการใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ)			
		0	5	10	15
0	-	95.79 $\pm$ 2.50 ^{dD}	88.15 $\pm$ 0.26 ^{cC}	76.86 $\pm$ 0.36 ^{cB}	74.55 $\pm$ 0.29 ^{dA}
3.31	94.38 $\pm$ 1.99 ^{eE}	71.73 $\pm$ 1.93 ^{cD}	65.05 $\pm$ 2.45 ^{bC}	58.57 $\pm$ 0.99 ^{bB}	55.63 $\pm$ 4.28 ^{cA}
3.45	92.22 $\pm$ 1.73 ^{dE}	70.13 $\pm$ 0.90 ^{abD}	65.23 $\pm$ 1.79 ^{bC}	58.36 $\pm$ 0.27 ^{bB}	54.73 $\pm$ 0.81 ^{cA}
3.57	90.80 $\pm$ 4.19 ^{cE}	71.12 $\pm$ 2.81 ^{bcD}	63.35 $\pm$ 2.80 ^{aC}	55.13 $\pm$ 2.81 ^{abB}	52.68 $\pm$ 2.81 ^{abA}
3.69	89.12 $\pm$ 2.68 ^{bE}	69.49 $\pm$ 1.05 ^{aD}	64.54 $\pm$ 3.18 ^{bC}	57.49 $\pm$ 0.73 ^{bB}	51.48 $\pm$ 2.13 ^{aA}
3.81	83.59 $\pm$ 6.83 ^{aE}	68.61 $\pm$ 1.14 ^{aD}	62.37 $\pm$ 9.10 ^{aC}	54.99 $\pm$ 3.90 ^{abB}	52.01 $\pm$ 3.38 ^{abA}

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-E} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 การศึกษาความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับการใช้อัลคาไลน์ต่อความอิสระเชื้อ

ความรุนแรงของการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับอัลคาไลน์ ส่งผลโดยตรงต่อค่าความอิสระเชื้อดังตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาที่ความรุนแรงที่เชื้อได้รับเท่ากัน การเพิ่มปริมาณอัลคาไลน์ทำให้เชื้อมีค่าความอิสระมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากอัลคาไลน์ไปละลายเฮมิเซลลูโลสที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ในโครงสร้าง รวมถึงละลายเอาเศษเส้นใยที่มีอนุพันธ์เซลลูโลสขนาดเล็ก ออกไปจากโครงสร้างรวมถึงลิกนินบางส่วน ทำให้ไม่มีเศษเส้นใยเล็กๆ เกาะเกี่ยวกันเพื่ออุ้มน้ำไว้ น้ำไหลผ่านได้มาก ปริมาณน้ำที่ไหลจากช่องเปิดด้านข้างจึงมากขึ้น ค่าความอิสระเชื้อจึงมีค่าสูง ภาพที่ 14

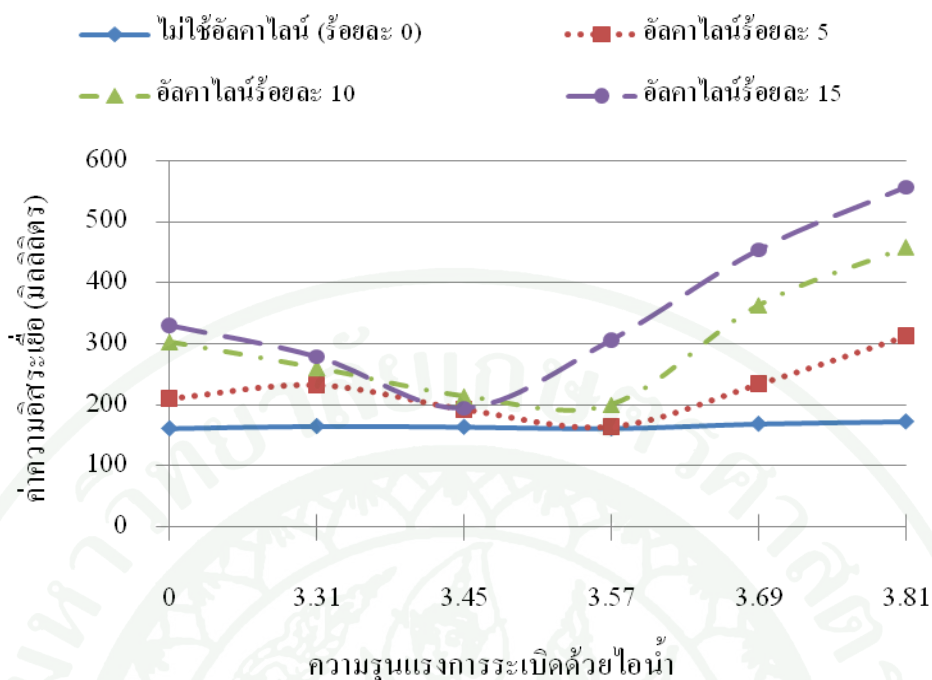
เปรียบเทียบค่าความอิสระเชื่อต่อความรุนแรงในการระเบิดด้วยไอน้ำ และภาพที่ 15 เปรียบเทียบค่าความอิสระเชื่อต่อระดับการใช้แอลคาไลน์ พบว่าค่าความอิสระเชื่อมีแนวโน้มลดลงในช่วงแรกอธิบายได้ว่าการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรงต่ำนั้นส่งผลให้โครงสร้างของเนื้อไม้เกิดการเปิดตัวและแอลคาไลน์ที่ใช้สามารถทำให้ผนังเส้นใยเกิดการพองตัวขึ้น แดกแขนงเป็นพันธะ มีการสานตัวกันเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ดี น้ำไหลออกช้าๆ ทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านช่องเปิดด้านข้างน้อยลง ค่าความอิสระเชื่อจึงมีค่าน้อยลง อย่างไรก็ตามพบว่าระดับการใช้แอลคาไลน์ที่ร้อยละ 0 มีการลดลงของค่าความอิสระเชื่อเพียงเล็กน้อย แต่ในที่ใช้ระดับการใช้แอลคาไลน์ที่สูงขึ้น สามารถทำให้ค่าความอิสระเชื่อลดลงได้มากขึ้น เมื่อถึงจุดหนึ่งค่าความอิสระเชื่อจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความรุนแรงที่มากขึ้น เกิดจากในความรุนแรงที่มากขึ้นไปนั้นเส้นใยได้เกิดการแตกหรือโดนทำลายกลายเป็นเศษเส้นใยเล็กๆ ในขณะที่ทำการระเบิดด้วยไอน้ำแอลคาไลน์ไม่สามารถทำให้เส้นใยเกิดการพองตัวได้อีก แต่แอลคาไลน์กลับไปตัดพันธะหรือเศษเส้นใยเหล่านั้นให้ลดลงการอุ้มน้ำจากเศษเส้นใยเหล่านี้จึงลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้ระดับน้ำไหลผ่านได้เร็ว ปริมาณน้ำไหลผ่านช่องเปิดด้านข้างมากค่าความอิสระเชื่อจึงสูงขึ้น

ตารางที่ 8 ความรุนแรงระเบิดด้วยไอน้ำและระดับการใช้แอลคาไลน์ต่อค่าความอิสระเชื่อ

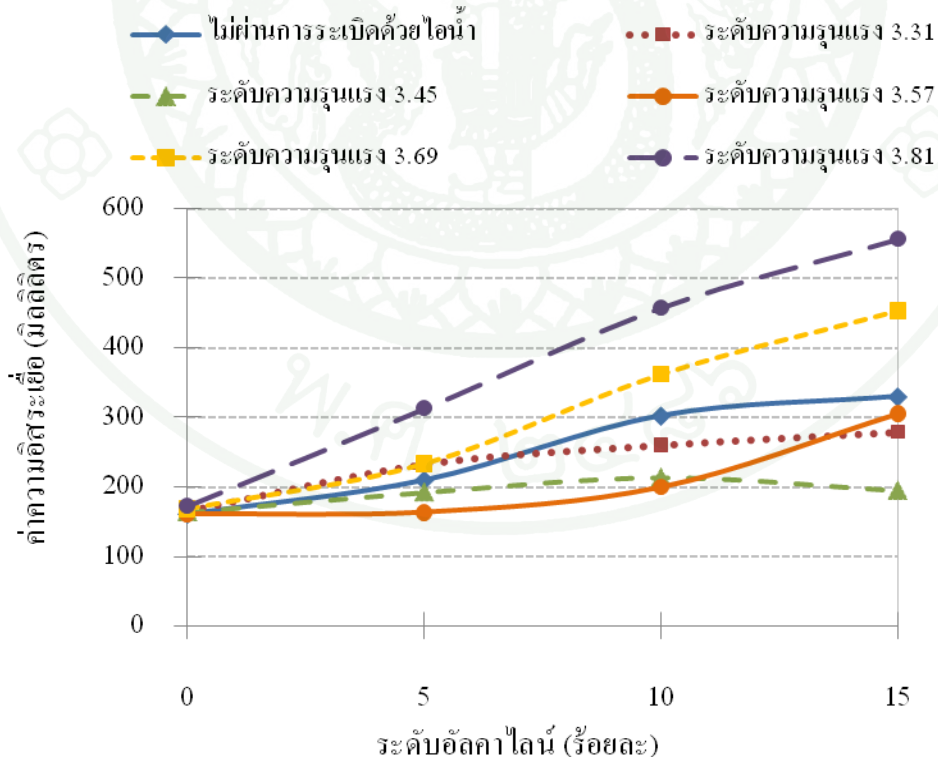
ระดับแอลคาไลน์(ร้อยละ)	ค่าความอิสระเชื่อ (มิลลิลิตร)					
	ณ ระดับความความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำ ($\text{Log}_{10} R_0$)					
	0	3.31	3.45	3.57	3.69	3.81
0	161 ^{aA}	165 ^{aA}	164 ^{aA}	161 ^{aA}	169 ^{aB}	173 ^{aB}
5	210 ^{bA}	233 ^{bA}	193 ^{bA}	164 ^{aA}	234 ^{bA}	313 ^{bA}
10	303 ^{cA}	260 ^{cA}	214 ^{cA}	200 ^{bA}	363 ^{cA}	458 ^{cA}
15	330 ^{dA}	279 ^{dA}	195 ^{bA}	306 ^{cA}	454 ^{dA}	556 ^{dA}

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-B} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ค่าความอิสระเชื้อต่อความรุนแรงในการระเบิดด้วยไอน้ำ



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ค่าความอิสระเชื้อต่อระดับการใช้อัลคาไลน์

3.3 การศึกษาความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับการใช้แอลกอฮอล์ต่อสมบัติความแข็งแรงและทัศนสมบัติ

3.3.1 ค่าคัปปาและปริมาณลิกนิน

ค่าคัปปา (Kappa number) เป็นการวัดปริมาณลิกนินที่มีเหลืออยู่ในเยื่อ ค่าคัปปาที่สูงบ่งบอกได้ว่าเยื่อนั้นมีปริมาณลิกนินที่สูง ค่าคัปปานี้จึงเป็นตัวชี้วัดการกำจัดลิกนินของการผลิตเยื่อ การต้มเยื่อหรือการฟอกเยื่อนั้นๆ (Biermann, 1996) จากตารางที่ 9 พบว่า เยื่อที่ไม่ได้ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นมีค่าคัปปาอยู่ในเกณฑ์ต่ำที่สุดคือ 107.98 - 109.84 แต่เมื่อนำกิ่งสบู่ดำสับไปทำการระเบิดด้วยไอน้ำก่อนทำการบด เยื่อที่ได้มีค่าคัปปาสูงขึ้น พบว่าระดับความรุนแรงที่ 3.31 มีค่าคัปปาอยู่ที่ 124.92-134.26 และเพิ่มขึ้นตามระดับความรุนแรงของการระเบิดด้วยไอน้ำ จนถึงระดับที่ความรุนแรงที่ 3.81 มีค่าคัปปาอยู่ที่ระดับ 158.93 - 176.17 ทั้งนี้ เนื่องมาจากความรุนแรงในการระเบิดนั้นส่งผลให้ลิกนินมีการรวมตัวเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น การกำจัดลิกนินออกไประหว่างการระเบิดเยื่อทำได้ยากยิ่งขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการระเบิดด้วยไอน้ำสำหรับการทดลองอยู่ในช่วง 195-220 องศาเซลเซียสซึ่งมากกว่าอุณหภูมิคล้ำยแก้ว (T_g) ของลิกนินที่ 170 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลิกนินมีการหลอมและรวมตัวกันใหม่ (Depolymerization and Repolymerization) ทั้งระหว่างลิกนินด้วยกันเอง หรือลิกนินกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น มีน้ำหนักโมเลกุลที่มากขึ้น ทำให้การกำจัดลิกนินออกไปได้ยากขึ้น (Li *et al.*, 2007) สอดคล้องกับ Montane *et al.* (1995) ซึ่งพบว่าการระเบิดด้วยไอน้ำในฟางข้าวที่ความรุนแรงที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าลิกนินในไม้สูงขึ้นตามไปด้วย

พบว่า ระดับแอลกอฮอล์นั้นไม่ส่งผลต่อการกำจัดลิกนิน เนื่องจากการใช้แอลกอฮอล์ในระหว่างการปฏิบัติต่อเยื่อก่อนการบดนั้นอุณหภูมิที่ใช้อยู่ที่ระดับ 90-100 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ถึงจุดอุณหภูมิคล้ำยแก้วของลิกนิน จึงไม่สามารถทำให้ทำให้ลิกนินอ่อนตัวลงได้ รวมถึงลิกนินมีโครงสร้างเปลี่ยนไปจากการการหลอมรวมเป็นโมเลกุลใหญ่ในระหว่างการระเบิดด้วยไอน้ำ ทำให้การกำจัดออกไปเป็นไปได้ยากขึ้น ระดับการใช้แอลกอฮอล์จึงไม่ส่งผลในการกำจัดลิกนิน

ตารางที่ 9 ความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับการแช่ด้วยอัลตราโซนต่อสมบัติความแข็งแรงและทัศนสมบัติของแผ่นทดสอบ

การกระทำต่อเชื้อ		น้ำหนัก มาตรฐาน	ดัชนีความต้าน แรงดันทะลุ	ดัชนีความต้าน แรงดึง	ดัชนีความต้าน แรงฉีกขาด	ความขาวสว่าง	ความทึบแสง	ค่าคลีปา
ระดับความรุนแรง การระเบิดด้วยไอน้ำ	ระดับการใช้ อัลตราโซน							
(Log ₁₀ R ₀)	(ร้อยละ)	(g/m ²)	(kPa.m ² /g)	(N.m/g)	(mN.m ² /g)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	
0	0	-	-	-	-	-	-	107.98
0	5	-	-	-	-	-	-	107.13
0	10	65.19	1.82±0.23 ^k	39.92±3.48 ⁱ	5.22±0.17 ⁱ	29.82	98.30	108.76
0	15	65.01	2.01±0.19 ⁱ	38.12±2.49 ⁱ	5.98±0.05 ^j	30.71	98.02	109.84
3.31	0	-	-	-	-	-	-	124.92
3.31	5	66.46	1.08±0.13 ^f	29.57±1.26 ^{ef}	3.59±0.09 ^{de}	11.13	99.79	126.76
3.31	10	73.30	1.09±0.09 ^c	33.72±0.68 ^{gh}	3.47±0.12 ^d	13.91	99.52	124.26
3.31	15	70.84	1.17±0.14 ^f	35.40±0.76 ^{gh}	3.95±0.12 ^{gh}	15.83	99.72	128.96
3.45	0	-	-	-	-	-	-	132.03
3.45	5	67.39	0.98±0.08 ^d	24.55±1.99 ^d	2.65±0.06 ^b	10.75	99.85	123.92
3.45	10	67.74	1.29±0.20 ^j	31.66±3.18 ^{fg}	3.69±0.15 ^{ef}	11.05	99.87	134.19
3.45	15	67.91	1.29±0.19 ^j	31.00±2.16 ^{ef}	3.54±0.06 ^{de}	11.25	99.46	136.89

ตารางที่ 9 (ต่อ)

การกระทำต่อเชื้อ		น้ำหนัก มาตรฐาน (g/m ²)	ดัชนีความต้าน แรงดันทะลุ (kPa.m ² /g)	ดัชนีความต้าน แรงดึง (N.m/g)	ดัชนีความต้าน แรงฉีกขาด (mN.m ² /g)	ความขาวสว่าง (ร้อยละ)	ความทึบแสง (ร้อยละ)	ค่าคลีปา
ระดับความรุนแรง การระเบิดด้วยไอน้ำ (Log ₁₀ R ₀)	ระดับการใช้ อัลคาไลน์ (ร้อยละ)							
3.57	0	67.91	1.24±0.12 ^d	25.32±1.78 ^d	2.70±0.16 ^b	8.64	99.67	130.02
3.57	5	67.91	1.20±0.13 ^j	28.61±3.40 ^c	3.22±0.10 ^c	8.1	99.75	135.47
3.57	10	66.12	1.19±0.17 ^j	29.11±1.13 ^{ef}	4.09±0.07 ^h	8.3	99.54	137.72
3.57	15	68.7	1.17±0.24 ^f	28.25±1.43 ^c	3.80±0.08 ^{fg}	9.00	99.54	137.51
3.69	0	69.45	0.85±0.15 ^c	22.08±1.96 ^c	2.31±0.06 ^b	4.49	99.88	144.96
3.69	5	66.20	0.84±0.10 ^c	21.04±1.20 ^c	3.04±0.05 ^c	3.94	99.83	140.49
3.69	10	66.41	0.66±0.10 ^b	16.64±0.80 ^b	3.21±0.12 ^c	3.76	99.69	140.47
3.69	15	-	-	-	-	-	-	142.14
3.81	0	65.30	0.51±0.17 ^a	12.32±0.59 ^a	1.33±0.00 ^a	1.81	99.65	176.17
3.81	5	-	-	-	-	-	-	162.94
3.81	10	-	-	-	-	-	-	160.87
3.81	15	-	-	-	-	-	-	158.93

หมายเหตุ ^{a-l} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤ 0.05)

3.3.2 ความต้านแรงดันทะลุ

การระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรงและระดับอัลคาไลน์ต่างๆ นั้น ส่งผลต่อความต้านแรงดันทะลุ (ตารางที่ 9) พบว่า แผ่นทดสอบที่เชื้อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ ให้ค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุสูงสุดคือ 1.82 kPa.m²/g และ 2.01 kPa.m²/g ที่ระดับการใช้อัลคาไลน์ร้อยละ 10 และ 15 ตามลำดับ และเมื่อทำการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรงเพิ่มขึ้นเป็น 3.31-3.81 ดัชนีความต้านแรงดันทะลุอยู่ระหว่าง 0.51 -1.29 kPa.m²/g ซึ่งน้อยกว่าแผ่นทดสอบที่เชื้อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ความแข็งแรงของกระดาษนั้นเกิดจากสองส่วนหลักคือ ความแข็งแรงของเส้นใย (Fiber strength) และพันธะระหว่างเส้นใย (Interfiber bonding) (สมหวัง, 2546) ในขณะที่ทำการระเบิดด้วยไอน้ำของกิ่งสุ่มดำนั้น โครงสร้างเส้นใยจะเปิดตัวทำให้เส้นใยบางส่วนแตกหักเสียหาย ความแข็งแรงของเส้นใยจึงน้อยลง เฮมิเซลลูโลสบางส่วนถูกทำลายลงไป พันธะระหว่างเส้นใยที่เกิดระหว่างการสานตัวกันในการเกิดแผ่นกระดาษนั้นมีน้อยลง ในขณะที่เส้นใยที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำนั้น เส้นใยไม่ได้ถูกทำลายจากความร้อนและแรงดัน เส้นใยยังอยู่ในสภาพค่อนข้างสมบูรณ์ ทำให้มีความแข็งแรงของเส้นใยยังคงมีอยู่มาก บางส่วนยังอยู่กันเป็นมัดของเส้นใย (Bundle) บางส่วนเป็นเส้นใยที่แยกออกจากกันแล้ว เฮมิเซลลูโลสยังอยู่ในเยื่อมาก ไม่ได้สูญเสียไปจากความร้อน ทำให้เกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้มาก ความแข็งแรงของกระดาษจึงมากตามไปด้วย สำหรับเชื้อที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำพบว่า ที่ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ให้ค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุที่สูงกว่าระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 เนื่องจากอัลคาไลน์ช่วยให้เส้นใยเกิดความอ่อนตัวในขณะที่ทำการบดเชื้อ ทำให้เส้นใยเกิดการแตกแขนง และเกิดพันธะระหว่างการเกิดแผ่นกระดาษได้ดี

3.3.3 ความต้านแรงดึง

การระเบิดด้วยไอน้ำของกิ่งสุ่มดำที่ความรุนแรงและระดับอัลคาไลน์ต่างๆ นั้น ส่งผลต่อความต้านแรงดึง ในแผ่นทดสอบที่เชื้อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ ให้ค่าดัชนีความต้านแรงดึงสูงสุด คือ 38.12 N.m/g และ 39.9 N.m/g ที่ระดับการใช้อัลคาไลน์ร้อยละ 10 และ 15 ตามลำดับ และเมื่อทำการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรงเพิ่มขึ้นเป็น 3.31-3.81 ดัชนีความต้านแรงดึงอยู่ระหว่าง 12.32-35.4 N.m/g ซึ่งน้อยกว่าแผ่นทดสอบที่เชื้อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ และมีแนวโน้มต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ความต้านแรงดึงของกระดาษนั้นเกี่ยวพันกับความแข็งแรงของเส้นใยและพันธะระหว่างเส้นใย อาจเป็นไปได้ว่าเชื้อที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำนั้น ไม่ทำให้เส้นใยถูกทำลาย รวมถึงบางส่วนยังเกาะกลุ่มกันเป็นมัดของเส้นใย ทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยยังมีอยู่มาก

ซึ่งความแข็งแรงของเส้นใยนี้ส่งผลโดยตรงต่อความต้านแรงดึง ในขณะที่การระเบิดด้วยไอน้ำนั้น จะไปทำลายโครงสร้างของเส้นใยความแข็งแรงส่วนนี้จึงลดน้อยลง เมื่อพิจารณาที่ระดับความรุนแรง เดียวกันพบว่า ดัชนีความต้านแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับอัลคาไลน์ อาจเกิดจากระดับ อัลคาไลน์ช่วยให้เส้นใยที่เกาะกันเป็นมัดเส้นใยมีความอ่อนตัว เมื่อทำการบดทำให้กระจายตัว เป็นเส้นใยเดี่ยวๆ ได้มากขึ้น ความแข็งแรงจากส่วนของมัดเส้นใยเหล่านี้จึงหายไป ดัชนีความต้าน แรงดึงจึงมีแนวโน้มลดต่ำลง

3.3.4 ความต้านแรงฉีกขาด

การระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรงและระดับอัลคาไลน์ต่างๆ ส่งผลต่อ ความต้านแรงฉีกขาด ในแผ่นทดสอบที่เยื่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำนั้น ให้ค่าดัชนีความต้านแรง ฉีกขาดระหว่าง $5.22 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ และ $5.98 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ ที่ระดับการใช้อัลคาไลน์ร้อยละ 10 และ 15 สูงกว่า แผ่นทดสอบที่เยื่อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรงระหว่าง 3.31-3.81 พบว่าดัชนีความต้าน แรงฉีกขาดอยู่ระหว่าง $1.33\text{-}3.95 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ โดยมีแนวโน้มต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามระดับ ความรุนแรงของการระเบิดด้วยไอน้ำที่สูงขึ้น ความต้านแรงฉีกขาดนั้นเกี่ยวพันกับพันธะระหว่าง เส้นใยเป็นหลัก เมื่อค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดลดลงบ่งถึงสภาพเส้นใยแตกหักเสียหายถูกตัด ขาดลดความยาวลง ซึ่งเป็นผลจากการระเบิดด้วยไอน้ำไปตัดทำลายเส้นใยและพันธะระหว่างเส้นใย เสมิเซลลูโลสและเศษเส้นใยเล็กๆ ก็ถูกกำจัดออกไประหว่างการระเบิดด้วยไอน้ำและการปฏิบัติต่อ เยื่อด้วยอัลคาไลน์ ทำให้พันธะระหว่างเส้นใยน้อยลง ปรากฏให้ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดลด น้อยลงตามไปด้วย

3.3.5 ความขาวสว่างและความทึบแสง

การระเบิดด้วยไอน้ำของกิ่งสับคำที่ความรุนแรงและระดับอัลคาไลน์ต่างๆ นั้น ส่งผลต่อความขาวสว่าง โดยแผ่นทดสอบที่เยื่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำให้ค่าความขาวสว่าง สูงสุด คือ ร้อยละ 30.71 ที่ระดับการใช้อัลคาไลน์ร้อยละ 15 และเมื่อทำการระเบิดด้วยไอน้ำที่ ความรุนแรงมากขึ้น ค่าความขาวสว่างจะลดต่ำลง ในเยื่อที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและเยื่อที่ การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 พบว่าความขาวสว่างสูงที่สุดที่ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 นั้นแสดงถึงการกำจัดลิกนินบางส่วนออกไปทำให้แผ่นทดสอบขาวสว่างมากขึ้น ในขณะที่การระเบิด ด้วยไอน้ำที่ความรุนแรงที่ตั้งแต่ 3.45-3.81 กลับให้ค่าความขาวสว่างลดลง สืบเนื่องจากเยื่อที่ได้มีสีคล้ำ อย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาระดับอัลคาไลน์ที่ความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำที่เท่ากันพบว่า

อัลคาไลน์แทบจะไม่ส่งผลต่อค่าความขาวสว่างเลย อธิบายได้ว่าระหว่างการระเบิดด้วยไอน้ำนั้น ลิกนินได้เกิดการรวมตัวเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นทั้งกับลิกนินเองหรือกับเซลลูโลส ทำให้อัลคาไลน์ไม่สามารถละลายเอาลิกนินเหล่านี้ให้หลุดออกไปได้

ค่าความทึบแสงบ่งบอกถึงความสามารถในการมองเห็นผ่านทะลุเนื้อกระดาษ พบว่ามีค่าระหว่าง 98.02-99.87 กระดาษมีความทึบแสงที่มาก ไม่สามารถมองผ่านทะลุอีกด้านได้ สีกระดาษค่อนข้างคล้ำ หากมีการนำไปใช้งานทางสื่อสิ่งพิมพ์จำเป็นต้องทำการฟอกต่อไป

คัดเลือกภาวะที่เหมาะสมจากปริมาณผลผลิตเยื่อซึ่งอยู่ระหว่างร้อยละ 60-80 รวมถึงค่าความอิสระของเยื่อ ประมาณ 300 มิลลิลิตรและลักษณะพื้นฐานอื่นๆ ของเยื่อ เช่น ความยากง่ายในการขึ้นรูปแผ่น ความคล้าของเยื่อ โดยเลือก 3 ภาวะได้แก่เยื่อที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 เยื่อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 และท้ายสุดเยื่อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 โดยมีค่าความอิสระเยื่ออยู่ระหว่าง 233-330 มิลลิลิตร ค่าค่าปปา 109.84-134.26 ดัชนีความต้านแรงดันทะลุระหว่าง 1.08-2.01 kPa.m²/g ดัชนีความต้านแรงดึง 29.57-33.72 N.m/g และดัชนีความต้านแรงฉีกขาด 3.47-5.98 mN.m²/g

4. ศึกษาอิทธิพลการใช้สารกันซึมอัลคิลคีตินไคเมอร์ และแคตไอออนิกสตาร์ชเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติแผ่นทดสอบ

4.1 สมบัติความแข็งแรงและทัศนสมบัติ

4.1.1 การศึกษาการใช้อัลคิลคีตินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชต่อสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่เยื่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 (ตารางที่ 10)

ก. ความต้านแรงดันทะลุ

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคิลคลีตีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชดัชนีความต้านแรงดันทะลุมีค่า $1.50 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชในปริมาณเพิ่มขึ้นส่งผลให้ดัชนีความต้านแรงดันทะลุมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าระหว่าง $1.63\text{-}2.08 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ อธิบายได้ว่าแคตไอออนิกสตาร์ชไปแทรกตัวเกาะอยู่ตามพันธะเส้นใย เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยให้มากขึ้น

ข. ความต้านแรงดึง

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคิลคลีตีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชดัชนีความต้านแรงดึงมีค่า $34.79 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{g}$ เมื่อเติมแคตไอออนิกสตาร์ชในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) มีค่าระหว่าง $37.49\text{-}45.63 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{g}$ สามารถอธิบายได้ว่าการแทรกตัวของแคตไอออนิกสตาร์ชตามพันธะเส้นใยช่วยเพิ่มพื้นที่การเกิดพันธะและแรงยึดเกาะระหว่างเส้นใยให้สูงขึ้น

ค. ความต้านแรงฉีกขาด

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคิลคลีตีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชดัชนีความต้านแรงฉีกขาด $4.39 \text{ mN}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ พบว่าการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชในปริมาณที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้ต่อค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด โดยมีค่าระหว่าง $4.24\text{-}5.42 \text{ mN}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ เนื่องจากความต้านแรงฉีกขาดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพเส้นใยเป็นหลัก (สมหวัง, 2546) การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชไม่ได้ช่วยให้เพิ่มความยาวของเส้นใยแต่เป็นเพียงการเพิ่มพื้นที่การเกิดพันธะระหว่างเส้นใยเท่านั้น การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชจึงไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความต้านแรงฉีกขาดแต่อย่างใด

ตารางที่ 10 การใช้อัลคิลทีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชต่อสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่เชื่อมไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15

ระดับการใช้สารกันซึม		น้ำหนัก	ดัชนีความต้าน	ดัชนีความ	ดัชนีความต้าน	ค่าความต้าน	ความ	ความ
อัลคิลทีนไคเมอร์	แคตไอออนิกสตาร์ช	มาตรฐาน	แรงดันทะลุ	ต้านแรงดึง	แรงฉีกขาด	แรงกดวงแหวน	ขาวสว่าง	ทึบแสง
(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(g/m ²)	(kPa.m ² /g)	(N.m/g)	(mN.m ² /g)	(kN/m)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)
0	0	88.70	1.50±0.30 ^a	34.79±1.00 ^a	4.39±0.63 ^a	0.0473±0.007 ^a	28.44 ^a	98.84 ^a
0	0.5	84.99	1.85±0.13 ^b	40.92±3.80 ^b	4.32±0.39 ^a	0.0461±0.009 ^a	22.86 ^a	99.37 ^a
0	1	81.39	1.90±0.17 ^b	41.18±1.33 ^b	5.25±0.22 ^b	0.0452±0.009 ^a	23.56 ^a	98.90 ^a
0	2	80.41	2.07±0.20 ^c	45.57±2.14 ^c	5.17±0.17 ^b	0.0407±0.007 ^a	23.75 ^a	98.36 ^a
0.5	0	84.72	1.63±0.16 ^a	37.49±2.84 ^a	5.09±0.10 ^a	0.0457±0.009 ^a	27.97 ^a	98.40 ^a
0.5	0.5	81.86	1.77±0.22 ^b	41.64±3.12 ^{ab}	4.98±0.30 ^a	0.0441±0.006 ^a	27.60 ^a	98.40 ^a
0.5	1	86.29	2.08±0.19 ^c	45.47±2.20 ^b	4.58±0.22 ^a	0.0443±0.013 ^a	22.65 ^a	98.35 ^a
0.5	2	83.57	1.98±0.27 ^c	42.42±4.32 ^b	4.68±0.38 ^a	0.0462±0.008 ^a	25.63 ^a	98.48 ^a

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ระดับการใช้สารกันซึม		น้ำหนัก	ดัชนีความต้าน	ดัชนีความ	ดัชนีความต้าน	ค่าความต้าน	ความ	ความ
อัลคิลซีดีนไคเมอร์	แกดไอออนิกสตาร์ช	มาตรฐาน	แรงดันทะลุ	ต้านแรงดึง	แรงฉีกขาด	แรงกดวงแหวน	ขาวสว่าง	ทึบแสง
(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(g/m ²)	(kPa.m ² /g)	(N.m/g)	(mN.m ² /g)	(kN/m)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)
1	0	87.97	1.77±0.07 ^a	37.50±3.54 ^a	5.06±0.12 ^{ab}	0.0403±0.004 ^{ab}	29.71 ^{ab}	97.83 ^a
1	0.5	83.28	1.87±0.13 ^b	42.53±1.47 ^b	4.24±0.31 ^a	0.0461±0.006 ^b	22.91 ^a	98.62 ^a
1	1	82.67	1.87±0.12 ^b	42.47±1.65 ^b	5.42±0.08 ^b	0.0410±0.005 ^{ab}	24.96 ^{ab}	98.51 ^a
1	2	85.62	2.05±0.19 ^c	45.63±1.42 ^c	5.12±0.13 ^b	0.0375±0.010 ^a	24.08 ^a	99.23 ^a
2	0	78.75	1.78±0.12 ^a	40.99±3.17 ^a	4.88±0.26 ^a	0.0384±0.005 ^a	24.29 ^a	98.06 ^a
2	0.5	87.33	1.88±0.11 ^b	43.30±0.74 ^{ab}	4.92±0.03 ^a	0.0391±0.003 ^a	24.12 ^a	97.75 ^a
2	1	82.17	1.98±0.13 ^c	44.94±1.53 ^b	4.99±0.47 ^a	0.0387±0.007 ^a	23.52 ^a	98.18 ^a
2	2	81.80	2.01±0.13 ^c	44.95±1.22 ^b	4.54±0.36 ^a	0.0352±0.006 ^a	24.36 ^a	98.17 ^a

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ง. ความต้านแรงกดวงแหวน

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคิลคิทีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช ความต้านแรงกดวงแหวนมีค่า 0.0473 kN/m พบว่าการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านแรงกดวงแหวน ($p>0.05$) โดยค่าต้านวงแหวนมีค่าระหว่าง 0.0352-0.0462 kN/m อธิบายได้ว่าความต้านแรงกดวงแหวนมาจากความแข็งแรงในส่วนของเส้นใย โดยเฉพาะความคงรูปและความยาวของเส้นใยเป็นหลัก การที่เพิ่มปริมาณอัลคิลคิทีนไคเมอร์หรือแคตไอออนิกสตาร์ชจึงไม่ได้ช่วยให้ค่าความแข็งแรงเหล่านี้เพิ่มขึ้น เชื่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ ทำให้เส้นใยไม่ได้รับความเสียหาย แต่เมื่อใช้ปริมาณอัลคาไลน์เท่ากับร้อยละ 15 นั้นพบว่าช่วยให้เส้นใยเหล่านี้อ่อนตัวและสามารถสานทับเกิดพันธะกันได้ดีขึ้น แต่ก็ทำให้ความคงตัวของเส้นใยลดลงเช่นกัน ทำให้ค่าความต้านแรงกดวงแหวนอาจลดลงได้จากการปฏิบัติขั้นตอนนี้

จ. ความขาวสว่างและความทึบแสง

ค่าความขาวสว่างและค่าความทึบแสงของแผ่นทดสอบที่เยื่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ที่ร้อยละ 15 ไม่ขึ้นกับการเติมอัลคิลคิทีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช เนื่องจากสารกันซึมทั้งสองชนิดนั้นไม่ได้ส่งเสริมให้เกิดการสะท้อนแสงหรือทัศนสมบัติของแผ่นทดสอบแต่อย่างใด ระดับค่าความขาวสว่างอยู่ระหว่าง 22.65-29.71 ส่วนค่าความทึบแสงอยู่ระหว่าง 97.83-99.37

4.1.2 การศึกษาการใช้อัลคิลคิทีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชต่อสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่เยื่อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 (ตารางที่ 11)

ก. ความต้านแรงดันทะลุ

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคิลคิทีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชดัชนีความต้านแรงดันทะลุมีค่า 1.36 kPa.m²/g การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชในปริมาณเพิ่มขึ้นส่งผลให้ดัชนีความต้านแรงดันทะลุมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ($p\leq 0.05$) โดยมีค่าระหว่าง 1.37-1.70 kPa.m²/g อธิบายได้ว่าแคตไอออนิกสตาร์ชไปแทรกตัวเกาะอยู่ตามพันธะเส้นใย เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยให้มากขึ้น

ข. ความต้านแรงดึง

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคิลคลีตีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชดัชนีความต้านแรงดึงมีค่า 26.32 N.m/g เมื่อเติมแคตไอออนิกสตาร์ชในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีค่าความต้านแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) มีค่าระหว่าง 31.91-35.80 N.m/g สามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากการแทรกตัวของแคตไอออนิกสตาร์ชตามพันธะเส้นใยช่วยเพิ่มพื้นที่การเกิดพันธะและแรงยึดเกาะระหว่างเส้นใยให้สูงขึ้น

ค. ความต้านแรงฉีกขาด

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคิลคลีตีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชดัชนีความต้านแรงฉีกขาด 3.50 mN.m²/g พบว่า การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชในปริมาณที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้ต่อค่าดัชนีค่าความต้านแรงฉีกขาด โดยมีค่าระหว่าง 2.51-3.41 mN.m²/g เนื่องจากความต้านแรงฉีกขาดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพเส้นใยเป็นหลัก (สมหวัง, 2546) การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชไม่ได้ช่วยให้เพิ่มความยาวของเส้นใยแต่เป็นเพียงการเพิ่มพื้นที่การเกิดพันธะระหว่างเส้นใยเท่านั้น การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชจึงไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความต้านแรงฉีกขาดแต่อย่างใด

ง. ความต้านแรงกดวงแหวน

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคิลคลีตีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชความต้านแรงกดวงแหวนมีค่า 0.0620 kN/m พบว่าการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านแรงกดวงแหวน ($p > 0.05$) โดยค่าต้านวงแหวนมีค่าระหว่าง 0.0590-0.0778 kN/m อธิบายได้ว่าความต้านแรงกดวงแหวนมาจากความแข็งแรงในส่วน of เส้นใย โดยเฉพาะความคงรูปและความยาวของเส้นใยเป็นหลัก การที่เพิ่มปริมาณอัลคิลคลีตีนไคเมอร์หรือแคตไอออนิกสตาร์ชจึงไม่ได้ช่วยให้ค่าความแข็งแรงเหล่านี้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 11 การใช้อัลคิลทีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ซต่อสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31
ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5

ระดับการใช้สารกันซึม		น้ำหนัก	ดัชนีความต้าน	ดัชนีความ	ดัชนีความต้าน	ค่าความต้าน	ความ	ความ
อัลคิลทีนไคเมอร์	แคตไอออนิกสตาร์ซ	มาตรฐาน	แรงดันทะลุ	ต้านแรงดึง	แรงฉีกขาด	แรงกดวงแหวน	ขาวสว่าง	ทึบแสง
(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(g/m ²)	(kPa.m ² /g)	(N.m/g)	(mN.m ² /g)	(kN/m)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)
0	0	116.64	1.36±0.16 ^a	26.32±2.38 ^a	3.50±0.39 ^a	0.0620±0.004 ^a	14.39 ^a	99.87 ^a
0	0.5	119.85	1.60±0.09 ^b	33.70±3.31 ^b	3.29±0.20 ^a	0.0610±0.007 ^a	14.12 ^a	99.53 ^a
0	1	123.39	1.63±0.15 ^{bc}	31.97±2.05 ^b	3.10±0.02 ^a	0.0590±0.007 ^a	14.17 ^a	99.88 ^a
0	2	118.91	1.68±0.07 ^c	35.76±1.16 ^c	3.11±0.09 ^a	0.0716±0.007 ^b	13.42 ^a	99.70 ^a
0.5	0	116.87	1.44±0.12 ^a	33.85±2.54 ^a	3.19±0.19 ^a	0.0684±0.008 ^a	15.13 ^a	99.88 ^a
0.5	0.5	123.33	1.58±0.17 ^b	33.32±0.49 ^a	2.86±0.19 ^a	0.0677±0.013 ^a	14.93 ^a	99.74 ^a
0.5	1	121.88	1.63±0.17 ^{bc}	35.27±1.90 ^{ab}	2.90±0.04 ^{ab}	0.0701±0.014 ^a	13.91 ^a	99.08 ^a
0.5	2	119.36	1.68±0.15 ^c	35.61±2.13 ^b	3.06±0.13 ^b	0.0684±0.014 ^a	13.98 ^a	99.71 ^a

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ระดับการใช้สารกันซึม		น้ำหนัก	ดัชนีความต้าน	ดัชนีความ	ดัชนีความต้าน	ค่าความต้าน	ความ	ความ
อัลคิลซีดีนไคเมอร์ แคตไอออนิกสตาร์ช		มาตรฐาน	แรงดันทะลุ	ต้านแรงดึง	แรงฉีกขาด	แรงกดวงแหวน	ขาวสว่าง	ทึบแสง
(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(g/m ²)	(kPa.m ² /g)	(N.m/g)	(mN.m ² /g)	(kN/m)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)
1	0	120.17	1.45±0.09 ^a	32.58±0.93 ^a	3.33±0.41 ^a	0.0754±0.012 ^a	13.64 ^a	99.76 ^a
1	0.5	119.71	1.59±0.22 ^b	32.77±1.11 ^a	3.22±0.14 ^a	0.0778±0.013 ^a	13.61 ^a	99.88 ^a
1	1	117.86	1.70±0.12 ^c	33.48±1.15 ^a	3.41±0.55 ^a	0.0720±0.009 ^a	13.94 ^a	99.68 ^a
1	2	115.48	1.62±0.08 ^c	35.02±1.31 ^b	2.97±0.18 ^a	0.0771±0.013 ^a	14.45 ^a	99.63 ^a
2	0	111.68	1.37±0.14 ^a	31.91±1.25 ^a	2.51±0.11 ^a	0.0593±0.006 ^a	14.47 ^a	99.90 ^a
2	0.5	116.64	1.53±0.10 ^b	32.45±2.15 ^a	2.73±0.27 ^a	0.0683±0.014 ^{ab}	14.89 ^a	99.94 ^a
2	1	116.96	1.53±0.21 ^b	34.09±3.61 ^{ab}	2.79±0.30 ^a	0.0722±0.007 ^{ab}	14.00 ^a	99.60 ^a
2	2	114.78	1.65±0.13 ^c	35.80±1.73 ^b	2.81±0.11 ^a	0.0680±0.009 ^a	14.13 ^a	99.90 ^a

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

จ. ความขาวสว่างและความทึบแสง

ค่าความขาวสว่างและค่าความทึบแสงของแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ที่ร้อยละ 5 ไม่ขึ้นกับการเติมอัลคิลีตีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช เนื่องจากสารกันซึมทั้งสองชนิดนั้นไม่ได้ส่งเสริมให้เกิดการสะท้อนแสงหรือทัศนสมบัติของแผ่นทดสอบแต่อย่างใด ระดับค่าความขาวสว่างอยู่ระหว่าง 13.42-14.93 ส่วนค่าความทึบแสงอยู่ระหว่าง 99.08-99.94

4.1.3 การศึกษาการใช้อัลคิลีตีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชต่อสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 (ตารางที่ 12)

ก. ความต้านแรงดันทะลุ

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคิลีตีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชดัชนีความต้านแรงดันทะลุมีค่า 2.27 kPa.m²/g การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชในปริมาณเพิ่มขึ้นส่งผลให้ดัชนีความต้านแรงดันทะลุมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าระหว่าง 2.21-2.61 kPa.m²/g อธิบายได้ว่าแคตไอออนิกสตาร์ชไปแทรกตัวเกาะอยู่ตามพันธะเส้นใย เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยให้มากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและอัลคิลีตีนไคเมอร์ในเยื่อที่ผ่านความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับอัลคาไลน์ที่ต่างกันพบว่าแผ่นทดสอบที่เยื่อระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ให้ค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุสูงสุด ดังภาพที่ 16 และเมื่อเปรียบเทียบแผ่นทดสอบที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรงเดียวกันพบว่า แผ่นทดสอบที่ใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ให้ค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุสูงกว่าแผ่นทดสอบที่ใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 แสดงให้เห็นถึงการเติมปริมาณอัลคาไลน์ที่มากขึ้นส่งผลให้เยื่อพองตัวอ่อนนุ่มเมื่อผ่านเครื่องบดเส้นใยจึงอ่อนตัวแตกแขนงเส้นใย และไม่ถูกบดจนทำลายเสียหายมากนัก ทำให้เมื่อนำมาทำเป็นแผ่นกระดาษ เส้นใยเหล่านี้สานตัวกันเกิดพันธะได้มากขึ้น ดัชนีความต้านแรงดันทะลุจึงสูงตามไปด้วย และจากภาพที่ 16 นี้ ดัชนีความต้านแรงดันทะลุที่ระดับการใช้อัลคาไลน์ร้อยละ 10 สูงกว่าแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้อัลคาไลน์ร้อยละ 15 ด้วย

นั่นหมายความว่า การเปิดโครงสร้างของไม้ด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำก่อน และใช้อัลคาไลน์ช่วยปฏิบัติเชื่อก่อนทำการบดเชื่อนั้นช่วยให้ค่าดัชนีความต้านแรงดันทะเลของแผ่นทดสอบสูงขึ้น ในขณะที่สามารถลดปริมาณการใช้อัลคาไลน์ลงได้

ข. ความต้านแรงดึง

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคาลิทีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช ดัชนีความต้านแรงดึงมีค่า 41.38 N.m/g เมื่อเติมแคตไอออนิกสตาร์ชในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) เล็กน้อย มีค่าระหว่าง 37.63-45.87 N.m/g สามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากการแทรกตัวของแคตไอออนิกสตาร์ชตามพันธะเส้นใยช่วยเพิ่มพื้นที่การเกิดพันธะและแรงยึดเกาะระหว่างเส้นใยให้สูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและอัลคาลิทีนไคเมอร์ในเยื่อที่ผ่านความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับอัลคาไลน์ที่ต่างกัน พบว่าแผ่นทดสอบที่เยื่อระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ให้ค่าดัชนีความต้านแรงดึงสูงกว่าที่ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 (ภาพที่ 16) ค่าความต้านแรงดึงขึ้นอยู่กับทั้งความยาวเส้นใยและการเกิดพันธะระหว่างเส้นใย ซึ่งในการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยนั้น เกิดได้จากสองส่วนคือส่วนที่เกิดจากเศษเส้นใย (Fines) และส่วนที่เกิดจากการแตกแขนงของเส้นใยเอง ระดับอัลคาไลน์ที่เพิ่มขึ้นนี้ช่วยลดลายเอาเศษเส้นใยเล็กๆ ออกจากโครงสร้างกระดาษซึ่งสอดคล้องกับค่าความอิสระเยื่อที่สูงขึ้น (ตารางที่ 8) ดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบที่เพิ่มขึ้นจึงน่าจะมาจากในส่วนที่เป็นพันธะระหว่างเส้นใย นั้นแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระดับอัลคาไลน์จากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 10 ที่ระดับความรุนแรงการระเบิดเดียวกันนั้นช่วยส่งเสริมให้เส้นใยเกิดการพองตัวขณะบดและสานตัวกันเกิดพันธะได้มากขึ้น โดยแผ่นทดสอบที่เยื่อระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 นี้มีค่าความต้านแรงดึงอยู่ในระดับเดียวกับแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ และใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ซึ่งเส้นใยนั้นไม่ได้รับความเสียหายจากการระเบิดด้วยไอน้ำ

ตารางที่ 12 การใช้อัลคิลทีนไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชต่อสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31
ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10

ระดับการใช้สารกันซึม		น้ำหนัก	ดัชนีความต้าน	ดัชนีความ	ดัชนีความต้าน	ค่าความต้าน	ความ	ความ
อัลคิลทีนไคเมอร์	แคตไอออนิกสตาร์ช	มาตรฐาน	แรงดันทะลุ	ต้านแรงดึง	แรงฉีกขาด	แรงกดวงแหวน	ขาวสว่าง	ทึบแสง
(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(g/m ²)	(kPa.m ² /g)	(N.m/g)	(mN.m ² /g)	(kN/m)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)
0	0	89.83	2.27±0.19 ^a	41.38±0.83 ^a	2.71±0.08 ^a	0.0455±0.007 ^a	12.34 ^a	99.51 ^a
0	0.5	95.45	2.46±0.24 ^b	42.13±1.92 ^{ab}	3.21±0.16 ^b	0.0449±0.010 ^a	11.71 ^a	99.89 ^a
0	1	94.35	2.41±0.16 ^b	44.53±2.63 ^{bc}	3.28±0.11 ^b	0.0455±0.007 ^a	12.43 ^a	99.87 ^a
0	2	98.61	2.61±0.26 ^c	45.87±2.44 ^c	3.01±0.19 ^b	0.0533±0.011 ^a	10.96 ^a	99.93 ^a
0.5	0	94.49	2.21±0.19 ^a	40.16±0.61 ^a	3.20±0.07 ^a	0.0457±0.006 ^a	12.31 ^a	99.82 ^a
0.5	0.5	94.99	2.36±0.17 ^b	41.30±4.03 ^{ab}	3.13±0.17 ^a	0.0516±0.007 ^b	12.45 ^a	99.70 ^a
0.5	1	99.01	2.49±0.13 ^c	44.06±2.11 ^b	3.90±0.10 ^b	0.0523±0.006 ^b	11.70 ^a	99.57 ^a
0.5	2	98.69	2.59±0.16 ^d	43.68±1.91 ^b	3.89±0.24 ^b	0.0545±0.006 ^b	12.20 ^a	99.72 ^a

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ระดับการใช้สารกันซึม		น้ำหนัก	ดัชนีความต้าน	ดัชนีความ	ดัชนีความต้าน	ค่าความต้าน	ความ	ความ
อัลคิลคีตีนไดเมอร์ แคตไอออนิกสตาร์ช		มาตรฐาน	แรงดันทะลุ	ต้านแรงดึง	แรงฉีกขาด	แรงกดวงแหวน	ขาวสว่าง	ทึบแสง
(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(g/m ²)	(kPa.m ² /g)	(N.m/g)	(mN.m ² /g)	(kN/m)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)
1	0	98.06	2.34±0.23 ^a	37.63±2.76 ^a	4.18±0.29 ^a	0.0435±0.009 ^a	12.10 ^a	99.84 ^a
1	0.5	97.25	2.36±0.14 ^a	39.05±3.30 ^{ab}	3.86±0.08 ^a	0.0459±0.010 ^{ab}	12.37 ^a	99.94 ^a
1	1	94.69	2.44±0.16 ^{ab}	41.85±3.65 ^{ab}	3.93±0.37 ^a	0.0512±0.003 ^b	11.80 ^a	99.68 ^a
1	2	97.62	2.51±0.15 ^b	43.73±4.39 ^b	3.94±0.12 ^a	0.0547±0.004 ^b	12.17 ^a	99.80 ^a
2	0	93.25	2.22±0.08 ^a	39.04±1.26 ^a	3.60±0.05 ^a	0.0540±0.006 ^a	12.25 ^a	99.14 ^a
2	0.5	95.45	2.38±0.09 ^b	42.19±2.20 ^b	3.75±0.12 ^a	0.0534±0.005 ^a	12.36 ^a	99.79 ^a
2	1	100.12	2.43±0.10 ^b	41.18±0.93 ^b	3.56±0.36 ^a	0.0546±0.016 ^a	12.60 ^a	99.71 ^a
2	2	94.96	2.56±0.10 ^c	45.48±1.45 ^c	3.74±0.36 ^a	0.0531±0.012 ^a	12.36 ^a	99.63 ^a

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค. ความต้านแรงฉีกขาด

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคิลทีดินไดเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช ค่าความต้านแรงฉีกขาด $2.71 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ พบว่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อทำการเติมแคตไอออนิกสตาร์ช แต่ที่ระดับการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นกลับไม่ส่งผลให้ต่อค่าดัชนีค่าความต้านแรงฉีกขาด โดยมีค่าระหว่าง $3.01\text{-}4.18 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ (สมหวัง, 2546) แคตไอออนิกสามารถช่วยได้ในการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยซึ่งส่งผลให้ค่าความต้านแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้นได้ แต่ความต้านแรงฉีกขาดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพเส้นใยเป็นหลักการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชที่ระดับสูงขึ้นจึงไม่ช่วยให้ค่าความต้านแรงฉีกขาดสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและอัลคิลทีดินไดเมอร์ในเยื่อที่ผ่านความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับอัลคาไลน์ที่ต่างกัน พบว่าแผ่นทดสอบที่เยื่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ให้ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดสูงสุด (ภาพที่ 17) อธิบายได้ว่าเส้นใยไม่ถูกทำลายเสียหายและตัดขาดจากการระเบิดด้วยไอน้ำ อีกทั้งยังมีบางส่วนที่ยังเป็นมัดของเส้นใยทำให้ช่วยส่งเสริมให้ค่าความต้านแรงฉีกขาดมีสูงขึ้นในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำเส้นใยถูกตัดขาดระหว่างการระเบิดทำให้ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดต่ำกว่า

ง. ความต้านแรงกดวงแหวน

ในแผ่นทดสอบที่ไม่เติมอัลคิลทีดินไดเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช ความต้านแรงกดวงแหวนมีค่า 0.0455 kN/m พบว่าการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านแรงกดวงแหวน ($p>0.05$) โดยค่าต้านวงแหวนมีค่าระหว่าง $0.0435\text{-}0.0547 \text{ kN/m}$ อธิบายได้ว่าความต้านแรงกดวงแหวนมาจากความแข็งแรงในส่วน of เส้นใยโดยเฉพาะความคงรูปและความยาวของเส้นใยเป็นหลัก การที่เพิ่มปริมาณอัลคิลทีดินไดเมอร์หรือแคตไอออนิกสตาร์ชจึงไม่ได้ช่วยให้ค่าความแข็งแรงเหล่านี้เพิ่มขึ้น

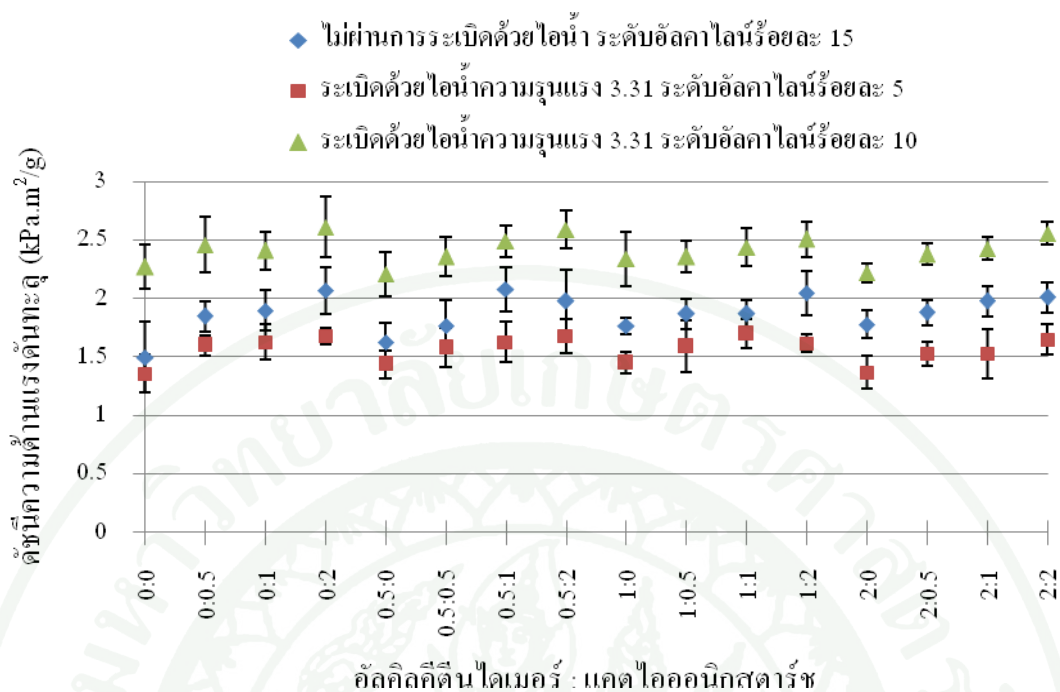
เมื่อเปรียบเทียบการเติมแคตไอออนิกสตาร์ชและอัลคิลทีดินไดเมอร์ในเยื่อที่ผ่านความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับอัลคาไลน์ที่ต่างกัน พบว่าแผ่นทดสอบที่เยื่อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 มีแนวโน้มให้ค่าความต้าน

แรงกดวงแหวนสูงสุด (ภาพที่ 18) อธิบายได้ว่าค่าความต้านแรงกดวงแหวนนั้นขึ้นกับความหนา น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นทดสอบเป็นสำคัญ เช่นเดียวกับลักษณะเส้นใยและความคงตัวของเส้นใย พบว่าแผ่นทดสอบที่เยื่อระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 นี้ มีน้ำหนักมาตรฐานอยู่ระหว่าง $111.68-123.39 \text{ g/cm}^2$ ซึ่งมากกว่าแผ่นทดสอบที่เยื่อไม่ผ่านระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรง และใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 และแผ่นทดสอบที่เยื่อระเบิดด้วยไอน้ำที่ความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ซึ่งมีน้ำหนักมาตรฐาน $78.75-88.70 \text{ g/cm}^2$ และ $89.83-100.12 \text{ g/cm}^2$ ตามลำดับ ทำให้การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงกดวงแหวนของแผ่นทั้งสามทำได้ยาก

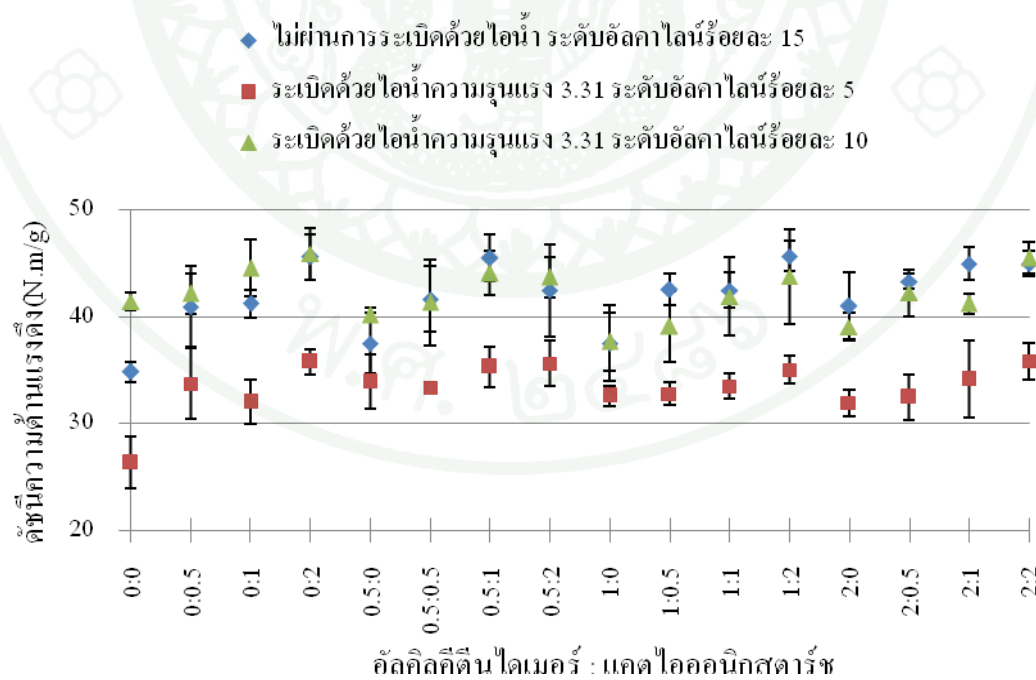
จ. ความขาวสว่าง

ค่าความขาวสว่างและค่าความทึบแสงของแผ่นทดสอบที่เยื่อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ที่ร้อยละ 10 ไม่ขึ้นกับการเติมอัลทิลลิตินไดเมอร์ และแคตไอออนิกสตาร์ช เนื่องจากสารกันซึมทั้งสองชนิดนั้นไม่ได้ส่งเสริมให้เกิดการสะท้อนแสง หรือทัศนสมบัติของแผ่นทดสอบแต่อย่างใด ระดับค่าความขาวสว่างอยู่ระหว่าง 10.96-12.60 ส่วนค่าความทึบแสงอยู่ระหว่าง 99.14-99.94

เมื่อเปรียบเทียบแผ่นทดสอบทั้งสามชนิดพบว่าแผ่นทดสอบที่เยื่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ให้ค่าความขาวสว่างสูงที่สุด รองลงมาคือ แผ่นทดสอบที่ผ่านการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำระดับอัลคาไลน์ที่ร้อยละ 5 และกระดาษที่ระเบิดด้วยไอน้ำใช้อัลคาไลน์ร้อยละ 10 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ภาวะการระเบิดที่เท่ากัน ระดับอัลคาไลน์ที่สูงกว่าทำให้แผ่นทดสอบมีความขาวสว่างได้ต่ำกว่า เป็นเพราะการทำปฏิกิริยาของอัลคาไลน์ในการพยายามกำจัดลิกนิน จากโครงสร้างของเยื่อทำให้กระดาษที่ได้มีสีคล้ำกว่า



ภาพที่ 16 ดัชนีความต้านแรงดันทะลุของแผ่นทดสอบที่ระดับอัตราส่วนผสมไคโตซานและระดับแอลไจนาตต่างๆ



ภาพที่ 17 ดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบที่ระดับอัตราส่วนผสมไคโตซานและระดับแอลไจนาตต่างๆ



ภาพที่ 18 ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบทั้งสามชนิดที่ระดับอัลคิลิติน ไคเมอร์ และระดับแคลไออนิกสตาร์ชต่างๆ

4.2 มุมสัมผัสของหยดน้ำที่ผิวของแผ่นทดสอบ

เมื่อทดสอบมุมสัมผัสแผ่นทดสอบที่เชื่อมไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 (ตารางที่ 13, ตารางที่ 14, ตารางที่ 15, ตารางที่ 16) 2 แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 (ตารางที่ 17, ตารางที่ 18, ตารางที่ 19, ตารางที่ 20) และแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 (ตารางที่ 21, ตารางที่ 22, ตารางที่ 23, ตารางที่ 24) ที่วินาทีที่ 0 วินาทีที่ 5 วินาทีที่ 30 และวินาทีที่ 60 เมื่อระดับอัลคิลิติน ไคเมอร์และแคลไออนิกสตาร์ชที่สูงขึ้น ค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกันในทุกๆระดับ พบว่าอัลคิลิติน ไคเมอร์ส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสของแผ่นทดสอบมากกว่าแคลไออนิกสตาร์ช ค่ามุมสัมผัสจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงระดับอัลคิลิติน ไคเมอร์ร้อยละ 0 และ 0.5 ในขณะที่ในระดับร้อยละ 1 และ 2 นั้นค่ามุมสัมผัสจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จากตารางข้างต้น แสดงให้เห็นว่าอัลคิลิติน ไคเมอร์และแคลไออนิกสตาร์ชช่วยปรับสภาพผิวหน้าของแผ่นทดสอบให้มีความไม่ชอบน้ำ ทำให้การดูดซับน้ำเกิดขึ้นได้ยาก

ตารางที่ 13 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและ
ใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ที่วินาทีที่ 0

อัลคาลิไดเมอร์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 5 (องศา)			
	แคดไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	44.70±3.23 ^{aA}	64.31±6.30 ^{aB}	71.24±5.37 ^{aB}	73.45±3.61 ^{aC}
0.5	60.78±6.3 ^{bA}	68.72±1.06 ^{aB}	82.64±3.20 ^{bC}	86.24±5.83 ^{bC}
1	78.27±1.45 ^{cA}	84.42±6.82 ^{bAB}	90.72±1.48 ^{cBC}	98.05±6.64 ^{cC}
2	102.87±1.98 ^{dA}	102.65±2.13 ^{bA}	99.71±4.49 ^{dA}	102.38±6.80 ^{cA}

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 14 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและ
ใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ที่วินาทีที่ 5

อัลคาลิไดเมอร์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 5 (องศา)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	-	-	-	52.41±1.89 ^a
0.5	58.30±2.54 ^{aA}	62.19±4.25 ^{aA}	64.63±0.80 ^{aA}	63.71±0.49 ^{bA}
1	71.86±2.43 ^{bA}	72.72±4.20 ^{bA}	77.65±1.48 ^{bB}	79.89±0.93 ^{cA}
2	101.46±3.37 ^{cB}	95.17±3.60 ^{cA}	97.16±4.33 ^{cB}	101.29±5.63 ^{dB}

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 15 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและ
ใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ที่วินาทีที่ 30

อัลคาลิไดเมอร์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 30 (องศา)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	-	-	-	-
0.5	-	-	-	-
1	59.11±1.38 ^A	67.11±1.42 ^B	75.48±1.71 ^C	76.98±0.41 ^C
2	97.29±1.94 ^B	90.55±3.76 ^A	91.55±4.07 ^A	99.99±0.18 ^B

หมายเหตุ ^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 16 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการเปิดด้วยไอน้ำและ
ใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ที่วินาทีที่ 60

อัลคาลิไดเมอร์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 60 (องศา)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	-	-	-	-
0.5	-	-	-	-
1	46.76±3.43 ^A	58.76±2.29 ^B	69.50±2.33 ^C	71.58±2.73 ^C
2	97.14±3.26 ^A	97.36±2.45 ^A	96.27±2.72 ^A	93.32±7.31 ^A

หมายเหตุ ^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 17 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การเปิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31
ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 ที่วินาทีที่ 0

อัลคาลิไดเมอร์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 0 (องศา)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	63.97±0.54 ^{aA}	69.85±5.25 ^{aB}	70.60±5.10 ^{aB}	96.52±4.02 ^{aC}
0.5	74.25±1.62 ^{bA}	75.69±4.40 ^{aA}	88.83±7.78 ^{bB}	99.66±8.92 ^{bcC}
1	83.72±2.65 ^{caA}	89.93±1.97 ^{baB}	95.23±4.36 ^{bcB}	97.51±9.24 ^{bcB}
2	95.15±2.41 ^{daA}	101.50±4.26 ^{cbB}	103.51±8.86 ^{cbB}	104.84±4.21 ^{bcB}

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 18 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 ที่วินาทีที่ 5

อัลคิลคิตินไดเมอร์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 5 (องศา)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	-	-	66.08±4.47 ^a	74.16±3.43 ^a
0.5	60.15±6.39 ^{aA}	68.42±7.30 ^{aAB}	84.75±4.44 ^{bB}	84.01±0.86 ^{abB}
1	76.03±2.82 ^{bA}	83.41±2.17 ^{abB}	86.69±1.41 ^{bBC}	92.09±3.69 ^{bcC}
2	87.99±4.56 ^{bA}	87.69±5.82 ^{bA}	92.54±2.29 ^{bAB}	99.37±2.19 ^{cb}

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 19 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 ที่วินาทีที่ 30

อัลคิลคิตินไดเมอร์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 30 (องศา)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	-	-	-	-
0.5	-	-	-	-
1	-	36.33±0.94 ^A	69.88±1.68 ^B	66.58±2.99 ^B
2	65.31±2.63 ^A	69.85±4.06 ^{AB}	69.82±1.51 ^{AB}	76.68±3.23 ^B

หมายเหตุ ^{A-B} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 20 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31
ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 ที่วินาทีที่ 60

อัลคาลิไดไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 60 (องศา)			
	แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	-	-	-	-
0.5	-	-	-	-
1	-	-	46.22±2.81	50.72±4.57
2	44.69±4.04 ^A	54.69±4.45 ^{AB}	54.18±3.71 ^{AB}	59.53±2.25 ^B

หมายเหตุ ^{A-B} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 21 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31
ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ที่วินาทีที่ 0

อัลคาลิไดไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 0 (องศา)			
	แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	58.60±3.29 ^{aA}	62.29±9.51 ^{aAB}	68.75±3.24 ^{aB}	84.03±1.88 ^{abC}
0.5	82.42±4.18 ^{bB}	75.32±2.02 ^{bA}	75.94±2.57 ^{bA}	83.26±2.82 ^{abB}
1	86.48±2.85 ^{bA}	86.70±5.03 ^{cA}	87.58±5.18 ^{cA}	90.59±4.24 ^{bB}
2	96.99±1.19 ^{cA}	100.87±5.55 ^{dB}	100.40±3.51 ^{dB}	101.67±2.69 ^{cC}

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 22 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ที่วินาทีที่ 5

อัลคาลิไดเมอร์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 5 (องศา)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	54.60±2.65 ^{aA}	63.50±4.61 ^{aAB}	66.08±3.82 ^{aB}	79.83±2.58 ^{aC}
0.5	61.32±1.04 ^{abA}	64.34±2.15 ^{aAB}	64.29±3.38 ^{aAB}	69.44±0.95 ^{bB}
1	70.04±8.26 ^{bA}	75.65±3.92 ^{bA}	83.02±3.31 ^{bA}	84.60±5.00 ^{bA}
2	84.51±2.80 ^{cA}	87.84±1.61 ^{cAB}	93.63±5.12 ^{bAB}	96.07±3.57 ^{cB}

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 23 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ที่วินาทีที่ 30

อัลคาลิไดเมอร์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 30 (องศา)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	-	-	-	-
0.5	-	-	-	32.94±2.84
1	48.05±3.63 ^A	59.32±1.05 ^B	64.00±3.62 ^B	78.02±1.45 ^C
2	76.24±5.57 ^A	77.11±1.63 ^A	82.26±5.22 ^{AB}	85.98±3.97 ^A

หมายเหตุ ^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 24 มุมสัมผัสที่ระยะเวลาต่างๆ ของแผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ที่วินาทีที่ 60

อัลคาลิซิตีไดเมอร์ (ร้อยละ)	มุมสัมผัสที่ระยะเวลา วินาทีที่ 60 (องศา)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0	0	0
0	-	-	-	-
0.5	-	-	-	-
1	-	40.22±5.91 ^A	52.14±2.12 ^A	77.90±2.87 ^B
2	72.52±2.47 ^A	77.81±2.59 ^{AB}	79.03±4.45 ^{AB}	82.61±2.62 ^B

หมายเหตุ ^{A-B} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 การดูดซึมน้ำ (Cobb test)

การดูดซึมน้ำหมายถึงความสามารถในการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบโดยคิดปริมาณน้ำเป็นกรัมที่แผ่นทดสอบดูดซึมไว้ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ภายในเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร ในการทดสอบนี้ได้ทำการจับระยะเวลาที่ 60 วินาที พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเป็นไปตามตารางที่ 25 ตารางที่ 26 และตารางที่ 27

ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบที่เชื่อมไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 และแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 พบว่าที่ระดับอัลคาลิซิตีไดเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 2 ให้ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบน้อยที่สุด โดยมีแนวโน้มการดูดซึมน้ำได้ลดลงตามระดับอัลคาลิซิตีไดเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าระดับอัลคาลิซิตีไดเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชส่งผลโดยตรงต่อค่าการดูดซึมน้ำ

ในเชื่อว่าการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรงเท่ากันพบว่า แผ่นทดสอบที่ระดับอัลคาไลน์ที่ร้อยละ 10 ให้ค่าทำให้ค่าการดูดซึมน้ำได้ต่ำกว่าที่แผ่นทดสอบที่ระดับอัลคาไลน์ที่ร้อยละ 5 อาจเป็นเพราะระดับอัลคาไลน์ที่สูงนั้นช่วยให้เส้นใยมีความอ่อนนุ่มสานตัวปิดทับกันได้ดี ความคงรูปของเส้นใยต่ำ ช่องว่างระหว่างเส้นใยมีน้อย โครงสร้างกระดาษปิด จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่า

ตารางที่ 25 ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบที่เชื่อมไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15

อัลคิลคีตินไดเมอร์ (ร้อยละ)	ค่าการดูดซึมน้ำ (กรัมต่อตารางเมตร)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0.5	1	2
0	179.23±9.23 ^{bcB}	140.74±11.95 ^{cA}	140.61±11.94 ^{cA}	136.42±6.32 ^{cA}
0.5	182.64±4.23 ^{cC}	153.37±12.47 ^{dB}	140.55±7.96 ^{cAB}	132.45±10.18 ^{cA}
1	173.92±14.96 ^{bC}	131.84±4.76 ^{bB}	124.12±4.30 ^{bAB}	118.47±6.55 ^{bA}
2	60.61±7.51 ^{aC}	53.21±9.55 ^{aBC}	44.67±6.80 ^{aAB}	40.24±4.00 ^{aA}

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 26 ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31
ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5

อัลคิลคีติน ไคเมอร์ (ร้อยละ)	ค่าการดูดซึมน้ำ (กรัมต่อตารางเมตร)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0.5	1	2
0	218.87±8.33 ^{cB}	212.47±10.8 ^{abB}	205.14±6.68 ^{cA}	192.16±7.80 ^{bA}
0.5	215.19±13.07 ^{cB}	214.11±6.48 ^{bB}	201.17±13.12 ^{cA}	188.02±11.88 ^{aA}
1	209.13±15.86 ^{bB}	211.16±4.91 ^{aC}	196.71±7.11 ^{bA}	196.46±7.83 ^{bA}
2	200.47±15.33 ^{aB}	207.06±7.23 ^{aC}	193.90±4.17 ^{aA}	193.05±10.65 ^{bA}

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 27 ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31
ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10

อัลคิลีดิน ไคเมอร์ (ร้อยละ)	ค่าการดูดซึมน้ำ (กรัมต่อตารางเมตร)			
	แคตไอออนิกสตาร์ช (ร้อยละ)			
	0	0.5	1	2
0	137.62±2.94 ^{cC}	133.19±14.87 ^{cC}	122.28±4.22 ^{cB}	116.53±10.51 ^{cA}
0.5	135.08±5.00 ^{cB}	136.41±7.65 ^{cB}	136.89±4.50 ^{dB}	117.65±6.96 ^{cA}
1	123.51±9.20 ^{bB}	128.53±9.08 ^{bB}	103.81±9.49 ^{bA}	106.62±10.47 ^{bA}
2	39.06±10.86 ^{aC}	31.93±4.65 ^{aB}	29.81±1.65 ^{aA}	32.91±6.57 ^{aB}

หมายเหตุ ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-C} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5. ลักษณะพื้นผิวแผ่นทดสอบเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

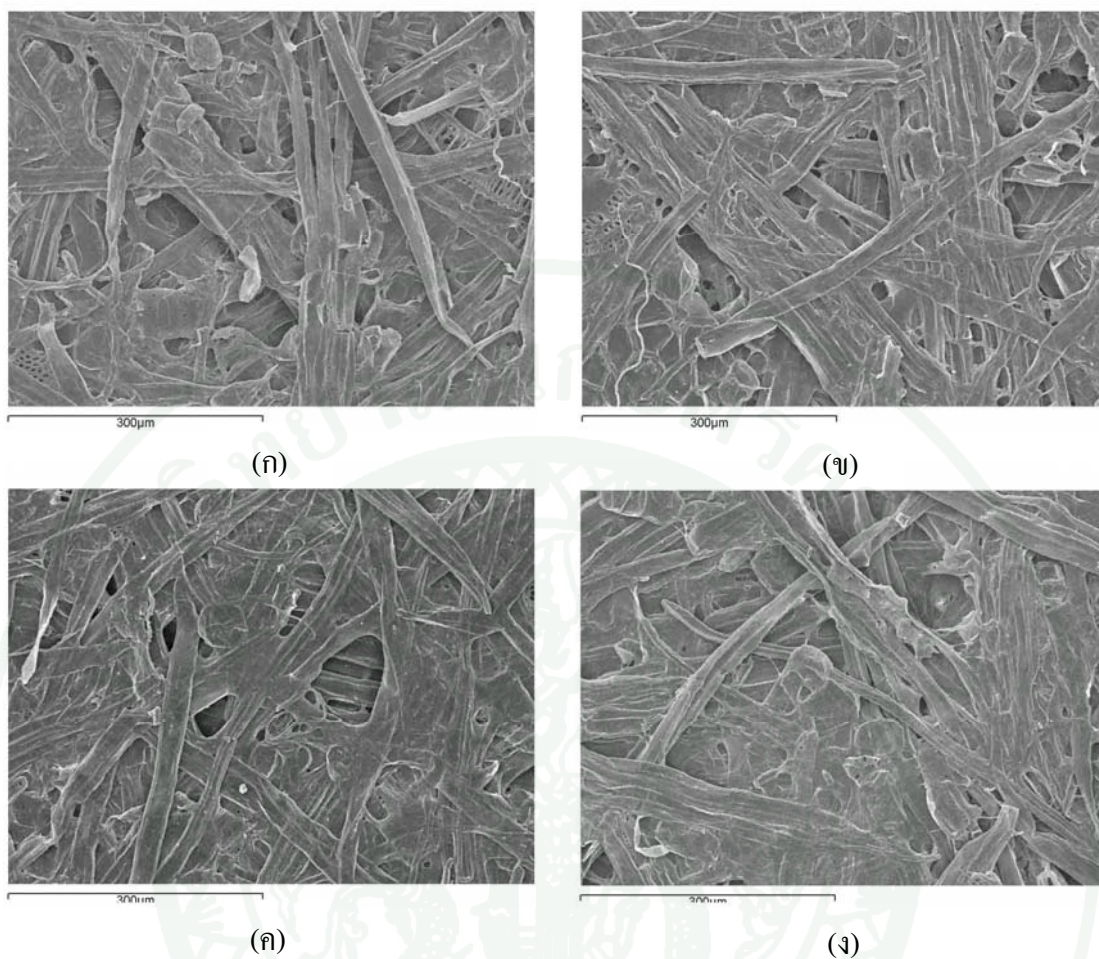
เมื่อนำแผ่นทดสอบที่ได้ไปทำการส่องดูพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าลักษณะพื้นผิวของแผ่นทดสอบที่ภาวะต่างๆ มีความแตกต่างกันดังภาพที่ 19 ภาพที่ 20 และภาพที่ 21

ภาพที่ 19 แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นทดสอบที่เชื่อมไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 พบว่าที่แผ่นทดสอบที่ไม่ได้ทำการเติมอัลคิลีดิน ไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช (ภาพ ก) จะเห็นพื้นเส้นใยเกาะกันค่อนข้างชัดเจน มีช่องว่างระหว่างเส้นใยมากมองเห็นได้ชัด พื้นผิวหน้าของแผ่นทดสอบไม่เรียบ พบว่าแผ่นทดสอบที่ระดับอัลคิลีดิน ไคเมอร์ร้อยละ 0 และระดับแคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 2 (ภาพ ข) เส้นใยเกาะกันได้มากขึ้นแต่ยังคงมีส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างเส้นใยค่อนข้างมาก แผ่นทดสอบที่ระดับอัลคิลีดิน ไคเมอร์ร้อยละ 2 และระดับแคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 0 (ภาพ ค) เส้นใยเกาะกันได้ค่อนข้างดี เป็นบริเวณกว้างพื้นผิวมีความเรียบ

และช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลงค่อนข้างมาก ส่วนแผ่นทดสอบที่ระดับอัลคิลิตินโดเมอร์ร้อยละ 2 และระดับแคตไออนิกสตาร์ชร้อยละ 2 (ภาพ ง) พบว่า เส้นใยเกาะกันได้ดีเป็นบริเวณกว้าง พื้นผิวมีความเรียบและช่องว่างระหว่างเส้นใยพบได้น้อย ซึ่งสอดคล้องกับการวัดมุมสัมผัส พบว่า อัลคิลิตินโดเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ชส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของแผ่นทดสอบลดลงอย่างช้าๆ เมื่อเวลาผ่านไป โดยจะเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มระดับอัลคิลิตินโดเมอร์เพราะ โครงสร้างของกระดาษมีรูพรุนน้อยลง การสานตัวและเซตตัวของผิวหน้าของเส้นใยในแผ่นทดสอบทำให้การแทรกตัวของน้ำเข้าไปในแผ่นทดสอบจึงทำได้ยาก

เช่นเดียวกับในภาพที่ 20 แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 ที่ไม่ได้เติมอัลคิลิตินโดเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ช (ภาพ ก) และที่ระดับอัลคิลิตินโดเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ชร้อยละ 2 (ภาพ ข) และภาพที่ 21 แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ที่ไม่ได้เติมอัลคิลิตินโดเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ช (ภาพ ก) และที่ระดับอัลคิลิตินโดเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ชร้อยละ 2 (ภาพ ข) พบว่าในแผ่นที่ไม่ได้เติมอัลคิลิตินโดเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ชเส้นใยจะเกาะกันด้วยพันธะระหว่างเส้นใยมองเห็นพื้นผิวหรือลักษณะเส้นใยได้ค่อนข้างชัดเจน พื้นผิวไม่เรียบ ช่องว่างระหว่างเส้นใยมีมาก การแทรกซึมของน้ำจึงทำได้ง่าย แต่แผ่นทดสอบที่ระดับอัลคิลิตินโดเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ชร้อยละ 2 นั้นพบว่า พื้นผิวก่อนข้างเรียบ การเกาะกันของเส้นใยเป็นแพ ปิดช่องว่างได้ดี การแทรกซึมของโมเลกุลของน้ำจึงทำได้ยากทำให้กระดาษมีความต้านทานน้ำได้ดี

ภาพที่ 22 แสดงลักษณะพื้นผิวแผ่นทดสอบที่เชื่อมไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 และแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 เปรียบเทียบแผ่นทดสอบที่ไม่ได้เติมอัลคิลิตินโดเมอร์และแคตไออนิกสตาร์ชกับที่เติมอัลคิลิตินโดเมอร์แคตไออนิกสตาร์ชร้อยละ 2 ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าเศษเส้นใยเล็กๆ ถูกจับเกาะและสานตัวให้พื้นผิวโครงสร้างของกระดาษทำให้เรียบขึ้น เศษเส้นใยเหล่านี้ช่วยอุดช่องว่างในพื้นผิวกระดาษและสานตัวเกิดพันธะระหว่างเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านแรงดันทะลุและความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบเพิ่มขึ้น รวมถึงคุณสมบัติการต้านทานน้ำ มุมสัมผัสของหยดน้ำที่ทำกับแผ่นทดสอบ ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับช่องว่างระหว่างโครงสร้างของแผ่นทดสอบ



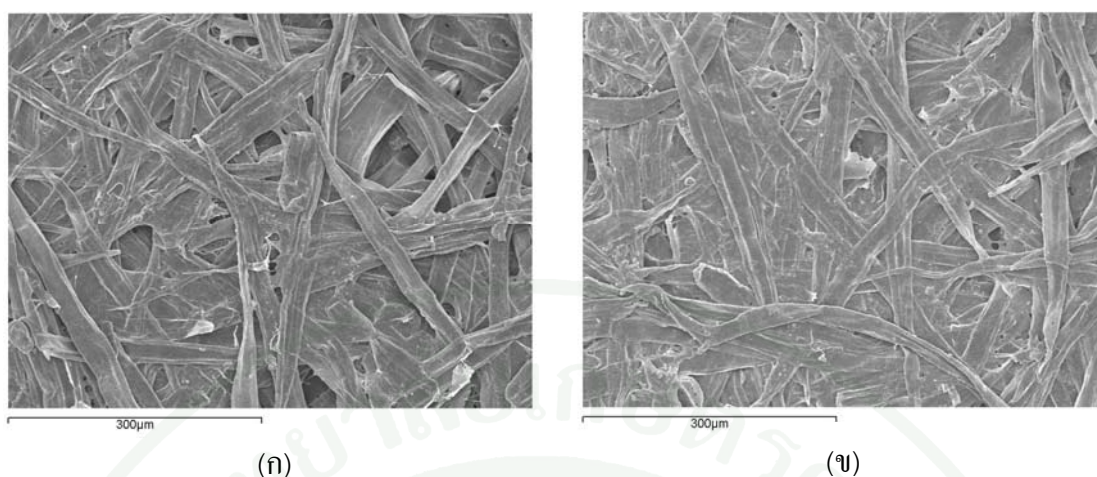
ภาพที่ 19 ลักษณะพื้นผิวแผ่นทดสอบที่เชื่อมต่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ ร้อยละ 15 เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า

(ก) ไม่เติมอัลคิลคีตินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช

(ข) ระดับอัลคิลคีตินไคเมอร์ร้อยละ 0 ระดับแคตไอออนิกสตาร์ช ร้อยละ 2

(ค) ระดับอัลคิลคีตินไคเมอร์ร้อยละ 2 ระดับแคตไอออนิกสตาร์ช ร้อยละ 0

(ง) ระดับอัลคิลคีตินไคเมอร์ร้อยละ 2 ระดับแคตไอออนิกสตาร์ช ร้อยละ 2



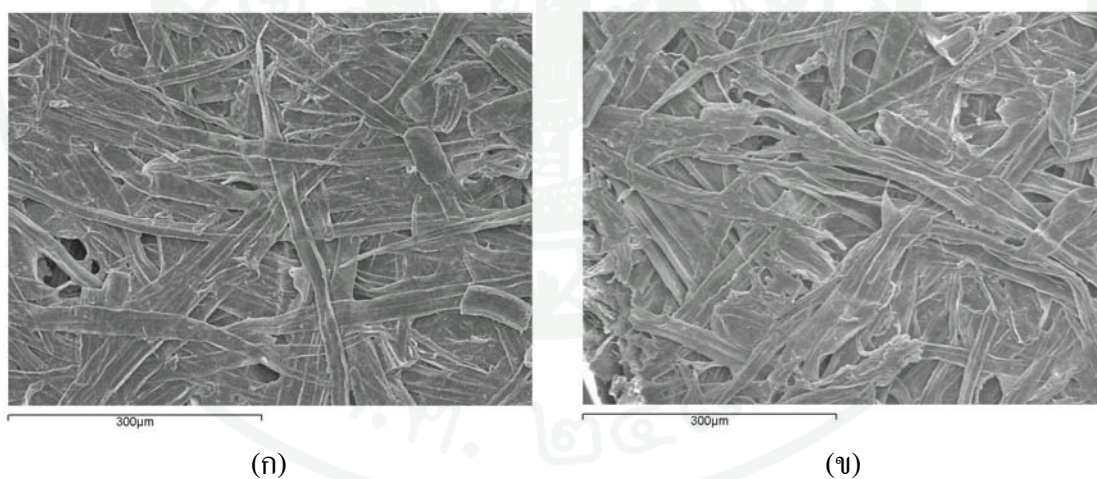
(ก)

(ข)

ภาพที่ 20 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า

(ก) ไม่เติมอัลคิลคีตินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช

(ข) ระดับอัลคิลคีตินไคเมอร์ร้อยละ 2 ระดับแคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 2



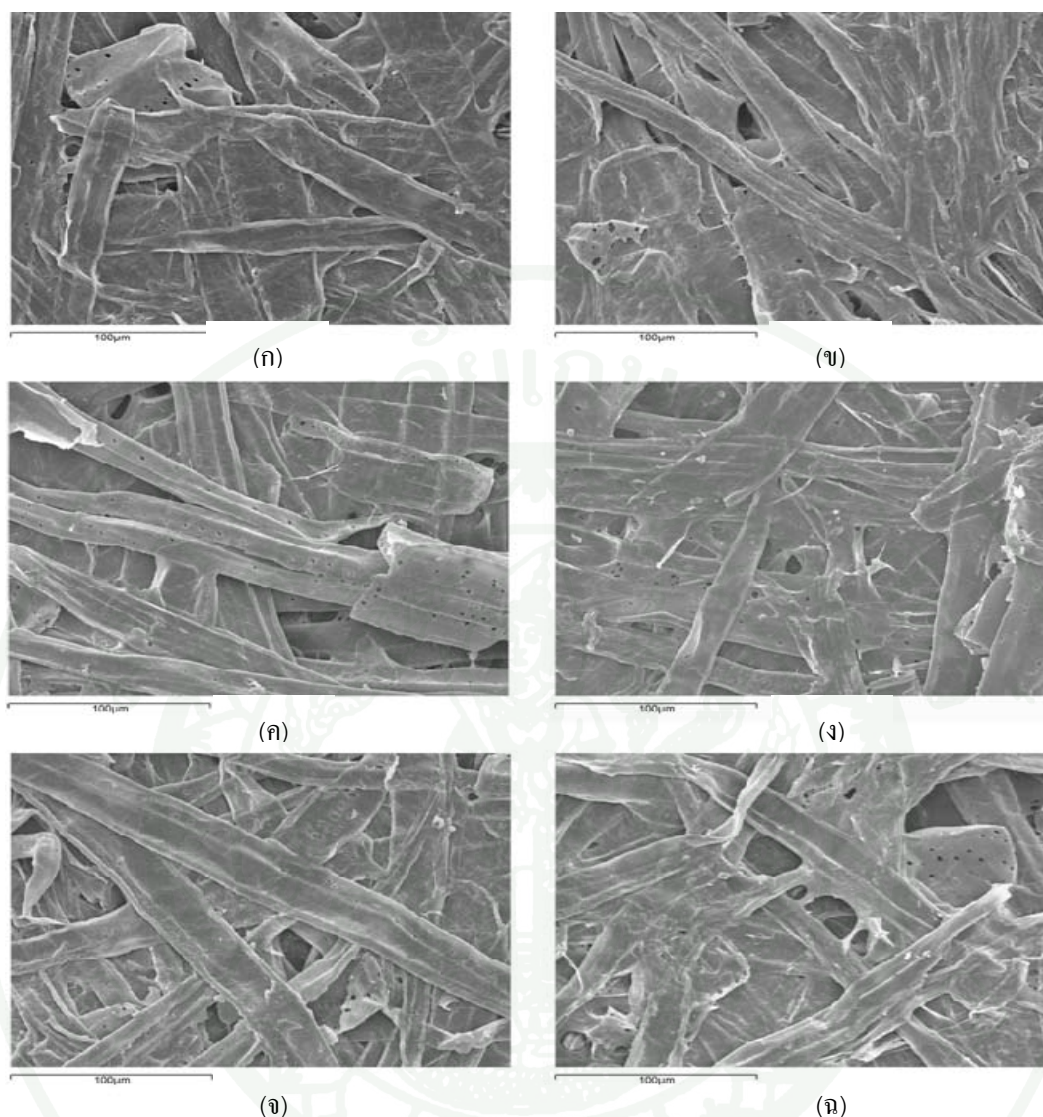
(ก)

(ข)

ภาพที่ 21 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า

(ก) ไม่เติมอัลคิลคีตินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช

(ข) ระดับอัลคิลคีตินไคเมอร์ร้อยละ 2 ระดับแคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 2



ภาพที่ 22 ลักษณะพื้นผิวแผ่นทดสอบเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า

แผ่นทดสอบที่เชื่อมต่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15

(ก) ไม่เติมอัลคิลคีตินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช

(ข) ระดับอัลคิลคีตินไคเมอร์ร้อยละ 2 แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 2

แผ่นทดสอบการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 อัลคาไลน์ร้อยละ 5

(ค) ไม่เติมอัลคิลคีตินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช

(ง) ระดับอัลคิลคีตินไคเมอร์ร้อยละ 2 แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 2

แผ่นทดสอบการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 อัลคาไลน์ร้อยละ 10

(จ) ไม่เติมอัลคิลคีตินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช

(ฉ) ระดับอัลคิลคีตินไคเมอร์ร้อยละ 2 แคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 2

6. เปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่ได้กับกระดาษที่ใช้งานทางบรรจุภัณฑ์

เมื่อนำแผ่นทดสอบทั้งสามระดับมาเปรียบเทียบกับกระดาษที่ใช้งานเชิงบรรจุภัณฑ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกระดาษเหนียว (มอก.170-550) และกระดาษทำลูกฟูก (มอก.321-2522) ที่ภาวะทดสอบอุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ระดับความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 65 ± 2 พบว่ามีความใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากระดาษที่ใช้งานทางบรรจุภัณฑ์ตามตารางที่ 28 ดังนี้

6.1 แผ่นทดสอบที่เยื่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15

แผ่นทดสอบที่เยื่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 ที่ระดับการใช้แอลคิลคลีนไคเมอร์ และแคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 0-2 พบว่า ดัชนีความต้านแรงดันทะลุมีค่าระหว่าง $1.63-2.08 \text{ kPa.m}^2/\text{g}$ สูงกว่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุของกระดาษห่อของชนิด 65 g/m^2 และกระดาษถุงชั้นเดียวชนิด 80, 110 และ 120 g/m^2 พบว่าดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบมีค่าระหว่าง $37.49-45.63 \text{ N.m/g}$ สูงกว่าดัชนีความต้านแรงดึงของกระดาษห่อของชนิด 35, 40, 55 และ 65 g/m^2 ซึ่งมีค่า 34.29, 35.00, 30.91 และ 29.23 N.m/g ตามลำดับ ในขณะที่ดัชนีความต้านแรงฉีกขาดนั้น แผ่นทดสอบมีดัชนีความต้านแรงฉีกขาดระหว่าง $4.24-5.42 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ ต่ำกว่าในกระดาษห่อของเล็กน้อย ความต้านแรงกดวงแหวนของแผ่นทดสอบมีค่าระหว่าง $0.0352-0.0462 \text{ kN/m}$ ซึ่งน้อยกว่ากระดาษปะหน้าคุณภาพชั้น 1 ชนิด $125-230 \text{ g/m}^2$ กระดาษปะหน้าคุณภาพชั้น 2 ชนิด $125-250 \text{ g/m}^2$ และในกระดาษลูกฟูก $115-135 \text{ g/m}^2$ ซึ่งความหนาของแผ่นกระดาษหรือน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษมีผลต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน แผ่นทดสอบที่ทำการทดสอบมีน้ำหนักมาตรฐานน้อยกว่ากระดาษที่ใช้ทดสอบทางบรรจุภัณฑ์จึงเป็นการยากที่จะเปรียบเทียบความแข็งแรงดังกล่าว

เมื่อพิจารณาสมบัติความแข็งแรงได้แก่ความต้านแรงดันทะลุ ความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 พบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกับกระดาษห่อของและกระดาษถุงชั้นเดียว ในด้านความต้านแรงดันทะลุและแรงดึง แต่ด้อยกว่าในด้านความต้านแรงฉีกขาดและความต้านแรงกดวงแหวน อาจมาจากเหตุผลด้านการผลิต กระดาษตามมาตรฐานอุตสาหกรรมนั้นผลิตขึ้นจากโรงงาน ในขณะที่แผ่นทดสอบทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ ซึ่งกระบวนการแตกต่างกัน ระยะเวลาการทำให้กระดาษแห้ง รวมถึงอุณหภูมิและวิธีการแตกต่างกัน รวมไปถึงการวางตัวของแนวเส้นใย

ตารางที่ 28 เปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงของแผ่นทดสอบกับกระดาษที่ใช้งานทางบรรจุภัณฑ์

ประเภท กระดาษ		ดัชนีความ ต้านแรงดัน ทะลุ	ดัชนีความ ต้านแรงดึง แนวขนาน เครื่อง	ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด		ความต้านแรง กดวงแหวน
				แนวขนาน	แนวขวาง	
				เครื่อง	เครื่อง	
ประเภท	(g/m ²)	(kPa.m ² /g)	(N.m/g)	(mN.m ² /g)	(mN.m ² /g)	(kN/m)
กระดาษ ห่อของ ^a	35	2.29	34.29	5.71	6.86	n/a
	40	2.50	35.00	6.00	7.25	n/a
	55	2.18	30.91	4.91	6.00	n/a
	65	2.00	29.23	5.54	5.69	n/a
กระดาษถุง ชั้นเดียว ^a	80	1.88	n/a	7.88	8.25	n/a
	110	1.64	n/a	6.73	7.27	n/a
	120	1.67	n/a	6.75	7.25	n/a
กระดาษปะหน้า คุณภาพชั้น 1 ^a	125-230	n/a	n/a	n/a	n/a	0.92-2.36
กระดาษปะหน้า คุณภาพชั้น 2 ^a	125-250	n/a	n/a	n/a	n/a	0.85-2.36
กระดาษลูกฟูก ^b	115-135	n/a	n/a	n/a	n/a	0.56-0.656
แผ่นทดสอบที่เชื่อมไม่ผ่าน						
การระเบิดด้วยไอน้ำ และ		1.63-2.08	37.49-45.63	4.24-5.42		0.0352-0.0462
ใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15						
แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิด						
ด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31		1.37-1.70	31.91-35.80	2.51-4.41		0.0590-0.0778
ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5						
แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิด						
ด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31		2.21-2.61	37.63-45.87	3.01-4.18		0.0435-0.0547
ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10						

หมายเหตุ ^a กระดาษเหนียวตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 170-2550

^b กระดาษลอนลูกฟูกตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 321-2522

n/a มาตรฐานอุตสาหกรรมไม่ระบุค่า

กระดาษที่ได้จากโรงงานจะมีการเรียงตัวในสองลักษณะ คือ เส้นใยเรียงตัวตามแนวเครื่องและเส้นใยเรียงตัวขวางแนวเครื่อง ในขณะที่ในห้องปฏิบัติการนั้นการขึ้นรูปแผ่นทดสอบเส้นใย จะมีลักษณะกระจายรอบทิศทาง ซึ่งการเรียงตัวของเส้นใยนี้จะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของกระดาษโดยตรง โดยเฉพาะสมบัติความต้านแรงกดวงแหวนและสมบัติความต้านแรงฉีกขาด พบว่าแผ่นทดสอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ ให้ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด และความต้านแรงกดวงแหวนที่ต่ำกว่ากระดาษตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ประกอบกับค่าความต้านแรงกดวงแหวนนั้นขึ้นกับน้ำหนักมาตรฐานและความหนาของแผ่นทดสอบ พบว่าแผ่นทดสอบที่ทำได้ในห้องปฏิบัติการมีค่าความน้ำหนักมาตรฐานที่ประมาณ 80-120 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งน้อยกว่าชนิดของกระดาษปะหน้าคุณภาพชั้น 1 กระดาษปะหน้าคุณภาพชั้น 2 และกระดาษลูกฟูก ในมาตรฐานอุตสาหกรรม จึงเป็นการยากที่จะนำมาเปรียบเทียบกันได้

6.2 แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5

แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 ที่ระดับการใช้แอลคิลคลีนไดเมอร์และแคดไอออนิกสตาบิลไรเซอร์ 0-2 พบว่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุมีค่าระหว่าง 1.37-1.7 kPa.m²/g ต่ำกว่ากระดาษห่อของและกระดาษถุงชั้นเดียวในทุกชนิด แผ่นทดสอบมีค่าดัชนีความต้านแรงดึงระหว่าง 31.91-35.8 N.m/g ซึ่งสูงกว่ากระดาษห่อของชนิด 35, 40, 55 และ 65 g/m² แผ่นทดสอบมีดัชนีความต้านแรงฉีกขาดระหว่าง 2.51-3.41 mN.m²/g ซึ่งน้อยกว่าในกระดาษห่อของชนิด 35, 40, 55 และ 65 g/m² และกระดาษถุงชั้นเดียว 80, 110 และ 120 g/m²

เมื่อพิจารณาสมบัติความแข็งแรงได้แก่ความต้านแรงดันทะลุ ความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 5 พบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกับกระดาษห่อของเฉพาะสมบัติความต้านแรงดึง แต่ต่ำกว่ากระดาษห่อของและกระดาษถุงชั้นเดียวในสมบัติความต้านแรงดันทะลุ ความต้านแรงฉีกขาด และความต้านแรงกดวงแหวน

6.3 แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10

แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ที่ระดับการใช้อัลคิลิซีนไดเมอร์และแคดไอออนิกสตรัชร้อยละ 0-2 พบว่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุมีค่าระหว่าง $2.21-2.61 \text{ kPa.m}^2/\text{g}$ สูงกว่ากระดาศห่อของชนิด 35, 40, 55 และ 65 g/m^2 และกระดาศถุงชั้นเดียวชนิด 80, 110 และ 120 g/m^2 ในขณะที่แผ่นทดสอบมีดัชนีความต้านแรงดึงระหว่าง $37.63-45.87 \text{ N.m/g}$ สูงกว่ากระดาศห่อของชนิด 35, 40, 55 และ 65 g/m^2 ดัชนีความต้านแรงนิกษาดของแผ่นทดสอบมีค่าระหว่าง $3.01-4.18 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ น้อยกว่ากระดาศห่อของชนิด 35, 40, 55 และ 65 g/m^2 และกระดาศถุงชั้นเดียวชนิด 80 และ 110 และ 120 g/m^2 ความต้านแรงกดวงแหวนของแผ่นทดสอบมีค่าระหว่าง $0.0435-0.0547 \text{ kN/m}$ ซึ่งน้อยกว่ากระดาศกระดาศปะหน้าคุณภาพชั้น 1 ชนิด $125-230 \text{ g/m}^2$ กระดาศปะหน้าคุณภาพชั้น 2 ชนิด $125-250 \text{ g/m}^2$ และในกระดาศลูกฟูก $115-135 \text{ g/m}^2$ ซึ่งความหนาของแผ่นกระดาศหรือน้ำหนักมาตรฐานของกระดาศมีผลต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน แผ่นทดสอบที่ทำการทดสอบมีน้ำหนักมาตรฐานน้อยกว่ากระดาศที่ใช้ทดสอบทางบรรจุกันจึงเป็นการยากที่จะเปรียบเทียบความแข็งแรงดังกล่าว

เมื่อพิจารณาสมบัติความแข็งแรงได้แก่ ความต้านแรงดันทะลุ ความต้านแรงดึง และความต้านแรงนิกษาด ของแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 พบว่ามีความแข็งแรงที่สูงกว่ากระดาศห่อของและกระดาศถุงชั้นเดียว ในด้านความต้านแรงดันทะลุและความต้านแรงดึง แต่ด้อยกว่ากระดาศห่อของในด้านความต้านแรงนิกษาดและความต้านแรงกดวงแหวน อาจมาจากเหตุผลด้านการผลิตที่แตกต่างกัน การเรียงตัวของเส้นใยไม่เหมือนกัน รวมถึงน้ำหนักมาตรฐานที่ต่างกันตามที่กล่าวมาแล้ว จึงเป็นการยากที่จะนำค่าความต้านแรงกดวงแหวนมาเปรียบเทียบกันได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีกิ่งสับดูพบว่าในส่วนที่เป็นเปลือกและส่วนที่เป็นเนื้อไม้มีองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกัน ทำการวิเคราะห์กิ่งสับดูทั้งในส่วนที่เป็นเปลือกและไม้รวมกันพบว่ามีค่าการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีนร้อยละ 2.28 การละลายในแอลกอฮอล์ร้อยละ 1.47 การละลายในน้ำร้อนร้อยละ 8.78 การละลายในด่างร้อยละ 1 เท่ากับ 33.84 ปริมาณเถ้าร้อยละ 6.13 โซโลเซลลูโลสร้อยละ 75.37 ลิกนินร้อยละ 24.11 แอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 57.06 เพนโตแซนร้อยละ 19.11 ตามลำดับ

2. เมื่อทำวิเคราะห์กายวิภาคเส้นใยพบว่าในส่วนของเปลือกและส่วนของเนื้อไม้มีลักษณะกายวิภาคที่แตกต่างกัน ในส่วนของเปลือกความยาวเส้นใย 5.23 มิลลิเมตร ความกว้าง 29.17 มิลลิเมตร ความกว้างลูเมน 22.48 ไมโครเมตร ความหนาผนังเซลล์ 3.35 ไมโครเมตร สัดส่วนรังเกิด 0.30 ประสิทธิภาพความอ่อนตัว 0.77 สัดส่วนความชะลูด 179.29 เศษชิ้นส่วนผนังเซลล์ 22.94 ส่วนของเนื้อไม้มีความยาว 0.66 มิลลิเมตร ความกว้าง 25.70 มิลลิเมตร ความกว้างลูเมน 18.37 ไมโครเมตร ความหนาผนังเซลล์ 3.67 ไมโครเมตร สัดส่วนรังเกิด 0.40 ประสิทธิภาพความอ่อนตัว 0.71 สัดส่วนความชะลูด 25.62 และเศษชิ้นส่วนผนังเซลล์ 28.53 เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายวิภาคของกิ่งสับดูพบว่า บริเวณของเปลือกมีเส้นใยที่เหมาะสมในการนำไปทำกระดาษที่มากกว่า กระดาษที่ได้จากเปลือกให้เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงจากความยาวเส้นใยและกระดาษที่ได้มีลักษณะเรียบเพราะเส้นใยมีผนังเส้นใยบาง ในการนำไปทำกระดาษจำเป็นต้องมีการทำให้เส้นใยมีการแตกแขนงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษ

3. การศึกษาการผลิตเยื่อพบว่าปริมาณผลผลิตของเยื่อขึ้นกับความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับอัลคาไลน์ พบว่าเมื่อนำกิ่งสับดูทำการระเบิดด้วยไอน้ำระดับความรุนแรงที่สูงมากขึ้นจะทำให้ผลผลิตเยื่อที่ได้ลดลงตามลำดับ โดยให้ผลผลิตหลังระเบิดด้วยไอน้ำที่ระดับความรุนแรง 3.31-3.81 อยู่ระหว่างร้อยละ 83.59-94.38 หลังจากนำผลผลิตที่ได้หลังการระเบิดด้วยไอน้ำไปบดด้วยเครื่องบดแบบจานจนเป็นเยื่อพบว่าระดับที่ให้ผลผลิตเยื่อมากที่สุด ที่สามารถนำเยื่อมาขึ้นเป็นแผ่นทดสอบได้คือที่ระดับการไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้อัลคาไลน์ที่ร้อยละ 10 และ 15 โดยผลผลิตอยู่ระหว่างร้อยละ 74.55-76.86 ค่าความอิสระเยื่ออยู่ระหว่าง 303-330 มิลลิลิตร

ในขณะที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.81 ให้ค่าผลผลิตเชื้อต่ำที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 68.61 ค่าความอิสระเชื้อ 173 มิลลิลิตร พบว่า การใช้แอลคาไลน์ที่สูงขึ้นส่งผลให้ผลผลิตเชื้อที่ได้น้อยลง ระดับการใช้แอลคาไลน์ที่ร้อยละ 0 ให้ผลผลิตเชื้อสูงที่สุด โดยมีผลผลิตเชื้ออยู่ระหว่างร้อยละ 68.61-71.12 ค่าความอิสระเชื้ออยู่ระหว่าง 161-173 มิลลิลิตร ในขณะที่ระดับการใช้แอลคาไลน์ที่ร้อยละ 15 ให้ค่าผลผลิตเชื้อที่ต่ำสุดอยู่ระหว่างร้อยละ 52.01-55.63 ค่าความอิสระเชื้ออยู่ระหว่าง 279-306 มิลลิลิตร

การระเบิดด้วยไอน้ำที่ระดับความรุนแรง 0-3.81 และระดับแอลคาไลน์ที่ร้อยละ 0-15 พบว่าค่าคัลปาและปริมาณลิกนินที่ความรุนแรงการระเบิดด้วยไอน้ำสูงขึ้นส่งผลให้ค่าคัลปาของเชื้อสูงขึ้น เชื้อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำสูงสุดที่ความรุนแรง 3.81 ให้ค่าคัลปาเท่ากับ 176.17 และเชื้อที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับแอลคาไลน์ที่ร้อยละ 0 ให้ค่าคัลปาต่ำสุดเท่ากับ 107.98

คัดเลือกภาวะที่เหมาะสมที่จะนำไปทดสอบร่วมกับอัลคิลคิตินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาโรซ์ 3 ภาวะได้แก่เชื้อที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 15 เชื้อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 5 และท้ายสุดเชื้อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 10 โดยมีค่าความอิสระเชื้ออยู่ระหว่าง 233-330 มิลลิลิตร ค่าคัลปา 109.84-134.26 ดัชนีความต้านแรงดันทะลุระหว่าง 1.08-2.01 $\text{kPa.m}^2/\text{g}$ ดัชนีความต้านแรงดึง 29.57-33.72 N.m/g และดัชนีความต้านแรงฉีกขาด 3.47-5.98 $\text{mN.m}^2/\text{g}$

4. ระดับการใช้อัลคิลคิตินไคเมอร์ร้อยละ 0-2 และแคตไอออนิกสตาโรซ์ที่ร้อยละ 0-2 นั้นช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของแผ่นทดสอบ พบว่าแผ่นทดสอบที่เชื้อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 10 ค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุสูงสุดอยู่ระหว่าง 2.21-2.61 $\text{kPa.m}^2/\text{g}$ และค่าดัชนีความต้านแรงดึงสูงสุดระหว่าง 37.63-45.87 N.m/g ในขณะที่แผ่นทดสอบที่เชื้อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 15 ได้ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดสูงสุดระหว่าง 4.24-5.42 $\text{mN.m}^2/\text{g}$ และค่าความต้านแรงกดวงแหวนต่ำสุดระหว่าง 0.0352-0.462 kN/m ในขณะที่แผ่นทดสอบที่การระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 5 ให้ค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุต่ำสุดอยู่ระหว่าง 1.37-1.70 $\text{kPa.m}^2/\text{g}$ ดัชนีความต้านแรงดึงต่ำสุดระหว่าง 31.91-35.80 N.m/g ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดต่ำสุดระหว่าง 2.51-3.41 $\text{mN.m}^2/\text{g}$ และให้ค่าความต้านแรงกดวงแหวนสูงที่สุดคือระหว่าง 0.059-0.078 kN/m ค่าความขาวสว่างพบว่าแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับแอลคาไลน์ร้อยละ 15 ให้ค่าความขาวสว่าง

สูงสุดระหว่างร้อยละ 22.65-29.71 และแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31 ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ให้ค่าความขาวสว่างต่ำที่สุดอยู่ระหว่างร้อยละ 10.96-12.60

ค่ามอดุลัสของหยดน้ำกับผิวหน้าของแผ่นทดสอบพบว่า เมื่อระดับอัลคาลิตีดินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชที่สูงขึ้นค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกันในทุกระดับ พบว่าอัลคาลิตีดินไคเมอร์ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของแผ่นทดสอบมากกว่าแคตไอออนิกสตาร์ช ค่ามอดุลัสจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงระดับอัลคาลิตีดินไคเมอร์ร้อยละ 0 และ 0.5 ในขณะที่ในระดับร้อยละ 1 และ 2 นั้นค่ามอดุลัสจะค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ

ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบพบว่าที่ระดับอัลคาลิตีดินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 2 ให้ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบน้อยที่สุด โดยมีแนวโน้มการดูดซึมน้ำได้ลดลงตามระดับอัลคาลิตีดินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชเพิ่มขึ้น แผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและระดับอัลคาไลน์ที่ร้อยละ 10 ให้ค่าทำให้ค่าการดูดซึมน้ำได้ต่ำที่สุด พบว่าระดับอัลคาไลน์ที่สูงช่วยให้เส้นใยมีความอ่อนนุ่ม สานตัวปิดทับกันได้ดี พบว่าความคงรูปของเส้นใยต่ำกว่าเยื่อที่ไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยมีน้อยกว่า โครงสร้างกระดาษปิด จึงทำให้การดูดซึมน้ำเกิดขึ้นได้น้อยกว่า

5. ลักษณะพื้นผิวของแผ่นทดสอบเมื่อทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าพื้นผิวแผ่นทดสอบที่ไม่ได้ทำการเติมอัลคาลิตีดินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชมองเห็นการสานตัวของเส้นใยชัดเจน พันธะที่เกิดจากส่วนที่แตกแขนงของเส้นใยและส่วนที่เส้นใยสานตัวทับกัน ช่องว่างระหว่างเส้นใยมีมาก ในขณะที่แผ่นทดสอบที่เติมอัลคาลิตีดินไคเมอร์หรือแผ่นทดสอบที่เติมแคตไอออนิกสตาร์ชเพียงอย่างเดียวนั้นจะเห็นการสานตัวเกาะกันเป็นกลุ่มเพิ่มมากขึ้น ช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลงโดยจะเห็นได้ชัดจากแผ่นทดสอบที่เติมอัลคาลิตีดินไคเมอร์ พื้นผิวแผ่นทดสอบที่เติมทั้งอัลคาลิตีดินไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ชร้อยละ 2 พบว่าการสานตัวเกิดได้เป็นบริเวณกว้างทั่วแผ่น ช่องว่างระหว่างเส้นใยถูกปิดทับพื้นผิวหน้าค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ

6. เมื่อนำแผ่นทดสอบเปรียบเทียบกับกระดาษที่ใช้งานเชิงบรรจุภัณฑ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกระดาษเหนียวและกระดาษทำลูกฟูกที่ภาวะทดสอบอุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ระดับความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 65 ± 2 พบว่า แผ่นทดสอบที่เชื่อมไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและใช้ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 15 และแผ่นทดสอบที่เชื่อมผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำความรุนแรง 3.31

ระดับอัลคาไลน์ร้อยละ 10 ให้ค่าความต้านแรงดันทะลุ และความต้านแรงดึงเทียบเท่ากระดาษห่อของชนิด 35, 40, 55 และ 65 g/m² และกระดาษถุงชั้นเดียวชนิด 80, 110 และ 120 g/m² แต่ด้อยกว่าในความต้านแรงฉีกขาดและความต้านแรงกดวงแหวน โดยในความต้านแรงกดวงแหวนอาจเกิดจากการผลิตและน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษไม่เท่ากัน

ข้อเสนอแนะ

1. การปฏิบัติต่อเยื่อด้วยอัลคาไลน์มีผลต่อคุณภาพของเยื่อที่ได้ ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิหรือความดันในระหว่างการปฏิบัติต่อเยื่อให้เลยจุดหลอมเหลวของลิกนินหรือให้เลย 170 องศาเซลเซียสนั้น จึงอาจทำให้การกำจัดลิกนินมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งนอกจากจะเป็นผลดีในการกำจัดลิกนินแล้วอาจเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้เยื่ออ่อนตัวระหว่างทำการบดได้ดีขึ้นด้วย แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงปริมาณผลผลิตของเยื่อที่จะถูกทำลายไประหว่างกระบวนการ
2. ในระหว่างการบดเยื่อด้วยเครื่องบดเยื่อแบบจานนั้น ระยะห่างระหว่างจานบด จำนวนรอบการบด ความเข้มข้นของเยื่อขณะทำการบดหรือแม้กระทั่งลักษณะจานบด ล้วนเป็นปัจจัยส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเยื่อที่ได้ทั้งสิ้น ซึ่งจำเป็นที่จะต้องหาจุดที่เหมาะสมในเยื่อแต่ละชนิดโดยละเอียด
3. ในระหว่างการอบอุณหภูมิที่ใช้อบอยู่ระหว่าง 105-110 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสำหรับการเซตตัวของอัลคิลคีติน ไคเมอร์หรือแคตไอออนิกสตาร์ช อาจจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือวิธีการทำให้แผ่นกระดาษแห้งที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการเซตตัวของอัลคิลคีติน ไคเมอร์และแคตไอออนิกสตาร์ช
4. ในแผ่นทดสอบพบว่ามีเส้นไหมหรือมัดเส้นใยของเยื่ออยู่ด้วย โดยเฉพาะในภาวะที่เยื่อไม่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นทดสอบ ทั้งนี้การคัดแยกเอาชิ้นส่วนที่ไม่เป็นเยื่อเหล่านี้ออกก่อนทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นทดสอบอาจช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่นทดสอบให้ดีขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จรรยา ค่อมคำพันธุ์ และ โยชิมุมิ ทาเคดะ. ม.ป.ป. น้ำมันสบูดากับเครื่องยนต์ดีเซล. กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: <http://www.doa.go.th>, 5 ธันวาคม 2550.
- ชำนาญ ฉัตรแก้ว. 2549. สบู่ดำ พืชพลังงาน. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟีนี ฟาร์มลิขชิง, กรุงเทพฯ.
- ณัฏฐภัทร จินดา, ณัฐฐา จันทารักษ์ และ สุทธิเดือน ชุณหกานต์. 2549. สารสกัดที่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์จากส่วนต่างๆ ของสบู่ดำ. การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ดวงทิพย์ กู้เกียรติกุลชัย. 2550. ผลการเคลือบสตาร์ชดัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษคราฟท์ทำผิวกล่องเพื่อใช้งานในสถานะห้องเย็น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธนธร ทองสัมฤทธิ์, สุชา เนตรประดิษฐ์ และ ไพทิพย์ ชีระเวชญาณ. 2547. การผลิตเยื่อและกระดาษจากใบธูปฤาษีเพื่อนวัตกรรมสิ่งพิมพ์บรรจุภัณฑ์. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นภาพร วรรณวิศาล. 2549. ผลของการเคลือบสตาร์ชดัดแปรที่มีต่อสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษคราฟท์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิคม แหลมศักดิ์ และ กนกอร คงสุวรรณ. 2548. การผลิตและลักษณะเส้นใยโครงสร้างแผ่นใยไม้อัดจากเยื่อไฟที่ได้จากกรรมวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นรินาม. กองส่งเสริมวิศวกรรมเกษตร. 2550. **เปรียบเทียบคุณสมบัติของสบูดำ.**

แหล่งที่มา: <http://aepd.itkased.com/modules>, 5 ธันวาคม 2550.

_____. 2550. **เปรียบเทียบผลผลิต และรายได้ ระหว่าง ปาล์มน้ำมันกับสบูดำ.**

กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: <http://board.dserver.org>, 2 มกราคม 2551.

_____. 2550. **ประเภทของกระดาษลูกฟูก.** สมาคมผู้ผลิตกล่องกระดาษและแผ่นลูกฟูกไทย.

แหล่งที่มา: <http://www.thaicorrugated.com>, 2 มกราคม 2551.

_____. ม.ป.ป. บริษัท ยูไนเต็คคอนเทนเนอร์ จำกัด. **ประเภทของลอนลูกฟูก.**

แหล่งที่มา: <http://www.uccbox.com>, 15 มีนาคม 2554.

บัวผัน พวงศิลป์. 2549. **การศึกษาการผลิตเยื่อกลึงเคมีจากไม้ดินเป็ด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีชา เกียรติกระจาย. 2526. **เคมีของเนื้อไม้.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์. ม. ป. ป. **การเพาะปลูกและการดูแลรักษา สบูดำ.** สำนักพิมพ์เพชรกระรัต,
กรุงเทพฯ.

ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2554. **บรรจุภัณฑ์อาหาร ตอน บรรจุภัณฑ์
กระดาษ.** แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com>, 16 เมษายน 2554.

มาตรฐานอุตสาหกรรม. 2522. **มาตรฐานอุตสาหกรรมกระดาษทำลูกฟูก.** มอก. 321-2522.

_____. 2550. **มาตรฐานอุตสาหกรรมกระดาษเหนียว.** มอก. 170-2550.

รตนพรพร หรรษอุดม. 2552. **การศึกษาสมบัติเยื่อซัลเฟตจากทางใบปาล์มน้ำมันและการประยุกต์.**
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิรัช ชื่นวาริน. 2533. สมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อไม้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิวัฒน์ อรรถพานุรักษ์. 2552. สมบัติเยื่ออินทรีย์ของไม้สนสามใบ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.

_____, รัศมี บุญประดิษฐ์, วสุ อรรถพานุรักษ์, ชีรวิทย์ จันทร์หอม และ สมบูรณ์ ปลื้มปัญญา.

2549. คุณสมบัติเยื่อกากอ้อยที่ผลิตด้วยกรรมวิธีต่างกับออกซิเจน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44, กรุงเทพฯ.

วิทยา ปั่นสุวรรณ. 2548. รายงานการแยกองค์ประกอบทางเคมีของต้นปาล์มน้ำมันโดยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ.

วุฒินันท์ คงทัด. 2552. ศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดาศเปลือกสับดำที่ทำด้วยมือแบบไทยเพื่องานนวัตกรรม. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สมหวัง ขันตยานวงศ์. 2546. พื้นฐานความแข็งแรงของกระดาศ. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 310421 โครงสร้างและสมบัติทางกายภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2546. สมบัติทางกายภาพของกระดาศ. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 310421 โครงสร้างและสมบัติทางกายภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุขสันต์ สิทธิผลไพบุลย์ และ ระพีพรรณ ภาสบุตร. 2547. สบู่ดำพืชพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สุชาดา ถาวรวิริยะนันท์. 2551. การปรับปรุงสมบัติการต้านทานน้ำของกระดาศแข็งโดยพลาสมาซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนุวัฒน์ จันทรสวรรณ. ม.ป.ป. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์. กรมวิชาการเกษตร.

แหล่งที่มา: <http://www.doa.go.th/fieldcrops/phinut/oth/bot.htm>, 2 มกราคม 2551.

Anapanurak, W., N. Laemsak, T. Veenin, R. Boonpradit and P. Atiwannapat. 2007.

Alkali-oxygen Pulping on Steam-explosion Pretreated Bamboo Species.

The 2007- Engineering Pulping and Environmental Conference Table of Conference.

Jacksonville, United state of America.

Anonymous. 1937. Standard Term of Length of Vessel Membranes and Wood Fibers.

International Association of Wood Anatomists. Tropical Wood. 51:21.

_____. 2009. **Cellulose.** Molecule of the Week. American Chemical Society.

Available Source: www.acs.org, January 5, 2008.

Awafo, V.A., D.S. Chahal and B.K. Simpson. 1999. Evaluation of Combination Treatments of Sodium Hydroxide and Steam Explosion for the Production of Cellulase-Systems by Two *T. reesei* Mutants under Solid-State Fermentation Conditions. **Bioresource Technology.** 73: 235-245.

Biermann, C.J. 1996. **Handbook of Pulping and Papermaking.** 2nd ed. Academic Press Limited, London.

Bonini, C., M.D. Auria, P.D. Maggio and R. Ferri. 2007. Characterization and Degradation of Lignin from Steam Explosion of Pine and Corn Stalk of Lignin: The Role of Superoxide Ion and Ozone. **Industrial and crops and product.** 27; 182-188.

Browning, B.L. 1967. **Methods of Wood Chemistry.** Wiley Interscience Publishers, New York.

Ekhtera, M.H., P.R. Charani, O. Ramezani and M. Azadfallah, 2008. Effect of Poly-Aluminum Chloride, Starch, Alum, and Rosin on The Rosin Sizing, Strength and Microscopic Apperance of Paper Prepared form Old Corrugated Container (OCC) Pulp. **Bioresource Technology.** 3(2): 383-402.

Franklin, G. 1937. Permanent Preparations of Macerata Wood Fibres. The Preparation of Material for Maceration. **Tropical Wood**. 49: 21-22.

Holik, H. 2006. **Handbook of Paper and Board**. 6th ed. Federal Republic, Germany.

Hubbe, M.A. 2006. Paper's Resistance to Wetting-A Review of Internal Sizing Chemicals and Their Effects. **Bioresource Technology**. 2(1); 106-145.

_____. 2009. **Alkyl Ketene Dimer**. Mini-Encyclopedia of Papermaking Wet-End Chemistry. Available source: <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/AKD.html>, January 5, 2008.

_____. 2009. **Cationic Starch**. Available source: <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/CST.htm>, January 5, 2008.

Jennings, J.W., Jr., and N.R. Pallas. 1988. **An Efficient Method for the Determination of Interfacial Tensions from Drop Profiles**. *Langmuir* 4(4), 959-967.

Kokta, B.V. and A. Ahmed. 1998. Steam Explosion Pulping. pp. 191-212. In Raymond A. Young and Masood Akhtar, ed. **Environmentally Friendly Technologies for The Pulp and paper Industry**. John Wiley and Sons, Inc. United state of America.

_____, A. Ahmed, T. Rivières and Q. Canada. 1993. Explosion Pulping of Eucalyptus: a Comparison with CTMP and CMP. **Wood Science and Technology**. 27: 271-279.

Kozminski, A. P., R. J. Hill and T.G.M. van de Ven. 2007. Flocculation of Starch-Coated Solidified Emulsion Droplets and Calcium Carbonate Particles. **Colloid and Interface Science**. 309: 99-105.

- Li, J., G. Henriksson and G. Gellersted. 2007. Lignin Depolymerization /Repolymerization and its Critical Role for Delignification of Aspen Wood by Steam Explosion. **Bioresource Technology**. 98: 3061–3068.
- Lindfors, J., J. Salmi, J. Laine and P. Stenius. 2007. AKD and ASA Model Surfaces: Preparation and Characterization. **Bioresource Technology**. 2: 652-670.
- Martin, R.S., C. Perez and R. Briones. 1995. Simultaneous Production of Ethanol and Kraft Pulp from Pine Using Steam Explosion. **Bioresource Technology**. 53: 217-223.
- Mert, J. 2001. **Interactions Between Cationic Starch and Mixed Anionic Surfactants**. Doctoral Thesis. Helsinki University of Technology.
- Montane, D., X. Farriol, J. Salvado, P. Jollez and E. Chornet. 1995. Application of Steam Explosion to The Fractionation and Rapid Vaporize-phase Alkaline Pulping of Wheat Straw. **Biomass and Bioenergy**. 14: 261-276.
- Neimo, L. 1999. Internal Sizing of Paper. **Papermaking Science and Technology**. 4; 151-203.
- Rowell, R.M. 1999. **Wood Handbook Wood as an Engineering Material**. Wisconsin.
- Seppanen, R. 2007. **On the Internal Sizing Mechanisms of Paper with AKD and ASA Related to Surface Chemistry, Wettability and Friction**. KTH Chemical Science and Engineering, Stockholm.
- Smook, G.A. 1992. **Handbook for Pulp and Paper Technologists**. Augus Wilde Publications Inc., Canada.
- Somboon, P. 2009. **On the Application of Grits to Thermomechanical Pulp Refining**. Doctoral Thesis. Helsinki University of Technology.

- Taniguchi, R., A. Isogai, F. Onabe and M. Usuda. 1993. Sizing Mechanism of Alkylketene dimers (AKD) Part 3. **Appearance of Sizing Features of AKD-Sized Sheets**, Nordic Pulp and Paper Research Journal. 8(4), 352-357.
- Viola, E., F. Zimbardi, M. Cardinale, G. Cardinale, G. Braccio and E. Gambacorta. 2008. Processing Cereal Straws by Steam Explosion in a Pilot Plant to Enhance Digestibility in Ruminants. **Bioresource Technology**. 99: 681–689.
- Wanrosli, W.D., Z. Zainuddin, K.N. Law and R.Asro. 2007. Pulp from Oil Palm Frounds by Chemical Process. **Industrial Crops and Products**. 25:89-94.
- Zhang, L.H., D. Li, L.J. Wang, T.P. Wang, L. Zhang, X.D. Chen and Z.H. Mao. 2008. Effect of Steam Explosion on Biodegradation of Lignin in Wheat Straw. **Bioresource Technology**. 99: 8512-8515.



ภาคผนวก

วิธีการทดสอบ

1. การหาปริมาณความชื้น

1.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T257

1.2 อุปกรณ์

1.2.1 เครื่องบดไม้ Wiley mill

1.2.2 ชั่งไม้สับ

1.2.3 ตะแกรงร่อนขนาด 40 เมช และ 60 เมช

1.2.4 ถ้วยครุชเชิล

1.3 วิธีการทดสอบ

1.3.1 ทำความสะอาดถ้วยครุชเชิลให้แห้ง ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนก่อนชั่งน้ำหนักผงไม้ตัวอย่างละ 2.00 ± 0.1 กรัม

1.3.2 นำเข้าอบที่ 100 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำเข้าโถดูดความชื้นเพื่อให้เย็น ก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

1.4 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักผงไม้ก่อนอบ} - \text{น้ำหนักผงไม้หลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักผงไม้หลังอบ}}$$

2. การหาปริมาณการละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีน

2.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T204

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 ถ้วยกรอง

2.2.2 เครื่องมือสกัดสารแทรก

2.2.3 ขวดชั่ง

2.2.4 สารละลายเอทานอล อัตราส่วนเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร

2.2.5 พงไม้ 8 กรัมโดยน้ำหนักอบแห้ง

2.3 วิธีการทดสอบ

2.3.1 ชั่งพงไม้ประมาณ 4 กรัม ครอบด้วยตะแกรงรูปกรวยแล้วใส่ในถ้วยกรอง บรรจุในเครื่องสกัดสารแทรก

2.3.2 สกัดด้วยสารละลายแอลกอฮอล์-เบนซีน 150 มิลลิลิตร โดยการควบคุมอุณหภูมิและจุดเดือดของตัวทำละลาย เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง ระบายไล่ตัวทำละลายออกจากถ้วยแก้วสกัดสารแทรก

2.3.3 นำถ้วยแก้วที่สกัดได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำเข้าโถดูดความชื้นเพื่อให้เย็น ก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

3.4 ทำตัวควบคุม (Blank) โดยนำแอลกอฮอล์-เบนซีน 150 มิลลิลิตร ไประบายไล่ตัวทำละลายออกจากแก้วสกัดสารแทรกและทำเช่นเดียวกับข้อ 3

2.3.5 คำนวณหาปริมาณน้ำหนัการละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีนได้จากสมการ

2.4 การคำนวณ

$$\text{การละลายได้ในแอลกอฮอล์-เบนซีน (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักสารแทรก} - \text{น้ำหนักควบคุม}) \times 100}{\text{น้ำหนักพงไม้}}$$

3. การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์วัตถุดิบที่ปราศจากสารแทรก

3.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T264

3.2 อุปกรณ์

- 3.2.1 ถ้วยกรอง (Extraction trimble)
- 3.2.2 เครื่องมือสกัดสารแทรก
- 3.2.3 ขวดซั่ง
- 3.2.4 Filter flask
- 3.2.5 Buchner funnel
- 3.2.6 ตู้ดูดควัน
- 3.2.7 สารละลายเอทานอล อัตราส่วนเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร
- 3.2.8 เบนซีนบริสุทธิ์ ที่เมื่อผ่านการระเหยแล้ว ส่วนที่เหลือน้อยกว่าร้อยละ 0.001
- 3.2.9 สารละลายเอทานอล-เบนซีน อัตราส่วน 1 ต่อ 2 โดยปริมาตร
- 3.2.10 พงไม้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจำนวน 20 กรัมโดยน้ำหนักอบแห้ง

3.3 วิธีการทดสอบ

- 3.3.1 อบแห้งถ้วยแก้วและทำการซั่งน้ำหนักที่แน่นอน
- 3.3.2 ซั่งพงไม้ตัวอย่าง 20 กรัม ใส่ในถ้วยกรอง แล้วบรรจุในเครื่องมือสกัดสารแทรก
- 3.3.3 ติดตั้งเครื่องสกัดสารแทรกและสกัดด้วยสารละลายแอลกอฮอล์-เบนซีน 150 มิลลิลิตร โดยการควบคุมอุณหภูมิและจุดเดือดของตัวทำละลาย เป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง โดยรักษาอัตราการชะล้างไม่น้อยกว่าชั่วโมงละ 4 ครั้ง
- 3.3.4 กรองพงตัวอย่างโดยเทลงใน Buchner funnel เพื่อดูดตัวทำละลายออก ก่อนล้างถ้วยกรองและพงตัวอย่างด้วยเอทานอลเพื่อไล่เบนซีนออก
- 3.3.5 ใส่พงตัวอย่างในถ้วยกรองอีก และบรรจุใส่ในเครื่องสกัดสารแทรก
- 3.3.6 ติดตั้งเครื่องสกัดสารแทรก สกัดด้วยเอทานอล เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จนกระทั่งเอทานอลไม่มีสี

3.3.7 ถ่ายตัวอย่างลงใน Buchner funnel เพื่อดูดตัวทำละลายออก ล้างด้วยกรองและตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นเพื่อไล่เอทานอลออก

3.3.8 ถ่ายตัวอย่างลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นที่กำลังเดือด 500 มิลลิลิตร ให้ความร้อนแก่ถ้วยแก้วเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในอ่างน้ำร้อน รักษาที่จุดเดือด กรองตัวอย่างด้วย Buchner funnel และล้างด้วยน้ำกลั่นที่กำลังเดือดจำนวน 500 มิลลิลิตร ผึ่งตัวอย่างให้แห้ง

3.3.9 คลุกเคล้าตัวอย่างและเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิด หาค่าปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่ปราศจากสารแทรก และนำตัวอย่างที่เตรียมได้นี้ไปใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ

3.3.10 หาปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่ปราศจากสารแทรกโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างจากข้อ 9 ประมาณ 2 กรัมลงในขวดชั่ง อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำเข้าโถดูดความชื้นเพื่อให้เย็น ก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก ชั่งน้ำหนักให้ได้คงที่แล้วคำนวณหาปริมาณความชื้น

4. การหาปริมาณการละลายได้ในต่างประเทศต่างร้อยละ 1

4.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T212

4.2 อุปกรณ์

4.2.1 เครื่องกระจายเชื้อพร้อมใบพัด

4.2.2 อ่างแช่ควบคุมความร้อนระหว่าง 97-100 องศาเซลเซียส และเป็นชนิดที่มีหลุมสำหรับนำบีกเกอร์แขวนไว้ในหลุมได้พอดี โดยใส่น้ำในอ่างอยู่เหนือระดับของเหลวในบีกเกอร์เล็กน้อย

4.2.3 บีกเกอร์ทรงสูงขนาด 200 มิลลิลิตร

4.2.4 ถ้วยกรองขนาด 30 มิลลิลิตร มีความเป็นรูพรุนระดับกลาง ขนาดรูสูงสุดที่ 10-15 มิลลิเมตร ทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที แล้วนำเข้าโถดูดความชื้นเพื่อให้เย็น ก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก

4.2.5 Filtering flasks ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

4.2.6 กระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร

4.2.7 กระชอนาฬิกา

4.2.8 แท่งแก้วคน

4.2.9 เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ

4.2.10 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ± 0.1 (0.25 นอร์มอล)

4.2.11 กรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 10

4.2.12 ผงไม้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองโดยหาความชื้น สำหรับไม้ใช้น้ำหนักประมาณ

4 กรัม

4.3 วิธีการทดสอบ

4.3.1 ชั่งผงไม้ตัวอย่างโดยคิดเทียบที่น้ำหนักแห้งประมาณ 2 ± 0.1 กรัม ถ่ายผงไม้ลงในบีกเกอร์ทรงสูง 200 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ลงไป 100 มิลลิลิตร ก่อนคนด้วยแท่งแก้ว

4.3.2 ปิดปากบิกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา นำบิกเกอร์ไปใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อยู่ระหว่าง 97-100 องศาเซลเซียส โดยให้น้ำในอ่างมีระดับสูงกว่าสารละลายเล็กน้อย เป็นเวลา 60 นาที

4.3.3 คนด้วยแท่งแก้วครึ่งละ 5 วินาที เมื่อถึงเวลา 10, 15 และ 25 วินาที หลังจากวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

4.3.4 เมื่อครบ 60 นาที นำไปกรองด้วยถ้วยกรองเบอร์ 3 ที่ทราบน้ำหนักถ้วยกรองอบแห้งแล้ว

4.3.5 ล้างด้วยน้ำร้อนจำนวน 100 มิลลิลิตร

4.3.6 เติมกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 25 มิลลิลิตร แช่ไว้ 1 นาที แล้วจึงดูดกรดออก และทำเช่นนี้ซ้ำอีกครั้ง

4.3.7 ล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งปราศจากกรดอะซิติก

4.3.8 นำถ้วยกรองที่มีผงตัวอย่างนี้อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำเข้าโถดูดความชื้นเพื่อให้เย็น ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักให้ได้คงที่

4.3.9 นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณการละลายได้

4.4 การคำนวณ

$$\text{การละลายได้ในค่า } 1\% = \frac{(\text{น้ำหนักผงไม้ก่อนสกัด} - \text{น้ำหนักผงไม้หลังสกัด}) \times 100}{\text{น้ำหนักผงไม้หลังสกัด}}$$

(ร้อยละ)

5. การหาปริมาณลิกนินที่ไม่ละลายในกรด

5.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T222

5.2 อุปกรณ์

5.2.1 เครื่องกรองลิกนินประกอบด้วย Filter Flask ขนาด 2000 มิลลิลิตร และเครื่องทำสุญญากาศ

5.2.2 ถ้วยกรองเบอร์ 4 อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นและชั่งน้ำหนักก่อนใช้

5.2.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยให้มีอุณหภูมิที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส

5.2.4 Erlenmeyer flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร แสดงเครื่องหมายการเติมสารละลายสำหรับผลตัวอย่างวัตถุดิบที่ปริมาตรเท่ากับ 575 มิลลิลิตร

5.2.5 Reflux condenser จะต้องสวมอยู่บน flask โดยมี Rubber stopper ปิดติดกันให้แน่น

5.2.6 ตู้อบโดยให้มีอุณหภูมิที่ 105 ± 3 องศาเซลเซียส

5.2.7 ตะเกียบปูนเซิน แผ่นตะแกรง และฐานรองสามขา

5.2.8 Buret ขนาด 50 มิลลิลิตร

5.2.9 Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร

5.2.10 แท่งแก้วคน

5.2.11 ตะแกรงขนาด 10 เมช

5.2.12 กรดซัลฟริกเข้มข้นร้อยละ 72 ซึ่งจะเป็นสารละลายที่ความเข้มข้นร้อยละ 24 ± 0.1 นอร์มอล และมีความถ่วงจำเพาะ 1.6338 ที่อุณหภูมิ 20 ± 4 องศาเซลเซียส

5.2.13 สารละลายเอทานอล-เบนซีน โดยมีอัตราส่วน 1: 2 โดยปริมาตร

5.2.14 ผลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง จากวัตถุดิบซึ่งปราศจากสารแทรกจำนวน 5 กรัม โดยน้ำหนักอบแห้ง

5.3 วิธีการทดสอบ

5.3.1 ชั่งผลตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรก 1 ± 0.1 กรัมโดยน้ำหนักอบแห้ง ถ่ายลงใน บีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร

5.3.2 วางบีกเกอร์ลงในอ่างน้ำแข็งแล้วค่อยๆเติมกรดซัลฟริกความเข้มข้นร้อยละ 72 ที่แช่เย็น (10-15 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พร้อมคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอทุกๆ 15 นาที จนแน่ใจว่ามีการละลายสมบูรณ์แล้ว

3.3.3 เมื่อผงตัวอย่างกระจายดีแล้วทำการปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา นำมาตั้งทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พร้อมคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอทุกๆ 15 นาทีจนแน่ใจว่ามีการละลายสมบูรณ์

3.3.4 เติมน้ำกลั่น 300-400 มิลลิลิตรลงใน Erlenmeyer flask แล้วเทสารละลายใน บีกเกอร์ลงไปใน Erlenmeyer flask ด้วย และเติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงระดับ 575 มิลลิลิตร ซึ่งที่ระดับนี้ กรดจะเจือจางเหลือความเข้มข้นร้อยละ 3

3.3.5 Reflux สารละลายเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยการรักษาปริมาตรสารละลายใน flask ให้คงที่

3.3.6 ปลดทิ้งให้ตะกอนนอนก้น 1 คืน ก่อนนำมากรองด้วยด้วยกรองเบอร์ 4 ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน โดยกรองน้ำใส่ก่อนแล้วจึงกรองตะกอนลิกนิน

3.3.7 ล้างลิกนินให้ปราศจากกรดด้วยน้ำร้อน

3.3.8 นำถ้วยกรองที่มีลิกนินอยู่ไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักที่คงที่ โดยทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นให้เย็นและชั่งน้ำหนัก จากนั้น คำนวณหาปริมาณลิกนินเป็นร้อยละ

4.4 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณลิกนิน (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักของลิกนินอบแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักของผงไม้ตัวอย่าง}}$$

6. การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยวิธี Acid chorite

6.1 มาตรฐานการทดสอบ ตามวิธีของ Browing (1967)

6.2 อุปกรณ์

- 6.2.1 ผงตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรกและทราบน้ำหนักอบแห้ง
- 6.2.2 อ่างควบคุมอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส
- 6.2.3 กระดาษฟอยล์
- 6.2.4 โถดูดความชื้น
- 6.2.5 ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 6.2.6 ถ้วยกรองเบอร์ 1
- 6.2.7 เครื่องปั่นลม พร้อมชุดแยกน้ำจากลม
- 6.2.8 กรดอะซิติก
- 6.2.9 โซเดียมคลอไรด์
- 6.2.10 น้ำแข็ง

6.3 วิธีการทดสอบ

6.3.1 ชั่งผลตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรกลงในกระดาษฟอยล์ที่น้ำหนักอบแห้ง 5 กรัม ก่อนถ่ายลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร

6.3.2 เติมน้ำกลั่นลงในขวดรูปกรวยจำนวน 160 มิลลิลิตร และกรดอะซิติกเข้มข้นจำนวน 0.5 มิลลิลิตรและโซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัมตามลำดับ แล้วใช้ขวดรูปกรวยขนาดเล็กกว่าเอียงหัวลงเพื่อปิดปากขวดรูปกรวยที่ใส่ผงตัวอย่าง นำไปตั้งทิ้งไว้ในอ่างที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 70-80 องศาเซลเซียส

6.3.3 เมื่อครบ 1 ชั่วโมง จะต้องเติมกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตรและโซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัมตามลำดับ ลงในขวดรูปกรวย ยังคงเขย่าเป็นระยะ เป็นเวลา 1-4 ชั่วโมง หรือจนผงตัวอย่างจะมีสีขาว

6.3.4 เมื่อครบกำหนดเวลา นำขวดรูปกรวยไปแช่ในอ่างน้ำแข็งเพื่อให้ก๊าซพิษลดลงเป็นเวลา 30 นาที

6.3.5 กรองผงเชื้อด้วยถ้วยกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักอบแห้งละเอียด

6.3.6 ล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งผงไฮโดรเซลลูโลสมีสีขาว จึงล้างด้วยอะซิโตนและทำการดูดอะซิโตนออก

6.3.7 นำไฮโดรเซลลูโลสไปทำให้แห้งเพื่อชั่งหาน้ำหนักและเก็บผลตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสต่อไป

6.4 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักของไฮโดรเซลลูโลสอบแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักของผงไม้ตัวอย่าง}}$$

7. การหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลส

7.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T203

7.2 อุปกรณ์

- 7.2.1 เครื่องกระจายผงตัวอย่าง
- 7.2.2 อ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส
- 7.2.3 นาฬิกาจับเวลา
- 7.2.4 บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 7.2.5 แท่งแก้วคน
- 7.2.6 Volumetric flask ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 7.2.7 บีกเกอร์ทรงสูงขนาด 300 มิลลิลิตร
- 7.2.8 โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5
- 7.2.9 กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 10

7.3 วิธีการทดสอบ

- 7.3.1 ชั่งไฮโดรเซลลูโลสที่ทราบน้ำหนักอบแห้ง 0.5 ± 0.1 กรัม
- 7.3.2 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 จำนวน 75 มิลลิลิตร และปรับอุณหภูมิของสารละลายโดยนำไปไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
- 7.3.3 คนสารละลายด้วยเครื่องกระจายจนเกิดการกระจายอย่างสมบูรณ์
- 7.3.4 ล้างเครื่องกระจายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 จำนวน 25 มิลลิลิตร
- 7.3.5 คนสารละลายและนำไปไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที
- 7.3.6 เติมน้ำกลั่นลงในสารละลาย 100 มิลลิลิตรแล้วคนด้วยแท่งแก้วทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิอีก 30 นาที
- 7.3.7 กรองสารละลายด้วยถ่านกรองเบอร์ 2
- 7.3.8 ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นที่มีความเย็น 20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเป็นกลาง

7.3.9 ล้างตะกอนต่อไปด้วยกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยให้แช่อยู่นาน 5 นาที จำนวน 40 มิลลิลิตร

7.3.10 ล้างตะกอนชุดสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำที่ล้างนั้น ไม่มีสภาพเป็นกรด

7.3.11 นำเข้าอบที่ 100 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำเข้าโถดูดความชื้น เพื่อให้แห้ง ก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำผลมาคำนวณปริมาณแอลฟาเซลลูโลส

7.4 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักของแอลฟาเซลลูโลสอบแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักของผงไม้ตัวอย่าง}}$$

8. การหาปริมาณเพนโตแซน

8.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T223

8.2 อุปกรณ์

- 8.2.1 เครื่องมือกลั่น
- 8.2.2 เตาไฟฟ้า
- 8.2.3 อ่างน้ำแข็ง
- 8.2.4 เครื่อง Spectrophotometer
- 8.2.5 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 0.1 องศาเซลเซียส
- 8.2.6 นาฬิกาจับเวลา
- 8.2.7 Volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 8.2.8 ปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร
- 8.2.9 ปิเปตขนาด 25 มิลลิลิตร
- 8.2.10 กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 13.15 โดยน้ำหนัก 3.85 ± 0.05 นอร์มอล
- 8.2.11 กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 11 นอร์มอล
- 8.2.12 Orcinol reagent
- 8.2.13 ผลึกโซเดียมคลอไรด์
- 8.2.14 แอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95
- 8.2.15 โซโลส
- 8.2.16 น้ำแข็ง

8.3 วิธีการทดสอบ

8.3.1 ใส่ผลตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรก 0.3 กรัม ผลึกโซเดียมคลอไรด์ 20 กรัม กรดไฮโดรคลอริก 3.85 ± 0.05 นอร์มอลจำนวน 100 มิลลิลิตร พร้อมด้วยลูกแก้ว

8.3.2 ติดตั้ง Boiling flask ทำเครื่องหมายระดับสารละลายกรดไว้ เดิมสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3.85 นอร์มอลจำนวน 250 มิลลิลิตรลงใน Sepatory funnel

8.3.3 ให้ความร้อนด้วยตะเกียงเบนเซนโดยให้กรดกลั่นตัวอัตราเร็วประมาณ 2.5 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่กลั่นได้ซึ่งมี Fuelur ใน Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร วางในอ่างน้ำแข็ง

8.3.4 ในระหว่างการกลั่นรักษาระดับของสารละลายกรดใน Boiling flask ให้คงที่โดยการเติมไฮโดรคลอริกจำนวน 25 มิลลิลิตร ทุกๆ 10 นาที กลั่นจนกระทั่งครบเวลา 90 นาที

8.3.5 ปรับระดับอุณหภูมิของสารละลายที่กลั่นได้ให้เป็น 20 องศาเซลเซียส เติมสารละลายกรด 3.85 นอร์

8.3.6 ดูดสารละลายด้วยปิเปต 5 มิลลิลิตรใส่ใน Volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร เขย่าและวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

8.3.7 เติมเอทานอลให้ครบระดับที่มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าและวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

8.3.8 นำสารละลายที่เตรียมไว้ใน Cuvettes ที่มีฝาปิดป้องกันการระเหยของกรดไปวัดค่าการดูดซับด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร

8.3.9 คำนวณหาปริมาณเพนโตแซนที่หาได้เทียบกับกราฟปกติ

8.3.10 ทำการเตรียมกราฟ Calibration

ก. ทำโซลอสให้แห้งในสูญญากาศ

ข. ชั่งโซลอสแห้งที่ 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 มิลลิกรัม จำนวน 5 ชุด

ค. ใส่โซลอสแต่ละน้ำหนักที่เตรียมไว้ลงใน Boiling flask และกลั่นเช่นเดียวกับตัวอย่าง

ง. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่กลั่นได้ในแต่ละน้ำหนัก และให้ Blank เป็นสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3.85 นอร์มอลจำนวน 5 มิลลิลิตรเป็นสารละลายอ้างอิง

จ. คำนวณโซแลนในตัวอย่างเป็นมิลลิกรัม

ฉ. พล็อตกราฟจากปริมาณโซลอส 5 ค่า โดยความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณโซแลนกับค่า Absorbance

8.4 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเพนโตแซน (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักของเพนโตแซนในผลตัวอย่าง}) \times 100}{\text{น้ำหนักของผงไม้ตัวอย่าง}}$$

$$\text{ปริมาณโซแลน (มิลลิกรัม)} = \text{โซลอส} \times 0.88$$

9. การหาปริมาณเถ้า

9.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T211

9.2 อุปกรณ์

- 9.2.1 ผงตัวอย่างไม้
- 9.2.2 ถ้วยกระเบื้องขนาด 50 มิลลิเมตร
- 9.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 9.2.4 เตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 525 ± 25 องศาเซลเซียส

9.3 วิธีการทดสอบ

- 9.3.1 ล้างถ้วยกระเบื้องให้สะอาด อบหาน้ำหนักที่แท้จริงในเตาเผาอุณหภูมิ 525 ± 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาทีนำไปไว้ในโถดูดความชื้นจนอุณหภูมิปกติก่อนชั่งน้ำหนัก
- 9.3.2 ชั่งผงไม้ประมาณ 1 กรัม โดยอบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 2 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักอบแห้ง
- 9.3.3 นำผงไม้ที่ผ่านการอบแล้วไปเผาที่ 525 ± 25 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 6 ชั่วโมง จนเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ปราศจากเศษเหลือที่มีสีดำ แล้วนำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้นจนอุณหภูมิปกติ
- 9.3.4 ชั่งน้ำหนักหาปริมาณเถ้า

9.4 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักของเถ้าหลังเผา (กรัม)} \times 100)}{\text{น้ำหนักของผงไม้อบแห้งก่อนเผา (กรัม)}}$$

10. การหาค่าลูปปา

10.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T236

10.2 อุปกรณ์

- 10.2.1 เครื่องปั่นเยื่อ
- 10.2.2 เครื่องกระจายเยื่อ
- 10.2.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส
- 10.2.4 บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 10.2.5 ปีเปตขนาด 100 มิลลิลิตร
- 10.2.6 บิเรทขนาด 50 มิลลิลิตร
- 10.2.7 บุชเนอร์, flask สำหรับกรองเยื่อ 3-4 กรัม, กระดาษกรอง, นาฬิกาจับเวลา
กระบอกตวงขนาด 25 มิลลิลิตร, 50 มิลลิลิตร, 1000 มิลลิลิตร
- 10.2.8 สารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต 0.1000 ± 0.0005 นอร์มอล
- 10.2.9 สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.2 ± 0.0005 นอร์มอล
- 10.2.10 สารละลาย โพแทสเซียมไอโอไดด์ 1.0 นอร์มอล
- 10.2.11 กรดซัลฟูริก 4 นอร์มอล
- 10.2.12 สารละลายแป้งเข้มข้นร้อยละ 2

10.3 วิธีการทดสอบ

10.3.1 ชั่งเยื่อ จำนวน 4 กรัม ตวงน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร โดยแบ่งใส่ในเครื่องกระจายเยื่อ จำนวน 500 มิลลิลิตร ทำการกระจายเยื่อจนเป็นอิสระ

10.3.2 เทตัวอย่างใส่บีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร ล้างเครื่องกระจายเยื่อด้วยน้ำกลั่นที่เหลือและเติมลงในบีกเกอร์ที่มีตัวอย่างจนมีปริมาตรประมาณ 795 มิลลิลิตร โดยเหลือน้ำกลั่นไว้เล็กน้อยเพื่อล้างบีกเกอร์สารละลายประมาณ 5 มิลลิลิตร

10.3.3 วางบีกเกอร์บนอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส ใส่แท่งแม่เหล็กคนให้เกิดน้ำวนโดยสม่ำเสมอ

10.3.4 ใส่สารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต 100 มิลลิลิตร และกรดซัลฟริก 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร แล้วปรับอุณหภูมิสารละลายให้ได้ที่ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส ก่อนเทลงในบีกเกอร์ที่มีเยื่อกระดาษด้วย เริ่มจับเวลาทันทีที่เทสารละลายลงไป ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นส่วนที่เหลือไว้ประมาณ 5 มิลลิลิตร

10.3.5 เมื่อครบ 10 นาทีทำการหยุดปฏิกิริยาด้วยสารละลายโพแทสเซียม 20 มิลลิลิตร

10.3.6 ไตเตรทหาปริมาณไอโอดีนที่เหลือในสารละลายด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟต เมื่อใกล้ถึงจุดยุติ ตัวอย่างจะมีสีเหลืองอ่อน ทำการหยคน้ำแข็ง 2-3 หยดเพื่อให้มีสีน้ำเงิน จากนั้นไตเตรทต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

10.3.7 หาค่าตัวอย่างทดสอบที่ไม่มีเยื่อโดยทำเช่นเดียวกับข้อ 1-7 โดยไม่ต้องใส่เยื่อไตเตรทเพื่อหาปริมาณสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

10.3.8 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ไตเตรทได้จากข้อ 6 ต้องอยู่ในช่วง 30-70 มิลลิลิตร ถ้าหากน้อยกว่าร้อยละ 30 แสดงว่าเยื่อที่ใส่น้อยเกินไป ทำการเพิ่มปริมาณเยื่อที่ใช้ หากเกินร้อยละ 70 แสดงว่าเยื่อที่ใส่มากเกินไป ทำการลดปริมาณเยื่อที่ใช้ ก่อนทำการไตเตรทอีกครั้งเพื่อให้สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตอยู่ในช่วงที่กำหนด

10.4 การคำนวณ

$$K = (p \times f) / w$$

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

เมื่อ K = ตัวเลขคี่ปลา

f = ปัจจัยถูกต้องของการใช้โพแทสเซียมเปอร์มังกาเนตร้อยละ 50 ขึ้นกับค่า

p ดูจากตาราง

w = น้ำหนักอบแห้งของเยื่อ (กรัม)

p = 0.1 นอร์มอลของโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนตที่ทำปฏิกิริยากับเยื่อ

(มิลลิลิตร)

b = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้กับน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)

a = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้กับเยื่อ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายไทโอซัลเฟต (นอร์มอล)

ตารางผนวกที่ 1 แสดงค่าแฟคเตอร์ f

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

11. ค่าความอิสระเยื่อ

11.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T227

11.2 อุปกรณ์

11.2.1 เครื่องวัดค่าความอิสระเยื่อ

11.2.2 กระบอกตวง 1000 มิลลิลิตรจำนวน 3 กระบอก

11.2.3 เทอร์โมมิเตอร์

11.3 วิธีการทดสอบ

11.3.1 ทำการกระจายเยื่อที่จะหาค่าความอิสระเยื่อโดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ± 0.02 ปรับอุณหภูมิของน้ำเยื่อให้ได้ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ตวงในกระบอกตวงปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

11.3.2 ทำการทดสอบเครื่องด้วยน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียสเทน้ำในเครื่อง ปิดฝาด้านบน เปิดฝาด้านล่างก่อนจะเปิดวาล์วดึงน้ำออก อ่านค่าน้ำจากท่อด้านข้าง ปริมาตรปกติจะอยู่ระหว่าง 880-890 มิลลิลิตร

11.3.3 เมื่อทำการทดสอบเครื่องแล้วจึงทำการเทน้ำเยื่อลงในเครื่อง ปิดฝาด้านบน เปิดฝาด้านล่างจากนั้นเปิดวาล์วดึงน้ำออก รอจนน้ำหยุดไหล

11.3.4 อ่านปริมาตรของน้ำจากกระบอกด้านข้างเป็นค่าความอิสระเยื่อ

12. การขึ้นรูปแผ่นทดสอบ

12.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T205

12.2 อุปกรณ์

- 12.2.1 เชื้อที่ทราบน้ำหนักอบแห้งที่แน่นอนแล้ว
- 12.2.2 เครื่องกระจายเชื้อ
- 12.2.3 เครื่องขึ้นแผ่นทดสอบชนิดสี่เหลี่ยม
- 12.2.4 ถังขนาดไม่น้อยกว่า 5 ลิตรสำหรับใส่น้ำเชื้อ
- 12.2.5 ไซฟัดหมุนกระจายน้ำเชื้อ
- 12.2.6 กระบอบกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 12.2.7 เครื่องกดรีดน้ำไฮดรอลิก
- 12.2.8 เครื่องอบกระดาษแบบม้วน

12.3 วิธีการทดสอบ

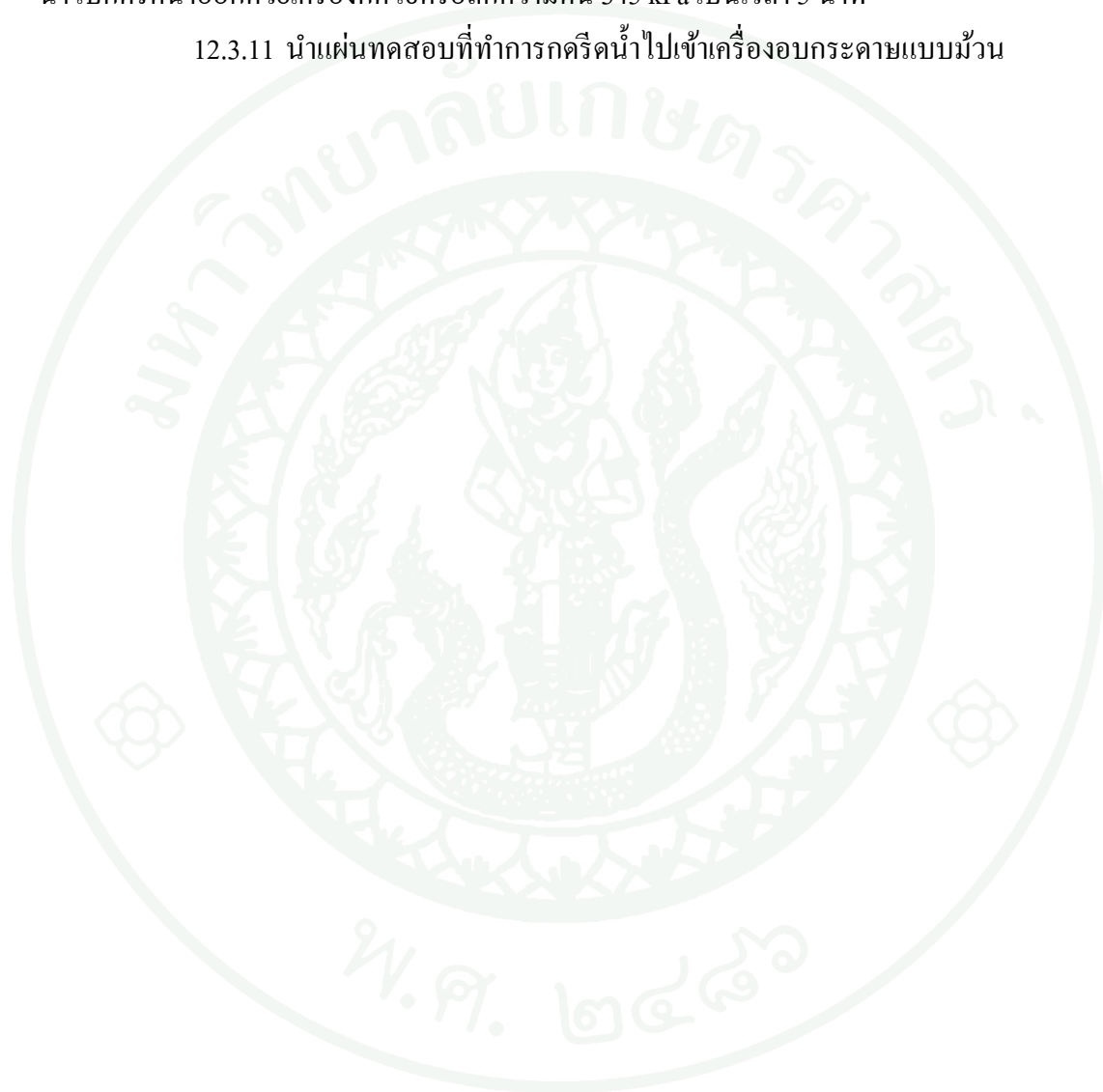
- 12.3.1 นำเชื้อที่ทราบน้ำหนักอบแห้งแล้วกระจายในเครื่องกระจายเชื้อจนแตกตัวเป็นอิสระ
- 12.3.2 เทน้ำเชื้อที่ได้ลงในถัง ปรับปริมาตรให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ใช้ไซฟัดหมุนให้น้ำเชื้อมีการกระจายตัวไม่ตกตะกอน
- 12.3.3 ทำการคำนวณหาปริมาณน้ำเชื้อเพื่อขึ้นแผ่นทดสอบที่ 80 กรัมต่อตารางเมตร โดยคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดตะแกรงที่ขึ้นรูปแผ่นทดสอบขนาด 25 ตารางเซนติเมตร
- 12.3.4 ตวงน้ำเชื้อที่คำนวณได้จากถังใส่ในกระบอบกตวง
- 12.3.5 ล้างตะแกรงขึ้นแผ่นให้สะอาด ปิดถังครอบตะแกรงก่อนเปิดวาล์วน้ำปล่อยน้ำให้ไหลจนถึงระดับ
- 12.3.6 ปิดวาล์วน้ำเมื่อน้ำได้ระดับ เทน้ำเชื้อที่ตวงได้ลงไปก่อนใช้ Perforated stirrer กวนน้ำให้เชื้อกระจายตัวสม่ำเสมอ ก่อนนำ Perforated stirrer ออก
- 12.3.7 เปิดวาล์วน้ำให้น้ำไหลออกจากนั้นกดปุ่ม Suction เพื่อให้เกิดสุญญากาศในเครื่องดึงน้ำออกจากแผ่นเชื้อเปียก รอ 30 วินาที

12.3.8 นำกระดาษกรองวางทับบนแผ่นเยื่อเปียก ตามด้วยกระดาษซับละแผ่นหลัก ก่อนใช้ลูกกลิ้งรีดน้ำ กลิ้งบนแผ่นทดสอบ

12.3.9 ลอกแผ่นเยื่อที่ขึ้นรูปได้ วางบนแผ่นหลัก ทำซ้ำกับแผ่นเยื่อที่ขึ้นรูปอื่นๆ

12.3.10 เมื่อทำการขึ้นรูปแผ่นทดสอบจนครบ ปิดทับด้วยแผ่นหลักด้านบนก่อนนำไปกดรีดน้ำออกด้วยเครื่องกดไฮดรอลิกความดัน 345 kPa เป็นเวลา 5 นาที

12.3.11 นำแผ่นทดสอบที่ทำการกดรีดน้ำไปเข้าเครื่องอบกระดาษแบบม้วน



13. การเตรียมแผ่นทดสอบเพื่อหาสมบัติความแข็งแรง

13.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T220, ISO 187

13.2 อุปกรณ์

13.2.1 แผ่นทดสอบ

13.2.2 เครื่องตัดกระดาษ

13.2.3 ตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

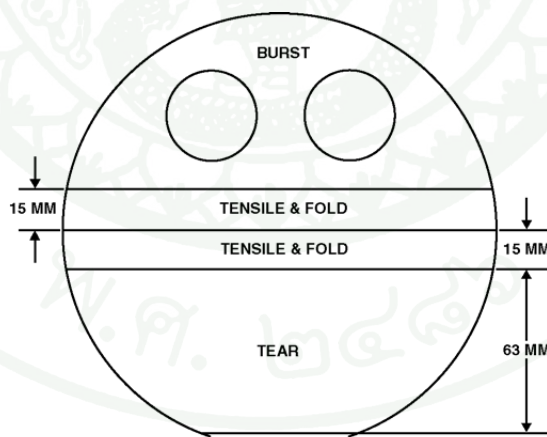
13.3 วิธีการทดสอบ

13.3.1 นำแผ่นทดสอบที่ได้เข้าตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

13.3.2 เลือกแผ่นขึ้นทดสอบที่มีความสม่ำเสมอจำนวนอย่างน้อย 5 แผ่น

13.3.3 ใช้เครื่องตัดกระดาษ ตัดขอบด้านข้างออกให้เสมอก่อนตัดแผ่นขึ้นทดสอบ

ตามขนาดในการทดสอบความต้านแรงดันทะลุ ความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด



ภาพผนวกที่ 1 ขนาดแผ่นขึ้นทดสอบที่ทำการตัดเพื่อหาสมบัติความแข็งแรง

13.4 นำแผ่นขึ้นทดสอบที่ตัดขนาด วางไว้ในอุณหภูมิห้องทดสอบ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

14. การหาน้ำหนักมาตรฐาน

14.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T205

14.2 อุปกรณ์

14.2.1 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง

14.2.2 แผ่นทดสอบ จำนวน 5 แผ่น

14.3 วิธีการทดสอบ

14.3.1 นำแผ่นทดสอบขนาด 200 ตารางเซนติเมตร จำนวน 5 แผ่น ชั่งน้ำหนักทีละแผ่น โดยชั่งซ้ำให้ได้อย่างน้อยจำนวนทั้งหมด 10 ค่า

14.3.2 บันทึกค่าที่ได้ คำนวณหาน้ำหนักมาตรฐาน

14.4 การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักมาตรฐาน (กรัมต่อตารางเมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นทดสอบ (กรัม)} \times 100}{\text{ขนาดกระดาษ (ตารางเมตร)}}$$

15. การหาความหนา

15.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T205

15.2 อุปกรณ์

15.2.1 เครื่องวัดความหนา

15.2.2 แผ่นทดสอบ จำนวน 5 แผ่น

15.3 วิธีการทดสอบ

15.3.1 นำแผ่นขึ้นทดสอบเข้าเครื่องวัดความหนา โดยทำการวัดแผ่นละ 10 ครั้ง

15.3.2 ทำซ้ำกับแผ่นทดสอบที่เหลือ

15.3.3 บันทึกข้อมูลในหน่วย มิลลิเมตร

15.3.4 ก่อนนำค่าที่ได้ทั้งหมดหาค่าเฉลี่ย

16. การหาความขาวสว่างและความทึบแสง

16.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI 452

16.2 อุปกรณ์

16.2.1 เครื่องวัดค่าความขาวสว่างและความทึบแสง

16.2.2 แผ่นทดสอบ

16.3 วิธีการทดสอบ

16.3.1 เปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างต่ำ 30 นาที

16.3.2 ทำการ Calibrate ก่อนการทดสอบในแต่ละวันที่ทำการวัด

16.3.3 ในการวัดค่าความขาวสว่าง ทำการใส่จำนวนครั้งในการวัดค่า ก่อนนำแผ่นทดสอบเข้าวัดโดยซ้อนแผ่นทดสอบต่อๆ กัน

16.3.4 ในการวัดค่าความทึบแสงทำการซ้อนด้วยแผ่นทดสอบด้วย Black cup โดยทำการวัดทีละแผ่นไม่ซ้อนทับกัน

16.3.5 อ่านค่าตัวเลขที่ได้ หาค่าเฉลี่ยของความทึบแสงและความขาวสว่าง

17. การหาความต้านแรงดันตะลุม

17.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T403

17.2 อุปกรณ์

17.2.1 เครื่องวัดค่าความต้านแรงดันตะลุม

17.2.2 แผ่นทดสอบ

17.3 วิธีการทดสอบ

17.3.1 นำแผ่นขึ้นตัวอย่างอย่างน้อยขนาด 62×62 มิลลิเมตร หรือ 2.5×2.5 นิ้ว โดยหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีรอยหัก ขาดพับ หรือบริเวณขอบของกระดาษ

17.3.2 นำแผ่นขึ้นตัวอย่างเข้าเครื่องวัดค่าความต้านแรงดันตะลุม กด Clamp ให้หนีบกระดาษให้สนิท แล้วทดสอบค่าความต้านแรงดันตะลุม

17.3.3 บันทึกค่าที่ได้ในหน่วย kPa

17.3.4 นำค่าที่ได้มาคำนวณหาดัชนีความต้านแรงดันตะลุม

17.4 การคำนวณ

$$\text{ดัชนีความต้านแรงดันตะลุม (kPa.m}^2\text{/g)} = \frac{\text{ค่าความต้านแรงดันตะลุม (kPa)}}{\text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}}$$

18. การหาความต้านแรงดึง

18.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T494

18.2 อุปกรณ์

18.2.1 เครื่องวัดค่าความต้านแรงดึง

18.2.2 แผ่นทดสอบ

18.3 วิธีการทดสอบ

18.3.1 นำแผ่นชิ้นตัวอย่างอย่างน้อยขนาดกว้าง 25 ± 1 มิลลิเมตร ยาว 180 ± 5 มิลลิเมตร โดยหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีรอยหัก ขาดพับ หรือบริเวณขอบของกระดาษ

18.3.2 กด Clamp ของกระดาษทั้งบนและล่างให้อยู่ระยะห่างพอใส่ตัวอย่างได้
ล็อก Clamp

18.3.3 นำแผ่นชิ้นตัวอย่างเข้าเครื่องวัดค่าความต้านแรงดึง หนีบ Clamp ให้แนบสนิททั้งบนและล่าง จากนั้นปลดล็อก Clamp

18.3.4 ทำการทดสอบบันทึกผลในหน่วย ทำซ้ำกับตัวอย่างอื่นๆ

18.3.5 นำค่าที่ได้มาคำนวณหาดัชนีความต้านแรงดึงตันทะลุ

18.4 การคำนวณ

คำนวณระยะดึงขาด

$$\text{ระยะดึงขาด (m)} = \frac{102,000 \times \text{ความต้านแรงดึง (kN/m)}}{\text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}}$$

คำนวณดัชนีความต้านแรงดึง

$$\text{ดัชนีความต้านแรงดึงตันทะลุ (N.m/g)} = \frac{1000 \times \text{ความต้านแรงดึง, kN/m}}{\text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}}$$

19. การหาความต้านแรงฉีกขาด

19.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T414

19.2 อุปกรณ์

19.2.1 เครื่องวัดค่าความต้านแรงฉีกขาด

19.2.2 แผ่นทดสอบ

19.3 วิธีการทดสอบ

19.3.1 นำแผ่นชิ้นตัวอย่างอย่างน้อยขนาดกว้าง 53 มิลลิเมตร ยาว 63 มิลลิเมตร โดยหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีรอยหัก ขาดพับ หรือบริเวณขอบของกระดาษ

19.3.2 เปิดเครื่องหาค่าความต้านแรงฉีกขาด จากนั้นเปิดวาล์วที่ส่งแรงดันป้อนลมเข้าเครื่อง

19.3.3 ตั้งค่าแรงดันของเครื่อง

19.3.4 กำหนดค่าหน่วยที่จำทำการวัด จำนวนตัวอย่างและกำหนดค่าน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นทดสอบ

19.3.5 นำแผ่นทดสอบเข้าเครื่องทั้ง 5 แผ่น กดปุ่ม Clamp หนีบกระดาษให้แน่น

19.3.6 เมื่อกระดาษแน่นแล้วทำการตัดนำกระดาษด้วยมีดในตัวเครื่อง

19.3.7 จากนั้นกดปุ่มเริ่มการทำงานเพื่อเหวี่ยง Pendulum

19.3.8 อ่านค่าความต้านแรงฉีกขาดที่ได้ ทำซ้ำกับตำแหน่งถัดไปของกระดาษ

19.4 การคำนวณ

$$\text{ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด (mNm}^2\text{/g)} = \frac{\text{ความต้านแรงฉีกขาด (g)} \times 9.81}{\text{น้ำหนักมาตรฐาน (g/m}^2\text{)}}$$

20. การหาความต้านแรงกดวงแหวน

20.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T818

20.2 อุปกรณ์

20.2.1 เครื่องวัดความต้านแรงกดวงแหวน Testometric 350, England

20.2.2 แผ่นทดสอบ

20.3 วิธีการทดสอบ

20.3.1 นำแผ่นขึ้นตัวอย่างตัดให้ได้ขนาดกว้าง 12.7 มิลลิเมตร ยาว 152.4 มิลลิเมตร โดยหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีรอยหัก ขาดพับ หรือบริเวณขอบของกระดาษ

20.3.2 วัดค่าความหนาของแผ่นทดสอบ

20.3.3 นำแผ่นทดสอบใส่ใน Specimen holder โดยเลือกวงในให้ตรงกับช่วงความหนาของแผ่นทดสอบ

20.3.4 เปิดเครื่องวัดความต้านแรงกดวงแหวนโดยใช้โหลดที่ 50 N อัตราเร็วการกด 12.7 มิลลิเมตรต่อนาที

20.3.5 วาง Specimen holder ในเครื่องทดสอบจากนั้นกดเริ่มทำการทดสอบ Clamp จะกดกระดาษจนเลี้ยวรูป ก่อนกดหยุดเครื่องและเลื่อน Clamp กลับไปที่ตำแหน่งเริ่มต้น

20.3.6 อ่านค่าความต้านแรงกดวงแหวนที่ได้ ทำซ้ำกับแผ่นทดสอบอื่น

20.4 การคำนวณ

$$\text{ความต้านแรงกดวงแหวน (kN/m)} = \text{ค่าแรงกดจากเครื่อง (N)} \times 0.00656$$

21. การทดสอบค่ามอดุลัสของน้ำ

21.1 มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 5946-04

21.2 อุปกรณ์

21.2.1 เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

21.2.2 เครื่องวัดมอดุลัส

21.2.3 นาฬิกาจับเวลา

21.2.4 แผ่นทดสอบ

21.3 วิธีการทดสอบ

21.3.1 ตัดแผ่นทดสอบให้มีขนาด 1×3 เซนติเมตร

21.3.2 นำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

21.3.3 วางตัวอย่างแผ่นทดสอบลงในช่องใส่ตัวอย่างก่อนใช้ Clamp จับยึดขอบให้แน่น

21.3.4 เปิดเครื่องวัดมอดุลัส วางแผ่นทดสอบบนขาตั้ง ปรับกล้องให้เห็นพื้นผิวแผ่นทดสอบ และเติมหยดน้ำ

21.3.5 หยดน้ำกลั่นปริมาตร 5 ไมโครลิตร ลงบนตัวอย่างแผ่นทดสอบและเริ่มจับเวลา

21.3.6 บันทึกภาพหยดน้ำ และวัดค่ามอดุลัส

22. การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำแบบคอบ

22.1 มาตรฐานการทดสอบ TAPPI 441

22.2 อุปกรณ์

22.2.1 เครื่องทดสอบการดูดซึมน้ำ

22.2.2 ชุดลูกกลิ้งและกระดาษซับ

22.2.3 กระบอกตวงและน้ำกลั่น

22.2.4 นาฬิกาจับเวลา

22.2.4 แผ่นทดสอบ

22.3 วิธีการทดสอบ

22.3.1 ตัดแผ่นทดสอบให้มีขนาด 12.5×12.5 เซนติเมตร โดยแผ่นทดสอบมีความหนาสม่ำเสมอ ไม่มีรอยฉีกขาดหรือรอยตำหนิ น้ำหนักแผ่นทดสอบควรใกล้เคียงกัน ค่าคลาดเคลื่อน 0.1 กรัม

22.3.2 นำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

22.3.3 วางแผ่นทดสอบลงบนแผ่นยางในชุดทดสอบการดูดซึมน้ำ ใช้วงแหวนวางทับก่อนไขให้แน่น

22.3.4 เทน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงในชุดทดสอบเริ่มจับเวลา 60 วินาที

22.3.5 เมื่อครบเวลา เทน้ำออกจากชุดทดสอบ

22.3.6 ไขวงแหวนก่อนนำแผ่นทดสอบวางบนกระดาษซับ กลิ้งลูกกลิ้งทับ โดยไม่ต้องออกแรงกด

22.3.7 นำแผ่นทดสอบที่ได้ไปชั่งหาน้ำหนัก และทำซ้ำกับแผ่นทดสอบอื่นๆ

22.4 การคำนวณ

การดูดซึมน้ำ (กรัม/ตารางเมตร) = $(\text{น้ำหนักหลังดูดซับน้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ}) \times 100$

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นางสาวศิวพร บุตรราช
 เกิดวันที่ 13 สิงหาคม 2526
 สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
 ประวัติการศึกษา วท.บ. (เทคโนโลยีเชื้อและกระดาษ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 ตำแหน่งปัจจุบัน -
 สถานที่ทำงานปัจจุบัน -
 ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -